



EGE ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AÇIK KANALLARDA AKIŞ DÜZENLEYİCİ
YAPILARIN TEMİZ SU OYULMASI VE AKIŞA
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Cansu ÖZYAMAN

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cahit YERDELEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 03.06.2016

Bornova-İZMİR

2016

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**AÇIK KANALLARDA AKIŞ DÜZENLEYİCİ YAPILARIN
TEMİZ SU OYULMASI VE AKIŞA ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Cansu ÖZYAMAN

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cahit YERDELEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 03.06.2016

Bornova-İZMİR

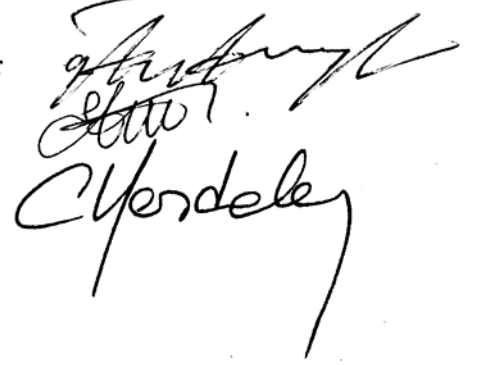
2016

Cansu ÖZYAMAN tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Açık Kanallarda Akış Düzenleyici Yapıların Akışa ve Temiz Su Oyuşması Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğı ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 3.06.2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliğı ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Gökmen Tayfur
Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr Ebru Eriş
Üye : Doç. Dr. Cahit Yerdelen

İmza



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Açık Kanallarda Akış Düzenleyici Yapıların Akışa ve Temiz Su Oyulması Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03 / 06 / 2016

İmzası

Cansu ÖZYAMAN

ÖZET**AÇIK KANALLARDA AKIŞ DÜZENLEYİCİ YAPILARIN
TEMİZ SU OYULMASINA VE AKIŞA ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

ÖZYAMAN, Cansu

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cahit YERDELEN

Haziran 2016, 77 sayfa

Mahmuzlar akış hızını azaltarak kıyıyı erozyondan korumak, kıyıda ki katı madde birikimini ve akışı kontrol etmek gibi çeşitli amaçlarla kullanılan düzenleme yapılarıdır. Bu tez çalışmasında açık kanaldaki tek bir mahmuzun akış direncine ve temiz su oyulmasına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler dikdörtgen kesitli kanalda ve kararlı akım şartlarında gerçekleştirilmiştir. Mahmuzların akışa dik uzunlukları ve mahmuzların yönelme açıları değiştirilerek, bu faktörlerin akış direncine, oyulma derinliğine ve oyulma hacmine etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda üniform ve üniform olmayan iki farklı taban malzemesi kullanılarak, taban malzemesinin üniformluğunun oyulmaya etkisi araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerle doğrusal olmayan çoklu regresyon analizi yapılmış, direnç katsayısı, oyulma derinliği ve oyulma hacmini veren üç farklı bağıntı önerilmiştir.

Anahtar sözcükler: Açık kanal, mahmuz, sediment, temiz su oyulması, direnç katsayısı



ABSTRACT

THE EFFECT OF RIVER TRAINING STRUCTURES ON CLEAR WATER SCOUR AND FLOW RESISTANCE IN OPEN CHANNELS

ÖZYAMAN, Cansu

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cahit YERDELEN

June 2016, 77 pages

Spur dikes are the structures that are used to prevent erosion by decreasing the flow velocity and to control sediment deposit. In this thesis, effect of single spur dike on flow resistance and clean water scour were studied experimentally. Experiments were performed in a rectangular open channel, under steady flow conditions. Effect of spur dike's incline angles and length of spur dikes on flow resistance, scour depth and scour volume were studied. At the same time effect of uniformity of bed material on scour is studied by using uniform and non-uniform bed material. Nonlinear multiple regression analysis was made and three different equations were suggested.

Keywords: Open channel, spur dike, sediment, clear water scour, drag force

TEŞEKKÜR

Bu tez süresince her türlü tecrübe ve bilgisini benimle paylaşan danışman hocam Doç. Dr. Cahit Yerdelen' e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca hidrolik ana bilim dalındaki hocalarım Öğr. Gör. Dr. Gökçen Bombar, Yrd. Doç. Dr. Ebru Eriş, Yrd. Doç. Dr. Ömer Levend Aşıkoğlu'na desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bilimsel gelişimime katkılarından dolayı Prof Dr. Gökmen Tayfur'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar esnasında emeği geçen lisans öğrencilerimiz Volkan Sinal, Ceylani Ay ve Baker Alradhi'ye teşekkür ederim.

Her koşulda bana destek olan arkadaşım İrem Kalıpcılar'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun kapsamı ve önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
2.1 Akarsularda katı madde hareketi	5
2.1.1 Hareketi Başlatan Kritik Hız	6
2.1.2 Taban Malzemesinin Taşınım Durumuna göre Oyulma Çeşitleri	8
2.1.3 Akım Şiddeti	9
2.1.4 Konumuna göre oyulma çeşitleri	10
2.2 Mahmuzlar	11
2.2.1 Mahmuz Dizayn Parametreleri	13

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.2 Mahmuz Çevresindeki Akımlar	15
2.2.3 Mahmuzlarda Kabarma Etkisi	19
2.3 Oyulma Sürecine Etki Eden Parametreler	22
2.3.1 Akım Derinliği	22
2.3.2 Akım Hızı	23
2.3.3 Yatak malzemesi	23
2.3.4 Mahmuz uzunluğu (b)	24
2.3.5 Zaman	25
2.3.6 Mahmuz Yönelme Açısı.....	25
2.4 Literatürdeki Denge Oyulma Derinliği Bağlıları.....	26
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	35
3.1 Deney düzeneği	35
3.2 Deneylein Yapılışı.....	39
3.3 Deneysel Bulgular	41
3.3.1 Direnç Kuvveti ve Direnç Katsayısı.....	42
3.3.2 Temiz su oyulması	46
3.3.2.1 Gradasyon Etkisi	46

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

3.3.2.2 Yönelme açısı ve mahmuz uzunluğu etkisi	51
3.3.2.3 Debi ve su derinliği etkisi	56
3.3.3 İzohips Haritaları	56
3.3.4 Mahmuzun membaya ve mansaba olan etkisi	61
4. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ.....	63
4.1 Direnç Katsayılarının İrdelenmesi	63
4.2 Oyulma verilerinin irdelenmesi	64
4.3 Literatürdeki bağıntılarla yapılan oyulma derinliği hesapları	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
5.1 Sonuçlar	71
5.2 Öneriler.....	73
KAYNAKLAR DİZİNİ	74
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. a) Tersip Bendi (Değirmendere İzmir) b) Bitkisel kaplama (Afyon)	2
1.2. Çift yönlü ve tek yönlü mahmuz uygulamaları a) Odra River in Poland b)Missisipi nehri ABD	2
2.1. Shields diyagramı (Shields, 1936)	6
2.2. Temiz su oyulması ve hareketli taban oyulmasının zamana bağlı değişimi (Raudkivi and Ettema, 1983).....	9
2.3. Akım şiddeti ve yerel oyulma ilişkisi (Melville, 2008).....	10
2.4. Çift taraflı mahmuz uygulaması (Missouri Nehri, ABD).....	11
2.5. Mahmuz çeşitleri.....	12
2.6. Mahmuz yapımındaki önemli dizayn parametreleri (USACE, 1980).....	13
2.7. Mahmuz aralıkları (Aküzüm ve Öztürk, 1996).....	14
2.8. Plan üzerinde akım bölgeleri (Rajaratnam ve Nwachukwu, 1983), (Azinfar, 2010)	15
2.9. Mahmuz etrafındaki üç boyutlu akış yapısı (Miller et al., 2003; Azinfar, 2010)	16
2.10. Mahmuz etrafındaki akışın ve oyulmanın şematik olarak gösterilişi (Zhang 2005)	17
2.11. Mahmuz çevresindeki akımlar Eroğlu vd. (2001).....	18
2.12. Engelden kaynaklanan kabarma etkisi	19
2.13. Kontrol hacmine etkileyen kuvvetler. (Azinfar and Kells 2008).....	20

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.14. Görelî oyulma derinliğinin görelî yaklaşım akım derinliğiyle değişimi (Yanmaz, 2002)	22
2.15. Kanal genişliği (B) ve mahmuz uzunluğu (b)	24
2.16. Mahmuz yönelme açısı.....	26
2.17. Açî etki faktörü K_a değerleri	27
2.18. K_a faktörünün değerleri (Melville, 1992)	28
2.19. Görelî oyulma derinliğinin Fr sayısı ile değişimi (Jones,1984)	33
2.20. Görelî oyulma derinliğinin görelî yaklaşım akım derinliğiyle değişimi (Jones, 1984)	34
3. 1 Deney Kanalı A- boy kesit B- üstten görünüş.....	35
3. 2. Deneylerin yürütüldüğü kanalın içten ve dıştan görünüşü	35
3. 3. Su seviyesi düzenleyici kapak	36
3. 4. Deneylerde kullanılan 90° açılı mahmuzlar	36
3. 5. Elektromanyetik debimetre ve göstergesi.....	37
3. 6. Pompa güç kontrolü ana birimi.....	37
3. 7. a- Ultrasonik seviye ölçer b Dijital lazer metre	38
3. 8. Veri toplayıcısı ara yüzü	38
3. 9. Üniform (solda) ve üniform olmayan (sağda) taban malzemeleri.	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3. 10. Taban malzemelerinin granülometri eğrileri	39
3. 11. Her bir debi için belirlenmiş yaklaşık su derinlikleri	40
3. 12. Mahmuz köküne 25 cm mesafedeki ultrasonik seviye ölçerler	41
3.13. 90° açılı 20 cm uzunluklu mahmuzlarda a- $Q=0.030 \text{ m}^3/\text{s}$ lik debideki kabarma etkisi b- $Q=0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ lik debideki kabarma etkisi.....	43
3.14. 90° lik mahmuzda debi-direnç kuvveti ilişkisi	43
3.15. 90° lik mahmuzlarda su derinliğinin mahmuz uzunluğuna oranıyla - direnç katsayısı ilişkisi.....	44
3.16. 45° ve 135° lik mahmuzda debi-direnç kuvveti ilişkisi.....	45
3.17. 45° ve 135° lik mahmuzlarda su derinliğinin mahmuz uzunluğuna oranıyla - direnç katsayısı ilişkisi	45
3.18 Üniform olmayan sedimentlerde zırlanma	47
3.19. Üniform sedimentte debi oyulma hacmi ilişkisi	48
3.20. Üniform olmayan sedimentte oyulma hacmi debi ilişkisi	49
3.21 Üniform sedimentte debi oyulma derinliği ilişkisi.....	49
3.22. Üniform olmayan sedimentte debi oyulma derinliği ilişkisi	50
3.23. $b=25 \text{ cm}$ uzunluklu 90° açılı mahmuzla 30 l/s lik debide üniform (sağda) ve üniform olmayan taban malzemeleriyle yapılan deneyler	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.24. $b=20$ cm uzunluklu 45° açılı mahmuzla 30 l/s lik debide üniform (sağda) ve üniform olmayan taban malzemeleriyle yapılan deneyler	51
3.25. 135° (üstte) ve 45° açılarda 45 l/s 'lik deneylerdeki türbülans durumu.....	52
3.26. $\alpha=90^\circ$ $b=25$ cm üniform taban malzemesi için oyulma derinlikleri	53
3.27. $\alpha=90^\circ$ $b=25$ cm üniform olmayan taban malzemesi için oyulma derinlikleri	53
3.28. $\alpha=90^\circ$ $b=20$ cm üniform taban malzemesi için oyulma derinlikleri	54
3.29. $\alpha=90^\circ$ $b=20$ cm üniform olmayan taban malzemesi için oyulma derinlikleri	54
3.30. $\alpha=90^\circ$ $b=15$ cm üniform taban malzemesi için oyulma derinlikleri	55
3.31. $\alpha=90^\circ$ $b=15$ cm üniform olmayan taban malzemesi için oyulma derinlikleri	55
3.32. 30 l/s debide üniform olmayan yatak malzemesinde açı etkisi	57
3.33 30 l/s debide üniform yatak malzemesinde açı etkisi	58
3.34. 35 l/s debide üniform olmayan yatak malzemesinde mahmuz uzunluğu etkisi	59
3.35 35 l/s debide üniform yatak malzemesinde mahmuz uzunluğu etkisi	60
4.1. Regresyon analiziyle hesaplanan ve deney verilerinden hesaplanan direnç kuvvetlerinin ilişkisi	64
4.2. Regresyon analiziyle hesaplanan ve deneylerde ölçülen görelî oyulma derinlikleri	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)ŞekilSayfa

4.3. Regresyon analiziyle hesaplanan ve deneylerde ölçülen görelî hacimler67

4.4. Literatür bağıntılarıyla hesaplanmış görelî oyulma derinliklerinin görelî su derinlikleriyle ilişkisi69

4.5. Literatür bağıntılarının eğilim çizgileri70

4.6. Deneylerdeki ve literatüreki C_D değerleri.....70

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. m değerleri.....	7
2.1. Mahmuz yerleşim açısına göre K_1 değerleri (Ahmad, 1953).....	29
2.2. Daralma oranları ve açılı katsayıları (Ezzeldin et al., 2007).....	31
3. 1. Tüm deneyler için değer aralıkları.....	40
3.2. Oyulma hacimleri (cm^3).....	47
3.3. Oyulma derinlikleri (cm).....	48
3.4. Üniform olmayan sedimentte yatay ve düşey doğrultudaki oyulma mesafeleri (mm).....	62
3.5. Üniform sedimentte yatay ve düşey doğrultudaki oyulma mesafeleri (mm) .	62
4.1 Literatürdeki oyulma derinliği bağıntıları.....	68

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
B	Kanal genişliği
b	Mahmuzun akışa dik uzunluğu
b/B	Büzülme katsayısı
b/d ₅₀	Görelî mahmuz uzunluğu
d	Dane çapı
C _D	Direnç katsayısı
d _{se}	Denge oyulma derinliği
d _s	Oyulma derinliği
d _s /b	Görelî oyulma derinliği
d ₅₀	Medyan dane çapı
d ₅₀ /b	Görelî medyan dane çapı
d _{50a}	Üniform olmayan sedimentler için medyan dane çapı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Mahmuz yüksekliği
V	Ortalama akış hızı
V/V _c	Akış şiddeti

u_*	Yatak kayma hızı
V_c	kritik hız
u_{*c}	kritik kayma hızı
u_a	zıhlanma pikindeki akış hızı,
u_{*ca}	Üniform olmayan sedimentler için kritik kayma hızı
u_{ca}	Üniform olmayan sedimentler için kritik akış hızı
y	Akım derinliği
y/b	Görelî akım derinliği
ν	Kinematik viskozite
ρ	Suyun özgül kütlesi
ρ_s	Dane özgül kütlesi
σ_g	Geometrik standart sapma ($\sqrt{d_{84}/d_{16}}$),
τ_o	Yatak kayma gerilmesi
α	Mahmuz yönelme açısı

1. GİRİŞ

1.1. Konunun kapsamı ve önemi

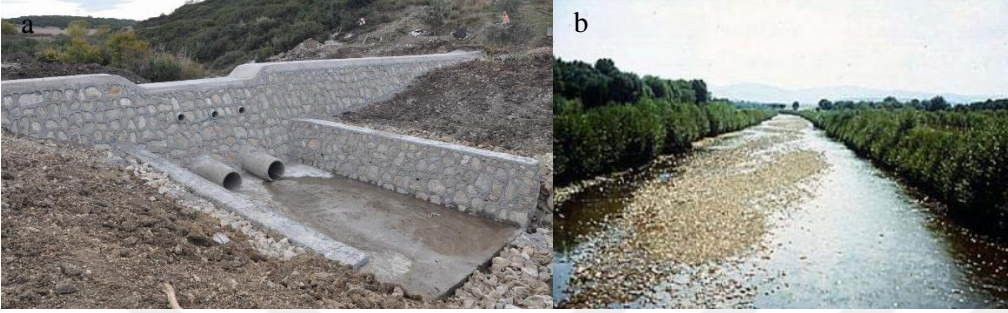
Günümüzde değişen iklim koşulları küresel sorunların başında yer almaktadır. İklim değişikliği beklenmeyen şiddetli yağışları ve uzun süreli kar erimelerini meydana getirerek akarsulardaki su miktarını aşırı derecede arttırmaktadır. Akarsularda bu sebeplerden dolayı normalin üstüne çıkan su miktarı heyelan, çığ, sel, erozyon gibi doğal afetlere sebep olmaktadır. Bu doğal afetler her sene önemli can ve mal kayıplarına neden olmakta, yerleşim yerlerinde büyük miktarda hasar oluşturmaktadır. Doğal afetleri önlemek tamamen mümkün olmamakla birlikte olumsuz etkilerini en aza indirmek su mühendisliği açısından büyük bir önem teşkil etmektedir.

Yukarıda bahsedilen doğal afetlerden biri olan erozyon önüne geçilmesi gereken önemli sorunlardan biridir. Erozyon yani aşınım; toprağın akarsular, sel suları, rüzgâr ve yağış gibi dış etkenler ile aşındırılıp taşınması, sürüklenmesi ve biriktirilmesi olayına denir. Dünyada birçok coğrafyanın karşı karşıya olduğu erozyon tehlikesi yüksek miktarlarda toprağın yer değiştirmesine yol açmaktadır. Akarsulardaki kıyı ve taban erozyonunun önüne geçmek için çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu önlemlerden biri de akarsularda inşa edilen akarsu düzenleme yapılarıdır.

Akarsu düzenleme yapıları çeşitli amaçlarla yapılır. Bunlardan bazıları; akarsu yatağındaki kıyı erozyonunu ve taban oyulmalarını önlemek, taşkın zararlarını önlemek veya azaltmak, suyun enerjisinden yararlanmak, yeni tarım alanları kazanmak, sulama ve drenaj şartlarını düzeltmek, akarsu ulaşımına imkân vermek, su yapılarının emniyetini sağlamak, akarsuyun kendi kendisini temizlemesine yardımcı olmak ve akarsuyun doğa ile uyumunu sağlamak olarak sıralanabilir (Aküzüm ve Öztürk 1996).

Akarsu düzenleme yapıları akım yönüne göre enine yapılar ve boyuna yapılar olmak üzere iki grupta incelenebilir. Boyuna yapılar; akarsuyun yatak direncini arttırarak erozyonu önlerler. Çok kullanılan boyuna yapılar, kıyı duvarları, bitkisel, taş ve beton kaplamalar, toprak sedde vb. dir. Enine yapılar ise; akış eksenine dik olarak inşa edilen tersip bendi, taban kuşağı, eşik, bağlama gibi yapılardır (Şekil 1.1) Tersip bentleri havzadan kaynaklanan tortu maddeleri kontrol edilemediği durumlarda tortu maddelerini biriktirmek için inşa edilirler. Taban kuşakları ise

geniş tabanlı doğal yataklar içinde malzeme hareketinin durmadığı ve mansaba intikalinin devam ettiği durumlarda, akarsularda belirli bir denge eğimi oluşturarak, hareket eden malzemeyi durdurmak için inşa edilirler (Dinçsoy, 2013). Daraltma yapısı olarak akış eksenine farklı açılarla yerleştirilen mahmuzlar da enine yapılara örnek gösterilebilir.



Şekil 1.1. a) Tersip Bendi (Değirmendere İzmir) b) Bitkisel kaplama (Afyon)

Mahmuzlar akışı akarsu veya deniz kıyısından uzaklaştırarak kıyıyı erozyondan korumak, kıyıdaki katı madde birikimini kontrol etmek için kullanılan hidrolik yapılardır. Mahmuzlar, deniz kıyı koruma yapıları olarak bilinse de akarsularda da akışa dik veya belirli açılarla yerleştirilerek akışı yönlendirip kıyı erozyonunu önlerler. Mahmuz alanını biçimlendirmek için tek bir mahmuz ya da bir dizi mahmuz nehrin bir ya da iki tarafına yerleştirilebilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Çift yönlü ve tek yönlü mahmuz uygulamaları a) Odra Nehri (Polonya) b) Missisipi nehri (ABD)

Mahmuz inşasının amaçları şöyle sıralanabilir; akarsudaki akış hızını arttırarak akarsu ulaşımını sağlamak ve sediment taşınımının etkinliğini arttırmak, büyük debilerdeki sel akışının geçişine imkan vererek su baskınlarını önlemek, nehirlerdeki kıyı oyulmalarını minimize etmek ve balıkların doğal ortamını iyileştirmek (Shields et.al., 1995).

Mahmuzların etkin olarak kullanılması için mahmuzun akış içindeki davranışının ve akışa etkisinin incelenmesi gerekir. Mahmuzlar kıyıyı erozyondan korurken ve akışı yönlendirirken, her akarsu yapısı gibi akışa karşı belli bir direnç oluşturur ve akış çizgilerinin bozulmasına neden olurlar. Bozulan akış çizgileri mahmuzun etrafında türbülans oluşturarak mahmuzun etrafında yer alan sedimentleri harekete geçirebilir ve mahmuz çevresinde oyulmaya neden olabilir. Oyulma miktarını önceden belirleyebilmek mahmuz güvenli ve ekonomik dizayn edebilmek için önemlidir.

Oyulma sürecini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin her biri teker teker incelebileceği gibi, iki veya daha fazla faktör ve bunların birbiriyle etkileşimi göz önünde bulundurularak daha detaylı bir inceleme yapılabilir. Oyulma sürecinde göz önünde bulundurulması gereken faktörler, mahmuz açısı, batıklığı, şekli ve boyutu, tek veya dizi halinde bulunması, uzunluğu, sediment medyan dane çapı ve akış şartları olarak sıralanabilir. Bu faktörlerden her birine ilerleyen bölümlerde detaylıca yer verilecektir. Bu faktörlerle deneysel çalışmalar yapılarak optimum mahmuz şartları elde edilir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın temel amacı açık kanallarda kullanılan enine düzenleme yapılarından mahmuzların akım şartları ile etkileşiminin incelenmesidir. Durumun detaylı olarak deneylerle irdelenmesi için öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu taramada günümüzde kullanılan gerek malzeme gerekse uygulama şartları dikkate alınarak deney programı belirlenmiştir. Deneysel çalışmada ölçülecek veya kontrol edilecek değişkenler olarak, taban malzemesi, akış şartları ve mahmuz şartları üç farklı grup değişken olarak ele alınmıştır. Deneysel bulgular literatür sonuçları ile karşılaştırılarak tutarlılıklarının kontrol edilmesinin ardından akış şartları- mahmuz fizikselliği için çoklu doğrusal olmayan bir regresyon modeli geliştirilmiş ve test edilmiştir. Test sonuçları modelin başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Laboratuvar koşullarında düz bir açık kanaldaki tek, batık olmayan mahmuzun etrafındaki oyulmayı ve akışı incelemek için deneyler yürütülmüştür. Deneylerde taban malzemesi gradasyonunun, taban hareketine, oyulmaya ve akış şartlarına etkisini gözlemleyebilmek için üniform ve üniform olmayan iki farklı taban malzemesi kullanılmıştır. Mahmuzun uzunluğunun ve açısının etkisini belirlemek amacıyla farklı uzunluk ve açılarda mahmuzlar kullanılmıştır. Kabarma etkisini incelemek amacıyla deneyler esnasınca mahmuzun önünde ve arkasında farklı uzaklıklarda su derinliği ölçümleri yapılmıştır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Akarsularda katı madde hareketi

Akarsularda çakıl, kum, silt, kil gibi katı tanelerden oluşan bir yatak üzerindeki akım, yataktaki taneleri harekete geçirebilir. Sökülüp taşınan katı taban malzemesi (sediment) miktarı, akım ve taban malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Sıvı ve katı fazdan oluşan bu hareketin incelenmesi oldukça karmaşıktır. Aşağıda verilen literatür bilgileri ile bu karmaşık mekanizma açıklanmaya çalışılmıştır.

Hareketli bir yatak üzerindeki akımı ve sediment taşınımını incelerken; akışkan, akım ve sınır şartlarına ek olarak sediment özelliklerini de göz önüne almak gerekir. Üniform akım halinde sediment hareketini etkileyen başlıca karakteristik değişkenler; akışkanın özellikleri olan kinematik viskozite ve özgül kütle, sediment özellikleri olan dane çapı, dane özgül kütlesi ve geometrik standart sapma, akımın özellikleri olan yatak kayma gerilmesi ve akım derinliği ve son olarak yerçekimi ivmesidir. Bir akarsuda akım ve sediment taşınımı ile ilgili olup yukarıda sıralanmayan bütün büyüklükler bağımlı değişkenler olarak alınıp, yukarıdaki bağımsız değişkenlerin fonksiyonları olarak ifade edilebilir (Bayazit, 1971). Burada geometrik standart sapma (σ_g) malzemenin üniform olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Literatürde geometrik standart sapma için en çok kullanılan Denklem 2.1'dir ve bu ifade 1.4 ten küçük olduğunda sediment üniform sediment olarak adlandırılır. Standart sapma değeri 1.4'ten büyük olduğunda sediment üniform olmayan sediment olarak kabul edilir.

$$\sigma_g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} \quad (2.1)$$

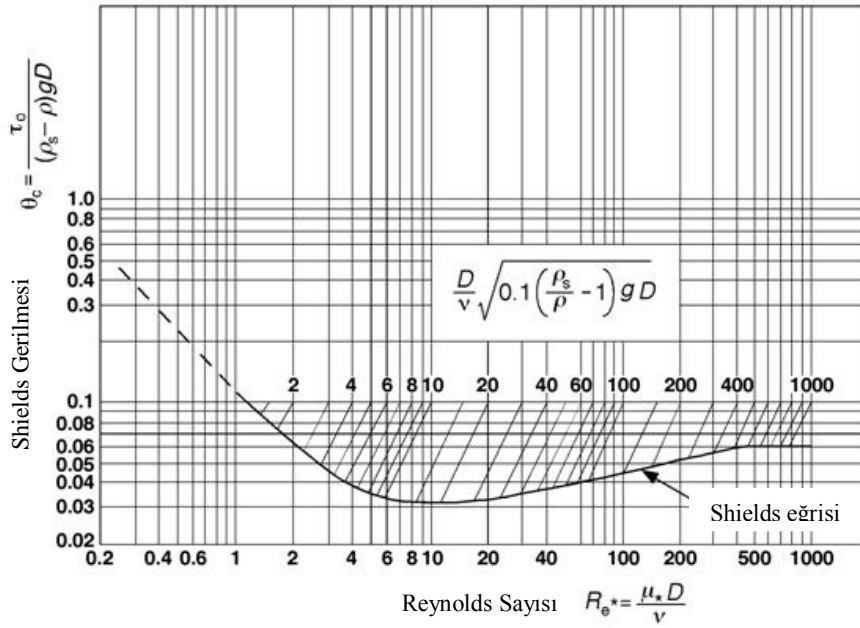
$$\sigma_g = \frac{d_{84}}{d_{50}} = \frac{d_{50}}{d_{16}} \quad (2.2)$$

$$\sigma_g = \frac{1}{2} \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right) \quad (2.3)$$

Melville and Sutherland (1988), geometrik standart sapma için Denklem 2.2'yi önermişlerdir. Ayrıca Özbek (2009), geometrik standart sapmayı Denklem 2.3 ile önermiştir. Bu ifadelerin hepsi yaklaşık olarak aynı sonuçlar vermektedir.

2.1.1. Hareketi Başlatan Kritik Hız

Kritik hız; sediment danelerinin harekete geçmesi için gerekli eşik değerdir ve literatürde birçok araştırmacı tarafından formüle edilmiş ve grafiklendirilmiştir. Shields (1936); makalesinde kohezyonsuz ve üniform taban malzemeleri ile yürüttüğü deneysel çalışmalar neticesinde elde ettiği sonuçlara yer vermiştir. Bu makalede sunulan ve daha sonra yürütülen birçok çalışmada da kullanılan Shields diyagramı yer almaktadır. Bu diyagramda parçacıkların harekete geçmesi için gerekli eşik değerler verilmiştir. Literatürde sık karşılaşılan bu değer Shields parametresi olarak adlandırılır. Shields diyagramında Shields eğrisinin üstünde kalan alan tabanda hareket olduğunu yani akış hızının kritik hızdan büyük olduğunu, altında kalan alan tabanda hareket olmadığını yani akış hızının kritik hızdan küçük olduğunu, eğrinin kendisi ise akış hızının kritik hıza eşit olduğunu ifade etmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Shields diyagramı (Shields, 1936)

Melville and Coleman (2000), Shields diyagramından faydalanarak üniform ve üniform olmayan sedimentler için kritik kayma hızı denklemlerini önermişlerdir.

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} \quad ; \quad 0.1 \text{ mm} < d_{50} < 1 \text{ mm} \quad (2.4)$$

$$u_{*c} = 0.0305 d_{50}^{0.5} - 0.0065 d_{50}^{-1} \quad ; \quad 1 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm} \quad (2.5)$$

Burada u_{*c} ; kritik kayma hızı, u_c ; kritik hız d_{50} medyan dane çapı, y ; ortalama su derinliğidir. Denklem 2.4 ve 2.5'de u_{*c} m/s, d_{50} mm mertebesinde alınmalıdır. Kritik kayma hızının (u_{*c}), kritik hız (u_c) ile olan ilişkisi Denklem 2.6 ile ifade edilmiştir.

$$\frac{u_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \quad (2.6)$$

Üniform olmayan sedimentler için eşik değeri belirlemek daha karmaşıktır. Dane büyüklük dağılımı tabanda hareketi başlamasında etkili olan önemli bir parametredir. Kritik hız, hem medyan dane çapına hem de geometrik standart sapmaya bağlıdır. Üniform olmayan sedimentlerde akış bazı daneleri hareket ettirebilirken diğerlerini ettiremez ve zırhlanma oluşur (Melville and Sutherland, 1988). Chin (1985-1992) üniform dağılıma sahip olmayan sedimentler için d_{50a} parametresini önermiştir.

$$d_{\max} = \sigma_g^m d_{50} \quad (2.7)$$

$$d_{50a} = d_{\max} / 1.8 \quad (2.8)$$

Burada m maksimum dane çapına bağlı bir katsayıdır ve Çizelge 1.1' de m katsayıları verilmiştir. d_{\max} ; maksimum dane çapıdır ve Denklem 2.7 ile elde edilir. Denklem 2.8'den d_{50a} hesaplandıktan sonra 2.4. 2.5 ve 2.6 bağıntılarında d_{50} yerine d_{50a} yazılarak üniform olmayan sediment için kritik kayma hızı (u_{*ca}) ve kritik akış hızı (u_{ca}) hesaplanır. Zırhlanma pikindeki akış hızı (u_a) kritik akış hızınının 0.8 katı alınır. Üniform olmayan sedimentlerde u_a temiz su koşullarından hareketli taban koşullarına geçiş için eşik değer olarak kabul edilmiştir (Melville and Sutherland, 1988).

Çizelge 1.1. m değerleri

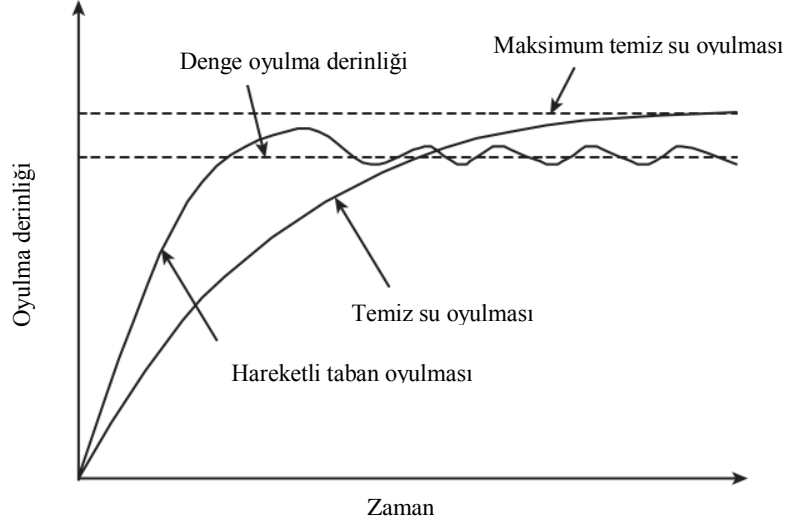
Tahmini d_{\max}	m
d_{90}	1.28
d_{95}	1.65
d_{98}	2.06
d_{99}	2.34

2.1.2. Taban Malzemesinin Taşınım Durumuna göre Oyulma Çeşitleri

Taban malzemesi hareket halinde olan bir akarsu üzerine yapılan herhangi bir su yapısı (mahmuz, köprü ayağı, baraj, tersip bendi vb.) akım kesitini daraltarak akımı hızlandırır ve akarsu tabanında oyulmaya neden olur. Akarsulardaki bu oyulma mabdan sürüntü yükü taşınıp taşınmamasına bağı olarak hareketli taban oyulması ve temiz su oyulması olmak üzere iki farklı başlıkta incelenebilir. Tabanda hareketin başlaması için akış hızının belli bir kritik hızı geçmesi gerekir. Akış hızının kritik hızdan küçük olduğu durumlarda temiz su oyulması, akış hızının kritik hızdan büyük olduğu durumlarda tabanda hareketli taban oyulması meydana gelir (Bayazıt, 1971).

Temiz su oyulmasında, akım koşulları tabanda kritik kayma gerilmelerini aşmayan gerilmeler meydana getirir. Sediment hareketi başlamamıştır. Ancak engel etrafında oluşan çevrintilerden dolayı engel etrafında oyulmalar başlayabilir. Temiz su oyulmasının oluşabilmesi için akım hızının, kritik hızın yaklaşık olarak yarısı olması gerekir. Hareketli taban oyulmasında, taban kayma gerilmesi kritik kayma gerilmesini aşar. Bu tip oyulmada oyulma derinliği, çok kısa bir sürede pik değerine ulaşır daha sonra akımın değışken yapısına uygun olarak salınımlı bir hareket gösterir. Temiz su oyulmasında ise oyulmanın yüksek bir miktarı kısa sürede oluşur; daha sonra uzun zamanda az miktarlarda bir artış görülür (Richardson and Davis, 2001).

Raudkivi and Ettema (1983), yaptıkları deneysel çalışmada köprü ayakları etrafındaki hareketli taban oyulması, temiz su oyulması ve denge oyulma derinliklerini gösteren aşağıdaki grafiğı elde etmişlerdir (Şekil 2.2). Şekilden de görüldüğü üzere hareketli taban oyulmasında oyulma derinliği kısa zamanda maksimum derinliğe ulaşmakta ve daha sonra çalkantılı bir hareketle denge oyulma derinliğine ulaşmaktadır. Hareketli taban oyulmasında salınımlar asimptotik bir özellik gösterir ve denge koşullarına ulaşmak uzun zaman alır. Temiz su oyulmasında maksimum oyulma derinliğine ulaşmak hareketli taban oyulmasından daha uzun sürerken denge oyulma derinliğine daha kısa sürede ulaşılır.



Şekil 2.2. Temiz su oyulması ve hareketli taban oyulmasının zamana bağlı değişimi (Raudkivi and Ettema, 1983)

Hareketli taban oyulması durumunda membada oluşan direnç, taban şekilleri nedeniyle zamanla değişim gösterdiğinden, oyulma çukurundaki katı madde taşınımının miktarı membada oluşan ilave kayma gerilmesine bağlıdır. Hareketli taban durumunda, oyulma derinliği kısa sürede maksimum değerine ulaşır. Daha sonra membada değişen taban direnç seviyesine göre katı madde debisinde artma ve azalma olacağından oyulma çukuru birbirini izleyen oyulma ve yığılma olaylarına maruz kalmaktadır. Bu nedenle hareketli taban oyulması durumunda maksimum oyulma derinliğinden sonra artan ve azalan salınımlar görülmektedir. Oyulma derinliği zamanla artarak dengeli bir derinliğe (d_{se}) ulaşır (Yanmaz, 2002).

2.1.3. Akım Şiddeti

Akım şiddeti kayma hızının kritik kayma hızına oranına (u_* / u_{*c}) veya ortalama hızın kritik ortalama hıza oranına denir (u / u_c). Akım şiddeti 1 den büyük olduğu zaman eşik değer geçilmiş olur, hareketli taban oyulması başlar ve bu değerden sonra hızın oyulma üzerinde etkisi yoktur. Yani hız veya akış şiddeti artsa da oyulma derinliğinin bu artıştan etkilenmez (Şekil 2.3).

köprü kesitlerinde ve mahmuzların kesiti daralttığı kısımlarda kritik bir rol oynar (Yıldırım ve Yanmaz, 2014).

Yerel oyulma ise akım alanındaki insan eliyle yapılmış yapıların etrafında oluşan çevrintiler nedeniyle meydana gelir. Yerel oyulma mahmuz, köprü orta ayağı ya da köprü kenar ayağı gibi yapılar etrafında oluşan akımın neden olduğu türbülans ve girdaplardan kaynaklanabilir. Yerel oyulmalarla ilgili çalışmalar daha çok köprü ayakları üzerinde yoğunlaşmıştır. Mahmuzların çevresindeki çalışmalar ise genellikle düşey ve ince plak şeklindeki mahmuzlarla yapılmıştır. Bununla birlikte köprü kenar ayakları da mahmuz gibi davranan yapılar olarak değerlendirilmeye alınmıştır (Özbek, 2009).

2.2. Mahmuzlar

Mahmuz, akarsu yatağını daraltmak için kıyıdan, yeni düzenleme çizgisine kadar inşa edilen düzenleme yapılarıdır. Mahmuzlar eğimi az olan geniş yataklı akarsularda özellikle mansap bölgesinde etkili olmakta ve çok iyi sonuçlar vermektedir. Dağlık bölge akarsuları için uygun bir düzenleme yapısı değildir. Mahmuz alanını biçimlendirmek için tek bir mahmuz ya da bir dizi mahmuz nehrin bir ya da iki tarafına yerleştirilebilir. Şekil 2.4 ' te çift taraflı mahmuz uygulaması gösterilmiştir.



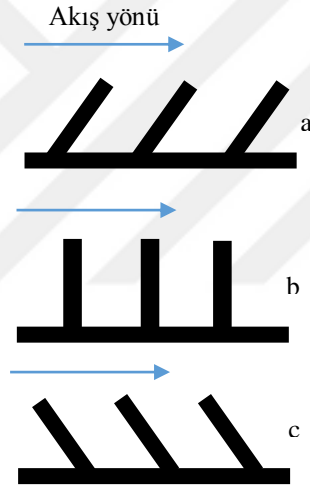
Şekil 2.4. Çift taraflı mahmuz uygulaması (Missouri Nehri, ABD)

Mahmuzun kıyıya bağlandığı kısma mahmuz kökü, akımın içindeki uç kısmına mahmuz başı, memba tarafına mahmuz önü, mansap tarafına arka yüz ve

iki mahmuz arasında kalan su yüzeyine mahmuz alanı denir. Mahmuz tepe yüksekliği genellikle ortalama su seviyesinde, bazı durumlarda ise minimum su seviyesinde seçilir. Yüksek su seviyelerinde mahmuz üzerinden su aşacağından şevlerin, mahmuz tepesinin ve başının anroşman, taş kafesler vb. ile iyi bir şekilde korunması gerekir (Aküzüm ve Öztürk 1996).

Mahmuzlar, eksenlerinin akış yönü ile yaptığı açığa göre 3 grupta incelenirler (Şekil 2.5);

- a) Mansaba yönelik mahmuzlar,
- b) Dik mahmuzlar,
- c) Membaya yönelik mahmuzlar.

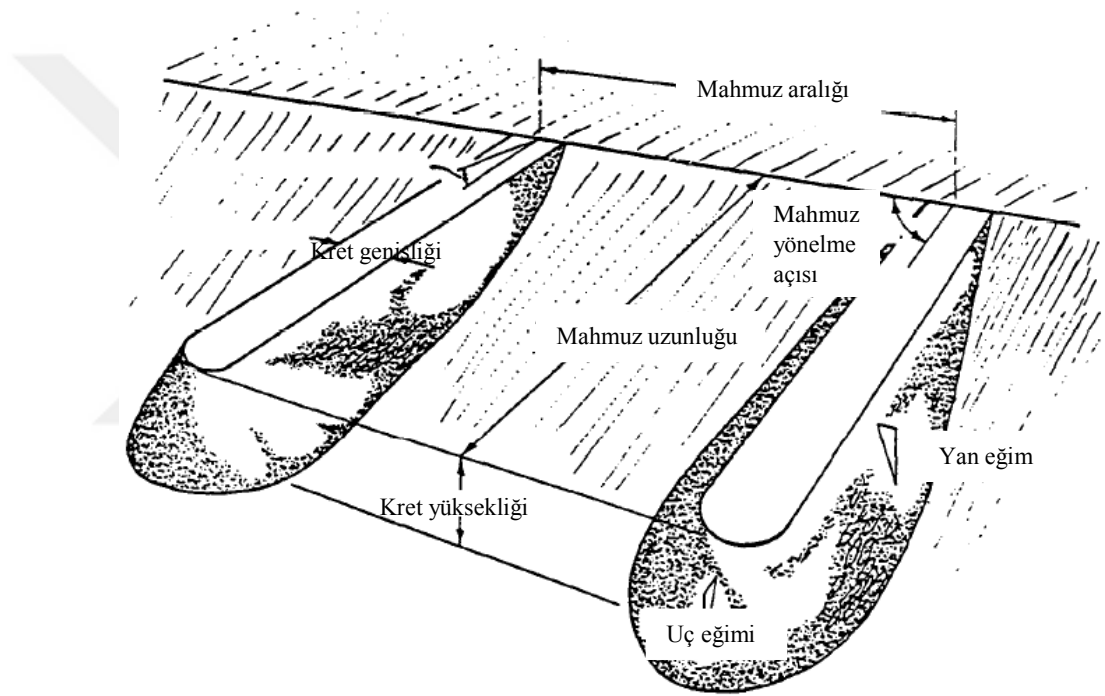


Şekil 2.5. Mahmuz çeşitleri

Mansaba yönelik mahmuzlarda, mahmuz alanında birikmeler daha az ve mahmuz köklerindeki taban aşınması daha fazladır. Akım yönüne dik eksene sahip olan normal mahmuzda katı maddeler mahmuz alanının ortasında toplanır. Mahmuz başlarında az miktarda oyulma görülür. Membaya yönelik mahmuzda, mahmuz alanlarında katı materyal birikimi fazladır. Mahmuz başlarında büyük oyulmalar olur. Gel- git hareketi olmayan akarsularda bu tip mahmuzlar tercih edilir (Aküzüm ve Öztürk, 1996).

2.2.1. Mahmuz Dizayn Parametreleri

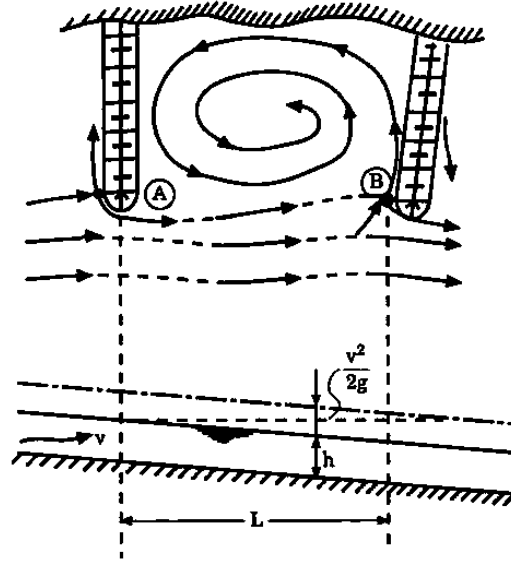
Mahmuzların dizaynında kullanılan önemli parametreler, mahmuzun plandaki şekli, yüksekliği, profili, uzunluğu, mahmuzlar arası mesafe, mahmuz aksının akış çizgileriyle yaptığı açı, mahmuzun yan ve ön eğimi, mahmuzun materyali, mahmuzun kesit alanı ve oyulma derinliğidir (Franco, 1967; Richardson et. al., 1975; Brown, 1984; Yossef , 2002). Şekil 2.6’ da mahmuz dizayn parametreleri gösterilmektedir. Bu parametrelerden daha ön planda sayılabilecek mahmuzlar arası mesafe, mahmuz şekli, mahmuz açısı ve oyulma derinliği hakkında aşağıdaki bilgiler verilebilir.



Şekil 2.6. Mahmuz yapımındaki önemli dizayn parametreleri (USACE, 1980)

Mahmuzların etkili olabilmesi için ara mesafelerinin tespitine önem verilmesi gerekir. Bir mahmuz alanında suyun çevrinti hareketi ile mahmuz alanı içinde akabilmesi için, mansap tarafındaki mahmuzun B noktasındaki enerji çizgisinin memba tarafındaki mahmuzun A noktasındaki su seviyesi kotundan daha yüksek olması gerekir (Şekil 2.7). Bu ise mahmuzlar arasındaki hidrolik yük kayıplarının hız yükünden ($V^2/2g$) küçük olması ile mümkündür. Mahmuz ara mesafeleri ile su derinliği arasındaki ilişki $L < 60 h$ olmalıdır (Aküzüm ve Öztürk, 1996).

Mahmuzlar arasındaki mesafe her zaman mahmuz uzunluğunun bir fonksiyonu olmalıdır. Taşkın koruma amacı için mahmuzlar arasındaki önerilen aralık tasarım mahmuz uzunluğunun 1.5-2 katı olmalıdır. Mahmuz uzunluğunun 2 ile 6 katına kadar olan daha büyük mahmuz aralıkları kıyı koruması için kullanılabilir (Azinfar, 2010).



Şekil 2.7. Mahmuz aralıkları (Aküzüm ve Öztürk, 1996)

En yaygın kullanılan ve maliyeti en düşük olan mahmuzun plan görünüşü düz bir hat şeklindedir. Diğer mahmuzlar L şeklinde, T şeklinde ya da J şeklinde olanlardır. Kıyının erozyondan korunması için mahmuzun kret uzunluğu kıyıdan yüksek olmalıdır. Alvarez'e (1989) göre düz nehirlerde mahmuz uzunluğu su derinliği ile kanal uzunluğunun dörtte biri arasında olmalıdır.

Mahmuzun akımla olan açısının da mahmuz dizaynında önemli bir etkisi vardır. Mahmuzun açısı genellikle mansaptan mahmuza doğru ölçülür. Mahmuz açısı genelde 30° ve 120° arasında değişir. Mahmuz aksının membaya ya da mansaba doğru olması arasında kayda değer bir fark vardır. Mansap tarafına doğru olan mahmuzlar ulaşım amaçları için daha uygundur. Bu tip mahmuzlarda türbülans ve mahmuz ucundaki oyulma derinliği daha düşük değerler alır. Fakat kıyı oyulmasına memba tarafına doğru olan mahmuzlardan daha eğilimlidirler. Ayrıca mahmuzun ucu mansaba yaklaştıkça oyulma çukuru mahmuzdan uzaklaşır. Membaya tarafına doğru olan mahmuzlar kıyı koruması için daha uygundur. Bu tür mahmuzlarda, mahmuzun arkasında sediment birikimi daha çok görülür böylece kıyıda ve mahmuzun memba yüzünde daha az korumaya ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda daha uzun ve stabil kıyı koruması sağlarlar. Bu gerekçe ile genellikle en

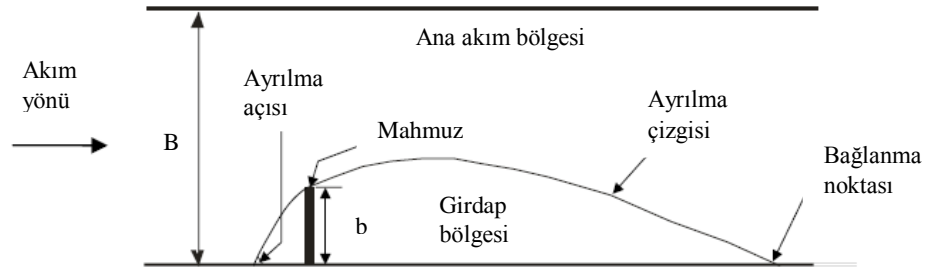
ekonomik seçim olan, akım çizgilerine dik mahmuz çeşidi önerilir (Usace 1980; Copeland, 1983).

Mahmuz ucundaki oyulma derinliği tahmini de dizayn kriterleri arasında en önemlilerdendir. Mahmuz çevresindeki oyulma derinliği, yatak malzemesinin gradasyonuna da bağlıdır. Mahmuz dibindeki toplam oyulma, daralma oyulması ve yerel oyulmanın toplamına eşittir (Richardson and Simons, 1984).

2.2.2 Mahmuz Çevresindeki Akımlar

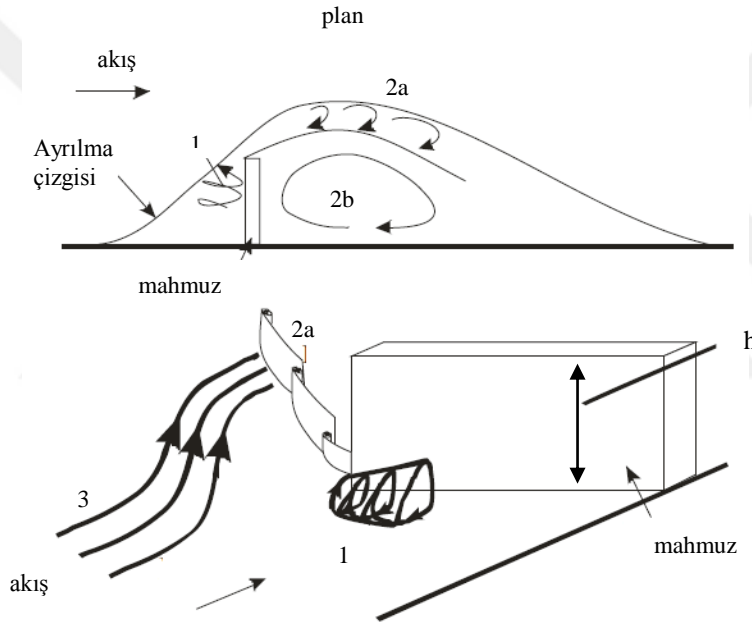
Mahmuz çevresindeki 3 boyutlu türbülanslı akım, mahmuz çevresinde girdap oluşumları nedeniyle oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşık yapı, mahmuz etrafında oyulmanın oluşmasıyla daha da karmaşık bir hal alır. Mahmuzlar ve köprü ayakları üzerine yapılan birçok araştırmadan yola çıkarak, mahmuz etrafındaki akımlar, akım bölgeleri ve oyulma şekilleri farklı kaynaklardan alınan bilgilere göre göre aşağıda derlenmiştir.

Tek ve batık olmayan mahmuz varlığında, akış modeli, ana akım bölgesi, girdap bölgesi, ayrılma çizgisi (kesme çizgisi) ve bağlanma noktası olmak üzere 4 ana kısımda incelenebilir (Şekil 2.8). Ana akım bölgesi, mahmuz ucu ve karşı kanal duvarı arasında yer alır. Bu bölgede, hız mahmuz uzunluğu arttıkça artar. Ana akım bölgesinde hızın artmasıyla kanalda oyulmalar gözlenir. Girdap bölgesi, mahmuzun mansap tarafında, ayrılma çizgisi ve kanal duvarı arasında yer alır. Ana akım bölgesi ve girdap bölgesi arasındaki hız farkı bu iki bölge arasında ayrılma (kesme) çizgisi oluşmasına sebep olur. Ayrılma çizgisinin kanal yan duvarıyla birleştiği nokta bağlanma noktası olarak adlandırılır. Girdap bölgesinin uzunluğu, mahmuz uzunluğunun yaklaşık olarak 12 katıdır (Rajaratnam and Nwachukwu, 1983; Azinfar, 2010).



Şekil 2.8. Plan üzerinde akım bölgeleri (Rajaratnam ve Nwachukwu, 1983), (Azinfar, 2010)

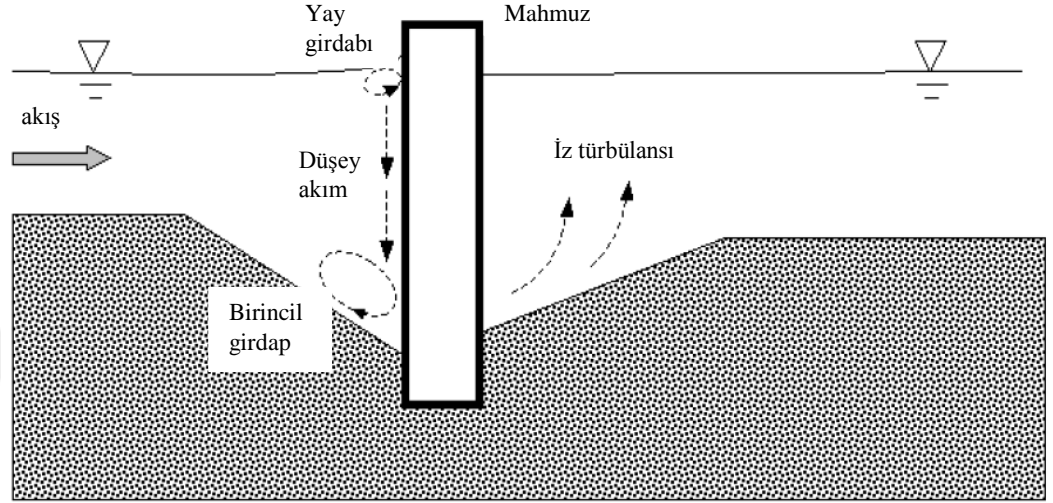
Miller vd., (2003) batık olmayan mahmuzun etrafındaki akışı simüle etmiştir. Dik duvarlı ve eğimli duvarlı olmak üzere iki çeşit mahmuz kullanmışlardır. Dik duvarlı mahmuzda, farklı akış yapıları gözlemlemişlerdir. Şekil 2.9'da 1 ile gösterilen mahmuzun önündeki atnalı girdabını, 2a ile gösterilen mahmuzun ucundan saçılan girdapları, 2b ile gösterilen mahmuzun mansabındaki girdap bölgesini, 3 ile gösterilen ise büzülmüş akış çizgilerini gösterir (Şekil 2.9). Bu girdaplar sistemi, sediment taşınım oranını arttırarak mahmuzun etrafında oyulmalara neden olurlar. Miller, ayrıca duvarları dik ve eğimli olan mahmuzlarda akış yapısının oldukça farklı olduğunu gözlemlemiştir. Duvarları eğimli mahmuzlarda, 1 ile gösterilen atnalı girdabı mahmuzun açılı duvarlarından dolayı daha küçüktür (Azinfar, 2010).



Şekil 2.9. Mahmuz etrafındaki üç boyutlu akış yapısı (Miller et al., 2003; Azinfar, 2010)

Zhang'a (2005) göre mahmuz etrafındaki akış alanı, yerel oyulmayı başlatan ve kontrol eden farklı boyutlardaki girdap sistemleriyle karakterize edilir. Akım mahmuza yaklaşınca, mahmuzun blokaj etkisinden dolayı iki ana kısma ayrılır. Akımın bir kısmı mahmuzun ucuna yaklaşarak ayrılırken, diğer kısmı direk olarak mahmuza çarpıp yavaşlayarak ve saparak aşağıya ve yukarıya doğru hareket eder (Şekil 2.10). Yukarıya yönelen akım yay girdabı olarak adlandırılan bir yüzey girdabı oluşturur. Serbest yüzeyin yanında su derinliği artar ve maksimum durgunluk basıncı oluşur. Basınç dikey hız bileşeni nedeniyle aşağıya doğru gidildikçe aniden düşer. Bunların sonucunda aşağıya giden düşey akım kanal yatağında jet etkisi yapar. Oyulma çukurunun oluşmasıyla at nalı girdabı olarak da

bilinen birincil girdap oluşur. At nalı girdabı mahmuzun mansap tarafına kadar uzanır ve belirli bir mesafeden sonra etkisini kaybeder. Mahmuzdan ayrılan akım ivmelenir ve yoğun bir girdap olan iz türbülansını oluşturur (Şekil 2.10). İz türbülansı dikeye yakın bir doğrultuda su yüzeyine doğru yönelir.

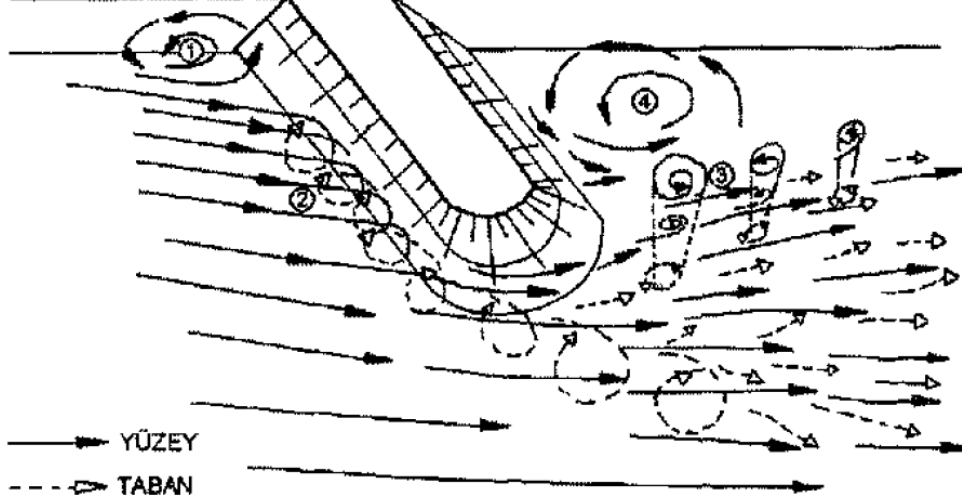


Şekil 2.10. Mahmuz etrafındaki akışın ve oyulmanın şematik olarak gösterilişi (Zhang 2005)

Mahmuzun batık olduğu durumlarda, mahmuzun üstünden aşan akımın mahmuz etrafında oluşan girdaplara önemli etkisi vardır. Birincil girdap, mahmuzun kenarından yukarıya doğru gider mahmuzu aştıktan sonra, mahmuzun arkasındaki iz bölgesine aşağıya doğru hızlıca giriş yapar. Ayrıca batık mahmuzlarda su derinliğinin mahmuz yüksekliğine oranı, oyulma çukuru geometrisi kontrolünde önemli yere sahiptir (Zhang, 2005).

Eroğlu vd. (2001)' ne göre mahmuzların çevresinde oluşan akımlar 4 farklı şekilde tanımlanabilir. Şekil 2.11' deki gibi şevli bir mahmuzda yüzeyden gelen akım çizgileri sıklaşarak mahmuz ucuna doğru yönelirler. Bu sırada akım çizgileri ile mahmuz memba yüzü ve kanal sevi arasında ölü bir bölge oluşur. 1 ile gösterilen bölgede düşey doğrultuda sağ el döngülü bir köşe girdabı görülür (Şekil 2.11). Mahmuz boyu, yerleşim açısı ve akım hızı bu bölgenin büyüklüğü ve girdabın şiddeti üzerinde etkilidir. Mahmuz ucuna doğru yönelen akım çizgileri ise, bir yandan sıklaşırken, bir yandan da mahmuz üstü kotlarından alt kotlarına doğru ikincil bir hareket yapar. Ana akım çizgilerininin mahmuz ucuna doğru olan hareketi bu ikincil akımı da mahmuz önüne doğru sürükler. Akımın bu davranışı yatay girdap olarak adlandırılan 2 ile gösterilen, şekil düzlemine paralel sol el döngülü

girdap oluşturur (Şekil 2.11). Yatay girdabın etkisi mahmuz ucuna, oradan da merkezkaç kuvveti etkisi ile akım içine doğru devam eder, ancak etkisi azalır. Mahmuz ucundan yatay girdabın etkisinin azaldığı bölgenin arası mahmuzun akım içine olan etki alanı olarak tariflenebilir.

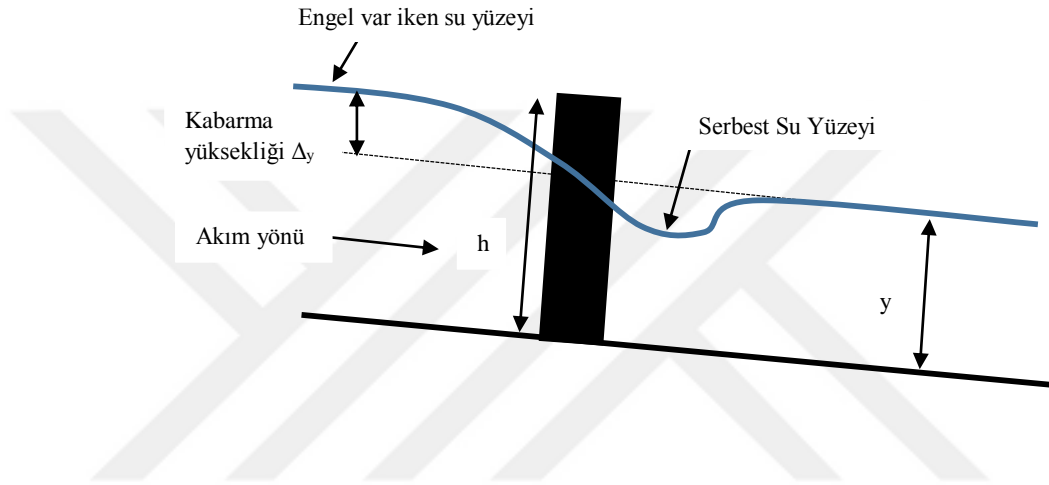


Şekil 2.11. Mahmuz çevresindeki akımlar Eroğlu vd. (2001)

Mahmuz ucuna doğru yönelen akımda mahmuz ucundan itibaren oluşan ayrılmanın etkisi ile düşey düzlemde sağ el döngüsü yapan ve literatürde, Von Karman girdabı olarak bilinen 3 ile gösterilen girdap oluşur (Şekil 2.11). Mahmuz çevresinde görülen maksimum oyulma üzerinde Von Karman girdabı oldukça etkilidir. Bu girdabın şiddeti akımın hızı ve mahmuzun akımı ne kadar rahatsız ettiğiyle bağlantılıdır. Gözlemler sırasında söz konusu girdabın periyodik olmayan aralarla şiddetlendiği ve güçlendiği, aynı zamanda da ana akımın etkisiyle mansaba doğru ötelendiği görülmüştür. Çok kısa bir süre bu özelliğini koruyan girdap, büyümenin de etkisiyle, yüzeyini genişletmekte, viskozite etkisi ile gücünü yitirmekte ve mansaba doğru etkisini kaybetmektedir. Mahmuzun etkisinden kurtulan akım iplikçikleri, tekrar açılmakta ve kanal genişliğince yayılarak, tekrar paralel duruma gelmekte ve ana yatak boyunca yoluna devam etmektedir. Mahmuzun hemen mansabında ise, düşey doğrultulu ve sağ el döngülü 4 ile gösterilen bir köşe girdabı gözlenir. Bu girdabın sınırları, mahmuz mansap yüzü, kanal şevi ve Von Karman girdabının sınırladığı bölgedir. Etki alanı büyük olmasına karşın şiddeti zayıf bir girdaptır. Membedaki akım şartlarından ve Von Karman girdabındaki en küçük değişikliklerden etkilenir (Eroğlu vd., 2001).

2.2.3 Mahmuzlarda Kabarma Etkisi

Açık kanallarda var olan herhangi bir engel, akışa karşı belli bir direnç kuvveti oluşturur. Nehir rejimindeki açık kanal akımlarında, engelin memba tarafındaki su yüksekliği, oluşan ekstra kuvveti dengelemek için yükselmelidir. Engelin memba tarafındaki yükselmiş su seviyesi kabarma etkisi olarak adlandırılır. Şekil 2.12’de batık olmayan bir mahmuzdan dolayı oluşan kabarma etkisi görülmektedir.



Şekil 2.12. Engelden kaynaklanan kabarma etkisi

Açık kanal akımlarında engel etkisi, direnç kuvveti ya da akıştaki enerji kaybı olarak ifade edilebilir. Bu temelde, kabarma etkisi problemi momentum ve enerji eşitliğini kullanarak analiz edilebilir. Nesnenin direnç kuvvetini incelemek için momentum eşitliğinden, nesnenin enerji kayıp katsayısını hesaplamak için enerji eşitliğinden faydalanılır.

Tek boyutlu lineer momentum eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilir.

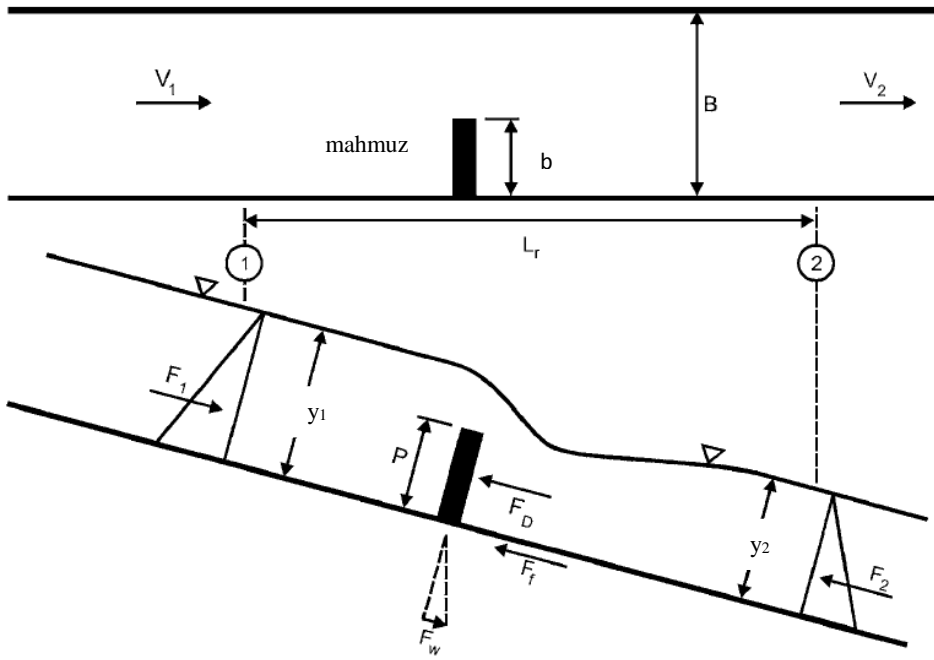
$$F_1 - F_2 - F_D - F_f - F_w = \rho Q (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) \quad (2.9)$$

Denklem 2.9 ‘da; F_1 ; mambadaki hidrostatik basınç, F_2 ; mansaptaki hidrostatik basınç, F_D ; engelden kaynaklanan direnç kuvveti, F_f ; yüzey sürtünmesinden kaynaklanan kuvvet, F_w ; kontrol hacmindeki akışkanın ağırlığının akım yönündeki bileşeni, ρ ; akışkanın yoğunluğu, Q ; debi, V_1 ve V_2 1. ve 2. kesitteki ortalama hız, β_1 ve β_2 ; momentum düzeltme katsayılarıdır. Momentum düzeltme katsayıları 1 kabul edilebilir (Azinfar and Kells, 2008).

Engel tarafından oluşturulan direnç kuvveti aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A_s V_{\text{ort}}^2 \quad (2.10)$$

Burada C_D ; direnç katsayısı, A_s ; mahmuzun kesit alanıdır. Kontrol hacminde etki eden kuvvetler Şekil 2.13’de gösterilmiştir. Bu iki eşitlikten yola çıkılarak engelden kaynaklanan enerji kaybı aşağıdaki denklem ile gösterilebilir.



Şekil 2.13. Kontrol hacmine etkiyen kuvvetler (Azinfar and Kells 2008)

Azinfar (2010), doktora tezinin bir bölümünde açık kanallardaki tek, 2 boyutlu mahmuzdan dolayı oluşan direnç kuvvetini ve akış direncini araştırmıştır. Farklı debilerle yapılan deneylerde batık ve batık olmayan akış koşullarında, akışa mahmuz tarafından etkiyen direnç kuvveti, özel dizayn edilmiş aparatla yapılan ölçümler ve mahmuzu içeren kontrol hacminde momentum eşitliğinin uygulanmasıyla belirlenmiştir. Sonuç olarak batık ve batık olmayan 90° mahmuzların direnç katsayısını bulmak için 2 adet eşitlik önermiştir.

$$C_D = 1.62 * (1 - A_r)^{-2.40} \left(\frac{h}{y}\right)^{-0.32} \left(\frac{y_1}{h}\right)^{-0.32} \quad (y < h) \text{ batık} \quad (2.11)$$

$$C_D = 2.02 * \left(1 - \frac{b}{B}\right)^{-3.83} \left(\frac{y_1}{b}\right)^{-0.40} \quad (y > h) \text{ batık olmayan} \quad (2.12)$$

Daralma alanı A_r ; mahmuzun yüzey alanının akış alanına oranıdır. Bu eşitlikler; açık kanal kesitindeki mahmuzdan dolayı meydana gelen blokajın, mahmuz direnç katsayısı artışından sorumlu ana parametre olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda debi arttıkça, batık olmayan mahmuzun birim alanına etkiyen direnç kuvvetinin batık mahmuza göre hızlı bir artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca Azinfar (2010) mahmuz açısının etkisini belirlemek için Denklem 2.13'ü önermiştir.

$$C_{d\alpha} = C_{d90} \frac{\sin \alpha}{(0.56 + 0.44 \sin \alpha)} \quad (2.13)$$

Azinfar and Kells (2008), çalışmasında açık kanallarda tek ve batık mahmuzun arkasında kabaran suyun tahmini için bir yöntem önermiştir. Genişliği 50 cm 80 cm ve 120 cm olan 3 farklı kanal kullanılmıştır. Mahmuz tarafından uygulanan ve direnç kuvvetini etkileyen birikmiş su ile ilgili momentum prensibi temel alınarak teorik analizler yapılmıştır. Mahmuzun direnç kuvvetini tahmini olarak geliştirmek için nehir rejiminde akışa sahip laboratuvar kanalları kullanılmıştır. Regresyon analizi ile, C_D direnç katsayısı ile daralma oranı A_r arasında, biri iki boyutlu biri üç boyutlu mahmuzlar için kullanılmak üzere iki adet bağıntı önerilmiştir.

$$C_D = 3.43(1 - A_r)^{-2.31} \quad (2 \text{ boyutlu mahmuz}) \quad (2.14)$$

$$C_D = 2.86(1 - A_r)^{-2.27} \quad (3 \text{ boyutlu mahmuz}) \quad (2.15)$$

Eşitlikler karşılaştırıldığında, eğimli duvarları olan 3 boyutlu mahmuzun direnç katsayısının, düz plaka halindeki 2 boyutlu mahmuzun direnç katsayısından %17 az olduğu görülmektedir.

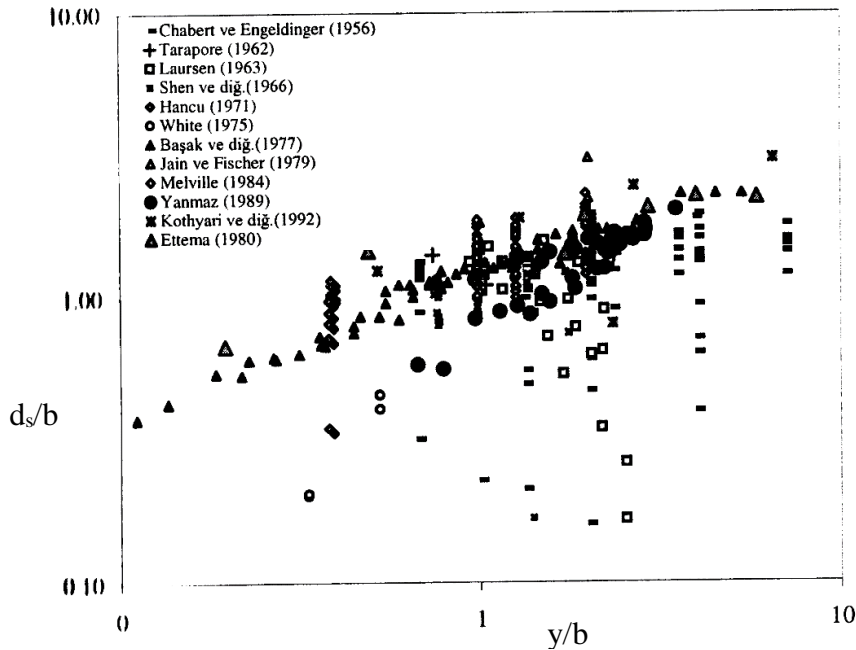
2.3. Oyulma Sürecine Etki Eden Parametreler

2.3.1 Akım Derinliği

Oyulma miktarının akım derinliğiyle olan ilişkisi, yüzey ve taban çevrintilerinin birbiriyle yaptığı girişime dayanmaktadır. Akım derinliği az ise yüzey ve taban çevrintileri birbiriyle girişim yaparak oyulmayı arttırmaktadır. Ancak akım derinliği arttıkça girişim de azaldığından oyulma derinliği akım derinliğinden bağımsız olmaktadır (Yanmaz, 2002).

Melville (1997), yaptığı çalışmalar sonucu engel genişliğinin akım derinliğine oranının 0.7'den küçük olduğu durumda ($b/y < 0.7$) oyulma derinliğinin yaklaşık akım derinliğinden bağımsız olduğunu ileri sürmüştür. Engel genişliğinin akım derinliğine oranının 3 ila 4 den büyük olduğu durumlarda ise ($b/y > 3-4$) oyulma derinliğinin engel genişliğinden bağımsız olduğu kabul görmektedir. (Nicollet and Shen, 1977; Ettema, 1980; Raudkivi, 1986).

Farklı araştırmacılar tarafından önerilen değişik akım koşullarındaki göreceli oyulma derinliğinin (d_s/b), göreceli akım derinliğine (y/b) göre değişimi Şekil 2.14'te verilmiştir. Şekil 2.14'te görüldüğü üzere ortalama göreceli oyulma derinliği yaklaşık olarak 1 mertebesindedir (Yanmaz, 2002)



Şekil 2.14. Göreceli oyulma derinliğinin göreceli yaklaşım akım derinliğiyle değişimi (Yanmaz, 2002)

2.3.2 Akım Hızı

Akım hızı ile oyulma derinliğiyle yakından ilişkili bir parametredir. Akım hızı arttıkça oyulma derinliği de artar. Oyulma derinliği akımın sel rejiminde veya nehir rejiminde olmasına bağlı olarak artar veya azalır. Fakat literatürde araştırmaların çoğu nehir rejiminde yapılmıştır (Richardson and Davis, 2001).

Temiz su oyulması koşullarında oyulma derinliği, tabanda hareketi başlatan ortalama hız kritik hız değerine ulaşana kadar artmaktadır. Hızın kritik hız değerine ulaştığı noktada ise oyulma değeri maksimum olmaktadır. Temiz su oyulması durumunda akımın gücünün tamamı oyulmaya harcanırken, hareketli taban oyulmasında toplam güç oyulma ve katı madde taşınım için harcanmaktadır. Dolayısıyla, hareketli taban durumunda maksimum oyulma derinliği kritik hız değerinde erişilen derinlikten daha azdır (Yanmaz, 2002).

2.3.3 Yatak malzemesi

Gradasyon, dane büyüklüğü, kohezyon gibi yatak malzemesi karakteristikleri yerel oyulmayı etkileyen başlıca etkenler arasındadır. Kum boyutunda sayılabilecek yatak malzemelerinin oyulma derinliğine etkisi ile kil ve silt gibi ince yatak malzemelerinin oyulma derinliğine etkisi arasında kayda değer bir fark yoktur. Fakat kohezyon maksimum oyulmaya ulaşma süresini etkiler. Kohezyonlu malzemede maksimum oyulmaya ulaşma süresi daha uzun olacaktır. Kohezyonsuz yatak malzemelerinde maksimum oyulmaya ulaşma süresi saatlerle ölçülebilir fakat kohezyonlu malzemede günler veya haftalar sürebilir. Yatak malzemesindeki kaba çakıl gibi çok büyük parçacıklar oyulma çukurunda zırhlanmaya sebep olabilir. Yapılan araştırmalar oyulma çukurunda meydana gelen bu zırhlanmanın oyulma derinliğinde azalmaya sebep olduğunu göstermiştir (Richardson and Davis, 2001).

Raudkivi and Ettema'ye (1983) göre taban malzemesinin geometrik standart sapması σ_g arttıkça zırhlanmanın etkisiyle oyulma derinliği önemli ölçüde azalmaktadır. Raudkivi 1986'da yaptığı çalışmaya göre, geometrik standart sapması 3.5 olan kumlu çakıllı bir akarsu tabanındaki yerel oyulma derinliği, taban malzemesi üniform olan bir akarsuda meydana gelen oyulma derinliğinin yalnızca %20'si kadardır.

2.3.4 Mahmuz uzunluğu (b)

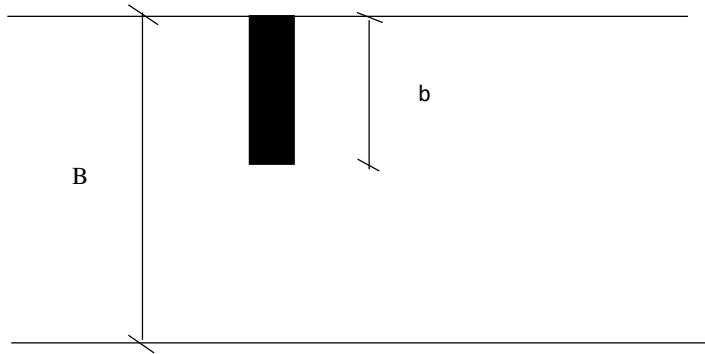
Mahmuz uzunluğu (b) mahmuzun akışa dik olan boyutu olup Şekil 2.15' te gösterilmiştir. Mahmuz uzunluğu, görelî mahmuz uzunluğu ve büzülme katsayısı olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

Görelî Mahmuz Uzunluğu (b/d_{50})

Görelî mahmuz uzunluğu; mahmuz uzunluğunun medyan dane çapına oranıdır ve boyutsuzdur. Görelî mahmuz uzunluğunun 50 den küçük olduğu değerler için taban malzemesi oldukça kaba olup, tabanda fazla pürüzlülük yapmakta ve mahmuzun memba tarafında oluşan düşey akım tabana gömülerek enerjisi olabildiğince sönmelenmektedir. Böylece taban erozyonu azalmaktadır. Görelî mahmuz uzunluğunun 50 den büyük ve eşit olduğu değerler için ise görelî oyulma derinliğinin (d_s/b) tane çapından etkilenmediği gözlenmiştir (Yanmaz, 2002).

Büzülme Katsayısı (b/B)

Büzülme veya daralma katsayısı mahmuzun akışa dik uzunluğunun kanal genişliğine oranı olarak tanımlanır (b/B).



Şekil.2.15. Kanal genişliği (B) ve mahmuz uzunluğu (b)

Melville and Coleman (2000) bir engelin varlığından dolayı oluşan kanal daralmasının dikkate değer olduğu durumlarda, daha küçük kanaldaki aynı köprü ayağı etrafında oluşan oyulmanın daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Breusers ve Raudkivi'ye (1991) göre büzülme katsayısı eğer %40'dan küçükse bu oranın yerel oyulma derinliğine çok büyük bir etkisi olmadığını belirtmiştir. Bu nedenle, daralma oyulması, oyulma problemlerinin birçoğunda, açıkça hesaba katılmadığı

durumlar da dahil olmak üzere (Melville 1997, Kothyari and Ranga Raju 2001, Oliveto and Hager 2002) ihmal edilmiştir. Farklı yaklaşımlarda ise (Garde et al. 1961, Gill 1972) büzülme katsayısı yerel oyulma sürecini etkileyen en temel parametreler olarak ele alınmıştır. Bunlar göz önüne alındığında, bir köprü ayağı veya mahmuzun etrafındaki oyulmanın tahmininin net olarak yapılması güçtür (Ballio et al. 2009).

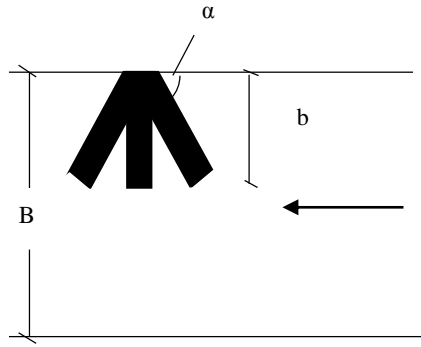
Ballio et al. (2009), kanaldaki daralma etkisini göz önünde bulundurarak farklı kanal genişliklerinde deneyler yapmış ve daralmanın oyulma derinliği üzerine etkisini incelemiştir. Temiz su koşullarında yapılan çalışmada akış hızı hep eşik değerde tutulmuş, sadece büzülme katsayısı değiştirilmiştir. Çalışmaya göre en belirgin oyulmalar büzülme katsayısı en yüksek olan deneylerde gözlemlenmiştir.

2.3.5 Zaman

Temiz su oyulması durumunda denge oyulma derinliğine ulaşma süresi oldukça uzundur. Bunun nedenleri, oyulma çukuru içindeki ortalama kayma gerilmesi, su ağırlık kuvveti etkisi ve türbülans gerilmelerinin birlikte bir denge yaratmasıdır. Raudkivi (1986), temiz su oyulması koşullarında denge oyulma derinliğine ulaşmak için yaklaşık 50 saatlik bir sürenin gerekli olduğunu belirtmiştir. Froude benzeşimi kullanıldığında 50 saatlik bir model süresinin prototipte 354 saate denk geldiği görülmektedir. Böyle bir sürenin oluşması fiziksel koşullar altında zordur. Bu yüzden köprü ayağı veya mahmuzun etrafında temiz su koşullarında oluşacak oyulma derinliğinin tayininde denge oyulma derinliği yerine daha makul bir tasarım süresinde ulaşılacak oyulma derinliğinin kullanılması daha gerçekçi olacaktır (Yanmaz, 2002).

2.3.6 Mahmuz Yönelme Açısı

Bu çalışmada mahmuz yönelme açısı mahmuzun memba tarafı 0° mansap tarafı 180° olacak şekilde ölçülmüştür. Açısı saat yönünde artmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Mahmuz yönelme açısı

Garde et al. (1961), yaptıkları deneysel çalışmada bütün diğer değişkenler sabit tutulduğunda, yönelme açısı 90° olan mahmuzlardaki maksimum oyulma derinliğinin en büyük değerine ulaştığını, memba veya mansap tarafına yönelik mahmuzlarda maksimum oyulma derinliğinin 90° yönelme açılı mahmuzlardan daha küçük olduğunu belirtmiştir.

Richardson and Davis, (2001) mahmuz mansaba yönelik olduğunda engelin etrafındaki oyulma miktarının azaldığını mahmuz membaya yönelik olduğunda engelin etrafındaki oyulma miktarının arttığını belirtmiştir. Ahmad (1953), 135° yönelme açılı mahmuzlardaki maksimum oyulma derinliğinin 90° açılı mahmuzlara göre yüzde 20 azaldığını, 45° yönelme açılı mahmuzlardaki maksimum oyulma derinliğinin ise 90° açılı mahmuzlara göre yüzde 10 arttığını belirtmiştir.

2.4. Literatürdeki Denge Oyulma Derinliği Bağlıları

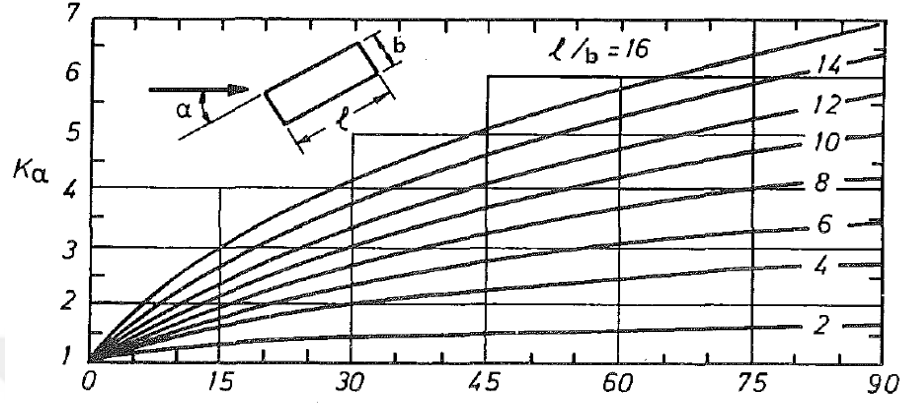
Hidrolik yapıların etrafındaki denge oyulma derinliğini belirlemek için literatürde birçok eşitlik önerilmiştir. Bunlardan bazılarına aşağıda değinilmiştir;

Melville and Sutherland, (1988) taban oyulma derinliğini belirlemek amacıyla, üniform ve üniform olmayan taban malzemeleri için temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması koşullarında kullanılabilecek bir bağıntı önermişlerdir.

$$\frac{d_s}{y} = K_I K_y K_d K_\sigma K_s K_\alpha \quad (2.16)$$

Burada K_I akım şiddeti faktörüdür. Üniform malzemeler için $K_I = 2.4 (V / V_{kr})$ eşitliğiyle ifade edilir. K_y derinlik faktörüdür ve $y/b > 2.6$ ise 1 alınır; $y/b < 2.6$ ise $K_y = 0.78 (y / b)^{0.255}$ eşitliğiyle hesaplanır. K_d tane boyutu faktörü; görelî mahmuz

uzunluğu $b/d_{50} > 25$ ise 1; $b / d_{50} < 25$ ise $K_d = 0.57 \log (2.24 b / d_{50})$ olarak alınır. K_σ dane gradasyon faktörü $b / d_{50} > 30$ olan durumlarda 1 alınır. K_s şekil faktörüdür. Dairesel kesitlerde 1. dikdörtgen biçimindeki kesitlerde 1.1 değerini alır. K_a açının etki faktörüdür. Değerleri Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. Açı etki faktörü K_a değerleri

Richardson and Davis, (2001) taban oyulma derinliğini belirlemek için hem temiz su koşullarında hem de hareketli taban koşullarında kullanılabilecek aşağıdaki eşitliği önermişleridir.

$$\frac{d_s}{y_1} = 2 K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{b}{y_1} \right)^{0.65} Fr_1^{0.43} \quad (2.17)$$

Burada, K_1 şekil faktörüdür 0.9 ve 1.1 arasında değerler alır. Dairesel veya ucu yuvarlanmış mahmuz veya köprü ayaklarında 1 alınır. Köşeli mahmuzlarda 1.1 alınır. K_2 akım ile mahmuzun doğrultusu arasındaki açının etki faktörüdür ve $K_2 = (\cos \alpha + (b/a) \sin \alpha)^{0.65}$ eşitliği ile hesaplanır. Burada a mahmuzun kalınlığıdır. K_3 taban düzeltme faktörüdür 1.1 ile 1.3 arasında değerler alır. Temiz su koşullarında 1.1 alınır. K_4 zırlanma etkisi faktörüdür. $d_{50} < 2$ mm ya da $d_{95} < 20$ mm olduğu durumlarda K_4 1 alınır. K_4 katsayısının alabileceği minimum değer 0.4'tür. y_1 ve Fr_1 sırasıyla memba tarafındaki su derinliğini ve Froude sayısını ifade etmektedir.

Melville (1992), yaptığı çalışmada, o zamana kadar mahmuzlar ve köprü kenar ayakları üzerinde yapılan çalışmaların derlemesini yaparak, köprü yan ayakları etrafındaki oyulmayı hesaplayabilmek için eşitlik önermiştir. Laboratuvar datalarını düzenleyerek yaptığı çalışmada köprü ayağının akışa dik olan

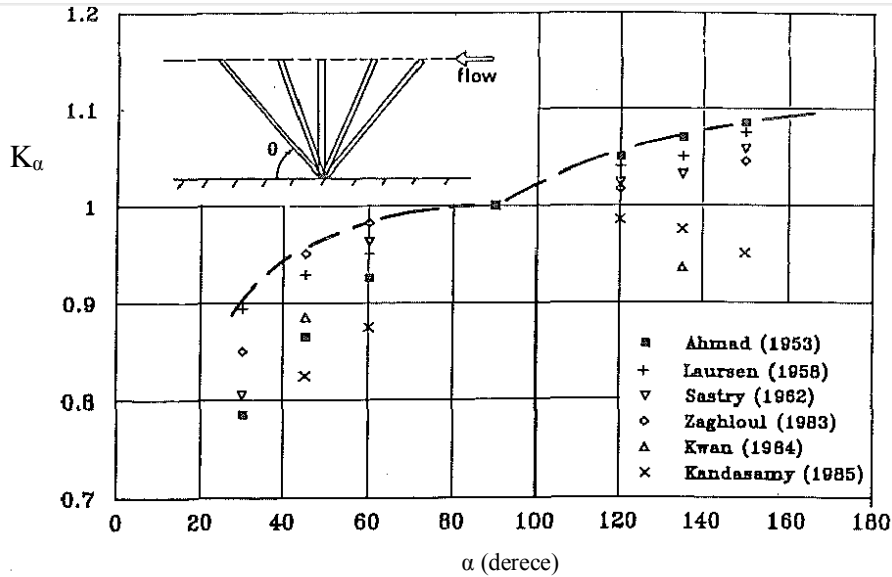
uzunluğunun (b) akış derinliğine (y) oranına göre üç farklı eşitlik önermiştir. Bunlar;

$$d_s = 2 K_s b \quad ; \quad b/y < 1 \quad (2.18)$$

$$d_s = 2 K_s * K_\alpha * (y b)^{0.5} \quad ; \quad 1 < b/y < 25 \quad (2.19)$$

$$d_s = 10 K_\alpha y \quad ; \quad b/y > 25 \quad (2.20)$$

Burada K_s engel şekline bağlı olarak değişirken K_α ise yerleşim açısına bağlı olarak değişmektedir. K_s katsayısı keskin köşeli düşey plakta 1 alınırken yuvarlak köşeli düşey plakta 0.75 olarak alınmaktadır. Yerleşim açısına bağlı K_α faktörünün değerleri Şekil 2.18. de gösterilmiştir.



Şekil.2.18. K_α faktörünün değerleri (Melville, 1992)

Ahmad (1953), yaptığı çalışmada ince taneli yatak malzemeleri için (0.1 mm-0.7 mm) lokal oyulmanın dane çapıyla değişmediği sonucuna varmıştır. Oyulma derinliğini belirlemek için hareketli taban ve temiz su koşulları için aşağıdaki eşitlikleri önermiştir.

$$y + d_s = K q_1^{2/3} \quad (2.21)$$

Burada q_1 mahmuzun hemen mansabındaki birim debidir. K katsayısı açığa, mahmuz şekline ve mahmuz konumuna bağlı sırasıyla, K_1 , K_2 ve K_3 değerlerinin toplamına eşittir. Düz açık kanallarda K_3 1 değerini alır. Dik duran mahmuzlarda K_2 1 değerini alır. Mahmuz yerleşim açısının değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Mahmuz yerleşim açısına göre K_1 değerleri (Ahmad, 1953)

α	30°	45°	60°	90°	120°	150°
K_1	0.8	0.9	0.95	1	1.05	1.1

Liu et al. (1961), yaptıkları çalışmada hareketli taban koşullarında ve nehir rejimindeki akımda oyulma derinliğini aşağıdaki eşitlikle önermişlerdir (Richardson et al., 1975).

$$\frac{d_s}{y} = 1.1 \frac{b^{0.4}}{y} Fr^{0.33} \quad ; \quad b/y < 25 \quad (2.22)$$

$$\frac{d_s}{y} = 4 Fr^{0.33} \quad ; \quad b/y > 25 \quad (2.23)$$

Gill (1972), taban malzemesi çapının ve akım derinliğinin oyulma derinliği üzerine etkisini inceleyerek, temiz su oyulması durumunda, hareketli taban oyulması durumunda ve kritik durumda olmak üzere üç farklı eşitlik önermiştir.

Temiz su şartları için;

$$\frac{d_s+y}{y} = 8.375 \frac{D_{50}^{0.25}}{y} \frac{B_1^{6/7}}{B_2} \frac{\tau_0^{3/7}}{\tau_{kr}} \quad \tau_c > \tau_0, u_c > u \quad (2.24)$$

Hareketli taban şartları için;

$$\frac{d_s+y}{y} = 8.375 \frac{D_{50}^{0.25}}{y} \frac{B_1^{5/7}}{B_2} \quad \tau_c < \tau_0, u_c < u \quad (2.25)$$

Kritik durumda;

$$\left(\frac{d_s+y}{y}\right)_{\max} = 8.375 \frac{D_{50}^{0.25}}{y} \frac{B_1^{6/7}}{B_2} \quad \tau_c = \tau_0, u_c = u \quad (2.26)$$

Bu ifadelerde B_1 kanal genişliği, B_2 mahmuz dolayısıyla daralmış kısmın genişliği τ_{kr} kritik kayma gerilmesidir. İki farklı sedimentle çalışmalarını yürüten Gill, temiz su oyulmasıyla hareketli taban oyulmasında oyulma derinliklerini karşılaştırdığında çok büyük bir fark olmadığı sonucuna varmıştır.

Yanmaz (1989), yaptığı doktora tezi çalışmasında temiz su oyulması koşullarındaki dairesel tipte köprü ayaklarındaki denge oyulma derinliklerini bulmak için aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$\frac{d_s}{b} = 0.85 \frac{y^{0.686}}{b} \quad (2.27)$$

Chitale (1962), 1:65 ölçekle modellediği Hardings Köprüsü modeli üstünde deneysel bir çalışma yürütmüştür. Farklı medyan dane çaplarına sahip taban malzemeleriyle yürüttüğü deneylerde, tüm deneyleri oyulma denge oyulma derinliğine ulaşana kadar sürdürmüştür. Yaptığı modelleme çalışması ile Froude sayısına bağlı aşağıdaki denklemi önermiştir.

$$\frac{d_s}{y} = -5.49 Fr^2 + 6.65 Fr - 0.51 \quad (2.28)$$

Shen et al. (1969), yaptıkları deneysel çalışmada yerel oyulmayı etkileyen temel faktörün köprü ayağının veya mahmuzun etrafında oluşan vorteksler olduğunu belirtmişlerdir. Vorteks sistemleri üzerine yapılan diğer çalışmalar, at nalı çevrintisinin şiddetinin engel Reynolds sayısı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmektedir. Buna bağlı olarak Shen, denge oyulma derinliğinin engel Reynolds sayısının bir fonksiyonu olması gerektiğini belirtmiş ve aşağıdaki denklemi önermiştir (Jackson, 1997).

$$d_s = 0.00073 R_p^{0.619} \quad (2.29)$$

Burada; R_p engel Reynolds sayısı olup $R_p = \frac{v b}{\nu}$ olarak ifade edilir. Shen et.al. çalışmalarında önerdikleri denklemin temiz su koşulları için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Aynı çalışmadan elde edilmiş verilerle Denklem 2.29 aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir (Jones, 1984).

$$\frac{d_s}{b} = 3.4 Fr^{2/3} \frac{y^{1/3}}{b} \quad (2.30)$$

Ezzeldin et al. (2007) düz açık kanaldaki tek bir mahmuzun etrafındaki oyulmayı çalışmak için ve oyulma çukurunun ölçüleri, akış oranı ve akış açısı arasındaki ilişkiyi incelemek için deneyler yapmıştır. Tüm deneyler temiz su oyulması şartlarında ve medyan dane çapı 0.6 mm olan üniform olmayan kumlu

toprak ile yapılmıştır. Oyulma derinlikleri uzunlukları ve açıları ölçülmüştür. Rölatif maksimum oyulma çukurunun derinliğini ve uzunluğunu hesaplamak için aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir.

$$\frac{d_s}{y} = C_\alpha C_e (6.142 Fr - 0.941) \quad (2.31)$$

$$\frac{L_{membra}}{y} = C_\alpha (12.2 C_e Fr - 1.4) \quad (2.32)$$

$$\frac{L_{mansap}}{y} = C_e (21.274 Fr - 2.263) \quad (2.33)$$

L_{membra} ve L_{mansap} sırasıyla memba ve mansap tarafındaki oyulma uzunluklarıdır. C_α ve C_e sırasıyla mahmuz açısına ve daralma oranlarına bağlı katsayılarıdır ve Çizelge 2.2'teki değerleri alırlar.

Çizelge 2.2. Daralma oranları ve açı katsayıları (Ezzeldin et al., 2007)

	C_α			C_e		
	90°	60°	30°	% 25	% 17.5	% 10
Denklem 2.31	1	0.97	0.83	1	0.77	0.5
Denklem 2.32	1	0.98	0.7	1	0.89	0.71
Denklem 2.33	-	-	-	1	0.85	0.5

Kanal hızı ve Fr sayısının büyümesi, suyun taşıma kapasitesini ve oyulma oluşturma yeteneğini arttırması demektir. Bu nedenle bütün deneyler akış koşullarının oyulmaya etkisini gözlemlemek için değişik Fr değerlerinde yapılmıştır (Fr = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.29, 0.35). Memba tarafındaki oyulma daha dik mansap tarafındaki daha geniş ve hafif açılıdır. Bunun nedeni yüksek akış enerjisinden ve memba tarafındaki türbülansın mansap tarafındaki türbülansın daha fazla olmasıdır. Oyulma şekli ters koniye benzemektedir. 90° ve 60° olan mahmuzlarda oyulma dikdörtgen biçimde olup 30° olanda daireseldir. Bu çalışmada sonuçlar hesaplanan oyulma derinlikleriyle deneysel oyulma derinliklerinin uyumlu olduğunu göstermiştir.

Kuhnle et al. (1999), çalışmasında model mahmuzların civarındaki oyulma hacimleri su akımının mahmuzun üzerinden aştığı akımlarda laboratuvar şartlarında ölçülmüştür. Mahmuz yüksekliği, akım derinliği ve kayma hızı oranı deneylerde çeşitlilik göstermiş ve oyulma derinliğini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Üstten aşan, temiz su akımları için, akım derinliğinin mahmuz yüksekliğine

oranının, ortaya çıkan oyulma geometrisini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Akım derinliğinin mahmuz yüksekliğine oranının büyük olduğu durumlarda, maksimum oyulmanın yeri mahmuzun membasından kanalın kenarına doğru kaydığı ve mahmuzun mansabında ikincil bir oyulma bölgesi oluştuğu gözlemlenmiştir. Akıma dik olan mahmuzların 30 saatlik oyulmanın sonucunda oluşturduğu oyulma hacmini tahmin etmek için önerilen eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\frac{V_{30}}{d_{s30}^3} = 17.106 \frac{b^{-0.781}}{y} \quad (2.34)$$

Burada V_{30} 30 saat sonunda oluşan oyulmanın hacmini ifade eder. d_{s30} ise 30 saat sonunda oluşacak denge oyulma derinliğini ifade eder ve Denklem 2.18, 2.19 veya 2.20 eşitliğiyle hesaplanıp yerine konulabilir.

Kuhnle et al. (2002), diğer bir çalışmada mahmuzların oyulma çukuru hacimlerini, temiz su ve batık mahmuz koşullarında ölçmüşlerdir. Mahmuz açıları 45° , 90° , 135° ve daralma oranları 0.125 ve 0.250'dir. Deneylerin amacı, 3 farklı açının oyulma deliği hacimlerine ve sucul ortama etkisini değerlendirmektir. Deneyler, 90° açılı mahmuz kullanılan deneylerde en az kıyı erozyonu görüldüğünü, 45° lik mahmuzun etrafındaki oyulma hacminin ise en fazla olduğunu göstermiştir. 45° lik mahmuz kıyı erozyonu potansiyelini minimize ederken, sucul çevre gelişimini sağlamada en iyi potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 135° lik mahmuzlarda en yüksek kıyı erozyonu görülmüştür. Çalışmadaki deneysel verilerle ve Denklem 2.18, 2.19, 2.20 kullanılarak oyulma derinliği ve oyulma hacmi arasındaki ilişkiyi veren aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

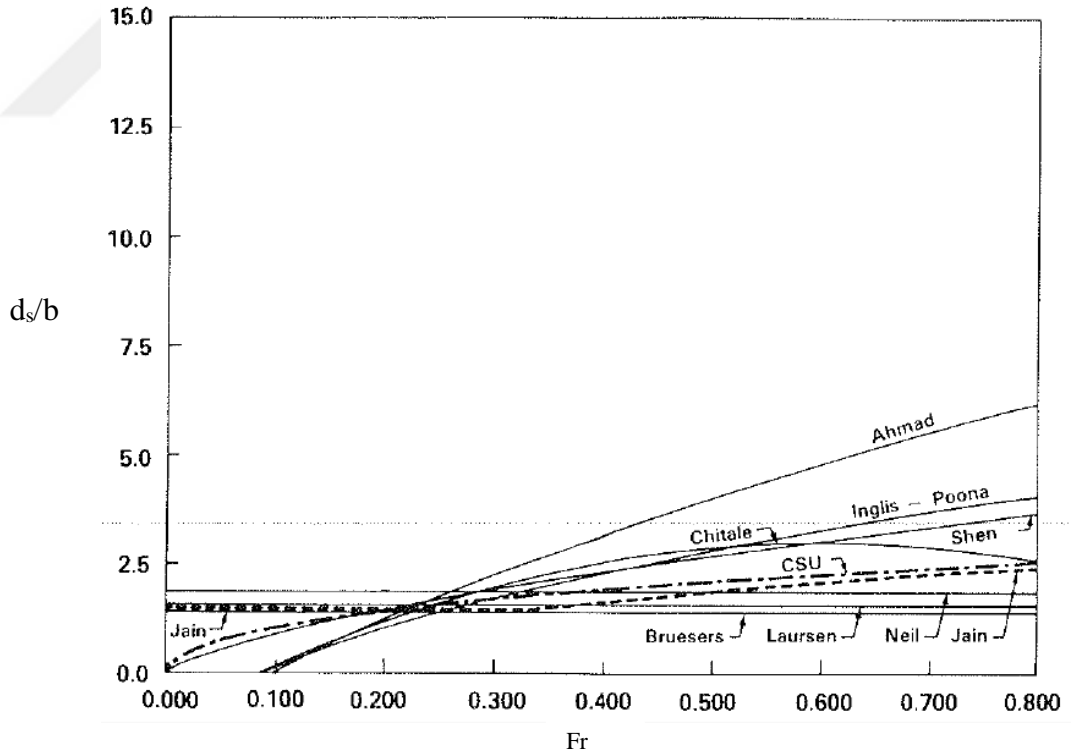
$$\frac{V_{30}}{d_{s30}^3} = c = 12.11 \quad (2.35)$$

Yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak Karami et al. (2008), dört mahmuzdan birinci mahmuzun etrafındaki oyulmayı azaltmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yerel oyulmayı azaltmak için akışa dik ve diğerlerinden daha küçük olan bir koruyucu mahmuz önermişlerdir. Bütün mahmuzlar rijittir, plywooddan yapılmıştır ve batık olmayan koşullardadır. Çeşitli uzunluklarda ve mesafelerde koruyucu mahmuz kullanılarak, farklı relatif hızlar (u/u_c) hesaplanmıştır. Sonuç olarak, deneysel verilere dayanarak istatistiksel analiz yapıp, bağıl oyulmayı hesaplamak için ampirik denklem türetilmiştir. Boyutsuz parametreler Buckingham π teoremi ile türetilmiştir.

$$\frac{d_2}{d_1} = 1.3 \frac{b'}{b}^{-0.85} \frac{X}{b}^{0.001} \frac{u}{u_{cr}}^{3.17} \quad (2.36)$$

Bu eşitlikte d_2 ve d_1 sırasıyla 2. ve 1. mahmuzun etrafındaki oyulma derinliği, b' koruyucu mahmuzun uzunluğu, X ise mahmuzlar arası mesafedir. Değişik sürelerde yapılan deneylerin sonucunda ilk mahmuzun etrafında oluşan yerel oyulma derinliğinin 40 dakikadan sonra yavaş ilerlediği gözlemlenmiş ve bu yüzden tüm deneylerde deney süresi olarak 40 dakika kullanılmıştır.

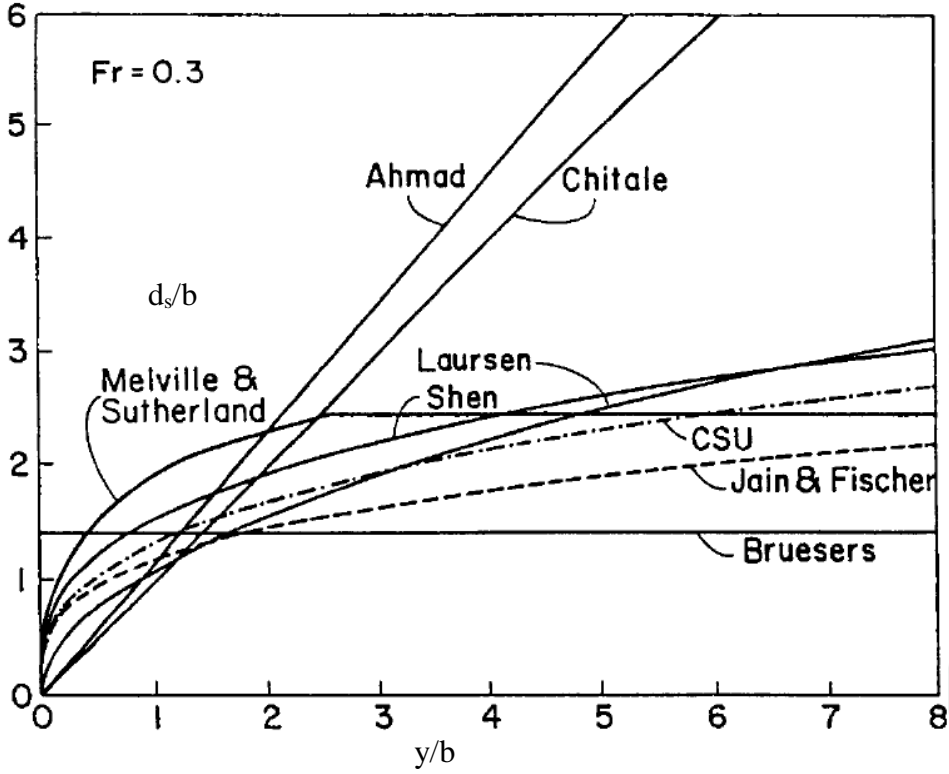
Jones (1984), çalışmasında o zamana kadar farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş oyulma derinliği bağıntılarını bir araya getirmiştir. Oyulma derinliği bağıntılarını üç gruba ayırmıştır. Birinci gruptaki bağıntılar ince yatak malzemelerinin kullanıldığı çalışmalardan elde edilen bağıntılardır. İkinci grupta su derinliğinin sediment hareketi üzerine etkisinin akış hızından daha baskın olduğu durumlarda çıkarılan bağıntılar yer almaktadır. Üçüncü grup ise akış hızının dominant olduğu durumlardan elde edilen eşitliklerdir. Çalışmasında sunduğu bağıntıları karşılaştırmak için bağıntıları görselleştirmiştir. (Şekil 2.19. 2.20)



Şekil 2.19. Görelî oyulma derinliğinin Fr sayısı ile değişimi (Jones, 1984)

Jones (1984), literatürdeki eşitlikler arasından tasarım için en uygun olanını seçmek için iki yaklaşım önermiştir. Birinci yaklaşım, eşitliklerle hesaplanan oyulma derinliklerinin, mevcut ölçülen oyulma derinlikleriyle karşılaştırılıp en

uyumlu olan bağıntının seçilmesidir. İkinci yaklaşım ise, ölçülmüş oyulma derinlikleri olmadığı takdirde, literatürdeki eşitliklerin hangi koşullar altında yapılmış deneylerden türetildiğine bakılarak, dizayn koşullarına en uygun olan eşitliğin seçilmelidir.



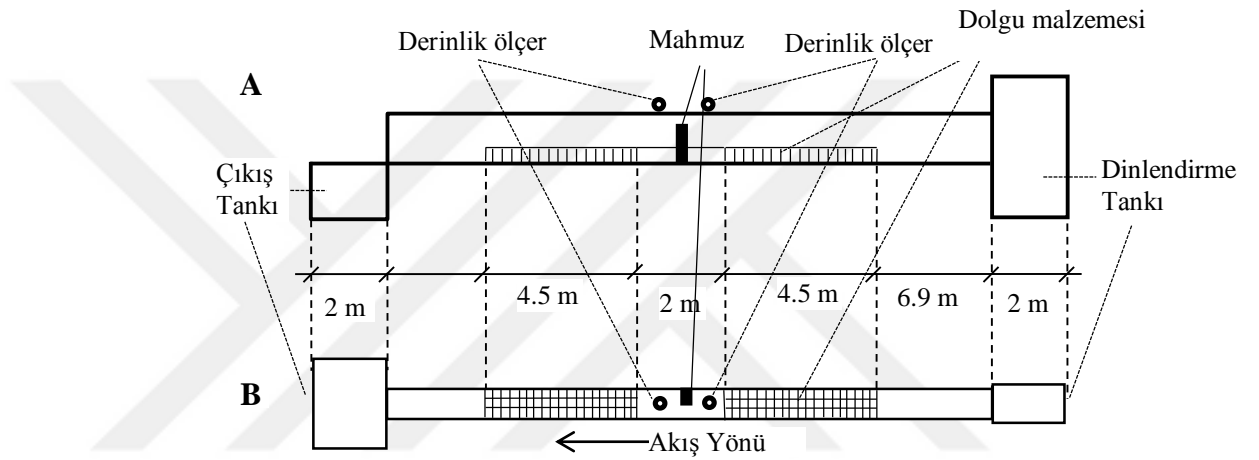
Şekil 2.20. Görelî oyulma derinliğinin görelî yaklaşım akım derinliğiyle değişimi (Jones, 1984)

Literatürdeki bağıntılardan da görüldüğü üzere, akarsulardaki sediment hareketi ve sediment hareketinden kaynaklanan oyulmalar incelenirken birçok faktörün etkili olduğu görülmüştür. Mahmuzlar etrafındaki denge oyulma derinliğini yukarıda verilen farklı eşitliklerle belirlemek mümkündür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney düzeneği

Deneyler, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik laboratuvarındaki, 18 m uzunluğunda 0.70 m genişliğinde ve 0.50 m derinliğindeki, yan duvarları şeffaf, tabanı pürüzsüz silikon dolgu, eğimi değiştirilebilir dikdörtgen kesitli kanalda yürütülmüştür (Şekil 3.1, Şekil 3.2)



Şekil 3. 1 Deney Kanalı A- boy kesit B- üstten görünüş

Kanaldaki akımın düzenli olabilmesi için, su öncelikle kanal başlangıcındaki 2.8 m^3 hacimli dinlendirme tankına girmekte daha sonra 1 metre yükselerek kanala verilmektedir. Gene akımın bozulmaması amacıyla, mansap ucunda serbest düşüye izin veren bir havuz bulunmaktadır. Kanalın sonunda su derinliğini ayarlayabilmek için istenilen yüksekliğe getirilebilen kapak bulunmaktadır (Şekil 3.3).

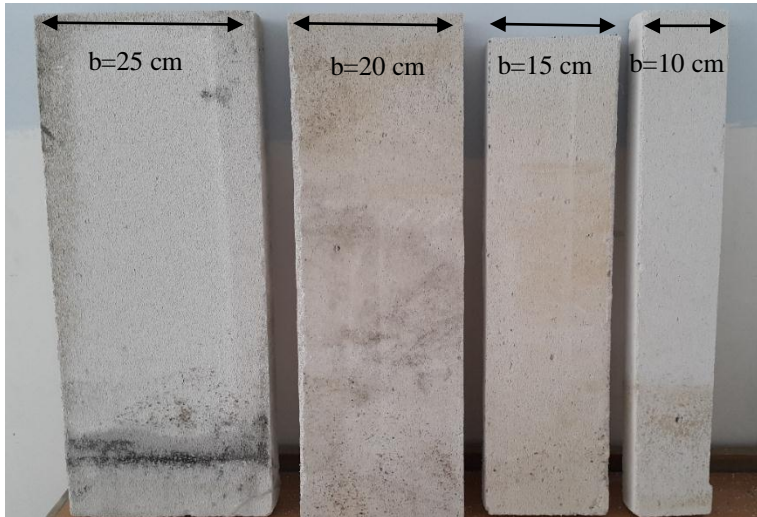


Şekil 3. 2. Deneylerin yürütüldüğü kanalın içten ve dıştan görünüşü



Şekil 3. 3. Su seviyesi düzenleyici kapak

Kanalın tam ortasında 18.5 cm yüksekliğinde 2 metre uzunluğunda sediment havuzu oluşturulmuştur. Sediment havuzunun sağ kıyısına sediment havuzunu ortalayacak şekilde gaz betonlardan farklı ölçülerde ve açılarda mahmuzlar yerleştirilerek deneyler yürütülmüştür (Şekil 3.4). Mahmuzun kalınlığı tüm deneylerde sabit ve 5 cm'dir.



Şekil 3. 4. Deneylerde kullanılan 90° açılı mahmuzlar

Sistemde kullanılan pompa 70 l/s değerine kadar debi iletebilmektedir. Sistemde Optiflux elektromanyetik debimetre kullanılarak debi ölçümü yapılmıştır

(Şekil 3.5). Pompa kontrolünü sağlayan hız kontrol cihazı (Şekil 3.6), bilgisayar programı yardımı ile pompa devir sayısını arttırıp azaltabilmekte ve bu sayede istenen debi değeri elde edilebilmektedir.



Şekil 3. 5. Elektromanyetik debimetre ve göstergesi



Şekil 3. 6. Pompa güç kontrolü ana birimi

Su seviyesi IMP+ ultrasonik seviye ölçerlerle ölçülmüştür. Cihazın ölçüm aralığı 200 mm – 3 m arasındadır (Şekil 3. 7 a).

Oyulma derinliklerinin ölçümünde dijital lazer metre kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı 5 mm- 50 m arasındadır (Şekil 3. 7 b). Oyulma hacimlerini belirlemek

için kanal üzerinde 5'e 5 cm'lik akslar oluşturulmuştur. Her deney sonunda noktasal olarak ölçülen 500'ü aşkın oyulma derinliklerinin koordinatları çizim programına aktararak yüzey modeli oluşturulmuştur. Oyulma ve yığılma hacimleri program yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3. 7. a- Ultrasonik seviye ölçer b Dijital lazer metre

Ultrasonik seviye ölçer ve debimetre değerlerini her saniye ölçüp kaydeden veri toplayıcısı yardımıyla ölçümler kaydedilmiştir (Şekil 3. 8). Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak her deneydeki ortalama debi ve su derinlikleri hesaplanmıştır. Veri kaydedicinin monitörü Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

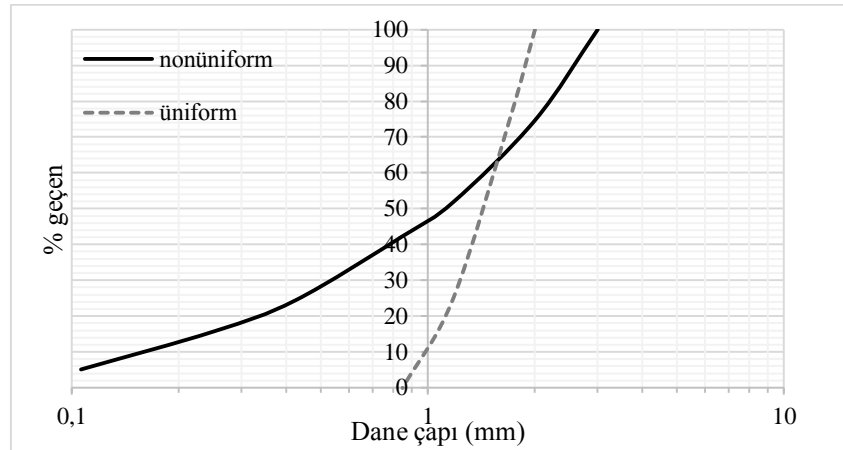


Şekil 3. 8. Veri toplayıcısı ara yüzü

Deneylerde üniform ve üniform olmayan iki farklı taban malzemesi kullanılmıştır (Şekil 3. 9). Kullanılan taban malzemelerinin granülometri eğrisi Şekil 3.10’ da görülmektedir. Malzemelerin üniformluk katsayıları (geometrik standart sapma, σ_g) 2.9 ve 1.4’ tür. Üniform malzemenin dane çapı 1-2 mm arasında değişirken üniform olmayan malzemenin dane çapı 0.1-3 mm arasında değişmektedir. Malzemelerin medyan dane çapları (d_{50}) birbirine çok yakın olup yaklaşık olarak 1.1 mm dir.



Şekil 3. 9. Üniform (solda) ve üniform olmayan (sağda) taban malzemeleri.

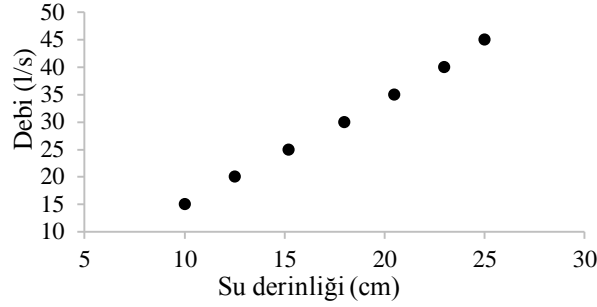


Şekil 3. 10. Taban malzemelerinin granülometri eğrileri

3.2. Deneylerin Yapılışı

Yürütülen deneyler için, kanal taban eğimi 0.005 olarak sabitlenmiştir. Tüm deneyler kararlı akım koşullarında yapılmıştır. Kum havuzunu oluşturabilmek için kanal 18.5 cm ölçülerindeki tuğlalar kullanılmıştır. Tüm deneylerde akım hızı temiz

su koşullarını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir debi için akış şiddeti değerleri (u/u_c) yaklaşık olarak 0.45 olacak şekilde su derinlikleri hesaplanmıştır (Şekil 3. 11). Tüm deneyler için kritik hızlar Denklem 2.5 ve 2.6 ile hesaplanmıştır Kanalın sonundaki kapak belirlenen su derinliklerini sağlayacak düzeyde ayarlanarak sabitlenmiştir. Deneyler için kullanılan parametrelerin değer aralıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 11. Her bir debi için belirlenmiş yaklaşık su derinlikleri

Çizelge 3. 1. Tüm deneyler için değer aralıkları

Q (m^3/s)	y (m)	b/B	y/b	α	Fr	u/u_c
0.015-0.045	0.098-0.26	0.14-0.36	0.4-1.68	45° - 135°	0.15-0.22	0.38-0.52

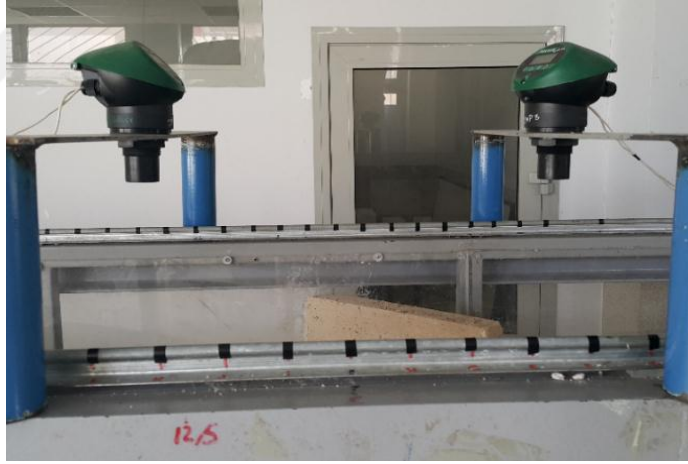
Deneye başlamadan önce kanal sonundaki kapak tamamen kapatılarak kanal belirli bir su seviyesine kadar doldurulmuştur. Daha sonra su seviyesi istenilen seviyeye gelene kadar, debimetre düşük devirlerde çalıştırılıp kapak kontrollü şekilde açılmıştır. Böylece başlangıçta meydana gelen oyulmanın minimuma inmesi sağlanmıştır. İstenilen debide istenilen su seviyesi sağlandığı anda 1 saatlik deney süresi başlatılmıştır. Deney tamamlandıktan sonra kanalda bulunan su oyulma yaratmaması için çok düşük hızda boşaltılmış ve kanaldaki su tamamen boşaltıldıktan sonra dijital lazer metre ile her 5 cm de bir ölçüm alınarak oyulma mesafeleri ölçülmüştür. Daha sonra bu ölçümler bilgisayar programına girilerek 3 boyutlu oyulma haritası ve oyulma/birikme hacimleri hesaplanmıştır.

Temiz su koşullarında dengeli oyulma süresine çok uzun bir sürede ulaşılmasına rağmen, oyulma derinliğinin zamansal değişimini inceleyerek makul bir tasarım süresi kullanmak daha gerçekçi ve ekonomiktir (Yanmaz, 2002). Bu sebeple deney süresini belirlerken farklı debilerde 60 dakika ve 120 dakikalık deneyler yapılmıştır. Bu deneylerdeki oyulma derinlikleri ve hacimleri

karşılaştırılmış ve değerler arasında %5'lik bir fark olduğu görülmüştür. Deneysel süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir.

Kanalın sağ kıyısına her birinin akışa dik uzunluğu (b) 25 cm, 20 cm, 15 cm ve 10 cm olan akışa 90°, 45° ve 135°'lik açı yapacak şekilde kesilmiş gaz beton mahmuzlar kanal duvarına sıcak silikonla su sızdırmayacak şekilde sabitlenerek deneyler sürdürülmüştür. Mahmuzların yükseklikleri (h) yaklaşık 50 cm civarındadır. Bu çalışmada deneylerin hepsinde batık olmayan mahmuz kullanıldığı için mahmuz yüksekliğinin deney şartlarında değişken olarak bir etkisi yoktur. Deneyler 90° açılı mahmuzlar için 15, 20, 25, 30, 35, 40 ve 45 l/s olmak üzere yedi farklı debide yapılmıştır. 45° ve 135° açılı mahmuzlar için 15, 30 ve 45 l/s 'lik üç farklı debi kullanılmıştır.

Kabarma etkisini incelemek amacıyla, deney süresi boyunca iki adet ultrasonik seviye ölçer, mahmuzun 25 cm, 50 cm, 75 cm ve 100 cm sağında ve solunda tutularak 15'er dakikalık ölçüm aralıklarıyla su seviyesini ölçmüştür (Şekil 3. 12). Akım derinlikleri veri toplayıcısı aracılığıyla saniye bir kaydedilmiştir.



Şekil 3. 12. Mahmuz köküne 25 cm mesafedeki ultrasonik seviye ölçerler

3.3. Deneysel Bulgular

Deneylerde kullanılan su derinlikleri, literatür bölümünde verilen Denklem 2.4. 2.5 ve 2.6 ile hesaplanan kritik akış hızları bulunarak belirlenmiştir. Her bir debi için kritik akış hızı Denklem 2.4. 2.5 ve 2.6 yardımıyla hesaplanarak süreklilik denkleminde kritik akış hızındaki akım derinliği hesaplanmıştır. Ayrıca deneylerde kullanılacak her debi değeri için kritik akış hızının oluşacağı su derinliğini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Başlangıçta kanalın kapağı kapalı

tutularak kanal yavaşça doldurulmuştur. Daha sonra pompa kritik akış hızı belirlenmek istenilen debiye ayarlanarak kanalın kapağı yavaş yavaş açılarak su derinliği düşürülmüştür. Tabanda hareketin başladığı andaki su derinliği kaydedilmiştir. Böylece deneylerde kullanılan tüm debi değerleri için ayrı ayrı hareketin başladığı su derinlikleri deneysel olarak da gözlemlenmiştir. Hesaplanan değerler ve deneysel gözlemler uyuşmaktadır.

Tüm deneyler için akış şiddeti değerleri ortalama 0.45 olacak şekilde su derinlikleri belirlenmiştir. Tüm deneyleri için u/u_c değerlerinin 1'den küçük olması tüm deneylerin temiz su koşullarında olduğunu göstermektedir.

3.3.1 Direnç Kuvveti ve Direnç Katsayısı

Deneylerde kullanılan ultrasonik seviye ölçerlerle mahmuzun memba ve mansabında ölçülen su derinlikleri kullanılarak, Denklem 3.1 yardımıyla her bir mahmuzun oluşturduğu direnç kuvveti hesaplanmıştır. Bulunan direnç kuvveti kullanılarak Denklem 3.2 ile her mahmuza gelen direnç katsayıları hesaplanmıştır.

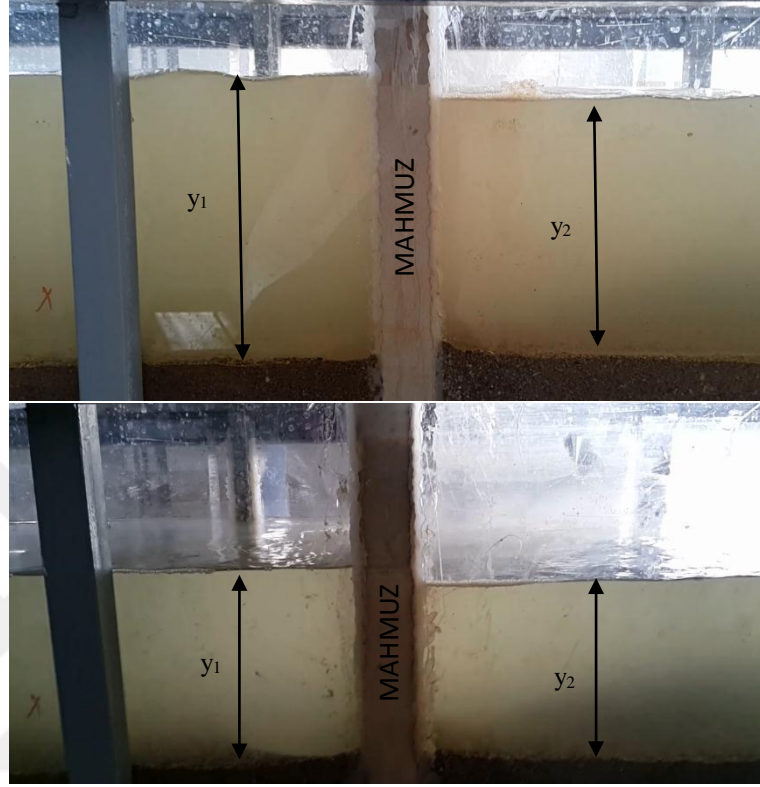
$$F_1 - F_2 - F_D - F_f - F_w = \rho Q (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) \quad (3.1)$$

Burada F_1 ve F_2 sırasıyla membadaki ve mansaptaki hidrostatik kuvvetlerdir. F_f ; yüzey sürtünmesinden kaynaklanan kuvvettir. Bu çalışmada mahmuzsuz kanalda yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler incelenerek mahmuz etkisinin baskınlığı görülmüş ve bu yüzden sürtünme kuvvetleri ihmal edilmiştir. F_w ; kontrol hacmindeki sıvının ağırlığının akım yönündeki bileşenidir. V_1 ve V_2 sırasıyla 1. ve 2. kesitteki ortalama hızlardır. Su derinliği ve debi değerlerinden süreklilik eşitliği yardımıyla bulunmuştur. β_1 ve β_2 ; momentum düzeltme katsayıları olup 1 olarak kabul edilmiştir. F_D engelden kaynaklanan direnç kuvvetidir. Direnç kuvvetleri momentum eşitliğiyle yukarıda bahsedilen veriler yardımıyla hesaplanmış ardından direnç katsayıları bulunmuştur.

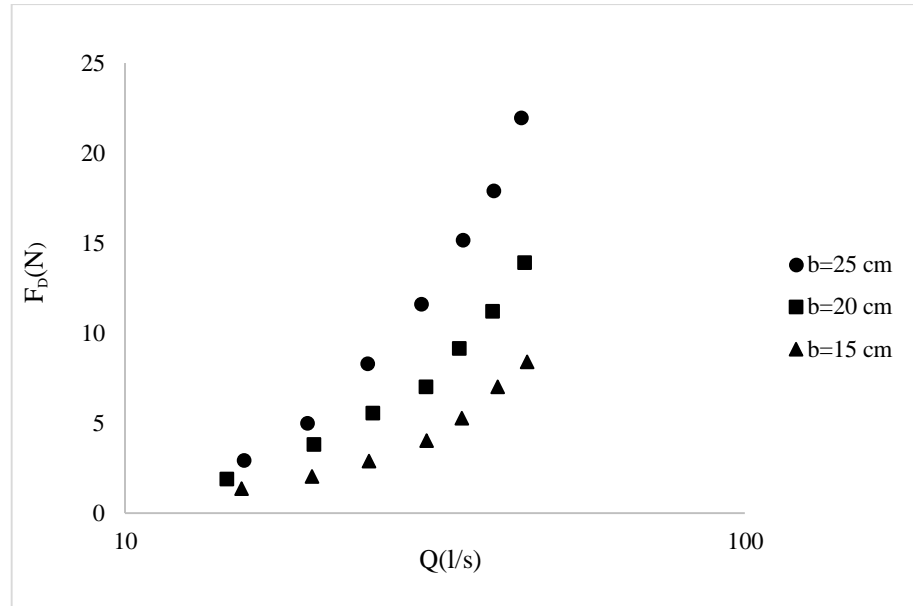
$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A_s V_{ort}^2 \quad (3.2)$$

Üniform ve üniform olmayan taban malzemesi kullanılarak yürütülen deneyler için yapılan su derinliği ölçümleri neredeyse birbirinin aynısıdır. Bu yüzden direnç kuvvetini hesaplarken üniform taban malzemesiyle yapılan deneylerin ölçümleri kullanılmış, üniform olmayan taban malzemesiyle yapılan deneylerin ölçümleriyle hesaplar kontrol edilmiştir.

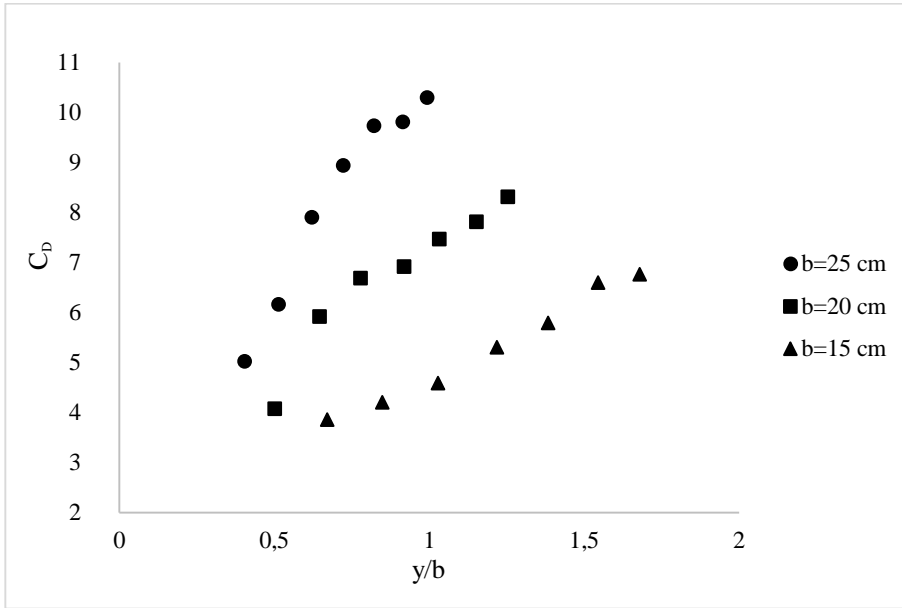
Debisi ve mahmuz uzunluğu aynı olan deneylerde debi arttıkça kabarma etkisinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.13). Kabarma etkisine bağlı olarak mahmuza gelen direnç kuvvetleri ve direnç katsayıları da artmaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. 90° açılı 20 cm uzunluklu mahmuzlarda a- $Q=0.030 \text{ m}^3/\text{s}$ lik debideki kabarma etkisi b- $Q=0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ lik debideki kabarma etkisi



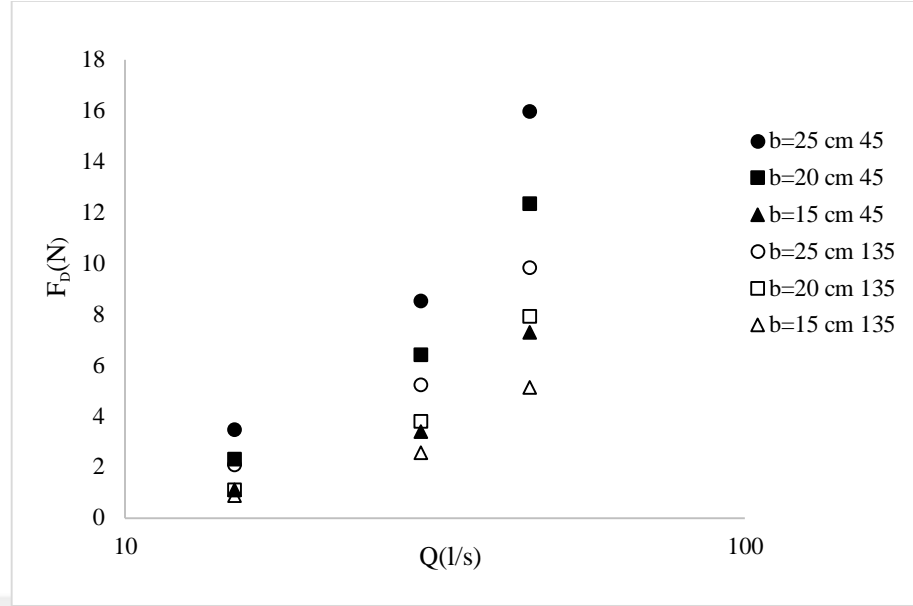
Şekil 3.14. 90° lik mahmuzda debi-direnç kuvveti ilişkisi



Şekil 3.15. 90° lik mahmuzlarda su derinliğinin mahmuz uzunluğuna oranıyla - direnç katsayısı ilişkisi

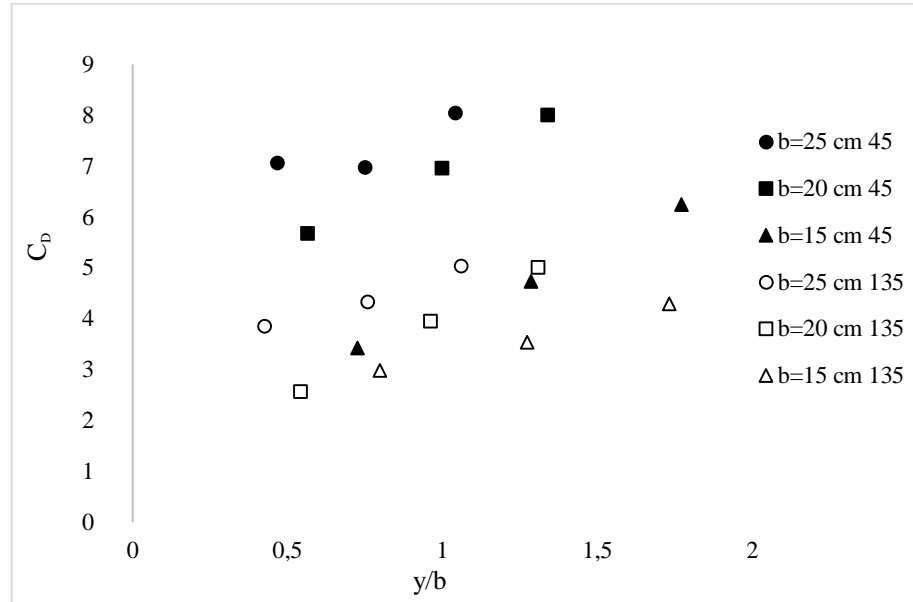
Debi ve debiye bağlı olarak su derinliği arttıkça kabarma etkisinin de arttığı ve buna bağlı olarak kontrol hacmine etkiyen kuvvetlerin değerinin de arttığı görülmektedir (Şekil 3.14). Mahmuza gelen en yüksek değerdeki direnç kuvveti en büyük debide oluşmaktadır.

Şekil 3.14 ve 3.16' dan görüldüğü üzere direnç kuvveti debi arttıkça artmaktadır. Aynı zamanda aynı debi değerleri için mahmuz uzunluğu arttıkça direnç kuvvetinin de arttığı gözlemlenmektedir. Direnç katsayısı su derinliğine bağlı olarak artmaktadır. Su derinliği yüksek olan deneylerde direnç kuvveti de yüksektir.



Şekil 3.16. 45° ve 135° lik mahmuzda debi-direnç kuvveti ilişkisi

Akış doğrultusuna 45° ve 135° açıyla yerleştirilmiş olan mahmuzlara gelen direnç kuvvetlerinin tüm deneylerde 90° açılı mahmuza gelen kuvvetlerden düşük değerler olduğu görülmüştür. Ayrıca membaya yönelik 45° açılı mahmuzlara gelen direnç kuvvetlerinin mansaba yönelik 135° açılı mahmuzlara gelen direnç kuvvetlerinden daha büyük değerler aldığı gözlemlenmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.17. 45° ve 135° lik mahmuzlarda su derinliğinin mahmuz uzunluğuna oranıyla - direnç katsayısı ilişkisi

Akış çizgilerine 45° ve 135° açıyla yerleştirilmiş olan mahmuzlardaki direnç kuvveti değerleri, 90° açıyla yerleştirilmiş olan mahmuzlardakine benzer olarak, mahmuz uzunluğu en büyük olan deneylerde en yüksek değerleri almaktadır. Ayrıca membaya yönelik 45° açılı mahmuzların direnç kuvvetlerinin ve direnç katsayılarının mansaba yönelik 135° açılı mahmuzlarınkinden daha büyük değerler aldığı görülmüştür (Şekil 3.15. 3.16).

Uzunluğu 25 cm ve 20 cm olan 135° açılı mahmuzlarla yapılan deneylerdeki direnç katsayılarının, uzunluğu 15 cm olan 45° açılı mahmuzların direnç katsayılarından daha büyük olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.17).

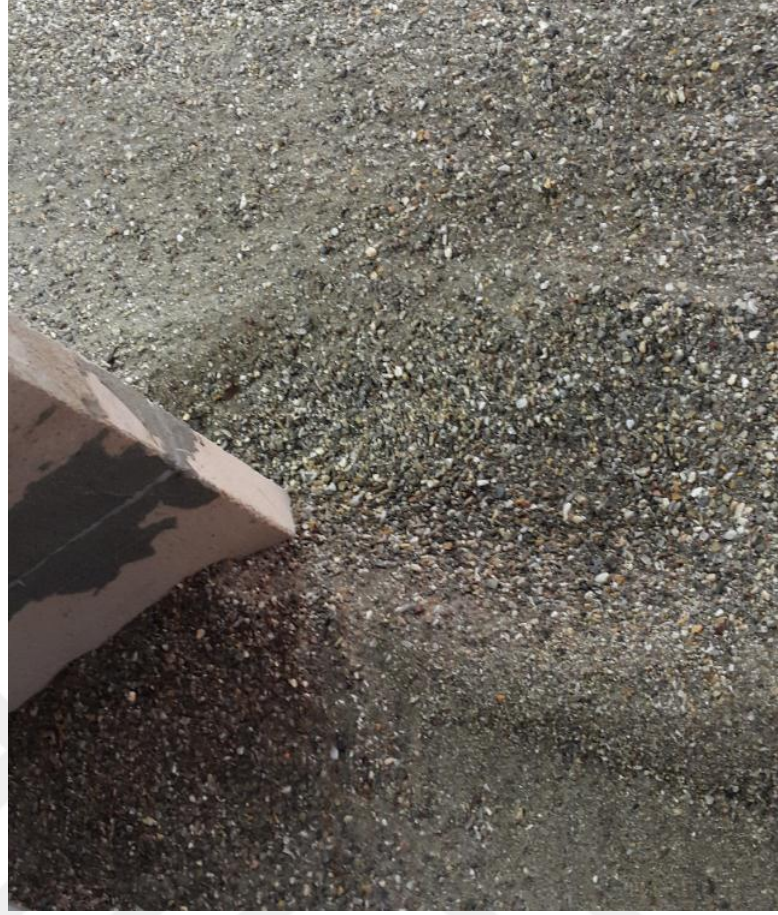
Mahmuzun direnç katsayısını hesaplayabilmek için, direnç kuvvetinin bağlı olduğu parametreler kullanarak yapılan lineer olmayan çoklu regresyon analizi Bölüm 4 te verilmiştir.

3.3.2 Temiz su oyulması

Temiz su şartlarında yapılan yetmiş aşkın deneyde yerel oyulmanın literatürde bahsedildiği gibi birçok değişkenden etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu değişkenler aşağıda irdelenmektedir.

3.3.2.1 Gradasyon Etkisi

Üniform olmayan sedimentlerde akım kolay harekete geçebilen ince taban malzemelerini sürüklerken, daha zor harekete geçen kalın malzemeleri sürükleyememiştir. Tanecik boyutları arasındaki bu farktan dolayı üniform olmayan malzemeyle yapılan neredeyse tüm deneylerde mahmuzların çevresinde bir zırhlanma bölgesi meydana gelmiştir (Şekil 3.18). Zırhlanma oyulmaya sebep olan taban hareketini azaltarak, oyulma hacmini ve derinliğini azaltan bir olaydır. Deney sonuçlarından üniform olmayan sedimentlerle yapılan deneylerdeki oyulma miktarının aynı şartlardaki üniform olan sedimentlerle yapılan deneylerdeki oyulma miktarından çok daha az olduğu görülmektedir (Çizelge 3.2, 3.3, Şekil 3.19, 3.20).



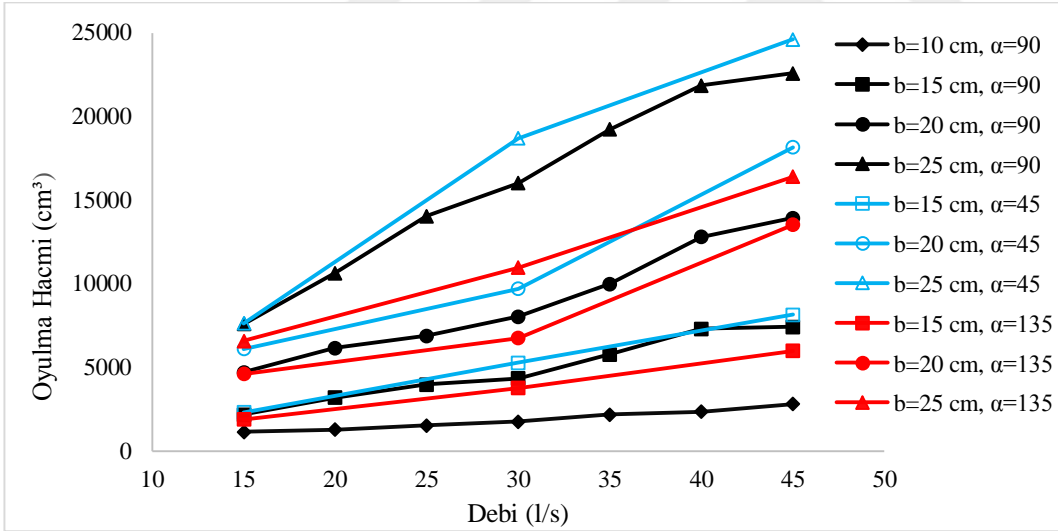
Şekil 3.18 Üniform olmayan sedimentlerde zırhlama

Çizelge 3.2. Oyulma hacimleri (cm³)

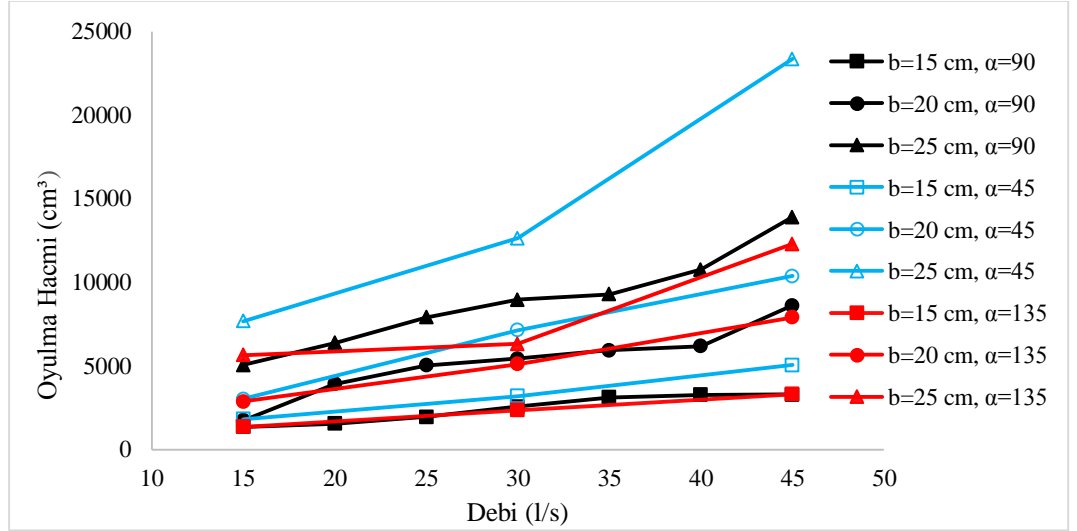
α	b	10 cm	15 cm		20 cm		25 cm	
		Q (l/s)	$\sigma=1.4$	$\sigma=2.9$	$\sigma=1.4$	$\sigma=2.9$	$\sigma=1.4$	$\sigma=2.9$
90°	15.00	1152.9	1386.5	2178.8	1761.7	4707.1	5082.1	7595.5
	20.00	1292.0	1582.9	3199.2	3954.0	6173.8	6404.9	10637.0
	25.00	1538.3	1980.0	3978.4	5047.6	6898.1	7918.2	14047.1
	30.00	1770.2	2589.9	4347.3	5460.0	8037.8	8983.5	16015.0
	35.00	2184.9	3144.1	5783.0	5958.0	9986.5	9310.0	19231.5
	40.00	2366.0	3292.0	7315.6	6200.3	12811.7	10775.0	21848.1
	45.00	2813.3	3322.6	7430.4	8631.0	13937.6	13915.1	22588.3
45°	15.00	-	1838.6	2317.0	3039.5	6101.4	7692.9	7637.6
	30.00	-	3225.9	5290.0	7156.1	9715.2	12659.9	18691.8
	45.00	-	5072.3	8150.3	10397.3	18170.8	23375.1	24606.3
135°	15.00	-	1392.3	1900.9	2887.1	4623.0	5665.8	6586.2
	30.00	-	2385.8	3779.7	5139.5	6767.0	6331.0	10963.0
	45.00	-	3326.7	5987.0	7927.6	13528.1	12311.3	16407.3

Çizelge 3.3. Oyulma derinlikleri (cm)

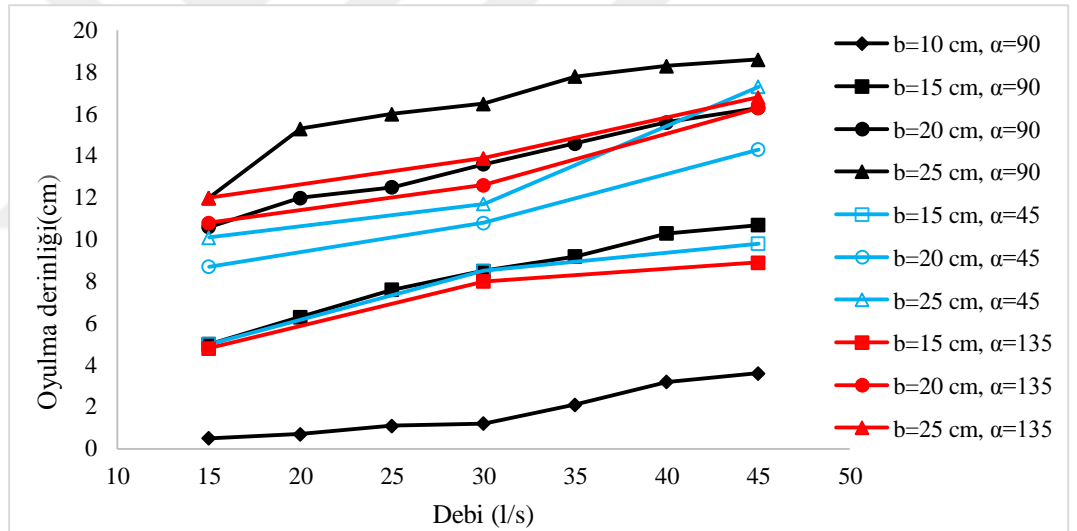
α	b	10 cm	15 cm		20 cm		25 cm	
		$\sigma=1.4$	$\sigma=2.9$	$\sigma=1.4$	$\sigma=2.9$	$\sigma=1.4$	$\sigma=2.9$	$\sigma=1.4$
90°	15.00	0.5	3.0	5.0	7.0	10.6	8.6	12.0
	20.00	0.7	4.3	6.3	8.8	12.0	9.6	15.3
	25.00	1.1	4.3	7.6	9.0	12.5	11.8	16.0
	30.00	1.2	4.2	8.5	9.8	13.6	12.4	16.5
	35.00	2.1	4.9	9.2	10.1	14.6	14.0	17.8
	40.00	3.2	4.7	10.3	11.8	15.6	15.9	18.3
	45.00	3.6	5.5	10.7	12.5	16.3	16.2	18.6
45°	15.00	-	2.3	5.0	5.3	8.7	8.5	10.1
	30.00	-	3.2	8.5	8.1	10.8	10.4	11.7
	45.00	-	5.2	9.8	10.0	14.3	16.5	17.3
135°	15.00	-	2.0	4.8	5.2	10.8	6.9	12.0
	30.00	-	2.2	8.0	6.6	12.6	9.0	13.9
	45.00	-	5.0	8.9	9.1	16.3	16.2	16.8



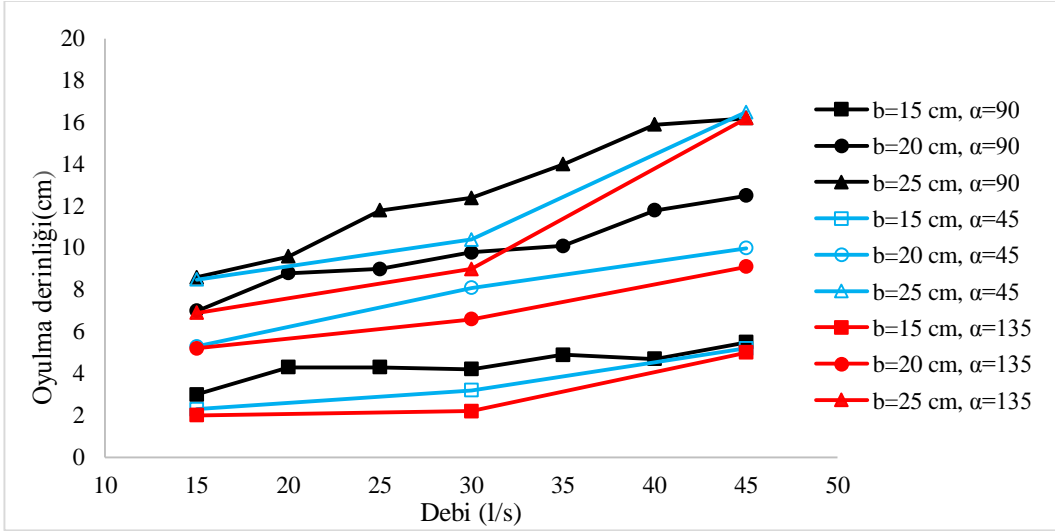
Şekil 3.19. Üniform sedimentte debi oyulma hacmi ilişkisi



Şekil 3.20. Üniform olmayan sedimentte oyulma hacmi debi ilişkisi



Şekil 3.21 Üniform sedimentte debi oyulma derinliği ilişkisi



Şekil 3.22. Üniform olmayan sedimentte debi oyulma derinliği ilişkisi

Üniform sedimentlerde taneler arasındaki boyut farkı az olduğundan akım tüm tanecikleri aynı anda harekete geçirir ve zırlanma meydana gelmemektedir. Buna bağlı olarak üniform sedimentlerle yapılan deneylerde oyulma hacimleri ve derinlikleri, üniform olmayan sedimentinkilere göre daha büyüktür. Oyulma çukurunun sınırları üniform sedimentlerde daha net gözlemlenebilmektedir (Şekil 3.23, 3.24).



Şekil 3.23. $b=25$ cm uzunluklu 90° açılı mahmuzla 30 l/s lik debide üniform (sağda) ve üniform olmayan taban malzemeleriyle yapılan deneyler



Şekil 3.24. $b=20$ cm uzunluklu 45° açılı mahmuzla 30 l/s lik debide üniform (sağda) ve üniform olmayan taban malzemeleriyle yapılan deneyler

3.3.2.2 Yönelme açısı ve mahmuz uzunluğu etkisi

Mahmuz yönelim açısı mahmuz oyulmasını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Üç farklı mahmuz yönelme açısıyla yürütülen deneylerdeki oyulma hacmi ilişkilerinin mahmuz yönelme açılarıyla direk olarak bağlantılı olduğu gözlemlenmiştir. Bunlardan 45° açılı membaya yönelik mahmuz akış çizgilerini en fazla bozan ve en fazla türbülansa neden olan mahmuz çeşididir (Şekil 3.25). Buna bağlı olarak maksimum oyulma hacimlerinin 45° açılı mahmuzlarda meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.19. 3.20). 135° açılı mansaba yönelik mahmuz akış çizgilerini membaya doğru yönlendirirken akış çizgilerinde daha az bozulma meydana getirir (Şekil 3.25). Minimum oyulma hacmi çoğunlukla 135° açılı mansaba yönelik mahmuzlarda meydana gelse de, üniform olmayan sedimentlerde küçük debilerde yapılan deneylerde 90° açılı mahmuzlardaki oyulma hacimlerinin 135° açılı mahmuzların oyulma hacimlerinden düşük değerler olduğu görülmektedir (Şekil 3.20). Özet olarak, düşük debili durumlar hariç aynı debi değerleriyle hem üniform hem üniform olmayan sedimentlerle, mahmuz yönelme açısı arttıkça oyulma hacminin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Oyulma derinlikleri incelendiği zaman oyulma hacminden daha farklı sonuçlar gözlenmiştir. 45° açılı mahmuzlarda maksimum oyulma hacmi meydana gelirken, maksimum oyulma derinliklerinin 90° açılı mahmuzlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.21. 3.22). 45° ve 135° mahmuzlarda açının oyulmaya etkisi, üniform olan sedimentlerde ve üniform olmayan sedimentlerde farklılık göstermektedir. Üniform sedimentlerde 20 ve 25 cm uzunluklu 45° açılı mahmuzlarla yapılan deneylerde maksimum oyulma derinliği değeri en küçükken, 15 cm uzunluklu mahmuzlarda 135° açılı mahmuzda maksimum oyulma derinliğinin en küçük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.21). Bu da mahmuz uzunluğunun açı üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermektedir. Üniform

olmayan sedimentlerde 20 ve 25 cm uzunluklu 135° açılı mahmuzlarla yapılan deneylerde minimum oyulma derinlikleri gözlemlenmiştir (Şekil 3.22).

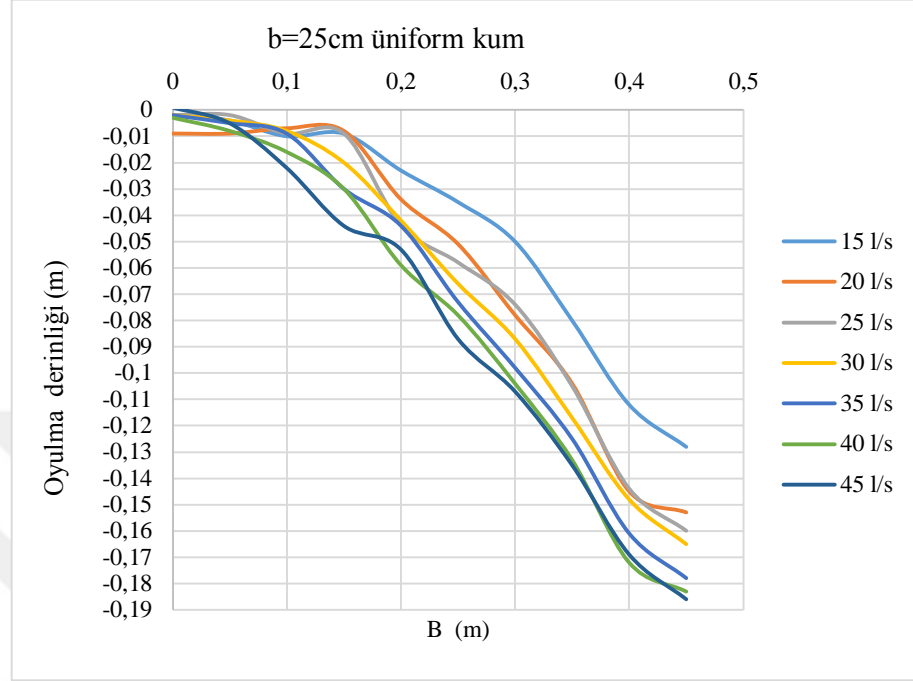


Şekil 3.25. 135° (üstte) ve 45° açılarda 45 l/s 'lik deneylerdeki türbülans durumu

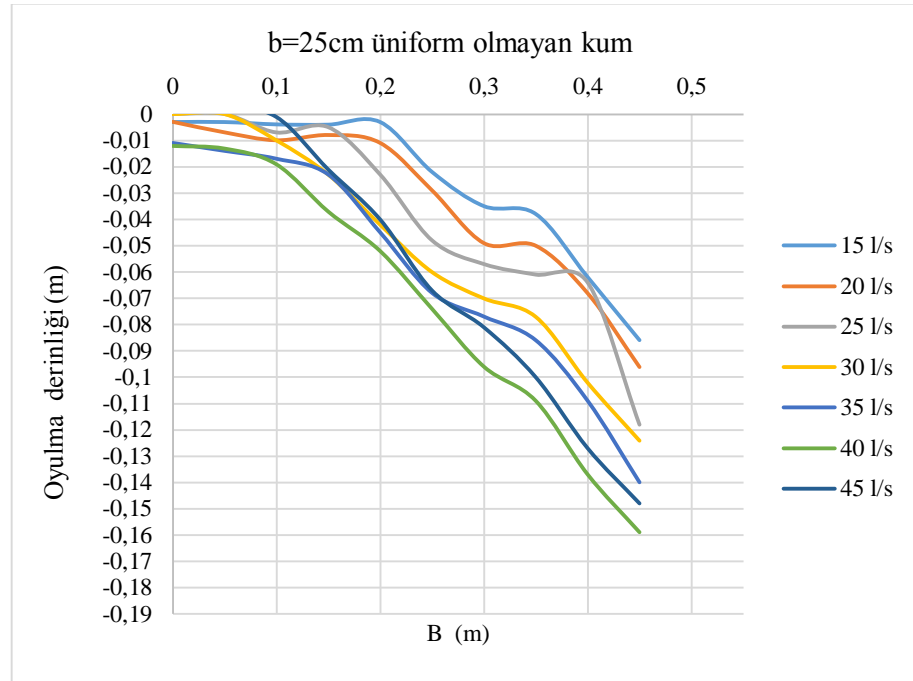
Ayrıca tüm deneylerde mahmuz genişliği arttıkça açının oyulma verileri üzerine etkisinin arttığı gözlemlenmektedir. 25 cm uzunluklu mahmuz deneylerinde, 45°, 135° ve 90° açılı mahmuzların dibinde oluşan oyulma miktarları arasındaki fark en fazla iken, 15 cm uzunluklu mahmuz değerlerinde oyulma miktarları birbirine çok yakındır.

Mahmuzun akışa dik uzunluğu arttıkça büzülme katsayısı da artmaktadır. Buna bağlı olarak akış kesiti daralmaktadır ve bu kesitlerdeki suyun hızı artmaktadır. Mahmuz uzunluğu arttıkça, hem üniform hem de üniform olmayan sedimentlerde, mahmuzun ucundaki maksimum oyulma derinliğinin ve mahmuz çevresindeki toplam oyulma hacminin arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler

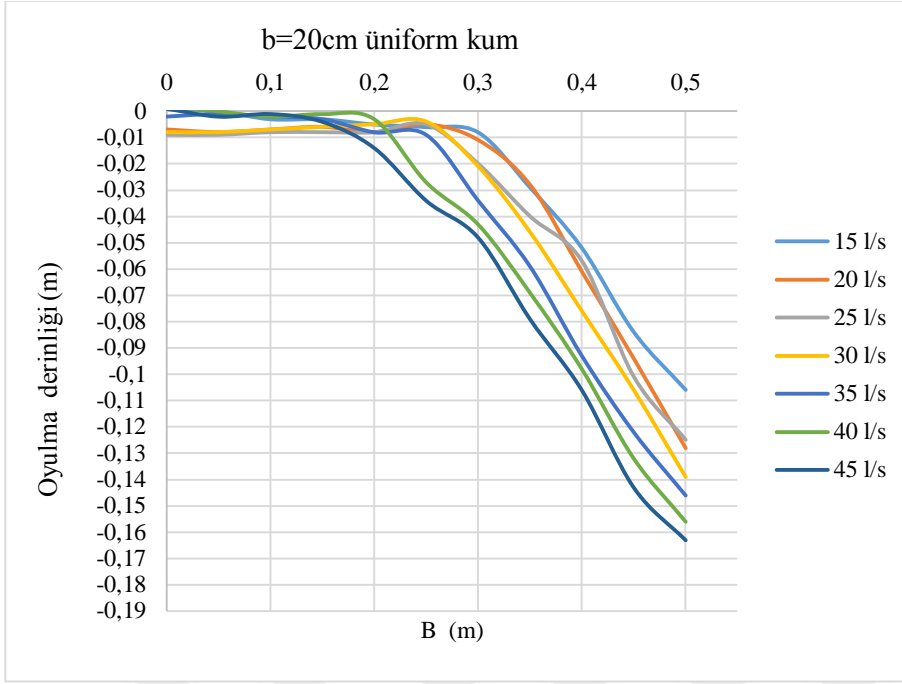
için mahmuz ucundan kanal duvarına kadar olan mesafede, her debi için oyulma derinlikleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.26-3.31).



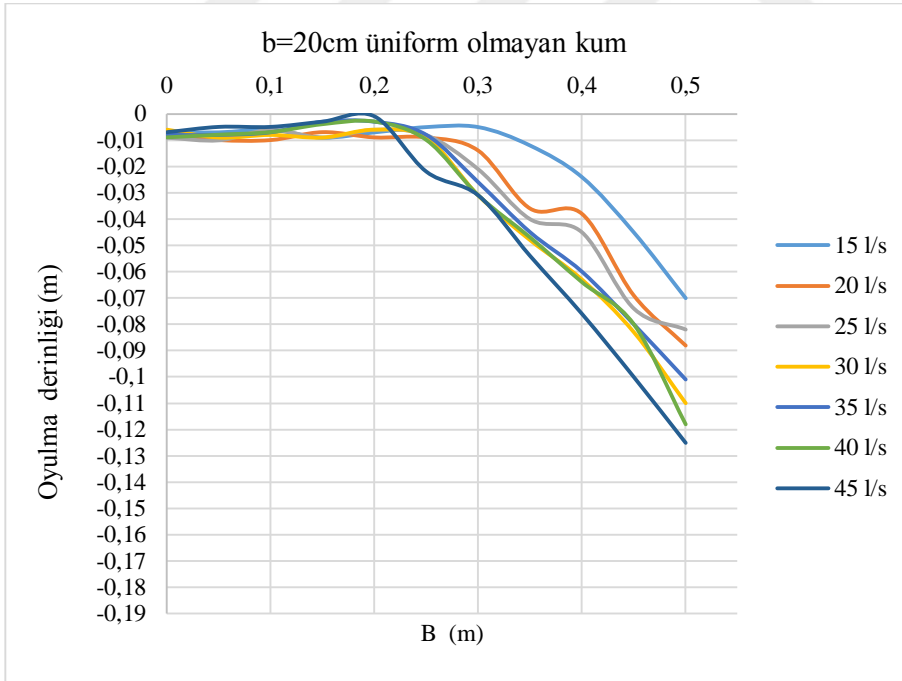
Şekil 3.26. $\alpha=90^\circ$ $b=25$ cm üniform taban malzemesi için oyulma derinlikleri



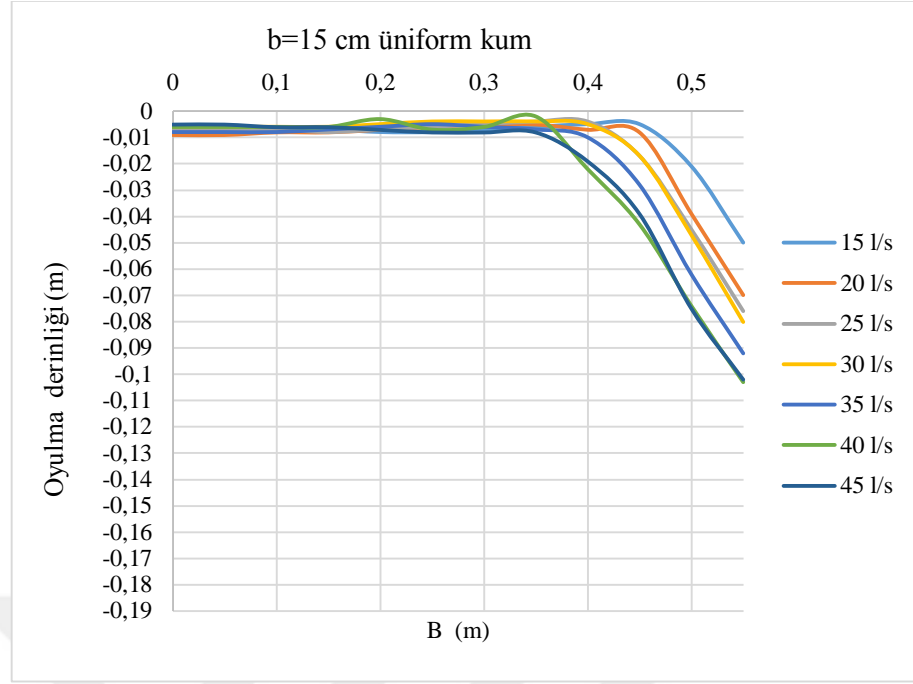
Şekil 3.27. $\alpha=90^\circ$ $b=25$ cm üniform olmayan taban malzemesi için oyulma derinlikleri



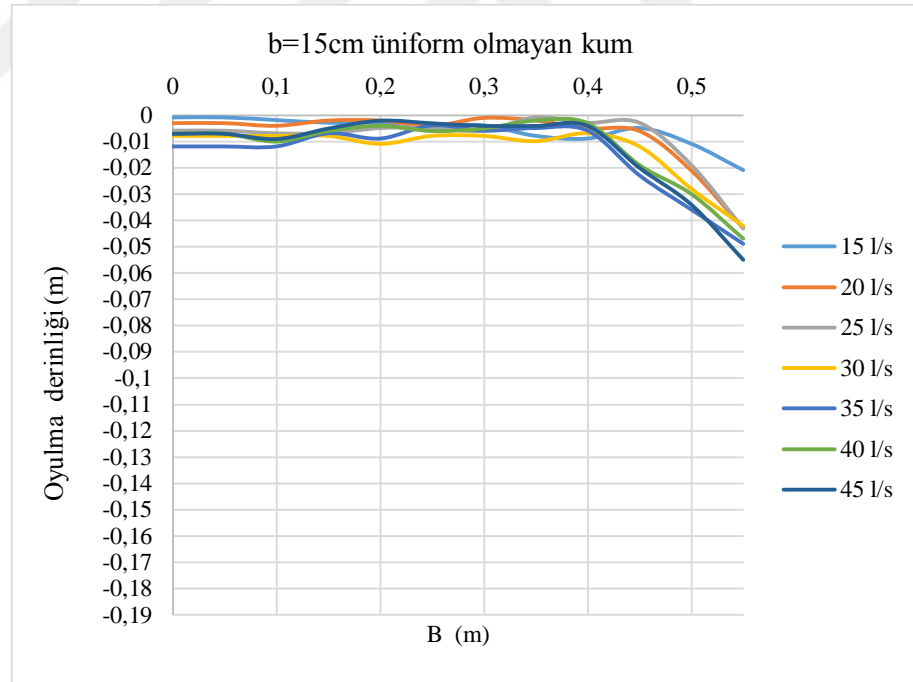
Şekil 3.28. $\alpha=90^\circ$ b=20 cm üniform taban malzemesi için oyulma derinlikleri



Şekil 3.29. $\alpha=90^\circ$ b=20 cm üniform olmayan taban malzemesi için oyulma derinlikleri



Şekil 3.30. $\alpha=90^\circ$ b=15 cm üniform taban malzemesi için oyulma derinlikleri



Şekil 3.31. $\alpha=90^\circ$ b=15 cm üniform olmayan taban malzemesi için oyulma derinlikleri

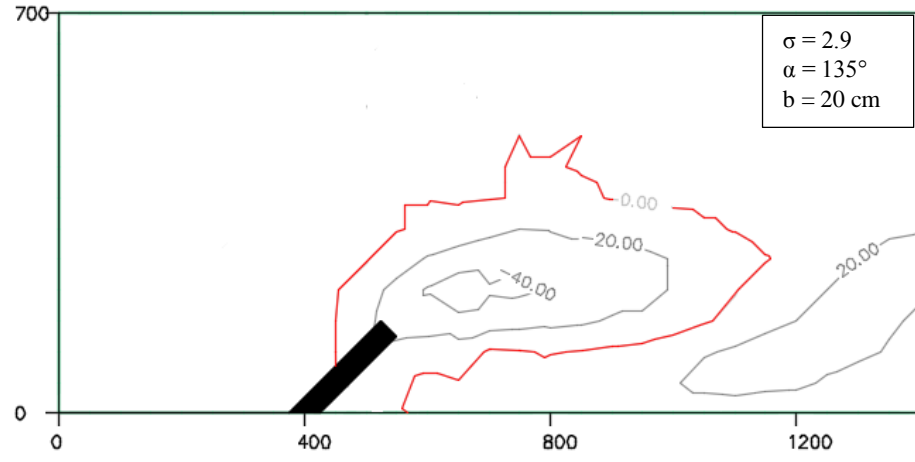
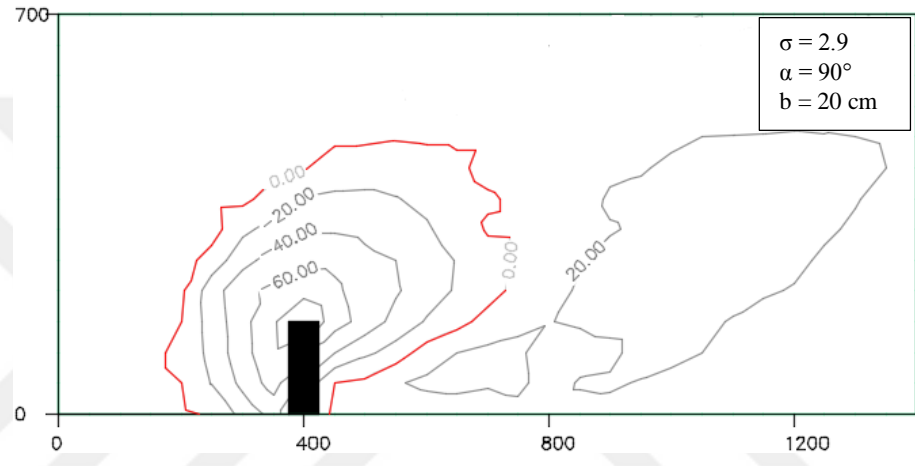
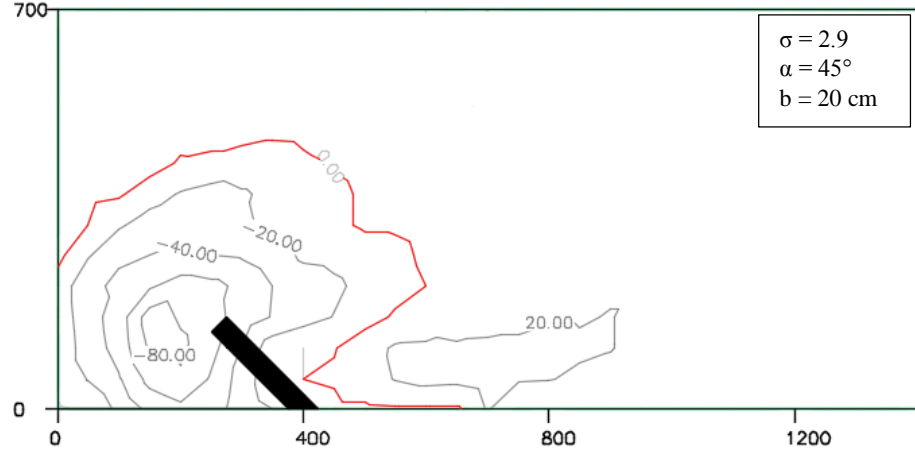
3.3.2.3 Debi ve su derinliği etkisi

90° açılı mahmuz deneyleri için 7 farklı, 45° ve 135° açılı mahmuz deneyleri için 3 farklı debi kullanılmıştır. Her debi için farklı su derinlikleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında aynı uzunlukta ve yönelme açısında yapılan deneylerde debi arttıkça maksimum oyulma derinliği ve mahmuz çevresindeki oyulma hacminin de arttığı görülmektedir (Şekil 3.19 - 3.22).

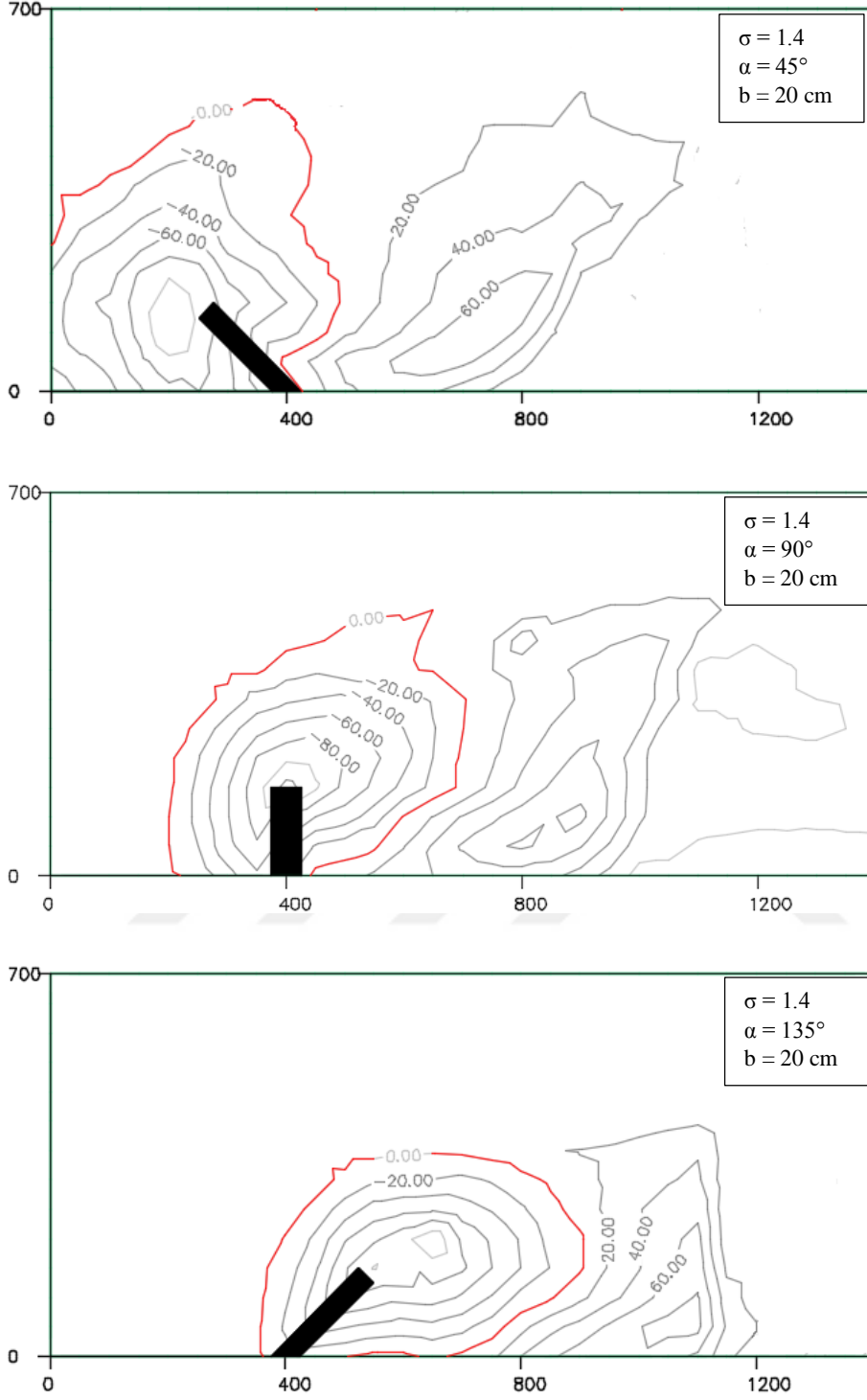
3.3.3 İzohips Haritaları

Deneylerde lazermetre ile alınan ölçümler kullanılarak, üç boyutlu çizim programı yardımıyla her bir deney için oyulma haritası çıkartılmıştır. Oyulma haritalarında mahmuz etrafındaki oyulma çukuru ve mahmuzun mansap tarafında oluşan tepecikler gözlemlenmektedir. Oyulma haritalarına genel olarak bakıldığında debi arttıkça oyulma çukurlarının derinleştiği ve 0 izohips çizgilerini çevre uzunluklarının arttığı gözlemlenmektedir. Mahmuz uzunluğu arttıkça oyulma çukurları genişlemekte ve derinleşmekte, oyulma çukurlarının hacimleri artmaktadır. Oyulma çukurlarının ve mahmuz arkası tepeciklerin taban malzemesinin gradasyonuna, kullanılan mahmuzun uzunluğuna, yönelme açısına bağlı olarak fiziksel durumları değişmektedir. Farklı geometrilerdeki oyulma çukurları aşağıda incelenecektir. Çizimlerde verilen izohips haritalarındaki değerler mm cinsindedir.

Mahmuzlarda yönelme açısının oyulmanın geometrisi, derinliği ve hacmi üzerine etkisi büyüktür. Şekil 3.32'de 30 l/s debi için elde edilen oyulma haritaları verilmiştir. Membaya yönelik 45° açılı mahmuzlarda maksimum oyulma derinliği mahmuzun memba tarafında meydana gelirken, mansaba yönelik 135° açılı mahmuzlarda mahmuzun mansap tarafında meydana gelmektedir. 90° açılı mahmuzda maksimum oyulma yaklaşık olarak mahmuz hizasında meydana gelmektedir (Şekil 3.32). En yüksek oyulma derinliğinin gözlemlendiği mahmuzlar en fazla türbülansın oluştuğu 45° açılı mahmuzlardır. 135° açılı mahmuzlarda ise en düşük oyulma derinliği değerleri gözlemlenmektedir. Özetle mahmuz yönelme açısı arttıkça oyulma derinliği azalmaktadır. Üniform taban malzemeli deneylerde diğer tüm şartlar aynı iken oyulma derinliklerinin ve mahmuz arkası tepeciklerin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Üniform olmayan taban malzemesinde mahmuz arkasında yaklaşık 2 cm'lik yükseklikte yığılma olurken, üniform taban malzemesinde yığılma yüksekliği 8 cm'i bulmaktadır (Şekil 3.32. 3.33)

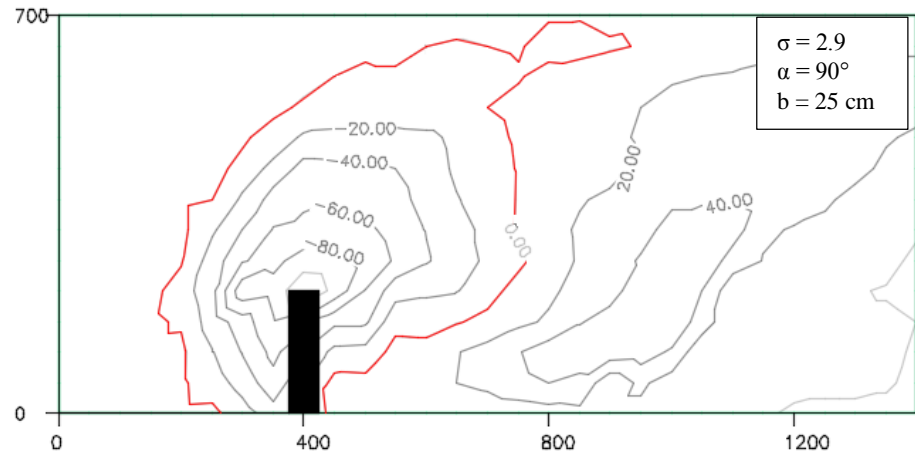
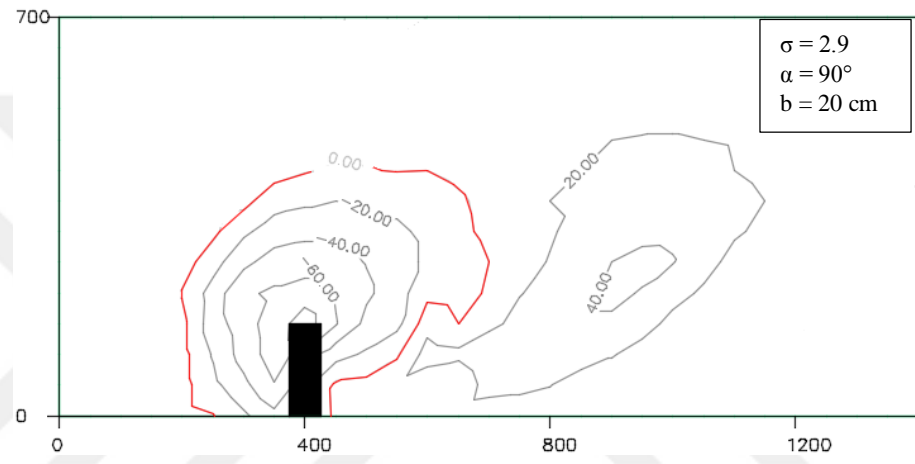
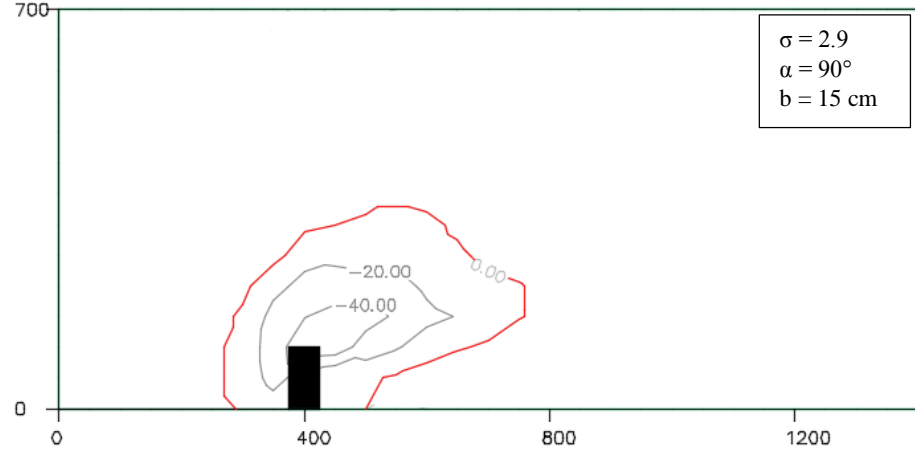


Şekil 3.32. 30 l/s debide üniform olmayan yatak malzemesinde açılı etkisi

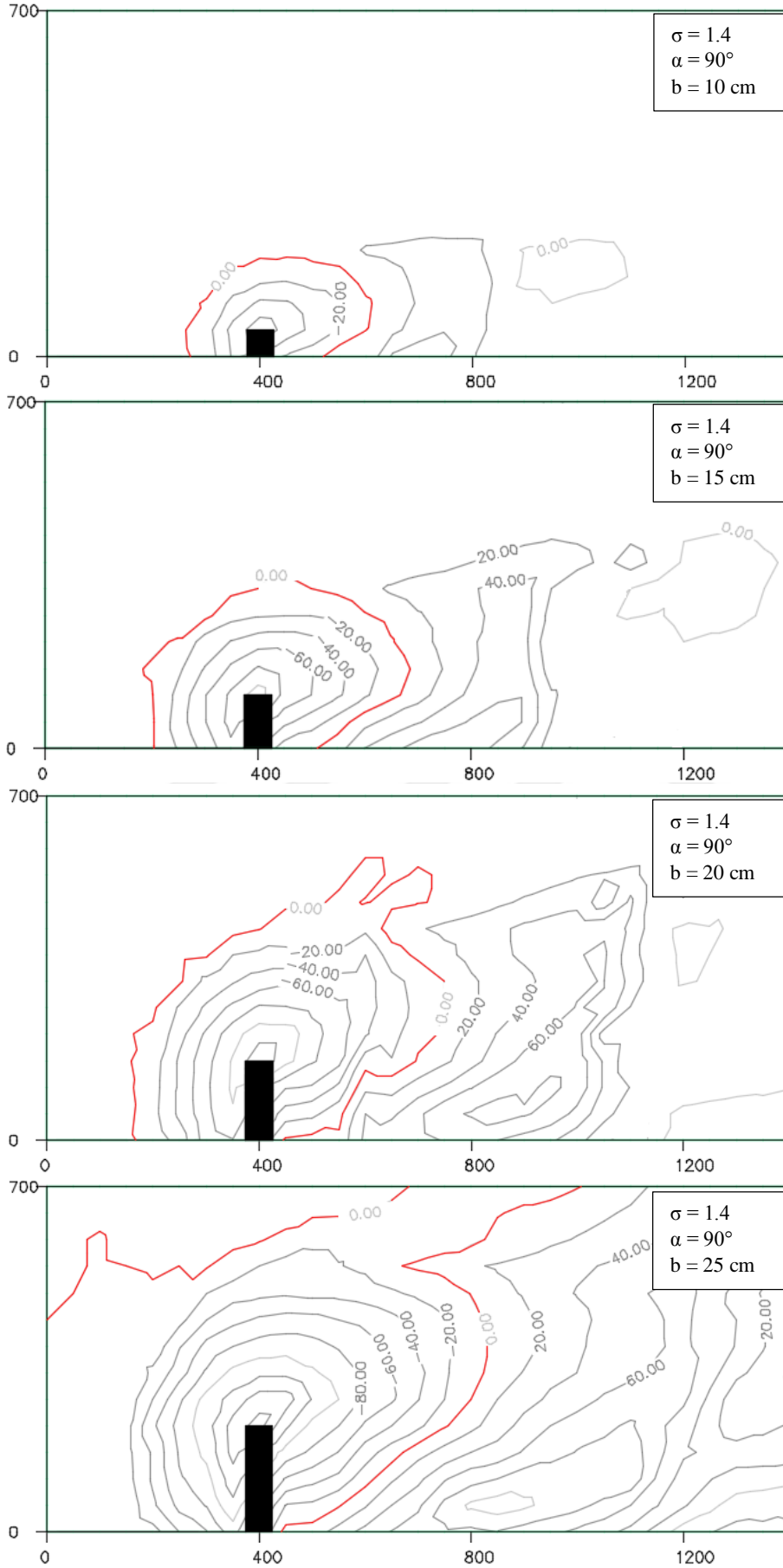


Şekil 3.33 30 l/s debide üniform yatak malzemesinde açı etkisi

Mahmuz uzunluğu, oyulmanın derinliğini ve hacmin etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Tüm deneylerde mahmuz uzunluğu arttıkça oyulma derinliğinin ve oyulma hacminin arttığı gözlemlenmektedir. Mahmuz uzunluğu arttıkça 0 izohips çizgisi, yani oyulmanın planda görülen alanı genişlemektedir. Ayrıca mahmuz uzunluğu arttıkça izohips çizgileri de sıklaşmaktadır.



Şekil 3.34. 35 l/s debide üniform olmayan yatak malzemesinde mahmuz uzunluğu etkisi



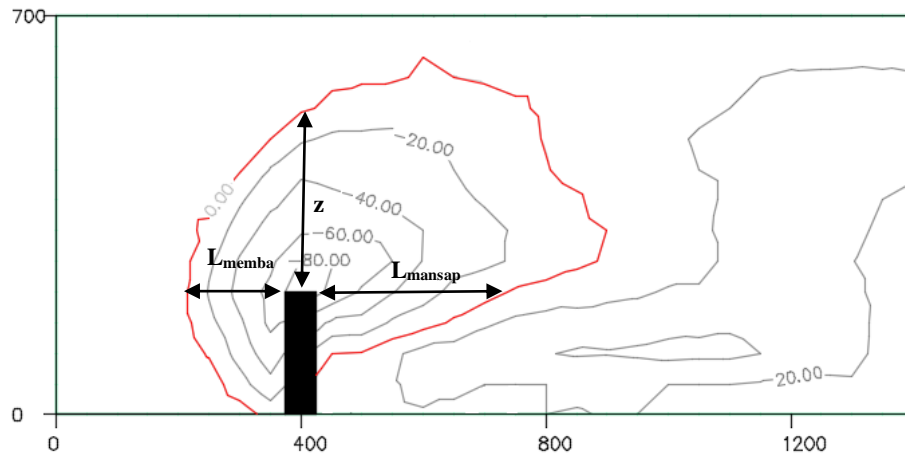
Şekil 3.35 35 l/s debide üniform yatak malzemesinde mahmuz uzunluğu etkisi

35 l/s debi için 90 ° yönelme açısıyla yapılan deneylerin oyulma haritaları Şekil 3.34. ve Şekil 3.35'te verilmiştir. Mahmuz çevresindeki oyulma ve mahmuz arkasındaki yığılma miktarlarına bakıldığında üniform malzemedeki oyulma ve yığılma miktarlarının daha yüksek değerler olduğu görülmektedir. Mahmuz uzunluğu arttıkça hem üniform hem üniform olmayan taban malzemesinde mahmuz arkasındaki tepeliklerin yüksekliği de artmaktadır.

3.3.4 Mahmuzun membaya ve mansaba olan etkisi

Üç farklı yönelme açısı, iki farklı taban malzemesi, yedi farklı debi ile yapılmış deneylerde oyulma çukurlarının düşey ve yatay mesafeleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Tüm ölçümler mahmuz ucu orijin noktası kabul edilerek alınmıştır (Şekil 3.36). Çizelge 3.4'e bakıldığında oyulmanın düşey uzunluğunun (y), oyulmanın mansaba doğru olan uzunluğunun (L_{mansap}) ve oyulmanın membaya doğru olan uzunluğunun (L_{membra}) tüm deneylerde debi ve mahmuz uzunlukları ile doğru orantı olduğu gözlemlenmektedir.

135° açılı mahmuzlarda oyulmanın mansaba doğru olan uzunluğunun (L_{mansap}) neredeyse tüm deneylerde en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Oyulmanın membaya doğru olan uzunlukları (L_{membra}) 45° açılı mahmuzlarda ölçüm alanının dışında kaldığı için ölçülememiştir. Oyulmanın düşey uzunluğu (y) 90° açılı mahmuzlarda en yüksek, 135° açılı mahmuzlarda ise en düşük değerleri almıştır.



Şekil 3.36. Mahmuz oyulma sınırlarının yatay ve düşey mesafeleri

Çizelge 3.4. Üniorm olmayan sedimentte yatay ve düşey doğrultudaki oyulma mesafeleri (mm)

Üniorm Olmayan Malzeme										
α	b	15 cm			20 cm			25 cm		
	Q	L _{memba}	L _{mansap}	z	L _{memba}	L _{mansap}	z	L _{memba}	L _{mansap}	z
90°	15	79.49	140.51	109	150.16	147.04	164.44	182.5	209.99	262.38
	20	92.29	190.07	120.76	163.64	216.67	240	191.93	362.5	266.85
	25	107.7	201.24	128.66	165	316.67	242.31	207.2	322.26	285.16
	30	120	242.1	170.11	177	275.62	248.02	246.43	280.11	350.1
	35	130.14	270.1	188.33	193.22	184.4	243.58	230.05	325.04	316.71
	40	138.06	235.04	178.18	230.69	339.18	250.01	184.6	336.48	292.64
	45	144.65	280	181.26	233.88	381.85	280.48	291.45	320.56	328.05
45°	15	87	93	98.3	166.67	177.78	150.00	-	314.65	250.00
	30	123.1	247.6	198	-	288.89	270.95	-	300.98	340.91
	45	156.6	411.3	213.3	-	431.31	307.22	-	425.83	430.87
135°	15	42	152	91.1	48.31	325.01	150.03	50.99	318.34	400.13
	30	87.6	415	129.2	104.40	515.16	146.85	138.1	353.4	295.01
	45	110	498	148.2	140.01	526.9	200.01	267.44	535.8	333.15

Çizelge 3.5. Üniorm sedimentte yatay ve düşey doğrultudaki oyulma mesafeleri (mm)

α	b	15 cm			20 cm			25 cm		
	Q	L _{memba}	L _{mansap}	z	L _{memba}	L _{mansap}	z	L _{memba}	L _{mansap}	z
90°	15	125.04	168.21	142.41	148.7	240.76	195.4	195.68	270.66	287.56
	20	143.55	186	146.78	189.63	258.36	204.5	290.64	327.79	296.17
	25	291.73	190.48	398.2	192.6	261.13	228.34	296.49	329.49	298.63
	30	282.36	200.05	441.69	193.13	288.9	232.38	350.02	352.96	341.69
	35	198.1	268.44	200.02	241.87	295.4	248.2	362.1	355.97	347.71
	40	300	240	487.5	247.16	342.93	285.5	367.2	359.26	387.5
	45	316.55	262.91	495.5	265.12	363.25	320.1	371.2	385.3	400.01
45°	15	166.68	155.90	140.01	194.46	220.84	181.26	-	280.47	227.16
	30	230.79	266.69	240.93	-	240.40	321.44	-	314.90	338.42
	45	286.67	318.76	247.63	-	447.0	390.22	-	452.22	446.02
135°	15	94.85	157.16	60.03	138.92	304.36	146.03	127.18	299.07	186.54
	30	133.37	288.90	141.21	205.19	356	186.86	170.07	432.72	242.91
	45	142.22	345.67	145.38	242.11	442.86	246.88	191.55	489.65	287.61

4. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

4.1. Direnç Katsayılarının İrdelenmesi

Bu çalışmada mahmuzun direnç katsayısı hesaplanırken debi, su derinliği, mahmuzun yönelme açısı ve mahmuz uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Debi ve debiye bağlı olarak su derinliği arttıkça mahmuzun direnç kuvvetinin, mahmuz uzunluğu arttıkça direnç katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Mahmuzların direnç kuvvetlerinin ve direnç katsayılarının mahmuz yönelme açısı arttıkça azaldığı görülmektedir. Ayrıca uzunluğu 25 cm ve 20 cm olan 135° açılı mahmuzlarla yapılan deneylerdeki direnç katsayılarının, uzunluğu 15 cm olan 45° açılı mahmuzların direnç katsayılarından daha büyük olduğu gözlemlenmektedir. Bu mahmuz uzunluğu azaldıkça mahmuz yönelme açısının baskınlığının azaldığını göstermektedir.

Direnç katsayısının bir bağıntı yardımı ile hesaplayabilmek için bir regresyon modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Lineer olmayan çoklu regresyon modeli için kurulan fonksiyon aşağıda verilmiştir.

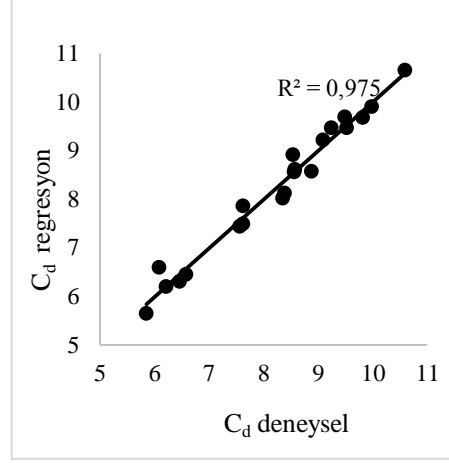
$$c_D = f\left(\frac{y_1}{y_2}, \frac{y}{b}, \frac{b}{B}, Fr\right)$$

Modeldeki değişkenler boyutsuz büyüklüklerdir. y_1 ; memba su derinliği, y_2 ; mansap su derinliği, y ; ortalama su derinliği, b ; mahmuz uzunluğu, B ; kanal genişliğidir. Verilerin bir bölümü önerilen bağıntıyı kontrol etmek üzere ayrılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda aşağıdaki bağıntı önerilmiştir;

$$c_D = 0.2 \frac{y_1^{15.55} y_2}{Fr^{0.52} \frac{y^{0.13} b^{0.55}}{b} \frac{B}{B}} \quad R^2=0.97 \quad (4.1)$$

Test için ayrılan verilerle hesaplanan değerlerin deney sonuçları ile karşılaştırılmasıyla elde edilen grafik Şekil 4.1'de verilmiştir. Bulunan R^2 değerinin yüksekliği modelin başarılı olduğunun göstergesidir.

Denklem 4.1'e bakıldığında mahmuzun mansap ve memba su derinliklerinin oranının en etkili parametre olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Regresyon analiziyle hesaplanan ve deney verilerinden hesaplanan direnç kuvvetlerinin ilişkisi

4.2. Oyulma verilerinin irdelenmesi

Bu tez için yürütülen deneyler yardımı ile, mahmuz etrafındaki oyulma geometrisini ve miktarını etkileyen faktörlerin debi, su derinliği, yönelme açısı, mahmuz uzunluğu ve taban malzemesinin gradasyonu olduğu tespit edilmiştir. Her deneyden sonra hassas ölçümler ile oyulma miktarları tespit edilmiştir. Yapılan gözlemlere ve ölçümlere göre diğer koşullar aynı tutulduğunda; debi, su derinliği ve mahmuz uzunluğu arttıkça oyulma derinliğinin ve hacminin arttığı görülmüştür. Mahmuz yönelme açısı arttıkça oyulmanın hacminin azaldığı gözlemlenmektedir.

Taban malzemesi gradasyonu, yani taban malzemesinin üniform olup olmayışı, yapılan oyulma derinliği ölçümlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Üniform olmayan taban malzemesiyle yapılan deneylerin sonucunda alınan ölçümlerin bazılarında beklenenin aksi sonuçlar gözlemlenebilmektedir. Örneğin deneylerde debi artarken oyulma derinliğinin artması beklenirken bazı deneylerde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonucun, üniform olmayan taban malzemesiyle yapılan deneylerin neredeyse hepsinde meydana gelen zırlanma olayının karmaşık mekanizması dolayısıyla meydana geldiği söylenebilir. 3. bölümde görüldüğü gibi üniform taban malzemesiyle yapılan deneylerin sonuçları beklenene daha yakındır. Araştırmacılar daha çok üniform taban malzemesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Medyan dane çapları aynı, üniform ve üniform olmayan iki farklı taban malzemesiyle yapılan bu çalışmanın literatüre ışık tutması amaçlanmaktadır.

Mahmuz ucundaki oyulma miktarına ve mahmuzun arkasındaki yığılma miktarına bakıldığında, üniform olmayan taban malzemesindeki oyulma ve

yığılma değerlerinin daha düşük değerler olduğu gözlemlenmektedir. Üniform olmayan taban malzemesinde mahmuz arkasında 2 cm'e yakın yükseklikte yığılma oluşurken, üniform taban malzemesinde yığılma yüksekliği 8 cm'yi bulmaktadır. Üniform olmayan taban malzemesinde meydana gelen zırhlanma oyulmaya sebep olan taban hareketini azaltarak, oyulma hacmini ve derinliğini azaltmıştır. Buna bağlı olarak yığılma değerlerinin de düşük olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca küçük parçacıkların mahmuz etrafında oluşan çevrıntiler dolayısıyla akışa karışıp akışla birlikte deney alanından uzaklaşması yığılma miktarını azaltmış olabilir. Üniform taban malzemesinde akımın alıp götüreceği kadar küçük tanecikler bulunmadığından, taneciklerin hepsi mahmuz arkasındaki alanda tepecikleri oluşturmuştur.

45° açılı mahmuzlarda maksimum oyulma hacmi meydana gelirken, 90° açılı mahmuzlarda maksimum oyulma derinliklerinin meydana gelmesi, açının oyulma geometrisini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. 90° açılı mahmuz deneylerindeki oyulma çukurunun eğiminin daha yüksek ve dolayısıyla plandan görünen çukur alanının daha küçük, 45° açılı mahmuz deneylerinde oyulma çukurunun eğiminin daha az ve dolayısıyla plandan görünen çukur alanının daha büyük değerler alması beklenmektedir.

Oyulma derinliğini ve hacmini hesaplayabilmek için iki farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. Lineer olmayan çoklu regresyon modeli için kurulan fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

$$\frac{d_s}{y} = f\left(\frac{d_{50}}{y}, \frac{y}{b}\right)$$

$$\frac{V}{y^3} = f\left(\alpha, \frac{d_{50}}{y}, \frac{y}{b}\right)$$

Modeldeki değişkenler boyutsuz büyüklüklerdir. y ; ortalama su derinliği, b ; mahmuz uzunluğu, d_{50} ; medyan dane çapı, α ; yönelme açısıdır. Verilerin 1/3'lük kısmı önerilen bağıntıyı kontrol etmek üzere ayrılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda üniform ve üniform olmayan sedimentler için temiz su oyulması şartlarında kullanılmak üzere aşağıdaki bağıntılar önerilmiştir;

Üniform olmayan sedimentler için;

$$\frac{d_s}{y} = 6.7 \frac{1}{\frac{y^{1.94}}{b} \frac{d_{50}^{1.64}}{y}} \quad R^2=0.90 \quad (4.2)$$

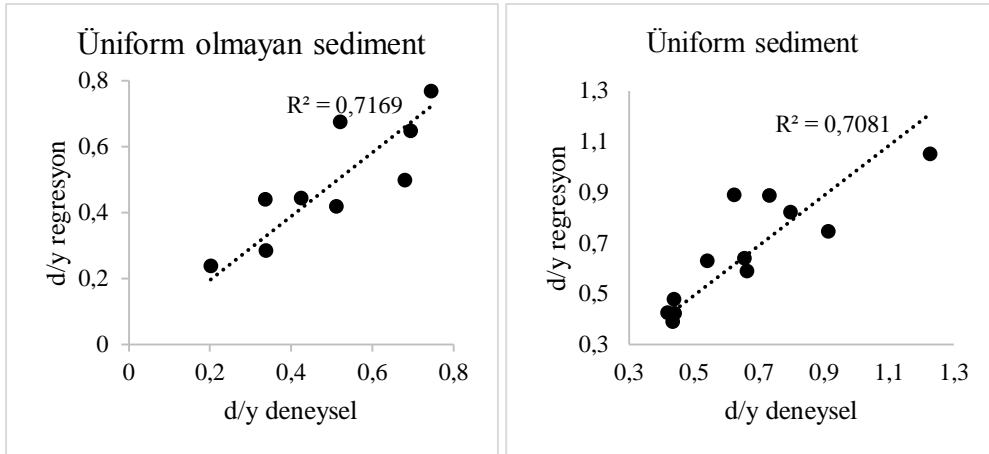
$$\frac{V}{y^3} = 3.8 \frac{1}{\frac{y^{2.65}}{b} \frac{d_{50}^{0.88}}{y} \alpha^{0.3}} \quad R^2=0.97 \quad (4.3)$$

Üniform sedimentler için;

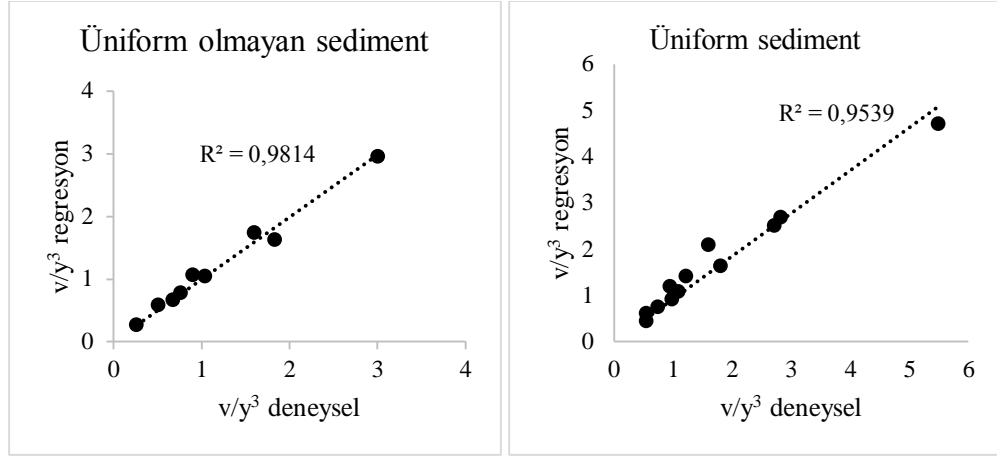
$$\frac{d_s}{y} = 4.3 \frac{1}{\frac{y^{1.43}}{b} \frac{d_{50}}{y}} \quad R^2=0.87 \quad (4.4)$$

$$\frac{V}{y^3} = 4.8 \frac{1}{\frac{y^{2.4}}{b} \frac{d_{50}^{0.68}}{y} \alpha^{0.21}} \quad R^2=0.98 \quad (4.5)$$

Test için ayrılan verilerle hesaplanan değerlerin deney sonuçları ile karşılaştırılmasıyla elde edilen grafik Şekil 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Bulunan R^2 değerinin yüksekliği modelin başarılı olduğunun göstergesidir. Önerilen bağıntılarda α radyan cinsinden, d_{50} mm cinsinden, diğer tüm değerler m cinsinden alınmalıdır.



Şekil 4.2. Regresyon analiziyle hesaplanan ve deneylerde ölçülen görel oylulma derinlikleri



Şekil 4.3. Regresyon analiziyle hesaplanan ve deneylerde ölçülen görelî hacimler

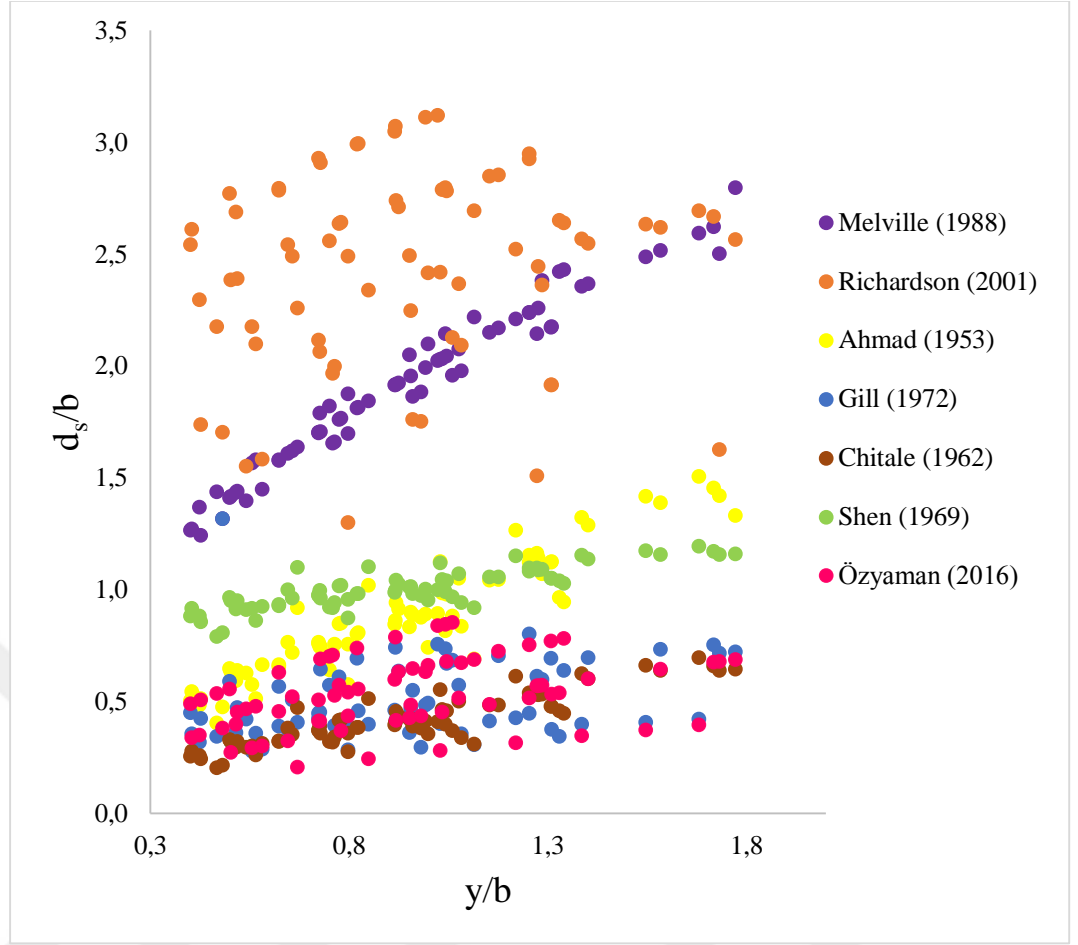
Regresyon bağıntıları incelendiğinde oyulma derinliği ve oyulma hacmine en fazla etkisi olan görelî su derinliğidir.

4.3. Literatürdeki bağıntılarla yapılan oyulma derinliği hesapları

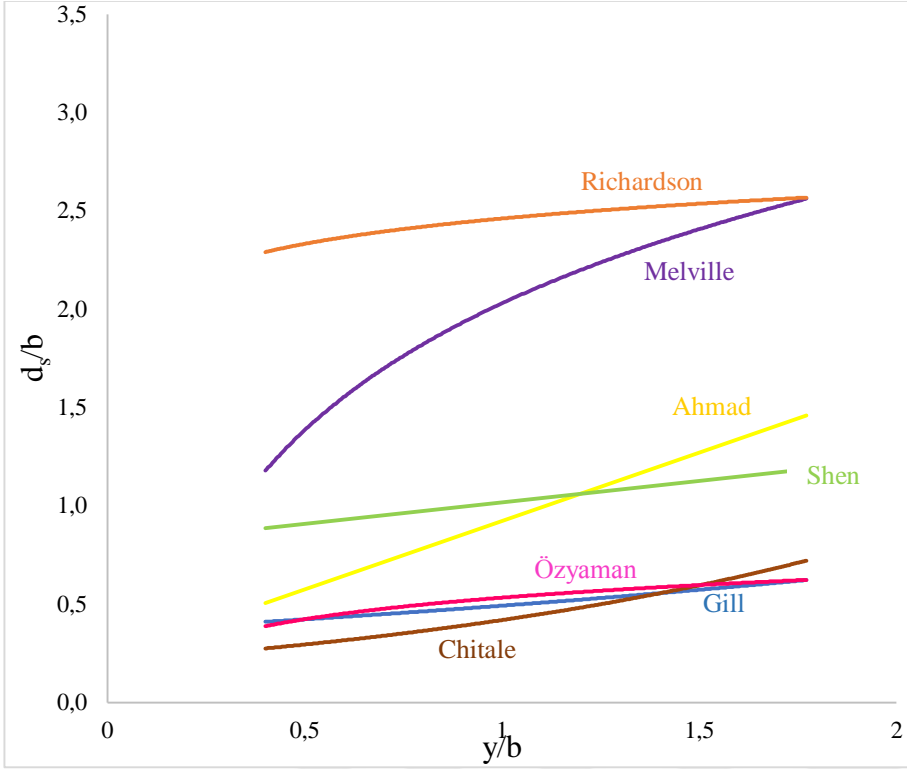
Bu çalışmadaki veriler kullanılarak, literatür bölümünde ve Çizelge 4.1' de verilen bağıntılar ile oyulma derinlikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan oyulma derinliklerinin değerleri görelî olarak Şekil 4.4'de verilmiştir. Pembe ile belirtilen değerler bu tez çalışmasında önerilen Denklem 4.2 ve 4.4 ile hesaplanmış değerlerdir. Burada Melville (1988) ve Richardson and Davis (2001) tarafından önerilen bağıntılarla elde edilen görelî oyulma derinlikleri Denklem 4.2 ve 4.4 ile hesaplanan oyulma derinliklerden oldukça fazla görülmektedir. Shen ve Ahmad eşitlikleri ile elde edilen sonuçlar da deney ölçümlerinden elde edilen değerlere daha yakındır. Gill (1972) ve Chitale (1962) denklemleri ile elde edilen oyulma derinliklerinin bu çalışmanın deney verileriyle en uyumlu sonuçları verdiği görülmektedir. Çizelge 4.1' de bağıntıların hareketli taban oyulması (HT) ve temiz su oyulması (TS) şartlarında kullanılabilme durumu görülmektedir.

Çizelge 4.1 Literatürdeki oyulma derinliği bağıntıları

Melville (1988)	$\frac{d_s}{y} = K_I K_y K_d K_\sigma K_s K_\alpha$	TS-HT
Richardson (2001)	$\frac{d_s}{y_1} = 2 K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{b}{y_1}\right)^{0.65} Fr_1^{0.43}$	TS-HT
Ahmad (1953)	$y + d_s = K q_1^{2/3}$	TS-HT
Gill (1972)	$\frac{d_s + y}{y} = 8.375 \frac{D_{50}^{0.25}}{y} \frac{B_1^{6/7}}{B_2} \frac{\tau_0^{3/7}}{\tau_{kr}}$	TS
Chitale (1962)	$\frac{d_s}{y} = -5.49 Fr^2 + 6.65 Fr - 0.51$	TS-HT
Shen (1969)	$\frac{d_s}{b} = 3.4 Fr^{2/3} \frac{y^{1/3}}{b}$	TS

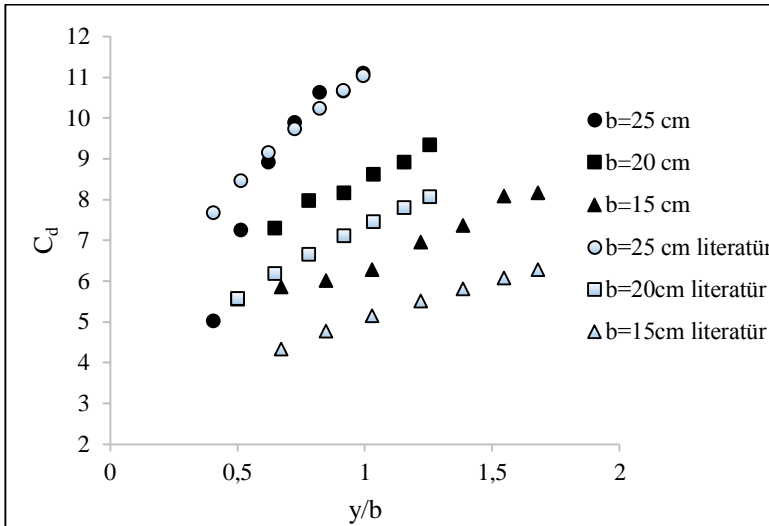


Şekil 4.4 Literatür bağıntılarıyla hesaplanmış görel oylma derinliklerinin görel su derinlikleriyle ilişkisi



Şekil 4.5. Literatür bağıntılarının eğilim çizgileri

Denklem 4.1 ile hesaplanan direnç katsayıları aynı zamanda literatürdeki Denklem 2.12 ile de hesaplanmış ve değerlerin paralel olduğu görülmüştür (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Deneylerdeki ve literatürdeki C_D değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada değişen mahmuz fiziksel parametrelerinin akış ve temiz su oyulması üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda laboratuvar şartlarında dikdörtgen kesitli açık kanalda farklı uzunluk ve açılardaki mahmuzlarla ve iki farklı taban malzemesiyle deneyler yürütülmüştür. Tez çalışması neticesinde elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

Bütün diğer değişkenler sabit tutulduğunda, üniform ve üniform olmayan malzemeler için, debi ve dolayısıyla akım derinliği arttığında direnç kuvveti, direnç katsayısı, oyulma derinliği ve oyulma hacmi artmaktadır.

Bütün diğer değişkenler sabit tutulduğunda, üniform ve üniform olmayan malzemeler için, mahmuz uzunluğu arttıkça direnç kuvveti, direnç katsayısı, oyulma derinliği ve oyulma hacmi artmaktadır.

Mahmuza gelen direnç kuvvetinin, mahmuzun direnç katsayısının, mahmuz çevresindeki oyulma hacminin tüm deneylerde mahmuz yönelme açısı arttıkça azaldığı görülmektedir.

Üniform malzeme için ölçülen oyulma ve yığılma hacimleri aynı şartlarda tekrarlanan tüm deneylerde üniform olmayan malzemenin oyulma ve yığılma hacimlerinden büyüktür.

Maksimum oyulma derinliğinin 90° açılı mahmuzlarda en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Membaya ve mansaba yönelik mahmuzlarda oyulma derinlikleri taban malzemesinin üniformluğuna göre değişmektedir. Üniform olmayan taban malzemesi ile yapılan deneylerde 45° açılı mahmuzlarda oyulma derinlikleri en yüksek iken, üniform olan taban malzemesi ile yapılan deneylerde 135° açılı mahmuzlardaki oyulma derinlikleri en yüksektir.

Membaya yönelik 45° açılı mahmuzlarda maksimum oyulma derinliği mahmuzun memba tarafında meydana geldiği, mansaba yönelik 135° açılı mahmuzlarda mahmuzun mansap tarafında meydana geldiği, 90° açılı mahmuzlarda ise maksimum oyulma mahmuz hizasında meydana gelmektedir.

Mahmuzun direnç katsayısını hesaplamak için regresyon analizi yardımıyla önerilen bağıntı aşağıdaki gibidir;

$$c_D = 0.2 \frac{y_1^{15.55} y_2}{Fr^{0.52} \frac{y}{b}^{0.13} \frac{b}{B}^{0.55}} \quad (5.1)$$

Mahmuzun oyulma hacmini ve oyulma derinliğini hesaplamak için regresyon analizi kullanılarak önerilen bağıntılar aşağıdaki gibidir;

Üniform olmayan sedimentler için;

$$\frac{d_s}{y} = 6.7 \frac{1}{\frac{y^{1.94}}{b} \frac{d_{50}^{1.64}}{y}} \quad R^2=0.90 \quad (5.2)$$

$$\frac{V}{y^3} = 3.8 \frac{1}{\frac{y^{2.65}}{b} \frac{d_{50}^{0.88}}{y} \alpha^{0.3}} \quad R^2=0.97 \quad (5.3)$$

Üniform sedimentler için

$$\frac{d_s}{y} = 4.3 \frac{1}{\frac{y^{1.43}}{b} \frac{d_{50}}{y}} \quad R^2=0.87 \quad (5.4)$$

$$\frac{V}{y^3} = 4.8 \frac{1}{\frac{y^{2.4}}{b} \frac{d_{50}^{0.68}}{y} \alpha^{0.21}} \quad R^2=0.98 \quad (5.5)$$

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın devamı niteliğinde sınır şartlarının etkisini göstermek adına daha geniş kanalda yürütülecek deney sonuçları, bu çalışmanın sonuçlarıyla birleştirilerek daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca farklı üniformaluk katsayılarındaki taban malzemeleriyle yürütülen deneylerle, üniformaluk katsayısının etkisinin daha net gözlemlenmesi sağlanabilir.

Mahmuz çevresine özellikle maksimum oyulmanın olduğu bölgelere (45° açılı mahmuzlarda memba tarafında, 135° açılı mansap tarafında, 90° açılı mahmuzda ise mahmuz hizasında) serilecek iri malzemeden oluşmuş zırh tabakasının o bölgedeki taban hareketini nasıl etkileyeceği deneysel olarak incelenerek bu çalışmanın kapsamı genişletilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmad, M.**, 1953, Experiments on Design and Behavior of Spur Dikes, *Proceedings Minnesota International Hydraulic Convention*, ASCE, 145-159.
- Alvarez, J.**, 1989, State-of-the-art report: Mexico. Design of groins and spur dikes, *Proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering*, ASCE, 296-301. pp.
- Aküzüm, T. ve Öztürk, F.**, 1996. Toprak Su Yapıları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Ankara 428s.
- Azinfar, H.** 2010 Flow Resistance and Associated Backwater Effect Due to Spur Dikes in Open Channels, Phd Thesis, University of Saskatchewan Saskatoon, 200p (unpublished).
- Azinfar, H. and Kells, J.**, 2008. Backwater prediction due to the blockage caused by a single, submerged spur dike in an open channel, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(8): 1153-1157 pp.
- Ballio, F., Teruzzi, A. and Radice, A.**, 2009. Constriction effects in clear-water scour at abutments, *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(2): 140-145 pp.
- Bayazit, M.**, 1971. Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Breusers, H. and Raudkivi, A.**, 1991, Scouring, Hydraulic Structures Design Manual, *IAHR, AA Balkema, Rotterdam*, 143 pp.
- Chin, C.**, 1985. Stream Bed Armouring, Phd Thesis, University of Auckland, Auckland.
- Chitale, S.**, 1962. Discussion of scour at bridge crossings. *American Society of Civil Engineers*, 217(1): 191-196 pp.
- Copeland, R. R.**, 1983. Bank Protection Techniques Using Spur Dikes, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 32p.
- Dinçsoy, Y.**, 2013. Yan Derelerde Erozyon ve Rüşubat Kontrolü, Devlet Su İşleri, Ankara, 67s.
- Eroğlu, N.**, 2001. Dikdörtgen kesitli doğrusal yatak üzerinde yerleştirilmiş düşey plak şeklindeki mahmuzun oyulma sınırlarının belirlenmesi, *Teknik Dergi*, 12(57): 2331-2353 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ezzeldin, M., Saafan, T., Rageh, O. and Nejm, L.,** 2007. Local scour around spur dikes, *Eleventh Int. Water Technology Conference*, 779-795 pp.
- Garde, R., Subramanya, K. and Nambudripad, K.,** 1961. Study of scour around spur-dikes, *Journal of the Hydraulics Division*, 87(6): 23-37 pp.
- Gill, M. A.,** 1972. Erosion of sand beds around spur dikes, *Journal of the Hydraulics Division*, 98. pp.
- Jackson, K. S.,** 1997. Evaluation of bridge-scour data at selected sites in ohio, US Dept. of the Interior, US Geological Survey; USGS Branch of Information Services.
- Jones, J. S.,** 1984. Comparison of prediction equations for bridge pier and abutment scour, *Transportation Research Record*, 950. pp.
- Karami, H., Ardeshir, A., Saneie, M., Behzadian, K. and Jalilsani, F.** 2008. Reduction of local scouring with protective spur dike, *World Environmental and Water Resources Congress, ASCE*, 1-9.
- Kothyari, U. and Ranga Raju, K.,** 2001. Scour around spur dikes and bridge abutments, *Journal of Hydraulic Research*, 39(4): 367-374 pp.
- Kuhle, R. A., Alonso, C. V. and Shields, F. D.,** 1999. Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9): 972-978 pp.
- Kuhle, R. A., Alonso, C. V. and Shields Jr, F. D.,** 2002. Local scour associated with angled spur dikes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(12): 1087-1093 pp.
- Liu, H., Chang, F. F. and Skinner, M. M.,** 1961, Effect of Bridge Constriction on Scour and Backwater, Civil Engineering Section, Colorado State University.
- Melville, B.,** 1992. Local scour at bridge abutments, *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(4): 615-631 pp.
- Melville, B. W.,** 1997. Pier and abutment scour: integrated approach, *Journal Of Hydraulic Engineering*, 123(2): 125-136 pp.
- Melville, B. and Sutherland, A.,** 1988. Design method for local scour at bridge piers, *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(10): 1210-1226 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Melville, B. W. and Coleman, S. E.**, 2000, Bridge Scour, Water Resources Publication.
- Melville, B.**, 2008. The physics of local scour at bridge piers, in *Proceeding of the 4th International Conference on Scour and Erosion*,
- Miller, R., Roulund, A., Sumer, B. M., Fredsøe, J., Truelsen, C. and Michelsen, J.**, 2003, '3-D Numerical Modelling of Flow around a Groin', in *Proceedings of Xxx. Iahr Congress*, ATh,
- Oak, A. G.**, 1992. Backwater rise due to a submerged spur, MSc Thesis University of Saskatchewan, 66p.
- Oliveto, G. and Hager, W. H.**, 2002, Temporal Evolution of Clear-Water Pier and Abutment Scour, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(9): 811-820 pp.
- Rajaratnam, N. and Nwachukwu, B. A.**, 1983. Flow near groin-like structures, *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3): 463-480 pp.
- Raudkivi, A. J. and Ettema, R.**, 1983. Clear-water scour at cylindrical piers, *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3): 338-350 pp.
- Raudkivi, A. J.**, 1986. Functional trends of scour at bridge piers, *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(1): 1-13 pp.
- Richardson, E. and Davis, S.**, 2001, Evaluating Scour at Bridges: Federal Highway Administration Hydraulic Engineering Circular No. 18, *Publication FHWA NHI: 01-001* pp.
- Richardson, E. and Simons, D. B.**, 1984. Use of spurs and guidebanks for highway crossings, *Transportation Research Record Vol. 950. (2): 184-193* pp.
- Shen, H. W., Schneider, V. R. and Karaki, S.**, 1969, Local Scour around Bridge Piers, *Journal of the Hydraulics Division*, 95(6): 1919-1940 pp.
- Shields Jr, F. D., Cooper, C. M. and Knight, S. S.**, 1995. Experiment in stream restoration, *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(6): 494-502 pp.
- Shields, A.**, 1936. Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement, *Soil Conservation Service* 47p.
- Sukhodolov, A., Engelhardt, C., Krüger, A. and Bungartz, H.**, 2004. Case study: turbulent flow and sediment distributions in a groyne field, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(1): 1-9 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- USACE, 1980.** Engineering and design - Layout and design of shallow-draft waterways., Washington U.S. Army Corps of Engineers, Number EM 1110-2-1611.
- Yanmaz, A.M., 1989.** Time dependent analysis of clear water scour around bridge piers. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Yanmaz, A. M., 2002.** Köprü Hidroliği, Orta Doğu Teknik, Ankara, 384s.
- Yıldırım, M. S. ve Yanmaz, A. M., 2014.** Köprü ayakları etrafındaki koruyucu kaplamanın bilgisayar destekli tasarımı, *Teknik Dergi*, 25(122) pp.
- Zhang, H., 2005.** Study on flow and bed evolution in channels with spur dykes, pp.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılı İzmir doğumlu olup, öğrenim hayatını sırasıyla Hakimiyet-i Milliye İlköğretim Okulu, Misak-ı Milliye ortaokulu, İzmir Atatürk Lisesi ve Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2008 yılında başlamış olduğu lisans öğrenimini, 2012 yılında tamamlamış olup şuan Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve Hidrolik Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.



