

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ TABANLI AKARSULARDA LABİRENT YAN SAVAKLARDAKİ
AKIMIN HİDRODİNAMİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa TUNÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.06.2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 27.06.2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ (ODTÜ)
: Doç. Dr. Nihat KAYA (F.Ü)



ELAZİĞ, 2014

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasının hem ders döneminde hem de tez döneminde beni bilgisiyle ve emeğiyle hiç yalnız bırakmayan, bildiğim her şeyi kendisine borçlu olduğum sadece hocalığıyla değil insani yönüyle de her zaman örnek alacağım değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU'na öncelikle gönülden teşekkür ederim.

Kendilerinden ders alarak, bilgilerinden istifade ettiğim bölümümüzün değerli hocalarından Doç. Dr. Nihat KAYA hocama şükranlarımı sunarım. Tezimi titizlikle okuyup, yaptığı önerilerle çalışmama değer katan Sayın Prof. Dr. Mustafa GÖĞÜŞ'e teşekkür ederim.

Tezimin özellikle laboratuvar çalışmaları sırasında yardıma her ihtiyaç duyduğumda yanımda olan ve yardımına koşan Teknisyen Muhammet KARTAL'a emeklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak dualarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mustafa TUNÇ

Elazığ-2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XIV
SEMBOL LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ.....	2
2.1. Giriş	2
2.2. Savak Tipleri.....	3
2.2.1. Keskin Kenarlı Savaklar.....	3
2.2.2. Geniş Kenarlı Savaklar.....	6
2.2.3. Labirent Savaklar	7
2.3. Savak Kret Şekilleri	8
2.4. Froude Sayısının Yan Savak Su Yüzü Profilleri Üzerindeki Etkisi	8
2.5. Yan Savak Akımının Özellikleri ve Yan Savakların Literatür Özeti	11
3. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	18
4. KATI MADDE HAREKETİ	34
4.1. Giriş	34
4.2. Bir Taneyi Etkileyen Kuvvetler ve Tabanda Hareketin Başlaması	35
4.3. Kritik Kayma Gerilmesi.....	38
4.4. Kritik Hız	43
4.5. Hareketli Tabanda Oluşan Şekiller ve Dalgalar	46
4.6. Yatak Şekillerinin Oluşma Nedenleri	51
4.7. Katı Madde Taşınımında Dengenin Bozulması.....	55
4.8. Oyulma Derinliğinin Zamanla Değişimi	58

5. DENEY DÜZENİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA.....	61
5.1. Deneysel Kanal	61
5.1.1. Su Temin Borusu ve Debimetre	61
5.1.2. Deneysel Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu	62
5.1.3. Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu	62
5.1.4. Yaklaşım Kanalı	62
5.1.5. Kıvrımlı Kanal.....	62
5.1.6. Doğrusal Çıkış Kanalı	62
5.1.7. Yan Savak Ayırma Duvarı	63
5.1.8. Toplama Kanalı	63
5.1.9. Boşaltım Havuzu	64
5.1.10. Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal	64
5.1.11. Hareketli Seviye Ölçüm Arabası.....	64
5.2. Giriş Devisinin Ölçülmesi	68
5.3. Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisi	69
5.4. Deneysel Kullanılan Taban Malzemesinin Özellikleri.....	69
5.5. Taban Malzemesi Kritik Hızlarının Tayini.....	70
5.6. Deneysel Çalışmada Olayı Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi	71
5.7. Boyut Analizi	72
5.8. Deneysel Çalışma	72
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	80
6.1. Giriş	80
6.2. Doğrusal Kanalda Oyulma Derinliğinin (H_d) zamanla (t) Değişimi	80
6.3. Doğrusal Kanalda Boyutsuz Denge Zamanındaki Oyulma Derinliğinin (H_{de}/p) Boyutsuz Akım Derinliği (y_1/p) ile Değişimi.....	87
6.4. Dikdörtgen Enkesitli Doğrusal Kanalda Boyutsuz Denge Zamanındaki Oyulma .. Derinliğinin (H_{de}/p), Akım Şiddeti (V_1/V_{kr}) ile Değişimi.....	90
6.5. Doğrusal Kanalda Hareketli Tabanlı Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi	93
6.6. Mevcut Çalışmanın Literatürdeki Çalışmalarla Karşılaştırılması	122
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	133
7.1. Sonuçlar	133
7.2. Öneriler	134

KAYNAKLAR	135
EKLER	139
Ek-1 DeneYlerin Oyulma Derinliği-Zaman Grafikleri ve Akım Özellikleri	139
ÖZGEÇMİŞ	151

ÖZET

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal akarsu yataklarının hareketli tabana sahip oldukları bilinmesine rağmen, hareketli tabanlı kanallara inşa edilen yan savaklarla ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır.

Bu çalışmada, hareketli tabana sahip dikdörtgen enkesitli doğrusal bir kanalda üçgen labirent yan savak civarında oluşan yerel oyulma derinlikleri, kararlı akım şartlarında ve yan savaktan serbest savaklanma durumları için, deneysel olarak incelenmiştir. Savak kreti olarak tanımlanan bir labirent savak planda düz değildir. Labirent savak açısı 90° olarak alınmıştır. Boyut analizi sonucunda, boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğinin (H_{de}/p); akım şiddetine (V_1/V_{kr}), savak kret yüksekliğine (y_1/p), yan savak açıklığına (L/B) ve yan savak tepe açısına (θ) bağımlı olduğu belirlenmiştir. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda hareketli taban oyulması durumunda ($1 < V_1/V_{kr} < 3$), " H_d/p " değerinin " V_1/V_{kr} " ile değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, birinci aşamada taban malzemesi özellikleri belirlenmiş ve daha sonra model deneyleri yapılarak ana kanal tabanında meydana gelen oyulma üzerinde taban malzemesi özelliklerinin etkileri incelenmiştir. Çalışma süresince dikdörtgen enkesitli doğrusal kanala yerleştirilen, üçgen labirent yan savak civarındaki oyulma derinliklerini belirlemek için toplamda 45 deney yapılmıştır.

Hareketli taban durumunda oyulma derinliğinin, yanal akımın azalmasıyla (yani düşük Q_w/Q_1 oranlarında) azaldığı, " y_1/p " ve " L/B " boyutsuz parametrelerinin artışıyla da, oyulma derinliğinin (H_d) arttığı gözlenmiştir. Oyulma, çoğunlukla labirent savağın mansap ucunda gözlenmiştir. Savak bölgesinin mansabında, savaktan sonra yığılmalar gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üçgen labirent yan savak, oyulma, akım şiddeti, hareketli taban, yanal su alma yapısı.

SUMMARY

An investigation of the hydrodynamics of flow at the labyrinth side weirs in the movable bed rivers

Side weirs, also known as lateral weir, are widely used in flood, irrigation, land drainage and combined urban sewer systems for flow diversion or intake structures. It is known that the rivers in nature have movable beds however; there is just limited research information about the side weirs located on the movable beds.

Local depth of scour around the triangular labyrinth side weirs located on the straight and rectangular channel having movable bed was investigated experimentally for steady and free overflow conditions. A labyrinth weir is defined as a weir crest that is not straight in plan form. Labyrinth weir apex angle was taken as 90° . As a result of dimensional analysis, it was found that the dimensionless equilibrium scour depth (H_{de}/p) depends on the flow intensity (V_1/V_{kr}), dimensionless depth (y_1/p), dimensionless length (L/B) and side weir apex angle (θ). The variation of dimensionless scour depth (H_d/p) with “ V_1/V_{kr} ” is experimentally investigated for movable bed scour conditions ($1 < V_1/V_{kr} < 3$) at the straight and rectangular cross-section channel.

In the present study, as a first step, the characteristics of materials were determined and then effects of bed materials' features on the main channel bottom were analyzed by conducting model experiments. Moreover, during the research process, a total of 45 experiments were conducted in order to obtain the scour depth around the triangular labyrinth side weir located in a straight and rectangular channel.

It is found that the scour depth decreases for live bed conditions due to decrease of the intensity of lateral overflow (i.e. for low Q_w/Q_1 ratios) and as increasing the ratios of “ y_1/p ” and “ L/B ”, the scour depths also increase. Generally, the scour depth was observed at downstream edge of the labyrinth side weir. Dune and ripple formations were observed at downstream of the side weir area.

Keywords: Triangular labyrinth side weir, scour, flow intensity, live bed, lateral intake structure.

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Savak tipleri	3
Şekil 2.2. Geniş kenarlı savaklar	6
Şekil 2.3. Labirent savaklar	7
Şekil 2.4. Savak kret şekilleri.....	8
Şekil 2.5. Su yüzü profilleri.....	10
Şekil 2.6. Yan savak akımında özgül enerji-derinlik ilişkisi.....	11
Şekil 2.7. Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki.....	12
Şekil 2.8. Yan savak akımında nehir rejimi için su yüzü profili	13
Şekil 2.9. Yan savak akımında sel rejimi için su yüzü profili.....	13
Şekil 2.10. Yan savak akımının planı ve kesiti	16
Şekil 3.1. $L/B=0.625$ ve $p=17$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi..	20
Şekil 3.2. $L/B=0.625$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi..	21
Şekil 3.3. $L/B=0.625$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	21
Şekil 3.4. $L/B=1$ ve $p=17$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi.....	22
Şekil 3.5. $L/B=1$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi.....	22
Şekil 3.6. $L/B=1$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi.....	23
Şekil 3.7. Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının..... zamanla değişimi	26
Şekil 3.8. Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının..... zamanla değişimi	27
Şekil 3.9. Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının..... zamanla değişimi.	27
Şekil 3.10. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının... zamanla değişimi	28
Şekil 3.11. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının... zamanla değişimi	29

Şekil 3.12. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	29
Şekil 3.13. $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7951$, $L/B=0.50$ ve $p/B=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler.....	30
Şekil 3.14. Deney 8'e ait oyulma derinliği-zaman değişimi	32
Şekil 3.15. Deney 10'a ait oyulma derinliği-zaman değişimi	33
Şekil 3.16. Deney 12'ye ait oyulma derinliği-zaman değişimi	33
Şekil 4.1. Taban yakınlardaki sürüntü ve sıçrama hareketleri	34
Şekil 4.2. Tabandaki bir taneyi etkileyen kuvvetler	35
Şekil 4.3. Shields diyagramı.....	39
Şekil 4.4. Kritik kayma gerilmesini veren Shields eğrisi	41
Şekil 4.5. Shields eğrisinin belli bir tanenin kritik kayma gerilmesini doğrudan bulmak için kullanılan şekli	42
Şekil 4.6. Bonefille'nin hazırladığı diyagram	43
Şekil 4.7. Hareketli tabanda akımın hızına bağlı olarak oluşan şekiller	47
Şekil 4.8. Hareketli bir tabanda oluşan dalgacıklar	48
Şekil 4.9. Hareketli tabanlarda meydana gelen eşikler	50
Şekil 4.10. Nehir rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi.....	51
Şekil 4.11. Sel rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi.....	51
Şekil 4.12. Taban hareketinin başlangıcı için Liu ve Shields eğrilerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.13. Shields ve Liu diyagramlarının karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.14. Taban deformasyonun basınç dağılımı ve kayma gerilmesi üzerindeki etkisi .	53
Şekil 4.15. Exner (1925) modeline göre yatakta dalgacıkların meydana gelişi.....	54
Şekil 4.16. Katı madde taşınımı için süreklilik denkleminin elde edilişi.....	56
Şekil 4.17. Akarsuyun taşıdığı tanelerin biriktirme haznesinde yığılması.....	57
Şekil 4.18. Bir köprü ayağı etrafındaki çevrıntiler ve oyulma çukuru	58
Şekil 4.19. Oyulma derinliğinin zamanla değişimi	59
Şekil 4.20. Oyulma derinliğinin zamanla ve akım hızıyla değişimi	60
Şekil 4.21. Oyulma derinliğinin akım hızı ile değişimi	60
Şekil 5.1. Labirent yan savak üzerindeki akım	63
Şekil 5.2. Hareketli seviye ölçüm arabası	64
Şekil 5.3. Deney seti plan ve kesitleri	65
Şekil 5.4. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre	68

Şekil 5.5. Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana.....	68
Şekil 5.6. Dikdörtgen savak anahtar eğrisi.....	69
Şekil 5.7. Taban malzemesinin granülometri eğrisi.....	70
Şekil 5.8. Deney sistemi uygulama düzeneği.....	73
Şekil 5.9. Kanal tabanın düzleştirilmesi.....	74
Şekil 5.10. Kanal tabanının deneye başlamadan önceki düzleştirilmiş hali.....	75
Şekil 5.11. (a-c). Test edilen yan savaklarda topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi	76
Şekil 5.12. Kanala katı madde ilavesi yapan portatif makine	77
Şekil 6.1. $L/B=0.8$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta, $V_1/V_{kr}=1.429$ için maksimum oyulma..... bölgesindeki oyulma derinliğinin zamanla değişimi	81
Şekil 6.2. $p=16$ $L=40$ $V_1/V_{kr}=1.45$ akım özelliklerine sahip deneyde maksimum oyulma.... derinliğinin yerini gösteren bir resim.....	81
Şekil 6.3. $L/B=0.5$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz... maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	83
Şekil 6.4. $L/B=0.5$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	83
Şekil 6.5. $L/B=0.5$ ve $p=16$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz.. maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	84
Şekil 6.6. $L/B=0.65$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz.. maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	84
Şekil 6.7. $L/B=0.65$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	85
Şekil 6.8. $L/B=0.65$ ve $p=16$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	85
Şekil 6.9. $L/B=0.8$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz... maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	86
Şekil 6.10. $L/B=0.8$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	86
Şekil 6.11. $L/B=0.8$ ve $p=16$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi.....	87
Şekil 6.12. $L/B=0.50$, $L/B=0.65$ ve $L/B=0.80$ için H_{de}/p ile y_1/p değişimi.....	88
Şekil 6.13. Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım	88

Şekil 6.14. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi.....	89
Şekil 6.15. $L/B=0.5$ ve $p=7$ cm, $p=12$ cm, $p=16$ cm için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi	90
Şekil 6.16. $L/B=0.65$ ve $p=7$ cm, $p=12$ cm, $p=16$ cm için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi	91
Şekil 6.17. $L/B=0.8$ ve $p=7$ cm, $p=12$ cm, $p=16$ cm için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi	91
Şekil 6.18. $p=7$ cm ve $L/B=0.5$, $L/B=0.65$, $L/B=0.8$ için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	92
Şekil 6.19. $p=12$ cm ve $L/B=0.5$, $L/B=0.65$, $L/B=0.8$ için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	92
Şekil 6.20. $p=16$ cm ve $L/B=0.5$, $L/B=0.65$, $L/B=0.8$ için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	93
Şekil 6.21. $L=25$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.833$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.941$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü	95
Şekil 6.22. $L=25$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.833$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.941$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu..... görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)	97
Şekil 6.23. $L=32.5$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.238$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=2.946$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve..... görünüşü	99
Şekil 6.24. $L=32.5$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.238$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=2.946$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)..	100
Şekil 6.25. $L=40$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.00$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.362$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü	102
Şekil 6.26. $L=40$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.00$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.362$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu..... görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)	103
Şekil 6.27. $L=25$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.688$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.518$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve..... görünüşü	105
Şekil 6.28. $L=25$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.688$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.518$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)..	106

Şekil 6.29. L=32.5 cm açıklığında p=12 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.839$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.869$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve..... görünüşü	108
Şekil 6.30. L=32.5 cm açıklığında p=12 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.839$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.869$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)...	109
Şekil 6.31. L=40 cm açıklığında p=12 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.813$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.810$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve.... görünüşü	111
Şekil 6.32. L=40 cm açıklığında p=12 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.813$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.810$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)...	112
Şekil 6.33. L=25 cm açıklığında p=16 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.947$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=2.058$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve..... görünüşü	114
Şekil 6.34. L=25 cm açıklığında p=16 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.947$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=2.058$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)...	115
Şekil 6.35. L=32.5 cm açıklığında p=16 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.65$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.401$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve..... görünüşü	117
Şekil 6.36. L=32.5 cm açıklığında p=16 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.65$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.401$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)...	118
Şekil 6.37. L=40 cm uzunluğunda p=16 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.565$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.194$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve..... görünüşü	120

Şekil 6.38. L=40 cm açıklığında p=16 cm kret yüksekliğinde $V_1=0.565$ m/s ve..... $V_1/V_{kr}=1.194$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)...	121
Şekil 6.39. L/B=0.50 ve 0.625 için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	123
Şekil 6.40. L/B=0.65 ve 1.0 için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	124
Şekil 6.41. L/B=0.80 ve 1.25 için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	125
Şekil 6.42. L/B=0.50 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında.... H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	129
Şekil 6.43. L/B=0.65 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında.... H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	130
Şekil 6.44. L/B=0.80 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında.... H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi.....	130
Şekil 6.45. L/B=0.50 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında.... H_{dmax}/p ile t/t_e değişimi	131
Şekil 6.46. L/B=0.65 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında.... H_{dmax}/p ile t/t_e değişimi	132
Şekil 6.47. L/B=0.80 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında.... H_{dmax}/p ile t/t_e değişimi	132

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen enkesitli yan savakların debi..... katsayısı için araştırmacıların verdikleri eşitlikler.....	17
Tablo 4.1. Kanallarda izin verilebilecek hızlar	45
Tablo 4.2. Kohezyonlu zeminlerde kritik ortalama hız	46
Tablo 5.1. Yan savak akımını etkileyen parametreler	71
Tablo 5.2. Deneylein yan savak, akım özellikleri ve elde edilen sonuçlar.....	78
Tablo 6.1. Taban topografyası alınan deneylein yan savak özellikleri ve akım şartları....	93
Tablo 6.2. Mevcut çalışma ile Dilek (2011) tarafından yapılan çalışmanın karşılaştırılması.	126
Tablo 6.3. Mevcut çalışmanın özelliklerinin ve sonuçlarının literatürdeki çalışmalarla..... karşılaştırılması.....	127

SEMBOL LİSTESİ

- A** : Ana kanal ıslak kesit alanı (m^2)
- B** : Ana kanal genişliği (m)
- b₁** : Yan savak sonunda ana kanal genişliği (m)
- b₂** : Yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (m)
- c** : İntegral sabiti (-)
- C** : Chezy katsayısı (-)
- C_L** : Kaldırma katsayısı
- C_D** : Sürükleme katsayısı
- C_d** : Yan savak debi katsayısı
- D** : Silindirik ayak çapı (m)
- d*** : Boyutsuz malzeme çapı (-)
- d** : Volümetrik katı madde çapı (mm)
- d₅₀** : Malzemenin yüzde ellisini geçiren elek çapı (Medyan çap, mm)
- d₆₀** : Malzemenin yüzde altmışını geçiren elek çapı (mm)
- d₉₀** : Malzemenin yüzde doksanını geçiren elek çapı (mm)
- E** : Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
- F_D** : Sürükleme kuvveti (N)
- F_I** : Kaldırma kuvveti (N)
- Fr** : Froude sayısı (-)
- Fr₁** : Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı (-)
- Fr*** : Tane Froude sayısı (-)
- Fr_{giriş}** : Membadan gelen akımın Froude sayısı (-)
- Fr_{çıkış}** : Mansaptan çıkan akımın Froude sayısı (-)
- g** : Yerçekimi ivmesi (m^2/s)
- h** : Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)
- h_L** : Yan savak boyunca meydana gelen yük kaybı (m)
- h_o** : Başlangıç akım derinliği (m)
- H_d** : Oyulma derinliği (cm)
- H_{de}** : Denge zamanındaki oyulma derinliği (cm)
- H_{dmax}** : Maksimum oyulma bölgesindeki oyulma derinliği (cm)

- J'** : Teğetsel enerji gradyanı (-)
- J_θ** : Teğetsel su yüzü eğimi (-)
- J_{kr}** : Kritik taban eğimi (-)
- J_o** : Ana kanal taban eğimi (-)
- J_f** : Enerji çizgisi eğimi (-)
- k** : Pürüz yüksekliği
- K** : Su yüzü yanal değişim katsayısı (-)
- K_θ** : Rölatif yan savak debi katsayısı (-)
- ℓ** : Yan savak kret uzunluğu (m)
- L** : Yan savak açıklığı (m)
- L_w** : Kalın kenarlı savak uzunluğu (m)
- n** : Manning sürtünme katsayısı (-)
- p** : Savak kret yüksekliği (m)
- Q_w** : Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan savaklanan debi (m³/s)
- Q₁** : Ana kanal debisi (m³/s)
- Q₂** : Savaşın mansap ucundaki ana kanal debisi (m³/s)
- Q_s** : Katı madde (sediment) debisi (m³/s)
- q_r** : Birim genişlikte enine doğrultudaki katı madde oranı
- q** : Birim uzunluktan savaklanan debi (m³/s.m)
- q_w** : Yan savaktan savaklanma oranı (%)
- q_{T(B)}** : Tabanın geometrisine bağlı olarak taşıma kapasitesi,
- q_{T(S)}** : Söz konusu kesitte membadan gelen katı madde miktarı,
- r** : Kıvrım eğrilik yarıçapı (m)
- r_i** : İç kıyı eğrilik yarıçapı (m)
- r_o** : Dış kıyı eğrilik yarıçapı (m)
- r_e** : Kanal eksen eğrilik yarıçapı (m)
- R** : Hidrolik yarıçap (m)
- Re** : Reynolds sayısı
- Re*** : Tane Reynolds sayısı
- S** : Batmış tane özgül ağırlığı ((γ_s-γ)/γ) (-)
- t** : Zaman (dakika)
- t_e** : Denge zamanı (dakika)
- τ** : Kayma gerilmesi (N/m²)

- τ_{kr} : Kritik kayma gerilmesi (N/m^2)
 τ_o : Taban kayma gerilmesi (N/m^2)
 u : Tane yakınlarındaki hız (m/s)
 U : Üniformluk katsayısı (-)
 u_* : Taban kayma hızı (m/s)
 u_{*kr} : Kritik kayma hızı (m/s),
 x : Yan savağın herhangi bir noktasının, yan svağın başlangıcına olan uzaklığı (m)
 V : Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s)
 V_o : Su yüzeyindeki boyuna hız (m/s)
 V_θ : Kıvrımda teğetsel (boyuna) hız bileşeni (m/s)
 V_1 : Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
 V_{kr} : Kritik hız (m/s)
 W : Ağırlık kuvveti (kN)
 We : Weber sayısı (-)
 w : Tane çökme hızı (mm/s)
 y_1 : Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
 y_2 : Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
 y_{kr} : Kritik akım halinde su derinliği (m)
 θ : Labirent yan savak tepe açısı ($^\circ$)
 α : Kıvrım merkez açısı ($^\circ$)
 \emptyset : De Marchi değişken akım fonksiyonu (-)
 ψ : Savaklanma (sapma) açısı ($^\circ$)
 β : Momentum katsayısı (-)
 λ : Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı (-)
 τ : Taban kayma gerilmesi (N)
 η : Rölatif derinlik (z/h) (-)
 ρ : Özgül kütle (kg/m^3)
 σ : Taban malzemesi granülometrisinin standart sapması (-)
 γ : Suyun özgül ağırlığı (N/m^3)
 γ_s : Kumun özgül ağırlığı (N/m^3)
 ν : Kinematik viskozite (m^2/s)
 ∇ : Katı madde hacmi (m^3)
 z : İki boyutlu akımda tabanın mukayese düzleminden yüksekliği (m)

1. GİRİŞ

Akarsu yatağında yer alan veya sonradan yerleştirilen bir yapı, akımın bazı özelliklerini değiştirebilmektedir. Bu değişiklikler önceden tahmin edilebilirse, yapı daha sağlıklı projelendirilir ya da bu değişikliklerin yol açacağı sorunlara karşı gerekli önlemler alınabilir. Çünkü tahmin edilemeyen, yani hesapta olmayan, problemler zaman içerisinde yapının hasar görmesine veya görevini yerine getirememesine yol açmaktadır. Su alma ağzlarında görülen oyulmalar, dolusavakların mansabında oluşan oyulmalar, köprü yan ve orta ayakları etrafında oluşan oyulmalar ve enerji kırıcı yapıların mansabında görülen oyulmalar hidrolik mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerdir.

Akarsularda bağlama ile kabartılarak çökeltim havuzuna ve iletim kanalına verilen suyun, mümkün olduğu kadar çok az sürüntü maddesi içermesi arzu edilmektedir. Aksi takdirde, kısa sürede çökeltim kanallarında ve iletim kanallarında sediment birikmesi, hidroelektrik santrallerde türbinlerin aşınması ve su kuvveti tesisinin kısa sürede devreden çıkması gibi sorunlar meydana gelmektedir. Ayrıca, su alma yapılarında oluşan kumlanmalar nedeniyle sürekli su alma, mümkün olmayabilmektedir. Ülkemizde su alma yapılarının çoğunluğunu yanal su alma yapıları oluşturmaktadır. Bu yapılarda, sürüntü maddesi sorunu, arazi bitki örtüsünün zayıf ve akarsuların eğimlerinin büyük olması nedeni ile önemli bir şekilde kendini göstermektedir. Yanal su alma yapılarından az sürüntü maddesi içeren su almak için, su alma yapısı ve konumu, eşik yüksekliği, bağlamanın tipi ve yeri, kılavuz seddeleri, çakıl geçidi, ayırma duvarı gibi etkenlerin büyük önemi bulunmaktadır.

Yanal savaklanmadan dolayı hız ve kayma gerilmelerindeki azalma, yan savağın mansabında durgunluk bölgesi oluşturarak ters akımın gerçekleşmesine neden olmaktadır. Kayma gerilmesindeki değişimlerden dolayı, yan savağın mansap bölgesinde ana kanal eksenini ile dış kıyı arasında bir oyulma çukuru oluşmaktadır.

Akarsular üzerine yerleştirilen labirent yan savakların etrafında meydana gelen taban topografyasındaki değişim ve oyulma problemi ile ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunması sebebiyle, bu konu hakkında tam bir kuramsal temel oluşmamıştır. Bu nedenle özellikle akarsu bakımından zengin olan ülkemizde, oyulma problemlerinin incelenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

2. YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ

2.1. Giriş

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan gerekli olan debinin temini ya da fazla suyun uzaklaştırılması amacıyla yapılmaktadır. Genellikle sulama, arazi drenajı ve birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde kullanılmaktadır. Kanaldaki fazla suyun taşarak çevreye zarar vermemesi için gerekli yerlere yan savaklar yapılmaktadır. Yan savakların en önemli fonksiyonu, inşa edilecek hidrolik yapıda ihtiyaç ve ekonomi dikkate alınarak belirlenen optimum kapasite aşıldığında, fazla suyu tahliye etmektir. Bu tip yapılar, kanalın bir ya da iki yanına bazen de yükleme havuzu gibi tesislerin yan tarafına yapıldıkları için yan savak olarak adlandırılmaktadırlar.

Yan savaklar, birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, meskûn bölgelerdeki birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde de yan savaklar sıkça kullanılır. Birleşik sistemlerde ana kollektördeki temiz olduğu kabul edilen fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla alıcı ortama doğrudan verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü azaltılmış olur. Ayrıca vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda, yüzeysel akıştan dolayı meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Yan savaklar kullanılarak, su kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi mümkün olmaktadır.

Yan savakların dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel yan savaklar gibi farklı enkesitleri mevcuttur. Bu yan savaklar, ana kanalın yanına inşa edilirken ana kanal ekseni ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi, ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir. Savaklanacak debi miktarı, yerleştirme yapılırken kullanılacak yan savak tipine, kanal enkesitine ve yerleştirme açısına göre değişiklik gösterir.

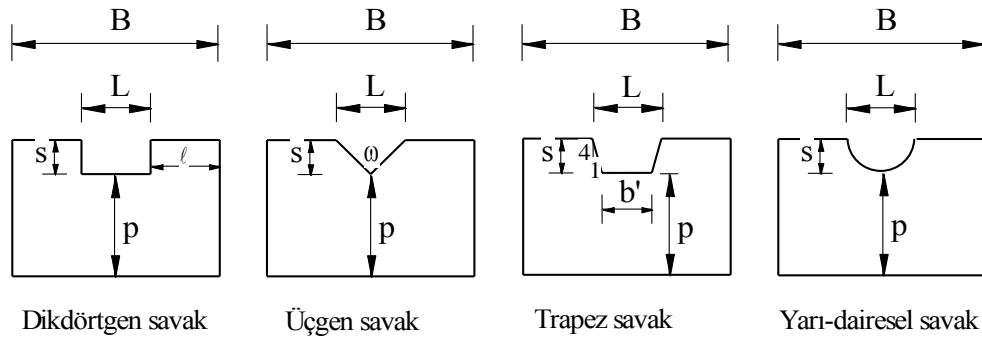
Yan savakların hidroliği çok eski tarihlerden beri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Hâlâ bu konu araştırmacıların ilgisini çekmekte ve çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır.

2.2. Savak Tipleri

2.2.1. Keskin Kenarlı Savaklar

Keskin kenarlı savak; debi ölçmede kullanılan, genellikle metal veya benzeri maddelerden yapılan, çeşitlerine çok fazla rastlanan savak tipidir. Bu savak tiplerinde, su havalanarak savaklanır. Laboratuvar çalışmalarında sıkça kullanıldığından dolayı, birçok debi denklemi bu savak tipiyle belirlenmiştir. Birçok keskin kenarlı savak tipi vardır. Ancak en çok kullanılan tipleri Şekil 2.1’de verilmiştir.

1. Dikdörtgen savaklar
2. Üçgen savaklar
3. Trapez savaklar (Cipolletti savağı)
4. Yarı dairesel savaklar



Şekil 2.1. Savak tipleri

Özellikle 90° ince kenarlı üçgen savak, debi ölçmek için en çok kullanılan savak tipidir. Literatürde, keskin kenarlı savaklar için birçok debi katsayısı formülü bulunmaktadır. Kindsvater ve Carter (1957) tarafından tanımlanan debi denkleminde, savak genişliği (L) ve savak üstündeki su yüksekliği (h), belli bir düzeltme yapılarak kullanılmıştır. Araştırmacılar, “L/B” ve “h/p” parametrelerine bağlı bir debi katsayısı önermişlerdir. Yanal daralmalı ve yanal daralmasız savaklar üzerinden savaklanan debi için birkaç eşitlik bu bölümde özetle verilmiştir. Yanal daralmalı dikdörtgen savaklar için 1883 yılında Francis, (2.1) eşitliğini önermiştir (USB, 2001).

$$Q = 1.83(L - 0.2h)h^{3/2} \quad (2.1)$$

burada, Q = Savaklanan debiyi (m^3/s), L = Suyun aktığı açıklığın genişliğini (m), h = Nap yükünü (m) ifade etmektedir.

Yanal daralmasız savaklarda, $H/p < 5$ için Rehbock (1929) (2.2) eşitliğini vermiştir. Yanal daralmasız savaklarda $H/p > 20$ için Henderson (1966) (2.3) eşitliğini önermiştir.

$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H_1}{p} \quad (2.2)$$

$$C_d = 1.06 \left(1 + \frac{p}{H_1}\right)^{3/2} \quad (2.3)$$

Şişman vd. (2009), “Dikdörtgen kesitli keskin kenarlı savaklarda debi ölçümü” konulu çalışmalarında, tam açıklıklı savaktan başlayarak dar açıklıklı savağa kadar bir dizi deneyler yürütmüşlerdir. Araştırmacılar yanal daralmalı savaklar için debi katsayısının, (2.4) eşitliğinde verilen boyutsuz parametrelere bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Keskin kenarlı dikdörtgen savakların, hem tam açıklıklı hem de dar açıklıklı üzerinden dökülen debi için (2.5) eşitliğini önermişlerdir.

$$C_d = f\left(\text{Re}, \text{We}, \frac{y_1}{B}, \frac{B}{L}, \frac{y_1}{p}\right) \quad (2.4)$$

$$Q = \left[-0.001 + 0.254 \left(\frac{B}{L}\right) + 0.366 \left(\frac{B}{L}\right)^2 - 1.631 \left(\frac{B}{L}\right)^3 \right] y_1 + \left[0.015 + 3.212 \left(\frac{B}{L}\right) - 8.068 \left(\frac{B}{L}\right)^2 + 39.609 \left(\frac{B}{L}\right)^3 \right] y_1^2 \quad (2.5)$$

burada, Q = Savaktan dökülen debiyi, Re = Reynolds sayısını, We = Weber sayısını göstermektedir. Diğer simgeler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Tokyay ve Turhan (2009) keskin kenarlı savaklarda, $5 < H_1/p < 20$ için yanal daralmasız savaklarda debi katsayısını veren eşitliği elde etmek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Sunulan eşitlik, “ H_1/p ” parametresine bağlıdır. Araştırmacılar savak üzerindeki birim debinin (q); savağın kret yüksekliğine (p), savak üzerindeki su yüküne (H_1), akışkanın yoğunluğuna (ρ), dinamik viskoziteye (μ), yüzeysel gerilmeye (σ) ve yerçekimi ivmesine (g) bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

$$q = f_1(p, H_1, \rho, \mu, \sigma, g) \quad (2.6)$$

$$\frac{q}{y\sqrt{gy_1}} = f_2\left(\frac{p}{H_1}, Re, We\right) \quad (2.7)$$

$$C_d = f_3\left(\frac{p}{H_1}, Re, We\right) \quad (2.8)$$

burada, Re = Reynolds sayısı, We = Weber sayısıdır.

Akışkanlar mekaniğinde genel olarak Reynolds sayısı büyüdükçe, akımın parametreleri Reynolds sayısından bağımsız olur. Weber sayısı ise, savak üzerindeki su yükünün çok küçük olduğu durumlarda önemli olur (Tokyay ve Turhan, 2009).

Tullis vd. (1995) yanal daralmasız ince kenarlı $\frac{1}{4}$ yuvarlatılmış kret şekilli savakların debi katsayısı için (2.9) eşitliğini önermişlerdir.

$$C_d = 0.49 + 1.46(H_1/p) - 2.56(H_1/p)^2 + 1.44(H_1/p)^3 \quad (2.9)$$

burada, p = Kret yüksekliğini (m), H_1 = Kret üzerindeki toplam yükü (m) ifade etmektedir.

Araştırmacılar bu eşitliğin, $H_1/p < 0.7$ için geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Dikkat etmek gerekir ki, $H_1/p > 0.7$ değerlerinde debi katsayısı için yanlış değerler vermektedir. Bu nedenle, araştırmacılar tarafından da ifade edildiği gibi bu eşitlik $H_1/p < 0.7$ için kullanılmalıdır.

Yanal daralmasız keskin kenarlı savaklar için, (2.10) eşitliğinde verilen formül de kullanılmaktadır (Jiwani ve Lucas, 2002). (2.10) eşitliği; “ $p > 0.06$ m”, “ $y_1 > 0.01$ m” ve “ $y_1 < 0.8p$ ” durumları için geçerlidir.

$$C_d = 0.605 + \frac{1}{1000h_1} + 0.08\frac{y_1}{p} \quad (2.10)$$

Küçük debilerin ölçülmesinde, üçgen savakların kullanılması daha hassas sonuçlar vermektedir. Suyun üzerinde aktığı taban açısına göre çeşitli üçgen şekilli savaklar kullanılabilir. Bu açı 30° , 45° , 60° ve 90° olabilmektedir. Ölçülecek debi ne kadar az ise, o oranda taban açısı küçük olan bir savak tercih edilmektedir. Gourley ve Crimp (1915) tarafından (2.11) eşitliği önerilmiştir. Bu eşitlik, yaygın olarak kullanılan sade ve gerçeğe

yakın değerler veren bir formüldür. 90° taban açılı ince kenarlı savak için “ $\text{tg}(\omega/2)$ ” ifadesi 1’e eşit olduğundan, formül daha da sade hale gelmektedir.

$$Q = 1.32 \tan \frac{\omega}{2} h^{2.47} \quad (2.11)$$

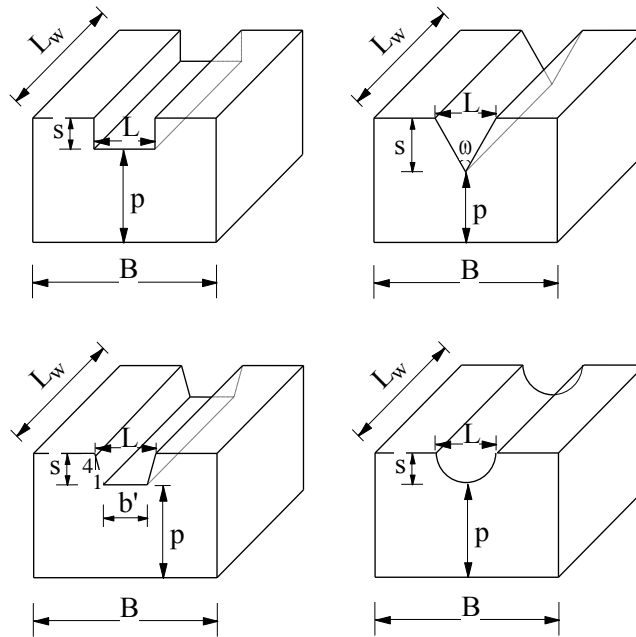
burada, Q = Savaktan geçen suyun debisini (m^3/s), h = Savak üzerindeki su yüksekliğini (m) ve ω = Keskin kenarlı üçgen savağın taban açısını ($^\circ$) ifade etmektedir.

2.2.2. Geniş Kenarlı (Broad-crested) Savaklar

Geniş kenarlı savaklar, keskin kenarlı savaklar gibi farklı tiplerde inşa edilebilmektedir (Şekil 2.2). Geniş kenarlı savaklarda, “ L_w ” mesafesi için (2.12) bağıntısı kullanılmaktadır (French, 1986).

$$0.08 \leq \frac{H_1}{L_w} \leq 0.50 \quad (2.12)$$

burada, $H_1 = h_1 + V_1^2/2g$ ve L_w = Geniş kenarlı savak uzunluğunu göstermektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Geniş kenarlı savaklar

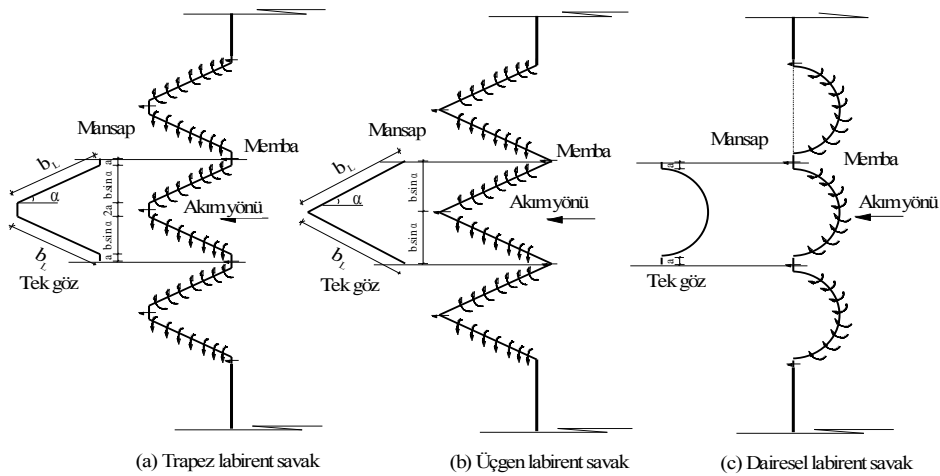
Memba ucu yuvarlatılmış dikdörtgen kalın kenarlı savaklar için, deney sonuçlarına dayanarak elde edilmiş (2.13) eşitliği mevcuttur (Streeter and Wylie, 1983).

$$Q = 1.67 \times L \times h^{3/2} \quad (2.13)$$

burada, Q = Savaklanan debiyi (m^3/s), L = Savak açıklığını (m) ve h = Nap yükünü (m) ifade etmektedir.

2.2.3. Labirent Savaklar

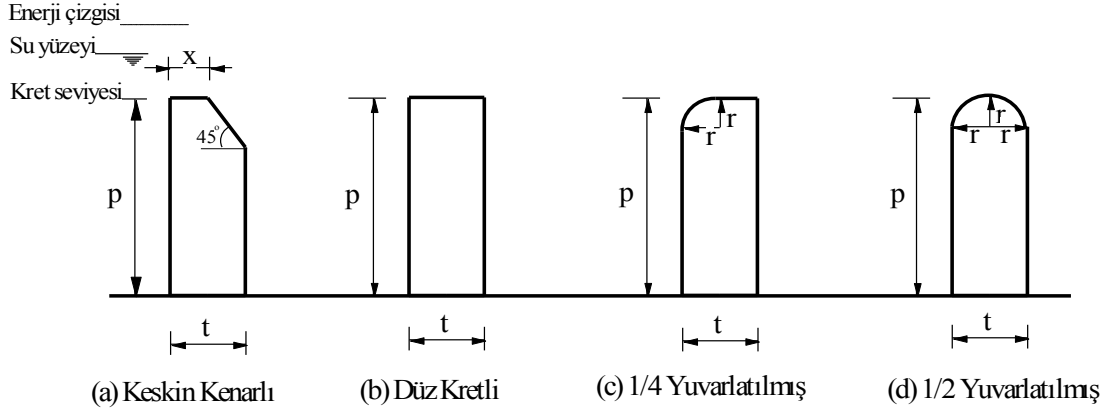
Labirent dolusavaklar ile dolusavak kretinin etkili uzunluğu artırılarak, belirli bir göl seviyesinde savaklanabilen debinin artırılması veya sabit bir debinin daha küçük kret su yükü ile geçirilmesi amaçlanmıştır. Bu savaklar; özellikle taşkın debisinin oluşturacağı rezervuar su seviyesi için membadaki alanın kısıtlı olduğu veya topografyanın dolusavak genişliğini sınırlandırdığı koşullarda avantajlar sağlayan bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Labirent savaklar; trapez, üçgen ve dairesel şekilli olarak inşa edilebilmektedir (Şekil 2.3). En çok tercih edilen tip, trapez şekilli tiptir. Labirent savaklar üzerinden geçen akımın debisini bulmak için (2.1) eşitliği kullanılmaktadır. (2.1) eşitliğindeki “L” mesafesi yerine toplam kret uzunluğu alınmalıdır. Debi katsayısı eşitlikleri, Tullis vd. (1995) tarafından sunulmuştur. Bu eşitlikler trapez şekilli, ince kenarlı ve $1/4$ yuvarlatılmış kret şekli için geçerlidir. Araştırmacılar, debi katsayısı formülünü “ H_1/p ” değerine bağlı olarak vermişlerdir.



Şekil 2.3. Labirent savaklar (Emiroğlu vd., 2010).

2.3. Savak Kret Şekilleri

Genellikle, savak şekilleri Şekil 2.4'te gösterildiği gibi keskin kenarlı, düz kenarlı, çeyrek daire ve yarım daire olmak üzere dört farklı tiptedir.



Şekil 2.4. Savak kret şekilleri (Emiroğlu vd., 2010).

Şekildeki kret eğrilik yarıçapı (r) ve et kalınlığı (t) değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$r = p/12 \quad (2.14)$$

$$t = p/h \quad (2.15)$$

Burada; p , savağın kret yüksekliğidir.

2.4. Froude Sayısının Yan Savak Su Yüzü Profilleri Üzerindeki Etkisi

Yan savaklarda, ana kanaldaki akımın rejimine göre 5 farklı su yüzü profili meydana gelmektedir (Chow, 1959).

1) Savak başlangıcındaki su derinliği kritik derinlikten fazladır ($Fr_{giriş} < 1$). Akım yan savak boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği artarak devam eder (Şekil 2.5.a).

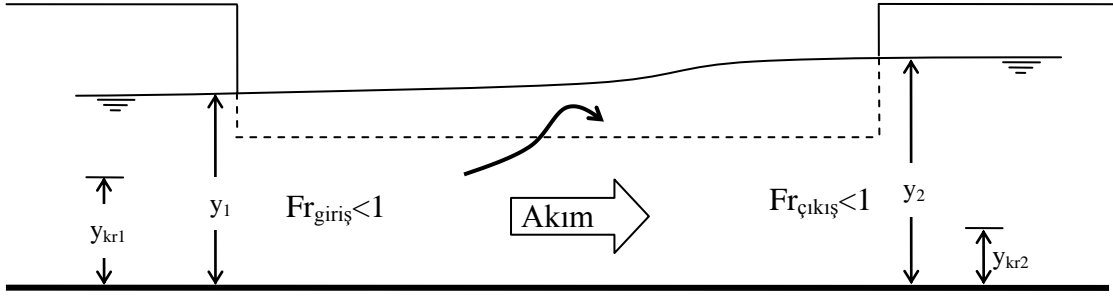
2) Savak başlangıcındaki su derinliği kritik derinlikten azdır ($Fr_{giriş} > 1$). Akım yan savak boyunca sel rejimindedir ve su derinliği azalarak devam eder (Şekil 2.5.b).

3) Savak başlangıcındaki su seviyesi kritik derinlikten daha azdır ($Fr_{giriş} > 1$). Savak üzerinde debi azalmasıyla birlikte hidrolik sıçrama meydana gelir, akımın enerjisi azalır ve akım nehir rejimine geçer ($Fr_{çıkış} < 1$) (Şekil 2.5.c).

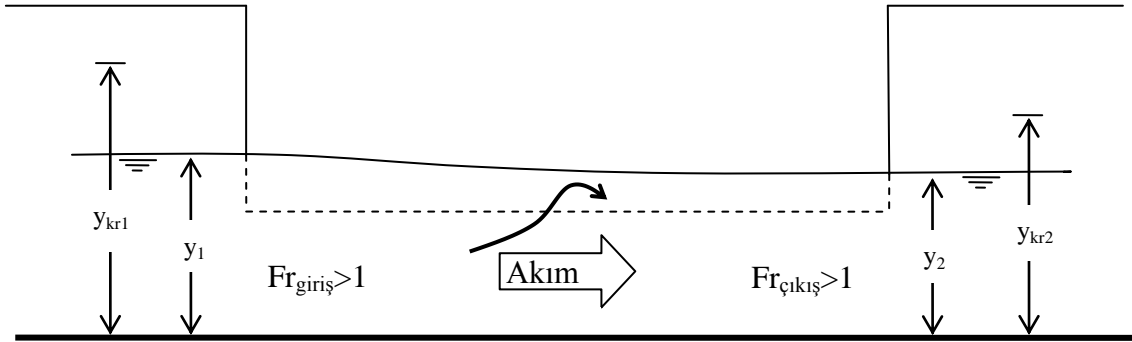
4) Savak başlangıcındaki su seviyesi, kritik derinlikle yaklaşık olarak aynı seviyelerdedir ($Fr_{giriş} \cong 1$). Savak boyunca enerji azalır, ancak akım sel rejiminde devam eder (Şekil 2.5.d Tip 2 durumu).

5) Savak başlangıcındaki su seviyesi, kritik derinlikle yaklaşık olarak aynı seviyelerdedir ($Fr_{giriş} \cong 1$). Savak boyunca enerji azalır ve hidrolik sıçrama yaparak nehir rejimine geçer (Şekil 2.5.d Tip 1 durumu).

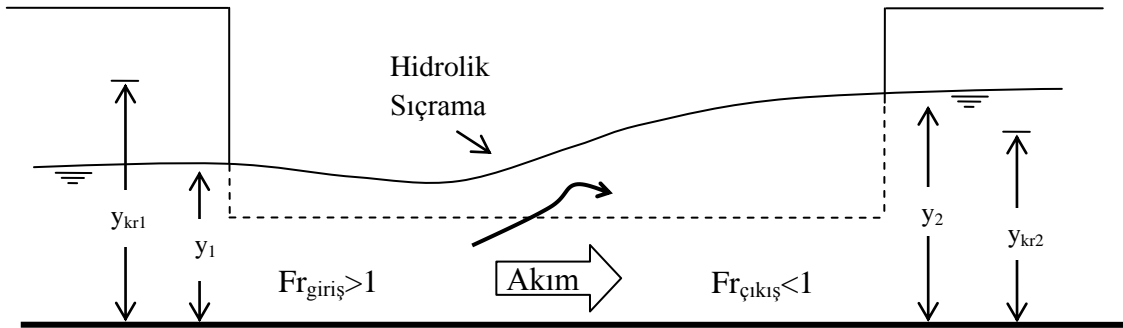
Burada, $Fr_{giriş}$ = Membedan gelen akımın Froude sayısını, $Fr_{çıkış}$ = Mansaptan çıkan akımın Froude sayısını ifade etmektedir.



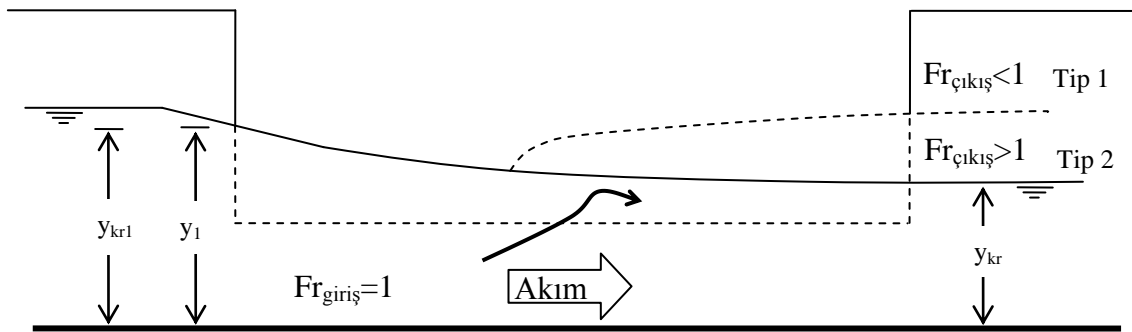
(a)



(b)



(c)

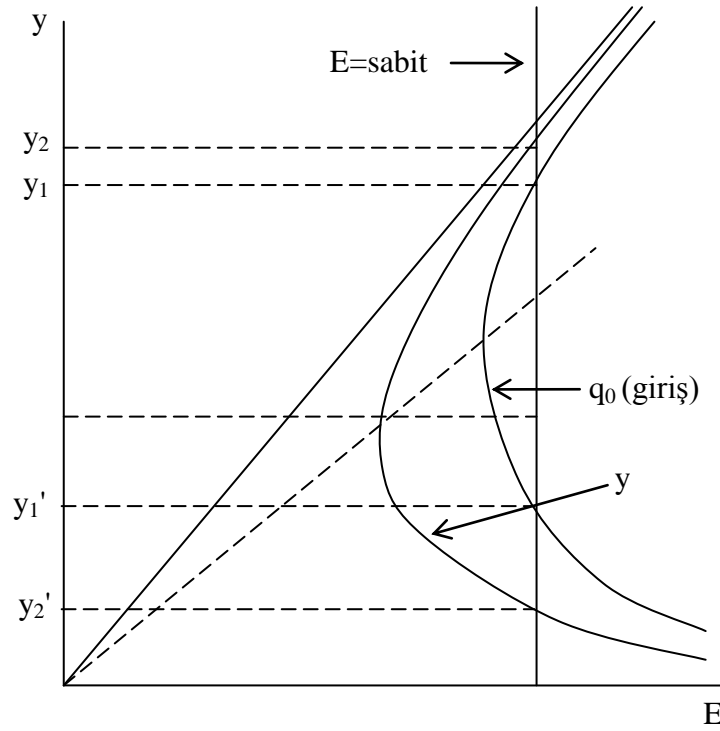


(d)

Şekil 2.5. Su yüzü profilleri (Chow, 1959).

2.5. Yan Savak Akımının Özellikleri ve Yan Savakların Literatür Özeti

Genel olarak kanala girecek “ Q ” debisi tahmin edilebilir. Kanaldan geçmesi istenilen debi “ Q_0 ” ise “ $Q_0 < Q$ ” olduğunda, aradaki “ ΔQ ” farkı savaklanacak şekilde yan savağın boyutlandırılması istenir. Yan savak boyunca kanaldan dışarı sürekli olarak su savaklandığı için, kanalın debisi gittikçe azalmaktadır. İncelemeler sırasında, yan savak boyunca kanaldaki akışkanın özgül enerjisinin sabit kaldığı kabul edilir ($J=J_0$). Yan savak boyunca oluşacak su yüzeyi profili, gelen akımın rejimine bağlı olarak değişir (Şekil 2.6). Bunun nedeni aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 2.6. Yan savak akımında özgül enerji-derinlik ilişkisi

Şekil 2.6'ya göre yan savak boyunca kanalın debisi azalacağından akım durumu, “ q_0 ” eğrisinden “ q_1 ” eğrisine geçecektir. Yan savak boyunca $E=sabit$ kabul edilmiş olduğundan su derinliği de;

- Nehir rejimindeki akımlarda y_1' den y_2' 'ye çıkacak, yani yan savak boyunca su derinliği artacak (Şekil 2.5.a),
- Sel rejimindeki akımlarda ise y_1' 'den y_2' 'ye düşecek, yani yan savak boyunca derinlik azalacaktır (Şekil 2.5.b).

Su yüzeyi profilinin belirlenmesi için bu problemde $q=\text{sabit}$ için $E=E(y)$ eğrisi kullanılmıştır, tabiatıyla daha önce yapıldığı gibi bu halde de Koch parabolü ile ($E=\text{sabit}$ için $q=q(y)$ eğrisi) çalışılabilir (Sümer vd., 2007).

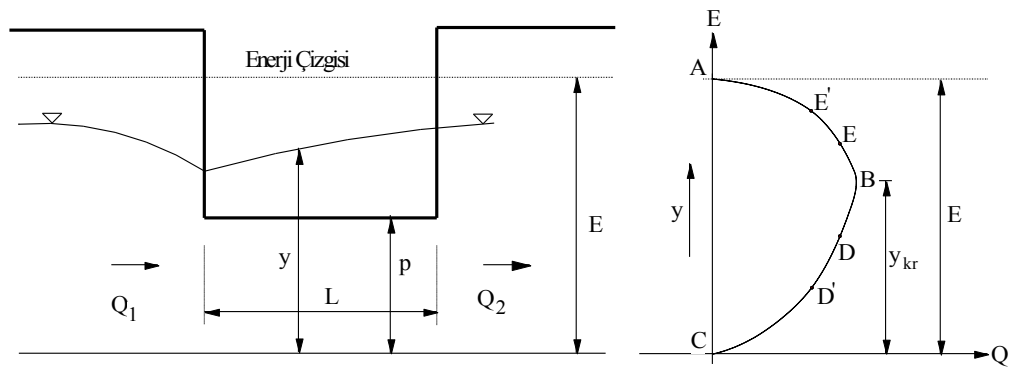
De Marchi (1934) yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak teorik bir çalışma yapmıştır. Araştırmacının yaptığı kabuller şunlardır;

- Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
- Yan savak kreti ana kanal tabanına paraleldir.
- Yan savak, üniform enkesitli uzun bir kanal üzerine yerleştirilmiştir.
- Yan savağın memba ve mansabındaki belirli mesafelerde kanaldaki akım üniformdur.
- Verilen herhangi bir yan savak uzunluğunda, geçen debi (normal savak formüllerinde olduğu gibi) aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanır.

$$\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.16)$$

- Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Buradan yan savak ya da kanaldaki akım derinliğinin değişmediğinin varsayıldığı anlamı çıkarılabilir. Bir kanalın sabit bir enerji seviyesinde geçirebileceği debi ile su derinliği arasındaki bağıntı Koch parabolü ile verilir (Şekil 2.7).

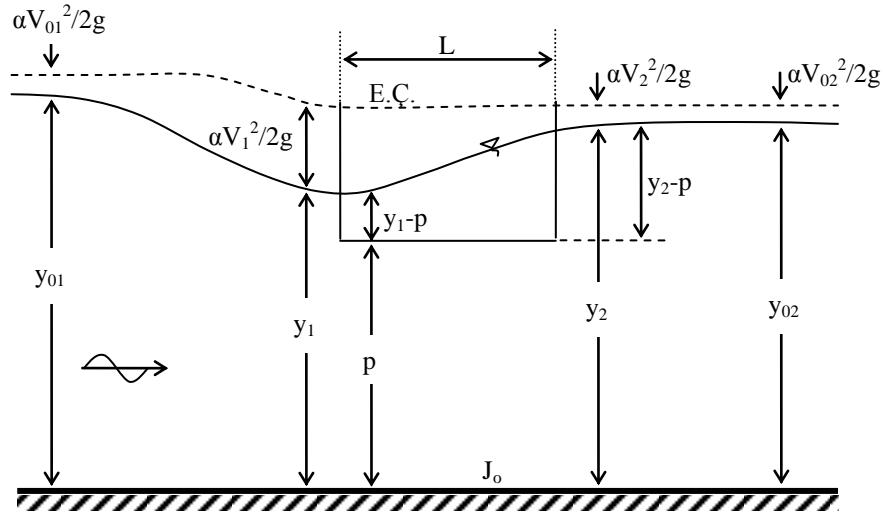


Şekil 2.7. Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki

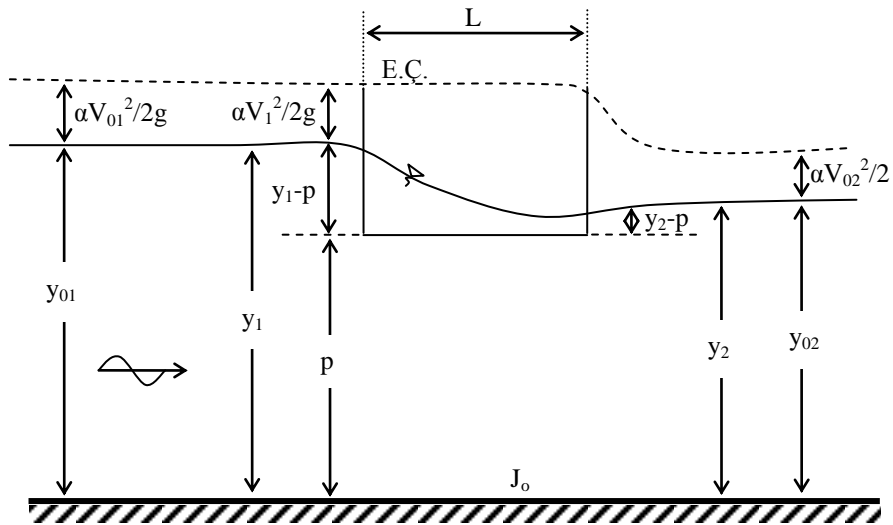
Yan savak başlangıcında akım sel rejiminde ise, $y < y_{kr}$ olduğundan debi-derinlik ilişkisi D noktası ile verilir. Yan savak boyunca ana kanal debisi azalacağından, akım D' noktası ile verilir. Yan savak başlangıcında akım nehir rejiminde ise, $y > y_{kr}$ olacağından akım bir E

noktası ile belirlenecektir. Nehir rejiminde, ana kanal debisi yan savak boyunca azalacağından akım E' gibi bir nokta ile belirlenebilir. Buna göre Şekil 2.7'de görüldüğü üzere, yan savak boyunca ana kanal ekseninde su derinliği nehir rejiminde artarak, sel rejiminde ise azalarak gider.

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da sırasıyla, nehir rejiminde ve sel rejiminde oluşacak su yüzü profilinde enerji çizgisinin yeri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Yan savak akımında nehir rejimi için su yüzü profili



Şekil 2.9. Yan savak akımında sel rejimi için su yüzü profili

Yavaş değişken akımın analizi için, enerji prensibi direkt olarak uygulanabilir. “z” mesafesini kanal tabanı alt kısmı ile sıfır düzlemi arasındaki mesafe olarak alırsak; bir kanal kesitinde toplam enerji (Chow 1959):

$$H = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \quad (2.17)$$

dir. x'e göre bu eşitliğin türevi alınır,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{2QdQ}{A^2 dx} - \frac{2Q^2 dA}{A^3 dx} \right) \quad (2.18)$$

şeklinde yazılır. Dikkat etmek gerekir ki, $dH/dx = -J_f$, $dz/dx = -J_0$, $dQ/dx = q$, $dA/dx = (dA/dy) \cdot (dy/dx) = (Bdy)/dx$ 'dir. Böylece (2.18) eşitliği yazılabilir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \left(\frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} \right)} \quad (2.19)$$

Yan savak boyunca özgül enerji sabit kabul edilebilir (yani $J_f = J_0$). Kanal yatay olduğundan dolayı $J_0 = 0$ 'dir. Kinetik enerji düzeltme faktörü “ $\alpha = 1$ ” alınarak (2.19) eşitliği, (2.20) eşitliği şeklinde yazılabilir. J_f = Enerji çizgisi eğimini, J_0 = Kanal eğimini gösterir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q}{gB^2 y^3} \left(\frac{-dQ}{dx} \right)}{1 - \frac{Q^2}{gB^2 y^3}} = \frac{Qy \left(\frac{-dQ}{dx} \right)}{gB^2 y^3 - Q^2} \quad (2.20)$$

burada $y = “x”$ kesitindeki akım derinliğini ($x = 0$ 'da: $y = y_1$ ve $Q = Q_1$), x = Akım yönünde yan savağın başlangıcından itibaren mesafeyi, Q = Ana kanaldaki debiyi, Q_1 = Yan savağın memba ucunda ana kanal içerisindeki toplam debiyi, g = Yer çekimi ivmesini, B = Ana kanal genişliğini ve dQ = Akım yönünde ana kanaldaki debi değişimini ifade etmektedir. Bir savak üzerindeki birim debi, (2.21) eşitliğinden elde edilmektedir.

$$q = -\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (y - p)^{3/2} \quad (2.21)$$

ve özgül enerji eşitliğinden:

$$Q = By\sqrt{2g(E - y)} \quad (2.22)$$

elde edilir. Burada, E = Kanaldaki özgül enerjiyi belirtir. (2.20), (2.21) ve (2.22) eşitliklerinden yararlanılarak (2.23) eşitliği elde edilir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4 C_d \sqrt{(E - y)(y - p)^3}}{3 B (3y - 2E)} \quad (2.23)$$

(2.23) eşitliğinde verilen su yüzü diferansiyel denkleminin kapalı çözümü, ilk kez De Marchi (1934) tarafından geliştirilmiştir. Dikkat etmek gerekir ki “ C_d ”, “ x ” değerinden bağımsızdır.

$$x = \frac{3B}{2C_d} \phi(y, E, p) + \text{const} \quad (2.24)$$

burada, $\phi(y, E, p)$ olmak üzere;

$$\phi(y, E, p) = \frac{2E - 3p}{E - p} \sqrt{\frac{E - y}{y - p}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - y}{y - p}} \quad (2.25)$$

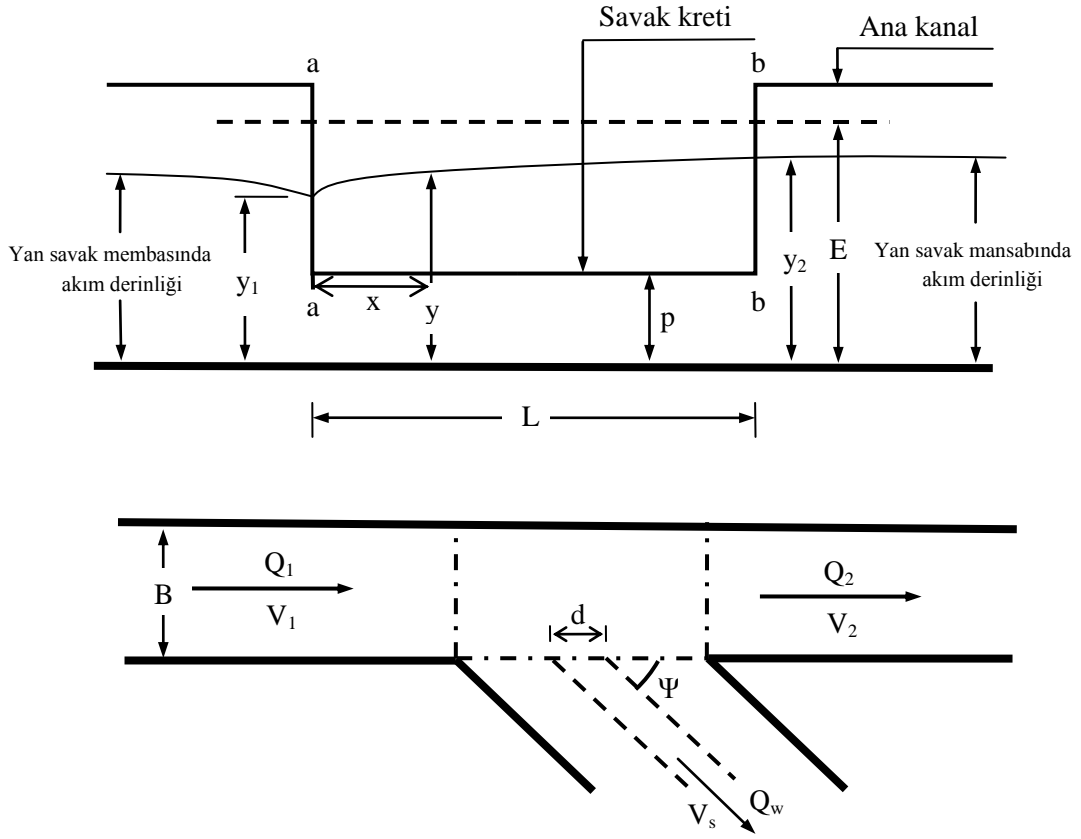
eşitliği ile belirlenmektedir. 1 ve 2 indisleri yan savağın memba ve mansap uçlarını göstermek üzere yan savak uzunluğu (L = yan savağın memba ve mansap ucu arasındaki mesafe):

$$L = \frac{3 B}{2 C_d} (\phi_2 - \phi_1) \quad (2.26)$$

eşitliği ile belirlenir. Burada ϕ = De Marchi değişken akım fonksiyonudur. (2.26) eşitliği, ilk kez De Marchi tarafından türetilmiştir. Bu yaklaşım, yan savaklarda debi eşitliği olarak sık kullanılmaktadır. Bu yaklaşımdan başka Schmidt ve Stopsack yaklaşımları da vardır (Özbek, 2009). Böylece yan savak üzerindeki toplam debi:

$$Q_w = Q_1 - Q_2 \quad (2.27)$$

eşitliği ile bulunur. Burada, Q_2 = Savağın mansap ucunda ana kanaldaki debiyi gösterir.



Şekil 2.10. Yan savak akımının planı ve kesiti

Şekil 2.10'da, y_1 = Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), y_2 = Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), y = Herhangi bir kesitteki su derinliğini (m), Q_1 = Ana kanaldaki debiyi (m^3/s), Q_2 = Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s), Q_w = Yan savaktan savaklanan debiyi (m^3/s), V_1 = Yan savak membasında ortalama akım hızını (m/s), V_2 = Yan savak mansabında ortalama akım hızını (m/s), V_s = Yan savaktan savaklanan akım hızını (m/s), B = Ana kanal genişliğini (m), L = Yan savak açıklığını (m), Ψ = Savaklanma (sapma) açısını, p = Yan savak kret yüksekliğini, x = Yan savağın herhangi bir noktasının yan savak başlangıcına olan mesafesini ifade etmektedir.

Birçok araştırmacının farklı Froude sayıları, farklı savak genişlikleri ve farklı yan savak kret yükseklikleri için, doğrusal kanallardaki nehir rejimli akımlar üzerine yaptıkları çalışmalarında elde ettikleri yan savak debi katsayısının (C_d), Froude sayısı ile değişimini veren bağıntılar Tablo 2.1'de verilmiştir (Emiroğlu vd., 2007).

Tablo 2.1. Doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen enkesitli yan savakların debi katsayısı için, araştırmacıların verdikleri eşitlikler

Kaynak	Debi katsayısı (C_d) ile ilgili denklemler
Nandesamoorthy vd. (1972)	$C_d = 0.432((2 - Fr_1^2)/(1 + 2Fr_1^2))^{0.5}$
Subramanya ve Awasthy (1972)	$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}\right)} = 0.864 \left(\frac{1 - Fr_1^2}{2 + Fr_1^2}\right)^{0.5}$
Yu-Tech (1972)	$C_d = 0.623 - 0.222Fr_1$
Ranga Raju vd. (1979)	$C_d = 0.81 - 0.6Fr_1$
Hager (1987)	$C_d = 0.485 \left(\frac{2 - Fr_1^2}{2 + 3Fr_1^2}\right)^{0.5}$
Cheong (1991)	$C_d = 0.45 - 0.221Fr_1^2$
Singh vd. (1994)	$C_d = 0.33 - 0.18Fr_1 + 0.49 \left(\frac{p}{y_1}\right)$
Jalili ve Borghei, (1996)	$C_d = 0.71 - 0.41Fr_1 - 0.22 \left(\frac{p}{y_1}\right)$
Borghei vd. (1999)	$C_d = 0.7 - 0.48Fr_1 - 0.3 \left(\frac{p}{y_1}\right) + 0.06 \frac{L}{B}$
Swamee vd. (1994)	$C_d = 1.06 \left[\left(\frac{14.14p}{8.15p + y_1}\right)^{10} + \left(\frac{y_1}{y_1 + p}\right)^{15} \right]^{-0.1}$
Emiroğlu vd. (2011)	$C_d = \left[0836 + \left(-0.035 + 0.39 \left(\frac{p}{y_1}\right)^{2.69} + 0.158 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.59} + 0.049 \left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.42} + 0.244Fr_1^{2.125} \right)^{3.018} \right]^{5.36}$

3. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Önen (2005), doktora tez çalışmasında serbest savaklanma halinde nehir rejimli akım şartlarıyla 180°'lik kıvrımlı kanalda ve dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda, dikdörtgen enkesitli ve keskin kenarlı yan savakların savak bölgesindeki maksimum oyulma derinliğini inceleyerek 900'a yakın deney yapmıştır. Temiz su oyulması hali ($0.5 < V_1/V_{kr} < 1$) ve hareketli taban oyulması hali ($0.95-1.0 < V_1/V_{kr} < 2.5$) için " H_{dmax}/p " değerinin " V_1/V_{kr} " ile değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Temiz su oyulması üzerine yapılan çalışmalar sonucunda; " H_{dmax}/p " değerinin " V_1/V_{kr} " ile doğrusal olmaya yakın bir şekilde arttığı görülmüştür. Hareketli taban oyulması halinde ise oyulmaya sebep olan akım şiddeti (V_1/V_{kr}) arttıkça, membada oluşan taban dalgaları ilerleyerek oyulma çukurunu doldurmuş ve " H_{dmax}/p " değerinin " V_1/V_{kr} " ile azaldığı gözlenmiştir. Kıvrımlı kanalda ise, temiz su oyulması halinde doğrusal kanaldaki gibi " H_{dmax}/p " değerinin " V_1/V_{kr} " ile doğrusal olarak arttığı gözlenmiş, ancak kıvrımdan dolayı oluşan helikoidal akımın yanal yapıyı etkilemesiyle, " H_{dmax}/p " değerleri doğrusal kanaldakinden daha küçük çıktığı gözlenmiştir. Kıvrımlı kanalda gerçekleştirilen hareketli taban oyulması deneyleri sonucunda ise, kıvrımdan dolayı meydana gelen helikoidal akımın etkisinin artmasıyla beraber oyulma derinliğinin, temiz su oyulmasındaki derinliğin pik değerine yakın değerlerde tekrarlandığı gözlenmiştir.

Kanalın $\alpha=30^\circ$ 'lik kıvrım kesitinde maksimum hızın dış kıyıya doğru meydana gelmesiyle, maksimum boyutsuz denge oyulma derinlikleri elde edilmiştir ve her iki kanalda da boyutsuz denge oyulma derinliği " H_d/p " değerinin; " y_1/p " ve " L/B " boyutsuzlarındaki artışla birlikte büyüdüğü görülmüştür. Kıvrımlı kanalın $\alpha=30^\circ$ 'lik kıvrım kesitinde, " y_1/p " ve " L/B " parametrelerine bağlı olarak daha büyük boyutsuz denge oyulmaları gözlenmiştir.

Doğrusal kanalda ve kıvrımlı kanalda yapılan temiz su oyulma deneyleri sonucunda, maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}) zamanla doğrusal olarak arttığı ve belli bir süre sonra asimptota yaklaştığı gözlenerek denge konumuna ulaştığı belirlenmiştir. Hem doğrusal hem de kıvrımlı kanalda " h_1/p " ve " V_1/V_{kr} " değerlerine bağlı olarak oyulma derinliğinin, denge zamanının %10'unda denge oyulma derinliğinin %40-70 civarına ulaştığı ve denge zamanının %50'sinde ise denge oyulma derinliğinin %90-95'ine ulaştığı gözlenmiştir.

Öncelikle doğrusal kanalda $L=25$ ve 40 cm açıklıklarındaki ve $p=7, 12, 17$ cm kret yüksekliklerindeki yan savaklarda, farklı akım şartlarında maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}) zamanla değişimi temiz su oyulması incelenerek, denge oyulma süresi ile denge oyulma derinliği arasındaki bağıntı elde edilmiştir. Daha sonra doğrusal kanalda dikdörtgen enkesitli $L = 25, 40, 50$ cm ve $p 7, 12, 17$ cm değerlerine sahip yan savaklarda, farklı akım şartlarında boyut analiziyle elde edilen boyutsuz parametrelere göre H_{dmax}/p ile y_1/p ve H_{dmax}/p ile V_1/V_{kr} değişimleri, boyutsuz yan savak uzunluğuna (L/B) bağlı olarak hem temiz su oyulması hem de hareketli taban oyulması hali için belirlenmiştir. Son olarak da, $L=40$ cm açıklıklı ve $p=7$ cm kret yükseklikli yan savakta temiz su oyulması halinde iki, hareketli taban oyulması halinde ise üç deney için oluşan taban topografyaları alınarak fotoğraflanmıştır.

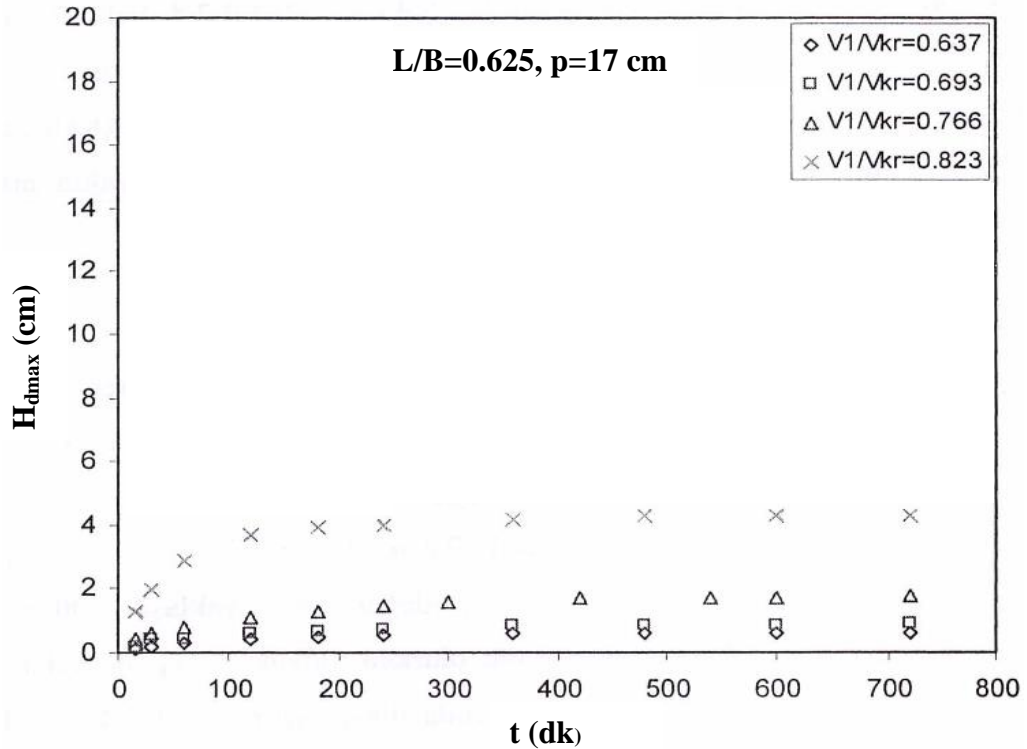
Kıvrımlı kanalda ise ilk olarak, $\alpha=30^\circ$, $L=40$ cm açıklıklı ve $p=7, 12, 17$ cm kret yüksekliklerindeki yan savaklarda, farklı akım şartlarında maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}), zamanla değişimi incelenerek denge oyulma süresi ile denge oyulma derinliği arasındaki bağıntı elde edilmiştir. Daha sonra kıvrımlı kanalda ($\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ ve 150°) $L=40$ cm açıklıklı ve $p=7, 12$ cm kret yükseklikli yan savaklarda, farklı akım şartlarında $H_{dmax}/p-y_1/p$ ve $H_{dmax}/p-V_1/V_{kr}$ değişimleri hem temiz su oyulması hem de hareketli taban oyulması hali için incelenmiştir. Sonra $\alpha=30^\circ$ ve $\alpha=120^\circ$ 'de farklı akım şartlarında tüm yan savaklar için $H_{dmax}/p-y_1/p$ ve $H_{dmax}/p-V_1/V_{kr}$ değişimleri, boyutsuz yan savak uzunluğu (L/B) için gözlenmiştir. Son olarak da, $L=40$ cm açıklıklı ve $p=7$ cm kret yükseklikli yan savakta temiz su oyulması halinde iki, hareketli taban oyulması halinde ise üç deney olacak şekilde bu beş deneyin taban topografyaları alınmış, fotoğraflandırılmış ve doğrusal kanaldaki taban topografyalarıyla mukayese edilmiştir.

Önen (2005), $L=25$ ve 40 cm açıklıklı ve $p=7, 12, 17$ cm kret yükseklikli yan savakları kullanarak yapmış olduğu çalışmasında, farklı akım şartlarında (yani farklı " V_1/V_{kr} " değerleri için) maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}) zamanla değişimi incelenmiş ve bu değişimler grafik üzerinde aşağıda verilmiştir. Temiz su oyulmasında ana kanaldaki su hızı olan " V_1 ", tabandaki kum taneciğinin harekete başlama hızı olan " V_{kr} " değerinden küçük seçilmiştir. Deneyler $V_1/V_{kr} = 0.45-1.0$ değerleri arasında seçilerek, her biri 720 dakika sürecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Oyulma derinliği olarak, yan savağın mansabında ters akımdan dolayı oluşan oyulma dikkate alınmıştır.

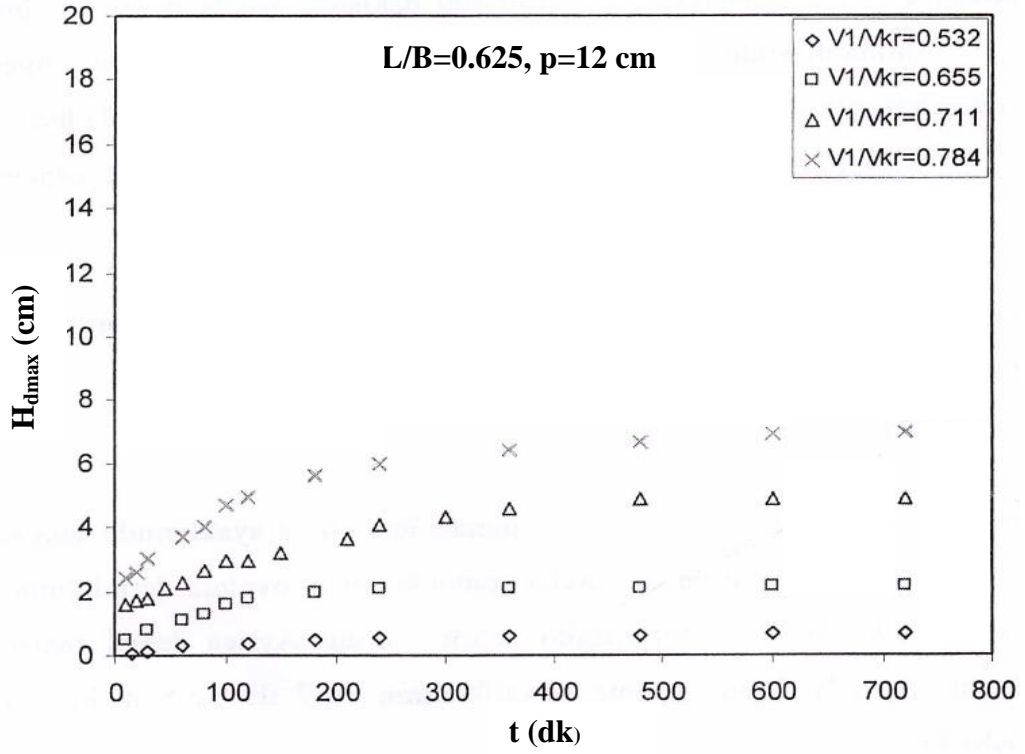
Şekil 3.1'de $L/B=0.625$ ve $p=17$ cm kret yüksekliğindeki yan savakta, küçük " V_1/V_{kr} " değerlerinde oyulma derinliği 150 dakikaya yakın bir sürede asimptotik olurken, büyük

“ V_1/V_{kr} ” değerlerinde denge oyulma değerlerine ulaşma süresi yaklaşık 300 dakika olmuştur. Şekil 3.2-3’te $L/B=0.625$, $p=7$ cm ve $p=12$ cm kret yüksekliğine sahip yan savaklarda, küçük “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde yaklaşık 200 dakika sonunda oyulma derinlikleri asimptotik olmaya başlarken, büyük “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde ise denge oyulma derinliğine yaklaşık 400 dakika sonunda ulaşılmıştır.

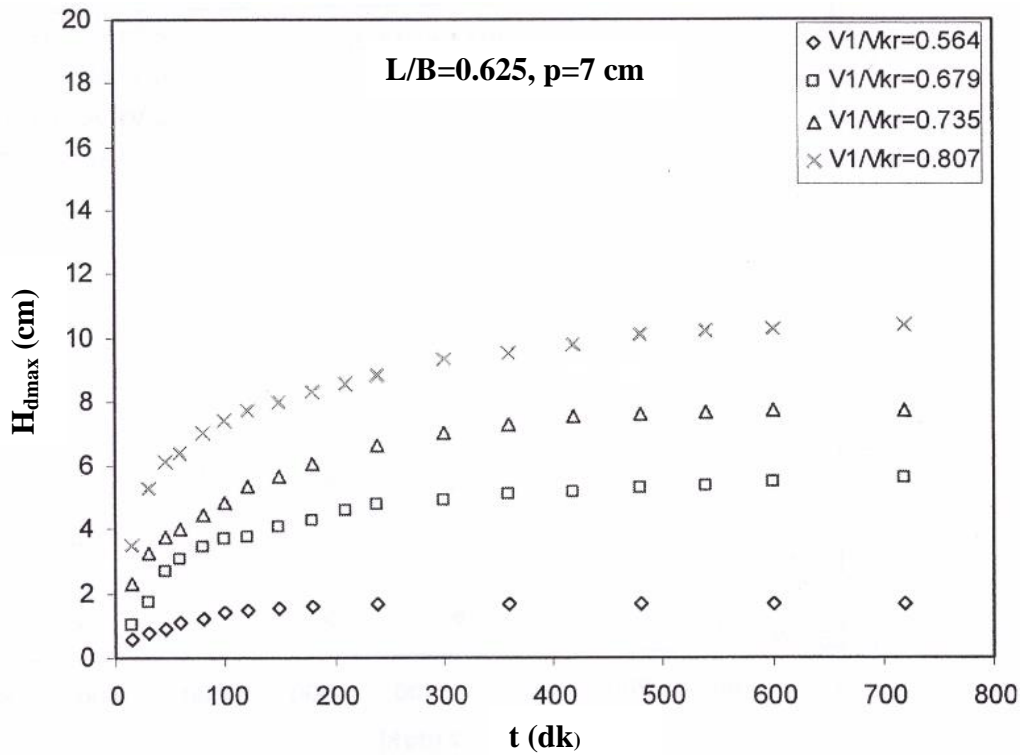
Şekil 3.4-6’da ise, $L=40$ cm açıklıklı ve $p=7, 12, 17$ cm kret yükseklikli yan savaklarda denge oyulma derinliklerine ulaşma süreleri yaklaşık 200 ile 400 dakika arasında sürmüştür. Bu yan savaklarda denge oyulma derinliklerine ulaşma süreleri, $L=25$ cm açıklıklı savaklara göre biraz daha uzun sürmüştür. Temiz su oyulması halinde yan savak boyutları ve “ V_1 ” hızı göz önünde tutularak, 150-400 dakika arasında denge oyulma derinliğine büyük ölçüde yaklaşılmış ve eğrinin asimptotik olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan aynı “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde daha büyük kret yüksekliğine sahip yan savaklarda, hem denge oyulma derinliğinin daha küçük olduğu görülmüş hem de daha kısa sürede denge zamanına ulaşıldığı gözlenmiştir.



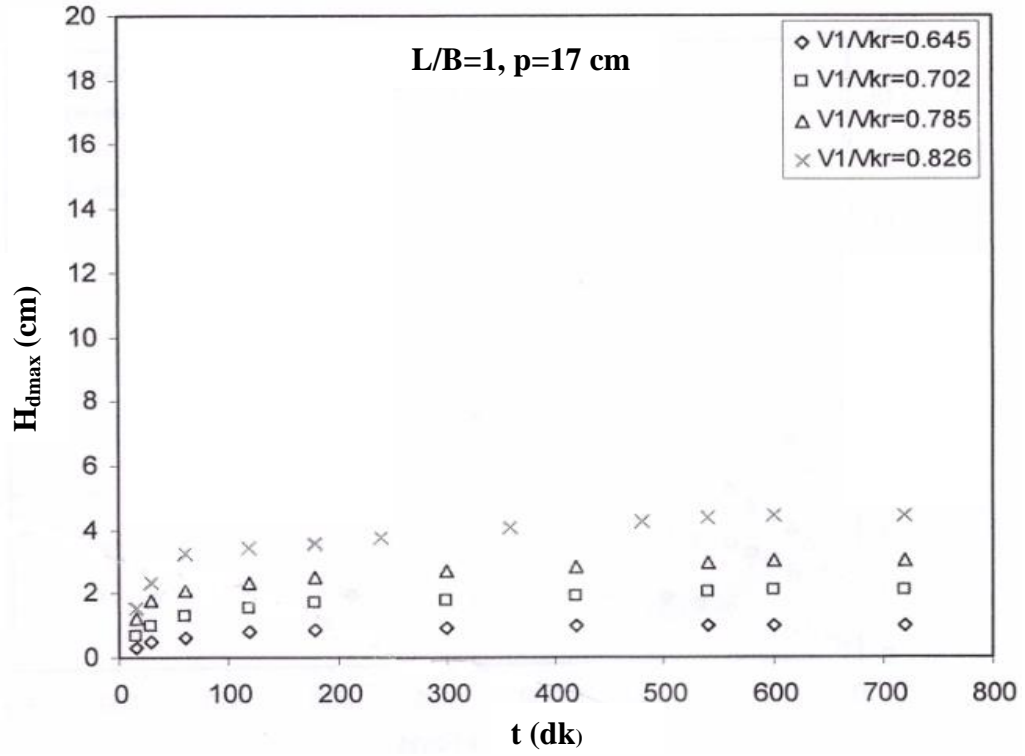
Şekil 3.1. $L/B=0.625$ ve $p=17$ cm’lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi (Önen, 2005).



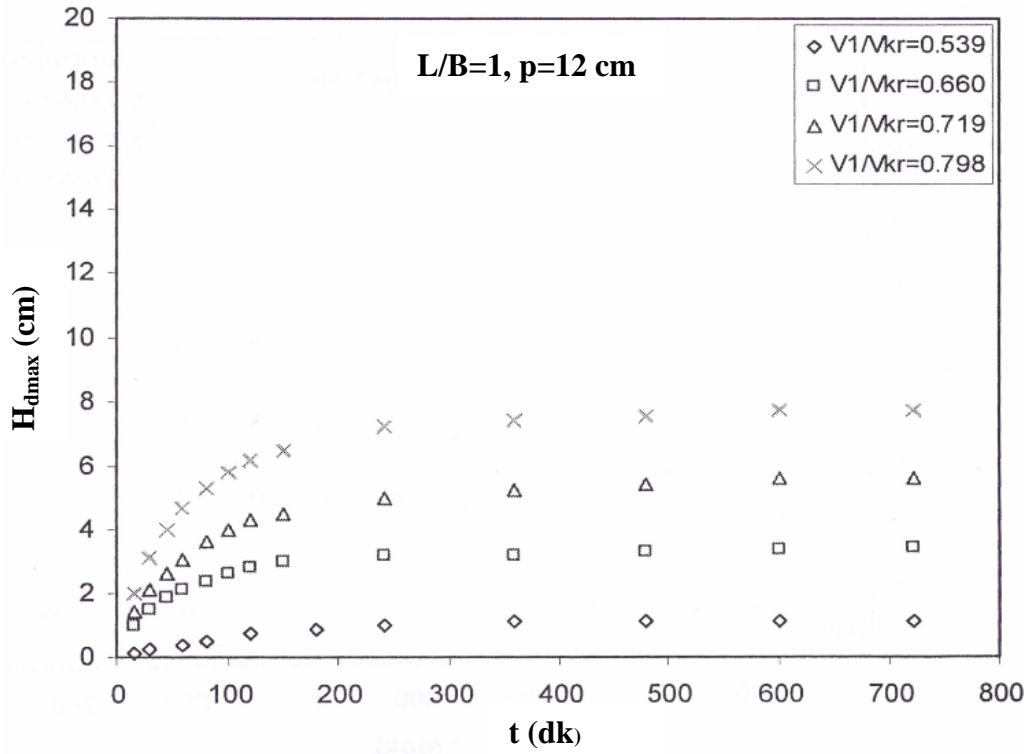
Şekil 3.2. L/B=0.625 ve p=12 cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi (Önen, 2005).



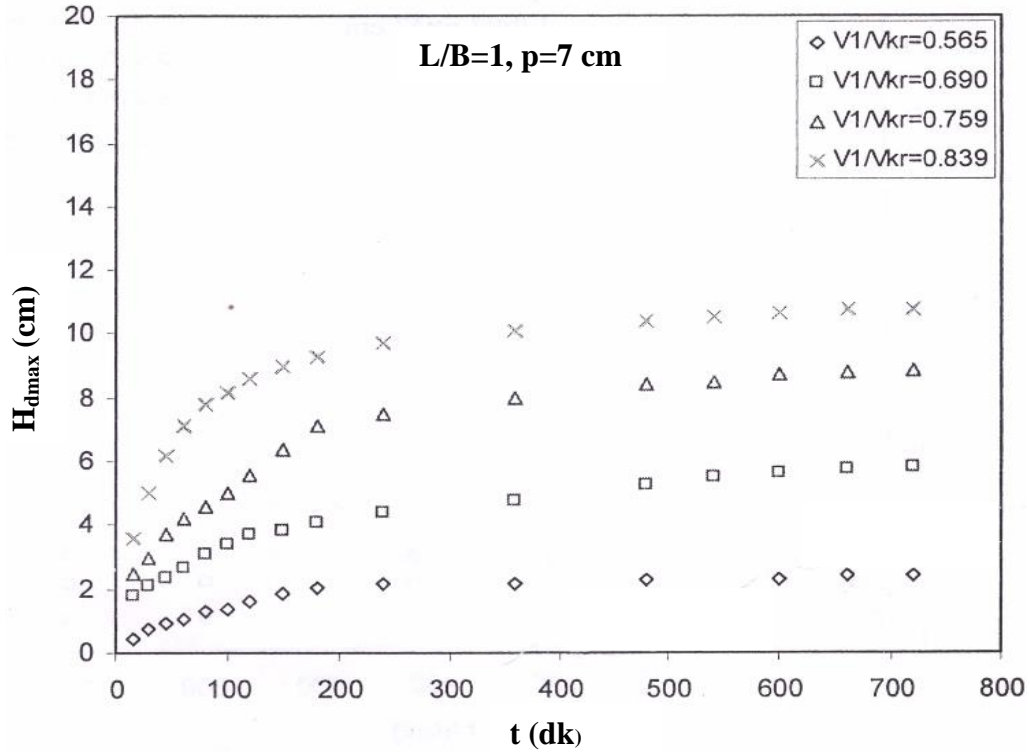
Şekil 3.3. L/B=0.625 ve p=7 cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi (Önen, 2005).



Şekil 3.4. L/B=1 ve p=17 cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi (Önen, 2005).



Şekil 3.5. L/B=1 ve p=12 cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi (Önen, 2005).



Şekil 3.6. L/B=1 ve p=7 cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi (Önen, 2005).

Önen (2005), hareketli tabanlı 180°'lik kıvrımlı bir kanalda, nehir rejimli akım şartlarını ve serbest savaklanma durumunu göz önünde tutarak, L=25, 40, 50 cm açıklıklı, kum tabandan itibaren p=7, 12, 17 cm kret yükseklikli yan savaklarda, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması halleri için deneyler yapmıştır. Bu deneyler sonucunda; ana kanal tabanında meydana gelen topografik değişimler, yan savak civarında meydana gelen topografik değişimler ve boyutsuz denge oyulma derinlikleri incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Akım şiddeti (V_1/V_{kr}) değeri 0.45-0.50 aralığındayken, hem doğrusal kanalda hem de kıvrımlı kanalda oyulma gözlenmemiştir. Dikdörtgen enkesitli ve hareketli tabanlı kıvrımlı bir kanalda yapılan bu deneylerle, boyutsuz denge oyulma derinliğine etki eden parametreler boyut analizi yapılarak belirlenmiştir. Önen (2005), yaptığı boyut analizi neticesinde belirlediği boyutsuz parametreler (3.1) eşitliğinde verilmiştir.

$$\frac{H_{de}}{p} = f\left(\frac{V_1}{V_{kr}}, \frac{y_1}{p}, \frac{L}{B}, \alpha\right) \quad (3.1)$$

burada, H_{de} = Denge oyulma derinliğini, V_1 = Yan savağın başlangıcındaki akım hızını, V_{kr} = Taban malzemesini harekete geçiren kritik hızı, y_1 = Yan savak membasında ana kanaldaki akım derinliğini, p = Yan savak kret yüksekliğini, L = Yan savak açıklığını, B = Ana kanal genişliğini, α = Kıvrım merkez açısını ifade etmektedir.

Temiz su oyulması halinde oyulma derinliği, akım şiddeti (V_1/V_{kr}) ve yan savak kret yüksekliğine (p) bağlı olarak dengeye ulaşmıştır. Akım şiddetindeki (V_1/V_{kr}) artış ve yan savak kret yüksekliğindeki (p) azalma ile birlikte dengeye ulaşma süresi artmaktadır. Boyutsuz denge oyulma derinliği olan " H_{de}/p " ifadesi, boyutsuz savak kret yüksekliğindeki artışa bağlı olarak " y_1/p " değeri kadar artmaktadır. Boyutsuz yan savak uzunluğundaki (L/B) artışla birlikte, boyutsuz denge oyulma derinliği (H_{de}/p) de artmaktadır.

Aynı boyutsuz savak kret yüksekliği olan " y_1/p " ile boyutsuz yan savak uzunluğu olan " L/B " için maksimum denge oyulma derinliğinin; $\alpha=30^\circ$ 'lik kıvrım açısına, minimum oyulma derinliğinin ise $\alpha=120^\circ$ ve 150° 'lik kıvrım açılara sahip kanallarda elde edildiği gözlenmiştir.

Doğrusal kanalda boyutsuz denge oyulma derinliği (H_{de}/p), temiz su oyulması halinde " V_1/V_{kr} " değerindeki artışla doğrusal olarak artmış ve " V_1/V_{kr} " değerinin 0.95-1.0 civarında maksimum denge oyulma derinliğine ulaştığı gözlenmiştir. " V_1/V_{kr} " değerinin 0.95-1.0 değerlerinden daha büyük olması durumunda yan savak membasındaki hız, " V_{kr} " hızından büyük olduğu için daimi sürüntü maddesi taşınım oyulması görülmüştür. Daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulması durumunda, membadan gelen taban dalgalarının oyulma çukurunu doldurması, yan savak mansabında boyuna akım doğrultusundaki kinetik enerjinin artması, yanal akım doğrultusundaki sekonder akımın şiddetinin azalması ve yan savak mansabındaki sekonder akım yapısının bozulması sonucu, " V_1/V_{kr} " değerinin arttığı ve " H_{de}/p " değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Boyutsuz denge oyulma derinliğinin (H_{de}/p), akım şiddetine (V_1/V_{kr}) bağlı olarak, boyutsuz yan savak uzunluğuna (L/B) göre değişimi incelenmiş, büyük açıklıklı yan savaklarda daha büyük oyulma derinliklerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Temiz su oyulmasına nazaran hareketli taban oyulmasında, " L/B " değerine bağlı olarak " H_{de}/p " değerindeki artış daha belirgindir.

Hareketli taban oyulmasında kanal tabanının dalgacık formundan eşik formuna geçişte, taban pürüzlülüğünün değişmesi sonucu akım şiddetinin (V_1/V_{kr}) 1.1-1.3 civarındaki değerleri için oyulma derinliklerinde saçılımlar görülmüştür. Ayrıca hareketli taban

oyulması halinde taban dalgası tepesi veya çukurunun geliş durumuna göre, boyutsuz yan savak kret yüksekliğinin (y_1/p) değişmesi sonucunda daha fazla saçılım gözlenmiştir.

Kıvrımlı kanalda doğrusal kanalda olduğu gibi, temiz su oyulması hali için boyutsuz denge oyulma derinliğinin (H_{de}/p), " V_1/V_{kr} " ile hemen hemen doğrusal arttığı ve $V_1/V_{kr} = 0.95-1.0$ civarında maksimum denge oyulma derinliğine ulaşıldığı gözlenmiştir. Yanal savaklanmadan dolayı meydana gelen sekonder akımın ve kıvrımın yarattığı sekonder akımın akım hızındaki artışla şiddetlenmesi durumunda; kıvrımlı kanalda doğrusal kanaldakinin aksine hareketli taban oyulması halinde, boyutsuz denge oyulma derinliği (H_{de}/p)'nin, akım şiddetindeki (V_1/V_{kr}) artışla pik değer etrafında salınım gösterdiği belirlenmiştir.

Kıvrımlı bir kanalda $\alpha=30^\circ-45^\circ$ civarında maksimum hız yörüngesinin dış kıyıya yönelmesiyle, yan savak mansabında ters akım alanının mansaba doğru sürüklenmesi sonucunda, kıvrımlı kanalın $\alpha=30^\circ$ 'lik kısmında maksimum boyutsuz denge oyulma derinlikleri elde edilmiştir.

Kıvrımlı kanalda farklı akım şartlarında " H_{de}/p " ile " V_1/V_{kr} " arasındaki değişim incelendiğinde, temiz su oyulması halinde doğrusal kanala göre daha küçük " H_{de}/p " değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Daimi sürüntü maddesi oyulmasında; doğrusal kanallarda " V_1/V_{kr} " değerinin artmasıyla " H_{dmax}/p " değerinin azaldığı, kıvrımlı kanallarda ise yanal akımdan dolayı oluşan sekonder akıma ilaveten, kıvrımın sebep olduğu sekonder akımın şiddetlenmesiyle, yan savağın mansabındaki oyulma çukuru derinliğinin arttığı gözlenmiştir.

Temiz su oyulması halinde " H_{de}/p " değerinin tane Reynolds sayısındaki (Re_*) artışla doğrusal arttığı, hareketli taban oyulması halinde ise boyutsuz denge oyulma derinliğinin, " Re_* " artışıyla azaldığı görülmüştür. Kıvrımlı kanalda ise temiz su oyulması halinde H_d/p ; " Re_* " ile doğrusal olarak artarken, hareketli taban oyulması halinde, temiz su oyulmasının maksimum değeri etrafında salınım yaptığı belirlenmiştir.

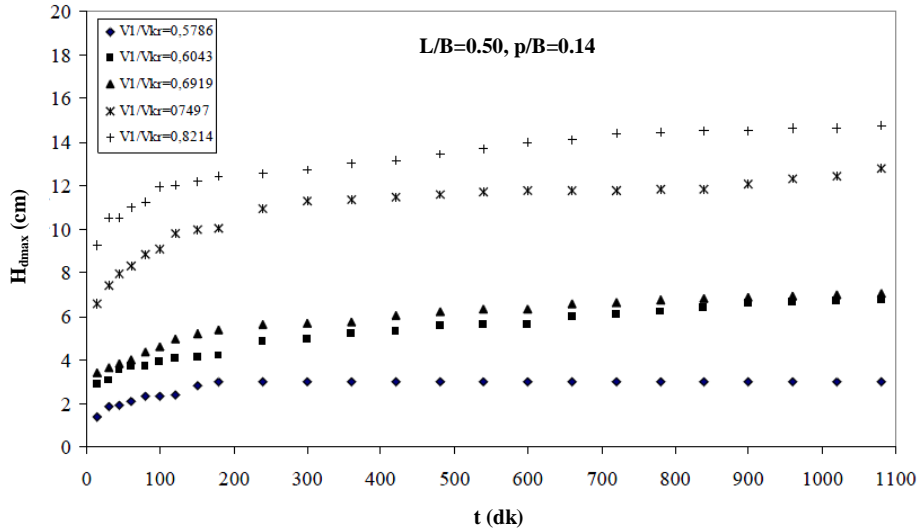
Hem doğrusal kanalda hem de kıvrımlı kanalda kanal taban topoğrafyası ve oyulma çukuru yerinin; " V_1/V_{kr} ", " V_2/V_{kr} " ve savaklanma oranına (dolayısıyla y_1/p ve L/B 'ye) bağlı olduğu belirlenmiştir. Doğrusal kanalda temiz su oyulması halinde ($V_1/V_{kr} < 1$ ve $V_1/V_{kr} < 2$), yan savağın membasında ilk olarak bir oyulma çukuru oluşmuş, daha sonra hızın artmasıyla bu oyulma çukuru kapanmış ve bu kısımda bir eşik meydana gelmiştir. Yan savağın mansabında ise ters akım bölgesinde bir oyulma çukurunun olduğu gözlenmiştir. Hareketli taban oyulması halinde ($V_1/V_{kr} > 1$, $V_2/V_{kr} < 1$ ve $V_2/V_{kr} > 1$) ise, daha

büyük bir eşik oluşmuş ve taban dalgalarının oyulma çukurunu bir miktar doldurmasıyla oyulma derinliği azalmıştır. Kıvrımlı kanalda temiz su oyulması halinde ($V_1/V_{kr}<1$ ve $V_2/V_{kr}<1$) oyulma derinlikleri daha küçük çıkmışken; hareketli taban oyulmasında ise ($V_1/V_{kr}>1$, $V_2/V_{kr}<1$ ve $V_2/V_{kr}>1$) helikoidal akımın etkisiyle, oyulma derinlikleri artmış ve doğrusal kanaldaki oyulma derinliklerinden daha büyük oyulma derinlikleri elde edilmiştir.

Emiroğlu vd., (2007) 104M394 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında yapmış oldukları çalışmada, labirent yan savakların akım karakteristiklerini ve yan savak bölgesindeki taban topografyasının değişimini temiz su oyulması durumu için deneysel olarak incelemiştir.

Savak açıklığı 25 cm ve labirent yan savak toplam kret uzunluğu 35.36 cm olan $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta, $p=7, 12$ ve 16 cm eşik (kret) yükseklikleri için temiz su oyulması deneylerini yapmışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlar, Şekil 3.7-12'de verilmiştir. Deneyler, 30° ve 150° 'lik kıvrım merkez açıları gerçekleştirilmiştir.

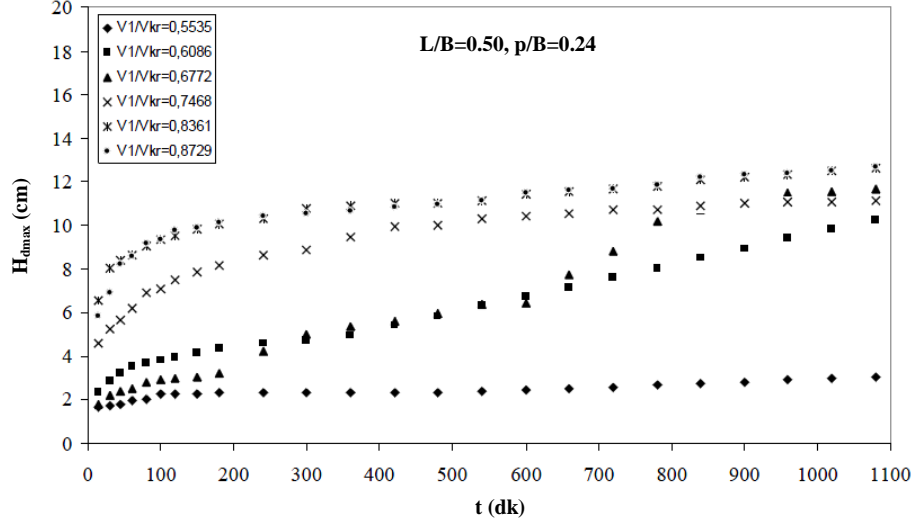
Şekil 3.7'de $L/B=0.50$, $p/B=0.14$, $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$ ve farklı akım şiddeti (V/V_{kr}) değerleri için, zamanla (t) maksimum oyulma bölgesindeki oyulma derinliklerinin (H_{dmax}) değişimi verilmiştir. Şekil 3.7 incelendiği zaman, " V/V_{kr} " arttığında oyulma derinliğinin de arttığı gözlenmiştir. Oyulmanın büyük bir kısmının gerçekleştiği ilk 180 dakikalık süreden sonra, oyulma derinliklerinin çok az değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 3.7. Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

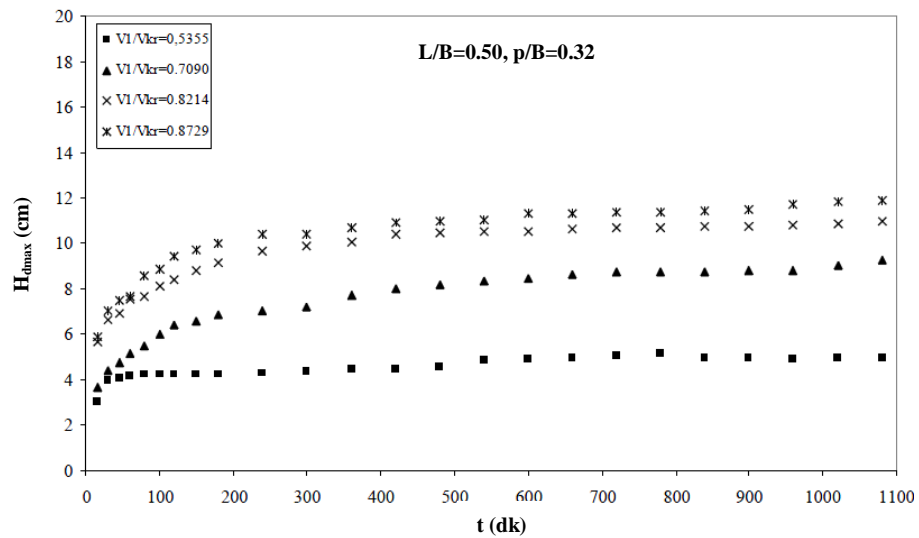
$p/B=0.24$, $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı akım şartlarında, maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi temiz su oyulması durumunda incelenmiş ve Şekil 3.8'de verilmiştir.

Küçük “ V_1/V_{kr} ” değerinde, denge oyulma derinliğine erken sürede ulaşılmıştır. Büyük “ V_1/V_{kr} ” değerinde, denge oyulma derinliğine ulaşma süreleri artmaktadır.



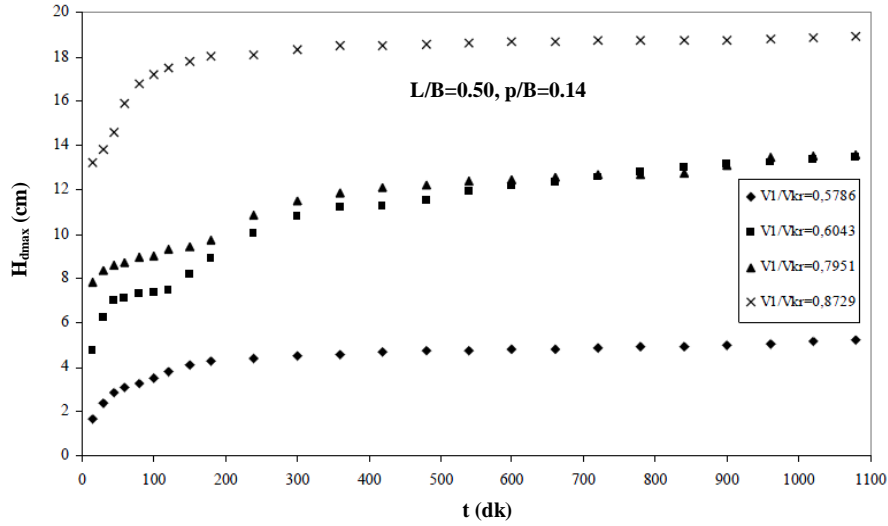
Şekil 3.8. Kırırıklı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

Şekil 3.9’da $L/B=0.50$, $p/B=0.32$, $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı “ V_1/V_{kr} ” değerlerine sahip maksimum oyulma derinliklerinin (H_{dmax}) zamanla değişimi görülmektedir. 240 dakika sonra denge oyulma derinliğine hemen hemen ulaşıldığı ve bundan sonra asimptotik olduğu görülmektedir. Bu süre, küçük “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde daha az sürmüştür.



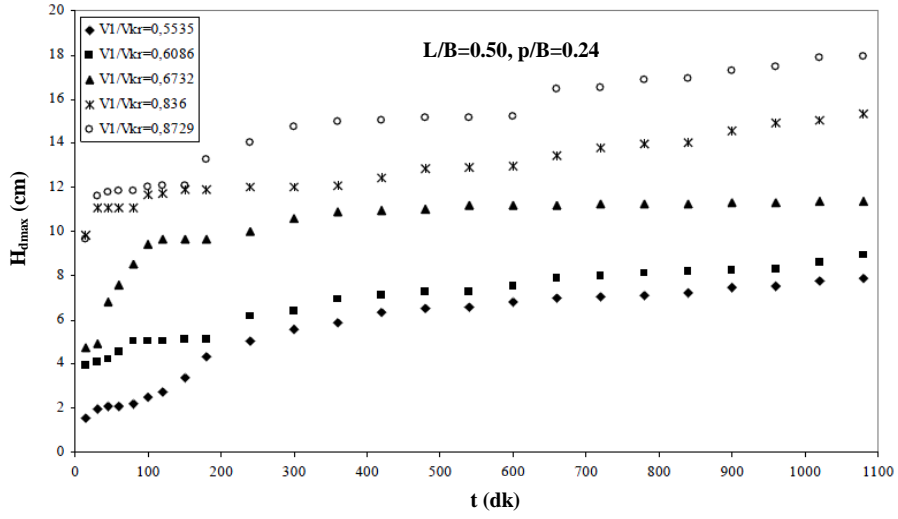
Şekil 3.9. Kırırıklı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi.

Şekil 3.10’da $L/B=0.50$, $p/B=0.14$, $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde, zamanla maksimum oyulma derinliklerinin değişimi verilmiştir. Benzer şekilde, oyulmanın büyük kısmının 200 dakikanın altında gerçekleştiği görülmektedir. $V_1/V_{kr}=0.6043$ ve $V_1/V_{kr}=0.7951$ ’in değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Benzer şekilde “ V_1/V_{kr} ” değerlerinin artmasıyla, oyulma derinlikleri de artmıştır.



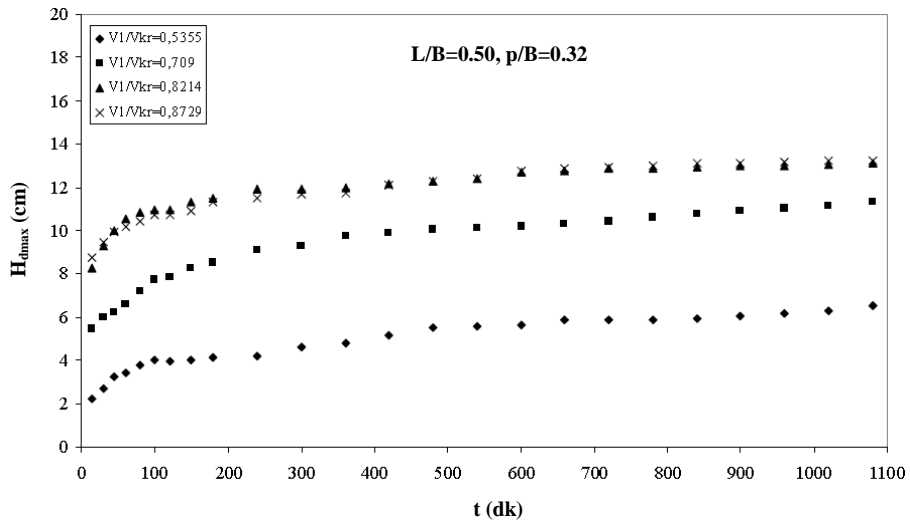
Şekil 3.10. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

Şekil 3.11’de $L/B=0.50$, $p/B=0.24$, $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde zamanla maksimum oyulma derinliklerinin değişimi verilmiştir. Diğer test edilen savak tipleri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. “ p/B ” oranının azalması ile daha büyük oyulma derinlikleri elde edilmiştir. Bunun nedeni, savaklanma esnasında oluşan vortekslerin düşük kret yüksekliklerinde daha etkili olmasıdır. Bir başka değişle, kret yüksekliğinin artmasıyla vortekslerin kum tabanına ulaşma şiddeti azalmaktadır.



Şekil 3.11. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

Şekil 3.12’de $L/B=0.50$, $p/B=0.32$, $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde, zamanla maksimum oyulma derinliklerinin değişimi verilmiştir. Maksimum oyulma derinlikleri 240 dakikadan önce meydana gelmiştir. Bu süreden sonra oyulma derinlikleri oldukça az artış göstermiştir.

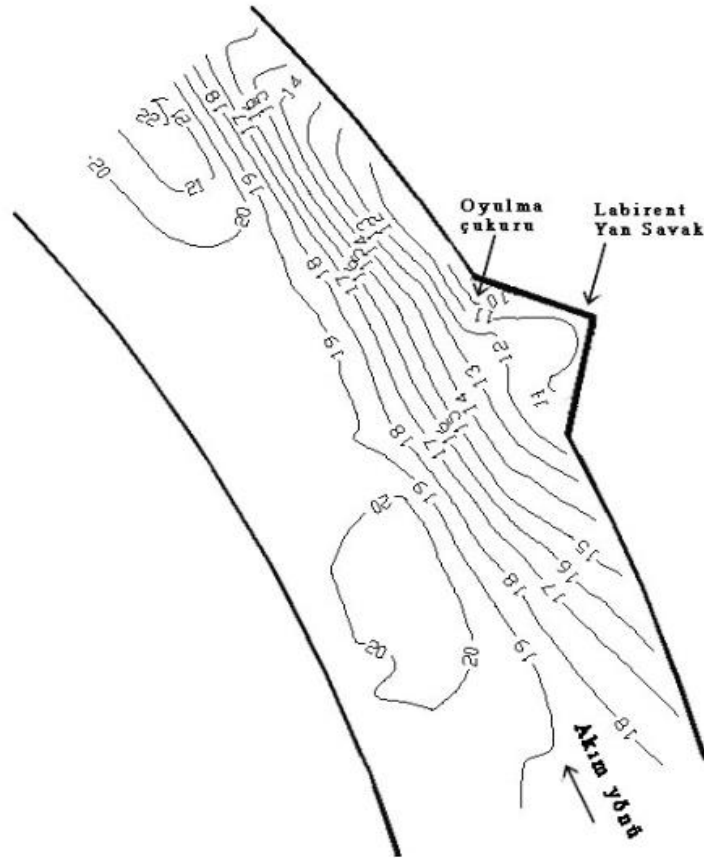


Şekil 3.12. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

Emiroğlu vd., (2007) çalışmasında, kıvrımlı kanalda aktif savaklanma durumunda 1080 dakika sonundaki taban topografyaları çıkarılmış ve oyulma çukurunun yeri de gösterilerek verilmiştir.

Deneyler nehir rejimi ve kararlı akım koşullarında $\theta=90^\circ$ için yapılmıştır. $V_1/V_{kr}<1$ için temiz su oyulması durumunda, taban topografyaları elde edilmiştir. Söz konusu şekiller incelendiğinde $V_1/V_{kr}<1$ olması nedeniyle kanal tabanında kum dalgaları gözlenmediği görülmektedir. Oyulma çukuru, labirent yan savağın mansap ucu civarında oluşmaktadır. Maksimum oyulma, dış kıyıda yanal akım nedeniyle savak bölgesinde oluşmaktadır. Savaklanan suyun miktarının artmasıyla oyulma deriliği de artmaktadır. Bunun nedeni, kıvrımdan ve yanal akımdan dolayı oluşan sekonder akımın şiddetinin artmasıdır.

Kanalın $\alpha=30^\circ$ kıvrım merkez açısında, " V_1/V_{kr} " değerlerinin artması ile oyulma derinliği de artmıştır. Ayrıca " V_1/V_{kr} " değerlerinin artması ile oyulma çukurunun yeri yan savağın mansap ucundan mansaba doğru yönelmiştir. Yan savak bölgesinde iç kıyıda topografya pek değişmemektedir. Bu kısımlarda durgunluk bölgelerinin olması nedeniyle topografyada değişimler gözlenmemiştir. $\alpha=30^\circ$ kıvrım merkez açısında, labirent yan savak bölgesinde mansaba doğru belirli bir mesafe sonra boyuna bar oluşumu gözlenmiştir. Bu oluşum genellikle kanal eksenini civarında olmuştur (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7951$, $L/B=0.50$ ve $p/B=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kontürler cm, kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).

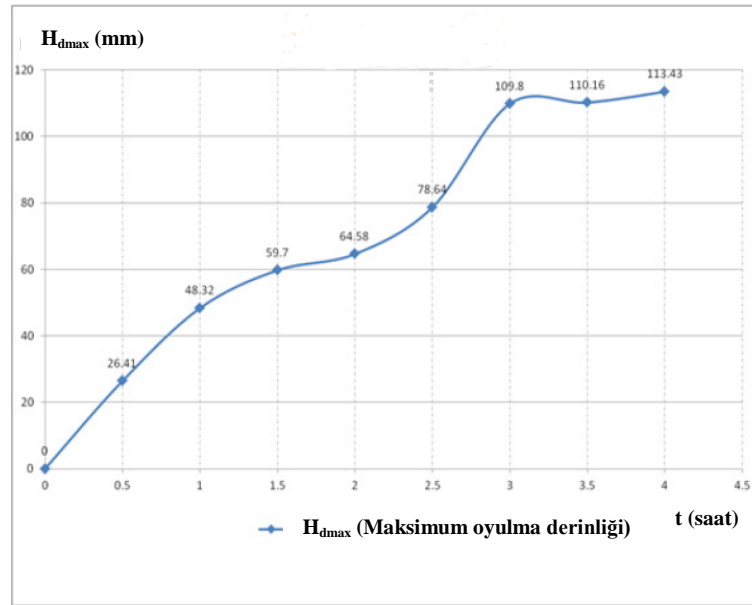
Dilek (2011) 14 m'lik doğrusal kanalda gerçekleştirmiş olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, tabanı kohezyonlu malzemedan (kaolin kili) oluşan, doğrusal kanalın orta kısmına yerleştirilmiş yan savak etrafındaki oyulmayı incelemiştir. Kohezyonlu malzeme, yan savağın merkezinden yaklaşık 1.5 m memba ve mansabında olacak şekilde, toplam 3 m'lik kanal kısmına serilmiştir. Taban malzemesinin yerleştirileceği kesitin girişine ve çıkışına 1/10 eğimli plakalar yerleştirilerek akımın bozulması engellenmiştir. Bu iki eğimli plaka arasına, 2.5-3.0 cm kalınlığında kum serilerek konsolidasyon sırasında filtre görevi görmesi sağlanmıştır. Yine filtre amacıyla kum tabanın altına ve üzerine geotekstil yerleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmada akımlara ait hız analizleri için yapılan ölçümler, Acoustic Doppler hız ölçer kullanılarak belirlenmiştir.

Dilek (2011) çalışmasında, kohezyonlu malzeme tabanlı (kil+kum karışımı) doğrusal bir kanal boyunca nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda, L=25 ve 50 cm açıklıklarında ve tabandan itibaren $p=7$ ve 12 cm kret yükseklikli yan savaklarda, temiz su oyulması hallerinde yan savak civarında ana kanal tabanında yanal akımdan dolayı oluşan oyulmaları incelemiş ve aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

- Kohezyonlu malzemeli tabanlı dikdörtgen enkesitli bir kanalda, dikdörtgen yan savak civarında oluşan boyutsuz denge oyulma derinliğine etki eden parametreler boyut analizi ile belirlenmiş ve boyutsuz denge oyulma derinliğinin (H_{de}/y_1); “Fr”, “C”, “ W_c ”, “L/B”, “ $\tau_s/(\rho.g.y_1)$ ” boyutsuzlarına bağlı olduğu belirlenmiştir. (“1/Fr²” yerine Fr sayısı dikkate alınmıştır)
- Temiz su oyulması halinde, oyulmanın dengeye ulaşma süresi yan savak yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Yan savak kret yüksekliği azaldıkça, oyulmanın dengeye ulaşma süresi artmaktadır.
- Daha düşük yan savak kret yüksekliğine sahip doğrusal kanallarda boyutsuz oyulma derinliğinin yaklaşık %60-70'i, boyutsuz zamanın (t/t_e) 0.2-0.8 aralığında meydana geldiği görülürken, yan savak kret yüksekliği arttıkça boyutsuz oyulma derinliğinin 0.3 ile 0.55 aralığında olduğu tespit edilmiştir.
- Kohezyonlu malzeme tabanlı doğrusal bir kanalda, oyulmanın yerinin akımın Fr sayısına bağlı olduğu gözlenmiş, Fr sayısı attıkça, oyulmanın mansaba doğru ilerlediği görülmüştür. Dolayısıyla aynı akım şartlarında, Fr sayısının azalması halinde tabanda oluşan oyulma bölgesinin gittikçe membaya doğru kaydığı bulunmuştur.

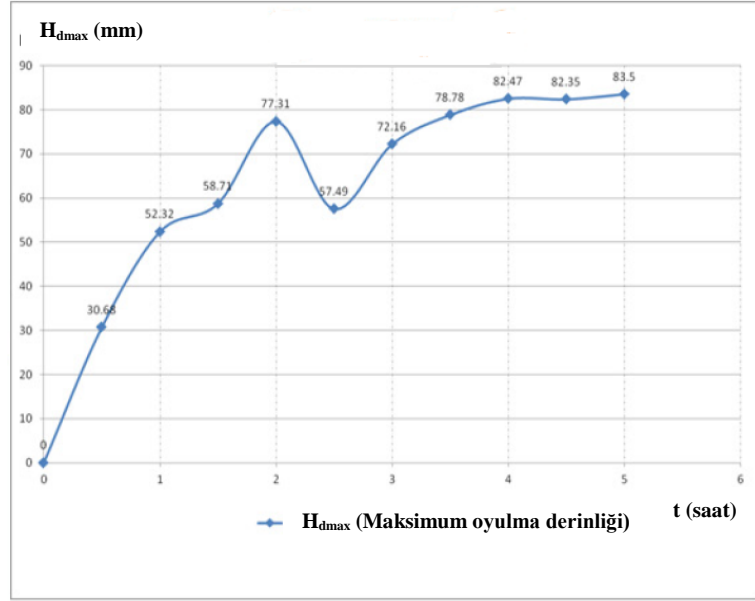
- Akım şartları aynı olduğu sürece kohezyonlu malzeme tabanlı kanal üzerindeki yan savak kret yüksekliği azaldıkça tabandaki oyulmanın daha erken başladığı, yan savak kret yüksekliği arttığı zaman ise tabandaki oyulmanın daha geç başladığı görülmüştür.
- Kohezyonlu malzeme tabanlı dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda, tabanda oluşan oyulma şeklinin yan savak kret yüksekliğine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Yan savak kret yüksekliği 7 cm iken tabandaki oyulma, yan savak giriş etkisiyle oluşan vortekslerden ötürü dairesel kesitli meydana gelirken, yan savak kret yüksekliği 12 cm'ye çıktığında ise oyulmanın elips şekline büründüğü görülmüştür.

Dilek (2011) tarafından elde edilen oyulma derinliği-zaman grafiklerinden bazıları Şekil 3.14-16'da verilmiştir. Şekil 3.14'te maksimum oyulma derinliği ile zaman değişimi verilen deney, debinin 101.88 L/s, Fr_1 sayısının 0.81 ve yan savak kret yüksekliğinin (p) 7 cm olduğu akım şartlarına aittir.



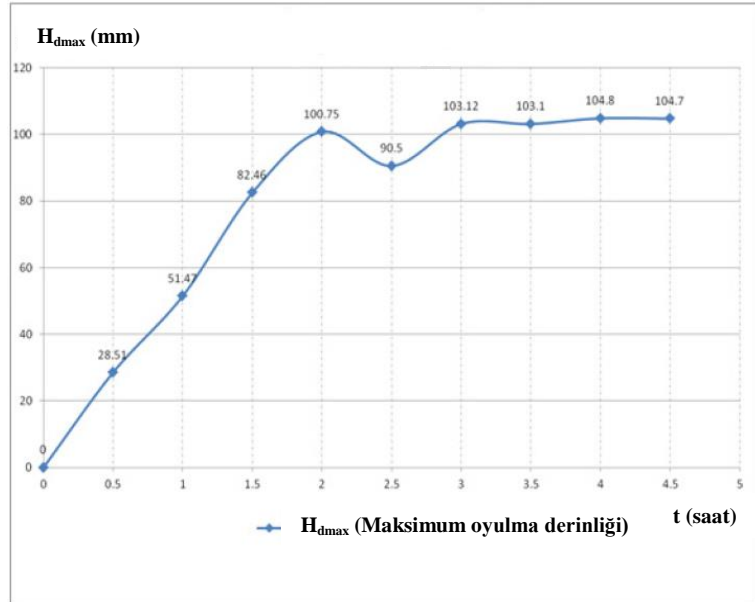
Şekil 3.14. Deney 8'e ait oyulma derinliği-zaman değişimi (Dilek, 2011).

Şekil 3.15'te masimum oyulma derinliği ile zaman değişimi verilen deney, debinin 101.88 L/s, Fr_1 sayısının 0.81 ve yan savak kret yüksekliğinin (p) 7 cm olduğu akım şartlarına aittir.



Şekil 3.15. Deney 10'a ait oyulma derinliği-zaman değişimi (Dilek, 2011).

Şekil 3.16'da maksimum oyulma derinliği ile zaman değişimi verilen deney, debinin 101.88 L/s, Fr_1 sayısının 0.81 ve yan savak kret yüksekliğinin (p) 7 cm olduğu akım şartlarına aittir.

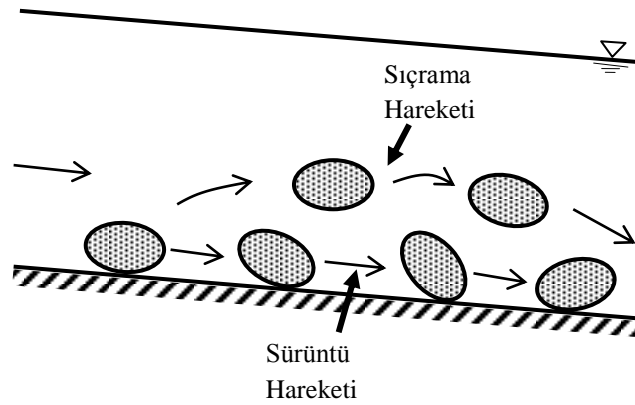


Şekil 3.16. Deney 12'ye ait oyulma derinliği-zaman değişimi (Dilek, 2011).

4. KATI MADDE HAREKETİ

4.1. Giriş

Tabiattaki akarsu yatakları kum, çakıl, kaya gibi katı madde tanelerinden oluşmaktadır. Akarsu yataklarındaki bu taneler, her zaman akımın belli şartlarında hareket etmektedirler. Bu katı madde tanelerinin arasında elektrokimyasal kuvvetler yoktur, dolayısıyla tabanda kalmalarını sağlayan kendi ağırlıklarıdır. Su hızının artmasıyla birlikte kayma gerilmesi de artmakta ve tanelerin bazıları yuvarlanarak, bazıları ise birbirinin üzerinde kayarak tabanda harekete geçerler. Tanelerin bu hareketine, sürüntü hareketi denmektedir. Akım hızının değiştiği durumlarda (yani akım hızının azalıp tekrar arttığı durumlarda) taneler, tabandan kalkıp bir süre sonra tekrar tabana dönerler. Buna da, sıçrama hareketi denmektedir (Şekil 4.1). Sıçrama, ya tane yakınındaki basıncın değişmesiyle ya da tanelerin çarpışmasıyla gerçekleşir. Sıçrama hareketi, hava için büyük önem taşırken suda pek bir önemi yoktur. Bu nedenle hesaplar, sürüntü hareketi dikkate alınarak yapılmaktadır ve sıçrama hareketi de sürüntü madde hareketine dâhil edilmektedir. Akım hızının büyümesi sonucu, tabandaki kayma gerilmesinde büyük artışlar meydana gelir. Bu gerilme ile tane yerinden sökülür, akım hızı ve türbülans etkisiyle hareket etmeye başlar. Gerilme değeri arttıkça, tane akımla beraber hareket eder ve tabandan uzaklaşır. Bu olay sonucunda 'askı hareketi' meydana gelir. Sonuç olarak, taban hareketinde önemli olan tanenin çökme hızını yenen türbülanstır.



Şekil 4.1. Taban yakınlarındaki sürüntü ve sıçrama hareketleri

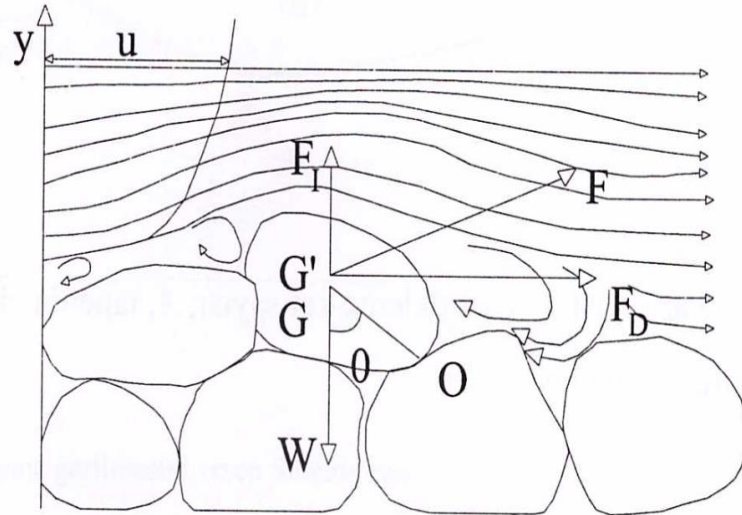
4.2. Bir Taneyi Etkileyen Kuvvetler ve Tabanda Hareketin Başlaması

Yoğunluğu sudan daha büyük olan katı maddelerden oluşan bir yatak üzerinden, su akarken bu tanelere kuvvet etki ettirir. Bu etkiyen kuvvetler, hidrodinamik kuvvetlerdir. Eğer bu hidrodinamik kuvvetlerin bileşkesi, taneyi tutmaya çalışan kuvvetlerin bileşkesine eşit bir değere ulaşırsa tane harekete geçme durumuna gelir. Bu duruma “kritik durum” denir.

Belli kriterlerde tanelerden oluşturulmuş bir yatak üzerindeki akımın hızı arttırıldıkça, tanelerde hareketlilik gözlenir. Hızın belli bir değerinde de kritik durum oluşmaya başlar. Kritik durumda gözlenen hız da kritik hızı verir. Bu konuyla uğraşan ilk araştırmacılar, kritik hızla tane özellikleri arasında bağıntı kuran formüller geliştirmişlerdir.

Kohezyonsuz tanelerden oluşturulmuş bir tabanın, akımla temas halinde olan üst yüzeyindeki taneyi etkileyen kuvvetler Şekil 4.2’de verilmiştir.

1. Ağırlık kuvveti yani tanenin su altındaki ağırlığı (W),
2. Hidrodinamik sürüklenme kuvveti (F_D),
3. Hidrodinamik kaldırma kuvveti (F_I),
4. Bu taneyle temas halindeki diğer tanelerin etkisinden doğan reaksiyon kuvvetleridir (F).



Şekil 4.2. Tabandaki bir taneyi etkileyen kuvvetler (Güngör, 1997).

Tanenin alt tarafındaki su neredeyse hareketsiz olduğundan, buradaki basınç dağılımı hidrostatiktir. Tanenin üst tarafındaki suyun basıncı azaldığından dolayı akım çizgileri

eğiktir ve buradaki basınç hidrostatik değerin altına düşer. Bu nedenle, kaldırma kuvveti (F_I) yukarıya doğru etki eder.

Viskozite ve sınır tabakasının ayrılmasından dolayı oluşan sürüklenme kuvveti (F_D) ise, Reynolds sayısının değişimine göre belirlenmektedir. Taban yakınlarındaki akımın laminer olması yani taban yakınındaki laminer alt tabakanın taneleri tamamen örtmesi durumunda, bu kuvvetin sadece viskoz tesirlerden doğduğu anlaşılır ve bu durumda tanelerin arkasında sınır tabakası ayrılmaz. Reynolds sayısının artışıyla birlikte laminer alt tabaka kalınlığı azalır, tane yakınlarında akım çizgileri yer değiştirir, tanenin arkasında bir ayrılma bölgesi meydana gelir ve taneler bu tabakanın dışına çıkar. Bu bölgenin büyüklüğü tanenin biçimine ve Reynolds sayısına bağlı olan sınır tabakasının ayrılma noktasına göre değişmektedir. Ayrılma sonunda tanenin çevresinde oluşan basınç farkına bağlı olarak, taneyi akım yönünde harekete zorlayan bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvet, sürüklenme kuvvetidir (F_D). Sürüklenme kuvveti (F_D), yüzeysel direnç (sürtünme) ve biçim direnci (basınç) bileşenlerinden oluşur. Kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri için şu bağıntılar yazılabilir:

$$F_I = C_L \rho \frac{u^2}{2} A \quad (4.1)$$

$$F_D = C_D \rho \frac{u^2}{2} A \quad (4.2)$$

burada, C_L = Kaldırma katsayısını, C_D = Sürüklenme katsayısını, u = Tane yakınlarındaki hızı, A = Tanenin akıma dik alanını ifade etmektedir.

Yukarıdaki (4.1) ve (4.2) denklemlerinde hızın karesinin (u^2) çarpanlarda olması türbülanslı akımın, hızın karesiyle doğru orantılı olmasından kaynaklanmaktadır. Kaldırma katsayısı (C_L) ve sürüklenme katsayısı (C_D) tanenin geometrisine, Reynolds sayısına ve Froude sayısına göre değişmektedir. Tamamen batmış cisimlerde, Froude sayısının herhangi bir etkisi yoktur.

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere taneyi etkileyen dört kuvvet mevcuttur. Bu kuvvetlerden ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni olan “F”; taneyi yerinde tutmaya çalışırken, kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvveti ve ağırlığın akım doğrultusundaki bileşeni ise taneyi harekete geçirmeye çalışırlar. Harekete geçme anında, temas kuvvetlerinin herhangi bir

etkisi olmaz. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar, bir tanenin harekete geçmesinin şu iki durumla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

- 1) Bir değme noktasına göre alınan bileşke momentin sıfır olması halinde, tane yuvarlanarak harekete geçer.
- 2) Düşey doğrultudaki bileşke kuvvet sıfır olunca, kritik durum meydana gelir.

Tabandaki tanelerin bazıları harekete geçtiği zaman, taneler arasındaki çarpmalarla dinamik etkilerin ortaya çıkması sonucu taban yakınlarında akım şartları değişir. Farklı büyüklükteki tanelerden oluşmuş bir tabanda, tanelerin tabandaki konumlarına göre akımla temas şekilleri de değişmektedir. Akımın türbülanslı olmasından dolayı hız ve buna bağlı olarak da akımı etkileyen kuvvetler değişmektedir. Türbülans, tanenin hareketini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, türbülanslı akımı iyi gözlemlemek gerekir. Türbülanslı akım, akışkan taneciklerinin izledikleri yörüngelerin düzensiz olduğu bir akımdır. Yani akımın ortalama hızına gelişigüzel çevriler de dahil olmaktadır. Zamanla değişmeyen türbülanslı akımda bile, bir noktadaki hızın şiddet ve doğrultusu sürekli değişmektedir. Bu bakımdan hızı, ortalama hız ve ortalama hızdan olan sapma olarak iki bileşene ayırmak mümkündür.

$$u = u_{\text{ort}} + u', v = v_{\text{ort}} + v', w = w_{\text{ort}} + w' \quad (4.3)$$

burada “ u_{ort} ”, “ v_{ort} ” ve “ w_{ort} ”; hız bileşenlerinin zamansal ortalama değerleri iken, “ u ”, “ v ”, “ w ” simgeleri ise, türbülans çalkantı hız bileşenleridir.

$$u_{\text{ort}} = \frac{1}{T} \int_0^T u \, dt \quad (4.4)$$

burada “ T ” değeri, türbülansın zaman ölçeğine göre çok uzun bir zaman süresini ifade eder.

Genellikle, açık kanallardaki akım daima türbülanslıdır. Ancak, taban yakınlarda oldukça ince bir laminar alt tabaka bulunur. Bu nedenle kohezyonsuz malzemelerden yapılmış bir tabanda, harekete başlama tam olarak belirlenemez. Türbülans tanenin belirli bir zaman içerisinde hareketli, geri kalan zamanda hareketsiz kalmasına neden olabilir. Ancak akımın ortalama hızı yeterli derecede büyük değere ulaştığında, tabandaki bütün taneler aynı anda hareket ederler. Deneylede tabandaki hareketin başlangıcını

gözleyicilerin çok dikkat ederek gözlemlemesi gerekir, ya da çeşitli “ τ_0 ” değerlerine karşılık gelen sürüntü debileri ölçülür, bu debi değerleri kullanılarak diğer debi değerleri hesaplanır ve bunların arasından sıfır olan debi değerine karşılık gelen kayma gerilmesi (τ_{kr}) bulunur.

4.3. Kritik Kayma Gerilmesi

Kritik kayma gerilmesini fiziksel olarak incelediğimizden dolayı, bu olayı etkileyen parametreleri ve bu olayın bağlı olduğu kanunu elde etmek için, olayı etkileyen değişkenlerin boyut analizi uygulanarak bulunması gerekir. Bu değişkenler şunlardır:

- Akışkanın özellikleri (γ, ν),
- Taban malzemesinin özellikleri (d, γ_s),
- Akımın özellikleri (τ_0),
- Yerçekimi ivmesi (g).

Akımı belirleyen büyüklük, akımın ortalama hızı (V) yerine taban kayma gerilmesi (τ_0) alınmıştır. Eğer “ V ” kullanılırsa akım derinliğini de dikkate almak gerekir, bu nedenle eski araştırmacılar da taban kayma gerilmesinin (τ_0) kullanılmasını savunmuşlardır. Çünkü “ τ_0 ”, $\tau_0 = \gamma R J_0$ eşitliğinden de anlaşılacağı üzere akımın tabana etkilediği sürükleyici kuvveti temsil eder ve bu nedenle hıza göre daha anlamlı bir büyüklüktür. Burada, R = Hidrolik yarıçapı, J_0 = Kanal taban eğimini ifade etmektedir.

Bu değişkenler arasında boyut analizi teoremini uygulayarak, boyutsuz sayılar arasında aşağıdaki bağıntıya ulaşılır.

$$\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d} = f\left(\frac{\sqrt{\tau_0/\rho}}{\nu} d, \frac{\gamma_s}{\gamma}\right) \quad (4.5)$$

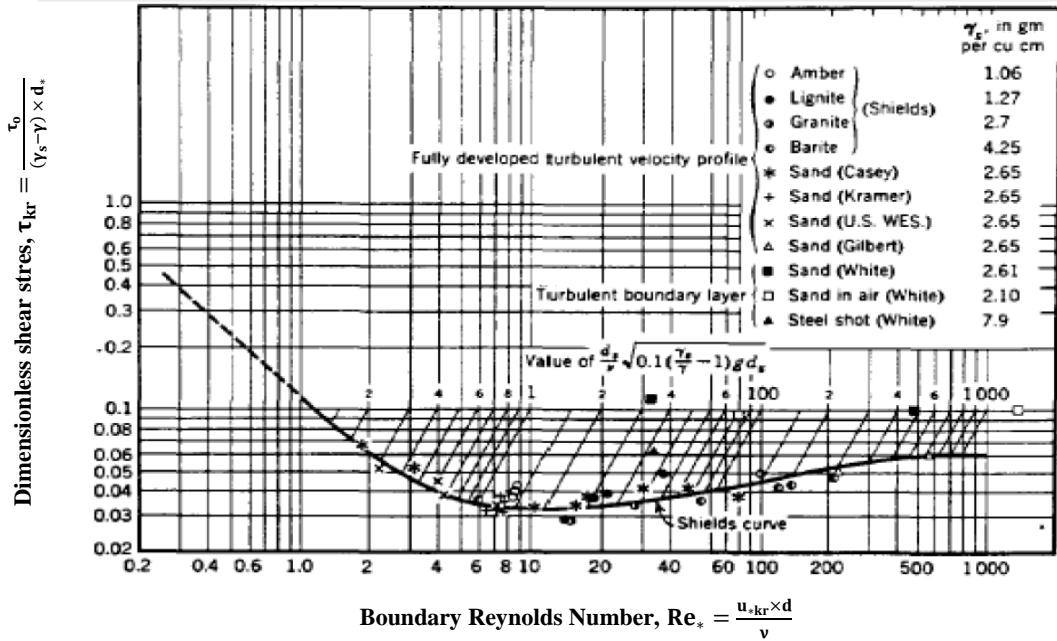
$u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$, $\gamma_s^* = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$ tanımlarını yapacak olursak, (4.5)bağıntısı şu hale gelir:

$$\frac{u_*^2}{\gamma_s^* g d} = f\left(\frac{u_*}{\nu} d, \frac{\gamma_s}{\gamma}\right) \quad (4.6)$$

$\frac{u_*}{\nu} * d$: Kayma gerilmesi hızı üzerine kurulmuş tane Reynolds sayısı ($Re *$),

$\frac{u_*^2}{\gamma_s g d}$: Kayma gerilmesi hızı üzerine kurulmuş tane Froude sayısının karesidir (Fr_*^2).

Deneyler sonucunda, “ γ_s/γ ” parametresinin olayda önemli bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Shields, “ Fr_* ” ve “ Re_* ” sayılarının kritik değerleri arasında bir bağıntı vermiştir. Bu bağıntı deneyler sonucunda elde edilmiş ve Şekil 4.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Shields diyagramı (Shields, 1936).

Shields eğrisi, hareketin başlangıç anını yani kritik durumu göstermektedir. Eğrinin altındaki bölgede taban hareketsiz, üstündeki bölgede ise taban hareketlidir. Shields eğrisi; laminer bölge, geçiş bölgesi, türbülanslı bölge olmak üzere üç bölgeden oluşmaktadır. Shields eğrisinin sol tarafı akımın laminer olduğu bölgedir, burada “ Fr_*^2 ” ve “ $1/Re_*$ ” bulunmaktadır. Laminer bölgede kritik kayma gerilmesi hızı; “ u_{kr}^2 ”, “ γ_s ”, “ g ” ve “ v ” parametrelerine bağlıdır, tane çapından (d) bağımsızdır. Tane, laminer alt tabakada tamamen gömülü kaldığı sürece kayma gerilmesi, taban yüzeyini bir bütün olarak almaktadır. Laminer akımlarda cidar pürüzlülüğünün akım üzerinde herhangi bir etkisi yoktur, ancak türbülanslı akımda $Re_* > 1000$ için viskozitenin etkisinin kalmadığı ve tam türbülanslı bölgede kritik durum için “ Fr_*^2 ” değerinin 0.06 olarak sabit kaldığı görülmektedir.

Son yıllarda bu konu üzerine çalışmalar oldukça fazla yapılmakta ve bu çalışmalara göre (4.5) denklemindeki fonksiyonun değişkenleri arasına rölatif pürüzlülüğünün (d/R) de

katılmasının daha uygun olacağı belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, çalışmayı yapan araştırmacılar tarafından “d/R arttıkça Fr* sayısının kritik değeri de artacak yani kritik kayma gerilmesi artacaktır.” düşüncesiyle ilişkilendirilmiştir.

Özellikleri belli olan bir taban malzemesini harekete geçirecek olan kritik gerilme değeri, Shields eğrisinden deneme yanılma yoluyla bulunabilir. Ancak Shields eğrisini daha kullanışlı hale getirirsek, deneme yanılma yapmaktan kurtulabiliriz. Bunun için, “Fr*² = f (Re*² / Fr*²)” bağıntısı kurulur. “Fr*²/Fr² = γ_{s*} g d³ / v²=d*³” eşitliğinde, akımla ilgili bir büyüklük yoktur. Böylece “γ_{s*}” ve “d” gibi değerleri belli olan tanelerden yapılmış bir tabanın, bu özelliklere dayanarak “u_{kr*}” değeri doğrudan okunabilir (Şekil 4.4). Shields eğrisini kullanarak belirli akım şartlarında harekete geçecek taban malzemesinin çapı bulunurken, aynı zamanda harekete geçmeyecek olan taban malzemesinin de çapı belirlenebilir. Bu özellik, sulama ve kurutma kanallarında malzeme seçiminde oldukça fayda sağlar. Shields eğrisinde, iri taneler için (4.7) eşitliği kullanılır.

$$\frac{\tau_{kr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \frac{\gamma R S}{(\gamma_s - \gamma)d} \cong 0.06 \quad (4.7)$$

Özel durum; kum için γ_s=2,65 alınırsa tane çapı, yaklaşık olarak “10RS” değerine eşit olur.

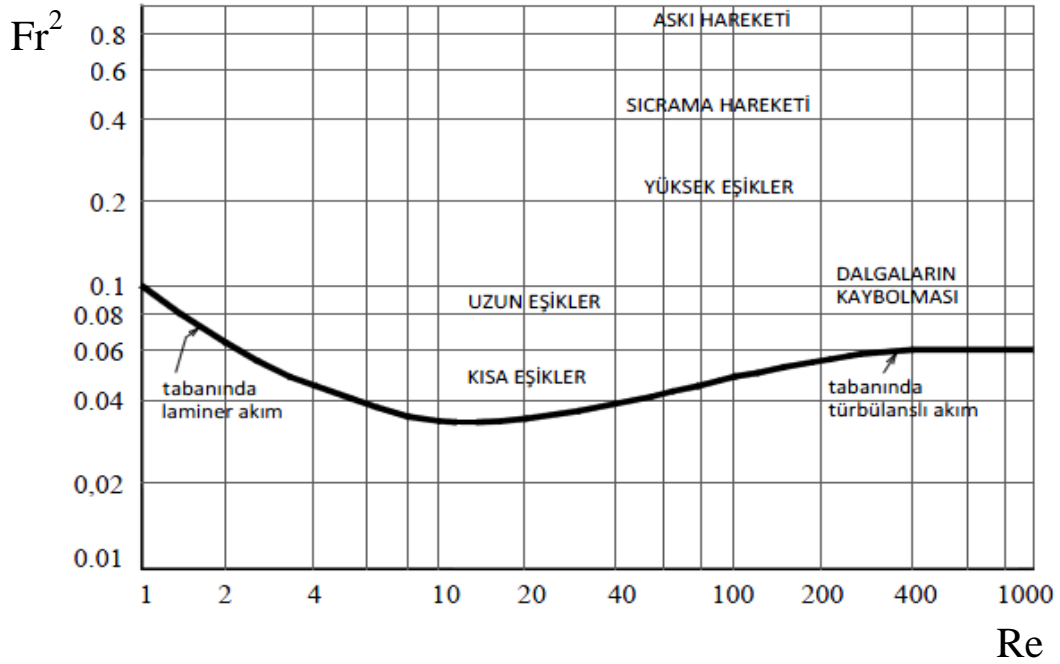
Shields eğrisinin yukarıdaki bağıntılarını kullanırken türbülanslı akımlarda, hızları dolayısıyla kayma gerilmelerini, ortalama değerlerin çok üstüne çıkabildikleri durumlarda göz ardı etmemek gerekir. Örneğin bu konuda çalışmalar yapmış araştırmacılarından ‘Kalinske’, tabandaki kayma gerilmesinin maksimum değerinin kendi ortalamasının yaklaşık üç katı olduğunu ileri sürmüştür. ‘White’ ise, bir taneyi harekete geçirecek olan etkili değeri; türbülanslı sınır tabakasındayken “2τ_{ort}”, türbülansın etkisini tam olarak gösterdiği durumda ise “4τ_{ort}” olarak belirlemiştir. Buradaki “τ_{ort}” değeri, taban kayma gerilmesinin ortalama değeridir. Deneylede tabanda hiç hareket olmaması istendiği takdirde iri taneler için “0.06” değerine eşit olan, “τ_{kr}/(γ_s - γ)d” değerinin iki katı alınır ve tane çapı “d = 20RS” olarak seçilebilir.

Shields (1936), kayma gerilemelerine sadece düzen bozucu kuvvetlerin neden olduğu düşüncesiyle hareket ederek deneylerini yapmış ve şu sonuçları elde etmiştir:

- Taban kayma gerilmesi; yalnızca verilmiş bir sıvıdaki, verilmiş bir malzeme tipi için, tane Reynolds sayısına bağlıdır (Re* = $\frac{u_* d}{\nu}$).

- Malzemenin sürüklenme başlangıcındaki kritik kayma gerilmesi, tane çapıyla ve üniform geometrik malzeme için su altındaki birim hacim ağırlığı ($\gamma_s - \gamma$) ile orantılıdır.
- Su altındaki birim hacim ağırlığı değerleri ($\gamma_s - \gamma$), 0.3 ile 3.3 arasındaki malzemeler için geçerlidir.

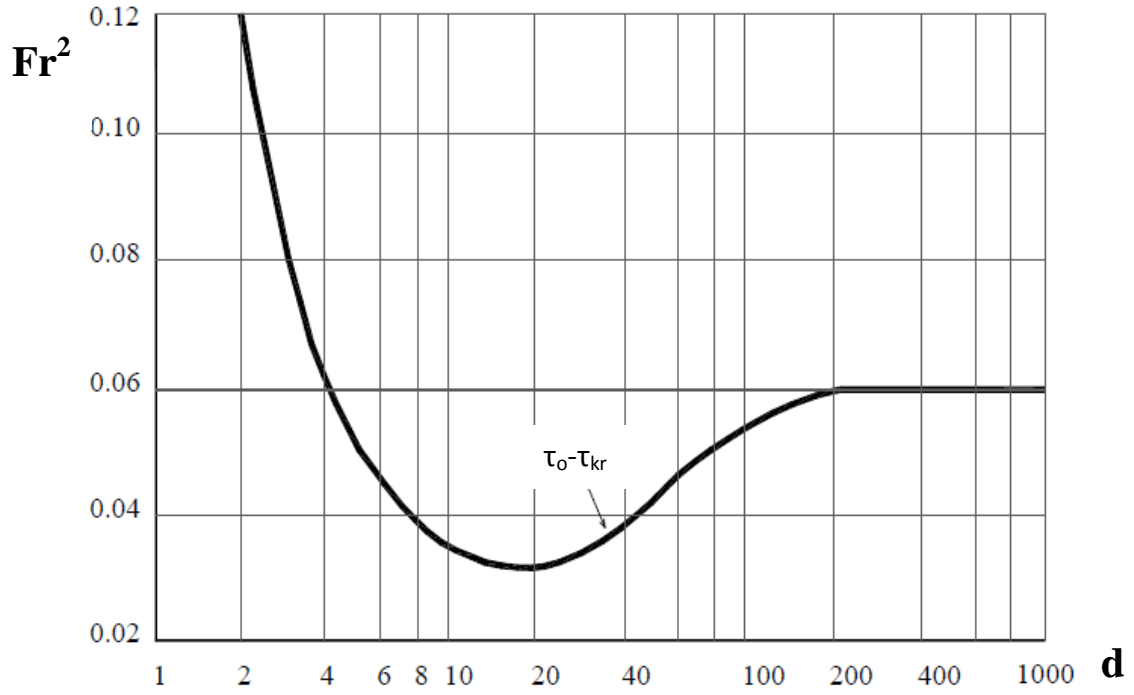
Bu yorum ve çalışmalara dayanarak Shields, kritik gerilmeyi hesaplamaya yarayan Şekil 4.4 deki eğriyi elde etmiştir.



Şekil 4.4. Kritik kayma gerilmesini veren Shields eğrisi

Son yıllarda yapılan çalışmalarda; türbülans etkisinin dikkate alınmamasından dolayı, “ Re_* ” sayısının daha küçük değerlerinden (50-150) itibaren hareketin başlangıcının “0.030” değerine kadar düştüğü görülmüştür. Ayrıca, “ Fr_* ” ve “ Re_* ” sayılarında bulunan kayma hızı (u_*) da bilinmemektedir. Bu nedenle kayma hızı deneme yanılma yoluyla bulunmaya çalışılmış, ancak bu yolun da pratik olmadığı anlaşılmıştır.

Shields eğrisinin her iki ekseninde “ U ” bulunduğu için; Shields parametresinin sabit kaldığı tam türbülanslı bölge dışında, “ τ_{kr} ” değeri deneme yanılma yoluyla bulunmuştur. Bundan kurtulmak için, “ $d = (Re \times Fr)^{2/3}$ ” ifadesi kullanılabilir. Bu ifadede “ τ_0 ” değeri bulunmadığından, “ Fr^2-d ” eğrisinden “ d ” çaplı tane hareket ettirecek olan “ τ_{kr} ” kayma gerilmesinin doğrudan okunacağı şekli, Şekil 4.5’te verilmiştir.



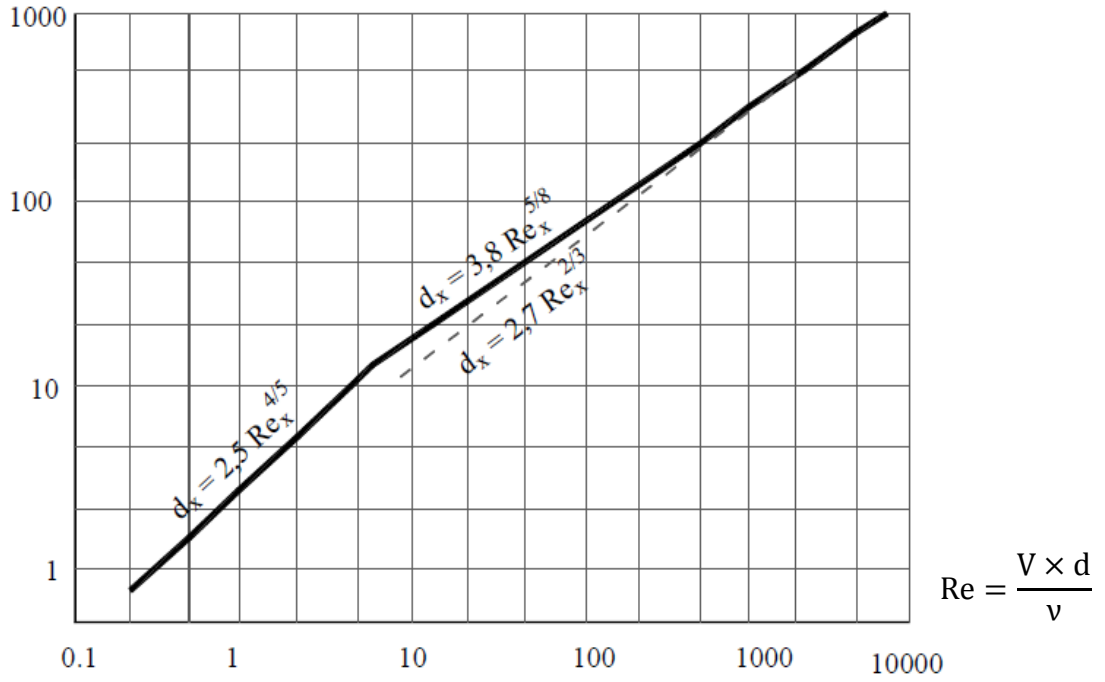
Şekil 4.5. Shields eğrisinin belli bir tanenin kritik kayma gerilmesini doğrudan bulmak için kullanılan şekli

Shields diyagramının kullanışlı olmadığı görüşündeki araştırmacılardan biri olan Bonefille, “Fr” ile “Re” arasındaki “U*” bilinmeyenini olduğundan integrasyon gerektiğini söylemiştir. Bunu önlemek için “Re²/Fr²” oranından yararlanarak;

$$d_* = [(\gamma_s - \gamma)/(\rho V^2)]^{1/3} \quad (4.8)$$

ifadesi elde edilmiştir. Buradaki “d*” ifadesine, sedimentolojik çap denir. Bonefille (1963), sedimentolojik çap ile “Re” arasında bağıntı kurarak Shields diyagramını yeniden düzenlemiştir (Şekil 4.6).

$$d_x = \left(\frac{\rho' g}{v^2} \right)^{1/3} \times d$$



Şekil 4.6. Bonefille'nin hazırladığı diyagram (Bonefille, 1963).

4.4. Kritik Hız

Tabandaki tanelerin harekete geçmesi, taban kayma gerilmesine bağlıdır. Pratikte çoğu zaman kayma gerilmesi yerine, akımın ortalama hızını kullanmak daha kolaydır. Kritik kayma gerilmesinin bulunmasında, günümüzde en çok kullanılan yöntem Shields eğrisidir. Ancak kritik kayma hızının deneme yanılma ile bulunması, hem zor hem de türbülanslı akım için mümkün değildir. Bu yüzden, bazı araştırmacılar kritik hız (V_{kr}) için farklı formüller bulmuşlardır:

Goncharov (1964):

$$V_{kr} = \sqrt{\frac{2\rho\gamma_s^* d}{\alpha}} \log \frac{8.8y}{d} \quad (4.9)$$

$d_{90} > 0.7$ ise $\alpha = 1$

$d_{90} < 0.7$ ise $\alpha = 1.2$ ve $\alpha = 1.4$ 'dir.

Goncharov (1964), türbülans çalkantılarının maksimum seviyeye ulaştığı durumlarda bile yatakta hareket olmadığında $\alpha=3.5$, hızın zamansal ortalama değerinde hareket olmadığında ise $\alpha=1.75$ değerinin kullanılacağını ifade etmiştir. Yataktaki taneler üniform olmadığı takdirde, “ d_{50} ” değeri kullanılacaktır.

Hancu (1971):

$$V_{kr} = \alpha \times (gd \frac{\rho_s - \rho}{\rho})^{1/2} \times (\frac{y}{d})^{0.2} \quad (4.10)$$

Mavis ve Laushey (1948):

$$h > 1 \text{ mm durumunda; } V_c = 0.22d_{50} \quad (4.11)$$

alınır ve bu formül sadece “ $d > 0.5 \text{ mm}$ ” şartındaki iri kum taneleri için kullanılabilir.

Levy (Chien ve Wan, 1999):

$$V_c = \sqrt{gd} \ 1.4 \log\left(\frac{12R}{d_{90}}\right) \quad R/d_{50} > 60 \quad (4.12)$$

$$V_c = \sqrt{gd} \ (1.4 + 0.87 \log\left(\frac{10R}{d_{50}}\right)) \quad R/d_{90} > 10-40 \quad (4.13)$$

Shamov (Chien ve Wan, 1999):

$$V_c = \sqrt{gd} \ 1.47(y/d)^{1/6} \quad (4.14)$$

Görüldüğü üzere kritik hız; sadece tanenin “ d ”, “ γ_s ” gibi özelliklerine değil, aynı zamanda rölatif pürüzlülüğe (R/d) de bağlıdır. Aynı ortalama hız için derinlik arttıkça, tane yakınlarındaki hız azaldığından derin kanallardaki kritik hızın daha büyük olduğu görülmektedir. Goncharov’a göre tabanda hiçbir tanenin yerinden kalkmaması, yani türbülans hızının maksimum değerinde bile hareket olmaması halinde $\alpha=3.50$ alınır. Tanelerin sürekli olarak yerlerini değiştirmeleri, yani hızın ortalama değerinde tabanın

harekete geçmesi halinde ise $\alpha=1.75$ alınır. Tabandaki taneler üniform değilse, rölatif pürüzlülükteki (R/d) tane çapı (d) için, “ d_{95} ” kullanılması önerilmiştir.

Çeşitli deneyler sonucu, Fortier ve Scobey tarafından 1926 yılında çeşitli malzemeler için tavsiye edilen kritik hız değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Suyun koloidal madde içermesi durumunda ve akım derinliğinin fazla olması halinde daha yüksek hızlara çıkılabileceği görülmüştür. Eski kanallar koloidal madde biriktirdiği için, daha yüksek hızlara elverişli olabilir. Kıvrımlı kanallarda ise, hızı %5-22 arasında azaltmak uygun olur. Özellikle iri taneli tabanlarda kanal genişliği, hız dağılımını dolayısıyla kritik hızı da etkiler. Kanal genişliği arttıkça kritik hız azalır.

Tablo 4.1. Kanallarda izin verilebilecek hızlar

Taban malzemesi	Temiz suda hız (m/s)	Koloidal madde taşıyan suda hız (m/s)
İnce kum, koloidsiz	0.45	0.75
Kumlu lem, koloidsiz	0.52	0.75
Siltli lem, koloidsiz	0.60	0.90
Alüvyal silt, koloidsiz	0.60	1.05
Sıkı lem	0.75	1.05
Lav külü	0.75	1.05
Sıkı kil	1.12	1.50
Alüvyal silt, koloidli	1.12	1.50
İnce çakıl	0.75	1.50
Lem ve çakıl, koloidsiz	1.12	1.50
Lem ve çakıl, koloidli	1.20	1.65
İri çakıl, koloidsiz	1.20	1.80
Kaba çakıl	1.50	1.65

Kohezyonlu zeminlerde kritik ortalama hızın su derinliğine göre değişimi, Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Kohezyonlu zeminlerde kritik ortalama hız (Haris, 1988).

y (m)	V _c (m/s)		
	Yüksek oyulma potansiyeli	Orta oyulma potansiyeli	Düşük oyulma potansiyeli
	Çok yumuşak-yumuşak kil	Normal-sıkı kil	Sıkı-sert kil
1.0	0.5	0.9	1.6
1.5	0.6	1.0	1.8
3.0	0.6	1.2	2.0
6.0	0.7	1.3	2.3
15.0	0.8	1.5	2.6

4.5. Hareketli Tabanda Oluşan Şekiller ve Dalgalar

Kohezyonsuz gevşek malzemeli bir tabanda taban koşulları, hareket için gerekli olan kritik değerlere ulaştığında tabanda hareket başlar. Taban hareketiyle birlikte tabandan ayrılan taneler, taban boyunca depolanarak sürüklenirler. Akarsuda katı madde taşınımı, kaynağına göre taban ve yüzey erozyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Taban erozyonu, iri tanelerin tabandan sökülmesiyle oluşmaktadır. Sürüntü ve askı maddesinin ana kaynağı taban erozyonudur. Yüzey erozyonu ise, ince tanelerin yüzeyden sökülmesi sonucu meydana gelir.

Taban şekillerinin oluşumu şu şekilde özetlenebilir;

- * Hızlı hareket eden tanelerin yavaş hareket eden taneleri engelleyerek daha da yavaşlatması,
- * Türbülansın etkisiyle tabandan sökülen tanelerin bir miktarının ortalama akım hızıyla taşınmadıkları için yeniden birikmeleri,
- * Taban üniform tanelerden oluşmadığında iri tanelerin harekete geçemeyişi, taban şekillerini meydana getirmektedir.

Hareketli tabanlı akarsularda, aşağıda verilen iki nedenden dolayı taban şekillerinin bilinmesi gerekir.

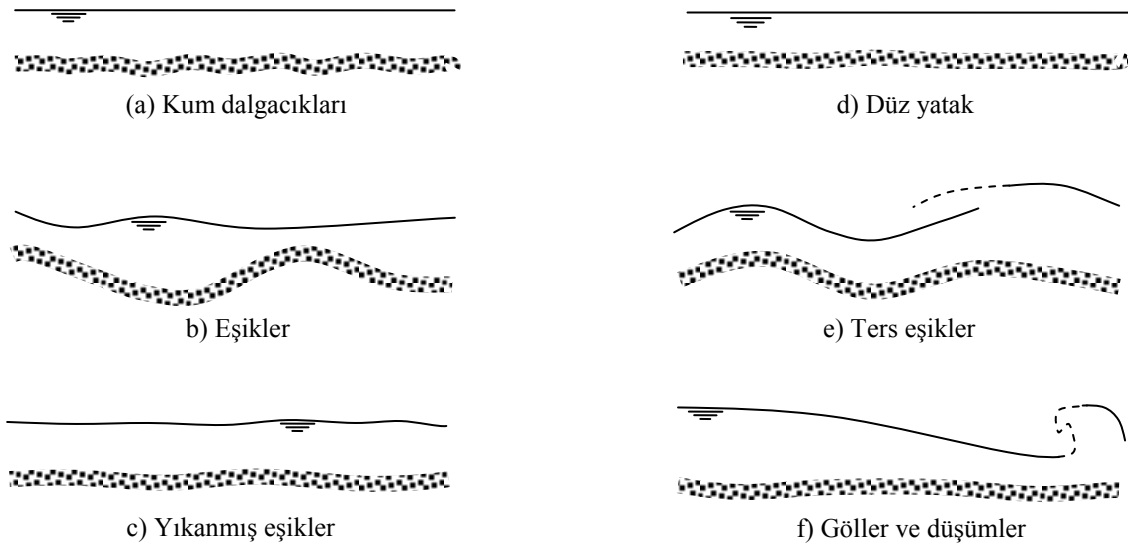
- Akarsuyun taban şekli sürüntü madde hareketinin stokastik yapısını yansıttığından dolayı, sürüntü madde miktarını ölçerken kullanılan yöntem taban şekline uygun olmalıdır.

- Taban şekli taban pürüzlülüğünü etkiler, dolayısıyla debi ve su derinliğini de etkiler, bu nedenle su derinliğinin önemli olduğu düzenlemelerde (ulaşım vb.) taban şekilleri dikkate alınır.

Akarsularda karşılaşılan taban şekilleri şunlardır:

- Kum dalgacıkları
- Eşikler
- Yıkanmış eşikler
- Düz yatak
- Ters eşikler
- Göller ve düşümler

Yukarıda verilen taban şekillerindeki sıra, akımın hızına bağlı olan değişikliğe göre yapılmıştır. Yani hızı az olan akımlarda kum dalgacıkları oluşurken hızın artışıyla birlikte taban sırasıyla; eşik, yıkanmış eşik, düz yatak, ters eşik, göl ve düşüm şeklini alır. Tabanın alabileceği çeşitli şekillerin tamamı Şekil 4.7 de verilmiştir.



Şekil 4.7. Hareketli tabanda akımın hızına bağlı olarak oluşan şekiller

Katı tanelerin hareket etmesiyle akım, belli bir miktar enerji harcayacağından dolayı tanelerin harekete geçmesiyle birlikte taban yakınındaki akım hızı, türbülans etkisi, kayma gerilmesi gibi bazı özellikler değişecektir. Bu değişme, hareket eden tane miktarıyla birlikte daha etkili hale gelecektir. Akımın hızı arttırıldığında, tabanın düz hali yerini hafif belirginleşen dalgacıklara bırakır. Bu dalga şekilleri, rüzgârın kum üzerinde meydana

getirdiği şekle ya da denizlerde dalgaların kıyılarda meydana getirdiği şekillere benzemektedir (Şekil 4.8). Su derinliğinin büyük olması ($h/d > 1000$ olması) durumunda, taneleri harekete geçiren “ V_{kr} ” hızının artışıyla birlikte dalgalar görülmeye başlar. Dalgalar tabanın bazı bölgelerinde tanelerin sürekli olarak yığılması, buna karşılık buradan sökülen tanelerin çok az sayıda olması ile oluşmaya başlar. Akım eksenine dik doğrultuda, aralıkları birbirine yakın küçük yığılmalar oluşur. Bu yığılmaların mansaplarındaki çevriler hareket halindeki taneleri tutarlar. Böylece yığınının yüksekliği zamanla artar, memba yüzleri yatık, mansap yüzleri dik dalgalar oluşur. Bu oluşan dalganın eğimi, su altında kalan katı malzemenin şev eğimine yakın bir değerde olur. Taneler bu dalgaların memba yüzüne geldiğinde sanki düzlem tabandaymış gibi hareketlerine devam ederler, ancak dalganın tepesine ulaştığında dalganın arkasında oluşan çevriden dolayı hareketi engellenir ve dalga ortalama hızdan daha düşük bir hızla mansaba doğru ilerler.



Şekil 4.8. Hareketli bir tabanda oluşan dalgacıklar (ripple)

Hızın artmasıyla birlikte, taneler bir dalgadan diğerine geçme fırsatı bulamadan sürüklenirler. Bu nedenle, dalga yüksekliğindeki artış yavaşlar ve bir süre sonra tamamen sabitlenir. Bu bölgede dalgaların yüksekliği sabit kalırken, dalga uzunluğu devamlı artar. Bu nedenle, dalga yüksekliğinin dalga uzunluğuna oranı (H/L) hızların artmasıyla azalır. Bununla birlikte akım hareketi artar ve taşınan katı madde miktarında da artış gözlenir. Hızın daha büyük değerlere ulaşması halinde dalgalar tamamen kaybolur ve neredeyse başlangıçtaki düzlem şeklini alır. Hızın belli büyüklüğe ulaşmasıyla dalgalardan düz tabana geçiş bir anda olmaz, önce bazı bölgelerde dalgaların, bazı bölgelerde de düz tabanın olduğu bir geçiş bölgesi görülür. “ V_{kr} ”, “ V_0 ”, “ V_1 ”, “ V_2 ” değerleri; akışkan, akım

ve tane özelliklerine bağlıdır. Goncharov bazı yaklaşık formüller çıkarmıştır. Burada, V_0 = Dalgaların görülmeye başladığı hız değerini, V_1 = Dalga yüksekliğindeki artışın sabitlenmeye başladığı hız değerini, V_2 = Dalgaların etkisinin azalarak, düzlem tabana geçişi sağlayan çok büyük hız değerini ifade etmektedir.

$$\frac{V_0}{V_{kr}} = \left(\frac{d}{y}\right)^{1/12}, \quad \frac{V_2}{V_{kr}} = 2,5 \left(\frac{y}{d}\right)^{1/12}, \quad V_1 = 0,25 V_0 + 0,75 V_2 \quad (4.15)$$

$$H_{max} = \frac{y}{2 \log\left(1,6 \frac{y}{d}\right)} L = 11 H_{max} \quad (4.16)$$

burada, y = Akım derinliğini, L = Dalga uzunluğunu, H_{max} = Dalga yüksekliğinin en büyük değerini ifade etmektedir.

Yalın (1964) ise aşağıdaki bağıntıyı vermiştir:

$$\frac{H}{y} = \frac{1}{6} \frac{\tau_0 - \tau_{kr}}{\tau_0} \quad (4.17)$$

Hızın artmasıyla birlikte, tabanda oluşan şekiller değişir. Önce kısa ve üç boyutlu dalgacıklar (ripple) oluşur (Şekil 4.8), sonra boyutları daha büyük olan (yanal uzunluğu ripple'ye göre daha fazla olan) eşikler (dune) oluşur (Şekil 4.9). Ripple'ların uzunlukları 30 cm den, yükseklikleri 3 cm den küçük olurken, dune'ların boyutları nispeten daha büyüktür. Taban, ripple'larla kaplıyken su yüzünde değişiklik gözlenmez, eşiklerin tepe kısımlarında su yüzü hafif alçalırken çukur kısımlarında ise yükseldiği görülür. Yalın (1964); ripple tipi dalgalarda, " $L \sim 1000d$ " yaklaşımını verirken, dalga uzunluğunun tane çapına bağlı olduğunu ifade etmiş, eşiklerde ise " $L \sim 5y$ " yaklaşımıyla dalga uzunluğunun akım derinliğine bağlı olduğunu vurgulamıştır. Ripple'ler, 0,6 mm den büyük tanelerle kaplı kum tabanlarda (yani iri malzemeden oluşan tabanlarda) meydana gelmezler. Chabert ve Chauvin (1963), başka malzemeler için kritik " d " çapını bulan formülü aşağıdaki gibi vermiştir:

$$d = 0,6 \sqrt{\frac{1,6 \gamma}{\gamma_s - \gamma}} \quad (4.18)$$

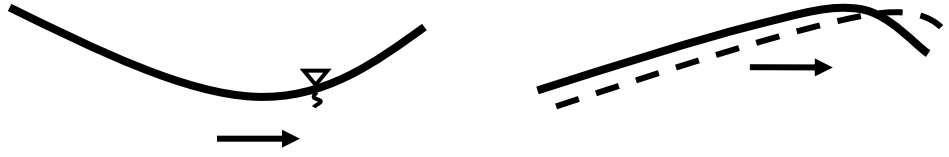


Şekil 4.9. Hareketli tabanlarda meydana gelen eşikler (dune)

Şekil 4.7'deki taban şekillerine sadece kum tabanlarda rastlanmaz, iri çakıllarla kaplı tabanlarda da bu durum gözlenebilir. Ancak eşik boyutları daha büyük olur.

Akımın hızı arttırıldıkça taban düzlem şeklini alır, dalgalar kaybolduktan sonra hız daha da arttırılacak olursa tabanda anti-dune denilen hareketsiz dalgalar oluşur. Bu dalgalar, su yüzeyinde de dalgalanmalara yol açar. Su yüzeyindeki dalgaların memba kısımları dikleşerek kırılır. Aynı olay tekrarlayarak devam eder. Tabandaki dalgalar nehir rejiminde ($Fr < 1$ olması halinde) eşik tepesine doğru akım hızı artacağından akımla aynı yönde hareket ederken, sel rejiminde ($Fr > 1$ olması halinde) eşik tepesine doğru akım hızı azalacağından dolayı, tabandaki dalgalar akım yönünün tersi yönde hareket ederler. Akım hızının artmasıyla sürüklenen katı madde miktarı da artacaktır. Süreklilik denkleminde çıkarılan sonuca göre, katı madde hareketinin akım doğrultusunda artması tabandaki dalga yüksekliğinin azalmasına neden olur. Nehir rejiminde bu olay dalganın memba yüzü

boyunca görüldüğünden, dalga akım yönünde ilerler (Şekil 4.10). Sel rejiminde ise dalganın memba yüzündeki katı madde hareketi akım doğrultusunda azalacağından, dalga yüksekliği artar ve dalga akım yönüne ters yönde ilerler (Şekil 4.11).



Şekil 4.10. Nehir rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi ($Fr < 1$).



Şekil 4.11. Sel rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi ($Fr > 1$).

4.6. Yatak Şekillerinin Oluşma Nedenleri

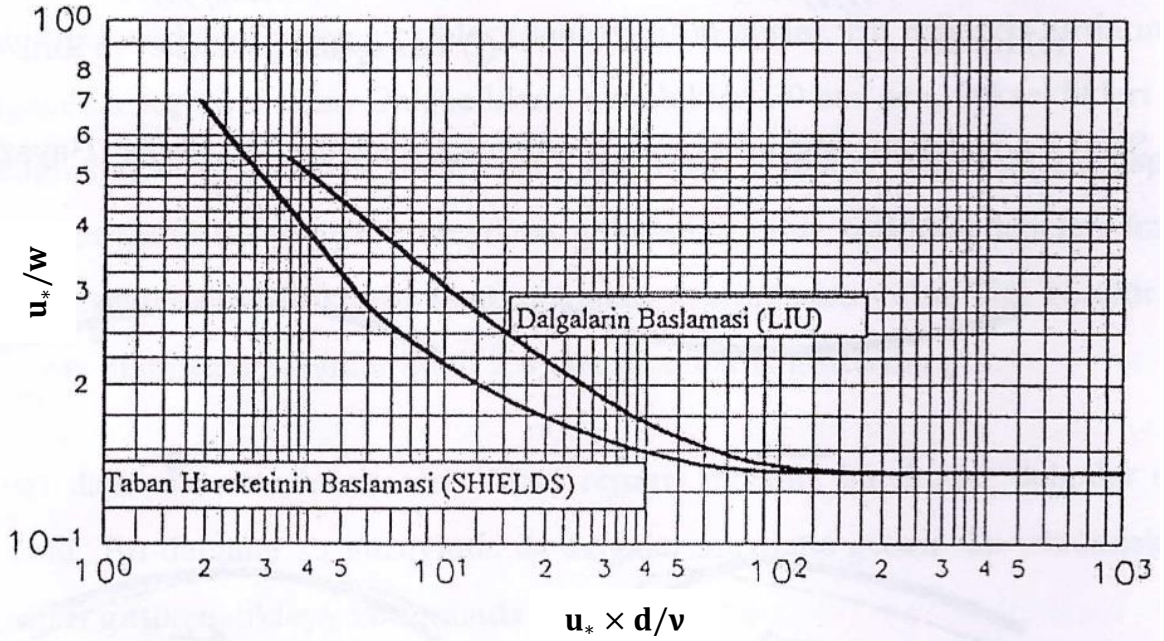
Taban dalgalarının oluşmasında, daha önce de belirtildiği gibi türbülansın önemi oldukça büyüktür. Deneysel çalışmalar sonucunda, laminar akımlarda hareketli tabanda oluşan kum eşığının mansap tarafında başka dalgaların oluşmadan zamanla kaybolduğu gözlenirken, türbülanslı akımda eşığın arkasında da dalgalar oluştuğu görülmüştür (Tison, 1949).

Yatak civarındaki viskoz alt tabakanın belli zamanlarda türbülans çevrileri tarafından yırtılması sonucu, yataktaki taneler harekete geçerek küçük yığılmalar meydana getirir. Bu yığıntının arkasındaki taneler, çevrideki türbülansın etkisiyle viskoz alt tabakadan sökülerek yığıntı yüksekliğinin birkaç katı kadar süren bir uzaklığa kadar devam edip yatağa otururlar. Böylece uzunlukları aşağı yukarı birbirine eşit olan dalgalar meydana gelir.

Liu (1957), yatağın çok viskoz bir akışkan olduğunu kabul ederek dalgaların oluşma nedeninin, yatakla akışkan arasındaki ayrım yüzeyinin stabilitesinin bozulmasına dayalı olduğunu ileri sürmüştür. Ancak, dalgaların oluşmaya başladıkları hızlarda yatak yakınındaki sediment konsantrasyonu çok düşüktür, bu yüzden farklı iki tabaka oluşamaz.

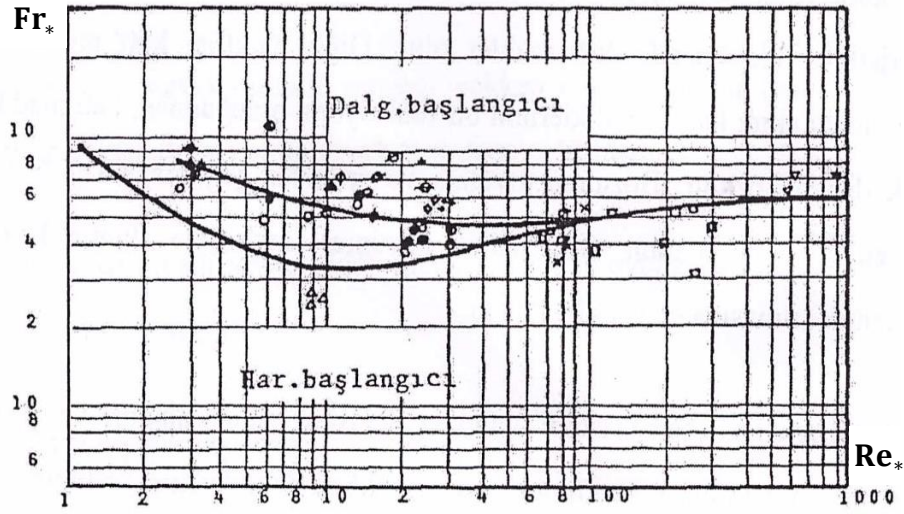
Ripple'ların oluşumu, viskoz alt tabakanın stabilitesi ile bağlantılı olabilir. Ripple'ların oluştuğu yerlerin, tane çapının viskoz alt tabaka kalınlığından küçük olduğu hidrolik

cilalı bölge ve geçiş bölgesi olduğu bilinmektedir. Dune'lar, sediment hareketinin şiddetli olduğu durumlarda meydana gelirler. Burada sediment konsantrasyonunun düşeyde dağılımı üniforma yakın olduğundan, farklı yoğunluktaki tabakaların oluşması mümkün değildir. Dune'ların boyutları, akımdaki en büyük çevrilerin boyutuna yakındır. Bu nedenle, bunların yatak yakınındaki düşey patlamalarla ilişkili olduğu anlaşılır.



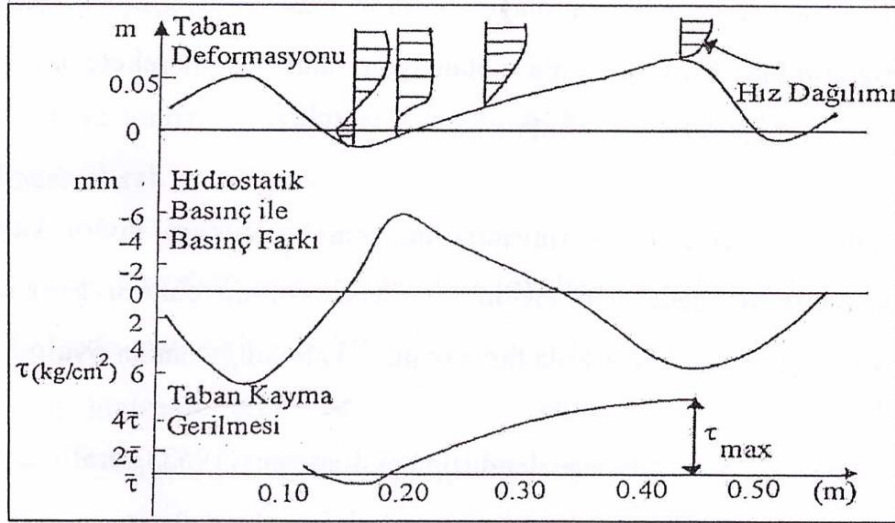
Şekil 4.12. Taban hareketinin başlangıcı için Liu ve Shields eğrilerinin karşılaştırılması (Liu, 1957).

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi laminer akımda önce tabanda hareket başlar, sonra taban şekilleri oluşur. Buna karşın türbülanslı akımda, tabandaki hareketle aynı anda taban şekilleri de oluşmaya başlar. Şekil 4.12'de "w" simgesi, tane çökme hızı olarak verilmektedir. Shields parametreleri cinsinden Şekil 4.12 yeniden çizilirse, Şekil 4.13 elde edilir. Görüldüğü gibi laminer bölgede hareketin başlaması taban şekillerinin başlangıcından çok daha önce başlamakta, ancak türbülanslı bölgede hareketin başlangıcı ile taban şekilleri aynı anda oluşmaktadır.



Şekil 4.13. Shields ve Liu diyagramlarının karşılaştırılması (Liu, 1957).

Bununla birlikte tabanda oluşan deformasyonlar, taban yakınındaki basınç dağılımında ve taban kayma gerilmesinde önemli değişikliklere yol açmaktadır (Şekil 4.14).

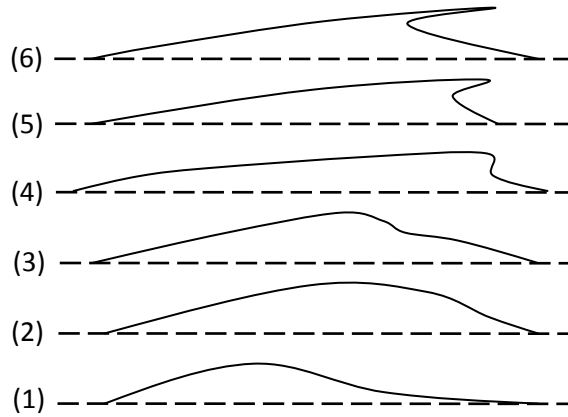


Şekil 4.14. Taban deformasyonunun basınç dağılımı ve kayma gerilmesi üzerindeki etkisi (Üç, 1979).

Bagnold (1956), ripple oluşumunu kuvvetler dengesine dayandırmıştır. Buna göre; yatak kayma gerilmesi belli bir değeri aşınca yataktan sökülen tane miktarı artar, bunların bir kısmı hareket edemeyip yatağa oturur ve bunların oluşturduğu yığıntılardan kaynaklanan ek direnç yatağı denge durumuna getirir.

(Raudkivi, 1963)'e göre; yatakta daha hızlı hareket eden tanelerin diğerlerini engellemesi, türbülans çevrileriyle (patlama) sökülen tanelerin bir kısmının yeniden yığılması ve tanelerin üniform olmadığı durumda iri tanelerin harekete geçemeyişi gibi nedenlerle, akarsudaki akım üniform olmaktan uzaklaşır. İlk yığıntı oluştuktan sonra arkasında kalan taneler, kayma gerilmesi ve türbülansın etkisiyle hareket eder, akım yönündeki türbülans etkisi azalınca tekrar yatağa oturur. Dalgacığın tepesine varan taneler, ayrılma bölgesindeki çevriye kapılıp orda kalırlar. Bir kum dalgasının akıma bakan yüzünde akım doğrultusunda türbülans etkisi azalırken, hızın büyümesiyle yatak kayma gerilmesi artar ve bir denge durumuna varılır. Böylece yatak, periyodik yatak şekilleriyle kaplanmış olur. Ölçümler değerlendirildiğinde, dalganın tepesinde kayma gerilmesi değerinin, düzlem tabandaki değerine eşit olduğu gözlenmiştir.

Akım hızının artmasıyla birlikte, taneler askı halinde hareket ederek hemen dalgacığın arkasında değil, daha uzakta yatağa otururlar. Türbülansın artışıyla tanelerin akım yönündeki hareketleri şiddetlenir. Sonuç olarak, dalgaların uzunlukları artarken yükseklikleri azalarak kaybolurlar (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Exner (1925) modeline göre yatakta dalgacıkların meydana gelişi

Exner (1925); su ve sediment hareketi için süreklilik denklemlerini birlikte çözerek, yatağın başlangıçta kosinüs eğrisi şeklinde olması halinde, zamanla kum dalgacıklarına benzeyen asimetrik şekillerin oluşacağını ispatlamıştır (Şekil 4.15). Bunun nedeni, dalgalı yataktaki tepelerin çukurlara göre daha hızlı ilerlemesidir. Şev eğimi zamanla arttıkça, model gerçekçilikten uzaklaşır.

4.7. Katı Madde Taşımında Dengenin Bozulması

Bir akımın belli özellikte katı madde tanelerini taşıyabileceği maksimum miktarına, o özellikteki taneler için taşıma kapasitesi denir. Tabiatı gereği ancak bu kadar miktarda malzeme mevcut ise, taşınan miktar taşıma kapasitesine eşit olur, aksi takdirde sadece mevcut malzeme taşınır ve taşınan miktar akım şartlarına bağlı olmaz. Daha iri tanelerin oluşturduğu taban malzemesinin taşınma miktarı ise, akımın taşıma kapasitesine eşittir. Tabanını, taşıdığı malzemenin oluşturduğu akarsuya “alüvyal akarsu” denir. Alüvyal akarsularda, taban şekli ile akım karakteristikleri birbirine bağlıdır.

Alüvyal bir akarsuda taşınan katı madde miktarı yersel olarak değişirse, tabanda yığılma, oyulma gibi değişiklikler oluşur. Taşınan miktar artarsa oyulma, taşınan miktar azalursa yığılma gözlenir. Bu olay için, (4.19) diferansiyel denklemi ileri sürülmüştür.

$$\frac{df(B)}{dt} = q_T(B) - q_T(S) \quad (4.19)$$

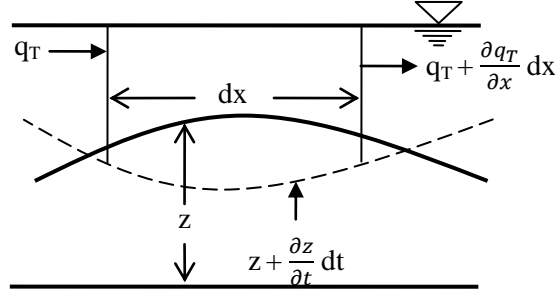
burada, $f(B)$ = Taban geometrisinin matematiksel gösterilişini, $df(B)/dt$ = Tabandaki oyulma ya da yığılma miktarını, $q_T(B)$ = Taban geometrisinin bir fonksiyonu olan taşıma kapasitesini (söz konusu kesitten çıkan malzeme miktarı), $q_T(S)$ = Aynı kesitte mambadan gelen madde miktarını ifade etmektedir.

Örneğin; iki boyutlu akımda tabanın mukayese düzleminden yüksekliğini “z” ile ifade edersek, “ $q_T(B) - q_T(S) = \frac{\partial q_T}{\partial x} dx$ ” olduğuna göre (4.19) denklemi, (4.20) eşitliği şeklinde de yazılabilir.

$$\frac{\partial q_T}{\partial x} + \beta \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (4.20)$$

burada, β = Tabanın porozitesini ifade eden bir katsayıdır.

(4.20) denkleminin şekil olarak ifadesi Şekil 4.16’da sunulmuştur.



Şekil 4.16. Katı madde taşınımı için süreklilik denkleminin elde edilişi (Bayazıt, 1971).

Alüvyal bir kesitte denge hali için, “ $q_T(B) = q_T(S)$ ”, yani “ $df(B) / dt = 0$ ” olur. Bu da, tabanın biçiminin zamanla değişmeyeceği anlamına gelmektedir. Denge halinde olmayan akarsular için katı madde debisi, üniform akım için verilen formüller kullanılarak bulunabilir. Fakat tabanın granülometrisini belirlemek zordur. Bu yüzden, bu gibi problemlerin en kolay çözüm yolu, deneysel çalışmadır.

Alüvyal bir akarsu taşıdığı debi ve katı madde miktarı bakımından denge konumundadır. Böyle bir akarsuyun tabanı hareketlidir, fakat taban seviyesi değişmez. Çünkü eğim ve akım hızı akarsuyun su alma bölgesinden gelen katı madde yükünün, mevcut debiyle dengeli olarak taşınacağını sağlayacak değerlere ulaşmıştır. Bu denge, dinamik bir dengedir. Bu nedenle, akarsuyun su alma bölgesinden gelen malzeme miktarındaki değişme, tabanda oyulma ya da birikmelere sebep olabilir. Bu değişmeler sonunda, yeniden gelen malzeme ile kanalın taşıma kapasitesinin eşit olacağı bir durum gözlenir ve böylece tekrar kararlı bir denge durumuna varılabilir. Ayrıca, kanal geometrisinin değiştiği ve akarsuya kolların katıldığı yerlerde taşıma kapasitesi değişeceğinden, tabanda yersel değişmeler gözlenebilir.

(4.20) denklemi, katı madde taşınımındaki değişme ile taban şeklinin zamana bağlı olarak değişmesi arasındaki bağıntıyı vermektedir. Bu denklemin integrali şu şekilde yazılabilir:

$$f_1(B) = \text{fonksiyon } [q_T(B), q_T(S), t] \quad (4.21)$$

Bu denklemden de anlaşılacağı üzere taban şekli; taşıma kapasitesinin, gelen malzeme miktarının ve zamanın fonksiyonudur. Taşıma kapasitesi ise; taban geometrisine, akımın,

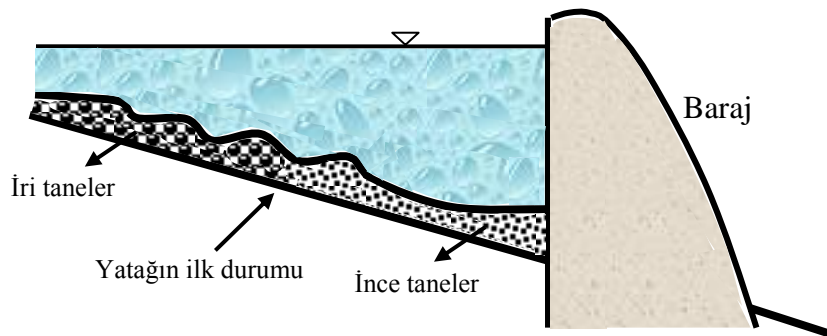
akışkanın ve katı maddenin özelliklerine bağlıdır. (4.21) denklemindeki değişkenlere boyut analizi uygulanarak şu sonuca varılır:

$$f_1(B) = \text{fonksiyon} \left[\frac{V}{u_{*kr}}, \sigma, \frac{V \cdot t}{a}, \frac{V \cdot a}{v}, \frac{V^2}{g \cdot a}, \frac{b}{a}, q_{T1}(S) \right] \quad (4.22)$$

burada, $f_1(B)$ = Bir taban geometrisi fonksiyonunu (boyutsuz), σ = Taban malzemesi granülometrisinin standart sapmasını, a = Sistemin karakteristik bir uzunluğunu, t = Karakteristik bir zamanı, b = Tabanda şekli değişen bölgenin karakteristik bir uzunluğunu, $q_{T1}(S)$ = Boyutsuz katı madde debisi fonksiyonunu, V/u_{*kr} = Tane Froude sayısını, $V \cdot t/a$ = Strouhal sayısını, $V \cdot a/v$ = Reynolds sayısını, $V^2 / g \cdot a$ = Froude sayısını ifade etmektedir.

Bu diferansiyel denklemin çözümü oldukça zordur. Bunun nedeni, sınır şartlarının karışık olmasıdır. Bu yüzden, çoğu zaman sonlu farklarla hesap yapmak gerekmektedir.

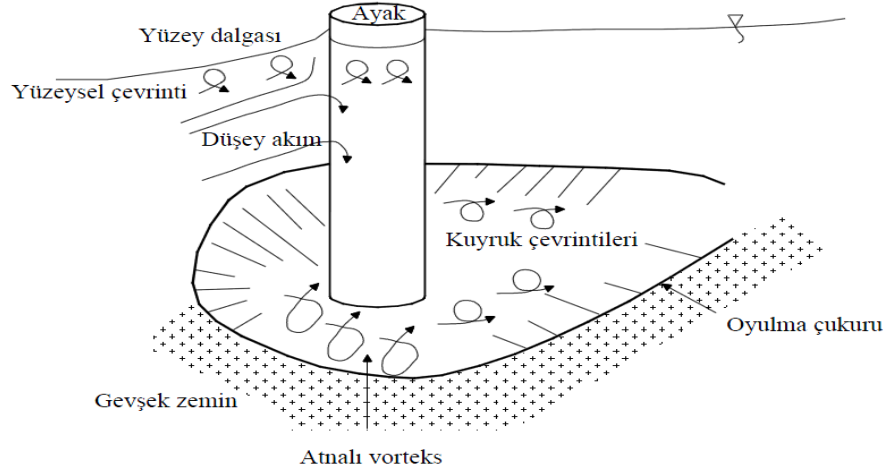
Akarsu tabanında meydana gelecek değişimlere örnek olarak, baraj (ya da benzer bir yapı) yapımıyla ortaya çıkan olaylar verilebilir. Bir barajın yapılmasıyla birlikte, akarsu tabanında değişiklikler meydana gelebilir. Barajın biriktirme haznesine giren akımın hızının azalmasıyla birlikte, taşıdığı tanelerin büyük bir kısmını biriktirir ve zamanla haznenin dolmasına neden olur. Bu biriktirme olayı, kabarma eğrisinin bittiği yere kadar devam eder. Diğer taraftan, barajın mansabından gelen katı madde miktarı taşıma kapasitesinden az olacağından dolayı, akarsu tabanını oyar (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Akarsuyun taşıdığı tanelerin biriktirme haznesinde yığılması

Bu olaya başka bir örnek verecek olursak, köprü ayaklarında meydana gelen taban hareketini inceleyebiliriz (Şekil 4.18). Köprü ayakları etrafında oluşan yüksek hıza sahip

bölgede, taşınan malzeme miktarı gelen malzeme miktarından fazla olacağından burada da oyulma gözlenir. Oyulma devam ettikçe hız azalacağından, “ $q_T(B)$ ” değeri de azalarak “ $q_T(S)$ ” değerine eşit olur. Yani “ $df(B)/dt=0$ ” olacağından oyulma durur ve asimptotik olarak kararlı bir duruma ulaşılır.



Şekil 4.18. Bir köprü ayağı etrafındaki çevrıntiler ve oyulma çukuru

Hem oyulma hem de yığılma olayları, kararlı bir kesit şeklini alacak şekilde devam eder, yani zamanla “ $df(B)/dt \rightarrow 0$ ” olur. Bir kesitte membadan gelen malzemenin, akımın taşıma kapasitesinden fazla olması durumunda, tabanda yığılma meydana geleceği belirtilmişti. Tabandaki yığılma önce iri tanelerin yığılmasıyla başlar, bunların tabandan ayrılmasıyla taban yakınındaki hız artar ve askı halinde taşınan malzemenin ortalama çapı azaldığı için askı debisi de artar. Böylece taşınan madde miktarının artmasıyla birlikte, denge durumuna yaklaşılır. Öte yandan membadan gelen malzemenin, akımın taşıma kapasitesinden az olması halinde ise, önce tabandaki ince taneler oyulacağından iri taneler tabanda kalır. Ayrıca, tabanda dalgaların oluşması da akımın taşıma kapasitesinin azalmasına neden olur. Böylece gerek oyulma, gerekse yığılma halinde bazı ikinci derecede etkenler, denge durumuna ulaşılmasını hızlandırır.

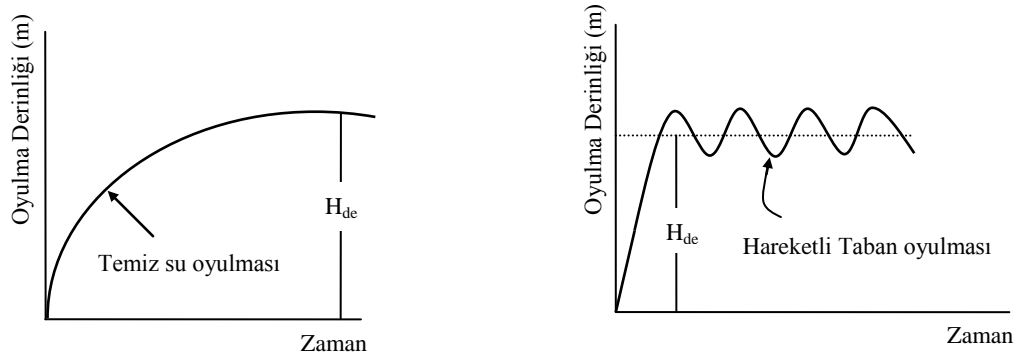
4.8. Oyulma Derinliğinin Zamanla Değişimi

Hareketli tabanlı bir akarsuda, taşınan debi ve katı madde miktarı bakımından bir denge durumu söz konusudur. Böyle bir akarsuyun tabanı hareketlidir, ancak taban seviyesinde değişim gözlenmez. Gelen malzeme miktarına göre akarsu tabanında kısa süreli değişimler

gözlense de, gelen malzeme miktarı ile taşıma kapasitesinin eşit olduğu bir dinamik denge durumu mevcuttur. Dinamik denge halinin en büyük özelliği, katı madde hareketinin kararlı karakterde olmasıdır. Akım karakteristiklerinin herhangi bir sebepten dolayı bozulması durumunda, katı madde hareketi taban yakınlarındaki akım karakteristiklerinin bir fonksiyonu olduğundan, katı madde taşınımındaki dinamik denge bozulur. Oyulma devam ettikçe hız ve taşıma kapasitesi azalacağından dolayı, bir süre sonra mabadan gelen malzeme miktarı ile taşınan malzeme miktarı eşit olur ve oyulma durur. Bu duruma, statik denge hali denir. Ayrıca akım karakteristiklerinin değişmesinin yanı sıra, akımın oluşturduğu vorteksler ve türbülans da oyulma olayını etkilemiş olur.

Oyulma çukuru derinleştikçe, sınırdaki malzemeler çukura doğru birikir. Bu olay, vorteks sisteminde denge olmamasından kaynaklanmaktadır. Böylece oyulma çukuru genişler. Dinamik denge halinde katı madde hareketinin kararlı karakterde olması oldukça büyük bir özellik iken, oyulma ve yığılma olayı olduğunda, artık kararlı bir karakterden bahsetmek mümkün değildir.

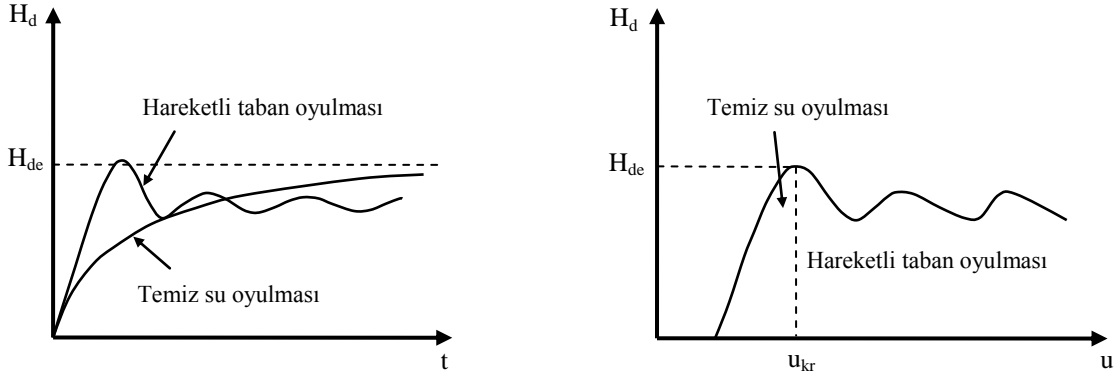
Oyulma derinliği, zamana bağlı olarak Şekil 4.19’da gösterildiği gibi ifade edilebilir. Temiz su oyulması durumunda, oyulma derinliğinin zamanla arttığını ve belli bir süre sonra asimptot olarak devam ettiği belirlenmiştir. Hareketli taban oyulması durumunda ise, oyulma derinliğinin denge oyulma derinliği etrafında salınımlar yaptığı tespit edilmiştir (Tsujimoto ve Mizukami, 1985).



Şekil 4.19. Oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Tsujimoto ve Mizukami, 1985).

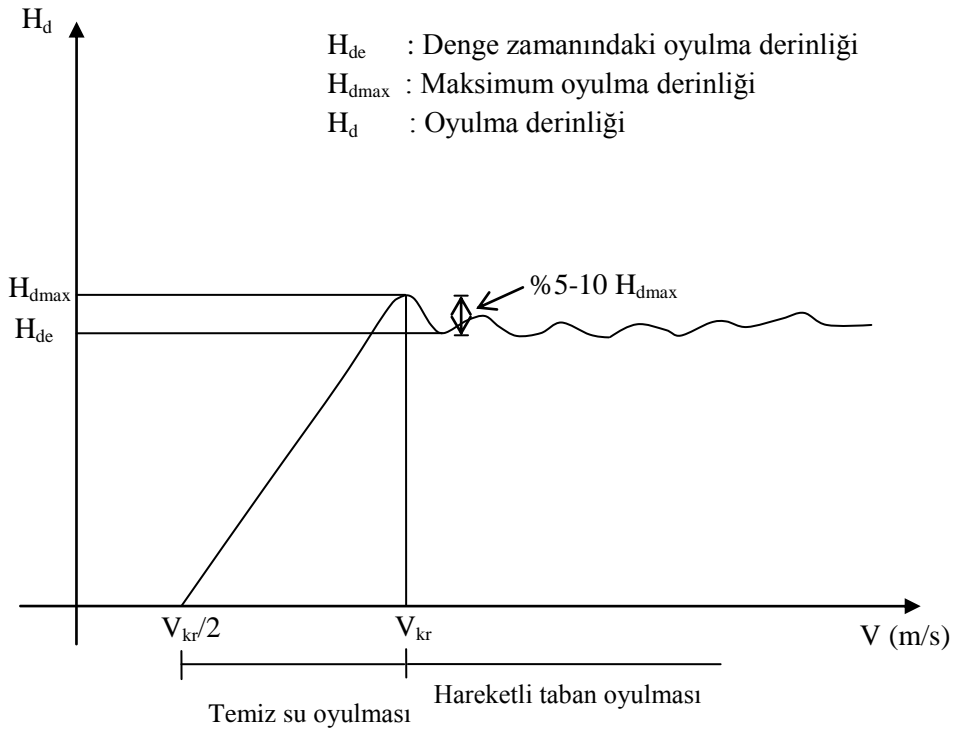
Oyulma derinliğinin değişimi zamanla karakterize edilebilir. Oyulma durumu, temiz su hali ve hareketli taban hali için farklılık göstermektedir. Hareketli taban durumunda, denge zamanındaki oyulma derinliği ve daimi sürüntü maddesi taşınımı temiz su haline göre çok daha kısa zamanda oluşmaktadır. Ayrıca hareketli taban oyulmasının karakteristiklerinden

biri de oyulma derinliğinin, denge oyulma derinliği etrafında salınımlar yapmasıdır. Oyulma derinliğinin zamanla ve akım hızıyla değişimi Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Oyulma derinliğinin zamanla ve akım hızıyla değişimi (Yanmaz, 2002).

Birçok araştırmacı tarafından akım hızının oyulmaya etkisi olduğu kabul edilmiş, ancak su derinliğinin oyulmaya etkisi hakkında aykırı düşünceler oluşmuştur. Su derinliğinin etkisi için çıkarılan ortak sonuç, belli bir değerden sonra oyulma üzerinde bir etki oluşturmamasıdır. Oyulma, kritik hız değerinin yarısına ulaşıldığı zaman başlamakta ve kritik hız değerine kadar doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 4.21). Bu kritik hız değeri aşıldıktan sonra, tabanda katı madde hareketi başlamaktadır.



Şekil 4.21. Oyulma derinliğinin akım hızı ile değişimi (Tsujimoto ve Mızukami, 1985).

5. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Kanalı

Bu çalışmayı yürütmek için, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında mevcut deney sistemi kullanılmıştır. Kurulan açık kanal, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.50 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Toplama kanalı 0.50 m genişliğinde, 0.70 m yüksekliğindedir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği, 1.30 m yarıçapında daire şeklinde inşa edilmiştir. Bunun nedeni, labirent yan savaktan su savaklanırken serbest naplı savaklanması ve akıma herhangi bir müdahale olmadan savaklanmasıdır.

Deney setinin tüm yan duvarları, cam ve pleksiglas malzemedan inşa edilmiştir. İki kanalı birbirinden ayıran kısım ise, sac malzemedan yapılmıştır. Deney seti, püskürtme boya ile boyanmıştır. Set üzerine gerekli yerlere sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Deneyler yapılırken bu mevcut sakinleştiriciler yeterli gelmediği zaman, su yüzüne paralel 6 mm'lik demirden küçük karelere sahip bir sakinleştirici imal edilmiş, gerektiğinde kullanılmıştır. Bu şekilde limnometre ile alınan okumalar oldukça hassas olmuştur. Deney kanalı sırasıyla, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

5.1.1. Su Temin Borusu ve Debimetre

Su temin borusunun çapı 10 inç'tir (~25 cm). Ana su temin borusundan yaklaşık 210 L/s debi alınabilmektedir. Laboratuvarımızda mevcut su temin sisteminde, iki adet tank vardır. Biri bodrum katta, diğeri ikinci kattadır. Bodrum kattaki tank, 100 m³ ve üst kattaki tank ise, 50 m³'tür. Üst kattaki tank üzerinde bir savak yapılmıştır. Bu şekilde, deney süresince su seviyesi sabit tutulmaktadır. Bu tanka, bodrumdaki tanktan su basan üç adet pompa mevcuttur. Bunların her biri, yaklaşık 77 L/s su basabilmektedir. 75 L/s'ye kadar tek pompa, sonraki debiler için ise iki veya üç pompa çalıştırılmaktadır. Üst kattaki tanktan, tüm deneylerde savaklanma olması gerektiğinden her deneyde bu durum kontrol edilmiştir.

5.1.2. Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu

Kanalı besleyen dinlendirme havuzu üç bölmeden oluşmaktadır. Bunlar üzerinde sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Boyutları Şekil 5.3'te verilmiştir. Havuzun sonunda ise, debi ölçümü amacıyla, 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Savağın tepe noktasının, havuz tabanından yüksekliği 0.95 m'dir. Debi ölçümü elektromanyetik debimetre ile yapıldığından, üçgen savak sadece karşılaştırma için ilk aşamalarda kullanılmıştır.

5.1.3. Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu

Üçgen savaktan kanala akan su, 1.00x0.90 m boyutunda ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmiştir. Bu havuzun, su giriş ve çıkışında sakinleştiriciler mevcuttur.

5.1.4. Yaklaşım Kanalı

Yaklaşım kanalı, 4.50 m'lik doğrusal giriş kanalı, 0.80 m geçiş kanalı ve 9 m uzunluğunda ve 0.50x0.50 m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır.

5.1.5. Kıvrımlı Kanal

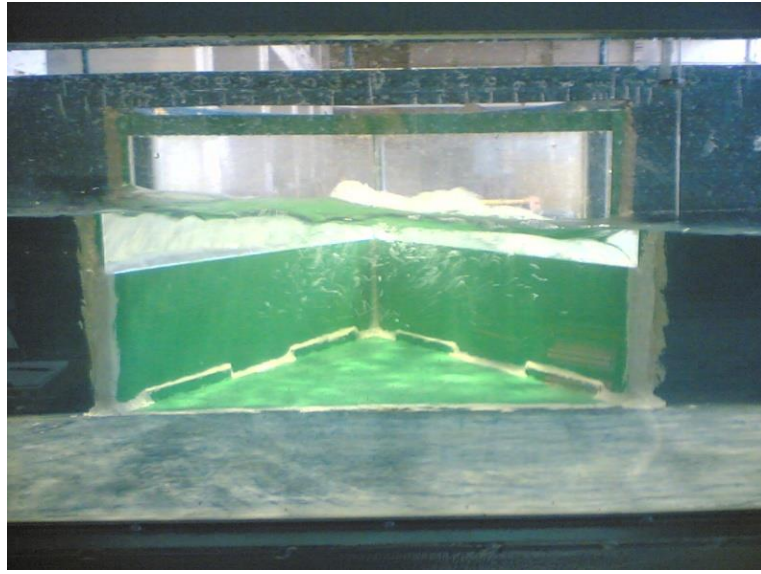
Kıvrımlı kanal, $r_c = 3$ m eksen yarıçaplı ve 180°'lik kıvrımlı kanal kısmından oluşmaktadır. Kıvrımlı kanal üzerine 30°, 60°, 90°, 120°, 150°'lik kıvrım merkez açlarına yan savakların yerleştirileceği özel kapaklar inşa edilmiştir. Bu çalışma, deney setinin sadece doğrusal kısmında gerçekleştirilmiştir.

5.1.6. Doğrusal Çıkış Kanalı

Doğrusal çıkış kanalı, 3 m uzunluğundadır. Toplama kanalı sonuna, bir dikdörtgen savak yerleştirilmiştir. Bu kısımda, iki adet sakinleştirici mevcuttur. Doğrusal kanalın, ana kanal sonunda iki parçalı ve düz seviye ayar kapağı yerleştirilmiştir. Bu kapakların boyutları, 0.25x0.50 m'dir. Sakinleştirici olarak, tuğlalardan da yararlanılmıştır.

5.1.7. Yan Savak Ayırma Duvarı

Ana kanal dış duvarı, 5 mm'lik sac malzemeden imal edilmiştir. Üst kısmı kutu profille tutturulmuştur. Bu duvar üzerinde, kıvrım girişinden 365 cm membasında ve kıvrım kısmında 30°, 60°, 90°, 120°, 150°'lik daire yaylarını görecekle şekilde, yan savak yerleri hazırlanmıştır. Bu kısımlara kapaklar imal edilmiştir. Hangi kısımda çalışılacaksa, o kapak çıkartılmakta ve yerine çalışılacak yan savak yerleştirilmektedir.



Şekil 5.1. Labirent yan savak üzerindeki akım

5.1.8. Toplama Kanalı

Yan savaklardan savaklanan su, toplama kanalı ile uzaklaştırılmaktadır. 0.50x0.70 m enkesitinde olan bu toplama kanalı 9 m doğrusal kısım, 3.50 m eksen yarıçapına sahip 180°'lik daire yay parçası ve 3 m'lik doğrusal çıkış kanalından ibarettir. Toplama kanalının sonuna 0.50 m genişlikli ve 0.0705 m eşik yükseklikli bir dikdörtgen savak yerleştirilerek savaklanma debisi belirlenmiştir. Bunun için, dikdörtgen savaktan 40 cm ötede bir elektronik limnometre (± 0.01 mm hassasiyetli) sabit olarak yerleştirilmiştir.

5.1.9. Boşaltım Havuzu

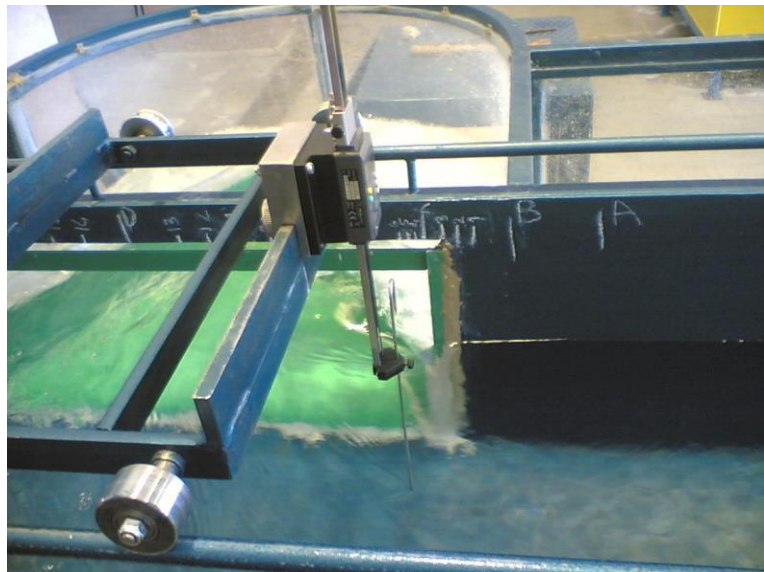
Ana kanal ve toplama kanalından dökülen su, boşaltım havuzuna dökülmektedir. Bu kısımdaki su seviyesini düşük tutmak ve batık akım oluşumunu önlemek amacıyla bu kısım Şekil 5.3'teki gibi tasarlanmıştır.

5.1.10. Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal

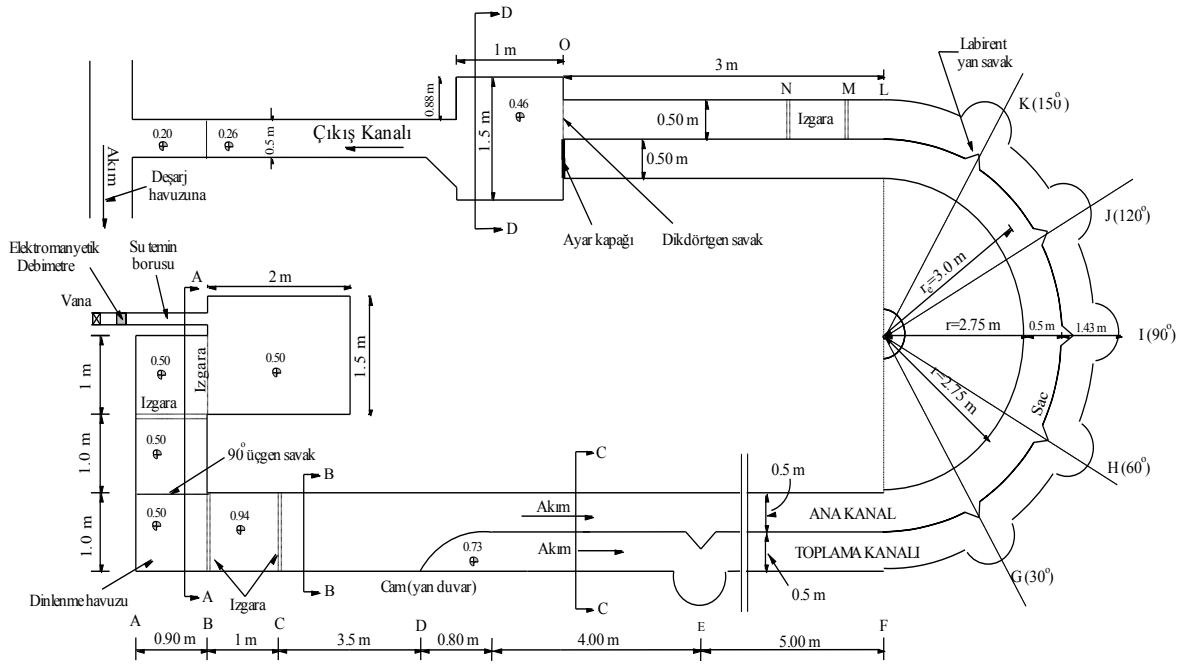
Boşaltım havuzundaki suyu, ana tahliye kanalına veren taban eğimi büyük bir kanal inşa edilmiştir. Bu kısımda taban eğimi büyük olduğundan, akım sel rejiminde olmakta ve boşaltım havuzunda suyun kabarması önlenmektedir. Böylece dikdörtgen savaktan savaklanan su, serbest naplı olarak dökülmektedir.

5.1.11. Hareketli Seviye Ölçüm Arabası

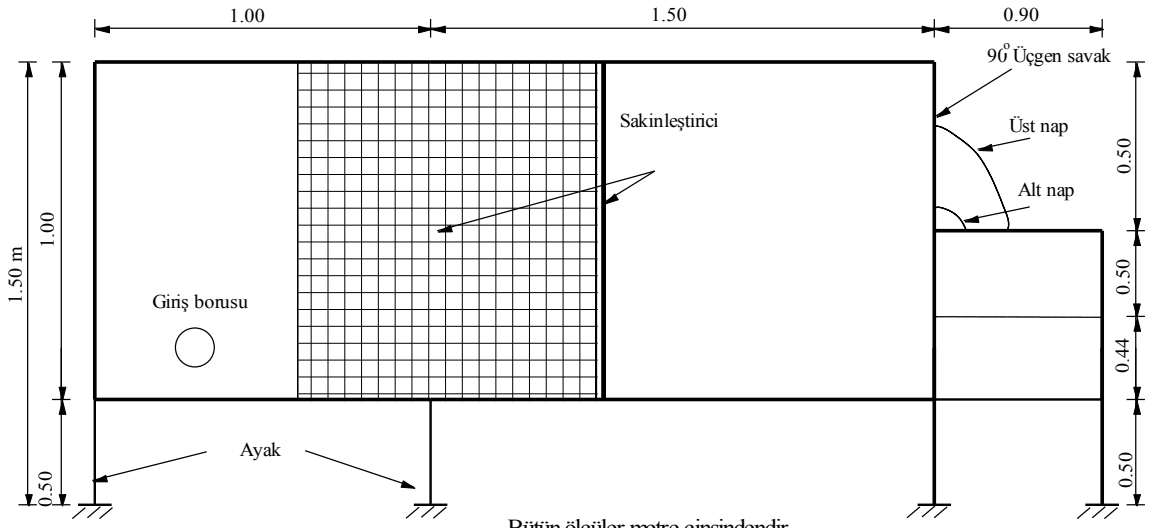
Ana kanal ve yan savak üzerindeki seviye ölçümleri, raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş elektronik limnometre (± 0.01 mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba, hem doğrusal kısımda hem de kıvrımlı kısımda rahatlıkla hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, hem x hem de y doğrultusunda okumalar alınabilmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Hareketli seviye ölçüm arabası

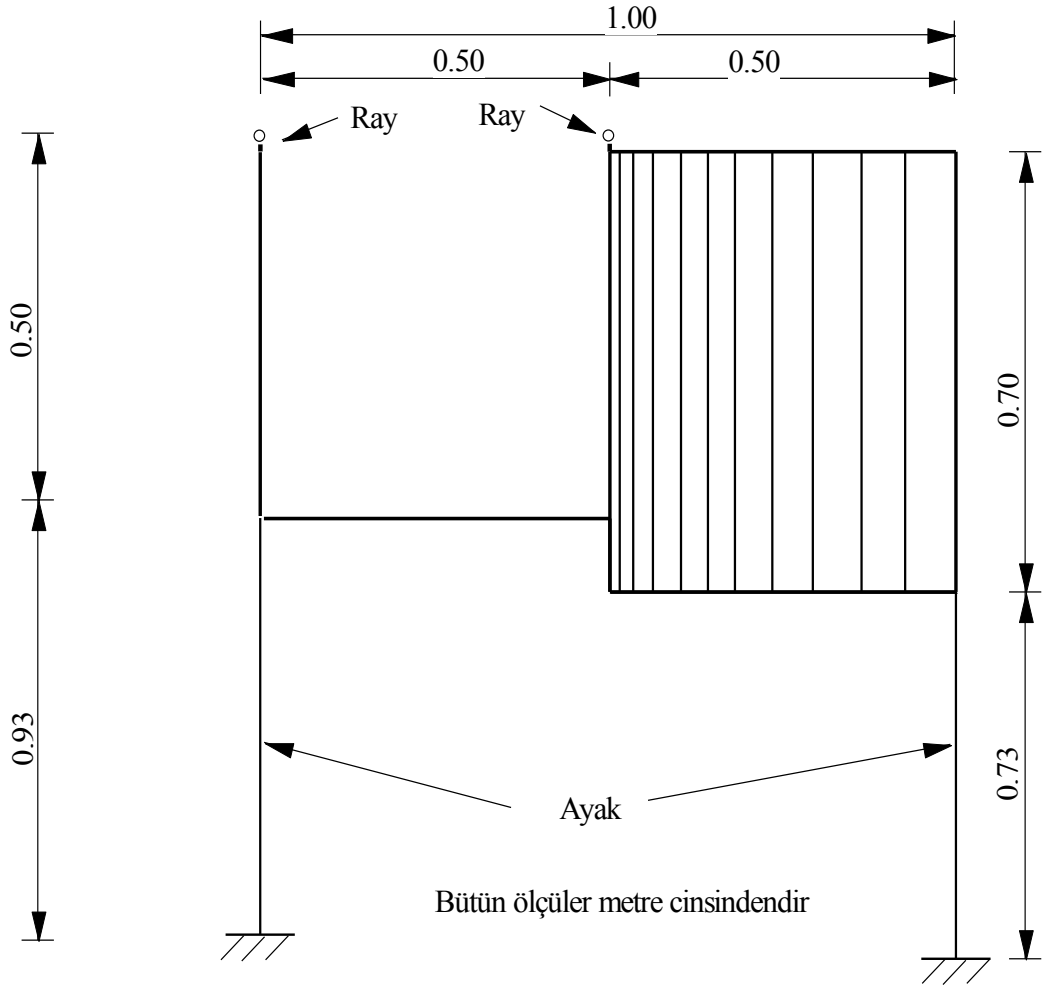


Plan

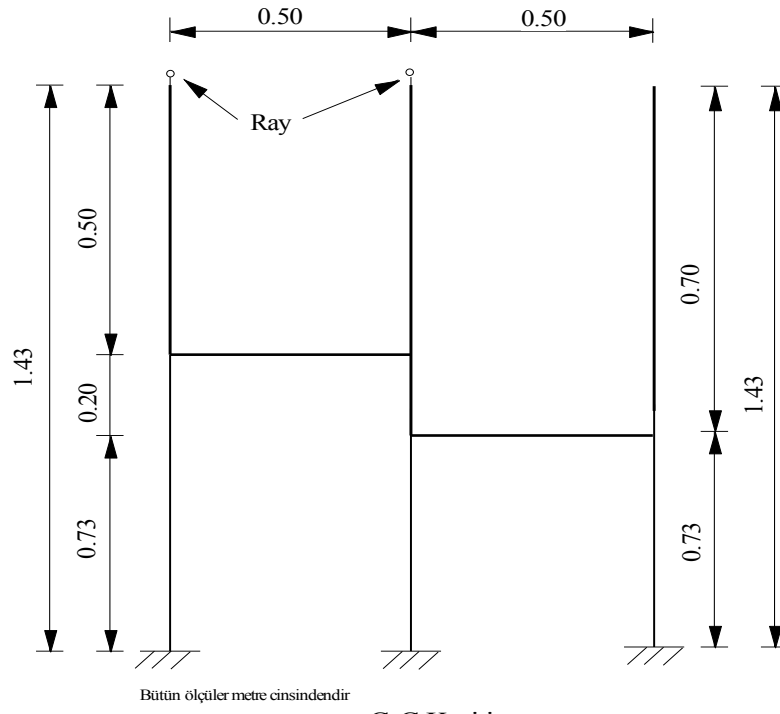


Bütün ölçüler metre cinsindedir

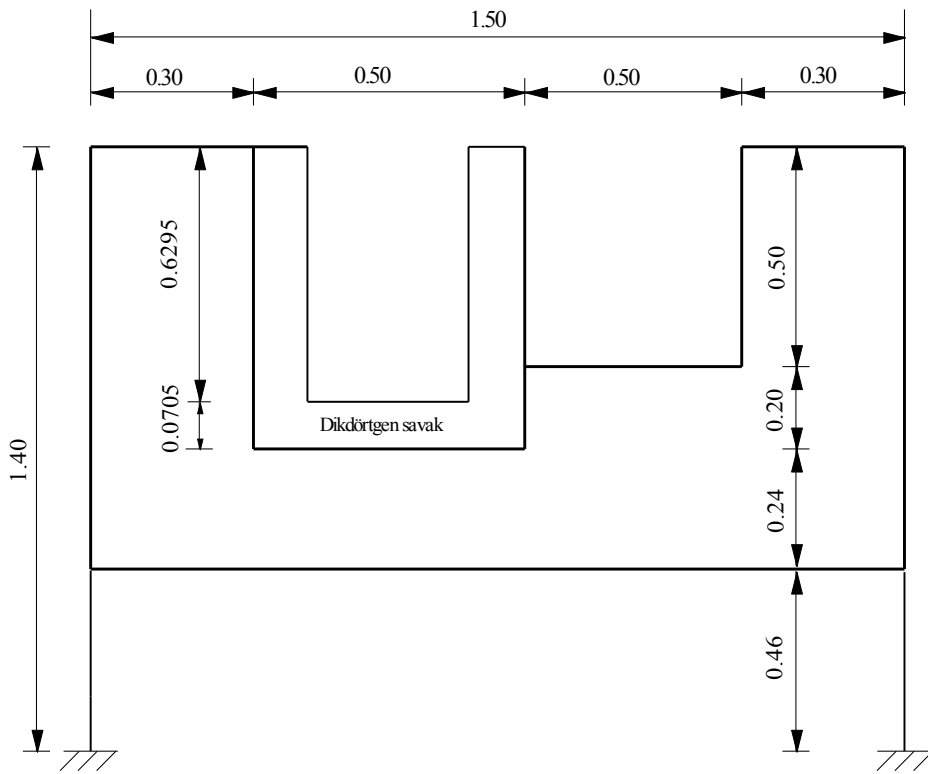
A-A Kesiti



B-B Kesiti



C-C Kesiti



D-D Kesiti

Şekil 5.3. Deney seti plan ve kesitleri, tüm ölçüler metre cinsindedir (Emiroğlu vd., 2007).

5.2. Giriş Debisinin Ölçülmesi

Giriş debisi, Siemens marka elektromanyetik bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 5.4). Debiler “L/s” cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90° ince kenarlı bir savak ile elde edilen debilerle karşılaştırılmıştır.



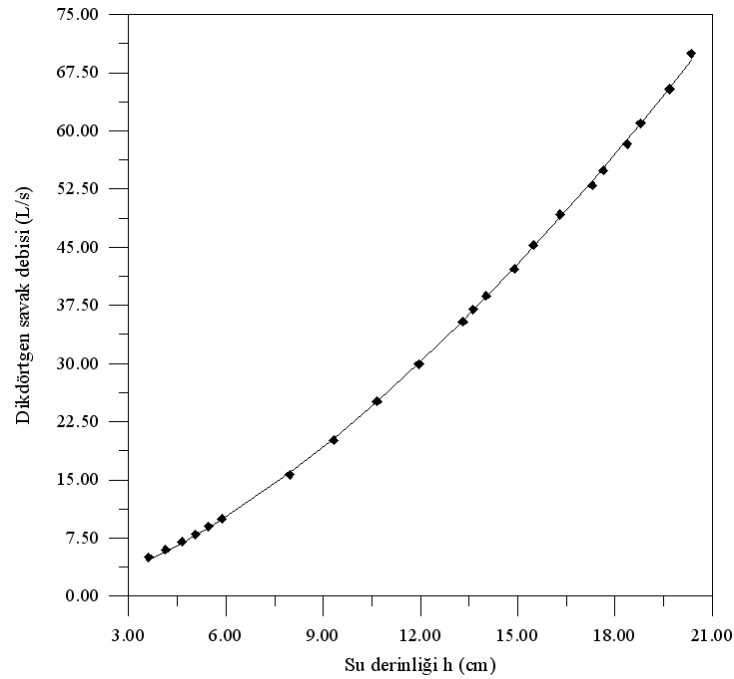
Şekil 5.4. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil 5.5. Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

5.3. Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisi

Dikdörtgen savak anahtar eğrisi, ana kanaldaki akımın tamamı, toplama kanalına verilerek belirlenmiştir. Elektromanyetik debimetreden okunan debiler ve dikdörtgen savak üzerindeki nap kalınlığı ölçülerek, elde edilen anahtar eğrisi Şekil 5.6'da verilmiştir. Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savak için elde edilen (5.1) eşitliğinde verilmiştir (Emiroğlu vd., 2007).



Şekil 5.6. Dikdörtgen savak anahtar eğrisi

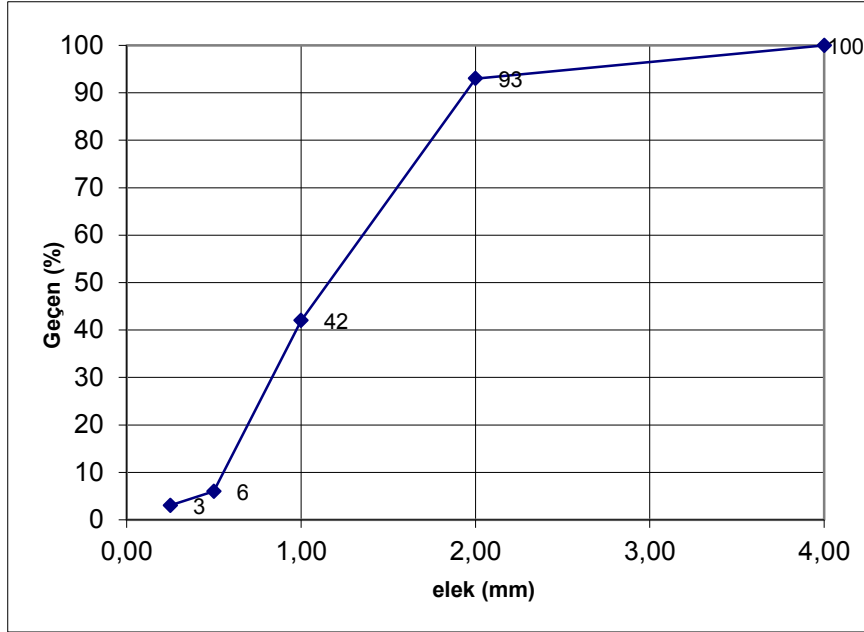
$$Q_w = 0.619356 \times h^{1.564577} \quad (5.1)$$

burada, Q_w = Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan savaklanan debiyi (L/s), h = Nap yükünü (cm) ifade etmektedir.

5.4. Deneyde Kullanılan Taban Malzemesinin Özellikleri

Bu deneysel çalışmada, taban malzemesi olarak granülometrisi ve özgül ağırlığı Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında yapılan deneylerle belirlenen kuvars kumu kullanılmıştır. Kumun özgül ağırlığı, $\gamma_s=2.65 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Yapı Laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda, elde edilen granülometri eğrisi Şekil 5.7'de

verilmiştir. Şekil 5.7'ye göre, $d_{10}=0.56$ mm, $d_{50}=1.16$ mm, $d_{60}=1.35$ mm, $d_{90}=1.94$ mm olarak belirlenmiştir. Seçilen granülometriden, üniform malzeme kullanıldığı görülmektedir. $U=d_{60}/d_{10}=2.41<3$ 'tür. (U : Üniformluk katsayısıdır.)



Şekil 5.7. Taban malzemesinin granülometri eğrisi

5.5. Taban Malzemesi Kritik Hızlarının Tayini

Taban malzemesini harekete geçirecek olan kritik akım hızları (V_{kr}), logaritmik formda (5.2) eşitliğinden hesaplanmıştır (Melville ve Chiew, 1999; Önen, 2005).

$$\frac{V_{kr}}{u_{*kr}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \quad (5.2)$$

burada, u_{*kr} = Kritik kayma hızını (m/s), y = Su derinliğini (m), d_{50} = Malzemenin %50'sini geçiren elek çapını ifade etmektedir.

Kayma hızları, Shields Diyagramı yardımıyla belirlenmiştir. 20 °C'de kuvars kumu için, Shields Diyagramı kullanılarak (5.3) eşitliği elde edilebilir (Melville ve Chiew, 1999; Önen, 2005).

$$u_{*kr} = 0.0305d_{50}^{0.5} - 0.0065d_{50}^{-1} \quad ; \quad 1 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm} \quad (5.3)$$

$d_{50}=1.16$ mm için (5.2) ve (5.3) eşitlikleri kullanılarak akımın çeşitli derinliklerinde, taban malzemesini harekete geçirebilecek kritik hızlar için (5.4) bağıntısı elde edilmiştir.

$$V_{kr} = 0.1557 \times \log(4767 \times y) \quad (5.4)$$

Bu eşitlik, deney düzeneğinde test edilerek doğrulanmıştır.

5.6. Deneysel Çalışmada Olayı Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi

Dikdörtgen en kesitli ve hareketli tabanlı bir kanalda, yan savak üzerindeki akıma etki eden birçok değişken vardır. Bunlar, Tablo 5.1’de sıralanmıştır.

Tablo 5.1. Yan savak akımını etkileyen parametreler

DEĞİŞKENLER	İŞARET	BİRİM	BOYUT
1) Kanala Ait Değişkenler			
a) Kanal Taban Eğimi	J_o	-	-
b) Ana Kanal Genişliği	B	m	L
2) Akışkana Ait Değişkenler			
a) Akışkanın Özgül Kütlesi	ρ	kg/m ³	ML ⁻³
b) Akışkanın Dinamik Viskozitesi	μ	kg/s.m	ML ⁻¹ T ⁻¹
c) Yüzeysel Gerilme	σ	N/m	MT ⁻²
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/s ²	LT ⁻²
3) Akıma Ait Değişkenler			
a) Akım Derinliği	y_1	m	L
b) Yan Savak Başlangıcında Ortalama Hız	V_1	m/s	LT ⁻¹
c) Ana Kanaldaki Akımın Yan Savakla Sapma Açısı	Ψ	-	-
4) Yan Savağa Ait Değişkenler			
a) Yan Savak Eşik Yüksekliği	p	m	L
b) Yan Savak Açıklığı	L	m	L
c) Labirent Yan Savak Tepe Açısı	θ	-	-
5) Taban Malzemesine Ait Değişkenler			
a) Taban Malzemesinin Özgül Kütlesi	ρ_s	kg/m ³	ML ⁻³
b) Taban Malzemesinin Medyan Çapı	d_{50}	m	L
6) Zamana Ait Değişkenler			
a) Herhangi bir “t” anındaki oyulma	t	s	T
b) Maksimum denge oyulma zamanı	t_e	s	T

5.7. Boyut Analizi

H_d (oyulma derinliği); “ μ ”, “ g ”, “ ρ_s ”, “ y_1 ”, “ B ”, “ p ”, “ L ”, “ Ψ ”, “ V_1 ”, “ ρ ”, “ d_{50} ”, “ θ ”, “ J_o ”, “ σ ”, “ t ” ve “ t_e ” değişkenlerine bağlı bir fonksiyon olup, elementer bir akım parçacığı için “ J_o ” ve “ σ ” etkileri oldukça küçük olduğundan ihmal edilir. Deneysel çalışmada; olaya etki eden değişken sayısını azaltmak ve deneysel çalışmaların sonuçlarını daha kolay şekilde ifade etmek için boyut analizi uygulanarak, (5.5) bağıntısı elde edilir.

$$H_d/p = f(v/V_1, d_{50}/V_1, \rho_s/\rho, y_1/p, L/B, d_{50}/y_1, \Psi, \theta, t/t_e) \quad (5.5)$$

Yüksek türbülanslı akımdan dolayı, taban malzemesinin hareketinin başlamasında etkili olan “ $1/Re^*$ ” ifadesi (Melville ve Sutherland, 1988) ile “ ρ_s/ρ ”, “ d_{50}/y_1 ”, “ Ψ ” sabit terimleri elimine edilerek (5.6) bağıntısı elde edilir.

$$H_d/p = f(1/Fr_*^2, y_1/p, L/B, \theta, t/t_e) \quad (5.6)$$

“ $1/Fr_*^2$ ” terimi, akımın ataletini ifade etmek üzere “ V_1/V_{kr} ” ifadesi ile değiştirilirse, (5.7) bağıntısı elde edilir.

$$H_d/p = f(V_1/V_{kr}, y_1/p, L/B, \theta, t/t_e) \quad (5.7)$$

5.8. Deneysel Çalışma

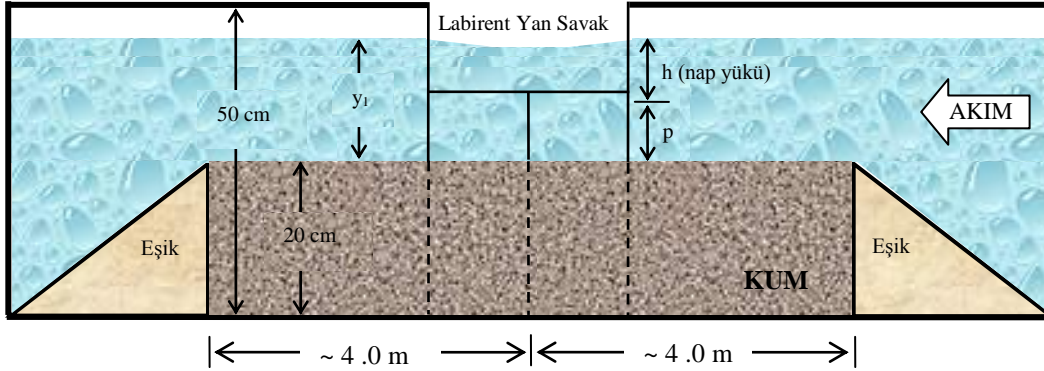
Bu çalışmada kullanılan deney seti; 3 m eksen eğrilik yarıçapına sahip bir kıvrımlı kanal olup, kanal genişliği 100 cm’dir. Bunun 50 cm’lik kısmı ana kanal iken, diğer 50 cm’lik kısmı ise toplama kanalının genişliğidir. Ana kanal derinliği 50 cm, toplama kanalının derinliği ise 70 cm’dir (Şekil 5.3).

Ana kanalın taban eğimi %0.1’dir. Deneysel, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda $L = 25, 32.5$ ve 40 cm yan savak açıklıklarında, kum tabanından itibaren $p = 7, 12,$ ve 16 cm kret yükseklikli ve üçgen labirent yan savak tepe açısı $\theta=90^\circ$ olan yan savaklar için yapılmıştır. Deneysel kararlı akım şartlarında, serbest savaklanma hali için hareketli taban oyulması durumunda ($V_1/V_{kr}>1$) gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (savak yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır.

Yüzey gerilme etkisini minimize etmek için minimum nap kalınlığı Novak ve Cabelka (1981)'e göre 3 cm'dir. Bu nedenle, bu çalışmada minimum nap yüksekliğinin 3 cm olarak alınmasına özen gösterilmiştir.

Ana kanalın memba ve mansap uçlarına Şekil 5.3'te görüldüğü gibi 20 cm yüksekliğinde 1. eşik ve 2. eşik yerleştirilmiştir. Ana kanal üzerindeki 1. eşik ile 2. eşik arasına kuvars kumu yerleştirilmiştir. Kanal tabanına serilen bu kum için, $d_{50}=1.16$ mm ve $\gamma_s=2.65$ kg/m³ olarak belirlenmiştir. 1. eşikten önce ve 2. eşikten sonraki kısım, yaklaşık 15° açılı eğime sahip kanal tabanına kadar ulaşan sac levhadan oluşmaktadır. Bu sayede oluşturulan kum tabanının bozulmamasına özen gösterilmiştir. Kararlı akım şartlarını sağlamak (yani zamanla değişmeyen akım koşulunu sağlamak) için, kanalın memba kısmına ve toplama kanalının sonundaki L ve M noktalarının önüne delikli tuğlalar yerleştirilmiştir. Bunun amacı, N noktasındaki dikdörtgen savak üzerinde doğru ölçüm alınabilmesini sağlamaktır (Şekil 5.3).

Bu deneysel çalışma, doğrusal bir kanal üzerinde orta kısma yerleştirilen yan savaklar için gerçekleştirilmiştir. Taban malzemesi, yan savağın merkezinden yaklaşık 4 m gerisine ve 4 m ilerisine kadar serilerek, 8 m'lik kanal kısmını kaplamıştır. Deney sisteminin şematik olarak Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Deney sistemi uygulama düzeneği

Her deneyden önce kum karıştırılıp, sıkıştırılmış ve taban düzlenmiştir. Taban düzlenmesi işlemi, aynı seviyede düzgün olarak serebilmek için raylar üzerinde hareket eden araba üzerine bir aparat yerleştirilerek yapılmıştır (Şekil 5.9).



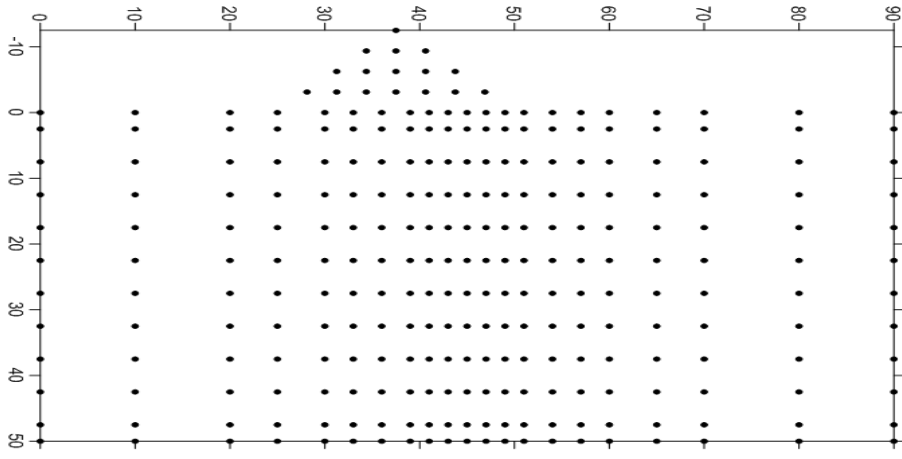
Şekil 5.9. Kanal tabanının düzleştirilmesi

Kanal tabanı, Şekil 5.10'daki gibi sıkıştırılmış ve düzleştirilmiş hale getirildikten sonra, vana çok az açılarak kanala su yavaş bir şekilde verilmeye başlanmıştır. Su, kanalın memba ucundaki eşiğin önündeki rampadan yavaşça yükselerek kum üzerinde akarken, mansap taraftaki eşiğin üzerine tekrar ikinci bir 20 cm yüksekliğinde (yani toplamda kanal tabanından itibaren 40 cm yükseklikte olacak şekilde) eşik yerleştirilmiştir. Bu şekilde, tabandaki kumun düz şeklinin bozulmaması sağlanmıştır. Ana kanalın 2. eşikten sonraki kısmındaki su derinliği ile, ana kanal üzerindeki su derinliği aynı seviyeye ulaşıncaya kadar beklenilmiştir. Bütün kanal boyunca su seviyesi eşit olduktan sonra, ihtiyaç debisine ulaşılması sağlanmış ve mansap tarafındaki eşiğin üstündeki 2. eşik yavaşça kaldırılarak tabandaki kumun şeklinin bozulması önlenmiş ve deney başlatılmıştır. Debi sabit tutularak, kanaldaki akım yüksekliği (y_1), kanalın sonunda bulunan radyal kapaklarla istenen ölçüde ayarlanmıştır.

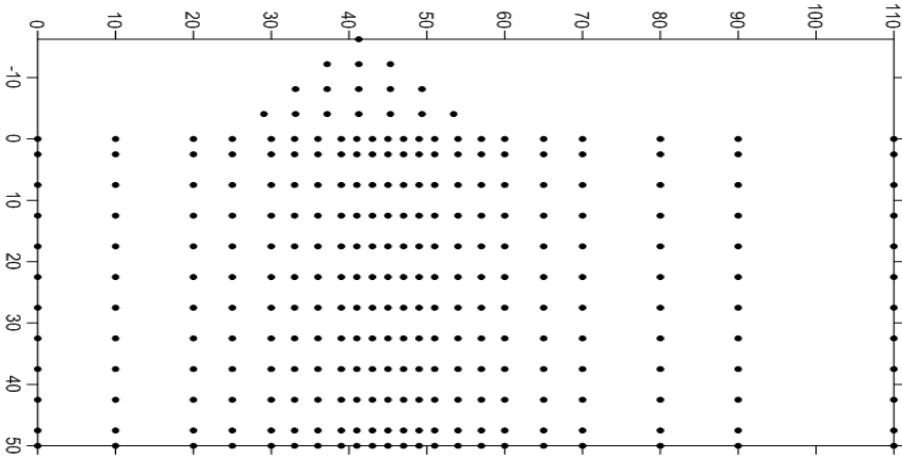


Şekil 5.10. Kanal tabanının deneye başlamadan önceki düzleştirilmiş hali

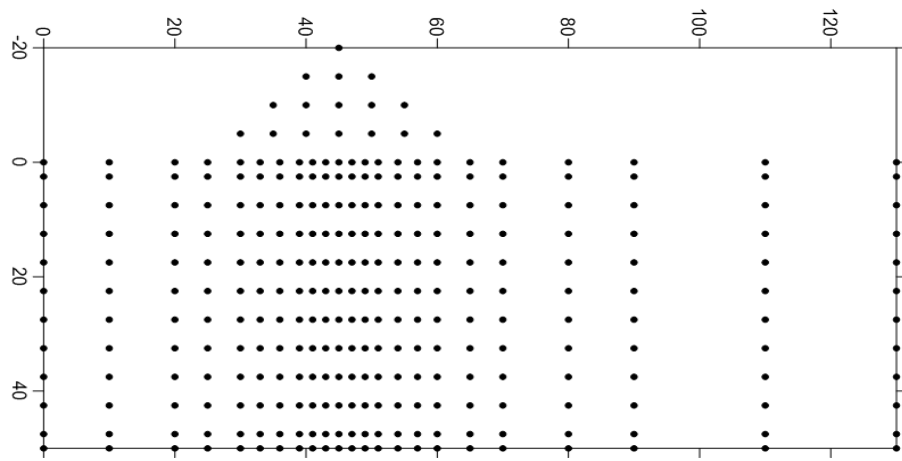
Deney bittikten sonra (maksimum 15 saat sonunda), vana yavaşça kapatılarak tabanda oluşan topografyanın bozulmaması için 20 cm'lik eşik doğrusal kanalın mansabındaki eşğin üzerine tekrar konulmuş ve bu sayede suyun kanaldan yavaşça tahliyesi sağlanmıştır. Bütün bu işlemlerden sonra dijital limnimetre yardımıyla yan savak bölgesinde oluşan maksimum oyulma derinliği ölçülmüştür. Ayrıca taban topografyası için, yan savak bölgesinde belli aralıklarla $L=25$ cm'lik yan savak için 268 noktada, $L=32.5$ cm'lik yan savak için 280 noktada ve $L=40$ cm'lik yan savak için 292 noktada dijital limnimetre yardımıyla taban seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Şekil 5.11-a'da $L=25$ cm açıklıklı yan savak için, Şekil 5.11-b'de $L=32.5$ cm açıklıklı yan savak için ve Şekil 5.11-c'de $L=40$ cm açıklıklı yan savak için taban topografyası ölçümlerinin alındığı noktalar gösterilmiştir.



(a) $L = 25$ cm



(b) $L = 32.5$ cm



(c) $L = 40$ cm

Şekil 5.11. (a-c). Test edilen yan savaklarda topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi

Doğrusal kanalda yapılan deneyler için $L=25, 32.5$ ve 40 cm açıklıklı ve $p=7, 12$ ve 16 cm kret yükseklikli yan savaklarda, hareketli taban durumunda denge zamanındaki oyulma derinliğinin (H_{de}) zamanla değişimi gözlenmiştir. Deneyler 900 dakikaya kadar sürdürülmüştür. Deneylerde; ilk saatte on beş dakikada bir, ikinci saatte yirmi dakikada bir, üçüncü saatte otuz dakikada bir, sonraki sürelerde saatte bir maksimum oyulmanın olduğu yerdeki oyulma derinlikleri ölçülmüştür. Maksimum oyulma süresine; oyulma derinliğinin değişiminin birbirini takip eden bir saatte, savak kret yüksekliğinin %1'inden küçük olması halinde, denge zamanındaki oyulma derinliğine ulaşıldığı kabul edilerek karar verilmiştir. Daha sonra, maksimum oyulma süresi ile denge zamanındaki oyulma derinliği arasındaki ilişki belirlenmiştir. Önce pilot deneyler yapılarak, çeşitli akım şartları için sürüntü debileri belirlenmiştir. Hareketli taban durumunda ($V_1/V_{kr}>1$), kısa sürede taban dalgaları oluşup, taban sürekli olarak hareket halinde olduğundan katı madde taşınımı oldukça yüksek seviyede meydana gelmiş ve savaklanan madde miktarı " V_1/V_{kr} " değerinin artışıyla sürekli olarak artmıştır. Bu nedenle hareketli taban şartını sağlamak için kanala, Şekil 5.12'de görülen Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında hazırlanmış portatif makine sayesinde, sürekli olarak katı madde ilave edilmiştir. " V_1/V_{kr} " değerleri dikkate alınarak, katı madde ilavesinin hızı ve miktarı ayarlanmıştır.



Şekil 5.12. Kanala katı madde ilavesi yapan portatif makine

Ayrıca her bir kret yükseklikli ve her bir L açıklıklı yan savakta, beş farklı “ V_1/V_{kr} ” değeri için deney yapılmış ve her beş deneyden birinin taban topografyası çıkarılmıştır. Surfer programında, taban topografyası ile ilgili çizimler yapılmış ve bu hız değerlerinde oluşan taban topografyalarının da resimleri çekilmiştir. Doğrusal kanalda, hareketli taban oyulması için 45 deney yapılmış ve bu deneylerin 9’unun taban topografyaları çıkarılmıştır. Bütün deneylerin yan savak özellikleri, akım özellikleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.2. Deneylerin yan savak, akım özellikleri ve elde edilen sonuçlar

Deney No	p (cm)	L (cm)	y_1/p (-)	Q_1 (L/s)	V_1 (m/s)	V_1/V_{kr} (-)	Fr (-)	H_{de}/p (-)	Q_w/Q_1 (%)	Deney süresi (saat)	Savaklanan malzeme ağırlığı (kN)	
											Yaş ağırlık	Kuru ağırlık
1	7	25	2.0	35	0.5	1.137	0.4267	1.4173	21.336	14	3.605	3.187
2	7	25	1.86	45	0.692	1.592	0.6130	1.4131	23.066	15	7.210	6.815
3	7	25	1.71	50	0.833	1.941	0.7681	1.2869	10.876	10	11.845	10.471
4	7	25	1.57	55	1.0	2.36	0.9627	1.4573	9.4927	10	13.390	11.836
5	7	25	1.43	60	1.2	2.877	1.2116	1.4799	13.022	7	15.450	13.658
6	12	25	1.42	50	0.588	1.299	0.4555	0.2567	6.6201	13	1.545	1.365
7	12	25	1.33	55	0.688	1.518	0.5488	0.263	10.081	14	4.120	3.642
8	12	25	1.29	65	0.839	1.869	0.6802	0.4087	11.194	13	11.330	10.016
9	12	25	1.25	70	0.933	2.100	0.7694	0.5575	9.7417	11	8.240	7.285
10	12	25	1.21	80	1.067	2.400	0.8944	0.6824	9.1775	5	3.605	3.187
11	16	25	1.31	65	0.619	1.325	0.4313	0.3486	11.139	9	3.399	3.006
12	16	25	1.25	75	0.75	1.617	0.5354	0.4175	7.8187	9	2.575	2.276
13	16	25	1.19	80	0.842	1.829	0.6168	0.3266	8.0482	7	2.472	2.186
14	16	25	1.19	90	0.947	2.058	0.6939	0.5987	9.1892	7	2.266	2.003
15	16	25	1.19	110	1.158	2.515	0.8481	0.7489	9.2491	4	2.163	1.912
16	7	32.5	1.57	35	0.636	1.503	0.6126	1.1239	18.966	11	4.120	3.642
17	7	32.5	1.5	45	0.857	2.039	0.8445	1.1499	14.358	12	5.150	4.553
18	7	32.5	1.5	50	0.952	2.266	0.9384	1.1343	15.685	6	5.356	4.734
19	7	32.5	1.43	55	1.1	2.638	1.1106	1.3314	14.188	10	6.180	5.463
20	7	32.5	1.50	60	1.238	2.946	1.2199	1.9871	16.404	7	6.798	6.010
21	12	32.5	1.38	50	0.606	1.344	0.4764	0.7644	18.102	10	2.060	1.821
22	12	32.5	1.33	55	0.688	1.532	0.5488	0.9087	15.693	10	2.575	2.277
23	12	32.5	1.29	65	0.839	1.869	0.6802	0.9053	13.429	10	1.545	1.366
24	12	32.5	1.25	70	0.933	2.100	0.7694	0.8128	15.286	9	2.163	1.912
25	12	32.5	1.25	80	1.067	2.400	0.8793	1.1703	16.715	7	2.781	2.458
26	16	32.5	1.25	65	0.65	1.401	0.4640	0.596	15.395	13	1.545	1.366
27	16	32.5	1.22	75	0.769	1.664	0.5562	0.5564	12.248	13	2.575	2.276
28	16	32.5	1.19	80	0.842	1.829	0.6168	0.5179	10.804	12	1.236	1.093

Tablo 5.3. Deneylerin yan savak, akım özellikleri ve elde edilen sonuçlar (devamı)

Deney No	p (cm)	L (cm)	y ₁ /p (-)	Q ₁ (L/s)	V ₁ (m/s)	V ₁ /V _{kr} (-)	Fr (-)	H _{de} /p (-)	Q _w /Q ₁ (%)	Deney süresi (saat)	Savaklanan malzeme ağırlığı (kN)	
											Yaş ağırlık	Kuru ağırlık
29	16	32.5	1.19	90	0.947	2.058	0.6939	0.5261	9.7017	9	1.648	1.457
30	16	32.5	1.19	110	1.158	2.515	0.8481	0.7622	12.087	7	1.854	1.639
31	7	40	2.0	35	0.5	1.137	0.4267	2.6943	56.225	12	3.811	3.369
32	7	40	1.86	45	0.692	1.592	0.6130	2.7419	43.618	4	5.459	4.826
33	7	40	1.71	50	0.833	1.941	0.7681	2.755	32.592	7	8.034	7.102
34	7	40	1.57	55	1.0	2.362	0.9627	2.3154	25.302	9	15.656	13.840
35	7	40	1.57	60	1.091	2.576	1.0502	2.4489	25.687	10	15.965	14.113
36	12	40	1.58	50	0.526	1.143	0.3855	1.6138	48.583	10	2678.1	2.367
37	12	40	1.42	55	0.647	1.429	0.5011	1.5994	32.783	9	2.796	2.471
38	12	40	1.33	65	0.812	1.810	0.6485	0.8572	17.627	9	3.914	3.460
39	12	40	1.25	70	0.933	2.100	0.7694	0.8752	16.754	10	5.665	5.008
40	12	40	1.25	80	1.067	2.400	0.8793	1.0813	16.943	9	8.240	7.285
41	16	40	1.44	65	0.565	1.194	0.3763	1.0238	30.728	10	2.472	2.186
42	16	40	1.38	75	0.682	1.450	0.4641	0.8115	24.461	12	2.781	2.458
43	16	40	1.25	80	0.8	1.725	0.5711	0.5988	15.986	9	3.502	3.096
44	16	40	1.19	90	0.947	2.058	0.6939	0.5073	12.947	10	3.090	2.732
45	16	40	1.19	110	1.158	2.515	0.8481	0.7325	15.801	6	2.575	2.277

Tablo 5.3'te, yapılan bütün deneylerde “p”, “L”, “y₁/p”, “Q₁”, “V₁”, “V₁/V_{kr}”, “Fr”, “H_{de}/p”, “Q_w/Q₁”, deney sürelerini ve üçgen labirent yan savak üzerinden toplama kanalına savaklanan katı madde yaş ve kuru ağırlıkları sunulmuştur. Burada, “Q_w” toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan savaklanan debiyi ifade etmekte olup, (5.1) eşitliğinden elde edilmektedir. Laboratuvarında yapılan deneylerle kuvars kumun yaş özgül ağırlığı 26.49 kN/m³ (2.70 g/cm³), kuru özgül ağırlığı ise 26 kN/m³ (2.65 g/cm³) olarak belirlenmiştir. Savaklanan malzeme hacmi, (5.9) eşitliğinden bulunabilir.

$$V_{\text{yaş}} = \frac{W}{\gamma_{\text{yaş}}}, \quad V_{\text{kuru}} = \frac{W}{\gamma_{\text{kuru}}} \quad (5.9)$$

Örneğin, 1 no'lu deney için savaklanarak toplama kanalına geçen yaş kum hacmi; $V_{\text{yaş}} = \frac{3.605}{26.49} \cong 0.1361 \text{ m}^3$, kuru kum hacmi; $V_{\text{kuru}} = \frac{3.187}{26} \cong 0.1226 \text{ m}^3$ olarak hesaplanabilir. Tablo 5.4'e göre, savaklanan malzeme hacminin, deney süreleri de dikkate alınarak, akım derinliğinin (y₁) ve akım şiddetinin artmasıyla (V₁/V_{kr}) genel olarak arttığı gözlenmiştir.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

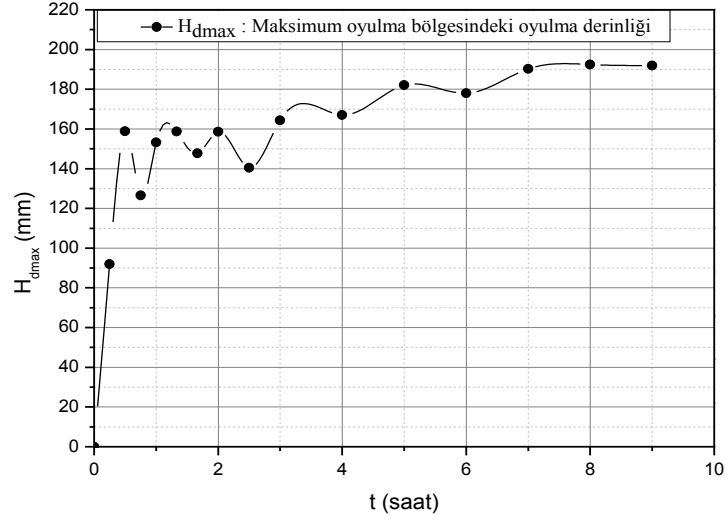
6.1. Giriş

Bu deney sonucunda, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda $L=25, 32.5, 40$ cm açıklıklı ve $p=7, 12, 16$ cm kret yükseklikli yan savaklarda farklı akım şartlarında, denge zamanındaki oyulma derinliğinin (H_{de}) zamanla değişimi hareketli taban oyulması için incelenerek, maksimum oyulma süresi ile denge zamanındaki oyulma derinliği arasındaki ilişki gözlenmiştir. Daha sonra, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda $L=25, 32.5, 40$ cm açıklıklı ve $p=7, 12, 16$ cm kret yükseklikli üçgen labirent yan savaklarda, boyut analizinden elde edilen boyutsuz parametrelere göre " $H_{de}/p-y_1/p$ " ve " $H_{de}/p-V_1/V_{kr}$ " değişimleri, boyutsuz yan savak uzunluğuna (L/B) bağlı olarak hareketli taban oyulması hali için belirlenmiştir. Son olarak da, her bir savak tipine ait yapılan beş deneyden birinin olmak üzere, toplamda 9 deneyin sonunda taban topografyası çıkarılarak fotoğraflanmıştır.

6.2. Doğrusal Kanalda Oyulma Derinliğinin (H_d) zamanla (t) Değişimi

Bu bölümde, $L=25, 32.5, 40$ cm açıklıklı ve $p=7, 12, 16$ cm kret yükseklikli yan savaklarda farklı akım şartlarında (yani farklı " V_1/V_{kr} " değerlerinde), boyutsuz oyulma derinliğinin (H_d/p) boyutsuz zamanla (t/t_{max}) değişimi hareketli taban oyulması durumu için incelenmiş ve Şekil 6.3-11'de verilmiştir. Hareketli taban oyulması için ana kanaldaki hız değeri olan " V_1 ", tabanda hareketin başlangıç hızı olan " V_{kr} " değerinden büyük seçilmiştir. Deneyler, $V_1/V_{kr}=1.0-3.0$ aralığında gerçekleştirilmiş ve her bir deneyin 1080 dakikaya kadar sürdürülmesine özen gösterilmiştir. Oyulma derinliği olarak genellikle, Şekil 6.2'de görülen bölge ve çevresi belirlenmiştir. Deneyler, denge zamanındaki oyulma derinliğine ulaşma süresinin hareketli taban oyulması için yaklaşık 480 dakika olduğunu göstermiştir. Daha büyük " V_1/V_{kr} " değerleri için bu süre 720-900 dakikaya kadar sürmüştür. Bu süreden sonra oyulma derinliklerinin neredeyse asimptotik olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.1). Diğer taraftan, aynı " V_1/V_{kr} " değerleri için daha büyük kret yükseklikli yan savaklarda, hem denge zamanındaki oyulma derinliğinin daha küçük olduğu hem de daha kısa sürede denge zamanına ulaşıldığı gözlenmiştir. Her bir deneyin oyulma derinliği-zaman grafiği akım özellikleri ile birlikte Ek-1'de verilmiştir. Deney

sonuçlarının eğilimi, Şekil 4.19 (Tsujimoto ve Mizukami, 1985) ve Şekil 4.20 (Yanmaz, 2002)'da verilen oyulma derinliğinin zamanla değişimi grafikleri ile uyumludur.



Şekil 6.1. $L/B=0.8$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta, $V_1/V_{kr}=1.429$ için maksimum oyulma bölgesindeki oyulma derinliğinin zamanla değişimi



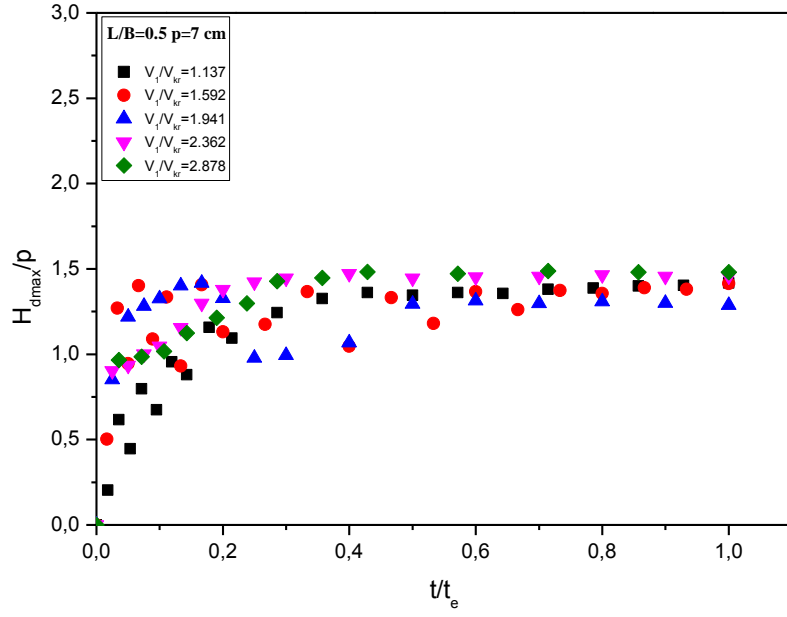
Şekil 6.2. $p=16$ $L=40$ $V_1/V_{kr}=1.45$ akım özelliklerine sahip deneyde maksimum oyulma derinliğinin yerini gösteren bir resim

Şekil 6.3'te $L/B=0.5$ ve $p=7$ cm kret yüksekliğine sahip yan savakta, küçük " V_1/V_{kr} " değerlerinde, yaklaşık 400 dakika sonra denge zamanındaki oyulma derinliğine yakın bir değere ulaşılmış ve oyulma derinlikleri asimptotik hale gelmiştir. Bu süreden sonra oluşan oyulma derinliklerinin, denge zamanındaki oyulma derinliği etrafında salınım gösterdiği gözlenmiştir.

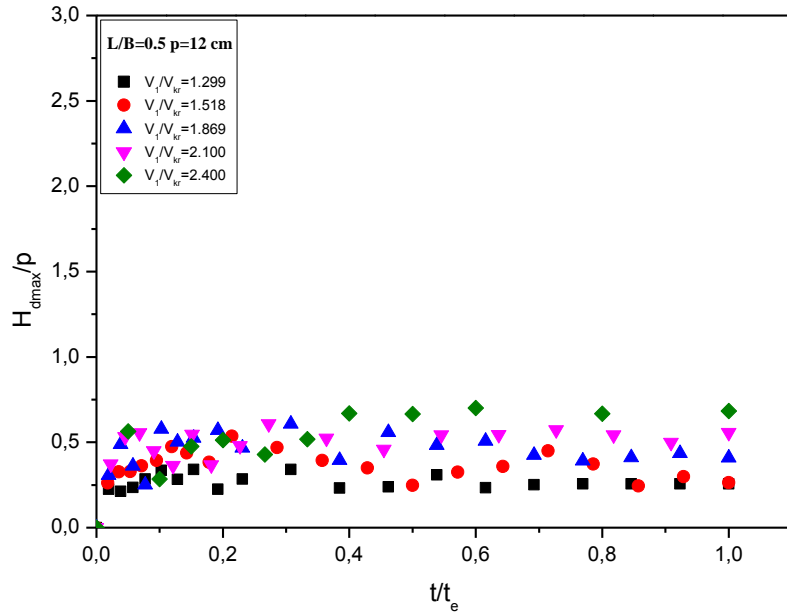
Büyük " V_1/V_{kr} " değerlerinde, çok fazla savaklanma olduğundan, deneyin sağlıklı yürütülmesi açısından savaklanan katı madde radyal kapaklara ulaşmadan deney sonlandırılmıştır. Şekil 6.4-5'te $L/B=0.5$ ve $p=12, 16$ cm kret yüksekliklerindeki yan savaklarda ise, savaklanan malzeme miktarı daha az olmuş ve denge zamanındaki oyulma derinliğine ulaşma süresi kısalmıştır.

Şekil 6.6'da, Şekil 6.7-8'e göre denge zamanındaki oyulma derinliğine ulaşma süresi daha uzun olmuştur.

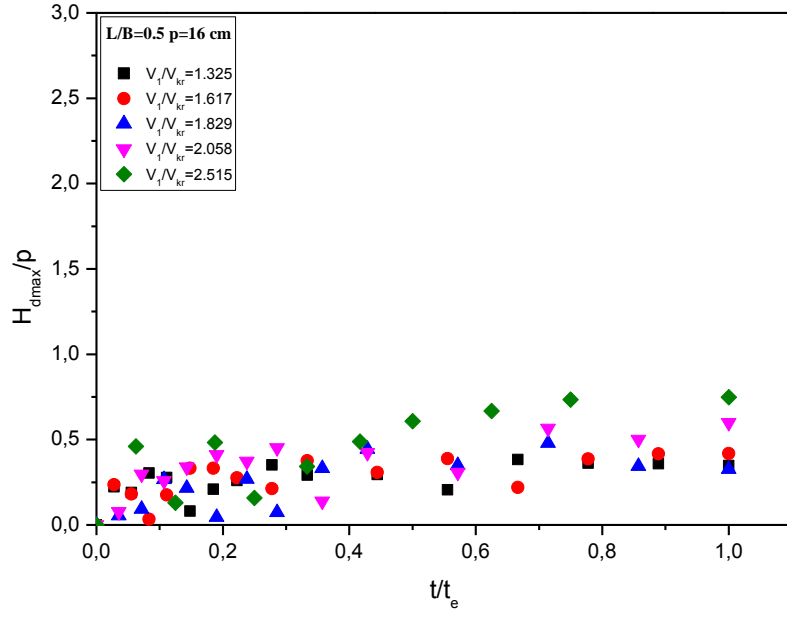
Şekil 6.9-11 incelendiğinde, denge zamanındaki oyulma derinliği değerinin, " V_1/V_{kr} " değerinin artmasıyla azaldığı görülmektedir. Burada, yan savak membasındaki hız, " V_{kr} " hızından büyük olduğu için daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulması başlamaktadır. Daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulmasında, " V_1/V_{kr} " değeri arttıkça, " H_{dmax}/p " değeri azalmaktadır. Bunun nedeni, membadan gelen dalgaların oyulma çukurunu doldurması, yan savak mansabında boyuna akım doğrultusundaki kinetik enerjinin artarken, yanak akım doğrultusundaki sekonder akımın şiddetinin azalması ve Şekil 6.13'teki (III) no'lu sekonder akım yapısının bozulmasıdır. Küçük kret yükseklikli yan savaklarda, cidar sürtünmesine harcanan enerji az olduğundan aynı akım şartlarında ve aynı " L/B " değerlerinde daha büyük " H_{dmax}/p " değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 6.3-11'de, deney süreleri aynı değildir. Her bir deney için, kendi maksimum dengeye ulaşma süresi dikkate alınarak " t_e " değerleri belirlenmiştir.



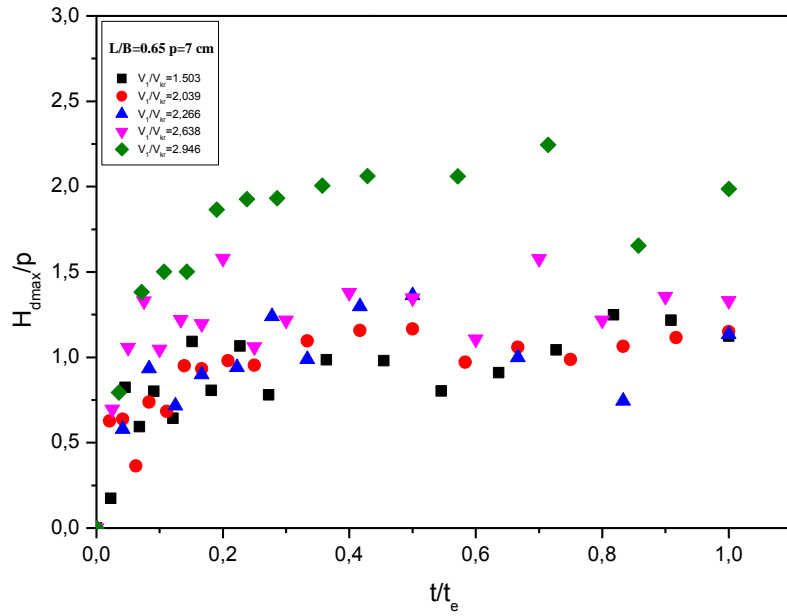
Şekil 6.3. $L/B=0.5$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



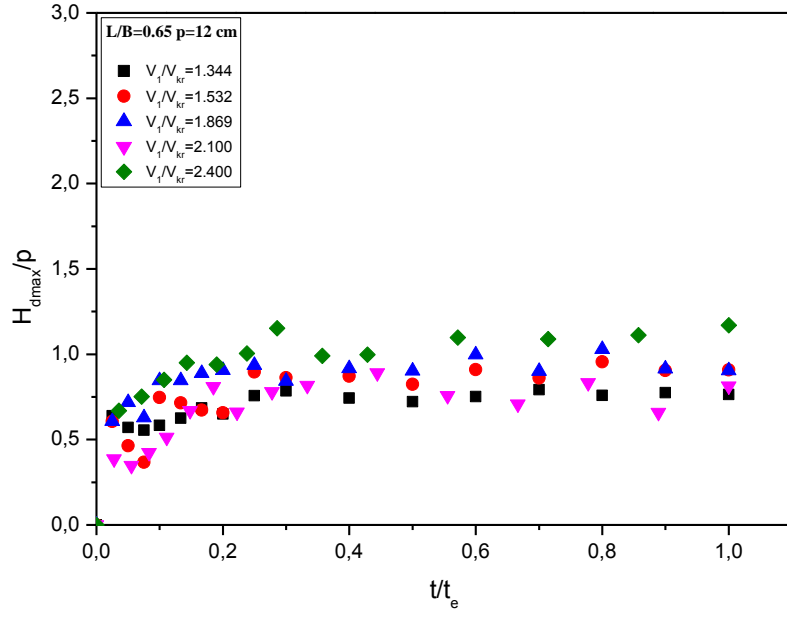
Şekil 6.4. $L/B=0.5$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



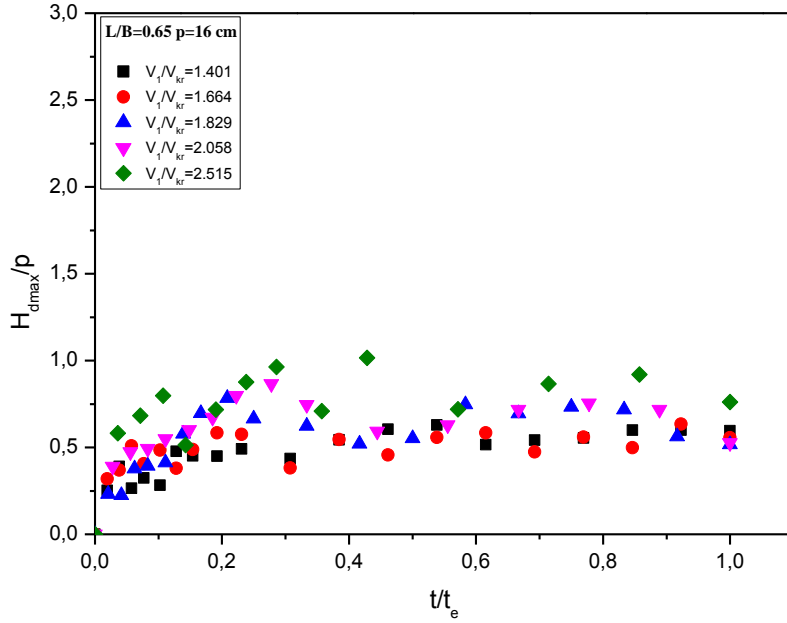
Şekil 6.5. $L/B=0.5$ ve $p=16$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



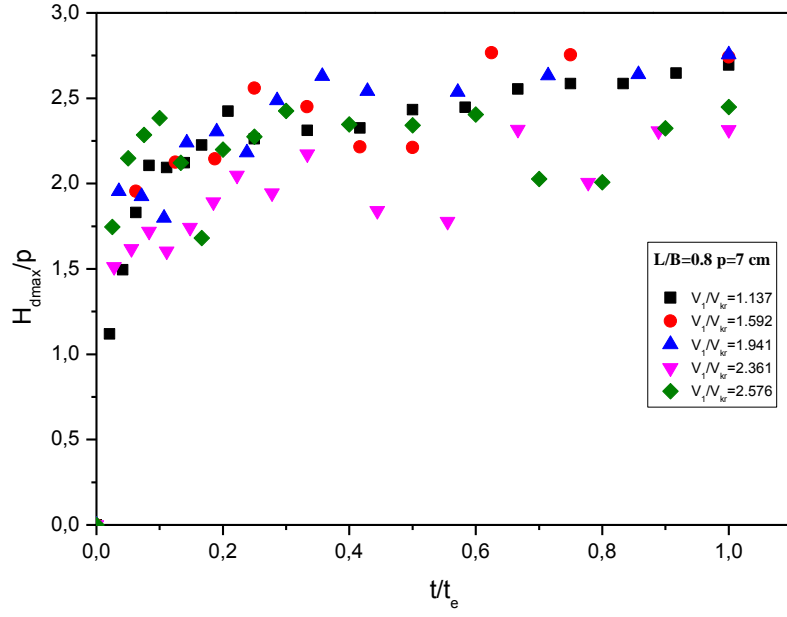
Şekil 6.6. $L/B=0.65$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



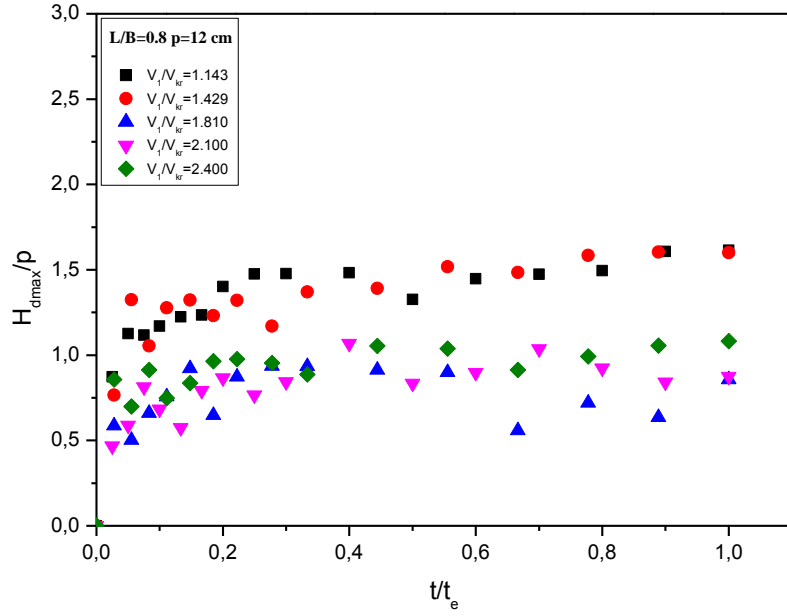
Şekil 6.7. L/B=0.65 ve p=12 cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



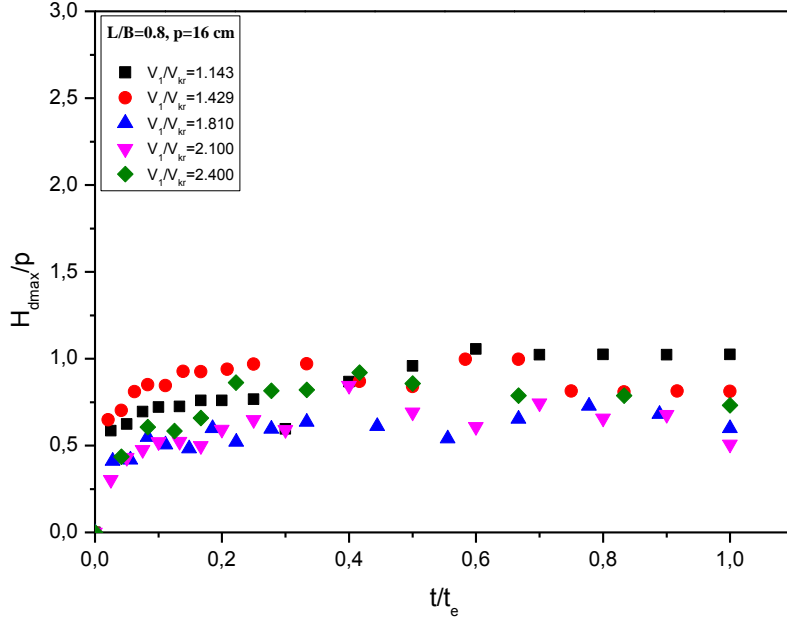
Şekil 6.8. L/B=0.65 ve p=16 cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



Şekil 6.9. $L/B=0.8$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



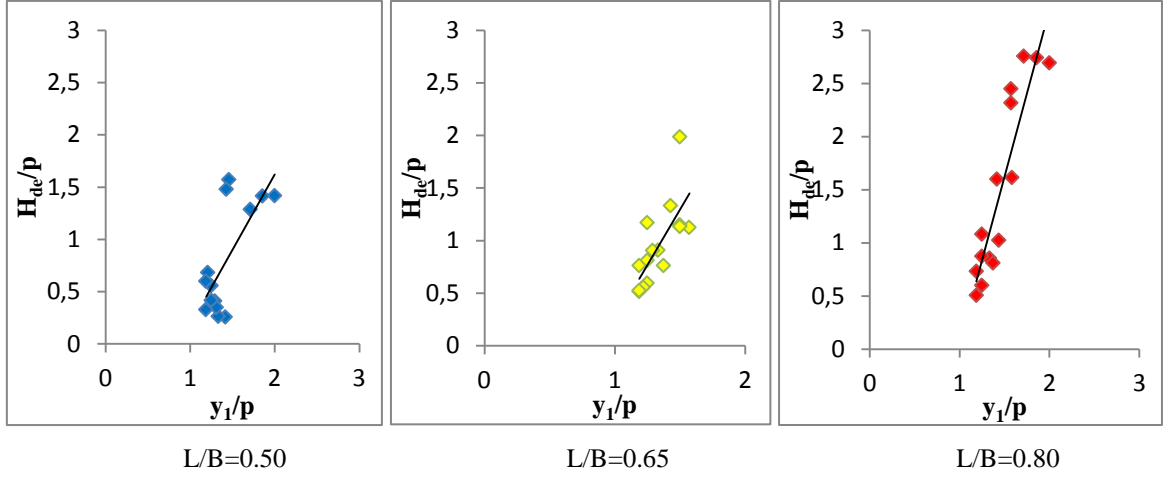
Şekil 6.10. $L/B=0.8$ ve $p=12$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi



Şekil 6.11. $L/B=0.8$ ve $p=16$ cm'lik yan savakta maksimum oyulma bölgesindeki boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (H_{dmax}/p) boyutsuz zamanla (t/t_e) değişimi

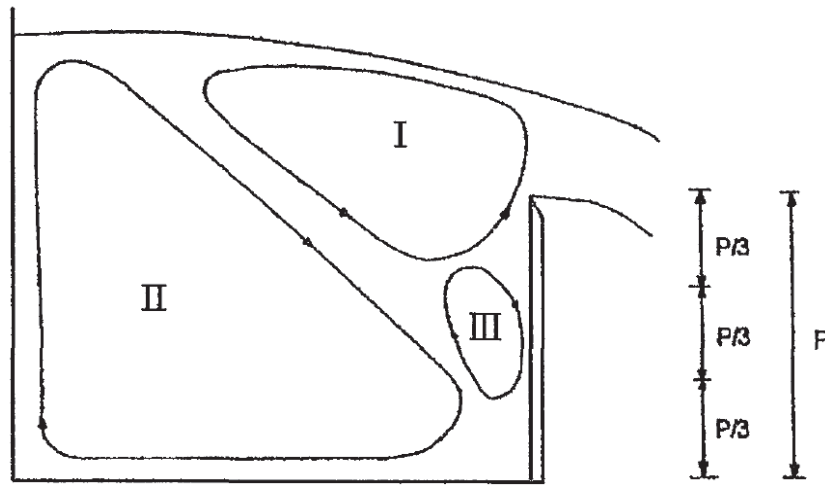
6.3. Doğrusal Kanalda Boyutsuz Denge Zamanındaki Oyulma Derinliğinin (H_{de}/p) Boyutsuz Akım Derinliği (y_1/p) ile Değişimi

Bu bölümde, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda $L=25, 32.5$ ve 40 cm açıklığında ve $p=7, 12$ ve 16 cm kret yüksekliğindeki üçgen labirent yan savaklarda, farklı akım şartları için boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğinin (H_{de}/p) boyutsuz savak kret yüksekliği (y_1/p) ile değişimi incelenmiş ve üç farklı boyutsuz yan savak uzunluğu (L/B) için, elde edilen sonuçlar Şekil 6.12'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi hareketli taban oyulması hali için yapılan deneylerde, " y_1/p " arttıkça, boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliği (H_{de}/p) de artmaktadır.



Şekil 6.12. $L/B=0.50$, $L/B=0.65$ ve $L/B=0.80$ için H_{de}/p ile y_1/p değişimi

Şekil 6.13'te görüldüğü gibi (I) ve (II) bölgeleri arasında büyük hız azalması nedeniyle meydana gelen süreksizlik, (III) no'lu bölgede sekonder akım oluşturmaktadır. Bu bölgedeki sekonder akımın artmasıyla oyulma çukuru büyümekte, dolayısıyla boyutsuz maksimum oyulma derinliği de artmaktadır. Büyük kret yüksekliğine sahip yan savaklarda cidar sürtünme etkisi daha fazla olduğu için, (III) bölgesindeki sekonder akımın gücü azalmakta ve buna bağlı olarak boyutsuz maksimum oyulma derinliği de azalmaktadır. Ayrıca, aynı akım derinliğinde savak kret yüksekliği arttıkça savak yükü ve dolayısıyla yan savaktan savaklanan akım küçülmekte, buna karşılık ana kanal mansabına devam eden akım ve boyuna kinetik enerji artmaktadır. Bu da yan savak sonundaki akımın şiddetinin azalmasına ve daha küçük oyulmaların meydana gelmesine yol açmaktadır.

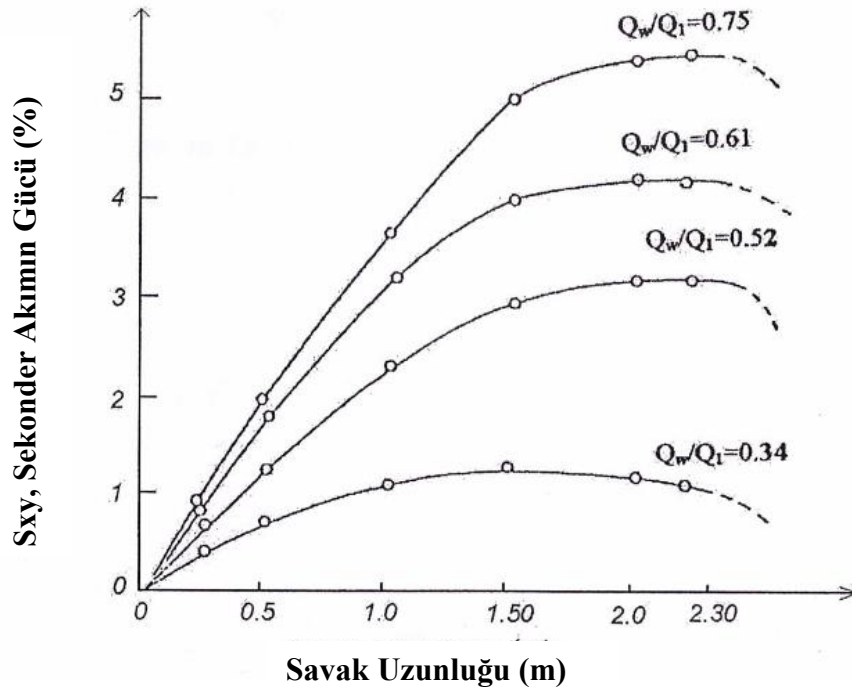


Şekil 6.13. Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashab,1975).

Diğer taraftan, Şekil 6.14'te görüldüğü gibi yan savak uzunluğu ve savaklanma oranı (Q_w/Q_1) dolayısıyla " y_1/p " arttıkça, boyuna akımın kinetik enerjisi azalmakta ve yanal akımın yarattığı sekonder akımın gücünün de arttığı görülmektedir. Bu nedenle, aynı boyutsuz savak kret yüksekliği için, boyutsuz yan savak uzunluğu (L/B) büyüdükçe, " H_d/p " değeri de artmaktadır. Sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20cm^2 'lik alanlara bölünmüş ve her bir alanın kinetik enerjisi ($V_x^2/2g + V_y^2/2g$) beş delikli pitot tüpü ile, akımın toplam enerjisi ($V^2/2g$) ise klasik pitot tüpü ile hesaplanmış ve (6.1) eşitliği ile verilmiştir.

$$\left\{ \sum (V_x^2/2g) + \sum (V_y^2/2g) \right\} / \sum (V^2/2g) \quad (6.1)$$

Şekil 6.14'ten görüleceği gibi, nehir rejimli akım durumunda sekonder akımın gücü yan savak boyunca artarak gitmekte ve yan savaktan kanal genişliği kadar mesafe sonra azalmaktadır. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa, savaklanma oranı (Q_w / Q_1) arttıkça (yani yan savak üzerindeki nap kalınlığı arttıkça) sekonder akımın gücü artar.

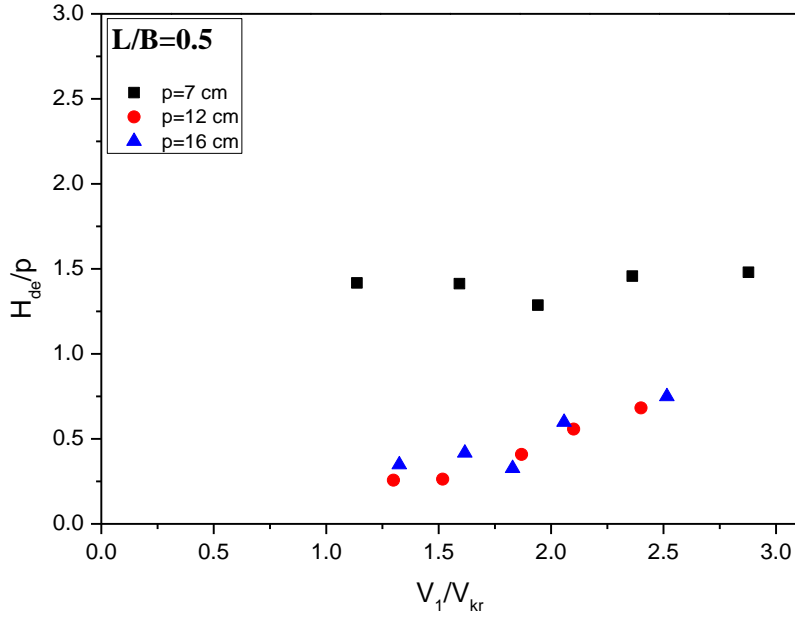


Şekil 6.14. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashab,1975).

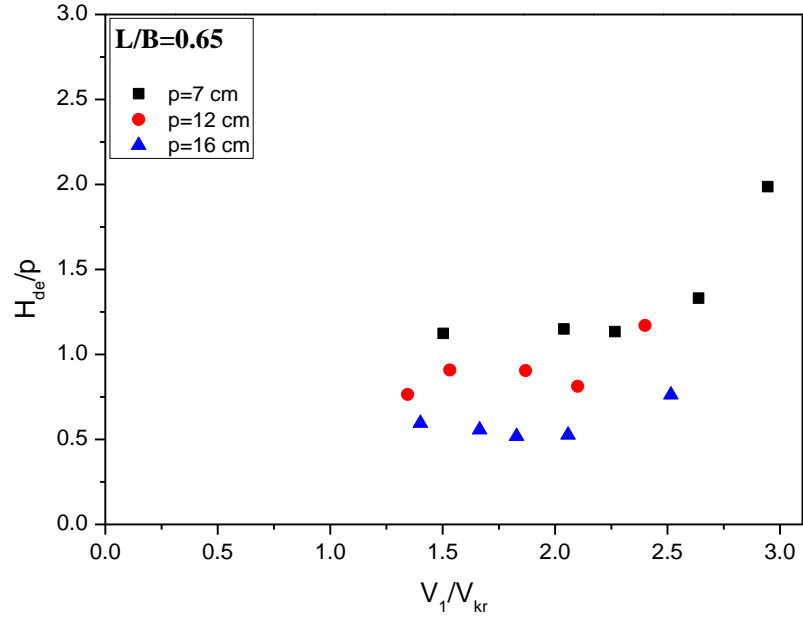
6.4. Dikdörtgen Enkesitli Doğrusal Kanalda Boyutsuz Denge Zamanındaki Oyulma Derinliğinin (H_{de}/p), Akım Şiddeti (V_1/V_{kr}) ile Değişimi

Bu bölümde, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda $L=25, 32.5$ ve 40 cm açıklıklarında $p=7, 12, 16$ cm kret yüksekliklerinde yan savaklar için farklı akım şartlarında, " H_{de}/p " değerinin " V_1/V_{kr} " ile değişimi incelenmiş ve Şekil 6.15-20'de verilmiştir.

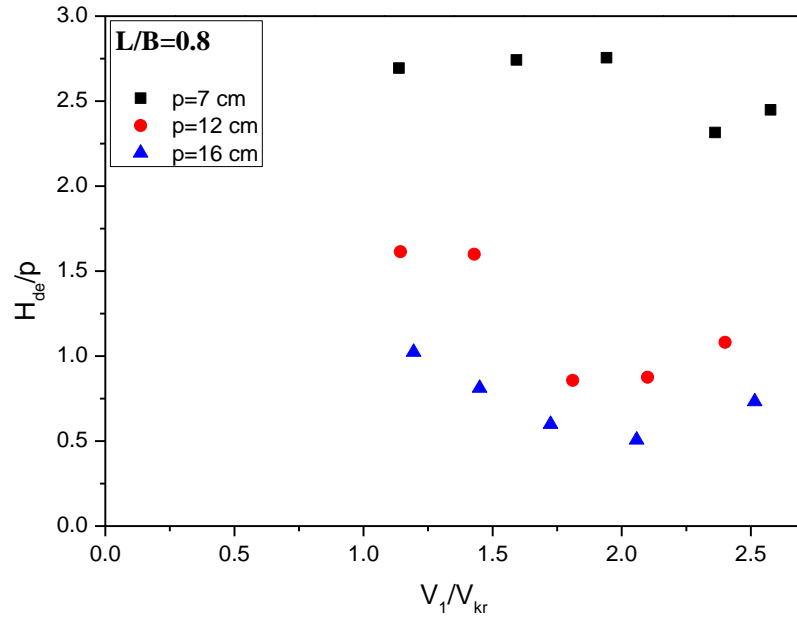
Şekil 6.15-17'de, aynı yan savak açıklıklarında farklı kret yükseklikleri için, H_{de}/p - V_1/V_{kr} değişimi incelenmiştir ve bütün " V_1/V_{kr} " değerlerinde oyulma olduğu görülmektedir. Küçük kret yükseklikli yan savaklarda, aynı " V_1/V_{kr} " değerine karşılık gelen oyulma derinliğinin daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15. $L/B=0.5$ ve $p=7$ cm, $p=12$ cm, $p=16$ cm için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

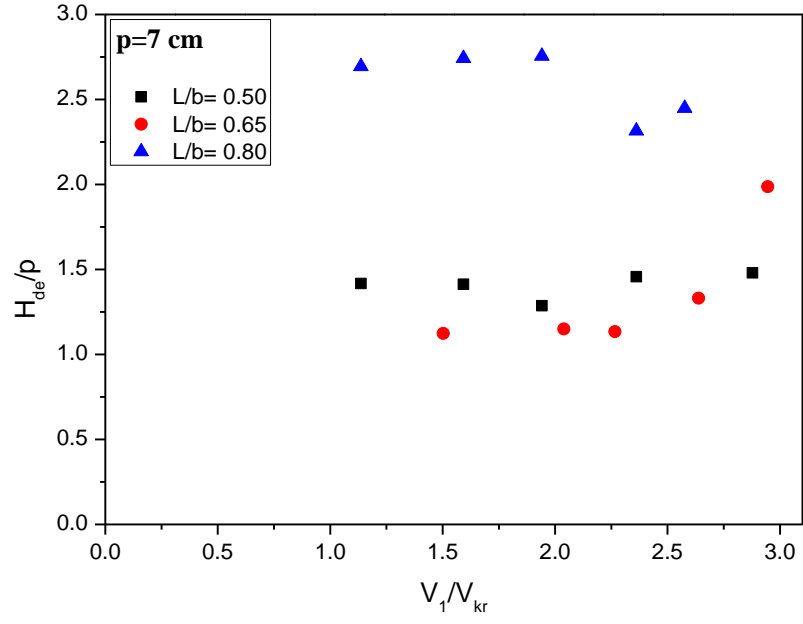


Şekil 6.16. $L/B=0.65$ ve $p=7$ cm, $p=12$ cm, $p=16$ cm için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

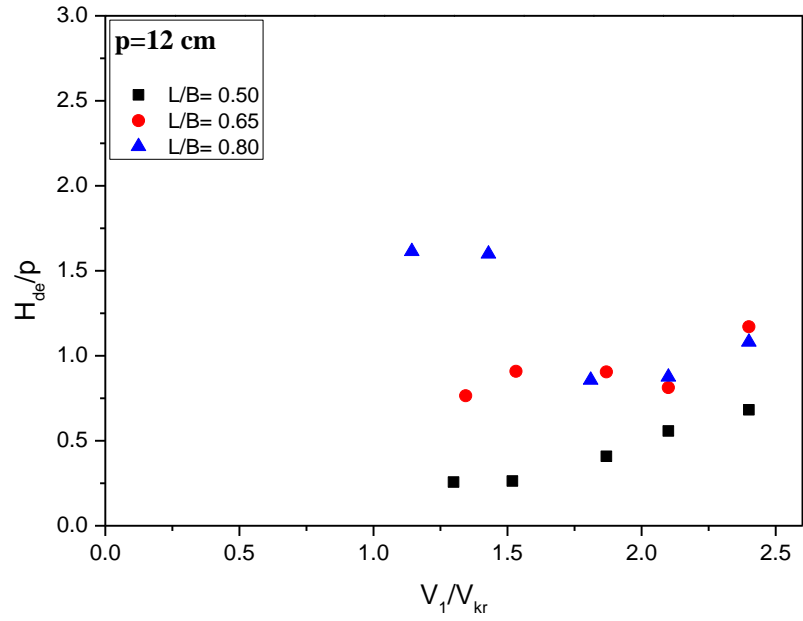


Şekil 6.17. $L/B=0.8$ ve $p=7$ cm, $p=12$ cm, $p=16$ cm için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

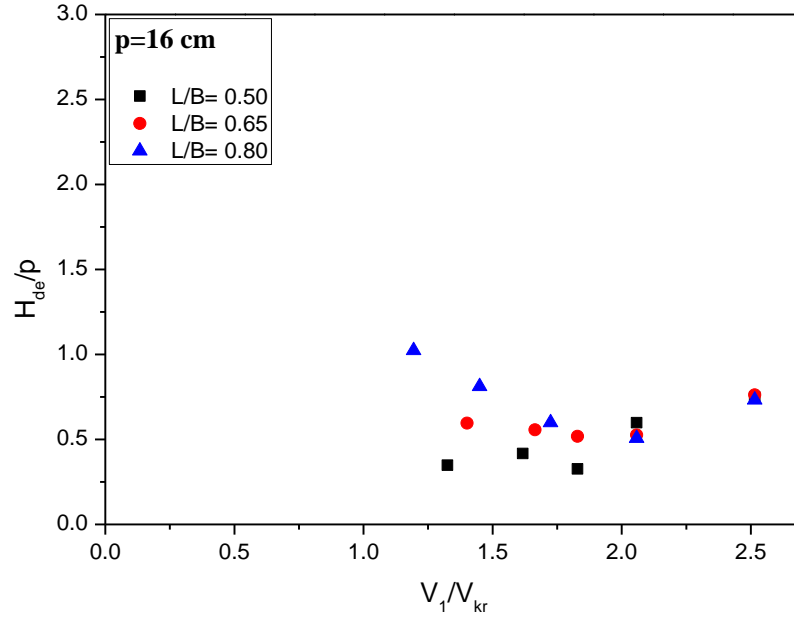
Şekil 6.18-20’de ise, aynı kret yüksekliklerinde farklı “ L/B ” oranları için $H_{de}/p-V_1/V_{kr}$ değişimi incelenmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi büyük açıklıklı yan savaklarda, daha büyük “ H_{de}/p ” değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 6.18. $p=7$ cm ve $L/B=0.5$, $L/B=0.65$, $L/B=0.8$ için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi



Şekil 6.19. $p=12$ cm ve $L/B=0.5$, $L/B=0.65$, $L/B=0.8$ için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi



Şekil 6.20. $p=16$ cm ve $L/B=0.5$, $L/B=0.65$, $L/B=0.8$ için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

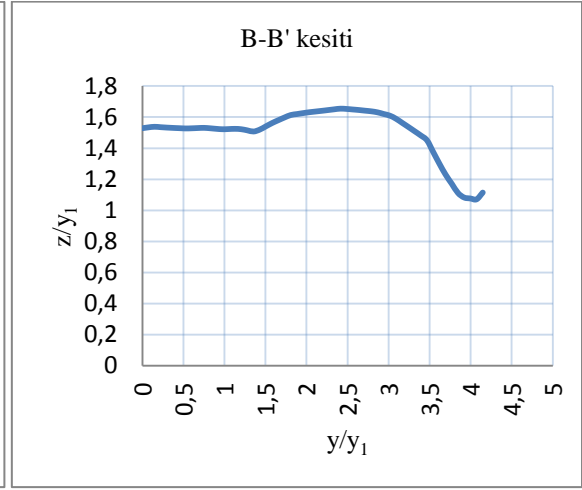
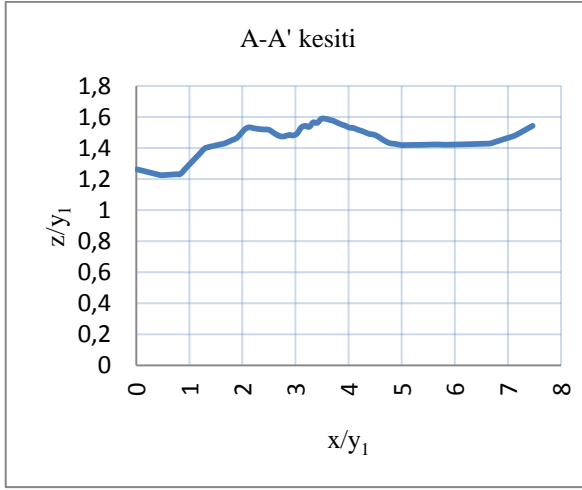
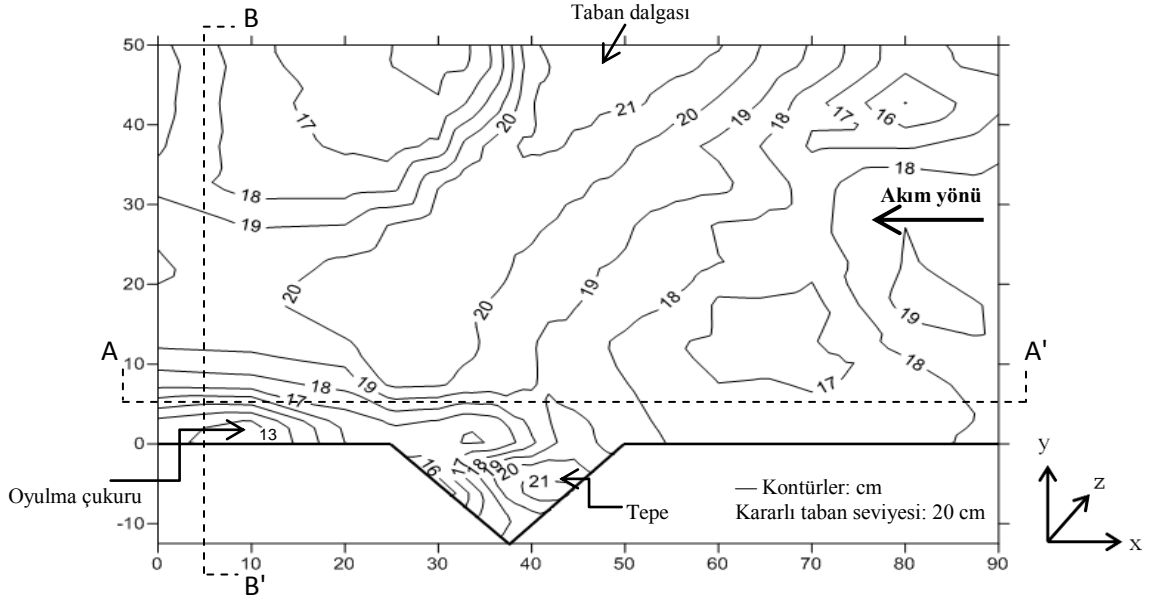
6.5. Doğrusal Kanalda Hareketli Tabanlı Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi

Bu bölümde, farklı akım şartlarında kum tabandan itibaren $p=7$, 12 ve 16 cm kret yüksekliğine sahip $L=25$, 32.5 ve 40 cm açıklığındaki yan savaklar için, $V_1/V_{kr}>1.0$ durumunda kanal taban topografyasında meydana gelen değişimler hareketli taban oyulması durumu için incelenmiştir. Taban topografyası ile ilgili akım şartları Tablo 6.1’de özetlenmiş ve elde edilen eş yükselti eğrileri, kesitleri ve bu topografyalarla ilgili alınan fotoğraflar Şekil 6.21-29’da verilmiştir.

Tablo 6.1. Taban topografyası alınan deneylerin yan savak özellikleri ve akım şartları

Deney No	p (cm)	L (cm)	Q_1 (L/s)	y_1 (cm)	V_{kr}	V_1/V_{kr}	Fr_1
3	7	25	50	12	0.429	1.941	0.768
20	7	32.5	65	10.5	0.420	2.946	1.220
34	7	40	55	11	0.423	2.362	0.963
7	12	25	55	16	0.453	1.518	0.549
23	12	32.5	65	15.5	0.449	1.869	0.680
38	12	40	65	16	0.449	1.810	0.649
14	16	25	90	19	0.460	2.058	0.694
26	16	32.5	65	20	0.464	1.401	0.464
41	16	40	65	23	0.473	1.194	0.376

Şekil 6.21’de $L/B=0.50$, $y_1/p=1.714$, $V_1/V_{kr}=1.941$ için, 10 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında, topografyanın çok değişmediği görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savak bölgesinden belirli bir mesafe sonra (yani savak açıklığının %90’ı kadar savak mansap ucundan daha ileride) oluşmuştur. Yan savak bölgesi dışında, çok büyük topografik değişimler meydana gelmemiştir. Bu durum kanal ekseninde alınacak boykesitte açıkça görülecektir. A-A' kesitinde de büyük değişim olmadığı görülmektedir. Ayrıca memba savaklanma kısmında küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. B-B' kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede pek bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ancak, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında maksimum oyulmanın oluştuğu görülmektedir.



Ana Kanaldan görünüm



Toplama Kanalından görünüm

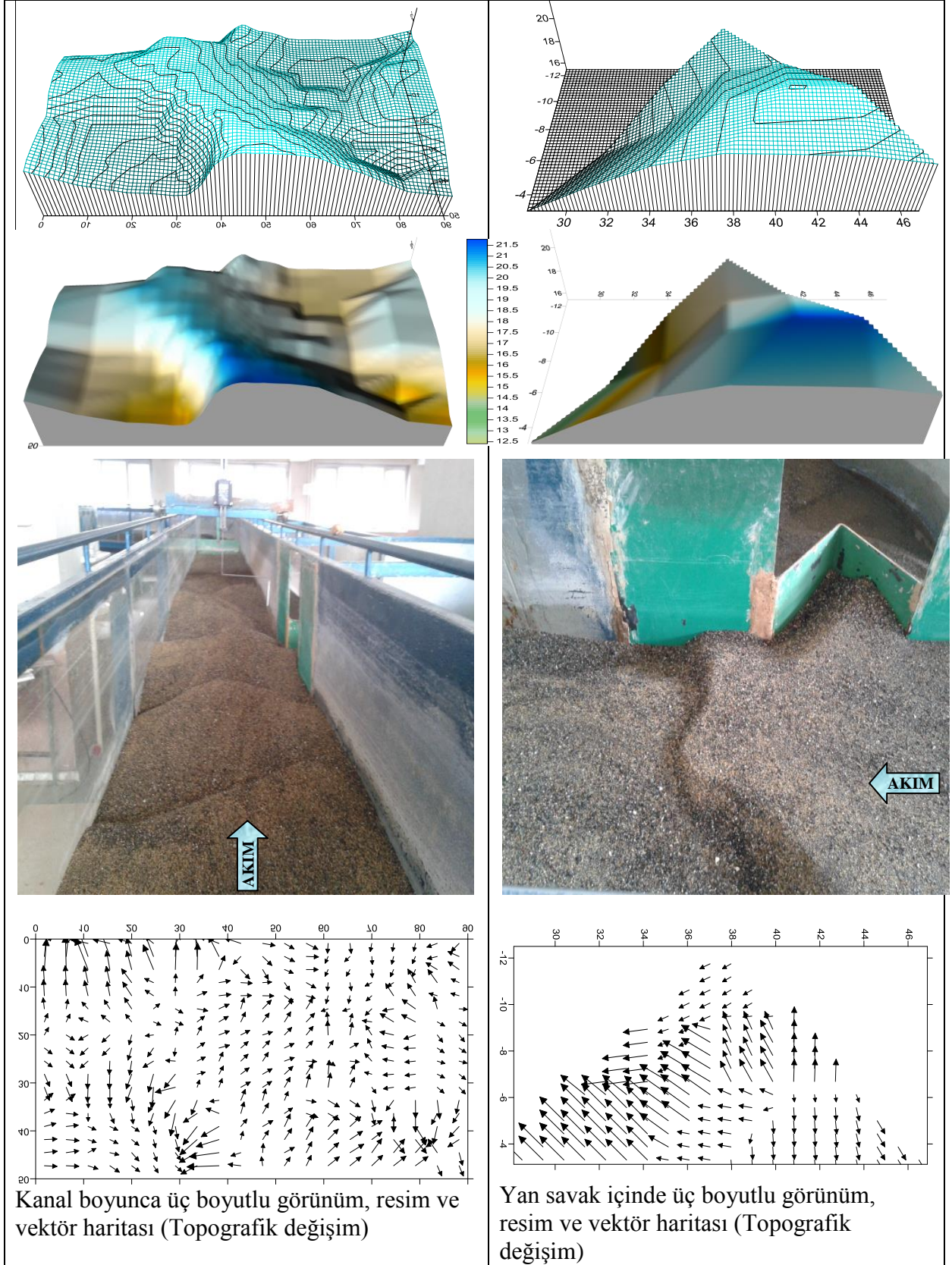
Şekil 6.21. $L=25$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.833$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.941$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü

Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş} = 0.4471 \text{ m}^3$ ($V_{kuru} = 0.4027 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir.

Şekil 6.21’de görüldüğü gibi, oyulma çukuru ise yan savağın mansap savaklanma bölgesinde ve mansap ucundan belirli bir mesafe ileride oluşmuştur. Bu oyulmaya sebep olan Şekil 6.13’te görülen (III) no’lu vortekstir. Yan savak boyunca mansaba doğru sekonder akımın gücü (savaklanma sebebiyle boyuna hız azalarak sekonder akımın şiddeti) arttığı için, denge zamanındaki oyulma derinliği yan savağın mansap kısmında oluşmuştur.

Şekil 6.22’de ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe oluştuğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 9 cm’ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, kum dalgacıklarının (ripple) oluştuğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 90 cm’lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, surfer programında çizilen vektör haritaları okların yönüne göre oyulma ve tepelerin yerini belirlemede yararlı olmuştur. Vektör haritalarında, okların uçlarının birbirlerine doğru baktığı bölgeler, oyulmanın yüksek olduğu bölgelerdir. Küçük oklar, topografyada ani düşüşlerin olduğu bölgeleri göstermektedir. Okların uçlarının birbirine tamamen zıt konumda olduğu bölgeler ise sırt ve tepelik alanlar gibi zirve noktaları, yani birikmenin fazla olduğu bölgeleri, göstermektedir.

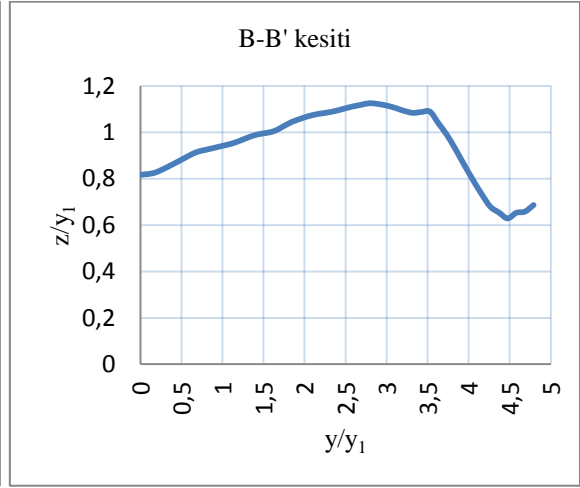
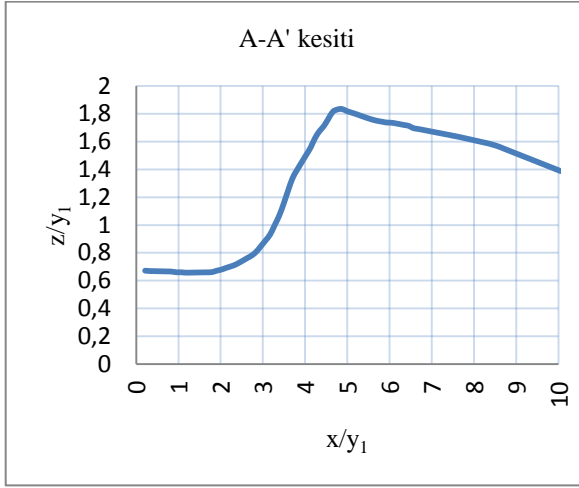
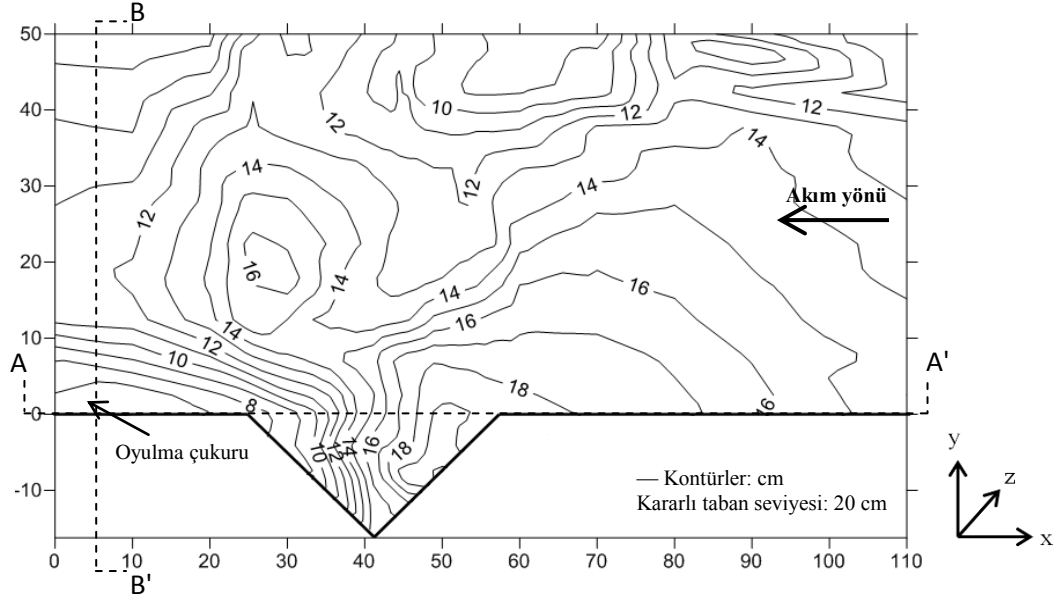
Deneylerde yan savak membasındaki akım hızı (V_1), “ V_{kr} ” hızından büyük olduğu için, taban dalgaları oluşmuştur. Yan savağın membasına doğru ilerleyen taban dalgası, giriş etkisiyle yan savak membasında dış kenara bitişik oluşan eşiği daha da büyütmüş ve yan savağın mansabına doğru ters akımdan dolayı oluşan oyulma çukurundan taşınan bir miktar malzeme ile de, eşiğin yüksekliği daha da artmıştır. Ayrıca, membadan gelen taban dalgaları ve oyulma çukurundan taşınan malzemenin bir kısmı, oluşan eşiğin üzerinden toplama kanalına savaklanmıştır. Yan savağın mansabına doğru hareket eden taban dalgaları, ters akımdan dolayı yan savağın orta kısmını geçememiş ve yan savağın membasında yığılmıştır. Düşük “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde yükseklikleri yaklaşık 1-1.5 cm civarında değişen eşikler oluştuğu gözlenirken, büyük “ V_1/V_{kr} ” değerlerinde ise yükseklikleri yaklaşık 3 cm civarında taban dalgaları oluştuğu gözlenmiştir. Hareketli taban oyulmasının incelendiği deneylerde, kanala sürekli katı madde ilave edildiğinden devamlı ilerleyen taban dalgaları, oyulma çukurunu doldurduğu için, değişken oyulma derinlikleri ölçülmüştür.



Şekil 6.22. $L=25$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.833$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.941$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünümleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.23'te $L/B=0.65$, $y_1/p=1.50$, $V_1/V_{kr}=2.946$ için, 7 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında oyulma ve tepelerin oluştuğu görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin daha belirgin oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savak bölgesinden belirli bir mesafe sonra (yani savak açıklığının yaklaşık %95'i kadar savak mansap ucundan daha ileride) oluşmuştur. Yan savak bölgesi civarında ve ana kanal tabanında çok büyük topografik değişimler meydana gelmiştir. V_1/V_{kr} 'in en yüksek olduğu deneydir. Dalgacık (ripple) formundan, eşik formuna geçiş durumu gözlenmektedir. Bu durum kanal ekseninde alınacak boykesitte açıkça görülecektir. A-A' kesitinde mansap savaklanma kısmında maksimum oyulma bölgesinin oluştuğu, memba savaklanma kısmında ise yüksekliği fazla tepe oluştuğu görülmektedir. B-B' kesitinde, iç kıyından eksene kadar olan mesafede tepe oluştuğu, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında maksimum oyulmanın oluştuğu görülmektedir. İç kıyıda küçük bir tepe oluşmuştur. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş}= 0.2566 \text{ m}^3$ ($V_{kuru}= 0.2312 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. V_1/V_{kr} 'in yüksek olmasına rağmen, toplama kanalına nispeten daha az malzeme geçmesinin başlıca nedeni, akım şiddetinin taban malzemesini, savaklanmasına izin vermeden kendi doğrultusu boyunca hareket ettirerek sürüklemesidir.

Şekil 6.24'te ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe oluştuğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 13.9 cm'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, bazı kısımlarda kum dalgacıklarının (ripple), bazı kısımlarda da eşiklerin (dune) oluştuğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 110 cm'lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritalarından okların yönüne bakıldığında, mansap savaklanma kısmında oyulmanın oluştuğu, memba savaklanma kısmında ise tepenin oluştuğu görülmektedir. İç kıyından dış kıyıya ulaşan bir eksen boyunca, mansap savaklanma kısmına kadar tepe oluştuğu gözlenmektedir.

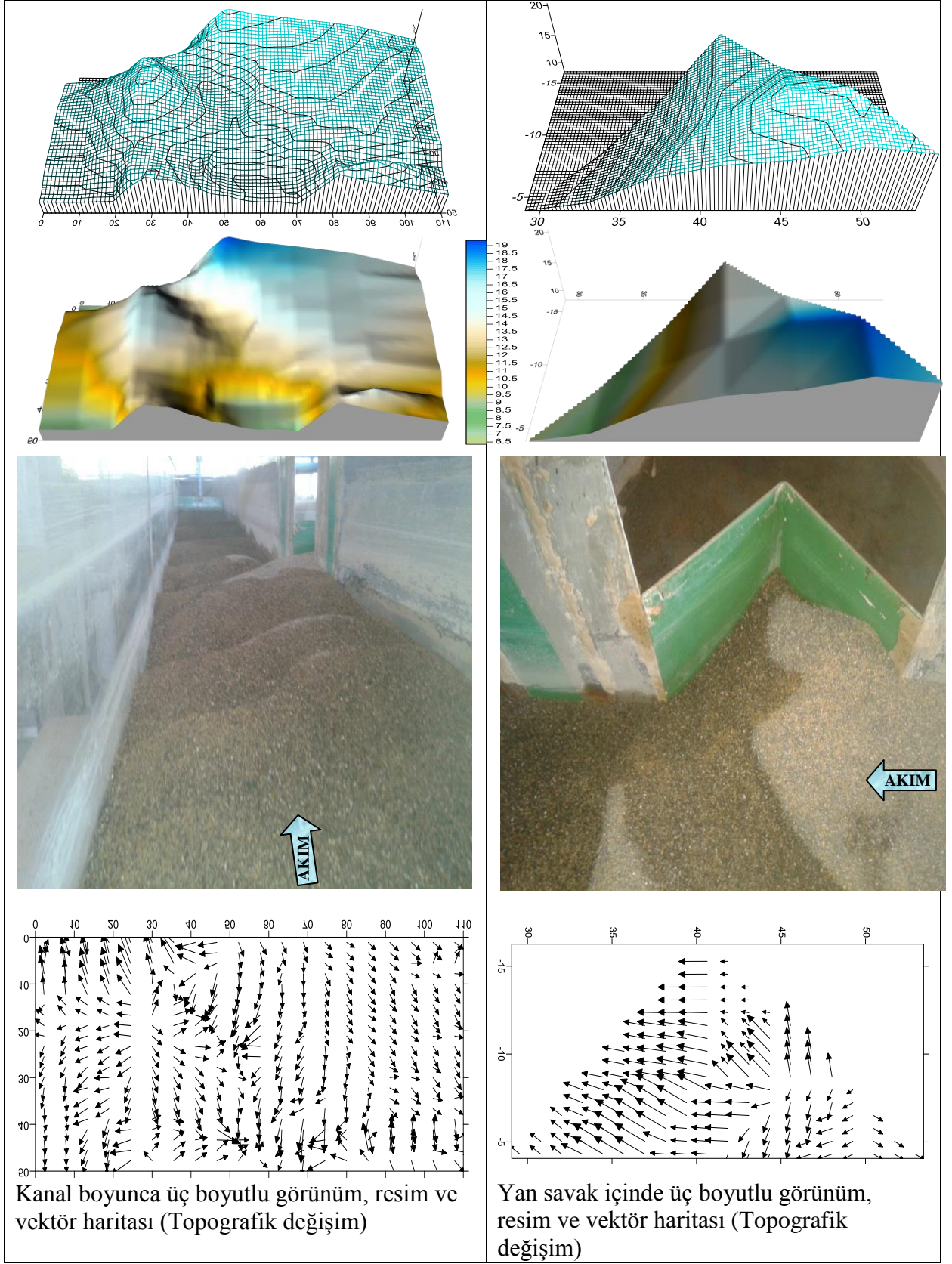


Ana Kanaldan görünüm



Toplama Kanalından görünüm

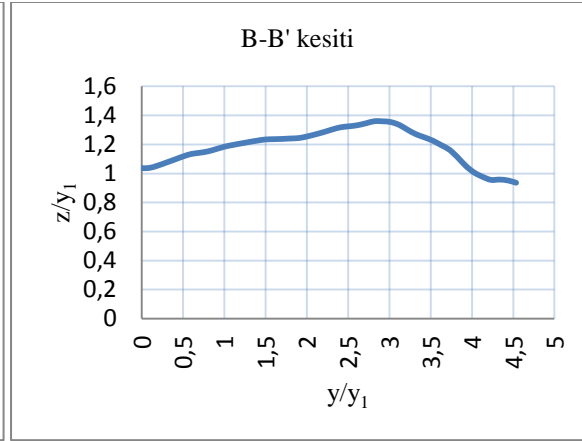
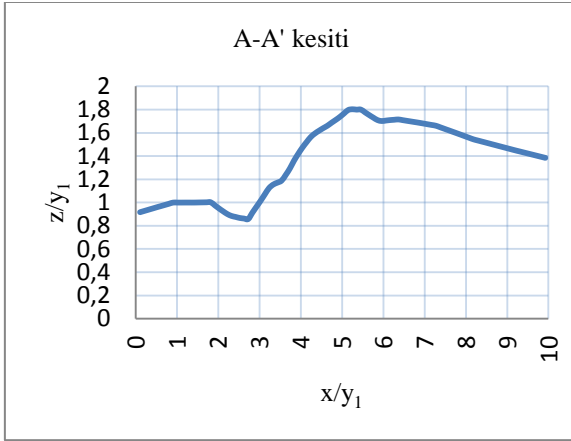
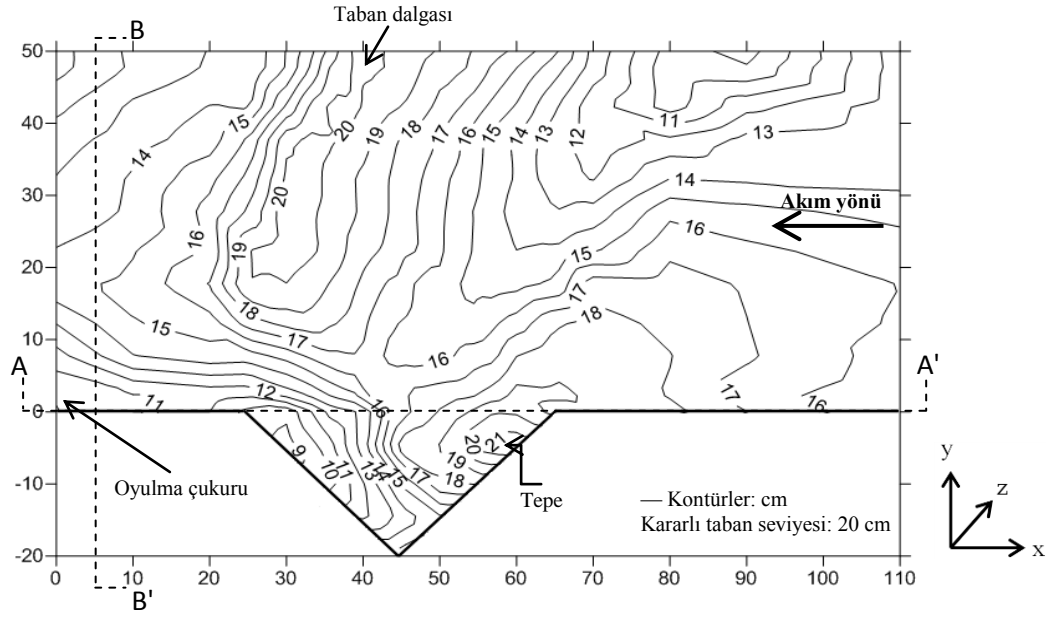
Şekil 6.23. $L=32.5$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.238$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.946$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



Şekil 6.24. $L=32.5$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.238$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.946$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünümleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.25'te $L/B=0.80$, $y_1/p=1.571$, $V_1/V_{kr}=2.362$ için, 9 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında, topografyanın ardı ardına tepe ve oyulma oluşturarak değiştiği görülmektedir. Dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savak bölgesinden belirli bir mesafe sonra (yani savak açıklığının yaklaşık %100'ü kadar savak mansap ucundan daha ileride) oluşmuştur. Bu deney sonucunda denge zamanındaki oyulma derinliğinin, yan savak mansap ucundan daha uzak bir bölgede olduğu gözlenmiştir. Tabanda oluşan dalga uzunluklarının, daha kısa olduğu görülmektedir. A-A' kesitinde mansap savaklanma kısmında maksimum oyulma bölgesinin olduğu görülmektedir. Ayrıca memba savaklanma kısmında küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. B-B' kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede tepe olduğu, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında maksimum oyulmanın olduğu görülmektedir. Ancak, B-B' kesitinde çok büyük topografik değişimler meydana gelmemiştir. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş}=0.5910 \text{ m}^3$ ($V_{kuru}=0.5323 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Bu deney, taban malzemesinin en fazla savaklandığı deneylerden biridir. Bunun başlıca nedeni, bu deneyde en küçük kret yüksekliğine ve en yüksek yan savak açıklığına sahip yan savağın kullanılmasıdır. Dolayısıyla, yanal akım oldukça yüksek olmuştur.

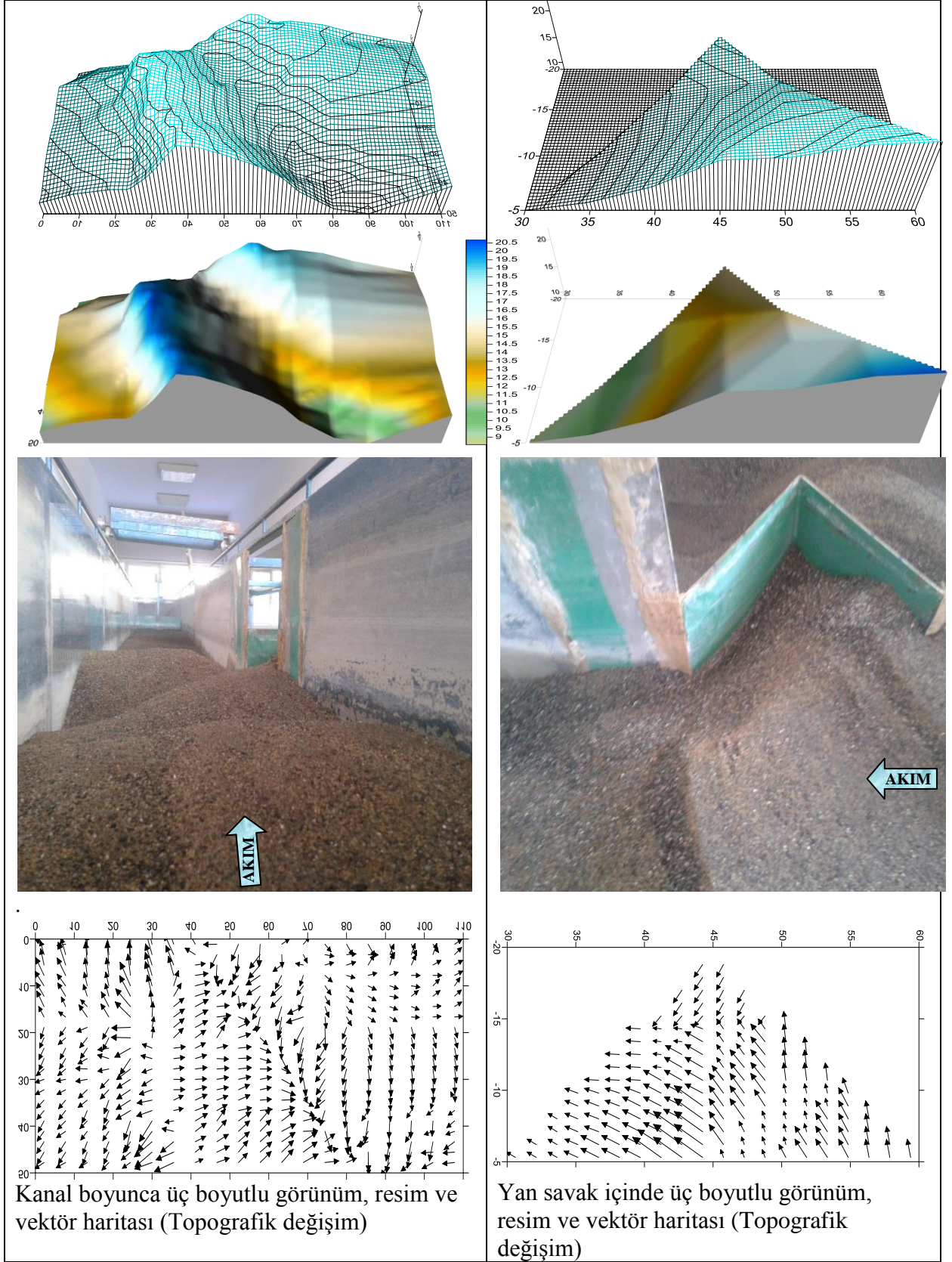
Şekil 6.26'da ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe olduğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 16.2 cm'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, uzunluğu az, yüksekliği fazla olan eşiklerin (dune) olduğu gözlenmiştir. Tabanda oluşan dalgaların uzunlukları yaklaşık 30 cm ve dalga yükseklikleri yaklaşık 3 ile 4 cm arasında ölçülmüştür. Ana kanal tabanında yan savaktan uzak bazı kısımlarda da oyulma derinliği oldukça yüksek değere ulaşmıştır. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 110 cm'lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritalarındaki okların yönüne göre, oyulma ve tepenin bir eksen boyunca olduğu görülmektedir. Küçük okların fazlalığı, ani düşüşlerin olduğunu göstermektedir.



Ana Kanaldan görünüm

Toplama Kanalından görünüm

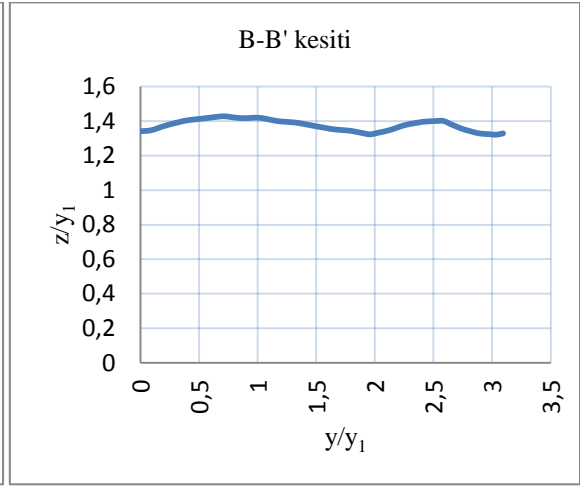
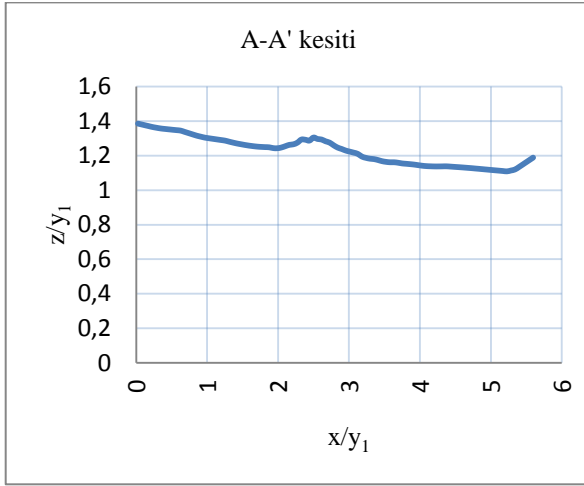
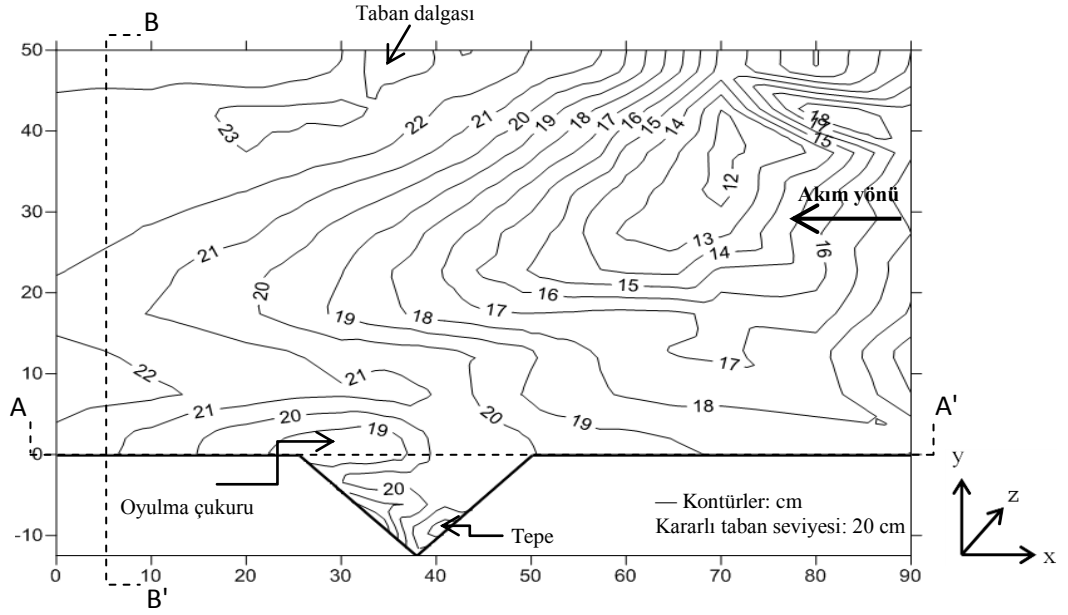
Şekil 6.25. $L=40$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.00$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.362$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



Şekil 6.26. $L=40$ cm açıklığında $p=7$ cm kret yüksekliğinde $V_1=1.00$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.362$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünümleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.27’de $L/B=0.5$, $y_1/p=1.333$, $V_1/V_{kr}=1.518$ için, 14 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında, topografyanın çok değişmediği görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savağın mansabının merkezinden savak mansap ucuna doğru elips şeklinde oluşmuştur. Yan savak bölgesinde çok büyük topografik değişimler meydana gelmemiştir. Bu durum kanal ekseninde alınacak boykesitte açıkça görülecektir. A-A' kesitinde de büyük değişim olmadığı görülmektedir. Ayrıca memba savaklanma kısmında küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. B-B' kesitinde, iç kıyıda eksene kadar olan mesafede pek bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. İç kıyıda küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. Ancak, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında oyulmanın oluştuğu görülmektedir. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş}=0.1555\text{ m}^3$ ($V_{kuru}=0.1400\text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Kret yüksekliğinin artmasından ve “ V_1/V_{kr} ” değerinin azalmasından dolayı, bu deneyde daha az malzeme toplama kanalına geçmiştir.

Şekil 6.28’de ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe oluştuğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 3.2 cm’ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, uzunlukları fazla yükseklikleri az olan kum dalgacıklarının (ripple) oluştuğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 90 cm’lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritaları da tabanda pek bir değişikliğin olmadığını göstermektedir. Vektör haritalarında, en büyük oyulma değerinin yana savak civarından uzakta olduğu görülmektedir.

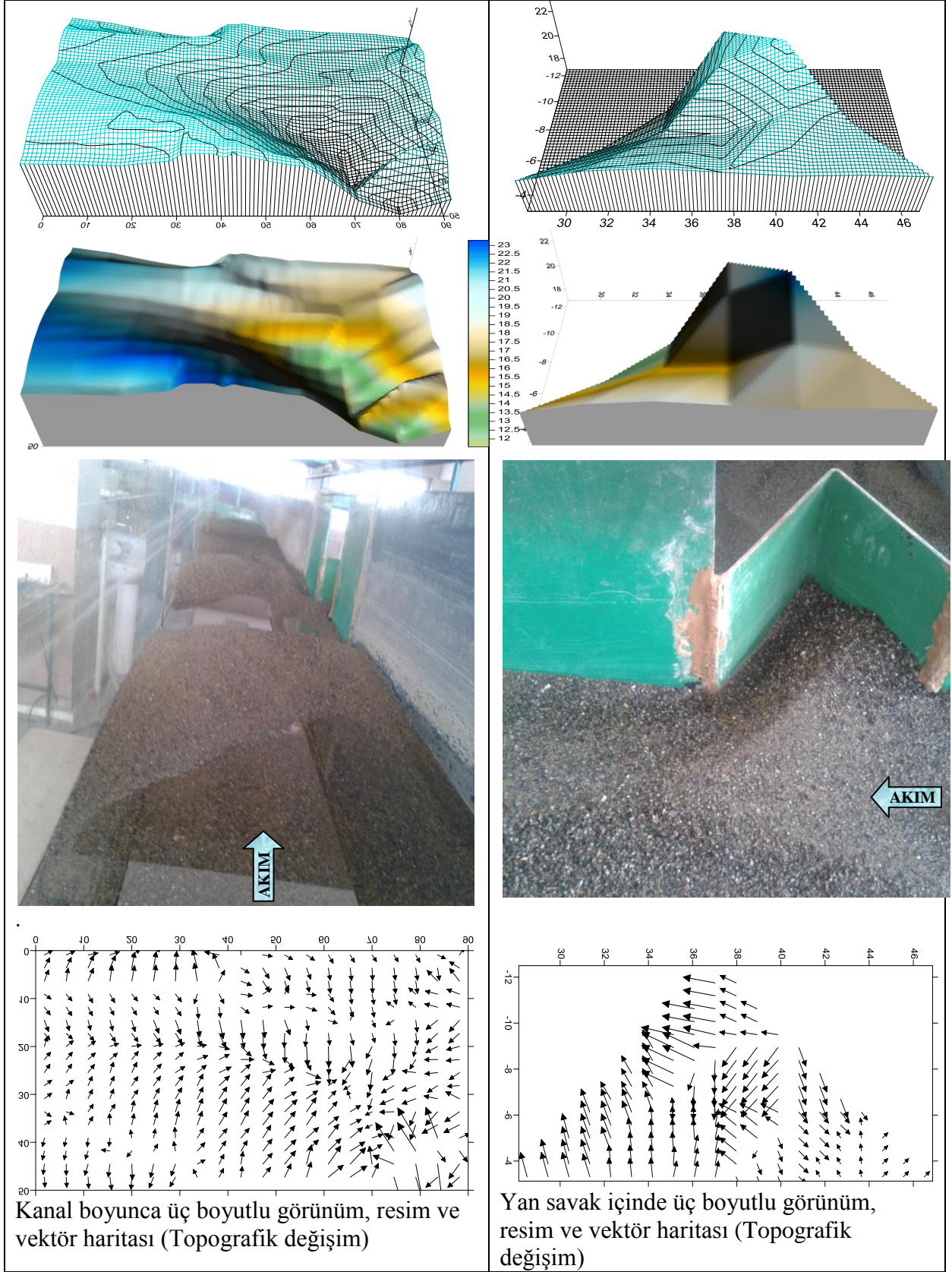


Ana Kanaldan görünüm



Toplama Kanalından görünüm

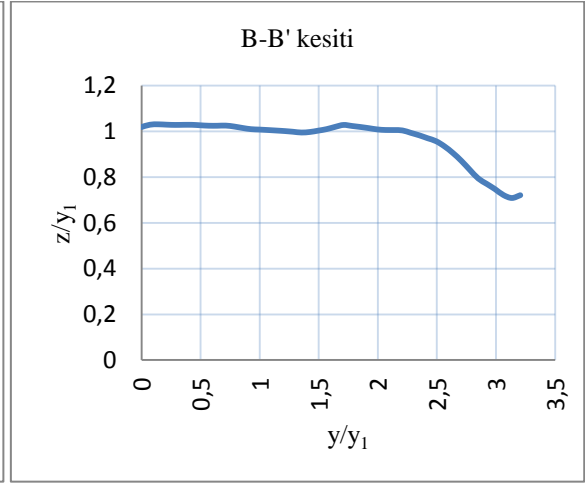
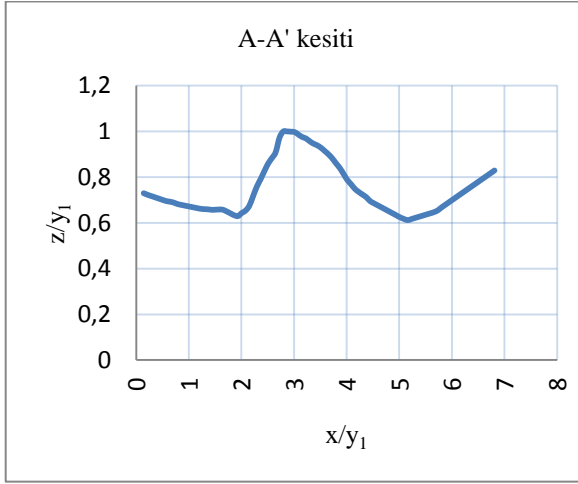
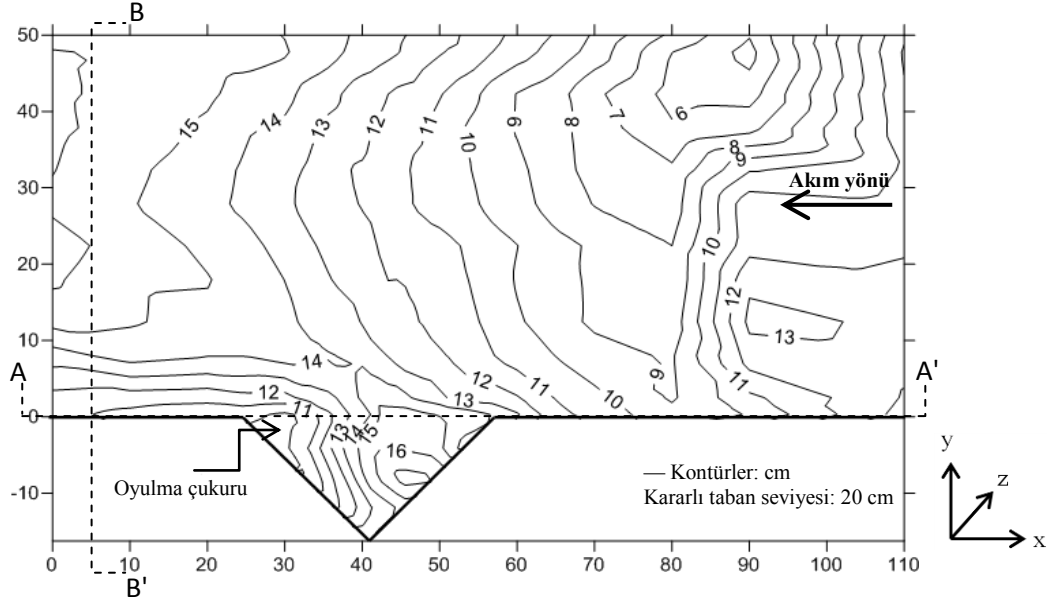
Şekil 6.27. $L=25$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.688$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.518$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



Şekil 6.28. $L=25$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.688$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.518$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.29’da $L/B=0.65$, $y_1/p=1.292$, $V_1/V_{kr}=1.869$ için, 10 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savağın mansabının iç kısmında oluşmuştur. Yan savak bölgesinde çok büyük topografik değişimler meydana gelmiştir. Bu durum kanal eksenini üzerinde alınacak boykesitte açıkça görülecektir. A-A’ kesitinde arda ardına tepe ve oyulmaların oluştuğu görülmektedir. B-B’ kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede pek bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ancak, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında oyulma gözlenmiştir. İç kıyıda tepe oluşumu gözlenmiştir. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş} = 0.0583 \text{ m}^3$ ($V_{kuru} = 0.0525 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Bu deneyde çok az malzemenin toplama kanalına taşındığı gözlenmiştir.

Şekil 6.30’da ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin, yan savağın mansap ucunda 10.8 cm’ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ancak, ana kanal tabanının bazı kısımlarında daha çok oyulma olduğu görülmektedir. Ana kanal boyunca, uzunlukları fazla yükseklikleri az olan kum dalgacıklarının (ripple) oluştuğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 110 cm’lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritaları da tabanda bir bölgede belirgin oyulma derinliğine ulaşıldığını göstermektedir. Vektör haritalarında, en büyük oyulma değerinin yana savak civarından uzakta olduğu görülmektedir.

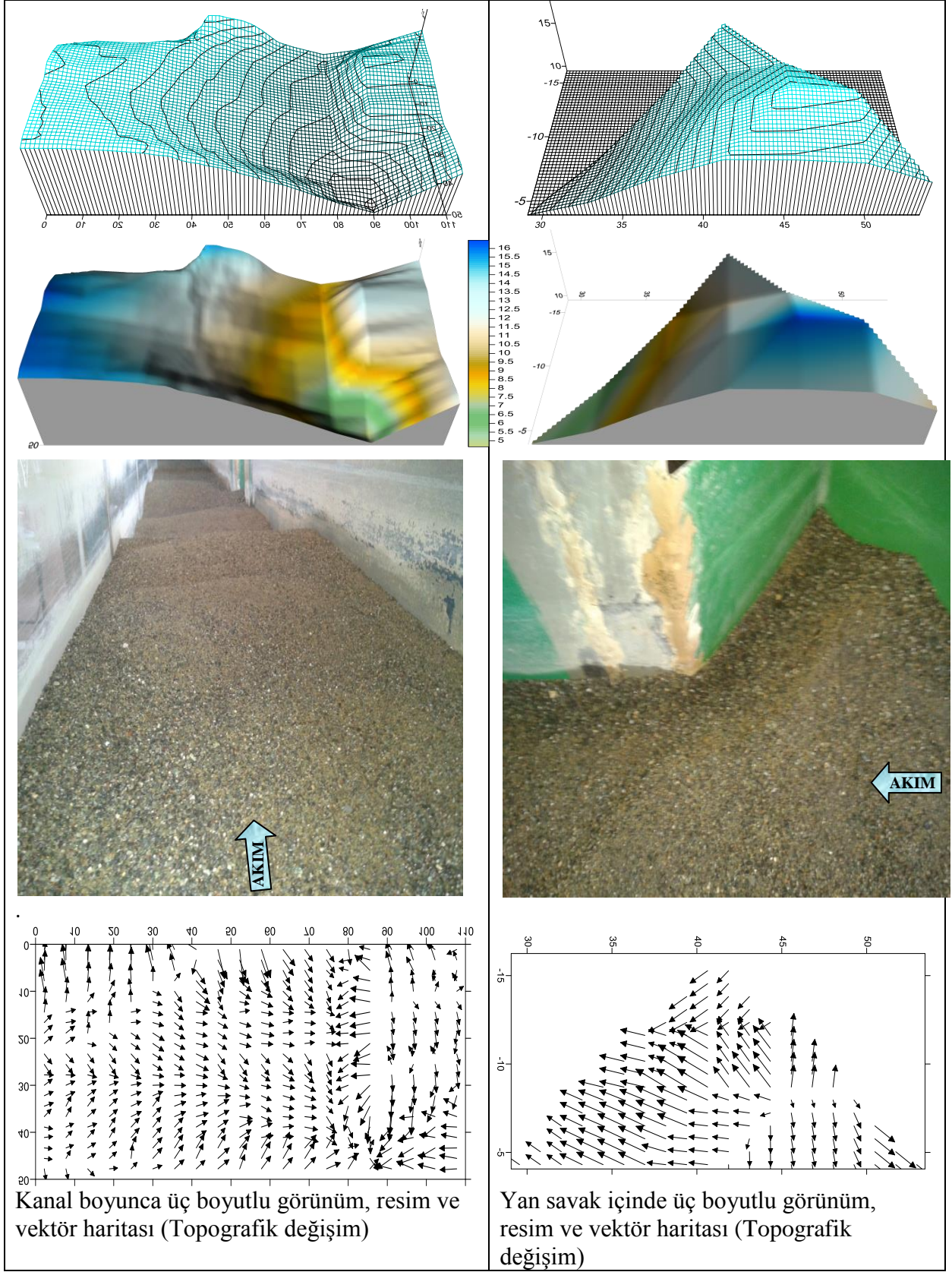


Ana Kanaldan görünüm



Toplama Kanalından görünüm

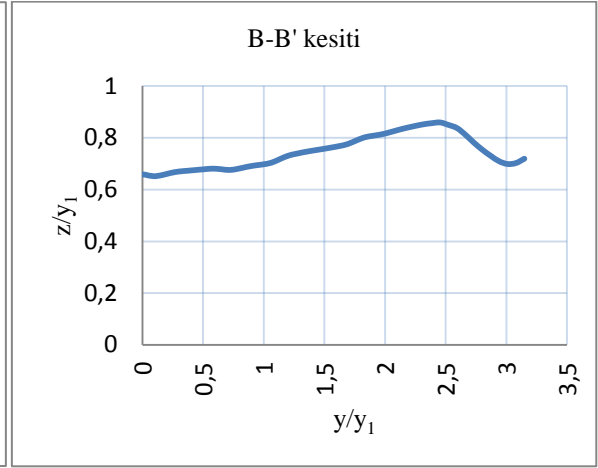
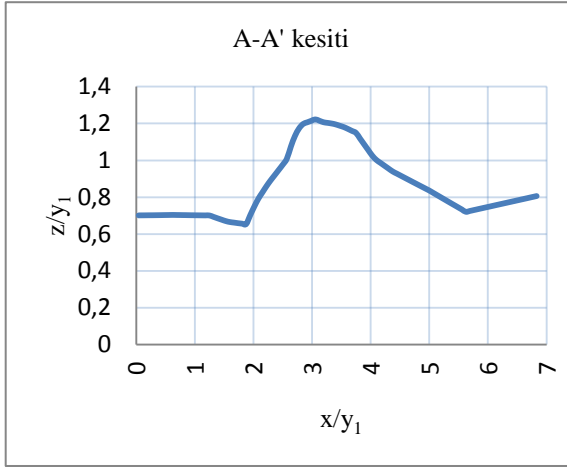
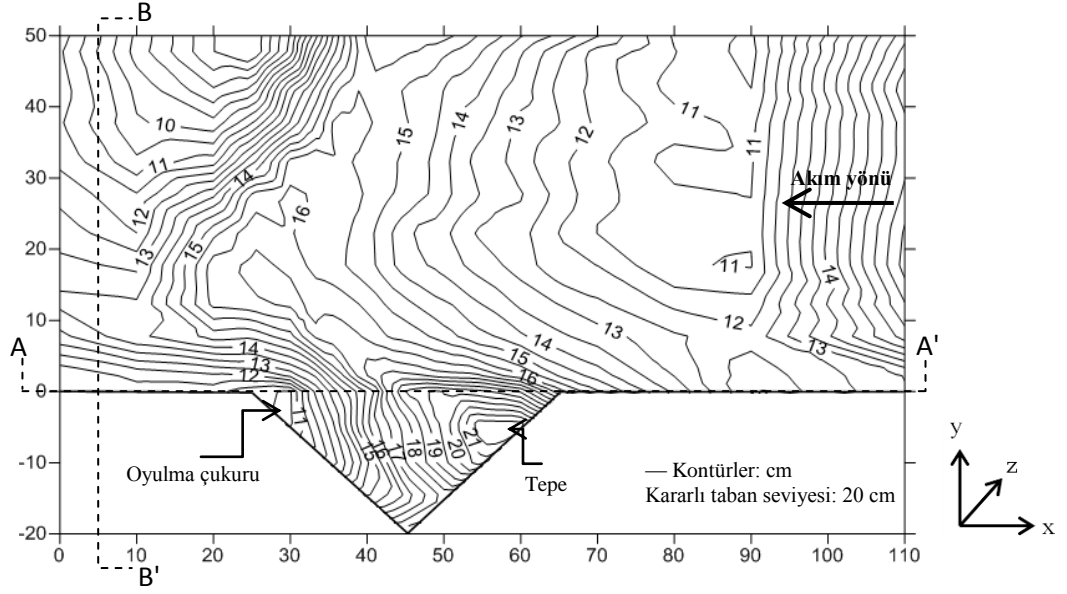
Şekil 6.29. $L=32.5$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.839$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.869$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



Şekil 6.30. $L=32.5$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.839$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.869$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünümleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.31’de $L/B=0.80$, $y_1/p=1.333$, $V_1/V_{kr}=1.810$ için, 9 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında, topografyanın çok değişmediği ve boyutları nispeten küçük olan kum dalgacıklarının (ripple) oluştuğu görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin yüksek boyutlarda olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savağın mansabının ucuna doğru dairesel şekilli oluşmuştur. A-A’ kesitinde ardı ardına tepe ve oyulmaların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca memba savaklanma kısmında küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. B-B’ kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede az miktarda doğrusal bir yükseklik artışı gözlenmiştir. Ancak, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında oyulma gözlenmiştir. İç kıyıda küçük bir tepe oluşumu gözlenmiştir. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş}= 0.1477 \text{ m}^3$ ($V_{kuru}= 0.1331 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Kret yüksekliğindeki ve yan savak açıklığındaki artıştan dolayı yanal akım artmış ancak V_1/V_{kr} nispeten az olduğu için çok fazla malzeme savaklanmamıştır.

Şekil 6.32’de ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe oluştuğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin, yan savak mansabının ucuna doğru olan kısımda oluştuğu ve 10.3 cm’ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, uzunlukları fazla yükseklikleri az olan kum dalgacıklarının (ripple) oluştuğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 110 cm’lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritaları da tabanda bir bölgede belirgin oyulma derinliğine ulaşıldığını göstermektedir. Vektör haritalarında, tepenin bir eksen boyunca oluştuğu okların yönlerinden anlaşılmaktadır.

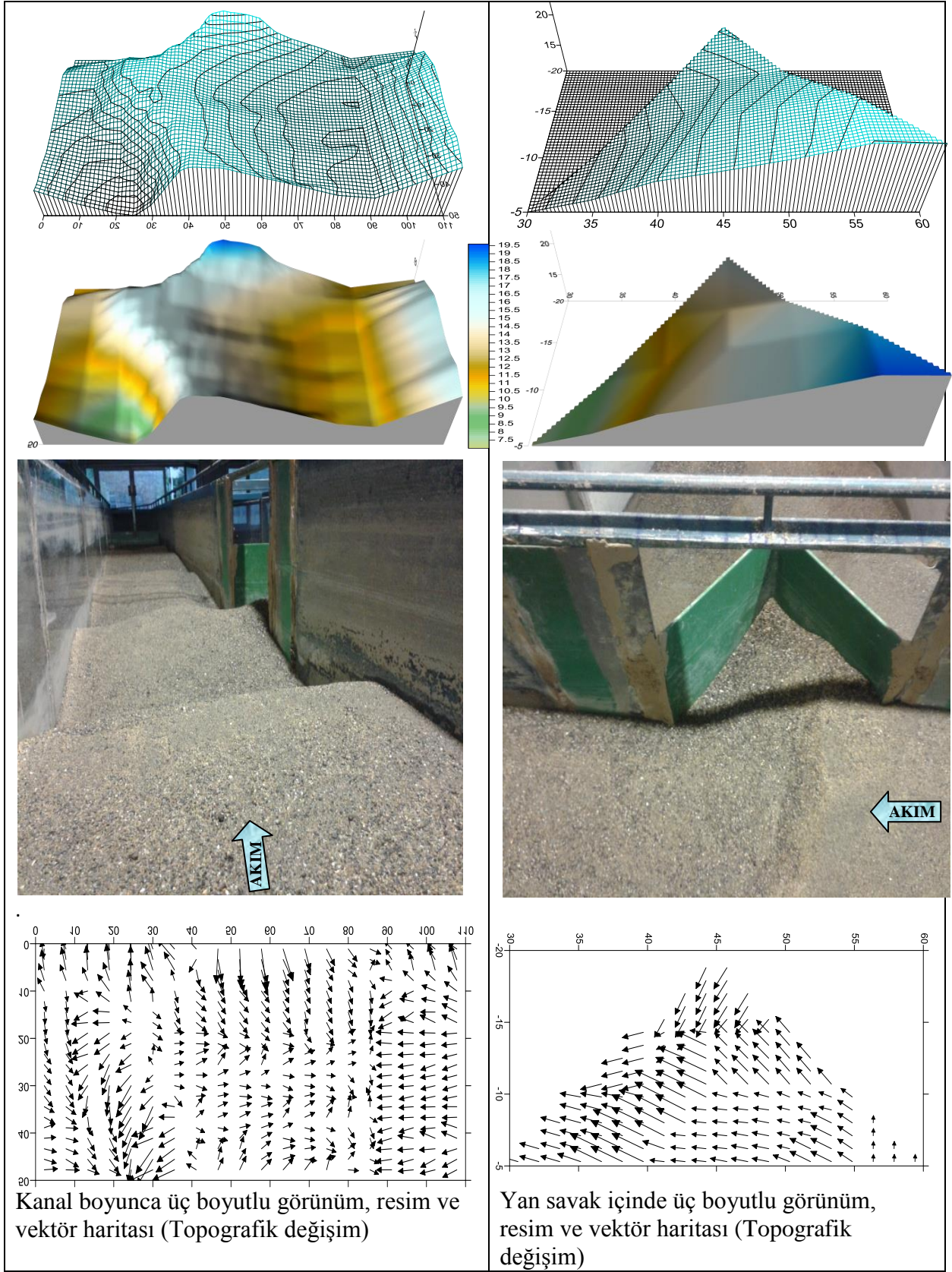


Ana Kanaldan görünüm



Toplama Kanalından görünüm

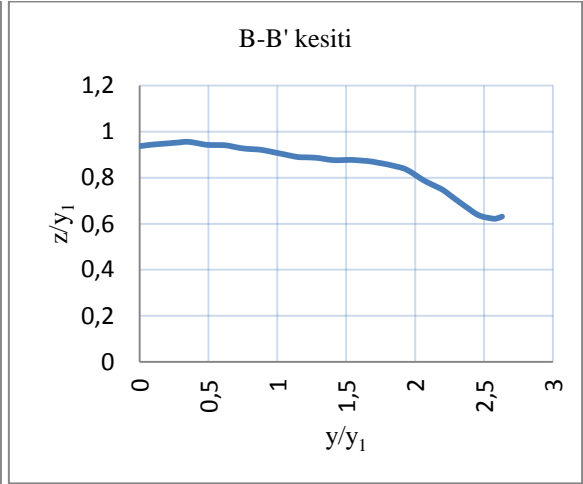
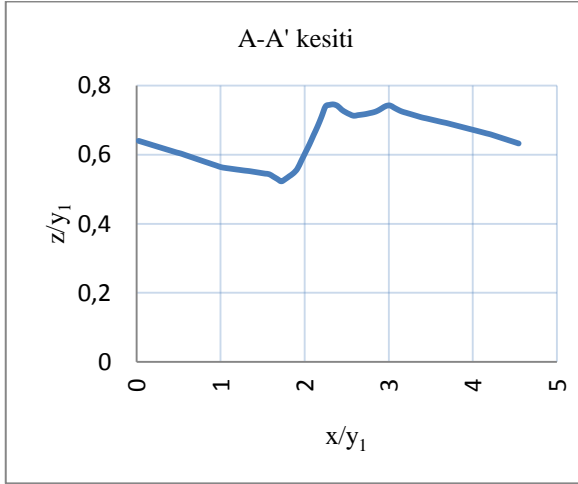
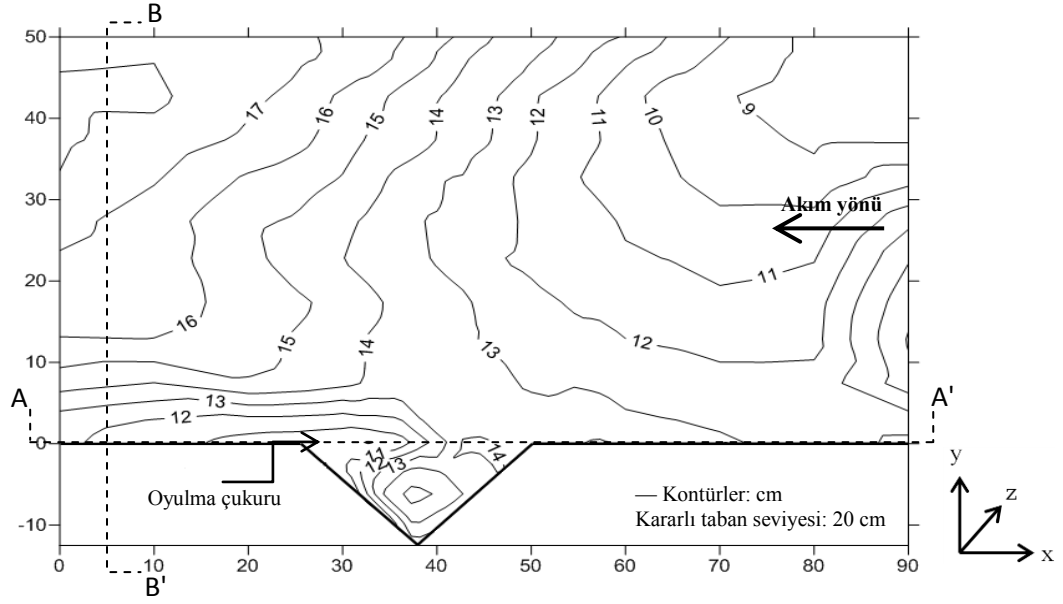
Şekil 6.31. $L=40$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V1=0.813$ m/s ve $V1/Vkr=1.810$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



Şekil 6.32. $L=40$ cm açıklığında $p=12$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.813$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.810$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünüşleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.33'te $L/B=0.5$, $y_1/p=1.188$, $V_1/V_{kr}=2.058$ için, 7 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında, topografyanın çok değişmediği ve boyutları nispeten küçük olan kum dalgacıklarının (ripple) olduğu görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savak mansap ucunda elips şeklinde oluşmuştur. Yan savak bölgesi dışında, önemli topografik değişimler meydana gelmiştir. Bu durum kanal eksenini üzerinde alınacak boykesitte açıkça görülecektir. A-A' kesitinde de taban dalgası oluşumu görülmektedir. B-B' kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede pek bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ancak, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında maksimum oyulmanın olduğu görülmektedir. İç kıyıda küçük bir tepe oluşmuştur. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş}=0.0855\text{ m}^3$ ($V_{kuru}=0.0770\text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Toplama kanalına az miktarda malzeme geçmiştir. Bunun başlıca nedeni, bu deneyde kullanılan yan savağın en büyük kret yükseklikli ve en küçük yan savak açıklıklı olmasıdır.

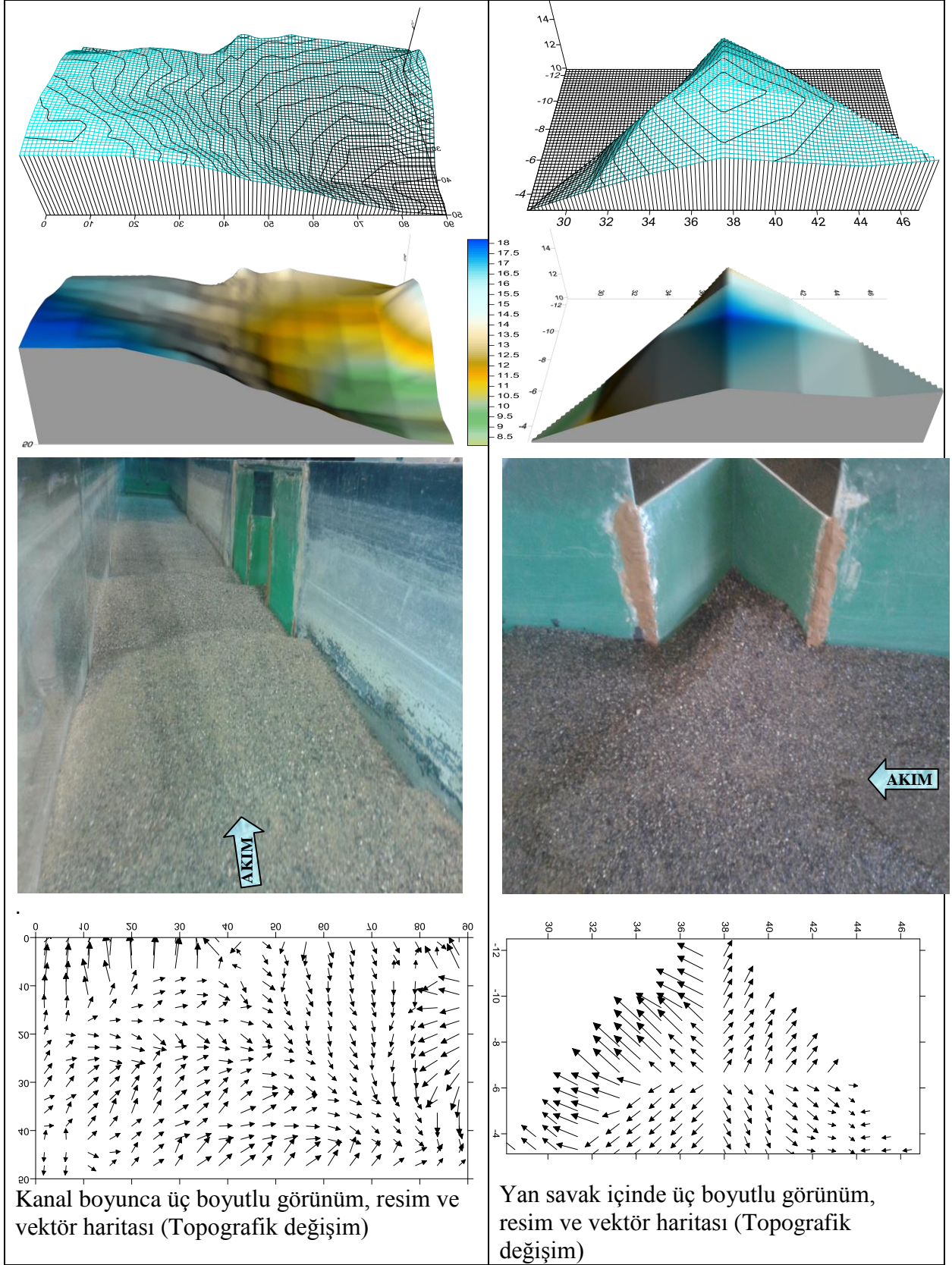
Şekil 6.34'te ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe olduğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 9.6 cm'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, kum dalgacıklarının (ripple) olduğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 90 cm'lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritaları okların yönüne göre oyulma ve tepelerin yerini belirlemede yararlı olmuştur. Vektör haritalarında, okların uçlarının birbirlerine doğru baktığı bölgeler, oyulmanın yüksek olduğu bölgelerdir. Küçük oklar, topografyada ani düşüşlerin olduğu bölgeleri göstermektedir. Okların uçlarının birbirine tamamen zıt konumda olduğu bölgeler ise sırt ve tepelik alanlar gibi zirve noktaları, yani tepenin fazla olduğu bölgeleri, göstermektedir. Bu topografyada tabandaki malzemenin sürüklenerek hareket ettiği ve düzlem tabana yaklaştığı görülmektedir.



Ana Kanaldan görünüm

Toplama Kanalından görünüm

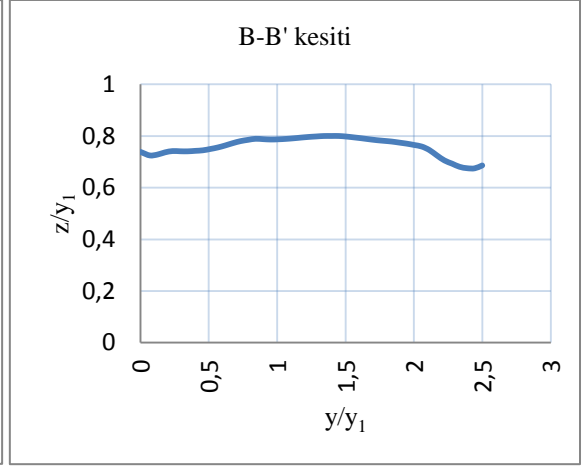
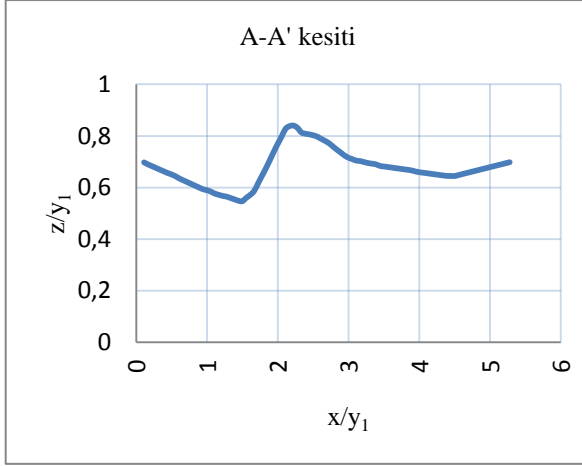
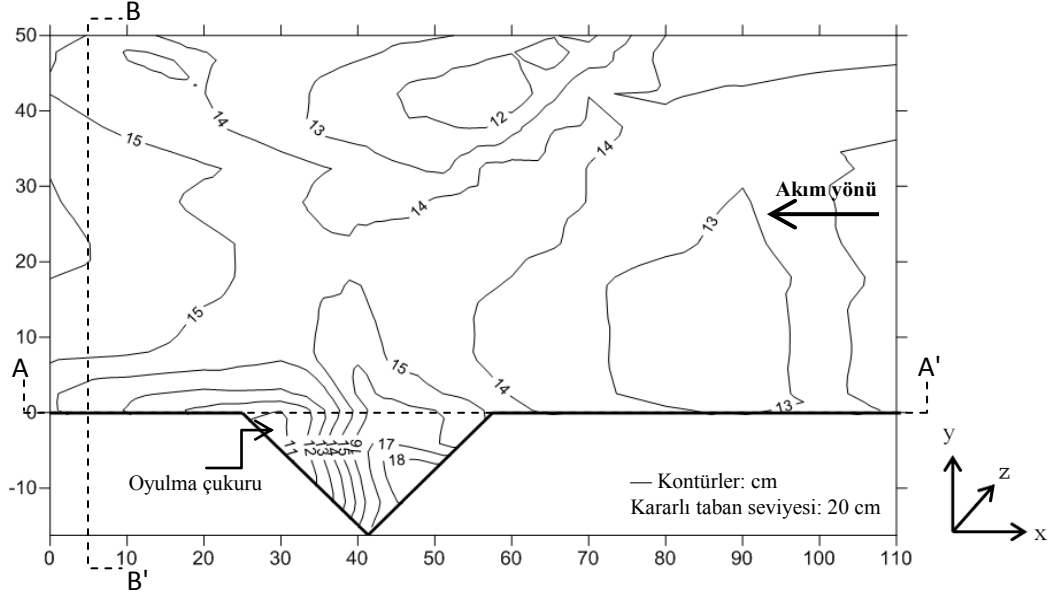
Şekil 6.33. $L=25$ cm açıklığında $p=16$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.947$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.058$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



Şekil 6.34. $L=25$ cm açıklığında $p=16$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.947$ m/s ve $V_1/V_{kr}=2.058$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünimleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.35'te $L/B=0.65$, $y_1/p=1.250$, $V_1/V_{kr}=1.401$ için, 13 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Kanalin iç kıyısında, topografyanın çok değişmediği görülmektedir. Fakat dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savak mansap ucuna doğru dairesel şekilli oluşmuştur. Yan savak bölgesi dışında, çok büyük topografik değişimler meydana gelmemiştir. Bu durum kanal ekseninde alınacak boykesitte açıkça görülecektir. A-A' kesitinde de taban dalgası oluşumu görülmektedir. B-B' kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede pek bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ancak, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında maksimum oyulmanın oluştuğu görülmektedir. İç kıyıda küçük bir tepe oluşmuştur. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yaş}= 0.0583 \text{ m}^3$ ($V_{kuru}= 0.05254 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Toplama kanalına az miktarda malzeme geçmiştir. Bunun başlıca nedeni, bu deneyde kullanılan yan savağın büyük kret yükseklikli ve V_1/V_{kr} 'in küçük olmasıdır.

Şekil 6.36'da ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe oluştuğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 9.5 cm'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Ana kanal boyunca, kum dalgacıklarının (ripple) oluştuğu gözlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 110 cm'lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritalarında iç kıyıdan dış kıyıya kadar ulaşan bir eksen boyunca tepe ve oyulma oluşumu görülmektedir.

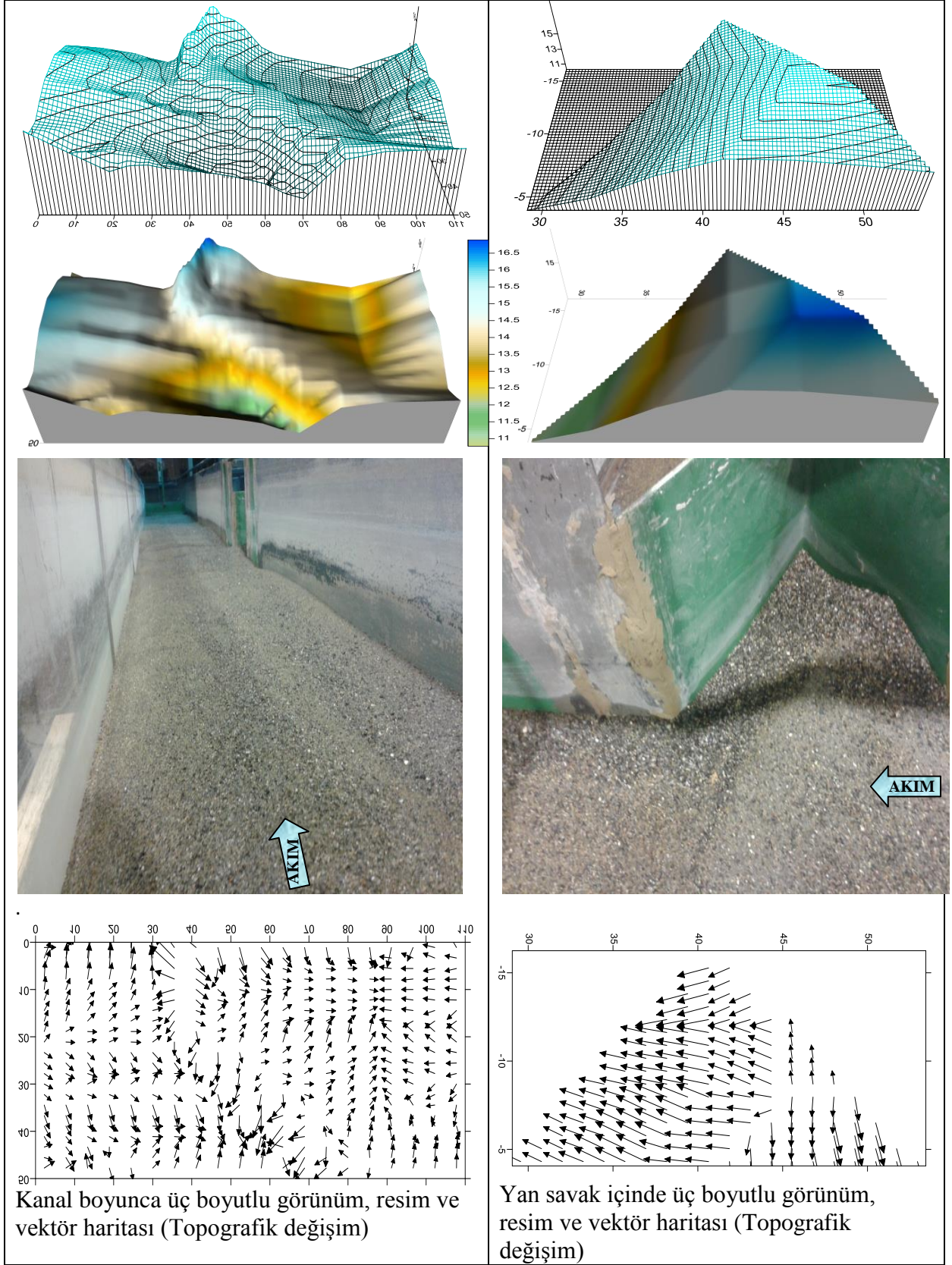


Ana Kanaldan görünüm



Toplama Kanalından görünüm

Şekil 6.35. $L=32.5$ cm açıklığında $p=16$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.65$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.401$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü

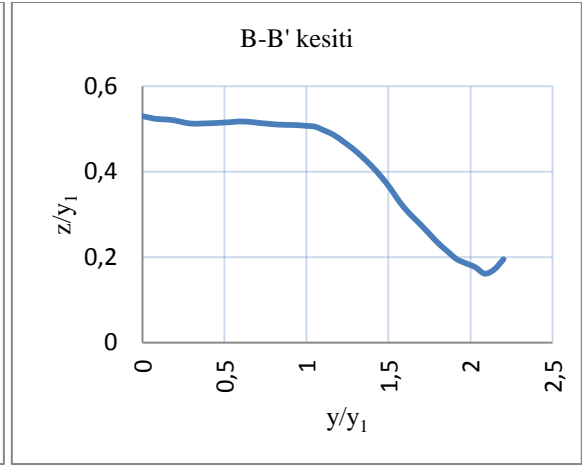
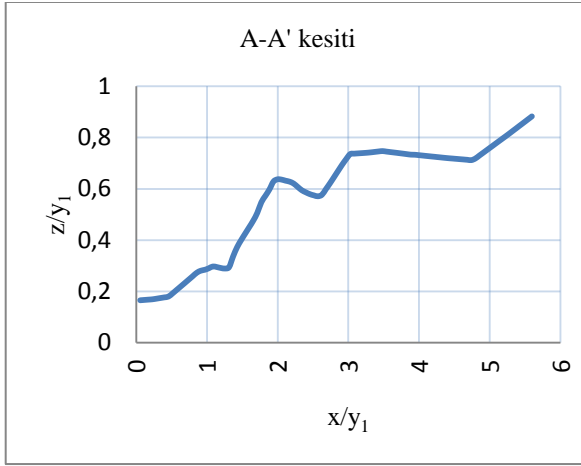
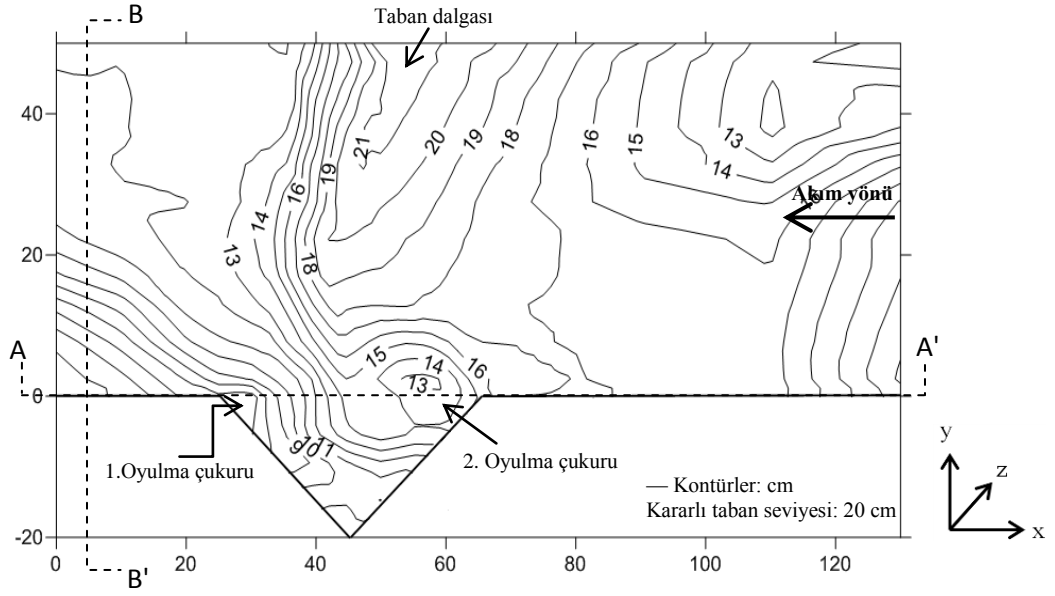


Şekil 6.36. $L=32.5$ cm açıklığında $p=16$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.65$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.401$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünümleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

Şekil 6.37’de $L/B=0.80$, $y_1/p=1.440$, $V_1/V_{kr}=1.194$ için, 10 saat deney süresi sonunda, oluşan taban batimetrisi için eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Bu deneyde $V_1/V_{kr}=1$ ’e yakın olduğundan ana kanal tabanında pek bir değişim gözlenmemiştir. Dış kıyıya yerleştirilen üçgen yan savak bölgesinde oyulma ve tepelerin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliği, savak bölgesinden belirli bir mesafe sonra (yani savak açıklığının yaklaşık %80’i kadar savak mansap ucundan daha ileride) oluşmuştur. Yan savak bölgesi civarında ve çok büyük topografik değişimler meydana gelmiştir. V_1/V_{kr} ’in en düşük olduğu deneydir. Dalgacık (ripple) oluşumu diğer deneylere nazaran daha az oluşmuştur. Yan savağın memba kısmındaki hız, mansaptaki hızdan büyük olduğu için basınç farkından ve giriş etkisinden dolayı, yan savağın orta kısmı ile memba kısmı arasında, su yüzünden tabana doğru saat ibresi yönünde vorteks sisteminin oluştuğu ve bu vorteks sisteminin yan savağın ilk yarısında oyulmaya yol açtığı gözlenmiştir. Bu oyulma çukuru, yan savağa oldukça yakın bir bölgede daire şeklinde büyüyerek gelişmiş ve büyük hızlarda oyulma çukurunun çapı, yan savağın memba kısmına kadar gelişmiştir.

A-A’ kesitinde mansap savaklanma kısmında maksimum oyulma bölgesinin oluştuğu, memba savaklanma kısmında ise tepe oluştuğu görülmektedir. B-B’ kesitinde, iç kıyıdan eksene kadar olan mesafede değişim olmadığı, dış kıyıya yaklaştıkça mansap savaklanma kısmında maksimum oyulmanın oluştuğu görülmektedir. İç kıyıda küçük bir tepe oluşmuştur. Bu deney sonucunda, ana kanaldan toplama kanalına $V_{yas} = 0.0933 \text{ m}^3$ ($V_{kuru} = 0.0841 \text{ m}^3$) hacminde taban malzemesi geçmiştir. Toplama kanalına nispeten daha az malzeme geçmesinin başlıca nedenleri, akım şiddetinin az olması ve kret yüksekliğinin büyük olmasıdır.

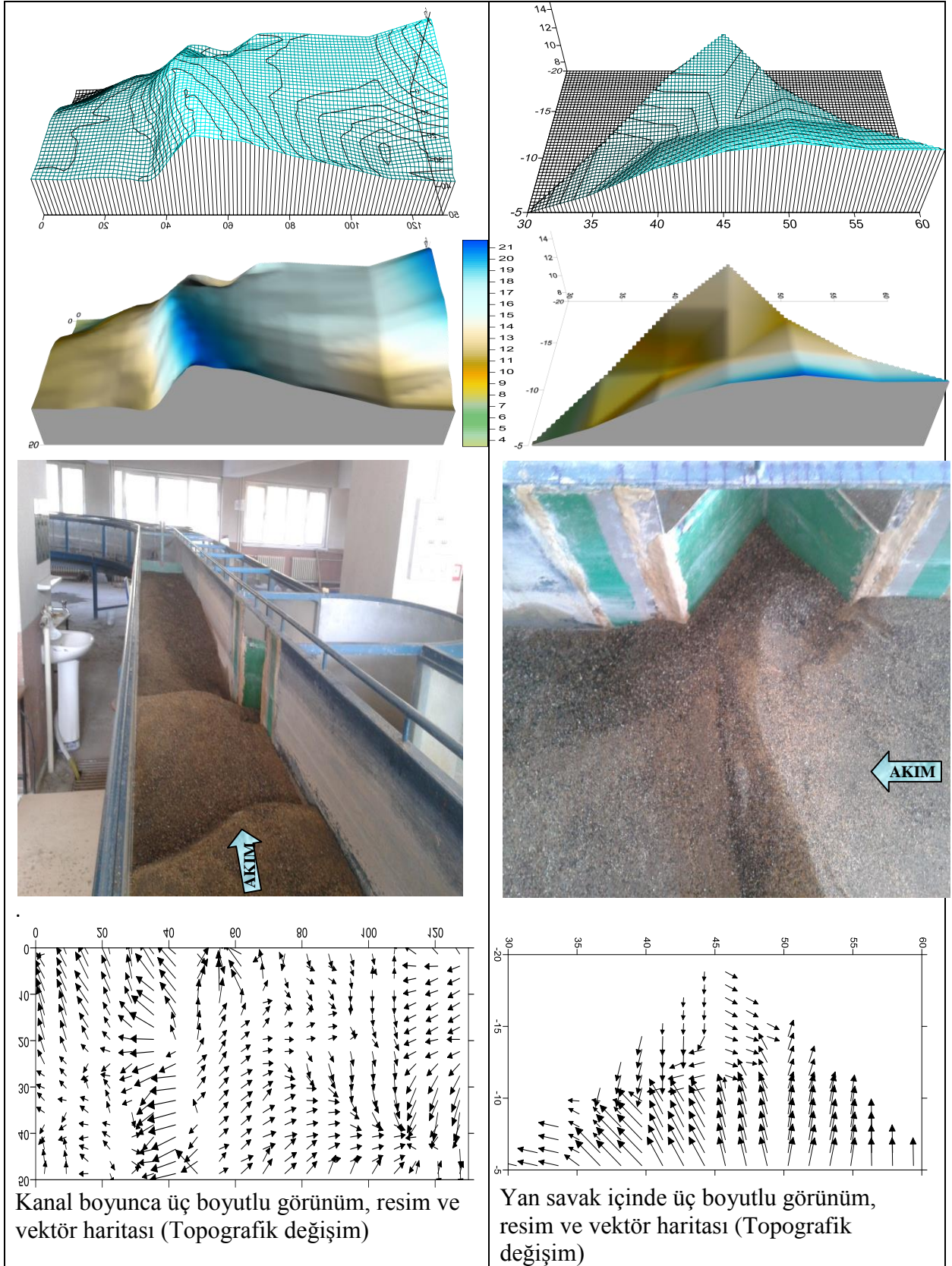
Şekil 6.38’de ana kanal ve savak içi batimetrisinin 3 boyutlu görünümü verilmiştir. Memba savaklanma kısmında tepe oluştuğu, mansap savaklanma kısmında ise oyulma oluştuğu görülmektedir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin 16.3 cm’ye kadar çıktığı belirlenmiştir. Batimetri ölçümleri ve çizilen haritalar, kanalın 130 cm’lik kısmını (yan savak bölgesi dâhil) kapsamaktadır. Ayrıca, çizilen vektör haritalarından okların yönüne bakıldığında, mansap savaklanma kısmında oyulmanın oluştuğu, memba savaklanma kısmında ise tepenin oluştuğu görülmektedir. İç kıyıdan dış kıyıya ulaşan bir eksen boyunca, oyulma oluştuğu gözlenmektedir.



Ana Kanaldan görünüm

Toplama Kanalından görünüm

Şekil 6.37. $L=40$ cm uzunluğunda $p=16$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.565$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.194$ akım şartlarına sahip deneyin eş yükselti eğrileri, kesitleri ve görünüşü



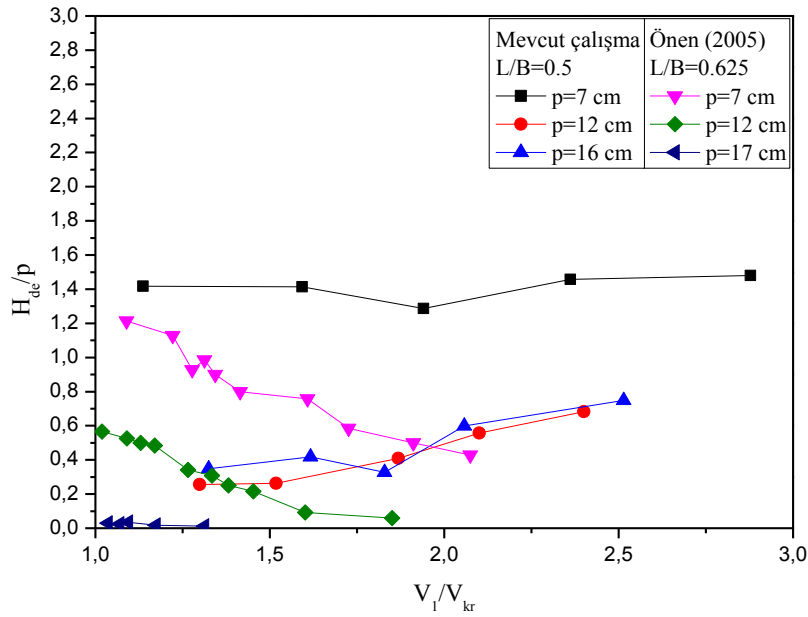
Şekil 6.38. $L=40$ cm açıklığında $p=16$ cm kret yüksekliğinde $V_1=0.565$ m/s ve $V_1/V_{kr}=1.194$ akım şartlarına sahip deneyde, ana kanalın ve yan savak içinin üç boyutlu görünümleri ve taban topografyasındaki değişimler (vektör haritaları)

6.6. Mevcut Çalışmanın Literatürdeki Çalışmalarla Karşılaştırılması

Önen (2005); dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda, $L=25, 40, 50$ cm savak açıklıklarında ve $p=7, 12, 17$ cm kret yüksekliklerindeki dikdörtgen enkesitli yan savaklar etrafındaki oyulma derinliğini hareketli taban durumu için incelemiştir. Önen (2005)'in deneylerinde kullandığı kuvars kumun özgül ağırlığı, $\gamma_s=2.65 \text{ g/cm}^3$ ve $\sigma_g=1.74$ olarak belirlenmiştir. Önen (2005)'in deneylerinde kullandığı kuvars kumun özellikleri, elde edilen granülometri eğrisinden $d_{50}=1.15$ mm, $d_{60}=1.28$ mm ve $d_{90}=1.86$ mm olarak okunmuştur. Önen (2005) tarafından yapılan doktora tez çalışması sonuçları ile mevcut çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, Dilek (2011)'in dikdörtgen enkesitli kohezyonlu malzeme tabanlı (kil+kum karışımı) doğrusal kanalda, $L=25$ ve 50 cm savak açıklıklarında ve $p=7$ ve 12 cm kret yüksekliklerindeki dikdörtgen enkesitli yan savaklar etrafındaki oyulma derinliğini incelediği yüksek lisans tez çalışmasında elde ettiği deney sonuçlarıyla mevcut çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır.

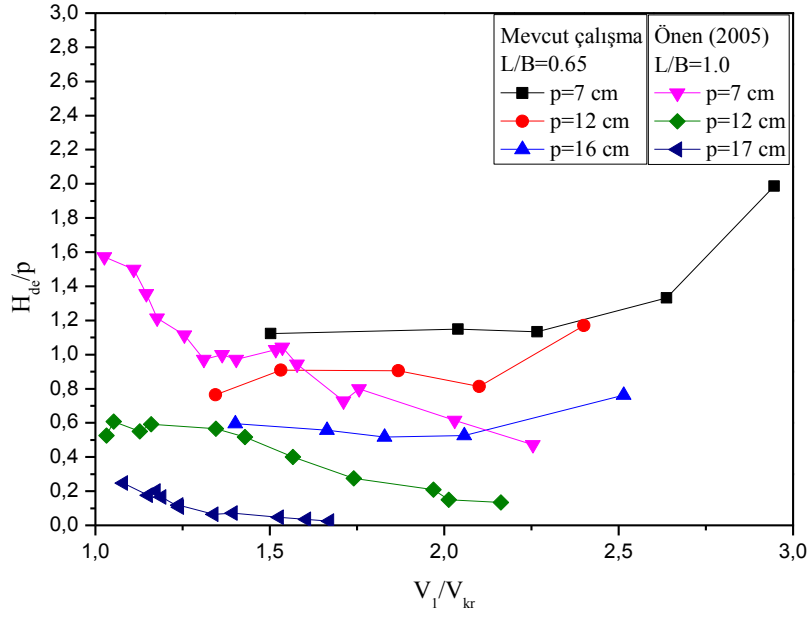
Önen (2005), hareketli taban hali için önce pilot deneylerle çeşitli akım şartları için sürüntü debileri belirlemiş, diğer deneylerde ana kanal membasından deney süresince belirlediği miktarda katı madde ilave etmiştir. Hareketli taban hali deneyleri, 15-90 dakika arasındaki sürelerde ve her deney için en az 4-5 taban dalgasının yan savaktan geçişine imkân sağlayacak şekilde sürdürülmüştür. Ayrıca, hareketli taban hali deneyleri oyulma çukurunu dolduran bir taban dalgasının etkisinin geçmesi ve bu noktada yeni bir taban dalgası gelip oyulma çukurunu doldurmadan kesilmiştir. Şekil 6.39'da bütün " V_1/V_{kr} " değerlerinde oyulma olduğu görülmektedir. Küçük kret yükseklikli yan savaklarda, her iki çalışmada da aynı " V_1/V_{kr} " değerine karşılık gelen oyulma derinliğinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre her iki çalışma da uyumludur. Genel olarak, " V_1/V_{kr} " değerinin artmasıyla ($V_1/V_{kr} \sim 2$ 'ye kadar) " H_{de}/p " değerinde azalma görülmektedir. Mevcut çalışmada yaklaşık olarak $V_1/V_{kr}=2$ 'den sonra H_{de}/p değerinde artış görülmektedir. Önen (2005) tarafından yapılan çalışmada $V_1/V_{kr}=2$ 'den daha büyük fazla veri olmadığından net bir yorum yapılamamıştır. $L/B=0.625$ ve $p=17$ cm'lik yan savak için Önen (2005) tarafından yapılan deneylerde, " V_1/V_{kr} " değerleri 1'e çok yakın olduğundan " H_{de}/p " değerlerinin de oldukça küçük olduğu görülmektedir. Genel olarak mevcut çalışmada elde edilen denge zamanındaki oyulma derinlikleri Önen (2005) tarafından yapılan çalışmada elde edilen derinliklerden daha fazladır. Bunun başlıca nedeni savak tipinin farklı olmasıdır. Üçgen labirent yan savakların deşarj kapasitelerinin klasik yan

savaklarınkinden 1.5-4.5 kat daha fazla olduğu Emiroğlu vd. (2010) tarafından belirtilmiştir. Labirent savaklarda yanal akım şiddeti de klasik savaklardan daha fazla olmaktadır. Bu nedenle labirent savak bölgesindeki yerel oyulma derinlikleri Önen (2005) tarafından çalışılan klasik yan savak bölgesindeki oyulma derinliklerinden daha fazla çıktığı Şekil 6.39-41’de görülmektedir.



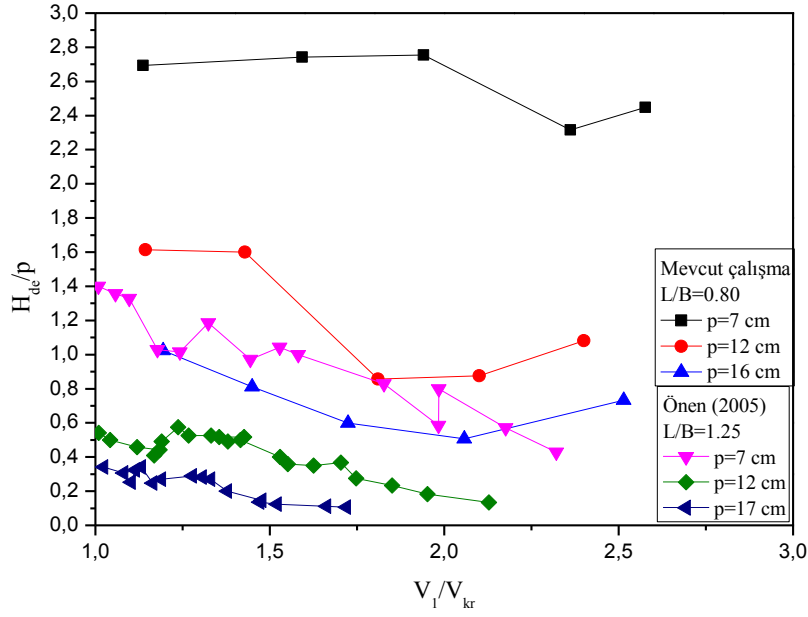
Şekil 6.39. L/B=0.50 ve 0.625 için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

Şekil 6.40’da, Şekil 6.39’a göre L/B oranlarının artışıyla “ H_{de}/p ” değerlerinin de arttığı görülmektedir. Kret yüksekliklerindeki artışla, oyulma derinliklerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.40. L/B=0.65 ve 1.0 için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

Şekil 6.41’de L/B=0.80 ve p=7 cm için büyük “ H_{de}/p ” değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Şekil 6.30-32 incelendiğinde, kret yüksekliklerinin ve “L/B” değerlerinin artışıyla “ H_{de}/p ” değerlerinin de arttığı görülmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada, Önen (2005) çalışmasındaki sonuçlara göre daha büyük “ H_{de}/p ” değerlerinin elde edildiği görülmektedir. İki çalışma arasındaki değerler arasındaki farklılık; savak tiplerinin farklı olmasından ve mevcut çalışmada V_1/V_{kr} değerlerinin daha büyük olmasıdır.



Şekil 6.41. L/B=0.80 ve 1.25 için H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

Tablo 6.2’de farklı yan savak açıklıkları, farklı kret yükseklikleri ve farklı Froude sayıları için mevcut çalışmadan ve Dilek (2011) çalışmasından elde edilen denge zamanındaki oyulma derinlikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan iki çalışma birbiri ile uyumludur. Örneğin küçük kret yüksekliklerinde her iki çalışmada da daha yüksek oyulma derinlikleri elde edilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen denge zamanındaki oyulma derinlikleri Dilek (2011) tarafından elde edilenlerden genellikle daha yüksektir. Bunun başlıca nedeni taban malzemesinin ve savak tipinin farklı olmasıdır. Dilek (2011) çalışmasını klasik yan savaklar için ve kohezyonlu tabanda yürütmüştür. Araştırmacının kullandığı kaolin kilinden oluşan doğrusal enkesitli kanalda yan savak etrafında daha küçük “ H_{de}/p ” değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Mevcut çalışma, her iki çalışmanın akım, savak ve taban malzemesi özellikleri ile boyutsuz değişkenler dikkate alınarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.2. Mevcut çalışma ile Dilek (2011) tarafından yapılan çalışmanın karşılaştırılması

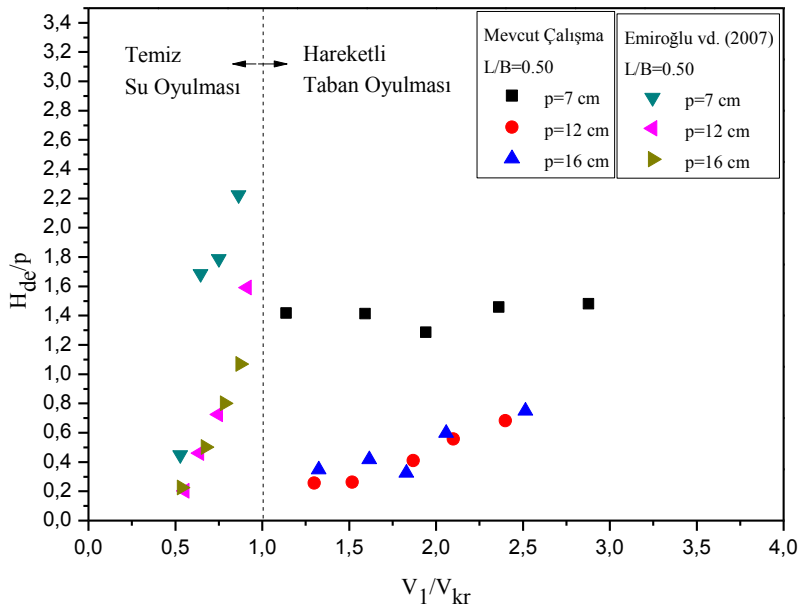
p (cm)		L (cm)		Fr (-)		H _{de} (mm)		Deney Süresi (saat)		Taban Malzemesi	
Mevcut çalışma	Dilek (2011)	Mevcut çalışma	Dilek (2011)	Mevcut çalışma	Dilek (2011)	Mevcut çalışma	Dilek (2011)	Mevcut çalışma	Dilek (2011)	Mevcut çalışma	Dilek (2011)
7	7	25	25	1.212	0.81	103.59	104.40	7	2.5	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	25	25	0.963	0.72	102.01	98.00	10	2	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	25	25	0.768	0.55	90.08	105.27	10	6	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	25	25	0.613	0.425	98.92	59.17	15	7	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	25	25	0.427	0.35	99.21	80.92	14	16	Kuvars kumu	Kaolin kili
12	12	25	25	0.455	0.33	30.80	Oyulma yok	13	10	Kuvars kumu	Kaolin kili
12	12	25	25	0.894	0.8	81.89	47.62	5	9	Kuvars kumu	Kaolin kili
12	12	25	25	0.680	0.56	49.04	41.67	13	9	Kuvars kumu	Kaolin kili
12	12	25	25	0.769	0.72	66.90	43.85	11	8	Kuvars kumu	Kaolin kili
12	12	25	25	0.549	0.42	31.56	Oyulma yok	14	10	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	40	50	0.768	0.71	192.85	86.22	7	14	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	40	50	0.613	0.54	191.93	81.20	4	17	Kuvars kumu	Kaolin kili
7	7	40	50	0.427	0.45	188.60	60.68	12	16	Kuvars kumu	%45kum %20 su
7	7	40	50	0.963	0.81	162.08	76.58	9	16	Kuvars kumu	%45kum %20 su

Tablo 6.3. Mevcut çalışmanın özelliklerinin ve sonuçlarının literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması

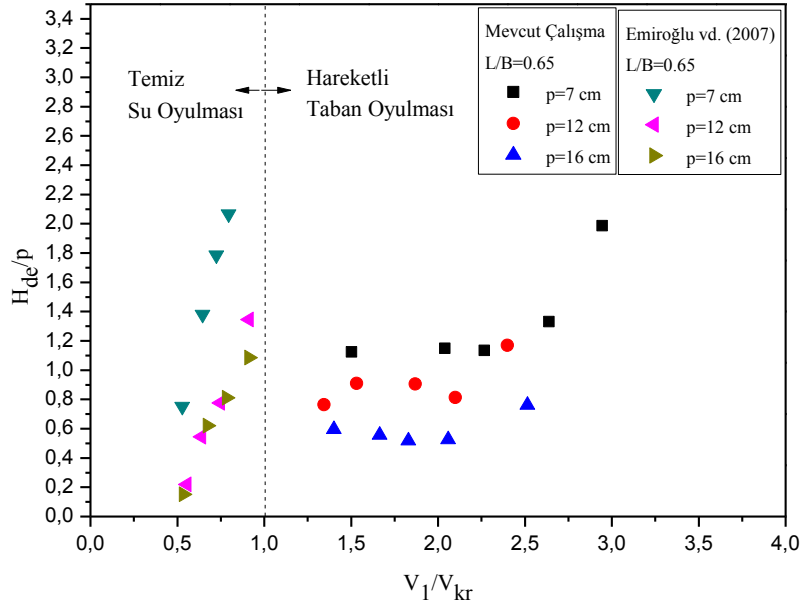
Araştırmacılar	Mevcut Çalışma	Dilek (2011)	Önen (2005)
Savak tipi	Üçgen labirent yan savak	Dikdörtgen yan savak	Dikdörtgen yan savak
Taban Malzemesi	Taban malzemesi olarak kuvars kumu kullanılmıştır.	Taban malzemesi olarak kohezyonlu malzeme (Kaolin kili) kullanılmıştır.	Taban malzemesi olarak kuvars kumu kullanılmıştır.
Savak ve akım özellikleri	Deneyle, kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda, L=25, 32.5 ve 40 cm açıklıklı, p=7,12 ve 16 cm kret yükseklikli yan savaklarda hareketli taban oyulması hali için yapılmıştır.	Deneyle, nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında L=25 cm açıklıklı ve p=7 ve 12 cm kret yükseklikli yan savaklarda temiz su oyulması hali için yapılmıştır.	Deneyle, 180°'lik kıvrımlı bir kanal boyunca, kararlı akım şartları ve serbest savaklanma durumu göz önünde tutularak, L=25, 40, 50 cm açıklıklı, kum tabandan itibaren p=7, 12, 17 cm kret yükseklikli yan savaklarda, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması halleri için yapılmıştır.
Çalışma konusu	Dikdörtgen enkesitli doğrusal bir kanalda, üçgen labirent yan savak civarındaki taban topografyasının değişimi hareketli taban durumu için incelenmiştir.	Dikdörtgen enkesitli doğrusal bir kanalda dikdörtgen yan savak civarındaki oyulma derinliği incelenmiştir.	Dikdörtgen enkesitli doğrusal ve kıvrımlı bir kanalda dikdörtgen yan savak civarındaki oyulma derinliği incelenmiştir.
Dikkate alınan boyutsuz değişkenler	Boyut analizi sonucunda, boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğine etki eden boyutsuz parametreler; $H_{de}/p = f(V_1/V_{kr}, y_1/p, L/B, \theta)$ olarak belirlenmiştir.	Boyut analizi sonucunda, boyutsuz denge oyulma derinliğini etki eden parametreler, $H_{de}/y_1 = f(Fr, C, W_c, L/B, \tau_s/(\rho \cdot g \cdot y_1))$ olarak belirlenmiştir.	Boyut analizi sonucunda, boyutsuz denge oyulma derinliğine etki eden parametreler, $H_d/p = f(V_1/V_{kr}, y_1/p, L/B, \alpha)$ olarak belirlenmiştir.
Bulgular	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda hareketli tabanlı akım durumunda, boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğine ulaşma süresinin, akım şiddetine (V_1/V_{kr}) ve boyutsuz yan savak kret yüksekliğine (y_1/p) doğrudan bağlı olduğu tespit edilmiştir. Oyulma çukurunun maksimum değere ulaşma süresi, yan savak kret yüksekliğinin artması ile azalırken, " V_1/V_{kr} " değerinin artmasıyla da maksimum değere ulaşma süresi artmaktadır. Akım şiddetinin (V_1/V_{kr})	Temiz su oyulması halinde, oyulmanın dengeye ulaşma süresi yan savak kret yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Yan savak kret yüksekliği azaldıkça, oyulmanın dengeye ulaşma süresi artmaktadır. Daha düşük yan savak kret yüksekliğine sahip doğrusal kanallarda boyutsuz oyulma derinliğinin yaklaşık	Hem doğrusal kanalda hem de kıvrımlı kanalda, temiz su oyulması halinde oyulma derinliğinin dengeye ulaşma süresi, " V_1/V_{kr} " değerine ve yan savak kret yüksekliğine bağlıdır. Dengeye ulaşma süresi, V_1/V_{kr} 'deki artış ve yan savak kret yüksekliğindeki azalma ile büyümektedir. Hem doğrusal hem de kıvrımlı kanalda " h_1/p " ve " V_1/V_{kr} " değerlerine bağlı olarak oyulma derinliğinin, denge zamanının %10'unda denge

	<p>artmasıyla, boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliği (H_d/p) de daha büyük değerlere ulaşmıştır. Yanal akımın fazla olması, oyulma derinliğinin büyümesine neden olmuştur. Böylece, büyük açıklıklı yan savaklarda (boyutsuz yan savak uzunluğunun (L/B) daha büyük değerlerinde) ve küçük kret yükseklikli yan savaklarda ("p/B" oranının küçük değerlerinde), daha büyük oyulma derinliklerine ulaşılmıştır. Boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğinin (H_d/p), akım şiddetindeki (V_1/V_{kr}) artışla pik değer etrafında salınım gösterdiği tespit edilmiştir. "V_1/V_{kr}" değerinin artışıyla tabanda dalgacıklar ve eşikler oluştuğu gözlenmiştir. Denge zamanındaki oyulma derinliğinin, pik değer etrafında salınım gösterdiği belirlenmiştir. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda hareketli tabanlı akım durumunda, tabanda oluşan oyulma şeklinin akım şiddetine (V_1/V_{kr}) ve boyutsuz yan savak kret yüksekliğine (y_1/p) doğrudan bağlı olduğu tespit edilmiştir. Yan savak kret yüksekliği 7 cm iken tabandaki oyulmanın şekli, oluşan vortekslerden dolayı dairesel kesitli oluşurken, yan savak kret yüksekliği 12 ve 16 cm'ye çıktığında, oyulmanın elips şeklinde oluştuğu gözlenmiştir. Oyulma çukurunun yerinin, yan savak civarında ve mansap ucu yakınlarında oluştuğu belirlenmiştir. "V_1/V_{kr}" değerlerinin artmasıyla, oyulma çukurunun yerinin üçgen labirent yan savağın mansap ucundan mansaba doğru kaydığı gözlenmiştir.</p>	<p>%60-70'i, boyutsuz zamanın (t/t_c) 0.2-0.8 aralığında meydana geldiği görülürken, yan savak kret yüksekliği arttıkça boyutsuz oyulma derinliğinin 0.3-0.55 aralığında oluştuğu tespit edilmiştir. Akım şartları aynı olduğu sürece kohezyonlu malzeme tabanlı kanal üzerindeki yan savak kret yüksekliği azaldıkça tabandaki oyulmanın daha erken başladığı, yan savak kret yüksekliği arttığı zaman ise tabandaki oyulmanın daha geç başladığı görülmüştür. Küçük "Fr" sayılarında oyulmanın daha geç başladığı, oyulma hızının daha yavaş olduğu ve oyulmanın denge derinliğine ulaşma süresinin çok daha uzun olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, oyulmaya başlama süresi "Fr" sayısı ile doğru orantılı olarak artmıştır.</p>	<p>oyulma derinliğinin %40-70 civarına ulaştığı ve denge zamanının %50'sinde ise denge oyulma derinliğinin %90-95'ine ulaştığı gözlenmiştir. Hareketli taban oyulması halinde ($V_1/V_{kr}>1$), daha büyük bir eşik oluşmuş ve taban dalgalarının oyulma çukurunu bir miktar doldurmasıyla oyulma derinliği azalmıştır. Hareketli taban oyulmasında kanal tabanının dalgacık formundan eşik formuna geçişte, taban pürüzlülüğünün değişmesi sonucu akım şiddetinin (V_1/V_{kr}) 1.1-1.3 civarındaki değerleri için oyulma derinliklerinde saçılımlar görülmüştür. Ayrıca hareketli taban oyulması halinde taban dalgası tepesi veya çukurunun geliş durumuna göre, boyutsuz yan savak kret yüksekliğinin (y_1/p) değişmesi sonucunda daha fazla saçılım gözlenmiştir. Hareketli taban oyulması halinde, taban dalgası tepesi veya çukurunun geliş durumuna göre, boyutsuz yan savak kret yüksekliğinin (y_1/p) değişmesi sonucunda daha fazla saçılım gözlenmiştir. Daimi sürüntü maddesi oyulmasında; doğrusal kanallarda "V_1/V_{kr}" değerinin artmasıyla "H_d/p" değerinin azaldığı tespit edilmiştir.</p>
--	--	---	---

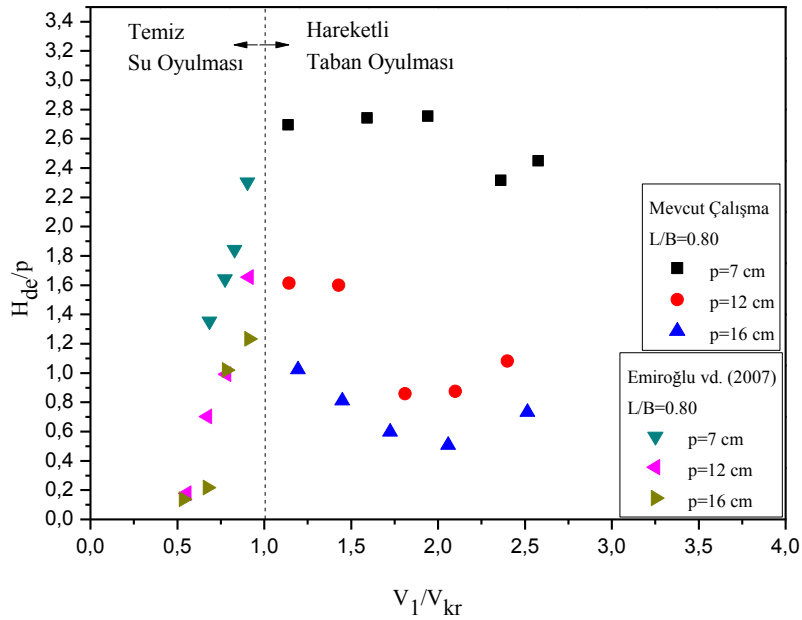
Emiroğlu vd., (2007) 104M394 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında yapmış oldukları çalışmada, nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında serbest savaklanma durumları için, dikdörtgen enkesitli doğrusal ve kıvrımlı bir kanalda üçgen labirent yan savak civarındaki oyulma derinliğini incelemiştir. Deneylede, $L=25, 32.5, 40$ cm savak açıklıklı ve $p=7, 12, 16$ cm kret yükseklikli üçgen labirent yan savaklar kullanılmıştır. Emiroğlu vd. (2007), deneylerde taban malzemesi olarak özgül ağırlığı $\gamma_s=2.65 \text{ g/cm}^3$ olan kuvars kumunu kullanmışlardır. Şekil 6.42-44'te hareketli taban oyulmasının incelendiği mevcut çalışmadan ve temiz su oyulmasının incelendiği Emiroğlu vd. (2007) çalışmasından elde edilen H_{de}/p ile V_1/V_{kr} arasındaki değişimler karşılaştırılmaktadır. Şekil 6.42-44'te, $V_1/V_{kr}<0.50$ değerlerinde oyulma olmadığı görülmektedir. Küçük kret yükseklikli yan savaklarda, temiz su oyulması daha küçük " V_1/V_{kr} " değerlerinde başlamaktadır. Farklı kret yükseklikli ve farklı açıklıklı yan savaklar için yapılan deneylerde, temiz su oyulması hali için " H_{de}/p " değeri " V_1/V_{kr} " ile doğrusal bir artış göstermekte ve $V_1/V_{kr}=0.95-1.0$ arasında maksimum denge oyulma derinliğine ulaşmaktadır. Bu durum, Hancu (1971) tarafından köprü ayakları ile ilgili oyulmaya sebep olan hız sınıflandırmasına uymaktadır. Hancu (1971), $0.5<V_1/V_{kr}<1.0$ için temiz su oyulması, $V_1/V_{kr}\geq 1.0$ için ise hareketli taban oyulması olduğunu ifade etmiştir. Hem temiz su oyulmasında, hem de hareketli taban oyulmasında küçük kret yükseklikli yan savaklarda, daha büyük H_{de}/p değerlerine ulaşıldığı Şekil 6.42-44'ten görülmektedir.



Şekil 6.42. $L/B=0.50$ için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi



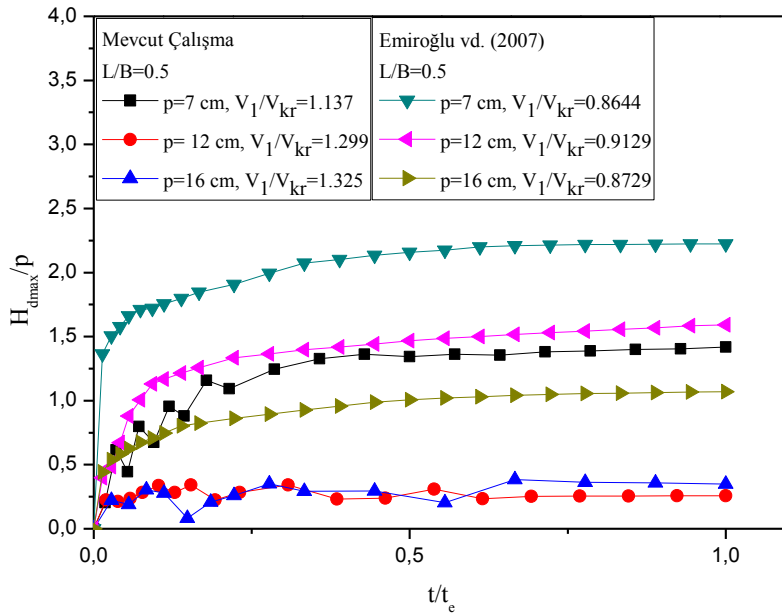
Şekil 6.43. L/B=0.65 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi



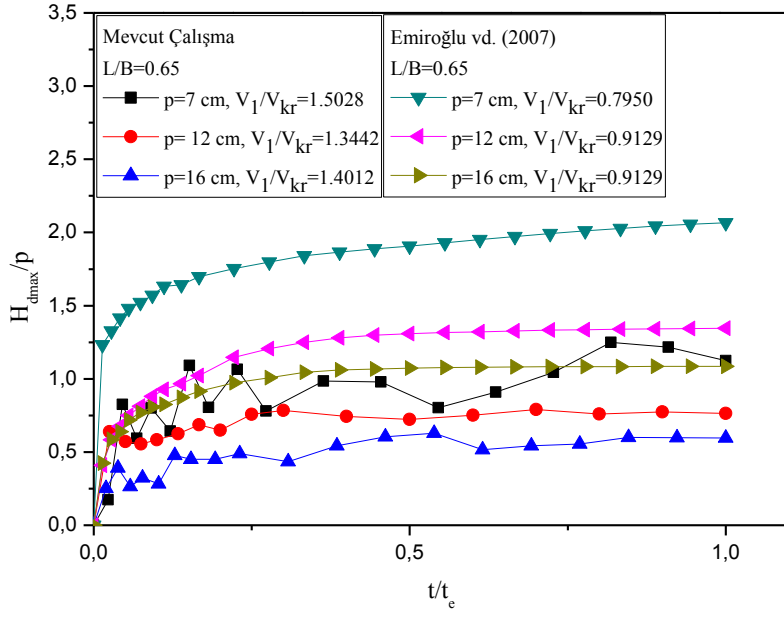
Şekil 6.44. L/B=0.80 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında H_{de}/p ile V_1/V_{kr} değişimi

Şekil 6.45-47'de hareketli taban oyulmasının incelendiği mevcut çalışmadan ve temiz su oyulmasının incelendiği Emiroğlu vd. (2007) çalışmasından elde edilen H_{dmax}/p ile t/t_e

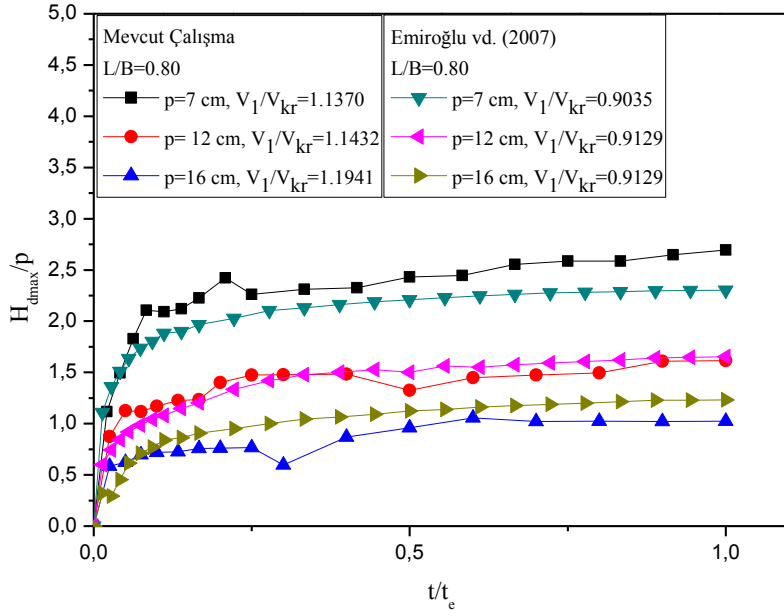
arasındaki değişim karşılaştırılmaktadır. Önen (2005) de, mevcut çalışma ile benzer eğilimde sonuçlar elde etmiştir. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda üçgen labirent yan savak etrafındaki boyutsuz denge oyulma derinliği, temiz su oyulması halinde akım şiddetindeki artışla doğrusal olarak artmakta ve V_1/V_{kr} 'in 0.95 ile 1.0 arasındaki değerleri için maksimum denge oyulma derinliğine ulaşmaktadır. $V_1/V_{kr} \geq 0.95-1.0$ için, yan savak membasındaki hız “ V_{kr} ” hızından büyük olduğundan daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulması görülmektedir. Daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulmasında; membadan gelen taban dalgalarının oyulma çukurunu doldurması, yan savak mansabında boyuna akım doğrultusundaki kinetik enerjinin artması, yanal akım doğrultusundaki sekonder akımın şiddetinin azalması ve yan savak mansabındaki sekonder akım yapısının bozulmasıyla, “ V_1/V_{kr} ” arttıkça “ H_{de}/p ” değerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, hareketli taban oyulmasında, temiz su oyulmasına nazaran daha küçük “ H_{de}/p ” değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Melville ve Chiew (1999), temiz su oyulmasının akım hızı ile hızla artarak denge zamanına ulaştığını, hareketli taban oyulmasında ise oyulmanın, hızdaki artışla azaldığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, hareketli taban oyulmasında denge oyulma derinliğine; kısa sürede ulaşıldığı, temiz su oyulmasında ise çok daha uzun bir sürede ulaşıldığı bilinmektedir. Şekil 6.45-47’de, deney süreleri aynı değildir. Her bir deney için, kendi maksimum dengeye ulaşma süresi dikkate alınarak “ t/t_e ” değerleri belirlenmiştir.



Şekil 6.45. L/B=0.50 için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında H_{dmax}/p ile t/t_e değişimi



Şekil 6.46. $L/B=0.65$ için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında H_{dmax}/p ile t/t_e değişimi



Şekil 6.47. $L/B=0.80$ için, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması durumlarında H_{dmax}/p ile t/t_e değişimi

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Hareketli tabanlı dikdörtgen enkesitli doğrusal bir kanal boyunca, kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda, $L=25, 32.5$ ve 40 cm açıklıklı, kum tabandan itibaren $p=7, 12$ ve 16 cm kret yükseklikli labirent yan savaklarda hareketli taban oyulması hallerinde, yan savak civarında ve ana kanal tabanında meydana gelen topografik değişimler ve boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliklerinin incelendiği bu çalışmadan, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Dikdörtgen enkesitli ve hareketli tabanlı doğrusal bir kanalda, üçgen labirent yan savak civarında oluşan boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğine etki eden parametreler, boyut analizi ile belirlenmiş ve boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğinin, $H_{de}/p = f(V_1/V_{kr}, y_1/p, L/B, \theta, t/t_e)$ boyutsuzlarına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.
2. Akım şiddetinin (V_1/V_k), 1.0 ile 3.0 arasındaki değerleri için yapılan deneylerde, deneyin başlatılmasından kısa bir süre sonra oyulma derinliğinin belirginleştiği ve akım şiddetinin artmasıyla bu sürenin kısaldığı gözlenmiştir.
3. Akım şiddetinin (V_1/V_k), 1.0 ile 1.5 arasındaki değerleri için genellikle, tabanda dalgacıklar (ripple) oluşumu gözlenirken, 1.5 ile 2.5 arasındaki değerlerde daha çok eşikler (dune) oluştuğu gözlenmiştir.
4. Kanal tabanının dalgacık formundan eşik formuna geçişte, taban pürüzlülüğünün değişmesiyle oyulma derinliklerinde saçılımlar görülmüştür.
5. Oyulma çukurunun maksimum değere ulaşma süresi, yan savak kret yüksekliğinin artması ile azalırken, büyük " V_1/V_{kr} " değerlerinde maksimum değere ulaşma süresi artmaktadır.
6. Oyulma çukurunun yerinin, yan savak civarında ve mansap ucu yakınlarında oluştuğu belirlenmiştir. " V_1/V_{kr} " değerlerinin artmasıyla, oyulma çukurunun yerinin üçgen labirent yan savağın mansap ucundan mansaba doğru kaydığı gözlenmiştir.
7. Akım şiddetinin (V_1/V_k) büyük değerlerinde, boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliği (H_{de}/p) de daha büyük değerlere ulaşmıştır.

8. Yanal akımın fazla olması, oyulma derinliğinin büyümesine neden olmuştur. Böylece, büyük açıklıklı yan savaklarda (boyutsuz yan savak uzunluğunun (L/B) daha büyük değerlerinde), daha büyük oyulma derinliklerine ulaşıldığı tespit edilmiştir.
9. Küçük kret yükseklikli yan savaklarda (" p/B " oranının küçük değerlerinde), daha büyük oyulma derinliklerine ulaşılmıştır.
10. Akım şartları aynı olduğu sürece, yan savak kret yüksekliği azaldıkça tabandaki oyulmanın daha erken başladığı, yan savak kret yüksekliği arttıkça tabandaki oyulmanın daha geç başladığı görülmüştür.
11. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda üçgen labirent yan savak etrafındaki boyutsuz denge oyulma derinliği (H_{de}/p), temiz su oyulması halinde akım şiddetindeki (V_1/V_{kr}) artışla doğrusal olarak artmakta ve V_1/V_{kr} 'in 0.95 ile 1.0 arasındaki değerleri için maksimum denge oyulma derinliğine ulaşmaktadır. Hareketli taban oyulması durumu ($V_1/V_{kr} \geq 0.95-1.0$) için, yan savak membasındaki hız " V_{kr} " hızından büyük olduğundan daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulması görülmektedir. Daimi sürüntü maddesi taşınımı oyulmasında, " V_1/V_{kr} " değeri arttıkça " H_{de}/p " değerinin azaldığı belirlenmiştir.
12. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda hareketli tabanlı akım durumunda, tabanda oluşan oyulma şeklinin akım şiddetine (V_1/V_{kr}) ve boyutsuz yan savak kret yüksekliğine (y_1/p) doğrudan bağlı olduğu tespit edilmiştir.
13. Yan savak kret yüksekliği 7 cm iken tabandaki oyulmanın şekli, oluşan vortekslerden dolayı dairesel kesitli oluşurken, yan savak kret yüksekliği 12 ve 16 cm'ye çıktığında, oyulmanın elips şeklinde olduğu gözlenmiştir.
14. Boyutsuz denge zamanındaki oyulma derinliğinin (H_{de}/p), akım şiddetindeki (V_1/V_{kr}) artışla pik değer etrafında salınım gösterdiği tespit edilmiştir.

7.2. Öneriler

- Farklı labirent yan savak tipleri (trapez, dairesel) için bu çalışma yapılabilir.
- Farklı üçgen labirent yan savak tepe açıları için yapılabilir.
- V_1/V_{kr} 'in daha büyük değerleri için yapılabilir.
- Bu çalışma kıvrımlı kanal boyunca yürütülebilir.
- Bu çalışma vorteks önleyici kullanılarak, oluşturacağı etki araştırılabilir.
- Oyulma koruyucu yapılar (riprap vb.) kullanılarak, ilave deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Bagnold, R.A.**, 1956. The flow of cohesion less grains in liquids, *Phil, Trans., Royal Society of London*, Vol. 249.
- Baker, C.J.**, 1980. Theoretical approach to prediction of local scour around bridge piers, *J. of Hydraulic Research*, V.18(1), 1-12.
- Bayazit, M.**, 1971. Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bonefille, R.**, 1963. Essais de Synthèse des Lois de Debut d'Entrainement des Sediment Sous l'Action d'un Courant En Rejime Uniforme, *Bull. Du CREC*, No:5, Chatou.
- Borghesi M., Jalili MR. and Ghodsian M.**, 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1051-1056.
- Chabert, J. and Chauvin, J.L.**, 1963. Formation des dunes et des rides dans les modeles fluviaux, *Bull. du Centre de Recherché et d'Essais de Chatou*, No.4.
- Cheong HF.**, 1991. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, **117**(4), 321-333.
- Chien, Ning, and Zhaohun Wan.**, 1999. Mechanics of sediment transport, *ASCE*.
- Chow, V. T.**, 1959. Open Channel Hydraulic, Mc Graw Hill, 16:439-460.
- De Marchi G.**, 1934. Saggio di teoria de funzionamento delgi starmazzi laterali, *L'Energia Elettrica, Milano*, 11, 849-860.
- Dilek, Y.**, 2011. Kohezyonlu malzeme tabanlı akarsulara yerleştirilen yan savak etrafındaki oyulma derinliğinin deneysel incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 86s.
- El-Khashab Amm.**, 1975. Hydraulic of flow over side weirs, *PhD Thesis*, Presented to the University of Southampton, England.
- Emiroğlu, M. E., Kaya, N. ve Öztürk, M.**, 2007. Labirent yan savaklardaki akımın ve su alma bölgesindeki oyulmanın kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi, *TÜBİTAK Proje No: 104M394*.
- Emiroğlu, M. E., Kaya, N. ve Doğan, Y.**, 2010. Savaklarda kret şeklinin debi katsayısına etkisi, *DSİ Teknik Bülteni*, 108(Temmuz), 57-70.

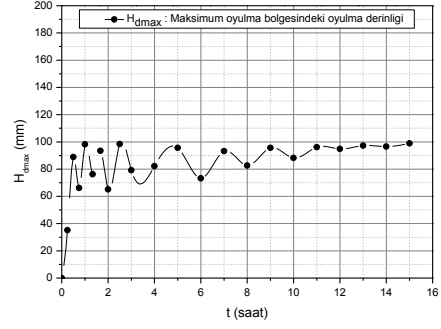
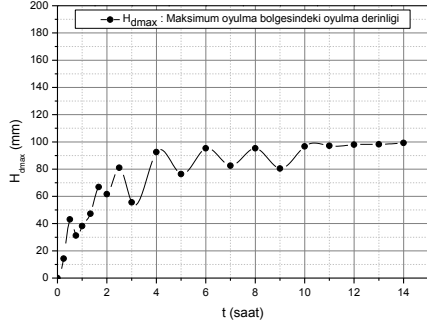
- Emiroğlu, M. E., Ağaçoğlu, H. and Kaya, N.,** 2011. Discharging capacity of rectangular side weir in straight open channels, *Flow Measurement and Instrumentation*, 22, 319-330.
- Exner, F. M.,** 1925. Über die Wechselwirkung zwischen Wasser und Geschiebe in Flusses, Sitz. Akad, Wiss, *Wien*, 134A.
- French, R. H.,** 1986. Open-Channel Hydraulics, *McGraw-Hill Book Company*, Singapore.
- Fortier, S. and Scobey, F. C.,** 1926. Permissible canal velocities, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 89.1 940-956.
- Goncharov, N. V.,** 1964. Dynamics of Channel Flow, Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem.
- Gourley, H. J. F. and Crimp, B. S.,** 1915. The flow of water over sharp-edged notches and weirs (Including Appendix), *Minutes of the Proceedings*, Volume 200, Issue 1915, pp. 388-408.
- Güngör, M.,** 1997. Akarsu kıvrımlarına yerleştirilen köprü kenar ayakları etrafında meydana gelen yerel oyulma derinliğinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hager W.H.,** 1987. Lateral outflow over side weirs, *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(4): 491-504; 115(5): 684-688.
- Hancu, S.,** 1971. Sur le calcul des affouillements locaux dans la zone des piles des ponts, *Proceedings of the 14th IAHR Congress*, Paris, France. Vol. 3.
- Henderson, F. M.,** 1966. Open Channel Flow, *Macmillan Co.*, New York.
- Jalili, M. R. and Borghei, S. M.,** 1996. Discussion of discharge coefficient of rectangular side weirs by R. Singh, D. Manivannan, and T. Satyanarayana, *J. Irrig. and Drainage Engr., ASCE*, 122(2), 132.
- Jiwani, R. and Lucas, S.,** 2002. Methods of flow measurement for water and wastewater, 3rd Edition, *NIVUS GmbH, Im Tale 2, D' 75031, Eppingen*, www.nivus.de.
- Kindsvater, C. E. and Carter, R. W.,** 1957. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs, *J. Hydraulics Div.*, Vol. 83, No. HY6, Paper No. 1453, pp. 1-36.
- Kothyari, U. C., Hager, W. H. and Oliveto, G.,** 2007. Generalized approach for clear-water scour at bridge foundations elements, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133(11).
- Liu, H.K.,** 1957. Mechanics of sediment ripple formation, *Jour. Hyd. Div., ASCE*.

- Melville, B.W.**, 1984. Live-bed scour at bridge piers, *J. of Hydraulic Engineering*, Sept., V.110(9), 1234-1247.
- Melville, B.W. and Sutherland, A.J.**, 1988. Design method for local scour at bridge piers, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 114(10).
- Melville, B. W. and Chiew, Y. M.**, 1999. Time scale for local scour at bridge piers, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(1), 59-65.
- Nandesamoorthy, T. and Thomson, A.**, 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir, *J. Hydraulic Engineering, ASCE*, 98(12), 2234-2235.
- Novak P. and Cabelka J.**, 1981. Models in Hydraulic Engineering, Pitman Publishing Limited, London.
- Oliveto, G. and Hager, W. H.**, 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128(9), 811–820.
- Önen, F.**, 2005. Hareketli tabanlı akarsularda yanal akımın hidrodinamiğinin incelenmesi, *Doktora tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 174s.
- Özbek, T.**, 2009. Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Ranga Raju KG., Prasad B. and Grupta SK.**, 1979. Side weir in rectangular channels, *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 105(HY5), 547-554.
- Raudkivi, A.J.**, 1963. Study of sediment ripple formation, *Jour. Hyd. Div., ASCE*.
- Raudkivi, A. J.**, 1986. Functional trends of scour at bridge piers, *Journal of hydraulic engineering*, 112.1 (1986): 1-13.
- Rehbock, T.**, 1929. Discussion of precise measurements, *by K. B. Turner. Trans., ASCE*, 93, 1143-1162.
- Richardson, E. V. and Davis, S. R.**, 1995. Evaluating scour at bridges (3rd ed.) (6.1-6.6), *Hydr. Engrg. Circular*, No. 18 (HEC-18), Rep. No. FHWA-IP-90-017, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Shen, H. W., Schneider, V.R. and Karaki, S. S.**, 1969. ‘Local scour around bridge piers, *J. Hydr. Division*, Vol. 95, No. HY6, 1919-1940.
- Sheppard, D. M.**, 2003. Large-scale and live-bed local pier scour experiments, *Coastal engineering Technical Rep.No:133*, Civil and Coastal Engineering Dept., Univ. Of Florida, Gainesville, Fla.
- Shields, A.**, 1936. Adwendund der Aehnlichkeitsmechanich und Turbulenz Forshung Auf Die Geschiebebowegung, Berlin.

- Singh R., Manivannan D. and Satyanarayana T.,** 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 120(4), 814-819.
- Streeter, V. L. and Wylie, E. B.,** 1983. Fluid Mechanics, McGraw-Hill, Singapore.
- Subramanya K. and Awasthy SC.,** 1972. Spatially varied flow over side weirs, *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 98(HY1), 1-10.
- Sümer, M., Ünsal, İ. ve Bayazıt, M.,** 2007. Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Swamee PK., Pathak SK., Mohan M., Agrawal SK. and Masoud SA.,** 1994. Subcritical flow over rectangular side weir, *ASCE*, 120(1), 212-217.
- Şişman, H. Ç., Altan-Sakarya A. B. ve Aydın, İ.,** 2009. Dikdörtgen Kesitli Keskin Kenarlı Savaklarla Debi Ölçümü, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, İstanbul, 27-35.
- Tison, L.J.,** 1949. Origine des Ondes de sable et des bancs de Sable sous L'Action des Courants, *3rd Meeting of IAHR*.
- Tokyay, N. D. ve Turhan, Z. G.,** 2009. Küçük Savak Yükseklikleri için Dikdörtgen Keskin Kenarlı Savaklarda Debi Katsayısı, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 06-10, İstanbul, 71-76.
- Tsujimoto, T. and Mizukami T.,** 1985. Effect of migration to local scour around a bridge pier, *Memoirs, Faculty of Tecnology, Kazanawa University*, 19(1): 23-34.
- Tullis, J.P., Amanian, N. and Waldron, D.,** 1995. Design of labyrinth spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No.3., pp. 247-255.
- USBR.,** 2001. Water measurement manual, *3rd Edition*, Water Resources Research Laboratory, Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior.
- Üç, S.,** 1979. Akarsu kıvrımlarındaki köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulmalar, *Doçentlik Tezi, İ.D.M.M.A., İstanbul*.
- Üç, S.,** 1988. Vorteks yayılma frekansının oyulma derinliğine etkisi, *Doktora Tezi, YTÜ. İstanbul*.
- Yahn, M.S.,** 1964. Geometrical properties of sand waves, *Jour. Hyd. Div., ASCE*.
- Yanmaz, A. M., and Altınbilek, H. D.,** 1991. Study of time –dependent local scour around bridge piers, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 117(10), 1247-1267.
- Yanmaz, A.M.,** 2002. Köprü Hidroliği (1.Baskı), Özkan Matbaası, Ankara:.
- Yu-Tech, L.,** 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir, *Journal Hydraulic Engineering, ASCE*, 98(11), 2046-2048.

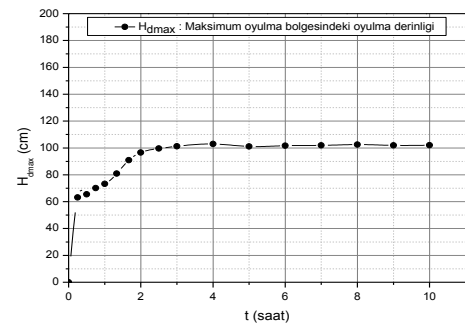
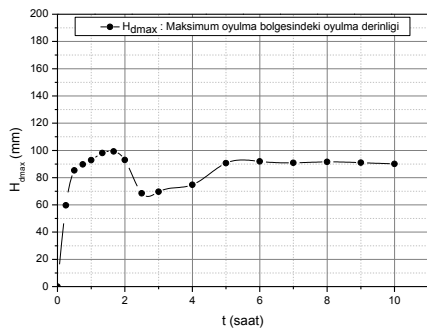
EKLER

Ek-1 DeneYlerin OYulma Derinliği-Zaman Grafikleri ve Akım Özellikleri



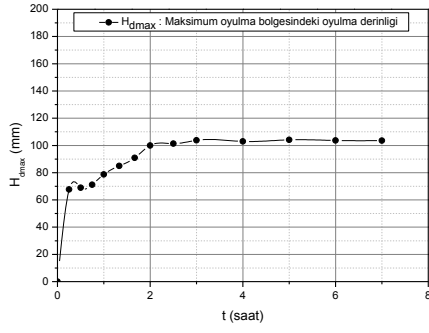
Deney No	1
Debi	0.035 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	1.137
Fr sayısı	0.426
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	25 cm

Deney No	2
Debi	0.045 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	1.592
Fr sayısı	0.613
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	25 cm

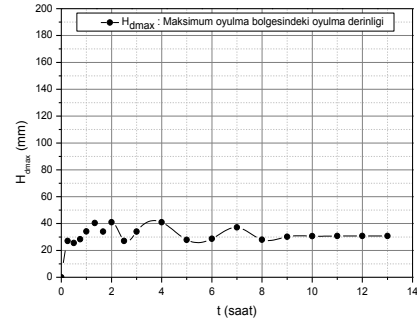


Deney No	3
Debi	0.05 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	1.941
Fr sayısı	0.768
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	25 cm

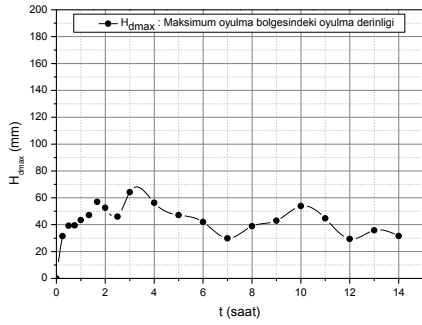
Deney No	4
Debi	0.055 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	2.362
Fr sayısı	0.9626
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	25 cm



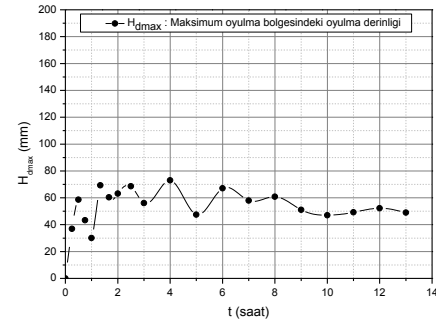
Deney No	5
Debi	0.06 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.878
Fr sayısı	1.212
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	25 cm



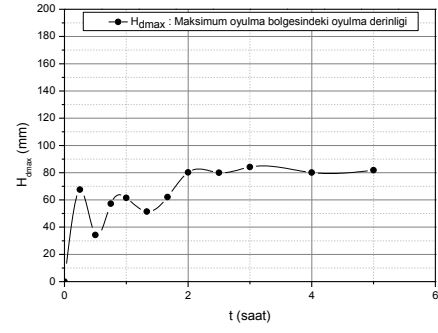
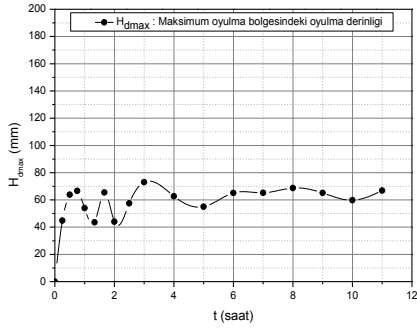
Deney No	6
Debi	0.05 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.299
Fr sayısı	0.455
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	25 cm



Deney No	7
Debi	0.055 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.518
Fr sayısı	0.5488
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	25 cm

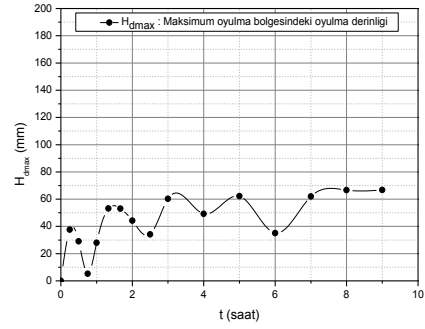
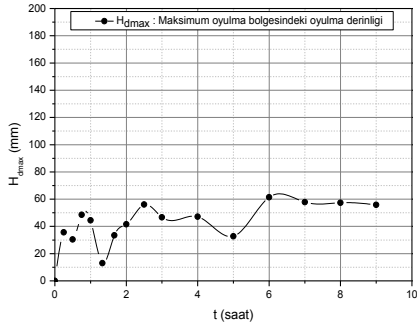


Deney No	8
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.869
Fr sayısı	0.6802
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	25 cm



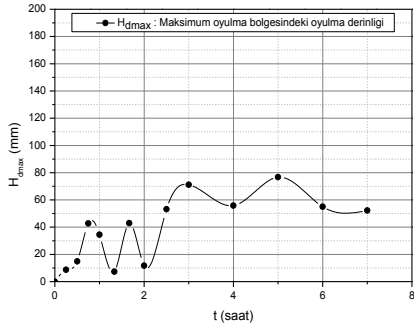
Deney No	9
Debi	0.07 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.100
Fr sayısı	0.7694
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	25 cm

Deney No	10
Debi	0.08 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.400
Fr sayısı	0.8944
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	25 cm

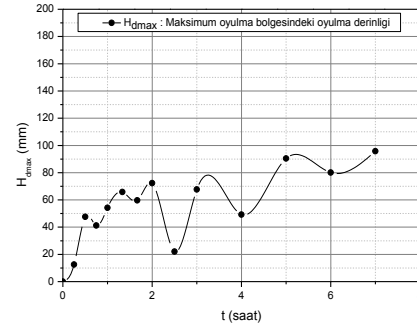


Deney No	11
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.325
Fr sayısı	0.4313
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	25 cm

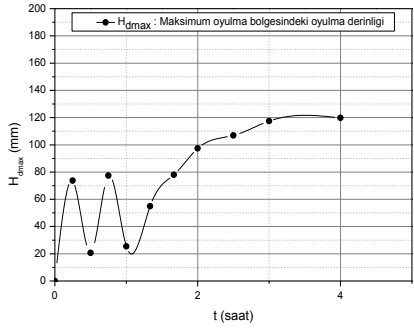
Deney No	12
Debi	0.075 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.617
Fr sayısı	0.5354
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	25 cm



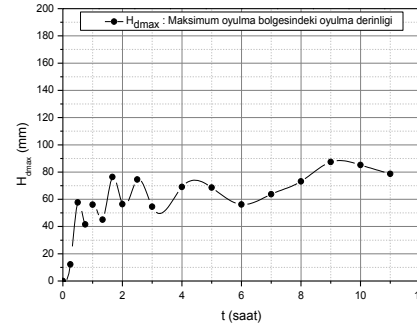
Deney No	13
Debi	0.08 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.829
Fr sayısı	0.6168
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	25 cm



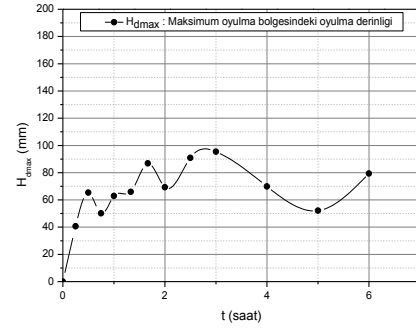
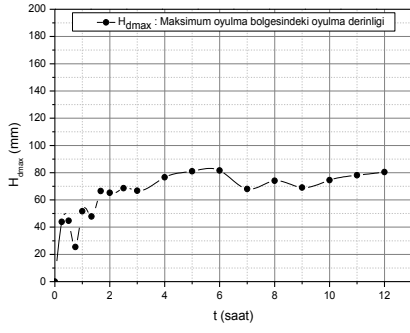
Deney No	14
Debi	0.09 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.058
Fr sayısı	0.6939
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	25 cm



Deney No	15
Debi	0.11 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.515
Fr sayısı	0.8481
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	25 cm

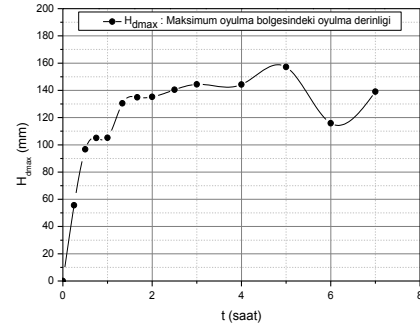
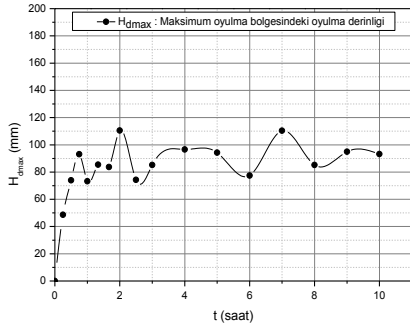


Deney No	16
Debi	0.035 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.503
Fr sayısı	0.6126
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	32.5 cm



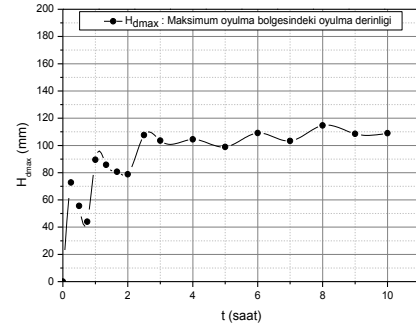
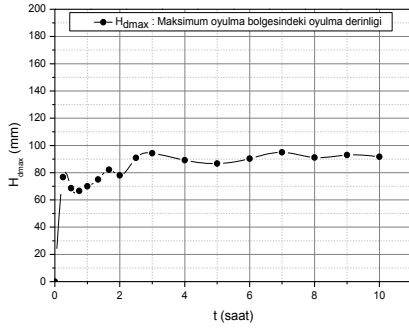
Deney No	17
Debi	0.045 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.039
Fr sayısı	0.8445
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	18
Debi	0.05 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.266
Fr sayısı	0.9384
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	32.5 cm



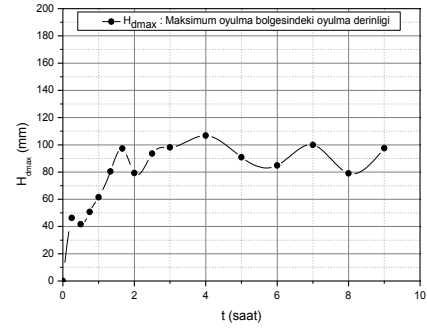
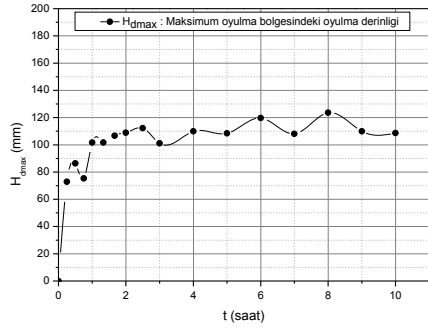
Deney No	19
Debi	0.055 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.638
Fr sayısı	1.1106
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	20
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.946
Fr sayısı	1.2199
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	32.5 cm



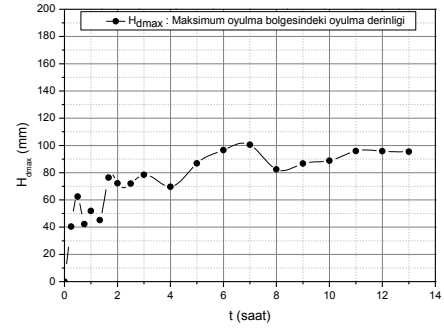
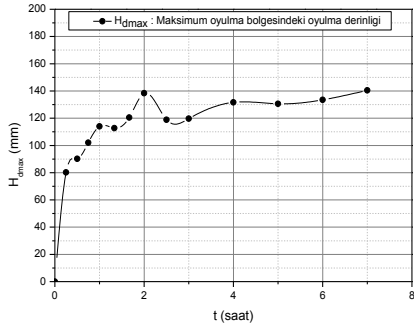
Deney No	21
Debi	0.05 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.344
Fr sayısı	0.4764
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	22
Debi	0.055 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.532
Fr sayısı	0.5488
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	32.5 cm



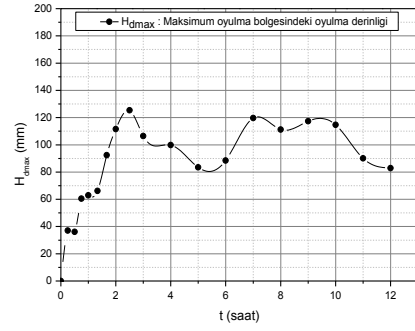
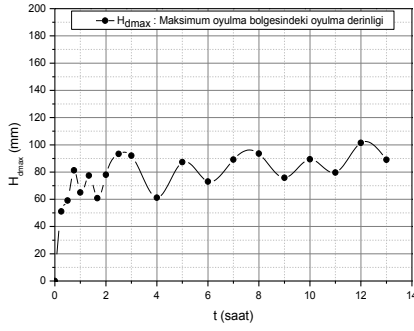
Deney No	23
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.869
Fr sayısı	0.6802
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	24
Debi	0.07 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.100
Fr sayısı	0.7694
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	32.5 cm



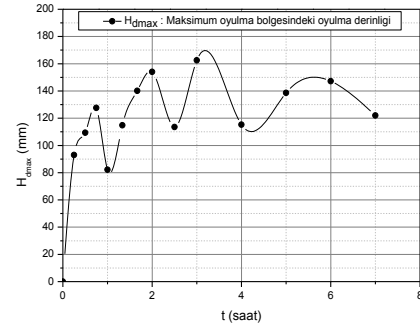
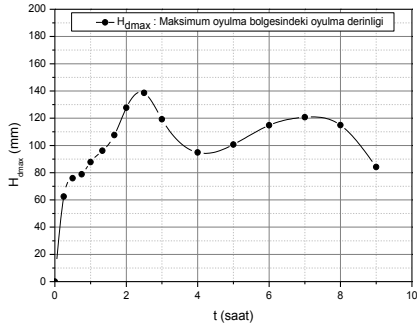
Deney No	25
Debi	0.08 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.400
Fr sayısı	0.8793
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	26
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.401
Fr sayısı	0.4640
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	32.5 cm



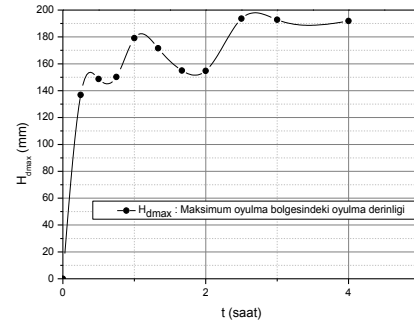
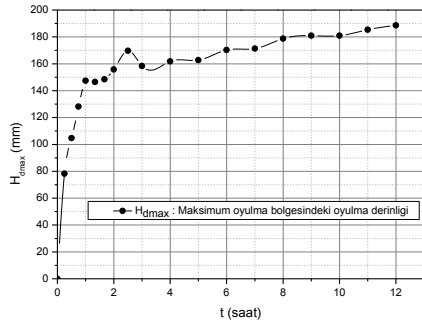
Deney No	27
Debi	0.075 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.664
Fr sayısı	0.5562
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	28
Debi	0.08 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.829
Fr sayısı	0.6168
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	32.5 cm



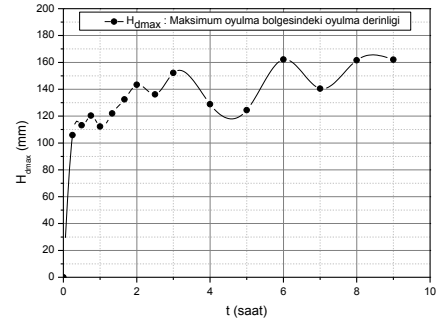
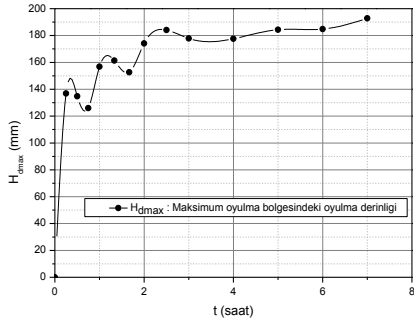
Deney No	29
Debi	0.09 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.058
Fr sayısı	0.6939
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	32.5 cm

Deney No	30
Debi	0.11 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.515
Fr sayısı	0.8481
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	32.5 cm



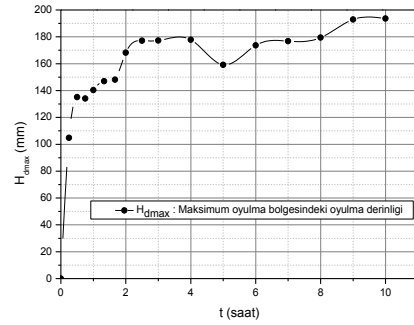
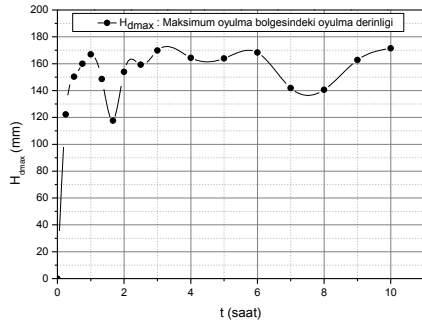
Deney No	31
Debi	0.035 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.137
Fr sayısı	0.4267
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	32
Debi	0.045 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.592
Fr sayısı	0.6130
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	40 cm



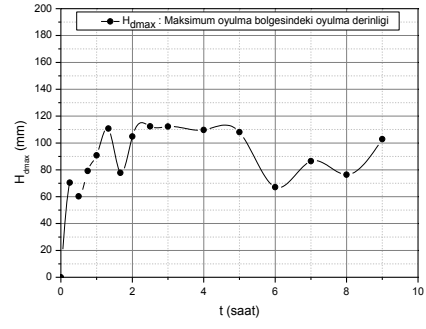
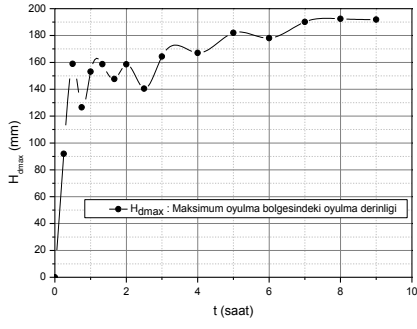
Deney No	33
Debi	0.05 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	1.941
Fr sayısı	0.7681
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	34
Debi	0.055 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	2.362
Fr sayısı	0.9626
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	40 cm



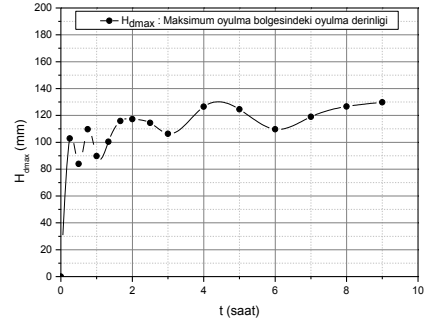
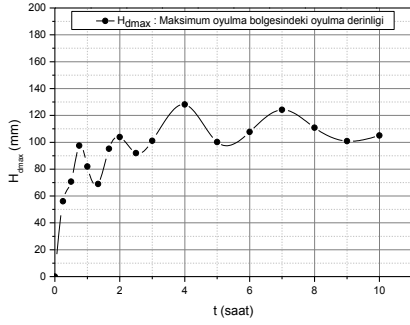
Deney No	35
Debi	0.06 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	2.576
Fr sayısı	1.0502
Yan savak kret yüksekliği	7 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	36
Debi	0.05 m ³ /s
Akım şiddeti (V ₁ /V _{kr})	1.143
Fr sayısı	0.3855
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	40 cm



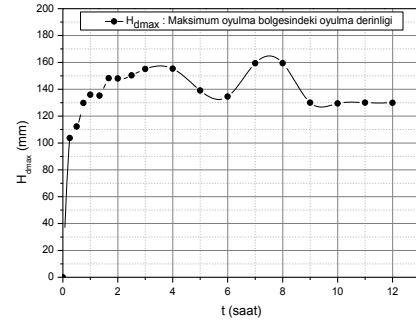
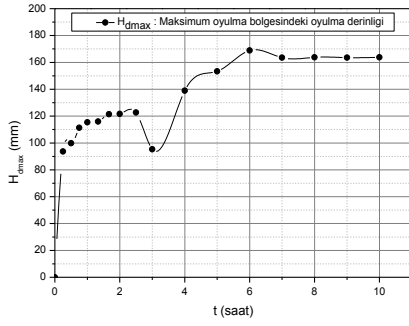
Deney No	37
Debi	0.055 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.429
Fr sayısı	0.5011
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	38
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.810
Fr sayısı	0.6485
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	40 cm



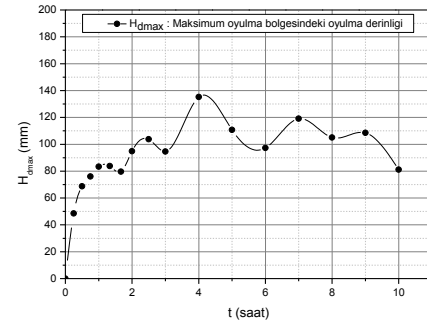
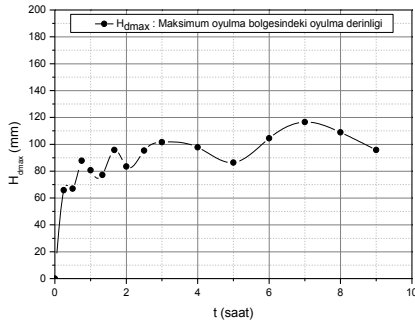
Deney No	39
Debi	0.07 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.100
Fr sayısı	0.7694
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	40
Debi	0.08 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.400
Fr sayısı	0.8793
Yan savak kret yüksekliği	12 cm
Savak genişliği	40 cm



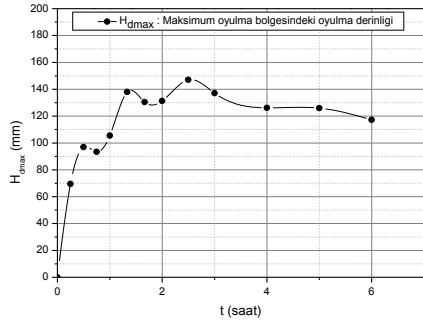
Deney No	41
Debi	0.065 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.194
Fr sayısı	03763
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	42
Debi	0.075 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.450
Fr sayısı	0.4641
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	40 cm



Deney No	43
Debi	0.08 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	1.725
Fr sayısı	0.5711
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	40 cm

Deney No	44
Debi	0.09 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.058
Fr sayısı	0.6939
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	40 cm



Deney No	45
Debi	0.11 m ³ /s
Akım şiddeti (V_1/V_{kr})	2.515
Fr sayısı	0.8481
Yan savak kret yüksekliği	16 cm
Savak genişliği	40 cm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	05.11.1988	
Doğum Yeri	Elazığ	
Lise	2002-2006	Korgeneral Hulusi Sayın Lisesi
Lisans	2007-2011	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2011-2014	Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Bilim Dalı
Çalıştığı Kurum	2013-	Devam ediyor Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi