



**SU JETLERİNDE AĞIZLIK TÜRÜNÜN OYULMA
GEOMETRİSİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Veysi KARTAL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU

EYLÜL 2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU JETLERİNDE AĞIZLIK TÜRÜNÜN OYULMA GEOMETRİSİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Veysi KARTAL

Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Bilim Dalı: Hidrolik

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Prof. Dr. Fahri ÖZKAN

EYLÜL 2018

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum yüksek lisans tez çalışmasının hem ders döneminde hem de tez döneminde beni bilgisiyle ve emeğiyle hiç yalnız bırakmayan, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU'na öncelikle gönülden teşekkür ederim.

Tezim süresince manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu projeyi destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Kuruluşu'na da teşekkür ederim. FÜBAP tarafından desteklenen bu projenin proje numarası MF.17.38'dir.

Veysi KARTAL

Elazığ - 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	XIV
SEMBOL LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	3
3. TEORİK BAKIŞ	22
3.1. Giriş	22
3.2. Su Jetlerinin Akım Karakteristikleri	22
3.2.1. Su Jeti Türleri	22
3.2.2. Su Jetinin Uygulama Alanları.....	25
3.2.3. Bir Su Jeti Olarak Venturi Aygıtı	26
3.2.3.1. Venturi Aygıtının Kullanıldığı Alanlar	28
3.3. Su Jetlerinden Kaynaklanan Yerel Oyulmalar.....	28
3.3.1. Su Jetlerinde Akım	30
3.3.2. Jetin Çarpma Havuzuna Soktuğu Havanın Oyulma Üzerindeki Etkisi	36
3.3.3. Kuyruk Suyu Etkisi	38
3.3.4. Zemin Malzeme Tabakası Etkisi	38
3.3.5. Su Jetlerinin İncelenmesinde Kullanılan Bazı Eşitlikler	41

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	42
4.1. Deney Düzenegi.....	42
4.1.1. Su Besleme Hattı ve Debimetre.....	42
4.1.2. Çarpma Havuzu	42
4.1.3. Kum Tutucu Bölme	43
4.1.4. Su Tankı.....	43
4.1.5. Ölçüm Arabası.....	44
4.2. Deneylerde Kullanılan Taban Malzemesinin Özellikleri	47
4.3. Deneysel Çalışmayı Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi	49
4.4. Boyut Analizi	50
4.5. Deneysel Çalışma	51
4.5.1. Deneylerin Hazırlanması	55
4.5.2. Deneylerin Yapılması	57
5. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ.....	64
5.1. Giriş	64
5.2. Dairesel Ağızlık için Yapılan Oyulma Deneyleri.....	65
5.3. Venturi Ağızlık için Yapılan Oyulma Deneyleri	79
5.4. Mansap Havuzunda Oluşan Oyulma Geometrisinin İncelenmesi	88
6. SONUÇLAR.....	102
KAYNAKLAR.....	104
EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ	128

ÖZET

Bu çalışmada, farklı ağızlık türlerinin kullanılması durumunda kohezyonsuz zemin malzemesi tabakasında su jetinin oluşturduğu oyulma çukurunun karakteristik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Türbülanslı su jetlerinin eğimli olarak mansap havuzuna çarpmasından dolayı oluşan oyulmanın geometrisini ve maksimum oyulmayı belirlemek amacıyla bir dizi deneyler yürütülmüştür. Dairesel ve venturi olmak üzere iki farklı ağızlık türü kullanılmıştır. Literatürde venturi ağızlık olması durumunda mansap havuzunda oluşan oyulma çukurunun geometrisi üzerine yapılmış bir çalışma bilginiz dahilinde mevcut değildir. Bundan başka literatürde büyük erozyon parametresi değerleri için maksimum oyulma derinliğinin incelenmesi ile ilgili eksiklik mevcuttur. Bu çalışma kapsamında yüksek erozyon parametresi değerleri için hem dairesele ve hem de venturi ağızlık için deneyler yapılarak, literatürdeki bu boşluk doldurulmaya çalışılmıştır. Ayrıca venturi ağızlık için oyulma geometrisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Su jetinin oluşturduğu oyulmayı etkileyen boyutsuz büyüklükler densimetrik Froude sayısı, boyutsuz çarpma mesafesi, jet çarpma açısı ve densimetrik Froude sayısının boyutsuz çarpma mesafesine oranı şeklinde olduğu boyut analizi neticesinde belirlenmiştir. Söz konusu problem bu boyutsuz parametrelere göre irdelenmiştir. Deneyler; üç adet jet çarpma açısı, üç adet ağızlık çapı, iki ağızlık türü, üç adet farklı hız ve iki farklı çarpma mesafesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Netice olarak jet şeklinin, ağızlık türünün, jet genişliğinin, çarpma mesafesinin ve jet çarpma açısının mansap havuzunda oluşan oyulma çukuru üzerinde etkili olan önemli parametreler olduğu belirlenmiştir. Literatürde küçük erozyon parametresi değerleri için elde edilen eşitliklerin, büyük erozyon parametresi değerlerinde uygun sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Ayrıca venturi ağızlık kullanılması durumunda, dairesele ağızlığa göre aynı debi değerlerinde su jeti çıkış hızının çok daha fazla olduğu ve daha büyük maksimum oyulma derinliklerinin elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su Jeti, Venturi, Yerel Oyulma, Çarpma Havuzu, Ağızlık

SUMMARY

Investigation of Effect of Nozzle Type on Scour Geometry in Water Jets

In this study, the characteristic features of the scour hole due to water jet in the cohesionless ground material layer were investigated experimentally in case of using different nozzles. A series of experiments were carried out to better understand the scour caused by turbulent water jets obliquely plunging into downstream pool. Two different types of nozzles, circular and venturi, were used in the current study. In the literature, we have not been able to find a study on the geometry of the scour hole formed in the downstream pool in case of a venturi nozzle. Furthermore, there is a deficiency in the literature regarding maximum depth of erosion for high erosion parameter values. In this study, it was tried to fill deficiency in the literature by carrying out experiments for both circular and venturi nozzles for the values of high erosion parameter. Experiments were also conducted to determine the geometry of scour hole for venturi nozzle. The dimensionless parameters affecting the scour due to water jet were determined on the basis of dimensional analysis. These parameters were densimetric Froude number, dimensionless impingement distance, jet impingement angle and densimetric Froude number ratio to dimensionless impingement distance. The problem was examined according to these dimensionless parameters. Experiments; three jet impingement angles, three nozzle diameters, two nozzle types, three different velocities and two different impingement distance. As a result, it was determined that the jet shape, the nozzle type, the jet width, the impingement distance and the jet impingement angle are important parameters on scour hole formed in the downstream pool. It has been found in literature that the equations obtained for low erosion parameter values do not give appropriate results for high erosion parameter values. In addition, when venturi nozzles are used, it is concluded that the water jet has much higher exit velocities than those of the circular nozzles for the same values of flow rate, and it has higher maximum scour depths according to those of circular nozzle.

Key Words: Water Jet, Venturi, Local Scour, Plunge Pool, Nozzle

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Batık dairesel jetlerden dolayı oluşan farklı oyulma tipleri (a: duvar jet, b: yatay offset jet) (Chiew ve Lim, 1996).	6
Şekil 2.2 Deney düzeneği (Aderibigbe ve Rajaratnam, 1998).	7
Şekil 2.3 Deney düzeneği (a) su jeti (b) hava jeti (Rajaratnam ve Ade, 1998).	9
Şekil 2.4 Deney düzeneği (Mazurek vd., 2001).	9
Şekil 2.5 Deney Seti (Bagatur vd., 2002).	10
Şekil 2.6 Deney düzeneği (Dabbagh vd., 2002).	11
Şekil 2.7 Deney seti (Baylar ve Emiroglu, 2003).	12
Şekil 2.8 Deney düzeneği (Bagatur ve Sekerdag, 2003).	13
Şekil 2.9 Deney düzeneği (Emiroglu ve Baylar 2003a).	13
Şekil 2.10 Deney seti (Emiroglu ve Baylar, 2003b).	14
Şekil 2.11 Deney düzeneği (Xu vd., 2004).	15
Şekil 2.12 Dairesel ve venturi ağızlıklarda L/D_v 'nin değişiminin hıza bağlı olarak hava sürüklenme hızıyla değişimi (Koçyiğit, 2004).	17
Şekil 2.13 Venturi ve dairesel ağızlıklarda d ve D_v 'nin değişiminin hıza bağlı olarak hava sürüklenme hızıyla değişiminin karşılaştırılması (Koçyiğit, 2004).	17
Şekil 2.14 Deney düzeneği (Koçak, 2013).	19
Şekil 2.15 Deney düzeneği (Tastan vd., 2016).	20
Şekil 2.16 Deney düzeneği (Hou vd., 2016).	21
Şekil 3.1 Su jetleri; a) düşey su jeti, b) eğimli su jeti.	24
Şekil 3.2 Su jeti kesme sisteminin çalışma prensibi ve temel elemanları (Duflou vd., 2001).	26
Şekil 3.3 Bir venturi aygıtının görünümü (Bağatur ve Baylar, 2001).	27
Şekil 3.4 Bir venturi aygıtının teorik bileşenleri	27
Şekil 3.5 Akım ortamına ait unsurlar ve büyüklükler	30
Şekil 3.6 Serbest jet kısmı	31
Şekil 3.7 Batık jet boyunca vortekslerin ve çevredeki suyun batık jete girişi.	33
Şekil 3.8 Durgun su haznesine dalan daire kesitli simetrik batık su jetinin büyümesi	33
Şekil 3.9 Laminer ve türbülanslı jetlerde hız dağılımı	35

Şekil 3.10 Hava kabarcığının hareketi nedeniyle taban kum tabakası içerisindeki kum danelerinin yer değiştirmesi.....	39
Şekil 4.1 Çarpma havuzu	43
Şekil 4.2 Ölçüm arabası ve dijital limnimetre	44
Şekil 4.3 Redüksiyon borusu.....	44
Şekil 4.4 Zeminin düzleştirilmesi.....	45
Şekil 4.5 Deney düzeneğinin planda gösterimi	45
Şekil 4.6 Deney düzeneğinin A-A enkesiti	46
Şekil 4.7 Deney düzeneği.....	46
Şekil 4.8 Deney düzeneğinin elemanları	47
Şekil 4.9 Taban malzemesinin granülometri eğrisi	48
Şekil 4.11 Deneylerde kullanılan venturi ağızlık tipinin detayları.....	52
Şekil 4.12 Deneylerde kullanılan dairesel ağızlık tipinin detayları.....	52
Şekil 4.13 Deney sistemi uygulama düzeneği.....	58
Şekil 4.14 Deneyin başlatılması ile oyulmanın başlaması	58
Şekil 4.15 Deneyin başlatılması ile suyun akışa geçmesi	59
Şekil 4.16 Deneyin bitirilmesi ile suyun tahliye edilmesi.....	59
Şekil 4.17 (a-d) Dairesel ağızlık için yapılan deneylerde meydana gelen oyulmanın topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi	62
Şekil 4.18 (a-c) Venturi ağızlık için yapılan deneylerde meydana gelen oyulmanın topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi.....	63
Şekil 5.1 Oyulma çukurunun parametreleri a) Plan b) Boykesit.....	65
Şekil 5.2 Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m	66
Şekil 5.3 Jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyutsuz maksimum mesafenin ($(\Delta X)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m	66
Şekil 5.4 Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin ($(X_2)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m	67
Şekil 5.5 Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum uzunluğunun ($(X_1+X_2)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m	68

- Şekil 5.6** Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_3)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 68
- Şekil 5.7** $(X_3/X_2)_m$ oranının çarpma açısı (θ) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m ... 69
- Şekil 5.8** Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliğinin $((W_s)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 70
- Şekil 5.9** Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 71
- Şekil 5.10** Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 72
- Şekil 5.11** Ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_c)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 72
- Şekil 5.12** Ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadar olan akım yönünde boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 73
- Şekil 5.13** Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 74
- Şekil 5.14** Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 74
- Şekil 5.15** (a-f) Farklı çaplar, hızlar ve farklı çarpma açıları için denge oyulma durumunda çarpma havuzunda oluşan maksimum oyulmanın boykesitleri: (a) $d=28$ mm, $H=0.30$ m, (b) $d=28$ mm, $H=0.15$ m, (c) $d=34$ mm, $H=0.30$ m, (d) $d=34$ mm, $H=0.15$ m, (e) $d=40$ mm, $H=0.30$ m, (f) $d=40$ mm, $H=0.15$ m 75
- Şekil 5.16** Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s 76
- Şekil 5.17** Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s 77
- Şekil 5.18** Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz uzunluğunun boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s 77

- Şekil 5.19** Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz genişliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s 78
- Şekil 5.20** (a-f) Farklı çarpma açısı, farklı çarpma uzunluğu ve hızı için oyulma profillerinin benzerliği: (a) $\theta=30^\circ$, $H=0.30$ m, (b) $\theta=30^\circ$, $H=0.15$ m, (c) $\theta=45^\circ$, $H=0.30$ m, (d) $\theta=45^\circ$, $H=0.15$ m, (e) $\theta=60^\circ$, $H=0.30$ m, (f) $\theta=60^\circ$, $H=0.15$ m. 79
- Şekil 5.21** Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m..... 80
- Şekil 5.22** Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m..... 80
- Şekil 5.23** Jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyutsuz maksimum mesafenin $((\Delta X)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 81
- Şekil 5.24** Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_2)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m..... 81
- Şekil 5.25** Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum uzunluğunun $((X_1+X_2)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 82
- Şekil 5.26** Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_3)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 82
- Şekil 5.27** $(X_3/X_2)_m$ oranının erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 83
- Şekil 5.28** $H=0.30$ m için oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliğinin $((W_s)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi..... 83
- Şekil 5.29** Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m..... 83
- Şekil 5.30** Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m..... 84
- Şekil 5.31** Ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_c)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m..... 84

- Şekil 5.32** Ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 85
- Şekil 5.33** (a-f) Venturi ağızlıkta farklı çaplar, hızlar ve farklı çarpma açıları için denge oyulma durumunda çarpma havuzunda oluşan maksimum oyulmanın boykesitleri: (a) $D_v=28$ mm, $H=0.30$ m, (b) $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m, (c) $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m, (d) $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m, (e) $D_v=40$ mm, $H=0.30$ m, (f) $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m 86
- Şekil 5.34** $\theta=45^\circ$ için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 86
- Şekil 5.35** $\theta=45^\circ$ için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 87
- Şekil 5.36** $\theta=45^\circ$ için ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_c)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m 87
- Şekil 5.37** $\theta=45^\circ$ için ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m . 88
- Şekil 5.38** $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf 90
- Şekil 5.39** $U_0=7.5$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf 91

Şekil 5.40 $U_0=5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 92

Şekil 5.41 $U_0=7.5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 93

Şekil 5.42 $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 94

Şekil 5.43 $U_0=10$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 95

Şekil 5.44 $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 96

Şekil 5.45 $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç

boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 97

Şekil 5.46 $U_{0v}=5.28$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 98

Şekil 5.47 $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=30^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 99

Şekil 5.48 $U_{0v}=4.31$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler:(a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 100

Şekil 5.49 $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf..... 101

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Jet nedeniyle çarpma havuzunda meydana gelen oyulmayı etkileyen parametreler	49
Tablo 4.2 Deneylerde kullanılan ağızlıkların geometrisi.....	53
Tablo 4.3 Farklı araştırmacıların çalışmalarında kullandığı parametrelerin boyutları	54



SEMBOL LİSTESİ

α_1	Venturide yakınsak koninin açısı (°)
α_2	Venturide ıraksak koninin açısı (°)
A	Ağızlığın alanı (L^2)
d	Dairesel ağızlık çapı (L)
d_v	Venturi ağızlıkta boğaz bölgesi çapı (L)
d_v/D_v	Venturide boğaz bölgesinin çapının çıkış çapına oranı (-)
d_h/d_v	Venturide açılan hava deliği çapının boğaz bölgesi çapına oranı (-)
D	Yatak malzemesi çapı (L)
D_c	Redüksiyon borusunun çapı (L)
D_{16}	%16'dan geçen sediment çapı (L)
D_{50}	%50'den geçen sediment çapı (L)
D_{84}	%84'ten geçen sediment çapı (L)
ε	Oyulma derinliği (L)
ε_m	Maksimum oyulma derinliği (L)
E_c	Erozyon parametresi (-) ($F_0/\sqrt{(H/d)}$)
F_0	Densimetrik Froude Sayısı (-) ($U_0/(\sqrt{g(\frac{\Delta\rho}{\rho})D_{50}})$)
Fr	Froude Sayısı (-) ($Fr = \frac{U_0}{\sqrt{g.d}}$)
g	Yerçekimi ivmesi (LT^{-2})
h	Düşü yüksekliği (L)
h_k	Zemin malzeme tabakasının kalınlığı (L)
h_1	Venturide 1 no'lu kesitin basınç yüksekliği (L)
h_2	Venturide 1 no'lu kesitin basınç yüksekliği (L)
H	Çarpma mesafesi (L)
H'	Jetin kırılan yörüngesinin mesafesi (L)
ℓ_3/d_v	Venturide boğaz bölgesi uzunluğunun boğaz bölgesi çapına oranı (-)
ℓ_1/D_v	Venturide giriş uzunluğunun giriş çapına oranı (-)
ℓ_5/D_v	Venturide çıkış uzunluğunun çıkış çapına oranı (-)
ℓ_2	Venturide yakınsak koninin yatay mesafesi (L)

ℓ_4	Venturide ıraksak koninin yatay mesafesi (L)
M_0	Jetin momentumu (MLT^{-2})
P_1	Venturide 1 no'lu kesitteki basınç (ML^{-2})
P_2	Venturide 2 no'lu kesitteki basınç (ML^{-2})
Re	Jetin Reynolds Sayısı (-) ($Re = \frac{U_0.d}{\nu}$)
t	Süre (T)
t_h	Venturide boğaz bölgesinde açılan deliğin çapı (L)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
U_0	Jetin ağızlık çıkışındaki hızı (LT^{-1})
U_{0v}	Venturi ağızlıkta giriş çapındaki hız (LT^{-1})
U'	Su jetinin su yüzeyine çarptığı andaki hızı (LT^{-1})
U_T	Sondaki hız (LT^{-1})
Δ_m	Maksimum tepe yüksekliği (L)
ΔX	Jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki mesafe (L)
X	Maksimum oyulma derinliğinden itibaren herhangi bir zamandaki akım yönüne doğru olan uzunluğu (L)
X_1	Oyulmanın başladığı noktadan maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyuna mesafe (L)
X_2	Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki mesafe (L)
X_3	Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliği arasındaki boyuna mesafe (L)
X_1+X_2	Oyulma çukurunun uzunluğu (L)
X_c	Ağızlığın olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin bulunduğu nokta arasındaki uzaklık (L)
X_m	Ağızlığın olduğu nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki uzaklık (L)
∞	Oyulmanın denge değerlerini gösteren simge
ν	Kinematik viskozite (L^2T^{-1})
ρ	Akışkanın özgül kütlesi (ML^{-3})
ρ_s	Sedimentin özgül kütlesi (ML^{-3})

$\Delta\rho$	Akışkan ile sediment arasındaki rölatif özgül kütle (-)
Q	Debi (L^3T^{-1})
Q_w	Suyun debisi (L^3T^{-1})
Q_a	Hava debisi (L^3T^{-1})
Q_A	Hava sürüklenme hızı (L^3T^{-1})
q	Birim debi ($L^3L^{-1}T^{-1}$)
t_d	Kuyruk suyu derinliği (L)
σ_g	Yatak malzemesinin geometrik standart sapması (-)
θ	Çarpma açısı (jet ekseninin su yüzeyi ile yaptığı açı) (°)
W_s	Oyulma çukurunun genişliği (L)
y	Enine mesafe (L)
z	Geometrik kot

1. GİRİŞ

Su jetleri; inşaat, çevre ve diğer mühendislik dallarında kullanılan önemli bir hidrolik yapıdır. Su jetleri özellikle havalandırma, oksijen transferi ve yüzdürme (flotasyon) işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Baraj dipsavaklarında suyun mansaba aktarılması su jeti şeklinde olmaktadır. Kemer barajlarda dolusavaklara yardımcı olarak, ölü hacmin üst kotlarına yerleştirilen su jetleri ile taşkın suları mansaba aktarılmaktadır. Ayrıca açık denizlere ve göllere atık şeklinde verilen jetler, barajlardaki kapakların altından çıkan jet akımları, menfezlerden çıkan jetler ve düşülerden şelale şeklinde düşen su jetleri sedimentten oluşan akarsu yatağında istenmeyen zararlı oyulmalara sebep olmaktadır. Su jetleri eğimli, yatay veya düşey doğrultuda olabileceği gibi tamamen serbest veya tamamen batık ya da kısmen batık da olabilirler. Teknolojik gelişmeler ve artan ihtiyaçlar sonucunda son yıllarda dünyada ve ülkemizde yüksek düşülü barajlar inşa edilmektedir. Yüksek düşülü barajların projelendirilmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisi de dolusavak veya kapaklar yardımıyla su jeti şeklinde mansaba verilen suyun enerjisinin etkili bir şekilde sönmelenememesi sonucu mansapta oluşacak oyulma ve oluşan oyulmanın getireceği problemler olmuştur. Su jetleri; havanın sürüklenmesi, sürüklenen havanın su içinde hava kabarcıkları şeklinde dağılımı ve etkili bir şekilde su-hava etkileşimin oluşmasında etkin bir şekilde rol oynamaktadır. Aynı zamanda su jetleri, kimya mühendisliği alanında karıştırma işlemleri ve sıvı-gaz transferini artırmak; çevre mühendisliğinde alanında ise içmesuyu-atıksu arıtma tesislerinde karıştırma ve oksijen transferi işlemlerinde kullanılmaktadır. Havalandırma ünitelerinde mekanik havalandırıcılar ve basınçlı hava difüzörleri olarak bilinen geleneksel havalandırıcılardan farklı olarak su jeti ile havalandırma sistemleri de kullanılmaktadır (Bağatur, 2000).

Teknolojideki gelişmeler ve üretim arasındaki maliyet-ekonomi optimizasyonu birçok alanda olduğu gibi hidrolik mühendisliğinde de daha ekonomik ve geniş alternatiflere yönlendirmektedir. Bu amaçla, venturi aygıtının çalışma prensibi bu açıdan bir alternatif olmuştur. Venturi hidrolik mühendisliğinde değişik amaçlarla kullanılan bir aygıttır. Venturi, bir boru boyunca akan akışkan akımının debisini ölçmek için kullanılır. Aynı zamanda venturi giriş bölgesindeki boru kesitinden daha küçük kesit alanına sahip bir boğaz bölgesinde daraltma yapılmasıyla akışkan akımının hızı artmaktadır. Venturi aygıtı, borularda debi ölçmede ve tarım alanlarının sıvı gübre enjeksiyonlu sulama sistemlerinde kullanılmaktadır.

Venturi aygıtının ekonomik olarak uygun olması ve işletme yönünde basit olması karıştırma, havalandırma ve enjeksiyon uygulamalarında alternatif olarak kullanılmasını cazip kılmaktadır. Literatürde su jetleri ile ilgili olarak; farklı çarpma hızları, çarpma açıları, ağızlık türleri, ağızlık boyutları, çarpma havuzu derinlikleri, hava karışım oranları gibi parametreler dikkate alınarak yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu araştırmaların büyük bir çoğunluğunu havalandırma ve oksijen transferi çalışmaları oluşturmaktadır. Dairesel ağızlıklı su jetlerinde mansap havuzunda veya kanalında oluşan oyulma problemi de araştırmacılar tarafından çalışılmış ve hâlâ çalışılmaktadır. Bugüne kadar yapılan havalandırma ve oyulma problemi ile ilgili çalışmalarda su jeti ağızlığı olarak genellikle dairesel kesitli ağızlıklar ve farklı ağızlık tipleri (elips, kare, vb.) kullanılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak mansapta oluşacak oyulma problemi deneysel olarak incelenirken dairesel ağızlığa ilaveten venturi ağızlıklar da kullanılmıştır. Ayrıca literatürden farklı olarak yüksek erozyon parametresi (3.26-35.86) değerleri için dairesel ve venturi ağızlık için deneyler yapılmış, elde edilen bulgular grafiğe dökülerek literatürle karşılaştırılmıştır. Hem venturi ağızlık hem de dairesel ağızlık su jeti olarak kullanılması durumunda jet nedeniyle oluşan oyulma çukurunun geometrisi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Deneylerin sonunda taban topoğrafyaları alınarak ağızlık türünün, çarpma mesafesinin, çarpma açısının ve erozyon parametresinin oyulma geometrisine etkisi grafiklere dökülmüş ve oluşan oyulma çukuru fotoğraflanmıştır. Bu deneysel çalışmada; farklı çarpma açıları, farklı ağızlık boyutları, farklı çarpma mesafeleri, farklı ağızlık tipleri ve farklı erozyon parametresi değerleri için yürütülmüştür. Elde edilen bulgular literatür ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) tarafından desteklenmiş olup, proje numarası MF.17.38'dir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yüksek erozyon parametreleri değerleri için hem dairesel ağızlık ve hem de venturi ağızlık için anlamlı deneyler yürütmektir. Venturi ağızlık kullanılması ve boğaz bölgesinde hava çekilmesi durumunda mansap havuzunda (çarpma havuzunda) oyulma derinliği ve oyulma geometrisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı: (1) Yüksek erozyon parametresi değerleri için hem dairesel ve hem de venturi ağızlık deneyler yürütmek, (2) Venturi ağızlık kullanılması durumunda oyulma geometrisini belirlemek amacıyla anlamlı deneyler yürütmek, (3) Elde edilen bulguları literatür ile karşılaştırmaktır.

2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Su jetleri ile ilgili çalışmalar genellikle havalandırma, oksijen transfer verimi, flotasyon ve oyulma problemleri ile ilgilidir. Bu çalışmada, hidrolik yapılar üzerinden serbest düşen jetler, konu kapsamı dışında bırakılmıştır. Sadece basınçlı akım durumunda su jetleri dikkate alınmıştır. Aşağıda su jetleri ile ilgili çalışmalar verilirken özellikle ağızlık türü, havalandırma verimi ve mansap havuzunda oluşan oyulma geometrisi ile ilgili çalışmalara özet bilgilerle yer verilmiştir. Su jetleri nedeniyle oluşan oyulma problemi inceleyen ilk öncü araştırmacı Rouse (1939)'tur. Yatay duvar jetleri nedeniyle oluşan oyulma, Laursen (1952) tarafından incelenmiştir. Dairesel ağızlıklı çarpan jetler nedeniyle mansap havuzunda oluşan oyulma Doddiah vd. (1953), Poreh ve Hefez (1967), Sarma ve Sivasankar (1967), Westrich ve Kobus (1973), ve Rajaratnam ve Beltaos (1977) tarafından incelenmiştir. Ayrıca Iwagaski vd. (1958) üç boyutlu jetlerden dolayı meydana gelen oyulma problemini analitik olarak incelemişlerdir. Carstens (1966), Laursen (1952)'in deneysel verilerini analiz ederek sediment taşınım hızı için amprik bir formül geliştirmiştir. Altinbilek ve Okyay (1973) ve Francis ve Ghosh (1974) çarpan düzlemsel su jetleri nedeniyle oluşan oyulma problemini incelemişlerdir. Rajaratnam ve Berry (1977), ve Rajaratnam ve Humpries (1984) dairesel ve dikdörtgen türbülanslı duvar jetleri nedeniyle oluşan oyulma problemini incelemişlerdir. Sığ kuyruk suyu derinliğine sahip mansap havuzunda oluşan oyulma derinliğini, Rajaratnam ve MacDoughall (1983) düzlem duvar jetleri için incelemişlerdir. Hassan ve Narayanan (1985), rijit apronların mansabındaki yerel oyulmayı araştırmışlardır. Ali ve Lim (1986) batmış duvar jetleri nedeni ile oluşan yerel oyulma problemini çalışmışlardır. Uyumaz (1988) düşey kapakların mansabında oyulma örüntüsünü araştırmıştır. Mason (1989) mansap havuzuna çarpan su jetleri nedeni ile oluşan oyulmayı incelemiştir. Johnston (1990), sığ su derinliğine sahip kuyruk suyu için oyulma topoğrafyasının şeklini incelemiştir. Ali ve Whalley (1992) offset jetler mansabındaki yerel oyulmayı deneysel bir çalışma yürüterek incelemişlerdir. Mih ve Kabir (1983) ise türbülanslı dairesel jetlerin tabana çarpması nedeniyle oluşan erozyon ve oyulma üzerinde çalışmışlardır.

Rajaratnam ve Beltaos (1977) mansap havuzunda kum ve polistiren (PS) gevşek yatak malzemelerini kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada; düşey su jeti ve batık su durumu dikkate alınarak hava jetlerinden dolayı oluşan oyulmayı incelemişlerdir. Bu çalışmada yumuşak kum ve polistiren yatak malzemesine dairesel hava jetlerinin neden olduğu erozyonu ölçmek üzere iki tip deney yapılmıştır. Birinci tip deneyde dairesel hava jetlerinden dolayı

oluşan oyulmayı incelerken yatak malzemesi olarak kum, ikincisinde ise polistiren yatak malzemesi kullanmışlardır. Bu çalışmada dairesel hava jetinden çıkan hava akımı, basınçlı hava hattından silindirik plenyum aracılığıyla temin edilmiştir. Nozul (ağızlık) çapları 0.64 ve 2.35 cm olan iki farklı ağızlık kullanılmıştır. Araştırmacılar maksimum oyulmanın zamanla değişiminin logaritmik eğilim gösterdiği ve denge oyulmasına ulaşıncaya kadar zamanla arttığını belirtmişlerdir. Maksimum oyulmanın belirli bir zamandan sonra asimptotik (denge) değerine ulaşmasıyla denge oyulma durumunun oluştuğunu bildirmişlerdir. Büyük çarpma yükseklikleri için, maksimum oyulma derinliğinin asimptotik değerleri ve taban topoğrafyasının şekli, çarpma yüksekliği bakımından densimetrik Froude sayısının bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Oyulmaya uğramış taban topoğrafyasının şekilsel yapısı, denge oyulma durumunda oluşan taban topoğrafyasının şekilsel yapısı gibi kararsız olduğunu belirtmişlerdir. Büyük çarpma yüksekliklerinde ($H > 8.3d$) $\varepsilon_{m\infty}/H$, $F_0/(H/d)$ 'nin fonksiyonu küçük çarpma yüksekliklerinde ($H < 5.5d$) ise $\varepsilon_{m\infty}/d$, F_0 densimetrik Froude sayısının fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında büyük H/D değerlerinde, H/D 'nin maksimum oyulma derinliği üzerinde etkisi olmadığını söylemişlerdir.

$$\frac{\varepsilon_{m\infty}}{H} = 0.50 \left[\frac{F_0}{\frac{H}{d}} - 0.18 \right] \quad (2.1)$$

burada $\varepsilon_{m\infty}$: maksimum oyulmanın asimptotik değeri (mm), H : çarpma yüksekliği (mm), d : jetin ağızlık çapı (mm), D : yatak malzemesinin medyan çapı (mm)'ni ifade etmektedir.

Chatterjee vd. (1994) sabit bir aprona sahip kapağın altından akan akımın oluşturduğu yatay jetler nedeniyle meydana gelen sediment taşınımı ve oyulma problemini incelemişlerdir. Deneysel verilere dayanarak denge durumuna ulaştığı zaman, maksimum oyulma derinliği, oluşan dunenin üst noktası ve maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi durumları için oyulma karakteristiklerini belirlemek için amprik eşitlikler elde edilmiştir. Oyulma çukurunun gelişimi ve sediment taşınmasının tahmini detaylı olarak incelenmiştir. Akış parametreleri ve sediment özellikleri dışında, jet difüzyon karakteristiklerinin bu süreçlerde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Rajaratnam vd. (1995) 10, 30, 45 ve 60° çarpma açılarında ve erozyon parametresini (E_c) 1 ile 2 arasında değiştirerek türbülanslı su jetlerini eğimli bir şekilde ve batık durumda kum

yataklarına çarptırarak kum yataklarının erozyonunu deneysel bir şekilde incelemişlerdir. Asimptotik durumda; oyulma çukuru profillerinin yaklaşık olarak benzer olduğunu ve erozyona uğramış yatak profilinin erozyonun maksimum derinliği (ε_m), oyulma çukurunun uzunluğu ve tepe yüksekliği (Δ) gibi ana karakterlerin çarpma mesafesi (H) cinsinden esas olarak erozyon parametresinin (E_c) bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

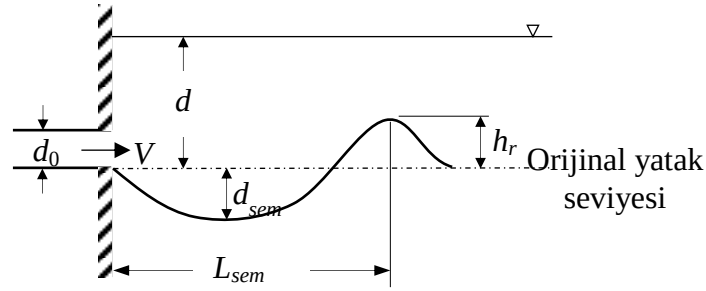
Chiew ve Lim (1996) derin bir batıklığa sahip bir dairesel su jetinin neden olduğu oyulmayı deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde üniform kohezyonsuz malzeme kullanarak hem duvar jeti hem de ofset jeti kullanılmıştır. Hem serbest çarpan jet hem de batık durumları için deneyler densimetrik Froude sayısının, maksimum denge oyulma geometrisinin korelasyonundaki ana karakteristik oyulma parametresi olduğunu göstermişlerdir. Bir offset jeti için, orijinal yatak seviyesi ile jet merkezi arasındaki düşey uzaklık olan y uzaklığının oyulma çukurunun geometrisini de etkilediğini belirtmişlerdir. Daha fazla düşey yüksekliğe sahip olan jetin, daha küçük bir oyulmaya neden olduğunu ve bunun sebebinin oluşan enerjinin çoğu, sedimenti aşındırmak yerine akışa dağıtıldığı için olduğunu belirtmişlerdir. Aynı F_0 değeri için, hava içinde yapılan deneylerin su içinde yapılan deneylere göre oyulma derinliğinin daha derin olduğunu söylemişlerdir. Bunun sebebinin, mansapta oyulma çukurunda oluşan sediment tepesinin neden olduğunu belirtmişlerdir. Hava ile su arasındaki yoğunluk farkından dolayı oyulma bölgesindeki tepe yüksekliği, iki akım ortamında da açık bir şekilde farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. Büyük yoğunluk farkları olduğunda (hava-kum) küçük yoğunluk farklarına (kum-su) göre; oyulma çukurunun olduğu yerin jete olan mesafesinin değiştiğini, oyulma çukurunun daha uzun, tepe yüksekliğinin daha küçük olduğunun sonucunu çıkarmışlardır. Aynı zamanda araştırmacılar Şekil 2.1’de batık dairesel jetler nedeniyle meydana gelen farklı oyulma tiplerini belirlemişlerdir. Bu araştırmacılar;

Batık olmadığında dengeye oyulma çukuru için; $2.7 \leq F_0 \leq 32.5$ için

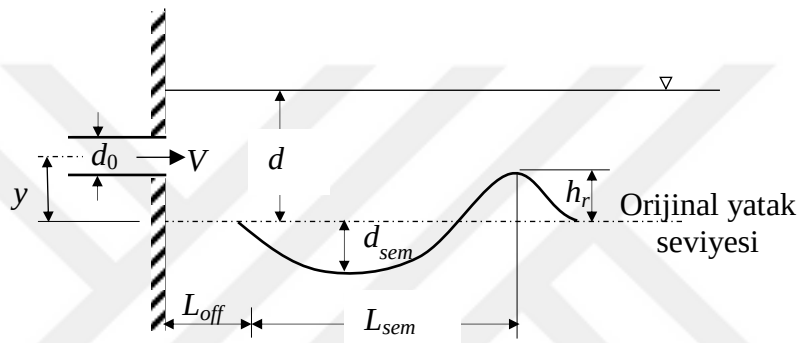
$$\frac{d_{sem}}{d_0} = 0.15F_0^{1.33}; \quad \frac{W_{sem}}{d_0}; \quad \frac{L_{sem}}{d_0} = 2.89F_0^{1.11} \quad (2.2)$$

Batık durumda denge oyulma çukuru için; $4.8 \leq F_0 \leq 85.3$ için

$$\frac{d_{sem}}{d_0} = 0.21F_0; \quad \frac{W_{sem}}{d_0} = 1.90F_0^{0.75}; \quad \frac{L_{sem}}{d_0} = 4.41F_0^{0.75} \quad (2.3)$$



a) Duvar jeti



b)

Şekil 2.1 Batık dairesel jetlerden dolayı oluşan farklı oyulma tipleri (a: duvar jet, b: yatay offset jet) (Chiew ve Lim, 1996).

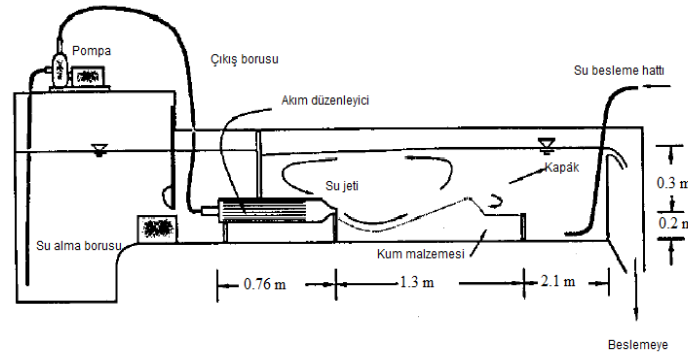
Aderibigbe ve Rajaratnam (1996) erozyon parametresi E_c 'nin 5'in altında olması durumunda batıklığa sahip olan dairesel düşey su jetlerinin kum yatakları üzerinde oluşturduğu oyulma problemini deneysel olarak incelemişlerdir. Maksimum oyulma derinliğinin değişimi incelenmiş, zayıf sapmış (WDR) ve güçlü sapmış (SDR) akım rejimlerinin hangi koşullar altında gerçekleştikleri belirlenmiştir. Asimptotik duruma ulaşmış yatak malzemelerinde, uzunluk ölçeği olarak maksimum oyulma derinliği kullanılarak boyutsuz hale getirildiğinde erozyon parametresinin çok düşük değerleri haricinde benzer olduğu bulmuşlardır. Erozyon parametresinin tüm değerleri için benzerlik sağlamak için başka bir uzunluk ölçeği kullanmışlardır. Bu çalışmanın ve literatürün sonuçlarından yararlanılarak asimptotik durumda oyulma profillerinin karakteristik uzunlukları için yarı amprik (tecrübe, görgül) eşitlikler geliştirilmiştir. İzafi yoğunluk farkı ($\Delta\rho/\rho$) değerinin farklı değerleri için kullanılabilecek olan denklemler, bu çalışmanın verileri ve kum ve polistiren yumuşak malzemelerinden oluşan yatağa serbest olarak çarptırılan hava jetleri ile ilgili verileri literatürden alıp kullanarak maksimum oyulma derinliği ve oyulma çukuru yarıçapı için önermişlerdir.

Clanet ve Lasheras (1997) çalışmalarında dairesel ağızlığa sahip su jetlerini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Dairesel su jetini farklı ağızlık çaplarında, farklı hız ve farklı çarpma açıları gibi değişkenlere bağlı olarak penetrasyon derinliklerini bulmuşlardır. Düşey dairesel su jetleri için bir formül bulmuşlardır.

$$\frac{H}{D} = \frac{(1 + \tan\alpha) \cdot \cos\theta + \tan\alpha \cdot \sin\theta}{2\tan\alpha} \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\sin\alpha} \cdot \frac{V_0}{U_T} \quad (2.4)$$

burada; H : maksimum penetrasyon derinliği (m), D : ağızlık iç çapı (m), V_0 : çıkış hızı (m/s), θ : çarpma açısı ($^\circ$), U_T : çarpma hızı (cm/s), α : yayılma açısı ($^\circ$).

Aderibigbe ve Rajaratnam (1998) çalışmalarında derin su batıklığına sahip duvar jeti ile üç farklı üniform olmayan kohezyonsuz malzeme kullanarak sediment tabakasında duvar jeti nedeniyle oluşan oyulma problemini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada yapılan deneysel gözlemler ve analizler, sedimentin üniform olmaması durumunda bu durumun oyulma çukurunun geometrisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada oyulma derinliği için daha iyi eşitlikler elde etmek için dane çapını %50'den ziyade %95'ten geçen dane çapını etkili dane çapı olarak densimetrik Froude sayısını belirlerken kullanmışlardır.



Şekil 2.2 Deney düzeneği (Aderibigbe ve Rajaratnam, 1998).

Ade ve Rajaratnam (1998) dairesel duvar jetlerinden oluşan erozyon problemini on üç kaynaktan derleyip ve aynı zamanda yaptığı deneysel çalışmayı da dâhil ederek analizler yapmışlar ve değerlendirmişlerdir. Bu çalışma kanola çekirdekleri yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Dairesel hava jeti kullanarak deneyler yapmış ve aynı zamanda kum ve çakıl

yatak malzemeleri kullanılarak, dairesel duvar jeti ile bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Birinci deney seti 3.53 m uzunluğunda, 1.09 m genişliğinde ve 1.22 m derinliğinde bir tankta su jeti kullanılmış olup kum ve çakıl üzerinde on iki adet deney yapılmıştır. Çapları 5, 19 ve 25.4 mm olan üç adet nozul kullanılmıştır. Kum ve çakıl malzemesinin kalınlığı 0.25 m'dir. İkinci deney setinde 12.5 mm çapına sahip nozul bütün deney boyunca kullanılmıştır ve hava jeti kullanılmış olup kanola çekirdekleri üzerinde ahşap bir kutuda yapılmıştır. Oyulma çukurunun benzerliği, hem kararsız hem de asimptotik durum için oyulma çukurunun boyutlarının karakteristik boyutları arasındaki oran dikkate alınarak incelenmiştir. Oyulma çukurunun asimptotik karakteristikleri üzerine batmış jetin etkisi, densimetrik Froude sayısının 10'dan daha büyük olduğu durumda görülebileceğini belirtmişlerdir. Derin batıklık durumunda elde edilen maksimum oyulma çukurunun derinliği, az batmış batıklık durumundakinden daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacıların kullandığı deney düzeneği Şekil 2.3 (a, b)'de verilmiştir. Bu çalışmada dairesel duvar jetlerinin mansabında meydana gelen oyulma ile bazı araştırmacıların eşitliklerine yer vermişlerdir.

Rajaratnam ve Diebel (1981):

$$\frac{\varepsilon_{m\infty}}{d} = 0.41F_0 - 0.067 \quad (2.5)$$

Abt ve diğerleri (1984)

$$\frac{\varepsilon_{m\infty}}{d} = \frac{3.65}{\sigma_g^{0.4}} \left[\left(\frac{Q}{\sqrt{gd^5}} \right) \left(\frac{D_{50}}{d} \right)^{0.2} \right]^{0.57} \quad (2.6)$$

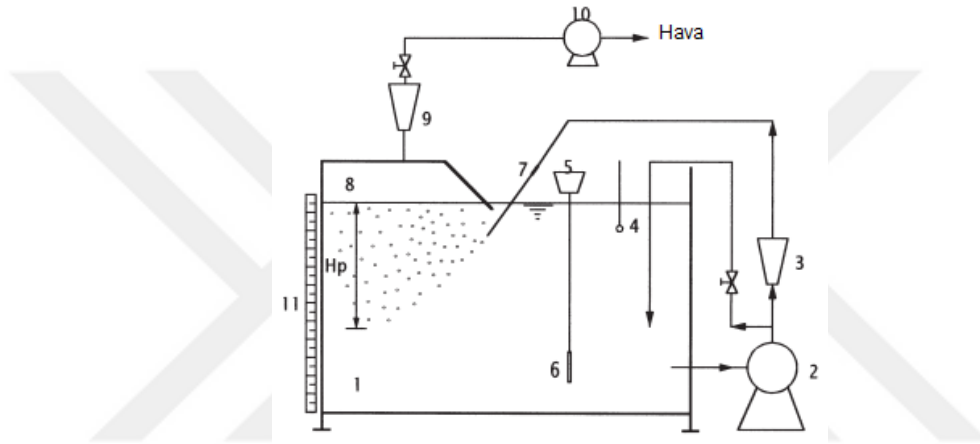
Lim (1995)

$$\frac{\varepsilon_{m\infty}}{d} = 0.45F_0 \quad 1 \leq F_0 \leq 10 \quad (2.7a)$$

$$\frac{\varepsilon_{m\infty}}{d} = 4.50 \quad F_0 > 10 \quad (2.7b)$$

burada $\varepsilon_{m\infty}$: maksimum oyulmanın asimptot değeri (mm), d : jetin çapı(mm), F_0 : densimetrik Froude sayısı, σ_g : yatak malzemesinin geometrik standart sapması D : yatak malzemesinin medyan çapı(mm)'ni ifade etmektedir.

incelemişlerdir. Yuvarlak uçlu dikdörtgen şeklindeki ağızlıkta, su jeti genişlemesinden dolayı hava sürüklenmesi ve oksijen transfer veriminde artış gözlenmiştir. Bununla beraber diğer ağızlık tiplerine göre dikdörtgen ağızlıkta daha düşük penetrasyon (nüfus etme) derinliği elde edilmiştir. Penetrasyon derinliği su içerisine dalan hava kabarcıklarının su tankı içerisinde inebildiği derinlik olarak dikkate alınmıştır. Elips şeklindeki ağızlıkta en yüksek penetrasyon derinliği bulunmuştur. Bunların sonucunda derin suların havalandırılmasında elipsoid ağızlığın, yüksek kabarcık konsantrasyonunun gerektiği uygulamalarda ise dikdörtgen ağızlığın kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edilmiştir.



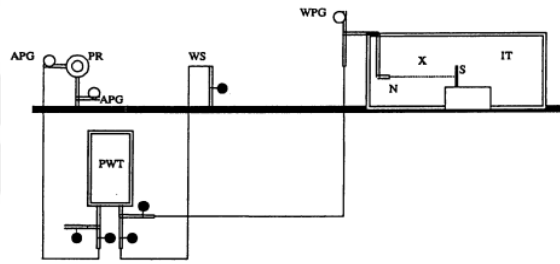
Şekil 2.5 Deney Seti (Bagatur vd., 2002).

(1. Su tankı, 2. Pompa, 3. Su rotametresi, 4. Termometre, 5. Do metre, 6. Do aleti, 7. Nozul, 8. Hava kapağı, 9. Hava rotametre, 10. Hava pompası, 11. Ölçme aleti)

Rajaratnam ve Mazurek (2002) çalışmalarında, kohezyonsuz bir yatak malzemesi üzerine eğimli dairesel hava jeti yatağa çarptırarak yatakta meydana gelen erozyonun oluşumunu deneysel olarak incelemişlerdir. Jet hızları 27.3 ile 86.8 m/s, nozul çapı 6.35 veya 12.6 mm içerisinde hava olan jet, 7.5 ila 60° arası çarpma açısıyla polistiren yatak malzemesine çarptırılarak bir deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada oyulma çukurunun çeşitli karakteristik boyutları ölçülmüş, analiz edilmiş, oyulma çukurunun karakteristiklerinin çarpma açısı ve $F_0/(H/d)$ 'e bağlı olduğunu bulmuşlardır. Bu araştırmacılar jetin yatağa çarpma uzaklığını ve eğim açısını değiştirerek oyulma derinliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Boyut analizi yapılarak oyulma derinliğini etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Bu değişkenlerden biri olan Reynolds sayısının 10^4 'ten büyük olduğunda yani türbülanslı akım şartlarında Reynolds sayısının oyulma üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği Rajaratnam (1976) tarafından belirtilmiştir. Asimptotik durumda erozyonun ana karakteristikleri için

korelasyonlar geliştirilmiştir. Araştırmacılar erozyonun maksimum derinliğinin jetin çarpma noktasının önünde meydana geldiğini vurgulamışlar ve düşey olarak çarptırılan jetlere göre eğimli jetlerin daha büyük oyulma çukuru oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Dabbagh vd. (2002) sürekli bir su jeti kullanarak toprak erozyonuna dair deneysel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada, su jetinin aşındırıcı davranışını ve toprağa çarpmasının farklı etkilerini göstermiş; kopan toprağın hacmi, jet çapı, uzaklıkla genişlemesi (yayılması) ve aynı zamanda penetrasyon oranı ve değişen su jeti parametrelerine bağlı olarak erozyona uğrayan toprak kütesinin değişimlerine dair deneysel ilişkiler sunmuşlardır. Deney sonuçları, penetrasyon ve erozyonun meydana gelmediği kritik bir hız ortaya koymuştur. Bu kritik hızın, temelde toprak özelliklerine bağlı ve toprağın ölçülen direnciyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.



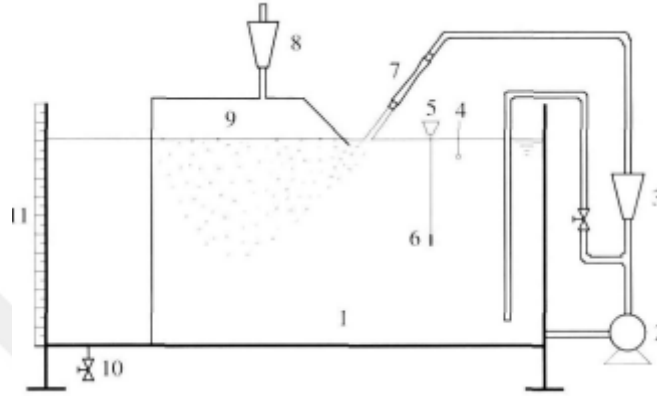
Şekil 2.6 Deney düzeneği (Dabbagh vd., 2002).

(APG: Hava basınçölçer, WPG: Su basınçölçer, PWT: Basıncılı su tankı, PR: Basınç regülatörü, WS: Su besleme tankı, N: Nozul, S: Sediment, X: Sediment ile nozul arasındaki mesafe, IT: Enjeksiyon tankı)

Ansari vd. (2003) kohezyonsuz ve kohezyonlu malzemelerde batık düşey dairesel su jeti altında oluşan oyulma problemini deneysel olarak incelemişlerdir. Kohezyonsuz ve kohezyonlu sedimentlerde oluşan oyulmanın geometrisi arasındaki fark tespit edilmiştir. Kohezyonlu sedimentlerde maksimum derinlik ve oyulmanın geometrisi, kil içeriği yüzdesi, kuru birim hacim ağırlığı, deneyden önceki nem içeriği gibi parametreler açısından incelemişlerdir. Hem plastik hem de plastik olmayan kohezyonlu malzemeler için maksimum oyulma derinliği ve oyulma geometrisi için ampirik ifadeler önermişlerdir. Önerilen ifadelerin uygulanabilirliği için veri aralığı belirlemişlerdir.

Emiroglu ve Baylar (2003) boğaz kısmında hava deliklerinin yer aldığı bir venturi aygıtının, havalandırma performansına ve oksijen transfer verimine etkisini özellikle farklı değerler, farklı yerler ve deliklerinin açık-kapalı olması durumuna göre deneysel olarak incelemişlerdir. Negatif bir basınç, havayı venturi aygıtının boğaz kısmının içine çekmiştir. Jetin

havalandırılması sonucunda bunun jetin genişlemesine, şekline, havalandırma performansına, penetrasyon derinliğine ve bu nedenle de oksijen transfer verimine etki ettiği görülmüştür. Venturi aygıtına ait havalandırma performansının ve oksijen transfer veriminin, dairesel bir ağızlığa göre çok daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

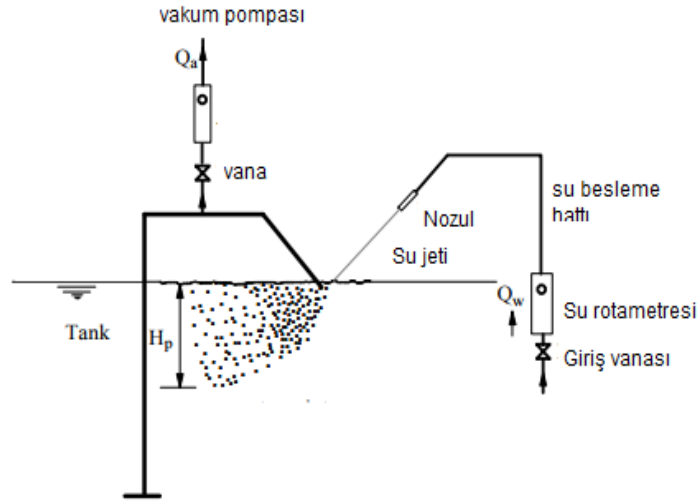


Şekil 2.7 Deney seti (Baylar ve Emiroğlu, 2003).

(1. Su tankı, 2. Pompa, 3. Su rotametro, 4. Termometre, 5. Do metre, 6. Do aleti, 7. Nozul 8. Hava kapalı, 9. Hava rotametro, 10. Hava pompası, 11. Ölçme aleti)

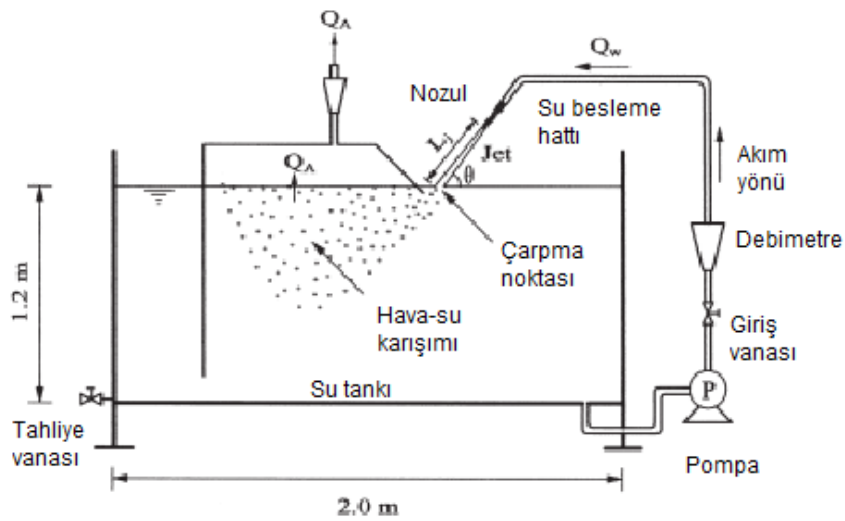
Canepa ve Hager (2003) basit bir deneysel model kullanarak hava debisinin çarpma havuzundaki oyulmaya etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, oyulmadaki hava-su karışımının birleşik etkisini açıklayan üç fazlı akımın Froude sayısını belirlemeye çalışılmıştır. Verilerin analizi sonucu oyulma profili, oyulma genişliği ve oyulma derinliği içeren oyulma geometrisine dair basit tahminler ortaya koyulmuştur. Belirli bir su hızı ve seçilmiş zerre karakteristikleri için jetteki havanın artmasının, oyulma derinliğinin artmasıyla sonuçlanacağı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ele alınan hava-su karışımının hızı ise; jetteki havanın artırılmasıyla oyulma derinliğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Bagatur ve Sekerdag (2003) çarpma noktasında etkili jet genişliğine bağlı olarak hava debisi, hava sürüklenme hızı, yuvarlak uçlu eğimli dikdörtgen ağızlıklı bir jetin penetrasyon derinliği gibi karakteristikleri incelemişlerdir. Jetin yayılma oranının bir fonksiyonu olarak hava sürüklenme hızını önceden tahmin edebilmek için deneysel bir çalışma yapmışlardır.



Şekil 2.8 Deney düzeneği (Bagatur ve Sekerdag, 2003).

Emiroglu ve Baylar (2003a) dairesel ağızlıklı bir su jetinde hava deliğinin olup olmamasının; özellikle hava deliklerinin pozisyonları, değişen sayıları ve hava deliğinin yeri ile ağızlık çıkışı arasındaki mesafenin hava sürüklenme hızına etkisini deneysel bir çalışmayla incelemişlerdir. Dairesel ağızlıktaki hava delikleri nedeniyle negatif bir basınç meydana gelmiştir ve bu olgu, hava sürüklenmesini etkilemiştir. Hava sürüklenme hızındaki farkların jet şeklindeki değişikliklerle ilgisi olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak; hava delikli dairesel ağızlıklardaki hava sürüklenme hızının, hava deliksiz ağızlıklara kıyasla önemli derecede yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır.



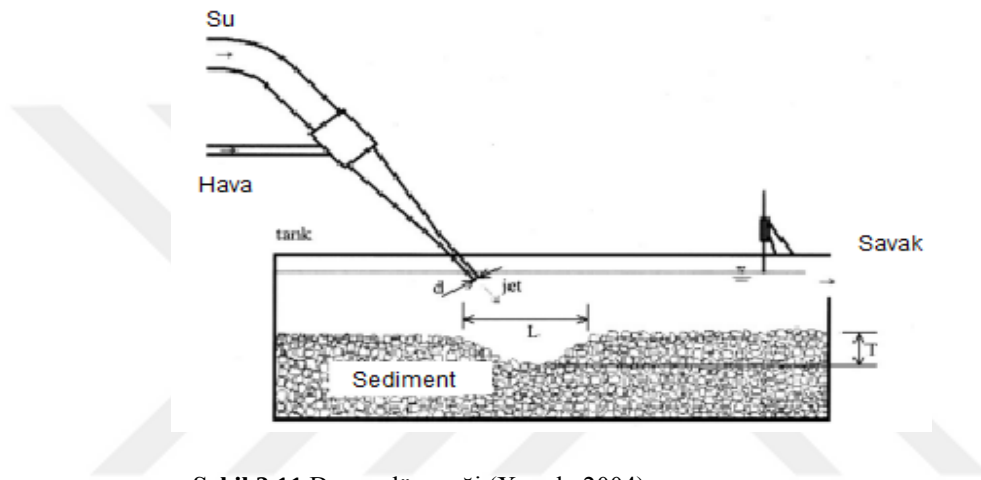
Şekil 2.9 Deney düzeneği (Emiroglu ve Baylar 2003a).

Emiroglu ve Baylar (2003b) yakınsak-ıraksak geçidi boyunca hava deliklerinin yer aldığı venturi aygıtında hava sürüklenme hızı ve oksijen transfer verimi için deneysel çalışmalar yürütmüşler ve özellikle farklı pozisyonların, deliklerin açık-kapalı olmasının etkilerini incelemiştirler. Negatif bir basıncın havayı deliklerin içine çektiğini ve bunun da su jeti genişlemesini, hava sürüklenme hızını, penetrasyon derinliğini ve bu nedenle de oksijen transfer verimini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Bu da hava delikli venturi aygıtlarının hava sürüklenme hızı ve oksijen transfer verimi değerlerinin, dairesel ağızlıklı jetlere kıyasla kayda değer bir şekilde daha yüksek olduğunu kanıtlamıştır.

Şekil 2.10 Deney seti (Emiroglu ve Baylar, 2003b).

Rajaratnam ve Mazurek (2003) minimum kuyruk suyu derinliğinde gevşek kum malzemesi yatağında çarpan dairesel su jetlerinin sebep olduğu erozyonunun deneysel çalışmasının sonuçlarını incelemiştir. Ölçümler dinamik, statik oyulma derinliğinde ve oyulma çukuru çapında yapılmıştır. Boyutsal parametreler ve deney sonuçları asimptotik seviyedeki oyulma çukurunun esas boyutlarını göstermek için kullanılmıştır. Oyulma çukurunun büyüklüğünü tahmin etmek için yararlı eşitlikler geliştirilmiştir. Ayrıca batmış su jeti ve batmamış dairesel su jetinin sebep olduğu erozyon karşılaştırılmıştır. Deneyler 572 mm genişliğinde, 610 mm yüksekliğinde kumla doldurulmuş geniş bir sekizgen tankta yapılmıştır. Batmamış dairesel su jeti düşey olacak şekilde kum yüzeyine çarptırılmıştır. Sonuç olarak kohezyonsuz kum malzemesinin batmamış dairesel su jetinden kaynaklı erozyonun deneysel çalışması yapılmıştır. Dinamik oyulma derinliğinin asimptotik seviyedeki statik oyulma derinliğinin yaklaşık üç katı olduğunu belirtmişlerdir.

geometrisine havalandırma veriminin etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Ağzlık su çıkışı öncesinde akım içerisine hava verilmiştir. Böylece akım havalandırılmaya çalışılmıştır. Havalanmış ve havalanmamış jet durumunu aynı koşullar (kuyruk suyu derinliği, Reynolds sayısı, jet hızı) dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Yaptığı çalışmasında havalandırmanın oyulma derinliği üzerinde az bir etkisi olduğunu ifade etmiş ve havalandırılmış jet durumunda oyulma çukurunun geometrisi etkilenmekte ve oyulma derinliği azalmaktadır.

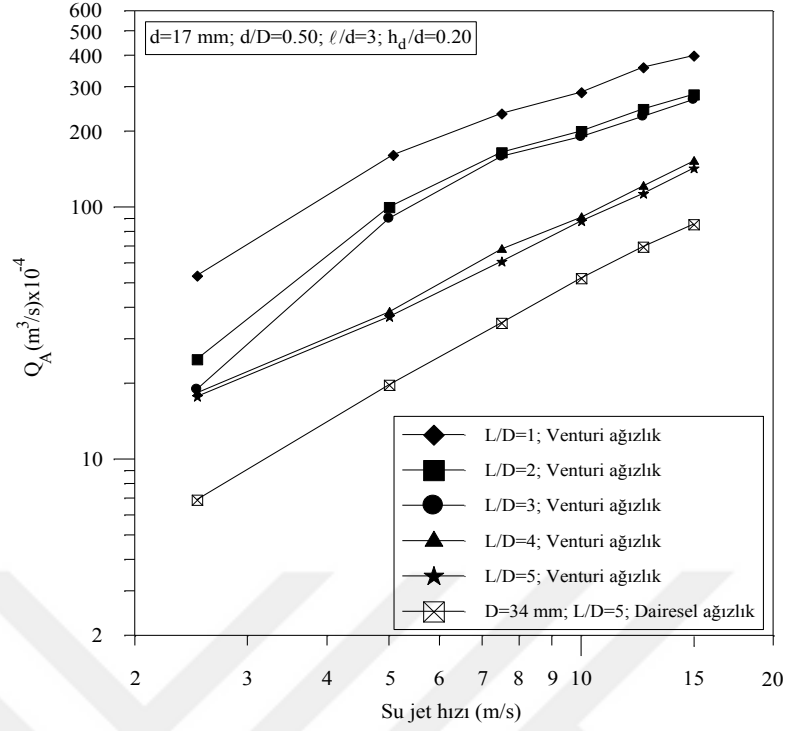


Şekil 2.11 Deney düzeneği (Xu vd., 2004).

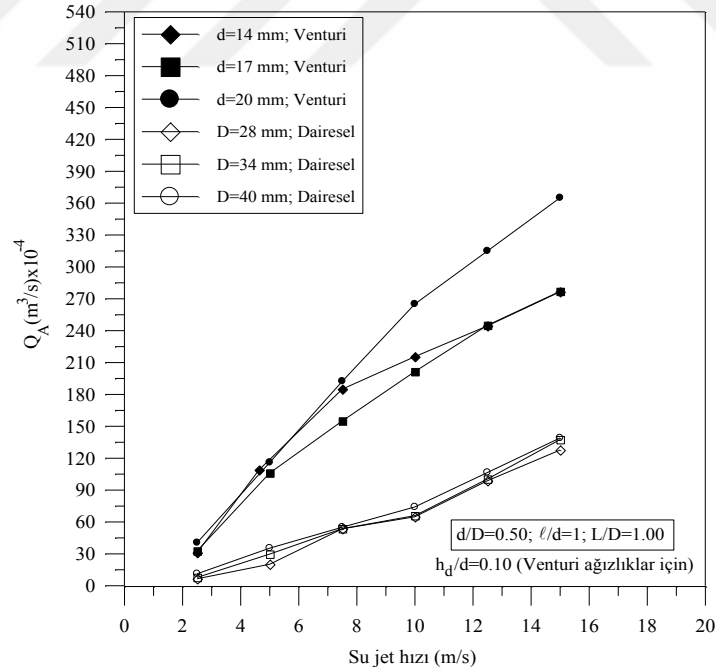
Arkar ve Dey (2004) su jetleri nedeniyle oluşan yerel oyulma konusunda kapsamlı bir derleme çalışması yapmıştır. Araştırmacı çalışmasını; (1) Yatay jetler nedeniyle oluşan oyulma, (2) Çarpan jetler nedeniyle oluşan oyulma, (3) Jetler nedeniyle oluşan oyulma konusunda diğer çalışmalar, (4) Oyulmayı önleme çalışmaları ana başlıkları altında makalesini sunmuştur. 2004'e kadar olan konuyla ilgili çalışmaları detaylı olarak incelemiş ve sunmuştur.

Koçyiğit (2004) venturi aygıtı ile oluşturulan su jetinin havalandırma performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında hem dairesel ağzlık ve hem de venturi ağzlık kullanmışlardır. Çok sayıda ağzlık imal ederek deneyler yapmışlardır. Deneylerde su jetlerinin hava giriş hızını ve oksijen transfer verimlerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Ağzlığın boyutlarının değişiminin havalandırmaya etkisini detaylandırarak araştırdıkları görülmektedir. Venturi ağzlığın boğaz bölgesinde açılan delik çapının havalandırma performansına da etkisini araştırmışlardır. Neticede venturi aygıtının havalandırma performansı açısından en optimum boyutlarını belirlemişlerdir. Venturi aygıtının havalandırma performansının dairesel ağzlığa göre oldukça iyi olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmasında şu sonuçları elde

etmişlerdir. (1) Venturi ağızlıklar, dairesel ağızlıklara göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir. (2) Venturi aygıtının jet genişleme değerleri, dairesel ağızlıklarinkine göre oldukça fazla olmaktadır. Bunun nedeni, venturi aygıtının boğaz bölgesi çapının daralması ve bu bölgedeki hava deliğinin negatif basınç oluşturarak, jet şeklini değiştirmesidir. (3) Çapın büyümesiyle jet genişliği değerleri de artmaktadır. (4) Dairesel ağızlıkların penetrasyon derinliği değerleri, venturi aygıtından genellikle daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni, dairesel ağızlıkların jet genişliklerinin daha az olmasıdır. (5) Hava sürüklenme hızı ve oksijen transfer verimindeki değişim, jet genişliği ile yakından ilgilidir. Jet genişliğinin artması, daha fazla hava sürüklenmesine sebep olmuştur. (6) Su jet hızı arttığında; hava sürüklenme hızı da artarken, oksijen transfer verimi azalmıştır. (7) Jetin çarpma noktasındaki şekli, hava sürüklenme hızı ve oksijen transfer verimi üzerinde etkilidir. Ağızlık şekli, havalandırma performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. (8) Su jet hızı artarken hava sürüklenme hızı ve kütle transfer katsayısı da artmaktadır. Venturi ağızlığın hava sürüklenme hızı ve kütle transfer katsayısı değerleri dairesel ağızlığa göre oldukça fazladır. (9) Boğaz bölgesindeki hava deliklerinin değişen çapları; hava sürüklenme hızı, jet genişliği, oksijen transfer verimi ve penetrasyon derinliğini önemli ölçüde etkilemiştir. h_d/d 'nin artmasıyla hava sürüklenme hızında artış gözlenmemiştir. Genellikle $h_d/d=0.2$ ve $h_d/d=0.3$ 'te daha yüksek veriler elde edilmiştir. (10) Ağızlık çıkış uzunluğunun çıkış çapına oranının; hava sürüklenme hızı, jet genişliği, oksijen transfer verimi ve penetrasyon derinliği üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Venturi ağızlıkta hava sürüklenme hızı değerleri; $\ell_5/D=1$, $\ell_5/D=2$ ve daha büyük değerler için kıyaslandığında, $\ell_5/D=1$ 'in en yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. (11) Boğaz bölgesi uzunluğunun boğaz bölgesi çapına oranı, ℓ_3/d ; hava sürüklenme hızı, jet genişliği, oksijen transfer verimi ve penetrasyon derinliği üzerinde etkili olmuştur. $\ell_3/d=0.50$, genellikle $\ell_3/d=1$ 'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir. (12) Test edilen bütün venturi ağızlıklarda $d/D=0.50$ 'nin sağladığı verilerin, $d/D=0.75$ 'e göre oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. (13) Uygulamada dairesel ağızlığın yerine, maliyet açısından bir fark getirmeyen venturi ağızlığın kullanımı, yaklaşık 6.5 kat daha fazla hava sürüklenme hızı ve 2.5 kat daha fazla oksijen transfer verimi elde edilmesini sağlamış olacaktır.



Şekil 2.12 Dairesel ve venturi ağızlıklarda L/D_v 'nin değişiminin hıza bağlı olarak hava sürüklenme hızıyla değişimi (Koçyiğit, 2004).



Şekil 2.13 Venturi ve dairesele ağızlıklarda d ve D_v 'nin değişiminin hıza bağlı olarak hava sürüklenme hızıyla değişiminin karşılaştırılması (Koçyiğit, 2004).

Bagatur (2005) venturi ağızlık kullanarak suların havalandırma performansını araştırmış ve venturi ağızlığındaki hava vakumun Reynolds sayısı ile ilişkisini incelemiştir. Araştırmacı

venturi ağızlığın havalandırmasının minimal durumdaki koşullarını inceleyerek venturi ağızlığın girişinde Reynolds sayısının 1900 olduğunu (geçiş akım bölgesi) ve boğaz bölgesinde ise 3900 (türbülanslı akım) olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca araştırmacı deney sonuçlarına göre, suyun debisi ve venturinin boğaz bölgesindeki Reynolds sayısının artmasıyla hava debisinin (Q_a) arttığını belirtmiştir. Araştırmacı venturinin giriş bölgesinde $Re < 1900$ olduğunda hava vakumunun olmadığını ve $Re < 3900$ olduğunda ise venturinin boğaz bölgesinde hava vakumunun oluşmadığını bildirmiştir. Hava debisinin artmasıyla pompanın gücünün azaldığını yani pompanın basabildiği su debisi azalmakta ve buna hava sürtünme kuvvetlerinin etkili olduğunu açıklamıştır. Venturide hava debisini tahmin etmek için suyun debisi, boğaz bölgesi çapı, boğaz bölgesinde açılan hava deliği (t_h) ve Reynolds sayısına bağlı olarak formül vermiştir.

$$Q_a = \frac{1}{100} \left(\frac{d_2}{t_h} \right) \cdot Q_w; \quad Q_a \approx Re_{\text{boğaz}} Q_w \quad (2.8)$$

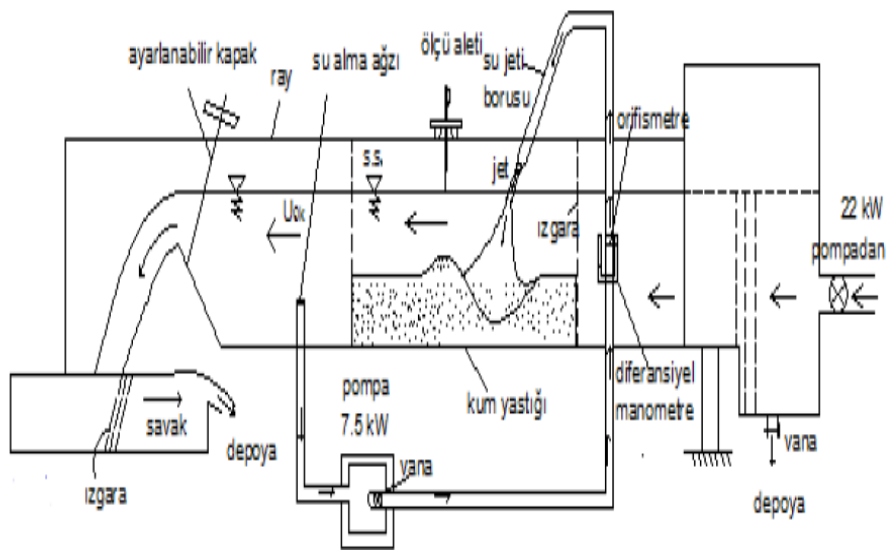
Pagliari vd. (2006) çarpma havuzunda meydana gelen oyulma üzerine jetin şekli, jetin hızı, kuyruk suyu derinliği, malzemenin üniform olup olmaması, jet hava içeriği ve memba akımının etkilerini incelemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. 30, 45, 60 ve 90° çarpma yüksekliklerinde 0.07 m çapa sahip bir dairesel su jetinin batık ve batık olmayan durumda çarpma havuzunda meydana getirdiği oyulmayı incelemişlerdir. Bu çalışmada su jetine hava ilavesi yapılarak havalandırmanın da oyulmaya etkisi incelenmiştir. Jet hava içeriğinin oyulma üzerinde büyük bir etkisi olduğunu ve jetin şeklinin ise oyulma üzerinde küçük bir etkisi olduğunu söylemişlerdir. Malzemenin üniform olması durumunda üniform olmayan malzemeye göre daha derin oyulma derinliğinin oluştuğunu, jet çarpma açısının artmasıyla oyulma çukurunun derinliğinin arttığını ancak tepe yüksekliğinin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar kuyruk suyu derinliğinin maksimum oyulma derinliği üzerine etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Wei vd. (2013) havalandırmanın etkileri ve jet akışının eksenel hız azalması üzerine başlangıç su jeti kalınlığı; varyans analizi ve nümerik yöntemler kullanılarak analiz etmişlerdir. Deney sonuçlarının analizinden hem hava konsantrasyonu hem de başlangıç su kalınlığının, jet akış eksenini boyunca eksenel hız bakımından önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda havalandırma ve başlangıç su jeti kalınlığı arasında önemli bir ilişki olmadığını ifade etmişlerdir. Havalandırmanın, jet akışının eksenel hız azalmasında daha belirgin bir etkiye

sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan nümerik çalışmanın sonuçlarına göre havalandırmanın, jet akışının sürüklenme yeteneğini arttırmasına katkıda bulunabileceğini ve bunun da jet akışı ve çevresi arasındaki etkileşimi artırabileceğini göstermişlerdir.

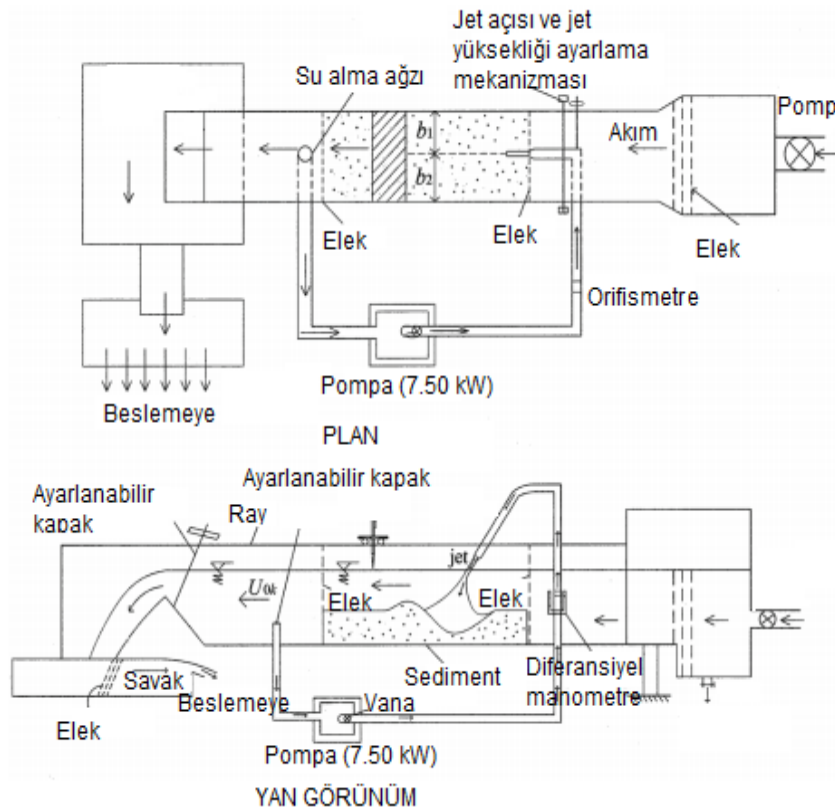
Chakravarti vd. (2013) su altında düşey olarak yerleştirilmiş dairesel su jetinin çakıl malzemesinde oluşturduğu oyulmanın davranışını incelemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, oyulma çukurunda hem dinamik hem de statik oyulma derinliği için ölçümler yapılmıştır. Asimptotik durumda dinamik oyulma derinliğinin statik oyulma derinliğine göre çok daha büyük olduğunu göstermişlerdir. Oyulma derinliğinin zamanla değişimi ve maksimum statik oyulma derinliğini ölçmüşlerdir. Erozyon parametresi (E_c) ile dinamik ve statik oyulma derinliği arasındaki farkın değişimi, bu farkın erozyon parametresinin değeri ile doğrusal olarak arttığını ortaya koymuşlardır.

Koçak (2013) yüksek lisans çalışmasında kohezyonsuz zemin malzemesi kullanarak deneysel bir çalışma yapmıştır. Su jetinin oluşturduğu oyulma derinliği üzerinde zemin tabakası kalınlığının etkisini araştırmıştır. Jetin oluşturduğu oyulmayı etkileyen boyutsuz parametreler, boyut analizi yardımı ile belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiyi belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deney neticeleri göstermiştir ki zemin malzeme tabakası kalınlığı arttıkça su jetinin bu tabakada oluşturduğu oyulma derinliği en büyük olmaktadır. Eğer kum tabakasının kalınlığı belirli bir sınır değerinden büyük olursa oyulma derinliği değişmeyip sabit kalmaktadır. Su jeti tarafından oluşturulan oyulmanın en büyük derinliği üzerinde zemin tabakasının kalınlığının bir miktar etkisi var olmakla birlikte söz konusu etkinin aşırı büyük olmadığı belirtilmiştir.



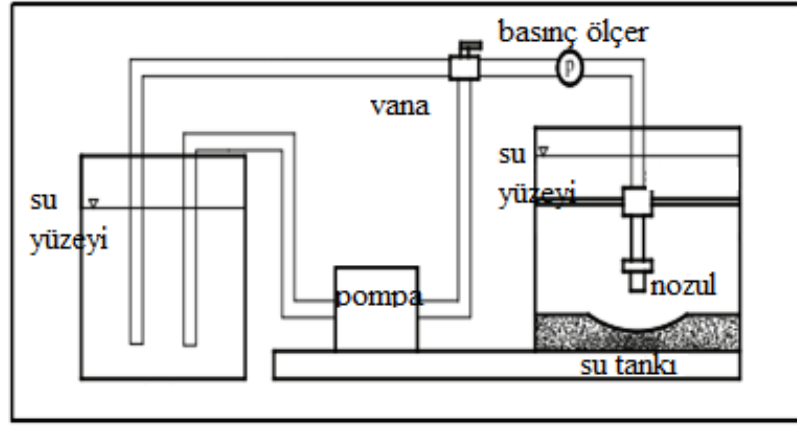
Şekil 2.14 Deney düzeneği (Koçak, 2013).

Tastan vd. (2016) su jetleri nedeni ile oluşan oyulma üzerine yatak malzemesi kalınlığının etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Kohezyonsuz sediment ile yapılan deneylerde sediment tabakasının kalınlığının oyulma üzerine etkisinin olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir. (1) Zemin malzeme tabakası kalınlığı arttıkça maksimum oyulma derinliği artmıştır. Fakat belirli koşullar altında zemin malzeme tabakasının belirli bir sınırının üstündeki değerinde maksimum oyulma derinliğinin değişmediğini ve sürekli sabit olduğunu bulmuşlardır. (2) Oyulma derinliği üzerinde zemin malzeme tabakasının kalınlığının etkisinin küçük de olsa olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.15 Deney düzeneği (Tastan vd., 2016).

Hou vd. (2016) batmış su jeti tarafından oluşan oyulma derinliğini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Problemi çarpma açısını dikkate alarak matematiksel bir model kurarak analiz etmişlerdir. Çarpma açısının artması ile oyulma derinliğinin azaldığını ifade etmişlerdir.



Şekil 2.16 Deney düzeneği (Hou vd., 2016).

Yukarıda verilen çalışmalar incelendiğinde; su jetleri ile ilgili birçok çalışmanın yapıldığı ve bu konunun araştırmacıların ilgisini çektiği görülmektedir. Çalışmaların büyük bir çoğunluğu dairesel ağızlıklı su jetlerinde havalandırma verimlerinin belirlenmesi üzerine yapıldığı görülmektedir. Ayrıca su jetleri kullanılarak oksijen transfer verimlerinin de incelendiği görülmektedir. Su jetleri ile oyulma problemi dairesel ağızlık kullanılarak küçük erozyon parametresi değerleri için incelenmiştir. Bir başka deyişle büyük erozyon parametresi değerleri için söz konusu oyulma problemi yeterince incelenmemiştir. Su jetlerindeki akımı havalandırmak için dışarıdan ağızlık içerisine hava verilerek çalışmalar da yapılmıştır. Bu durumda enerji kullanımı gereksinimi olmaktadır. Yapılan çalışmalarda enerji kullanmaksızın bir havalandırma sisteminin oyulma problemlerinde yeterince incelenmediği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında su jetinden dolayı oluşan oyulmayı incelemek için literatürden farklı olarak venturi ağızlık kullanılmıştır. Boğaz bölgesinde açılan delik ile negatif basınç yardımıyla akım içerisine hava sokulması temin edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda havalandırma verimi açısından, venturi ağızlığın dairesel ağızlığa göre oldukça iyi bir performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada venturi ağızlık kullanılması durumunda mansap havuzunda oluşacak oyulma ve taban geometrisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Böylece literatürdeki bahsedilen boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

3. TEORİK BAKIŞ

3.1. Giriş

Su jetleri; inşaat, çevre ve diğer mühendislik dallarında kullanılan önemli bir hidrolik yapıdır. Su jetleri özellikle havalandırma, oksijen transferi ve yüzdürme (flotasyon) işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Baraj dipsavaklarında suyun mansaba aktarılması su jeti şeklinde olmaktadır. Kemer barajlarda dolusavaklara yardımcı olarak, ölü hacmin üst kotlarına yerleştirilen su jetleri ile taşkın suları mansaba aktarılmaktadır. Bu nedenle su jetleri uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur.

Aşağıda su jetlerinin akım karakteristikleri ve su jeti türleri hakkında özet bilgiler verilmiştir.

3.2. Su Jetlerinin Akım Karakteristikleri

3.2.1. Su Jeti Türleri

Hidrolik yapılardaki akım genellikle bir jet şeklinde ortaya çıkar. Jet düşük bir hıza veya hızı olmayan bir çevreye yayılan yüksek bir hızdaki akışkan akımını gösterir (Rajaratnam 1976). Jetlerin özellikleri, nozul tasarımından yani geometrisi (nozul şekli, nozul kesiti) ve jeti çevreleyen ortam koşullarından etkilenebilir. Jetin etrafındaki herhangi akışkan yapıdan etkilenmediğinde, bir jet genellikle serbest bir jet olarak sınıflandırılır. Düşey kapaklar, sıçratma eşikleri ve hidrolik sıçrama havzaları gibi hidrolik yapılardan çıkan akımların doğası gereği genellikle türbülanslı jetler olmaktadır. Türbülanslı bir jet, durgun veya hareketli olan bir akışkan ortamına deşarj edilen yüksek hızlı bir akışkan olarak tanımlanabilir. Hidrolik yapıların mansabında türbülanslı su jetleri farklı boyutlarda, farklı güçlerde ve farklı şekillerde ortaya çıkar ve farklı şekillerde deşarj olurlar. Bu jetler, deşarj yolları bakımından iki veya üç boyutlu, duvar jet (serbest) veya serbest yörüngeli jet (eğimli veya düşey) olarak sınıflandırılırlar ve akışkan durumlarına göre de serbest veya batık olarak sınıflandırılırlar.

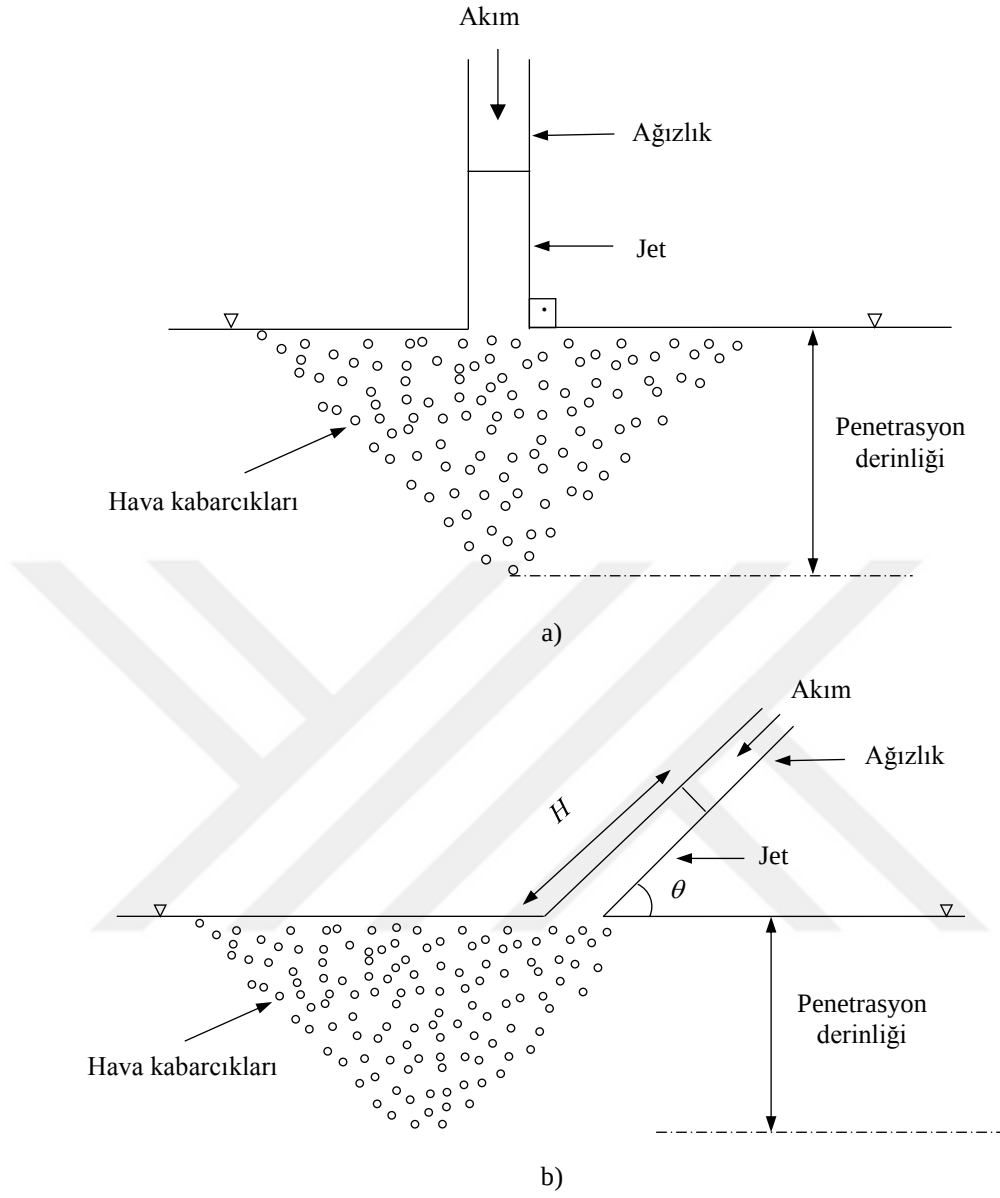
Akışkanın yoğunluğuna bağlı olarak, jet iki tip olarak sınıflandırılabilir: (1) **Yüzmeyen:** Jet ve çevresindeki akışkan aynı yoğunluğa sahiptir, (2) **Yüzen:** Jetteki akışkanın yoğunluğu etrafındaki akışkanın yoğunluğundan daha azdır.

Geometrik açıdan jetler dörde ayrılır: (1) **Serbest jet**: Akışkan akımı herhangi bir katı sınırdan uzaktır, (2) **Duvar jeti**: Akışkan akımı, jetin bulunduğu yerin sınırında gerçekleşir, (3) **Yatay offset jeti**: Jet eksenini, zemin yatağından biraz uzaktadır, ancak jet başlangıçta yatağa paralel olarak akmaktadır, (4) **Çarpan (dalan) jet**: Jet, zemin yatağına ya da çarpma noktasına doğru bir açıyla akar.

İki boyutlu, üç boyutlu jetler (en-boy oranlarına göre) ve dairesel jetler arasında bir ayrım yapılabilir. Jetler, eşit veya daha büyük yoğunluğu olan sıvıya girdiklerinde daldırıldıkları söylenir, aksi halde suya batırılmamış jetler oldukları söylenir. Akım jetlerinin tipine göre ayrıca laminar veya türbülanslı jetler olarak sınıflandırılır. Jetin bir su kütesine dalmasına bağlı olarak başka bir ayrım yapılabilir. Jetler, havaya doğru bırakılıp havadan su kütesine düştüklerinde dalan jet (plunging) sudan atılıp su kütesine düşmeyenlere ise dalmayan (non-plunging) jet söylenmektedir.

Su jeti, bir orifis veya boru ucundan atmosfere açılan akışkan akımı veya su demetidir. Su jeti hava ile çevrelendiği gibi başka bir sıvı akışkanı ile de çevrelenebilir. Hava ile çevrelenen su jeti, serbest jet olarak adlandırılır ve direkt olarak yerçekimi etkisi altındadır. Bu tip su jetlerine, dalan (plunging) su jeti adı verilmektedir. Eğer su jeti, su gibi başka bir akışkan ile çevrelenmişse bu tip su jeti, batık (submerged) jet olarak tanımlanır. Su jeti ile havalandırma sisteminde, tankta bulunan durgun veya hareketli bir su yüzeyine dalan veya çarpan derinlik boyunca batık bir jet bölgesi oluşmakta ve dağılım göstermektedir. Su jeti, mansap havuzuna çarptığı zaman çok sayıdaki hava kabarcığını su içerisine sürükleyip sokmaktadır. Sonuç olarak su jeti iki fazlı bir akım oluşturur. Bu durumda oluşan hava kabarcıkları sonsuz bir derinliğe kadar gitmez. Su jetinin hızı, çarpma açısı gibi değişkenlere bağlı olarak belirli bir derinliğe kadar aşağı inebilirler. Bu derinlik, penetrasyon derinliği olarak tanımlanmaktadır.

Su jeti ile hava taşınmasında düşey ($\theta=90^\circ$) ve eğimli su jetleri kullanılmaktadır. $\theta=90^\circ$ durumunda sürüklenen hava kabarcıkları bir koni şeklinde olmaktadır. $\theta<90^\circ$ olması durumunda ise sürüklenen hava kabarcıkları bir tabak şeklini almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Su jetleri; a) düşey su jeti, b) eğimli su jeti

Su jeti ile havalandırma sistemiyle ilgili olarak düşey ve belirli bir çarpma açısına sahip (θ) türbülanslı jetler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Belirli çarpma açısına sahip türbülanslı jetler, çarptığı veya daldığı su yüzeyine yatay bir hız (V_r) sağlamaktadır.

Araştırmacılar, belirli bir çarpma açısına sahip türbülanslı su jetleri üzerinde genellikle çalışmışlardır

3.2.2. Su Jetinin Uygulama Alanları

Su jeti ile kesme işlemi su jeti ile kesme (waterjet cutting) ve aşındırıcılı su jeti ile kesme (abrasive waterjet cutting) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Her iki yöntemde de, oldukça yüksek hıza sahip su jetleri kullanılmaktadır. Fakat aşındırıcı su jeti yönteminde, basınçlı olan suya ilave olarak küçük aşındırıcı parçacıklar ilave edilerek işlem yapılmaktadır (Hashis, 1991).

Su jeti kesme yöntemi ile taze, kuru, paketlenmiş veya dondurulmuş hemen hemen tüm gıdalar işlenebilmektedir. Su jeti ile kesim sırasında ürün, kesici metale yapışmadığı için ürün üzerinde minimum basınç etkisi gözlenir böylece ürünün deforme olması engellenir. Sistem esnek imalat ve otomatik imalat sistemlerine kolaylıkla monte edilebildiği için ürüne bıçakla verilmesi mümkün olmayan şekiller rahatlıkla verilebilmektedir.

Su jeti ile kesme yöntemi, özellikle karton kutu imalatında buruşmaya, kenarların yırtılmasına ve kenarın açılmasına mahal vermediği için tercih edilmektedir. Bu yöntemin en büyük özelliği, mekanik sistemlerin kesim sırasında malzemede oluşturduğu tahribatı oluşturmamasıdır.

Kumaş esnek ve yumuşak bir malzeme olduğu için kumaşla temas halindeki kesici kesimi zorlaştırır. Bu yüzden de su jeti kesme yönteminde, kesici jetin işlem yapılacak kumaş ile temas etmemesi kesme işleminin basitleştirmesi ve hızlandırmasını sağlaması nedeniyle bu sektörde tercih edilir.

Su jeti kesme sistemleri, tüm gözenekli, taneli ve yumuşak malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir. Uygun hareketiyle malzemeyi üç boyutlu olarak işlemek mümkündür. Özellikle, kapı ve pencere imalatında kullanılan PVC türü malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Su jeti sistemleri, endüstriyel temizleme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Zamanla paslanan ya da kararan eşyaların temizlenip parlatılması, çakıl taşlarının topraktan ayrılmasında, kömürün kömür tozlarından ayrılması işleminde gibi işlemlerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Su jeti kesme sistemleri ayakkabı ve dericilik sektöründe kullanıldığında, malzeme sarfiyatında düşüşe neden olmaktadır. Ayakkabı kalıbı hazırlama masrafları, bu işlem için gerekli zaman kaybı ve kalıplar hazırlanırken meydana gelecek malzeme sarfiyatı bu şekilde en aza indirilebilmektedir.

Cam, mermer, granit ve seramik türü malzemelerin en büyük özelliği kırılgan olmalarıdır. Geleneksel yöntemlerle yapılan işlemler sırasında, malzemeler çok kolay deforme olmakta ve

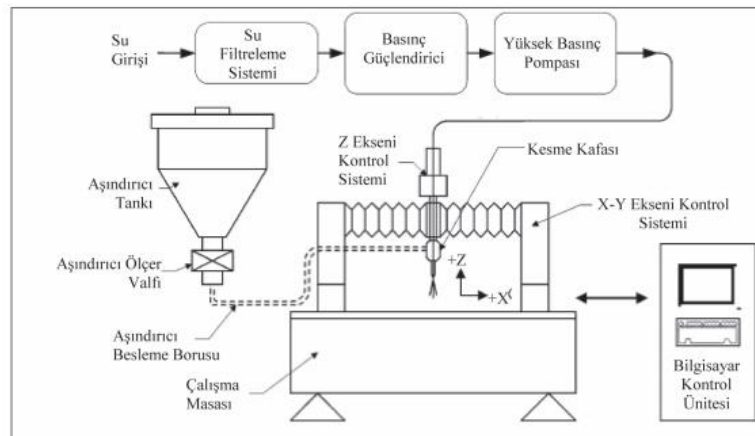
çoğu bozulmaktadır. Su jeti kesme sisteminin, işlem sırasında malzeme üzerine gelen kesme kuvvetlerini azaltarak malzeme deformasyonunu önlediği ve malzeme sarfiyatını oldukça düşürmektedir. Bu nedenle bu sektörde, su jeti ile kesme yöntemlerinin kullanımı çok avantajlı olmaktadır.

Su jeti kesme sistemleri, elektronik sektöründe, lider elektronik kart ve bilgisayar üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Yöntem tüm elektronik kart malzemeleri üzerinde denenmiş ve üretim hızını önemli ölçüde artırdığı, kesme yüzey kalitesini arttırdığı ve toz oluşumuna engel olduğundan tercih edilmektedir.

Su jeti ile kesme sistemleri otomotiv sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Sistem halı, araba ön paneli, gösterge panosu, fiberglas yaylar, yakıt tankı korumaları, koltuk arkalıkları ve asbest fren balataları gibi metal, kompozit ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Kompozit parçaları ve titanyum gibi malzemeleri yoğun şekilde kullanan uzay ve havacılık firmaları su jeti kullanımı ile üretim miktarlarını arttırdıklarından ve üretim süresini düşürdüklerinden dolayı bu yöntemi kullanmaktadırlar.

Su jeti yukarıda yazılan sektör ve sanayilerin yanı sıra riskli alanlarda ve patlayıcı ortamlarda kesme işlemleri, nükleer ve elektrik santralleri, inşaat sektörü, ulaşım, maden sektörü, medikal sanayi, taş ve beton kesme işleri gibi birçok alanda da kullanılmaktadır.

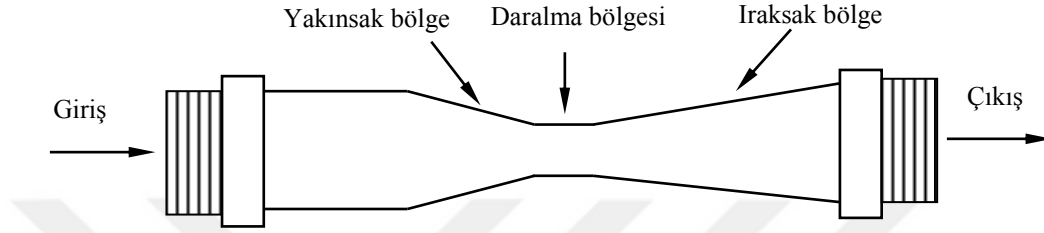


Şekil 3.2 Su jeti kesme sisteminin çalışma prensibi ve temel elemanları (Duflou vd., 2001).

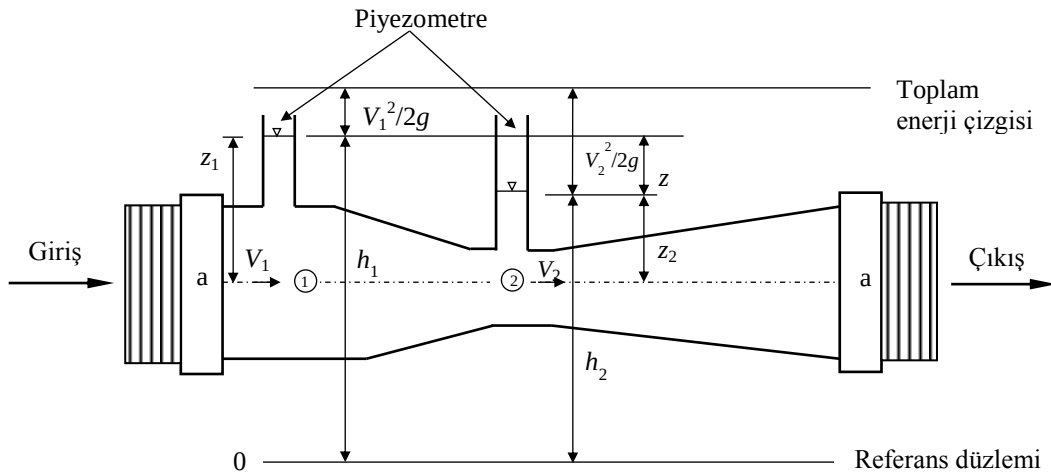
3.2.3. Bir Su Jeti Olarak Venturi Aygıtı

Venturi aygıtı, bir boru ile deşarj edilen akışkan akımının debisini ölçmek için yıllardan beri

debi ölçmede kullanılan bir araçtır. Boru kesitinden daha küçük kesit alanına sahip olan bir boğaz bölgesinde daraltma yapılarak boru içindeki akışkanın hızı arttırılmaktadır. Ayrıca boğaz bölgesindeki akışkan hızının artmasının yanında basınçta da azalma olmaktadır. Daraltma yapılan bölge ile daraltılmamış bölge arasında oluşan iki kesit arasındaki basınç farkından dolayı akışkanların debileri hidrolik olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.3 Bir venturi aygıtının görünümü (Bağatur ve Baylar, 2001).



Şekil 3.4 Bir venturi aygıtının teorik bileşenleri

a-a nivo seviyesine göre;

$$P_1 + \gamma \cdot z_1 = P_2 + \gamma \cdot z_2 \quad (3.1)$$

$$P_1 - P_2 = \gamma(z_2 - z_1) \quad (3.1a)$$

Şekilden anlaşılacağı üzere $z_2 < z_1$ olduğundan

$$z_2 - z_1 = -z \quad (3.1b)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = -z \quad (3.1c)$$

denklemini elde edilir. Bu işleme göre 2 no'lu noktada negatif bir basınç olduğu denklemden anlaşılmaktadır. Burada P_1 : 1 noktasındaki basınç (N/m^2), P_2 : 2 noktasındaki basınç (N/m^2), h_1 : 1 noktasındaki basınç yüksekliği (m), h_2 : 2 noktasındaki basınç yüksekliği (m) ve γ : suyun birim hacim ağırlığıdır (N/m^3).

3.2.3.1. Venturi Aygıtının Kullanıldığı Alanlar

Endüstride venturi aygıtının vakum (negatif basınç) oluşturma özelliğinden yararlanmak için venturiler uygulamada birçok yerde kullanılmaktadır. İçme suyunun arıtılması ve gazların enjeksiyonunda, tarımsal sulamada özellikle sıvı-gübre enjeksiyonu, havalandırma ve oksijen transferi özellikle atıksu-içme suyu arıtılması ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi uygulamalarda sıklıkla venturi aygıtı kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması, birçok kimyasala karşı dirençli olması, bakımı ve işletilmesi kolay ve tasarımından dolayı iyi bir karışım sağlaması gibi faydalı özelliklerinin olması venturi aygıtının uygulamada tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

3.3. Su Jetlerinden Kaynaklanan Yerel Oyulmalar

Jetin kum, çakıl veya zayıf kayadan oluşan bir sediment yatağı ile etkileşimi oyulma ile sonuçlanır. Oyulma probleminin teorik olarak incelemek zor ve karmaşıktır. Hızla değişen bir oyulma çukurunun geometrisinin etrafındaki jet difüzyonunun ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir. Aynı şekilde jet nedeniyle oluşan oyulmanın farklı zamanlarındaki malzemelerin hareketini ve davranışını, sürüklenen havanın etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemek gerekir. Ayrıca, deşarj edilen akımın frekans, zaman, büyüklükleri ve türbülansındaki olası önemli farklılıkların oyulmanın büyümesi üzerindeki etkileri de kapsamlı bir şekilde anlaşılmalıdır. Bu nedenlerden dolayı araştırmacıların bu konuya genel yaklaşımı çoğunlukla ampirik olmuştur. Su jeti nedeniyle oluşan oyulma çukuru, yapının bir kısmının veya tamamının stabilitesini tehlikeye sokacak kadar büyük olabilir. Oyulmanın yapıda hasar veya göçme gibi zararlara yol açması sonucu, yapının büyüklüğüne veya neden olduğu zararın derecesine bağlı olarak ekonomik kayıp değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle hidrolik

mühendisliğinin mevcut hidrolik, hidrolojik ve jeolojik verilere dayanarak etkili ve ekonomik bir tasarım, suyun enerjisini dengeli dağıtma ve jetin mansap bölgesinde büyük oyulma oluşturmayacak şekilde bir akım sağlamak görevleridir. Herhangi bir tasarım için kontrol tedbirleri için oluşturulacak kontrol yapısının yerinin belirlenmesini, oyulmanın büyümesini ve nihai boyutunu belirleyecek fiziksel model çalışmaları genellikle büyük yapılar için gerçekleştirilmektedir. Küçük yapılar için model çalışmaların yapılması genellikle ekonomik olarak mantıklı değildir; Bu nedenle, literatürde mevcut olan bazı standart tasarımlar ve ampirik denklemler sıklıkla kullanılmaktadır.

Oyulma, akımın hareket etmesi sonucu akım çevresinin sınırını oluşturan malzemenin taşınması ile bir akımın genişlemesi olarak tanımlanmıştır (Laursen, 1952).

Oyulma aşağıdaki gibi çeşitlere ayrılabilir (Breusers ve Randkuvi,1991).

- **Genel oyulma:** bir hidrolik yapının mevcut olup olmadığına bakılmaksızın doğanın işleyişi sonucu olarak dere ve nehirlerde meydana gelen oyulmadır.
- **Sınırlı oyulma:** bir yapının; su kanalını daraltması, seddelerin kanal yönlerinin değişmesi veya taşkınlara neden olmasıyla meydana gelen oyulmadır.
- **Yerel oyulma:** Doğrudan hidrolik yapının akım üzerindeki etkisi nedeniyle oluşmaktadır. Bu oyulma, yapı tipinin bir fonksiyonudur. Aynı zamanda genel ve sınırlı oyulmanın birleşmiş halidir.

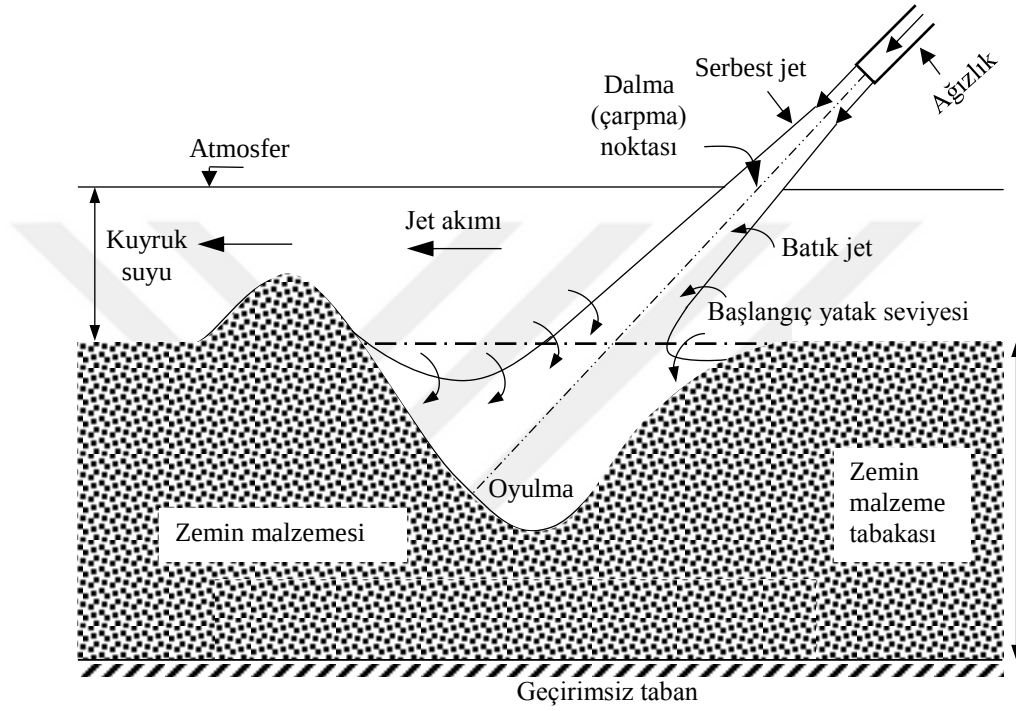
Oyulma, farklı sediment taşınması durumları için aşağıdaki durumlara ayrılabilir (Breusers ve Randkuvi,1991).

- **Temiz-su oyulması:** Oyulma bölgesinin doğal akıma maruz kalan yatak malzemesinin hareketsiz olmasıyla meydana gelmektedir. Yapıdan uzak bir mesafedeki sediment üzerinde olan kayma gerilmeleri sediment hareketinin başlatılması için kritik veya sınır kayma gerilmelerinden daha büyük değildir.
- **Hareketli yatak oyulması:** Yatak malzemesinin sediment taşınımı ile oluşan oyulma olarak adlandırılır ve akım yatak malzemesinin hareketini tetiklediğinde oluşur. Yani, yatakta bulunan kayma gerilmelerinin kritik kayma gerilmesinden daha büyük olduğu zaman ortaya çıkar.

Akarsu veya kanal tabanını oluşturan zemin malzeme tabakası su yüzeyine dalan veya çarpan su jeti tarafından yerinden sökülmesi, parçalanması, aşındırılması veya erozyona uğratılması sonucu jet veya akım tarafından taşınmaktadır. Geride akarsu tabanındaki zemin malzeme tabakasında sedimentin taşınması ile oluşan çukura oyulma denir (Şekil 3.5).

Bu çalışmada çarpma havuzunda bulunan zemin malzemesi tabakasına sediment yatağı

veya kum tabakası ayrıca bu zemin malzeme tabakası üzerinde yer alan çarpma havuzundaki su tabakasının kalınlığına kuyruk suyu olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.5). Su jetinin ağızlıktan çıkıp çarpma havuzundaki su yüzeyine çarpıncaya kadar olan mesafede havada kalan kısmına serbest jet, su jetinin çarpma havuzundaki su yüzeyine çarptıktan sonra kuyruk suyu içerisinde kalan kısmına da batık jet kısmı veya batmış jet denmiştir (Şekil 3.5).



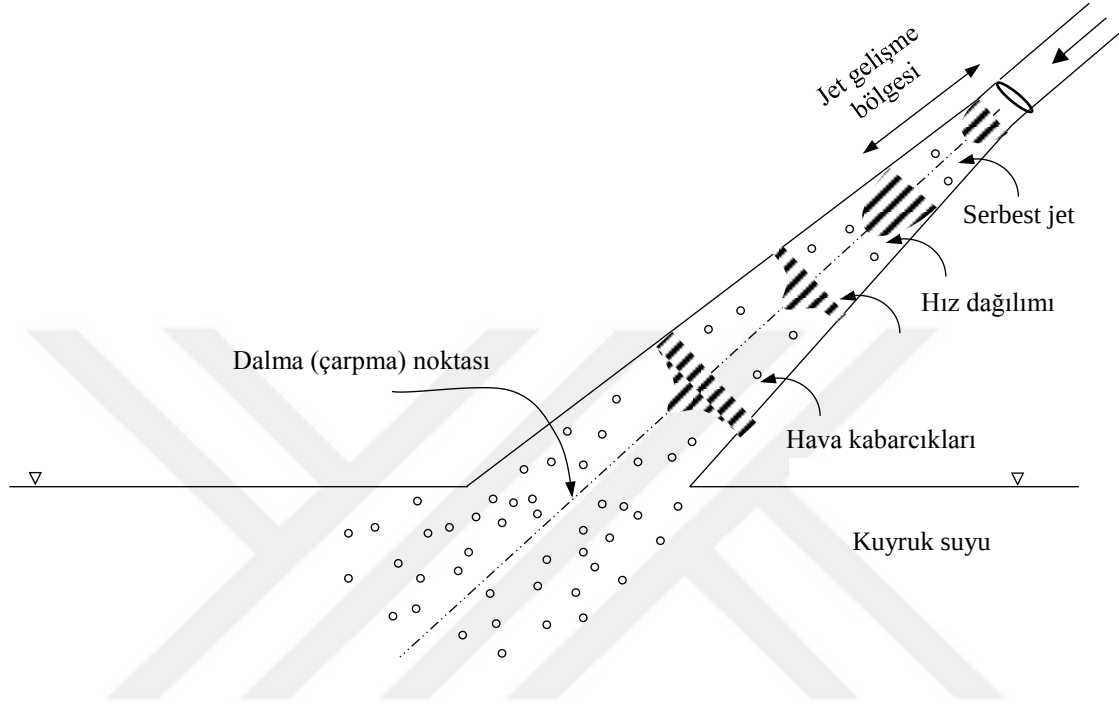
Şekil 3.5 Akım ortamına ait unsurlar ve büyüklükler

Bu çalışmada dikkate alınan akım su jeti, kuyruk suyu, zemin malzeme tabakası, jet çarpma açısı, jet çarpma mesafesi ve ağızlıklardan oluştuğundan öncelikle bu kavramların özelliklerini açıklamak gerekir. İleride gösterilecek analizler için bu unsurların fiziksel özelliklerinin ve oluşturduğu etkilerin iyi anlaşılması gerekir. Akımı ve oyulmayı etkileyen bu özellikler aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

3.3.1. Su Jetlerinde Akım

Akımı oluşturan jetin ağızlıktan çıktıktan sonra çarpma havuzuna çarpma kadar ki mesafede su jeti ile hava arasındaki sürtünmeden dolayı serbest jet boyunca bol miktarda hava jete girmektedir (Şekil 3.6). Bunun sonucunda serbest jetin kesiti hızla artar ve jet boyunca akışkan

akımının hem ortalama yoğunluğu hem de hızı azalır. Serbest jetin çarpma havuzunda bulunan su yüzeyine göre potansiyel enerjisi, kinetik enerjiye dönüşmektedir. Kinetik enerjiden dolayı oluşan jet hızındaki artış, jete hava girişinin ve jet yörüngesi boyunca oluşan türbülanslı akım içerisindeki enerji kaybının sebep olduğu jet hızındaki azalmanın yanında küçük kalmaktadır.



Şekil 3.6 Serbest jet kısmı

Ağızlıktan çıktıktan sonra su jeti akımının çarpma havuzuna çarpmadan veya dalmadan önceki havada kalan kısmı yani serbest jet kısmı boyunca meydana gelen değişikliklerin, jetin su yüzeyine daldığı veya çarptığı yerden itibaren batık jet kısmı boyunca ve jetin zemin malzeme tabakasına çarptığı yerde oluşan oyulmanın geometrik şekli üzerinde etkisi vardır. Çünkü serbest su jetinin su yüzeyine ilk temas edip içeriye nüfuz etmeye başladığı noktadaki (dalma veya çarpma noktasında) özellikleri batık jetin özellikleri için başlangıç şartlarını oluşturur.

Çarpma havuzuna çarptırılan su jetinin ağızlıktan çıktıktan sonraki havada kalan kısmı yani serbest jetin kuyruk suyu içine girdiği çarpma veya dalma noktasındaki özelliklerini teorik olarak bulmak veya ölçmek oldukça zordur. Havadaki serbest jet boyunca jet kesitinin nasıl ve ne kadar arttığına dair kesin bir analitik ifade olmayıp söz konusu kesit değişimi için çok sayıda yarı analitik veya deneylerle bulunan tamamen ampirik bağıntılar vardır (Yıldız, 2001). Genellikle bu ampirik ifadeler çalıştırıldığı deneylerin akım şartlarında geçerli olup birbirlerinden epey farklılıklar göstermektedirler. Serbest jetin mansap havuzuna çarptığı veya

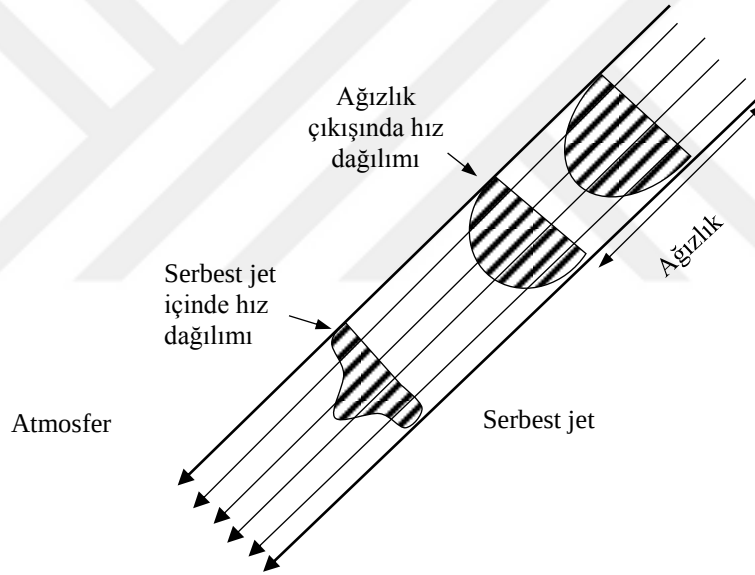
daldığı noktadaki özellikleri jet akımının çarpma mesafesine (jetin eksenî boyunca su yüzeyine olan mesafe), yer çekimine, jetin çarpma açısına, akışkanın viskozitesi ve yoğunluğuna, ağırlığın çıkış çapına ve serbest jetin maruz kaldığı hava koşullarına bağlıdır. Bu yüzden, yukarıda bahsi geçen etkenler su jetinin çarpma havuzuna çarptırılması ile zemin malzeme tabakasında jet nedeniyle oluşan oyulmanın özelliklerini incelerken dikkate alınması gerekmektedir.

Mansap havuzu içerisinde kalan batık jet kısmındaki akım oldukça karmaşık bir akım ortamına sahiptir. Bu jet kısmındaki akım içerisinde hem su, hem hava ve hem de zemin malzeme tabakasında jetten dolayı oluşan oyulma nedeniyle askıya geçmiş çok miktarda kum danesi bulunur. Bundan dolayı batan jet kısmı üç fazlı son derece yüksek türbülanslı ve komplike bir akımdır. Bu yüzden zemin malzeme tabakasında oluşan oyulmayı analiz etmek için batık jet akımını oluşturan jetin, havanın ve sediment hareketlerinin özellikleri aşağıda tek tek açıklanmıştır.

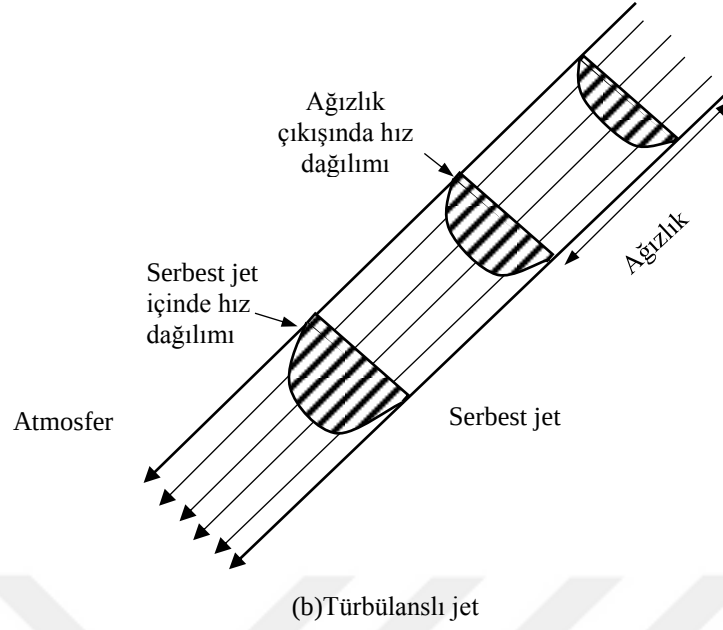
Jet mansap havuzu içine girdiği noktadan (dalma veya çarpma noktası) sonra kuyruk suyu içerisinde yoluna devam eden batık jet akımına çevresinde bulunan suyun viskozitesinin etkisi ile oluşan sürtünmeden dolayı çevredeki su da girecektir. Dolayısıyla batık jet kısmı hem çarpan veya dalan jetteki su ile beraber kuyruk suyunu oluşturan suyun karışımından oluşmaktadır (Şekil 3.6). Ayrıca jetin dış sınırları ile çevresindeki su arasındaki sürtünme (viskozite) ve yüksek hız gradyanları nedeniyle batık jetin dış sınırları boyunca çok kuvvetli ve sonsuz sayıda vorteksler (çevrinti) oluşur. Bu vorteksler ve çevresindeki su batık jete nüfuz ederek jet kesitinin büyümesine, jetin hızının düşmesine, jet enerjisinin kırılmasına ve özellikle jete giren vortekslerden dolayı jet akımının aşırı bir şekilde salınımlı (unstable) olmasına neden olur. Jet ortamında oluşan vorteksler (çevrintiler) akımın olduğu yerde çok güçlü türbülansın oluşmasına ve akım ortamının salınımlı (unstability) sebep olmaktadır. Bu yüzden bu iki faktör zemin malzeme tabakasında bulunan zemin danelerinin büyük ölçüde sarsılmasına, yerlerinden çıkmasına ve askıya kaldırılmasına neden olduğu gibi sediment danesinin her tarafa dağılmasına ve taşınmasına yol açar. Zemin malzeme tabakasında jet nedeniyle meydana gelen oyulmanın en büyük sebeplerinden birisi de budur.

geliştirilmiş ampirik eşitlikler vardır. Bu durum için sadece simetrik kesitli jetler üzerinde yapılan çalışmalar hazneye dik giren batık jet boyunca çevre suyunun jete girmesi nedeniyle jet kesitinin büyüme veya genişleme açısı $2\theta_g \cong 13^\circ$ civarında olduğu görülmüştür (Şekil 3.8). Haznedeki suya meyilli olarak giren veya dalan jetlerin haznedeki batık boylarınca simetrik olmayan büyümelerine veya genişlemelerine dair belirli tek bir adet açı değeri (θ_g) verilememektedir. Bunun nedeni jetin her eğim açısı için büyüme açısının simetrik olmaması ve jetin eğim açısına göre değişim göstermesidir (Hoffmans, 1998; Yıldız, 2001).

Jetin ağızlığın çıkış noktasından çıktıktan sonra su yüzeyine çarpıncaya kadar olan kısmı yani serbest jet, su içine girdiği ve daldığı noktada batık jetin başlangıç şartlarını oluşturur. Bu yüzden serbest jetin rejimi batık jetin rejimini, özelliklerini ve neticede bu jetin zemin malzeme tabakasında oluşturduğu oyulmanın özelliklerini de etkiler (Hoffmans, 1998; Yıldız, 2001).



(a) Laminer jet



Şekil 3.9 Laminer ve türbülanslı jetlerde hız dağılımı

Şekil 3.9(a)'da görüldüğü gibi laminer jet akımının çoğu kısmının hızı jetin kesit ortalama hızından çok küçük olmaktadır ve ayrıca jet akımın küçük bir kısmını oluşturan merkez çekirdek bölgesindeki akımın hızı ise jetin kesit ortalama hızından çok daha büyük olmaktadır. Bu durumlara göre şunlar söylenebilir: (1) Laminer jet akımı çarpma havuzundaki kuyruk suyuna az miktarda hava sokabilir veya az miktarda havayı sürükleyebilir. (2) Laminer jet akımının çarpma havuzundaki kuyruk suyuna soktuğu veya sürüklediği hava kabarcıkları kuyruk suyunun derinliklerine daha az taşınabilir. (3) Laminer jet akımının büyük bir kısmı küçük hıza sahip olduğundan jetin çarpma havuzundaki zemin malzeme tabaksında oluşturacağı oyulma üzerinde jet akımının düşük hıza sahip olan büyük bir kısmı fazla etkili olamayacaktır. Jetin sadece yüksek hıza sahip çekirdek bölgesinin küçük kısmı daha çok etkili olmaktadır. Bu yüzden laminer jet akımı oyulma için fazla bir momentuma sahip olmadığından jet akımının zemin malzeme tabakasında oluşturacağı oyulmanın derinliği, uzunluğu ve genişliği küçük olur. (4) Laminer jet akımının hava ve çarpma havuzunda bulunan kuyruk suyu yüzeyi ile temas eden kısımların hızının küçük olmasından dolayı su tabakası içerisinde oluşturacağı vortekslerin etkisi küçük olacaktır. (5) Laminer jet akımının zayıf vorteksler oluşturması, çarpma havuzundaki su tabakasına az hava sokması ve soktuğu havanın su tabakasının içinden hızlı bir şekilde çıkması sonucu zemin malzeme tabakasında jetin hareket ettirebileceği ve askıda tutabileceği sediment miktarı az olacaktır. Bundan dolayı da laminer jet akımının çarpma havuzunda oluşturacağı oyulma da küçük olacaktır. (6)

Laminer jet akımının batık durumda iken zemin malzeme tabakasındaki sediment danelerine uygulayacağı hidrodinamik kuvvetler küçük olup daneye etki ettiği kuvvetler aşırı salınım yapmazlar. Bu yüzden jet akımı zemin malzeme tabakasında bulunan daneleri kolayca hareket ettiremez ve daneyi bulunduğu yerden sökemez.

Şekil 3.9(b)'de gösterilen türbülanslı jet akımının tamamına yakın kısmının hızı jetin kesit ortalama hızından biraz büyüktür veya yaklaşık olarak kesit ortalama hızına eşittir. Bu yüzden aşağıdaki fiziksel olayların oluşmasına neden olur: (1) Türbülanslı jet akımı çarpma havuzundaki kuyruk suyuna büyük miktarda hava nüfuz eder ve büyük miktarda havayı sürükler. (2) Türbülanslı jet akımı çarpma havuzundaki su tabakasına soktuğu ve sürüklediği hava kabarcıklarını su tabakasının daha derin olan yerlerine taşır. Bu da hava kabarcıklarının su tabakasında kalma sürelerini uzatır. (3) Türbülanslı jet akımının tamamına yakın kısmı büyük hızlara sahip olduğundan zemin malzeme tabakasında oluşturacağı oyulma üzerinde akımın tamamına yakın kısmı etkili olur. Türbülanslı jet akımı zemin malzeme tabakasında oluşturacağı oyulma için büyük bir momentuma sahip olmaktadır. (4) Türbülanslı jet akımının hava ve çarpma havuzundaki su yüzeyi ile temas eden kısımları yüksek hızlara sahip olduğundan su tabakasında çok kuvvetli ve çok sayıda vorteksin oluşmasına neden olur. (5) Türbülanslı jet akımının su tabakası içerisinde çok kuvvetli vorteksler oluşturması ve çok büyük miktarda havayı su tabakası içerisine sokup sürüklemesi ile havanın su tabakası içerisinde kalma süresini arttığından su tabakası içerisinde kuvvetli türbülansların oluşmasını neden olur. Bu kuvvetli türbülanslar türbülanslı jet akımının zemin malzeme tabakasından çok daha fazla sediment danelerini hareket ettirmesini, daneleri askıda tutmasını ve sediment danelerini taşınmasını sağlar. Sonuç olarak türbülanslı jetin oluşturacağı oyulma çukurunun derinliği ve genişliği daha fazla olmaktadır. (6) Türbülanslı jet akımı çarpma havuzundaki su tabakasında çok kuvvetli ve çok sayıda vorteksler oluşturması sonucu batık jet zemin malzeme tabakasında bulunan danelere etki ettirdiği hidrodinamik kuvvetler oldukça şiddetli salınım yaparlar. Bu şiddetli salınım yapan kuvvetler zemin malzeme tabakasındaki danelerin kolayca yerlerinden hareket ettirilmesini, askıya geçirilmesini ve taşınmasını sağlar. Bu yüzden, çarpma havuzundaki zemin malzeme tabakasında türbülanslı jetin oluşturacağı oyulma laminar jet akımına göre daha büyük olmaktadır.

3.3.2. Jetin Çarpma Havuzuna Soktuğu Havanın Oyulma Üzerindeki Etkisi

Su jetinin çarpma havuzuna çarptırılmasıyla jetin su tabakasına gönderdiği ve

soktuğu hava miktarının oyulma üzerindeki etkisi oldukça önemli olup bu etkiler aşağıda belirtilmiştir. (1) Jetin çarpma mesafesi boyunca yani serbest jet durumunda iken çarpma havuzunda bulunan kuyruk suyuna sürükleyerek soktuğu hava kabarcıkları türbülanslı batık jet tarafından kendilerine uygulanan hidrodinamik kuvvetlerin etkileri nedeniyle çok hızlı hacim değıştirirler. Bu hava kabarcıkları akım ortamını son derece karmaşık ve dengesiz yapar. Hava kabarcıkları, su tabakasının içerisindeki hareketleri sırasında birbirlerine çarparak ya da birbirleriyle birleşerek daha büyük hava kabarcıkları oluşturur veya daha fazla küçük parçalara ayrılırlar. Hava kabarcıkları, su tabakasının üst yüzeyine yaklaştıklarında serbest kalıp patlamaları sonucu yüzey dalgalarının oluşmasına neden olurlar. Bu yüzden hava kabarcıkları çarpma havuzunda bulunan su tabakasındaki akımın yüzeyinde büyük salınımların ve dalgaların oluşmasına neden olurlar. Su tabakasındaki bu dalgalanmalar ve salınımlar sediment danelerine etkiyen kuvvetlerin dalgalı ve çok hızlı yön değıştirmesine neden olurlar. Bu da sediment danelerinin yerlerinden kolayca sökülmelelerini ve askıda tutulup taşınmalarını sağlar. (2) Çarpma havuzuna jet tarafından sokulan veya sürüklenen hava kabarcıkları suyun yüzdürme kuvveti nedeniyle su tabakasının üst yüzeyine doğru hızla yükselirler. Hava kabarcıkları askıya geçmiş sediment daneleri ile temas ederek onları düşey doğrultuda yukarı doğru yükseltir, ayrıca yanlara ve akım yönüne doğru onları taşıyacak kuvvetler uygularlar. Böylece sediment danelerinin taşınması ile oyulma oluşur. Bununla da kalmayıp söz konusu hava kabarcıkları askıdaki sediment danelerinin birbirleriyle çarpışmalarını ve birbirlerine momentum veya enerji aktarmalarını sağlarlar. (3) Su jeti tarafından sürüklenip su tabakasına sokulan hava kabarcıkları, zemin malzeme tabakasına ulaşarak tabandaki sediment daneleri arasındaki boşluklara girip suyun yüzdürme kuvveti nedeniyle yükselirken üzerlerinde bulunan sediment danelerini kaldırıp yükseltirler. Ayrıca hava kabarcıkları taşıyamadıkları sediment danelerini de yerlerinden hareket ettirerek danelerin birbirlerinden kopmasına, askıya geçmesine ve taşınmasına katkıda bulunurlar. Hava kabarcıklarının sediment danelerine yaptığı bu etkiler jet nedeniyle oluşacak oyulmayı kolaylaştırmaktadır. (4) Su jetine karışmış olan havanın batık su jeti kesitinin artmasına ve batık su jeti boyunca jetin kesiti üzerindeki hızın dağılımına büyük etkisinin olması nedeniyle su jetinden dolayı çarpma havuzunda bulunan zemin malzeme tabakasında oluşan oyulma üzerinde jete giren havanın önemli bir etkisi vardır.

3.3.3. Kuyruk Suyu Etkisi

Serbest su jetinin çarpma havuzunda daldığı veya çarptığı, içerisinde batık jet oluşan su tabakasının jet nedeniyle zemin malzeme tabakasında oluşan yerel oyulma üzerinde oldukça etkisi vardır. Batık jet boyunca oluşan olaylar, oyulma çukurunun içerisindeki oluşan karmaşık türbülanslı akımın hareketleri, yerlerinden sökülüp askıya geçirilen veya taşınmakta olan sediment danelerinin karmaşık hareketleri ve jet tarafından su tabakasına sürüklenip sokulmuş hava kabarcıklarının hareketlerinin tamamı su tabakası içerisinde gerçekleştiğinden kuyruk suyu derinliğinin oyulma üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Kuyruk suyu derinliğinin oyulma üzerindeki etkileri; (1) Batık su jeti ile su tabakasındaki akım arasında büyük hız gradyanı oluşur. Akışkanın viskozitesi nedeni ile batık jete, jet boyunca büyük miktarda su girerek jetin kesitini arttırması nedeniyle jet derinlere indikçe jetin hızı büyük ölçüde azalır. (2) Jet ve çevresindeki akım arasında oluşan hız gradyanları su tabakası ve jet içerisinde çok sayıda kuvvetli vortekslerin oluşup kuvvetli türbülans akımı oluşturmaya neden olmaktadır. Bu da jetin enerjisinin kırılmasına neden olmaktadır. (3) Jet tarafından çarpma havuzuna sürüklenip sokulan ve su tabakası içerisine dağılan hava kabarcıklarının hareketleri akışkanın viskozitesinden dolayı enerjilerinin kırılmasına yol açmaktadır.

Yukarıda verilen bilgilere göre kuyruk suyu çarptırılan jetin akımını, sediment danelerini ve hava kabarcıklarının enerjilerini sönmlemede önemli rol oynamaktadır. Özellikle kuyruk suyu derinliği bahsi geçen enerjilerin kırılmasında en önemli faktörlerden biridir.

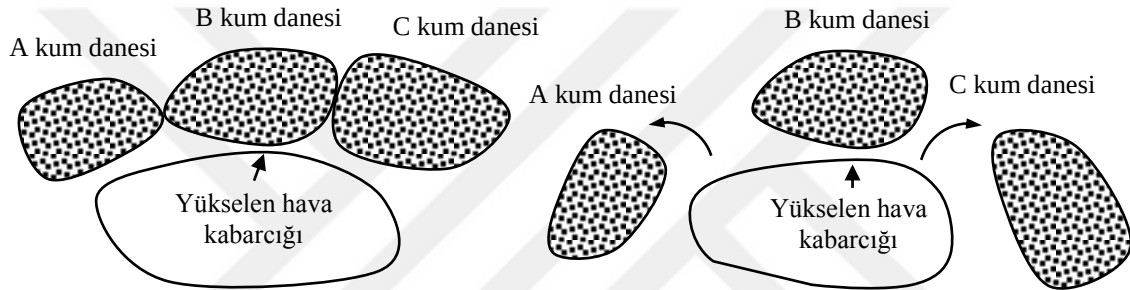
3.3.4. Zemin Malzeme Tabakasının Etkisi

Zemin malzeme tabakasını oluşturan sedimentin özgül ağırlıkları, boyutları, geometrik şekilleri, granülometresi, parçalanma veya aşınma özellikleri, kimyasal çözünürlük gibi özellikleri jet nedeniyle meydana gelen oyulma üzerinde önemli bir yer tutarlar. Verilen bütün bu özellikler zemin malzeme tabakasında bulunan danelerin arasından geçen jet akımını, hava kabarcıklarının hareketini, katı danelere akımın uygulayacağı hidrodinamik kuvvetleri ve danelerin stabilitesini etkiler.

Su jeti, hava kabarcıkları, kuyruk suyu ve zemin malzeme tabakasına ait yukarıda detaylıca anlatılmış olan açıklamalar ve şimdiye kadar ki araştırmacılar tarafından yapılmış olan çalışmalar su jetinden dolayı meydana gelen oyulmanın oldukça üç fazlı karmaşık bir olay olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı oyulmayı analitik olarak incelemek epey zor

olduğundan bu çalışmada aşağıda yer alan boyut analizi ve deney yöntemi kullanılmıştır.

Çarpma havuzuna çarptırılan su jeti sonucu çarpma havuzunda bulunan zemin malzeme tabakası içerisinde nüfus eden hava kabarcıklarının oyulma üzerinde şu etkileri olur. (1) Zemin malzeme tabakasında suyun içindeki kum daneleri arasına girmiş olan bir hava kabarcığı, yüzdürme kuvveti nedeniyle düşey doğrultuda yukarı doğru değişken bir hızla yükselmek zorunda olduğundan düşey doğrultuda yukarı yönde bir ivmeye sahip olur ve üzerinde bulunduğu kum dane veya danelerine düşey doğrultuda yukarı doğru bir dinamik kuvvet uygular. Böylece hava kabarcığı, Şekil 3.10'da görüldüğü gibi kum danesinin yukarı kalkıp yerinden oynamasına ve hatta kum danesinin bulunduğu yerden sökülmesine neden olur.



Şekil 3.10 Hava kabarcığının hareketi nedeniyle taban kum tabakası içerisindeki kum danelerinin yer değiştirmesi

Hava kabarcığı nedeniyle olduğu yerden hareket ettirilip yükseltelen kum danesi, oyulma çukurundaki oldukça karmaşık olan türbülanslı akımdan dolayı kolay bir şekilde askıya geçer ve akım yönünde taşınır. Bundan dolayı oyulmanın meydana gelmesi ve oyulma çukurunun derinleşmesi daha hızlı olmaktadır. Yükselen hava kabarcığı üzerindeki kum danesini yukarı doğru kaldırırken bu dane ile temasta olan diğer danelerin birbirleri arasındaki bağlantının kesilmesine, danelerin bulundukları yerlerin değişmesine sebep olmaktadır. Böylece zemin malzeme tabakasında bulunan danelerin istiflenme şekilleri değişmektedir. Ayrıca oyulma çukuruna yakın bölgelerde kum malzemesinin boşluk oranını sürekli değiştirmektedir. (2) Jetin çarpma havuzuna çarptırılması sonucu oluşan hava kabarcıkları daneler arasındaki boşluklarda yer aldıklarından dolayı yukarı doğru yükselirlerken aynı zamanda diğer boşluklarda hareket halinde olan hava kabarcıklarıyla da birleşip büyüyebilirler veya boşluklardaki küçük aralıklardan geçerken parçalara da ayrılabilirler. Sonuç olarak hava kabarcıklarının danelere uyguladıkları yatay ve düşey yöndeki kuvvetler sürekli olarak değişmekte olup farklı değerler almaktadır. Bu şekilde kum danelerine uygulanan kuvvetlerin hem yönleri hem de

büyüklikleri sürekli olarak değişime uğramaktadır. Bundan dolayı kum danelerinin yerlerinden hareket ettirilmesi çok daha kolay olmaktadır. (3) Jetin çarpma havuzuna çarptırılması sonucu kum daneleri arasında hareket halinde bulunan hava kabarcıklarının sürekli olarak yer değiştirmeleri sonucu olarak oyulma çukurunun bulunduğu yerin altında olan kum tabakasının devamlı olarak titreşim hareketi yapmasına neden olurlar. Bu titreşim hareketi, çarpma havuzunda bulunan zemin malzeme tabakasında bulunan kum danelerinin bulundukları yerden hareket etmesini ve hatta danelerin yerlerinden çıkarılmasına yardımcı olur. (4) Jetin çarpma havuzuna çarpması sonucu kum danelerinin arasında oluşan hava kabarcıklarının son derece karmaşık hareketlere sahip olması, kum danelerinin sürekli olarak yer değiştirmesine neden olur. Hava kabarcıklarının birbirlerine sürtünerek veya çarparak hareket etmeleri neticesinde oyulma çukurunun bulunduğu yerin altındaki malzeme tabakasında bulunan kum danelerinin aşınmasına veya boyutlarında küçülmelere sebep olduğundan jetin etkisiyle kum danelerinin askıya geçmesi daha kolay olmaktadır. Böylece oyulma derinliği daha fazla olmaktadır. (5) Jetin çarpma havuzuna çarptırılması sonucu jette hava-su karışımı oluşmakta ve devamlı olarak çarpma havuzunda titreşim oluşmasına neden olmaktadır. Jet içerisinde oluşan hava kabarcıklarının hacim değiştirme davranışlarından dolayı zemin malzeme tabakası elastik bir ortam gibi davranmaktadır. Jetin bu şekilde elastik olan zemin malzeme tabakasına çarptırılmasıyla darbe etkisi oluşturduğundan oyulma çukurunun bulunduğu yerin altında bulunan zemin malzeme tabakasında titreşimler ve salınımlar nedeniyle dane ve hava kabarcıklarının yer değiştirmesine yol açar. Bütün bu etkenler üst katmanlarda yer alan danelerin yerlerinden sökülmesine, askıya geçmesine ve oluşan oyulma derinliğinin artmasına neden olur. (6) Jetin çarpma havuzuna çarpması sonucu su içerisinde oluşan hava kabarcıkları, yüzdürme kuvveti nedeniyle kum danelerini yükseltir ve askıdaki kum danelerine düşey doğrultuda yukarı yönlü bir kaldırma kuvveti uygular. Ayrıca oyulma çukurunun bulunduğu yerin altındaki kısma yakın bölgelerde askıya geçen kum daneleri güçlü vortekslere sahip türbülanslı akım içerisinde aşağı, yukarı ve yanlara (üç boyutlu) doğru yüksek hızla hareket ederler. Vorteksler oyulma çukurunun sınırlarını oluşturan zemin malzeme tabakasında bulunan kum danelerine büyük hızla çarparak söz konusu danelere büyük miktarda momentum ve enerji verir. Bunun sonucunda söz konusu danelerin yerlerinden sökülüp kaldırılmasına, taşınmasına ve aşınmasına neden olduğundan oyulma çukurunun derinliğinin artmasına yol açabilmektedir.

3.3.5. Su Jetlerinin İncelenmesinde Kullanılan Bazı Eşitlikler

Densimetrik Froude Sayısı

$$F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{gD_{50}\Delta\rho}{\rho}}} \quad (3.2)$$

Erozyon parametresi Rajaratnam (1981)'e göre;

$$E_c = \frac{F_0}{\sqrt{H/d}} = \frac{U_0\sqrt{d/H}}{\sqrt{\frac{gD_{50}\Delta\rho}{\rho}}} \quad (3.3)$$

Jet Reynolds Sayısı

$$Re = \frac{\rho_w U_0 d}{\mu_w} = \frac{q_j}{\nu_w} \quad (3.4)$$

burada ρ_w : suyun özgül kütlesi (kg/m^3), U_0 :jetin ağızlıktan çıkış hızı (m/s), d :ağızlık çıkış çapı (m), μ_w : suyun dinamik viskozitesi (kg/ms), q_j : birim debi(m^3/ms) $q_j = d \times U_0$

Jet Froude Sayısı

$$Fr_j = \frac{U_0}{\sqrt{gd}} \quad (3.5)$$

Su jetinin gücü (kW)

$$P_j = \frac{1}{2}\rho_w q_j U_0^2 = \frac{\pi}{8} d^2 \rho_w U_0^3 \quad (3.6)$$

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Düzeneği

Bu çalışmayı yürütmek için, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bir adet çarpma havuzu, bir adet kum tutucu bölme ve bir adet su tankı olmak üzere birbirlerine yapışık üç bölmeden oluşan bir deney düzeneği imal edilmiştir. Deney düzeneğine ait şematik görünüm Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’de verilmiştir.

Deney düzeneği sırasıyla, aşağıdaki bölmelerden oluşmuştur.

4.1.1. Su Besleme Hattı ve Debimetre

Deney düzeneğinde suyu tanktan alıp su jetini çarpma havuzuna çarptırmak için yaklaşık 10 m uzunluğunda 4 inç (10 cm)’lik esnek ve basınca dayanıklı bir boru iletim borusu olarak kullanılmıştır. Suyun besleme hattında bir adet küresel vana, bir adet elektromanyetik debimetre ve ağızlığın takıldığı kısımda daraltma yapmak için bir adet redüksiyon borusu bulunmaktadır. Deney süresince su tankında bulunan su alma ağzı ile suyu alıp çarpma havuzuna çarptırmak için 11 kW’lık pompa kullanılmıştır (Şekil 4.8 (a)). Pompa ile basılan su mansap havuzundan cazibeli bir şekilde akışa geçip tekrar su tankına gelmesiyle ilave su ihtiyacı olmaksızın suyun devirdaimi sağlanmıştır.

4.1.2. Çarpma Havuzu

Havuz 1.60x1.50x3.0 m ebatlarında imal edilmiştir (Şekil 4.1). Havuzun imal edilmesinde kenarlarda et kalınlığı 3 mm, tabanlarda ise çökme olmaması için et kalınlığı 5 mm olan sac kullanılmıştır. Havuzda her 1 m’de bir T çelik profil ile sac malzemesi düşey olarak desteklenmiştir. Havuzun bir ön yüzü 2 cm kalınlığında temperli cam olarak yapılmıştır (4.8 m²). Havuzun tabanında tahliye borusu yapılmış ve tahliye borusunu çıkış kanalına götürmek için 4 m uzunluğunda bir boru kullanılmıştır. Havuzda ölçüm yapmak için 1.5x0.3 m ebatlarında ölçüm arabası yapılmış ve ölçüm arabasının hareket etmesi için set üzerinde raylı sistem yapılmıştır (2 Adet 3 m uzunluğunda ray). Havuzda kuyruk suyu derinliğini ayarlamak için kuyruk suyu ayarlama kapakları yapılmış ve sistem üzerinde monte edilmiştir. Deney seti

ilkönce astar (TSE belgeli) atıldıktan sonra, püskürtme epoksi boya (TSE belgeli) ile boyanmıştır. Çarpma havuzunun bir tarafında jeti mansap havuzuna çarptırmak için 360 ° dönebilen bir mekanizma yapılmış ve sistem üzerinde monte edilmiştir. Ayrıca su akışa geçtiğinde her deneyde aynı kuyruk suyu derinliğinin (nap yüksekliği dahil) elde edilmesi için bir iletim borusu monte edilmiştir. Bu boru üzerindeki küresel vana yardımıyla, su akışa geçtiğinde bile farklı debilerde aynı kuyruk suyu derinlikleri elde edilebilmiştir.



Şekil 4.1 Çarpma havuzu

4.1.3. Kum Tutucu Bölme

Kum tutucu bölme 1.40x1.50x0.75 m ebatlarında inşa edilmiştir. Su jeti nedeniyle oluşan oyulma nedeniyle sediment taşındığında sediment danelerini geçirmeyecek deliklere sahip portatif bir elek yaptırılmış (1.50x0.75 m) ve takılıp çıkarılması için bu bölmede bunun için bir sistem yapılmıştır. Bu bölme çarpma havuzu ve su tankına bitişik ve yerden 0.40 m yükseklikte yapılmıştır.

4.1.4. Su Tankı

Su tankı 1.30x1.50x1.0 m ebatlarında inşa edilmiş ve suyun tahliyesi için tankın tabanında tahliye borusu yapılmıştır. Tahliye borusunu çıkış kanalına götürmek için 4 m uzunluğunda bir boru kullanılmıştır. Bu bölmede pompanın suyu alabilmesi için su alma ağzı yapılmış ve su besleme hattı buraya bağlanmıştır.

Bunların dışında her bölmenin tabanında gerektiğinde suyun boşaltılması için bir tahliye borusu eklenmiştir. Ayrıca çarpma havuzundaki nap yüksekliğini ayarlamak için bir adet küresel vana kullanılmıştır.

4.1.5. Ölçüm Arabası

Çarpma havuzunda seviye ölçümleri ve nihai topografya ölçümleri, raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş dijital limnimetre (± 0.01 mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Ölçüm arabası raylar üzerinde boyuna rahatlıkla hareket edecek şekilde imal edilip, çarpma havuzunun olduğu bölmeye monte edilmiştir. Ölçüm arabası üzerine monte edilen dijital limnimetre ile hem enine hem de boyuna ölçümler kolayca yapılabilmiştir (Şekil 4.2).



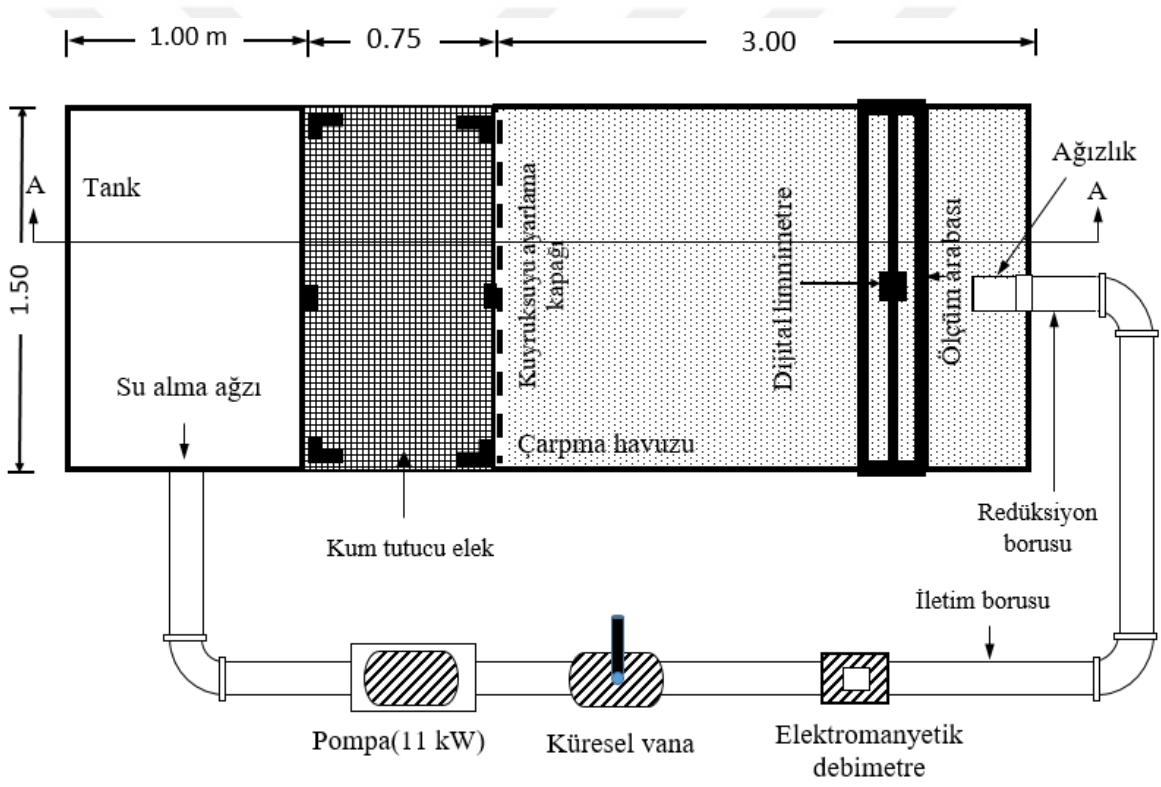
Şekil 4.2 Ölçüm arabası ve dijital limnimetre



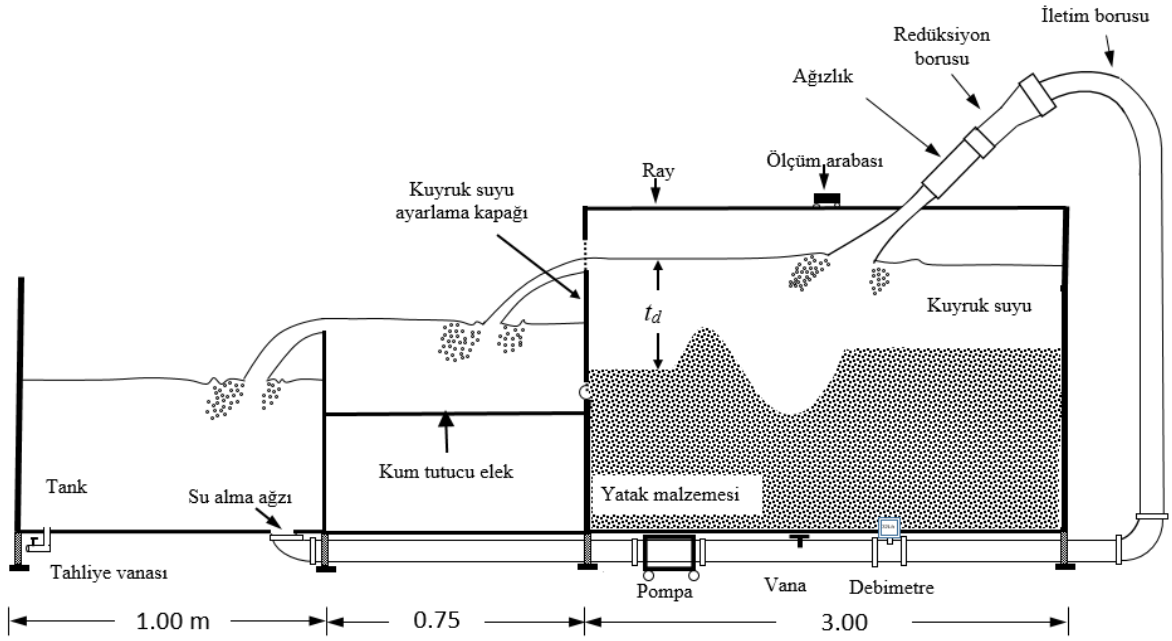
Şekil 4.3 Redüksiyon borusu



Şekil 4.4 Zeminin düzleştirilmesi



Şekil 4.5 Deney düzeneğinin planda gösterimi



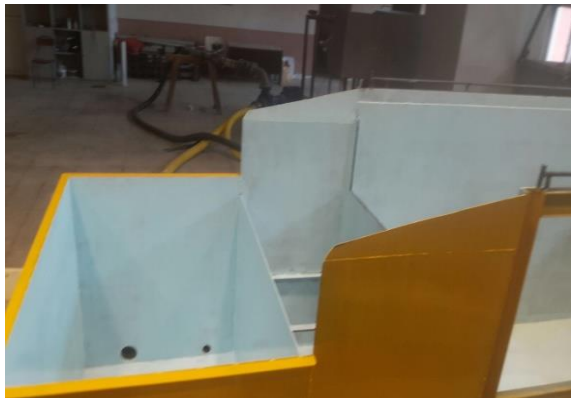
Şekil 4.6 Deney düzeneğinin A-A enkesiti



(a) Üstten görünüm



(b) Yandan görünüm



(c) Kum tutucu bölme ve su tankı



(d) Deney çalışırken üstten görünüm

Şekil 4.7 Deney düzeneği



(a) Pompa (11 kW) ve küresel vana



(b) İletim ve bağlantı boruları



(c) Elektromanyetik debimetre

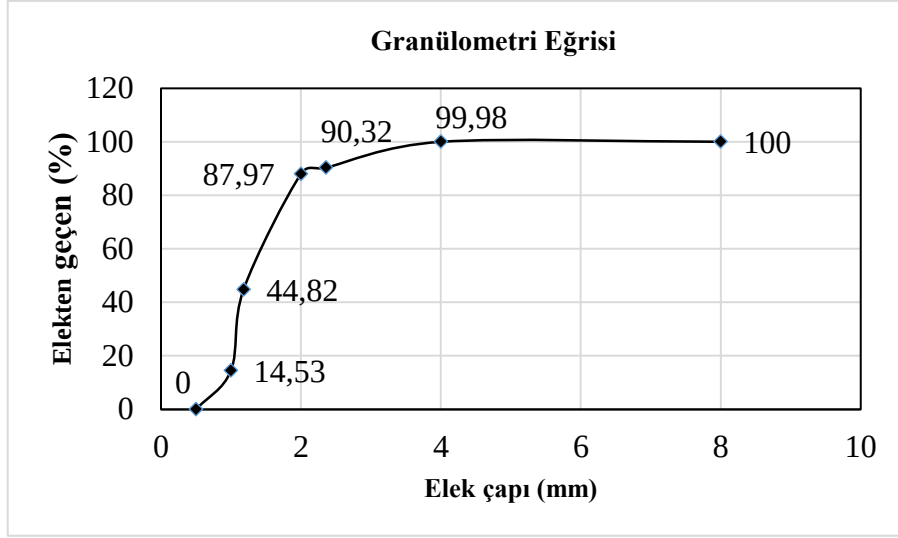


(d) Deneyin hazır hale getirilmesi

Şekil 4.8 Deney düzeneğinin elemanları

4.2. Deneylerde Kullanılan Taban Malzemesinin Özellikleri

Mevcut çalışmada mansap havuzunda bulunan tabana serilen zemin malzemesi olarak kuvars kumu piyasadan satın alınarak deneylerde kullanılmıştır. Deneylerde yaklaşık olarak üniform boyuttaki taban zemin malzemesini elde etmek için kohezyonlu malzemeden arındırılmış olan kuru kum malzemesi, önceden planlanmış göz açıklığına sahip standart eleklerden geçirilmiş ve temiz şehir suyu ile iyice yıkanıp kurutularak kohezyonlu malzemeden tamamen arındırılması temin edilmiştir. Bu şekilde taban malzemesinin danelerinin hemen hemen aynı boyuta sahip olması yani üniform malzeme sınıfı elde edilmesi temin edilmiştir. Bu çalışmada deneylerde kullanılan malzeme sınıfı I. sınıf diye adlandırılmıştır. Deneylerde kullanılan malzeme sınıfına ait elde edilen malzeme granülometre eğrisi Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Taban malzemesinin granulometri eğrisi

Şekil 4.9'a göre I. Sınıfa ait $D_{10}=0.84$ mm, $D_{15,9}=1.01$ mm, $D_{50}=1.28$ mm, $D_{60}=1.47$ mm, $D_{84,1}=1.92$ mm olarak belirlenmiştir.

Eğer $\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84,1}}{D_{15,9}}}$ = 1 olması demek bütün sediment danelerinin aynı boyutta olduğu yani zemin malzemesinin mükemmel olduğu anlamına gelmektedir.

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84,1}}{D_{15,9}}} \quad (4.1)$$

buradan $\sigma_g = 1.37 < 1.40$ çıkmaktadır. Ayrıca üniformluk katsayısı $U=D_{60}/D_{10}=1.75<3$ 'tür.

Dolayısıyla seçilen granulometriden deneylerde zemin malzeme tabakası olarak kullanılan kuvars kumunun üniform malzeme olduğu görülmektedir.

Bu kum malzeme sınıfından alınan numuneler Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında bulunan etüv fırında 24 saat kurutulup gereken ölçümler yapılarak kuvars kumunun özgül kütlesi $\rho_s=2650$ kg/m³ olduğu ölçülmüştür.

4.3. Deneysel Çalışmayı Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi

Jet nedeniyle çarpma havuzunda meydana gelen oyulma üzerinde birçok değişken vardır (Koçak, 2013; Rajaratnam ve Mazurek, 2002). Bunlar Tablo 4.1’de sıralanmıştır.

Tablo 4.1 Jet nedeniyle çarpma havuzunda meydana gelen oyulmayı etkileyen parametreler

DEĞİŞKENLER	SİMGE	BİRİM (SI)	BOYUT
1) Su jeti ile ilgili değişkenler			
a) Jetin çarpma mesafesi	H	m	L
b) Jetin çarpma açısı	θ	°	-
c) Akışkanın dinamik viskozitesi	ν	kg/m.s	$ML^{-1}T^{-1}$
d) Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg/m ³	ML^{-3}
e) Yerçekimi ivmesi	g	m/s ²	LT^{-2}
f) Jetin ağızlıktan çıkış hızı	U_0	m/s	LT^{-1}
g) Jetin debisi	Q	m ³ /s	L^3T^{-1}
h) Jetin ağızlık çıkışındaki momentumu	M_0	kgm/s ²	MLT^{-2}
2) Çarpma havuzuna ait değişkenler			
a) Kuyruk suyu derinliği	t_d	m	L
b) Havuzun genişliği	B	m	L
3) 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
c) Taban malzemesinin geometrik standart sapması	σ_g	-	-
4) Zamana ait değişkenler			
a) Herhangi bir t anındaki oyulma	t	s	T
b) Maksimum denge oyulma zamanı	t_∞	s	T
5) Ağızlıklara ait değişkenler			
a) Dairesel ağızlık çıkış çapı	d	m	L
b) Venturi ağızlıkta boğaz bölgesinde açılan hava deliği	t_h	m	L
c) Venturi ağızlıkta boğaz bölgesi çapı	d_v	m	L

Tablo 4.1'in devamı

d) Venturi ağızlıkta giriş ve çıkış çapı	D_v	m	L
e) Hava deliğinden içeri giren hava debisi	Q_a	m^3/s	L^3T^{-1}

4.4. Boyut Analizi

Maksimum oyulma derinliği (ε_m) Tablo 4.1'deki değişkenlere bağlı bir fonksiyon olmaktadır. Oyulmanın maksimum derinliği (ε_m) ve onu etkileyen değişkenler arasındaki fonksiyonel bağıntı şu şekilde yazılabilir.

Dairesel ağızlık için;

$$\varepsilon_m = f_1[U_0, g, \rho, (\rho_s - \rho), \mu, D_{50}, d, t_d, H, B, \theta, t, \sigma_g, M_0] \quad (4.2a)$$

Buckingham Pi teoremi kullanılarak yapılan boyut analizi sonunda bulunan boyutsuz büyüklükler arasındaki fonksiyonel ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir.

Dairesel ağızlık için;

$$\frac{\varepsilon_m}{H} = f_2 \left[F_0, Re, \frac{H}{d}, \frac{H}{D}, \frac{D_{50}}{D}, \frac{t_d}{d}, \frac{B}{d}, \frac{U_0 t}{d}, \theta, \sigma_g \right] \quad (4.2b)$$

Rajaratnam (1976) göstermiştir ki türbülanslı jetin sebep olduğu oyulmalarda ve batık jetin özellikleri üzerinde jete ait Reynolds sayısının ($Re > 2000$ için) etkisi ihmal edilebilir. Ayrıca Rajaratnam ve Beltaos (1977) büyük H/D değerlerinin maksimum oyulma derinliği üzerinde etkisi olmadığını belirtmiştir. Bu çalışmadaki tüm deneylerde Re 'nin değeri >2000 büyük olduğundan Re değeri ihmal edilir. Ek olarak H/D değerleri de Rajaratnam ve Belteas (1977)'a göre ihmal edilmiştir. Bu çalışmanın esas amacı oyulma çukurunun karakteristiklerinin etkisini araştırmak olduğundan bu çalışmada bir adet sediment çapı, kuyruk suyu derinliği ve genişlik değeri kullanılıp sabit tutulduklarından ihmal edilmiştir. Oyulmanın derinliği zaman (t)'nin küçük değerlerinde hızlı değişirken t yeterince büyük olduğunda yaklaşık olarak sabit (asimptot) kalmaktadır. Oyulmalar ile ilgili mevcut çalışmalar göstermiştir ki (Rajaratnam ve Mazurek, 2002) deney süresi $t=5-6$ saatten büyük olduğunda oyulmanın derinliği denge değerine ulaşmaktadır (yani $t=5-6$ saat sonrasında ε_m sabit kabul edilebilir). Bu çalışmada

yapılan her bir deneyde deney süresi $t = 8 \text{ saat} = 28800 \text{ saniye}$ alındığından 4.2b eşitliği;

$$\frac{\varepsilon_m}{H} = f_2 \left[\mathbf{F}_0, \frac{H}{d}, \theta \right] \quad (4.2c)$$

Venturi ağızlık için;

$$\varepsilon_m = f_1 [U_{0v}, g, \rho, (\rho_s - \rho), \mu, D_{50}, t_d, H, B, \theta, t, \sigma_g, M_0, Q_a, D_v, d_v, t_h] \quad (4.3a)$$

$$\frac{\varepsilon_m}{H} = f_2 \left[\mathbf{F}_0, \text{Re}, \frac{H}{D_v}, \frac{D_{50}}{D}, \frac{H}{D}, \frac{t_d}{D_v}, \frac{B}{D_v}, \frac{U_{0v} t}{D_v}, \theta, \sigma_g, \frac{d_v}{D_v}, \frac{t_h}{d_v}, \frac{Q_a}{Q_w}, \right] \quad (4.3b)$$

Aynı şartlar venturi ağızlık için uygulandığında 4.3b eşitliği;

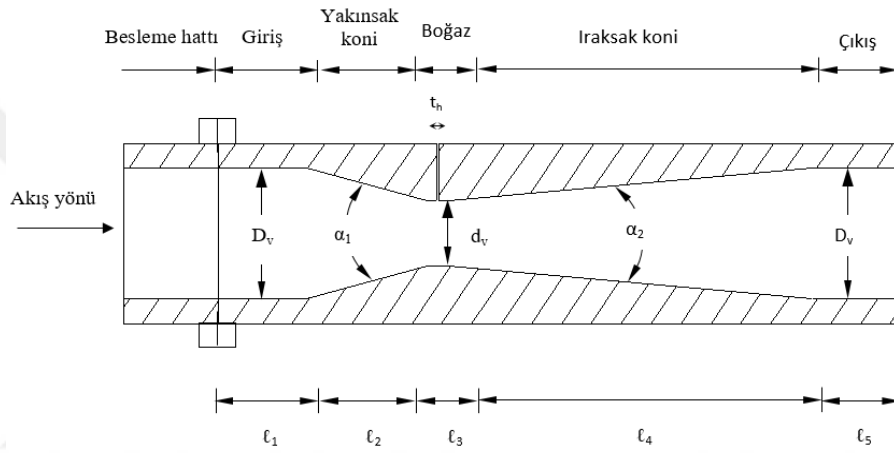
$$\frac{\varepsilon_m}{H} = f_2 \left[\mathbf{F}_0, \frac{H}{D_v}, \theta \right] \quad (4.3c)$$

4.5. Deneysel Çalışma

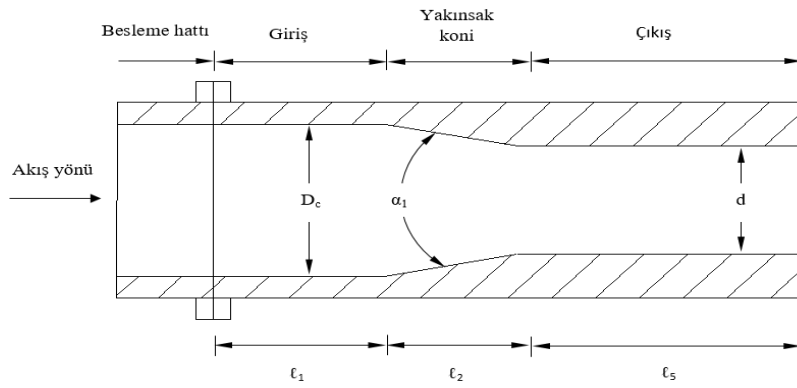
Su jeti nedeniyle çarpma havuzunda oluşan oyulmayı incelemek için yapılmış olan bütün deneylerde deney setine bağlanan hortumlar yardımıyla deneyler musluk suyu kullanılarak yapılmıştır. Her bir deneyde deneylere başlamadan önce çarpma havuzundaki kum master ve terazi yardımıyla düzleştirme işlemi yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan her bir deney için çarpma açısı, ağızlık çapı, jet çarpma mesafesi ve hızların ayarlanması ile deney düzeneği deneylere hazır hale getirilmiştir. Deneylere, çalışılmak istenen kuyruk suyu derinliğini elde etmek için şebekeden bağlanan hortumlar yardımıyla sediment yüzeyini bozmayacak şekilde çarpma havuzuna musluk suyu doldurmakla başlanmıştır. Bütün gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra pompa çalıştırılarak küresel vananın açılması ile elektromanyetik debimetre yardımıyla sistemin debisi ayarlanarak deneyler başlatılmıştır.

Sisteme su pompa yardımı ile su tankından alınarak temin edilmiştir. Su çarpma havuzuna çarptırıldıktan sonra akışa geçip tekrar tanka gelmesi ile suya devirdaim yaptırılmıştır. Dairesel ağızlıkta jet hızı çıkış çapı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Venturi ağızlıkta ise jet hızı, venturi giriş çapı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sistemin debisi bir elektromanyetik debimetre yardımıyla belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan üç farklı çapa sahip venturi

ağızlıklar laboratuvarında plastik ve şeffaf bir malzemeden imal edilmiştir. Venturi ağızlıklarda her bir çapa ait farklı çapta hava delikleri açılmış ve kendiliğinden hava girmesi sağlanmıştır. Venturi ağızlığın boğaz bölgesinde hava delikleri açılmıştır. Baylar ve Emiroğlu (2003), yaptıkları çalışmada boğaz bölgesinde açılan hava deliklerinin en iyi havalandırma verimine sahip olduğunu bulmuşlardır. Bu nedenle bu çalışmada venturi ağızlık üzerindeki delikler, boğaz bölgesinde açılmıştır. Baylar vd. (2005), yaptıkları çalışmada havalandırma verimi için en iyi açi değerlerini 21° ve 7° olarak bulduklarından $\alpha_1=21^\circ$ ve $\alpha_2=7^\circ$ alınarak ağızlıklar imal edilmiştir. Bu çalışmada Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilen ağızlıklar kullanılmıştır.



Şekil 4.11 Deneylerde kullanılan venturi ağızlık tipinin detayları



Şekil 4.12 Deneylerde kullanılan dairesel ağızlık tipinin detayları

$$l_2 = \frac{D_v - d_v}{2tg(\alpha_1/2)}; l_4 = \frac{D_v - d_v}{2tg(\alpha_2/2)} \quad (4.4)$$

$$l_2 = \frac{D_c - d}{2tg(\alpha_1/2)} \quad (4.5)$$

Dairesel ağızlıklardaki çıkış çapı, venturi ağızlıklardaki giriş ve çıkış çapları ile aynı tutularak laboratuvarında imal edilmiştir. Dairesel ağızlık, 5 m/s'den 10 m/s'ye kadar değişen jet hızı (U_0) değerlerinde üç farklı hız değerinde test edilmiştir. Venturi ağızlık ise 2 m/s'den 5.28 m/s'ye kadar değişen jet hızı (U_0) değerlerinde üç farklı hız değerinde test edilmiştir. Reynolds sayıları ($Re = \frac{v_j \times d}{\nu}$) hesaplanırken bu hız değerleri kullanılmıştır. Burada U_0 ve U_{0v} : jet hızı (m/s), d : ağızlık çapı (mm) ve ν suyun kinematik viskozitesidir (m^2/s). Su jetinin ağızlık çıkışından çarpma noktasına kadar olan (jet eksen boyuncası) mesafesi yani çarpma mesafesi (H) 0.30 ve 0.15 m alınmıştır. Ayrıca çarpma açısı (θ) 30, 45 ve 60° değerleri alınmıştır.

Ağızlıkların boyutlandırılması, Koçyiğit (2004) yüksek lisans çalışmasındaki veriler ve grafikler incelenerek en iyi havalandırma performansını sağlayan ebatlar özellikle seçilmiştir. Koçyiğit (2004) yüksek lisans çalışmasındaki veriler ve grafikler, boğaz bölgesinin çapının çıkış çapına oranı $d_v/D_v=0.50$, hava deliklerinin çapının boğaz bölgesinin çapına oranı $d_h/d_v=0.30$, $\ell_3/D_v=0.50$ ve $\ell_{1,5}/D_v=1$ olan deneyler incelendiğinde havalandırma performansı açısından en uygun değerler olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden bu çalışmada kullanılmış olan ağızlıkların tasarımında bu oranların kullanılmasına karar verilip imal edilmişlerdir. Bu çalışmada boğaz bölgesi çapı $d_v=14, 17$ ve 20 mm, giriş ve çıkış çapları $D_v= 28, 34$ ve 40 mm olan venturi ağızlıklar ile birlikte aynı çıkış çaplarına sahip olan dairesele ağızlıklar kullanılmıştır. Bu çalışmada dairesele ağızlıkların çıkış çapının venturi ağızlıkların çıkış çapıyla aynı olacak şekilde $d=28, 34$ ve 40 mm ağızlık çapları seçilerek imal edilmiş ve deneylerde kullanılmışlardır.

Dairesel ağızlıklarda bütün deneylerde $\ell_{1,5}/d=1$ olarak alınmıştır.

Tablo 4.2 Deneylerde kullanılan ağızlıkların geometrisi

DENEYLERDE KULLANILAN AĞIZLIKLARIN GEOMETRİSİ										
Dairesel ağızlık	d (mm)		$\alpha_1(^{\circ})$		ℓ_1 (mm)		ℓ_2 (mm)		ℓ_5 (mm)	
	28		21		28		61.51		28	
	34				34		45.32		34	
	40				40		29.14		40	
Venturi ağızlık	D_v (mm)	$\alpha_1(^{\circ})$	$\alpha_2(^{\circ})$	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	t_h (mm)	d_v (mm)
	28	21	7	28	37.77	7.0	114.45	28	4.2	14
	34			34	45.86	8.5	138.97	34	5.1	17
	40			40	53.95	10.0	163.50	40	6.0	20

Tablo 4.3 Farklı araştırmacıların çalışmalarında kullandığı parametrelerin boyutları

Araştırmacı	Jet -Malzeme Türü	h (m)	w (m)	L (m)	d (mm)	θ (°)	U_0 (m/s)	D (mm)	$\Delta\rho/\rho$ (-)	σ_g (-)	F_0 (-)	E_c (-)
Rajaratnam ve Beltaos (1977)	Hava-kum				6.4-23.5	90	20.3-99.1	0.26	859	-	8.6-41.9	2.11-5.91
	Hava-polistren						14.4-66.03	1.4	2189		4.2-19.2	1.43-4.73
Rajaratnam ve Berry (1977)	Hava-polistren				6.4-23.5	0	1.28-54.9	1.4	859	üniform	2.93-13.30	-
	Hava-kum								2189			
	Su-kum								1.65			
Rajaratnam (1982)	Su-kum	0.3	0.15	1.5	2.54	90	2.15-3.39	1.2-2.38	1.65	-	15.47-24.68	2.09-5.01
Chatterjee vd. (1994)	Su-kum/çakıl	0.69	0.60	9	-	0		0.76-4.3		1.2-1.4	1-5.5	
Rajaratnam vd. (1995)	Su-kum	0.305	0.15	1.83	2.35	10-60	1.12-2.77	1.2-2.38	1.65	-		0.29-1.96
Lim (1995)	Su-kum				15-26	0		1.65	1.65	1.25	1.9-24.6	-
Aderibigbe ve Rajaratnam (1996)	Su-kum	0.6	0.235	-	4-19	90	2.65-4.45	0.88-2.42	1.65	-	-	<5
Aderibigbe ve Rajaratnam (1998)	Batık su-kum	0.32	0.65	5	5-25	0	0.58-4.77	1.15-6.75	1.65	1.32-3.13	2.8-29.5	
Ade ve Rajaratnam (1998)	Su-kum/çakıl				5-25.4	0	2.2-5.5	0.24-7.2	1.65	1.33-1.46	6.3-88.2	
	Hava-kanola				12.5			1.47	892	1.12	5.7-22.3	
Rajaratnam ve Mazurek (2002)	Hava-polistren	-	-	-	6.35-12.6	7.5-60	27.3-86.8	1.4	859	-	7.9-25.2	
Rajaratnam ve Mazurek (2003)	Su-kum	0.61	0.572	-	9.8-12.7	90	1.73-4.22	1-2.38	1.65	-	13-38	
Xu vd. (2004)	Su-kum	0.8	0.22	3.0	20.5-33.3	60	1.4-2.1	10-15	1.6	-	-	-
Mazurek ve Rajaratnam (2005)	Hava-kum	0.66	0.156	1.73	4.7	15-60	20.1-49.2	1.2-2.38	2189		4.16-9.67	0.82-2.45

Tablo 4.3'ün devamı

Gu vd. (2015)	Su-kum	1.0	0.302	1.3	2.5	90	3.096-8.813	0.5-1.8	1.65		18,14-80,71	1.66-12.89
Mevcut çalışma	Dairesel su jeti-kum	1.55	1.5	3.0	28-40	30-60	5-10	1,28	1.65	1.37	34.74-69.47	10.61-35.88
	Venturi su jeti-kum						2.47-5,28				17.15-36.69	6.26-15.86

4.5.1. Deneylerin Hazırlanması

Tüm deneyler Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki sırasıyla planı, kesiti ve yan görünüşü verilen deney düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada su jeti olarak dairesel ve venturi ağızlıklar kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Üç farklı çapta dairesel ağızlık ve üç adet de farklı çapta venturi ağızlık olmak üzere toplamda altı adet farklı çapta ağızlık kullanılmıştır. (jetin çıkış çapı:28, 34, 40 mm). Şekil 4.3'te görüldüğü üzere su jetinin çıktığı boru, çarpma havuzunun bulunduğu kısmın başına monte edilmiş 360° dönebilen yatay bir mil yardımıyla jet borusuna dolayısıyla su jetine istenilen çarpma açısı (θ) verilebilmiştir. Jet, çarpma havuzunun merkez eksenine göre simetrik olarak yerleştirilmiştir. Bu çalışmada jetin, çarpma havuzuyla yaptığı eğim açısı (θ) 30, 45 ve 60° olmak üzere üç farklı çarpma açısı değeri çalışılmış ve 360° dönebilen mil sayesinde istenen açılar ayarlanabilmiştir. Özel vidalı bağlantılar aracılığıyla jet borusu ileri-geri hareket ettirilerek jetin çarpma mesafesi (H) ayarlanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında çarpma mesafesi olarak $H=15$ ve 30 cm olmak üzere iki farklı çarpma mesafesi için deneyler yürütülmüştür.

Zemin malzeme tabakasındaki sedimentin kalınlığı, test edilen hızlarda jet nedeniyle oluşan oyulmanın geometrisini etkilemeyecek şekilde yeterince büyük seçilmiştir. Tüm deneylerde çarpma havuzunda bulunan kum malzeme tabakasının kalınlığı 71 cm olarak sabit tutulmuştur. Çarpma havuzundaki kuyruk suyu derinliği havuzun en sonunda kum tutucu bölmeye bitişik olan çıkarılabilir-takılabilir kapaklar ve ek iletim hattı üzerindeki küresel vana yardımıyla ayarlanabilmektedir. Deney düzeneğinde ayrı bir bölme olan su tankındaki su ve test edilen kuyruk suyu derinliği, deney setine yerleştirilen hortumlar aracılığıyla musluk suyu kullanılarak temin edilmiştir. Su jetinde kullanılacak olan akımın debisi elektromanyetik debimetre ile ayarlanmıştır. Su jeti, 11 kW gücündeki pompa yardımıyla su tankındaki su alma ağzından borular yardımıyla alınarak çarpma havuzuna çarptırılması ile sağlanmıştır.

Çarpıtılan su jetinin mansap havuzundan sonra kum tutucu bölmeye ardından tekrar su tankına cazibeli bir şekilde akışa geçmesi temin edilmiştir. Bu şekilde yapılarak deneyde kullanılan suyun devirdaimi sağlanmıştır. Su alma ağzının bağlı olduğu iletim ve besleme borusuna bağlı 11 kW gücündeki pompa ile bu pompanın iletim hattına bağlı olan su jeti borusuna su basılarak çarpma havuzundaki zemin malzeme tabakasında oyulmayı gerçekleştiren su jeti elde edilmiştir. Pompanın basma ve iletim borusu üzerine yerleştirilmiş bulunan bir küresel vana ve elektro manyetik debimetre yardımıyla su jetinin debisi ayarlanabilmiş ve ölçülmüştür (Şekil 4.8 (c)). Çarpma havuzunda havuzun yan duvarlarının en üstünde havuz boyunca devam eden ray üzerinde hareket edebilen tekerlekli ölçüm arabası üzerinde monte edilmiş dijital limnimetre ile çarpma havuzunda enine ve boyuna su yüzeyi, su derinliği, taban zemin malzemesinde oluşan oyulmanın derinliği vb. gibi oyulma ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Ayrıca kuyruk suyu ayarlama kapaklarının yanında jet akıma geçtiğinde sabit kuyruk suyu derinliğinin sağlanması için ilaveten küresel vana monte edilmiş olan bir ekbağlantı yapılmıştır. Bu bağlantı borusu ile jetin debisi kaç olursa olsun akış sırasında kuyruk suyu derinliğinin sürekli sabit kalması temin edilmiştir.

Deneylerde şu sıra takip edilmiştir.

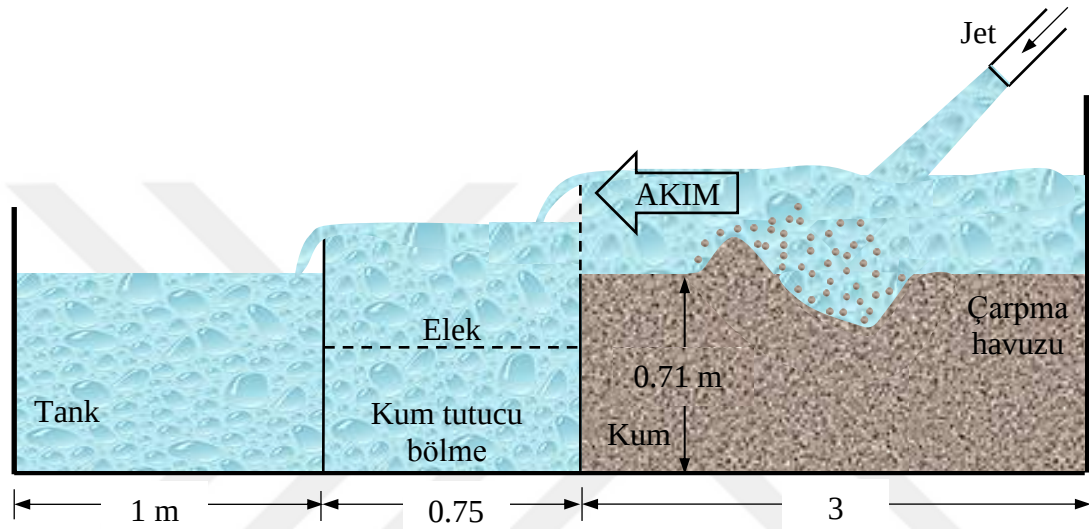
- Su jetinde kullanılacak olan ağızlığın takılması ve jetin çarpma açısının ayarlanması
- Zemin malzeme tabakasının mastar ve terazi yardımıyla düzleştirilmesi (Şekil 4.4).
- Çalışılan kuyruk suyu derinliğinin ayarlanması için kuyruk suyu ayarlama kapakların takılması
- Kuyruk suyunun şebekeden bağlanan hortumlar yardımıyla kuyruk suyunun istenilen seviyeye getirilmesinin sağlanması
- Çarpma mesafesinin (H) ayarlanması
- Pompanın çalıştırılması ve test edilen debinin elektromanyetik debimetre ile ayarlanması ile deneylerin başlatılması
- Deneylerde 15, 30, 45, 60, 120, 180 ve 480 dakikalık sürelerde jetin meydana getirdiği oyulmanın maksimum değerinin zamana bağlı değerlerinin alınması
- Sekiz saatlik sürenin sonunda önce küresel vana sonra pompanın kapatılması ile deneyin bitirilmesi
- Deneyin bitirilmesi ile çarpma havuzunda bulunan suyun tahliye boruları ile yavaş bir şekilde tahliye edilmesi
- Su drene edildikten sonra oyulma çukurunun enkesit, boykesit ve topografya haritası için dijital limnimetre ile gerekli ölçümlerin alınması

4.5.2. Deneylerin Yapılması

Deneyler Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilen derinliği 1.60 m, genişliği 1.50 m ve boyu 3 m olan çarpma havuzunun ön yüz duvarı 2 cm kalınlığında temperli cam olarak yapılmıştır (4.8 m²). Özellikle pompa çalışırken tankta bulunan su alma ağzına kum danelerinin girip pompaya zarar vermemesi için çarpma havuzuna bitişik kum tutucu bölme yapılmıştır. Bu kum tutucu bölmede danelerin dibe geçirmeyecek şekilde dikdörtgen elek monte edilmiş ve bu bölgede yüksek hızdan dolayı transfer olan sedimentin burada birikmesi sağlanmıştır. Kum tutucu bölmede yerleştirilen elekler, kum tutucu bölmenin içinde yerden 0.40 m yüksekliğinde monte edilmiştir. Kum tutucu bölmede kullanılan eleklerin çerçeveleri dayanıklı demir şerit levhadan yapılmıştır. Çarpma havuzuna 71 cm kalınlığında kum malzeme tabakası serilmiştir. Deney düzeneğine monte edilen hortumlar yardımıyla şebekeden vana çok az miktarda açılarak çalışılan kuyruk suyu derinliğine ulaşınca kadar çarpma havuzuna çok yavaş bir şekilde su akımı verilmiştir. Çarpma havuzunda çalışılan kuyruk suyu derinliği elde edilirken havuzdaki su yüzeyi seviyesi kum tabakasının üst seviyesine çıktığında kum tabakasını oluşturan danelerin akım tarafından sürüklenmeyip yerlerinde kalmasına dikkat edilerek havuz şebeke suyu ile doldurulmuştur. Çarpma havuzundaki kuyruk suyu seviyesi çalışılan değere ulaşıncaya pompa çalıştırılıp çalışılan debi, küresel vana ve elektromanyetik debimetre yardımıyla ayarlanarak su jeti çarpma havuzuna çarptırılmıştır.

Çarpma havuzuna serilen kum tabakası kalınlığı $h_k=71$ cm ve kuyruk suyu derinliği $t_d=41.2$ cm seçilmiştir. Yapılan ön deneyler sonucu çarpma açısı, jet çarpma mesafesi ve ağızlık çapları için jet nedeniyle mansap havuzunda oluşan oyulmanın geometrisini etkilemeyecek optimum değerler olduğundan deneme yanılma yoluyla bu değerlere karar verilmiştir. Jet çıkış noktasının çarpma havuzundaki su yüzeyine jet eksenini boyunca olan mesafesi $H= 15$ ve 30 cm özel vidalar yardımıyla ileri-geri hareket ettirilerek bu değerlerde ayarlanmıştır. Aynı şekilde su jetinin çarpma açısı $\theta = 30, 45$ ve 60° olmak üzere üç farklı çarpma açısı çarpma havuzuna monte edilen 360° dönebilen mil yardımıyla her deney öncesinde çalışılan açı ayarlanabilmiştir. 11kW’lı pompanın çalıştırılmasıyla su jeti, çarpma havuzunda bulunan kum malzeme tabakasında oyulmayı başlatmıştır. (Şekil 4.14). Pompa yardımıyla çarpma havuzuna çarptırılan su jeti havuza çarptıktan sonra önce kum tutucu bölmeye oradan da su tankına doğru cazibeli bir şekilde doğru akışa geçmiştir (Şekil 4.15). Bu şekilde sabit akım şartlarında her deneyde denge oyulma durumu oluşup oluşmaması durumuna göre altı (6) ile sekiz (8) saat arasında su jeti havuza çarptırılmıştır. Bu süre zarfında çarpma havuzunda jetten

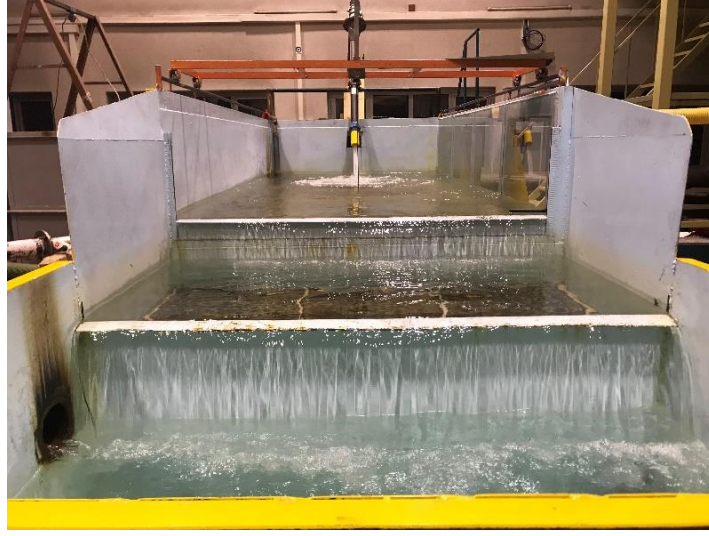
dolayı meydana gelen oyulmanın 15, 30, 45, 60, 180 ve 480'nci dakikalardaki maksimum oyulma değerleri dijital limnimetre ile okunmuştur. Pompa kapatıldıktan sonra jetten dolayı çarpma havuzunda meydana gelen oyulma çukurunun değişkenlerinin değerleri ölçüm arabasına monte edilmiş olan dijital limnimetre ile okunmuştur. Her deneyde su jetini çarpma havuzuna çarptıran 11 kW gücündeki pompa altı ile sekiz saatlik sürenin sonunda kapatılarak jet akımı durdurulmuştur.



Şekil 4.13 Deney sistemi uygulama düzeneği



Şekil 4.14 Deneyin başlatılması ile oyulmanın başlaması



Şekil 4.15 Deneyin başlatılması ile suyun akışa geçmesi

Çarpma havuzundaki suyu drene etmek için havuza monte edilen tahliye vanası çok az miktarda açılarak kanaldaki su çok yavaş bir şekilde boşaltılmaya başlanmıştır (Şekil 4.16). Bu şekilde sürenin dolmasından sonra her deneyde suyun tahliye edilmesi temin edilmiştir. Çarpma havuzunda bulunan suyun çok yavaş tahliye edilmesinin sebebi oyulma çukuru yüzeyinde bulunan kum danelerinin akım tarafından sürüklenmemesini ve oldukları yerde hareket etmemelerini temin etmektir.. Bu sayede çarpma havuzunda bulunan su tahliye edilirken oyulma çukurunun maksimum derinliği, geometrik şekli ve konumu bozulup değişime uğratılmaması sağlanmıştır.



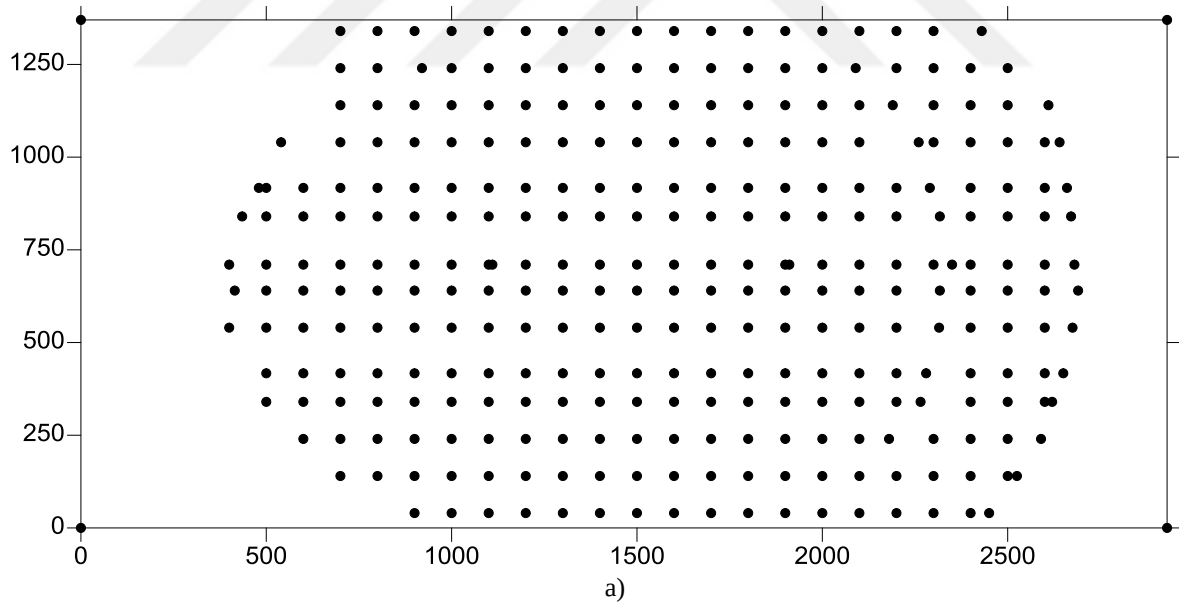
Şekil 4.16 Deneyin bitirilmesi ile suyun tahliye edilmesi

Çarpma havuzunun yan duvarlarında en üstünde bulunan boyuna raylar üzerinde hareket edebilen ölçüm arabasına monte edilmiş olan dijital limnimetre ile oyulma çukurunun hem

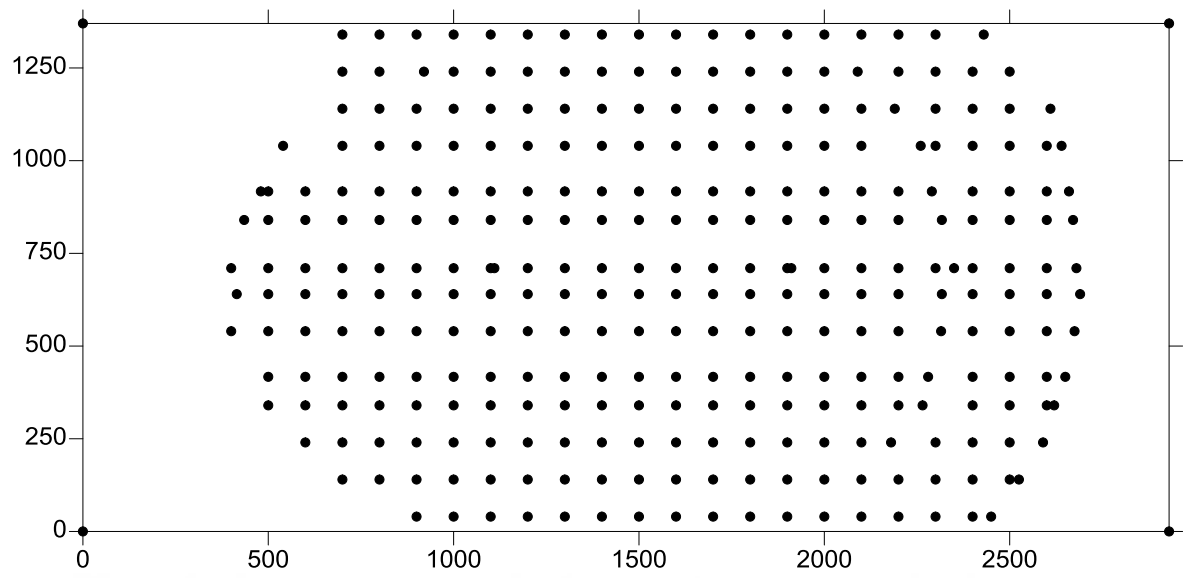
boyuna hem de enine doğrultusunda (10 cm de bir) o deneye ait oyulmanın enkesit ve boykesitleri çıkarılmıştır. Ayrıca her ağızlık için deneyin sonunda enine ve boyuna (her 5 cm'de bir) dijital limnimetre ile ölçüm yapılarak oyulma çukurunun topografyası elde edilmiştir. Deney sonunda dijital limnimetre ile ölçülen değerler önce Microsoft Excel'e aktarılmış akabinde Surfer programında her ağızlığa ait oyulma çukurunun topoğrafyası ve eş yükselti eğrileri çizilmiştir.

Yukarıda anlatılan $h_k = 71$ cm zemin malzeme tabakası kalınlığı bütün deneylerde sabit tutulmuştur. Her deneyde açı, ağızlık, hız ve çarpma mesafesi değişkenlerinden biri değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır.

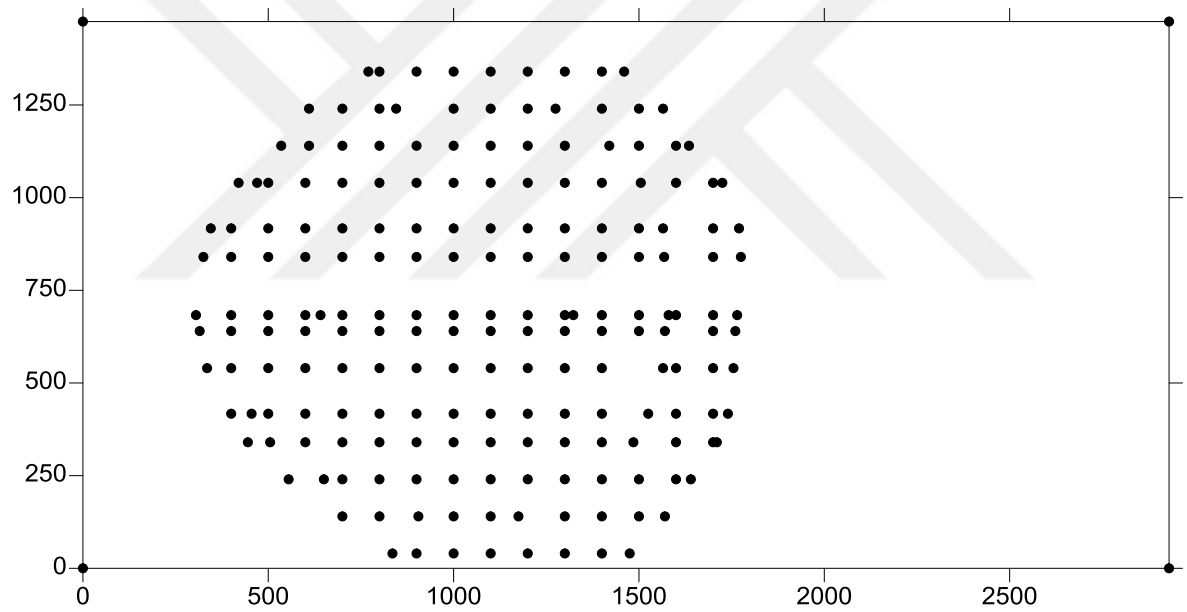
Deneysel ölçümlerden elde edilen veriler ve boyut analizi neticesinde elde edilen boyutsuz parametreler kullanılarak maksimum denge oyulma derinliği ve nihai durumda taban geometrisi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Dairesel ve venturi ağızlık verileri, literatür ile karşılaştırmalar yapılarak dairese ve venturi ağızlığın performansı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler, ölçülen değerler "Ekler" kısmındaki çizelge ve şekillerde verilmiştir.



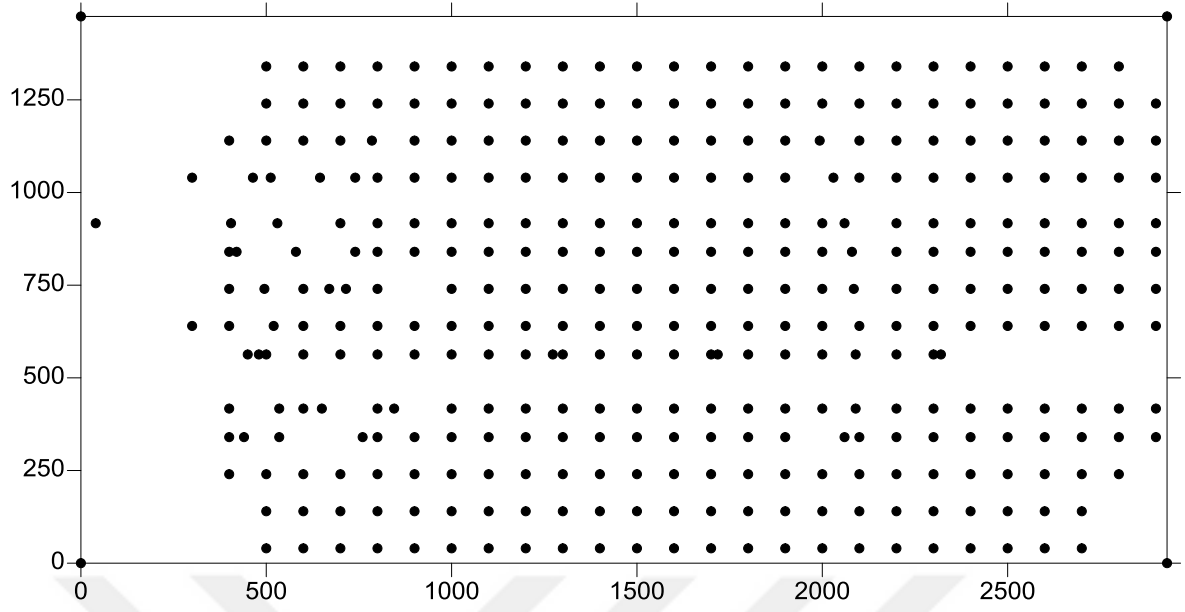
a) $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.30$ m



b) $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m

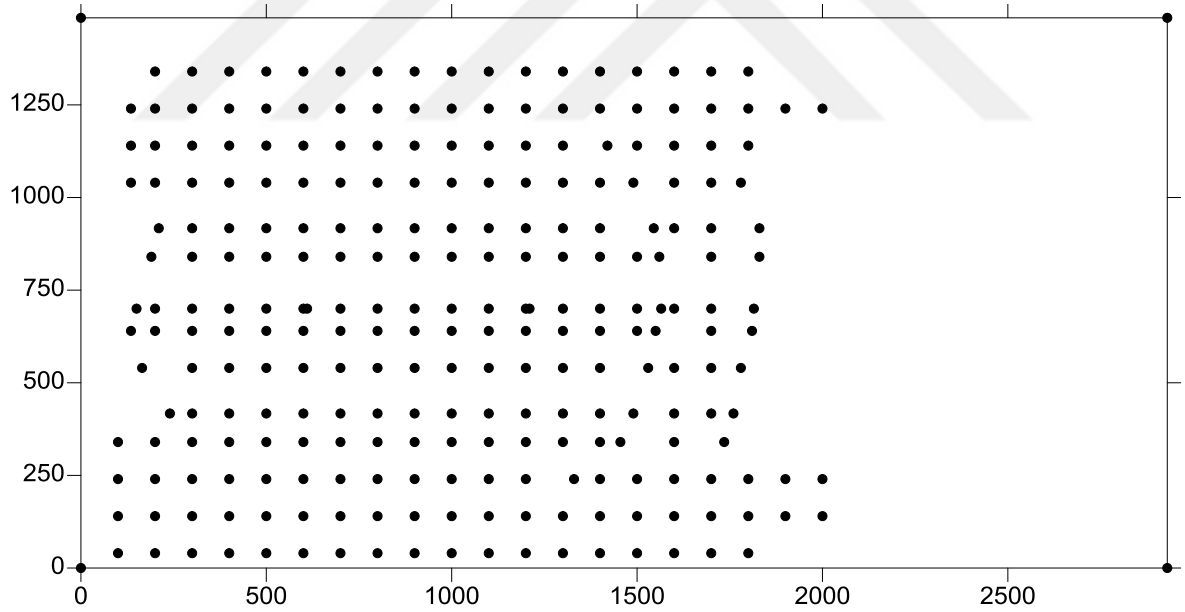


c) $U_0=7.50$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m

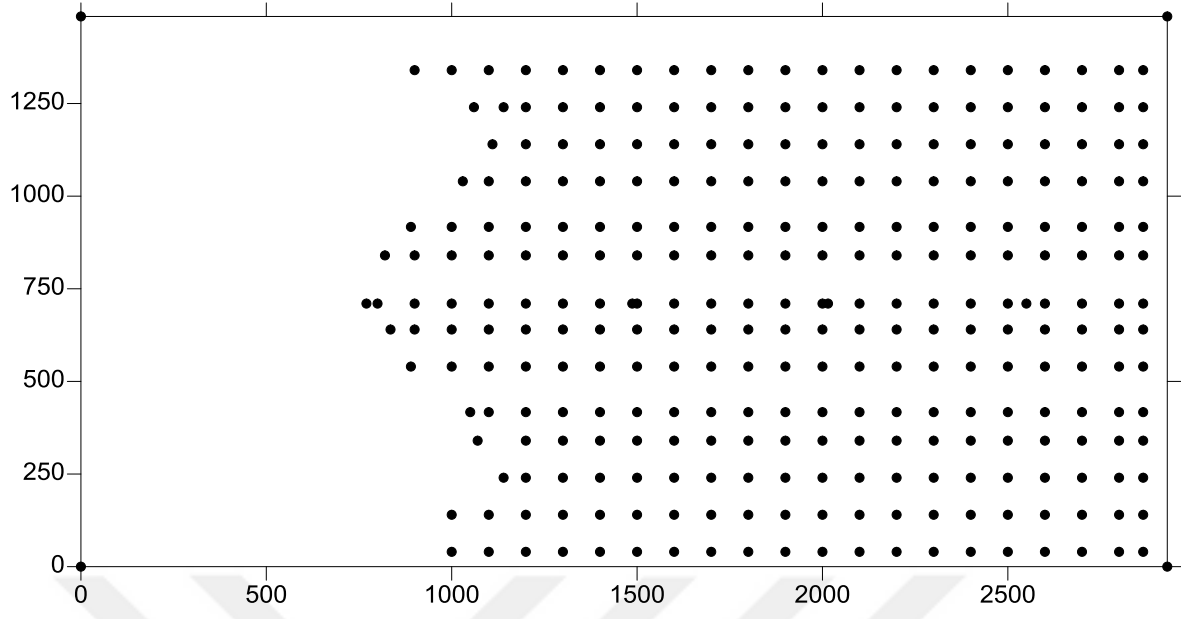


d) $U_0=7.50$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.30$ m

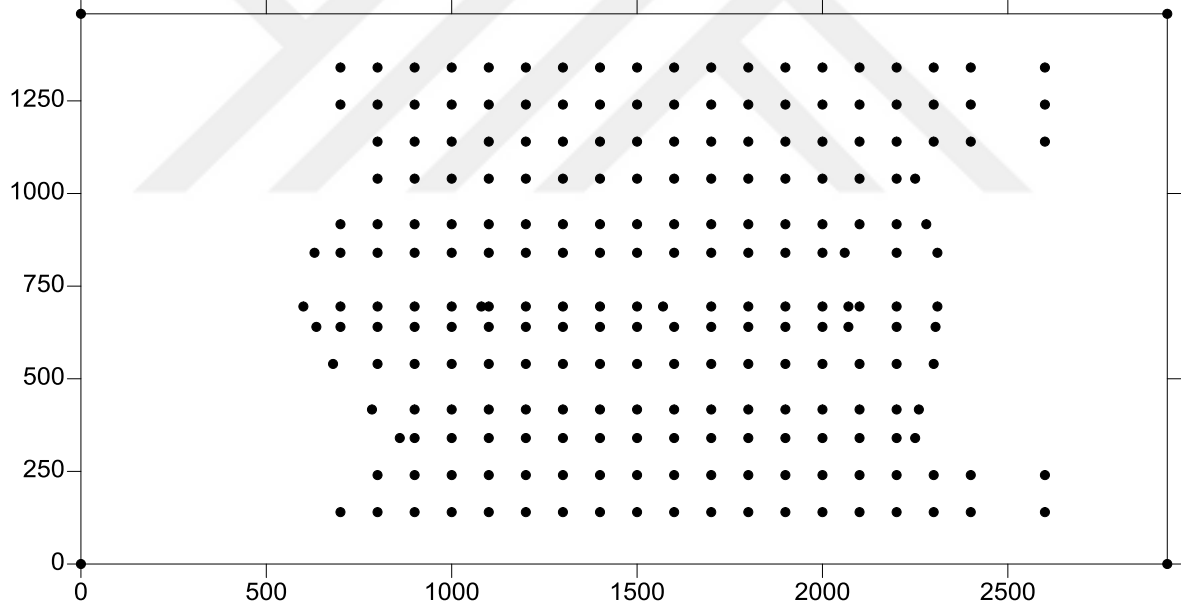
Şekil 4.17 (a-d) Dairesel ağızlık için yapılan deneylerde meydana gelen oyulmanın topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi



a) $U_{0v}=5.28$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m



b) $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=30^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m



c) $U_{0v}=3.36$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m

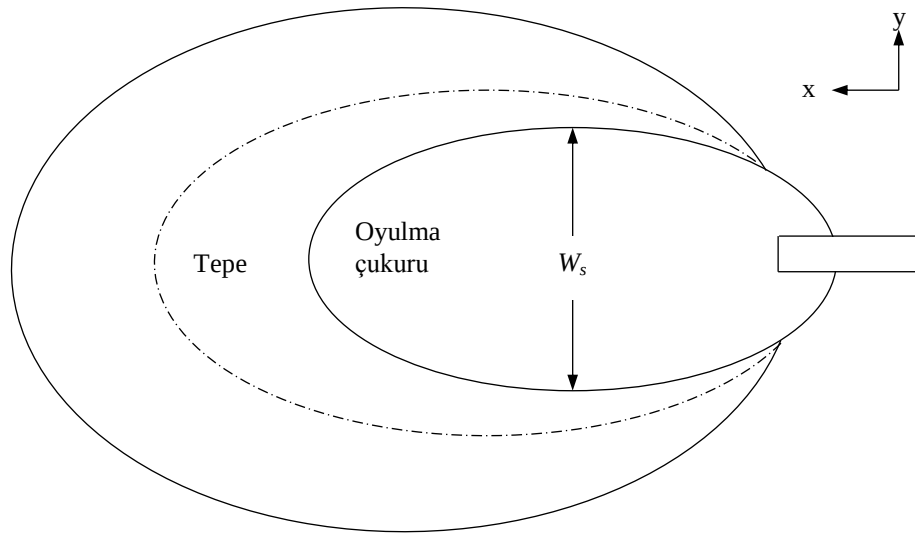
Şekil 4.18 (a-c) Venturi ağızlık için yapılan deneylerde meydana gelen oyulmanın topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi

5. DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

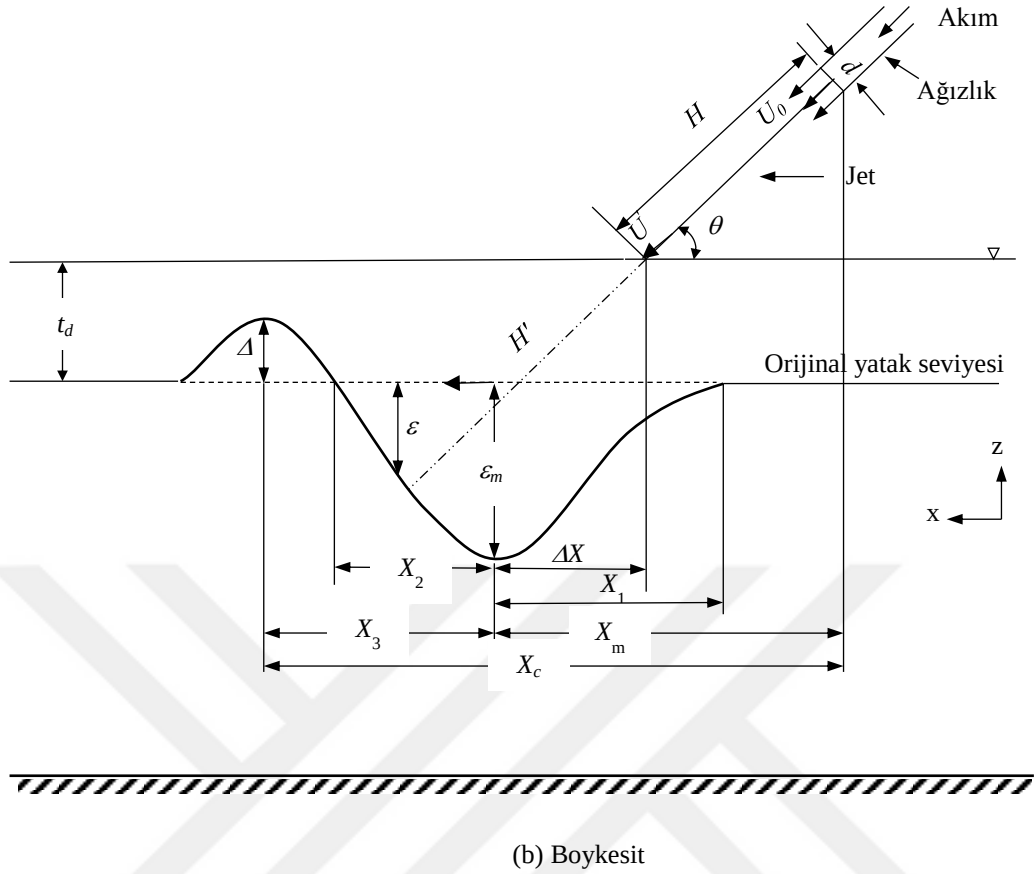
5.1. Giriş

Su jeti nedeniyle mansap havuzunda meydana gelen oyulmanın $H=0.30$ m ve 0.15 m çarpma mesafesi, $\theta=30, 45$ ve 60° çarpma açısı, aynı çıkış çapına sahip dairesel ve venturi ağızlık, $d=28, 34$ ve 40 mm çaplarda $U_0=5, 7.5$ ve 10 m/s jet çıkış hızlara sahip dairesel ağızlıklar ve farklı hızlara sahip venturi ağızlıkların test edilmesi sonucu elde edilen deney sonuçları grafiğe dökülmüştür.

Farklı akım şartlarında, su jeti nedeniyle çarpma havuzunda oluşan denge zamanındaki yerel oyulmanın Şekil 5.1’de verilen oyulma çukurunun parametreleri arasındaki ilişkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu karakteristiklerin erozyon parametresi (E_c), çarpma açısı (θ), boyutsuz çarpma yüksekliği (H/d), $F_0/(H/d)$ ile değişimi ve farklı akım şartlarında oluşan oyulmanın boykesitleri ile oyulma çukurunun benzerliği arasındaki ilişkiler grafiğe dökülmüştür. Son olarak da, her çarpma açısı, her çap ve her çarpma mesafesi için yapılan her üç deneyden birinde olmak üzere, toplamda 18 adet dairesel ağızlık için venturi için de 13 adet toplamda 31 tane olmak üzere deneylerin sonunda nihai taban topografyası çıkarılarak fotoğraflanmıştır. Bu çalışma kapsamında ilk önce dairesel ağızlık için yapılan deney sonuçları verilmiştir. Daha sonra venturi ağızlık kullanılarak yapılan oyulmanın deney sonuçları verilmiş ve elde edilen bulgular tartışılmıştır.



(a) Plan



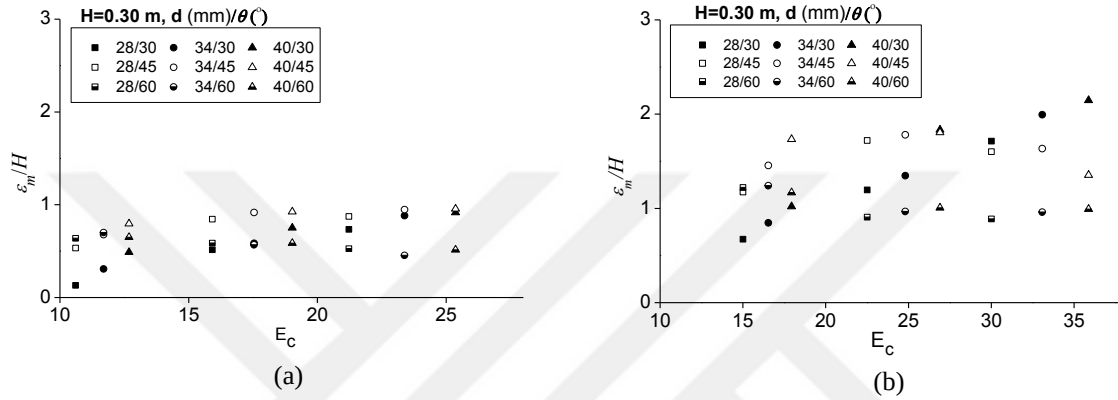
Şekil 5.1 Oyulma çukurunun parametreleri a) Plan b) Boykesit

5.2. Dairesel Ağzılık için Yapılan Oyulma Deneyleri

Dairesel ağızlıklı su jetlerinin mansap havuzunda veya mansap kanalında oluşturduğu oyulma geometrisi üzerine literatürde birçok çalışma yapıldığı görülmektedir (Tablo 4.3). Fakat bu çalışmaların çoğunda küçük densimetrik Froude sayıları veya özellikle küçük erozyon parametresi değerleri için deneyler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında büyük densimetrik Froude sayıları ve büyük erozyon parametresi değerleri için bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir (Tablo 4.3).

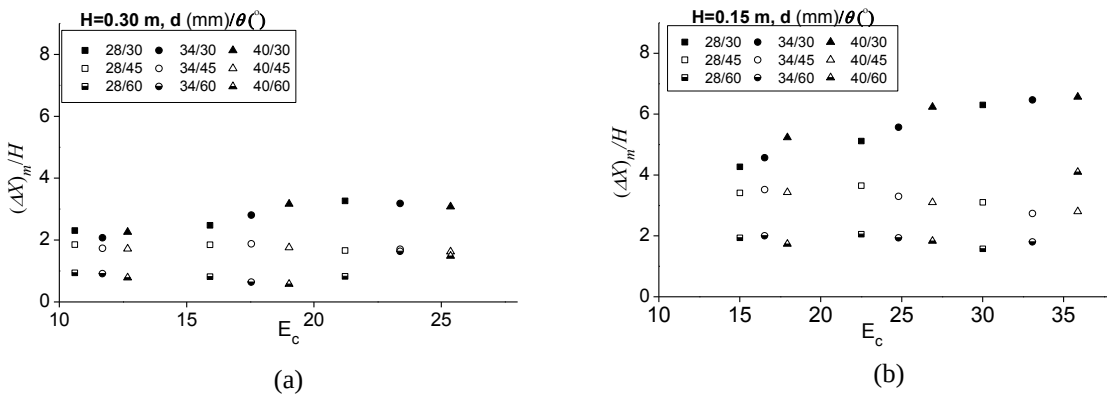
Şekil 5.2’de boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H), erozyon parametresi (E_c) ile değişimi görülmektedir. Bu değişim farklı ağızlık (nozül) çapları ve farklı jet çarpma açıları için çizilmiştir. Erozyon parametresinin artmasıyla boyutsuz maksimum oyulma derinliği değerlerinin de arttığı görülmektedir. Su jetinin hızının artmasıyla aynı zamanda jetin momentumu da artmaktadır. Jet hızının artması ile penetrasyon derinliğinin arttığı literatürdeki çalışmalardan anlaşılmaktadır. Böylece mansap havuzu içerisine dalan su jeti, yüksek hızlarda daha fazla oyulma derinliği oluşturmaktadır. Su jetinin hızının artması ile mansap havuzuna

giren hava kabarcıklarının miktarı da artmaktadır. Şekil 5.2’de de görüldüğü gibi erozyon parametresi ile boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin değişimi doğrusal olarak değişmemektedir. Şekil 5.2’den de görüldüğü gibi özellikle $\theta=30^\circ$ çarpma açısında test edilen değerlerin boyutsuz maksimum oyulma derinlikleri değerlerinin küçük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi bu açıda su jetinin daha uzun yol almasıyla jetin kinetik enerjisinin sönümlenmesi gösterilebilir.



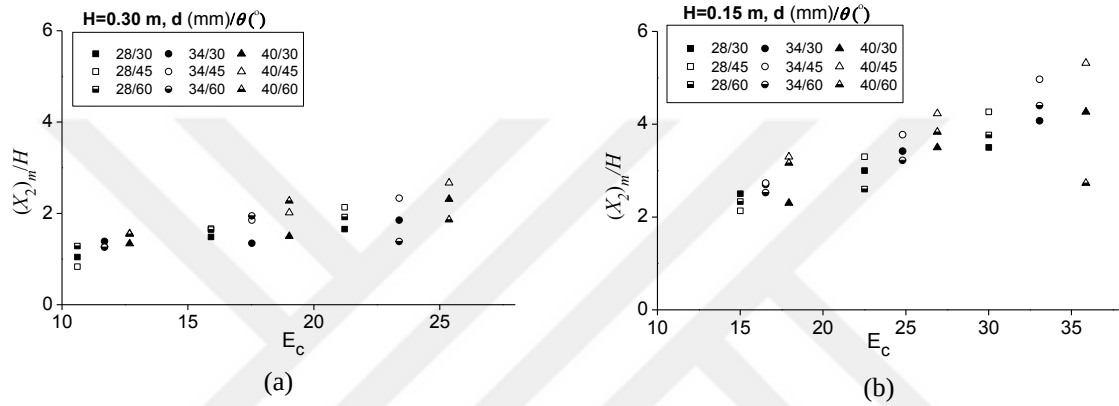
Şekil 5.2 Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.3’te jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyutsuz maksimum mesafenin ($(\Delta X)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi çizilmiştir. Bu değişim farklı ağızlık (nozül) çapları ve farklı jet çarpma açıları için çizilmiştir. Şekil 5.3’ten de görüldüğü gibi $\theta=30^\circ$ için $(\Delta X)_m/H$ değerleri test edilen diğer jet çarpma açısına ait değerlerden daha büyüktür. Bunun nedeni su jetinin mansap havuzuna dalış açısının test edilen diğer açılardan daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır.



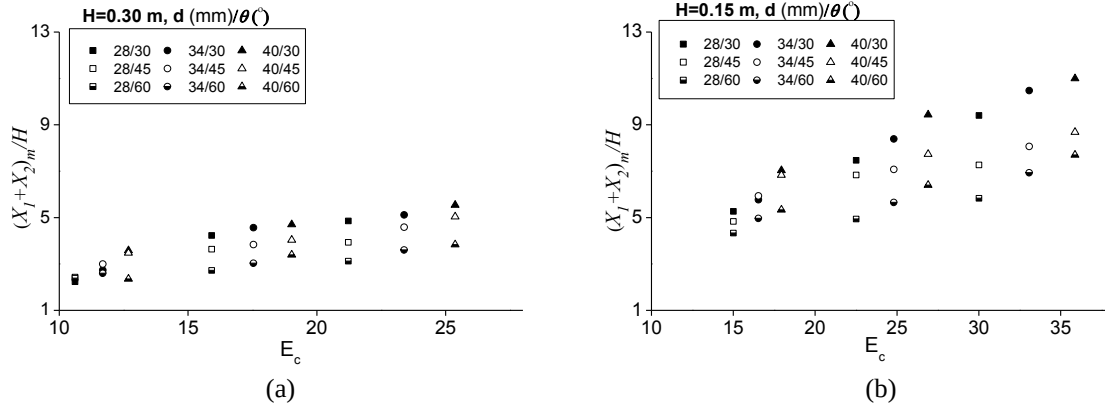
Şekil 5.3 Jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyutsuz maksimum mesafenin ($(\Delta X)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.4'te maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafe $((X_2)_m/H)$ ile erozyon parametresi (E_c) ile değişimi çizilmiştir. Bu değişim farklı ağızlık (nozul) çapları ve farklı jet çarpma açıları için çizilmiştir. Erozyon parametresi (E_c) değerlerinin artması ile boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki mesafe $((X_2)_m/H)$ değerlerinin de arttığı görülmektedir. Jetin momentumunun artması $(X_2)_m/H$ değerlerinin artmasına neden olmaktadır.



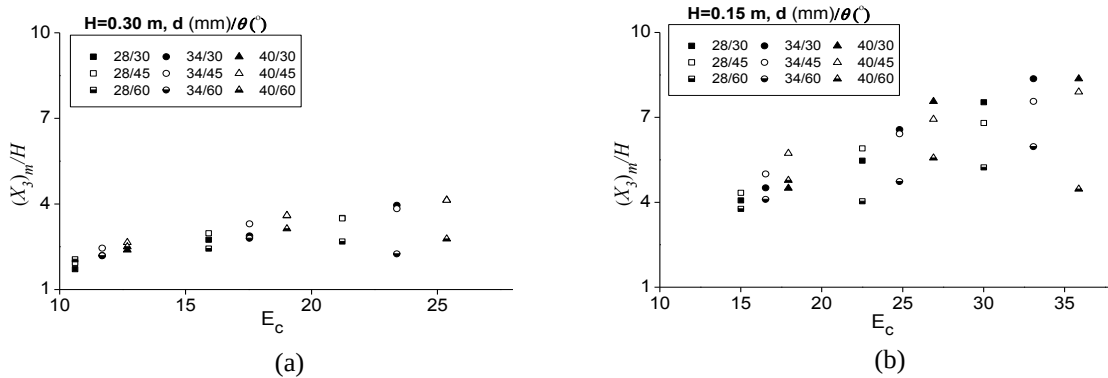
Şekil 5.4 Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_2)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.5'te oyulma çukurunun boyutsuz maksimum uzunluğu $((X_1+X_2)_m/H)$ ile erozyon parametresi (E_c) arasındaki değişimi çizilmiştir. Bu değişim farklı ağızlık (nozul) çapları ve farklı jet çarpma açıları için çizilmiştir. Erozyon parametresi (E_c) değerlerinin artması ile boyutsuz oyulma çukurunun maksimum uzunluğunun $((X_1+X_2)_m/H)$ değerlerinin de arttığı görülmektedir. Jet çarpma hızının artmasıyla, $(X_1+X_2)_m/H$ değerleri de artmaktadır. Şekil 5.5'te görüldüğü gibi $(X_1+X_2)_m/H$ değerleri, erozyon parametresinin artmasıyla test edilen tüm çarpma açılarında yaklaşık olarak doğrusal artmıştır.



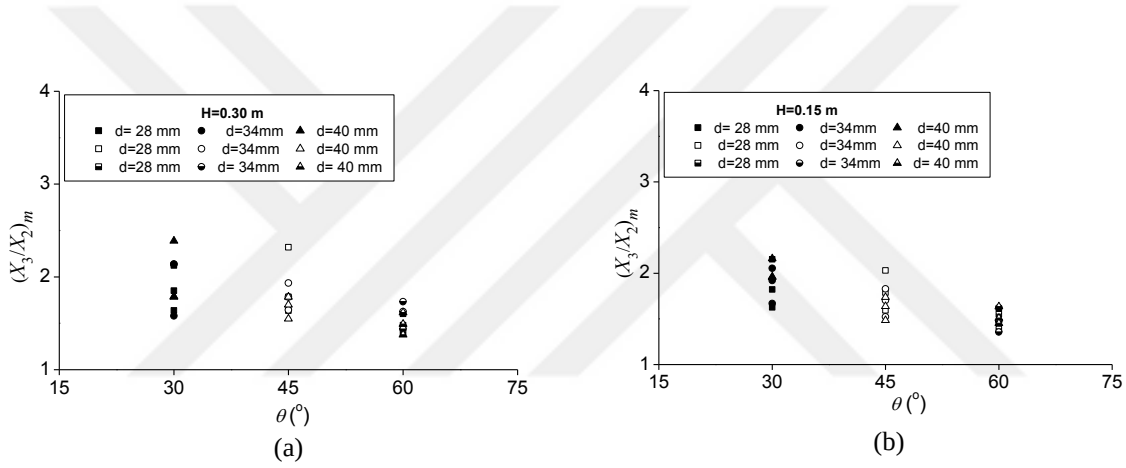
Şekil 5.5 Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum uzunluğunun $((X_1+X_2)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.6’da maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin olduğu nokta arasındaki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_3)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi verilmiştir. Bu değişim farklı ağızlık (nozül) çapları ve farklı jet çarpma açıları için çizilmiştir. Şekil 5.6’da $(X_3)_m/H$ değerleri, erozyon parametresi artarken en büyük değerine çarpma açısının $\theta=45^\circ$ olduğu deneylerde ulaştığı görülmektedir. $(X_3)_m/H$ değerlerinin $\theta=60^\circ$ çarpma açısı için test edilen diğer açılara göre daha düşük $(X_3)_m/H$ değerleri elde edilmiştir. $\theta=60^\circ$ çarpma açısı için yapılan deneylerde mansap havuzuna içerisine dalan su jeti diğer açılara göre çok daha fazla sedimenti askı durumuna geçirmektedir. Bunun nedeni $\theta=60^\circ$ için yapılan deneylerde akım içerisine sokulan hava kabarcıkları yatak malzemesi içerisine geçirgenlik nedeniyle girmektedir. Yatak malzemesi içerisine giren hava kabarcıkları sedimenti yukarı doğru kaldırmaktadır. Böylece büyük miktardaki sediment bir kaynama durumuna benzer şekilde sedimenti askı halinde tutmaktadır. Statik oyulma durumunda bu sediment yer çekimi kuvveti etkisiyle yatak malzemesi üzerine çökelmektedir.



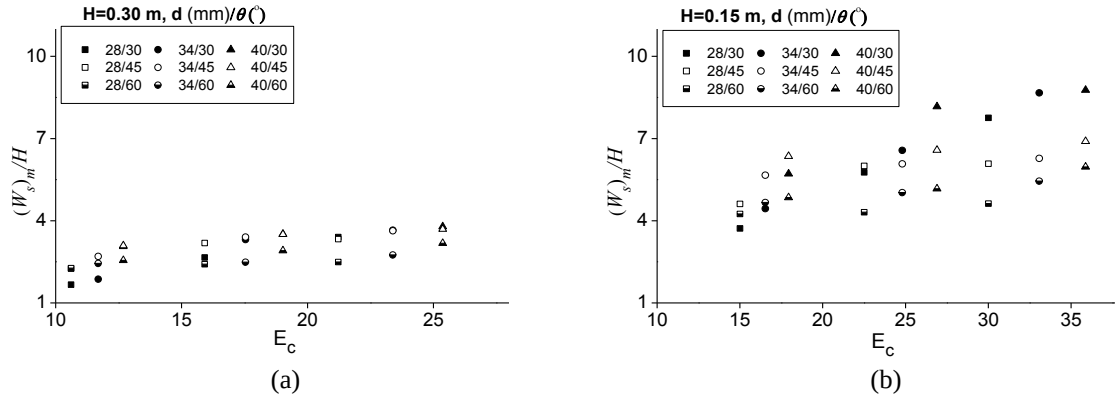
Şekil 5.6 Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_3)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.7’de $(X_3/X_2)_m$ oranının çarpma açısı (θ) ile değişimi verilmiştir. Şekil 5.7’den de görüldüğü gibi $(X_3/X_2)_m$ oranı, θ açısının 90° ’ye yaklaşmasıyla azaldığı görülmektedir. Söz konusu bu oranın düşmesi ile 90° ’ye yakın jet çarpma açılarında askı durumundaki sedimentin diğer açılar için test edilen deneylere göre daha fazla olması ve sedimentin mansap havuzu boyunca taşınmaması nedeniyle, bu karakteristik uzunlukların (X_3 ve X_2) değerlerinin daha küçük değerler almasına neden olduğu ifade edilebilir. Şekil 5.7’den de görüleceği üzere çarpma açısı değeri yataya yakınlaştıkça (0°), $(X_3/X_2)_m$ oranının arttığı gözlemlenmektedir. Jet çarpma açısının küçük değerlerinde askı durumundaki sedimentin belirli bir kısmı düşük akım hızına sahip mansap kanalında ileri doğru taşınması sonucu, karakteristik uzunluklarının (yani X_3 ve X_2) büyük çıkmasına neden olduğu söylenebilir.



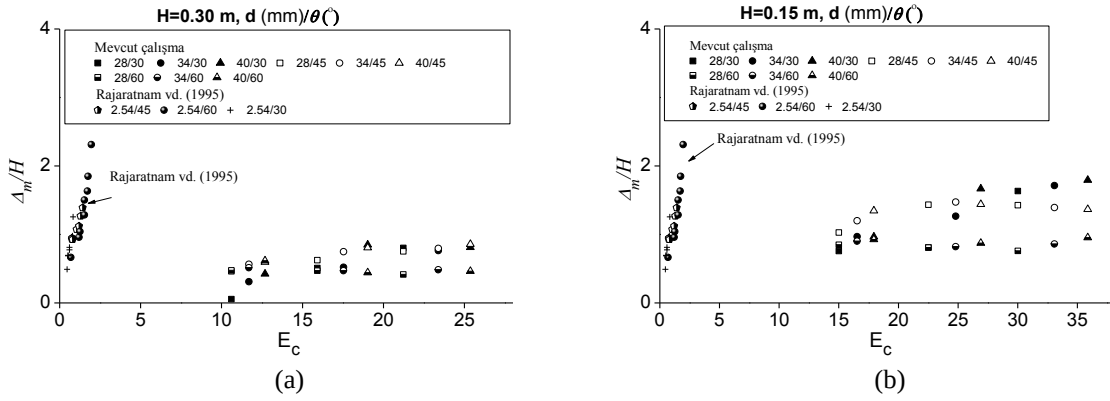
Şekil 5.7 $(X_3/X_2)_m$ oranının çarpma açısı (θ) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliği $((W_s)_m/H)$ ile erozyon parametresi (E_c) arasındaki değişim Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.8’den de görüldüğü gibi erozyon parametresinin artması ile $(W_s)_m/H$ değerleri de artmaktadır. Test edilen küçük çarpma açılarında ve büyük çaplarda (d) daha büyük oyulma genişlikleri elde edilmiştir. Özellikle $\theta=30^\circ$ ’de boyutsuz oyulma çukuru genişliğinin, düşük E_c değerlerinde küçük olmasının nedeni su jetinin diğer açılarda test edilenlere göre daha uzun yol alması sonucu kinetik enerjisinin azalması gösterilebilir. Şekil 5.8’den $\theta=60^\circ$ çarpma açısında oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliğinin diğer açılara oranla değerinin küçük olması, sedimentin askıda kalıp taşınmaması olarak gösterilebilir.



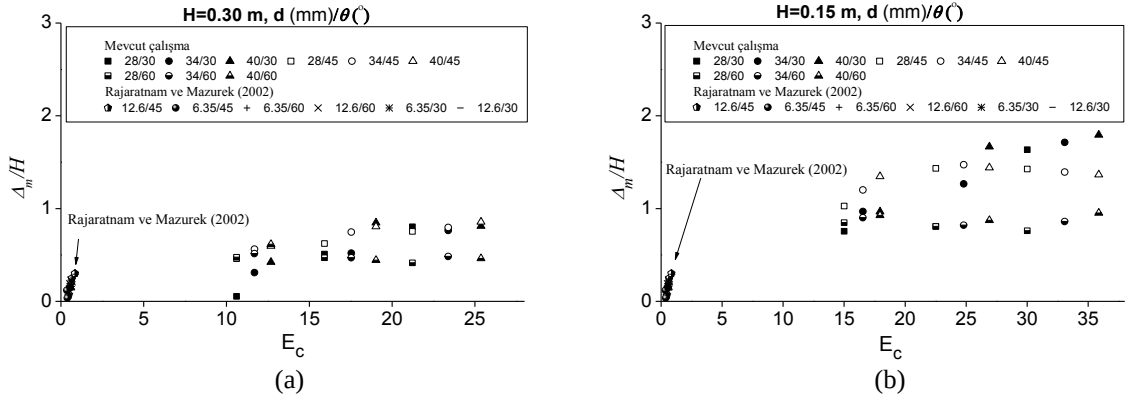
Şekil 5.8 Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliğinin $((W_s)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.9’da boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi çizilmiştir. Bu grafikte deneylerde elde edilen bulgular, Rajaratnam vd. (1995) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 5.9’da mevcut çalışma ile karşılaştırılan Rajaratnam vd. (1995), dairesel su jeti ile farklı medyan çaplarına sahip kum malzemesi kullanarak $E_c=1.96$ ’a kadar çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bir başka deyişle küçük E_c değerleri için deney yapmışlardır. Bu çalışmada ise büyük E_c değerleri (10.61-35.87) için deneyler yürütülmüştür. Rajaratnam vd. (1995)’nin çalışmalarına göre Δ_m/H ile E_c arasındaki trend doğrusal olarak alındığında uydurulan doğrunun eğimi büyük çıkmaktadır. Daha büyük E_c değerleri için bu trendin devamı çizilirse bu çalışmanın bulgularına göre anlamlı sonuçlar elde edilememektedir. Bunun nedeni jet akım hızının artması ile mansap havuzuna çok daha fazla hava kabarcığı sokulmaktadır. Oluşan bu iki fazlı akım enerjinin sönümlenmesine neden olmakta ve maksimum oyulma derinliğinin azalmasına ve maksimum tepe yüksekliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bir başka deyişle Δ_m/H ile E_c arasındaki değişim doğrusal olmamaktadır. $\theta=30^\circ$ olması durumunda mansap havuzu içerisine dalan jet, diğer açılara göre havuz içerisinde daha fazla yol almaktadır. Böylece jetin kinetik enerjisi test edilen diğer açılara göre daha az olmaktadır. Bu nedenle $\theta=30^\circ$ için yapılan deneylerde diğer açılara göre daha düşük Δ_m/H değerleri elde edilmiştir.



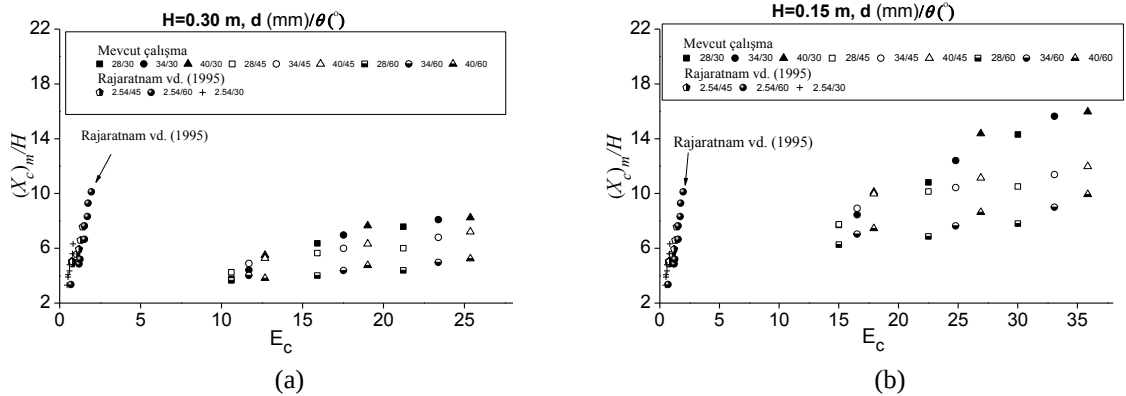
Şekil 5.9 Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.10’da boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişimi çizilmiştir. Bu grafikte deneylerde elde edilen bulgular, Rajaratnam ve Mazurek. (2002) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 5.10’da mevcut çalışma ile karşılaştırılan Rajaratnam ve Mazurek (2002), dairesel hava jeti ile polistren malzemesi kullanarak $E_c=4.40$ ’a kadar çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bir başka deyişle küçük E_c değerleri için deney yapmışlardır. Bu çalışmada ise büyük E_c değerleri (10.61-35.87) için deneyler yürütülmüştür. Rajaratnam ve Mazurek (2002)’nin çalışmalarına göre Δ_m/H ile E_c arasındaki değişim doğrusal olarak alındığında uydurulan doğrunun eğimi büyük çıkmaktadır. Daha büyük E_c değerleri için bu trendin devamı çizilirse bu çalışmanın bulgularına göre anlamlı sonuçlar elde edilememektedir. Bunun nedeni jet akım hızının artması ile mansap havuzuna çok daha fazla hava kabarcığı sokulmaktadır. Oluşan bu iki fazlı akım, enerjinin sönmölenmesine neden olmakta ve maksimum oyulma derinliğinin azalmasına ve maksimum tepe yüksekliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bir başka deyişle Δ_m/H ile E_c arasındaki değişim doğrusal olmamaktadır. Böylece büyük E_c değerleri için trendi görebilmek için yeni deneylerin yapılması yerinde olmuştur.



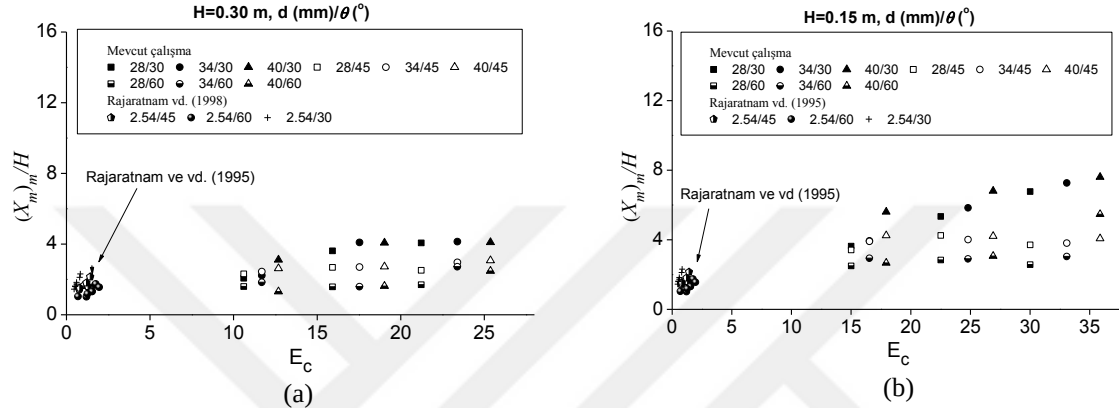
Şekil 5.10 Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.11’de ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin ($(X_c)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Önceden de ifade edildiği gibi literatürde çok küçük E_c değerleri için çalışılmıştır. Literatürdeki (Rajaratnam vd., 1995) $(X_c)_m/H$ ile erozyon parametresi (E_c) arasındaki değişim doğrusal olmakta ve doğrunun eğimi büyük değerler almaktadır. Literatüre göre bu büyük eğimin devam etmesi durumunda büyük E_c değerleri için oldukça büyük değerlerin elde edileceği açıktır. Fakat mevcut çalışmada elde edilen bulgulara göre $(X_c)_m/H$ ile erozyon parametresi (E_c) arasındaki trendin böyle olmadığını ortaya koymaktadır. Bunun nedeni yüksek jet hızlarında akım içerisine çok daha fazla hava kabarcığı sokulmaktadır. Böylece havalanmış jetin mansap havuzunda oluşturacağı oyulma azalmaktadır.



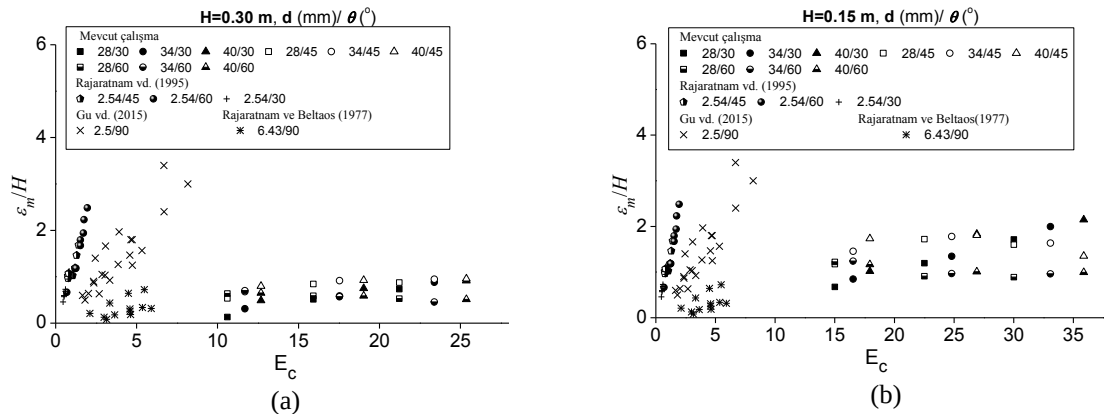
Şekil 5.11 Ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin ($(X_c)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.12’de ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Küçük jet çarpma açılarında E_c ’nin artmasıyla daha büyük $(X_m)_m/H$ değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni büyük açılarda sedimentin daha fazla askı durumuna geçmesidir.



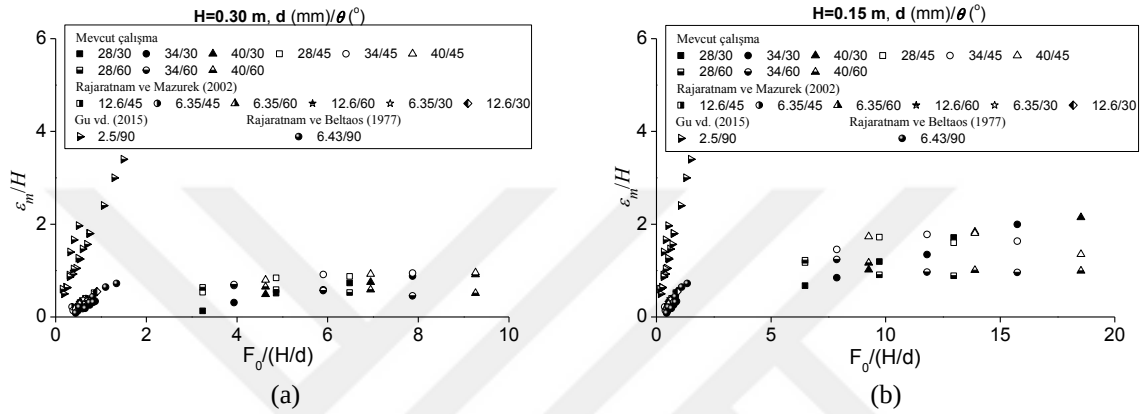
Şekil 5.12 Ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadar olan akım yönünde boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.13’te boyutsuz maksimum oyulma derinliği (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Rajaratnam vd. (1995), $E_c=1.96$, Gu vd. (2015) $E_c=8.1$ ve Rajaratnam ve Beltaos (1977) da $E_c=5.91$ ’e kadar dairesel jet ile çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bir başka deyişle küçük E_c değerleri için deney yapmışlardır. Bu çalışmada ise büyük E_c değerleri (10.61-35.87) için deneyler yürütülmüştür. Rajaratnam vd. (1995)’nin çalışmalarına göre Δ_m/H ile E_c arasındaki trend doğrusal olarak alındığında uydurulan doğrunun eğimi büyük çıkmaktadır. Daha büyük E_c değerleri için bu trendin devamı çizilirse bu çalışmanın bulgularına göre anlamlı sonuçlar elde edilememektedir.



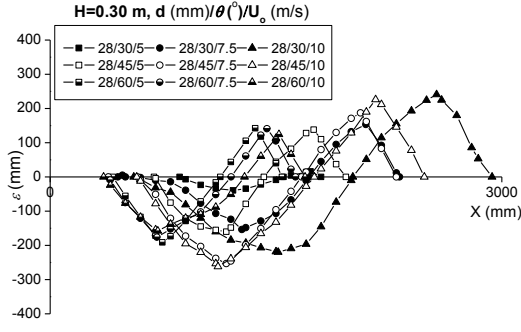
Şekil 5.13 Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.14'te boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Rajaratnam ve Mazurek (2002), Gu vd. (2015) ve Rajaratnam ve Beltaos (1977) dairesel jet ile çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu çalışmada büyük $F_0/(H/d)$ değerleri (3.24-18.52) için deneyler yürütülmüştür.

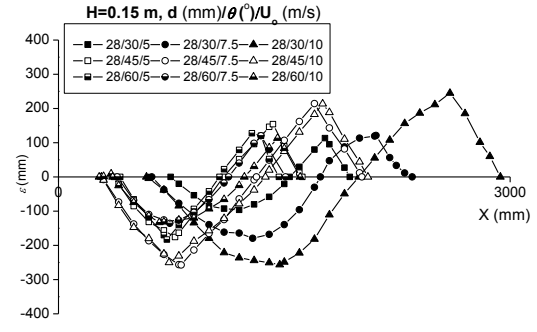


Şekil 5.14 Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

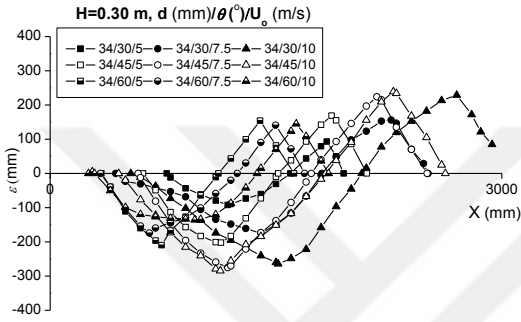
Şekil 5.15'te farklı çaplar, farklı çarpma açıları ve farklı çarpma hızları için denge oyulma durumunda çarpma havuzunda oluşan maksimum oyulmanın olduğu eksen boyunca boykesitleri çizilmiştir. Küçük açılarda ve özellikle büyük çarpma hızlarında tepe yüksekliğinin daha ileride olduğu görülmektedir. Test edilen bütün deneylerde bu durum gözlenmiştir.



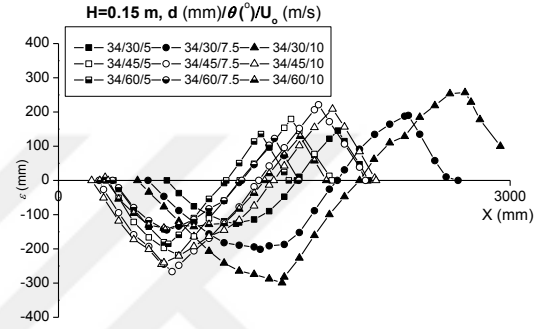
(a)



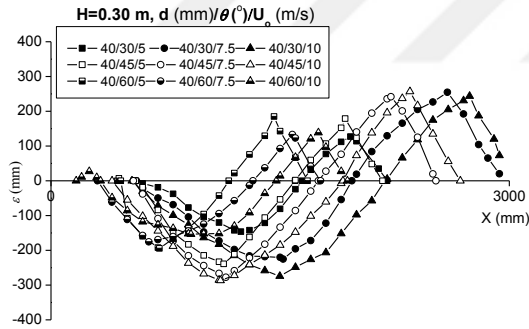
(b)



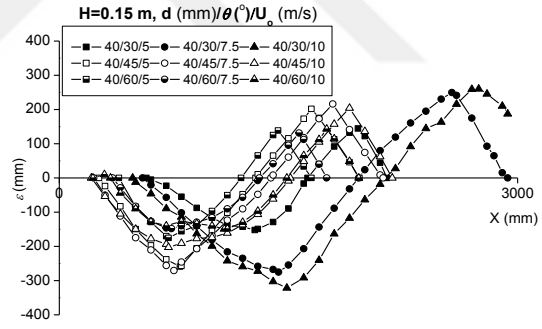
(c)



(d)



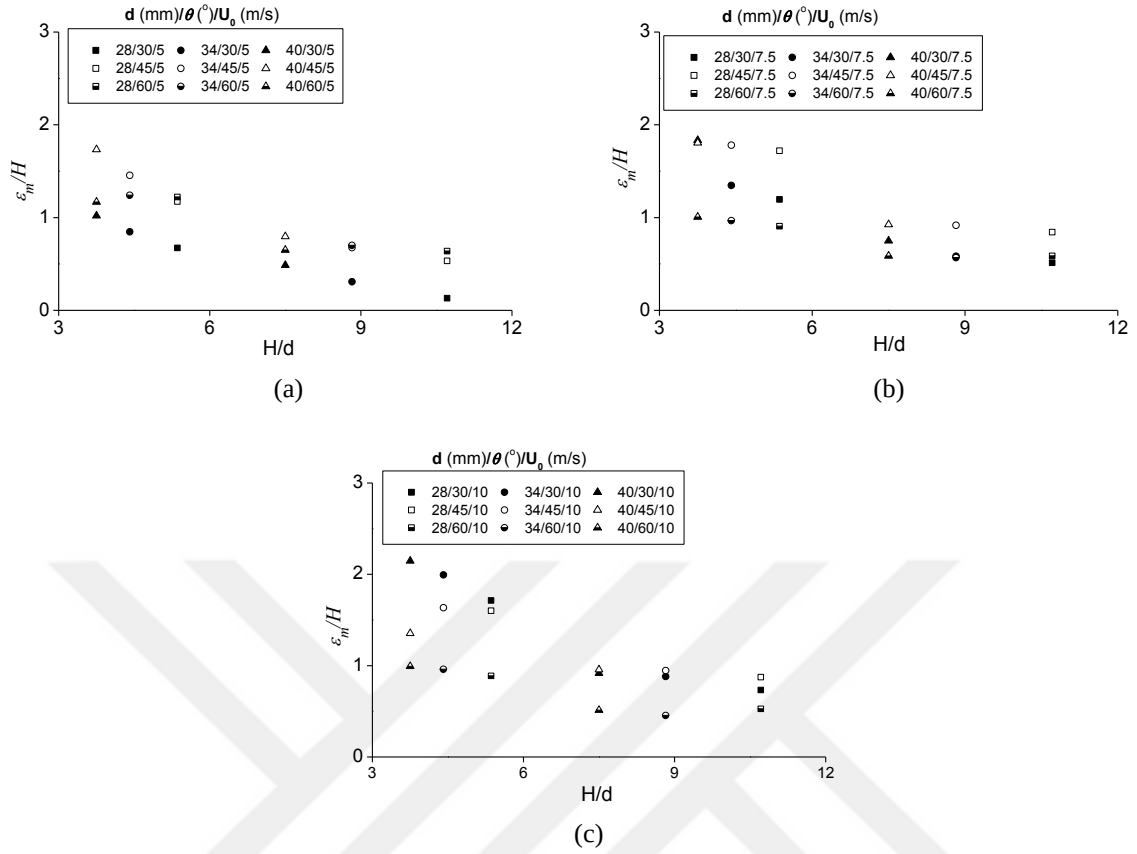
(e)



(f)

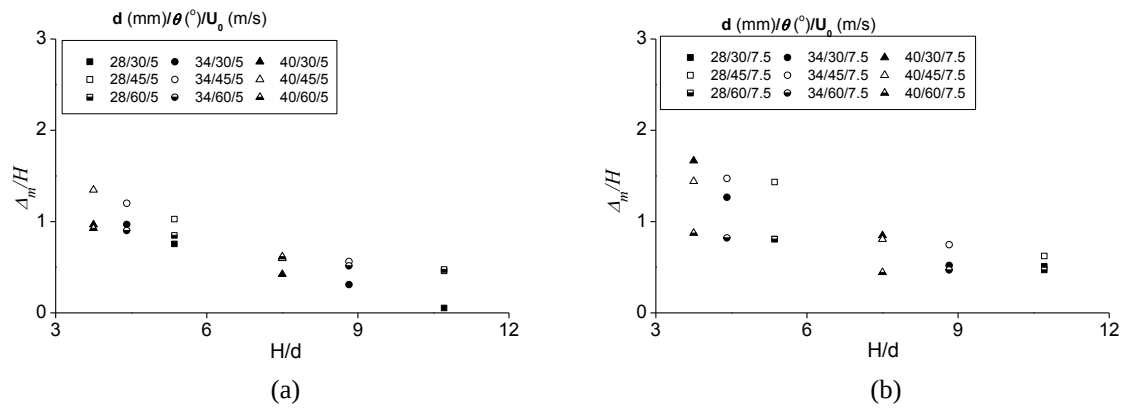
Şekil 5.15 (a-f) Farklı çaplar, hızlar ve farklı çarpma açıları için denge oyulma durumunda çarpma havuzunda oluşan maksimum oyulmanın boykesitleri: (a) $d=28$ mm, $H=0.30$ m, (b) $d=28$ mm, $H=0.15$ m, (c) $d=34$ mm, $H=0.30$ m, (d) $d=34$ mm, $H=0.15$ m, (e) $d=40$ mm, $H=0.30$ m, (f) $d=40$ mm, $H=0.15$ m

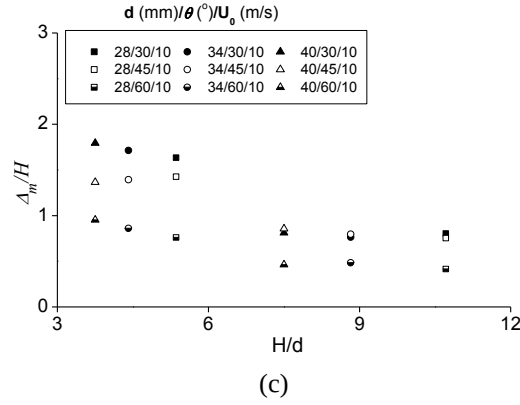
Şekil 5.16'da farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir.



Şekil 5.16 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5 \text{ m/s}$, (b) $U_0=7.5 \text{ m/s}$, (c) $U_0=10 \text{ m/s}$

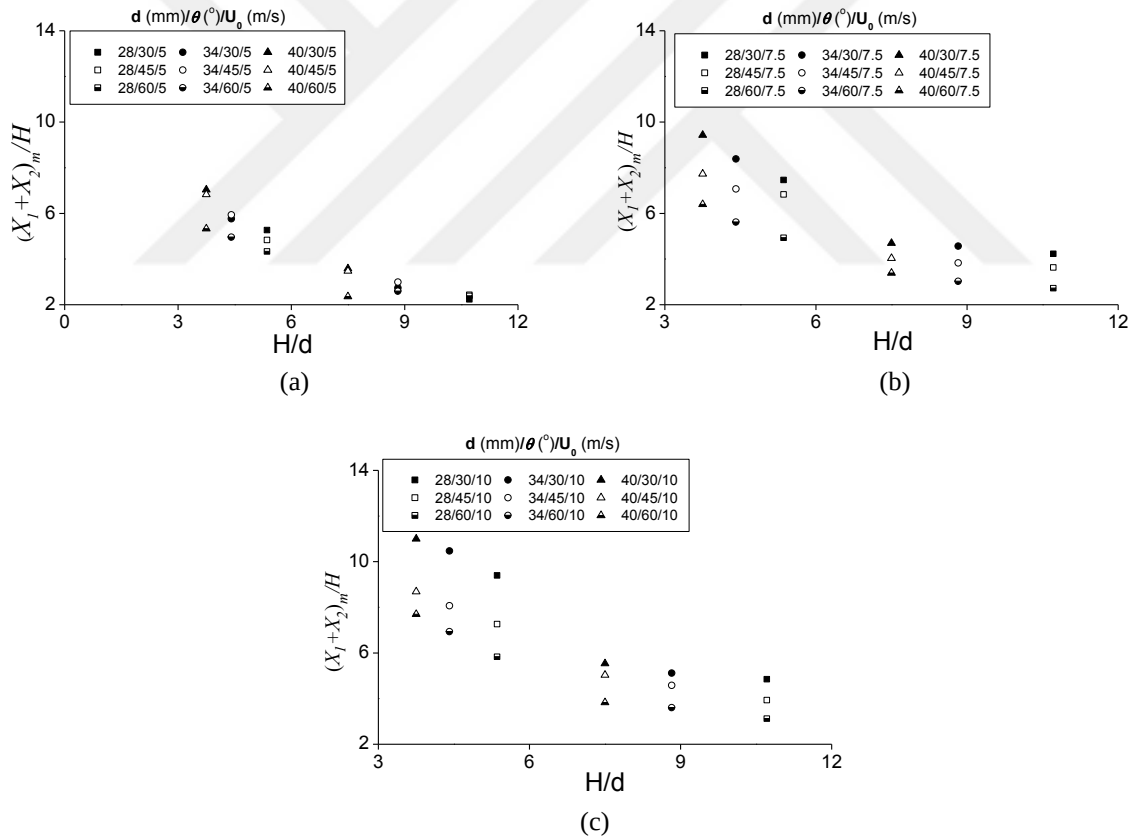
Şekil 5.17’de farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir.





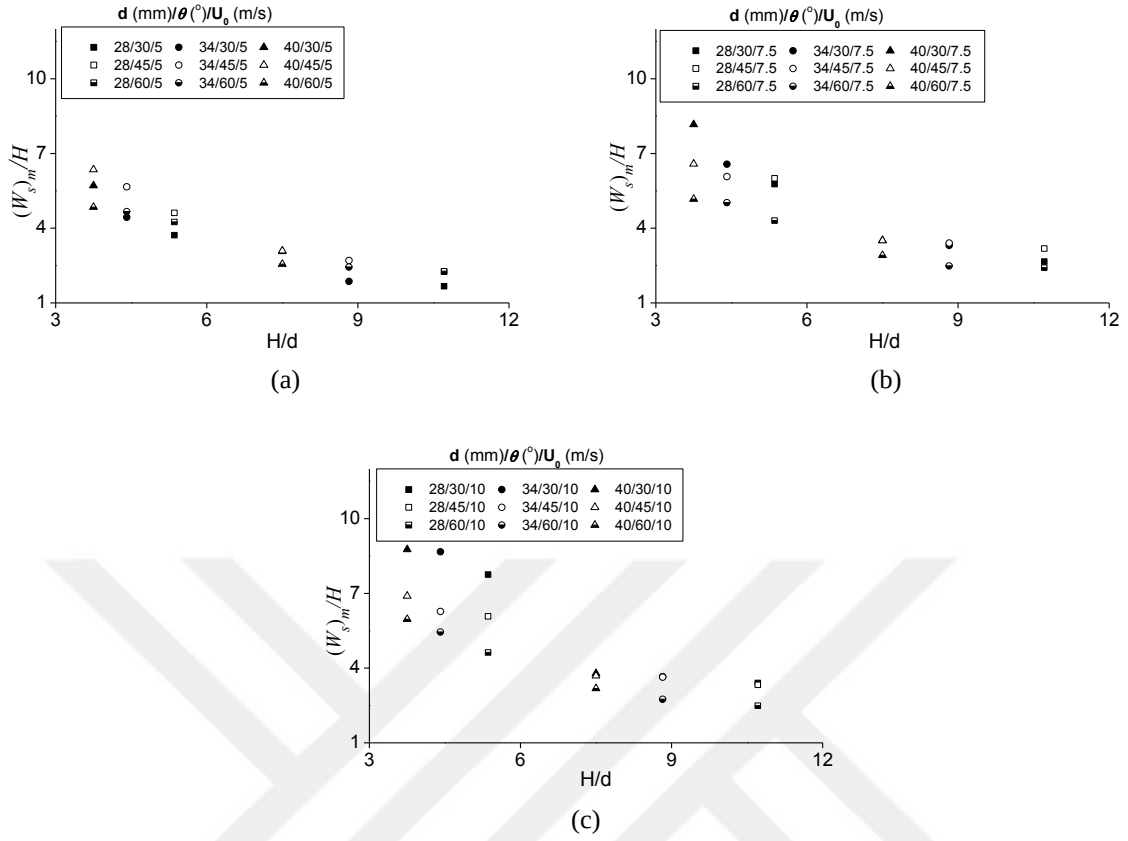
Şekil 5.17 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

Şekil 5.18’de farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz uzunluğunun boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir.



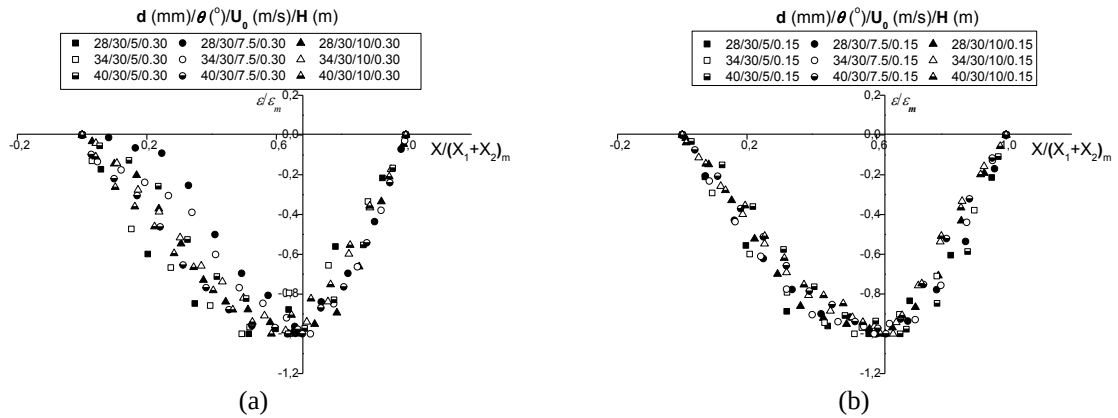
Şekil 5.18 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz uzunluğunun boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

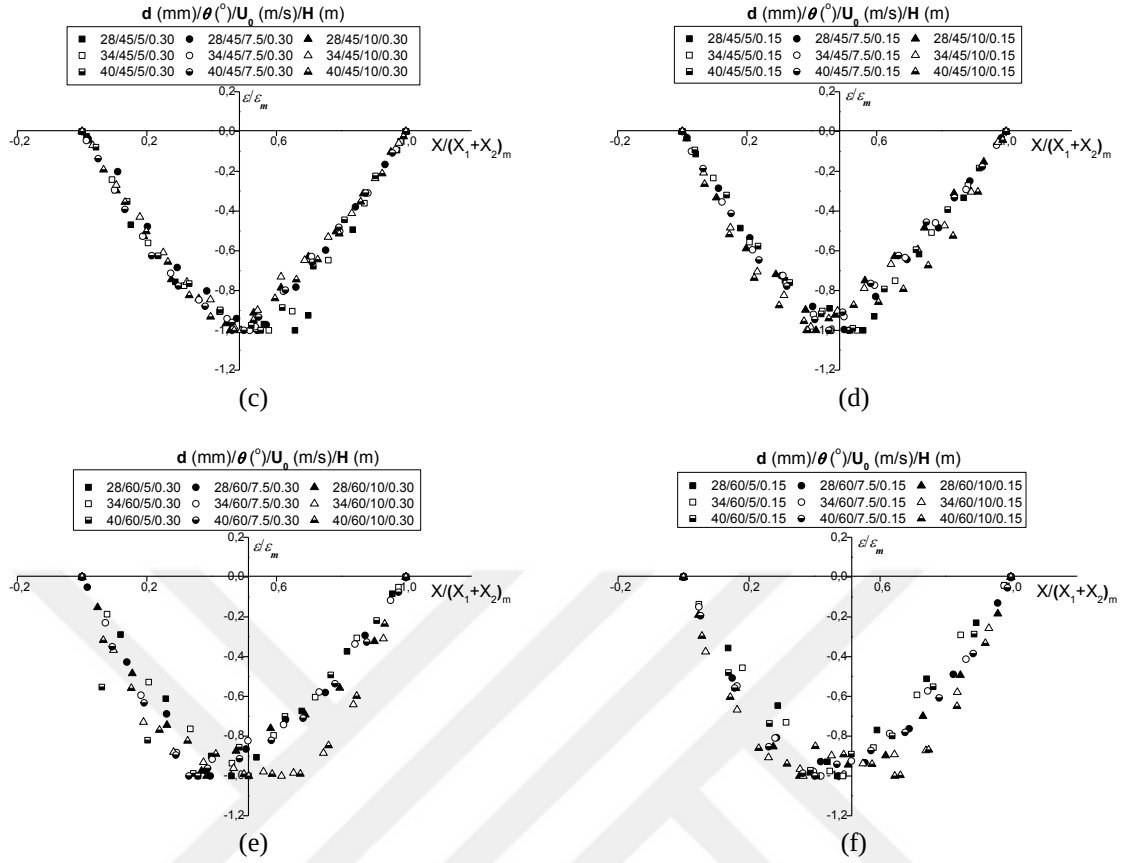
Şekil 5.19’da farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz genişliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi verilmiştir.



Şekil 5.19 Farklı çap, farklı hız ve farklı çarpma açıları için maksimum oyulma çukurunun boyutsuz genişliğinin boyutsuz çarpma mesafesi ile değişimi: (a) $U_0=5$ m/s, (b) $U_0=7.5$ m/s, (c) $U_0=10$ m/s

Şekil 5.20’de farklı çarpma açısı, farklı çarpma uzunluğu ve farklı jet hızları için oyulma profillerinin benzerlikleri verilmiştir. Farklı durumlar için yürütülen deney sonuçlarının birbiriyle uyumlu ve anlamlı olduğu görülmüştür.





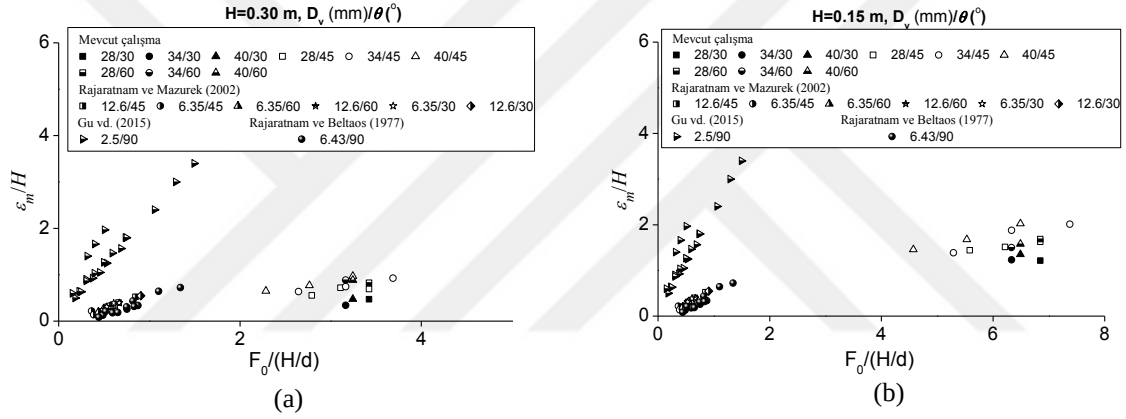
Şekil 5.20 (a-f) Farklı çarpma açısı, farklı çarpma uzunluğu ve hızı için oyulma profillerinin benzerliği: (a) $\theta=30^\circ$, $H=0.30$ m, (b) $\theta=30^\circ$, $H=0.15$ m, (c) $\theta=45^\circ$, $H=0.30$ m, (d) $\theta=45^\circ$, $H=0.15$ m, (e) $\theta=60^\circ$, $H=0.30$ m, (f) $\theta=60^\circ$, $H=0.15$ m

5.3. Venturi Ağzılık için Yapılan Oyulma Deneyleri

Literatürde çoğunlukla dairesel ağızlıklar kullanılmıştır. Dairesel ağızlıklar için havalandırma, oksijen transferi ve oyulma problemlerinin literatürde sıkça araştırıldığı görülmektedir (Rajaratnam ve Beltaos, 1977; Rajaratnam ve Berry, 1977; Chiew ve Lim, 1994; Rajaratnam vd., 1995; Mazurek ve Rajaratnam, 2002; Bagatur ve Sekerdag, 2003; Emiroglu ve Baylar, 2003a; Gu vd., 2015; vb.). Ayrıca klasik dairesel ağızlık içerisine dışarıdan enerji kullanılarak hava basılmak suretiyle özellikle oyulma probleminin de araştırıldığı konu ile ilgili literatür özeti bölümünde verilmiştir. Venturi ağızlıkların havalandırma ve oksijen transferi verimlerinin dairesel ağızlıklara göre çok daha yüksek olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Venturi ağızlıkların havalandırma ve oksijen transfer verimi ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur (Bağatur ve Baylar, 2001; Bağatur vd., 2002; Emiroglu ve Baylar, 2003b; Baylar ve Emiroglu, 2003; Koçyiğit, 2004; Baylar vd., 2005; Bağatur, 2005; vb.). Fakat venturi ağızlıkların kullanılması durumunda mansap

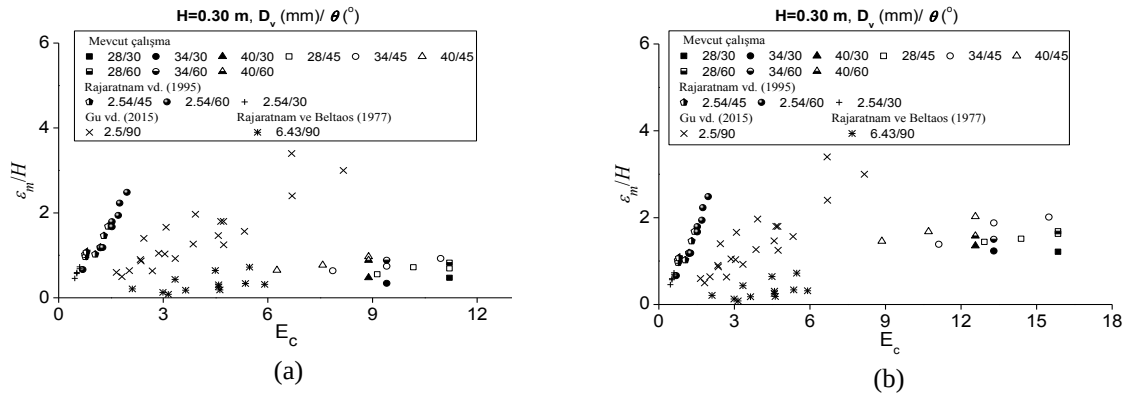
havuzunda oluşacak olan oyulma çukurunun geometrisi ilgili literatürde bilgimiz dahilinde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında boğaz bölgesinde hava deliğine sahip venturi su jetlerinin mansap havuzunda oluşacak oyulma geometrisini belirlemek için bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.21’de boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H), $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir. Mevcut çalışma ile karşılaştırılan literatürdeki çalışmalar küçük $F_0/(H/d)$ değerleri için deneyler yapılmışken bu çalışmada ise büyük $F_0/(H/d)$ değerleri için bir dizi deney yürütülmüştür. Mevcut çalışma Rajaratnam ve Mazurek (2002) ve Gu vd. (2015) çalışmalarından ziyade daha çok Rajaratnam ve Beltaos (1977)’nin çalışmasının trendi ile daha çok uyumlu olmuştur.



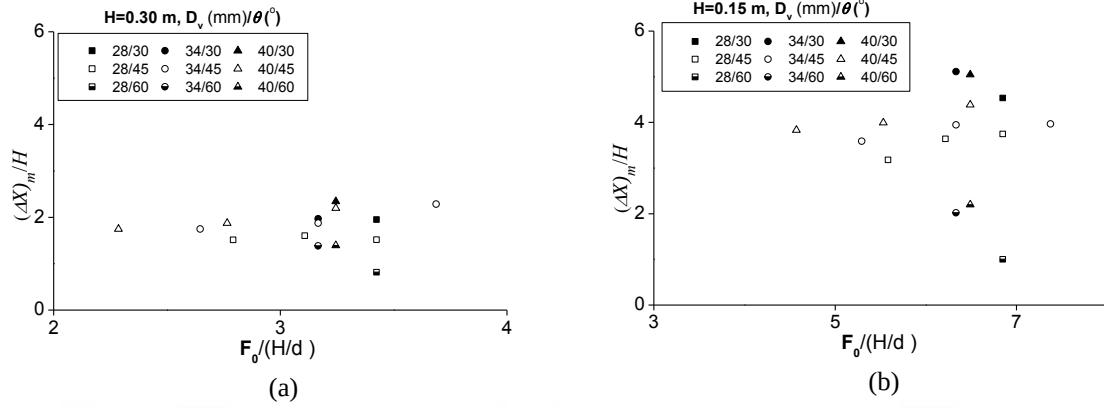
Şekil 5.21 Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.22’de boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir.



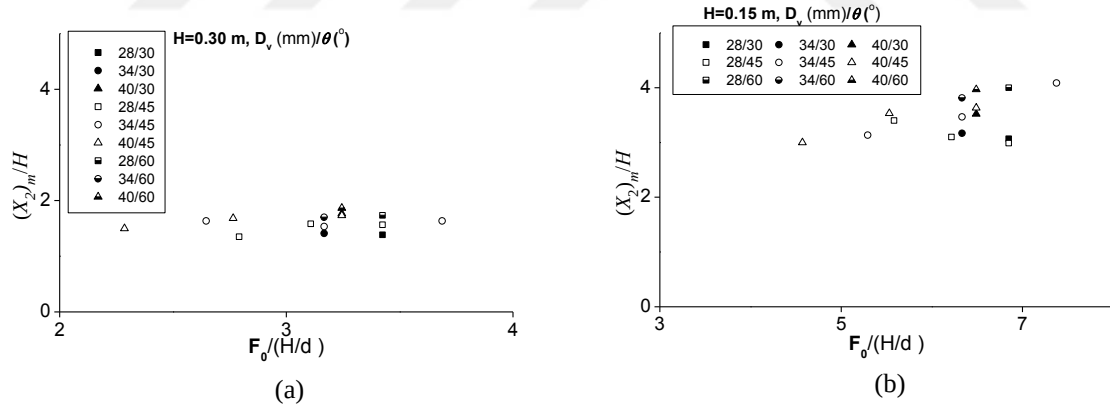
Şekil 5.22 Boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.23'te jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyutsuz maksimum mesafenin $((\Delta X)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi verilmiştir.



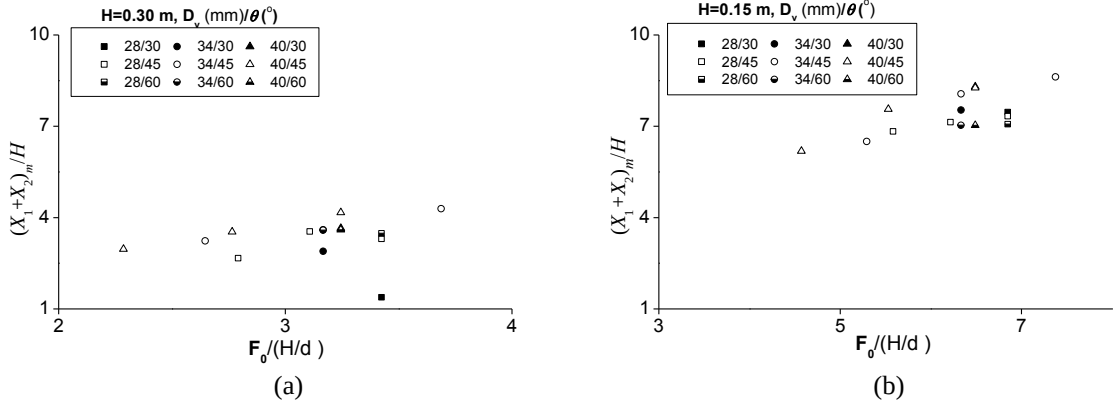
Şekil 5.23 Jetin su yüzeyinde çarptığı nokta ile maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta arasındaki boyutsuz maksimum mesafenin $((\Delta X)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.24'te maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_2)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi verilmiştir.



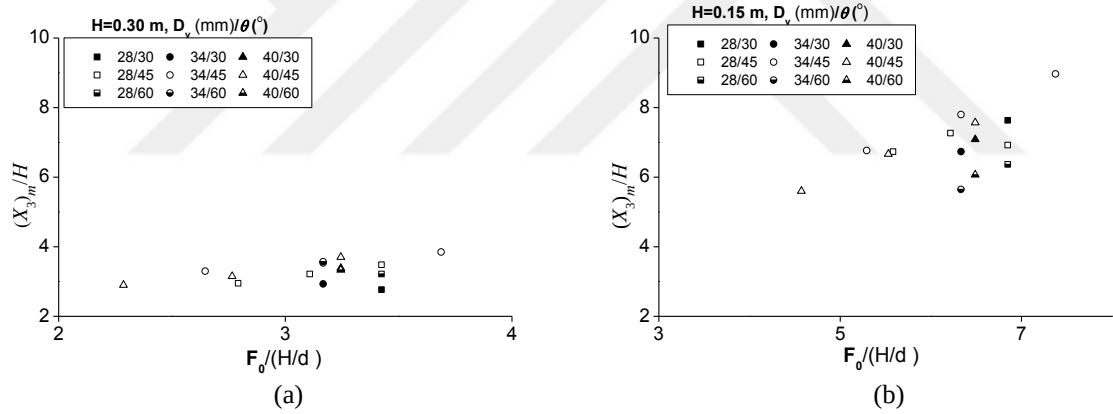
Şekil 5.24 Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile oyulmanın sıfır olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_2)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.25'te oyulma çukurunun boyutsuz maksimum uzunluğunun $((X_1+X_2)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi verilmiştir.



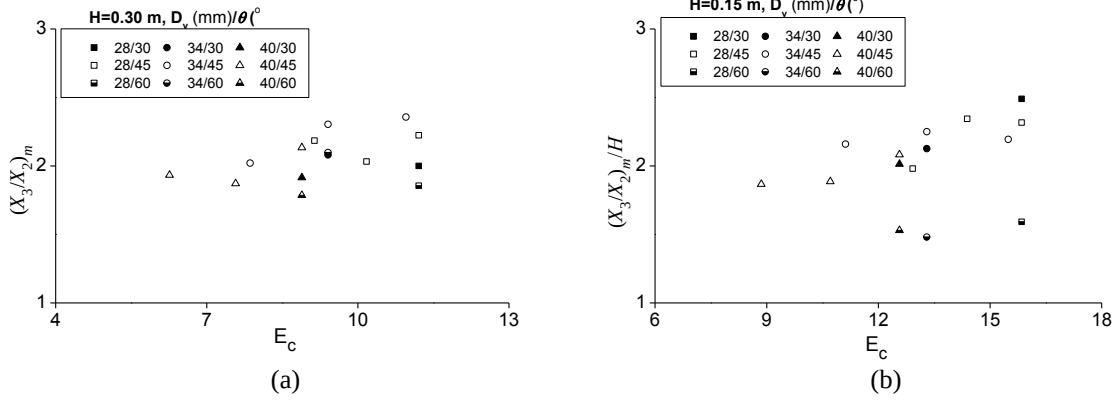
Şekil 5.25 Oyulma çukurunun boyutsuz maksimum uzunluğunun $((X_1+X_2)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.26’da maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_3)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi verilmiştir.



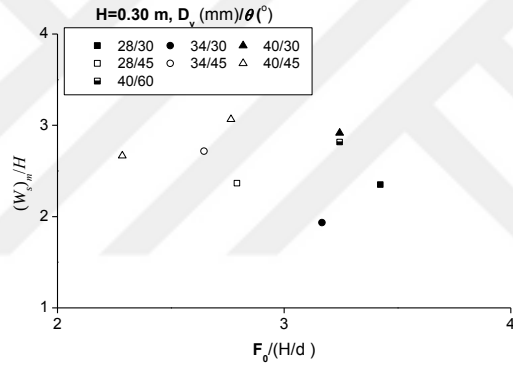
Şekil 5.26 Maksimum oyulma derinliğinin olduğu nokta ile maksimum tepe yüksekliğinin olduğu noktaya kadarki akım yönündeki boyutsuz maksimum mesafenin $((X_3)_m/H)$ $F_0/(H/d)$ ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.27’de $(X_3/X_2)_m$ oranının erozyon parametresi (E_c) ile değişimi verilmiştir.



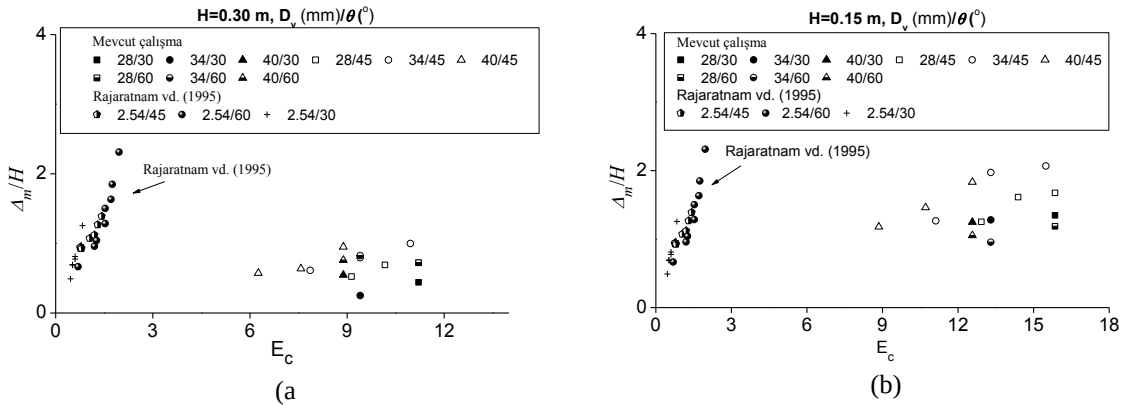
Şekil 5.27 $(X_3/X_2)_m$ oranının erozyon parametresi (E_c) ile değişimi: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.28’de $H=0.30$ m için oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliğinin $((W_s)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi verilmiştir.



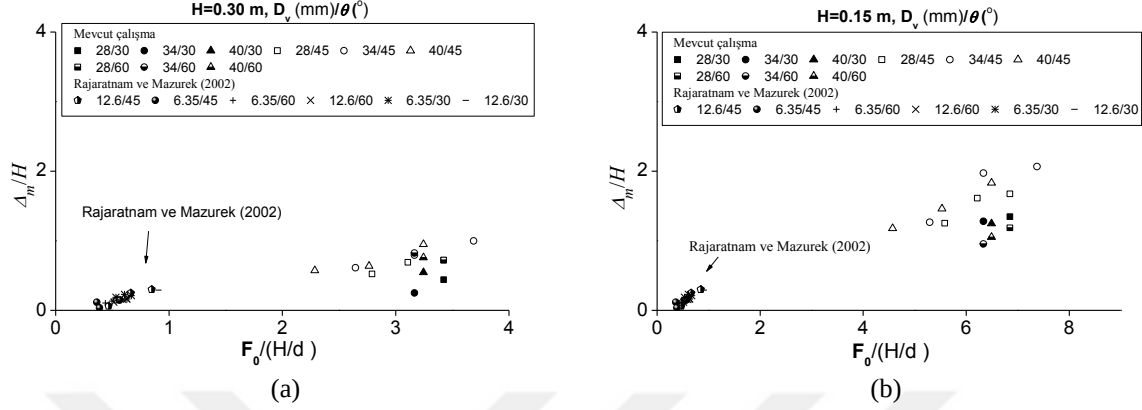
Şekil 5.28 $H=0.30$ m için oyulma çukurunun boyutsuz maksimum genişliğinin $((W_s)_m/H) F_0/(H/d)$ ile değişimi

Şekil 5.29’da boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir.



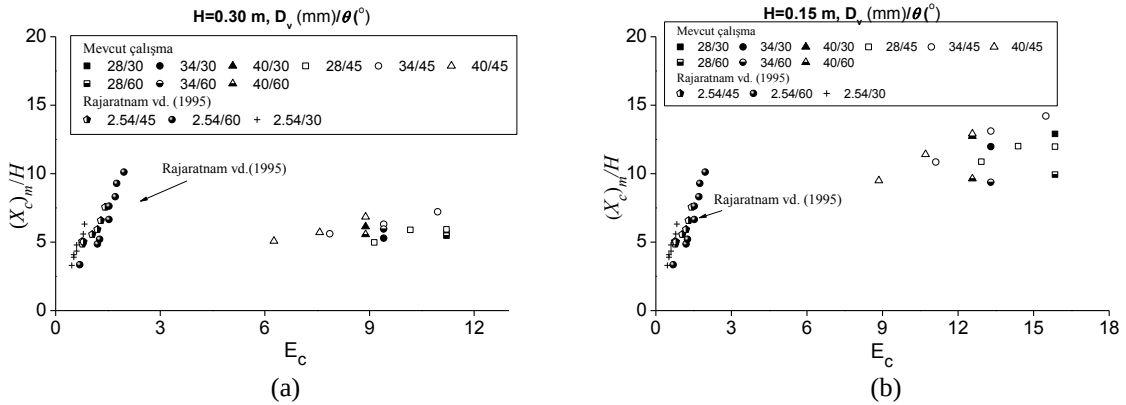
Şekil 5.29 Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.30'da boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir.



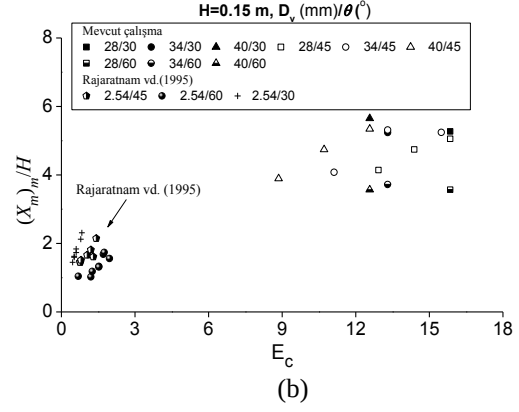
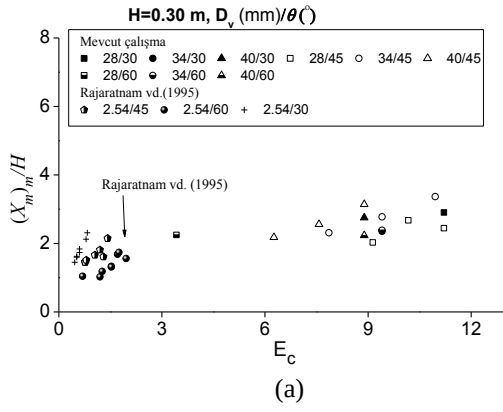
Şekil 5.30 Boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.31'de ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin ($(X_c)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir.



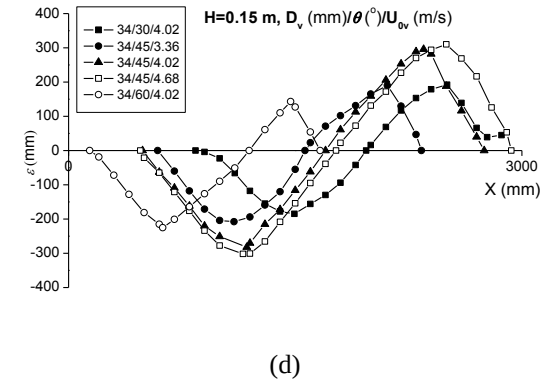
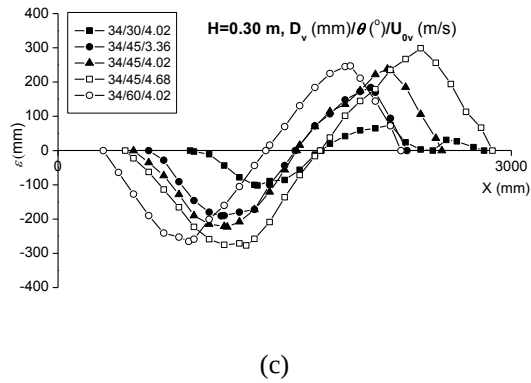
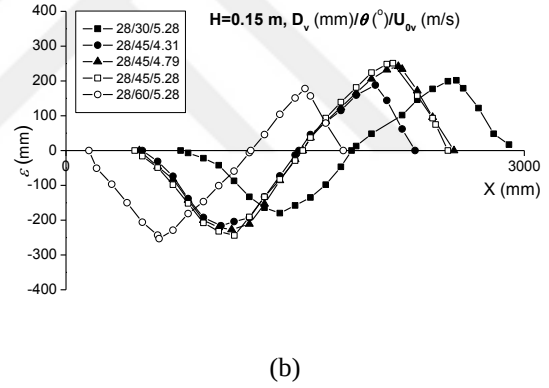
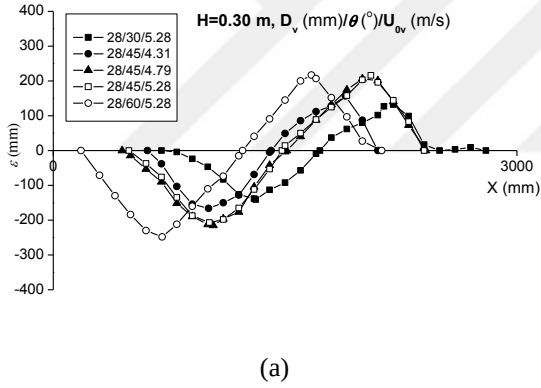
Şekil 5.31 Ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin ($(X_c)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

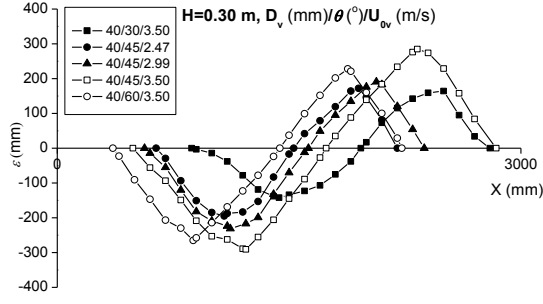
Şekil 5.32'de ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin ($(X_m)_m/H$) erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması verilmiştir.



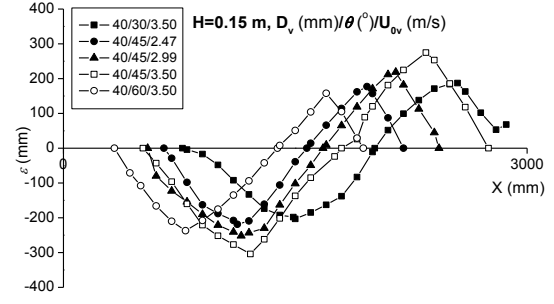
Şekil 5.32 Ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin literatür ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.33 (a-f)'de venturi ağızlıkta farklı çaplar, hızlar ve farklı çarpma açıları için denge oyulma durumunda çarpma havuzunda oluşan maksimum oyulmanın boykesitleri verilmiştir.





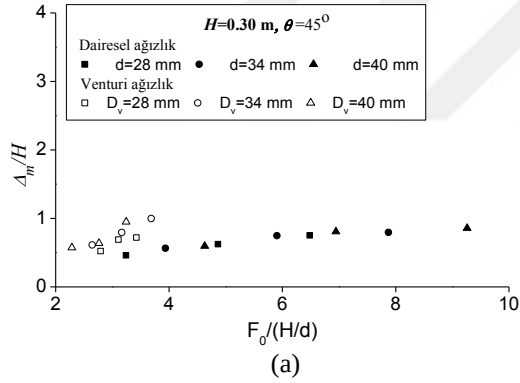
(e)



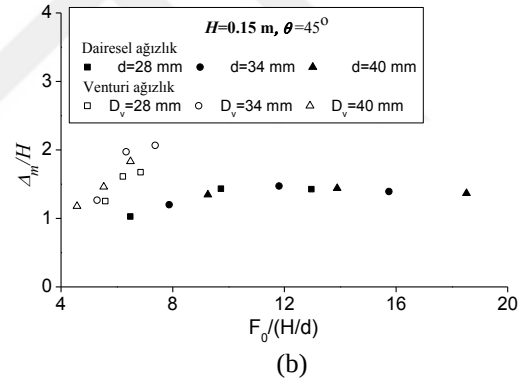
(f)

Şekil 5.33 (a-f) Venturi ağızlıkta farklı çaplar, hızlar ve farklı çarpma açıları için denge oyulma durumunda çarpma havuzunda oluşan maksimum oyulmanın boykesitleri: (a) $D_v=28$ mm, $H=0.30$ m, (b) $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m, (c) $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m, (d) $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m, (e) $D_v=40$ mm, $H=0.30$ m, (f) $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m

Şekil 5.34'te $\theta=45^\circ$ için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması verilmiştir.



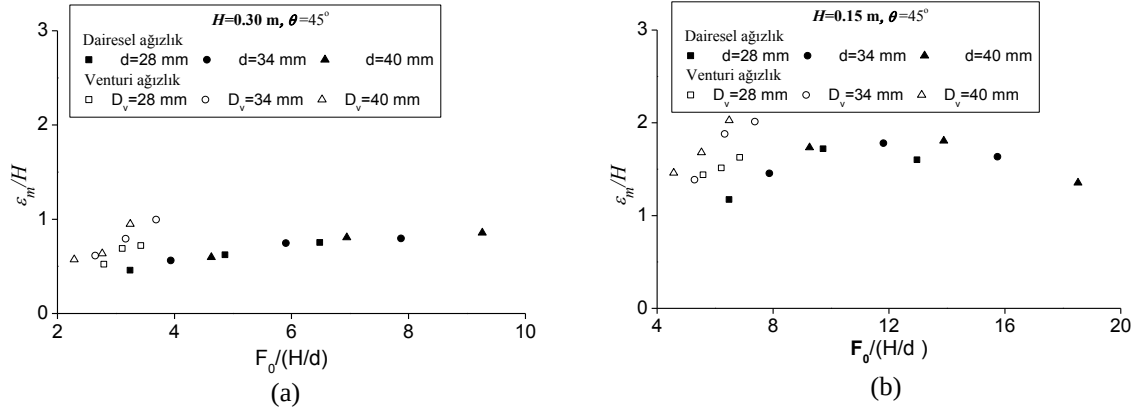
(a)



(b)

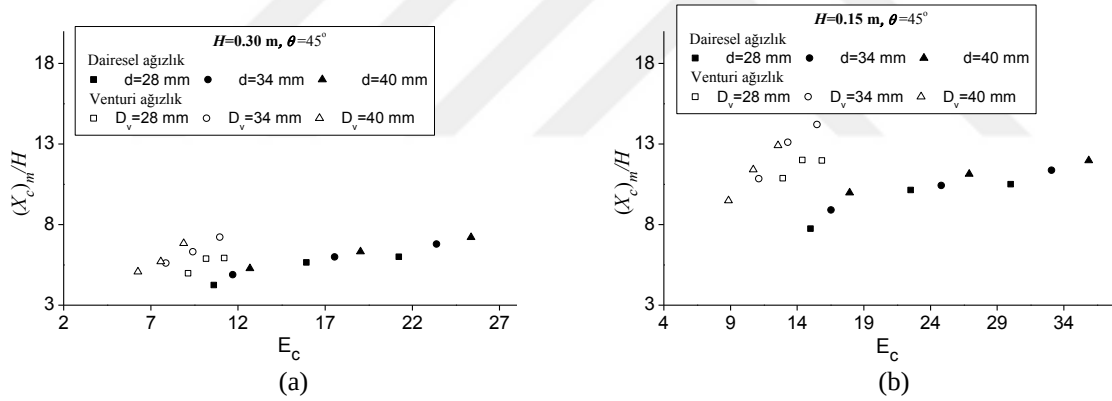
Şekil 5.34 $\theta=45^\circ$ için boyutsuz maksimum tepe yüksekliğinin (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.35'te $\theta=45^\circ$ için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması verilmiştir.



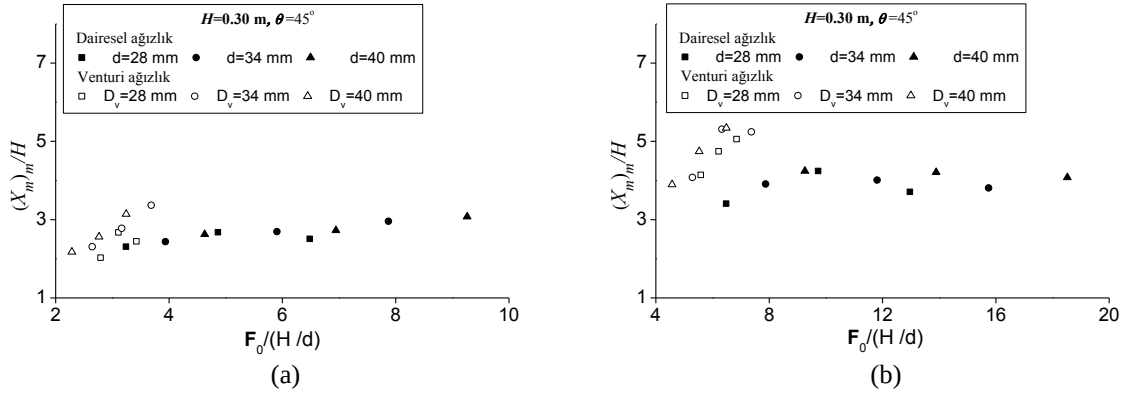
Şekil 5.35 $\theta=45^\circ$ için boyutsuz maksimum oyulma derinliğinin (ε_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.36'da $\theta=45^\circ$ için ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_c)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.36 $\theta=45^\circ$ için ağızlığın olduğu noktadan maksimum tepe yüksekliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_c)_m/H)$ erozyon parametresi (E_c) ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

Şekil 5.37'de $\theta=45^\circ$ için ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ (Δ_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.37 $\theta=45^\circ$ için ağızlığın olduğu noktadan maksimum oyulma derinliğine kadarki akım yönünde olan boyutsuz maksimum mesafenin $((X_m)_m/H)$ (A_m/H) $F_0/(H/d)$ ile değişiminin ağızlık türü ile karşılaştırılması: (a) $H=0.30$ m, (b) $H=0.15$ m

5.4. Mansap Havuzunda Oluşan Oyulma Geometrisinin İncelenmesi

Şekil 5.38’de $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir. Bu çizimlerde Şekil 5.38(a)’da oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b)’de oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c)’de vektör haritası, (d)’de eş yükselti eğrileri, (e)’de gölgeli kabartma haritası, (f)’de görüntü haritası, (g)’de akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h)’de ise yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf verilmiştir.

Şekil 5.39’da $U_0=7.5$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.40’da $U_0=5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.41’de $U_0=7.5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.42’de $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.43’de $U_0=10$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.44’de $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.45’de $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.46’da $U_{0v}=5.28$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.47’de $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=30^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

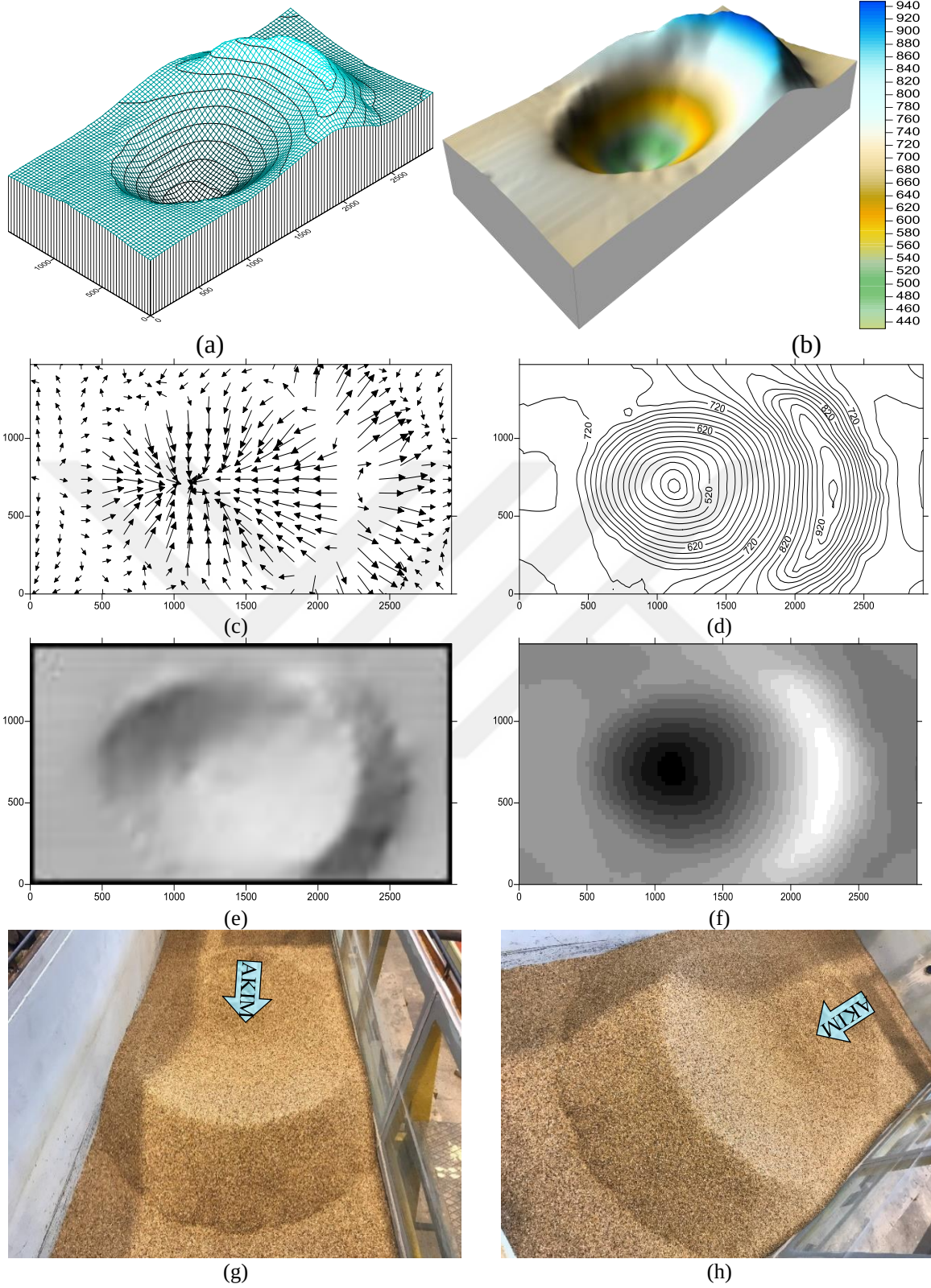
Şekil 5.48’de $U_{0v}=4.31$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

Şekil 5.49’da $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler çizilmiştir.

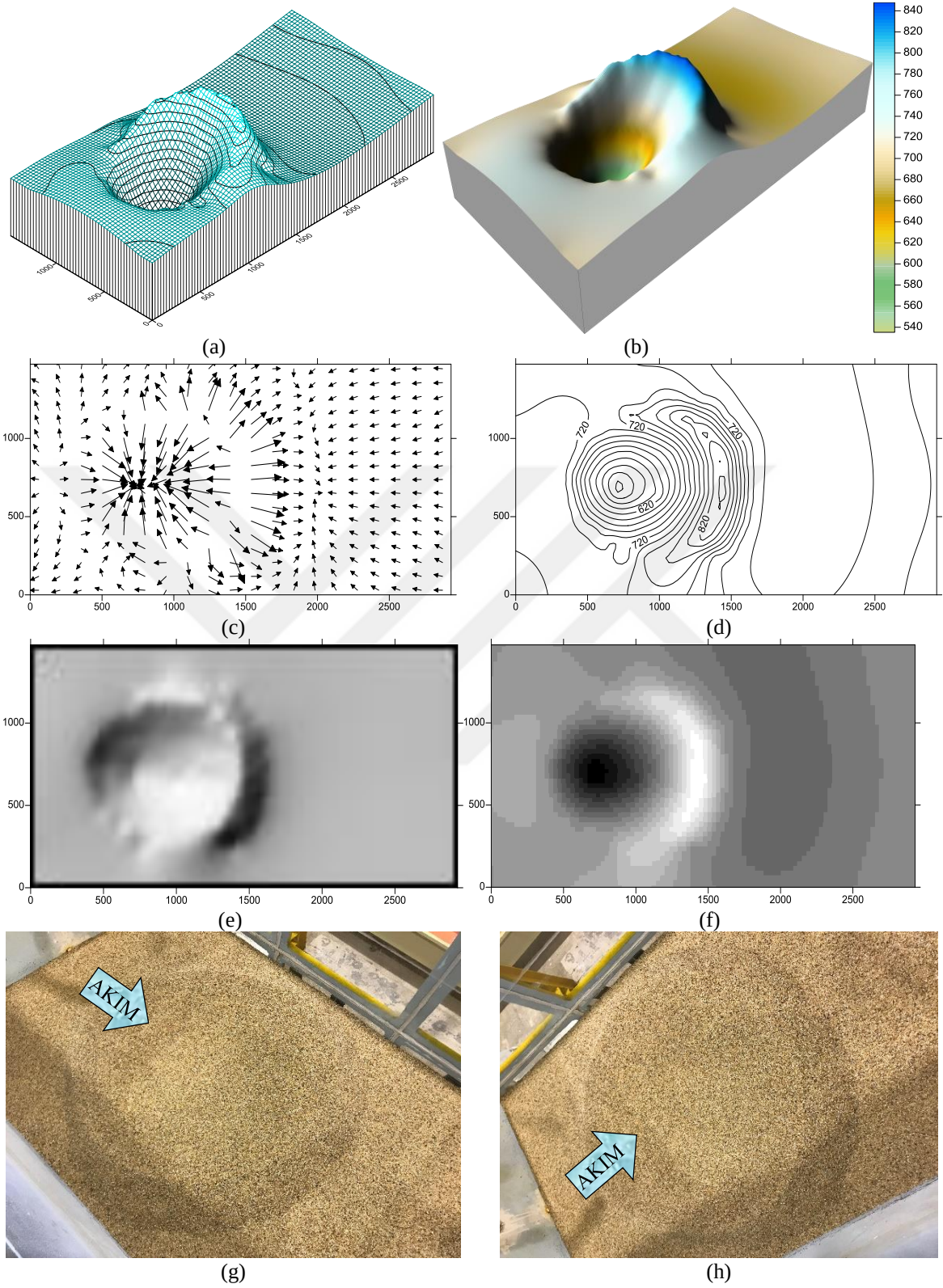
Şekil 5.38-49’dan da görüldüğü gibi her bir jet çarpma açısı için oyulma çukurunun geometrisi farklı olmuştur. Ayrıca venturi ağızlık için yapılan deneylere ait oyulma çukuru geometrisi dairesel ağızlık için yapılanlarınkinden farklı şekiller elde edilmiştir. Jetin mansap havuzuna çarpma şekli, jetin çarpma noktasındaki genişliği ve hızı, jet uzunluğu ve çarpma açısı oyulma çukurunun geometrik şeklini etkileyen önemli parametreler olmuştur. Küçük çarpma açılarında oluşan tepe yüksekliği mansap havuzunun sonlarına doğru gerçekleşirken, büyük çarpma açılarında su jetinin çarpma noktasına daha yakın bölgede oluştuğu gözlemlenmiştir.

$\theta=60^\circ$ için oluşan oyulma çukurunun mansap şev eğimi test edilen diğer jet çarpma açılarına göre daha büyük olduğu Şekil 5. 43-46’dan da görülmektedir.

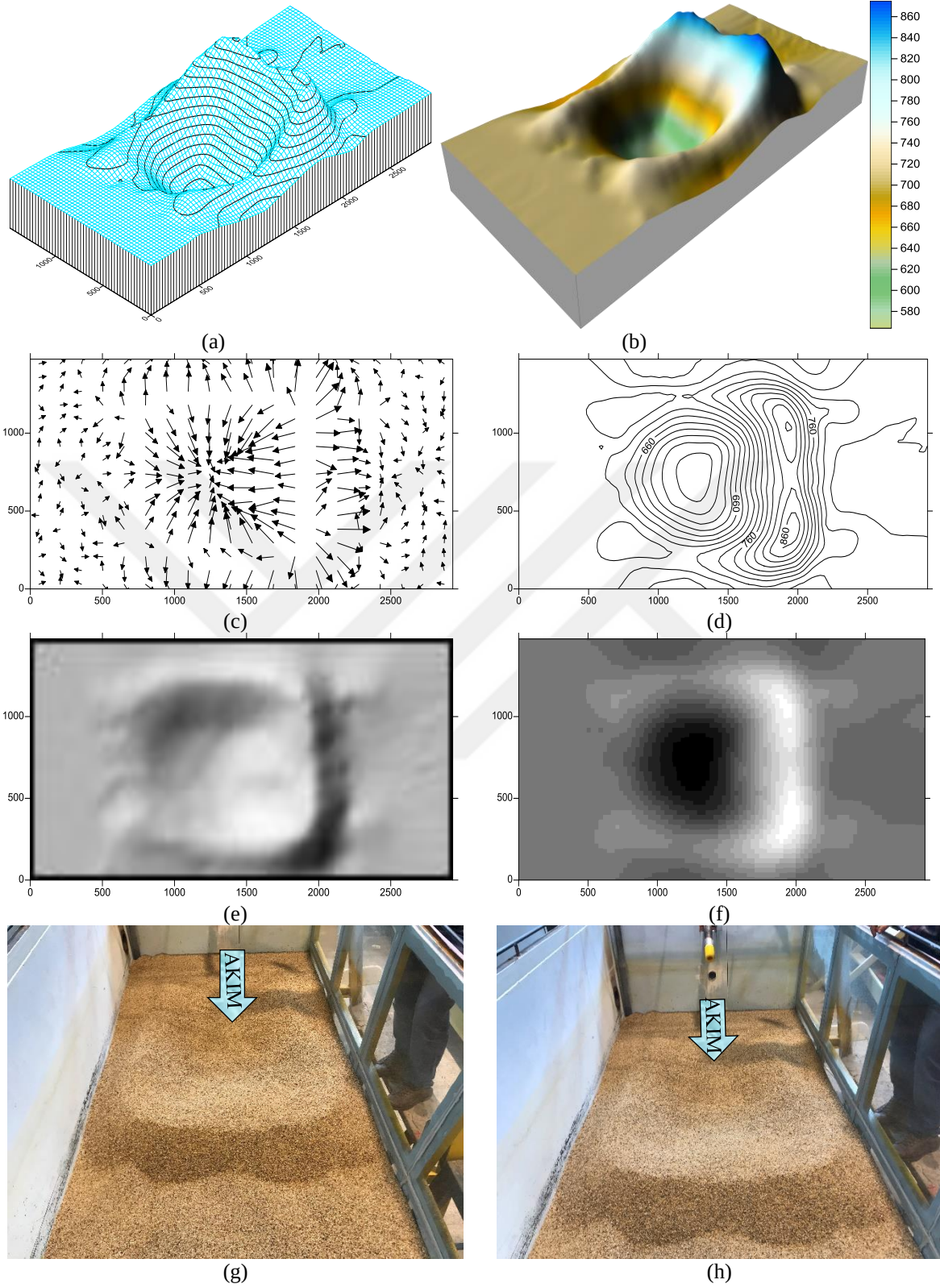
Özellikle venturi ağızlık için yapılan deneylerde elde edilen oyulma çukuru geometrisi test edilen diğer deneylerden farklı olduğu Şekil 5.44-49’da da görülmektedir. Venturi ağızlık durumunda mansap havuzu içerisine dairesel ağızlığa göre birkaç kat daha fazla hava kabarcığı sokulduğu Koçyiğit (2004) tarafından ifade edilmiştir. Akım içerisine sokulan hava kabarcıkları sedimenti yukarı doğru kaldırmakta ve oyulma çukurunun geniş bir bölgeye yayılmasına neden olmaktadır.



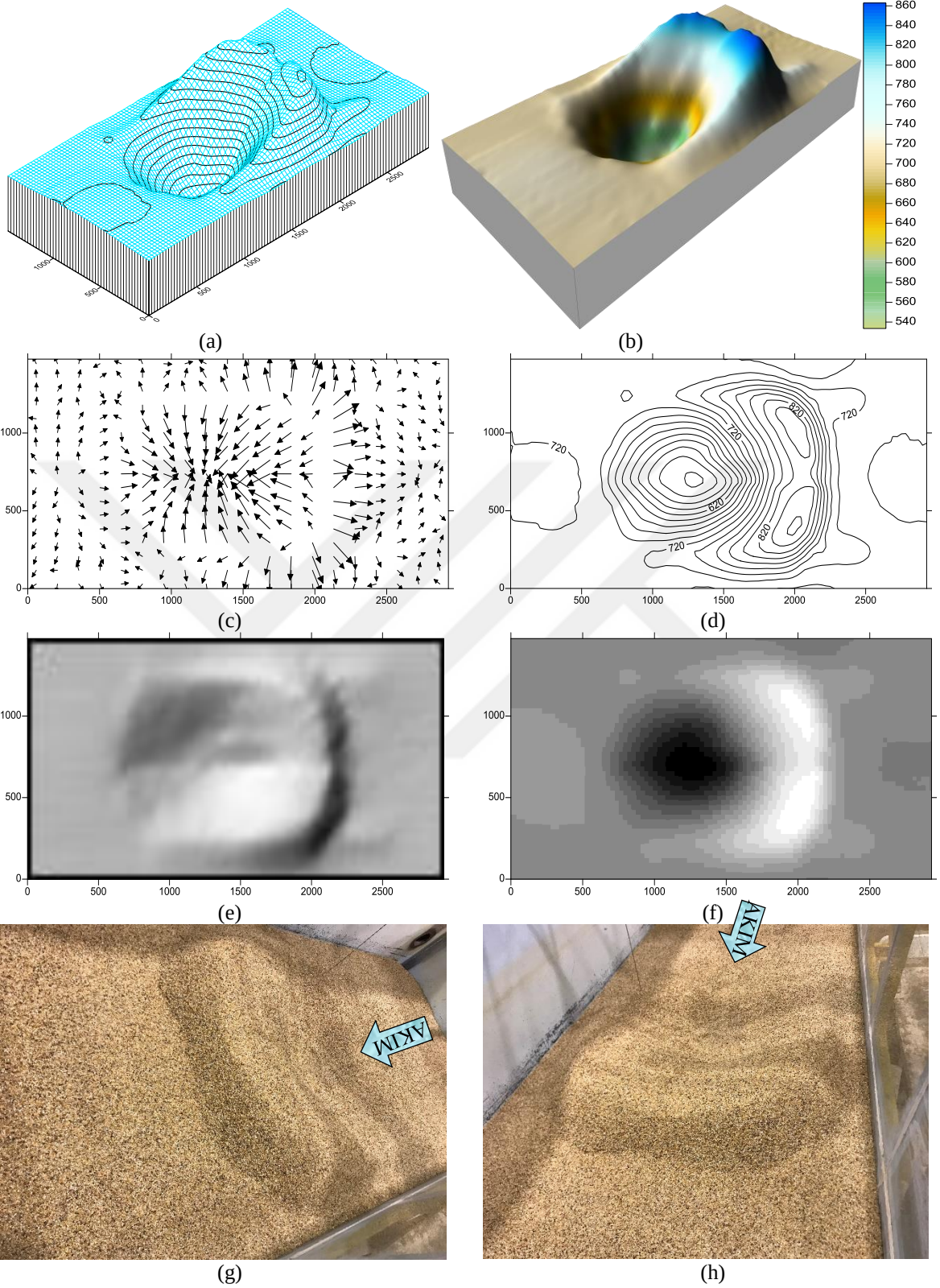
Şekil 5.38 $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



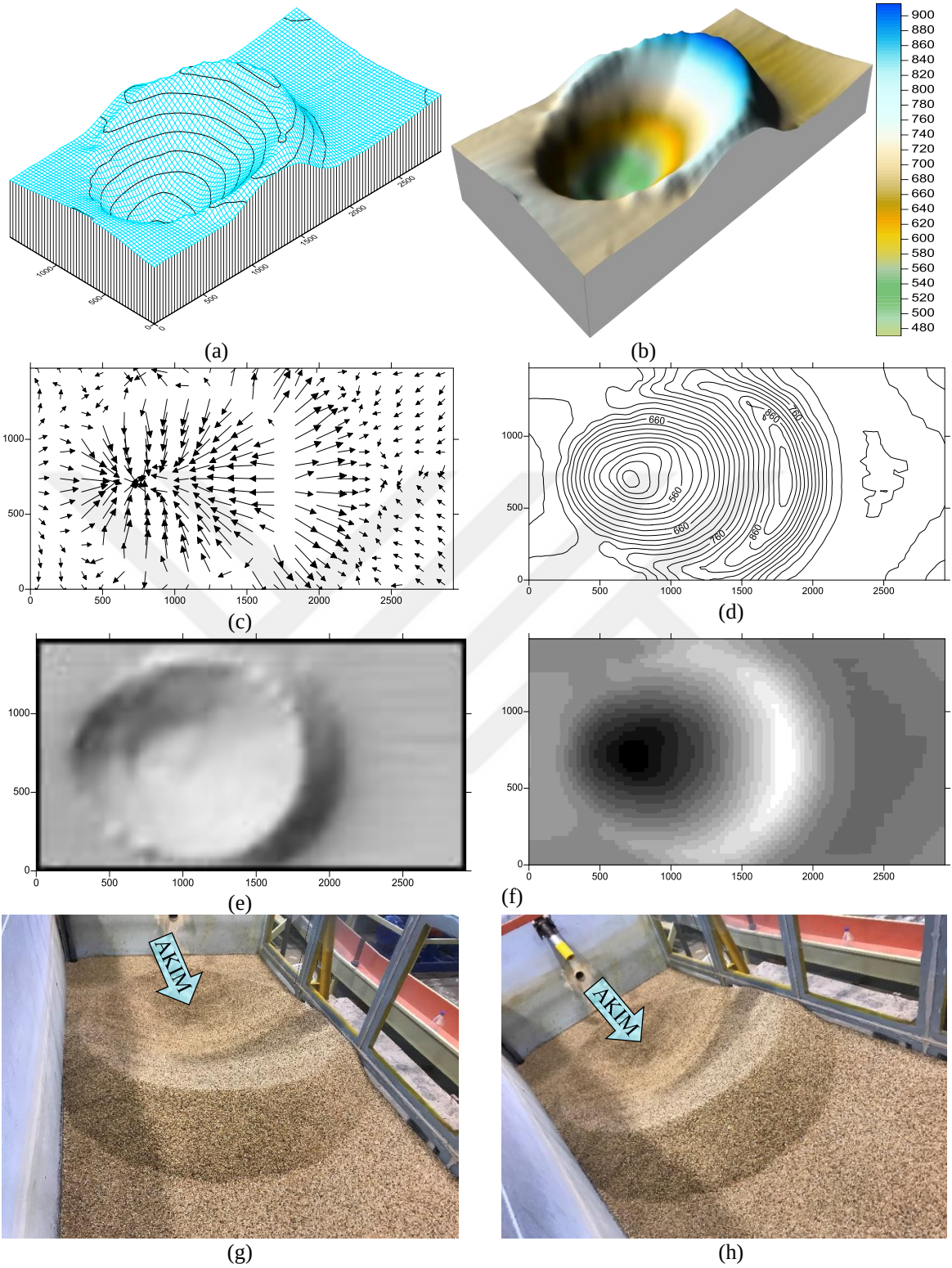
Şekil 5.39 $U_0=7.5$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



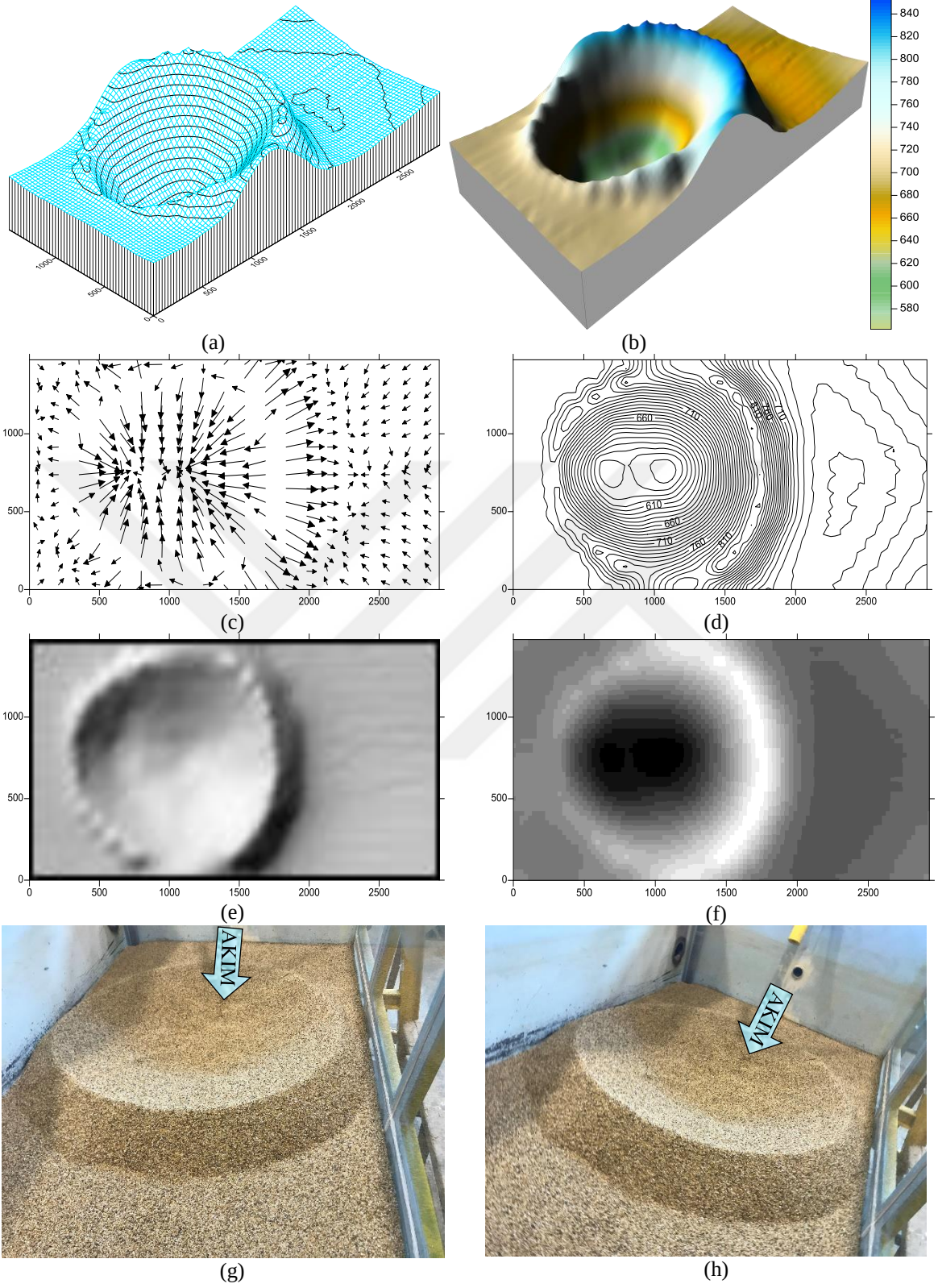
Şekil 5.40 $U_0=5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



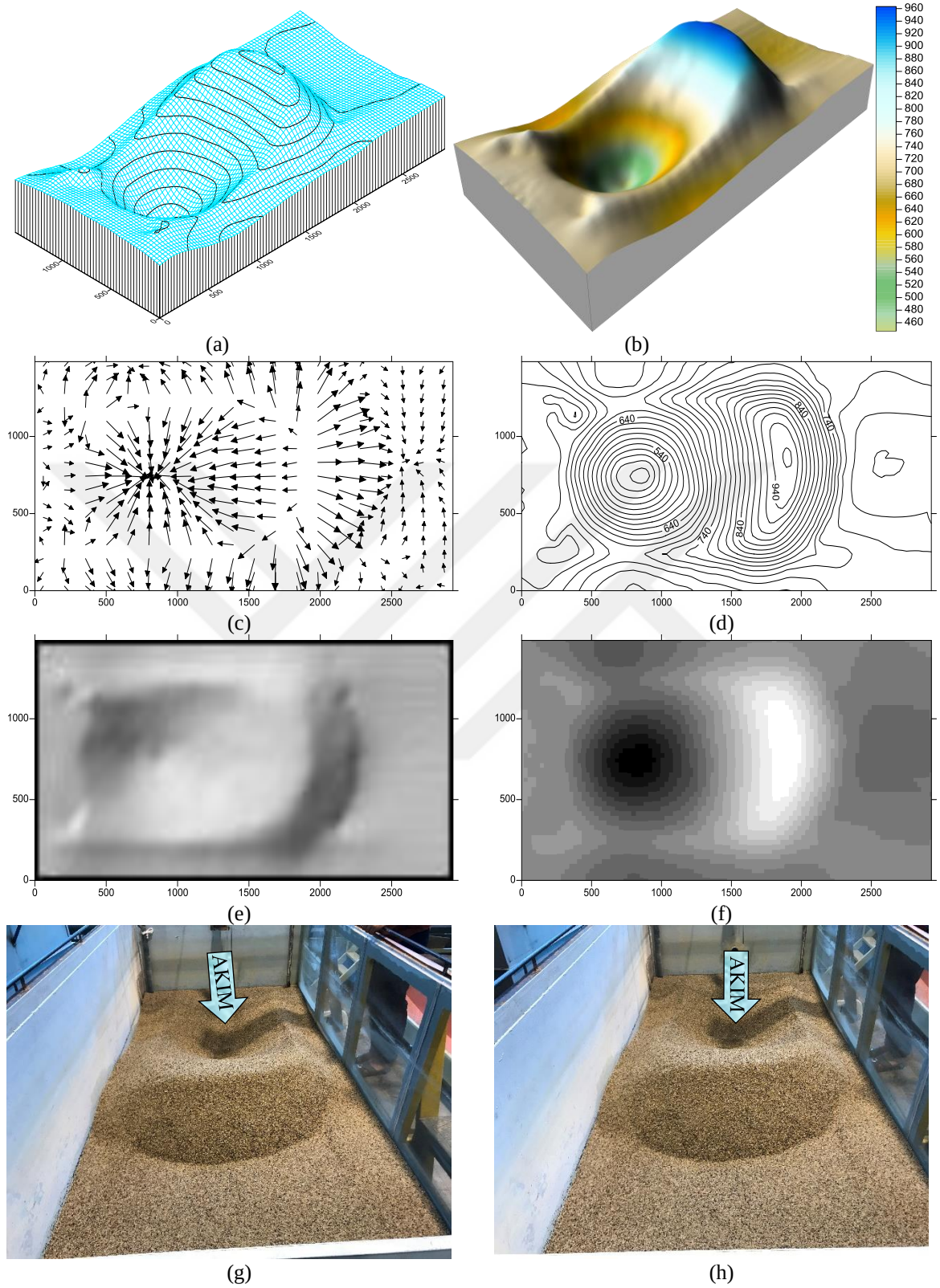
Şekil 5.41 $U_0=7.5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



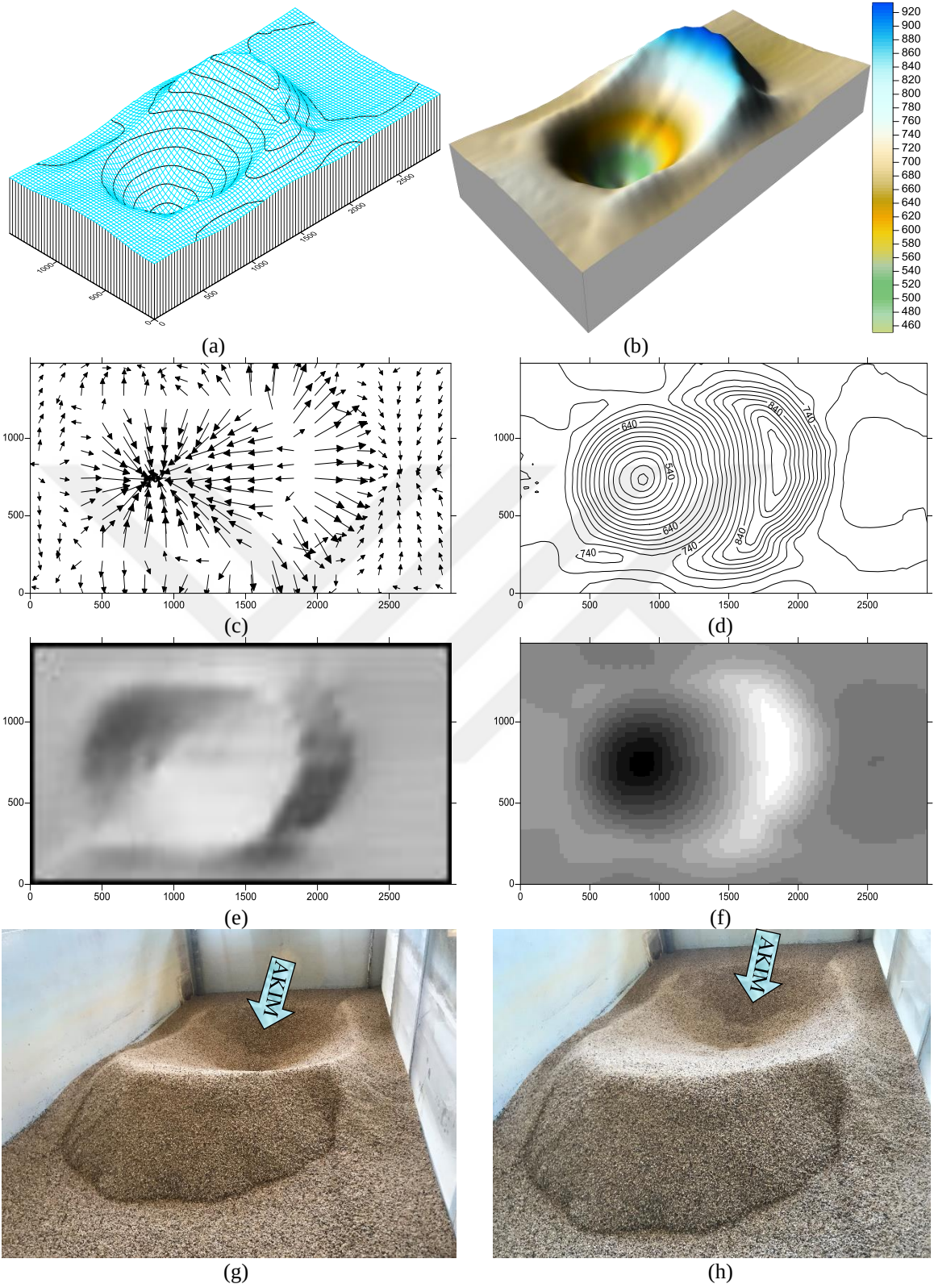
Şekil 5.42 $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



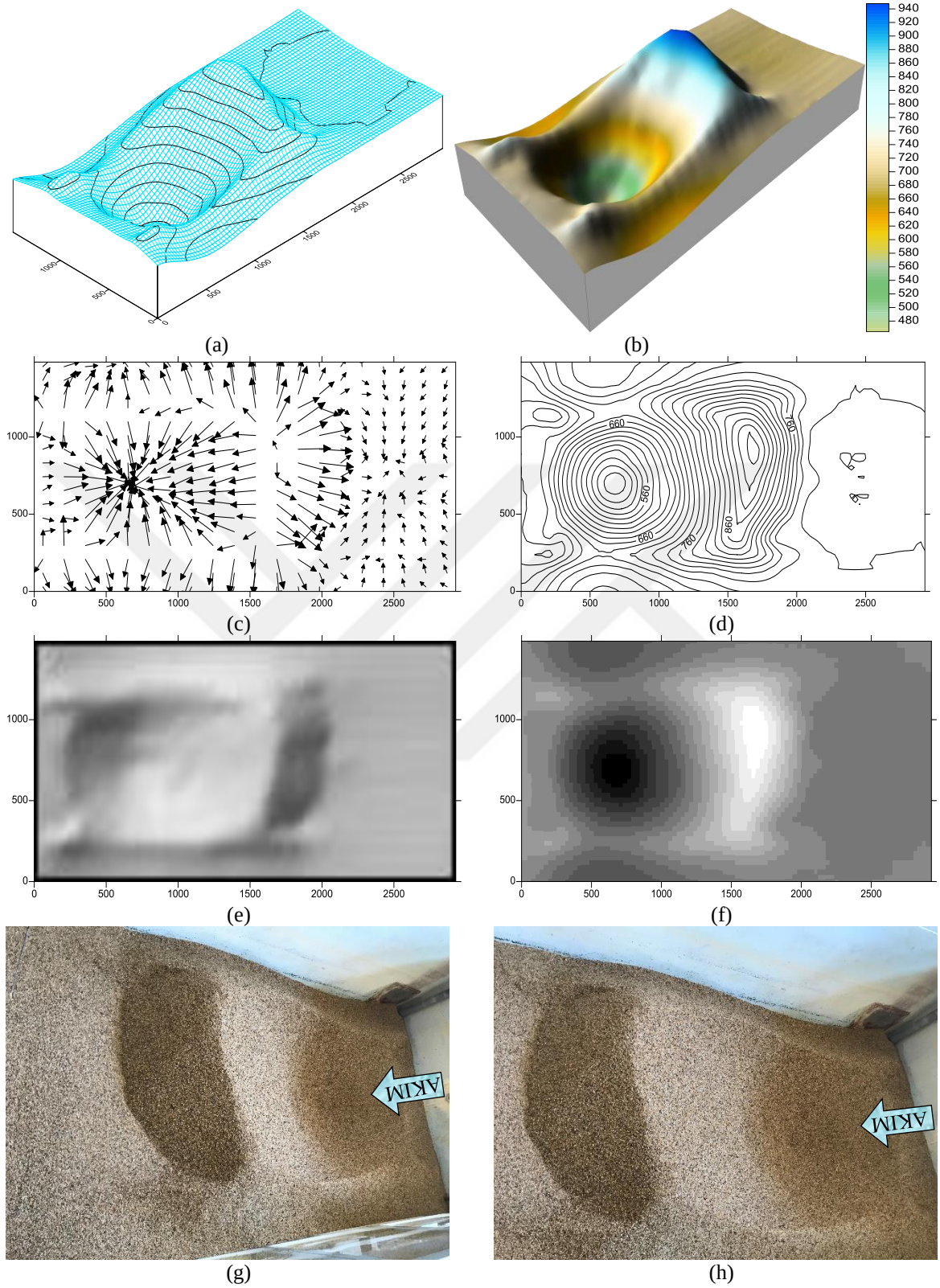
Şekil 5.43 $U_0=10$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



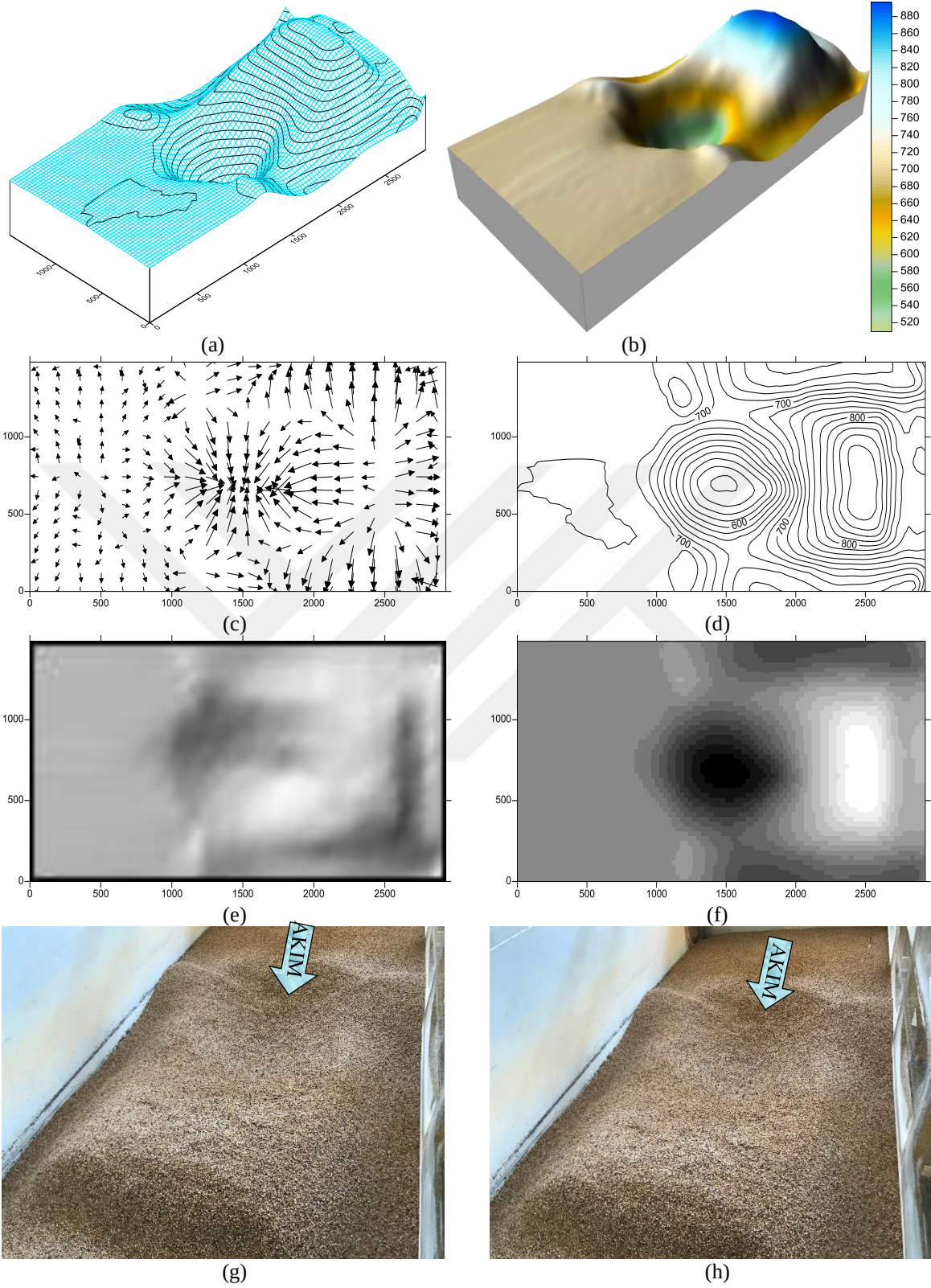
Şekil 5.44 $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



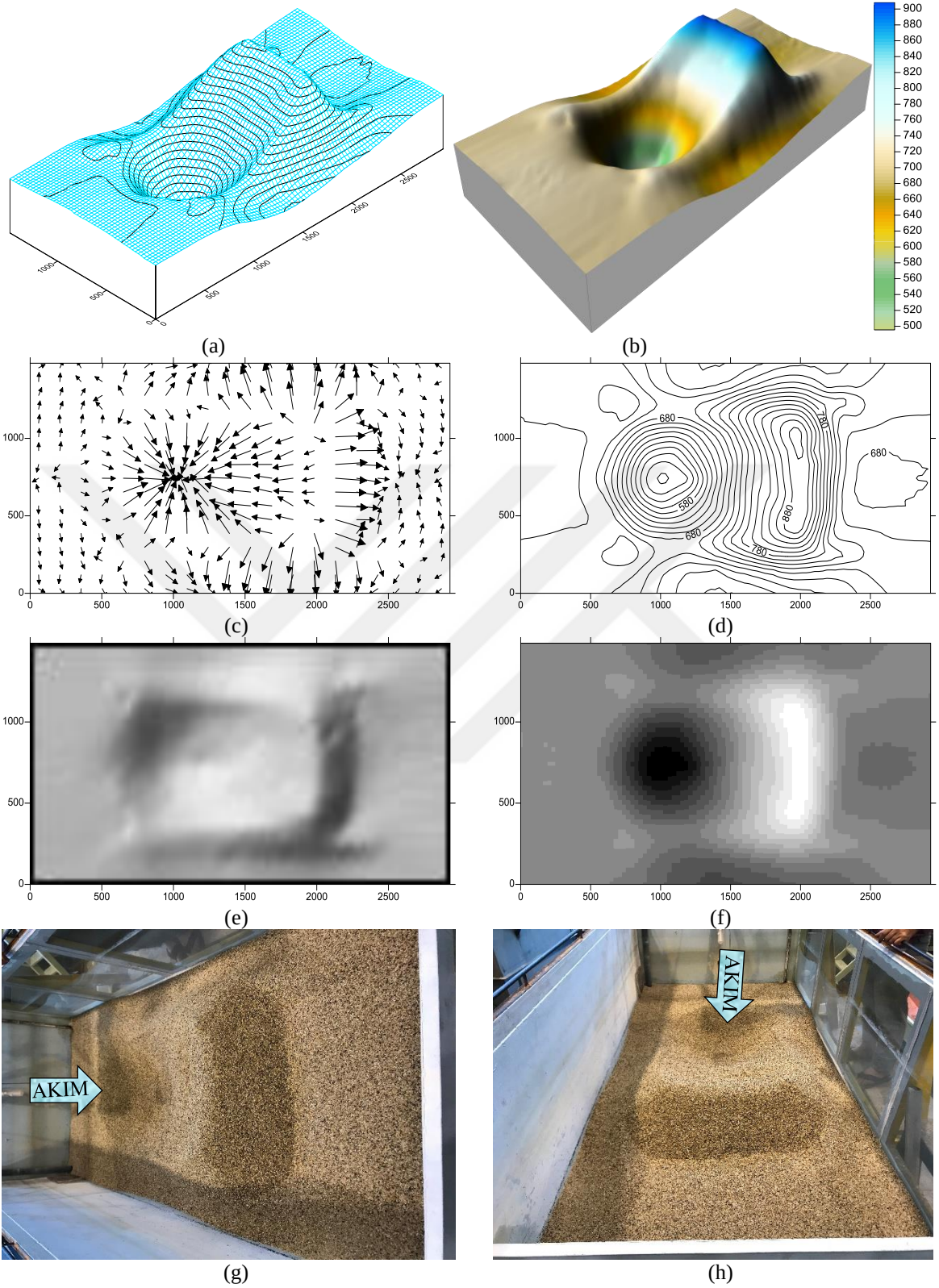
Şekil 5.45 $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



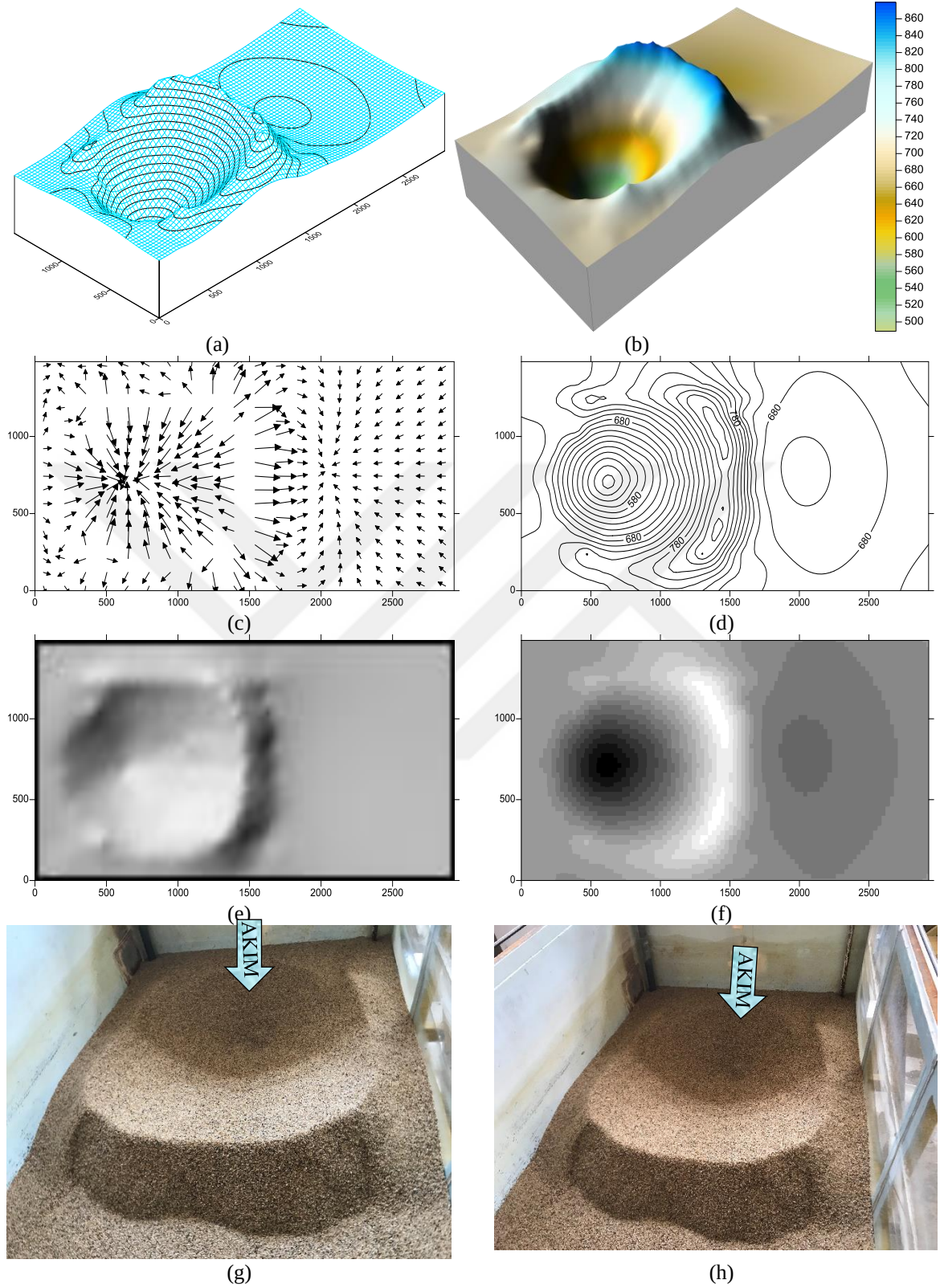
Şekil 5.46 $U_{0v}=5.28$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



Şekil 5.47 $U_{0v}=3.50$ m/s, $\theta=30^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



Şekil 5.48 $U_{0v}=4.31$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler:(a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf



Şekil 5.49 $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler: (a) Oyulma çukurunun kontörlerle üç boyutlu görünümü, (b) Oyulma çukurunun renklendirilmiş üç boyutlu görünümü, (c) Vektör haritası, (d) Eş yükselti eğrileri, (e) Gölge kabartma haritası, (f) Görüntü haritası, (g) Akım yönü karşısından çekilmiş fotoğraf ve (h) Yan duvar bölümünden çekilmiş fotoğraf

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada büyük jet çarpma hızları için dairesel ağızlık ve venturi ağızlıktan çıkan su jetinin mansap havuzunda oluşturduğu oyulma geometrisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Literatürde küçük erozyon parametresi değerleri için elde edilen eşitliklerin büyük erozyon parametresi değerlerinde uygun sonuçlar vermediği tespit edilmiştir.
- Erozyon parametresinin artması ile boyutsuz maksimum oyulma derinliği de artmaktadır.
- Küçük jet çarpma açılarında genellikle maksimum oyulma derinliği test edilen diğer jet çarpma açılarına göre daha büyük değerler elde edilmiştir.
- Venturi ağızlık kullanılması durumunda, dairesel ağızlığa göre aynı debi değerlerinde su jeti çıkış hızının çok daha fazla olduğu ve daha büyük maksimum oyulma derinliklerinin elde edildiği görülmüştür.
- Jet şeklinin, ağızlık türünün, jet genişliğinin, çarpma mesafesinin ve jet çarpma açısının mansap havuzunda oluşan oyulma çukuru üzerinde etkili olan önemli parametreler olduğu belirlenmiştir.
- Farklı çarpma açısı, farklı çarpma uzunluğu ve hızı için oyulma profillerinin benzerlikleri elde edilen bulgulara göre birbiriyle uyumlu ve anlamlı olduğu görülmüştür.
- Bu çalışmanın bulgularına göre; küçük çarpma açısı ve büyük erozyon parametresi değerlerinde oyulma çukurunun uzunluğu, maksimum oyulma derinliği, maksimum oyulma çukuru genişliği ve maksimum tepe yüksekliği en büyük değerlerini almıştır.
- Küçük çarpma açılarında ve küçük erozyon parametresi değerlerinde jet bu açıda diğer açılara kıyasla daha çok yol aldığından jetin kinetik enerjisi azalmakta dolayısıyla küçük çarpma açılarında ve küçük erozyon parametresi değerlerinde oyulma çukurunun karakteristikleri diğer açılarda test edilenlere göre daha küçük değerler almaktadır.
- Büyük çarpma açılarında jetin sedimenti askıda tuttuğu ve sedimentin taşınmadığı gözlemlenmiş bu çalışmada elde edilen bulgulara göre de bu durum teyit edilmiştir.
- Venturi ağızlıkla yapılan deneylerde dairesel ağızlık ile test edilen deneylere göre düşük debilerde daha büyük oyulma çukuru uzunluğu ve oyulma çukuru genişliği elde edilmiştir.

- Venturi ağızlığın su jeti olarak kullanılması durumunda oyulma çukurunun profilinin değiştiği deney sonunda alınan topografik haritalardan açıkça anlaşılmaktadır.
- Venturi ağızlık dairesel ağızlığa göre mansap havuzuna daha çok hava kabarcığı sokmakta ve sokulan hava kabarcığı miktarının oyulma çukurunu etkilediği elde edilen bulgulara göre açıkça görölmektedir.
- Venturi ağızlığın, dairesel ağızlığa göre akım içerisine daha çok hava kabarcığı sokması sonucu hava kabarcıkları sediment danelerini yukarı doğru kaldırmakta ve oyulma çukurunun daha geniş bir bölgeye yayılmasına neden olduğu topografik haritalardan da anlaşılabilmektedir.
- Bu çalışmanın bulgularına göre dairesel ağızlıkta erozyon parametresinin artmasıyla oyulma çukurunun maksimum uzunluğunun yaklaşık olarak doğrusal arttığı görölmüştür.

KAYNAKLAR

- 1) **Abt, S.R., Kloverdanz, R.L., and Mendoza, C.,** 1984. Unified culvert scour determination, *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(10), 1475-1479.
- 2) **Aderibigbe, O., Rajaratnam, N.,** 1996. Erosion of loose beds by submerged circular impinging vertical turbulent jets, *Journal of Hydraulic Research*, 34(1), 19-33.
- 3) **Aderibigbe, O., Rajaratnam, N.,** 1998. Effect of sediment gradation on erosion by plane turbulent wall jets, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(10), 1034-1042.
- 4) **Ade, F., and Rajaratnam, N.,** 1998. Generalized study of erosion by circular horizontal turbulent jets, *Journal of Hydraulics Research*, 36(4), 613-633.
- 5) **Ali, K.H.M., and Lim, S.Y.,** 1986. Local scour caused by submerged wall-jets, *Institution of Civil Engineers*, 81(2), 607-645.
- 6) **Ali, K.H.M., and Walley, P.,** 1992. Flow fields in scour holes generated by offset jets at different heights above the original bed level, Internal Report, *Dept. of Civil Engineering*, The University of Liverpool.
- 7) **Altinbilek, H.D., and Okay, S.,** 1973. Localised scour in a horizontal sand bed under vertical jets, IAHR Congress, *International Association for Hydraulic Research*, 1, 99-106.
- 8) **Ansari, S.A., Kothyari, U.C., and Raju, K.G.R.,** 2003. Technical note: Influence of cohesion on scour under submerged circular vertical jets, *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(12), 1014-1019.
- 9) **Arouse, H.,** 1939. Criteria for similarity in the transportation of sediment, *Iowa Institute of Hydraulic Research*, Univ. of Iowa, 33-49.
- 10) **Bağatur, T.,** 2000. Su jeti ile havalandırma sisteminde ağızlık tipinin havalandırma performansına etkisi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 11) **Bağatur, T. ve Baylar, A.,** 2001. Venturi aygıtının çok amaçlı kullanılması, *I. Türkiye Su Kongresi*, İstanbul, Cilt II.
- 12) **Bagatur, T., Baylar, A., and Sekerdag, N.,** 2002. The effect of nozzle type on air entrainment by plunging water jets, *Water Quality Research Journal of Canada*, 37(3), 599-612.
- 13) **Bagatur, T. and Sekerdag, N.,** 2003. Air-entrainment characteristics in a plunging water jet system using rectangular nozzles with rounded ends, *Water SA*, 29(1), 35-38.

- 14) Bagatur, T.,** 2005. Technical note: Minimal conditions for venturi aeration of water flows, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 158(3), 127-130.
- 15) Baylar, A., Ozkan, F., and Ozturk, M.,** 2005. Influence of venturi cone angles on jet aeration systems, *Water Management*, 158(1), 9-16.
- 16) Canepa, S. and Hager, W.H.,** 2003. Effect of jet air content on plunge pool scour, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 129(5), 358-365.
- 17) Clanet, C. and Lasheras, J.C.,** 1997. Depth of penetration of bubbles entrained by a plunging water jet, *Phys. Fluids*, 9, 7, 1864-1866.
- 18) Chakravarti, A., Jain, R.K., and Kothyari, U.C.,** 2013. Scour under submerged circular vertical jets in cohesionless sediments, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 20(1), 32-37.
- 19) Chatterjee, S.S., Ghosh, S.N., and Chatterjee, M.,** 1994. Local scour due to submerged horizontal jet, *Journal Hydraulic Engineering*, 120(8), 973-992.
- 20) Chiew, Y.M., Lim, S.Y.,** 1996. Local scour by a deeply submerged horizontal circular jet, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(9), 529-532.
- 21) Dabbagh, A.A., Gonzales, A.S. and Pena, A.S.,** 2002. Soil erosion by a continuous water jet, *Soils and Foundations*, 42(5), 1-13.
- 22) Sarkar, A. and Dey, S.,** 2004. Review local scour due to jets, *International Journal of Sediment Research*, 19(3), 210-239.
- 23) Doddiah, D., Albertson, M.L. and Thomas, R.,** 1953. Scour from jets, IAHR Congress, *International Association for Hydraulic Research*, 161-169.
- 24) Duflou, J.R., Kruth, J.P and Bohez, E.L.,** 2001. Contour cutting of pre-formed parts with abrasive waterjet using 3-axis nozzle control, *Journal of Materials Processing Technology*, 115, 38-43.
- 25) Emiroglu, M.E. and Baylar, A.,** 2003a. Role of nozzles with air holes in air entrainment by a water jet, *Water Quality Research Journal of Canada*, 38(4), 785-795.
- 26) Emiroglu, M.E. and Baylar, A.,** 2003b. Study of the influence of air holes along length of convergent-divergent passage of a venturi device on aeration, *Journal of Hydraulic Research*, 00, 0, 1-8.
- 27) Emiroglu, M.E. and Baylar, A.,** 2003. The influence of air holes at throat portion of a venturi device on air entrainment and oxygen transfer, *Water&Maritime Engineering*, 156, 1-7.

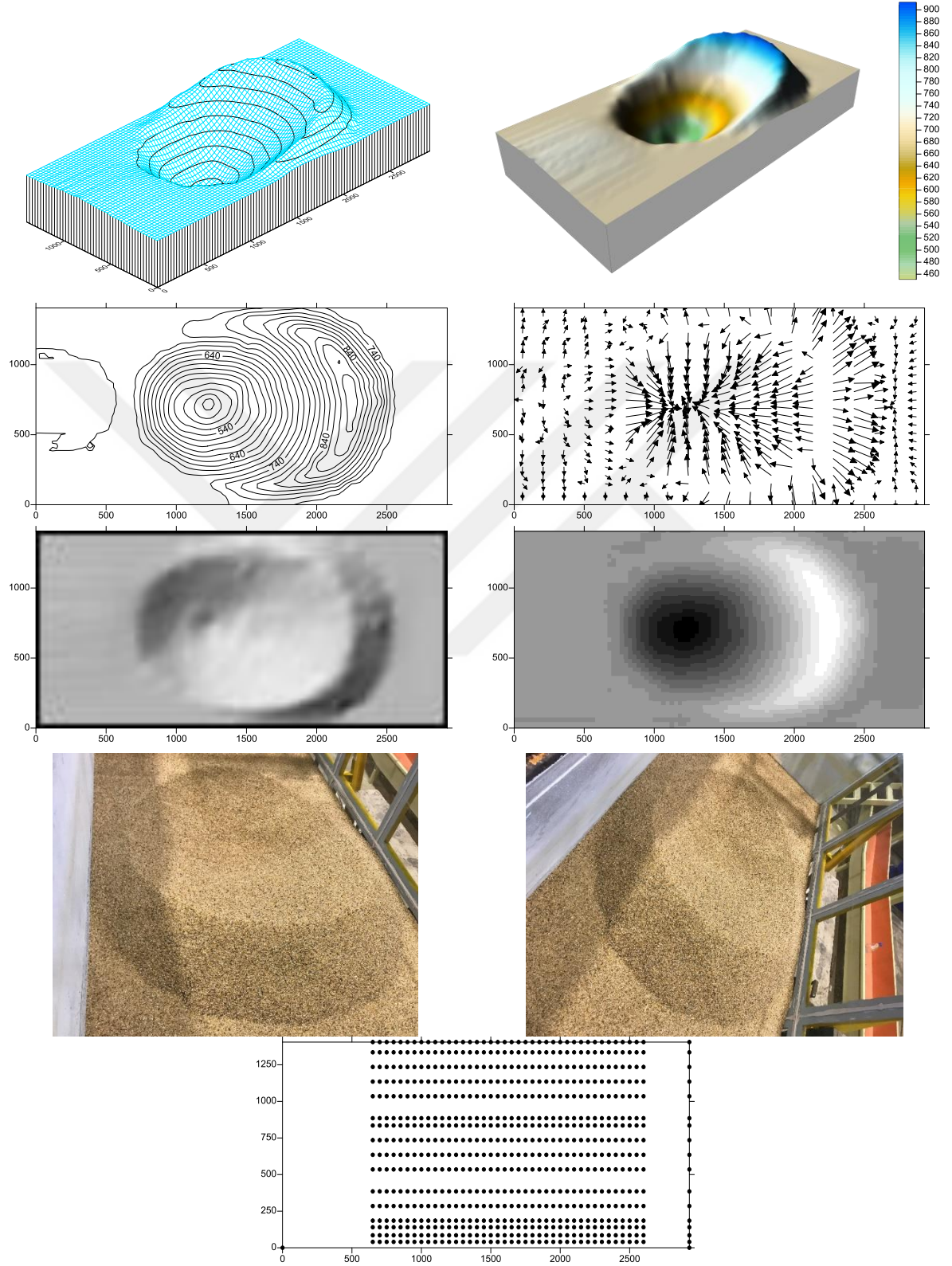
- 28) **Francis, J.R.D. and Ghosh, S.N.**, 1974. A new look at local erosions in alluvial rivers, *5th Australasian Conf on Hydr. and Fluid Mech.*, University of Canterbury, 71-77.
- 29) **Hashish, M.**, 1991. Optimization factors in abrasive-waterjet machining, *Journal of Engineering for Industry*, 113, 132-139.
- 30) **Hassan, N.M.K. and Narayanan, R.**, 1985. Local scour downstream of an apron, *Journal Hydraulic Engineering*, 111(11), 1371-1385.
- 31) **Hoffmans, G. J. C. M.**, 1998. Jet scour in equilibrium phase, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124 (4), 430-437.
- 32) **Hollick, M.**, 1976. Towards a routine assessment of the critical tractive forces of cohesive soils, *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 19(6), 1076– 1081.
- 33) **Hou, J., Zhang, L., Gong, Y., Ning, D., Zhang, Z.**, 2016. Theoretical and experimental study of scour depth by submerged water Jet, *Advances in Mechanical Engineering*, 8(12), 1-9.
- 34) **Iwagaski, Y., Smith, G.L. and Albertson, M.L.**, 1958. Analytical study of mechanics of scour for three dimensional jet, *Hydraulic Conference*, New York.
- 35) **Johnston, A.J.**, 1990. Scourhole developments in shallow tailwater, *Journal Hydraulic Research*, 28(3), 341-354.
- 36) **Koçak, P.P.**, 2013. Su jetinden dolayı oluşan oyulma derinliği üzerinde zemin malzeme tabakası kalınlığının etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 37) **Koçyiğit, Ş.**, 2004. Venturi aygıtı ile oluşturulan su jetinin havalandırma performansının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 38) **Laursen, E.M.**, 1952. Observations of the nature of scour, *Proc. 5th Hydraulic Conference*, University of Iowa, 179-197.
- 39) **Lim, S.Y.**, 1995. Scour below unsubmerged full-flowing culvert outlets, *Proceedings of Institution of Civil Engineers, Maritime and Energy*, 112, 136-149.
- 40) **Gu, L., Ni, F., Xu, L., and Zhang, H.**, 2015. An experiment of sand beds eroded by submerged plane jets, *International Conference on Applied Mechanics and Mechatronics Engineering (AMME)*
- 41) **Mason, P.J.**, 1989. Effects of air-entrainment on plunge pool scour, *Journal Hydraulic Research*, 115(3), 385-399.

- 42) Mazurek, K.A., Rajaratnam, N. and Sego, D.C., 2001. Scour of cohesive soil by submerged circular turbulent impinging jets, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(7), 598-606.
- 43) Mazurek, K.A., Rajaratnam, N., 2005. Erosion of sand beds by obliquely impinging plane turbulent air jets, *Journal of Hydraulic Research*, 43(5), 567-573
- 44) Mih, W.C., and Kabir, J., 1983. Impingement of water jets on nonuniform streambed, *J. Hydraulic Engineering*, 109(4), 536-548.
- 45) Moore, W. L., and Masch, F. D. Jr., 1962. Experiments on the scour resistance of cohesive sediments, *Journal of Geophysical Research*, 67(4), 1437-1449.
- 46) Pagliara, S., Hager, W.H., and Minor, H.E., 2006. Hydraulics of plane plunge pool scour, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5), 450-461.
- 47) Poreh, M. and Hefez, E., 1967. Initial scour and sediment motion due to an impinging Jet, IAHR Congress, *International Association for Hydraulic Research*, 3, 8.
- 48) Rajaratnam, N., 1976. Turbulent Jets, *Elsevier Publishing Co.*, Amsterdam, 304.
- 49) Rajaratnam, N., Beltaos, S., 1977. Erosion by impinging circular turbulent jets, *Journal of the Hydraulics Divisions*, 103(HY10), 1191-1205.
- 50) Rajaratnam, N., and Berry, B., 1977. Erosion by circular turbulent wall-jets, *Journal Hydraulic Research*, 15(3), 277-289.
- 51) Rajaratnam N., 1981. Erosion by turbulent jets, *Journal of Hydraulic Research*, 19(4), 339-358.
- 52) Rajaratnam, N., and Diebel, M., 1981. Erosion below culvert-like structures, *Sixth Canadian Hydrotechnical Conference*, 469-484.
- 53) Rajaratnam, N., 1982. Erosion by unsubmerged plane water jets, *Proceedings of the Conference Applying Research to Hydraulic Practice ASCE*, Mississippi.
- 54) Rajaratnam, N., and Macdoughall, R.K.B., 1983. Erosion by plane wall jets with minimum tailwater, *Journal Hydraulic Diversion*, 109(7), 1061-1064.
- 55) Rajaratnam, N., and Humpries, J.A., 1984. Diffusion of bluff wall jets in finite tailwater depth, *Journal of Hydraulic Research*, 109(11), 1471-1486.
- 56) Rajaratnam, N., Aderibigbe, O. and Pochylko, D., 1995. Erosion of sand beds by oblique plane water jets, *Water Maritime & Energy*, 112, 31-38.
- 57) Rajaratnam, N., Mazurek, K.A., 2002. Erosion of a polystyrene bed by obliquely impinging circular turbulent air jets, *Journal of Hydraulic Research*, 40(6), 709-716.

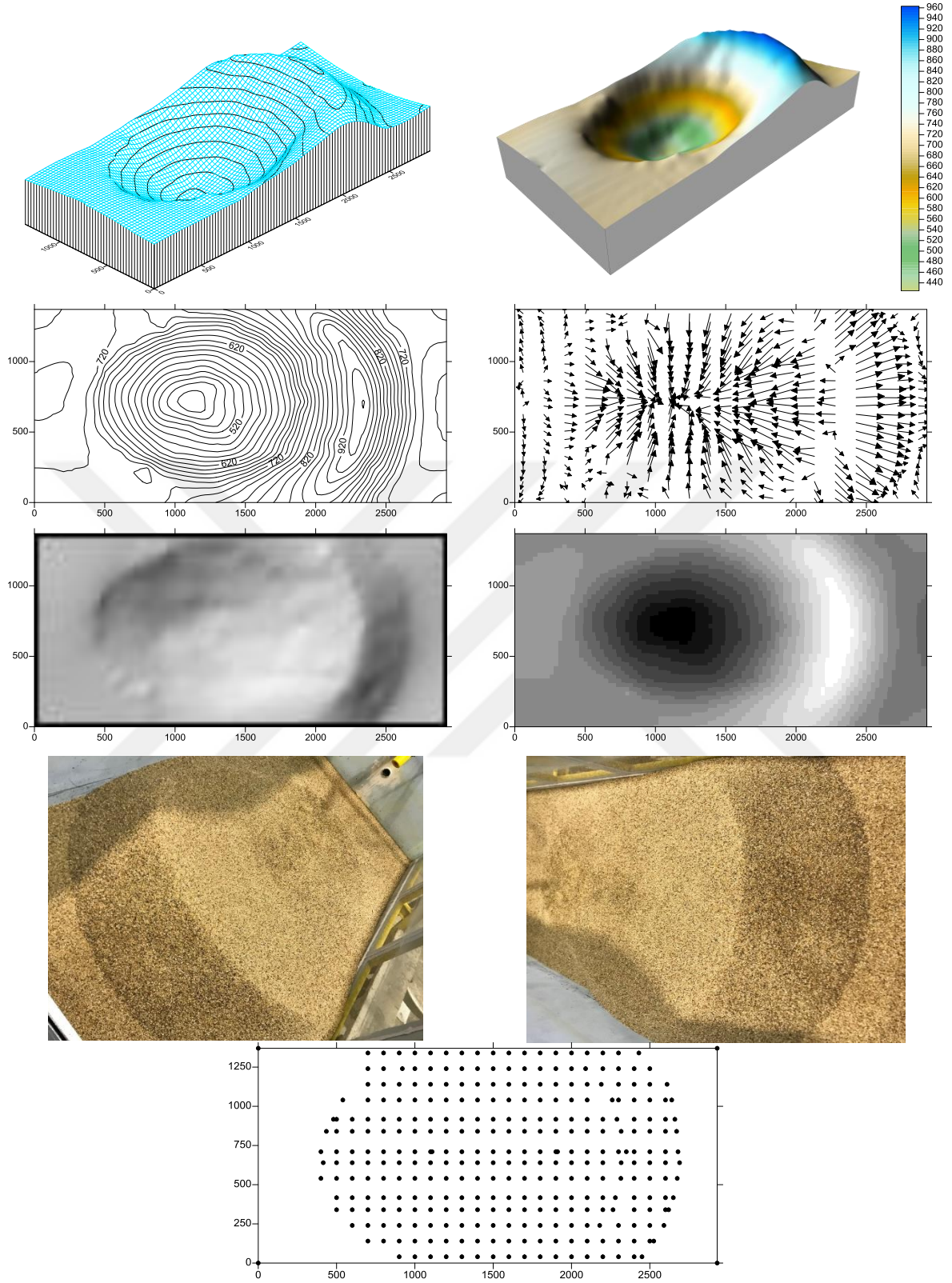
- 58) **Rajaratnam, N., Mazurek, K.A.**, 2003. Erosion of sand by circular impinging water jets with small tailwater, *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(3), 226-229.
- 59) **Sarma, K.V.M. and Sivasankar, R.**, 1967. Scour under vertical circular jets, *Journal Institution of Engineers, Calcutta, India* 48(3), 568-579.
- 60) **Tastan, K., Kocak, P.P., and Yildirim, N.**, 2016. Effect of the bed-sediment layer on the Scour caused by a jet, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(10), 4029-4037.
- 61) **Uyumaz, A.**, 1988. Scour downstream of vertical gate, *Journal Hydraulic Engineering*, 114(7), 811-816.
- 62) **Xu W., Deng, J., Qu, J., Liu, S., Wang, W.**, 2004. Experimental investigation on influence of aeration on plane jet scour, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(2), 160-164.
- 63) **Westrich, B., and Kobus, H.**, 1973. Erosion of a uniform sand bed by continuous and pulsating jets, IAHR Congress, *International Association for Hydraulic Research*, 1, 91-98.
- 64) **Wei, W., Deng, J., and Liu, B.**, 2013. Influence of aeration and initial water thickness on axial velocity attenuation of jet flows, *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 14(5), 362-370.
- 65) **Yıldız, D.**, 2001. Barajların mansabındaki oyulmalar, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı*, 51-82.

EKLER

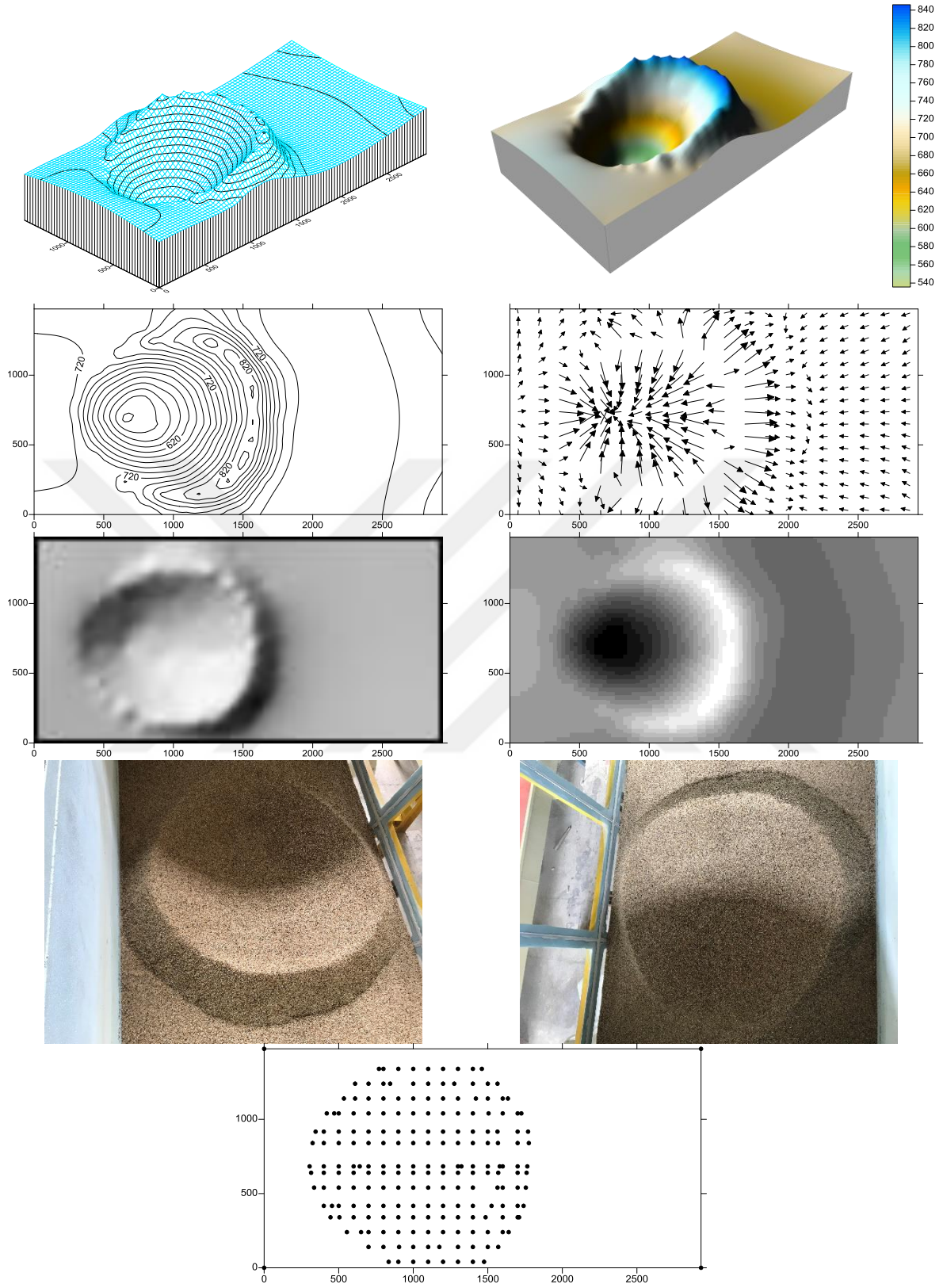
EK-1 Dairesel ağızlık için yapılan deneylere ait şekiller



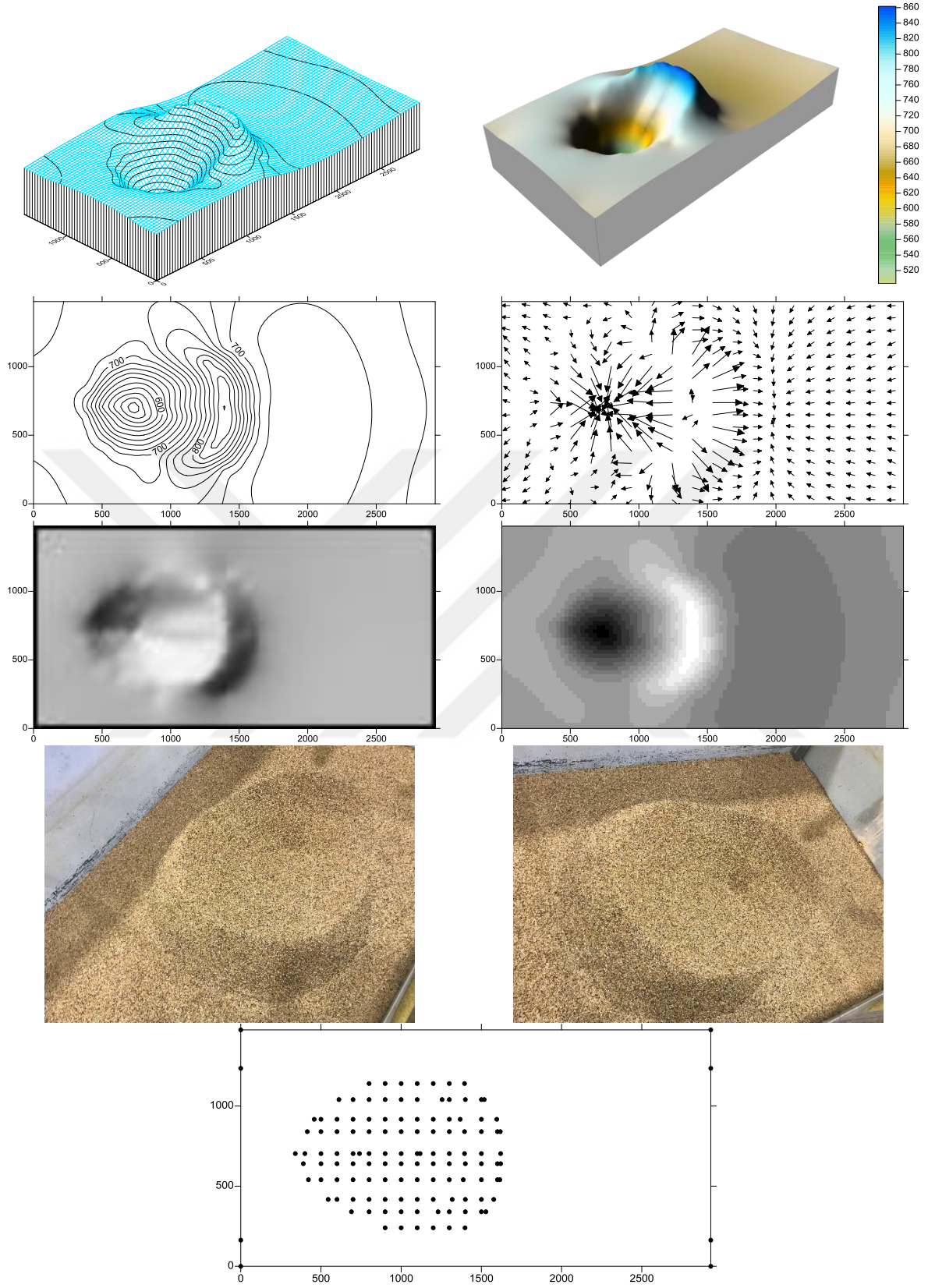
Ek_Şekil 1 $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



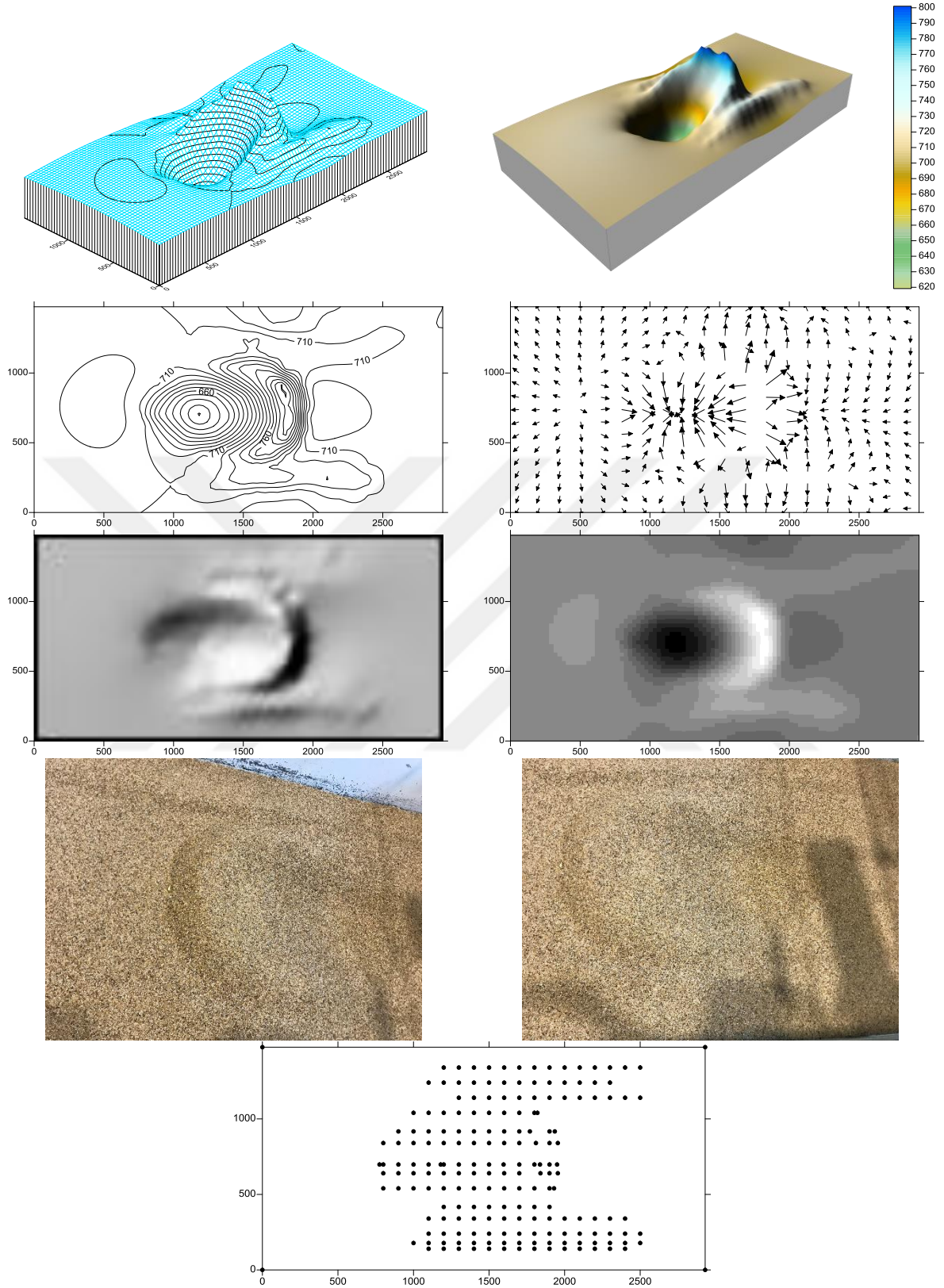
Ek_Şekil 2 $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



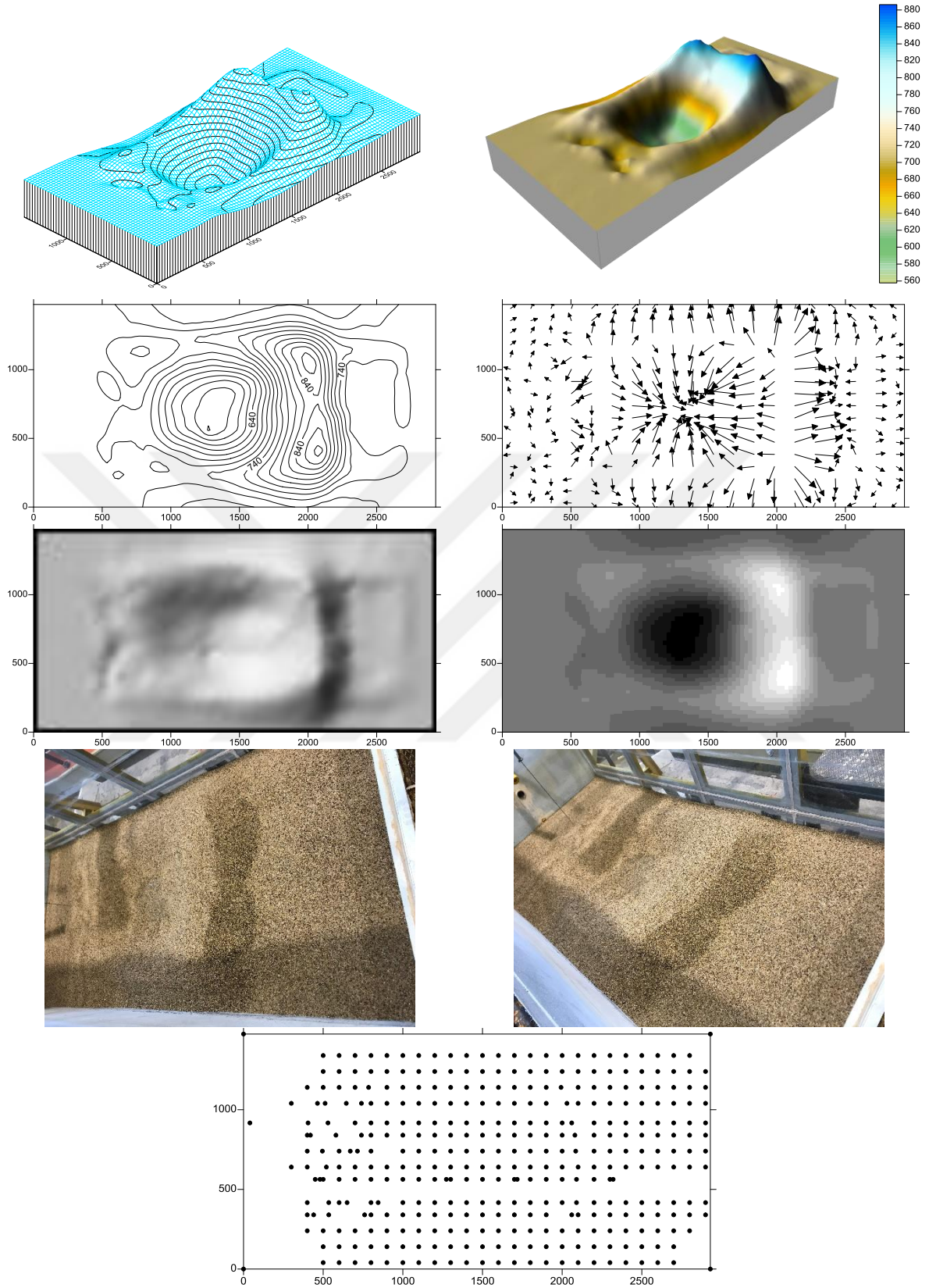
Ek_Şekil 3 $U_0=7.5$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



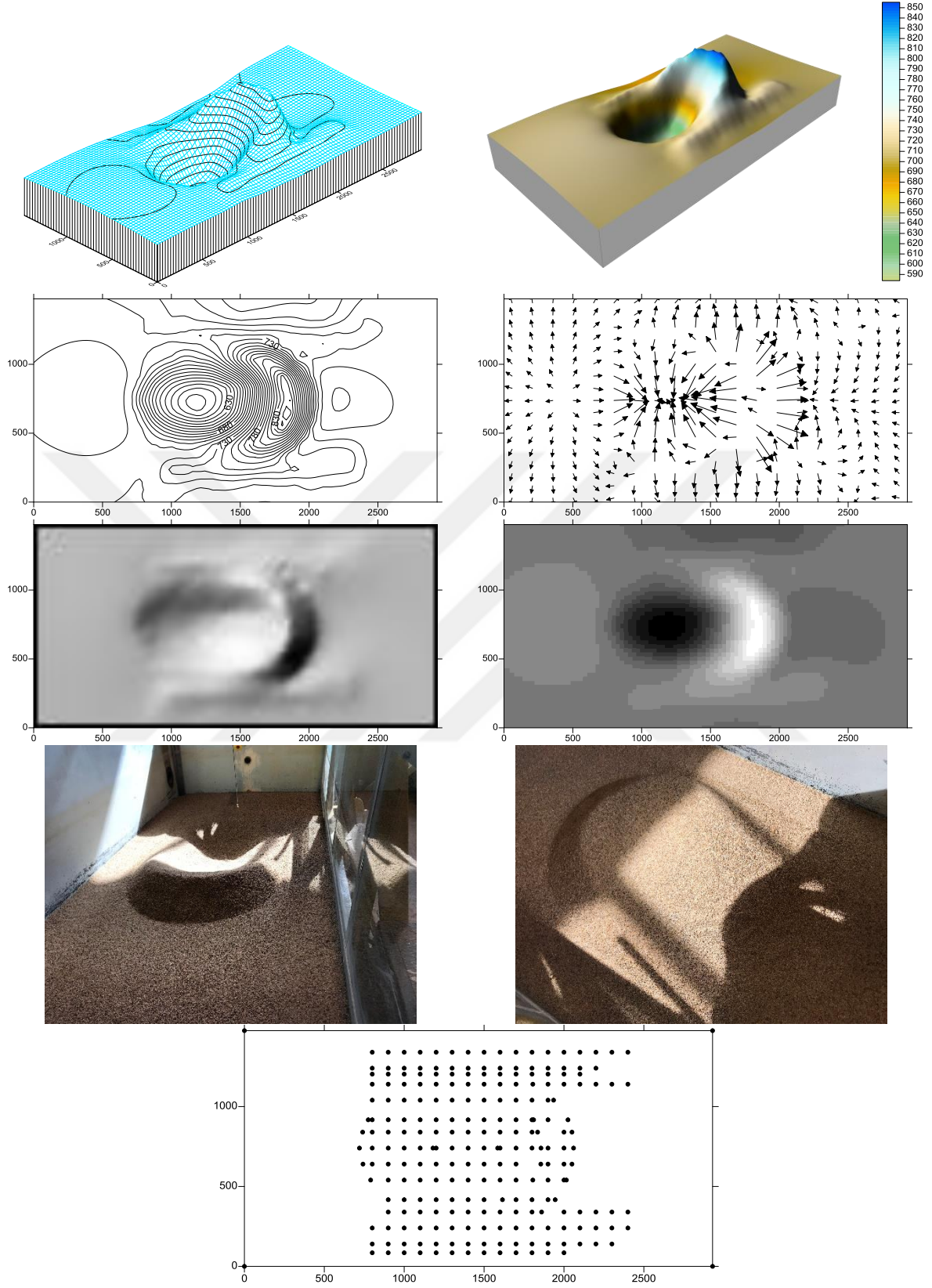
Ek_Şekil 4 $U_0=5$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



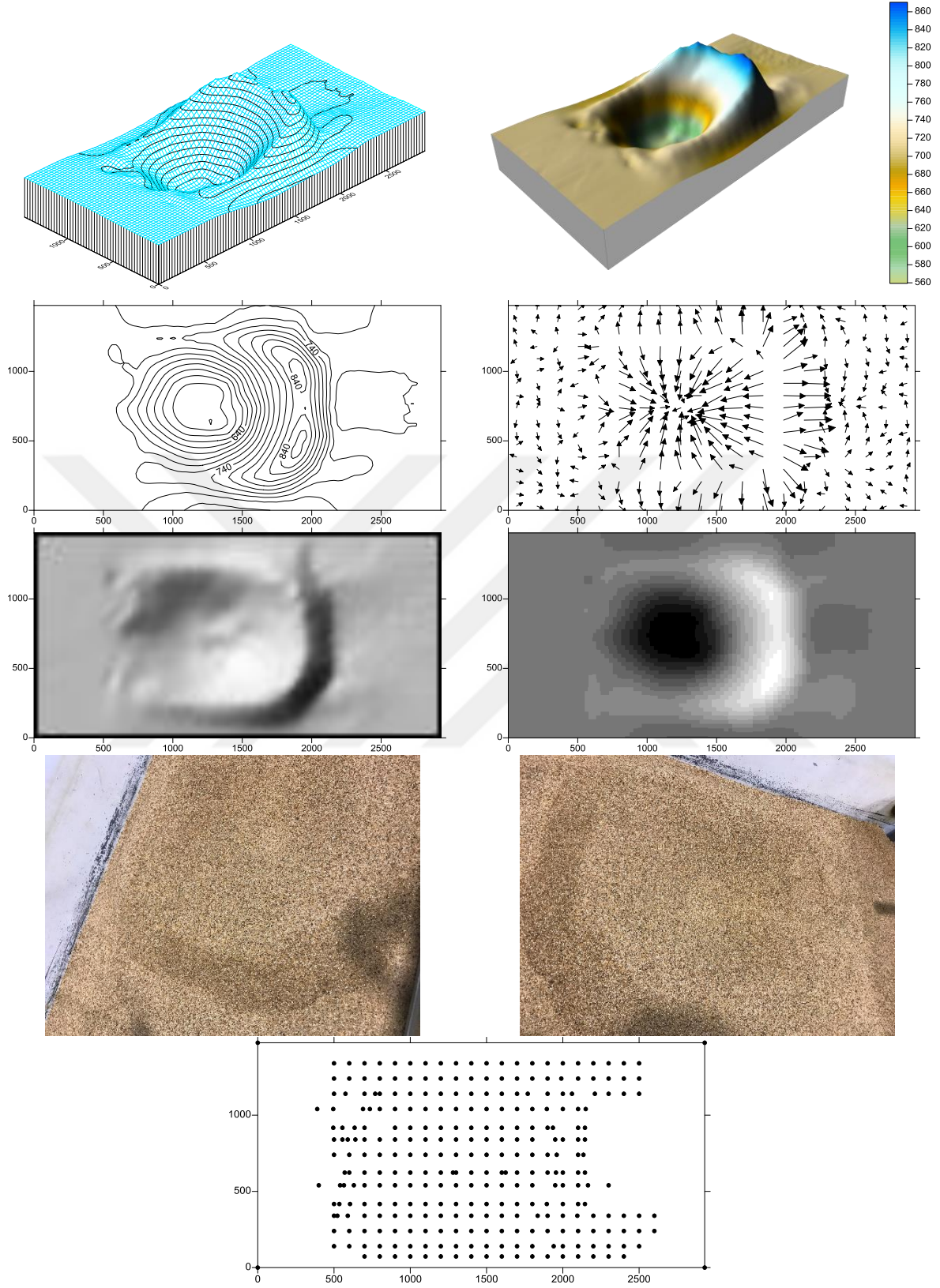
Ek_Şekil 5 $U_0=5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



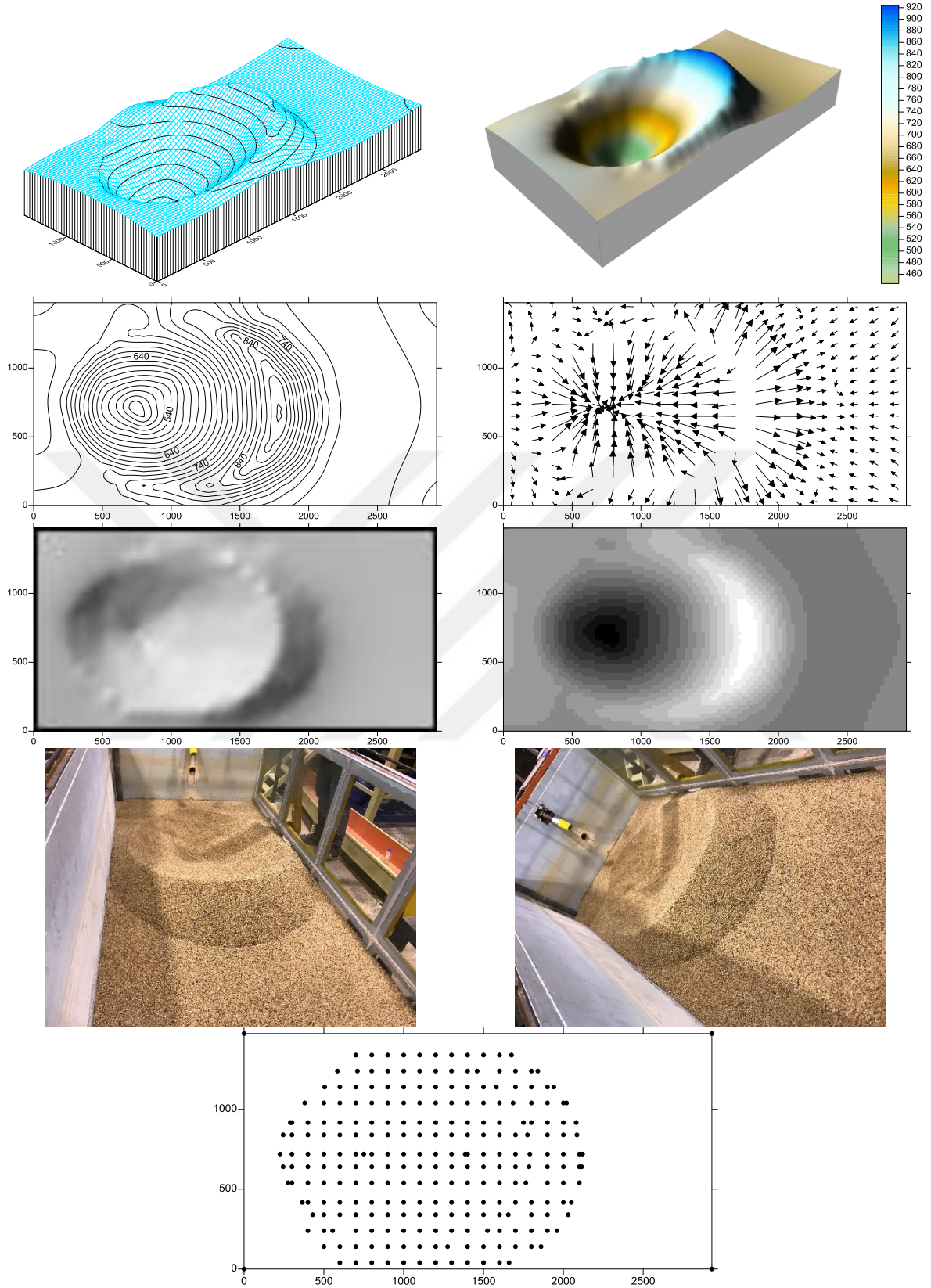
Ek_Şekil 6 $U_0=7.5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.30$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



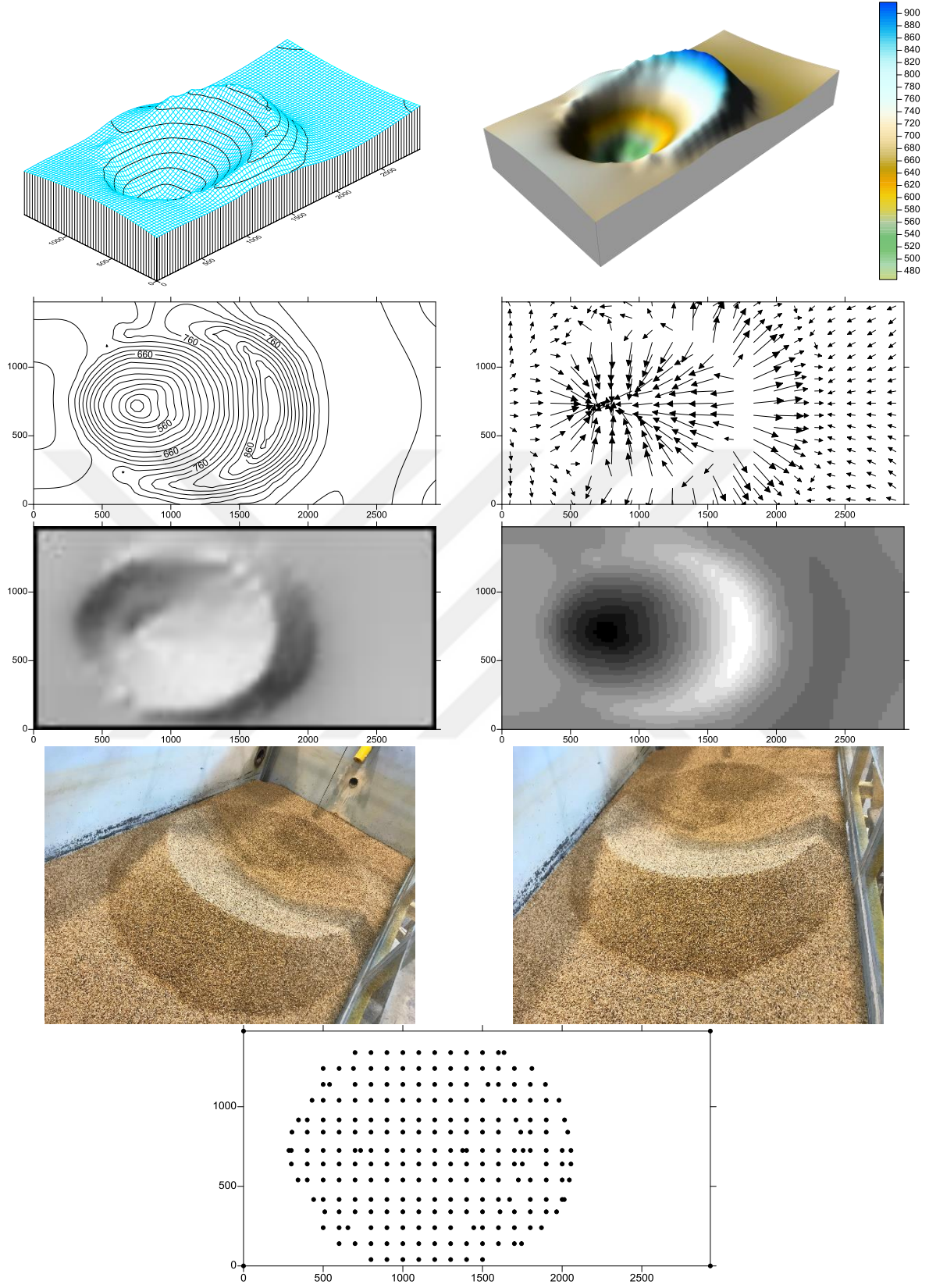
Ek_Şekil 7 $U_0=5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



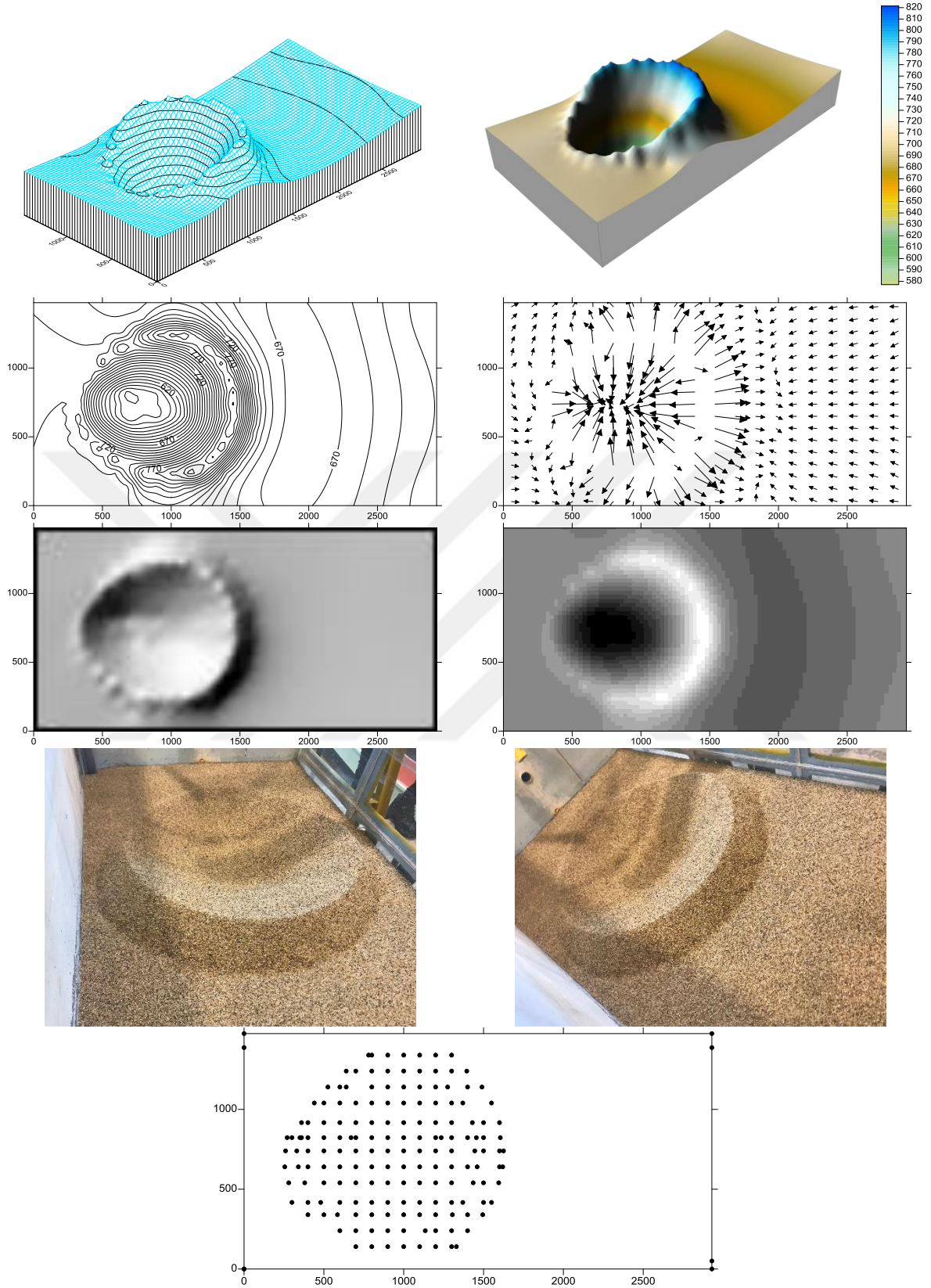
Ek_Şekil 8 $U_0=5$ m/s, $\theta=30^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



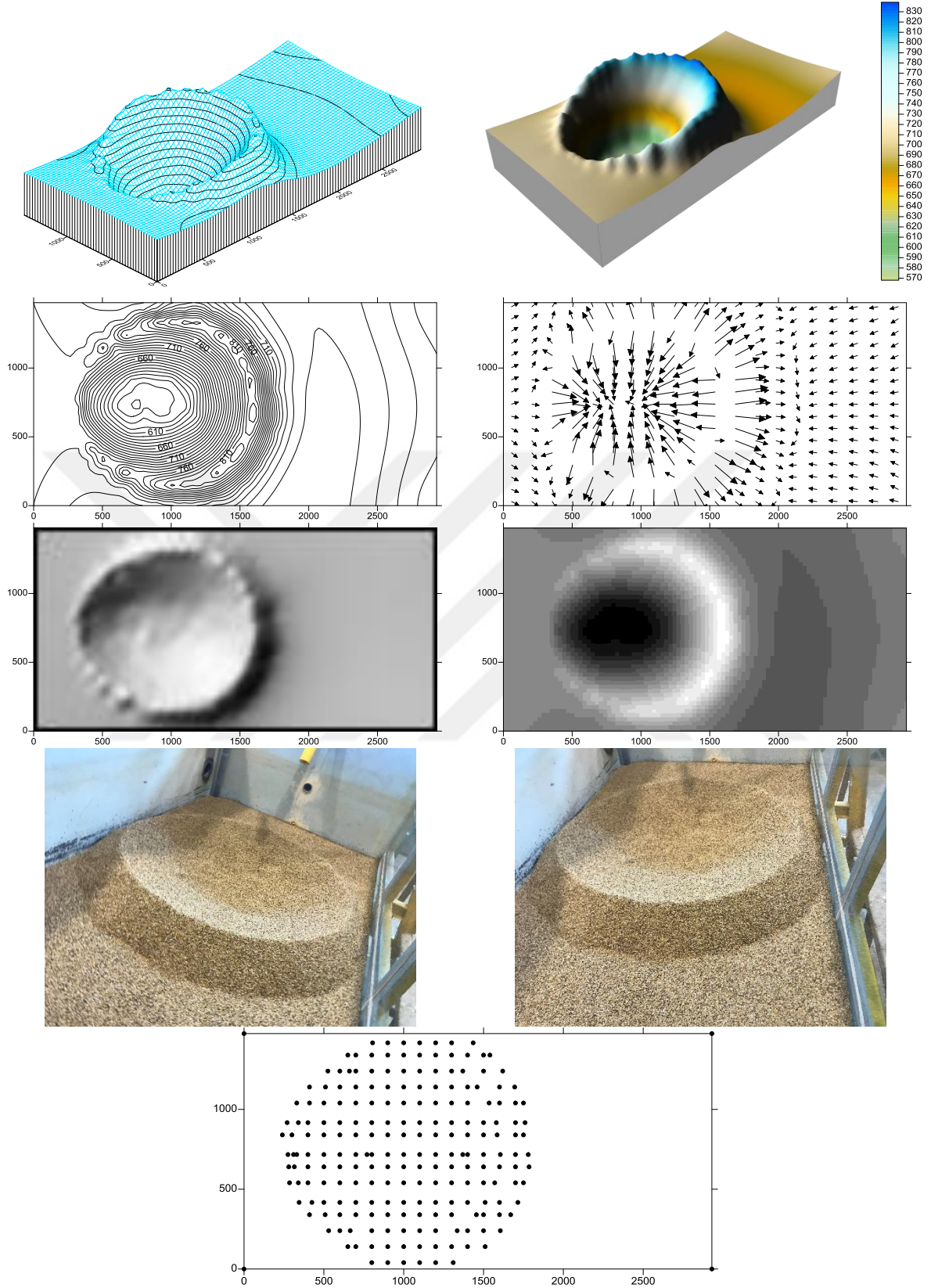
Ek_Şekil 9 $U_0=7.5$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=40$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



Ek_Şekil 10 $U_0=10$ m/s, $\theta=45^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler

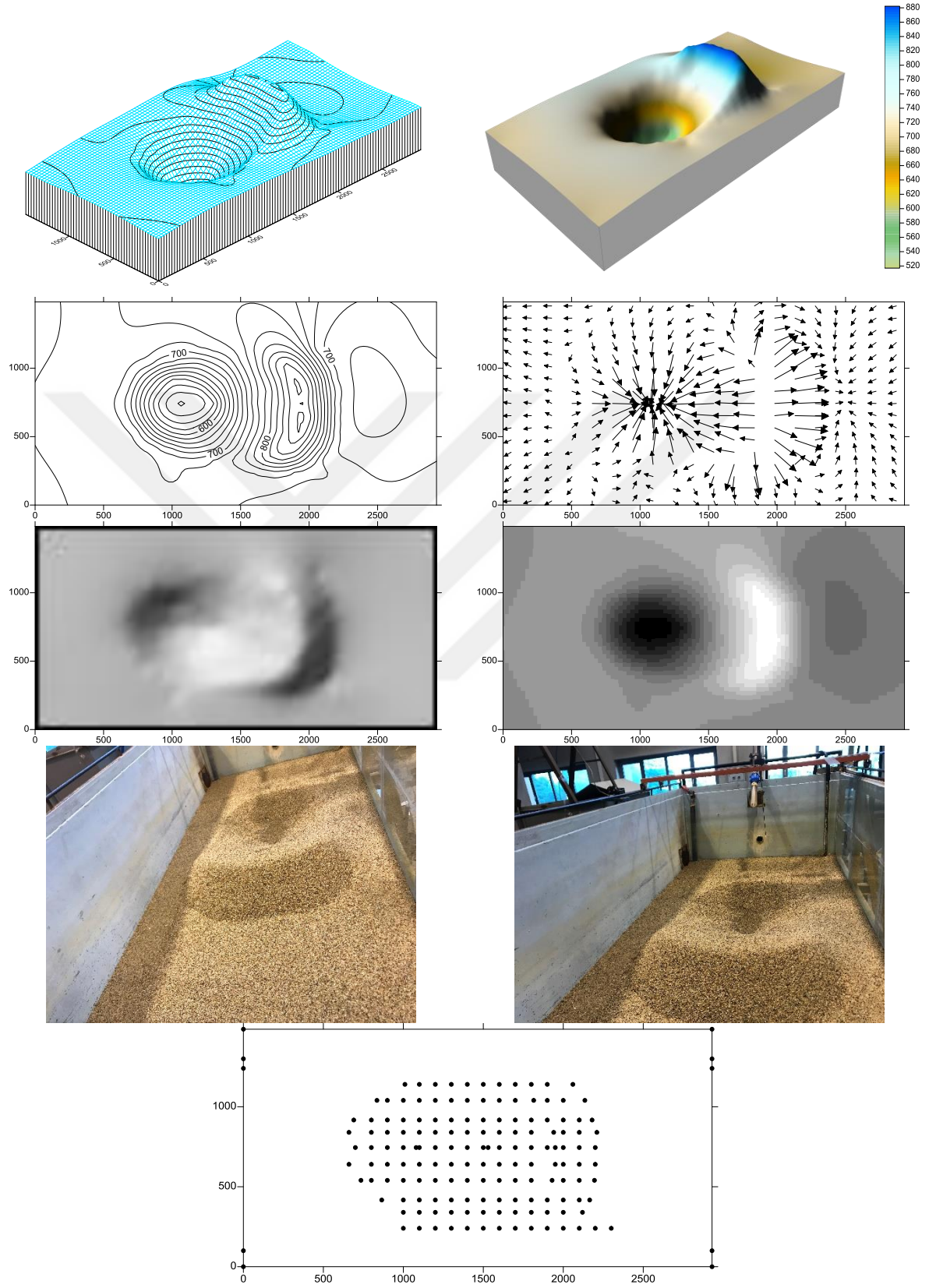


Ek_Şekil 11 $U_0=10$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=28$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler

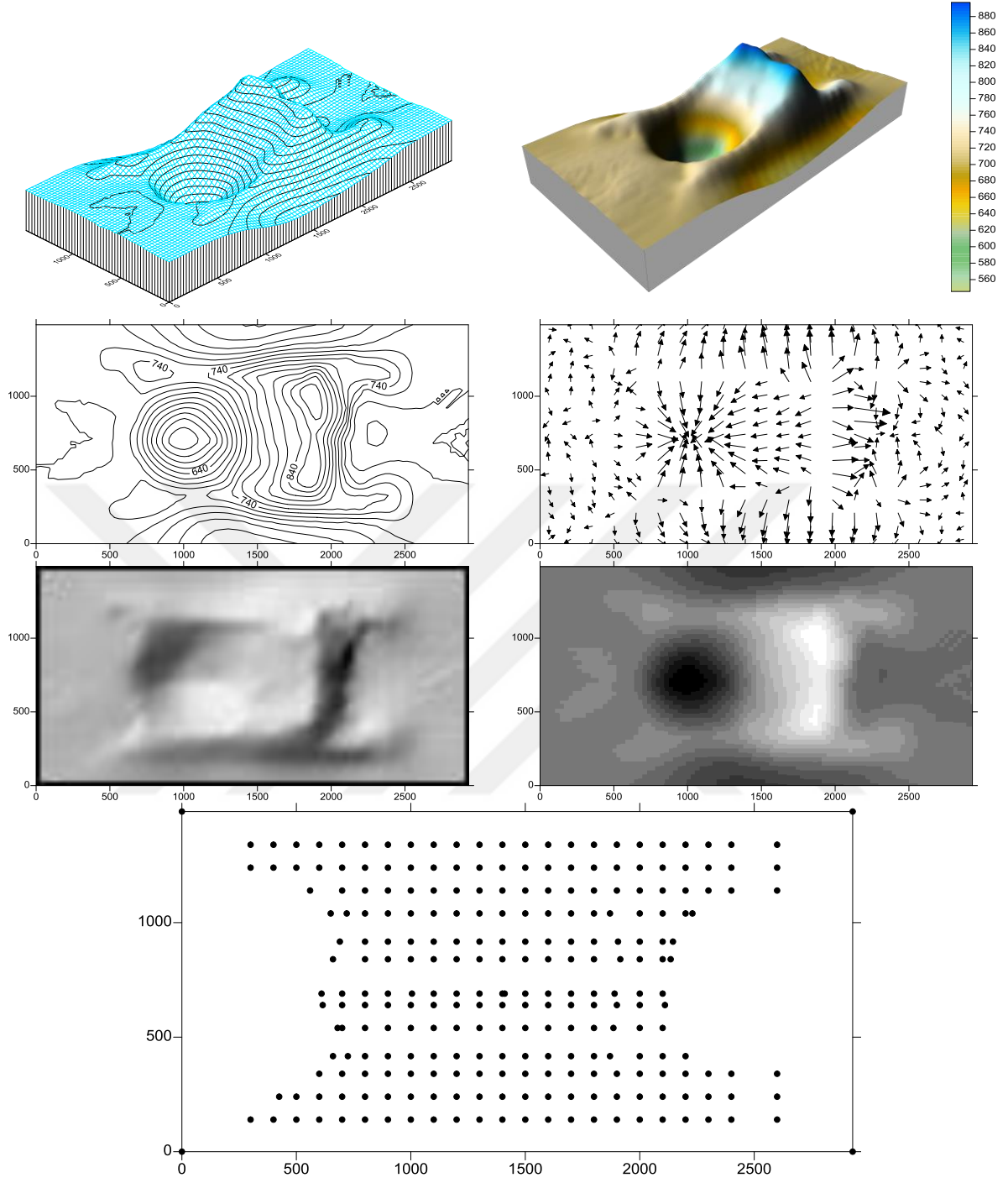


Ek_Şekil 12 $U_0=10$ m/s, $\theta=60^\circ$, $d=34$ mm, $H=0.15$ m dairesel ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler

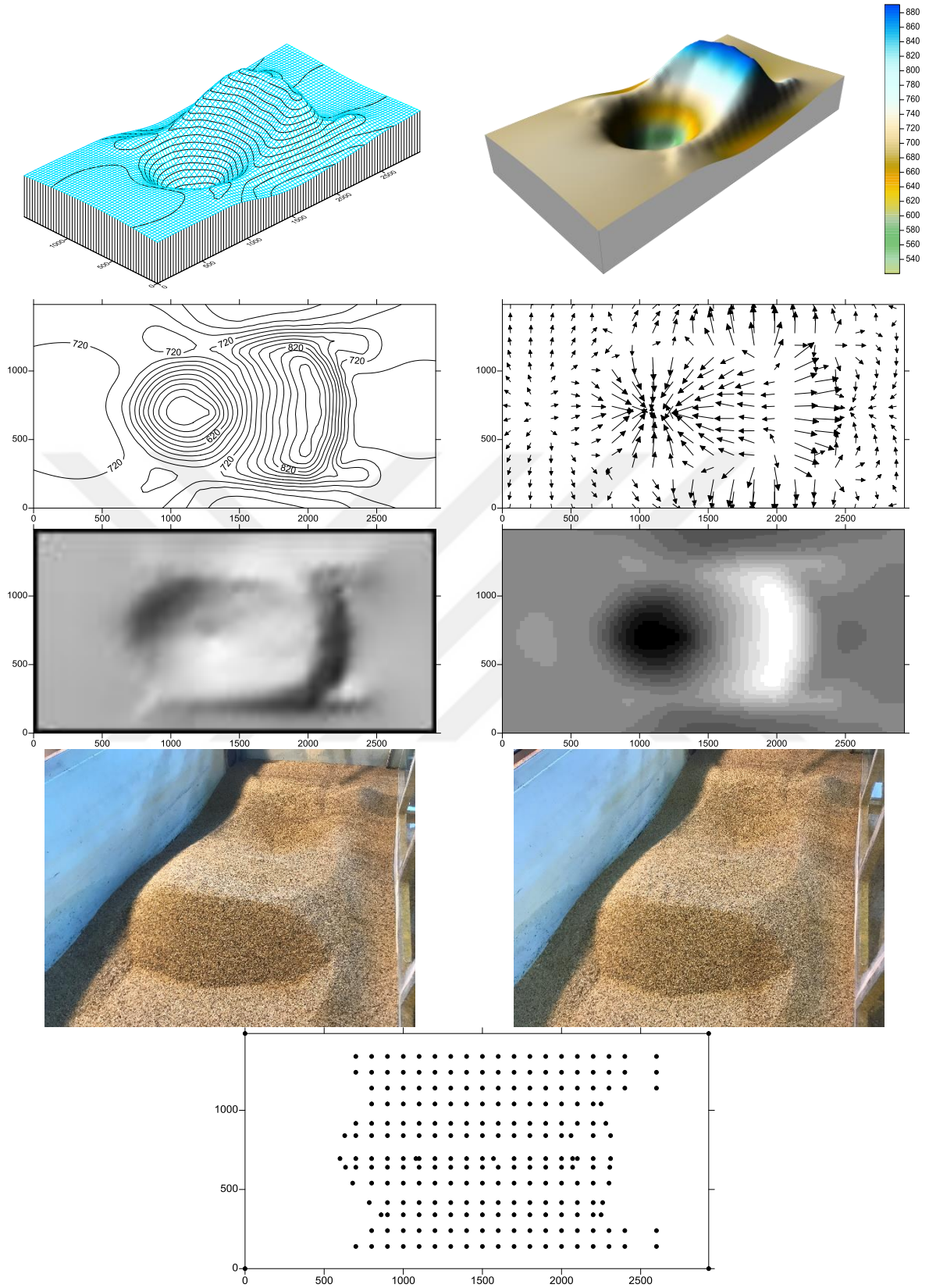
EK-2 Venturi ağızlık için yapılan deneylere ait şekiller



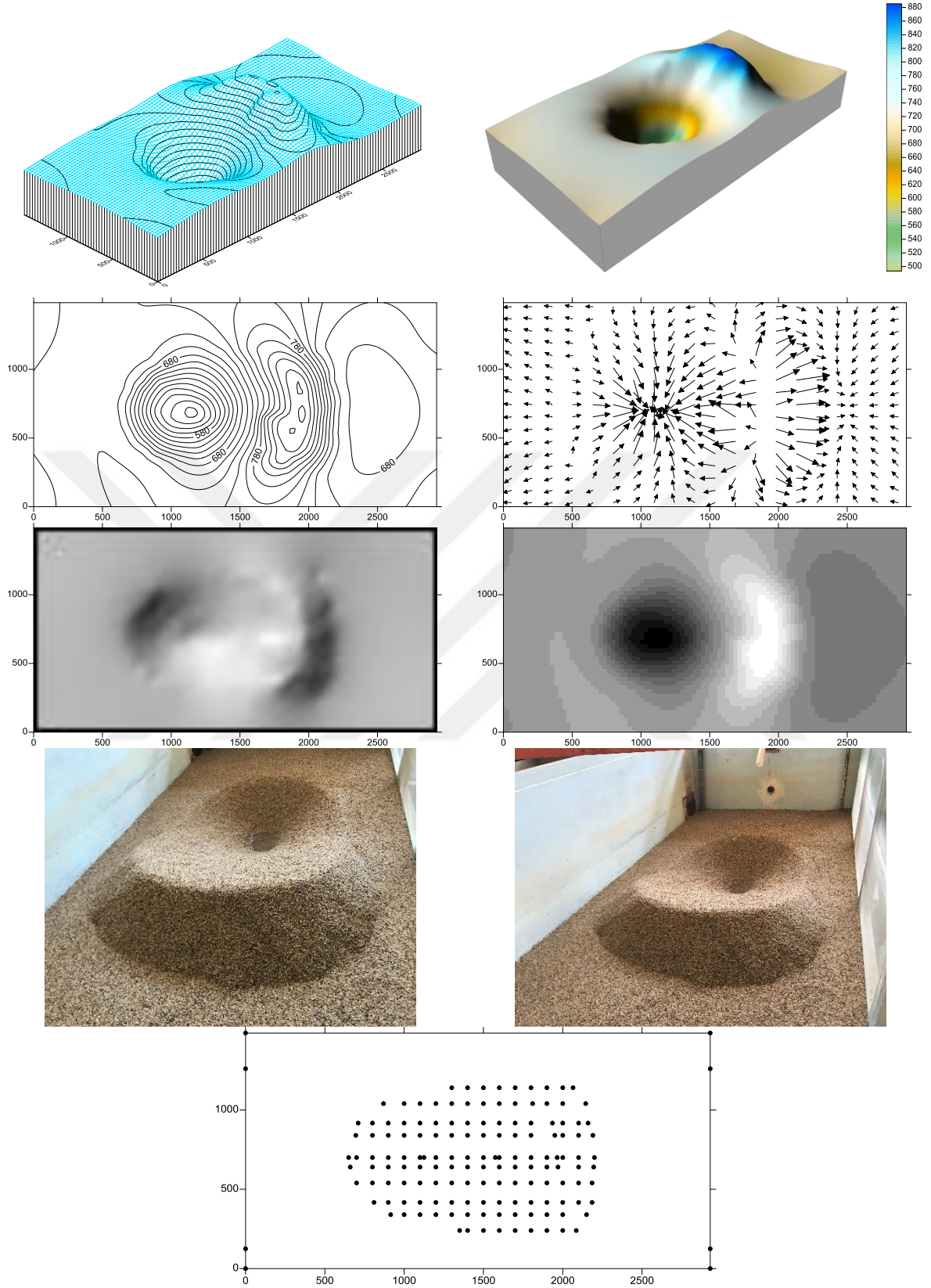
Ek Şekil 13 $U_{0v} = 2.47$ m/s, $\theta = 45^\circ$, $D_v = 40$ mm, $H = 0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



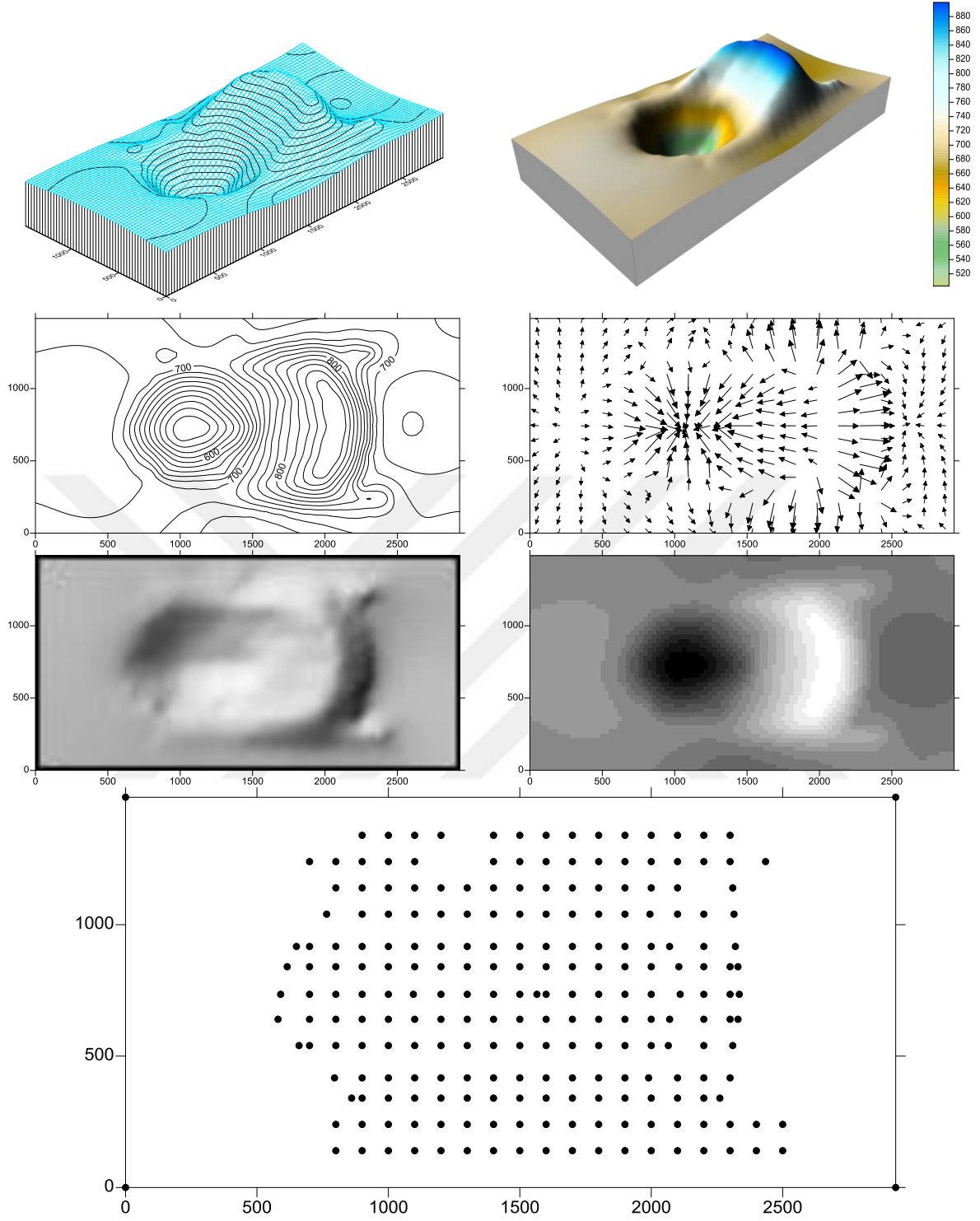
Ek_Şekil 14 $U_{0v}=4.31$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



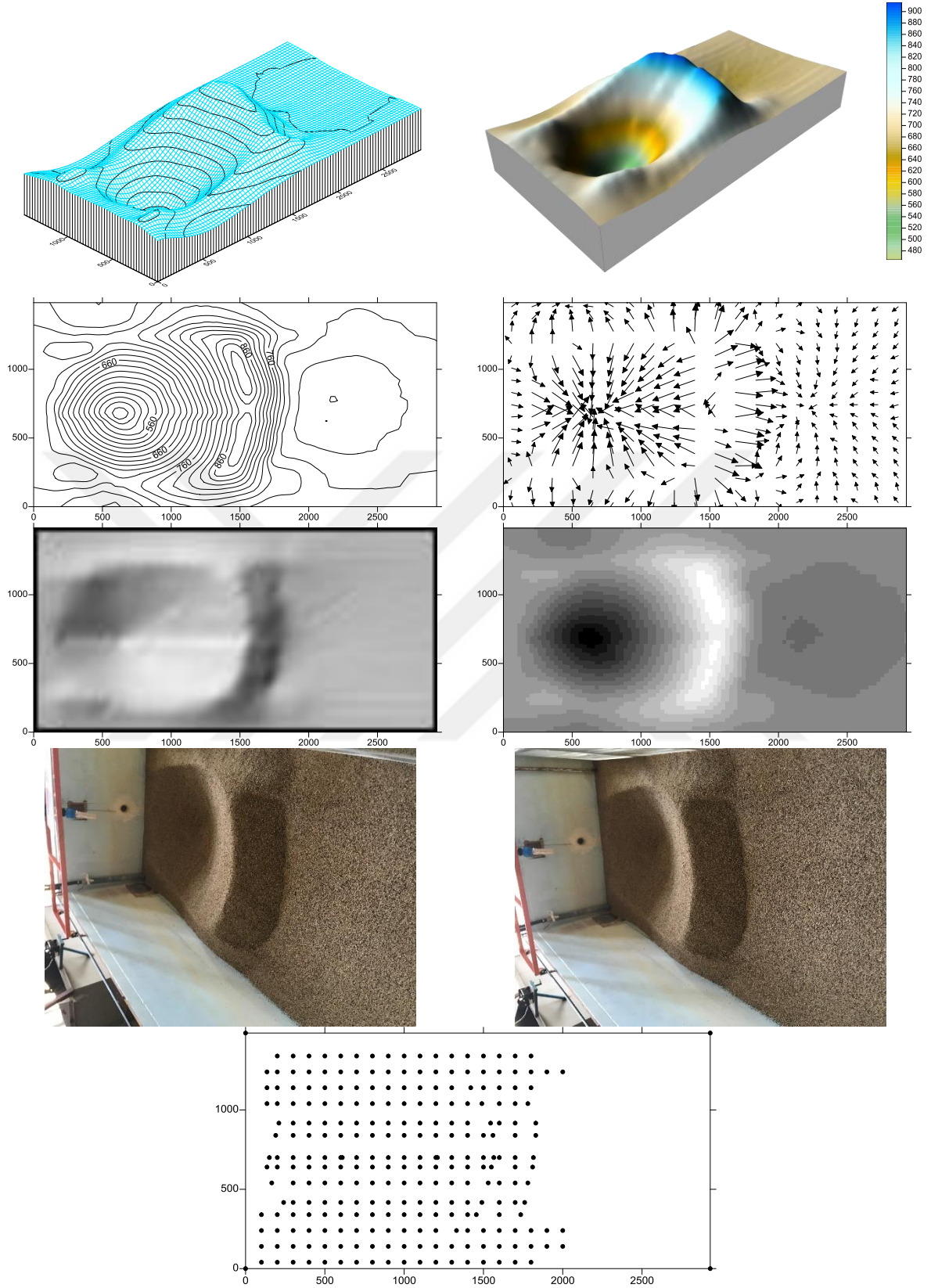
Ek_Şekil 15 $U_{0v}=3.36$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.30$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



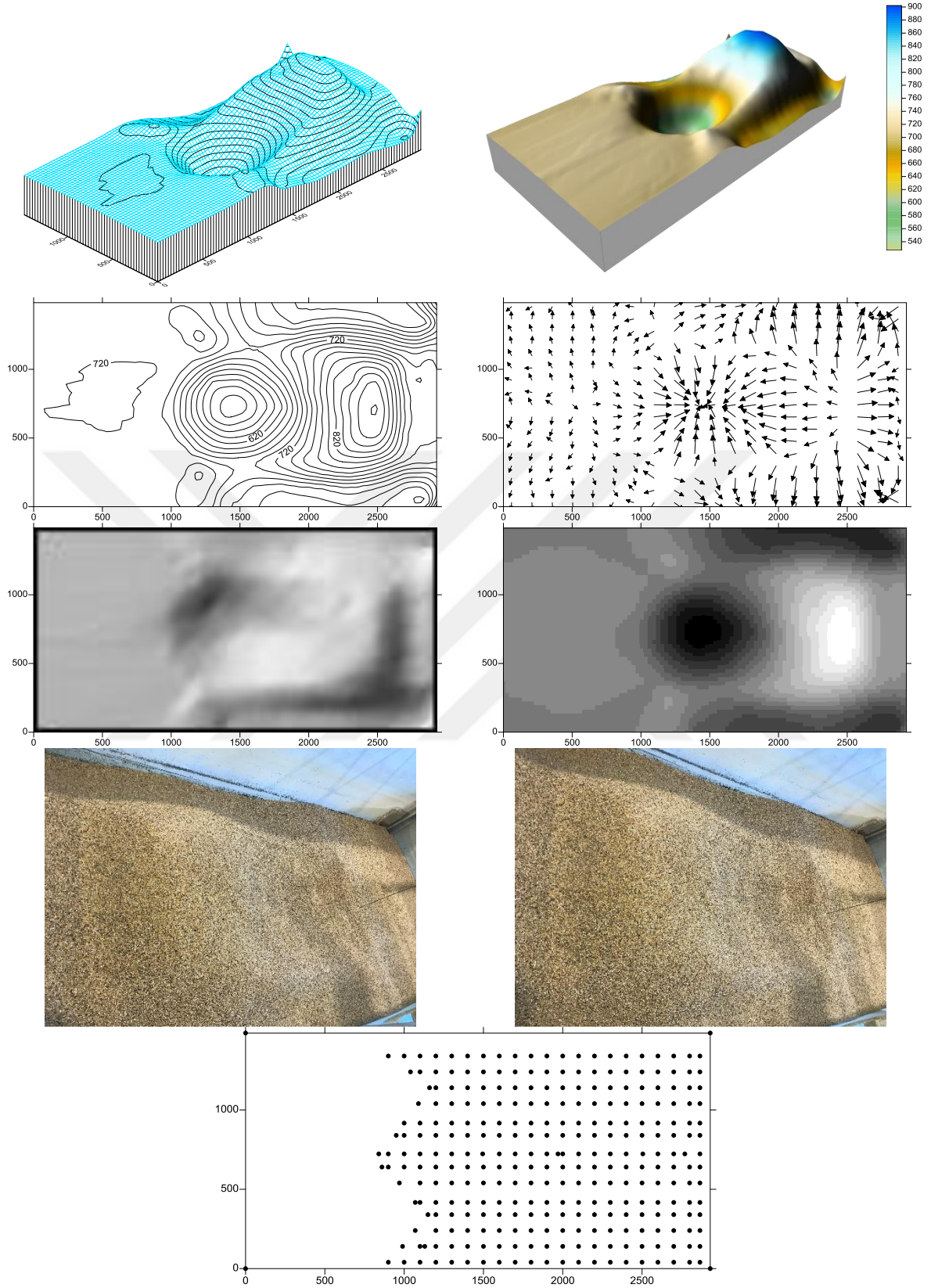
Ek_Şekil 16 $U_{0v}=2.47$ m/s , $\theta=45^\circ$, $D_v=40$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



Ek_Şekil 17 $U_{0v}=3.36$ m/s, $\theta=45^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



Ek_Şekil 18 $U_{0v}=5.28$ m/s, $\theta=60^\circ$, $D_v=28$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler



Ek_Şekil 19 $U_{0v}=4.02$ m/s, $\theta=30^\circ$, $D_v=34$ mm, $H=0.15$ m venturi ağızlık şartlarına sahip deneyin sonunda taban topografyasındaki değişimler

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01.09.1988
Doğum Yeri	Şırnak
Lise	2003-2007 Şırnak Anadolu Lisesi
Lisans	2008-2014 Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2016-2018 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hidrolik Bilim Dalı
Çalıştığı Kurum	2016- Devam Ediyor Siirt Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi