

169260

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAVAKLARIN AKIM KARAKTERİSTİKLERİNİN VE MANSAP
HAVUZUNDA OLUŞTURDUKLARI PENETRASYON
DERİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Hazırlayan
Fatma Zehra ÜNSAL

Tez yöneticisi
Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELAZIĞ, 2005

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAVAKLARIN AKIM KARAKTERİSTİKLERİNİN VE MANSAP
HAVUZUNDA OLUŞTURDUKLARI PENETRASYON
DERİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Fatma Zehra ÜNSAL

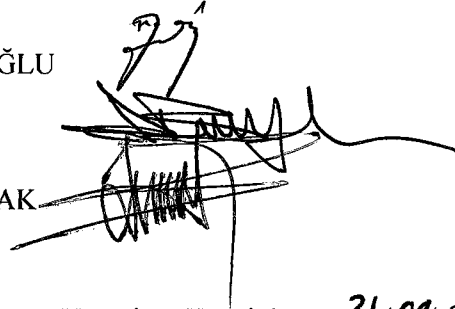
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 02.08.2004 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Doç. Dr. Ahmet BAYLAR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇITLAK



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21/09/2005 tarih ve 2005/32-2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıřmasının yűrűtűlmesi sırasında daima desteęini ve bűyűk yardımlarını gűrdűęűm danıřman hocam, Sayın Doç. Dr. M. Emin EMİROęLU'na teőekkűrlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca tez çalıřması içerisinde yer alan deneylerin yapılmasında her tűrlű yardımlarını esirgemeyen, sevgili arkadaşlarım Evren YILMAZ ve Ferhat DEMİR ve tabiki aileme teőekkűrű bir borç bilirim.

Fatma Zehra ŬNSAL



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	II
TABLolar LİSTESİ.....	IV
SİMGELER LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. SAVAKLAR VE SAVAKLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ.....	8
3.1. İnce Kenarlı Savaklar.....	8
3.1.1. İnce Kenarlı Dikdörtgen Savaklar.....	9
3.1.2. İnce Kenarlı Üçgen Savaklar.....	11
3.1.3. Cipolletti Savağı (Trapez Savak).....	13
3.2. Kalın Kenarlı Savaklar.....	14
3.3. Üçgen Labirent Savaklar.....	16
3.4. Savakların Penetrasyon Derinliği.....	16
4. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMANIN BOYUT ANALİZİ.....	19
5. MATERYAL VE METOT.....	22
6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	24
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Savaklar üzerinden serbest düşen jetin akım örnekleri	8
Şekil 3.2.a-c İnce kenarlı dikdörtgen savak ve üzerindeki akım.....	9
Şekil 3.3 Büzülmeli ince kenarlı dikdörtgen savak kesiti.....	11
Şekil 3.4.a-b İnce kenarlı üçgen savak görünüşü ve kesiti.....	12
Şekil 3.5 İnce kenarlı üçgen savak üzerinde notasyonların gösterilmesi.....	12
Şekil 3.6.a-b Cipolletti savağı kesiti ve görünüşü.....	14
Şekil 3.7 Kalın kenarlı dikdörtgen, üçgen ve trapez savaklar.....	15
Şekil 3.8 Kalın kenarlı savak üzerindeki akım.....	15
Şekil 3.9 Üçgen labirent savak plan ve boykesiti.....	16
Şekil 3.10.a-d Farklı türbülans şiddetine sahip jetlerle hava taşınmasına ait mekanizmalar.....	18
Şekil 4.1 Penetrasyon derinliği ile fonksiyonel ilişkisi olan notasyonlar.....	19
Şekil 5.1.a-c Deneyler için kullanılan savak kesitleri.....	22
Şekil 5.2 Deney düzeneği.....	23
Şekil 5.3 Deney Setinin Fotoğrafları.....	23
Şekil 6.1.a-e $Q=1$ L/s, $Q=2$ L/s, $Q=3$ L/s, $Q=4$ L/s, $Q=5$ L/s için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için serbest düşen jetin genişliğinin değişimi.....	25
Şekil 6.2.a-e $Q=1$ L/s, $Q=2$ L/s, $Q=3$ L/s, $Q=4$ L/s, $Q=5$ L/s için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için penetrasyon derinliklerinin değişimi.....	29
Şekil 6.3.a-e $Q=1$ L/s, $Q=2$ L/s, $Q=3$ L/s, $Q=4$ L/s, $Q=5$ L/s için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için kabarcık bölgesinin uzunluğunun değişimi.....	33
Şekil 6.4.a-e $Q=1$ L/s, $Q=2$ L/s; $Q=3$ L/s; $Q=4$ L/s; $Q=5$ L/s için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için b_u değerinin değişimi.....	36
Şekil 6.5.a-e Farklı savak çeşitleri için ölçülen D_p değerleri ile denklem (36) ve (37)'den elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	39
Şekil 6.6.a-g Farklı savak çeşitleri için ölçülen b_u değerleri ile denklem (38) ve (39)'dan elde edilen değerlerin karşılaştırılması.....	42
Şekil 6.7 Ölçülen J_e değerleri ile (42) eşitliğinden hesaplanan J_e değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 6.8 Ölçülen D_p değerleri ile (40) eşitliğinden hesaplanan D_p değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 6.9 Ölçülen b_u değerleri ile (43) eşitliğinden hesaplanan b_u değerlerinin karşılaştırılması.....	50

Şekil 6.10 Ölçülen L_b değerleri ile (41) eşitliklerinden hesaplanan L_b değerlerinin karşılaştırılması.....	51
---	----



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 İnce kenarlı dikdörtgen savak için debi katsayısı.....	10
Tablo 6.1 D_p değerleri için regrasyon analizi.....	46
Tablo 6.2 J_e değerleri için regrasyon analizi.....	46
Tablo 6.3 L_b değerleri için regrasyon analizi.....	47
Tablo 6.4 b_u değerleri için regrasyon analizi.....	47



SİMGELER LİSTESİ

b	: Savaşın kret genişliği [m]
b_L	: Üçgen labirent savaşın yarı-kret uzunluğu [m]
b_u	: Savaktan suyun düştüğü nokta ile serbest düşen jetin suya çarpma noktası arasındaki mesafe [m]
d	: Üçgen labirent savaşın eni [m]
D_p	: Penetrasyon derinliği [m]
F_j	: Jet Froude sayısı [-]
h	: Nap yükü [m]
H	: Düşme yüksekliği [m]
h_c	: Kritik akım derinliği [m]
H_w	: İnce ve kalın kenarlı üçgen savakta tabanla kret arasındaki mesafe [m]
J_e	: Serbest düşen jetin genişliği [m]
L	: Deney kanalının genişliği [m]
L_b	: Kabarcık bölgesinin uzunluğu [m]
L_d	: Mansap havuzunun minimum uzunluğu [m]
L_w	: Kalın kenarlı üçgen savaşın uzunluğu [m]
q_j	: Birim debi [m^2/s]
Q	: Suyun debisi [m^3/s]
Re_j	: Jet Reynolds sayısı [-]
s	: İnce ve kalın kenarlı üçgen savaşın kreti ile tepe noktası arasındaki mesafe [m]
v	: Jetin hızı [m/s]
V_o	: Memba havuzundaki ortalama akım hızı [m/s]
W	: Üçgen labirent savaşın genişliği [m]
W_d	: Mansap havuzunun minimum genişliği [m]
z	: Kuyruk suyu derinliği [m]
z_d	: Mansap havuzunun minimum derinliği [m]
α	: İnce ve kalın kenarlı üçgen savaşın tepe açısı [$^\circ$]
θ	: Üçgen labirent savaşın iç açısı [$^\circ$]
ϕ	: Üçgen labirent savaşın eğim açısı [$^\circ$]

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAVAKLARIN AKIM KARAKTERİSTİKLERİNİN VE MANSAP HAVUZUNDA OLUŞTURDUKLARI PENETRASYON DERİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma Zehra ÜNSAL

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2005, Sayfa:56

Bu çalışmada; ince kenarlı, kalın kenarlı ve labirent savakların akım karakteristikleri üzerine bir dizi laboratuvar çalışması yürütülmüştür. Bu savak çeşitleri ve bunların farklı şekilleri için maksimum penetrasyon derinlikleri ve jet genişliklerinin, debi ve düşme yükseklikleri ile bağlantılı olarak değişimleri araştırılmıştır. Bu çalışmada her savak tipi ve şeklinin; jet genişliği, penetrasyon derinliği ve jet yörüngesinin birbirinden oldukça farklı olduğu sonuçları gözlenmiştir. Labirent savaklardaki serbest düşen jetin genişliğinin, ince kenarlı trapez savaklardan ve ince kenarlı dikdörtgen savaklardan daha fazla olduğu görülmüştür. Labirent savakların, test edilen diğer savaklardan daha düşük penetrasyon derinliğine sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, dikdörtgen ve trapez savakların en yüksek penetrasyon derinliğine sahip olduğu da ispatlanmıştır. Burada, serbest düşen bir napın maksimum penetrasyon derinliğini, jet genişliğini ve kabarcık bölgesinin uzunluğunu hesaplamak için kullanımı kolay boyutsuz eşitlikler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Savak, Penetrasyon derinliği, Jet genişliği, Hava sürüklenmesi, Havalandırma, Nap, Jet yörüngesi, Kabarcık, Mansap havuzu

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF FLOW CHARACTERISTICS OF WEIRS AND BUBBLE PENETRATION DEPTH IN THE DOWNSTREAM RECEIVING POOL

Fatma Zehra ÜNSAL

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2005, Page :56

This study presents the results of a laboratory study on the flow characteristics of sharp-crested weirs, broad-crested weirs, and labyrinth weirs. The variation of the maximum bubble penetration depth and the over fall jet expansion for different weir types and shapes was investigated in relation to discharge, and drop height. Moreover, flow characteristics of over fall jet in an open channel system were studied. In this study, it is observed that the over fall jet expansion, bubble penetration depth and jet trajectory for different weir types and shapes are very different from each other. The results show that over fall jet expansion at the labyrinth weirs is significantly more than the trapezoidal sharp-crested weir, the rectangular sharp-crested weirs. It is demonstrated that the labyrinth weirs have the lowest values of bubble penetration depth among the weirs tested. Furthermore, it was demonstrated that the rectangular and the trapezoidal were observed to have the highest bubble penetration depth among all weirs. Hence, dimensionless equations were obtained for predicting the maximum penetration depth of bubbles of free over fall nappe, for trajectory of free over fall nappe, for jet expansion of free over fall nappe, and the length of the bubble zone of free over fall nappe.

Key Words: Weir, Penetration depth, Jet expansion, Air entrainment, Aeration, Nappe, Jet trajectory, Bubble, Downstream receiving pool

1. GİRİŞ

Küçük yüklü nap akımlarında ve kanallarda suyun akışını ölçmek için kullanılan en eski hidrolik yapılardan biri savaklardır. Savaklar açık kanal eksenine dik olacak şekilde inşa edilirler ve savak formülleri kullanılarak debinin gerçek değeri belirlenebilmektedir.

Savaklar aynı zamanda kanallardaki suyun havalandırılması amacıyla da kullanılır. Gaz evresinin içinden geçtikten sonra kanala dalan bir su jeti, alıcı havuza önemli miktarda hava bırakır ve göz önüne alınan ara yüzeyle batmış iki fazlı akım bölgesi oluşturur. Kütle transferinin hemen hemen tamamı bu iki-fazlı bölgede gerçekleşir. Bu bölgede oluşan kabarcık yığınının maksimum penetrasyon derinliği, savak havalandırma sisteminin performansını ve mansap havuzunun dizaynını etkileyen en önemli parametrelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Savakların birbirinden farklı akım karakteristiklerinin tahmini, mansap havuzundaki oyulma derinliği için de oldukça önemlidir. Savakların mansabındaki oyulma, savak tipi ile yakından ilgilidir. Burada oyulmanın az veya çok olması savak tipi ve şekli ile alakalıdır. Bu durum literatürde savak tiplerine göre pek incelenmemiştir.

Savakların akım özellikleri ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle, düz bir kanaldan büzülmesiz olarak ve serbest olarak düşen bir napın akım özelliklerini içermektedir. Bu durumda suyun serbest olarak düştüğü kısımlarda yani uç kısımdaki akım derinliği (h_e), kritik akım derinliği (h_c) ve F_j sayıları kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Savaklarda durum tamamen farklıdır. Froude sayısı için densimetrik Froude sayısı veya jet Froude sayısını kullanmak gerekmektedir. Her savak tipinde (ince kenarlı, kalın kenarlı, labirent) ve her savak şeklinde (üçgen, trapez, dikdörtgen) jetin özellikleri birbirinden farklı olmaktadır.

Savaklar hidrolik mühendisliğinde birçok alanda kullanıldığı için, bunların akım özelliklerinin ve mansap havuzundaki iki-fazlı akımın incelenmesi yararlı olacaktır. Bu çalışmada literatürde mevcut olan/olmayan savakların karakteristik özellikleri ile ilgili veriler belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürdeki veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmanın önemli bir kısmını kapsayan savakların penetrasyon derinlikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Literatürde sadece ince kenarlı dikdörtgen savakların penetrasyon derinlikleri için bir eşitlik sunulmuştur, diğerleri için herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır.

Bu çalışmanın asıl amacı, farklı savak tipleri ve şekilleri için savaklardan serbest düşen jetin akım özelliklerini ve penetrasyon derinliklerini, hava kabarcıklarının girişi ile çıkışı arasındaki mesafeleri tespit etmek ve eşitlikler sunmaktır. Penetrasyon derinlikleri (D_p), jet

genişlikleri (J_e), napın üst şekillerinin eşitlikleri, hava kabarcıklarının suya sürüklendiği nokta ile çıkış noktası arasındaki mesafe (L_b) belirlendiği zaman, savakların mansap havuzu veya mansap kanalını, verilecek olan eşitliklerden yararlanarak optimum boyutlarda belirlemek mümkün olacaktır.

Aynı zamanda bu çalışma ile sunulacak veriler, mansap kanalında veya mansap havuzunda oluşacak oyulma problemleri için de bir rehber teşkil edecektir.

Sunulacak eşitlikler, yine balık üretim tesislerindeki havuzların boyutlandırılmasında kullanılabilir. Çünkü mansap havuzunda, minimum D_p kadar mesafe bırakılması gerekmektedir. Ayrıca sunulacak eşitlikler, savak havalandırıcılarının boyutlandırılmasında kullanılabilir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Davis ve diğ. [1], serbest düşen bir jetin alt ve üst napının şeklini belirlemek için, bir çalışma yapmışlardır. Dikdörtgen bir kanaldan serbest olarak düşen bir jetin üst yüzey profilini belirlemek amacıyla parabolik denklem kullanmışlardır. Bu denklemdeki bilinmeyen değerler için ampirik ve yarı ampirik bağıntılar sunmuşlardır. Elde edilen basit ve direkt metotların, üst nap yüzeyinin konumunun tahmini için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca, Rouse (1943)'un napın dik kalınlığının saptanması için verdiği bağıntıyı sunmuşlardır [2]. Bu bağıntı,

$$\frac{J}{h_0} = \frac{2F_j}{1+2F_j} \quad (1)$$

şeklindedir. Burada; J =düşey nap kalınlığı, h_0 =membadaki akım derinliği ve F_j =Froude sayısıdır. Böylece tanımlanması istenen nap profili, kret ucu kenarından itibaren saptanabilmektedir. Eşitliklerin, dolusavağın dizaynı ve serbest düşümlü dolusavakların tasarımında kullanılabileceği yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Davis ve diğ. [3], yaptıkları çalışmalarında; kret ucundaki derinliğin, h_e 'nin, eğim ve pürüzlülükten etkilendiğini ifade etmişlerdir. Bu değer için yazarlar, aşağıdaki bağıntıyı sunmuşlardır.

$$\frac{h_e}{h_c} = 0.8455 - 0.2186 \sqrt{\frac{s}{n}} \quad (2)$$

Burada; s = yatak eğimini ve $h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ bağıntısını göstermektedir.

Yazarlar, deneysel verilerden yararlanarak üst nap profilinin şeklini çıkarmış ve α 'yı Froude sayısı ile ilişkilendirerek aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir.

$$\alpha^\circ = -5.686F_j + 20.555 \quad (3)$$

Araştırmacılar, Hager (1983)'in α açısı için verdiği ifadeyi sunmuşlardır [4];

$$\alpha^\circ = \sqrt{\frac{3(F_j^2 - h_e/h_c)(h_e/h_o - 1)^2}{F_j^2}} \times \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

Burada; h_e/h_o = kret ucundaki boyutsuz su derinliğidir ve

$$\frac{h_e}{h_o} = \frac{F_j^2}{F_j^2 + \frac{2}{5}} \quad (5)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır.

Hem Davis ve diğ. [1] ve hem de Hager'in [4] verdikleri eşitlik savaklar için değil, düz dikdörtgen bir kanaldan düşen nap içindir.

Kobus ve Koschitzky [5], yeniden oksijen kazanımı yönteminin, hava sürüklenmesinin mekaniğini içeren üç ardışık evrede gerçekleştiğini açıklamışlardır. Bunlar; hava girişinin olduğu yerden ve sonlandığı yerden hava taşınmasının mekaniği, çözelti içindeki hava kabarcıklarından oksijen transferi. İlk iki evre yalnızca hidromekaniğe dayanmakta olup, üçüncüsünün ise suyun özelliklerine; sıcaklık, ilk çözünmüş oksijen içeriği, tuzluluk ve suyun kirlilik derecesine bağlı olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir. Ayrıca, oksijen transferinde, penetrasyon derinliğinin oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Yazarlar, savakların penetrasyon derinliği için aşağıdaki eşitliği sunmuşlardır.

$$D_p = 0.00433 Re^{0.39} F_j^{0.24} \quad (6)$$

Burada; $Re = \frac{v.d}{\nu}$ veya $Re = \frac{q_w}{\nu}$ dır.

v =jetin hızı; d =jetin kalınlığı; q_w =birim debi; ν =suyun kinematik viskozitesi ve F_j =jetin Froude sayısını göstermektedir. Froude sayısı:

$$F_j = \frac{v}{\sqrt{gd}} = \left(\frac{\pi \sqrt{2gH^5}}{Q} \right)^{1/4} = \left(\frac{gH^3}{2q_j^2} \right)^{1/4} \quad (7)$$

şeklinde. Burada; g =yerçekimi ivmesi, Q =debi, H =düşme yüksekliği ve q_j =birim debiyi göstermektedir.

Baylar ve Emiroglu [6], farklı şekilli ince kenarlı savakların hava sürüklenme hızı değerlerini belirlemek için bir dizi deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada üçgen şekilli özellikle, 30° ince kenarlı savağın en iyi hava sürüklenme hızına sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar, savak şeklinin, hava sürüklenme hızı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Emiroglu ve Baylar [7], [8] ve [9], farklı tipli savakların hava sürüklenme hızı üzerine yaptıkları çalışmalarında, bu savakların birbirinden oldukça farklı hava sürüklenme hızı değerlerini sahip olduklarını göstermişlerdir. Labirent savakların hava sürüklenme hızı değerlerini tespit etmek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmalarda

araştırmacılar, bu savakların penetrasyon derinlikleri ilgili olarak, makalelerinde kısmen de olsa değinmişlerdir.

Sene [10], suya dalan jetin sürüklediği havanın mekanizması hakkında teorik ve deneysel bir çalışma yapmıştır. Diğer araştırmacılar jetin hızının (v_i) artışıyla birlikte sürüklenen havada da önemli bir değişim olacağını söylemişlerdir. Sene[10], düşük ve yüksek hız rejimlerinde sürüklenen hava oranını (q_0) hesaplayan farklı modeller sunmuştur. Teorik ve deneysel sonuçlar; düşük hızlarda $q_0 \sim v_i^3$, yüksek hızlarda ise $q_0 \sim v_i^{3/2}$ olduğunu göstermiştir. Yüksek hızlı jetler üzerindeki tahminlerde, q_0 değerleri deneysel sonuçlarla bağdaşmaktadır. Yazar, teorik ve deneysel çalışmada, küçük orandaki hava sürüklenme akımı gözlenmesindeki ölçek etkileri ile ilgili birçok sorun öne sürmüştür.

Cummings ve Chanson [11, 12], suya dalan jetin oluşturduğu akım alanındaki hava sürüklenmesi ile ilgili teorik bir çalışma yürütmüşlerdir. Birçok mühendislik uygulamalarında hava-su kabarcık akımları karşılaştırılmıştır. Bunların bir çeşidi, suya dalan jetin oluşturduğu akım bölgesidir. Suya dalan jetin sürüklediği havayı, yaptıkları yeni deneysel çalışmalar ışığında incelemişler ve daha sonra suya dalan iki-boyutlu ve dairesel jetlerin oluşturduğu akım alanlarında hava kabarcıklarının yayılmasını analitik olarak analiz etmişlerdir. Teorik gelişmeler ile suya dalan iki-boyutlu ve dairesel jetlerle yapılan deneylerin verilerini karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, bu çalışmaları ile jetin çarpma hızına bağlı olarak dalma noktasındaki hava sürüklenmesine ışık tutmuşlar ve sonuçta kesme tabakasının içindeki hava kabarcıklarının yayılmasının aslında bir advectif yayılma olduğunu göstermişlerdir.

McKeogh ve Ervine [13], sıvıya dalan jetlerin yayılışı ve hava sürüklenme oranları hakkında bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, çalışmalarının birinci bölümünde jetlerin sürüklediği havanın oranını belirleyen faktörleri incelemişlerdir. Bu faktörler; jetin hızı, jetin çapı, jetin türbülans seviyesi (düz türbülans, çok pürüzlü türbülans) ve ağızlığın ucundan jetin düştüğü yüksekliktir. Bütün bu dört faktörün, hava sürüklenmesinin oranını hesaplamada önemli olduğu kadar jet yüzeyinin pürüzlülüğü ve jetin dağılma eğiliminin derecelerini hesaplamada da önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, deneylerin yapıldığı şartlarda gaz sürüklenme oranını hesaplayabilmek için de ayrı bir deneysel ilişki geliştirmişlerdir.

Yazarlar, ikinci kısımda ise pürüzlü ve düz jetlerin iki fazlı akım ortamında yayılma bölgelerinin kapsamını incelemişlerdir. Her iki çeşit jetin de mansap havuzunda çok farklı sürüklenme modelleri ürettiklerini göstermişlerdir. Sonuçta ise, derinliği, kapsamı ve havalandırılmış bölgenin hava konsantrasyonunu veren iki grup açıklama sunmuşlardır.

Ito ve diğ. [14], düşey sıvı jetin, sürüklediği hava kabarcıklarının maksimum penetrasyon derinliğini incelemişlerdir. Düşey bir sıvı jet havalandırma sisteminde, ağızlık geometrisinin maksimum penetrasyon derinliğine etkisini, hava sürüklenme oranı ve jet yüzeyi düzensizliği ile

ilişkilendirerek araştırmışlardır. Araştırmacılar, boyutsuz ağızlık uzunluğu 15'e kadar arttığında penetrasyon derinliğinin düştüğünü, ancak büzülme açısı 90°'den düşük ağızlıklar için boyutsuz ağızlık uzunluğu 15'i aşınca penetrasyon derinliğinin sabit olduğunu göstermişlerdir. Büzülme açısı 90° olan ağızlıklar için, penetrasyon derinliği ağızlık uzunluğundan bağımsızdır. Penetrasyon derinliğini etkileyen jet uzunluğu ve jet hızı gibi parametreler de yazarlar tarafından değerlendirilmiş ve düşey sıvı jetin neden olduğu maksimum penetrasyon derinliğini hesaplamak için ampirik korelasyonlar sunmuşlardır.

Clanet ve Lasheras [15], suya dalan jetin sürüklediği kabarcıkların penetrasyon derinliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar, sıvı dolu, düz bir havuza çarpan su jetinin sürüklediği hava kabarcıklarının penetrasyon derinliğini hesaplamak için bir model sunmuşlardır. Bu derinliği, ilk jet momentumunun ve tekdüze olmayan kabarcık uç hızlarının durumunu, büyüklüklerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması için göstermişlerdir. Yazarlar, sundukları modelin, geniş bir jet çapı, jet hızı ve jet dalma açısı aralığında elde edilen penetrasyon derinliği ve genişliğinin ölçülmesi için çok uygun olduğunu göstermişlerdir.

Kumagai ve diğ. [16], suya dalan jetin sürüklediği kabarcık yığınının penetrasyon derinliği üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Bin [17], sıvıya dalan jetin gazı sürüklemesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Suya dalan jetin sürüklediği gaz ile ilgili yapılmış, elde mevcut bütün deneysel ve teorik çalışmaların sonuçlarını kapsamlı bir şekilde sunmuştur. Ayrıca araştırmacı; sürüklenmenin başlangıcı ve mekanizması, sürüklenen gazın miktarı, kabarcık yayılmasının karakteristiği (kabarcık boyutu, kabarcığın penetrasyon derinliği, gaz engeli ve kabarcık kalma zamanı) ve kütle transferi hakkında da görüşünü sunmuştur. Sürüklenmeyi karakterize eden uygun niceliklerin tahminine olanak sağlayan ampirik korelasyonların bulunduğu çalışmaları da mümkün olduğu kadar sunmaya çalışmıştır. Araştırmacı; fermentasyonda, çöp arıtımında ve flotasyon endüstrisinde suya dalan jet havalandırıcılarının pratik uygulamalarını yeniden gözden geçirmiş ve geleneksel havalandırma sistemi ile performansını karşılaştırmıştır.

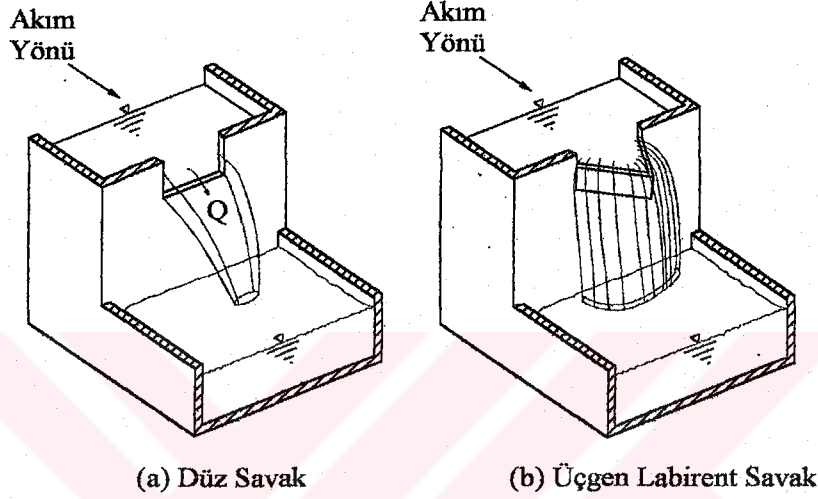
Nakasone [18], savaklarda ve kaskatlardaki havalandırma ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Birçok araştırmacı, savak havalandırılmasında düşme yüksekliği, debi ve kuyruk suyu derinliği parametrelerinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ancak, yazarın sunduğu eşitlik hariç, verilen eşitliklerin hiçbirinde bu parametreler bulunmamaktadır. Nakasone'in [18] verdiği eşitliğin doğruluğu, Japonya'daki laboratuvarlarda yapılan testlerle, bu alandaki çeşitli savaklarla yapılan ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak ispatlanmıştır. Bu ölçümler, Netherlands'daki Meuse Nehri ve Hague şehrinin içme suyu şebekesi üzerindeki kaskatlarda yapılmıştır. Sonuçlar, tatmin edici ve ümit vericidir. Yazar, penetrasyon derinliğinin oksijen

kazanımında önemli olduğunu vurgulamış ve deneylerinde buna dikkat ettiğini ifade etmiştir. Fakat savakların penetrasyon derinliklerini incelememiştir.

Apted ve diğ. [18], [19], [20], kuyruk suyu derinliğinin, kütle transferini etkileyen önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Grindrod (1962) ve Albrecht (1968) kuyruk suyu derinliğinin artmasıyla birlikte havalandırmanın etkisinin de artacağına işaret etmişlerdir [21], [22]. Bununla birlikte, bir limitin olması gerekir çünkü, hava kabarcıkları sonsuz bir derinliğe kadar gidemeyecektir. Gerçekten debinin, düşme yüksekliğinin ve savak tipinin her bir kombinasyonu için, yaklaşık bir maksimum derinlik belirlemek gerekir. Nakasone'nin (1987), (1975), (1976) yaptığı çalışmalar, savak havalandırmasının deneysel incelemelerine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur [18], [23], [24]. Nakasone [18] hava kabarcıklarının, enerji kırıcı havuzun tabanına ulaşması ya da ulaşmaması durumunu incelememiştir. Nakasone [18] kuyruk suyu derinliğinin, düşme yüksekliğinin $2/3$ 'ü kadar olmasını önermiştir. Bununla birlikte, penetrasyon derinliği ve serbest düşen jetin genişliğinin, her bir savak tipi ve şekli için farklı olacağını belirtmiş ve penetrasyon derinliğini, yalnızca düşme yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak vermenin doğru olmayacağını ileri sürmüştür.

3. SAVAKLAR VE SAVAKLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

Suyun debisini ölçmek amacıyla açık bir kanal eksenine dik olarak yerleştirilmiş, üzerinden su akıtan yapılara savak denir. Savağın üzerinden akan su yüzeyine kret, akan su huzmesine ise nap denmektedir. Savaklar genel olarak iki gruba ayrılırlar; ince kenarlı savaklar ve kalın kenarlı savaklar.



Şekil 3.1 Savaklar üzerinden serbest düşen jetin akım örnekleri [9]

3.1 İnce Kenarlı Savaklar

Bu tip savaklar uygun ölçülerde, plastik veya metal malzemeden yapılırlar. USBR (Birleşik Devletler Arazi Islah Çalışmaları Bürosu) tarafından ince kenarlı savaklar üzerinde yapılan çalışmalarda aşağıdaki şartların sağlanması gerektiği belirlenmiştir.

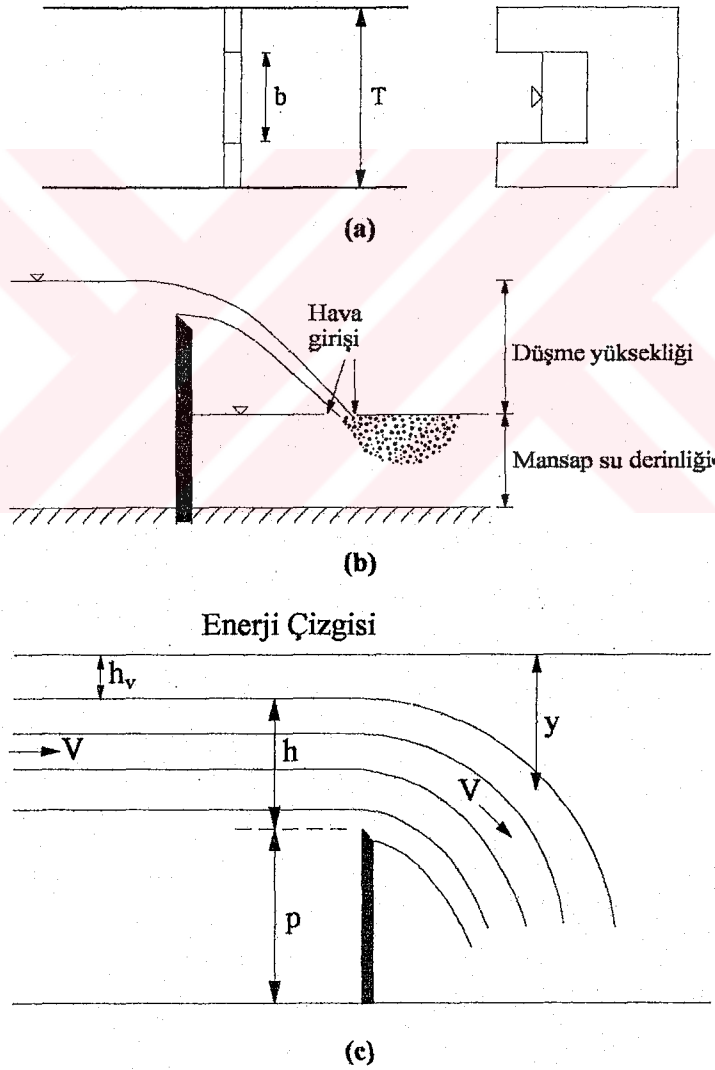
- Savak tabakasının memba yüzü düşey, pürüzsüz ve kanal akışıyla dik olmalıdır.
- Kretin en üst kalınlığı ve kenar tabakaları 0.03 ve 0.08 inç (1 inç=2.54 cm) arasında olmalıdır.
- Savağın kenarları bir düzlemde birleşmeli ve uygun açılara sahip olmalıdır.
- Tüm savak tabakasının kalınlığı aynı olmalıdır. Eğer tabakalar ikinci maddede belirtilen ölçülerden daha kalınsa, tabaka gerekli kalınlığa kadar inceltilmelidir.
- Savak memba kenarı, düz ve keskin olmalıdır.
- Taşan su tabakası veya nap sadece kretin memba yüzüne ve kenarlarına dokunmalıdır.

- Maksimum mansap su yüksekliği, kret yüksekliğinin altında ve en az 0.2 ft (1 ft=0.3048 m) olmalıdır.
- Napın, savağın mansap kısmına yapışmasını engellemek için, ölçülen yükseklik en az 0.2 ft olmalıdır.

İnce kenarlı savaklar genellikle; ince kenarlı dikdörtgen savaklar, ince kenarlı üçgen savaklar ve Cipolletti savağı olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır.

3.1.1 İnce Kenarlı Dikdörtgen Savaklar

İnce kenarlı dikdörtgen savaklarda, savağın kreti, napın alt ve üst yüzeyi yataydır. Şekil 3.2.a-c'de savağın kesiti, napın şekli ve savak üzerindeki akım görülmektedir.



Şekil 3.2.a-c İnce kenarlı dikdörtgen savak ve üzerindeki akım

Savağın memba tarafında, su yüzeyinde bulunan bir nokta ile savağın bulunduğu kesitte, enerji çizgisinin y kadar altında bulunan bir nokta arasında Bernoulli Denklemi yazılırsa [25],

$$p+h+h_v=p+(h+h_v-y)+v^2/2g \quad (8)$$

Burada; p=savak yüksekliğini, h=nap yükünü, h_v =membra tarafındaki hız yüksekliğini gösterir. $h_v=(v^2/2g)$ 'dir. Enerji çizgisinin y kadar altında bir noktadaki hız v ile gösterilmiştir.

Buradan;

$$v=\sqrt{2gy} \quad (9)$$

Buna göre teorik debi Q_t ;

$$Q_t=\int_0^h v dA=\int_0^h v b dy=\sqrt{2g} b \int_0^h y^{1/2} dy \quad (10)$$

$$Q_t=\frac{2}{3} \sqrt{2g} b h^{3/2} \quad (11)$$

$$Q=\frac{2}{3} C_b \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (12)$$

Yukarıdaki denklemde, b=savak genişliğini ifade eder. Yapılan deneylerde su napının daralması ve meydana gelen yük kayıplarından dolayı debide %62.2 oranında azalma görülmüştür. Yani $Q=0.622Q_t$ 'dir. Genel olarak bir C debi katsayısı ile ifade edilir ve $Q=C*Q_t$ olarak yazılır. C katsayısı Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. İnce kenarlı dikdörtgen savak için debi katsayısı

b/T	C
1.0	$C=0,602+0,075h/p$
0.9	$C=0,599+0,064h/p$
0.8	$C=0,597+0,045h/p$
0.7	$C=0,595+0,030h/p$
0.6	$C=0,593+0,018h/p$
0.5	$C=0,592+0,011h/p$
0.4	$C=0,591+0,0058h/p$
0.3	$C=0,590+0,0020h/p$
0.2	$C=0,589-0,0018h/p$
0.1	$C=0,588-0,0021h/p$
0	$C=0,587-0,0023h/p$

İnce kenarlı dikdörtgen savaklar iki grupta incelenmektedir:

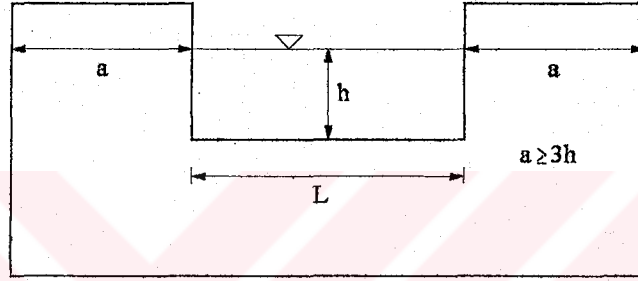
a- **Büzülmesiz savak:** Kanalin bir ucundan diğer ucuna uzanan yatay bir kreti mevcuttur. Denklem (12) büzülmesiz savak için verilmiştir.

b- Büzülmeli savak: Savaktan suyun aktığı açıklığın genişliği değişik olabilir. Suyun savak üzerindeki "h" yüksekliğinin, 2 metre memba tarafında ölçülmesi tavsiye edilmektedir. Değerler Francis formülünde yerine konur.

$$Q = 1.83(L - 0.2h)h^{3/2} \quad (13)$$

Burada; Q=Savaktan geçen suyun debisi (m³/s), L=Suyun aktığı açıklığın genişliği (m), h=Suyun savak üzerindeki yüksekliği (m).

Savaktan suyun aktığı bölümün yanlarındaki yüksek kısmın yatay uzunluğu "a" ise $a \geq 3h$ olmalıdır (Şekil 3.3). Savak imal edilirken metal plakanın eninin ve boyunun hesabında, taban ve yanlardan betonun içine girecek 5~6 cm'lik kısım göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.3 Büzülmeli ince kenarlı dikdörtgen savak kesiti

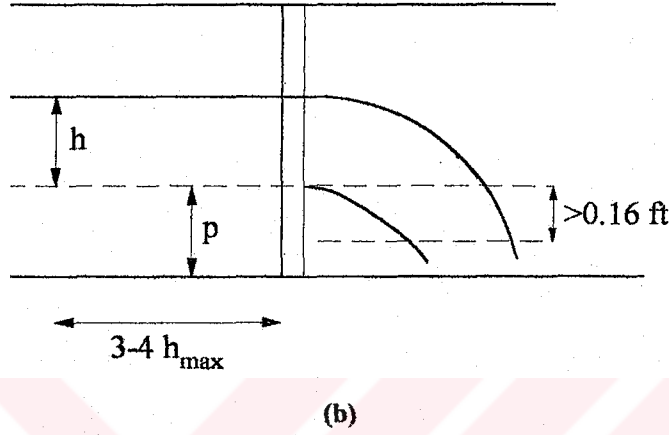
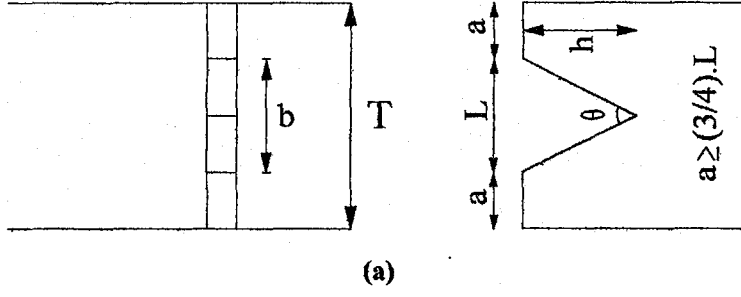
3.1.2 İnce kenarlı üçgen savaklar

Dikdörtgen savaklarda, küçük debilerin ölçülmesinde bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle küçük debilerin ölçülmesinde, üçgen savakların kullanılması daha hassas sonuçlar vermektedir. Suyun üzerinde aktığı taban açısına göre çeşitli üçgen şekilli savaklar vardır. Bu açı 30°, 45°, 60°, 90° olabilmektedir. Ölçülecek debi ne kadar az ise, o oranda taban açısı küçük olan bir savak tercih edilmesi önerilmektedir. Üçgen açıklığın her iki kenarı dışa yontuk olmalıdır. "h" yüksekliği taban açısının bulunduğu noktadan ölçülür ve bulunan değerler Gourley-Crimp formülüne uygulanır [26]. Bu formülün kullanımı uygulamada oldukça yaygındır.

$$Q = 1.32 \tan \frac{\alpha}{2} h^{2.47} \quad (14)$$

Burada; Q=Savaktan geçen suyun debisi (m³/s), h=Suyun savak üzerindeki yüksekliği (m), α =Savağın taban açısı (°). 90° ince kenarlı üçgen savak için Gourley-Crimp formülü,

$Q = 1.32 h^{2.47}$ şeklinde olmaktadır.

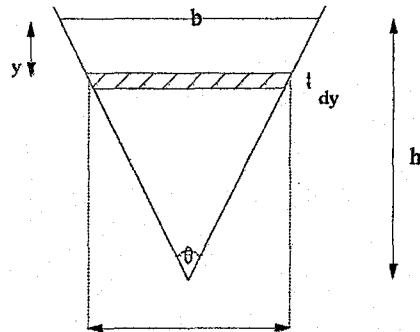


Şekil 3.4.a-b İnce kenarlı üçgen savağın görünüşü ve kesiti

Üçgen savaklar da kendi arasında kısmi ve tam büzülmeli olmak üzere iki gruba ayrılır. Bir üçgen savağın kısmi yada tam büzülmeli olması için aşağıdaki şartları tam olarak sağlaması gerekmektedir [27].

Kısmi Büzülmeli	Tam Büzülmeli
$h/p \leq 1.2\text{ft}$	$h/p \leq 0.4\text{ft}$
$h/T \leq 0.4\text{ft}$	$h/T \leq 0.2\text{ft}$
$0.16 \leq h \leq 2\text{ft}$	$0.16 \leq h \leq 2.5\text{ft}$
$p \geq 0.3\text{ft}$	$p \geq 1.5\text{ft}$
$T \geq 2\text{ft}$	$T \geq 3$

İnce kenarlı üçgen savaklar için debi formülü;



Şekil 3.5 İnce kenarlı üçgen savak üzerinde notasyonların gösterilmesi

y derinliğindeki hız; $v = \sqrt{2gy}$

Teorik debi; $Q_t = \int v dA = \int_0^h v x dy$

Benzer üçgenlerden; $\frac{x}{b} = \frac{h-y}{y}$

Buradan; v ve x değerleri yerlerine yazılırsa,

$$Q_t = \int_0^h \sqrt{2gy} (h-y) \frac{b}{y} dy \quad (15)$$

$$Q_t = \sqrt{2g} \frac{b}{h} \int_0^h y^{1/2} (h-y) dy \quad (16)$$

$$Q_t = \sqrt{2g} \frac{b}{h} \int_0^h (hy^{1/2} - y^{3/2}) dy \quad (17)$$

$$Q_t = \sqrt{2g} \frac{b}{h} \left[\frac{2}{3} h^{5/2} - \frac{2}{5} h^{5/2} \right] \quad (18)$$

$$Q_t = \frac{4}{15} \sqrt{2g} \frac{b}{h} h^{5/2} \quad (19)$$

elde edilir. b/h değerini, üçgen savağın θ açısı cinsinden ifade edersek;

$$\frac{b/2}{h} = \tan \frac{\theta}{2} \longrightarrow \tan \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2h}$$
$$Q_t = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) h^{5/2} \quad (20)$$

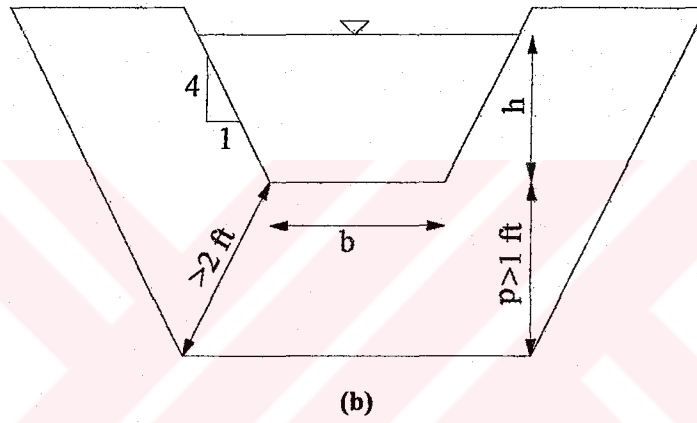
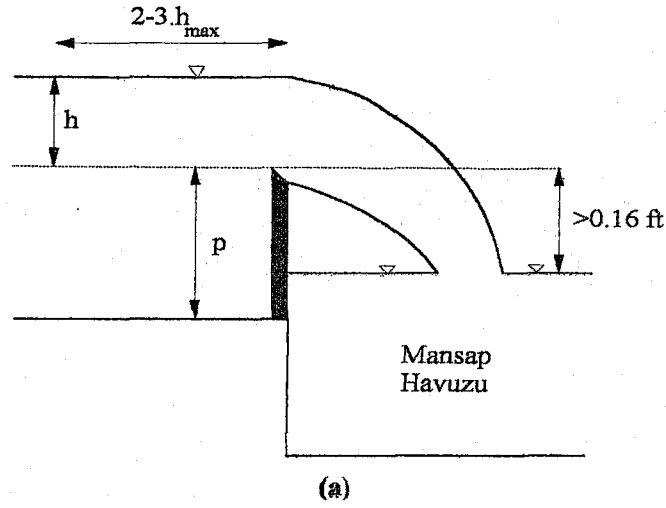
gerçek debi yine bir C katsayısı ile Q_t 'nin çarpılması ile bulunur [25].

3.1.3 Cipolletti Savağı (Trapez Savak):

Cipolletti savağı tam büzülmeli, ince kenarlı trapez savağın değişik bir şeklidir. Savakta, trapez bir kontrol kısmı mevcuttur. Savağın eğimi 4:1 (4 düşey, 1 yatay) şeklindedir. Ayrıca savak, yatay bir krete sahiptir. Cipolletti savağında debi denklemi aşağıdaki gibidir.

$$Q = 3.367 \cdot b \cdot h^{3/2} \quad (21)$$

Burada; Q=debi (ft³/sn), b=savak kretinin genişliği (ft), h=savak kreti üzerindeki yüksekliktir (ft).



Şekil 3.6.a-b Cipolletti savağının kesiti ve görünüşü

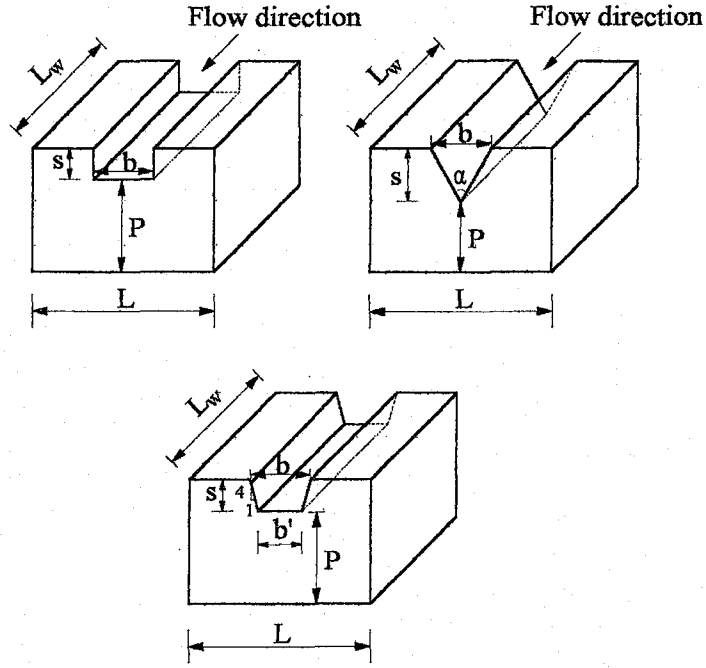
3.2. Kalın Kenarlı Savaklar

Kalın kenarlı savaklar, yatay kret uzunluğuna sahip ve akım çizgileri krete paralel olan hidrolik yapılardır. Kalın kenarlı savaklarda aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır.

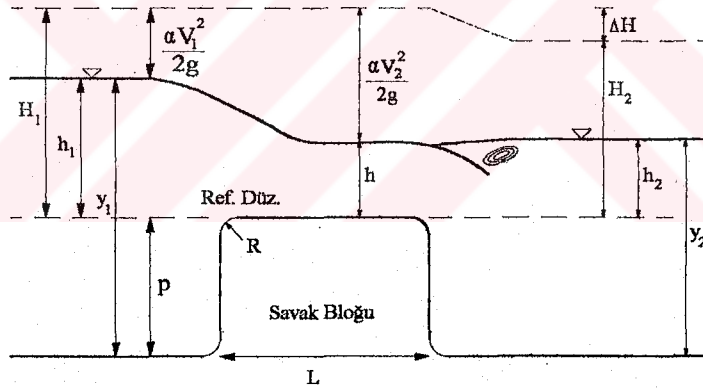
$$0.08 \leq \frac{H_1}{L} \leq 0.33 \quad (22)$$

Eğer H_1/L oranı 0.08'den küçük olursa, savak kreti üzerindeki enerji kaybı ihmal edilmez ve kret üzerinde küçük dalgalar oluşabilir. Bu durumda savak debi ölçmek için kullanılamaz. Eğer eşitlikte verilen iki değer arasında ise, bu durumda savak debi ölçmek için kullanılabilir. H_1/L nin artması ile savak kısa kenarlı savak sınıfına dahil olur.

Şekil 3.7'de dikdörtgen, üçgen ve trapez şekilli kalın kenarlı savaklar görülmektedir. Şekil 3.8'de ise kalın kenarlı bir savak üzerindeki akımın şekli görülmektedir.



Şekil 3.7 Kalın kenarlı dikdörtgen, üçgen ve trapez savaklar [8]



Şekil 3.8 Kalın kenarlı savak üzerindeki akım

Kalın kenarlı savakların teorik analizi Bernoulli eşitliği ile yapılabilir. Memba kesiti ve blok üzerinde herhangi bir kesit dikkate alınarak Bernoulli eşitliği yazılırsa (Şekil 3.8),

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g} \quad (23)$$

Genellikle yukarıdaki denklem aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$H_1 = h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (24)$$

Burada yaklaşık hız,

$$v_1 = \frac{Q}{B(p + h_1)} \quad (25)$$

ve B dikdörtgen kesitli bir kanalın genişliğidir. Savak bloğu üzerindeki hız,

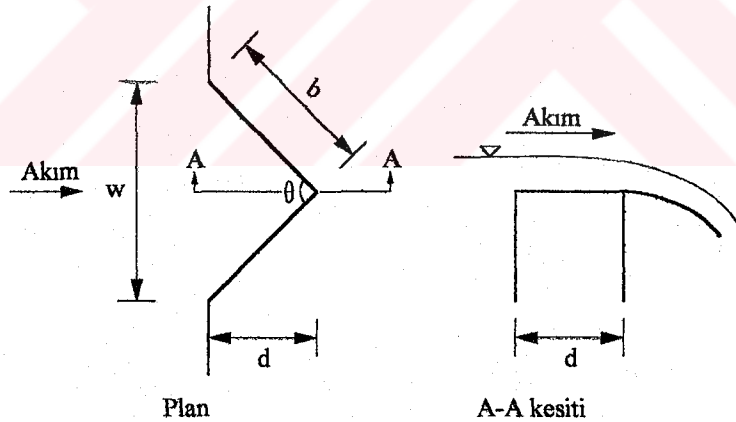
$$v = \sqrt{2g(H_1 - h)} \quad (26)$$

Böylece, savak üzerindeki birim debi,

$$q = h\sqrt{2g(H_1 - h)} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

3.3 Üçgen Labirent savaklar

Üçgen labirent savaklar, kreti düz olmayan savaklardır. Bu artan kret uzunluğu labirent savaklara, memba seviyesinin düşmesi gibi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kret boyu arttırıldığı için daha fazla debi geçirmektedirler. Şekil 3.9'da üçgen labirent savak plan ve boykesiti verilmiştir.



Şekil 3.9 Üçgen labirent savak plan ve boykesiti

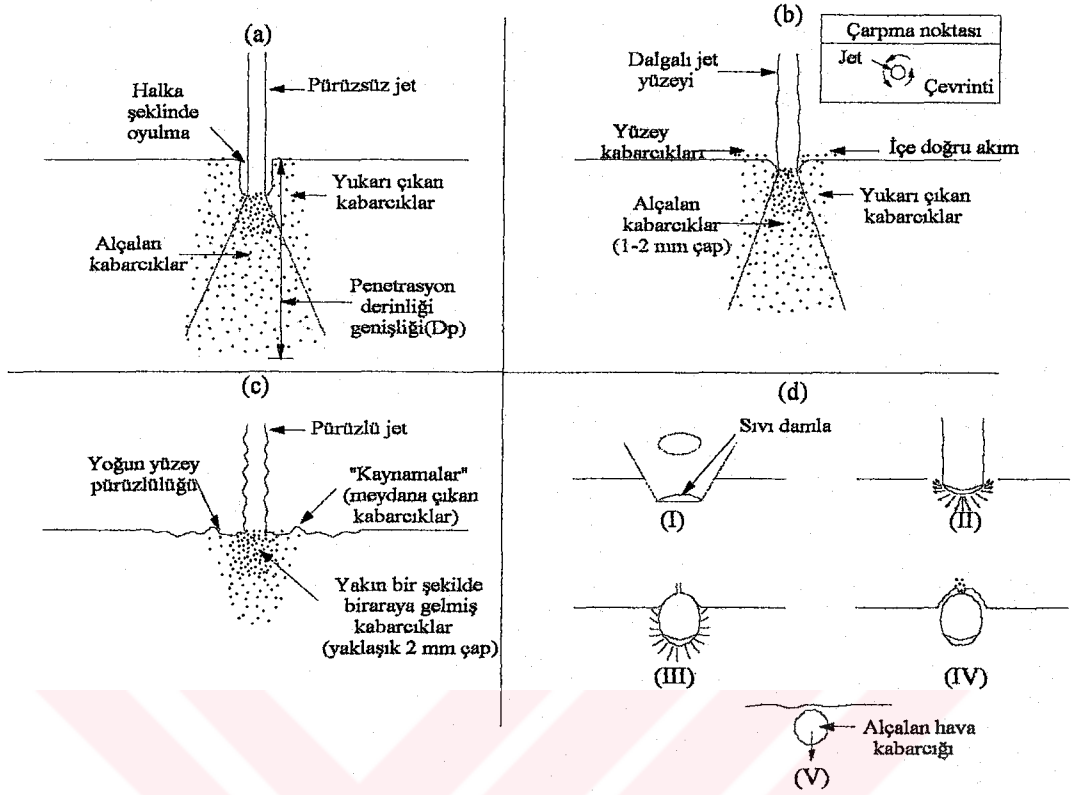
3.4. Savakların Penetrasyon Derinliği

Su jeti tarafından mansap havuzuna sokulan kabarcıklar mansap havuzu içerisinde iki fazlı akım bölgesi oluşturmaktadır. Bu kabarcıklar mansap havuzunda belirli bir derinliğe kadar inmektedir. Kabarcıkların indiği bu derinlik ile su yüzeyi arasındaki düşey mesafe penetrasyon derinliği olarak isimlendirilmektedir. Penetrasyon derinliği; savak tipi ve şekli, debi, düşme yüksekliği ile büyük ölçüde değişmektedir. Küçük debilerde, mansap su yüzeyine çarpan jetin

momentumu, kabarcıkların derine taşınmasında yetersiz kalmaktadır. Büyük debilerde, mansap su yüzeyine çarpan jetin momentumu, mansap havuzuna sokulan kabarcıkları daha derinlere taşıyabilmektedir.

Penetrasyon derinliği, düşme yüksekliği ile de yakından ilgilidir. Küçük düşme yüksekliklerinde penetrasyon derinlikleri az olmaktadır. Çok büyük düşme yüksekliklerinde ise, jette kırılmalar ve parçalanmalar gözlenmektedir (Şekil 3.10). Bu kırılma ve parçalanmalar da penetrasyon derinliğinin azalmasına ve mansap havuzuna çok daha az hava kabarcığının girmesine neden olmaktadır. Mansap havuzuna çok miktarda hava kabarcığı sokmak için düşme yüksekliğinin debiye bağlı olarak uygun seçilmesi gerekmektedir.

Mevcut savak tipi, debi ve düşme yüksekliği için mansap havuzu, penetrasyon derinliğinin en alt noktası altında belirli bir mesafe kalacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Sulardaki en önemli kalite parametrelerinden biri, su içerisindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonudur. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle, sudaki oksijen konsantrasyonu zamanla azalmaktadır. Su içerisindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu artırmak için fiziksel olarak oksijen transfer işlemleri uygulanır. Fiziksel olarak oksijen transfer işlemleri; oksijenin, atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılmasıdır. Oksijen transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması gerekmektedir. Penetrasyon derinliği oksijen transferinde oldukça önemlidir. Aynı zamanda kabarcıkların su içerisinde kalma zamanları da bu işlem için önemlidir. Hidrolik yapılarla meydana getirilen çok miktardaki hava kabarcığı yardımıyla kütle transferi için mevcut olan yüzey alanı önemli ölçüde artar. Böylece suda hızlı bir şekilde oksijen kazanımı temin edilmiş olur. Örneğin basamaklı dolu savaklar kullanılarak su içerisindeki çözülmüş oksijen miktarı doygunluk derecesine, hatta aşırı doygunluk derecesine getirilebilir.



Şekil 3.10 Farklı türbülans şiddetine sahip jetlerle hava taşınmasına ait mekanizmalar; (a) halkalı titreşim mekanizması, (b) çevrintili (vortex) akım mekanizması, (c) türbülanslı borulanma mekanizması, (d) sıvı damlalı taşınım mekanizması

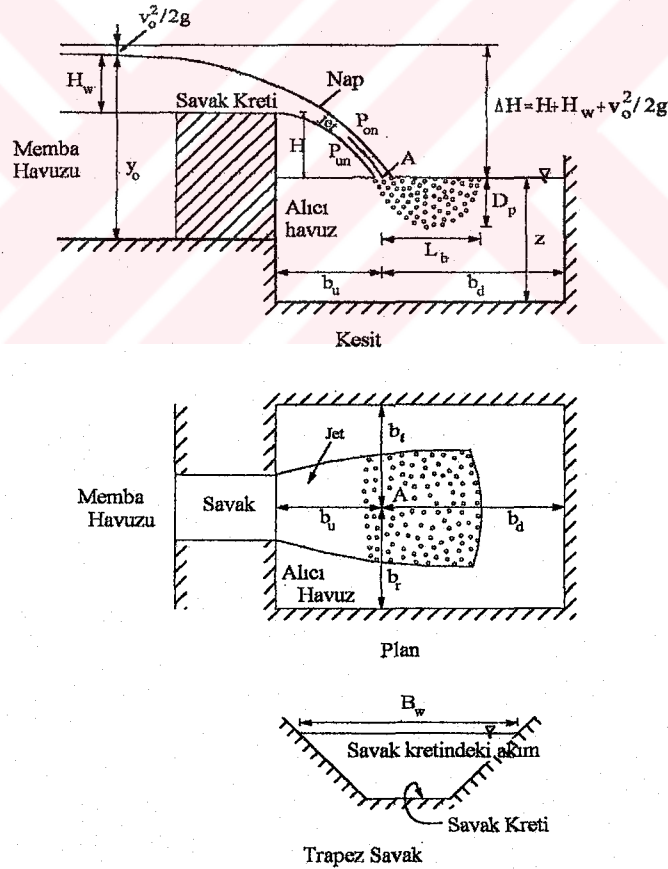
Sulardaki çözünmüş oksijen miktarı hem suyun kalitesini gösteren bir özellik, hem de suda yaşayan canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gereken çok önemli bir kriterdir. Savak, su jeti, basamaklı dolu savak, düşülü kuyu, orifis, sifon ve kaskat gibi hidrolik yapılar, sudaki çözülmüş oksijen miktarını arttırabilmektedir. Bu oksijen alımı, çok miktarda hava kabarcığının mansap havuzu içerisine aktarılması ile sağlanmaktadır. Ne kadar çok hava kabarcığı mansap havuzu içerisinde bir yol takip ederek su içerisinde kalırsa, oksijen alma miktarı da fazla olur. Bu nedenle penetrasyon derinliği oksijen transferi konusunun en önemli parametrelerindendir. Farklı savakların penetrasyon derinliklerini bilmek, hem oksijen kazanımına, hem de gereksiz hacimdeki mansap havuzlarının seçilmemesine katkıda bulunacaktır.

4. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMANIN BOYUT ANALİZİ

Maksimum penetrasyon derinliği ve etkileyen parametreleri içeren fonksiyonel ilişki;

$$D_p = f_1[\Delta H, B_w, q_j, \rho, \Delta\rho, g, \mu, \sigma, P_{on}, \Delta P, z, b_r, b_l, b_d, b_u] \quad (27)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; D_p =maksimum penetrasyon derinliği, ΔH =mansap havuzu ve savak kreti üzerindeki akım arasındaki enerji farkı, B_w =savak kreti üzerindeki su yüzeyi genişliği, q_j =savak kretindeki birim su yüzeyi genişliğinde ölçülen debi ($q_j=Q/B_w$, Q =savaktan geçen toplam debi), ρ =sıvının yoğunluğu (su), $\Delta\rho=\rho-\rho_a$; ρ_a =gazın yoğunluğu (hava), g =yerçekimi ivmesi, μ =sıvının viskozitesi (su), σ =sıvının yüzey gerilmesi (su), P_{on} =jetin dış napı üzerindeki atmosfer basıncı, P_{un} =jetin iç napı üzerindeki atmosfer basıncı (napın altındaki), $\Delta P=(P_{on}-P_{un})$, z =mansap havuzundaki akımın derinliği, b_r , b_l , b_d , b_u =alıcı havuzun sağ taraf, sol taraf, memba ve mansap duvarlarından jetin alıcı havuzda su yüzeyine çarptığı merkez noktasına olan mesafedir. Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Penetrasyon derinliği ile fonksiyonel ilişkisi olan notasyonlar

Şekildeki, $\Delta H = H + H_w + V_o^2 / 2g$ 'ye dikkat edilmelidir.

Burada; H =savak kretinin alıcı havuzdaki su yüzeyi seviyesine göre düşey yüksekliği (düşme yüksekliği vb.), H_w =savak kreti ve memba havuzundaki su yüzeyi arasındaki düşey mesafe, V_o =membra havuzundaki ortalama akım hızıdır. H_w savağın membası için yeterli mesafeden ölçülüyorsa (kritik derinliğin 4-7 katından daha fazla vb.), $V_o^2 / 2g$ genelde ihmal edilir. Bu yüzden;

$$\Delta H = H + H_w \quad (28)$$

alınabilir. Burada; jet içindeki hava sürüklenmesinin, hava ve serbest jetin (nap) yüzeyi arasındaki kesme hızına dayandığından bahsedilebilir. Bununla birlikte, sıvı ve alıcı havuz içerisindeki kabarcık bulutu civarındaki akım durumları çok komplekstir. Bu sebeplerden dolayı, ortalama akım hızı boyut analizinde etkili faktör olarak kabul edilemez. Ortalama akım hızı, niceliklerin tahmini ile bulunabilir.

Boyut analizinde, etkili varyasyon olarak ortalama akım hızı yerine birim su yüzeyi genişliğindeki debi tercih edilir. (27) eşitliğindeki boyut analizinden;

$$\frac{D_p}{\Delta H} = f_1 \left[F_j, Re_j, W, E_u, \frac{z}{B_w}, \frac{b_r}{B_w}, \frac{b_l}{B_w}, \frac{b_d}{B_w}, \frac{b_u}{B_w}, \frac{\Delta P}{P_{on}} \right] \quad (29)$$

elde edilir. Burada;

$$F_j = \text{jet Froude sayısı} = \left[\frac{gh^3}{2q_j^2} \right]^{1/4};$$

$$Re_j = \text{jet Reynolds sayısı} = \frac{q_j}{\nu} \quad (\nu = \mu/\rho);$$

$$W = \text{jet Weber sayısı} = \frac{\rho q_j^2}{B_w \sigma} \text{ ve}$$

$$E_u = \text{jet Euler sayısı} = \frac{q_j}{B_w \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho}}}$$

Bu çalışmada, jet napı serbestçe havalandırıldığından, atmosfere açık olduğundan ve savakların üstündeki napa tutunmadığından, $\Delta P / P_{on}$ 'un fiziksel bir önemi yoktur ve ölçek etkileri, Weber ve Euler sayılarının etkileri hava sürüklenmesi problemlerinde ihmal edilmektedir [28]. Bu sebeplerden dolayı (27) eşitliği;

$$\frac{D_p}{\Delta H} = f_1 \left[F_j, Re_j, \frac{z}{B_w}, \frac{b_r}{B_w}, \frac{b_l}{B_w}, \frac{b_d}{B_w}, \frac{b_u}{B_w} \right] \quad (30)$$

$$\frac{D_p}{\Delta H} = f_1[F_j, Re_j] \quad (31)$$

şekline dönüştür.

Benzer boyut analizi

L_b =kabarcık bölgesinin uzunluğu;

b_u =mansap havuzunda ve memba arka duvarında jetin çarptığı noktanın yatay mesafesi için yürütülürse,

$$\frac{L_b}{\Delta H} = f_2\left[F_j, Re_j, \frac{z}{B_w}, \frac{b_r}{B_w}, \frac{b_l}{B_w}, \frac{b_d}{B_w}, \frac{b_u}{B_w}\right] \quad (32)$$

$$\frac{L_b}{\Delta H} = f_2[F_j, Re_j] \quad (33)$$

$$\frac{b_u}{\Delta H} = f_3[F_j, Re_j] \quad (34)$$

$$\frac{J_e}{\Delta H} = f_4[F_j, Re_j] \quad (35)$$

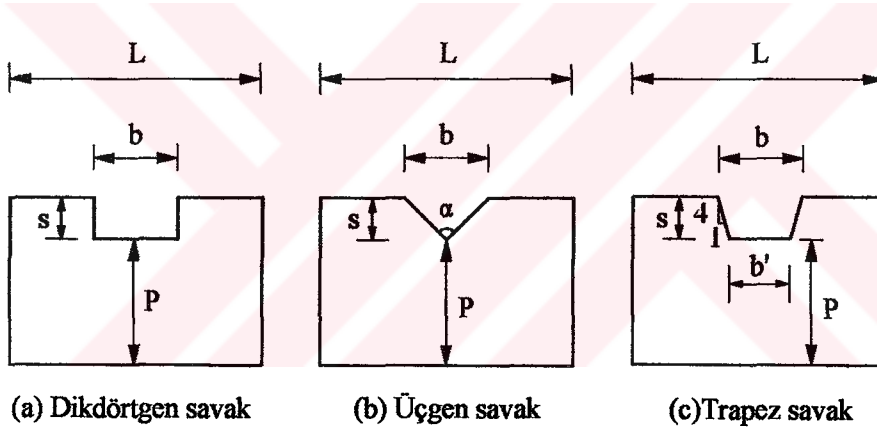
elde edilir.

D_p , L_b , b_u ve J_e su yüzeyindeki jetin etkisinden önceki durum olduğundan (31), (33), (34), (35) eşitliklerinde gösterilen z , b_r , b_l , b_d ve b_u 'dan bağımsızdır.

5. MATERYAL VE METOT

Savakların penetrasyon derinliği, jet genişliği, kabarcık bölgesi uzunluğu ve jet yörüngesi için eşitlikler sunmak bir dizi deneyler yürütülmüştür. Laboratuar deneyleri, ince kenarlı dikdörtgen savaklar ($b=10, 20$ ve 30 cm), ince kenarlı trapez savak (Cipolletti, 4 düşey 1 yatay), ince kenarlı üçgen savaklar ($\theta=45^\circ, \theta=90^\circ, \theta=135^\circ$), üçgen labirent savaklar ($\theta=45^\circ, \theta=90^\circ$ ve $\theta=135^\circ$), kalın kenarlı dikdörtgen savaklar ($b=10, 20$ ve 30 cm), kalın kenarlı trapez savak (Cipolletti, 4 düşey 1 yatay), kalın kenarlı üçgen savaklar ($\alpha=30^\circ, \alpha=60^\circ, \alpha=90^\circ$ ve $\alpha=120^\circ$) ile yapılmıştır. Şekil 5.1(a-c)'de ince kenarlı savaklar, Şekil 7'de kalın kenarlı savaklar ve Şekil 3.9'da ise labirent savak görülmektedir.

Her bir savak konfigürasyonu 1 L/s'den 5 L/s kadar 1 L/s'lik debi aralıklarında test edilmiştir. Su yüzeyi seviyeleri 0.1 mm'ye kadar okuma yeteneğine sahip limnimetreler kullanılarak ölçülmüştür. Limnimetre ölçümleri, sabit akım durumlarına ulaşıldıktan sonra alınmıştır. Savağın memba ve mansap kısmındaki su seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanan düşme yüksekliği (H), 0.20 m'den 1.00 m'ye 0.20 m'lik adımlarla değiştirilmiştir.

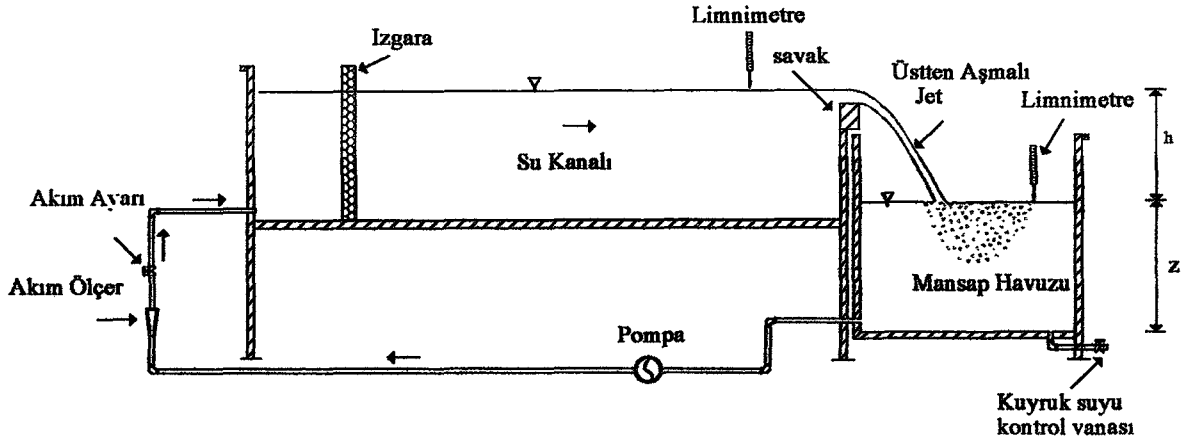


Şekil 5.1.a-c Deneyler için kullanılan ince kenarlı savak çeşitleri

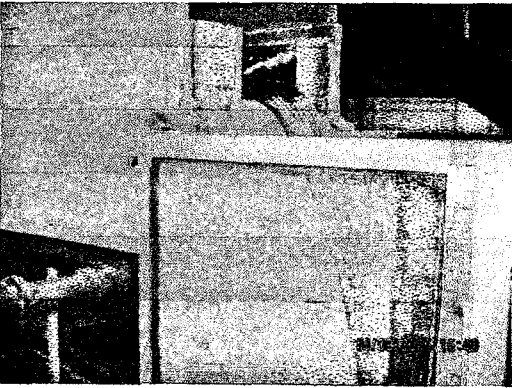
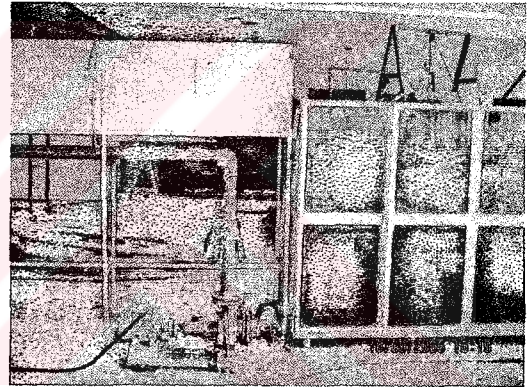
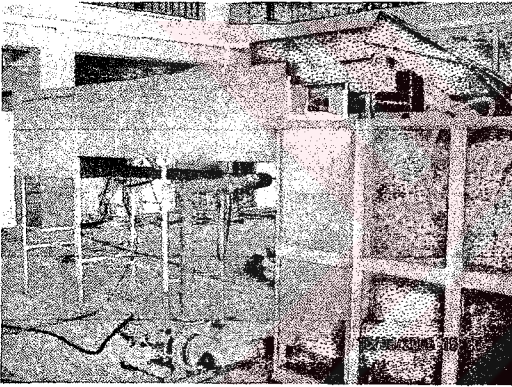
Şekil 5.2'de çalışmada kullanılan laboratuar düzeneği, şekil 5.3'te deney düzeneğinin fotoğrafları görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan kanalın uzunluğu 3.40 m, genişliği 0.60 m ve derinliği 0.60 m'dir. Kanal, düz yatay sac yataktan ve düşey cam yan duvarlardan inşa edilmiştir. Su ise, bir pompa ile kanal içerisinde devir daim ettirilmiştir. Su jeti, deneyi yapılan savaktan mansap su havuzunun içine dalmaktadır. Yüksekliği, serbest bir vana kullanılarak ayarlanmıştır. Cam duvarlardan yapılmış olan mansap su havuzu 1.75 m uzunluğunda, 1.50 m genişliğinde ve 2 m yüksekliğindedir.

Su yüzeyinden, batmış iki fazlı bölgenin en alt noktasına olan düşey mesafe olarak tanımlanan, jetin ürettiği kabarcıkların penetrasyon derinliği, D_p , mansap havuzu duvarına yerleştirilmiş bir ölçek yardımıyla ölçülür. Bu ölçek 0.1 mm'ye kadar okuma yapabilmektedir. Bütün ölçümler üç kez tekrar edilerek ortalaması alınmıştır. Bütün savak çeşitleri için yürütülen deneylerin hepsinde de

kuyruk suyu derinliği maksimum penetrasyon derinliğinden fazla seşilmiştir. Böylece mansap su havuzunun tabanına ulaşmamıştır. Bu çalışmada toplam 475 deney yapılmıştır.



şekil 5.2 Deney düzeneği



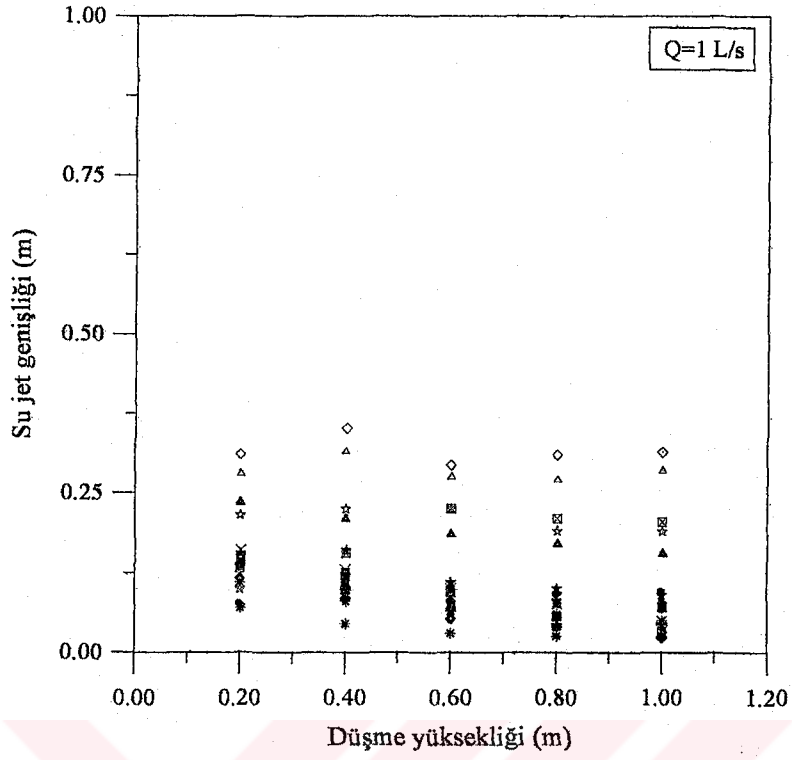
şekil 5.3 Deney Setinin Fotoğrafları

6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan çalışmanın bu bölümünde deney sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Farklı savak çeşitleri için, penetrasyon derinliği D_p , serbest düşen jetin genişliği J_0 , kabarcık bölgesinin uzunluğu L_b ve serbest düşen jetin savaktan, suya çarptığı noktaya olan yatay mesafe b_n , farklı debi ve düşme yüksekliği aralığı için deneyler yapılmıştır.

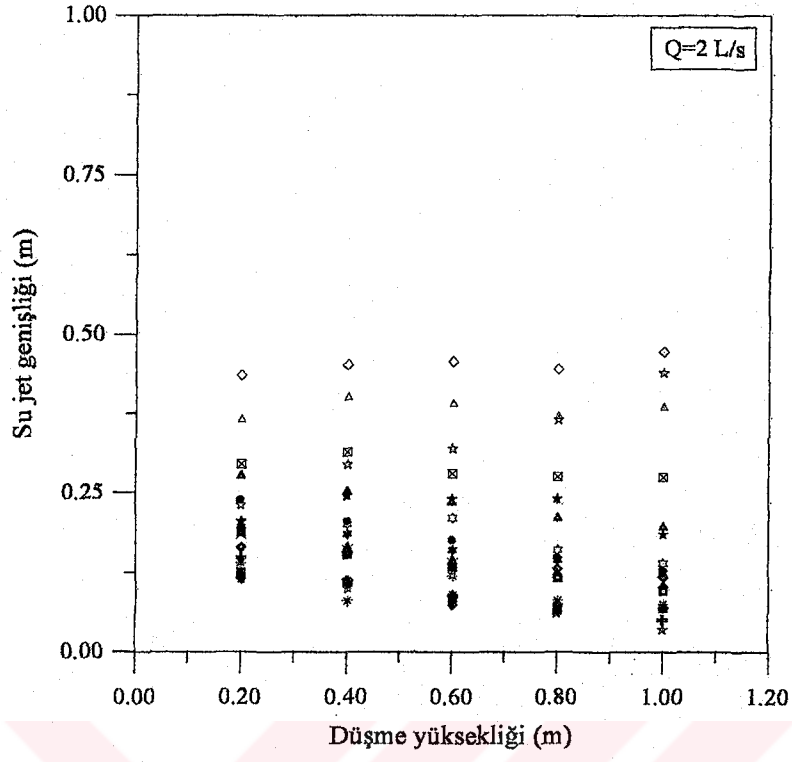
Serbest düşen jetin genişliğinin farklı savak çeşitlerindeki etkilerini incelemek için J_0 değerlerinin, düşme yüksekliklerine göre grafikler çizilmiştir. Savakların jet genişlikleri birbirinden oldukça farklıdır. Örneğin, ince kenarlı dikdörtgen savakta $Q=4$ L/s, $b=10$ cm ve $H=40$ cm için jetin genişliği 19.0 cm olarak bulunmuştur. İnce kenarlı trapez savakta $Q=4$ L/s, $H=40$ cm için jetin genişliği 14.6 cm'dir. İnce kenarlı üçgen savakta $Q=4$ L/s, $\alpha=30^\circ$ ve $H=40$ cm için jetin genişliği 41.5 cm'dir. Labirent savakta ise $Q=4$ L/s, $\theta=45^\circ$, $\phi=0^\circ$ ve $H=40$ cm için jetin genişliği 56 cm olmuştur. Buradan da görüldüğü gibi labirent savağın, burada kullanılan değerler için, jet genişliği, ince kenarlı trapez savağın jet genişliğinin 3.84 katı olmuştur.

Deneysel veriler, aynı debi ve düşme yükseklikleri için, serbest düşen jetin genişliğinin debinin artışıyla birlikte arttığına işaret etmektedir (Şekil 6.1(a-e)). Şekil 6.1(a-e)'de de görüldüğü gibi, test edilen savaklar arasında en yüksek jet genişliği değerine sahip savaklar, labirent savaklardır. Labirent savaklarda serbest düşen jetin genişliği açılarının küçülmesiyle artmaktadır. Labirent savaklarda jetin genişliği, ince kenarlı trapez savaklardan ve ince kenarlı dikdörtgen savaklardan daha fazladır. Bu durum ise labirent savakların kretinin test edilen diğer savaklarından daha uzun olmasına bağlıdır. Labirent savaklarda serbest düşen jetin genişliği, düşme yüksekliğinin artışıyla birlikte artma eğilimi göstermektedir. Ancak, ince kenarlı trapez savak ve ince kenarlı dikdörtgen savaklar için serbest düşen jetin genişliği, Şekil 6.1(a-e)'de görüldüğü gibi, düşme yüksekliğinin artışıyla, az bir düşüş göstermektedir. Sonuçlar, ince kenarlı trapez savak ve ince kenarlı dikdörtgen savakların en düşük jet genişliği değerine sahip olduğunu göstermektedir. İnce kenarlı dikdörtgen savaklarda, b kret genişliğinin artışıyla serbest düşen jetin genişliği de artmaktadır. Kalın kenarlı dikdörtgen savakların jet genişliklerinin, ince kenarlı dikdörtgen savaklarından daha fazla olduğu Şekil 6.1(a-e)'de görülebilmektedir. İnce kenarlı üçgen savaklar için serbest düşen jetin genişliği üçgen savağın açısı, α 'nın azalmasıyla artmaktadır. Şekil 6.1(a-e)'de kalın kenarlı üçgen savaklar için serbest düşen jetin genişliğinin, ince kenarlı üçgen savağına nazaran önemli miktarda azaldığı görülmektedir.

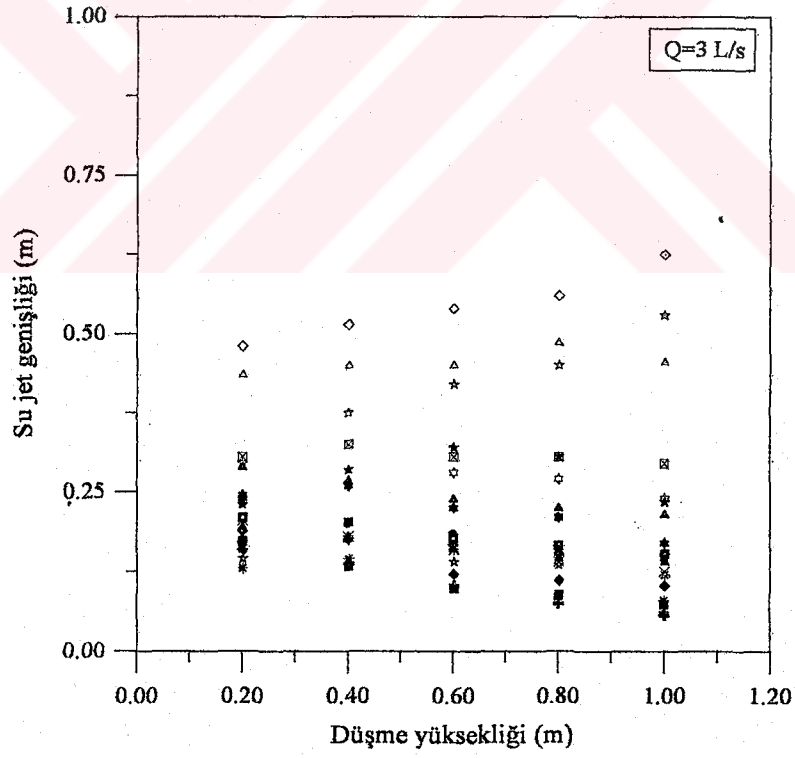


(a)

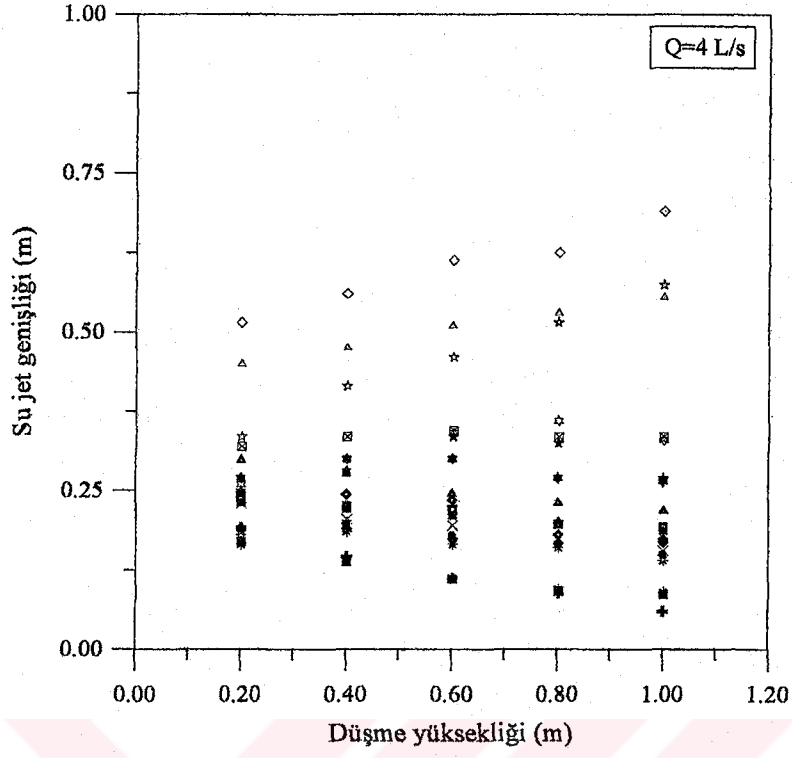
◆: İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm);	⊠: Labirent savak ($\theta=135^\circ$; $\phi=0^\circ$);
■: İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm);	◇: Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm);
●: İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm);	▣: Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm);
⊕: İnce kenarlı trapez savak;	▲: Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm);
☆: 30° İnce kenarlı üçgen savak;	×: Kalın kenarlı trapez savak (Çipolletti);
★: 60° İnce kenarlı üçgen savak;	✱: 30° Kalın kenarlı üçgen savak;
☆: 90° İnce kenarlı üçgen savak;	✱: 60° Kalın kenarlı üçgen savak;
✱: 120° İnce kenarlı üçgen savak;	☆: 90° Kalın kenarlı üçgen savak;
◇: Labirent savak ($\theta=45^\circ$; $\phi=0^\circ$);	▲: 120° Kalın kenarlı üçgen savak.)
△: Labirent savak ($\theta=90^\circ$; $\phi=0^\circ$);	



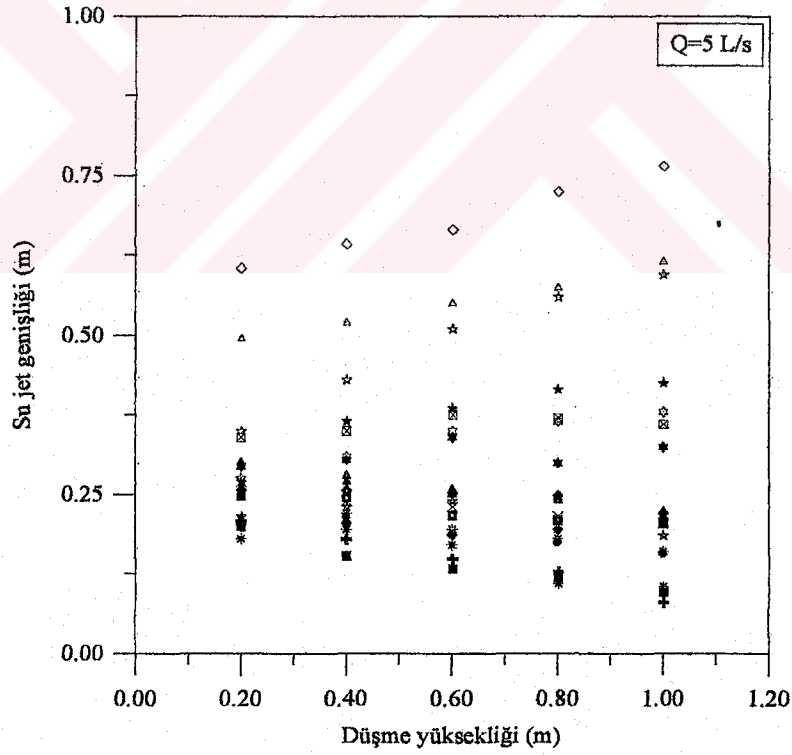
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.1 (a) $Q=1\text{L/s}$; (b) $Q=2\text{L/s}$; (c) $Q=3\text{L/s}$; (d) $Q=4\text{L/s}$; (e) $Q=5\text{L/s}$ için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için serbest düşen jetin genişliğinin değişimi

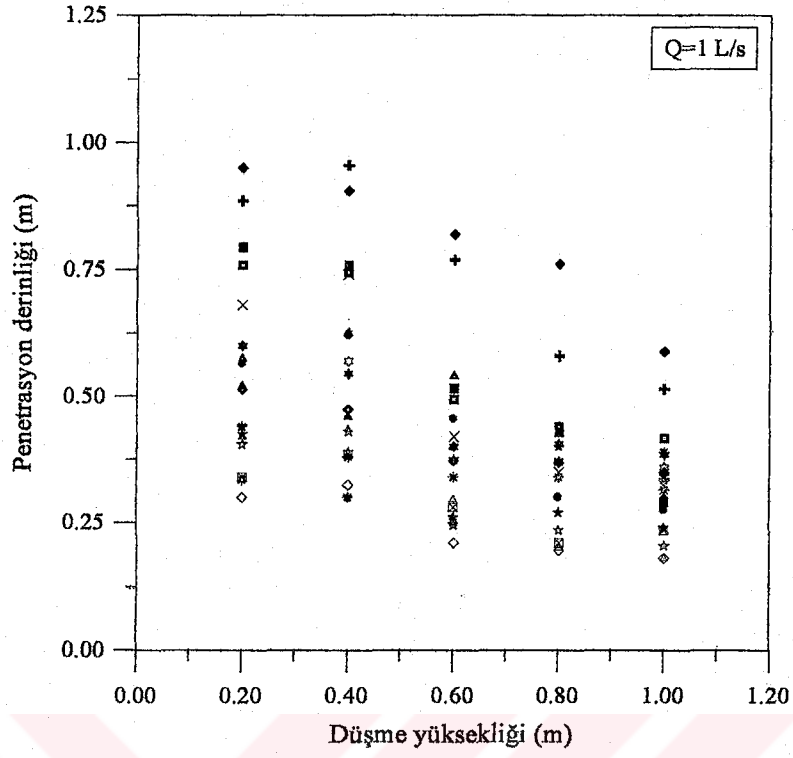
Bir su kütlesinin içine giren hava kabarcıklarının kalma zamanı, oksijen kütlesinin transferini doğrudan etkiler. Kalma zamanı, kabarcık akım güzergahı ile bağlantılıdır. Deneysel verilerin sonucundan penetrasyon derinliğinin jetin şekli ve genişliği ile yakından ilişkili olduğu gözlenmiştir.

Savakların penetrasyon derinliği birbirinden oldukça farklıdır. Penetrasyon derinliğini sadece düşme yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak vermek doğru olmayacaktır. Örneğin, ince kenarlı dikdörtgen savakta penetrasyon derinliği, $Q=4$ L/s, $b=10$ cm ve $H=40$ cm için 105 cm'dir. İnce kenarlı trapez savakta penetrasyon derinliği, $Q=4$ L/s, $H=40$ cm için 113 cm'dir. İnce kenarlı labirent savakta penetrasyon derinliği, $Q=4$ L/s, $\theta=45^\circ$, $\phi=0^\circ$ ve $H=40$ cm için 38 cm'dir. Buradan da görüldüğü gibi ince kenarlı trapez savağın penetrasyon derinliği, burada kullanılan değerler için, labirent savağın penetrasyon derinliğinin 2.97 katı olmuştur.

Şekil 6.2(a-e) sabit debide ondokuz farklı savak çeşidi için düşme yükseklikleri ile D_p 'deki değişimi göstermektedir. On dokuz savakla yapılan deneylerin tamamı savağın çeşidinin ve şeklinin, suyun debisinin ve düşme yüksekliğinin D_p 'yi etkileyen önemli faktörler olduğuna işaret etmektedir. Bu sonuçlardan D_p 'nin Q debisiyle birlikte yükselme eğiliminde olduğu bulunmuştur. Şekil 6.2(a-e)'deki sonuçlardan düşme yüksekliğinin artışıyla birlikte D_p 'nin düştüğü açıktır. Deneysel sonuçlar serbest düşen jetin genişliği J_c 'nin artışıyla birlikte D_p 'nin düştüğünü göstermektedir. J_c 'nin artışıyla birlikte D_p 'nin düşüşü, hava katılım oranındaki artış sonucu giren kabarcıkların yüzen kuvvetlerdeki artışa bağlı olmaktadır. Hava sürüklenme oranının artışının ise jet yüzeyinin pürüzsüzlüğündeki artıştan kaynaklandığı düşünülebilir.

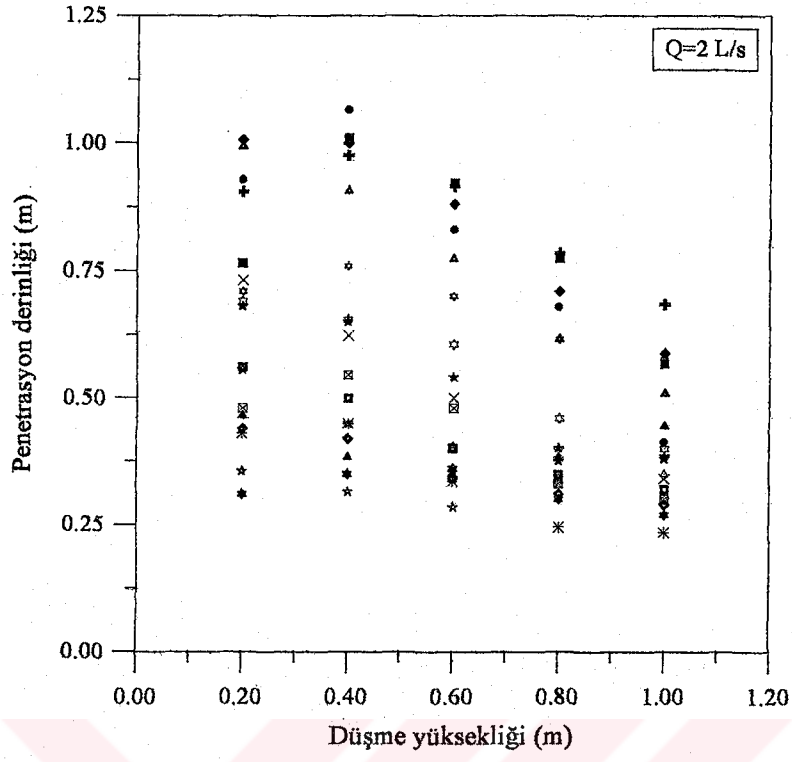
Şekil 6.2(a-e)'den, labirent savakların, test edilen diğer savaklardan daha düşük penetrasyon derinliğine sahip olduğu açıktır. Şekil 6.2(a-e)'den, iç açısı 45° olan üçgen labirent savakların D_p değerlerinin, 1 L/s'den 5 L/s'ye bütün debi değerlerinde, en küçük olduğu görülmektedir.

İnce kenarlı dikdörtgen ve trapez savakların, test edilen diğer bütün savak çeşitlerinden daha yüksek penetrasyon derinliğine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.2(a-e)). Özellikle, ince kenarlı trapez savaklar, en yüksek D_p penetrasyon derinliğine sahiptir. Hem ince kenarlı üçgen savaklar ve hem de kalın kenarlı üçgen savaklarda, α açısının artmasıyla birlikte D_p 'nin de arttığı ispatlanmıştır.

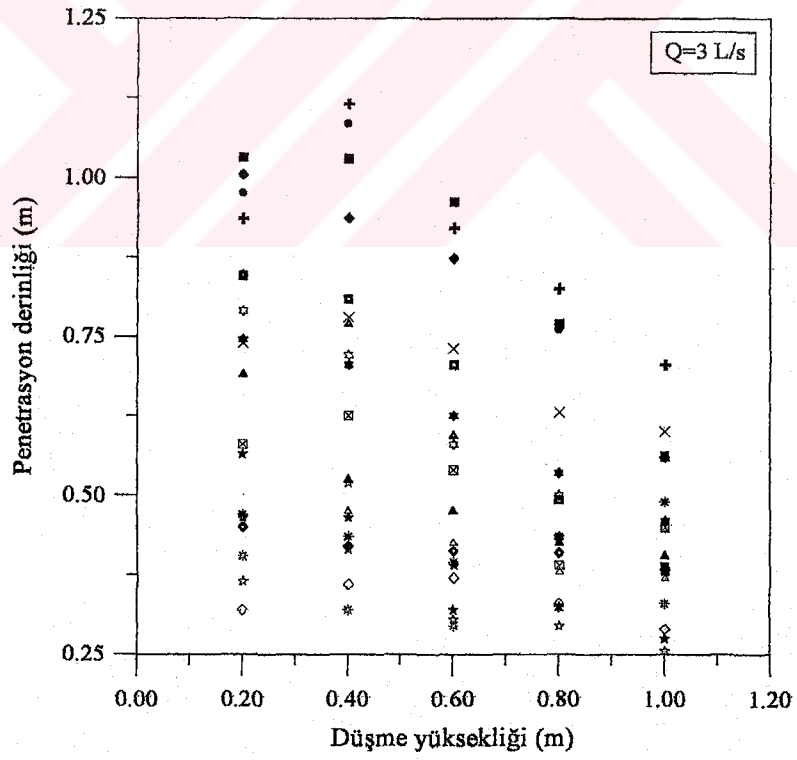


(a)

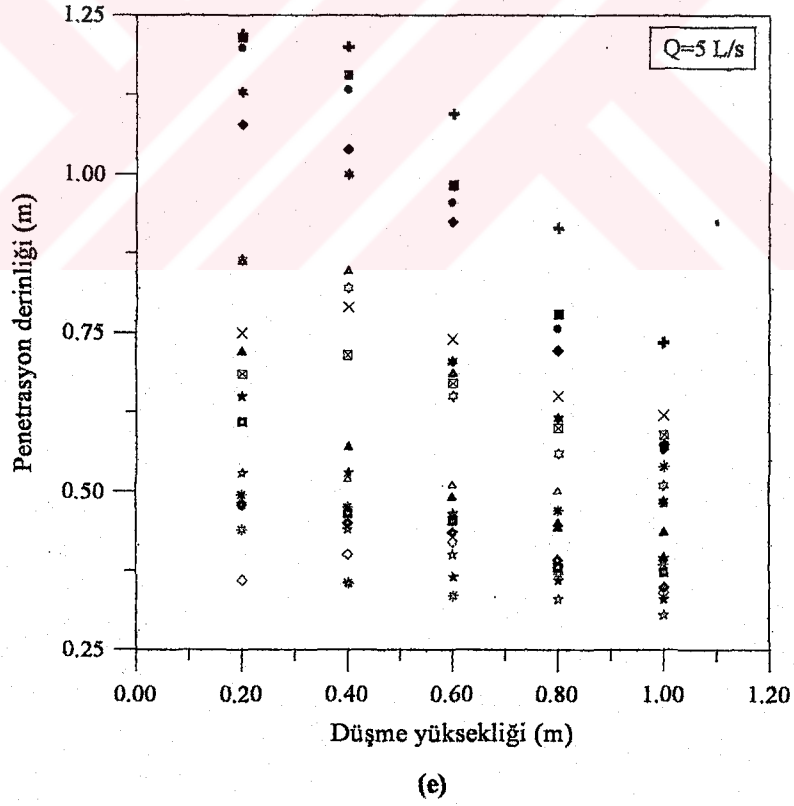
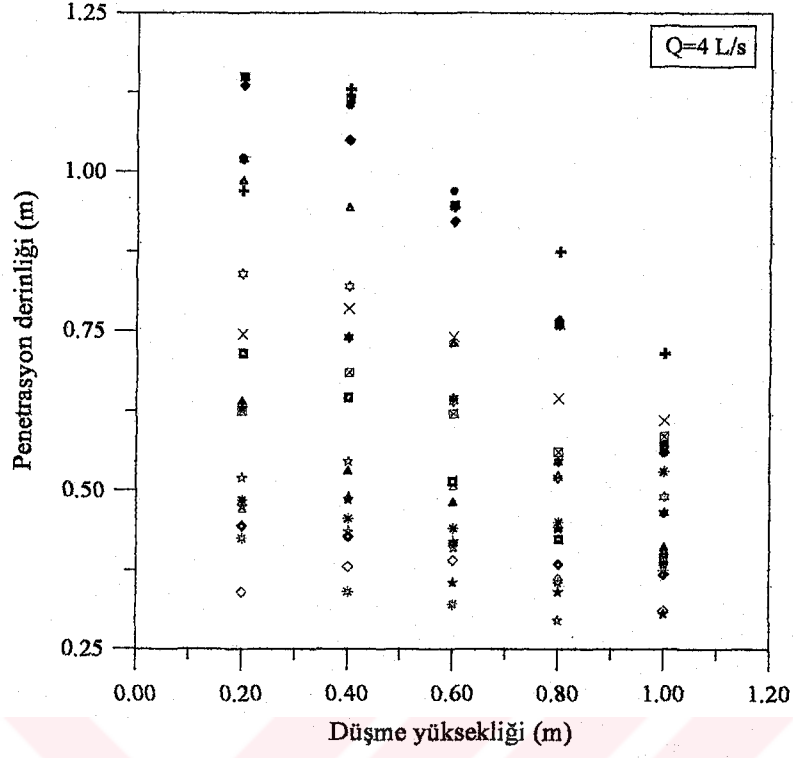
◆: İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm);	⊠: Labirent savak ($\theta=135^\circ$; $\phi=0^\circ$);
■: İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm);	◊: Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm);
●: İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm);	◻: Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm);
+ : İnce kenarlı trapez savak;	▲: Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm);
☆: 30° İnce kenarlı üçgen savak;	×: Kalın kenarlı trapez savak (Çipolletti);
★: 60° İnce kenarlı üçgen savak;	✱: 30° Kalın kenarlı üçgen savak;
☆: 90° İnce kenarlı üçgen savak;	✱: 60° Kalın kenarlı üçgen savak;
★: 120° İnce kenarlı üçgen savak;	☆: 90° Kalın kenarlı üçgen savak;
◇: Labirent savak ($\theta=45^\circ$; $\phi=0^\circ$);	▲: 120° Kalın kenarlı üçgen savak.)
△: Labirent savak ($\theta=90^\circ$; $\phi=0^\circ$);	



(b)



(c)

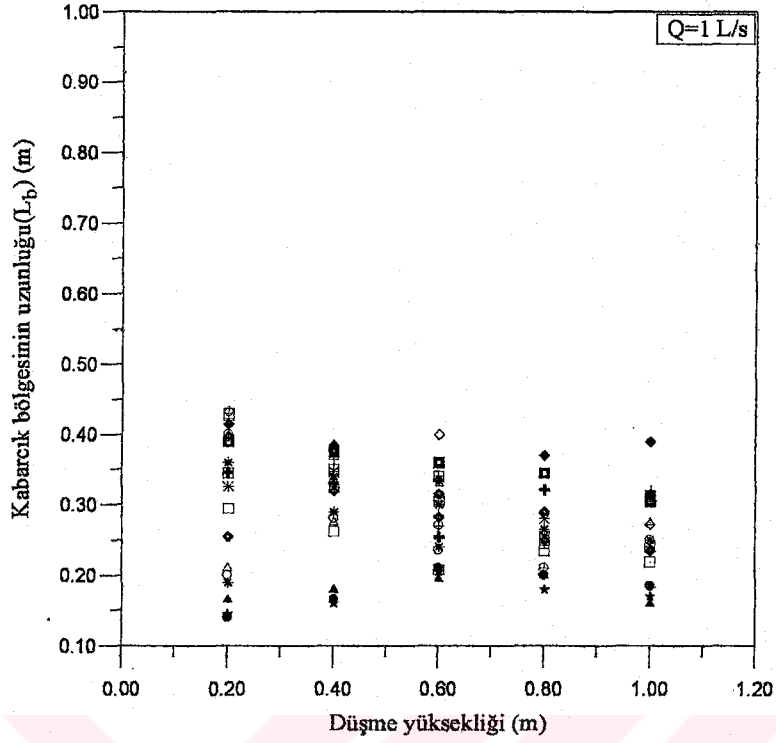


Şekil 6.2 (a) $Q=1\text{ L/s}$; (b) $Q=2\text{ L/s}$; (c) $Q=3\text{ L/s}$; (d) $Q=4\text{ L/s}$; (e) $Q=5\text{ L/s}$ için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitlerin için penetrasyon derinliklerinin değişimi

Şekil 6.1(a-e) ve Şekil 6.2(a-e)'den serbest düşen jetin genişliğinin artışıyla birlikte D_p 'nin düştüğü sonucu çıkarılır. Böylece, serbest düşen jetin genişliğinin artışıyla birlikte mansap kanalındaki oyulma derinliği düşecektir. Bunun sebebi ise, penetrasyon derinliğinin düşmesidir. Bundan başka, serbest düşen jetin momentumu havalandırmaya duyarlıdır. Bu iki şekilden; düşme yüksekliğinin artmasıyla, serbest düşen jetin parçalandığı ve penetrasyon derinliğinin de çok düştüğü görülmektedir. Bu durumda, savakların havalandırma performansı aşırı derecede düşecektir.

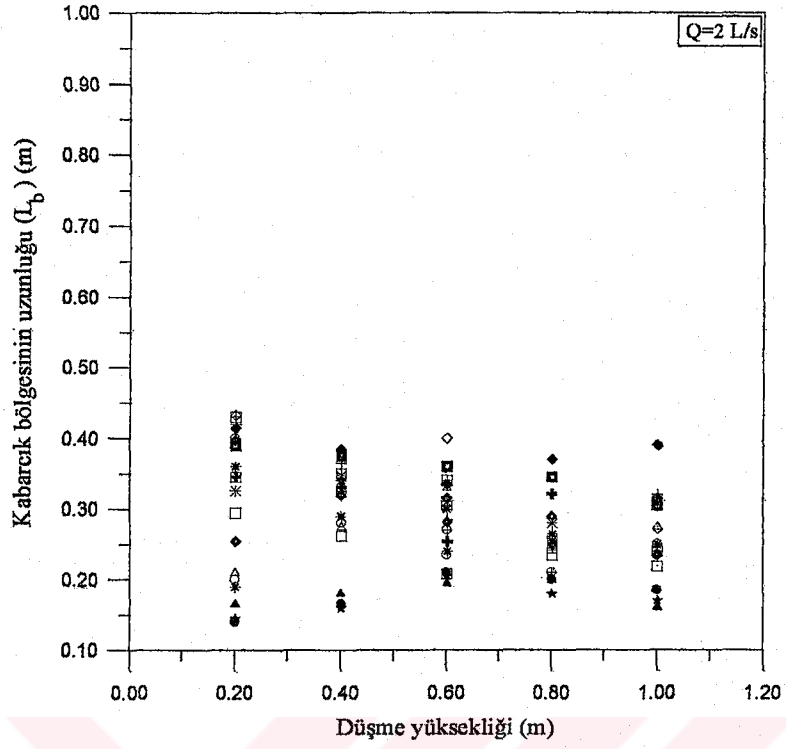
Şekil 6.3(a-e) farklı savak çeşitleri için, sabit debide, kabarcık bölgesi uzunluğu L_b 'nin düşme yüksekliklerine bağlı olarak değişimini göstermektedir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, savağın çeşidi ve şeklinin, debi ve düşme yüksekliklerinin L_b değerini etkileyen önemli faktörler olduğuna işaret etmektedir. Deneysel veriler, aynı debi ve düşme yükseklikleri için kabarcık bölgesi uzunluğunun debinin artışıyla birlikte arttığını göstermektedir. Şekil 6.3(a-e)'de de görüldüğü gibi, test edilen savaklar arasında en büyük L_b değerine sahip savaklar, kalın kenarlı üçgen savaklardır. Kalın kenarlı üçgen savaklarda kabarcık bölgesi uzunluğu, üçgen savağın açısının büyümesiyle birlikte artmakta, düşme yüksekliğinin artışıyla birlikte ise azalmaktadır.

Deneylerden elde edilen verilere göre, üçgen labirent savakların en düşük L_b değerine sahip olduğunu göstermektedir. Labirent savaklarda kabarcık bölgesi uzunluğu, üçgen labirent savaklarda açılarının büyümesiyle artmaktadır. İnce kenarlı dikdörtgen savaklarda b kret genişliğinin artışıyla, kabarcık bölgesi uzunluğu azalmaktadır. İnce kenarlı dikdörtgen savakların L_b değerinin, kalın kenarlı dikdörtgen savaklardan daha fazla olduğu Şekil 6.3(a-e)'den görülmektedir. Bunun yanı sıra, kalın kenarlı trapez savakların kabarcık bölgesi uzunluğu, ince kenarlı trapez savaklarından daha büyüktür. İnce kenarlı üçgen savaklar üzerinde yapılan deneylerden ise, L_b değerinin α açısının artışıyla birlikte arttığı görülmektedir.

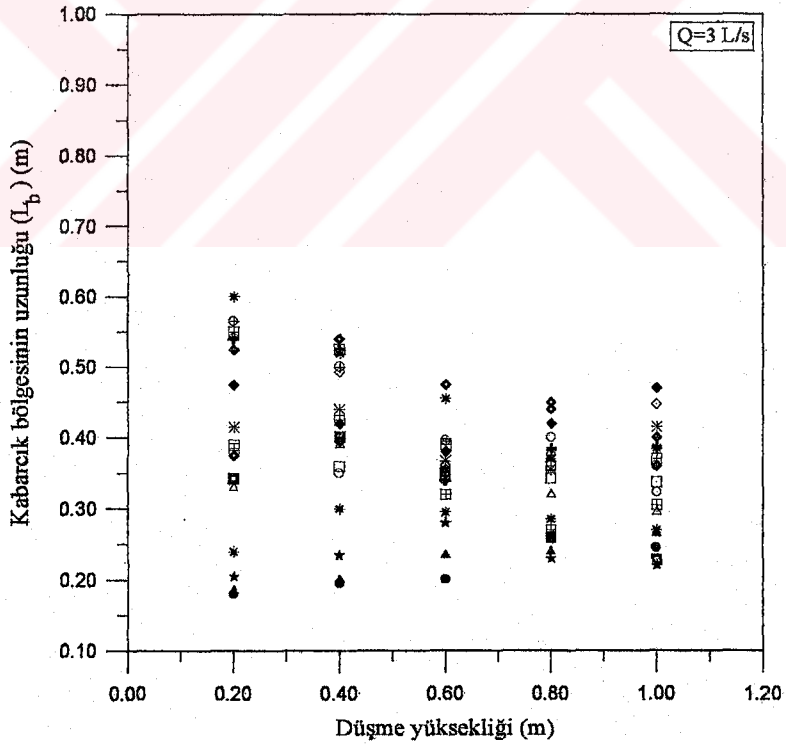


(a)

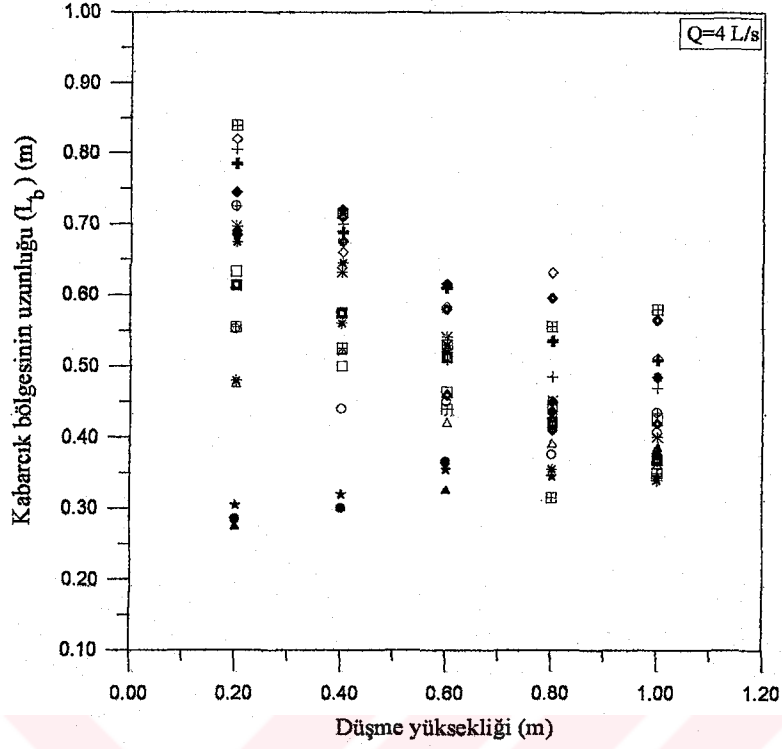
◇ İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm)	⊕ İnce kenarlı labirent savak (135 derece)
□ İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm)	✱ Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm)
○ İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm)	■ Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm)
△ İnce kenarlı Cipolletti savağı (1 yatay, 4 düşey)	◆ Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm)
⊞ İnce kenarlı üçgen savak (30 derece)	⊕ Kalın kenarlı Cipolletti savağı (1 yatay, 4 düşey)
◆ İnce kenarlı üçgen savak (60 derece)	⊞ Kalın kenarlı üçgen savak (30 derece)
◆ İnce kenarlı üçgen savak (90 derece)	⊕ Kalın kenarlı üçgen savak (60 derece)
● İnce kenarlı üçgen savak (120 derece)	✱ Kalın kenarlı üçgen savak (90 derece)
▲ İnce kenarlı labirent savak (45 derece)	● Kalın kenarlı üçgen savak (120 derece)
★ İnce kenarlı labirent savak (90 derece)	



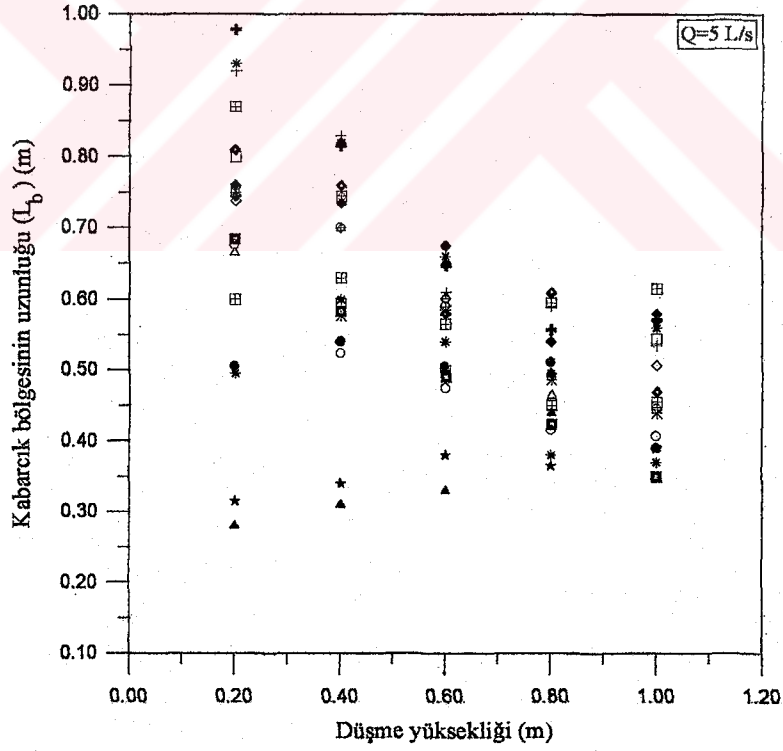
(b)



(c)



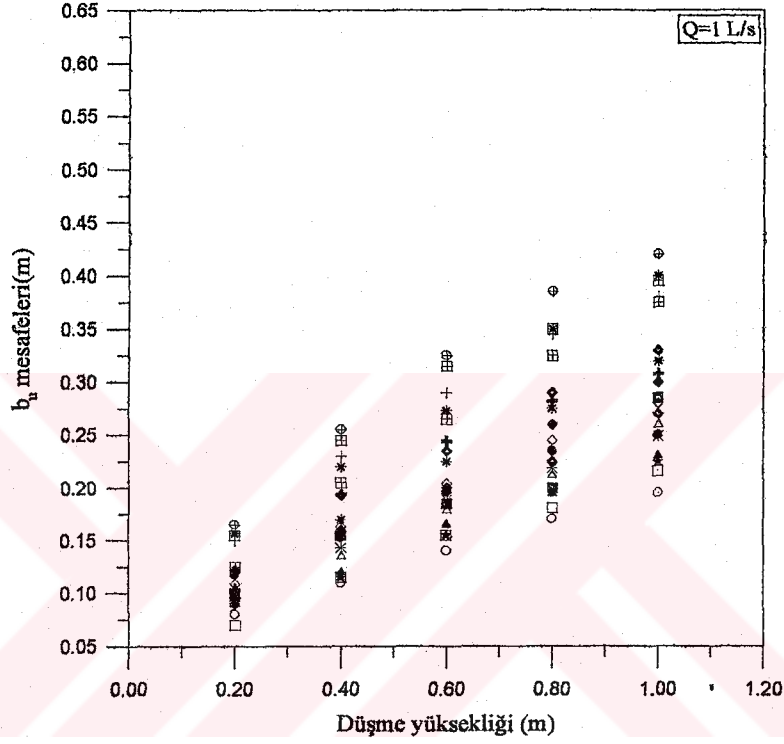
(d)



(e)

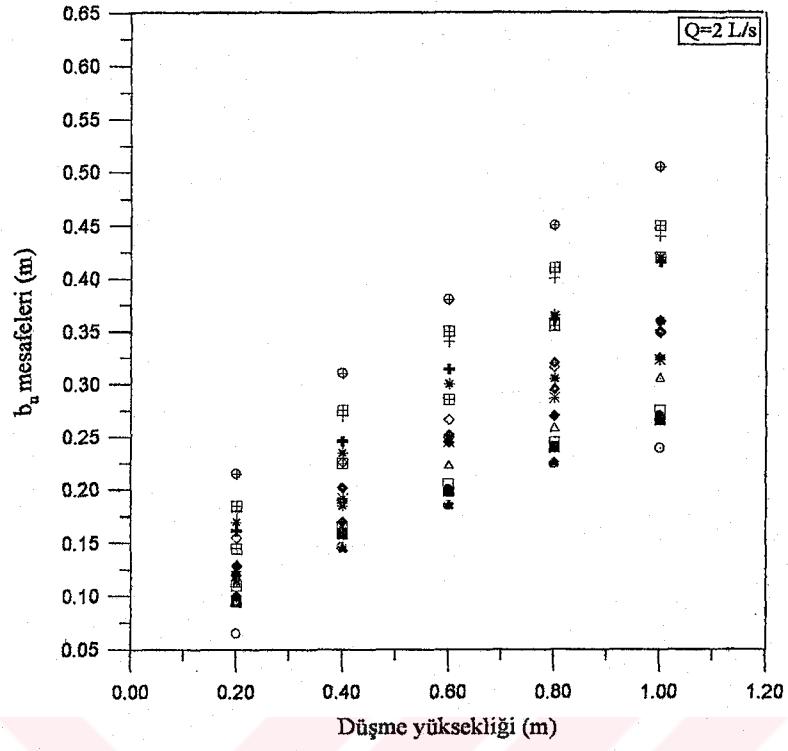
Şekil 6.3 (a) $Q=1\text{L/s}$; (b) $Q=2\text{L/s}$; (c) $Q=3\text{L/s}$; (d) $Q=4\text{L/s}$; (e) $Q=5\text{L/s}$ için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için kabarcık bölgesinin uzunluğunun değişimi

Şekil 6.4 (a-e)'de sabit debide farklı savak çeşitleri için düşme yükseklikleri ile b_u değerindeki değişim görülmektedir. Deneylerden elde edilen sonuçlarda, kullanılan savaklar arasında en büyük b_u değerine sahip savaklar, kalın kenarlı üçgen savaklardır. Bu savaklarda açı büyüdükçe b_u mesafesi artmaktadır. Bu deney sonuçları, üçgen labirent savakların ve ince kenarlı dikdörtgen savakların en düşük b_u değerine sahip olduğunu göstermektedir. Labirent savaklarda b_u , açılarının büyümesiyle birlikte azalmakta; ince kenarlı dikdörtgen savaklarda da kret genişliğinin artmasıyla azalmaktadır.

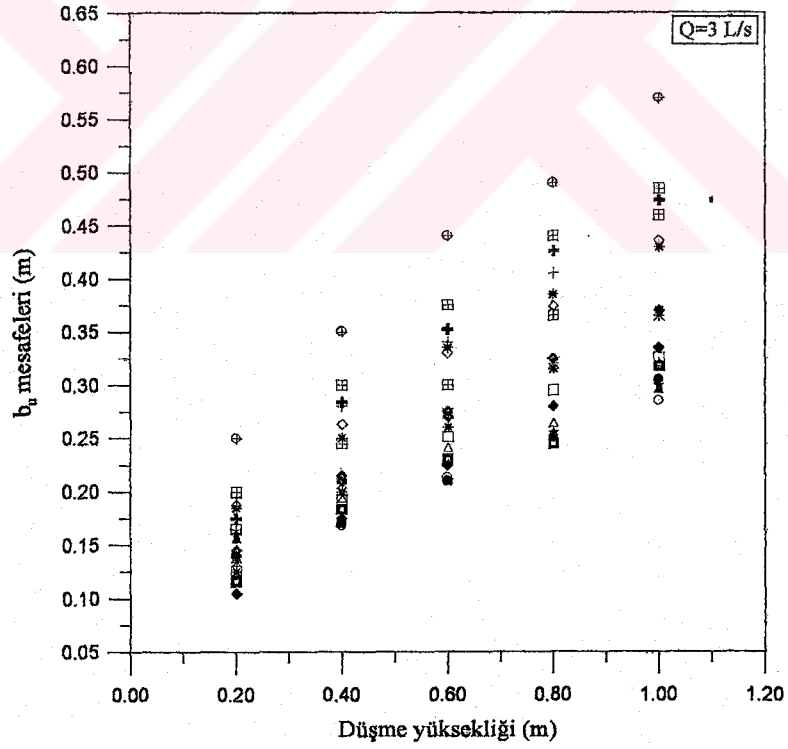


(a)

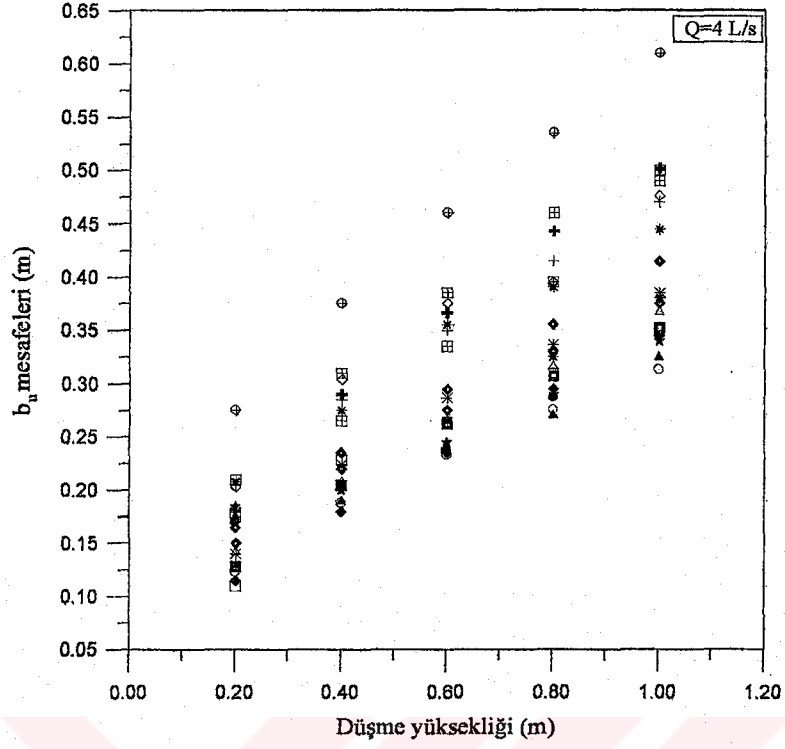
◇ İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm)	⊕ İnce kenarlı labirent savak (135 derece)
□ İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm)	✱ Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=10 cm)
○ İnce kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm)	■ Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=20 cm)
△ İnce kenarlı Cipolletti savağı(1 yatay, 4 düşey)	◆ Kalın kenarlı dikdörtgen savak (b=30 cm)
⊞ İnce kenarlı üçgen savak (30 derece)	⊕ Kalın kenarlı Cipolletti savağı(1 yatay, 4 düşey)
◇ İnce kenarlı üçgen savak (60 derece)	⊞ Kalın kenarlı üçgen savak (30 derece)
◆ İnce kenarlı üçgen savak (90 derece)	+ Kalın kenarlı üçgen savak (60 derece)
● İnce kenarlı üçgen savak (120 derece)	✱ Kalın kenarlı üçgen savak (90 derece)
▲ İnce kenarlı labirent savak (45 derece)	● Kalın kenarlı üçgen savak (120 derece)
★ İnce kenarlı labirent savak (90 derece)	



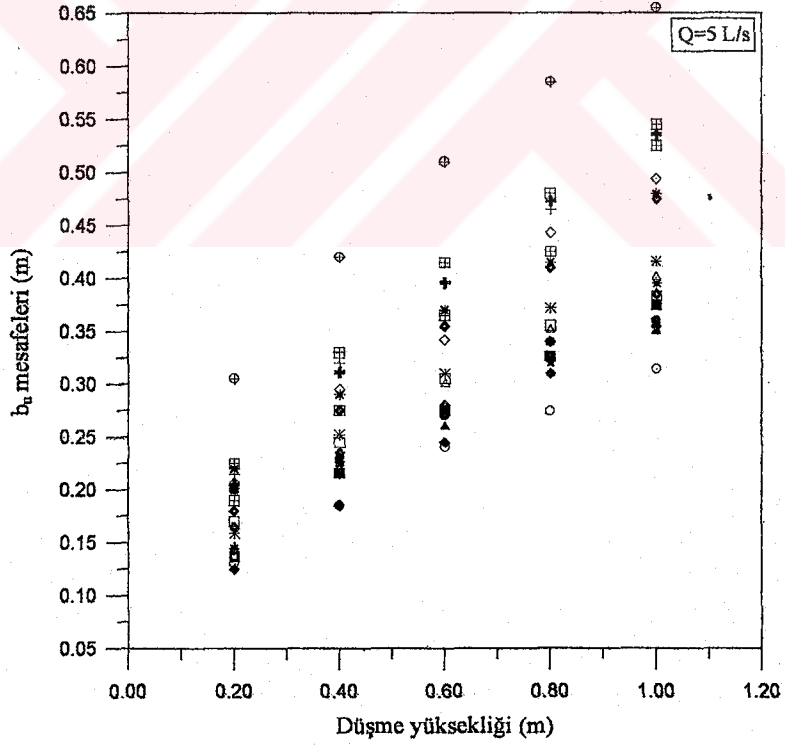
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.4 (a) $Q=1\text{L/s}$; (b) $Q=2\text{L/s}$; (c) $Q=3\text{L/s}$; (d) $Q=4\text{L/s}$; (e) $Q=5\text{L/s}$ için düşme yüksekliklerine bağlı olarak farklı savak çeşitleri için b_u değerinin değişimi

Kobus ve Koschitzky [5] penetrasyon derinliği için ampirik korelasyon sunmuşlardır;

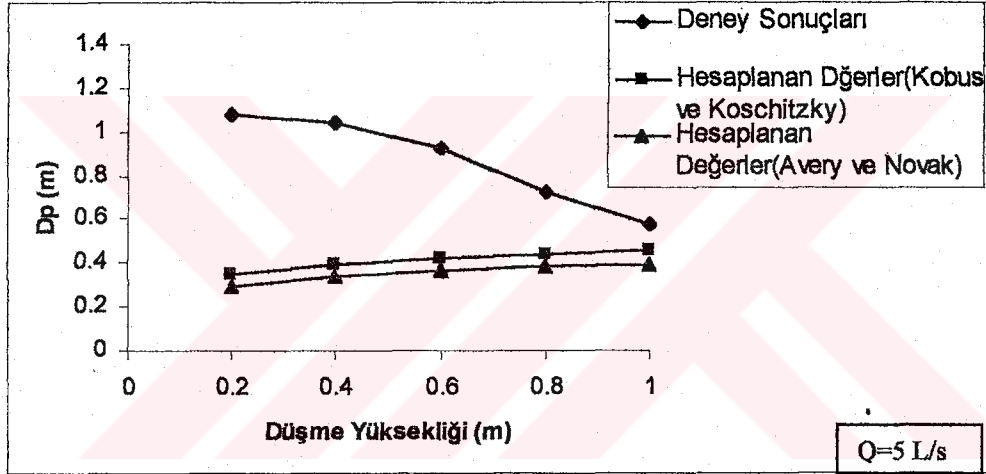
$$D_p = 0.00433 Re_j^{0.39} F_j^{0.24} \quad (36)$$

Burada; Re_j =Jet Reynolds sayısı, F_j =Jet Froude sayısıdır.

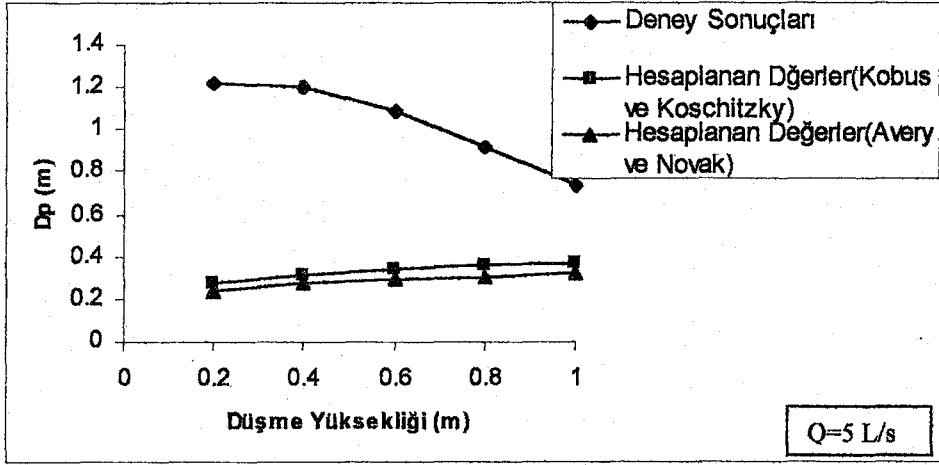
Nakasone, mansap havuzu derinliğinin, (D_p), düşme yüksekliğinin, (H), $2/3$ 'ünü aştığında havalandırmanın verimini etkilemeyeceğini belirtmiştir ($D_p \geq 2/3H$) [18]. Avery ve Novak ise

$$D_p \geq 7.5H^{0.58} F_j^{-0.53} \quad (37)$$

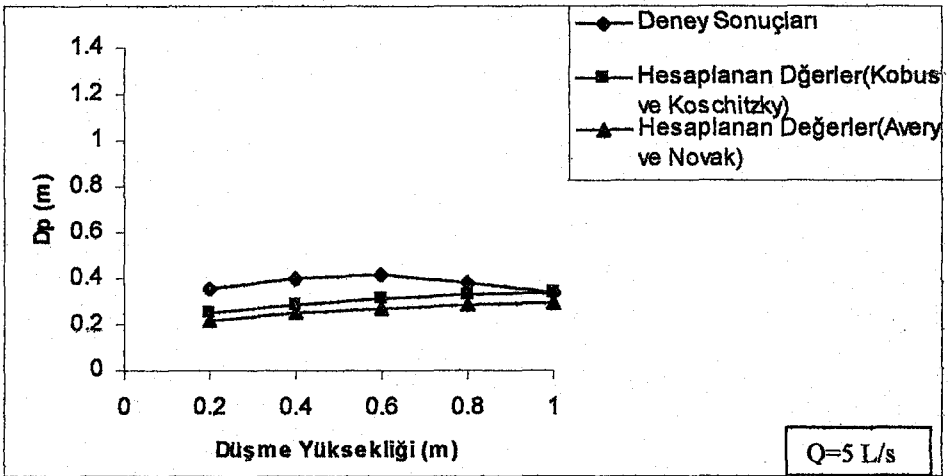
ilişkisini vermişlerdir [20]. Burada; H =düşme yüksekliği (cm), F_j =jet Froude sayısıdır. Şekil 6.5'te yapılan deneyler sonucu elde edilen D_p verileri ile, denklem (36) ve (37) kullanılarak hesaplanan D_p değerleri karşılaştırılmıştır.



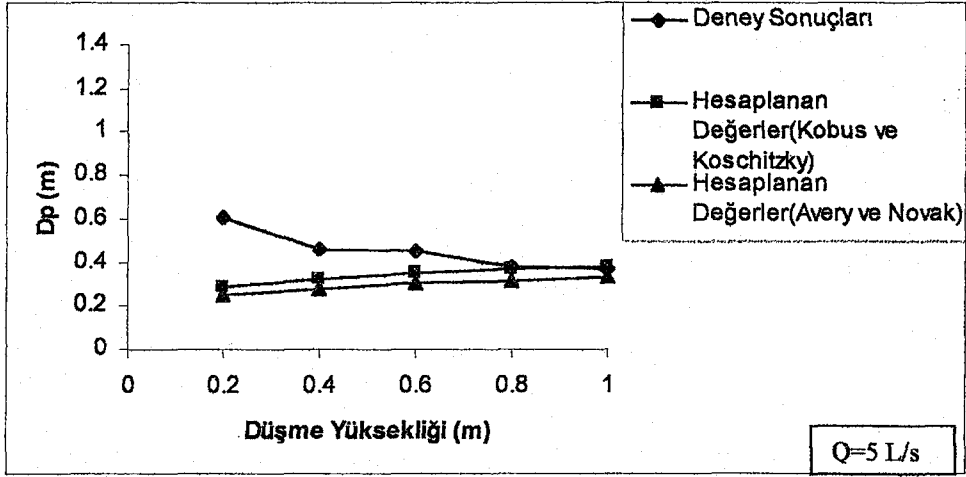
(a) İnce kenarlı dikdörtgen savak



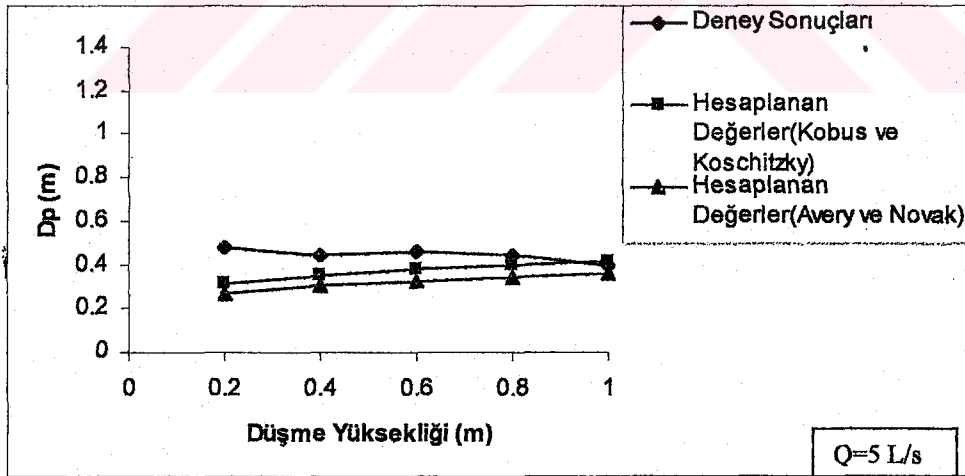
(b) İnce kenarlı trapez savak



(c) İnce kenarlı labirent savak



(d) Kalın kenarlı dikdörtgen savak



(e) Kalın kenarlı üçgen savak

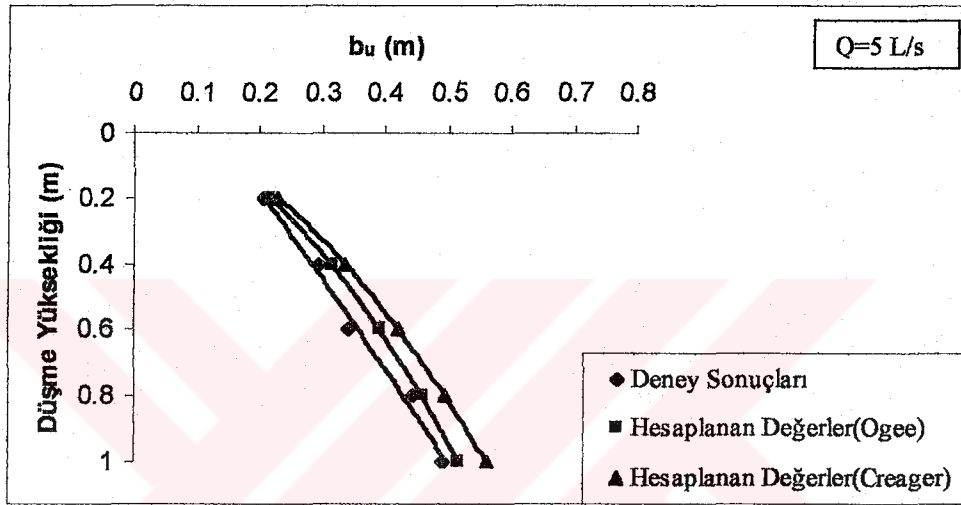
Şekil 6.5.a-e Farklı savak çeşitleri için ölçülen D_p değerleri ile denklem (36) ve (37)'den elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Ogee ve Creager formülü aşağıda verilmiştir [29].

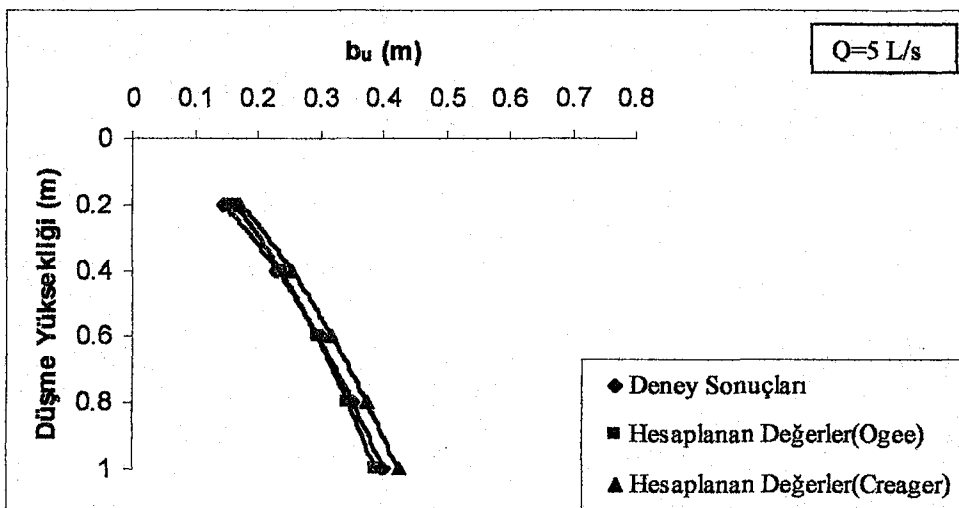
$$H=0.50.b_u^{1.85}h^{-0.85} \quad (38)$$

$$H=0.47.b_u^{1.80}h^{-0.80} \quad (39)$$

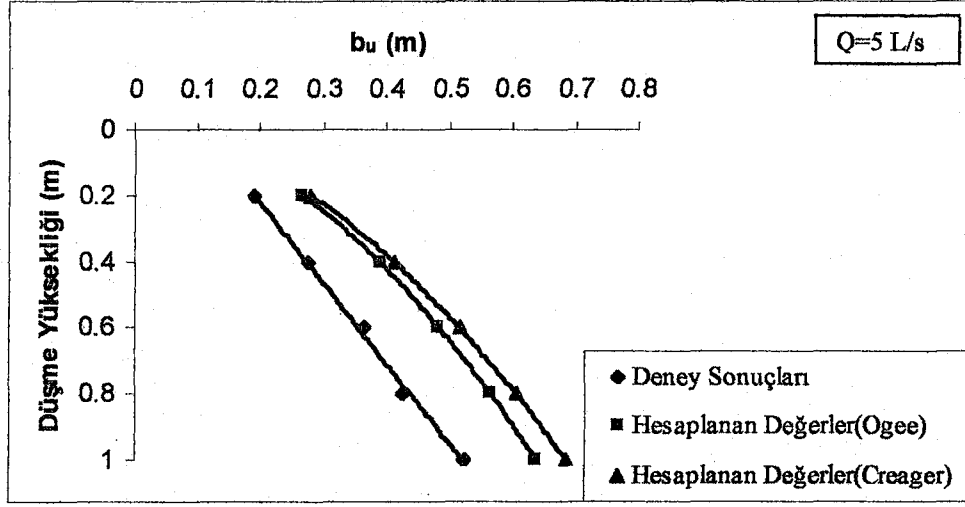
Burada; b_u , H =koordinatlar ve $h=h_w + \frac{Vo^2}{2g}$ dir. Şekil 6.6'da yapılan deneyler sonucu elde edilen b_u verileri ile, denklem (38) ve (39) kullanılarak hesaplanan b_u değerleri karşılaştırılmıştır.



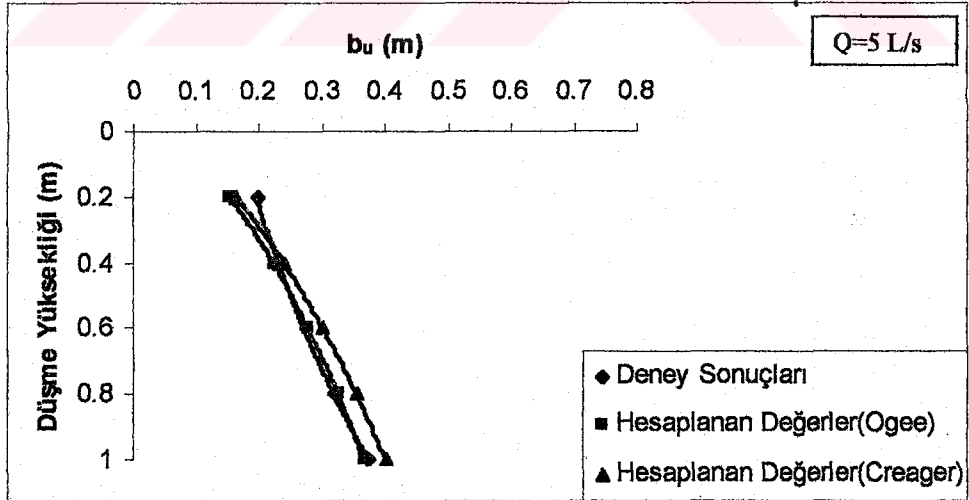
(a) İnce kenarlı dikdörtgen savak



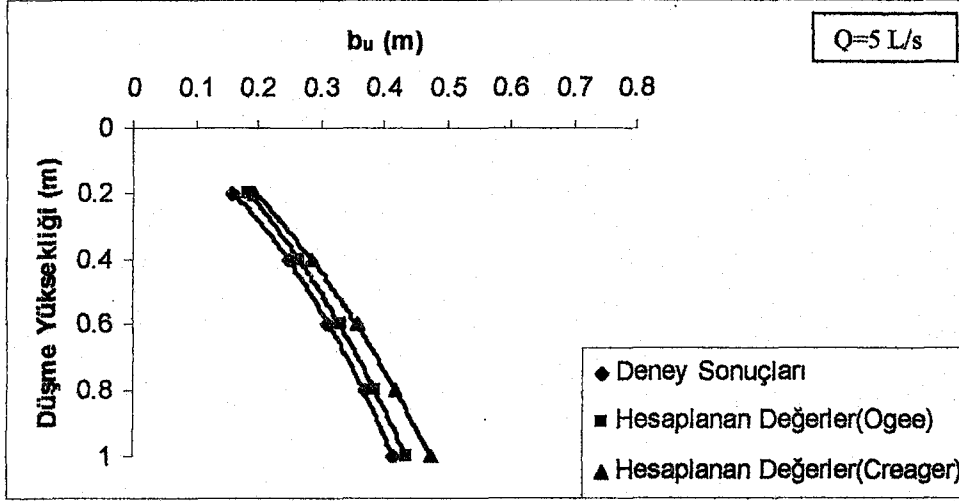
(b) İnce kenarlı trapez savak



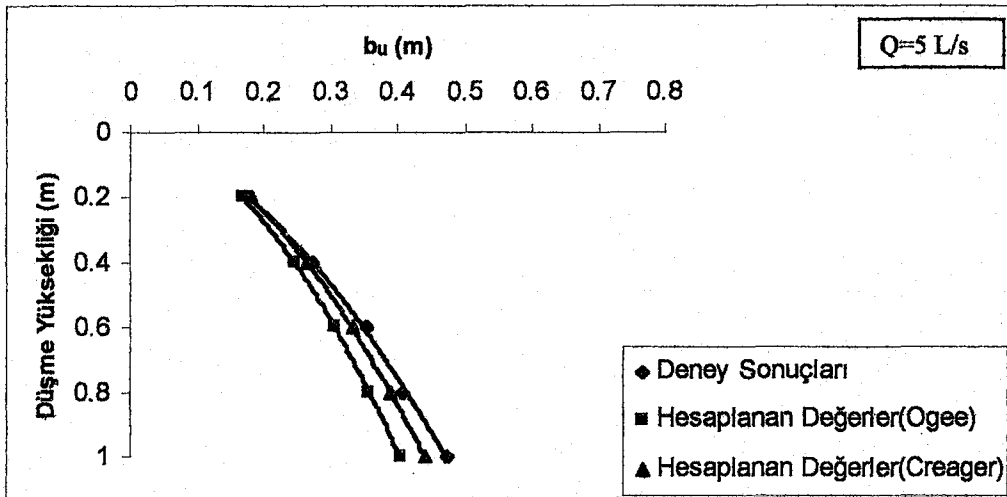
(c) İnce kenarlı üçgen savak



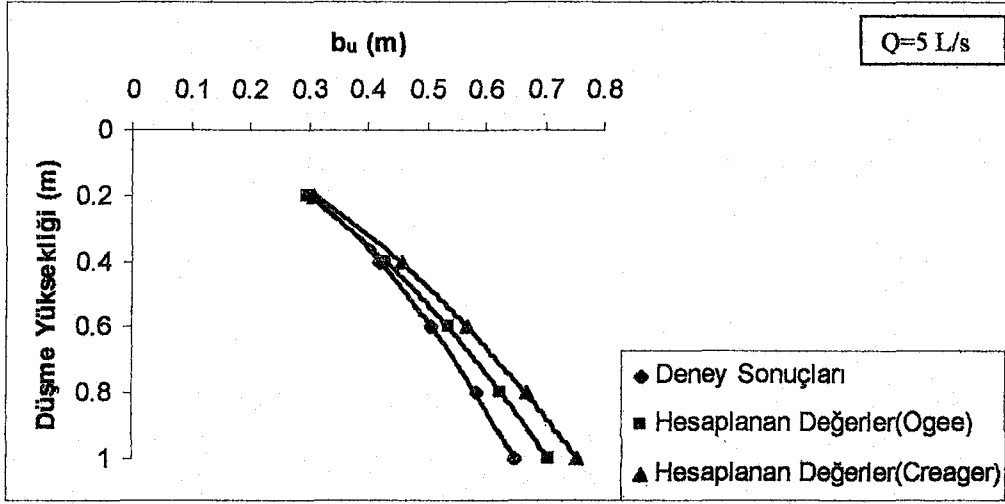
(d) Üçgen labirent savak



(e) Kalın kenarlı dikdörtgen savak



(f) Kalın kenarlı trapez savak



(g) Kalın kenarlı üçgen savak

Şekil 6.6.a-g Farklı savak çeşitleri için ölçülen b_u değerleri ile denklem (38) ve (39)'den elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Savaklar için, serbest düşen jetin genişliği J_e , penetrasyon derinliği D_p , kanal girişi ile serbest düşen jetin suya çarptığı nokta arasındaki mesafe b_u ve kabarcık bölgesinin uzunluğu L_b 'yi hesaplamak için ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir. Nonlinear regrasyon modülü kullanılarak regrasyon analizi yapılmıştır. Elde edilen korelasyonlar (40-43) eşitliklerinde ve Tablo 6.(1-4)'te verilmiştir.

$$\frac{D_p}{\Delta H} = A [\ln(B \cdot Re_j^{a_1} \cdot F_j^{a_2})]^{a_3} \quad (40)$$

$$\frac{L_b}{\Delta H} = A [\ln(B \cdot Re_j^{a_1} \cdot F_j^{a_2})]^{a_3} \quad (41)$$

$$\frac{J_e}{\Delta H} = A [\ln(B \cdot Re_j^{a_1} \cdot F_j^{a_2})]^{a_3} \quad (42)$$

$$\frac{b_u}{\Delta H} = A [\ln(B \cdot Re_j^{a_1} \cdot F_j^{a_2})]^{a_3} \quad (43)$$

Burada; bütün parametrelerin, serbest düşen jetin genişliği j_e , penetrasyon derinliği D_p , kanal girişi ile serbest düşen jetin suya çarptığı nokta arasındaki mesafe b_u , kabarcık bölgesi uzunluğu L_b ve düşme yüksekliği H 'ın metre cinsinden olduğuna, suyun debisi Q 'nın metre küp saniye, ince ve kalın kenarlı dikdörtgen savakların kret genişliği b 'nin metre, ince ve kalın kenarlı

üçgen savakların açısı α 'nın derece, üçgen labirent savakların iç açısı θ 'nın derece ve labirent savakların eşik açısı ϕ 'nin derece olduğuna dikkat etmek gerekir.

Tablo 6.1 D_p değerleri için regrasyon analizi

Savak Tipi	A	B	a_1	a_2	A_3	Korelasyon Katsayısı
İnce kenarlı üçgen	$0.421^{\cos \alpha}$	2.353	0.009	0.032	-48.10	0.914
İnce kenarlı dikdörtgen	4.369	68.9	-0.264	-0.583	1.523	0.871
İnce kenarlı trapez	7.706	15.805	-0.163	-0.392	1.629	0.953
Kalın kenarlı üçgen	$F_j^{-0.612} 0.706^{\cos \alpha}$	0.72	0.1	0.108	-5.046	0.72
Kalın kenarlı dikdörtgen	$\ln(F_j^{1.977})$	15.933	-0.140	-0.311	5.933	0.747
Kalın kenarlı trapez	0.859	$\exp(7.151)$	-0.406	-1.0	1.871	0.846
Üçgen labirent	$0.724^{\cos \theta}$	0.945	0.064	0.241	-5.717	0.836

Tablo 6.2 J_e değerleri için regrasyon analizi

Savak tipi	A	B	A_1	a_2	a_3	Korelasyon Katsayısı
İnce kenarlı üçgen	$0.848^{\cos \alpha}$	2.223	0.040	-0.416	1.000	0.885
İnce kenarlı dikdörtgen	16.608	2.101	0.028	0.086	-28.998	0.568
İnce kenarlı trapez	$\ln(Re_j^{0.115})$	1.617	0.042	0.107	-19.246	0.932
Kalın kenarlı üçgen	$0.394^{\cos \alpha}$	2.783	0.138	-0.299	3.049	0.869
Kalın kenarlı dikdörtgen	$[\ln(Re/F)]^{22.097}$	18.427	0.585	-1.148	23.904	0.510
Kalın kenarlı trapez	0.719	16.94	-0.118	-0.480	2.486	0.975
Üçgen labirent	$1.445^{\cos \alpha}$	1.789	0.018	0.133	-8.208	0.960

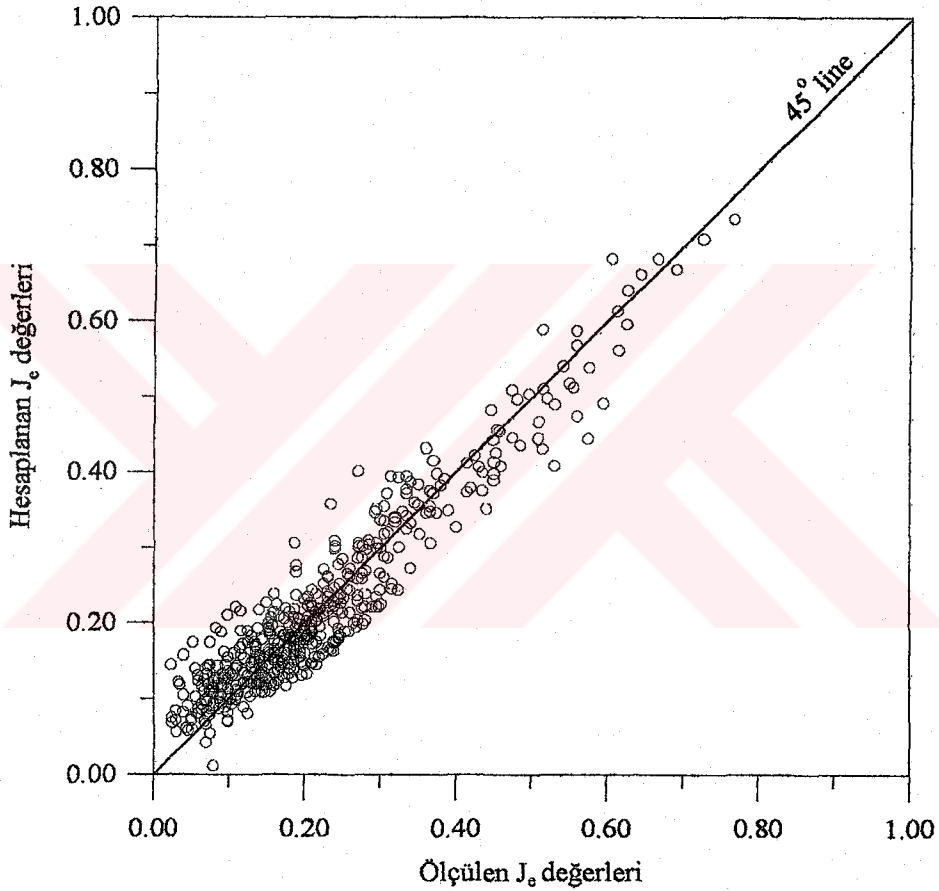
Tablo 6.3 L_b değerleri için regrasyon analizi

Savak tipi	A	B	a_1	a_2	a_3	Korelasyon Katsayısı
İnce kenarlı üçgen	$Re_j^{0.394} 0.414^{\cos \alpha}$	1.979	-0.035	-0.097	2.233	0.905
İnce kenarlı dikdörtgen	$Re_j^{0.304}$	1.580	-0.030	-0.061	1.000	0.792
İnce kenarlı trapez	$\ln(Re_j^{0.165})$	1.084	0.059	0.243	-6.248	0.824
Kalın kenarlı üçgen	$0.449^{\cos \alpha}$	4.201	-0.001	-0.258	5.719	0.890
Kalın kenarlı dikdörtgen	3.215	7.02	-0.075	-0.216	5.866	0.912
Kalın kenarlı trapez	$\ln(Re_j^{0.028})$	1.001	0.046	0.193	-6.067	0.889
Üçgen labirent	$1.079^{\cos \alpha}$	1.809	-0.033	0.466	-2.580	0.875

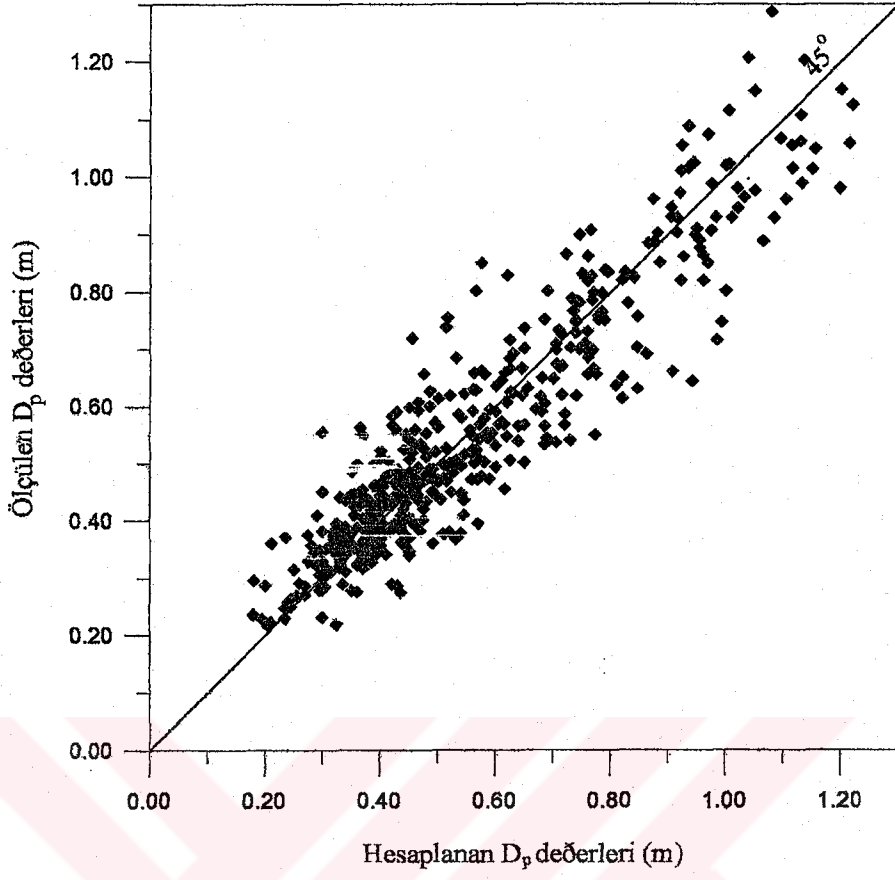
Tablo 6.4 b_u değerleri için regrasyon analizi

Savak tipi	A	B	A_1	a_2	a_3	Korelasyon Katsayısı
İnce kenarlı üçgen	$0.995^{\cos \alpha}$	5.371	-0.044	0.164	-2.177	0.986
İnce kenarlı dikdörtgen	1.42	3.961	-0.03	0.120	-4.600	0.990
İnce kenarlı trapez	1.924	3.642	-0.018	0.093	-5.787	0.994
Kalın kenarlı üçgen	$1.054^{\cos \alpha}$	2.288	-0.006	-0.190	0.867	0.983
Kalın kenarlı dikdörtgen	0.667	4.004	-0.051	0.146	-2.652	0.987
Kalın kenarlı trapez	0.125	5.781	0.082	-0.343	2.112	0.995
Üçgen labirent	$1.007^{\cos \alpha}$	0.930	-0.042	1.388	-1.035	0.984

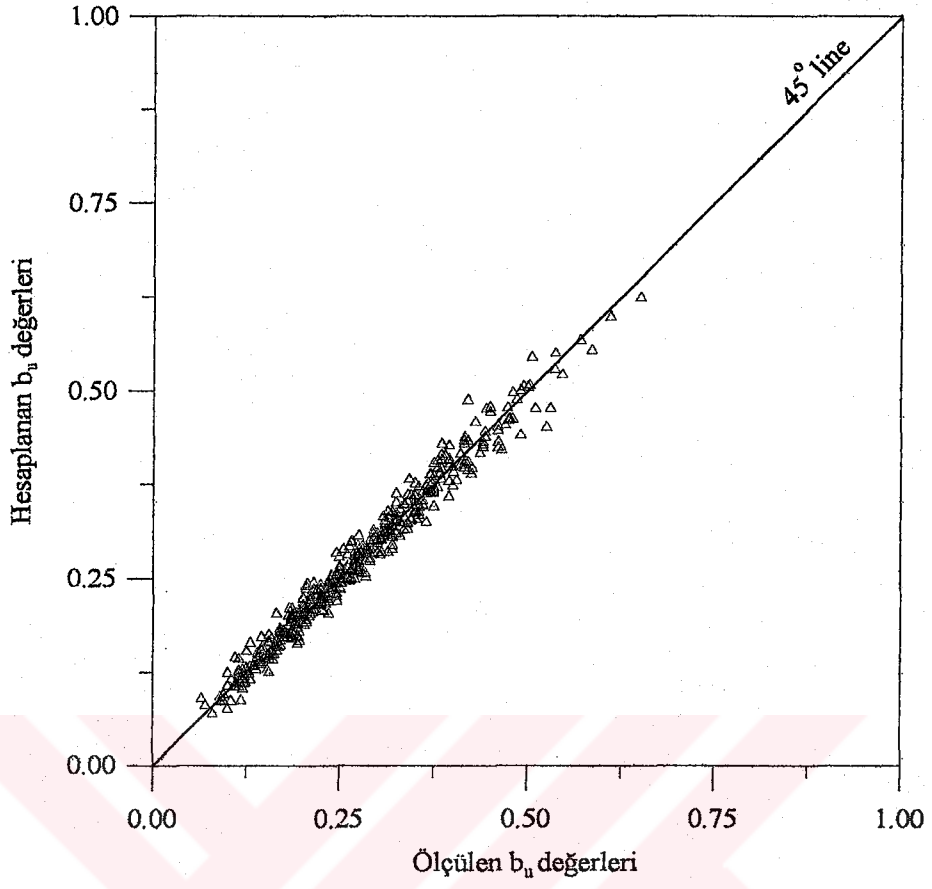
Ölçülen J_c değerleri ile (42) eşitliğinden hesaplanan J_c değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçülen J_c değerleri ile hesaplanan J_c değerleri arasında uyum olduğu saptanmıştır. Ölçülen penetrasyon derinlikleri ile (40) eşitliğinden hesaplanan değerler karşılaştırılmış ve aralarında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Ölçülen b_u değerleri ile (43) eşitliğinden hesaplanan b_u değerleri karşılaştırılmıştır. Eşitliklerden hesaplanan değerler ile, ölçülen b_u değerleri arasında çok iyi bir uyum olduğu saptanmıştır. Ölçülen L_b değerleri ve (41) eşitliklerinden elde edilen L_b değerleri de karşılaştırılmıştır. Bunlar arasında da iyi bir uyum elde edilmiştir. Ayrıca Tablo 6.1-4'teki korelasyonların da güvenilir olduğu görülmektedir.



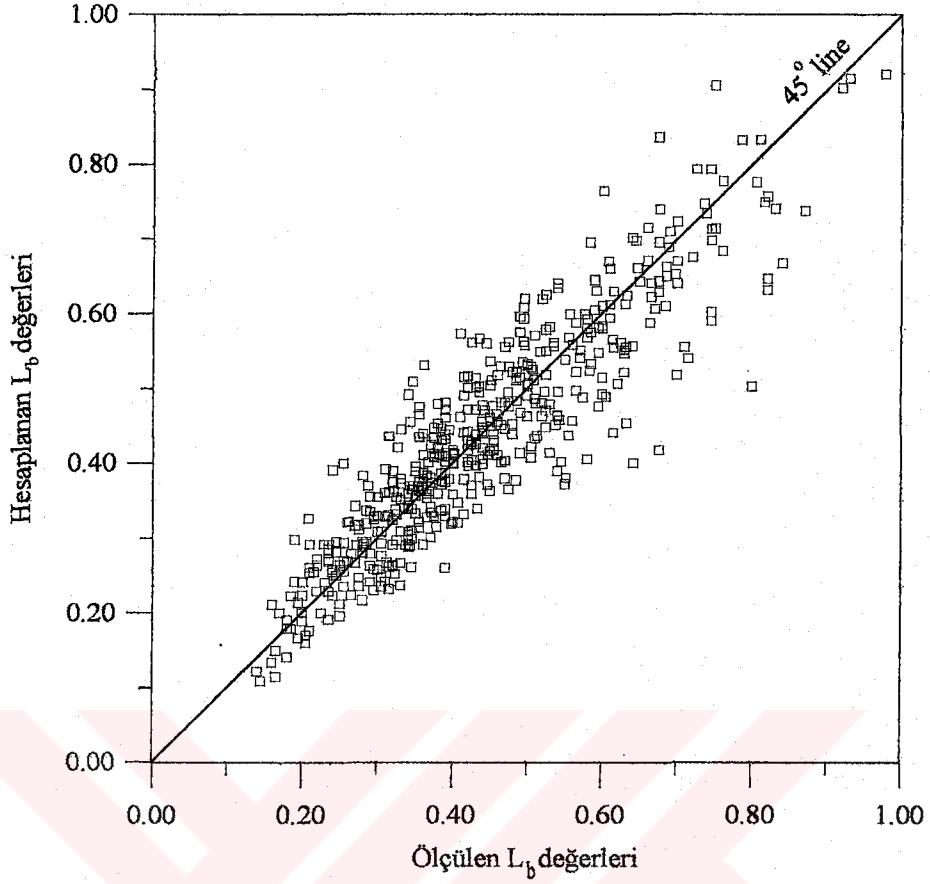
Şekil 6.7. Ölçülen J_c değerleri ile (42) eşitliğinden hesaplanan J_c değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6.8 Ölçülen D_p değerleri ile (40) eşitliğinden hesaplanan D_p değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.9 Ölçülen b_u değerleri ile (43) eşitliğinden hesaplanan b_u değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.10. Ölçülen L_b değerleri ile (41) eşitliğinden hesaplanan L_b değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıdaki eşitlikler, mansap havuzunun minimum genişlik, uzunluk ve derinliğinin hesaplanması için kullanılabilir:

$$W_d = J_o \quad (44)$$

$$L_d = b_u + L_b \quad (45)$$

$$z = D_p \quad (46)$$

Burada; W_d =mansap havuzunun minimum genişliği, L_d =mansap havuzunun minimum uzunluğu, z =minimum kuyruksuyu derinliğidir. Bu değerler, metre olarak ifade edilmektedir. Mansap havuzunun boyutları burada bulunan W_d , L_d ve z boyutlarından daha büyük olmalıdır.

Bu çalışmada, test edilen debiler, uygulamadaki debilere göre oldukça küçüktür. Bu nedenle deneylerde ölçek etkisi meydana gelecektir. Laboratuvar şartlarında büyük debilerde deneyleri yapmak bu çalışma için mümkün olmamıştır. Çünkü mansap havuzu yan duvarının cam olması gerekmektedir. Ancak, test edilen düşme yükseklikleri prototip ölçülerine benzerdir. Yapılan deneylerde, penetrasyon derinliği için elde edilen sonuçlar, uygulamadaki değerlerden oldukça farklıdır. Bu durum daha çok, kabarcık boyutlarının değişmemesinden kaynaklanmaktadır. Eğer bu eğilimin artması söz konusu olursa, daha yüksek debilerde deneyler yürütmek gerekecektir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı savak tipleri ve savak şekilleri için penetrasyon derinliğini hesaplamak amacıyla deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Farklı savak tipleri için maksimum penetrasyon derinliğini, serbest düşen jetin genişliğini ve kabarcık bölgesinin uzunluğunu hesaplamak için korelasyonlar geliştirilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bu çalışmada, serbest düşen jetin genişliğinin, (J_e) ve penetrasyon derinliğinin, (D_p), her bir savak çeşidi için farklı olduğu görülmüştür.
- Suyun debisinin artmasıyla birlikte, jetin genişliği, (J_e), de artmaktadır.
- Test edilen savaklar arasında labirent savaklar, en yüksek J_e değerine sahiptir. Labirent savaklarda, üçgen labirent savakların iç açısı küçüldüğünde J_e değeri artmaktadır. Labirent savaklardaki, serbest düşen jetin genişliği, (J_e), ince kenarlı trapez savaklarından ve ince kenarlı dikdörtgen savaklarından oldukça fazladır. Bu durumun sebebi ise, test edilen savaklar arasında kret uzunluğu en fazla olan savağın labirent savak olmasıdır. Labirent savakların J_e değeri, düşme yüksekliğinin artmasıyla birlikte yükselme eğilimi göstermektedir.
- Sonuçlar, ince kenarlı trapez savakların ve ince kenarlı dikdörtgen savakların en düşük J_e değerine sahip olduğuna işaret etmektedir. İnce kenarlı dikdörtgen savaklarda, kret genişliğinin, (b), artmasıyla birlikte, J_e değeri de artmaktadır. Kalın kenarlı dikdörtgen savaklar için J_e değeri, ince kenarlı dikdörtgen savaklarından daha fazladır. İnce kenarlı üçgen savaklar için J_e değeri, üçgen savağın α açısının küçülmesiyle birlikte artmaktadır. Kalın kenarlı üçgen savaklar için, serbest düşen jetin genişliği, (J_e), ince kenarlı üçgen savağından çok daha küçüktür.
- Deneysel verilerden; D_p değerinin her bir savak çeşidi için jetin şekli ve genişliği ile yakından ilgili olduğu görülmektedir. Suyun debisi arttıkça, penetrasyon derinliği, (D_p), artma eğilimi göstermektedir. Düşme yüksekliğinin artmasıyla, penetrasyon derinliğinde, (D_p), azalma eğilimi gözlenmektedir. J_e 'nin artmasıyla da, penetrasyon derinliği, (D_p), düşmektedir.
- Test edilen savaklar içinde, labirent savaklar en düşük D_p değerine sahiptir. İç açısı 45° ve ϕ açısı 0° olan üçgen labirent savakların penetrasyon derinliği, (D_p), test edilen tüm debilerde, en düşük olmuştur.
- Bütün savaklar arasında en yüksek D_p değerine sahip savaklar, ince kenarlı dikdörtgen ve trapez savaklardır. Özellikle, ince kenarlı trapez savaklar en büyük D_p değerine sahip olmuştur.

- Hem ince kenarlı üçgen savaklarda hem de kalın kenarlı üçgen savaklarda, üçgen savağın α açısı arttıkça D_p de artmaktadır.
- Eğer kanal çok geniş ise ve oksijen transferinin veriminin artırılması gerekiyorsa çok sayıda savak birarada kullanılabilir. Örneğin, 30° ince kenarlı savak testere dişi gibi bir yapı şekli kullanılarak daha çok hava mansap havuzuna sokulabilir. Eğer mansap havuzunda oyulma problemi yaşanır, küçük penetrasyon derinliğine sahip olması nedeniyle labirent savakların seçilmesi uygun olacaktır. Bununla birlikte sonraki çalışmalarda, savak çeşidinin havuz tabanının oyulmasındaki rolünün hesaplanması gerekir. Eğer mansap havuzunun genişliği çok dar ise, küçük açılı ince kenarlı labirent ve özellikle küçük açılı üçgen savaklar uygun olmayacaktır. Çünkü bu savakların jet genişliği çok büyüktür.
- Bu çalışmada elde edilen eşitlikler kullanılarak savakların akım karakteristik özellikleri belirlenebilecektir.

ÖNERİLER

- Farklı tipteki savakların mansabında oluşan oyulma problemi incelenebilir.
- Bu çalışmada dikkate alınmayan daha büyük debilerde çalışılabilir.
- Kabarcıkları dinamiği, fiziksel hareketleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Davis, A.C., Jacob, R.P., and Ellett, B.G.S., 1999, Estimating trajectory of free overfall nappe, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 125, No. 1, 79-82.
2. Rouse, H., 1943, Discussion to energy loss at the base of a free overfall, trans., ASCE, 108.
3. Davis, a. C., Ellet, B. G. S., ve Jacob, R. P., 1998, Flow measurement in sloping channels with a rectangular free overfall, *Journal of Hydaulic Engineering*, ASCE, 124, No.7, 760-763.
4. Hager, W. H., 1983, Hydraulics of plane free overfall, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 109, No. 12, 1683-1697.
5. Kobus, H. ve Koschitzky, H. P., 1991, Local surface aeration at hydraulic structures, *Hydraulic Structures Design Manual*, 4, No. 29-53.
6. Baylar, A., ve Emiroglu, M.E., 2002, The effect of sharp-crested weir shape on air entrainment, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29, No. 3, 375-383.
7. Emiroglu, M.E., ve Baylar, A., 2003a, Experimental study of the influence of different weir types on the rate of air entrainment, *Water Quality Research Journal of Canada*, 38, No. 4, 769-783.
8. Emiroglu, M.E., ve Baylar, A., 2003b, The effect of broad-crested weir shape on air entrainment, *Journal of Hydraulic Research*, 41, No. 6, 649-655.
9. Emiroglu, M.E., ve Baylar, A., 2005, The influence of included angle and sill slope on air entrainment of triangular planform labyrinth weirs, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 131 (3), 184-189.
10. Sene, K.J., 1988, Air entrainment by plunging jets, *Chemical al Engineering Science*, 43, No. 10, 2615-2623.
11. Cummings, P. D., Chanson H., 1997, Air entrainment in the developing flow region of plunging jets- part 1: Theoretical development, *Journal of Fluids Engineering*, 119, 597-602.
12. Cummings, P. D., Chanson H., 1997, Air entrainment in the developing flow region of plunging jets- part 2: Experimental, *Journal of Fluids Engineering*, 119, 603-608.
13. McKeogh E. J. ve Ervine D.A., 1981, Air entrainment rate and diffusion pattern of plunging liquid jets, *Chemical Engineering Science*, 36, 1161-1172.
14. Ito A., Yamagiwa K., Tajima K., Yoshida M., Ohkawa A., 2000, Maximum penetration depth of air bubbles entrained by vertical liquid jet, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 33, No. 6, 898-900.
15. Clanet C. ve Lasheras J. C., 1997, Depth of penetration of bubbles entrained by a plunging water jet, *American Institute of Physics*, 9, No. 7, 1864-1866.

16. Kumagai M., Ishizaki H., Endoh K., 1993, Penetration depth of bubble swarm entrained by a plunging jet, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 26, No. 2, 217-219.
17. Bin A. K., 1993, Gas entrainment by plunging liquid jets, *Chemical Engineering Science*, 48, No. 21, 3585- 3630.
18. Nakasone H., 1987, Study of aeration at weirs and cascades, *Journal of Environmental Engineering*, 113, No.1, 64-81.
19. Apted, P. W., ve Novak P., 1973, Some studies of oxygen uptake at weirs, *Proceedings of the XV Congress, IAHR paper B23*.
20. Avery, S., ve Novak P., 1978, Oxygen transfer at hydraulic structures, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 104, 1521-1540.
21. Grindrod, J., 1962, British research on aeration at weir, *Water and Sewage Works*, October.
22. Albrecht, D., 1968, Belüftung des ruhrwassers am wehr spiellenburg, *Die Wasserwirtschaft*, 11.
23. Nakasone, H., 1975, Applicable scope of equation of aeration and the region for aeration, *transactions, JSIDRE*, 59.
24. Nakasone, H., 1976, Study on the effect of pollutant materials for oxygen transfer of falling water, *Journal of Water and Waste*, 17, No. 6., 13-18.
25. Muslu, Y., 1993, Hidroloji ve Meskun Bölge Drenajı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul*, 708s.
26. Canik, B., 2003, Hidrojeoloji, *Ankara Üniversitesi, Ankara*, 286s.
27. French, R. H., 1986, *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
28. Kells, J. A. ve Smith, C. D., 1991, Reduction of cavitation on spillways by induced air entrainment, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 18, No.3, 358-377.
29. Erkek, C. ve Ağırlioğlu, N., 2002, *Su Kaynakları Mühendisliği*, Beta Yayınevi, İstanbul, 360s.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Adıyaman'da doğdum. Yavuz Selim İlkokulu'nda ilk öğrenimimi, Adıyaman Anadolu Lisesi'nde ise orta ve lise öğrenimimi tamamladım. 1999 yılında girmiş olduğum Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2003 yılında bitirdim. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimime başladım. İngilizce bilmekteyim.

Fatma Zehra ÜNSAL

