

Bir Su Alma Ağzının Kritik Batıklığı Üzerinde Akım Sınır Etkilerinin Karşılaştırılması

Nevzat YILDIRIM*

Kerem TAŞTAN**

ÖZ

Bu çalışmada, üniform kanal akımı içerisinde yerleştirilmiş olan dikdörtgen veya dairesel kesitli tek bir su alma ağzına ait kritik batıklık üzerinde kanal tabanının ve ölü-son duvarının etkisi deneysel olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Kritik batıklığın bağlı olduğu boyutsuz büyüklükler boyut analizi sonucunda elde edilmiştir. Üniform kanal akımı içerisinde farklı konumlarda bulunan dikdörtgen ve daire kesitli su alma ağzları ile deneyler yapılmıştır. Deneysel neticeler, ağzın kanal akımı sınırlarına göre konumunun kritik batıklığı önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Genel olarak denilebilir ki, serbest su yüzeyini kesen akım sınırının (duvarın) kritik batıklık üzerindeki etkisi, serbest su yüzeyini kesmeyen su altı akım sınırının (mesela tabanın) etkisinden çok daha fazladır.

Anahtar Kelimeler: Su alma ağzı, çevrinti, batıklık, kritik batıklık

ABSTRACT

Comparison of Flow Boundary Effects on Critical Submergence of an Intake

In this study, the effects of canal bottom and dead-end wall on the critical submergence of a single rectangular or circular intake are investigated and compared. In order to find the functional relationship involving the critical submergence and the influencing dimensionless variables, dimensional analysis is utilized. Experiments were conducted on a rectangular or circular intake sited with different positions in a uniform canal flow. Experimental results have indicated that the flow boundaries considerably affect the critical submergence. The effect of the boundary cutting the free-surface on the critical submergence is much larger than that of the sub-surface boundary not cutting the free-surface.

Keywords: Intake, vortex, submergence, critical submergence

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 26.09.2008 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara- nevzaty@gazi.edu.tr

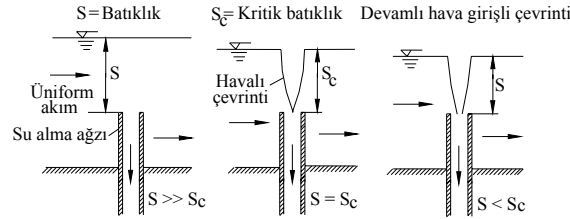
** Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara- ktastan@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Sulama, enerji üretimi, evsel ve endüstriyel kullanım amacıyla su, nehir yada barajlardan su alma ağzları vasıtasıyla alınır. Su alma ağzının su yüzeyinden olan düşey mesafesine (derinliğine) su alma ağzının “batıklığı” denmektedir. Su alma ağzına ait batıklık yeterli olmadığına su yüzeyinde oluşan serbest çevrinti yoluyla ağza hava girerek çeşitli problemlere yol açar. Su alma ağzına hava girişi, gerekli debinin ağzdan alınmamasına neden olduğu gibi, su iletim sistemindeki pompa ve türbin gibi elemanlarda da kaviteasyon ve titreşimlere yol açar. Bu nedenle, hava girişinin hangi parametrelerle değiştiğinin belirlenmesi su alma ağzlarının tasarımında büyük önem taşır.

Su alma ağzına hava girişinin başladığı andaki batıklığa (hava girişli serbest çevrıntinin alt ucunun ağız seviyesine ulaştığı durumdaki batıklığa) “kritik batıklık” denir. Kritik batıklıktan küçük batıklıklarda, ağza devamlı hava girerek yukarıda değinilen sorunlara yol açar (Şekil 1).

Su alma ağzına ait kritik batıklık üzerinde kanal akım sınırlarının etkileri vardır. Bu makalede üniform kanal akımı içerisine yerleştirilmiş dikdörtgen ve dairesel kesitli tek bir su alma ağzına ait kritik batıklığın, kanal ölü-son duvarı ve kanal tabanından nasıl etkilendiği deneysel olarak araştırılmış olup ölü-son duvarı ve kanal tabanının kritik batıklık üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Su alma ağzına ait batıklık, kritik batıklık ve devamlı hava girişli çevrinti

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Su alma ağzlarına serbest çevrinti yoluyla hava girişini inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yıldırım ve Jain [1], yüzeysel gerilmenin kritik batıklığa etkisini araştırmışlardır. Posey ve Hsu [2], su alma ağzına hava girişinin debi katsayısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Iversen [3], düşey aşağı su alma ağzı kullanarak sınır duvarların serbest çevrinti üzerindeki etkilerini araştırmış ve keskin köşelerin havalı serbest çevrintiye güçlendirici etkilerini azaltmak için su alma ağzının yan ve arka duvara olan mesafesinin $D/4-D/2$, tabana olan mesafesinin ise en az $D/2$ olması gerektiği sonucuna varmıştır. Burada D , su alma ağzının iç çapıdır. Denny [4], su alma ağzlarındaki hava girişinin santrifüj pompa verimini nasıl etkilediğini incelemiştir. Markland ve Pope [5], kuyular için su alma ağzlarındaki emme hızı ile batıklık arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemişlerdir. Gulliver ve Rindels [6], akım yaklaşım açısının hava girişi üzerinde etkili olduğunu deneysel olarak göstermişlerdir. Odgaard [7], durgun su ortamındaki su alma

ağzına olan hava girişini, bir serbest çevrinti (free vortex) ve bir çizgisel kuyunun (line sink) birleşimi olarak göz önüne almıştır. Hite ve Mih [8], serbest çevrintinin şeklini ve hız dağılımını araştırmışlardır. Jain vd. [9,10], viskozite ve sirkülasyonun kritik batıklık üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Yıldırım ve Kocabaş [11], potansiyel akım çözümünü kullanarak su alma ağzına ait kritik batıklığı elde etmişlerdir. Yaklaşımlarında akımın, üniform akım ile su alma ağzıyla aynı merkeze ve debiye sahip noktasal kuyudan (point sink) oluştuğunu kabul etmişlerdir. Ağza hava girişi olabilmesi için, üniform akım ve noktasal kuyu akımlarının oluşturduğu Rankine ovalinin üst sınırının, ağız üzerinde su yüzü ile çakışması gerektiğini ifade etmişlerdir. Üniform kanal akımındaki su alma ağzına ait batıklığın, su alma ağzı ile aynı debiye ve merkeze sahip olan hayali kritik küresel kuyu yüzeyinin (KKKY) yarıçapına eşit olduğunu ve KKKY'deki hızın verilen geometri ve akım şartları için sabit olduğunu göstermişlerdir. Yıldırım ve Kocabaş [12], kritik küresel kuyu yüzeyi (KKKY) kavramının durgun su ortamından su alan ağızlar için de kullanılabileceğini ispatlamışlardır. Yıldırım vd. [13, 14], geçirimsiz sınırların su alma ağzına ait kritik batıklık üzerindeki “engel” etkilerini araştırmışlardır. Engel etkisini tam bir kritik küresel kuyu yüzeyinde meydana gelen alan kaybı olarak tanımlamışlardır. Söz konusu “engel” etkisinin, kritik batıklık üzerinde önemli olduğunu göstermişlerdir. Kocabaş ve Yıldırım [15], akıma uygulanan çevrintinin (sirkülasyonun) su alma ağzına ait kritik batıklık üzerindeki etkisini araştırmışlar ve akıma uygulanan çevrintinin kritik batıklığı önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. Yıldırım [16], Eroğlu ve Bahadır [17] dikdörtgen kesitli bir su alma ağzına ait kritik batıklığı potansiyel akım çözümüyle bulmaya çalışmışlardır.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen önceki çalışmalarda yapılmamış olan kanal tabanı ve kanal ölü-son duvarının ağza ait kritik batıklık üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Su yüzeyinde oluşan çevrinti vasıtası ile su alma ağzına hava girişi olayı son derece karmaşık olduğundan konuyu analitik olarak incelemek oldukça güçtür. Bu nedenle, bu çalışmada deneysel yöntem izlenmiştir. Kritik batıklık ve bağlı olduğu değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişki aşağıda anlatılmış olan boyut analizi yöntemiyle bulunmuştur.

3. BOYUT ANALİZİ

Bu çalışmada, kanal ölü-son duvarının ve kanal tabanının kritik batıklık üzerindeki etkisi, hem dairesel hem de dikdörtgen kesitli su alma ağızları için incelenmiştir. Dikdörtgen kesitli bir su alma ağzı için boyut analizi aşağıda anlatılmıştır. Benzer olması nedeniyle, dairesel kesitli bir su alma ağzına ait boyut analizinin sadece sonuçları ileride verilmiştir.

Dikdörtgen kesitli yatay bir kanal içerisine yerleştirilmiş, dikdörtgen kesitli bir su alma ağzı göz önüne alınsın. (Şekil 2). Bu ağza ait kritik batıklığı etkileyen değişkenler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$S_{cd} = f_1(V_d, U_\infty, \rho, \mu, \Gamma, \sigma, g, b, a, c_d, b_{1d}, b_{2d}, I_d, e_d) \quad (1)$$

Burada, S_{cd} = dikdörtgen ağza ait kritik batıklık, V_d = dikdörtgen ağza ait ortalama akım hızı; U_∞ = kanal akımına ait üniform (kesit ortalama) akım hızı; ρ = yoğunluk; μ = dinamik viskozite; Γ = akıma dışardan uygulanan çevri; σ = yüzey gerilmesi; g = yerçekimi ivmesi;

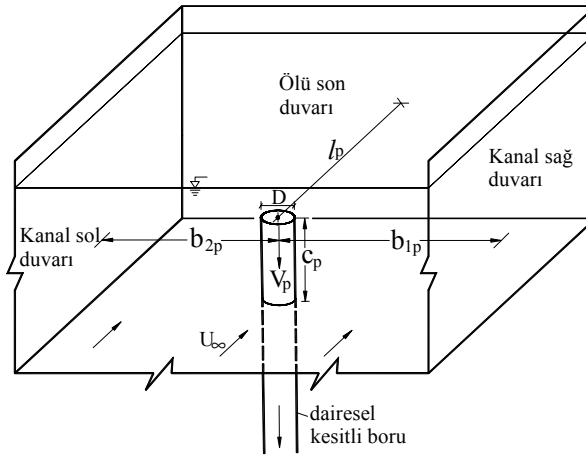
uygulanmadığından Γ veya K yoktur. Önceki çalışmalar [1, 6, 7, 8, 9, 10, 11] göstermiştir ki, uygulamada W ve R 'nin kritik batıklık üzerindeki etkileri ihmal edilebilir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında Eşitlik 2 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{S_{cd}}{a} = f_3 \left[\frac{V_d}{U_\infty}, \frac{b}{a}, F_d, \frac{c_d}{a}, \frac{l_d}{a} \right] \quad (3)$$

Benzer işlemler yapılarak Şekil 3'de gösterilen dairesel kesitli ağız için de boyut analizinin neticesi şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{S_{cp}}{D} = f_4 \left[\frac{V_p}{U_\infty}, F_p, \frac{c_p}{D}, \frac{l_p}{D} \right] \quad (4)$$



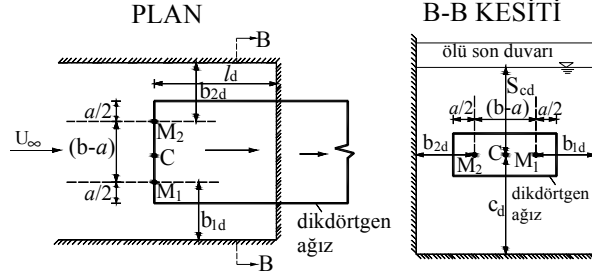
Şekil 3. Dairesel kesitli su alma ağzına ve kanal içindeki yerleşimine ait büyüklükler

Burada, S_{cp} = daire kesitli ağza ait kritik batıklık; V_p = daire kesitli ağza ait ortalama akım hızı; D = daire kesitli ağzın iç çapı; c_p = daire kesitli ağız seviyesinin kanal tabanına olan düşey mesafesi; b_{1p} ve b_{2p} sırasıyla daire kesitli ağzın kanal sağ ve sol duvarına olan yatay mesafeleri; l_p = daire kesitli ağzın ölü-son duvarına olan mesafesi ve $F_p = V_p / (gD)^{0.5}$ = daire kesitli ağız için Froude sayısıdır (Şekil 3).

Geometrik şekli nedeniyle bir dikdörtgen ağzın kanala yerleşimi (konumu) farklılıklar gösterebilir. Bu farklı durumların ayırt edilebilmesi ve deney sonuçlarının analizinde kolaylık sağlanması bakımından aşağıda açıklanan ve uygulamada en çok rastlanabilecek dört ayrı durum göz önüne alınmıştır.

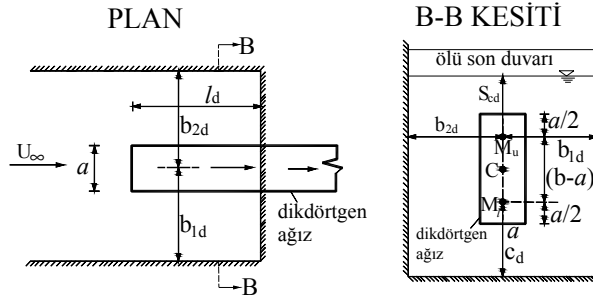
Durum I: Ölü-son duvarından yatay olarak geçen, uzun kenarı kanal tabanına paralel (yatay) olarak konulmuş dikdörtgen ağız (UKPDA) (Şekil 4).

Bir Su Alma Ağzının Kritik Batıklığı Üzerinde Akım Sınır Etkilerinin Karşılaştırılması



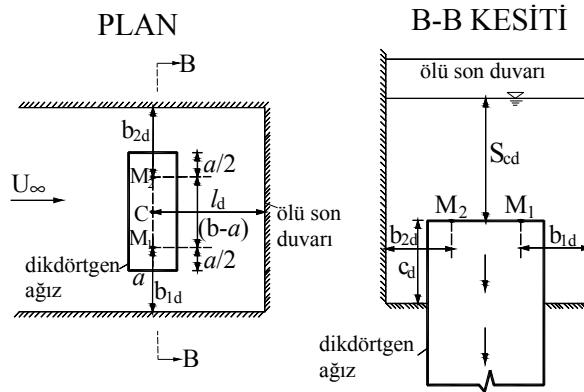
Şekil 4. Durum I (UKPDA)

Durum II: Ölü-son duvarından yatay olarak geçen, uzun kenarı kanal tabanına dik olarak konulmuş dikdörtgen ağız (UKDDA) (Şekil 5).



Şekil 5. Durum II (UKDDA)

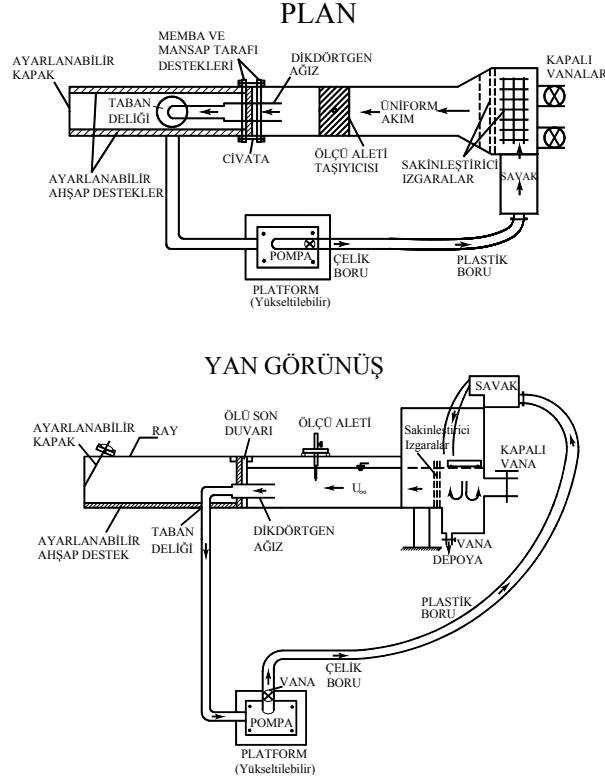
Durum III: Uzun kenarı kanal tabanına paralel (yatay) olarak konulmuş (UKPDA) düşey aşağı su alan dikdörtgen ağız (dikdörtgen ağzın uzun kenarı akım yönüne diktir) (Şekil 6).



Şekil 6. Durum III (UKPDA)

Bir Su Alma Ağzının Kritik Batıklığı Üzerinde Akım Sınır Etkilerinin Karşılaştırılması

ağzlar, kanal yan duvarlarından yeterince uzak mesafeye (daha önce de değinilen en büyük kritik batıklıktan daha büyük) yerleştirildi.



Şekil 8. Deney düzeneği (ölçeksiz)

Ağzın bağlı olduğu boru Şekil 8'de görüldüğü gibi kanal tabanında bulunan delik vasıtasıyla kanal dışına çıkarıldı. Su alma ağzına bağlı borunun kanal dışında kalan kısmı 90° dirsek ve flanşlarla 7.5 kW'lık bir pompaya bağlandı. Pompanın çıkışı düşey demir bir boruya bağlandı. Düşey boru kısmı, bir dirsekle plastik bir boruya bağlanmış olup bu plastik boru da ağızdan geçen debinin ölçümü için kullanılan üçgen savağa bağlandı. Pompanın çıkışındaki düşey boru kısmına yerleştirilen bir vanayla ağızdan geçen debi ayarlandı. Üçgen savaktan geçen su kanal başına verilerek suyun devir-daimi sağlandı. Kanaldaki su seviyesi, kanal başının alt kısmında bulunan bir drenaj vanası yardımıyla ayarlandı. Boruların kanala istenilen konumda yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra şehir şebekesinden kanala yeterli derinlikte su dolduruldu. Daha sonra su alma ağzına bağlı 7.5 kW'lık pompadan istenilen debi çekildi. Hava girişli çevrintinin oluşması için 1-2 saat beklendi. Hava girişli çevrinti oluşmadığında, kanalın başında bulunan ve ilk başta kapalı durumda olan drenaj vanası bir miktar açılarak batıklık düşürüldü. Hava girişli çevrinti oluşuncaya kadar bu adımlar tekrar edildi. Hava girişli çevrinti oluştuğunda debi ve su yüzü ölçümleri yapıldı ve ortalama hızlar süreklilik denkleminden hesaplandı. Dikdörtgen ağız için yapılan deneylerin benzeri dairesel kesitli ($D = 5.32$ cm) su alma ağzı için de yapıldı.

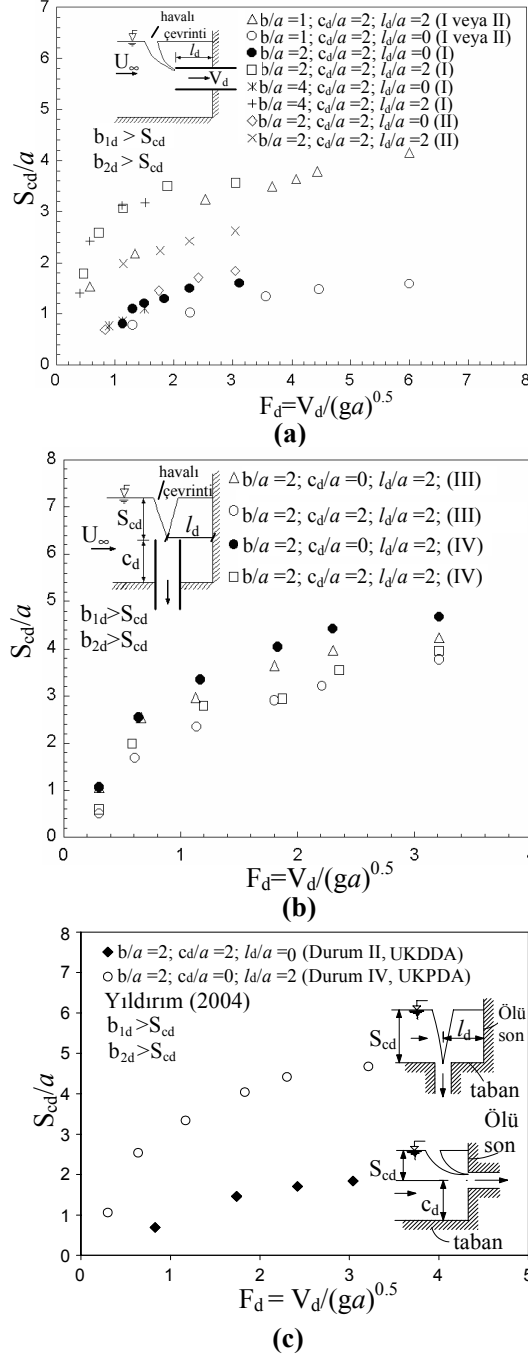
5. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Dikdörtgen ve dairesel kesitli ağza ait kritik batıklığın, ağzın faklı konumları için “ F_d ve F_p ” sayısı ile değişimi Şekil 9 ve 10’da görülmektedir (Şekil 9’da parantez içine yazılan (I), (II), (III) ve (IV) sayıları, sırasıyla Durum I, II, III ve IV’ü göstermektedir). Şekil 9.(a)’da ölü-son duvarının dikdörtgen ağza ait kritik batıklık üzerindeki etkisi görülmektedir (bütün durumlarda ağzın kanal tabanına mesafesi aynı olup $c_d/a=2$ dir). Bu şekilden de görüleceği üzere ağız ölü-son duvarına yaklaştıkça kritik batıklık azalmaktadır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir. Özellikle $l_d = 0$ durumunda yani su alma ağzının çıktığı duvar ile ağız aynı düzlem üzerindeyse, hava girişli çevrintinin enerjisi duvardaki sürtünme nedeniyle harcanır. Böylece hava girişli çevrinti beklenen kritik batıklık değerinin altında çok kısa zaman aralıklarıyla ve çok sık ağza girer. Şekil 9.(b)’de ise ağzın kanal tabanına olan düşey mesafesinin kritik batıklık üzerindeki etkisi görülmektedir (bütün durumlarda ağzın ölü-son duvarına mesafesi aynı olup $l_d/a=2$ dir). Bu şekilden de anlaşılacağı gibi ağzın kanal tabanına mesafesi azaldıkça ağza ait kritik batıklık artmaktadır. Bunun sebebi aşağıda açıklanmıştır.

Yıldırım [16]’ın çalışmasında dikdörtgen ağza ait kritik batıklığın, kritik yarı-küresel kuyu yüzeyinin veya kritik silindirik kuyu yüzeyinin yarıçapına eşit olduğu ve kritik durumda bu yüzeylerdeki hızın verilen akım şartlarında ayrı ayrı belli sabit değerlere sahip olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla, kanal tabanının engel etkisi nedeniyle bu kuyu yüzeylerinde oluşan alan kayıpları, süreklilik kanunu gereği kritik batıklığın artmasına neden olmaktadır. Şekil 9. (c)’de ise dikdörtgen ağzın, ölü-son duvarıyla aynı düzlem üzerinde olması durumuyla kanal tabanıyla aynı düzlemde olması durumu karşılaştırılmıştır. Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, dikdörtgen ağzın kanal tabanı ile aynı düzlemde olması durumuna ait kritik batıklık ağzın ölü-son duvarı ile aynı düzlem üzerinde bulunması durumundakine göre önemli ölçüde büyük olmaktadır.

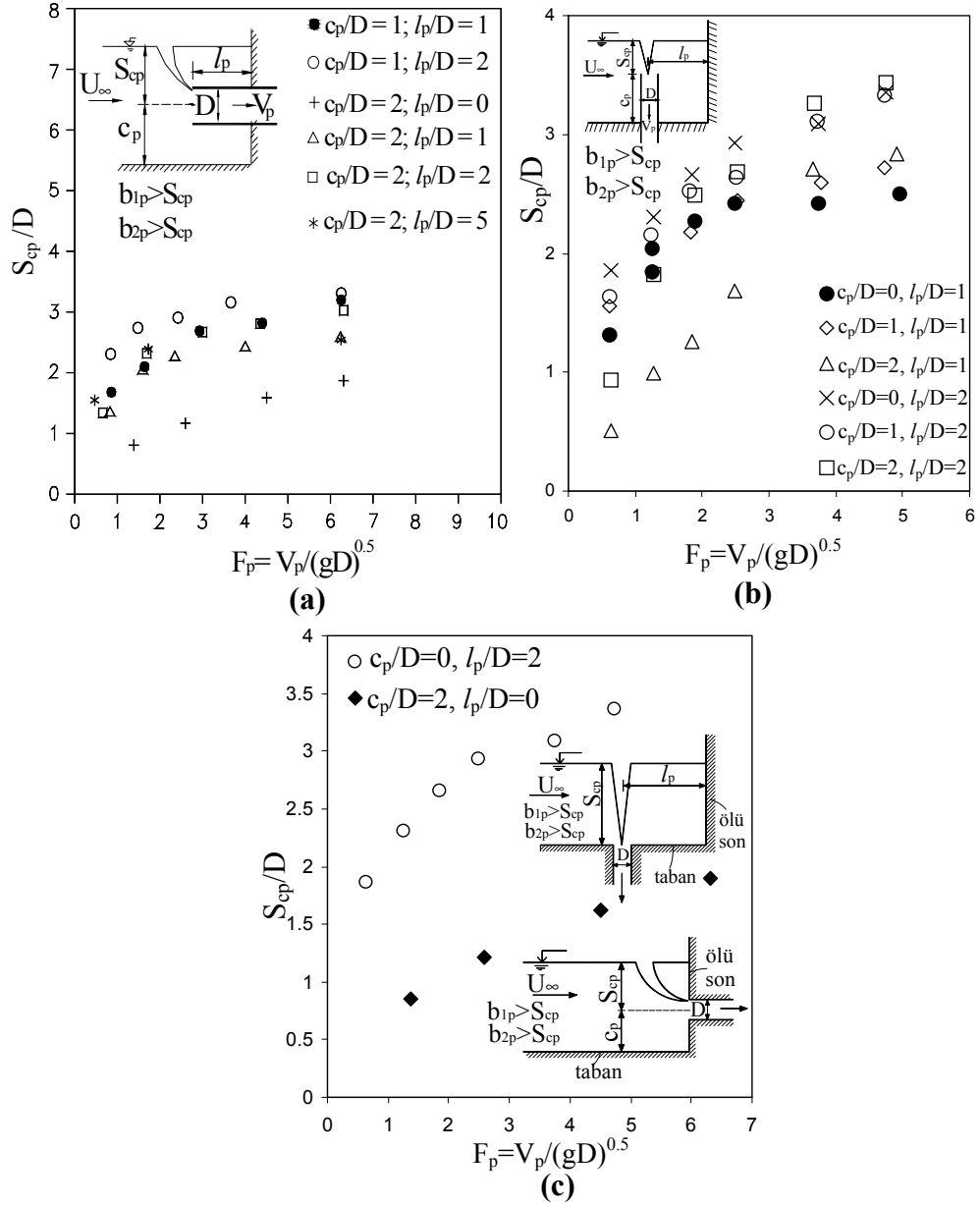
Gerçekte ölü-son duvarı, serbest yüzeyi kesen bir akım sınırını; kanal tabanı ise yüzey altı (tamamen batık) bir akım sınırını temsil etmektedir. Şekil 9 ve 10’da görülüyor ki ölü-son sınırının (serbest yüzeyi kesen sınırın) etkisi kanal tabanının (tamamen batık sınırın) etkisinden çok daha büyüktür. Bunun sebebi şudur. Hava girişli serbest çevrinti, esas olarak serbest yüzeyden başlayıp gelişen bir olay olup serbest yüzeydeki akım şartlarından oldukça çok etkilenmektedir. Hava girişli çevrinti olayı sıvı yüzeyindeki düzensizliklere (perturbations or disturbances) oldukça çok bağlıdır. Serbest yüzeyi kesen bir sınır, su yüzeyindeki akım kısmına büyük bir sürtünme uygularken; tamamen batık bir sınırın su yüzeyindeki akım kısmına uyguladığı sürtünme etkisi yoktur (ihmal edilebilecek kadar küçüktür). Dolayısıyla, serbest yüzeyi kesen akım sınırının sürtünme etkisi su yüzeyindeki akım kısmının hızını [dolayısıyla çevrintinin gücünü (strength of circulation)] ve enerjisini büyük ölçüde azaltır, serbest yüzeyde oluşan düzensizlikleri sönmümler. Tamamen batık bir sınırın su yüzeyinde böyle bir etkisi yoktur (ihmal edilebilecek kadar azdır). İşte bu nedenlerdendir ki, sıvı yüzeyini kesen bir sınırın (burada ölü-son) kritik batıklık üzerindeki etkisi batık sınırınkinden (kanal tabanından) çok daha fazladır. Uygulamada ağza ait boyut ve debi veya hız bilindiğinden ağza ait Froude sayısı bilinmektedir. İşte bu nedenle (uygulamada kolaylık olması amacıyla) kritik batıklığın ağza ait Froude sayısı ile değişimi Şekil 9 ve 10’da gösterilmiştir. Bilinen Froude sayısı ile Şekil 9 veya 10’a gidilerek gereken kritik batıklık bulunur (okunur).

Bir Su Alma Ağzının Kritik Batıklığı Üzerinde Akım Sınır Etkilerinin Karşılaştırılması



Şekil 9. a,b,c) Dikdörtgen ağza ait kritik batıklık üzerinde ölü-son duvarının ve kanal tabanının etkilerinin karşılaştırılması

Şekil 10'da ise dairesel kesitli bir su alma ağzına ait kritik batıklığın ağzın farklı konumları için, F_p sayısı ile değişimi gösterilmektedir. Dairesel kesitli ağza ait kritik batıklık, dikdörtgen kesitli ağızda olduğu gibi, ağız kanal tabanına yaklaştıkça artarken, ölü-son duvarına yaklaştıkça azalmaktadır.



Şekil 10. a,b,c) Dairesel ağza ait kritik batıklık üzerinde ölü-son duvarının ve kanal tabanının etkilerinin karşılaştırılması

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Su alma ağzının kanal tabanına ve ölü-son duvarına mesafesi su alma ağzına ait kritik batıklık üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
2. Su alma ağzına olan mesafeleri azaldıkça, su yüzeyini kesen katı cidarlar (su yüzeyini kesen akım sınırları) viskozite (boundary-effect) nedeniyle ağza ait kritik batıklığın önemli derecede azalmasına sebep olur.
3. Su alma ağzı seviyesi kanal tabanına yaklaştıkça kritik batıklık artarken, ağız ölü-son duvarına yaklaştıkça kritik batıklık azalmaktadır.
4. Su alma ağzı özellikle ölü-son duvarına (serbest yüzeyi kesen akım sınırına) yaklaştıkça, kritik batıklık üzerinde ağza ait Froude sayısının etkisi artmaktadır.

Semboller

- a : Dikdörtgen ağzın kısa kenar uzunluğu
 b : Dikdörtgen ağzın uzun kenar uzunluğu
 b_{1d} : Dikdörtgen ağza ait M_1 noktasıyla kanal sağ duvarı arasındaki mesafe
 b_{2d} : Dikdörtgen ağza ait M_2 noktasıyla kanal sol duvarı arasındaki mesafe
 b_{1p} : Dairesel kesitli ağzın merkezi ile kanal sağ duvarı arasındaki mesafe
 b_{2p} : Dairesel kesitli ağzın merkezi ile kanal sol duvarı arasındaki mesafe
 c_d : Durum I, III ve IV için C noktası ile kanal tabanı arasındaki düşey mesafe (Durum II için M_1 noktası ile kanal tabanı arasındaki düşey mesafe)
 c_p : Dairesel kesitli ağzın kanal tabanı ile arasındaki düşey mesafe
 D : Dairesel kesitli ağzın iç çapı
 e_d : Dikdörtgen ağzın et kalınlığı
 F_d : Dikdörtgen ağız için Froude sayısı
 F_p : Dairesel kesitli ağız için Froude sayısı
 g : Yerçekimi ivmesi
 K : Çevrinti sayısı
 l_d : Dikdörtgen kesitli ağzın ölü-son duvarına olan mesafesi
 l_p : Dairesel kesitli ağzın ölü-son duvarına olan mesafesi
 R : Reynolds sayısı
 S : Genel olarak, ağza ait batıklık
 S_c : Genel olarak, ağza ait kritik batıklık

- S_{cd} : Dikdörtgen ağza ait kritik batıklık
 S_{cp} : Dairesel kesitli ağza ait kritik batıklık
 U_{∞} : Ağza yaklaşan kanal akımın kesit ortalama hızı (üniform hız)
 V_d : Dikdörtgen kesitli ağza ait ortalama akım hızı
 V_p : Dairesel kesitli ağza ait ortalama akım hızı
 W : Weber sayısı
 μ : Dinamik viskozite
 ρ : Yoğunluk
 Γ : Akıma uygulanan çevri
 σ : Yüzey gerilmesi
 ν : Kinematik viskozite

Kaynaklar

- [1] Yıldırım, N., Jain, S.C., Surface Tension Effect on Profile of a Free Vortex. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., 107(1), 132-136, 1981.
- [2] Posey, C.J., Hsu, H., How the Vortex Affects Orifice Discharge. Engineering News, 144(30), 1950.
- [3] Iversen, H.W., Studies of Submergence Requirements of High Specific Speed Pumps. Trans., A.S.M.E., 75(4), 635-641, 1953.
- [4] Denny, D., F., An Experimental Study of Air-Entraining Vortices in Pump Sumps. Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, 170(2), 106-116, 1956.
- [5] Markland, E., Pope, J.A., Experiments on a Small Pump's Suction Well with Particular Reference to Vortex Formations. The Institution of Mechanical Engineers, 170, 402-404, 1956.
- [6] Gulliver, S.J., Rindels, A.J., Weak Vortices at Vertical Intakes. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., 113 (9), 1101-1116, 1987.
- [7] Odgaard, A.J., Free Surface Air Core Vortex. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., 112(7), 610-620, 1986.
- [8] Hite, J.E., Mih, W.C., Velocity of Air-core Vortices at Hydraulic Intakes. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., 120(3), 284-297, 1994.
- [9] Jain, A.K., Ranga Raju, K.G., Garde, R.J., Vortex Formation at Vertical Pipe Intakes. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., 104(10), 1429-1448, 1978.
- [10] Jain, A.K., Kittur, G.R.R., Ramachandra, J.G., Air Entrainment in Radial Flow Towards Intakes. Journal of Hydraulic Division, A.S.C.E., 104(9), 1323-1329, 1978.

Bir Su Alma Ağızının Kritik Batıklığı Üzerinde Akım Sınır Etkilerinin Karşılaştırılması

- [11] Yıldırım, N., Kocabaş, F., Critical Submergence for Intakes in Open Channel Flow. Journal of Hydraulic Engineering, A.S.C.E., 121(12), 900-905, 1995.
- [12] Yıldırım, N., Kocabaş, F., Critical Submergence for Intakes in Still-Water Reservoir. Journal of Hydraulic Engineering, A.S.C.E., 124(1), 103-104, 1998.
- [13] Yıldırım, N., Kocabaş, F., Gülcan, S.C., Flow-Boundary Effects on Critical Submergence of Intake Pipe. Journal of Hydraulic Engineering, A.S.C.E., 126(4), 288-297, 2000.
- [14] Yıldırım, N., Kocabaş, F., Gülcan, S.C., Errata for “Flow-boundary Effects on Critical Submergence of Intake Pipe.” Journal of Hydraulic Engineering, A.S.C.E., 133(4), 461, 2007.
- [15] Kocabaş, F., Yıldırım, N., Effect of Circulation on Critical Submergence of an Intake Pipe. Journal of Hydraulic Research, 40(6), 741-752, 2002.
- [16] Yıldırım, N., Critical Submergence for a Rectangular Intake. Journal of Engineering Mechanics, A.S.C.E., 130(10), 1195-1210, 2004.
- [17] Eroğlu, N., Bahadırılı, T., Prediction of Critical Submergence for a Rectangular Intake. Journal of Energy Engineering, A.S.C.E., 133(2), 91-103, 2007.