

## DAİRESEL KESİTLİ DÜŞÜLÜ BACALARDA HAVA-SU KARIŞIMININ DENEYSEL ÇALIŞMA VE CFD MODELLEME İLE ANALİZİ

Şerife Yurdağül KUMCU  
İnş. Müh. Böl., Müh. Fak. , Necmettin Erbakan Üniversitesi, 42140 Meram, Konya  
yurdagulkumcu@gmail.com

Muhammed UÇAR  
İnş. Müh. Böl., Müh. Fak. , Necmettin Erbakan Üniversitesi, 42140 Meram, Konya  
muhammed.ucar.itulu@gmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 29.06.2017, Makalenin kabul tarihi: 29.09.2017)

### ÖZ

Düşülü bacalar, kanalizasyon ya da yağmur suyu gibi basınçsız akan borulu sistemlerde, hattın yönünü değiştirmek, düşü sağlamak ve enerji kırmak amacı ile kullanılan, genellikle dairesel kesitli imal edilen su yapılarıdır. Çalışma prensiplerinde akımın içinde oluşan hava miktarı önemlidir. Bu çalışma kapsamında, dairesel kesitli düşülü bacaların, farklı akım şartlarında havalanma özelliklerini araştırmak amacı ile fiziksel modelleme ve sayısal modelleme yapılarak, sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Fiziksel modellemeler, yapıların projelendirme zorluklarını aşmak, inşaat aşaması tamamlandıktan sonra geri dönüşü olmayan hataları önceden görerek hesap hatalarını gidermek için çok önemlidir.

Ancak, fiziksel modellemelerde ihtiyaç duyulan; zaman, mekan, işçilik ve maliyet gibi parametrelerden herhangi biri eksik olursa fiziksel model yapmak mümkün olmayabilir. Bu durumda, yüksek performanslı bilgisayarların kullanılması ile hızlı sonuçlar veren, CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) kodlarının yazılması ile de hidrolik yapıların davranışlarını gerçeğe yakın modelleyen matematiksel modellemelere başvurulabilir. Bu çalışma kapsamında, deneysel çalışma ile test edilen akım şartları, matematiksel modellemeyle de incelenmiştir. Sayısal modelleme için, VOF (Akım Hacmi) metodu ve RANS (Reynolds ortalama Navier-Stokes) denklemleri ile çözüm yapan FLOW-3D programı kullanılmıştır.

Laboratuvar ortamında oluşturulan fiziksel modelde akım şekilleri ve akımın havalanma miktarı incelenmiş, bunun için  $d=0,12$  m çapında gelen - giden akım boruları ve  $D=0,358$  m çapında düşülü baca kullanılmıştır. Fiziksel deney gözlemleri, gelen akım derinliğine bağlı olarak düşüm havuzunda, giden akım borusunda ve akımın çarptığı baca duvarında farklı akım rejimlerinin oluştuğunu göstermiştir. Deneysel çalışma aşamasında, çift uçlu fiber optik ölçüm cihazı kullanılarak, gelen-giden akımın arasına yerleştirilen dairesel düşü bacası içerisinde hava-su karışım oranları ölçülmüştür. Farklı akım şartları için, boşluk oranı yüzdesi, kabarcık sıklığı ve kabarcık boyutlarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Düşüm havuzunda yapılan ölçümlerden alınan sonuçlar, akımın havalanma mekanizmasının çok karmaşık bir yapıda olduğunu, akım rejimlerinin tespitinin oldukça zor olduğunu göstermiştir.

Sayısal modellemede bütün test sonuçları Flow3D programında tekrar edilmiş olup CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) modelinin tutarlılığı incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Flow-3D, sayısal modelleme, düşü bacası, havalanma, boşluk yüzdesi

### EXPERIMENTAL AND CFD ANALYSIS OF AIR-WATER FLOW STRUCTURE IN A CIRCULAR DROP SHAFT

#### ABSTRACT

Circular dropshafts, commonly used in urban storm water systems for energy dissipation and flow control, are characterized by significant flow aeration. This study is made mainly for the aeration properties of dropshafts. The investigation is executed both using experimental and numeric modeling

in the study. Experimental modeling studies have been used to achieve designing hardness, however, the studies takes time and frequently may not be economical. With the use of high performance computers and more efficient computational fluid dynamics (CFD) codes, the behavior of hydraulic structures can be investigated numerically in reasonable time and expense. In the study, FLOW-3D, which uses VOF (Volume of Fluid) method and solves RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) equations, is used for numerical modeling. In order to verify numerical modeling results, physical experimental studies were set in the laboratory.

In the laboratory, a series of experiments were performed in a circular dropshaft having two identical horizontal inflow and outflow circular channels having diameters of  $d=0,12$  m and a circular drop chamber having diameter of  $D=0,358$  m for observing flow patterns and measuring air bubble entrainment flow parameters.

Experimental observations showed distinct flow regimes associated with nappe impact in the shaft pool, in the outflow channel, or in the opposite shaft wall. New detailed air-water flow measurements were conducted in a circular dropshaft with using double-tip fiber optical probe. Measurements of void fractions, bubble frequencies and bubble sizes were conducted for different flow conditions of the circular inflow channel. In the shaft pool, the results obtained from measurements demonstrated the complexity of different air entrainment mechanisms.

In the numerical model, all experimental tests were repeated with Flow 3D and experimental measurements are compared with FLOW 3D in order to investigate the ability of the CFD modeling.

**Keywords:** Flow-3D, numerical modeling, dropshaft, flow aeration, void fraction

## 1 GİRİŞ

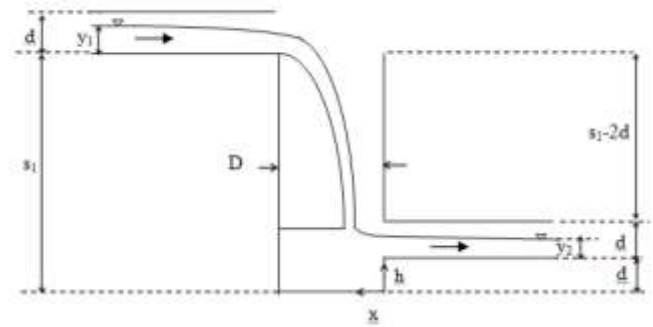
Hidrolik mühendisliği uygulamalarında düşülü bacalar, genellikle kent yağmur suyu ve atık su şebekelerinde enerji kırıcı olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek miktarda enerji kırıcı özelliklerinin olmasıyla birlikte düşüm havuzunda güçlü bir havalanma durumu da meydana gelmektedir. Rajaratnam ve ark. [5], Chanson [1, 2, 3] ve Granata ve ark. [4] düşülü baca hidrolöji üzerine çalışmalar yapmış ve uygun akım şartları altında düşülü bacaların etkili birer enerji kırıcı ve yeniden oksijenlendirme yapısı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, dairesel düşülü bacalarda iki fazlı akım hidrolöjisinin incelenmesidir. Farklı akım koşullarında, akım rejimleri, enerji kırılma oranları ve iki fazlı akım özellikleri değişken akım rejimlerinde analiz edilmiştir.

## 2 DENEYSSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada kullanılan model, Şekil 1'de verilmektedir. Deneyler, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Hidrolik Model Laboratuvarında yürütülmüştür. Gelen akım borusu, giden akım borusu ve düşülü baca dairesel plastik cam kullanılarak inşa edilmiştir. Şekil 1' de geometrik özellikleri verilen deney düzeneği Çizelge 1'de tanımlanmıştır. Akımın debisi, gelen akım borusuna yerleştirilen  $\pm 1$  hassasiyetle ölçüm yapabilen, ultrasonic akımölçer (Tokimec-UFP-10) ile ölçülmüştür. Gelen ve giden akım borularındaki akım

derinlikleri ise noktasal ölçüm yapabilen limnometre ile ölçülmüştür.



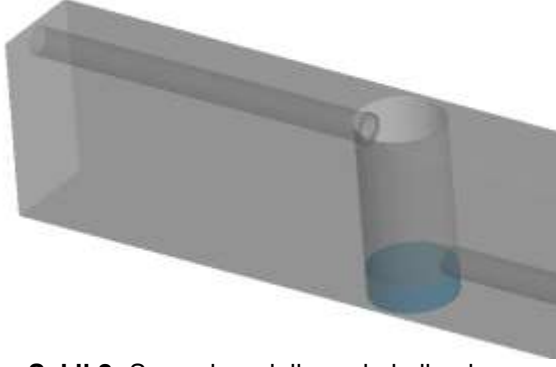
Şekil 1- Deney düzeneği

Çizelge 1- Deneysel çalışmanın geometrik özellikleri

D (m)	d (m)	s <sub>1</sub> (m)
0,358	0,12	0,60

## 3 SAYISAL MODELLEME ve ÖLÇÜM

Sayısal modelleme için CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) yazılımlarından Flow3D programı kullanılarak, bulunan sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal modelleme yapılırken fiziksel çalışma şartları 3 boyutlu çizilerek programa eklenmiştir (Şekil 2).



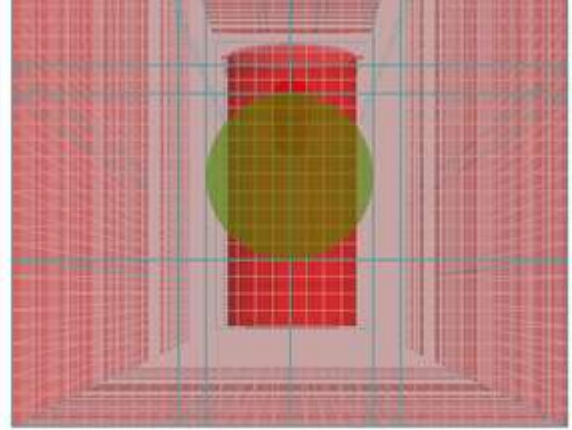
**Şekil 2-** Sayısal modellemede kullanılan geometri

Oluşturulan geometri küçük hücreler tarif edilerek, sanal parçalara bölünmüştür. Bu işlem başlangıçta az sayıda parçacık için başlanmış olup çözüm süresi-hesap doğruluğu önem seviyesi dengesi göz önünde bulundurularak adım adım artırmıştır. Çözüm için kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri Çizelge 2' de kısaca belirtilmiş olup belirtilecek hesap süreleri bu donanım özelliklerine bağlı olarak dikkate alınmalıdır.

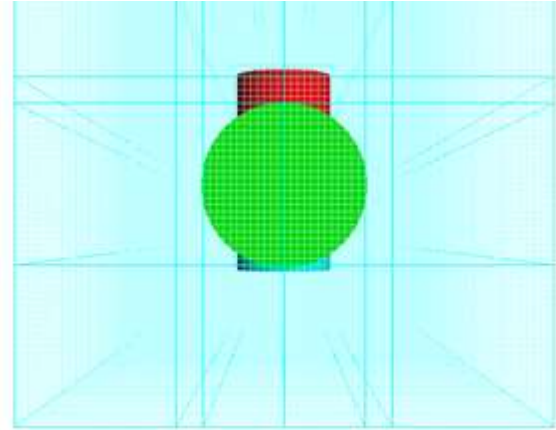
**Çizelge 2-** Kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri

Sistem Türü	Yüklü Bellek (RAM)	İşlemci
64 bit	6,00 GB	i7-4790K CPU @ 4,00 GHz

Hesapların kritik düzeyde olacağı yatay dikey boru birleşimlerinde su jeti çıkışında hesapların doğruluğunu artırmak için ek mesh-ızgara yüzeyleri de eklenmiştir (Şekil 3 ve 4). Ayrıca uyumlu / uyumlu olmayan mesh-ızgaralar yöntemi ile çözüm süresi-hesap doğruluğu incelenmiştir. Bu yöntemde program katı-boşluk sınırları için hassas çözümler yapabilmektedir. Boru içinde boşluğa uyumlu ve parçacık sayısı az olarak başlayan denemelerden elde edilen sonuçlar, mesh-ızgara sıklığının artışı ile daha dengeli hale gelmiş ve dengeye ulaştığı durumda çözüm sürelerini artırmamak için boşluk uyumlu (conforming to open volume) seçeneğinden vazgeçilmiştir. Ayrıca program, ölçümler için istenilen noktadan, kesitten ve hacimden ölçümler yapılabilmesine olanak sağlayan modüller içermektedir. Bu çalışmada veriler, merkez çizgisi üzerinden alınıp incelenmiştir.



**Şekil 3 -** Giden akım borusu için, 0,012 m aralıklarla ve ek sıkılaştırma bölgeleri ile ızgara şeklinin enkesiti (Q1 debisi için boşluk uyumlu çözüm süresi 33 dakika)



**Şekil 4 -** Giden akım borusunda, 0,005 m aralıklarla ve ek sıkılaştırma bölgeleri ile ızgara şekli (Q1 debisi için boşluk uyumlu çözüm süresi 466 dakika)

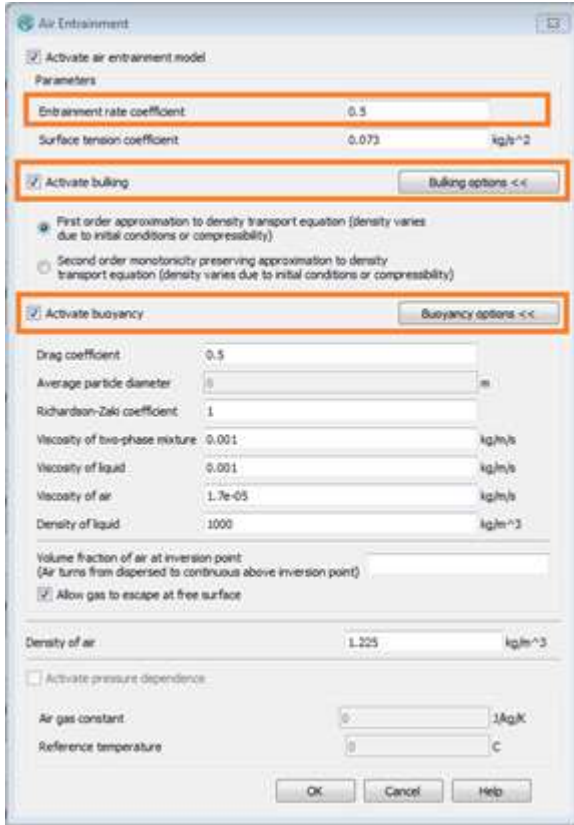
Program içinde yer alan, fiziksel çözüm modüllerinden yalnızca; yer çekimi ivmesi (açık kanal hidrolüğü), viskozite ve türbülans modülü (RNG modülü) ve havalanma modülü (Şekil 5) açılmıştır. Havalanma modülü altında seçilen kabarma ve hava çıkışı seçeneklerinin aktif hale getirilmesi ile drift-flux modülü de aktive olmuş ve mevcut değerler kullanılmıştır [6].

## 4 TARTIŞMA

### 4.1 Akım rejimleri

Chanson [1] dikdörtgenel bir düşülü bacada yaptığı gözlemlere dayandırarak akımı üç (R1, R2 ve R3) temel rejime ayırmıştır. Bu çalışma kapsamında da aynı akım rejimleri tarif edilmiştir. Bütün akım şartlarında gelen ve giden akım serbest yüzeyli akım olarak çalışılmıştır. Gelen akım borusunda akım, nehir rejimi iken giden akım borusunda akım sel rejimindedir. Düşük debilerde serbest düşüm napı düşüm havuzuna çarpmıştır (rejim

R1, Şekil 6a). R1 rejiminde düşüm havuzunda önemli düzeyde hava kabarcıklanması oluşumu gözlemlenmiştir. Giden akım borusunda sel rejimi oluşmuş olup şok dalgaları yayılmıştır. Arada kalan debi değerlerinde ise serbest düşüm napı giden akım borusuna düşmüş olup, rejim R2 olarak tanımlanmıştır (Şekil 6b). Giden akım borusunun girişinde, akım düzensizliği gözlemlenmiş olup havuzda oluşan kabarcıklanma önemli ölçüde azalmıştır. Gelen akım borusunda oluşan yüksek debiler için serbest düşüm napı giden akım borusunun hemen üstünde düşülü bacanın karşı duvarına çarpmaktadır (rejim R3, Şekil 6c). Duvara çarpan akımın bir kısmı duvar yüzeyinden aşağıya inerken diğer bir kısım ise çarpma etkisi ile dağılarak düşüm havuzuna dağılmıştır. Bu şartlar altında R3 rejiminde düşüm havuzunda önemli ölçüde havalanma gözlemlenmiştir.



Şekil 5- Havalanma modülü ve alt seçenekleri

Son zamanlarda, Granata ve ark. [4] tarafından yapılan dairesel düşülü baca hidroliği araştırmalarında R2 ve R3 rejimleri, R2 rejiminin üç alt bölüme ve R3 rejiminin iki alt bölüme ayrılması ile genişletilmiştir. Akım rejimlerini boyutsuz bir parameter olan Etki Sayısı (Impact Number),  $I$ , ile tanımlamıştır;

$$I=(2s/g)0.5(V_0/D) \quad (1)$$

Bu denklemde,  $s$ =düşüm yüksekliği;  $g$ =yerçekimi ivmesi; ve  $V_0$ =yaklaşım akım hızı olarak tanımlanmıştır. Granata ve ark. [4] her ne kadar etki sayısını sel rejimi için tanımlasa da, bu parametre güncel analizlerde, nehir rejimi için de uygunluğu sebebiyle, nehir rejimi için de kullanılmıştır. Denklemde verilen “ $s$ ” düşüm yüksekliği için, kullanılan geometride (Şekil 1) “ $s_1-d$ ” alınmıştır. Yapılan deneysel çalışma göstermektedir ki rejim limitleri R1 için  $I<0,45$ , R2 için  $0,45\leq I\leq 0,47$  ve R3 için  $I>0,47$  olmaktadır. Bu üç rejime karşılık gelen debi miktarları da R1 rejimi için  $Q\leq 3,0$  lt/s, R2 rejimi için  $3,0$  lt/s <  $Q < 4,2$  lt/s, ve R3 rejimi için  $Q\geq 4,2$  lt/s dir.

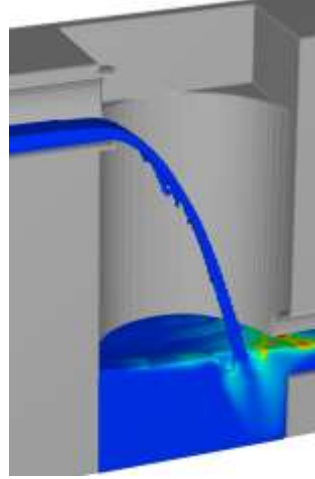
#### 4.2 Enerji kırılması

Enerjinin kırılması, düşülü baca yapısı içinde serbest düşen akımın, düşülü baca duvarına çarpması ve yayılması ile olur. R1 rejiminde enerjinin kırılması, düşüm havuzuna doğrudan çarpan su jeti sebebiyle olur. R2 rejiminde ise, gelen akım borusundan ayrılan su jeti giden akım borusu girişine çarpmaktadır. R2 rejiminde, giden akım borusuna direkt aktarılan su jetinin enerji kırılmasına önemli ölçüde olmadığı gözlemlenmiştir. R3 rejimi için, enerji kırılması su jetinin düşülü baca duvarına çarpıp yayılması ile oluşmuştur. Düşülü bacalarda oluşan enerji kırılması aşağıda verilen denklem ile ifade edilebilir:

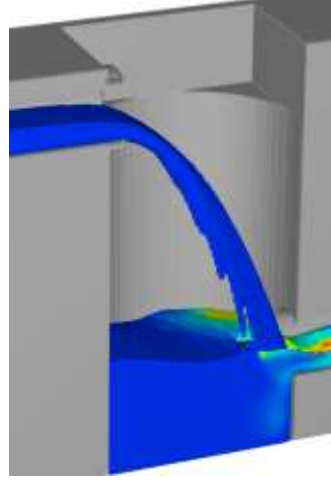
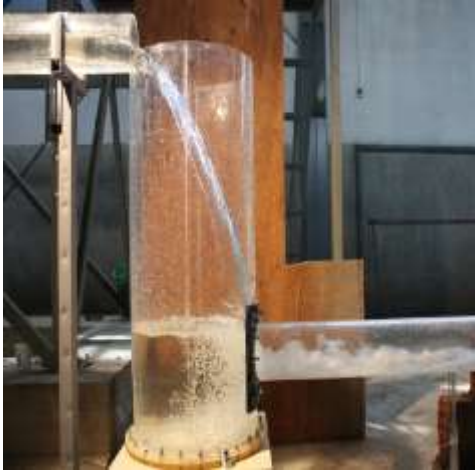
$$\text{Bağıl Enerji Kırılması}=\Delta H/H_1 \quad (2)$$

Bu denklemde,  $\Delta H=H_1-H_2$  dir. Şekil 1 için  $H_1$  ve  $H_2$  toplam enerji yükü ve  $V_1$  ve  $V_2$  sırasıyla

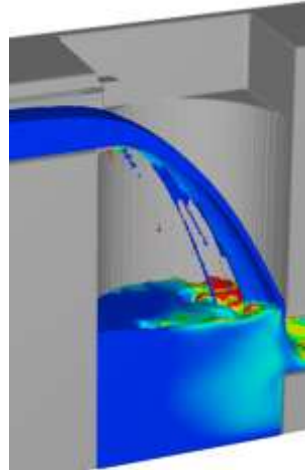
ortalama akım hızları olmak üzere  $H_1=s_1+y_1+(V_1)^2/2g$  ve  $H_2=d+y_2+(V_2)^2/2g$  şeklindedir. Şekil 7’ ye göre R1 rejimi için,  $\Delta H/H_1$  enerji kırılması yaklaşık 0,75 ile en yüksek düzeyde olmakta ve Etki Sayısı,  $I$ , nın artışı ile azalmaktadır. R2 rejimine geçerken,  $\Delta H/H_1$  hızla 0,71’den 0,66’ ya düşmekte ve en düşük değerini alarak 0,62 olmaktadır. R3 rejimine geçerken enerji kırılımı tekrar hızla yükselişe geçerek 0,66 değerine ulaşmakta ve kademeli olarak Etki Sayısının artışıyla 0,63’e kadar azalmaktadır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile Granata ve arkadaşlarının [4] sonuçları karşılaştırılmış ve Şekil 8’ de gösterilmiştir. Sonuçlar farklı düşülü baca geometrisi koşulları ( $s=0,5$  m ve  $D=1,0$  m) gereği farklı gözükse de enerji kırılması eğilimi ve akım rejimleri açısından oldukça benzerlik göstermiştir.



a) R1 Rejimi

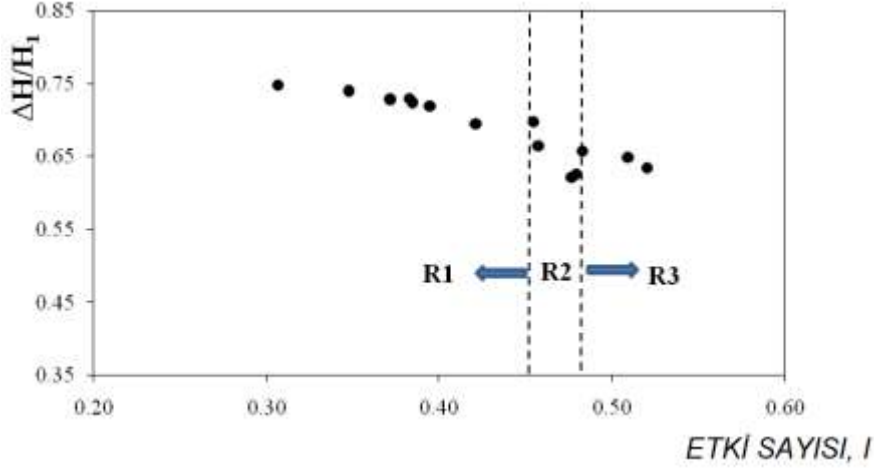


b) R2 Rejimi

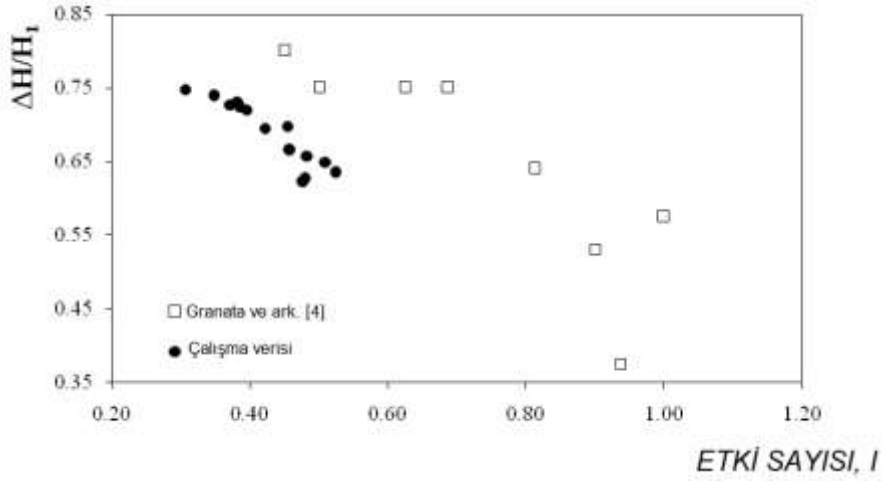


c) R3 Rejimi

**Şekil 6-** Akım rejimleri (R1: düşüm havuzuna düşen serbest düşüm napı, R2: giden akım borusu girişine düşen serbest düşüm napı, R3: karşı düşülü baca duvarına çarparak dağılan serbest düşüm napı)



Şekil 7- Etki Sayısının enerji kırılmasına etkisi



Şekil 8- Deneysel çalışma ile Granata ve arkadaşlarının verilerinin karşılaştırılması

#### 4.3 Boşluk oranı dağılımı

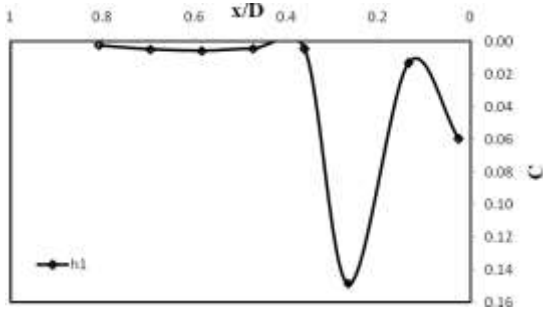
R1, R2 ve R3 rejimlerinde çift uçlu fiber optik ölçüm cihazı kullanılarak boşluk oranı (hava derişimi) ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler,  $h_1=0.1410$  m,  $h_2=0.1625$  m,  $h_3=0.2235$  m, ve  $h_4=0.2845$  m düşü yüksekliklerinde ( $x/D$ ) merkez çizgi üzerinde akım rejimlerine bağlı olarak yapılmıştır. Şekil 9' da R1, R2 ve R3 rejimlerine ait boşluk oranı dağılımları ve bunlara ait fotoğraflar gösterilmiştir. Deneysel veriler yüksek miktarda havalanma olduğunu göstermektedir. Çıkan akım kanalına yakın kısımda, ( $x/D < 0.2$ ), her akım rejimi için yüksek boşluk oranı gözlenmiştir. R1 rejiminde çarpan jet etkisi oluşumunun, çıkan akım kanalından uzak bir yerde maksimum değere ulaştığı görülmektedir (Şekil 9a). R3 rejimine ait ölçümler yüksek boşluk oranının serbest yüzeye yakın yerlerde oluştuğunu göstermiştir (Şekil 9c). Su jeti yayılımı etkisi ile ikinci bir pik noktası  $h_4$  yüksekliğinde tanımlanmıştır. Şekil 10' da en alçak yükseklik olan  $h_1$  yüksekliğinde

farklı rejimlerde boşluk dağılım yüzdeleri gösterilmiştir. R2 rejiminde su jetinin giden akım borusu girişine çarpması ile bu bölgede daha yoğun kabarcıklanma görülmesi Şekil 9'daki gibi tahmin edilmiştir. Batıklık derinliği R1 rejiminde merkez çigisi üzerinde kaymıştır.

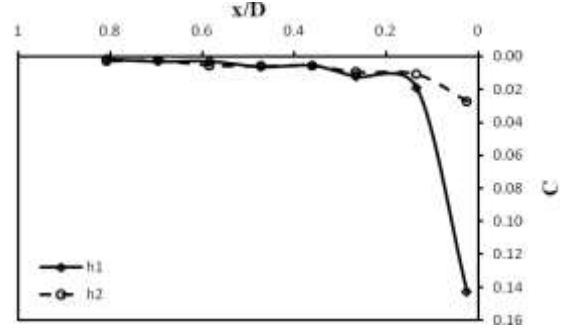
#### 4.4 Deneysel çalışma ile CFD model sonuçlarının karşılaştırılması

Sayısal modellemede yapılan çalışmada, R1, R2 ve R3 rejimlerinde elde edilen su profilleri fiziksel çalışma sonucu elde edilen test sonuçları ile örtüşmektedir (Şekil 6). Sayısal veriler açısından ise doğru havalanma katsayısının bir deney sonucu verisi baz alınarak, bu katsayının diğer deneylerde de doğru sonuçları vermesi beklenirken, aynı katsayı ile yapılan çalışmalarda 3 farklı akım rejiminin farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Havalanma yüzdesi katsayısına (entrainment rate coefficient – Şekil 5) bağlı olarak yapılan değişikliklerde öncelikle  $h_1$  yüksekliği için

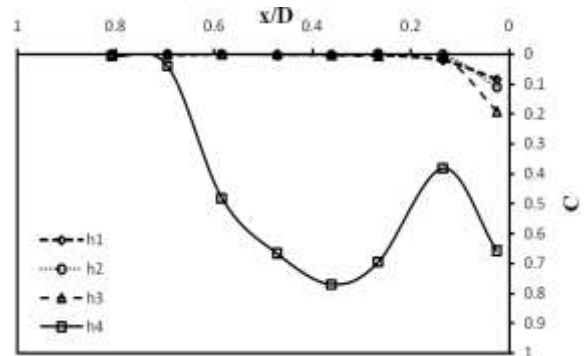
düşülü baca merkez çizgisi üzerinden rejimlerde ikişer adet katsayı denemesi yapılmış ve sonuç tutarlılığına göre iterasyon yöntemi kullanılarak doğru katsayı bulunmaya çalışılmıştır. R2 rejimi 0.50 ve 0.40 havalanma yüzdesi katsayılarında sayısal modelleme ile çözülmüş ve aralarında Şekil 11' de gösterildiği üzere farklılıklar görülmüş ve pik noktası havalanması 0.28' den 0.07' ye (%25'ine) düşmüştür. Aynı şekilde R1 rejimi için 0.45 ve 0.40 katsayıları ile yapılan çözümde ise R2 rejim çözümündekine nazaran çok daha küçük değişiklikler olmuş ve oluşan yüksek türbülans çalkantıları ve akım belirsizliğine rağmen pik noktası yalnızca 0.60' dan 0.55' e (%92'sine) düşmüştür (Şekil 12). R3 rejiminde ise 0.45 ve 0.40 katsayıları ile çözümler yapılmış ve pik noktası için 0.16' dan 0.13' e (%81'ine) düşmüştür.



a)

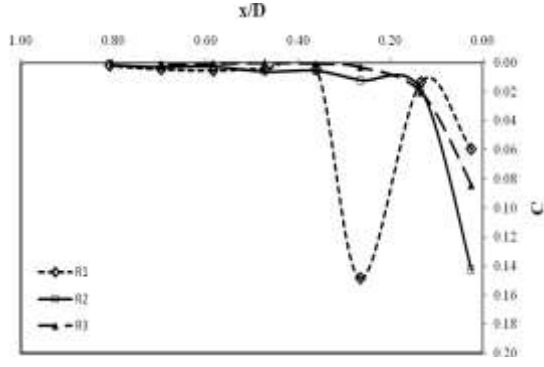


b)



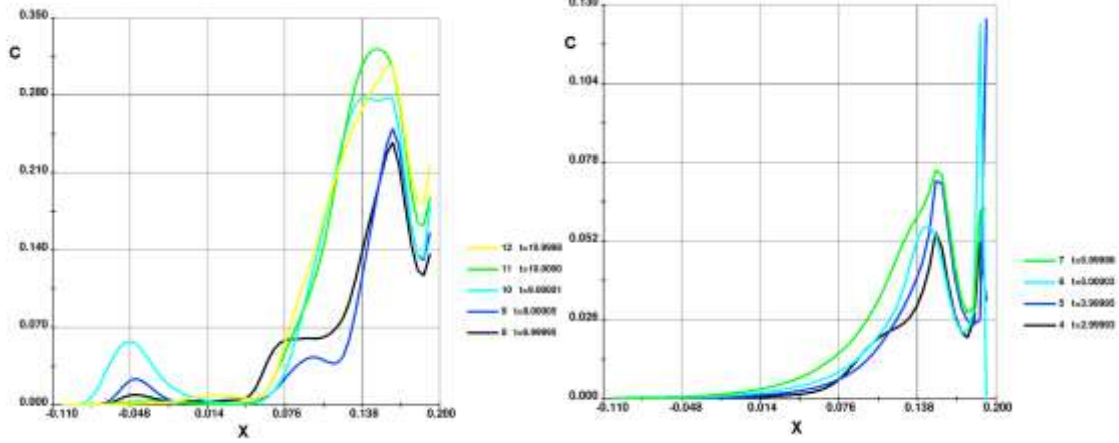
(c)

**Şekil 9.** Farklı akım şartlarında boşluk yüzdesi (C) dağılımı a) Q=1.0 lt/s (R1 rejimi), b) Q= 3.0 lt/s (R2 rejimi), ve c) Q=5.0 lt/s (R3 rejimi)

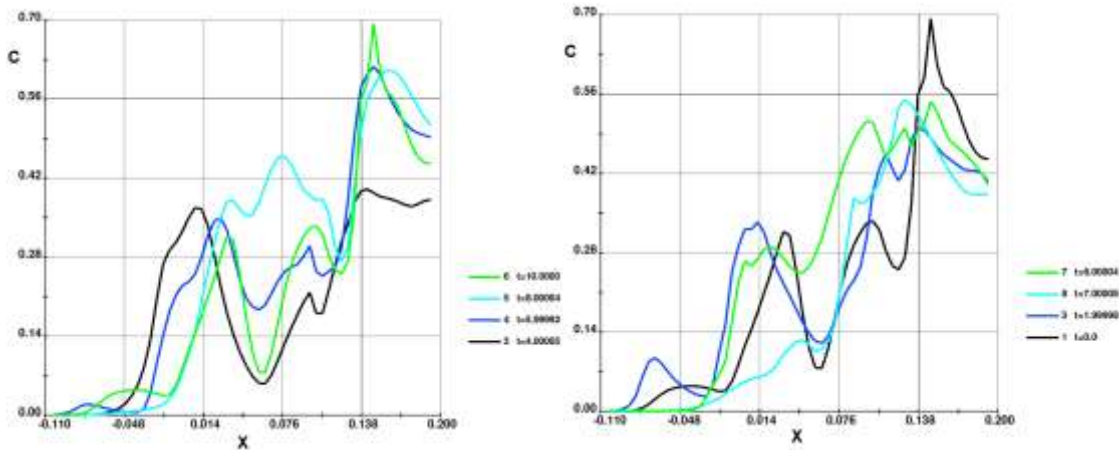


**Şekil 10-** En düşük boşluk oranı ölçüm noktası,  $h_1'$  e ait akım rejimi - boşluk oranı değişimi

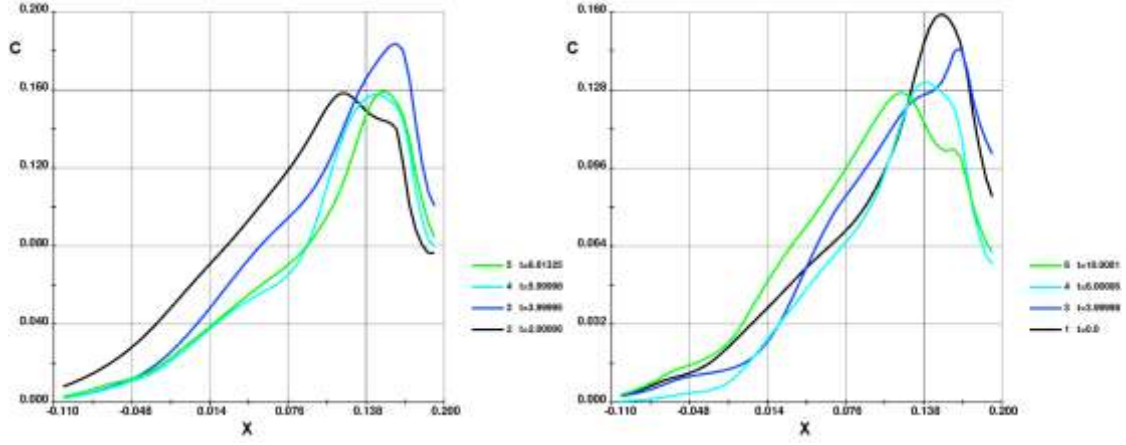
$h_2$  yüksekliği için de aynı şekilde düşümlü baca merkez çizgisi üzerinden her bir rejim için ikişer adet katsayı belirlenmiştir. R2 rejimi 0.50 ve 0.40 havalanma yüzdesi katsayılarında sayısal modelleme ile çözülmüş ve aralarında Şekil 14' te görüldüğü gibi, pik noktası havalanması 0.36' dan 0.036' ya (%10'una) düşmüştür. R1 rejiminde su yüksekliği bu noktaya ulaşmadığı için  $h_2$  yüksekliğinde R1 rejimi için çözüm yapılmamıştır. R3 rejiminde ise 0.45 ve 0.40 katsayıları ile çözümler yapılmış ve pik noktası için 0.22' den 0.18' e (%82'sine) düşmüştür (Şekil 15).



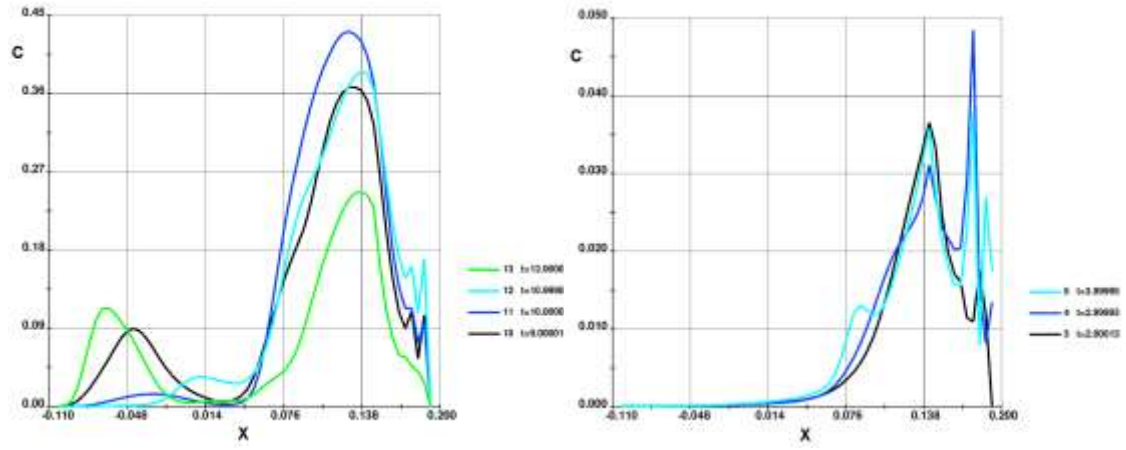
**Şekil 11-** R2 rejimi  $h_1$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.50 ve 0.40



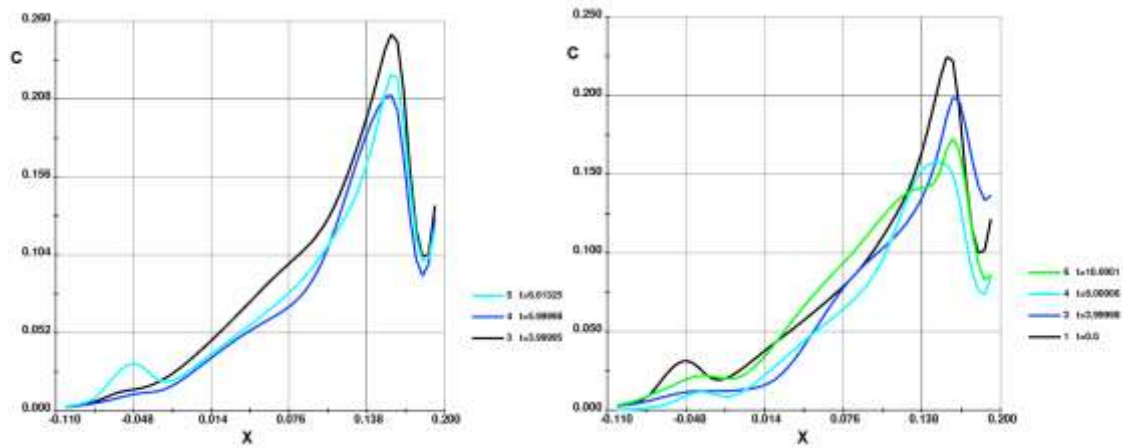
**Şekil 12-** R1 rejimi  $h_1$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.45 ve 0.40



**Şekil 13-** R3 rejimi  $h_1$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.45 ve 0.40



**Şekil 14-** R2 rejimi  $h_2$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.50 ve 0.40



**Şekil 15-** R3 rejimi  $h_2$  yüksekliği için merkez çizgisi sonuçları, katsayılar 0.45 ve 0.40

R2 rejimi h3 ve h4 seviyelerine gelmediği için karşılaştırmalı bir durum söz konusu olmamaktadır.

Bu sonuçlardan yalnız h1 yüksekliğinde R1 rejimi 0.5 katsayısı ile gerçeğe yakın bir veriye yaklaşılmış olup R3 rejimi için katsayının bir miktar, R2 rejimi için ise çok daha düşük noktalara gerilemesi ile fiziksel deney sonuçlarına ulaşılabilecektir. h2 yüksekliğinde ise R2 rejimi 0.4 katsayısı ile gerçek veriye yaklaşılmış olup R3 rejimi için ise katsayının bir miktar daha aşağıda olması gerekmektedir.

Bu durumda iterasyon yöntemi ile global çözüm sağlayacak bir katsayıya ulaşmak mümkün olmayacaktır. Genel olarak CFD yazılımlarının tutarlılıkları üzerinde daha çok çalışma yapılması ve kodların geliştirilmesi gerekmektedir.

## 5 SONUÇ

Dairesel düşülü baca I ve dairesel gelen - giden akım borularından oluşan bir seri deneysel ve matematiksel çalışma yürütülmüştür. Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde R1, R2 ve R3 olmak üzere üç farklı akım rejimi tanımlanmıştır. Bu akım rejimlerinde enerji kırılması ve havalanma miktarı ölçülerek incelenmiştir. Enerji kırılması %75 ile R1 rejiminde çarpan jet etkisi ile maksimuma ulaşmıştır. R2 rejiminde su jetinin düşülü bacaya neredeyse uğramadan giden akım borusunun girişine düşmesi sebebi ile enerji kırılması en az seviyede oluşmuştur. Boşluk oranı ölçümlerinde de su jetinin suya dalış etkisinin en az olduğu R2 rejimi hariç tüm rejimlerde düşüm havuzunda havalanmanın yüksek olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen, en yüksek boşluk oranları da giden akım borusu girişinde R2 rejiminde görülmüştür.

## 6 KAYNAKLAR

- [1] [Chanson, H. (2002). "An experimental study of Roman dropshaft hydraulics," J. of Hydraulic Research, 40(1), 3-12
- [2] Chanson, H. (2003). "Experimental investigation of dropshaft hydraulics: two-phase flow and acoustics," Proc. of 30th IAHR Congress, Thessaloniki, Greece, 353-360
- [3] Chanson, H. (2004). "Hydraulics of rectangular dropshafts," J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, 130(6), 523-529

- [4] Granata, F., de Marinis, G., Gargano, R., and, Hager, W.H. (2011) "Hydraulics of circular drop manholes," J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, 137(2), 102-111.
- [5] Rajaratnam, N., Mainali, A., and Hsung, C.Y. (1997). "Observations on Flow in Vertical Dropshafts in Urban Drainage Systems." J. of Environmental Engrg., ASCE, 123(5), 486-491
- [6] FLOW-3D, User Manual, Theory Guide, 20