

ARAŞTIRMA MAKALESİ

DÜŞEY BORULARDA İKİ FAZLI AKIŞLARIN ANALİZİ

Bengü ATLANÇ*, Mete DEMİRİZ**, Yalçın YÜKSEL*

* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Yıldız-İSTANBUL

** Fachhochschule Gelsenkirchen, Ver- und Entsorgungstechnik, Gelsenkirchen -
ALMANYA

Geliş Tarihi : 09.04.2001

NUMERICAL MODELLING OF TWO PHASE FLOWS IN VERTICAL PIPES

SUMMARY

Multiphase flows are found in many engineering applications, in civil, mechanical and chemical engineering, e.g. in two phase gas,oil and water pipelines, steam injections wells in thermal enhanced recovery operations, drainage systems, chemical mixtures.Cause of their turbulent characters multiphase flows are mostly described with empirical formulas in the literature. When gas-liquid mixtures flow in a vertical tube, four dominant flow patterns are formed : bubbly, slug, churn and annular flow.In this work a bubbly gas-liquid two phase flow in a vertical tube with a lateral flow is studied. This work includes experimental observations of gas-liquid dynamics and a numerical simulation with a computational fluid dynamics program named FLUENT. The experiments involve measurements of instantaneous pressure and velocity profiles of the flow. These measurements are being used for direct comparison with the simulation results. The simulation with FLUENT permits us to calculate the volume fractions of gas-liquid flow, velocity and pressure gradients at any point. With an additional comparison of these data with German norms the accuracy of this developed simulation is proved.

ÖZET

İnşaat, makine ve kimya gibi pek çok mühendislik dalında karşımıza çıkan çok fazlı akımlar, türbülanslı yapıları dolayısıyla çoğunlukla ampirik olarak izah edilmiştir. Serbest yüzeyli akışa sahip bir akımın düşey bir boru boyunca düşüşü incelendiğinde, akımın hava ve su karışımından oluşan iki fazlı bir yapı gösterdiği gözlemlenmiştir. Borunun hemen hemen tamamını kaplayan kabarcıkların üniform bir yapıda hareket ettikleri görülmüştür.Bu çalışmada iki ucu atmosfere açık düşey bir boruya, yanal bir borudan akış olması hali incelenmiştir. Sistemin FLUENT isimli hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programı ile simülasyonu yapılmış, laboratuvar deneylerinden elde edilecek sonuçlar ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.Simülasyon sonuçları yardımıyla, sistemin çektiği hava miktarı ve boru en kesiti boyunca değişen hava-su karışım oranları incelenmiştir. Ayrıca sıvı fazının hızı hesaplanmış ve bu hızın hangi düşey mesafeden itibaren sabit kaldığı belirlenmiştir. Hava-su karışım akımlarının en önemli problemi kavitasyon ve vibrasyondur. Bu nedenle boru yüksekliği boyunca basınç farkları tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar ayrıca Alman normları ile karşılaştırılmış ve yapılan simülasyon modelinin bu normlara uygun sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

1. GİRİŞ

Düşey borularda iki fazlı akım inşaat, makina, kimya ve petrol mühendisliği gibi bir çok alanda sıkça karşımıza çıkan bir akım şeklidir. İnşaat mühendisliğinde binaların yağmur suyu tesisatları, gaz ve petrol boru hatları, deniz platformları, jeotermal kuyular, hidroelektrik santrallerin dolu savakları buna örnek gösterilebilir.

Serbest yüzeyli akışa sahip bir akım, düşey boru boyunca serbest düşüşü esnasında içereceği hava ile iki fazlı bir akım oluşturur. Bu tip akımlar, vibrasyon ve kavitasyon gibi iki önemli soruna neden olmaktadır. [1]

Kısmi doluluktaki çift fazlı akımın düşey akışında, boru boyunca hava-su karışım oranları değişmektedir. Bu da üniform olmayan bir akımın oluşmasına neden olur. Atık su akışında ise akım, içerebileceği katı maddeler sebebiyle üç fazlı karaktere ulaşır.

Düşey borularda çift fazlı karaktere sahip bir akımda dört ana akım şekli vardır: kabarcıklı, slug, churn ve annular akımlar. Burada incelenecek olan akım ise, iki ucu atmosfere açık düşey bir boruya, yanal bir borudan akış olması halidir. Bu durumda oluşan kısmi dolu akış, kabarcıklı bir akım yapısına sahip olacaktır. Borunun kalan kısmında ise hava akışı meydana gelecektir. Akım, yerçekimi etkisiyle borunun belirli bir yüksekliğine kadar hızlanacak, hava direnci ve boru cidarıyla olan sürtünme nedeniyle sabit bir hıza ulaşacaktır. [2]

Bu çalışmada dairesel kesitli düşey bir boruda serbest yüzeyli kısmi doluluktaki akışın, boru boyunca ve boru enkesitleri boyunca basınç ve hız alanlarındaki değişimi bilgisayar programı yardımı ile modelleneyecektir. Problem modellenirken akımın türbülanslı karakteri nedeni ile $k-\epsilon$ RNG türbülans modeli ve sonlu hacimler çözüm metodu kullanılacaktır. Laboratuarda oluşturulan benzer bir düşey sistemde aynı akım şartlarında deneyler yapılacak ve deneylerden elde edilen veriler ile bilgisayarda yapılan modelleme sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılarak yorumlanacaktır. Bu sonuçlar yardımıyla, kısmi doluluktaki düşey akış esnasında sıvı ve gaz fazlarının hız ve basınç değişimleri belirlenecektir. Sistemin ne kadar hava çektiği hesaplanacak ve bu sayede her düşey kesitte hava-su karışım yüzdelerini belirlemek mümkün olacaktır.

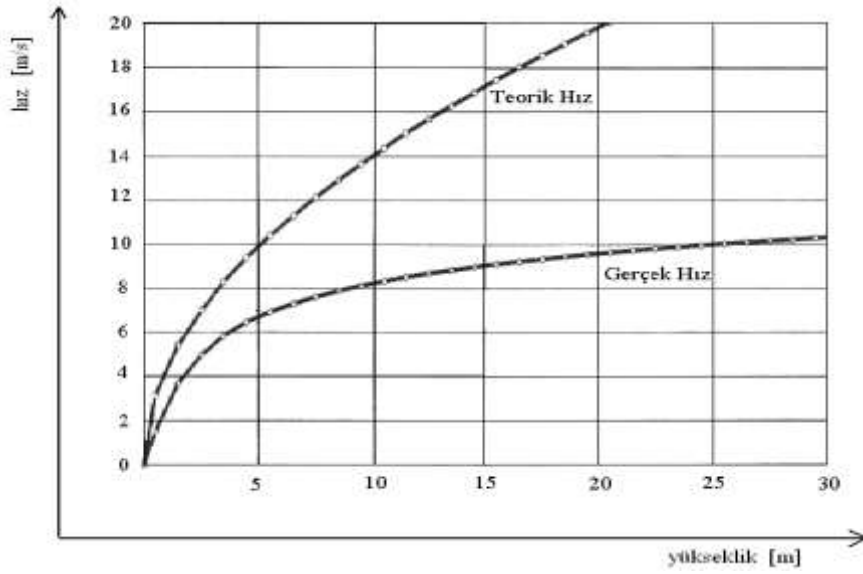
1.1. Konu ile İlgili Çalışmalar

DIN 1986-1'de atık su boruları için düşey borularda iki fazlı akımda hız, basınç ve karışım oranları verilmiştir. [3] Sistemdeki basıncın dengelenmesi için özellikle düşüm borularına kesintisiz hava akışı sağlanmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar ile , düşey borulardaki akımda optimum bir akış için olması gereken hava – su oranları belirlenmiştir. Bu oranlar Çizelge 1'de gösterilmiştir. [4]

Çizelge 1. Düşey borudaki iki fazlı akımda hava–su oranları (B.Kuhn “Entwasserungsanlagen, Technische ,physikalische und hydraulische Kriterien” – Drenaj sistemleri, teknik, fiziksel ve hidrolik kriterler – IKZ Heft 6 1983)

Boru çapı [mm]	Q_{su} [l/min]	Q_{hava} [l/min]	$\frac{Q_{hava}}{Q_{su}}$
70	60	610	10,2
	100	630	6,3
100	50	1750	35,0
	100	2340	23,4
	200	2580	12,9
	300	2700	9,0
125	50	1730	34,6
	100	2960	29,6
	200	3850	19,3
	300	4500	15,0

Akımın iki özelliği sistemdeki basıncı etkiler. Bunlardan biri boru içinde stabil duran havayı harekete geçirmek için gerekli olan hızlanma işidir. Diğer yandan akımın direnç kuvveti, borunun hava alan kısımlarını etkileyerek basınç dalgalanmaları oluşmasına neden olur. Bu etkiler borunun uzunluğuna ve şekline bağlı olduklarından, sistemin en optimum şekilde çalışması için hava akımının olduğu bölümlerin mümkün olduğunca kısa ve düz olması gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda düşey borudaki akımda oluşan maksimum hız $\approx 10,0$ m/s olarak ölçülmüştür. (Meier, 1986) Şekil 1’de düşey borulardaki teorik hız ve gözlemlenen gerçek hız gösterilmiştir. [5]

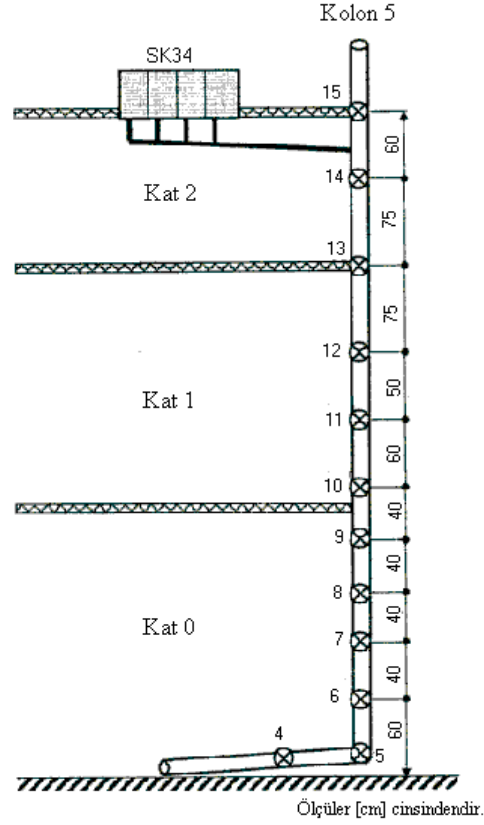


Şekil 1. Düşey boruda iki fazlı akımın hız diyagramları (DIN 1986-1)

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, düşey bir borudaki iki fazlı sıvı-gaz akışında oluşan basınç farkları (minimum ve maksimum basınçlar) laboratuarda oluşturulan deney sistemi üzerinde değişik noktalarda ölçülmüş ve aynı sistem FLUENT yazılımı kullanılarak benzeştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Düşey borulardaki iki fazlı akımın incelenmesi amacıyla Fachhochschule Gelsenkirchen Sanitarlabor'da bulunan atık su deney sistemi kullanılmıştır (Şekil 2). Değerlerin elde edilmesi için sisteme 12 adet basınç sensörü yerleştirilmiştir. Değerleri alabilmek için INTERBUS ağ sistemi kurulmuş ve sisteme monte edilmiştir. INTERBUS sistemi, standart bilgisayar software programı PC WORX ile bilgisayara bağlanmış ve ayarları yapılmıştır. Ölçülen değerlerin işlenilmesi için DIAdem isimli software programı kullanılmıştır. DIAdem programı yardımı ile, INTERBUS sisteminden gelen dijital sinyaller sayısal değerlere (örneğin basınç) çevrilmiş ve görsel olarak sunulmuştur



Şekil 2. Deney Sistemi

2.1 Deney Sistemi

Atık su deney sistemi 3 katlı olarak inşa edilmiştir. Temiz su ve atık su borularının yanı sıra, 21 adet sıhhi tesisat elemanından oluşmaktadır. Sıhhi tesisat elemanlarının (klozet, bide, lavabo) boşaltılmasında şeffaf plexiglas boruları kullanılmış ve bunlar toplama kanalı, düşüm boruları veya tek bağlantı gibi değişik şekillerde bağlanmışlardır. Boru sisteminin şeffaf olması, atık su akışının davranışını (karakteristiklerini) en iyi şekilde anlamamıza yardımcı olmaktadır. Düşey borulardaki iki fazlı akımın incelenmesi amacıyla, atık su deney sisteminin 5. kolonu kullanılmış ve bu kolona 4 bölümlü sifon sisteminden su sağlanmıştır. (SK34) Düşey borudaki basınç değerlerinin ölçülmesi amacıyla 5. kolona 12 adet basınç sensörü yerleştirilmiştir.

Atık su deney sisteminde veriler bir merkezde toplanarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu verilerin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi, gelişmiş bilgisayarlar tarafından yapılmıştır. Verilerin bilgisayara iletilmesi sırasında BUS sistemi kullanılmıştır.

Basınç sensörleri piezoresistif ölçme prensibine göre çalışmaktadırlar. Ölçüm aralığı – 50 mbar'dan + 50 mbar'a değişmektedir. Bu aralık 4 mAmpere ile 20 mAmpere elektrik sinyaline karşılık gelmektedir.

Son yıllarda otomasyon tekniği alanındaki gelişmeler ile, makinaların elektriksel donanımları çok gelişmiştir. Makinaların tasarlanmasında, projelendirilmesinde, kurulmasında ve çalışmasında zaman ve maliyet kazancı açısından, bileşenlerin seri bağlanması amacıyla BUS sistemleri geliştirilmiştir. BUS sistemleri sayesinde sensörler ve aktörler seri bağlanabilmektedir, yani hepsi birlikte çalışarak bir zincir oluşturmaktadır. Zincirin her üyesi bilgiyi diğerine iletir veya ilgili bilgiyi kendine alır. Burada sensörler; akımın fiziksel özelliklerine ait sinyalleri deney sisteminden alıp bilgisayara ulaştıran elemanlardır. Aktörler ise bilgisayardan gelen komutları deney sistemine ileten ve akışın özelliklerini değiştiren elemanlardır.

Piyasada mevcut olan birçok BUS sisteminden (LON, CAN, Prof,bus, INTERBUS,...) hangisinin kullanılacağı reaksiyon sürelerine veya toplayabileceği veri kapasitesine bakılarak seçilmektedir. Deney sisteminde PHONIX CONTACT şirketinin geliştirdiği INTERBUS BUS sistemi kullanılmıştır. INTERBUS, interface ve bus kelimelerinin birleşmesi ile oluşmuştur. Interface; birbiriyle iletişim kurabilen iki araç arasındaki bağlantı, bus ise birlikte çalışan sinyal iletim yolu topluluğunu ifade etmektedir.

2.2. Deney Sisteminde kullanılan bilgisayar programları:

3. PC WORX

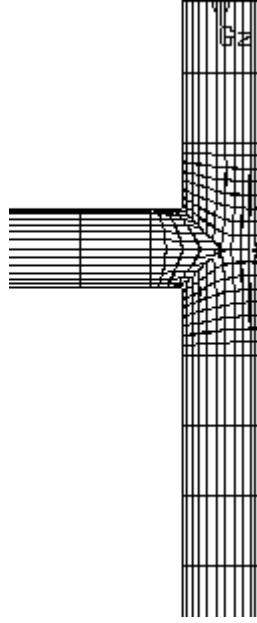
PC WORX, INTERBUS ağına bağlı olan elemanların tasarlanmasına ve kullanılmasına yardımcı olan standart bilgisayar programıdır. PC WORX programı ile INTERBUS sisteminin konfigürasyonu yapılmaktadır, işlem sırasında elemanların çalışması izlenebilmekte, gerekirse sisteme yeni elemanlar eklenebilmekte veya mevcut elemanlar çıkarılabilmektedir. PC WORX ile sistemdeki hatalar kolayca belirlenebilmekte ve giderilmektedir. INTERBUS'dan gelen veriler grafik olarak sunulabilmektedir.

3.1.DIAdem

DIAdem, ölçüm sonucunda elde edilen verilerin bilgisayara kaydedilmesi, daha sonra bu verilerin işlenmesi ve sunulmasında kullanılan bilgisayar programıdır. DIAdem programı ile ölçüm, gözlem, canlandırma, yönetme, ayarlama, analiz, otomasyon ve dokumentasyon yapılabilir. İçerdiği araçlar ile grafiksel ve matematiksel analizler interaktif olarak hazırlanabilmekte, sonuçlar birçok değişik formatta sunulabilmektedir.

4. NUMERİK ÇALIŞMA

Bu çalışmada üst ve alt ucu atmosfere açık düşey bir boruya yandan bağlanan ikinci bir borudan gelen serbest yüzeyli yanal akış olması durumu incelenmiştir. Akım, türbülanslı bir yapıya sahip olup, su akışının yanı sıra hava çektiği için de çift fazlı bir yapıya sahiptir. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucu boru boyunca meydana gelen basınç farkları bulunmuştur. Düşey boru sisteminin FLUENT isimli hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programı ile bilgisayarlı destekli simulasyonu yapılmıştır. Bunun için öncelikle GAMBIT programı ile sistemin üç boyutlu çizimi hazırlanmış, modele problemin fiziğine ve geometrisine en uygun ağ tipi yerleştirilmiştir. [6] Bilgisayar ile yapılan simülasyon sonucunda sistemin basınç ve hız alanları tespit edilmiştir. Bulunan basınç alanları deney sonuçları ile, hız alanları ise literatürde yer alan Alman normları ile karşılaştırılmıştır ve sistemin uygunluğu test edilmiştir. [7] Şekil 3'de nümerik çözüm ağının bir bölümü gösterilmiştir.



Şekil 3. Numerik çözüm ağı (şematik)

Yapılan simülasyonda 110 mm çaplı boru 40 m uzunluğunda tasarlanmıştır. Boru içine 27335 adet ağ hacmi yerleştirilmiştir. Bu hacimler ile toplam 33339 düğüm noktasında hesap yapılmıştır. Sisteme yanıl borudan x yönünde 1 m/s hızla su girişı olmaktadır. Serbest düşüm sırasında düşey borunun yan cidarlarına çarparak çalkantılı bir karakter alan akıma atmosfere açık uçlarından hava girişı olmaktadır. Meydana gelen kabarcıklı akış tam dolu akış olmadığı için, sıvı akışı dışında kalan bölgede hava akışı oluşmaktadır.

Akış, borunun tamamına ulaştığında görülmüştür ki, yanıl boru bağlantısından itibaren su hızı artmakta ve belirli bir kesitten sonra sabit bir değere ulaşmaktadır. Bunun nedeni, suyun havayla ve borunun katı cidarlarıyla arasında meydana gelen sürtünme kuvvetidir. Su fazının yüzdesinin az olduğu bölgede hız daha küçüktür. Çünkü bu bölgede hava fazı etkindir. Ayrıca bu bölgede özgül ağırlık da azalmaktadır. Su fazının yüzdesi çok, hava fazının ise az olduğu yerde su hızı ve özgül ağırlık daha büyüktür

4.1. Denev Sonuçları ile Numerik Sonuçların Karşılaştırılması

4.2. Hava-su karışım oranları

FLUENT programı ile yapılan nümerik çözümde, bir çok kesitteki hava-su hacim oranlarının hesaplanmasıyla, çözüm sürecinin sonucunda aşağıdaki değerler bulunmuştur ve bu değerler DIN 1986-1'de verilen boru çapları ile hava su karışım oranları arasındaki ilişki ile karşılaştırılmıştır.

$$Q_{su} = 4,75 \text{ lt / sn} = 285 \text{ lt / min}$$

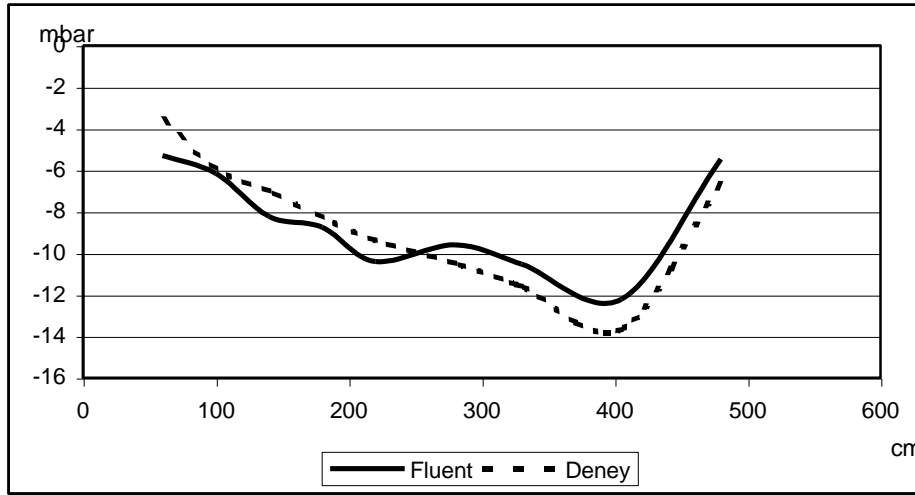
$$Q_{hava} = 41,47 \text{ lt / sn} = 2488,2 \text{ lt / min}$$

$$\frac{Q_{\text{hava}}}{Q_{\text{su}}} = 8,77$$

Mevcut sistemde çekilen hava debisinin su debisinin yaklaşık 9 katı olduğu bulunmuştur.

4.3. Basınç değerleri

Laboratuarda 6m'lik düşey boru sisteminde yapılan deneyler sonucunda basınç değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler ile FLUENT programı ile hesaplanan basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonuçları Şekil 4'deki grafikte verilmiştir. Yanal boru bağlantısından hemen aşağıda ani bir basınç düşüşü olduğu görülmektedir. Düşey yönde ilerledikçe basınç tekrar artmaktadır.



Şekil 4. Basınç değerlerinin karşılaştırılması

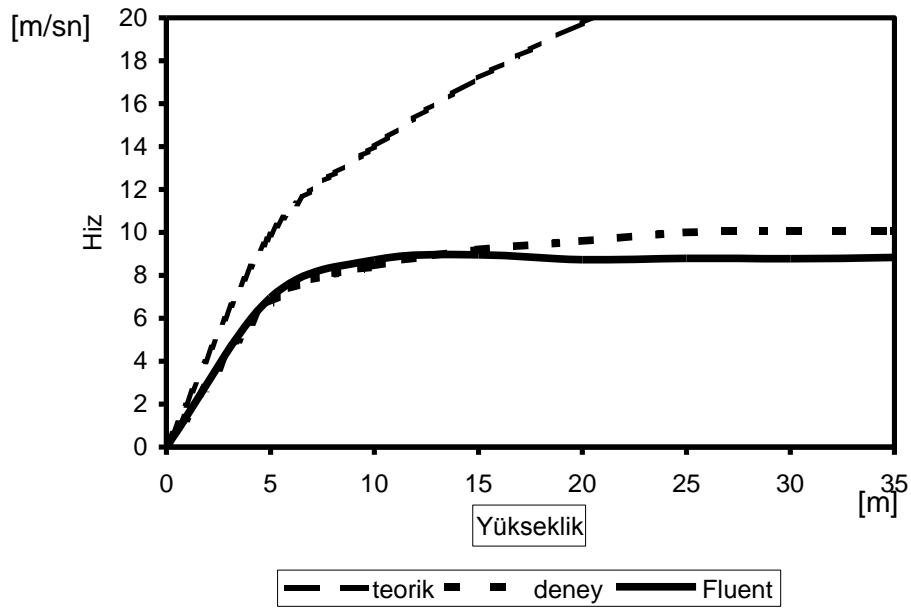
4.4. Hız değerleri

Nümerik çözümle hesaplanan hız değerleri, literatürde yer alan Alman normları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de DIN 1986-1'e göre düşey borudaki teorik hız ve gözlemlenen gerçek hızın grafiği verilmişti. Nümerik sonuçların bu diyagrama uygulanması ise Şekil 5'de gösterilmiştir. Burada, belirli bir mesafeden sonra hızın sabit bir değere ulaştığı görülmektedir. Bu mesafe de basıncın artmaya başladığı noktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada üst ve alt ucu atmosfere açık 40 m uzunluğundaki düşey bir boruya bağlanan yanal borudan serbest yüzeyli akış olması hali FLUENT yazılımı ile modellenip nümerik olarak çözülmüştür. Modelleme sonuçları deney sisteminden alınan verilerle karşılaştırılarak aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- 1- Yanal borudan düşey boruya giren suyun kabarcıklı bir yapıyla aktığı gözlemlenmiştir. Suyun bazı kesitlerde cidara yapışık aktığı, bazı kesitlerde ise merkezde toplandığı görülmüştür.
- 2- Yanal boru bağlantısından itibaren düşey boru boyunca borunun cidarına yapışarak akan su fazın bulunduğu bölgede pozitif basıncın hakim olduğu, ancak akımın cidardan ayrıldığı



Şekil 5. Hız değerlerinin karşılaştırılması

bölgelerde basınç düşüşlerinin meydana geldiği görülmüştür. Akımın tekrar cidarda akmasıyla basıncın arttığı gözlemlenmiştir. Basıncıdaki bu salınımlar belli bir mesafeye kadar devam etmektedir.

- 3- Borudaki akışın hızı belirli bir mesafeye kadar artmakta ve bu mesafeden sonra cidar yüzeyi ve hava ile olan sürtünmeden dolayı sabit kalmaktadır. Hızın sabit kaldığı bu düşey nokta aynı zamanda basınçtaki salınımların da durduğu noktaya denk gelmektedir.
- 4- Bu çalışmada modellenen sisteme 4,75 lt/sn su girişi olmaktadır. Bununla birlikte sistem 41,47 lt/sn hava emmektedir. Buna göre sistemde yaklaşık olarak 1/9 oranında hava çekişi vardır.
- 5- Bu çalışma değişik su hızları ve boru çapları için geliştirilmelidir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Fachhochschule Gelsenkirchen ile işbirliği neticesinde bu çalışma

Almanya'da gerçekleştirilmiştir. Yukarıda belirtilen kurumlara ve çalışmanın Almanya'da yürütülmesi sırasında maddi destek veren VEBA şirketine de teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] Yüksel, Y., (1999), Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Hidrolik, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul

[2] Yüksel, Y. (2000), Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Beta Yayınları, İstanbul

[3] DIN 1986-1 Technische Bestimmungen für den Bau

[4] Kuhn, B., (1983), "Entwaesserungsanlagen, Technische, physikalische und hydraulische Kriterien", IKZ Heft 6

[5] Meier, R., "Entwaesserung von Hochhaeusern", Geberit Fachartikelreihe, D, Chd 900, 898-76

[6] FLUENT 4.4, (1997), User's Guide Volume 2

[7] FLUENT 5, (1999), User's Guide Volume 2