



Makale / Research Paper

Sayısal Model Yardımıyla Farklı Havalandırıcı Tiplerin Venturi Havalandırma Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

İsa Cici^{1a}, Ömerul Faruk DURSUN^{1b}

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Malatya/TÜRKİYE
isacici416@gmail.com

Received/Geliş: 05.06.2021

Accepted/Kabul: 21.12.2021

Öz: Suların kalitesi ile bünyesinde çözünmüş halde bulunan oksijen oranı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Durgun suların içerisindeki canlı yaşamı, zamanla oksijen miktarının azalmasına sebep olur. Sular hidrolik yapılar yardımıyla havalandırılarak zehirli gazlardan temizlenebilir ve oksijen bakımından zenginleştirilebilir. Bu amaçla günümüzde birçok çalışma yapılmaktadır. Venturi aygıtları sanayi, ziraat, arıtma tesisleri ve sağlık alanları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada suların havalandırılmasında kullanılan venturilerin havalandırma verimleri araştırılmıştır. Bunun için venturinin dairesel ve elips kesitli geometrileri kullanılmıştır. Bu venturi tasarımları üzerinde farklı havalandırma bacaları da dizayn edilmiştir. Tasarlanan bu venturi modelleri için sayısal ortamda analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı olan Ansys-Fluent yazılımı ile toplam 240 adet sayısal çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar havalandırma performansı bakımından karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Venturi, Oksijen transferi, Kütle transferi, Suların havalandırılması, Sayısal analiz, HAD.

Investigation of The Effects of Different Aerator Types on Venturi Aeration Performance by Using Numerical Models

Abstract: There is a linear relationship between the quality of the water and the dissolved oxygen content. The life in motionless waters causes the amount of oxygen to decrease in time. Water can be cleaned from toxic gases and can be enriched oxygen content by using hydraulic structures. For this purpose, many studies have been done today. Venturi devices are used in many fields such as industry, agriculture, treatment plants and healthcare. In this study, aeration efficiency of venturies used in water aeration was investigated. For this purpose, the circular and elliptical geometries of the venturies are used. Different vent shafts are also designed on these venturi designs. For these designed venturi models, numerical analyzes were performed. In the study, a total of 240 numerical studies were performed with Ansys-Fluent software, which is a Computational Fluid Dynamics (HAD) software. The obtained results were interpreted by comparing them in terms of ventilation performance.

Keywords: Venturi, Oxygen transfer, Mass transfer, Water aeration, Numerical analysis, CFD.

1. Giriş

Su kalitesini; sıcaklık, pH değeri, askıdaki maddeler, elektriksel iletkenlik, bulanıklık ve çözünmüş oksijen gibi özellikler belirler. Su içerisindeki oksijen konsantrasyonu bu özellikler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bundan dolayı su içerisindeki canlı yaşamı oksijen miktarını azaltır. Su içerisindeki oksijen dengesini korumak için atmosferden oksijen alınarak tekrardan suya kazandırmak gerekir. Fiziksel olarak oksijenin atmosferden alınarak tekrardan suya kazandırılması havalandırma işlemi ile mümkün olmaktadır. Suların havalandırılması işlemleri ile su bünyesine

Bu makaleye atfı yapmak için

Cici İ., Dursun Ö. F., "Sayısal Model Yardımıyla Farklı Havalandırıcı Tiplerin Venturi Havalandırma Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9 (1); 96-112.

How to cite this article

Cici İ., Dursun Ö. F., "Investigation of The Effects of Different Aerator Types on Venturi Aeration Performance By Using Numerical Models" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (1); 96-112.

ORCID ID: ^a0000-0002-5501-3509; ^b 0000-0003-3923-5205

oksijen kazandırmak, karbondioksit kazandırmak veya gidermek, hidrojen sülfür gidermek veya metanı gidermek mümkündür.

Günümüzde farklı nedenlerle akarsularda ve nehirlerde oluşan çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliğinin ekolojik dengeyi tehdit ettiği bilinmektedir. Bu kapsamda ekolojik dengeyi muhafaza etmek için akarsularda ve nehirlerde gerekli olan minimum oksijen konsantrasyonunu (5 mg/L) sağlanmalıdır [1]. Bununla birlikte akarsularda hidrolik yapılar yardımıyla sağlanan oksijenlenme oranı sudaki oksijen doygunluk sınırını geçmesi halinde canlı yaşamı için olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır. Örneğin; 20 °C sıcaklıktaki suyun oksijen doygunluk sınırı 9.2 mg/L iken bu değer 24 °C sıcaklıkta 8.5 mg/L seviyesine düşmektedir [2]. Tasarım mühendisleri bu sınır değerleri dikkate alarak tasarım yapmalıdırlar. Akarsular ve nehirler üzerine inşa edilecek olan hidrolik yapılarla ihtiyaç duyulan çözünmüş oksijen konsantrasyonu suya kazandırılabilir. İnce kenarlı veya kalın kenarlı savaklar, kapaklı veya kapaksız dolu savaklar, kapaklı eşikler ve kapaklı dipsavak çıkış ağızları benzeri gibi hidrolik yapılar ile oksijen kolay bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu kapsamda, hızlı su jetinin hava giriş karakteristiklerini [3], Clyde Barajı dolu savak modeli üzerindeki havalandırıcı yeri ve aralıklarını belirlemek [4], dairesel kesitli düşülü bacalarda [5] ve geniş dolu savaklarda [6] gibi birçok çalışma mevcuttur.

Birçok nehir ve akarsuda doğal olarak oksijen kazanılması için kilometrelerce uzunluğa ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu nehir ve akarsular üzerine yapılacak olan bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok hızlı bir şekilde ve az bir maliyetle sağlanabilir. Yüksek basınçlı iki fazlı akım sistemleri buna bir örnektir. Yüksek basınçlı borular içerisine farklı metotlarla atmosferden hava emmek suretiyle iki fazlı akım sistemleri elde edilir [7]. Bu sistemler içerisine aktarılan hava kabarcıklarının boyutları ne kadar ufak ölçülerde olursa oksijen transferi için sağlanması gerekli olan yüzey alanı da o kadar fazla olur. Yüzey alanını fazla olmasından dolayı oksijen transferi de fazla olur. Ayrıca boru içerisindeki yüksek basınçta oksijen transferini kolaylaştırır. Lüle orifis ve venturimetre boru üzerinde yapılan bir çalışmada laminar ve türbülanslı akış halinde, cidar statik basınç dağılımı ve debi katsayısı araştırılmıştır [8].

Serbest yüzeyli hava akımlara ait havalandırma özellikleri ve basınçlı boru akımlarına ait havalandırma verim özellikleri ve oksijen transfer verimliliği [9], venturi savakların hava giriş verimliliğinin etkilerini [10] ve venturinin farklı uzunluklarda ve farklı daralma boğaz kısımlarına sahip venturinin havalandırıcıların ozon gazının sudaki çözünürlük verimliliği [11] gibi çalışmalar yürütülmüştür.

Bu çalışmada, su mühendisliğinde oksijen transfer işlemi konusunda mevcut oksijen transferi sistemleri olarak kullanılan venturi havalandırıcılar araştırılmıştır. Bu sistemlerde iki fazlı yüksek basınçlı akımdan düşük basınçlı akıma dönüşüm oluşmaktadır. Bu akım sistemlerinde değişik parametrelere bağlı olarak emilen hava, ufak kabarcıklar halinde sisteme girmektedir. Yukarıda anlatıldığı gibi kabarcıkların küçük olması sebebiyle oksijen transferi için gerekli yüzey alanı ve dolayısıyla oksijen transfer verimi de artacaktır.

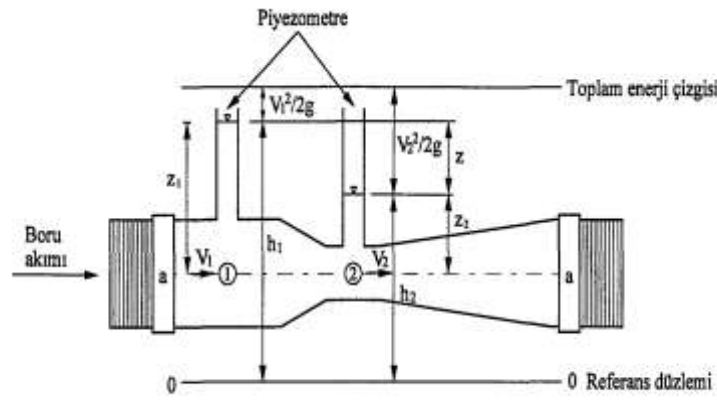
Bu çalışmada venturi havalandırıcıların oksijen transferi için önemli olan işletim parametreleri tanımlanmış olup, venturi havalandırıcılar; farklı boru çapları, farklı geometrileri, farklı hava alma girişleri ve farklı su giriş hızları için havalandırma verimleri tespit edilmiştir. Havalandırma verimini belirlemek üzere ve farklı venturi şekilleri modellenerek ANSYS Fluent yazılımı yardımıyla HAD analizleri yapılmıştır.

Çalışmalarda dairesel ve üç farklı çaplı elips şeklinde venturi tasarımları kullanılmıştır. Ayrıca hava alma girişleri daireselden farklı olarak dikdörtgen olacak şekilde modeller seçilmiştir. HAD analizleri genel bir çözüm algoritması hazırlamak oldukça güç ve çok sayıda kişinin çalışması

gerektirecek bir işlemdir. Literatürdeki sayısal çalışmaların çoğunda, her problem için özel bir yöntem vardır. Her bir problem için uğraştırıcı ve karmaşık matematik modeller kurmak yerine bu konuda yılların deneyimini vermiş Fluent gibi genel amaçlı bir HAD yazılımlarının kullanılması yerinde bir karar olacaktır. Çalışmada ANSYS-Fluent HAD yazılımı kullanılarak 240 farklı sayısal analiz çalışması yürütülmüştür. Bu analiz sonuçları incelenen venturi havalandırıcıların hava emme performansları meydana gelen basınç farklarıyla birlikte incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Venturiler, bir boru boyunca deşarj akışkan akımının debisini ölçmek için eskilerden beri kullanılan basit hidrolik aletlerdir. Bu aygıtlarda Bernoulli ilkesine dayalı olarak akış kesitinin daraltılması suretiyle akım hızı artarken basıncın düşmesi sağlanır. Böylece iki kesit arasındaki basınç farkından faydalanarak basit bağıntılarla akışkan akımının debisini hesaplamak mümkündür. Tipik bir venturi modelinin hidrolik değişkenleri ve matematiksel bağıntıları aşağıda verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Bir venturi modelinin hidrolik değişkenleri

Şekil 1'deki a-a nivo seviyesine göre; 1 ve 2 no'lu noktalardaki basınçlar aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_1 + \gamma z_1 = P_2 + \gamma z_2 \quad (1)$$

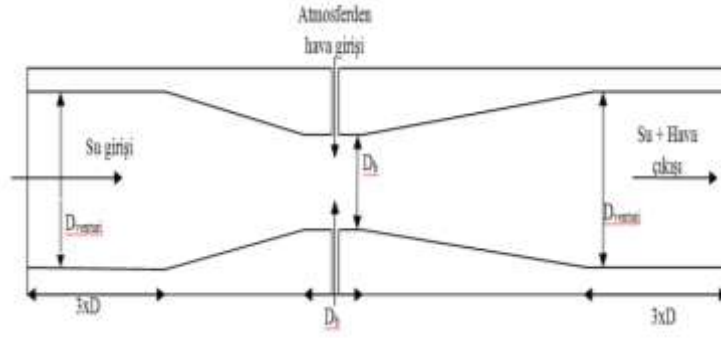
$$P_1 \cdot P_2 = \gamma (z_2 - z_1) \quad (2)$$

Piyezometrelerde $z_1 > z_2$ olduğundan $(z_2 - z_1) = -z$ yazılırsa

$$\frac{P_1 \cdot P_2}{\gamma} = -z \quad (3)$$

Denklemler elde edilir. Bunun sonucuna göre 2 no'lu noktada negatif bir basınç oluşmaktadır. Burada, $P_1=1$ no'lu kesitteki basınç (kg/m^2), $P_2=2$ no'lu kesitteki basınç (kg/m^2), $h_1=1$ no'lu kesitin basınç yüksekliği (m), $h_2=2$ no'lu kesitin basınç yüksekliği (m) ve γ = suyun birim hacim ağırlığıdır (kg/m^3).

Sayısal çalışmada kullanılan venturinin genel görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Venturi tüplerinin giriş ve çıkış çapları D, 36 mm, 42 mm ve 54 mm olarak seçilmiştir. Venturi tüpünün boğaz çapının venturi tüpün giriş çapına oranı (D_b/D) 0.75 olarak alınmıştır. Venturi tüplerinin yakınsak koni açısı θ_1 ve ıraksak koni açısı θ_2 sırasıyla 21° ve 7° göre venturi tüpü için yersel yük kayıplarını en aza indiren koni açılarıdır[12]. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak venturi tüplerinin boğaz kısmında alanları eşit 4 farklı hava alma yapısı yerleştirilmiştir. Bunlar; 6,0 mm çapında iki delik, 6,0 mm çapında dört delik, boyutları 2 ve 14 mm olan iki dikdörtgen ve aynı kenar ölçekli dört delikten oluşmaktadır.

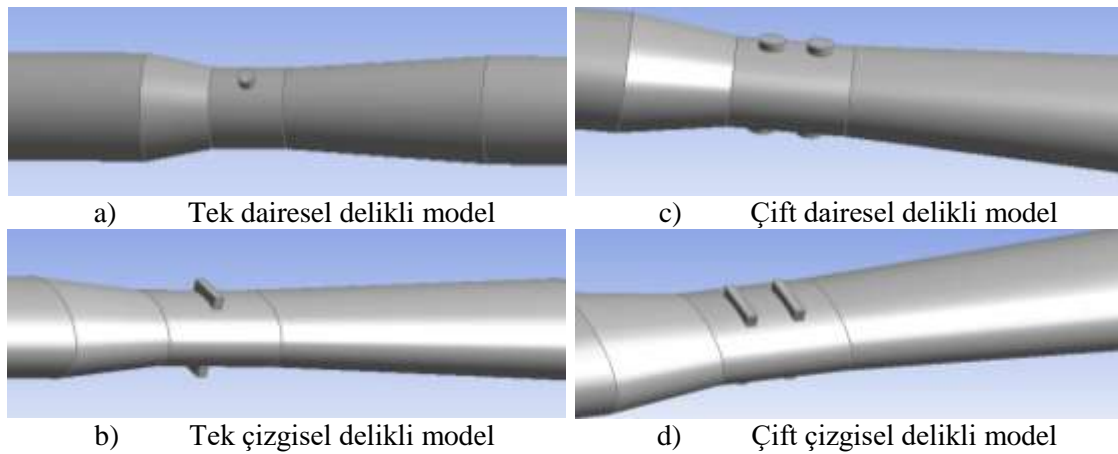


Şekil 2. Venturi borusunun yapısı ve hava sürüklenme mekanizması

Tablo 1’de görüldüğü gibi venturi metre aygıtının eşit alanlarda ve giriş ve çıkış kısımlarının 36 mm çaplı ve elips ($r_2=r_1 \times 1.614$, $r_2=r_1 \times 1.33$, $r_2=r_1 \times 2$) çaplı yapıyla ve bunlar gibi 42 mm ve 54 mm bunların alanlarına eşit olacak şekilde elips venturi metreler çizilmiştir. Bu venturilerin üzerine yapılan hava alma yapıları da Tablo 1’de kod verilmiştir. Bu kodlar şekillerde ve grafiklerde kullanılacaktır.

Tablo 1. Venturi aygıtının boyutları ve kodları

Venturi tipi	Kodu				Kesit alanı (mm ²)
	Dairesel tek delik	Çizgisel delik	Çift dairesel delik	Çift çizgisel delik	
36 mm çaplı dairesel	D_{d1}	$D_{ç1}$	D_{d2}	$D_{ç2}$	
Elips ($r_2=1.614r_1$)	$E1_{d1}$	$E1_{ç}$	$E1_{d2}$	$E1_{ç2}$	1017.88
Elips ($r_2=1.33r_1$)	$E2_{d1}$	$E2_{ç1}$	$E2_{d2}$	$E2_{ç2}$	Model I
Elips ($r_2=2r_1$)	$E3_{d1}$	$E3_{ç1}$	$E3_{d2}$	$E3_{ç2}$	
42 mm çaplı dairesel	D_{d1}	$D_{ç1}$	D_{d2}	$D_{ç2}$	
Elips ($r_2=1.614r_1$)	$E1_{d1}$	$E1_{ç}$	$E1_{d2}$	$E1_{ç2}$	1385.44
Elips ($r_2=1.33r_1$)	$E2_{d1}$	$E2_{ç1}$	$E2_{d2}$	$E2_{ç2}$	Model II
Elips ($r_2=2r_1$)	$E3_{d1}$	$E3_{ç1}$	$E3_{d2}$	$E3_{ç2}$	
54 mm çaplı dairesel	D_{d1}	$D_{ç1}$	D_{d2}	$D_{ç2}$	
Elips ($r_2=1.614r_1$)	$E1_{d1}$	$E1_{ç}$	$E1_{d2}$	$E1_{ç2}$	2290.22
Elips ($r_2=1.33r_1$)	$E2_{d1}$	$E2_{ç1}$	$E2_{d2}$	$E2_{ç2}$	Model III
Elips ($r_2=2r_1$)	$E3_{d1}$	$E3_{ç1}$	$E3_{d2}$	$E3_{ç2}$	



Şekil 3. Çalışmada kullanılan farklı venturi modelleri

Şekil 3 (a ve b)’de venturinin boğaz kısmındaki hava alma yapıları gösterilmiştir. Bu hava alma yapıları boğaz kısmının ortalarında bulunmaktadır. Şekil 3 (c ve d)’de venturinin boğaz kısmındaki

hava alma yapılarını göstermiştir. Bunların yapıları ise boğaz kısmının başlangıç noktasından bitiş noktasına olan boğaz kısmının üç eşit bölmeye ayrılarak yerleştirilmiştir.

HAD yazılımları çok amaçlı yazılımlardır. Akışkanlar davranışını belirlemek için temel denklemlerden ve deneysel sonuçlardan yararlanılarak yapılan bazı sayısal yöntemler vardır. Bu sayısal yöntemlerin çözümlenmesi ve karmaşık modeller için ancak bilgisayar yazılım destekleriyle mümkün olabilmektedir. Sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemler kullanılarak geliştirilen matematiksel modellerin bilgisayar desteği ile çok hızlı ve etkili bir şekilde çözülebilmektedir. Üç boyutlu modellerde hassas çözüm için sonlu eleman sayısı artacağından çözüm zorluğu da çok fazla artmaktadır. Üç boyutlu hassas çözümler günümüzde kullanılan hızlı ve işlemcisi yüksek kapasiteli bilgisayar yardımlarıyla daha mümkün olmaktadır

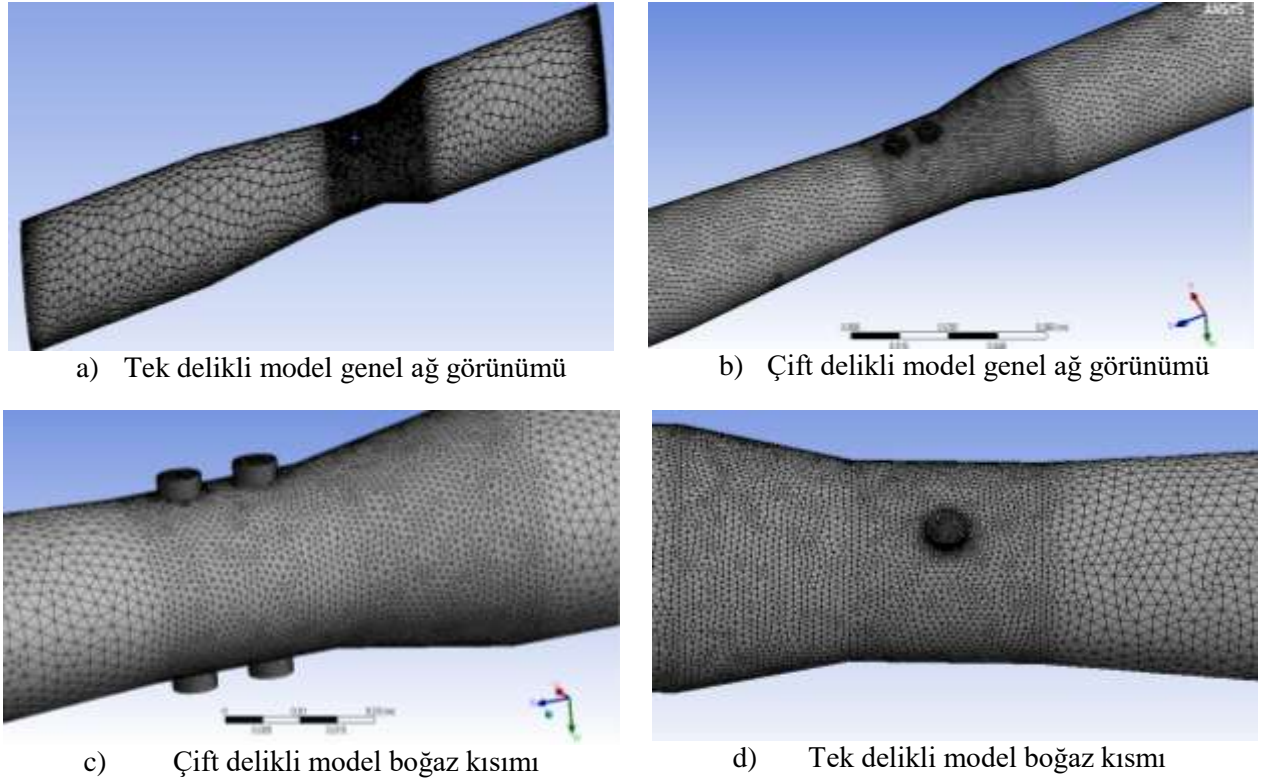
HAD analizleri genel bir çözüm algoritması hazırlamak oldukça güç ve çok sayıda kişinin çalışması gerektirecek bir işlemdir. Literatürdeki sayısal çalışmaların çoğunda, her problem için özel bir yöntem vardır. Her bir problem için uğraştırıcı ve karmaşık matematik modeller kurmak yerine bu konuda genel amaçlı HAD yazılımlarının kullanılması çok uygun ve doğru bir karar olacaktır. HAD yazılımlarının çalışma prensibi sonlu elemanlar yöntemidir [13]. Bu gibi yazılımlarda Navier-Stokes denklemlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle kullanıldığını belirtmiştir. Nguyen ve Nestman HAD yazılımında $k-\varepsilon$ modeli ve VOF metodunu kullanarak Avrupa'nın önemli akarsularından olan ve 1320 km uzunluğundaki Rhine akarsuyunu modelleyerek akarsuyun farklı mesafelerinde su derinliklere göre hızını ve türbülans durumunu incelemiştir [14]. Termal kaynaklı ısı pompaları kullanılarak kar ve buzun eritilmesi amacıyla Fluent yazılımı yardımıyla sayısal çözümler yapılmıştır [15]. Basamaklı dolu savakların enerji sönümlenme özelliğinin sayısal analizini yapmıştır ve farklı boşaltım kanalı taban eğimleri için enerji sönümlenme oranları [16], Fluent yazılımı kullanılarak sayısal yöntemle belirlenmiştir. Dönen boru akışlarını türbülans modellerinin simülasyonu karşılaştırılması [17], yapılan T yerleşimli çok fazlı akışın T bağlantı boyunca çok fazlı bir akış modeli ve fazdaki yeniden dağılım fenomeni gösterme amacını [18] HAD yazılımı sayesinde yapılmıştır. Yapılan çalışmada çok borulu topraktan hava sıcaklığının simülasyonu için HAD modelinin doğrulanması eşanjörler (EAHE) akış performansı [19] incelenmiştir. Anlatılan çalışmalarda görüleceği gibi HAD yazılımları sadece İnşaat Mühendisliği çalışmalarında değil, Makine Mühendisliği gibi birçok çalışmada kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle hava-su karışımı gibi çok fazlı, serbest yüzeyli ve türbülanslı akımların çözümünde, gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan ve bir HAD yazılımı olan Fluent programı kullanılmıştır. Bu program ile akım alanı oluşturulup akımın gerçeğe yakın özellikleri incelenebilir. Programla akışkanın hareketini incelemek mümkündür. Akımın özelliğini belirleyen hız değişimi, kesme kuvveti ve suyun hareketinden kaynaklanan basınç değişimi tespit edilebilir. Böylece, akımın nasıl davranacağı anlaşılmış olur. Analitik olarak türbülanslı akımın hareketini incelemek zordur, fakat Fluent programının denklemleri sistematik olarak çözme açısından kolaylık sağlaması bu durumu ortadan kaldırmaktadır. Türbülanslı akımın özellikleri için, Reynolds-Ortalama Navier Stokes denklemlerini kullanılır [20].

Venturinin boğaz kısmında akım hızları çok yüksek olduğundan sayısal modellerde türbülans etkisi dikkate alınmalıdır. Özellikle su ve hava ile yapılan çok fazlı akımlarda türbülans modeli çok önemlidir. Tam gelişmiş akımlarda türbülans modeli gerilmeleri yanında viskoz modelin gerilmeleri ihmal edilebilir, akıma hava karışması gibi türbülans etkisinin önemli olduğu problemlerde türbülans modeli iyi seçilmelidir. Bu çalışmada türbülans modellerden etkin olarak kullanılan Realizable $k-\varepsilon$ modeli kullanılmıştır.

Ağ oluşturma mühendislik simülasyonunun en kritik kısımlarından biridir. Fazla eleman sayısı uzun

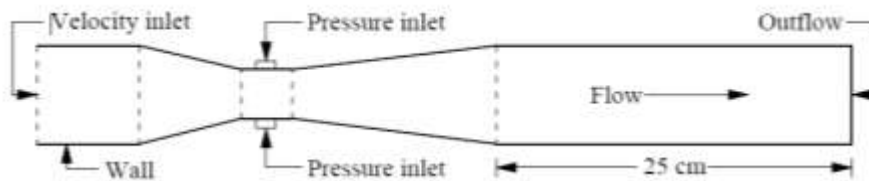
süreye yol açarken az eleman sayısı da sağlıksız sonuçlar verir. Fluent ağ yapısının dengeyi bulması ve olabildiğince otomatik olarak simülasyon için en doğru oluşturmasını sağlar.



Şekil 4. Farklı venturi modellerinin ağ yapıları

Şekil 4’de ölçeklendirmemizi üç parçaya ayırdığımız için küçük değer verdiğimiz bölgelerde daha fazla hücre yapısına ayırmıştır, diğer kısımların ise fazla hassas olmadığı için büyük parçalara ayırmıştır.

Ağ yapısını ayarladıktan sonra geometriyi tanımlamaya geçilir. Burada su akış hızını belirlemek için hız giriş sınır koşulu ve sistemi tanımlamak içinde hava girişi, su+hava çıkışı ve duvar kısmı tanımlanarak uygulanır. Sınır koşullarını tanımlama işlemi Fluent yazılım programı yardımıyla Şekil 5’de görüldüğü gibi su girişine (Velocity-inlet), hava girişine (pressure-inlet), su+hava çıkışına (outflow ve pressure-outlet) ve duvar yüzeyine (wall) seçilir.



Şekil 5. Sayısal modeli sınır koşulları

Sınır şartları sayısal çalışma için en önemli konulardan biridir. Çünkü modelin fiziksel olarak gerçekleşmesi belirteceğimiz sınır şartlarına bağlıdır. Türbülans simülasyonlarının gelişimini ve problemlerini derlemek mühendislik amaçlıdır. Türbülans taşıma modelleri: Bunların temeli Mühendislerin yaklaşımı, girişimlerin yöneten koşulların sadeleştirilmiş modellenmesi arayışı momentumun taşınması, ısı vb yoğunlaştığı yerlerdir. Her ikisinde de analitik kuramlara benzer istatistiksel olarak ortalama alanlar olarak dinamik miktarlar alınır. Bir boru ağı herhangi bir

mühendislik endüstrisinde önemli ve yaygın olarak çalışılan bir sorundur. Bir boruda sıvı akışının ve basınç düşüşünün gelişimini görmek her zaman önemlidir. Bu çalışmada, k-epsilon-realizable türbülans modeli seçilmiştir.

Yinelemeli çözümlerde, çözülen her denklem için normalleştirilmiş artıklarda en az 10^{-3} düzeyinde yakınsama sağlanmalıdır. Zamana bağlı problemler için, her zaman adımındaki yinelemeli yakınsamalar kontrol edilir ve tüm kalıntı terimleri yaklaşık 300 zaman adımında (6.000 yineleme) dördüncü mertebenin (10^{-4}) altına düşürülmüştür. Zaman adım büyüklüğü $t = 0.01$ s olarak seçilmiştir. İteratif yakınsama yaklaşık 350 zaman adımında (7.000 yineleme) gerçekleştirilmiştir.

Burada kullanılan GCI (Grid Convergence Index) yöntemi, yüzlerce CFD olayı üzerinde değerlendirilen kabul edilebilir ve önerilen yöntemdir. GCI ilk olarak model çözümlerin nümerik takdir yetkisine duyarlılığını bildirmek için genel bir yöntem olarak önerilmiştir [23]. Genelleştirilmiş Richardson ekstrapolasyonu teorisini kullanarak başka bir çözünürlükteki çözümle karşılaştırmaya dayanarak, belirli bir analiz çözünürlüğünde çözüm ile ilgili belirsizlik endeksidir [22].

Ağ yakınsamasının ve ilişkili belirsizliğin tahmini, en az üç ızgara yapısı gerekir. Üç önemli ölçüde farklı ızgara seti seçilir ve simülasyon çalışmasının amacı için önemli olan değişkenlerin değerlerini belirlemek için simülasyonlar uygulanır [23]. Burada hava enjeksiyon hızı olduğu bildirilen sonuçlara kritik önem taşıyan değişken f oranında en az % 10 değişiklik önerilir ($r=h_{\text{coarse}}/h_{\text{fine}}$). Geometrik olarak benzer hücrelerin kullanılması tercih edilir. Sayısal modelin doğruluk sırası, $p=1$; en iyi ve $p=3$; en kaba, $\varepsilon_{32} = f_3 - f_2$, $\varepsilon_{21} = f_2 - f_1$, $r_{32} = h_3/h_2$ ve $r_{21} = h_2/h_1$ olarak veya doğrudan aşağıdaki ifade ile tahmin edilir.

$$p = \frac{\left| \ln \left| \frac{\varepsilon_{32}}{\varepsilon_{21}} \right| \right|}{\ln r} \quad (4)$$

Bu çalışmada, doğruluk sırasını hesaplamak için denklem (4) kullanılmış olup, r sabiti 1.3'tür. Yaklaşık bağıl hata aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$e_a^{21} = \left| \frac{f_1 - f_2}{f_1} \right| \quad (5)$$

Tanımlanan güvenlik faktörüne sahip ince ızgara yakınsama indeksi:

$$GCI_{\text{fine}} = \frac{1.25 e_a^{21}}{r^{p-1}} \quad [24] \quad (6)$$

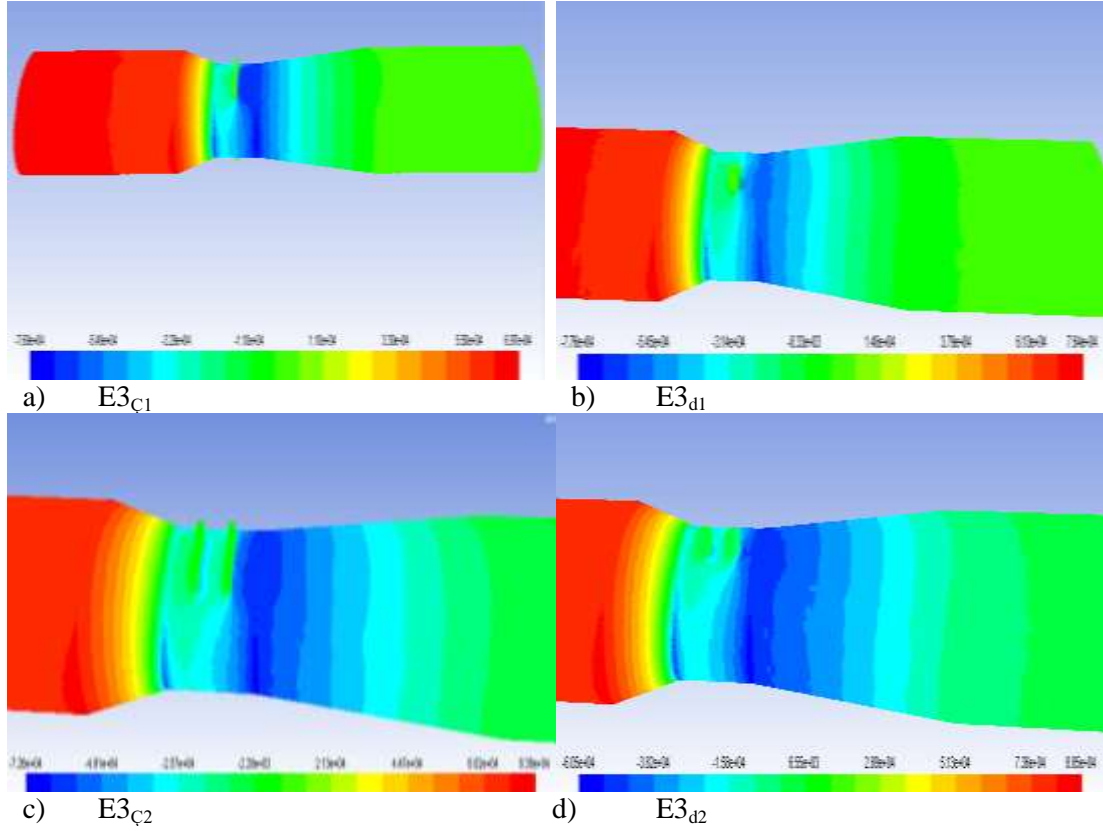
Tablo 2'de, 3D tetrahedral ve piramidial elemanlar olarak toplam 512621, 325120 ve 112326 hücreli toplam üç ızgara için ayrıklaştırma hataları hesaplanmıştır. D_d kodlu venturite ait sayısal hataları Tablo 2'de tahmin edilmiştir. Tablo 2'ye göre, GCI'nın ince ve kaba ızgara yapısı için hata değerlendirmesi 4.61 % ile 10.75 % arasında verilebilir.

Tablo 2. D_d kodlu venturi için ayrıklaştırma hatalarının hesaplanması

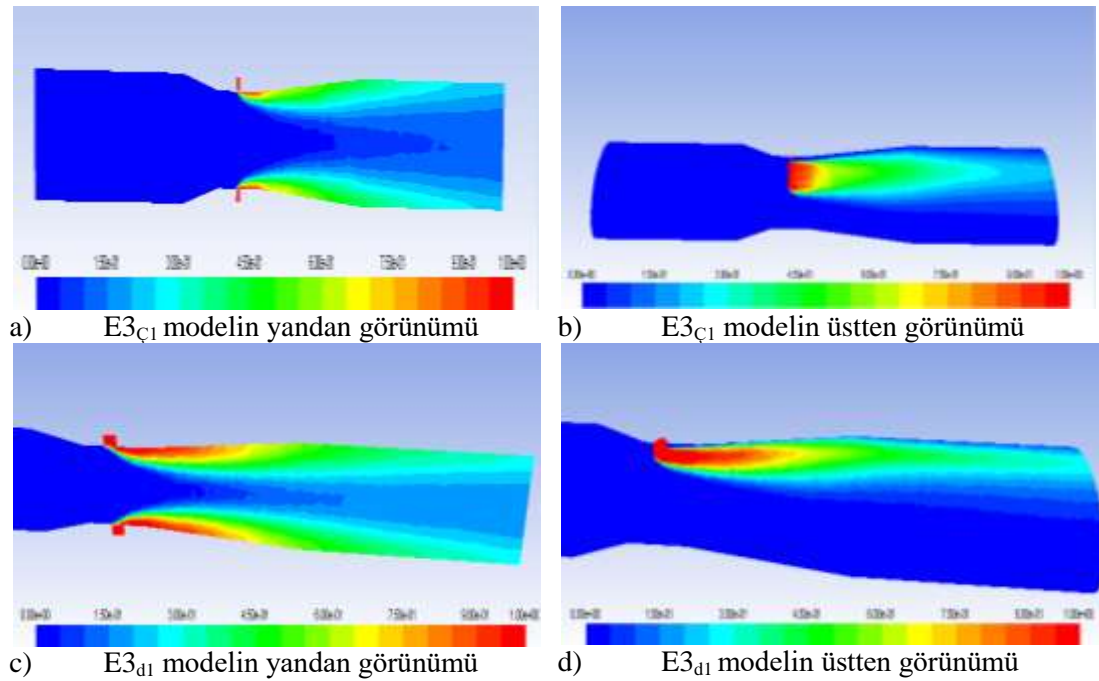
Re	$Q_v \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$						GCI_{fine}	GCI_{coarse}		
* 10^3	f_1	f_2	f_3	ε^{21}	ε^{32}	p	e_a^{21}	e_a^{32}	(%)	(%)
106.2	0.581	0.541	0.523	0.040	0.018	8.00	0.069	0.033	7.04	3.40
212.4	1.202	1.124	1.097	0.077	0.028	10.14	0.065	0.025	4.61	1.79
315.4	1.758	1.674	1.620	0.084	0.054	4.43	0.048	0.032	10.75	7.26
424.4	1.81	1.683	1.626	0.127	0.057	8.02	0.070	0.034	7.14	3.45
531	2.921	2.789	2.704	0.132	0.085	4.41	0.045	0.030	10.22	6.89

3. CFD Modelleme Sonuçları

Şekil 6'da görüldüğü gibi venturi boyunca statik basınç dağılımı boğaz kısmında minimum değere düşmekte ve daha sonra tekrar artış göstermektedir. Negatif basıncın boğaz bölgesine başlamadan oluştuğu ve boğaz bölgesinden sonraki geçiş bölgesinin sonuna kadar devam ettiği belirlenmiştir.

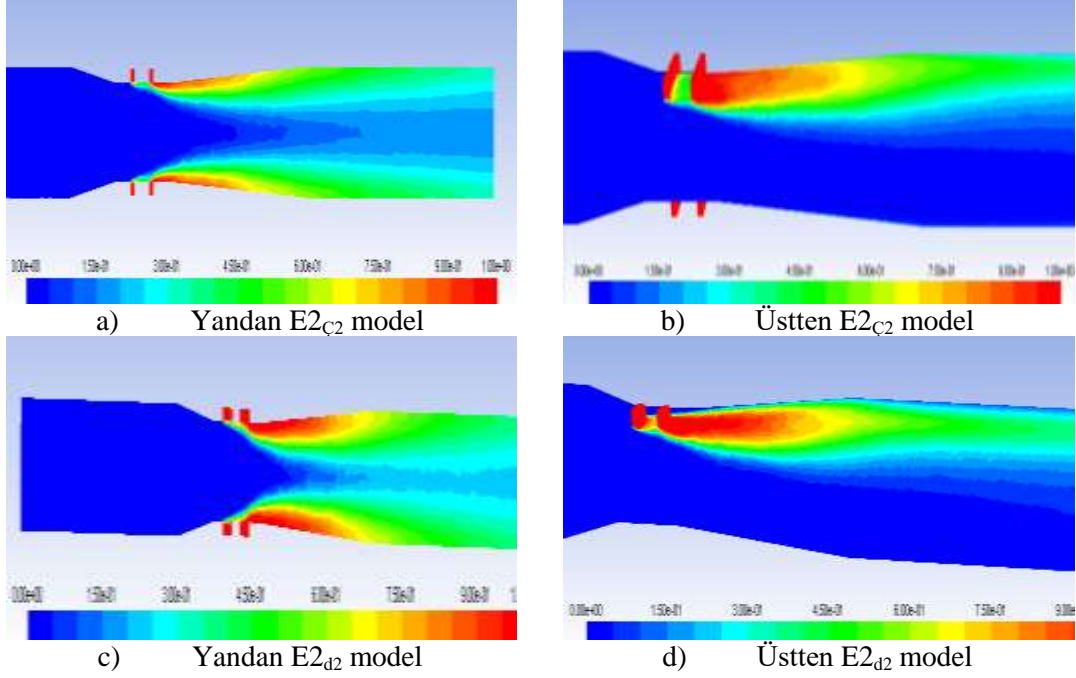


Şekil 6. Venturi boyunca statik basınç dağılımları



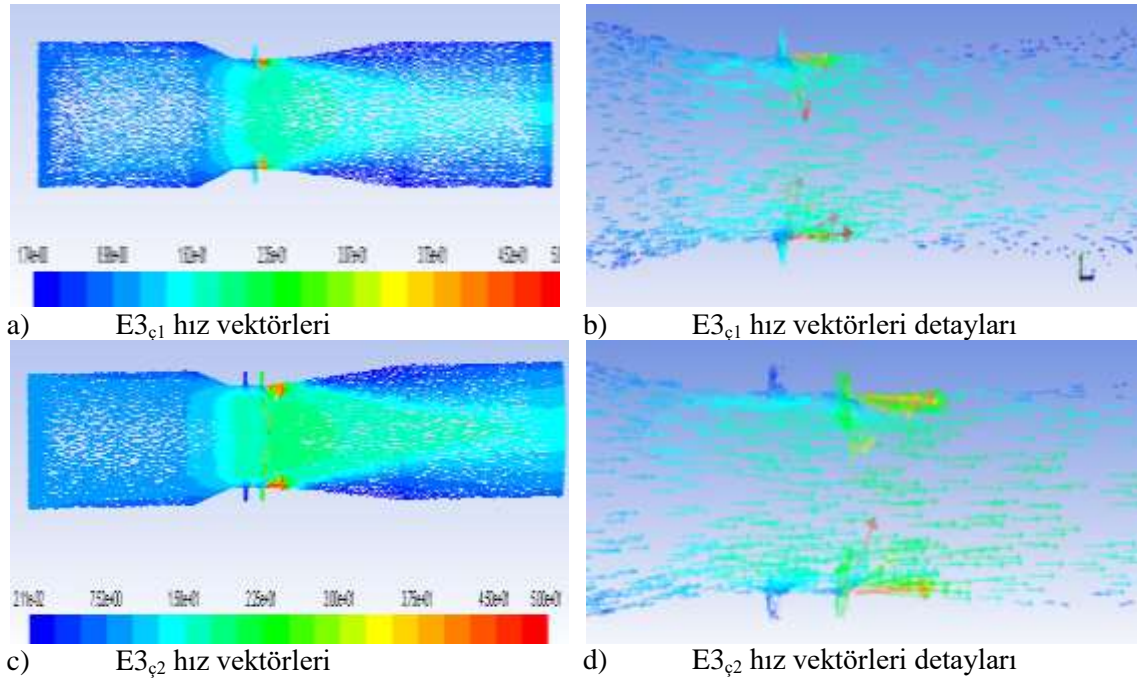
Şekil 7. Tek delikli modellerin iki fazlı akım görünümüleri

Şekil 7 (a)'da yüzde yüz hava ile dolu kısımlarının (c)'ye göre daha az olduğu, hava dağılımının ise (c) de (a)'ya göre daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 7 (b)'nin hava dağılımının daha geniş alana yayıldığı (c)'de ise toplu olduğu görülmektedir. Buna göre dairesel kesitli deliklerde hava transferinin venturi içine doğru, çizgisel delikli venturilerde ise havanın daha geniş bir yüzeye yayıldığı görülmektedir.



Şekil 8. Çift delikli modellerin iki fazlı akım görünümleri

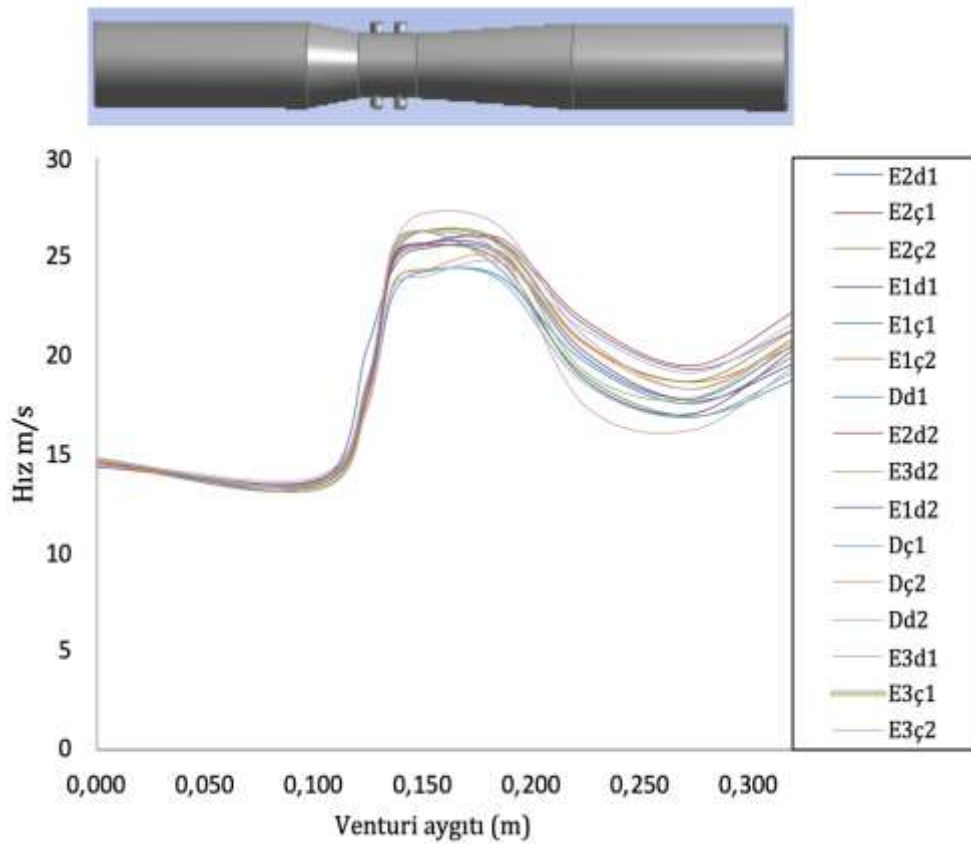
Şekil 8, çift dairesel ve çizgisel delikli venturiler içerisindeki iki fazlı akım simülasyonu göstermektedir. Bu şekle göre özellikle çift dairele delikli ventürilerde çekilen hava daha kısa mesafede kesit içine dağılmaktadır.



Şekil 9. Hız vektörleri

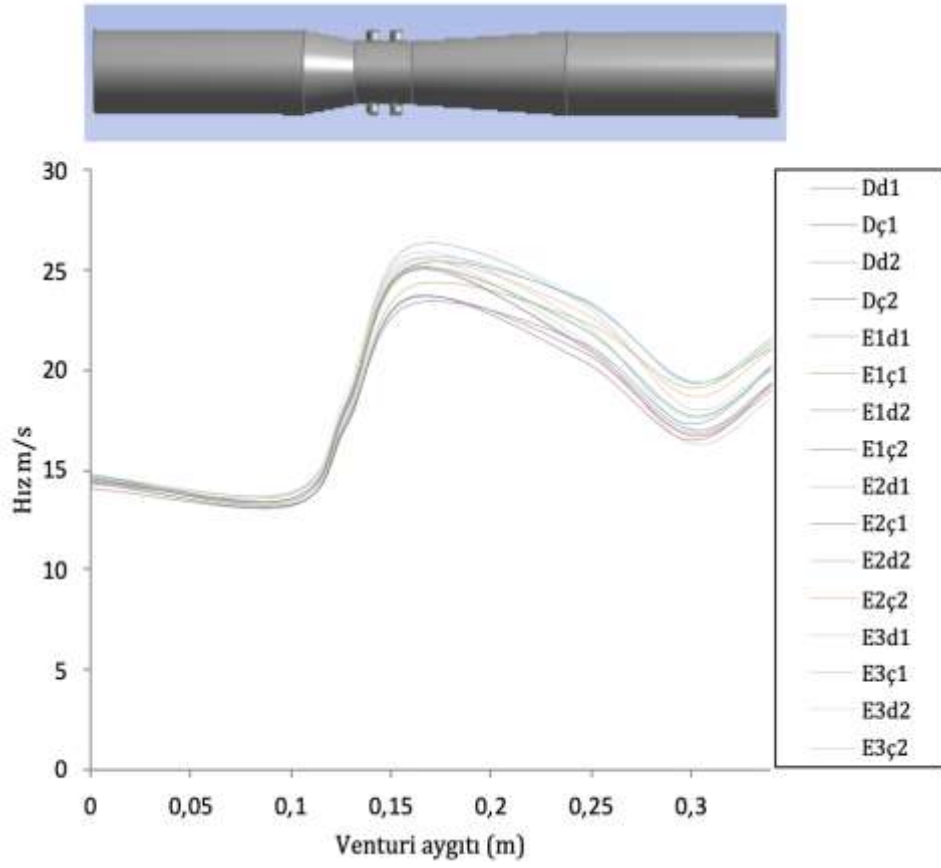
Şekil 9'daki hızların boğaz kısmındaki daralmadan dolayı, artış gösterdiği hız vektörünün renk dağılımından anlaşılabilir. Bu olay; statik basıncın azalmasından kaynaklanan enerji değişimini dengeleyebilmek için akım hızının artması ile izah edilebilir. Şekil 9 (b)'de boğaz kısmında oluşan negatif statik basınç etkisiyle venturi içine emilen hava hız vektörlerinin su hız vektörlerine karıştığı görülmektedir. Şekil 9 (c)'de ise boğaz kısmında iki delik bulunan modelin ilk deliğinin çok etkin çalışmadığı özellikle ikinci deliğinden hava girişinin olduğu anlaşılmaktadır. İlk deliğin çok etkin çalışmamasının sebebinin ise, basıncın minimum seviyeye ikinci delikte düşmesi olduğu düşünülmektedir.

Şekil 10, 11 ve 12'de sayısal analizleri yapılan venturiler boyunca akım içinde oluşan hız değişimleri kıyaslanmıştır. Bütün venturilerin girişinden daralmanın başlangıcına kadar az miktar azalma, daralmaya başlamasıyla birlikte hız değerlerinde artış görülmüştür. Boğaz kısmında maksimum hız değerine ulaşıldığı, hızın dengelendiği ve genişleme bölgesinde tekrar hız değerlerinin azaldığı anlaşılmıştır.

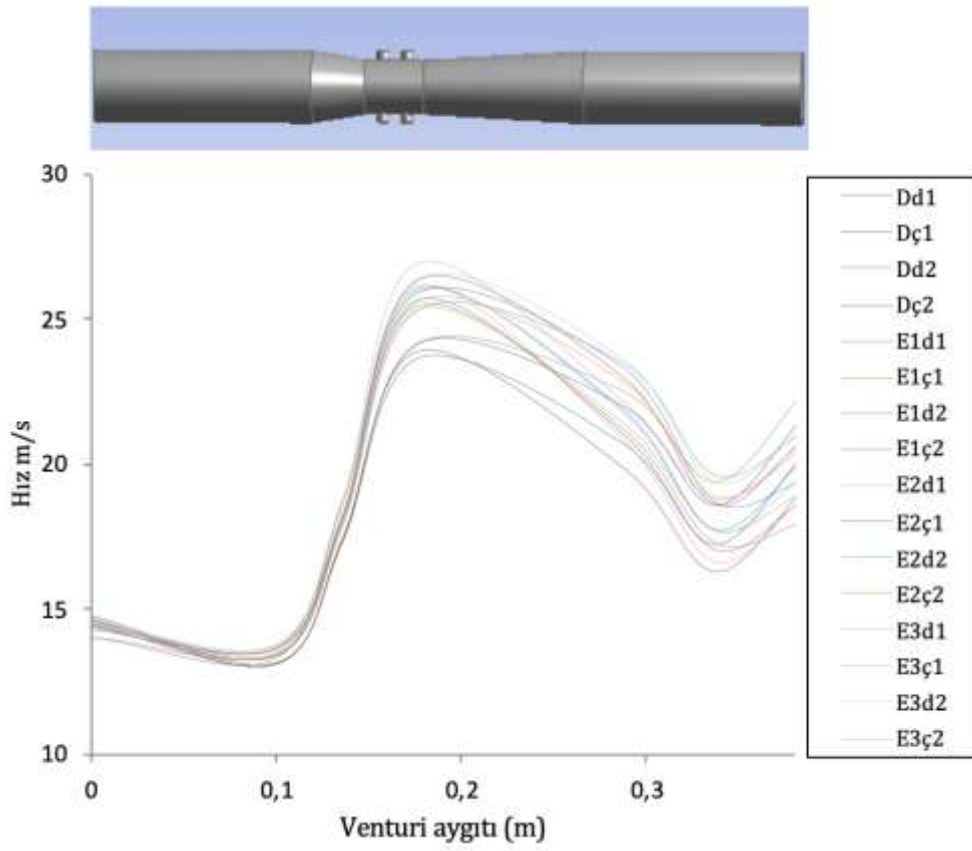


Şekil 10 Model I venturinin hız değişimi

Şekil 10'da boğaz bölgesinde maksimum hızın E3ç2 modeli için elde edildiği ve en az hızın da Dd1 ve Dç1 modelleri için olduğu görülmüştür. Genişleme bölgesinin sonunda ise en düşük hız değerleri E3d1 modelinde meydana gelmiştir. Şekil 11'de boğaz bölgesinde maksimum hız E3ç2 ve en düşük hız ise Dç2 modeli için elde edilmiştir. Genişleme bölgesinin sonunda ise en az hız Dç1 modelinde görülmüştür. Şekil 12'de boğaz bölgesinde maksimum hıza E3ç2 modeli ile ulaşıldığı ve en düşük hızın da Dd1 modelinde meydana geldiği belirlenmiştir. Genişleme bölgesinin sonunda ise en az hız değerleri Dç1 modelinde görülmüştür. Ventüri geometrik yapılarına uygun olarak hız değerlerinin değiştiği tespit edilmiştir.

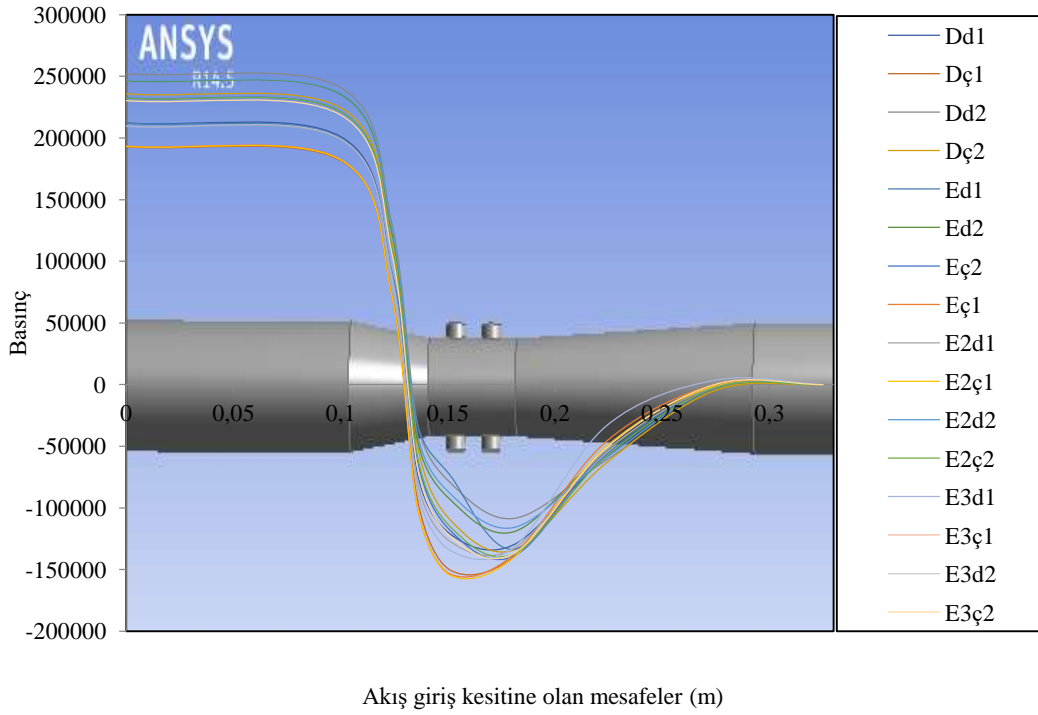


Şekil 11. Model II venturinin hız değişimi



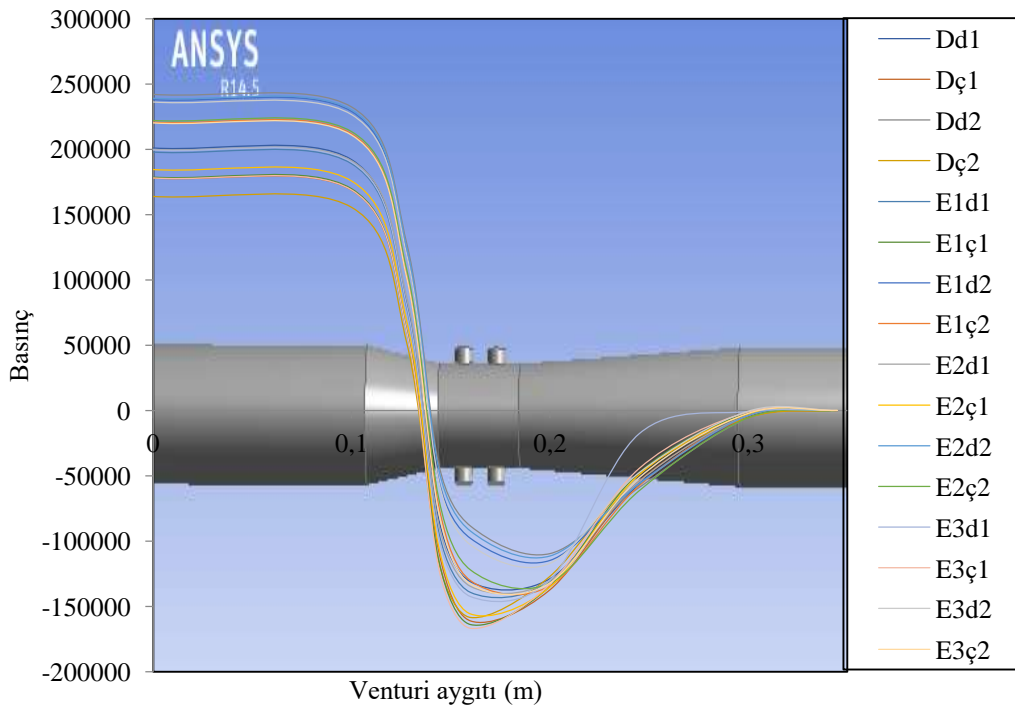
Şekil 12. Model III venturinin hız değişimi

Şekil 13, 14 ve 15’de venturi boyunca oluşan statik basınç değişimleri kıyaslanmıştır. Şekil 13’de başlangıç hızlarının aynı olmasına rağmen başlangıç statik basınçlarının farklı olduğu görülmüştür.

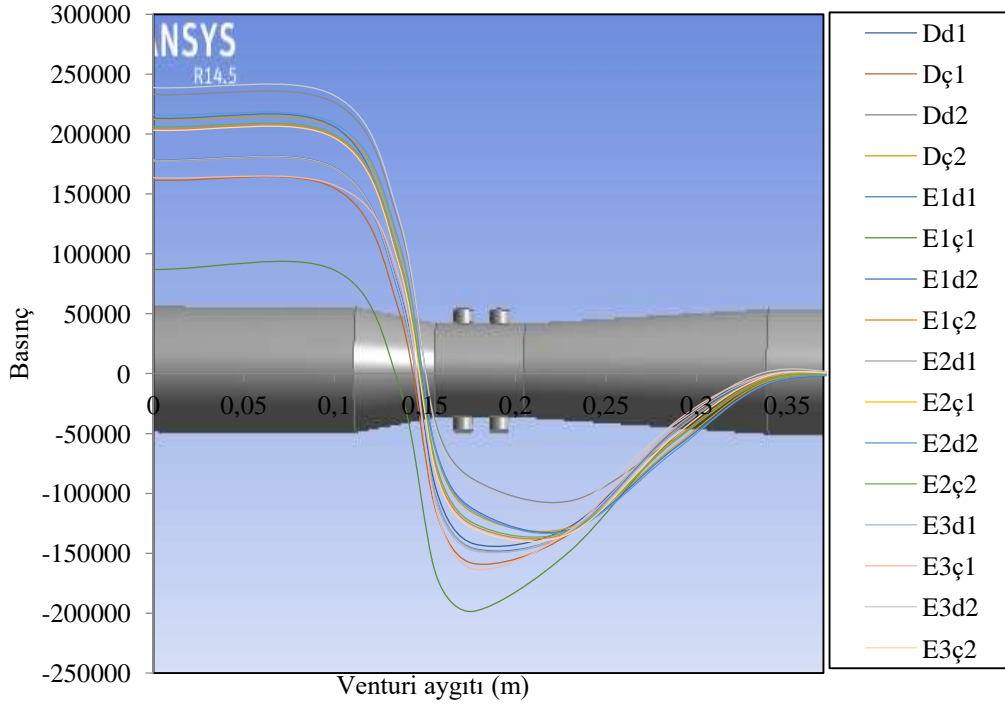


Şekil 13. Model I venturi aygıtının basınç dağılımı

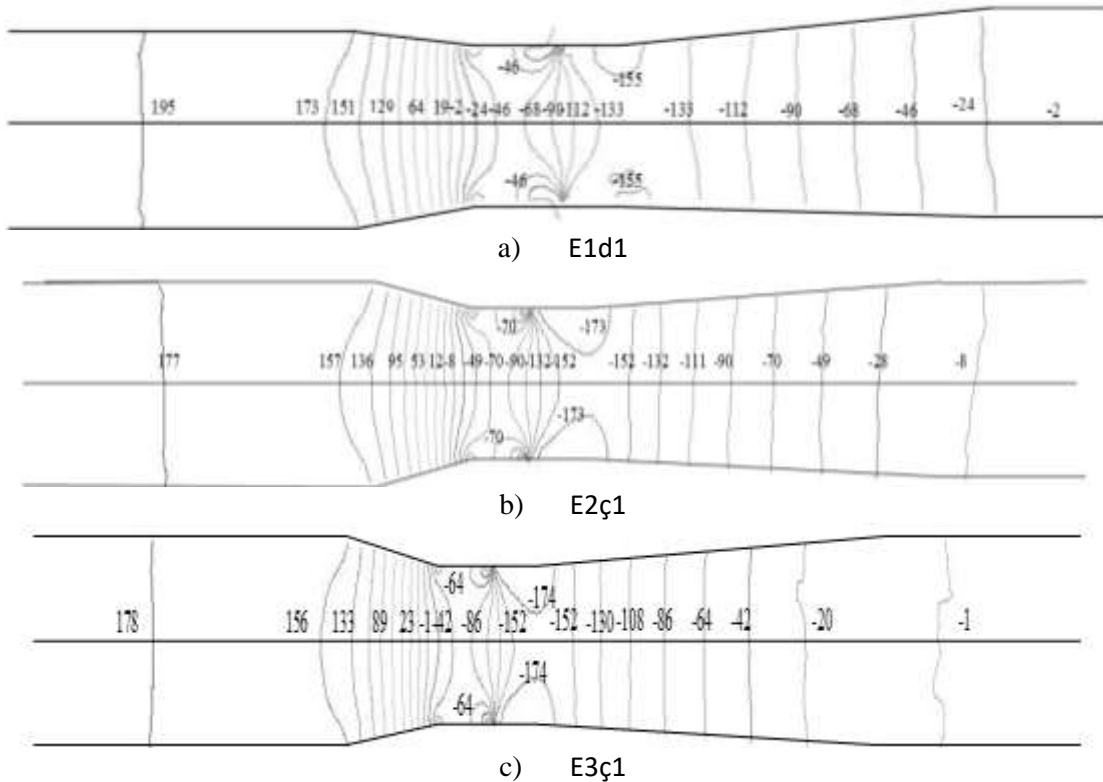
Başlangıç hızı en yüksek olan D_{d2} olduğu ve boğaz kısmında en düşük basıncın ise $E1_{ç1}$ ve $E2_{ç1}$ olduğu, boğaz kısmında en yüksek statik basınç ise D_{d2} için olduğu belirlenmiştir. Venturinin çıkış basınçları ise atmosfer ortamına çıktığı için sıfıra çok yakın olduğu görülmüştür. Şekil 14’te başlangıç hızlarının aynı olmasına rağmen başlangıç statik basınçlarının farklı olduğu görülmüştür.



Şekil 14 Model II venturi aygıtının basınç dağılımı



Şekil 15. Model III venturi aygıtının basınç dağılımı

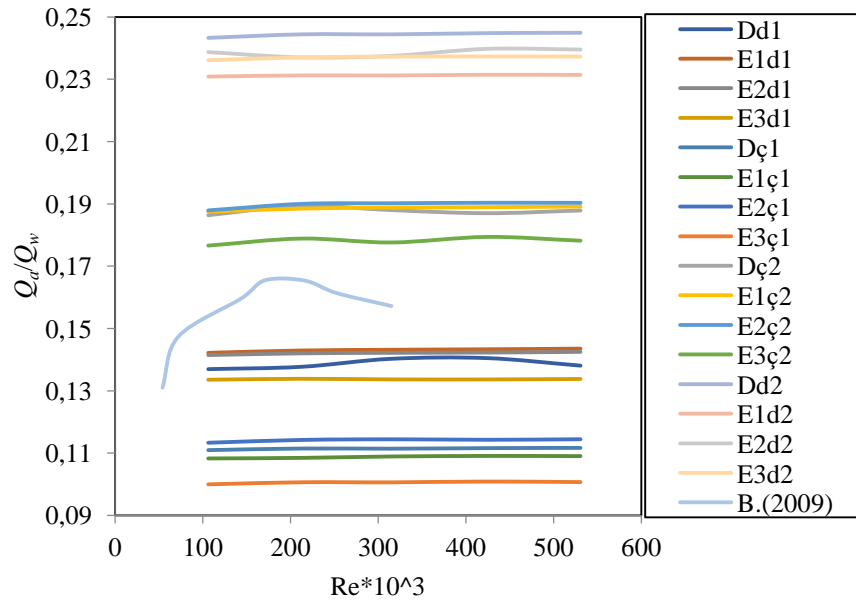


Şekil 16. Venturi boyunca oluşan eş statik basınç eğrileri

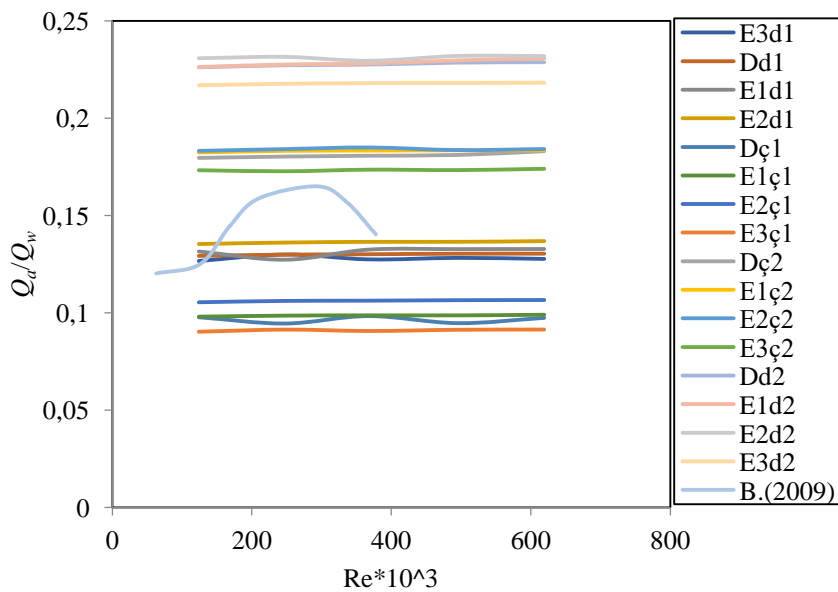
Başlangıç hızı en yüksek olan D_{d2} , E_{2d2} ve E_{3d2} venturiler olduğu ve boğaz kısmında en düşük statik basıncın ise $E_{3ç1}$ olduğu ve diğer venturiye göre boğaz kısmında en yüksek ise D_{d2} ve E_{2d2} 'nin olduğu belirlenmiştir. Şekil 15'de aynı başlangıç hızları için statik basınçlarının farklı olduğu görülmüştür. Başlangıç hızını en yüksek E_{3d2} ve en az $E_{1ç1}$ modeli için elde edilmiştir. Boğaz kısmında en düşük statik basınç $E_{1ç1}$ için elde edilmiştir. Boğaz kısmında en yüksek statik basınç D_{d2} ve E_{3d2}

modelleri için oluşmuştur. Model I venturinin boğaz kısmındaki en düşük hıza sahip D_{d2} ölçülü venturinin basınç değerinin de diğer venturilere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Şekil 16'da venturilerde oluşan basınç dağılımlarının venturi boyunca olan değişimi gösterilmiştir. Venturide negatif statik basınçların boğazdan sonra ve venturi çıkışlarının yakınına kadar devam ettiği görülmüştür. Şekil 16'da üç farklı venturiye ait eş statik basınç eğrileri gösterilmiştir. Tüm venturilerde statik basınç azalması boğaz kısmına kadar düzenli, boğaz kısmında da devam ettiği ve boğaz kısmından sonra basıncın yükseldiği görülmüştür. Venturilerin kesit ölçüleri artıkça statik basınç düşüşün arttığı ve bu basınç değişiminin hava transferini arttırdığı belirlenmiştir.



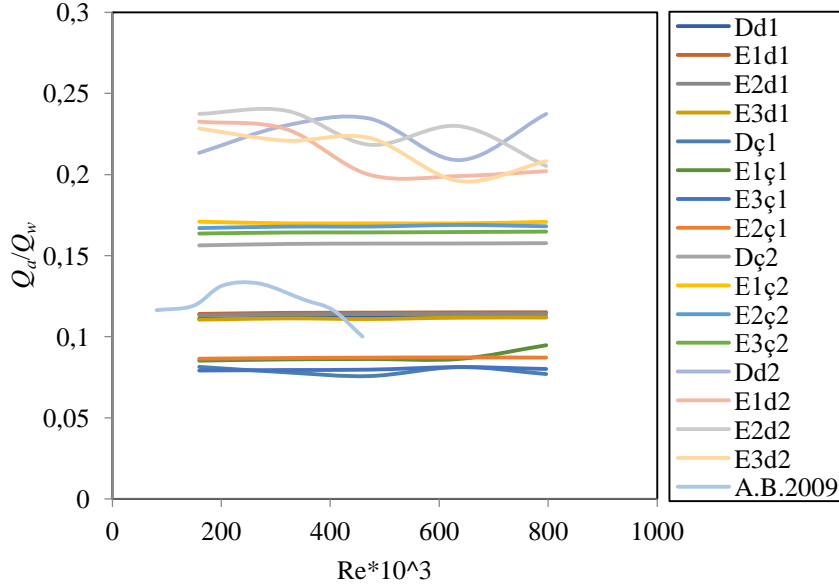
Şekil 17. Model I venturilerin Reynolds sayısı ile Q_a/Q_w değişimi



Şekil 18. Model II venturilerin Reynolds sayısı ile Q_a/Q_w değişimi

Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19'de Model I, II ve III venturilerin hava alma debisi (Q_a) ile su giriş debisinin (Q_w) oranlarının Reynolds sayısına bağlı değişim grafikleri çizilmiştir. Şekil 17 incelendiğinde mevcut çalışma sonuçlarının [25]'e göre bazı venturi tipleri için düşük, bazıları için

ise yüksek olduğu görülmektedir. Venturi aygıtlarında çift delikli havalandırıcıların ve bunların arasında da dairesel kesitli havalandırıcıların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Şekil 18 ve 19'a göre de mevcut çalışma sonuçları [25]'e göre Şekil 17'de elde edilen sonuçlara benzer özelliklere sahiptir.



Şekil 19. Model III venturilerin Reynolds sayısı ile Q_d/Q_w değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan 240 adet sayısal analizden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kesit alanı $1017,88 \text{ mm}^2$ alan için tasarlanan venturinin içerisinde en iyi havalandırma verimliliği etkileyen D_{d2} (dairese kesitli ve 4 adet 6 mm çapında dairese delikli venturi) olduğu, buna en çok yakın olan diğer sonucun E_{2d2} olduğu ve en düşük hava verimliliğini etkileyen venturi ise $E_{3ç}$ ($r_2=2x r_1$ olan elips kesitli ve 2 adet $2x14$ mm dikdörtgen havalandırma delikli venturi) olduğu tespit edilmiştir.

Tasarlanan venturi kesit alanları artarken havalandırma verimlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Dört hava bacası olan venturiler, iki hava bacası olan venturilerden daha iyi havalandırma verimliliğine ulaşmıştır.

Basınçlar baz alındığında en düşük basınç değerlerine dikdörtgen delikli hava bacasına sahip venturilerin sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kesit alanlarının eşit olduğu farklı boyutlardaki venturi modellerde giriş hızı aynı verildiği sürece boğaz kısmında oluşan ortalama hızların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada elips şeklindeki venturilerin hava çekme özellikleri incelenmiş ve dairese venturilerden çok farklı olmadığı ancak çekilen havanın su içinde daha kısa mesafe içerisinde dağıldığı gözlenmiştir. Bu durumda elips geometrilili venturi boyutlarının küçültülebileceği yorumu yapılabilir.

Teşekkür

Bu çalışmayı FYL-2018-1214 kod numaralı proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederim.

Bilgilendirme

Bu çalışma Cici [26]'nin Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

Yazarların Katkıları

IC ve OFD makaledeki analiz ve deney çalışmalarını yürüttü. IC makale yazımını yaptı. Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Baylar, A., Savak Havalandırıcılarda Tip Seçimin Oksijen Transferinde Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2002.
- [2]. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation, Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 1912. Vol. 2. American Public Health Association.
- [3]. Falvey Ht., Cavitation İn Chutes And Spillways. A Wate Resources Technical Publication Engineering Monograph, 1990, 42 : 63, Colorado.
- [4]. Chanson H., Flow Downstream Of Aerator –Aerator Spacing, Journal Of Hydraulic Research, 1989, 27 (4): 519-536.
- [5]. Kumcu Şy, Uçar M., Dairesel Kesitli Düşülü Bacalarda Hava-Su Karışımının Deneysel Çalışma Ve Cfd Modelleme İle Analizi, Devlet Su İşleri Teknik Bülteni, 2017, 124: 34-43.
- [6]. Aydın, M. C., Altan Alışlı Dolusavak Havalandırıcıların Cfd Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Türkiye, 2005,
- [7]. Chaudhry M. H. Ve Yevjevich V., “Closed-Conduit Flow” Water Resources Publication, Michigan, USA, 1981.
- [8]. Gürsoy G. Lüle, Orifis Ve Venturi Metrede Basınç Kaybının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1999.
- [9]. Özkan, F., Basınçlı Su Borularında Hava İletimi Ve Oksijen Transferinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2005.
- [10]. Kaya, T., Farklı Tip Venturi Savaklarda Hava Giriş Oranlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Elazığ, 2010.
- [11]. Kırmacı, H. K., Venturi İle Ozon Enjeksiyonu İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2013.
- [12]. American Society Of Mechanical Engineers, Measurement Of Fluid Flow İn Pipes Using Orifice, Nozzle And Venturi, ASME Standard MFC-3M-1989, Reaffirmed, 1995.
- [13]. Behr, M, Stabilized Space-Time Finite Element Formulations For Free-Surface Flows, Communications İn Numerical Methods İn Engineering, 2001. 17, 813-819.
- [14]. Nguyen, V.T., Nestmann, F., Applications of Cfd in Hydraulics And River Engineering, International Journal of Computational Fluid Dynamics, 2004. 18: 2, 165-174

- [15]. Balbay, A., Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Yollardaki Kar Ve Buzu Eritmek İçin Kullanılmasının Deneysel Ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2007.
- [16]. Dursun, Ö. F., Basamaklı Dolusavakların Akımın Enerjisini Sönümleme Özelliğinin Sayısal Analizi. E-Journal Of New World Sciences Academy, 2009. 4:2.
- [17]. Athulya A., S. Miji, Cherian R., Cfd Modelling Of Multiphase Flow Through T Junction, Procedia Technology, 2016, 24, 325-331.
- [18]. Andrew A., Jie Cui, Comparison Of Turbulence Models İn Simulating Swirling Pipe Flows, Applied Mathematical Modelling, 2010.
- [19]. Lukasz A., Ve Januszz W., Validation Of Cfd Model For Simulation Of Multi-Pipe Earth-To-Air Heat Exchangers (Eahes) Flow Performance, Thermal Science And Engineering Progress, 2018.
- [20]. N. C. Markatos, The Mathematical Modelling Of Turbulent Flows, Thames Polytechnic, Wellingt~.N Street, London SE18 6PF, UK, 1985.
- [21]. Muhammed A., Numerical Analysis Of Friction Factor For A Fully Developed Turbulent Flow Using Kε Turbulence Model With Enhanced Wall Treatment, Beni - Suefuniversity Journal Of Basic And Applied Sciences 2014, 269-277.
- [22]. Richardson, L.F. And Gaunt, J. A., The Deferred Approach To The Limit, Transactions Of The Royal Society Of London, 226 (Series A), 1927. 299-361.
- [23]. Huang, J., Lai, Y. G. And Patel, V. C., Verification And Validation Of A 3-D Numerical Model For Open-Channel Flows, Numerical Heat Transfer: Part B:Fundamentals, 2001, 40 (5), 431-449.
- [24]. Roache, P. J., Perspective-A Method For Uniform Reporting Of Grid Refinement Studies, Journal Of Fluids Engineering-Transactions Of The ASME, 1994, 116 (3) 405-413.
- [25]. Baylar A., Aydın M. C., Unsal M. Ve Özkan F., Numerical Modeling Of Venturi Flows For Determining Air Injection Rates Using Fluent V6.2. Mathematical And Computational Applications, 2009, 14: 2, 97-108.
- [26]. Cici İ., Sayısal Yöntemler Kullanılarak Suların Havalandırılmasında Yeni Venturi Aygıt Tasarımlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2019.