



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**BARAJ DEŞARJ VANALARI AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNİN FARKLI
ÇALIŞMA KOŞULLARINDA SAYISAL
OLARAK İNCELENMESİ**

Ahmet YILDIRIM
YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet YILDIRIM tarafından hazırlanan “Baraj Deşarj Vanaları Akış Karakteristiklerinin Farklı Çalışma Koşullarında Sayısal Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 17/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Faruk KÖSE
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Doç. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Osman BABAYİĞİT
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ahmet YILDIRIM

Tarih: 17.01.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

BARAJ DEŞARJ VANALARI AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN FARKLI ÇALIŞMA KOŞULLARINDA SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Ahmet YILDIRIM

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY

2025, 59 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY
Prof. Dr. Faruk KÖSE
Dr. Öğr. Üyesi Osman BABAYİĞİT

Vanalar, su ve gaz gibi akışkanların kapalı bir kesit içerisinde geçişini kontrol etmek veya düzenlemek amacıyla kullanılan mekanik bileşenlerdir. Farklı tasarım özelliklerine sahip olan vanalar, akış karakteristikleri açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada, baraj işletmelerinde yaygın olarak kullanılan kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vananın farklı çalışma koşullarındaki akış karakteristikleri incelenmiş ve karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmıştır. Barajların özellikle dipsavak olarak isimlendirilen yapılarında tahliye ve regülasyon amaçlı kullanılan vana sistemlerinin akış özelliklerinin bilinmesi, barajların projelendirilmesi ve işletme süreçleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, aynı boyutlara sahip karesel sürgülü vana, konik vana ve kelebek vananın %25, %50, %75 ve %100 açıklık oranlarında, 2, 4, 6, 8 ve 10 bar giriş basınçları altında akış karakteristikleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımlarından Ansys Fluent kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, hacimsel debi, basınç kayıpları, basınç dağılımı, hız dağılımı ve akım çizgileri değerlendirilerek karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiştir.

Vanaların akış katsayısı (K_v) değerleri incelendiğinde, en yüksek K_v değerlerinin %100, %75 ve %50 açıklık oranlarında sırasıyla 99.679 m³/h, 50.406 m³/h ve 26.915 m³/h ile karesel sürgülü vanada elde edildiği görülmüştür. Kelebek vana, %100 ve %75 açıklık oranlarında sırasıyla 53.953 m³/h ve 25.147 m³/h K_v değerleriyle konik vanadan daha yüksek bir akış katsayısına sahiptir. Ancak, açıklık oranı %50 ve %25 olduğunda konik vana, kelebek vanaya kıyasla daha yüksek bir K_v değerine sahiptir. %25 açıklık oranında, konik vananın 9.266 m³/h K_v değeri, karesel sürgülü vananın 8.992 m³/h K_v değerinin üzerinde olup küçük bir farkla daha yüksek bulunmuştur.

Bu karşılaştırmalı analiz, baraj uygulamalarında belirli çalışma koşulları için en uygun vana tipinin seçilmesinin önemini vurgulamakta ve baraj sistemlerinin tasarımı ile operasyonel verimliliği açısından kritik bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akış Karakteristikleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Karesel Sürgülü Vana, Kelebek Vana, Konik Vana, Vana.

ABSTRACT

MS THESIS

NUMERICAL ANALYSIS OF THE FLOW CHARACTERISTICS OF DAM DISCHARGE VALVES UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS

Ahmet YILDIRIM

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY

2025, 59 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Muharrem Hilmi AKSOY

Prof. Dr. Faruk KÖSE

Assist. Prof. Dr. Osman BABAYİĞİT

Valves are mechanical components that control or regulate the flow of fluids, such as water and gas, through a confined section. Valves with different design characteristics exhibit significant variations in flow behavior. In this study, the flow characteristics of butterfly valves, square slide gate valves and cone valves, widely utilized in dam operations, were analyzed under various operating conditions and a comparative evaluation was conducted. Understanding the flow characteristics of valve systems used for discharge and regulation purposes, especially in structures called bottom outlets of dams, is great importance in terms of dam design and operation processes.

In this study, the flow characteristics of square slide gate valves, cone valves, and butterfly valves of the exact dimensions were analyzed using the Computational Fluid Dynamics (CFD) software Ansys Fluent at opening ratios of 25%, 50%, 75% and 100% under inlet pressure conditions of 2, 4, 6, 8, and 10 bar. The analyses evaluated volumetric flow rate, pressure losses, pressure distribution, velocity distribution, and streamlines, providing a comparative assessment of the obtained results.

An examination of the flow coefficient (K_v) values of the valves revealed that the highest K_v values were obtained for the square slide gate valve at opening ratios of 100%, 75%, and 50%, with values of 99.679 m³/h, 50.406 m³/h, and 26.915 m³/h, respectively. The butterfly valve exhibited higher K_v values than the cone valve at 100% and 75% opening ratios, with 53.953 m³/h and 25.147 m³/h values, respectively. However, at 50% and 25% opening ratios, the cone valve demonstrated higher K_v values than the butterfly valve. At a 25% opening ratio, the K_v value of the cone valve was 9.266 m³/h, slightly exceeding the K_v value of 8.992 m³/h observed for the square slide gate valve.

This comparative analysis underscores the importance of selecting the appropriate valve type for specific operating conditions in dam applications, providing critical insights for dam systems' design and operational efficiency.

Keywords: Butterfly Valve, Computational Fluid Dynamics (CFD), Cone Valve, Flow Characteristics, Square Slide Gate Valve, Valve.

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında beni yönlendiren ve her zaman destekleyen Danışmanım Doç. Dr. Muharrem Hilmi Aksoy Hocam'a teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde çok büyük emekleri olan anneme, babama, kardeşlerime, çalışmalarında manevi desteğini ve hoşgörüsünü esirgemeyen eşim Nilgün Yıldırım'a teşekkür ederim. Canım oğlum Furkan ve kızım Elisa'ya ithaf olunur...

Ahmet YILDIRIM
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Katı Modellerin Oluşturulması	19
3.2. Akış Hacimlerinin Oluşturulması	20
3.3. Sayısal Çözüm Ağının Oluşturulması.....	21
3.4. Akış Probleminin Tanımlanması	22
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	24
4.1. Vana Akış Karakteristik Değerleri Grafikleri.....	24
4.2. Basınç Dağılımının İncelenmesi	28
4.2.1. Kelebek vana basınç dağılımının incelenmesi	28
4.2.2. Karesel sürgülü vana basınç dağılımının incelenmesi	31
4.2.3. Konik vana basınç dağılımının incelenmesi	33
4.3. Hız Dağılımının İncelenmesi	35
4.3.1. Kelebek vana hız dağılımının incelenmesi	35
4.3.2. Karesel sürgülü vana hız dağılımının incelenmesi	38
4.3.3. Konik vana hız dağılımının incelenmesi	40
4.4. Akım Çizgilerinin İncelenmesi	42
4.4.1. Kelebek vana akım çizgilerinin incelenmesi	42
4.4.2. Karesel sürgülü vana akım çizgilerinin incelenmesi	45
4.4.3. Konik vana akım çizgilerinin incelenmesi.....	48
4.5. Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımının İncelenmesi	50
4.5.1. Kelebek vana türbülans kinetik enerjisi dağılımının incelenmesi	50
4.5.2. Karesel sürgülü vana türbülans kinetik enerjisi dağılımının incelenmesi	52
4.5.3. Konik vana türbülans kinetik enerjisi dağılımının incelenmesi.....	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
5.1 Sonuçlar	56
5.2 Öneriler	57
KAYNAKLAR	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°	: Derece
ΔP	: Basınç farkı (bar)
K	: Yersel yük kayıp katsayısı
K_v	: Akış katsayısı (m^3/h)
C_p	: Basınç kayıp katsayısı
C_D	: Sürüklenme katsayısı
DN	: Nominal çap (mm)
$\emptyset$	: Fi (mm)

Kısaltmalar

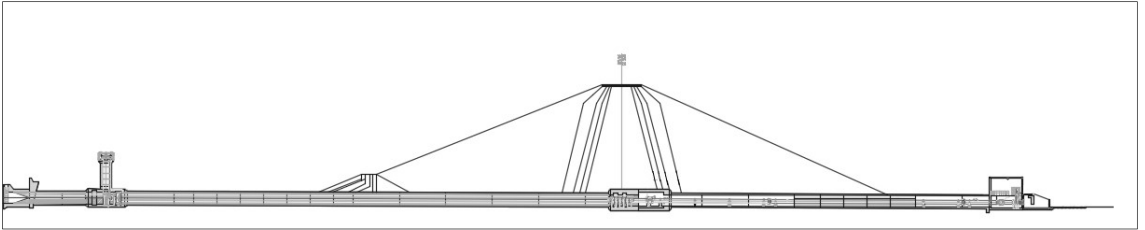
HAD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CFD	: Computational fluid dynamics
CAE	: Computer aided engineering
RSM	: Reynolds gerilim modeli
SST	: Shear stress transport

1. GİRİŞ

Vanalar sıvı, gaz gibi akışkanlarının geçişini kontrol etmek, sınırlamak, enerjisini düşürmek, debisini düzenlemek, yönünü değiştirmek, karıştırmak ve belirli sistemlerin güvenliğini sağlamak gibi birçok amaçla kullanılabilen mekanik bileşenlerdir.

Vanalar, kullanım amacı ve uygulama alanına bağlı olarak farklı türlere ayrılmaktadır. Genel olarak vana çeşitleri; kelebek vanalar, sürgülü vanalar, konik vanalar, küresel vanalar, kontrol vanaları, hava vanaları (vantuz) ve su alma vanaları (hidrant) şeklinde sınıflandırılabilir.

Barajlar içme suyu temini, taşkın kontrolü, sulama ve enerji üretimi gibi çeşitli amaçlarla inşa edilen büyük ölçekli mühendislik yapılarıdır. Barajlar; dolusavak, derivasyon, dipsavak ve gövde gibi ana yapılardan oluşmaktadır. Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan vanalar, özellikle dipsavak yapılarında kullanılmaktadır. Dipsavak, baraj rezervuarında depolanan suyun kontrollü bir şekilde mansaba iletilmesini sağlayan hidrolik yapılar olup, içme suyu temini, sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi işlevlere sahiptir. Şekil 1.1’ de bir barajın dipsavak yapısı boy kesitine ilişkin görsel sunulmuştur.



Şekil 1. 1. Bir barajın dipsavak kesiti

Baraj yapılarında farklı tipte vanalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, barajların dipsavak olarak adlandırılan yapılarında tahliye ve regülasyon amacıyla kullanılan kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vana için farklı çalışma koşullarındaki akış karakteristikleri belirlenmiş ve karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Akış karakteristiklerinin belirlenmesinde nümerik ve deneysel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneysel yöntemler daha yüksek doğruluk sağlamakla birlikte, yüksek maliyet ve uzun süreli test gereksinimleri nedeniyle son yıllarda daha az tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanan Ansys Fluent yazılımı ile vanaların akış karakteristikleri sayısal olarak analiz edilmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, bilgisayar destekli analizlerin deneysel çalışmalarla buyk ölçüde uyumlu sonuçlar verdiğini ve maliyet ile zaman açısından sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edildiğini göstermektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Açma-kapama, regülasyon gibi amaçlarla birçok alanda kullanılan vanaların gerek tasarımlarından gerekse boyutlarından dolayı akış karakteristikleri değişmektedir. Vanaların akış karakteristiklerinin bilinmesi ilgili yapıların tasarımında önemlidir. Vanaların akış karakteristiklerinin belirlenmesiyle ilgili yapılan birtakım çalışmalar aşağıda belirtilmiştir:

Song ve diğ. (2007), Ansys CFX yazılımı kullanarak kelebek vanaların farklı açıklık derecelerinde akış çizgilerini incelemiş, vana akış katsayısını (K_v) ve kelebek vana klape milinde meydana gelen hidrodinamik tork katsayısını ölçerek, HAD analizlerinin deneysel yöntemlerin yerine kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Çalışmada k- ϵ , k- ω ve Reynolds Gerilim (RSM) türbülans modelleri kullanılmış ve bu modellerin doğruluk seviyeleri karşılaştırılmıştır. Bulgular, k- ω modelinin sınır tabaka akışlarında daha doğru sonuçlar verdiğini, k- ϵ modelinin türbülans koşullarını gereğinden fazla değerlendirdiğini, RSM modelinin ise uzun aralıklı etkilerde aşırı tahminler yaptığını göstermiştir. Analizlerde, akışkan olarak su kullanılmış ve giriş hızı 3 m/s, çıkış basıncı ise 0 bar olarak belirlenmiştir. Sayısal analiz sonuçlarının literatürdeki deneysel verilerle genel olarak uyumlu olduğu, ancak kelebek vananın 20° ve altındaki açıklıklarında k- ϵ modelinin yeterince güvenilir sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Vananın kapanmaya yakın bölgelerinde ise analizlerin hassasiyetinin arttığı, türbülansın bu noktalarda yoğunlaşması nedeniyle daha yoğun bir mesh yapısının oluşturulması gerektiği ifade edilmiştir.

Benzer bir çalışmada, Duymaz (2008), DN 40 çapında bir kelebek vananın yersel yük kayıp katsayısını (K), deneysel olarak ve HAD yöntemini kullanan Ansys Fluent yazılımı ile sayısal hesaplamış ve sonuçların doğruluğunu karşılaştırmıştır. Analiz sonucunda, vananın tam açık pozisyonunda K değerinin 0,466 olarak hesaplandığı, deneysel yöntemle ise 0,532 olarak elde edildiği gösterilmiştir. Ancak vananın kısılmasıyla birlikte analiz ile deneysel yöntemler arasındaki farkların arttığı, özellikle 20° vana açıklığında K değerinin, analiz için 228,373 ve deneysel yöntem için 300,967 olarak elde edildiği ifade edilmiştir. Bu farkın, düşük açıklık oranlarında türbülansın artması ve HAD analizlerinde sınır tabaka çözünürlüğünün yetersiz kalmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Koyunbaba (2008), tez çalışmasında endüstride yaygın olarak kullanılan küresel ve kelebek vanaların akış karakteristikleri ANSYS CFX programı ile analiz edilmiş ve

üretici firmaların katalog verileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada analiz programı olarak ANSYS CFX kullanılmasının sebebi olarak çoğu bilgisayar destekli mühendislik (CAE) araçlarının Ansys Workbench platformunu bünyesinde bulundurması ve diğer genel simülasyon programlarına göre veri ve bilgi avantajlarına sahip olması olarak ifade edilmiştir. Türbülans modeli olarak k- ϵ modeli kullanılmış ve vana girişinde statik basınç 2 bar, çıkış basıncı 1 bar olarak tanımlanmıştır. Analiz sonucu elde edilen verilere göre kelebek vananın ve küresel vananın tam açık pozisyonlarındaki kütleli debileri sırasıyla 145 kg/s ve 225 kg/s olduğu ve bu verilerin üretici katalog verileriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir.

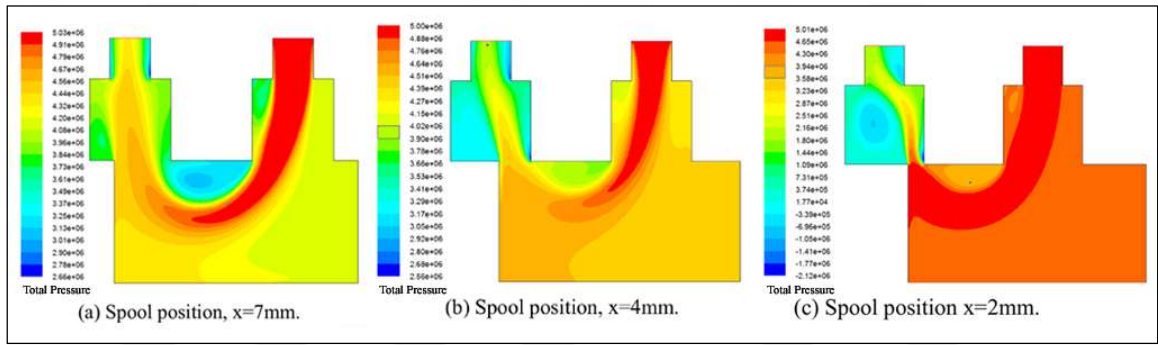
Prinçiler (2008), basınçlı sulama sistemlerinde kullanılan hidrolik su alma vanalarının basınç kayıplarını deneysel ve HAD yöntemleriyle incelemiş ve sayısal analizlerin deneysel yöntemlerin yerine geçebilirliğini değerlendirmiştir. Çalışmada k- ϵ türbülans modeli kullanılmış, sınır koşulları olarak vana girişinde kütleli debi girişi, vana çıkışında sabit basınç çıkışı tanımlanmıştır. Mesh kalitesinin artırılması ve döküm vana yüzeylerinde maça kum büyüklüğünün 0,065 mm'ye düşürülmesiyle deneysel sonuçlara daha yakın değerler elde edildiği tespit edilmiştir.

Benzer bir çalışma Yüksel (2008), tarafından gerçekleştirilmiş olup, DN 50 çapındaki bir sürgülü vananın farklı açıklık oranlarında K değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizlerde K değeri vananın tam açık olduğu durumda 0,429 olarak bulunmuş olup bu değer deneysel sonuçlarda 0,377 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca literatürde de bu tür vanaların K değerinin 0,35-0,45 değerleri arasında verildiği belirtilerek sayısal analiz ile elde edilen sonuçların kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir.

Çelik ve diğ. (2011), çalışmalarında HAD tekniklerini kullanarak sulama sistemlerinde kullanılan 16 mm çapındaki bir vananın akış parametreleri incelenmiştir. Basınç kaybı, düşü kaybı, akış katsayısı, direnç katsayısı ve kavitasyon indeksi gibi parametreler farklı vana açıklarında farklı akış oranları ile simülasyon sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmada vanadaki 3 boyutlu akış davranışını simüle etmek amacıyla SolidWorks akış simülasyon modülü kullanılmıştır. SolidWorks akış simülasyonu türbülans modeli olarak k- ϵ türbülans modelini kullandığı belirtilmiş olup analiz; 2, 3 ve 4 l/dk akış hacimlerinde ve 0°, 15°, 30° ve 45° vana açıklıklarıyla yapılmıştır. Akışkan olarak su kullanılmış cidarlardaki yüzey pürüzlülüğü 0,01 mm olarak ayarlanmıştır. Analizlerde maksimum toplam basınç 112.557 Pa ve maksimum hız 4,37 m/s elde edilmiştir. Bu verilerle 4 l/dk girişi hızı ve 45° açıklık oranında basınç kaybı

8.214,47 Pa, düşü kaybı 0,84 m, akış katsayısı 1×10^{-5} , direnç katsayısı 86,74 ve kaviteyasyon indeksi 791,06 olduğu belirlenmiştir.

Osman Abdalla ve diğ. (2011), hidrolik oransal yön kontrol valflerinin akış karakteristiklerini inceleyerek valf geometrisi, makara (spool) pozisyonu ve basınç kayıpları arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Çalışmada realizable k- ϵ türbülans modeli kullanılmış ve sabit kütleli debi giriş koşulu ile çıkışta sabit basınç tanımlanmıştır. Analizler sonucunda basınç düşüşlerinin, debi artışıyla hızla arttığı ve çıkış geometrisinde yapılan modifikasyonların basınç düşümünü optimize ettiği tespit edilmiştir. Şekil 2.1’de çalışmada farklı makara pozisyonlarında elde edilen basınç dağılımlarına ilişkin görsel sunulmuştur.



Şekil 2. 1. Valf makara pozisyonları (a) 7 mm, (b) 4 mm ve (c) 2 mm durumlarında basınç dağılım grafikleri (Osman Abdalla ve diğ., 2011)

Ghaleb ve diğ. (2013), Ansys Fluent yazılımı kullanarak kelebek vanalardan geçen akışkanın akış karakteristiklerini incelemek amacıyla sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Çalışmada, kelebek vana diskinin farklı açıklıklarında (0° (tam açık), 20° , 30° , 55° ve 75°) ve farklı giriş hızlarında (0,5, 1, 1,5 ve 2 m/s) hız profili, basınç dağılımı, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans yoğunluğu gibi akış parametreleri incelenmiştir. k- ϵ türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, alt ve üst sınır tabaka koşulları için duvar sınır koşulu, çıkış bölgesi için ise atmosfer sınır koşulu tanımlanmıştır. Çalışma bulgularına göre, akışta meydana gelen girdap ve vortekslerin daima vananın mansap tarafında, vana diskinin arkasında olduğu gözlemlenmiştir. Türbülanslı akış açısından, vana açıklık açısının 55° ve üzerinde yoğun türbülans olduğu, bu nedenle bu açıklık derecelerinden kapanmaya kadar olan bölgelerde vananın sürekli olarak kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, düşük giriş hızlarında (0,5 m/s) mansap bölgesinde meydana gelen türbülansın kısa sürede kaybolduğu, ancak giriş

hızının üç katına çıkarılması durumunda türbülansın belirlenen boru uzunluğu boyunca devam ettiği tespit edilmiştir.

Tunç (2014), DN 200 çapındaki kelebek vanaların farklı klape açıklıklarında, aynı giriş ve çıkış koşullarında atmosfere açık ve kapalı sistemlerde kavitasyon oluşumunu incelemiştir. Çalışmada AutoCAD CFD yazılımı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiş ve deneysel yöntemlerin yerine geçebilirliği değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, atmosfere açık kelebek vanalarda 1, 2, 3 ve 4 bar basınç farkı altında kavitasyon oluşumunun %30 ile %80 açıklık oranlarında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, atmosfere kapalı sistemlerde ise kavitasyon oluşumunun %60 ile %80 açıklık oranlarında daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, kelebek vanaların belirli açıklık açılarında kavitasyon riskini artırabileceğini ve bu nedenle tasarım aşamasında bu durumun dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Elbakhshawangly ve diğ. (2015), 20 cm çapında bir kelebek vanada sıkıştırılamaz, viskoz ve türbülanslı akış koşulları altında akış karakteristiklerini incelemek amacıyla Ansys Fluent yazılımı kullanarak sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Çalışmada k-ε türbülans modeli kullanılmış ve sınır koşulları olarak 1, 2, 3 ve 4 m/s giriş hızları, 0 pascal çıkış basıncı ve vana diskinde ve boru çeperinde duvar sınır koşulu tanımlanmıştır. Analizler sonucunda, giriş hızının artırılmasıyla vana diskinin mansap tarafında türbülans bölgesi oluştuğu ve bu bölgenin büyüklüğünün mansap bölgesinde arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, vana gövdesinin memba tarafında maksimum basınç değerinin yükseldiği, buna karşın mansap tarafında negatif basınçların arttığı tespit edilmiştir. Daha düşük basınç kaybı ve türbülanssız akışın, büyük vana açıklıklarında veya düşük giriş hızlarında elde edildiği belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, K değerinin akış hızından bağımsız olduğu, büyük ölçüde vana açıklığına bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Vana açıklığının artırılmasıyla K değeri azalırken, K_v değerinin arttığı gösterilmiştir.

Adarsh ve diğ. (2016), Ansys Fluent yazılımı kullanarak çift plakalı kontrol vanası ve kelebek vananın farklı açıklık açıları (10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° ve 90°), farklı Reynolds Sayılarında (50.000, 1.000) ve farklı kavis yarıçapları (0, 0,5, 1, 1,5 mm) için akış karakteristiklerini incelemiştir. Elde edilen basınç kayıp katsayısı (C_P) ve sürüklenme kuvveti katsayısı (C_D) değerlendirilmiştir. Bu çalışmada türbülans modeli olarak k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Sınır koşulları olarak girişte 2 m/s hız, çıkışta ise basınç değeri olarak sıfır değeri ve kaymama durumu, sıfır hız duvar sınır değeri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre C_P ve C_D , Reynolds Sayısının ve vana açıklık derecesinin artışı ile azaldığı belirtilmiştir. Çift plakalı kontrol vanasında tasarımı

nedeniyle tam açıklık durumunda kelebek vanaya göre daha az C_p ve C_D değerleri elde edildiği belirtilmiştir. Her iki vana tipinde de kullanılan disklerin kenarlarında kavis yarıçapının artırılmasıyla C_p ve C_D değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

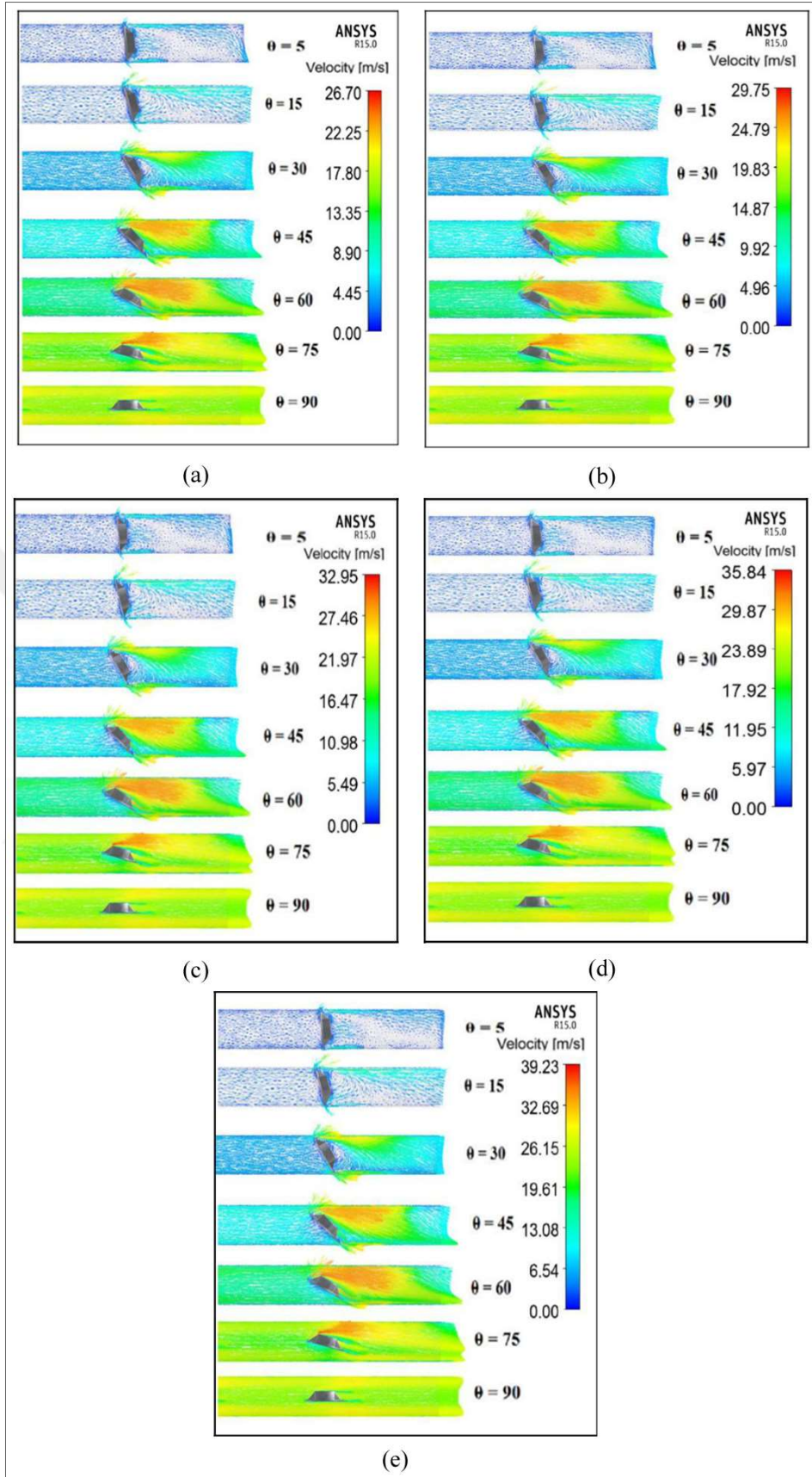
Aydın (2017), DN 200 çapında sürgülü ve kelebek vana modellerine ait akış karakteristiklerini incelemek amacıyla Ansys Fluent yazılımı kullanarak sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Çalışmada analizler, suyun vanaya belirli giriş hızlarında ve çalışma basıncı şartlarında, sürgülü vananın farklı açıklık oranlarında (%10, %20, %40, %50, %60, %80) ve kelebek vananın ise farklı klape açıklık derecelerinde (20°, 40°, 60°, 80° ve 90°) yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda bu vanalardaki akış hızları, statik basınçlar ve basınç kayıplarına bağlı K değerleri elde edilmiştir. Analizde türbülans modeli olarak k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Sürgülü vana ve kelebek vana için sınır şartları girişte; hız girişi 1 m/s ve 2 bar gösterge basıncı, çıkışta; basınç çıkışı 1 bar gösterge basıncı, vana çeperinde kaymama koşulu tanımlanmıştır. Sürgülü vana için giriş hızı olarak 1 m/s, çalışılan tüm açıklık oranlarında kullanılırken, 2 ve 3 m/s giriş koşulları %10, %20, %40, %60 ve %80 sürgülü vana açıklık oranlarında uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma ile farklı hızların K değeri üzerindeki ve kavitasyon oluşumundaki etkisi araştırılmıştır. Kelebek vana için giriş hızı olarak 1 m/s çalışılan tüm klape açıklıklarında uygulanırken, 2 ve 3 m/s giriş hız şartı ise %20, %60 ve %80 klape açıklıklarında incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, sürgülü vananın %10 açıklığında, 2 ve 3 m/s giriş hızlarında, vana klapesinin alt kısımlarına yakın bölgede basıncın suyun buharlaşma basıncının altına düştüğü ve kavitasyon oluştuğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, kelebek vananın %20 klape açıklığında ve 3 m/s giriş hızında kavitasyon oluştuğu belirlenmiştir. Sonuç olarak vanaların kısık çalışma koşullarında çalıştırılmaması gerektiği gösterilmiştir.

Yiğit (2017), DN 600 boyutundaki plunger vananın akış karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Bu çalışmada; belirli giriş ve çıkış basınçlarında vana açıklığının farklı konumları için sonlu hacimler yöntemi kullanan HAD simülasyon programlarından Ansys CFX kullanılarak çalışılan vana modeli için akış analizleri yapılmış, basınç ve hız değişimleri sonucunda oluşan kavitasyon bölgelerinin vana çıkışında ve çıkışa yakın bölgelerde gözlemlendiği belirtilmiştir. Analizde türbülans modeli olarak k- ϵ türbülans modeli kullanılmış, akışkan olarak su, su sıcaklığı olarak 25 °C, yoğunluk 997,1 kg/m³, klape için her bir konumu için sınır şartları kütleli debi 800 kg/s, giriş basıncı 16 bar, çıkış basıncı 8 bar olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, vana çıkışında ve çıkışa yakın bölgelerde kavitasyon oluşumunun meydana geldiği gözlemlenmiştir. Çalışma,

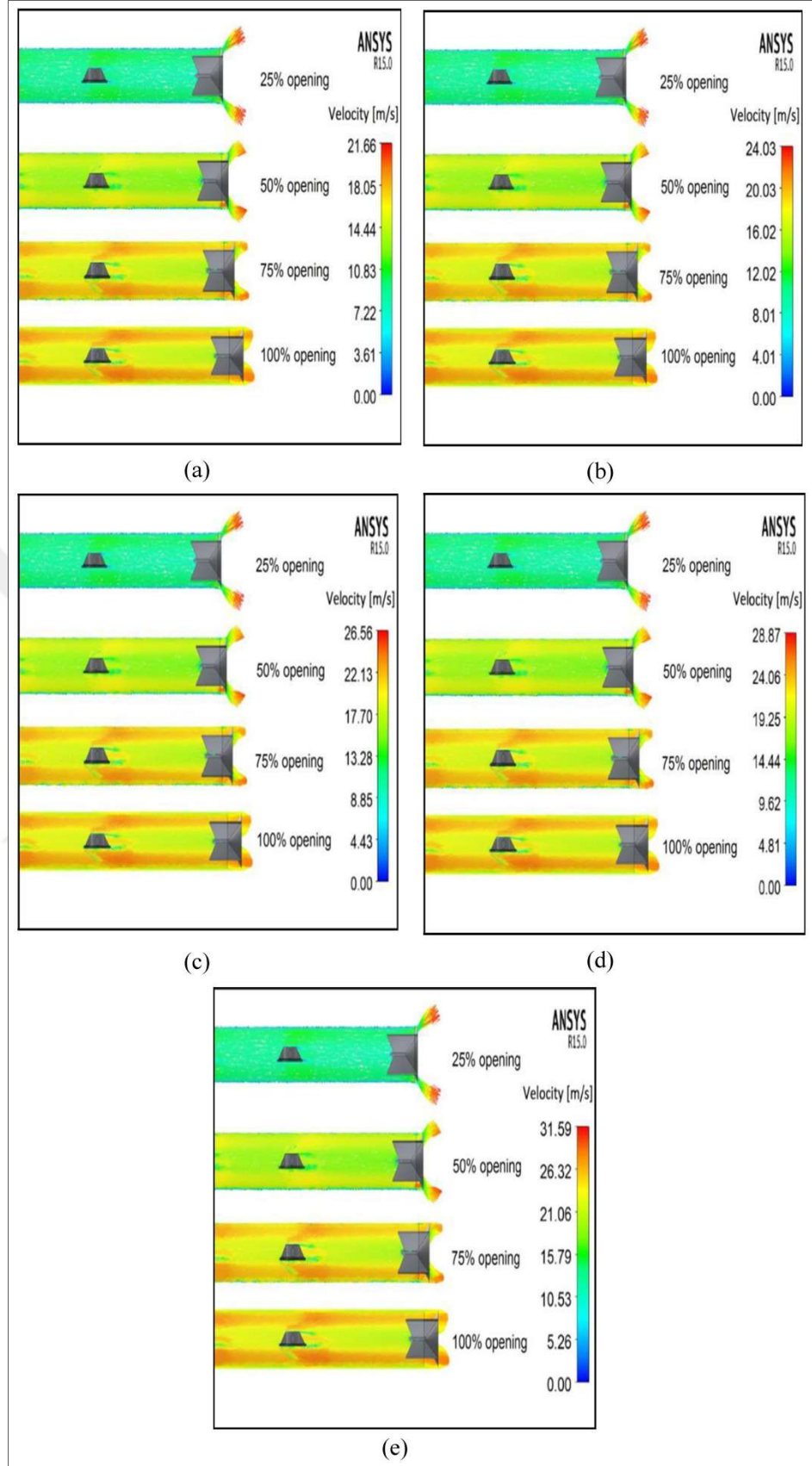
HAD simülasyon programlarının vana modellerinin sayısal analizinde güvenilir sonuçlar üretebileceğini ve kavitasyon gibi etkilerin belirlenmesine olanak sağladığını ortaya koymuştur.

Azzubaidi ve Majeed (2018), çalışmalarında Irak'ın Kerkük şehrindeki Kassa Chai Barajının dip savağında bulunan kelebek vananın işletme esnasında çok gürültülü ve titreşimli çalışmasının önüne geçmek için uyguladıkları yöntem gösterilmiştir. Kassa Chai Barajı'nın 13 m dikey şafttan oluşan su alma yapısına, 304,5 m uzunluğunda 2 m çapında betona sarılı cebri borusuna sahip olduğu belirtilmiştir. Bu cebri borunun 1,4 m çapında iki kola ayrılarak her bir kolun, biri bakım ve acil durumlar için diğeri ise deşarj için olmak üzere iki kelebek vana ile kontrol edildiği belirtilmiştir. Çalışmada, işletme esnasında sadece bir koldaki vana ile işletme yapılmasının kelebek vanada aşırı titreşim ve gürültülere neden olduğu ifade edilmiştir. Çözümün araştırılması amacıyla Ansys Fluent ile analizler yapılmıştır. Akış probleminde; giriş sınır koşulları için baraj rezervuarının belirli seviyeleri olan 5 m, 11 m, 18 m, 25 m ve 34 m giriş basınçları olarak, çıkış basıncı için atmosfer basıncı, türbülans modeli için ise k-ε türbülans modeli tanımlanmıştır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen verilerle, kelebek vananın özellikle düşük açıklık oranlarındaki çalıştırılmasında jet etkisindeki akışların meydana geldiği ifade edilmiştir. Vana memba ve mansabında yüksek basınç düşüşlerin olduğu, düşük negatif basınçların vananın hemen mansabında görüldüğü, bu durumun gürültü ve titreşimlere neden olduğu, vana açıklık oranlarındaki artışların akışı daha yumuşak ve hız profilini daha düzgün yaptığı belirtilmiştir. Kelebek vanaya ait hız dağılımı grafikleri, farklı vana açıklık oranları ve giriş basınçları için Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Ayrıca ortaya koyulan sonuçlarda, meydana gelen titreşim ve gürültülerin çözümü için düşük maliyet ve asgari yapısal değişiklikle dip savak çıkışına bir konik vana eklenmesinin olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.3'te dipavak çıkışına konik vana eklenmesi sonrası elde edilen, farklı giriş basınçları ve tam açıklık oranındaki kelebek vana ile farklı vana açıklık oranlarındaki konik vanaya ait hız dağılım grafikleri gösterilmiştir. Bu hız dağılım grafikleriyle baraj dipsavak çıkışına konik vananın eklenmesiyle kelebek vanada akışın daha yumuşak ve daha düzgün hız profilinin meydana geldiği gösterilmiştir.

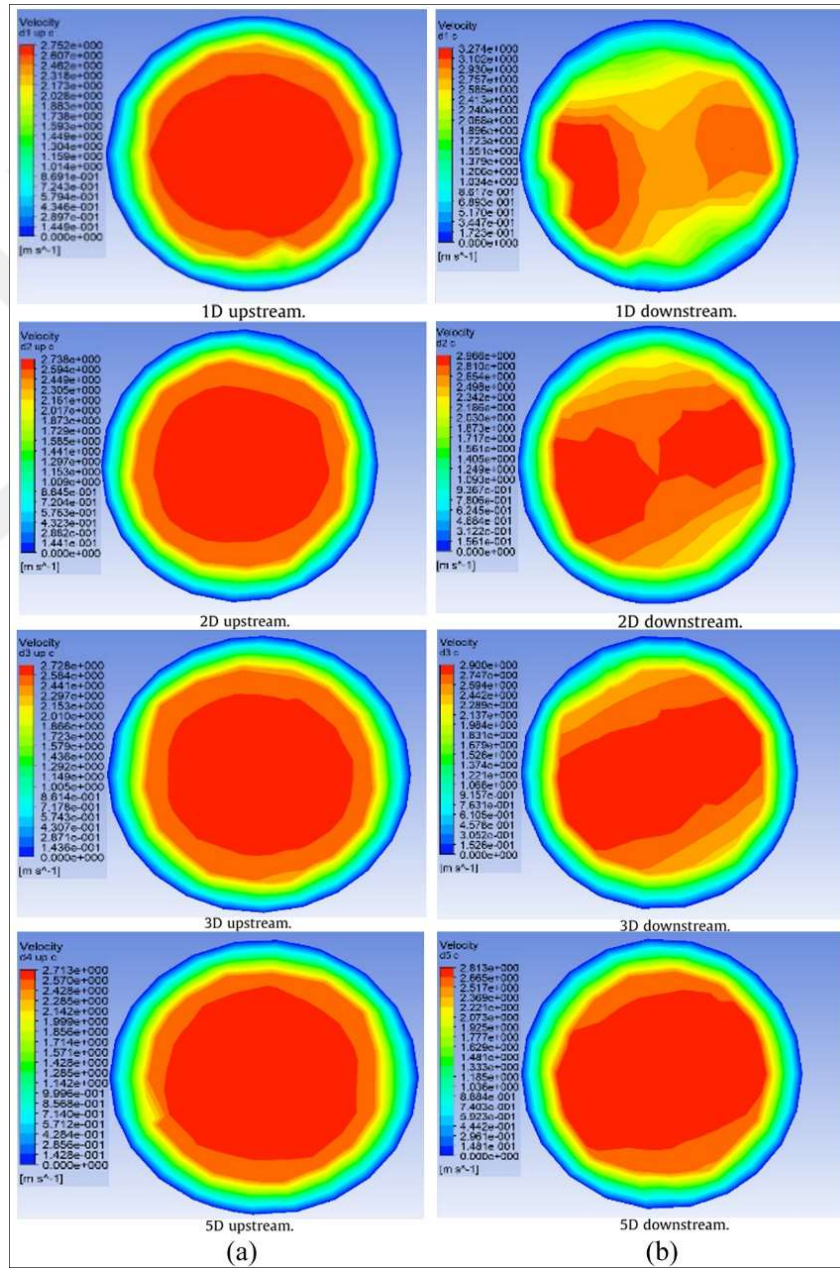


Şekil 2. 2. Kelebek vana farklı açıklık oranları için (a) 5 m, (b) 11 m, (c) 18 m, (d) 25 m, (e) 34 m giriş basınç değerlerinde hız dağılım grafikleri (Azzubaidi ve Majeed, 2018)



Şekil 2. 3. (a) 5 m, (b) 11 m, (c) 18 m, (d) 25 m, (e) 34 m giriş basınç değerlerinde, tam açıklıktaki kelebek vana ve farklı açıklık oranlarındaki konik vana için hız dağılım grafikleri (Azzubaidi ve Majeed, 2018)

Kumar (2021) ve diğ., çalışmalarında ultrasonik tip bir debimetrenin kelebek vana mansabında kullanılacağı yer konusunda çalışmalar yapmak amacıyla HAD ve deneysel yöntemlerini kullanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Akış probleminin tanımlanmasında sınır koşulları olarak girişte ve çıkışta $240 \text{ m}^3/\text{saat}$ debi değeri, 150 mm hidrolik çap, türbülans modeli olarak standart k- ϵ modeli belirlenmiştir. HAD ile yapılan analizler sonucu elde edilen hız dağılımına ait grafikler, kelebek vananın memba ve mansabında 1D, 2D, 3D ve 5D çap mesafelerindeki kesitler için Şekil 2.4'te sunulmuştur.

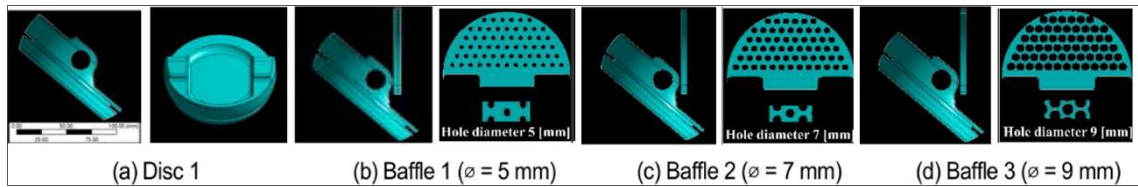


Şekil 2. 4. (a) Kelebek vana 1D, 2 D, 3 D, 5D memba ve (b) Kelebek vana 1D, 2 D, 3 D, 5D mansap hız dağılım grafikleri (Kumar ve diğ. 2021)

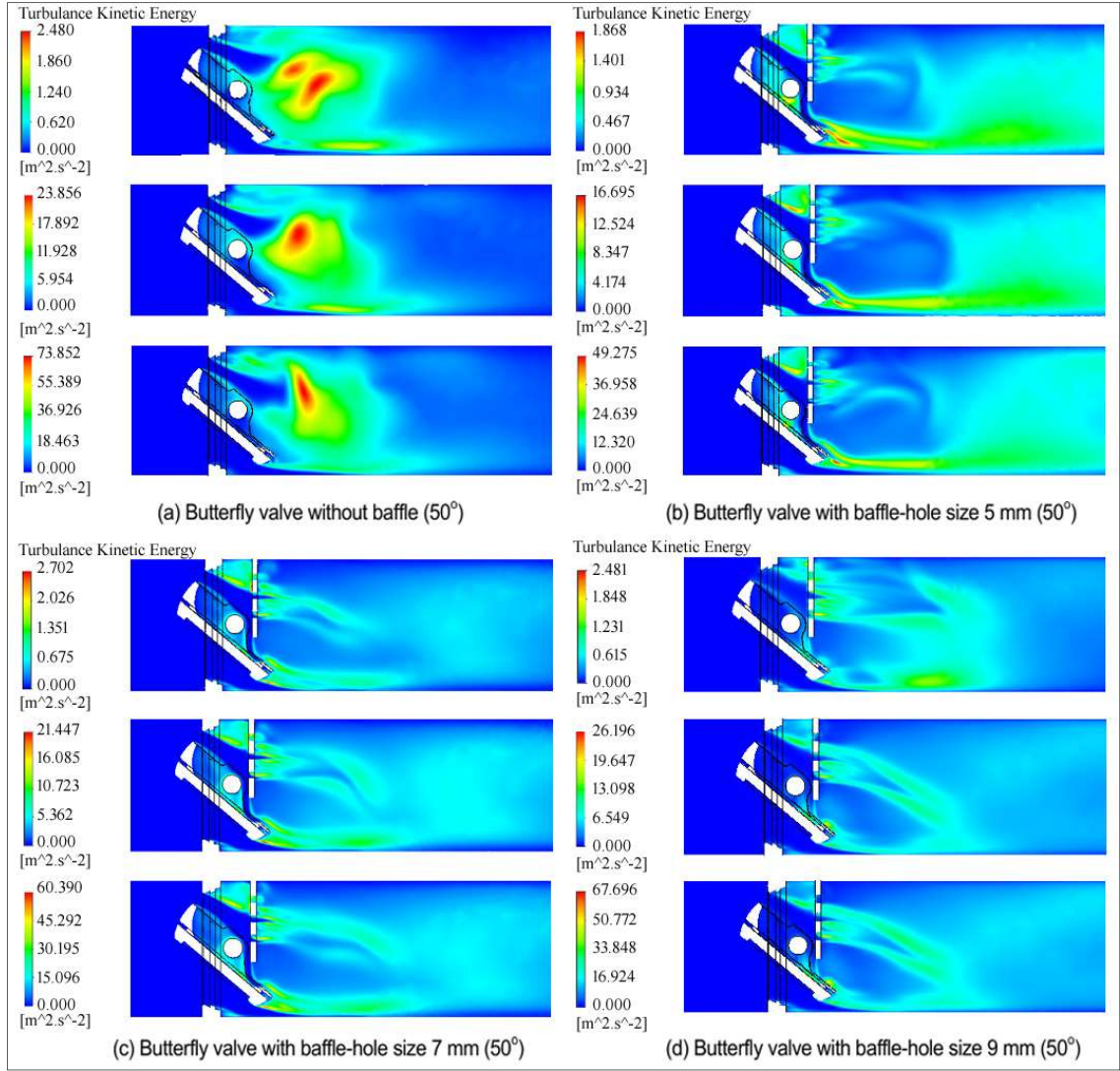
Çalışmada deneysel olarak kelebek vana mansabında belirli konumlarda montajı yapılan ultrasonik debimetreden elde edilen verilere göre; kelebek vananın mansabındaki montaj yeri mesafesi azaldıkça debimetreden alınan hata oranlarının da arttığı belirtilmiştir. Bu durum HAD analizlerinden elde edilen grafiklerdeki kelebek vana mansabındaki hız dağılımındaki değişimlerle doğrulanmıştır. Ayrıca hız dağılım grafiklerinde kelebek vananın mansabında meydana gelen hızdaki bozulmaların membaında meydana gelen bozulmalardan daha fazla olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiğinden elde edilen verilerin debimetrelerin montaj yerinin belirlenmesine ışık tutabileceği gösterilmiştir.

Oymak (2021), tez çalışmasında, tek küreli ve çok fonksiyonlu hava vanasının (vantuz) hava tahliye ve vakum kapasitesinin belirlenmesi amacıyla Ansys Fluent yazılımı kullanılarak analizler yapılmış ve hava vanalarına ait performans artırılması ve iyileştirilmesi için HAD yöntemini kullanan yazılımın etkili bir platform sağladığı sonucu ortaya koyulmuştur. Ayrıca bu çalışmada yine HAD yöntemiyle kelebek vanaların gövde ve klape tasarımlarındaki değişikliklerin vana kayıp performansını nasıl etkilediği analiz edilerek sonuçlar raporlanmıştır. Analizde türbülans modeli olarak standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. Analiz sonucu hava vanası için hava tahliye durumunda, 0,50 bar'a kadar olan basınç farkında akış debisinde 3.818,67 m³/h mertebelerine ulaşıldığı, hava vakumu durumunda -0,50 basınç farkında akış debisinin 4.104,97 m³/h mertebesinde olduğu gösterilmiştir.

Oh ve diğ. (2021), çalışmalarında küresel vanaların kullanımlarında teknik ve ekonomik nedenlerle boyutsal sınırlamaların olmasından dolayı yerine daha düşük ağırlık ve imalat maliyetleri nedeniyle klape mansabında bir panel ile kelebek vana kullanımı durumunda vanadaki akış karakteristikleri incelenmiştir. Şekil 2.5'te, çalışmada kullanılan kelebek vana klapesi ve farklı delik çaplarındaki paneli gösterilmiştir.



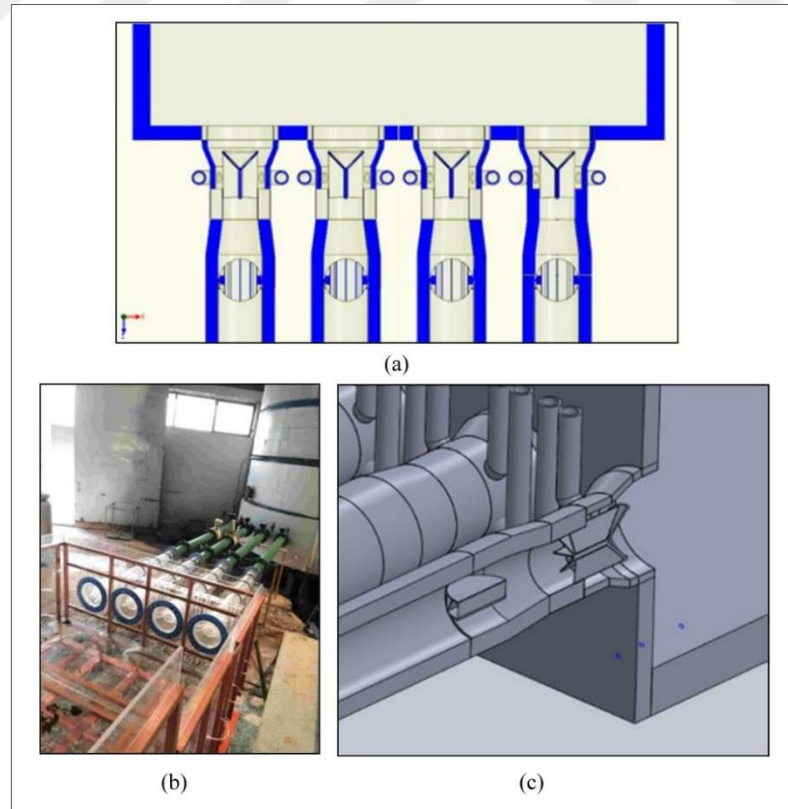
Şekil 2. 5. Kelebek vana klapesi ve (a) panelsiz (b) 5 mm delik çapında panel ile (c) 7 mm delik çapında panel ile (d) 9 mm delik çapında panel ile (Oh ve diğ., 2021)



Şekil 2. 6. Kelebek vana 1, 3, 5 m/s giriş hızlarında (a) panelsiz, (b) 5 mm, (c) 7 mm, (d) 9 mm delik çapı boyutundaki panel ile kullanımındaki türbülans kinetik enerjisi dağılım grafikleri (Oh ve diğ., 2021)

Çalışmada kelebek vanasını bir panel ile kullanılma amacını; 60° ve üstündeki vana açıklıklarında kelebek vananın dengeli çalışmaması olarak belirtilmiştir. Panel kullanımı ile vananın daha stabil çalışacağını göstermek amacıyla panelsiz ve 5, 7, 9 mm delik çaplarında kullanılan panelli kelebek vanaya ilişkin türbülans kinetik enerjisi grafiği Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Sonuç olarak çalışmada 5 mm delik boyutundaki panel kullanımıyla türbülans kinetik enerjisi büyüklüklerinin daha düşük olduğu, vananın bu şekilde daha dengeli çalışabileceği ama çapın artırılmasıyla 7 ve 9 mm delik boyutlarındaki panel kullanımında, kullanılan panelin etkisinin az olduğu belirtilmiştir. Çalışmada akış probleminin tanımlanmasında sınır koşulları olarak girişte 1, 3 ve 5 m/s hız girişi, çıkışta 0 bar çıkış basıncı ve türbülans modeli olarak k- ω SST modeli kullanılmıştır.

L.Kyriakopoulos ve diğ. (2022), çalışmalarında İran'da Aras Nehri üzerinde bulunan Khodaafarin Barajının dip savağının fiziksel modeli üzerinde deneysel ve sayısal analizler yaparak baraj dipsavağında bulunan kelebek vana ve konik vana arasındaki mesafenin belirlenmesini amaçlamışlardır. Şekil 2.7'de Khodaafarin barajı dipsavağının (a) modelin üstten şematik gösterimi, (b) 1:15 ölçeğindeki deneysel düzeneği ve (c) sayısal analiz için oluşturulan üç boyutlu modeli gösterilmiştir. Çalışmada, baraj dipsavağından çıkan paralel dört koldan oluşan ve eksenler arası mesafenin 6 m olduğu bir model oluşturulmuştur. Her bir kol üzerinde 2,5 m çapında bir kelebek vana yer almakta olup, bu vanalardan sonra bir redüksiyon bölgesi bulunmaktadır. Hattın uç kısmında ise her biri maksimum 56 m³/s debi kapasitesine sahip 2 m çapında bir konik vana bulunmaktadır. Konik vana ve kelebek vananın arasındaki optimum mesafenin kelebek vananın çıkışındaki türbülansın konik vanaya girmeden önce dağıldığı mesafe olarak ifade edilmiştir. Bu mesafeyi belirlemek amacıyla, kelebek vanadan sonra 2D (4m), 3D (6m), 4D (8m) ve 5D (10m) çap mesafe için tekrarlanan sayısal analizde akış karakteristikleri olarak, hız profilleri ve vektörleri, türbülans kinetik enerjisi ve akım girdaplarının oluşumu incelenmiştir.



Şekil 2. 7. Khodaafarin barajının dip savağının (a) üstten şematik, (b) 1:15 ölçeğinde deneysel düzeneği, (c) üç boyutlu model görüntüleri (L.Kyriakopoulos ve diğ., 2022)

Çalışmada analizler hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanan Flow3D yazılımı ile yapılmış, sınır şartları olarak girişte hacimsel debi ve çıkışta outflow çıkışı tanımlanmıştır. Hız, basınç ve debi için deneysel modelde ve sayısal analizde elde edilen veriler sırasıyla 17,8 ve 16,74 m/s, 24.571 ve 25.837 Pa, 56,25 ve 54,83 m³/s olup yüzdesel hata oranları sırasıyla 5,95, 5,15 ve 2,52 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak yapılan analizlerle baraj dipsavağında bulunan kelebek vana ile çıkıştaki konik vana arasındaki mesafenin 4D (8 m) çap mesafesinde olması gerektiği ancak bazı özel durumlar ve kısıtlamalar nedeniyle 5D (10 m) çap mesafesinde alınmasının makul olacağı ifade edilmiştir.

Turhan (2022), tez çalışmasında değişik çaplardaki kelebek vana, sürgülü vana, iğneli vana ve çek valflerin akış karakteristiklerinin incelenmesinde deneysel yöntem ve HAD yönteminden faydalanılmıştır. HAD yöntemi için çalışmada, sanayide üretilen vanalar için k-ε türbülans modeli kullanan Solidworks Flow Simulation programı ile akış özelliklerinin belirlenmesi için analizler yapılmıştır. Akış hacmine ait sınır şartları belirlenirken giriş sınır şartı olarak üniform hız girişi, çıkış sınır şartı olarak çevre basıncı tanımlanmıştır. Yapılan analizlerde çalışma konusu vanalar için, akış katsayısı, zeta (direnç) katsayısı, basınç kayıpları, kavitasyon katsayıları, hız dağılımları, basınç değişimi, akım çizgisi değişimi ve diğer akış özellikleri, ilgili vananın tam açıklık durumu ve farklı açıklık durumlarında karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada DN 40-DN 2200 çaplarındaki kelebek vanaların sadece tam açık pozisyonlarında akış katsayısı değerleri sayısal olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile vana geometrilerinde iyileştirmeler yapılması amaçlanmış olup vana çapı değeri ve açıklık oranı azaldıkça basınç kaybı arttığı için akış katsayılarının azaldığı gösterilmiştir. Analiz sonucu elde edilen veriler ile deneysel sonuçların karşılaştırılması ile aradaki farkların %1 ile %10 aralığında olduğu bu farkın da akış performansı kriterleri için kabul edilebilir olduğu ifade edilmiştir.

Çiçek (2023), tez çalışması kapsamında dört farklı vana modelinin akış karakteristiklerinin belirlenmesi için vanalar üzerinde Ansys Fluent paket programı kullanılarak vana içerisinde oluşturulan akış hacimleri üzerinde belirli sınır şartları uygulanarak sayısal çözümler yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre vanalar üzerinde meydana gelen basınç, hız ve türbülans kinetik enerji değerleri gözlemlenmiştir. Analizde türbülans modeli olarak standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Çalışmada vanalar üzerinde %25, %50, %75 ve %100 açıklık oranlarında analizler yapılmıştır. Bu

analizlerde her bir açıklık için üç fark basınç değeri alınarak üçer adet analiz yapılmıştır. Bu analizler için giriş basıncı 4 bar, çıkış basıncı 0,1, 1 ve 2 bar değerlerinde ayarlanmıştır. Elde edilen değerlerden vanaların tam açık olduğu durumdaki akış katsayıları karşılaştırıldığında sırasıyla en yüksek akış katsayısına kelebek vanada 90 m³/h, pistonlu vanada 49 m³/h, glob vanada 45 m³/h ve diyaframlı vanada 26 m³/h değerlerinin elde edildiği gösterilmiştir.

Yapılan literatür taraması, baraj deşarj hatlarında kullanılan kelebek vanaların akış karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesine yönelik çeşitli çalışmaların bulunduğunu, ancak deşarj hattında kullanılan diğer vana tiplerinden konik vana ile ilgili uluslararası literatürde sınırlı sayıda çalışmanın yer aldığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, karesel sürgülü vana üzerine yapılan kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması, baraj deşarj hattında kullanılan üç farklı vana tipinin (kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vana) akış karakteristiklerinin sayısal olarak birlikte incelendiği ilk kapsamlı araştırmalardan biri olma özelliğini taşımaktadır.

Bu kapsamda, baraj dipsavak hatlarında kullanılan kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vanaların akış karakteristikleri, Ansys Fluent yazılımı kullanılarak HAD yöntemi ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, her bir vana için farklı açıklık oranları (%25, %50, %75 ve %100) ve farklı giriş basınçları (10 bar, 8 bar, 6 bar, 4 bar, 2 bar) altında 1 bar ve 0 bar çıkış basıncı koşullarında analizler gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda basınç dağılımı, hız dağılımı, akım çizgileri ve türbülans kinetik enerjisi dağılım grafikleri elde edilerek değerlendirmeler yapılmış ve baraj deşarj sistemlerinde kullanılan farklı vana tiplerinin akış karakteristiklerine etkileri karşılaştırmalı olarak ortaya koyulmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Mühendislik hesaplamalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Isı transferi, basınç kayıpları ve akış hızları gibi akışa bağlı parametreler analitik yöntemlerle doğrudan hesaplanamayacak kadar karmaşık olabilir. Bu tür kompleks modellerde, HAD yöntemleri kullanılarak akışkan davranışının analiz edilmesi, tasarım aşamasında kritik verilere ulaşmayı sağlayarak zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Bulut ve Ünveren, 2011).

Günümüzde bilgisayar donanımı ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler, birçok mühendislik analizinin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır. Bu tür analizlerin yapılabildiği yazılımlar genel olarak simülasyon programları olarak adlandırılmaktadır. Simülasyon programları, bir fiziksel olayı matematiksel olarak tanımlayarak, dış etkenleri de göz önünde bulundurup, yüksek hassasiyetle çözüm üreten yazılımlar olarak öne çıkmaktadır. Çoğu mühendislik problemi karmaşık matematiksel ifadeler içerdiğinden, analitik çözümler elde etmek zor veya imkânsız olabilmektedir. Bu nedenle, bu tür problemlerin çözümünde bilgisayar destekli simülasyon yazılımlarına başvurulmaktadır. Böylece, mühendislik analizleri daha az maliyetle, daha hızlı ve daha güvenilir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Mutlu, 2018).

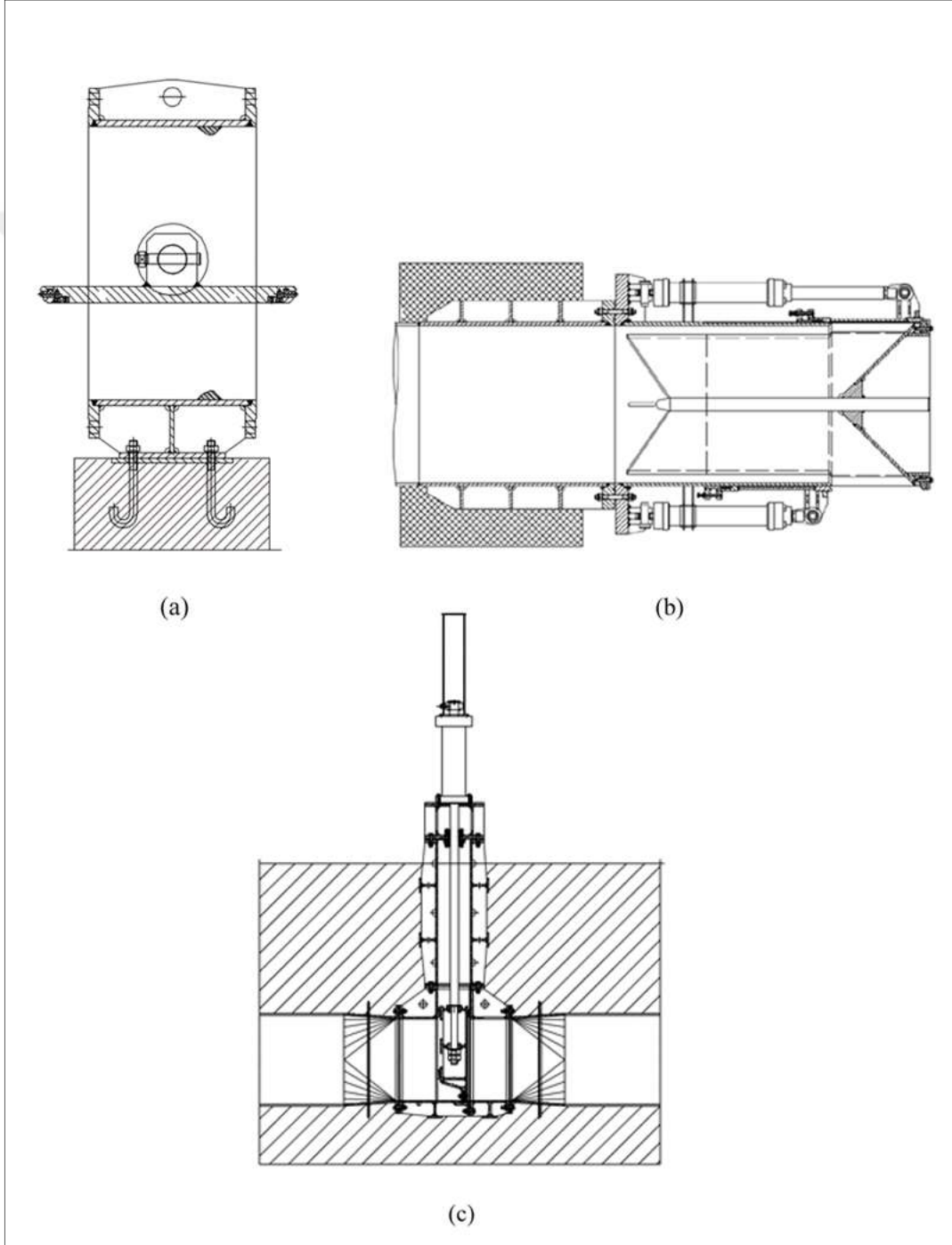
Günümüzde Ar-Ge ve akademik çalışmalarda HAD yöntemleri yaygın olarak kullanılmakta olup, mühendislik uygulamalarında detaylı analizler yapılmasına ve akış karakteristikleri ile diğer fiziksel parametrelerin hassas bir şekilde belirlenmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada barajların dipsavak yapılarında kullanılan Şekil 3.1’de kesitleri verilen vanalar için akış karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla HAD yöntemini kullanan Ansys Fluent programı 2021 Akademik versiyonu ile çalışılmıştır. Çalışmada izlenen yöntem aşağıda belirtilen aşamalardan oluşmaktadır:

- Üç boyutlu modellerin oluşturulması ve dışa aktarılması,
- Üç boyutlu modellerin Ansys programına aktarılması ve akış hacimlerinin oluşturulması,
- Oluşturulan akış hacimlerine uygun ağ (mesh) yapısının oluşturulması,
- Ağ yapılarının oluşturulmasının ardından, uygun sınır koşullarının tanımlanması ve analizlerin gerçekleştirilmesi,
- Analizden elde edilen verilerin ve grafiklerin alınması,

- Elde edilen verilerin düzenlenmesi ve değerlendirilmesi ile akış karakteristiklerine ilişkin sonuçların ortaya koyulması.

Bu yöntem çerçevesinde gerçekleştirilen analizler ile baraj dipsavak hatlarında kullanılan farklı vana tiplerinin akış karakteristikleri incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



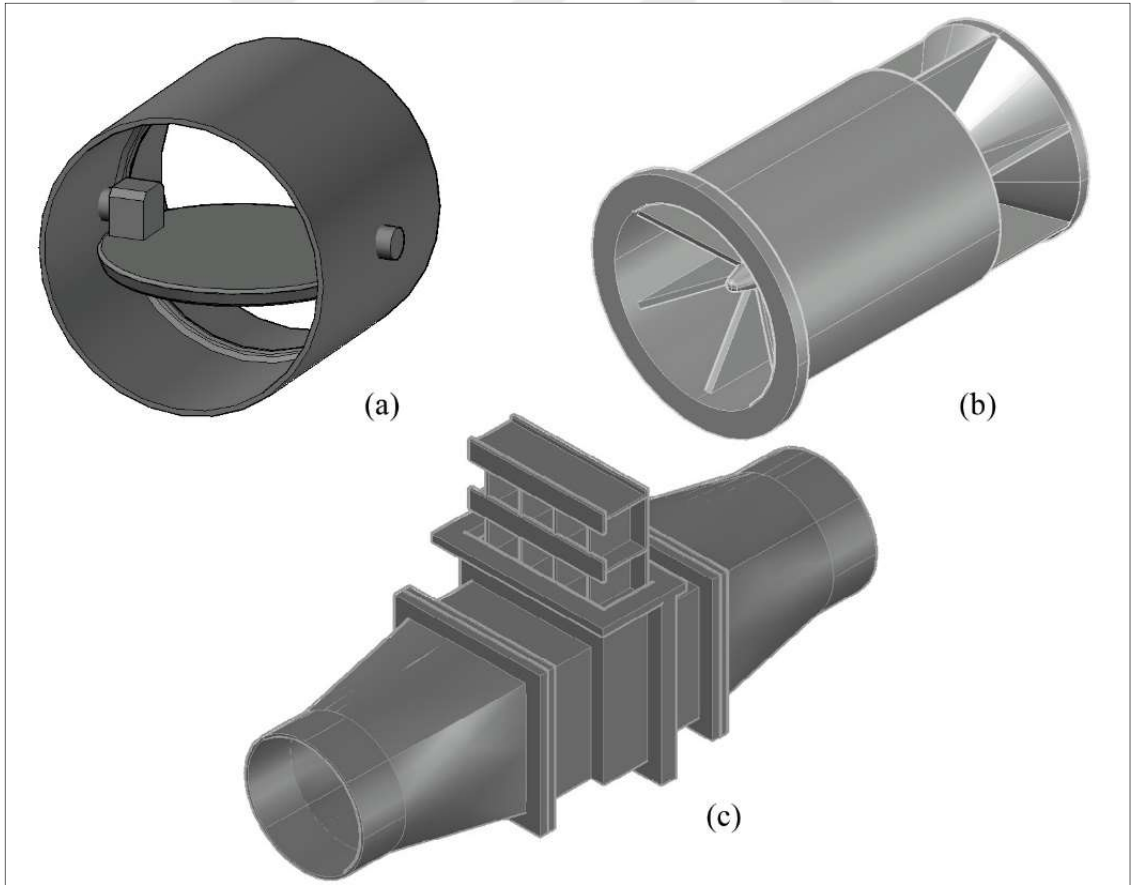
Şekil 3. 1. (a) Kelebek vana, (b) konik vana ve (c) karesel sürgülü vana kesitleri

3.1. Katı Modellerin Oluşturulması

Bu tez çalışmasında analiz edilen vanaların üç boyutlu katı modelleri, AutoCAD 2024 modelleme yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Kelebek vana ve konik vana modelleri için nominal çap 800 mm olarak belirlenmiştir. Karesel sürgülü vananın geometrik yapısı nedeniyle, 800 mm çapındaki dairesel kesitten 800×800 mm karesel kesite geçiş sağlayan bir tranzisyon (geçiş) bölgesi oluşturularak modelleme yapılmıştır.

Her bir vana modeli için %100, %75, %50 ve %25 açıklık oranları dikkate alınarak modelleme süreçleri gerçekleştirilmiştir. Modelleme sırasında, yalnızca akış analizlerinde kritik rol oynayan unsurlara yer verilmiş, akış hacminin oluşumuna etkisi olmayan detaylar modellenmemiştir.

Şekil 3.2’de, AutoCAD yazılımı ile oluşturulan örnek üç boyutlu vana modelleri gösterilmektedir. Bu modeller, akış analizlerinde kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) çalışmalarına temel teşkil etmektedir.



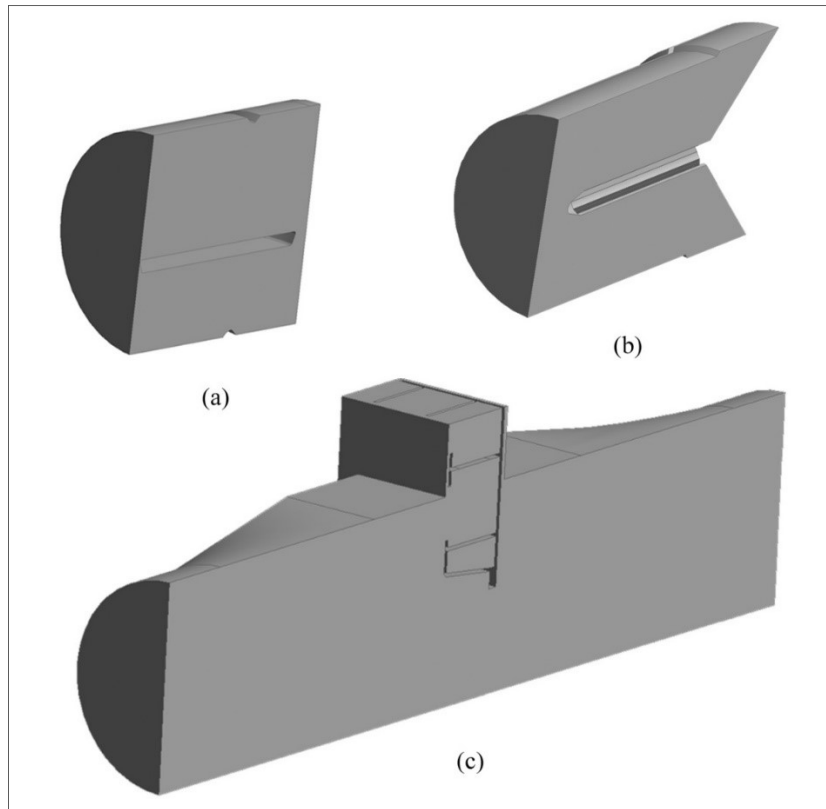
Şekil 3. 2. (a) Kelebek vana (b) konik vana ve (c) karesel sürgülü vana modelleri

3.2. Akış Hacimlerinin Oluşturulması

Ansys yazılımında üç boyutlu model oluşturma ve düzenleme işlemleri, DesignModeler ve SpaceClaim olmak üzere iki farklı program aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, AutoCAD programında oluşturulan üç boyutlu katı modeller dışa aktarılmış ve Ansys DesignModeler ortamına alınmıştır. Burada akış analizlerine uygun akış hacimleri elde edilmiştir.

Modelleme sürecinde, simetri özelliğinden faydalanarak analizlerin daha verimli hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda, model simetrik hale getirilerek ağ yapısındaki hücre sayısının yarıya indirilmesi ve analiz sürelerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Akış hacimlerinin oluşturulmasının ardından, giriş ve çıkış yüzeyleri 5D (4 m) çap mesafesinde uzatılmıştır. Bu işlem, sayısal çözümleme sırasında giriş ve çıkış bölgelerindeki akışın daha stabil hale getirilmesine yardımcı olmaktadır. Model üzerinde giriş, çıkış ve simetri yüzeyleri belirlenerek uygun sınır koşulları atanmıştır. Şekil 3.3'te, Ansys DesignModeler programında oluşturulan akış hacimlerine ait örnek kesitler sunulmaktadır.

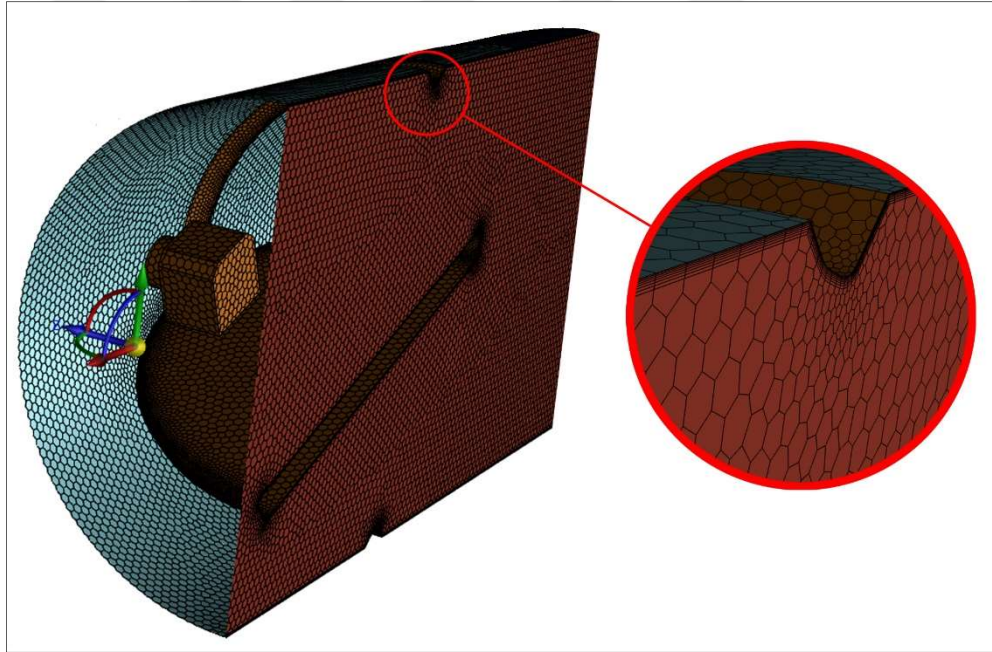


Şekil 3. 3. (a) Kelebek vana (b) konik vana ve (c) karesel sürgülü vana akış hacimleri.

3.3. Sayısal Çözüm Ağının Oluşturulması

Akış hacimlerinin elde edilmesinin ardından, sayısal çözüm ağlarının oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Daha iyi yakınsama, hızlı çözümüleme ve yüksek doğruluk oranı sağlama avantajları nedeniyle, son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılan polihedral ağ yapısı tercih edilmiştir.

Ağ yapısının oluşturulmasında, maksimum çarpıklık değeri (skewness) 0,85 olarak belirlenmiştir. Modelin geometrik özelliklerine bağlı olarak farklı çözüm ağları kullanılmış olmakla birlikte, sayısal analizlerde en az 2×10^5 hücre sayısına sahip ağ yapıları oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te, kelebek vana için oluşturulan polihedral ağ yapısına ait örnek bir görsel sunulmaktadır.



Şekil 3. 4. (a) Kelebek vana akış hacmi için oluşturulan ağ yapısı

Sayısal çözüm ağının oluşturulmasında, hücre sayısının optimum düzeyde tutulması büyük önem taşımaktadır. Analizlerde kullanılan hücre sayısının artırılması, çözüm doğruluğunu yükseltmekle birlikte işlem süresi ve maliyetleri de önemli ölçüde artırmaktadır. Hücre sayısının analiz sonuçları üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı durumlarda, gereksiz yere fazla hücre sayısı kullanımı analiz sürecini gereksiz yere uzatacaktır. Bu nedenle, ağdan bağımsızlaştırma (mesh independence) işlemi

gerçekleştirilerek, analiz sonuçlarının ağ hassasiyetinden bağımsız hale getirilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada ağdan bağımsızlaştırma işlemi kapsamında;

- 214.000 hücre sayısı ile gerçekleştirilen bir analiz sonucunda hacimsel debi değeri 2,605 m³/s olarak elde edilmiştir.
- Hücre sayısı yaklaşık iki kat artırılarak 426.198 hücre sayısında aynı analiz tekrarlandığında hacimsel debi değeri 2,600 m³/s olarak elde edilmiştir.

Hücre sayısı iki katına çıkarılmasına rağmen hacimsel debi değerindeki değişim yalnızca %0,192 seviyesinde kalmıştır. Bu nedenle, optimum çözüm süresi ve doğruluk dengesi sağlanarak analizlerin 214.000 hücre sayısı ile gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

3.4. Akış Probleminin Tanımlanması

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analizlerde basınca dayalı sayısal analizler gerçekleştirilmiş olup, akışın daimi olduğu kabul edilmiştir. Akışkan olarak su seçilmiş ve analiz sürecinde akım boyunca meydana gelen sıcaklık değişimleri ihmal edilerek enerji denklemi çözümlemelere dahil edilmemiştir. Akışkan sıcaklığındaki akım boyunca meydana gelen değişimler göz ardı edildiğinden enerji denklemi çözümlemelere dahil edilmemiştir. Akış rejiminin türbülanslı olması nedeniyle, sınır tabaka koşullarında daha hassas sonuçlar üreten k- ω SST türbülans modeli tercih edilmiştir. Bu model, düşük Reynolds sayılı bölgelerde daha yüksek doğruluk sağlaması nedeniyle özellikle mühendislik analizlerinde sıkça kullanılmaktadır. k- ω SST türbülans modeline ait temel denklemler aşağıda verilmiştir (Anonim, 2024).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\Gamma_k) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k + S_k \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (3.2)$$

Bu denklemlerdeki G_k terimi, türbülans kinetik enerjisinin (k) üretimini, G_ω özgül yitim oranının (ω) üretimini temsil eder. Γ_k ve Γ_ω ise k ve ω için efektif yayılma gücünü, Y_k ve Y_ω , k ve ω değerlerinin türbülansın dolaylı yitimini temsil etmekte olup D_ω çapraz yayılma, S_k ve S_ω kullanıcı tanımlı kaynak terimleridir.

Sınır şartları olarak girişte 10 bar, 8 bar, 6 bar, 4 bar ve 2 bar giriş basınçları çıkışta ise 1 bar ve 0 bar çıkış basınçları tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yakınsama kriteri olarak; süreklilik, hız ve türbülans verilerinin yakınsama değerleri yapılan analizlerdeki çözüm sayısından bağımsız olarak 10^{-4} değerinin altına indiği durumda analizler sonlandırılmıştır.

Kütlenin korunumu prensibine göre, kontrol hacmindeki net kütle girişi ve çıkışı sıfırdır. Bu prensibi ifade eden süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. Burada ρ akışkanın yoğunluğu, t zaman, v hız vektörü, ∇ gradyan operatörüdür.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (3.3)$$

Newton'un ikinci hareket yasasına göre ($F=ma$), kontrol hacmini etkileyen kuvvetlerin toplamı, kontrol hacmi içindeki momentum değişimine eşit olmalıdır (giriş-çıkış). Momentumun korunumu denklemi, kontrol hacmindeki kuvvetlerin toplamının, kontrol hacmi içindeki momentum değişimine (giriş-çıkış) eşit olduğunu belirtir.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (3.4)$$

Burada $\frac{\partial u}{\partial t}$ hızın zamana göre değişimini yani ivmeyi, ∇p basınç gradyanını, μ dinamik viskoziteyi, f dış kuvvetleri, $\nabla^2 u$ viskozite terimini ifade eder.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vananın farklı açıklık oranlarında (%100, %75, %50 ve %25) ve farklı giriş basınçlarında (10 bar, 8 bar, 6 bar, 4 bar 2 bar) analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda farklı giriş basınçlarında vanalarda meydana gelen basınç farkları ve vanadan geçen hacimsel debi miktarları elde edilmiştir. Yapılan analiz sonucu elde edilen sonuçlar grafikler halinde her bir vananın farklı açıklık durumlarına göre karşılaştırmak üzere düzenlenmiştir. Düzenlenen grafiklerde basınç dağılımı, hız dağılımı, akım çizgileri ve türbülans kinetik enerjisi gösterilerek değerlendirmeler yapma imkânı elde edilmiştir.

4.1. Vana Akış Karakteristik Değerleri Grafikleri

Vana akış katsayısı (K_v) değeri, bir vananın belirli bir basınç farkı altında saatte geçirebildiği akış miktarı olarak tanımlanabilir. TS EN 1267-2012 standardına göre K_v (m^3/h) formülü aşağıdaki gibidir:

$$K_v = q_v \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P \rho_0}} \quad (4.1)$$

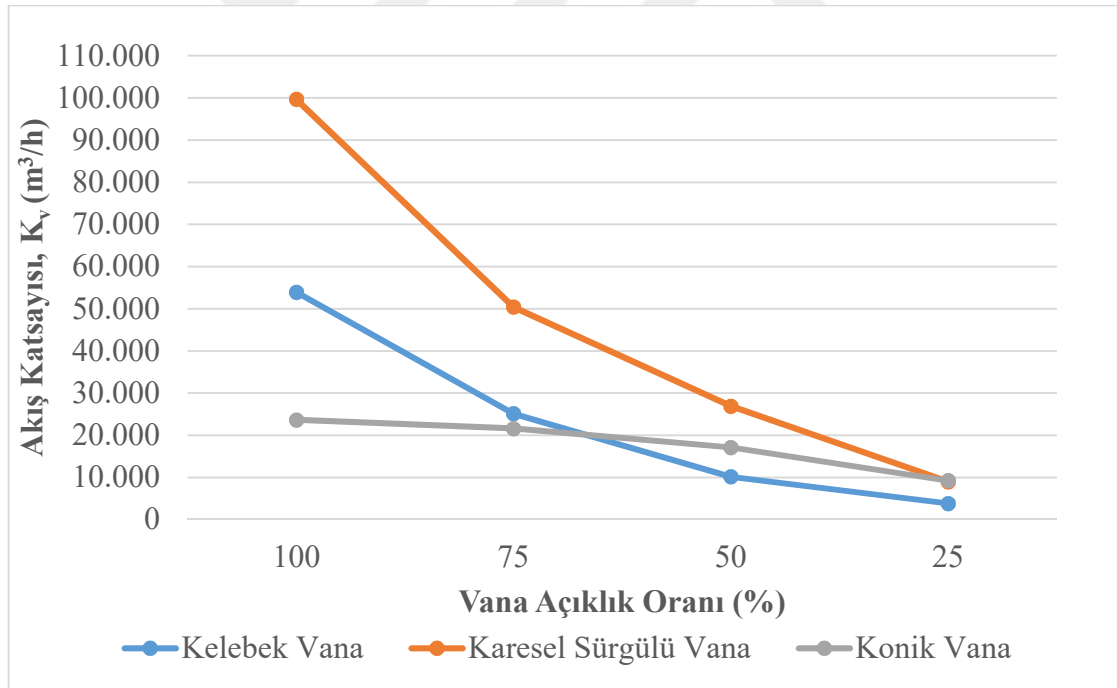
Burada q_v hacimsel debi (m^3/h), ρ suyun yoğunluğu (kg/m^3), ρ_0 15 °C deki suyun yoğunluğu (kg/m^3) ve ΔP bar cinsinden vanadaki basınç kaybıdır.

Şekil 4.1’de sunulan K_v -Vana açıklık oranı değişim grafiği, kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vananın farklı açıklık oranlarında elde edilen K_v değerlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Grafikten elde edilen verilere göre, vana açıklık oranı azaldıkça tüm vanalar için K_v değerlerinde belirgin bir düşüş olduğu gözlemlenmektedir.

Karesel sürgülü vana, bütün açıklık oranlarında en yüksek K_v değerine sahip vana olarak öne çıkmaktadır. Bu vanada %100, %75 ve %50 açıklık oranlarında sırasıyla 99.679 m^3/h , 50.406 m^3/h ve 26.915 m^3/h seviyesinde K_v değerleri elde edilmiştir. Kelebek vana, %100 ve %75 açıklık oranlarında sırasıyla 53.953 m^3/h ve 25.147 m^3/h K_v değerleriyle konik vanadan daha yüksek bir K_v değerine sahiptir. Ancak açıklık oranı azaldıkça, %50 ve %25 açıklık oranlarında konik vana, kelebek vanaya kıyasla daha yüksek bir K_v değeri göstermektedir. Özellikle %50 açıklık oranında konik vananın K_v değeri 17.132 m^3/h iken, kelebek vananın K_v değeri 10.181 m^3/h olarak hesaplanmıştır. %25 açıklık oranında ise konik vananın 9.266 m^3/h olan K_v değeri, kelebek vananın 3.849

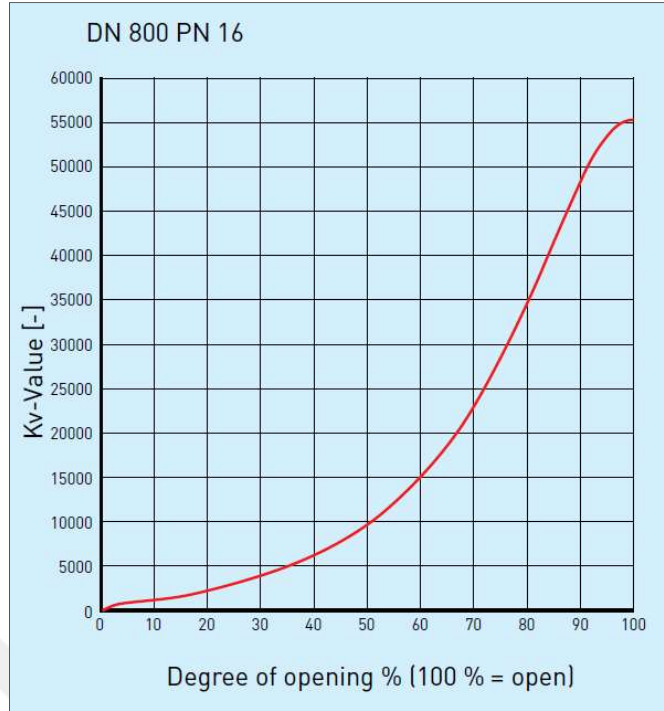
m^3/h olan K_v değerine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, kelebek vananın düşük açıklık oranlarında daha fazla akış kaybına neden olduğunu ve regülasyon amacıyla kullanıldığında akış verimliliğinin düştüğünü göstermektedir. Aynı şekilde, %25 açıklık oranında konik vananın $9.266 m^3/h$ olan K_v değeri, $8.992 m^3/h$ olan karesel sürgülü vananın değerinin biraz üzerinde hesaplanmıştır. Bu sonuç, konik vananın düşük açıklık oranlarında daha stabil bir akış sağlayarak regülasyon için daha uygun bir vana olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu durum, vana seçimi yapılırken yalnızca tam açık konumda sağlanan akış katsayısı değil, farklı açıklık oranlarında oluşan akış kayıpları ve debi değerlerinin de önemli olduğunu göstermektedir. Karesel sürgülü vana, özellikle yüksek debi gereksinimi olan sistemlerde avantaj sağlarken, kelebek vana orta seviyedeki açıklık oranlarında daha iyi performans göstermektedir. Konik vana ise, kısık çalışma koşullarında daha düşük basınç kaybı ve yüksek regülasyon hassasiyeti sunarak, düşük açıklık oranlarında daha uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4. 1. K_v -Vana açıklık oranı değişim grafiği

Elde edilen K_v değerlerinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, benzer klape yapısına sahip ticari bir kelebek vana modeline ait üretici firma verileri ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma kapsamında, ilgili üretici firmanın sağladığı K_v değerleri Şekil 4.2'de sunulmaktadır.



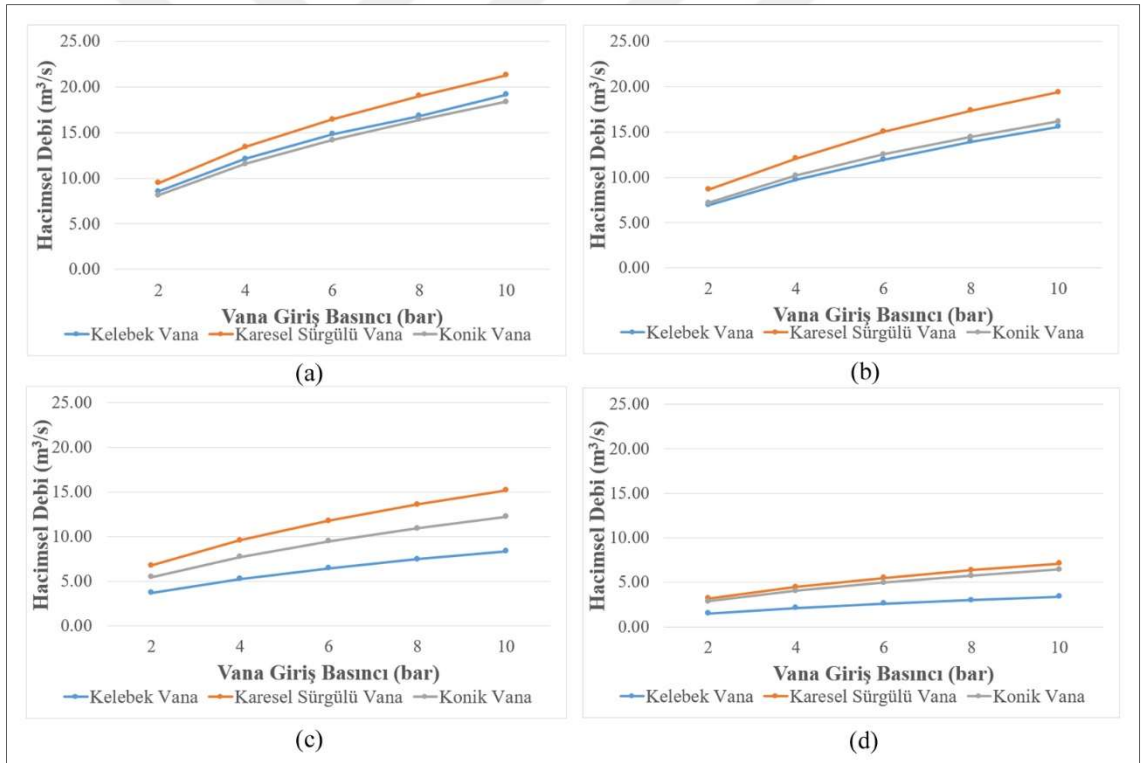
Şekil 4. 2. Erhard kelebek vana K_v grafiği (Anonymous, 2024)

Üretici firma katalog değerleri ve analiz sonucu elde edilen K_v değerleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Çizelgede görüldüğü üzere, tam açık konumda (100% açıklık) analiz sonuçları ile üretici katalog değeri arasındaki fark %2,86 gibi düşük bir seviyede olup, büyük ölçüde örtüşmektedir. %75 açıklık oranında fark %11,34 seviyesinde gerçekleşirken, %50 açıklık oranında analiz değeri ile katalog değeri arasındaki fark %3,74 seviyesinde kalmıştır. Ancak, %25 açıklık oranında analiz değeri ile katalog verisi arasındaki fark %22,05 oranında olmuştur. Bu farkın temel nedeni, analizde kullanılan çelik konstrüksiyon vana modeli ile üretici firmaya ait döküm vana arasındaki yapısal farklılıklar ve üretim süreçlerinden kaynaklanan değişkenlerdir. Özellikle düşük açıklık oranlarında akış geometrisinin daha karmaşık hale gelmesi nedeniyle, vana gövdesi ve klape tasarımından kaynaklanan türbülans etkileri fark oluşturabilmektedir.

Çizelge 4. 1. Analiz ve vana üreticisi firma K_v karşılaştırılması

Vana Açıklık Oranı (%)	K_v , m ³ /h (Analiz)	K_v , m ³ /h (Erhard Vana)	Fark (%)
100	53.953	55.500	2,86
75	25.147	28.000	11,34
50	10.181	9.800	-3,74
25	3.849	3.000	-22,05

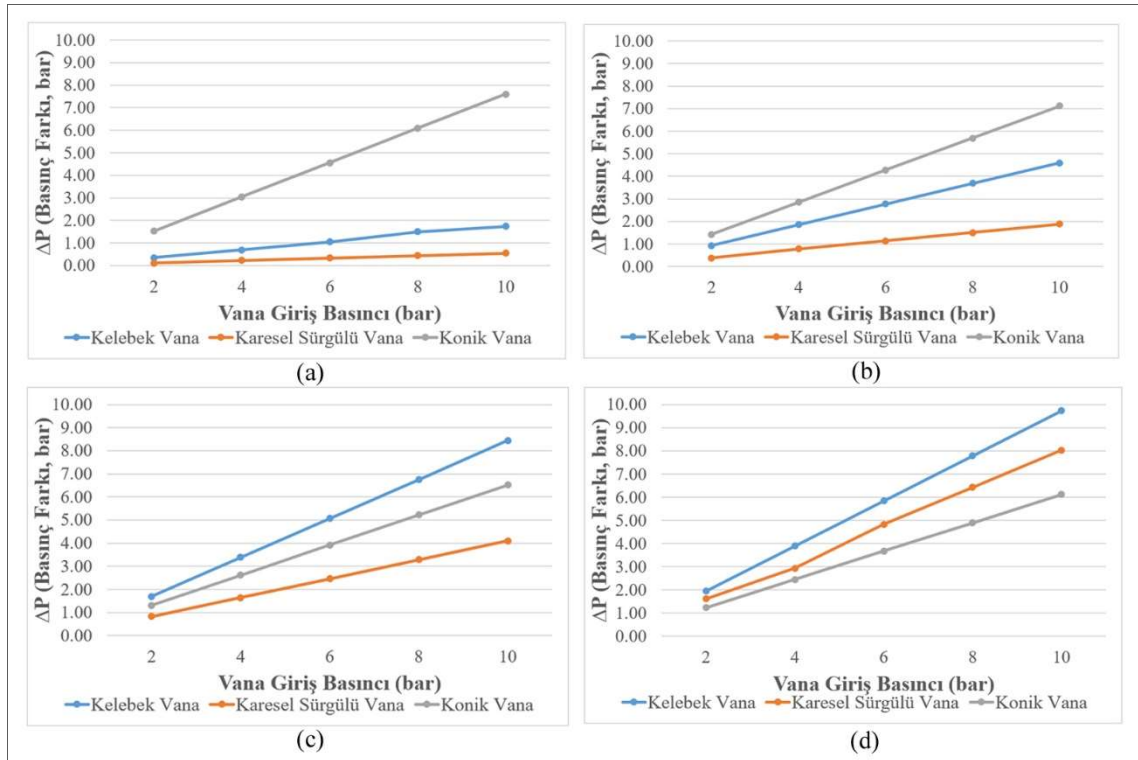
Analiz sonucu elde edilen verilere göre Şekil 4.3'te farklı giriş basınçlarında (10, 8, 6, 4, 2 bar) vanalardan geçen hacimsel debi miktarlarındaki değişim; (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık oranlarında olmak üzere 4 farklı grafikte gösterilmiştir. Hacimsel debinin en yüksek değeri 10 bar giriş basıncında %100 açıklık oranında 21,279 m³/s hacimsel debi değeriyle karesel sürgülü vanada gerçekleşmektedir. %100 açıklıkta tüm giriş basınçlarında kelebek vanadan geçen hacimsel debi miktarı konik vanadan fazla iken vanalardaki açıklık oranının düşmesiyle birlikte tüm giriş basınçlarında konik vanadan geçen hacimsel debi miktarı kelebek vanadan fazla olmaktadır. %25 açıklık oranında, tüm giriş basınçlarında kelebek vanadan geçen hacimsel debi miktarı karesel sürgülü vana ve konik vanadan geçen hacimsel debi miktarının neredeyse yarısına kadar düşmektedir. Bu durum kelebek vanadaki açıklık oranının düşmesiyle klape yapısının diğer vanalara daha fazla kayıp meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 3. (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık oranlarında vanalardaki giriş basıncı-hacimsel debi değişim grafiği

Şekil 4.4'te ise farklı giriş basınçlarında (10, 8, 6, 4, 2 bar) vanalarda meydana gelen basınç kayıpları (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık oranlarında olmak üzere 4 farklı grafikte gösterilmiştir. Grafiklere göre genel olarak tüm vanalarda, tüm açıklık oranlarında giriş basıncı arttıkça meydana gelen basınç farkının daha da arttığı

görülmektedir. Konik vanadaki basınç kayıpları %100 ve %75 vana açıklık oranlarında diğer vanalara göre daha yüksek iken %50 ve %25 vana açıklık oranlarında kelebek vanadaki basınç kaybının diğer vanalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle %25 açıklık oranında kelebek vanada meydana gelen basınç farkının, diğer vana tiplerine göre belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, kelebek vananın düşük açıklık oranlarında yüksek akış direnci oluşturması ve klape yapısının akışı daha fazla engelleyerek akış fiziğini etkilemesi ve türbülansı artırmasıyla ilişkilidir.



Şekil 4.4. (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık oranlarında vanalardaki giriş basıncı- basınç farkı değişim grafiği

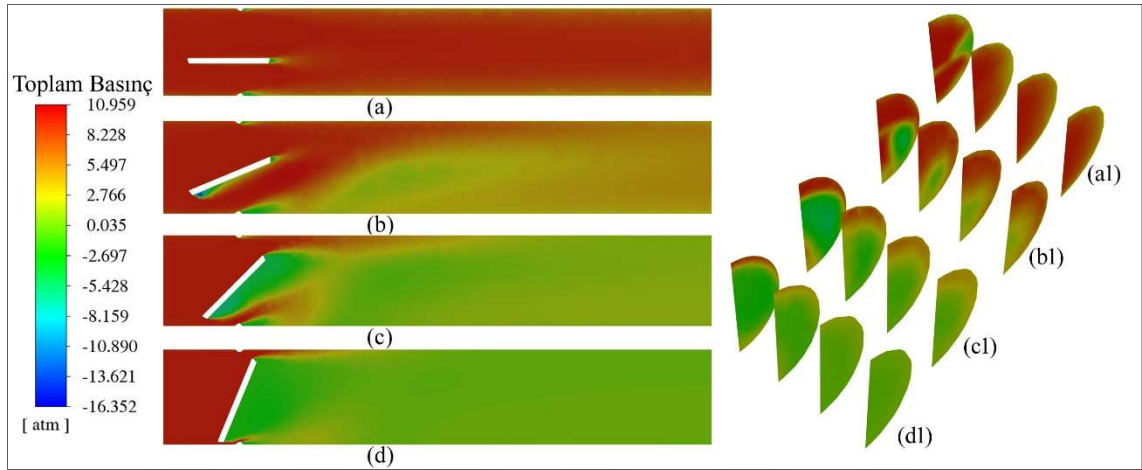
4.2. Basınç Dağılımının İncelenmesi

4.2.1. Kelebek vana basınç dağılımının incelenmesi

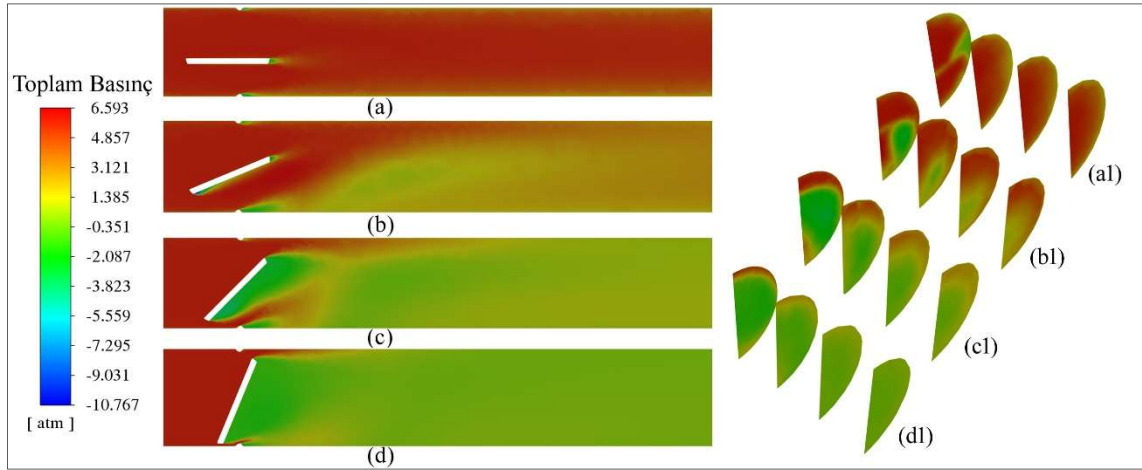
Şekil 4.5'te 10 bar giriş basıncında Şekil 4.6'da 6 bar giriş basıncında Şekil 4.7'de ise 2 bar giriş basıncında kelebek vanalarda meydana gelen basınç dağılımları kelebek vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir. (a1), (b1), (c1) ve (d1) kesitlerinde ise (a), (b), (c) ve (d) kesitleriyle gösterilen vanaların

klape oturma yüzeyi ekseninden itibaren 400 mm aralıklarla alınmış enine kesitlerdeki basınç dağılımı gösterilmektedir.

Basınç dağılımı incelendiğinde, kelebek vananın %100 açıklık oranında (90° klape açısı), basıncın akış alanında homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Ancak, klappenin ve klape oturma yüzeyinin mansap ucunda basınç düşüşü görülmektedir. Özellikle (a1) grafiğinde, klape milinin bağlı olduğu bölgedeki basınç düşüşü belirgin olup, bu düşüş akışın lokal daralma ve yön değişimi nedeniyle oluşmaktadır.



Şekil 4. 5. 10 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı



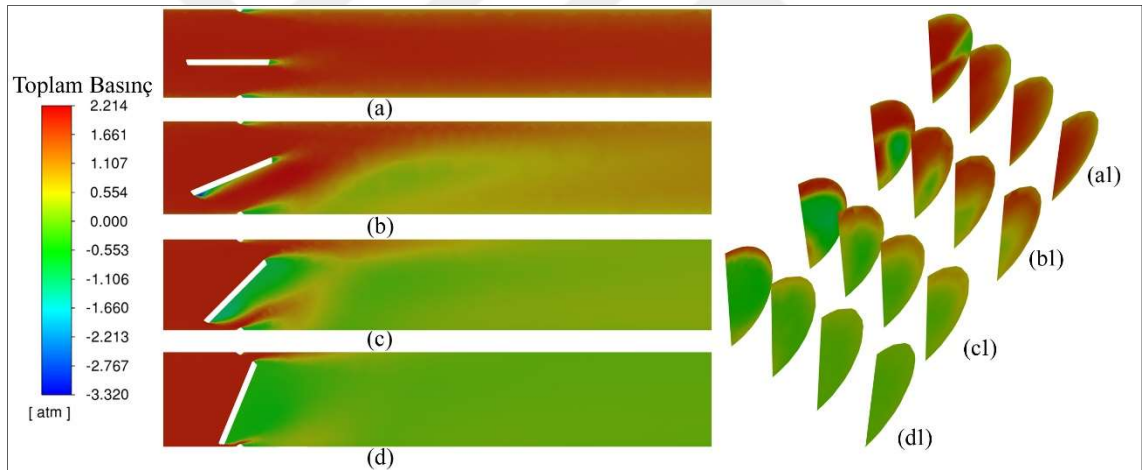
Şekil 4. 6. 6 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı

Kelebek vananın %75 açıklık oranında yani $67,5^\circ$ klape açısında, klape oturma yüzeyi mansabında, vana klapesinin mansap tarafında kalan ucunda ve klappenin memba ucunun aşağıya bakan yüzeyinde basınç düşüşleri görülmektedir. Ayrıca vananın klape

oturma alt yüzeyinin mansabında meydana gelen basınç düşüşündeki yoğunluk %100 açıklık durumuna göre artmaktadır. Bu bölgelerdeki negatif değerlerdeki düşük basınç bölgeleri kavitasyon riski olan bölgeler olmaktadır.

Kelebek vananın %50 açıklık durumunda yani 45° klape açısında klappenin mansap tarafındaki basınç düşüşündeki yoğunluk iyice artmaktadır. Bu bölgedeki düşük basınç klape alt ve üst tarafından geçen daha yüksek basınçtaki akışkanın etkisiyle bir boğum yapmaktadır. Klape arkasında -3 bar seviyelerindeki basınç düşüşleri yoğun kavitasyon bölgesi olmaktadır.

Kelebek vanadaki açıklık oranı %25'e düştüğünde yani $22,5^\circ$ klape açısında klappenin akış kesitini büyük oranda kapatmasının etkisiyle klape mansap yüzeyinde basınç düşüşü yoğunluğu artmaktadır. Genel olarak bakıldığında vana klape açıklık oranı düştükçe klape mansabındaki basınç düşmekte dolayısıyla giriş ve çıkıştaki basınç farkı artmaktadır.



Şekil 4.7. 2 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı

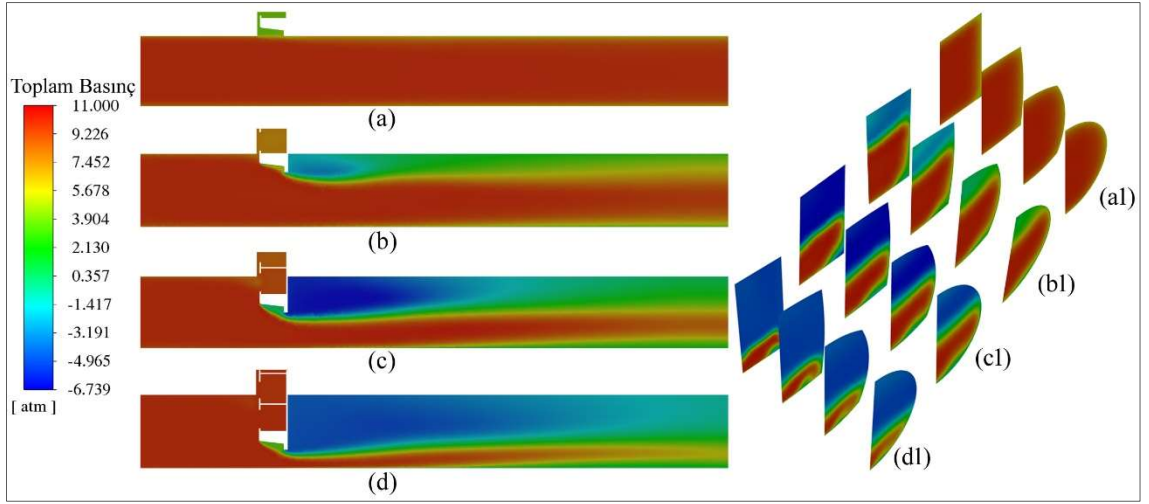
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sunulan 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki analizler incelendiğinde, basınç düşüşü profillerinin giriş basıncı ile doğru orantılı olarak değiştiği ancak dağılım karakteristiklerinin genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Yani, giriş basıncı arttıkça düşük basınç bölgeleri daha yoğun hale gelmekte, ancak basınç farklarının olduğu bölgeler aynı kalmaktadır. Bu analizler, kelebek vanaların düşük açıklık oranlarında, özellikle klape mansap bölgesinde önemli basınç kayıplarına neden olduğunu ve yüksek kavitasyon riski taşıdığını da göstermektedir.

4.2.2. Karesel sürgülü vana basınç dağılımının incelenmesi

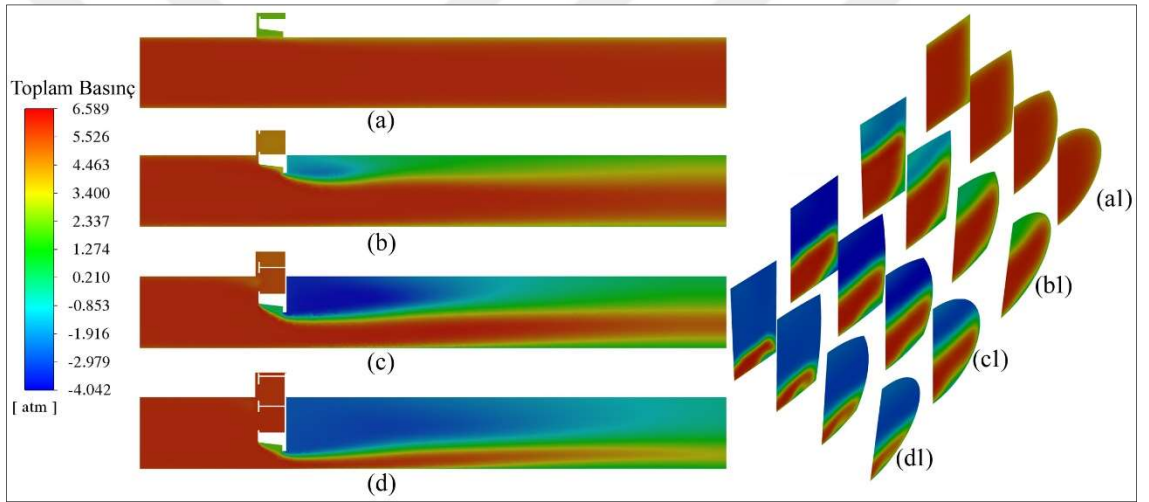
Karesel sürgülü vananın basınç dağılımı incelendiğinde, farklı giriş basınçlarında ve açıklık oranlarında meydana gelen değişimler detaylandırılmıştır. Şekil 4.8’de 10 bar giriş basıncında Şekil 4.9’da 6 bar giriş basıncında Şekil 4.10’da ise 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vanalarda meydana gelen basınç dağılımları karesel sürgülü vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir. (a1), (b1), (c1) ve (d1) kesitlerinde ise (a), (b), (c) ve (d) kesitleriyle gösterilen vanaların klape oturma yüzeyi ekseninden itibaren 400 mm aralıklarla alınmış enine kesitlerdeki basınç dağılımı gösterilmektedir. Grafiklerde gösterilen enine kesitlerdeki (a1, b1, c1, d1) geometrik farklılık vananın karesel kesitten bir geçiş (tranzisyon) yapısıyla dairesel kesite geçmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekillerdeki basınç dağılımları incelendiğinde karesel sürgülü vananın %100 açıklık durumunda basıncın akış alanında homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Ancak, akışın gerçekleşmediği klape yuvasının üst bölümünde belirgin bir basınç düşüşü meydana gelmektedir. Vanadaki açıklık oranı %75 seviyesine düşürüldüğünde, klappenin aşağıya bakan kısmında ve klape mansabında girdapların etkisiyle negatif basınç değerleri ortaya çıkmıştır. Ancak bu negatif basınç alanları, girdapların etkisinin azalmasıyla zamanla yok olmaktadır. Vananın %50 açıklık durumunda klappenin mansap tarafındaki girdapların etkisi daha belirgin hale gelmekte ve bunun sonucunda negatif basınç alanlarının artışı gözlemlenmektedir. Vananın açıklık oranı %25 seviyesine geldiği durumda ise vana klapesi mansap tarafında girdap oluşumları daha belirgin hale gelmekte ve negatif basınç yoğunluğu en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Bu bulgular, karesel sürgülü vananın açıklık oranına bağlı olarak basınç dağılımında önemli değişimler meydana geldiğini ve özellikle düşük açıklık seviyelerinde girdap etkisinin negatif basınç oluşumunu artırdığını göstermektedir.

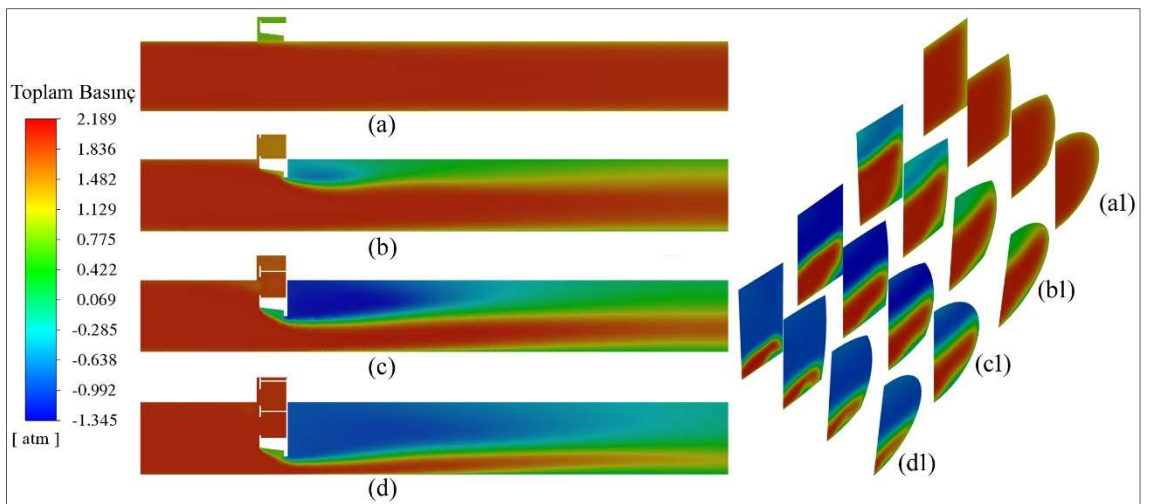
Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki basınç dağılımı grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir. Düşük açıklık oranlarında basınç düşüşlerinin daha belirgin hale geldiği, özellikle mansap tarafında türbülansın etkisinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 8. 10 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı



Şekil 4. 9. 6 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı

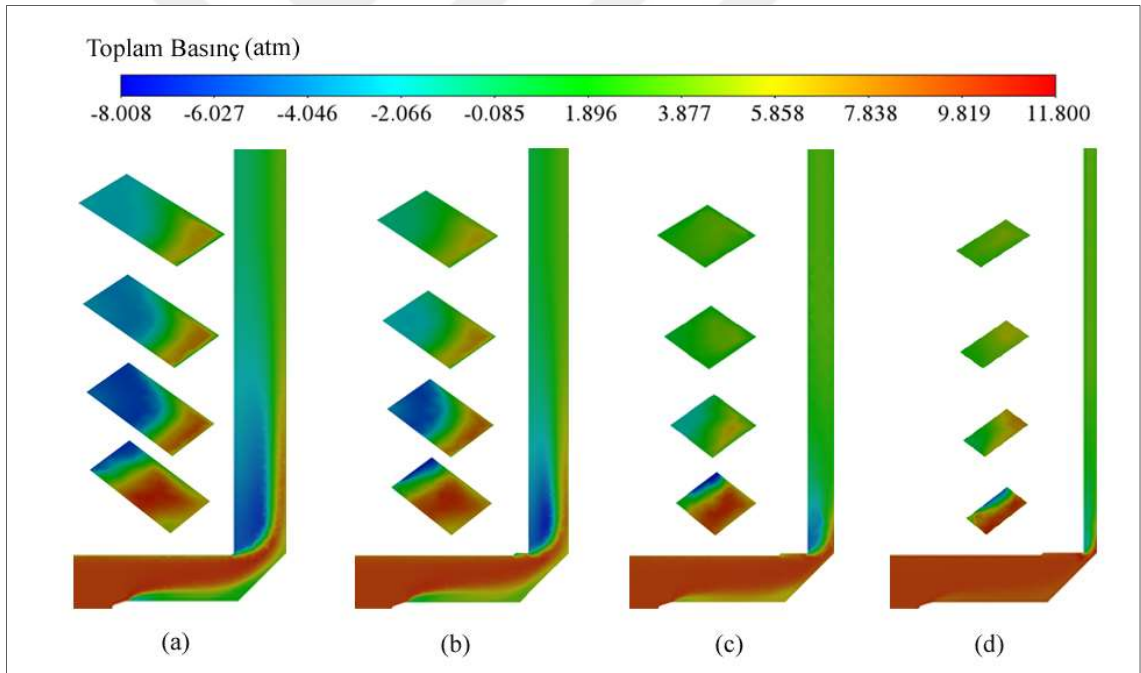


Şekil 4. 10. 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı

4.2.3. Konik vana basınç dağılımının incelenmesi

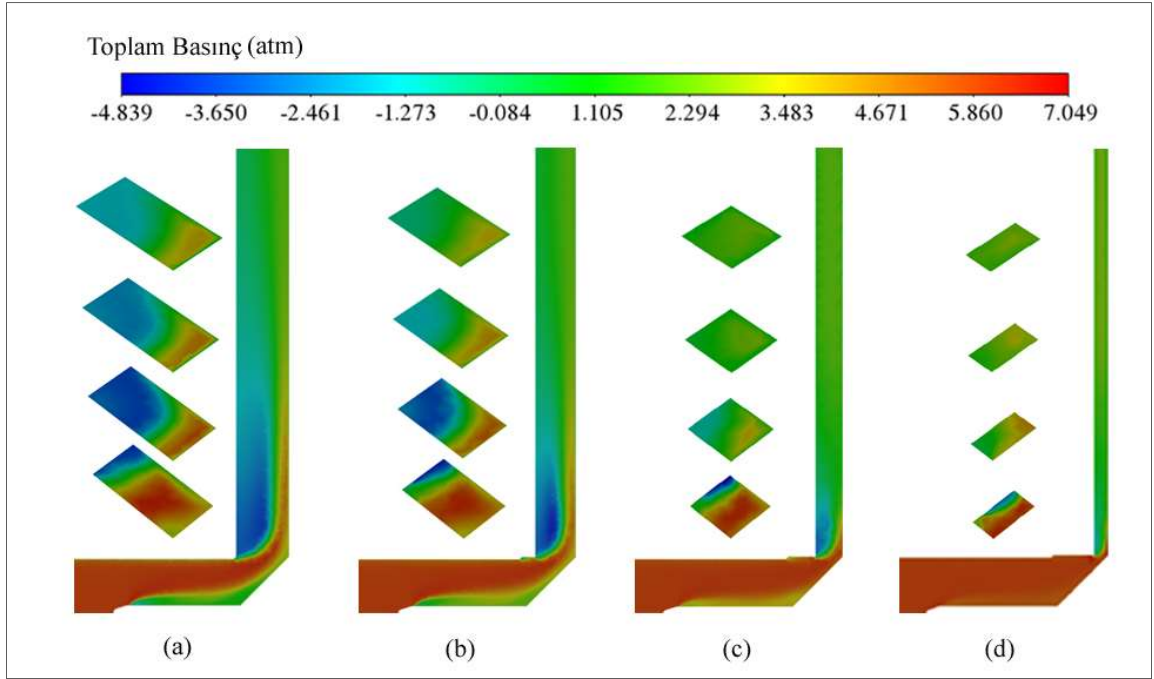
Şekil 4.11’de 10 bar, Şekil 4.12’de 6 bar ve Şekil 4.13’te 2 bar giriş basıncında konik vanada meydana gelen basınç dağılımları, farklı açıklık oranları için analiz edilmiştir. Konik vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için elde edilen sonuçlar görsellerde sunulmuştur. Grafiği sadeleştirmek amacıyla konik vana boyuna kesiti eksenden simetri yüzeyi alınarak gösterilmektedir. Ayrıca konik vana koni çıkış yüzeyinden itibaren 400 mm aralıklarla enine kesitler alınarak basınç dağılım detayları gösterilmektedir.

Şekillerdeki basınç dağılımları incelendiğinde; konik vananın %100 açıklık durumunda, vananın eksen mili çevresi ve vana çıkış konisi yüzeyinde basınç düşüşleri görülmektedir ve minimum 0,5 bar olmaktadır. Koni yüzeyinden çıkışta daha yüksek basıncın arkasında girdapların etkisiyle negatif basınçlar görülmektedir.

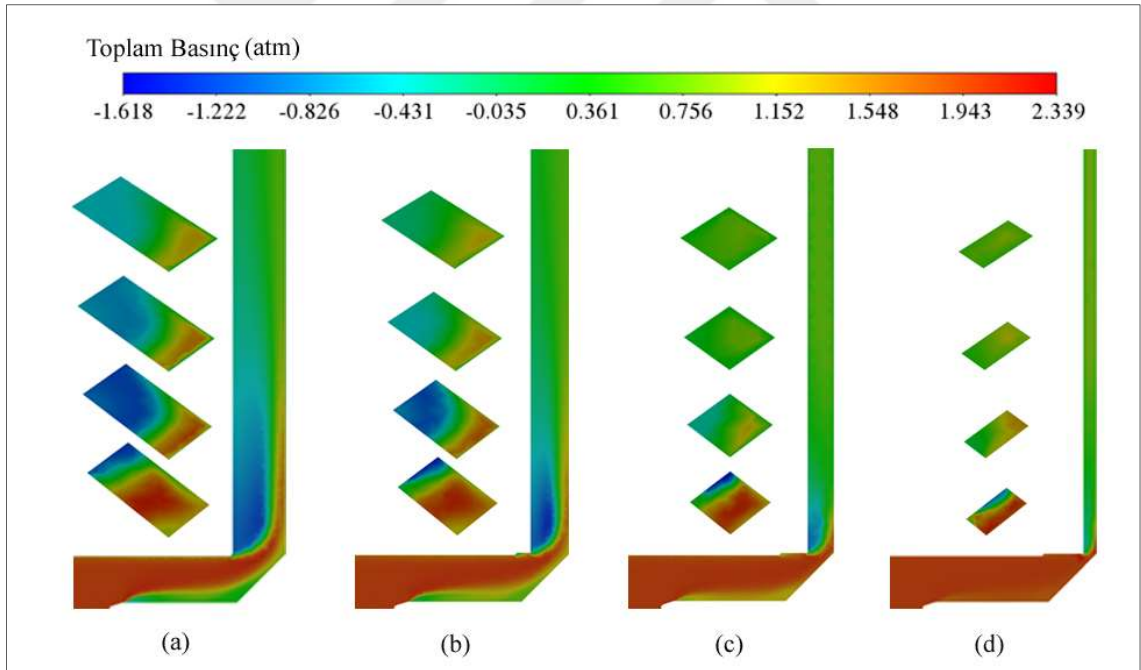


Şekil 4. 11. 10 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı

Konik vananın %75 açıklık durumunda; vananın eksen mili çevresinde ve koni yüzeyindeki basınç düşüşü minimum 1 bar olmaktadır. Koni yüzeyinden çıkıştaki negatif basınçlar giriş hız değerlerinin düşmesiyle %100 açıklık durumuna göre daha düşük yoğunlukta olmaktadır.



Şekil 4. 12. 6 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı



Şekil 4. 13. 2 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta toplam basınç dağılımı

Konik vanaanın %50 açıklık durumunda; vanaanın eksen mili çevresinde ve vana çıkış konisi yüzeyindeki düşük basınç yoğunluğu azalmakta %25 vana açıklık durumunda ise bu düşük basınç yoğunluğunun neredeyse yok olduğu görülmektedir. Bu yüzeylerdeki minimum toplam basınç %50 ve %25 açıklık durumları için sırasıyla 4 bar ve 8 bar

olmaktadır. Yine aynı şekilde vanaların açıklık oranının azalmasıyla birlikte akışın koni yüzeyinden çıktığı noktada azalan girdapların etkisiyle negatif basınçların yoğunluğu düşmektedir.

Grafiklerin genel değerlendirmesi sonucunda, giriş basıncının değişmesiyle birlikte basınç dağılımının ölçeklenebilir olduğu ve basınç değişiminin giriş basıncına bağlı olarak belirli bir doğrusal eğilim gösterdiği görülmektedir. Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki basınç dağılımı grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.

4.3. Hız Dağılımının İncelenmesi

4.3.1. Kelebek vana hız dağılımının incelenmesi

Şekil 4.14'te 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.15'te 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.16'da ise 2 bar giriş basıncında kelebek vanalarda meydana gelen hız dağılımları kelebek vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir.

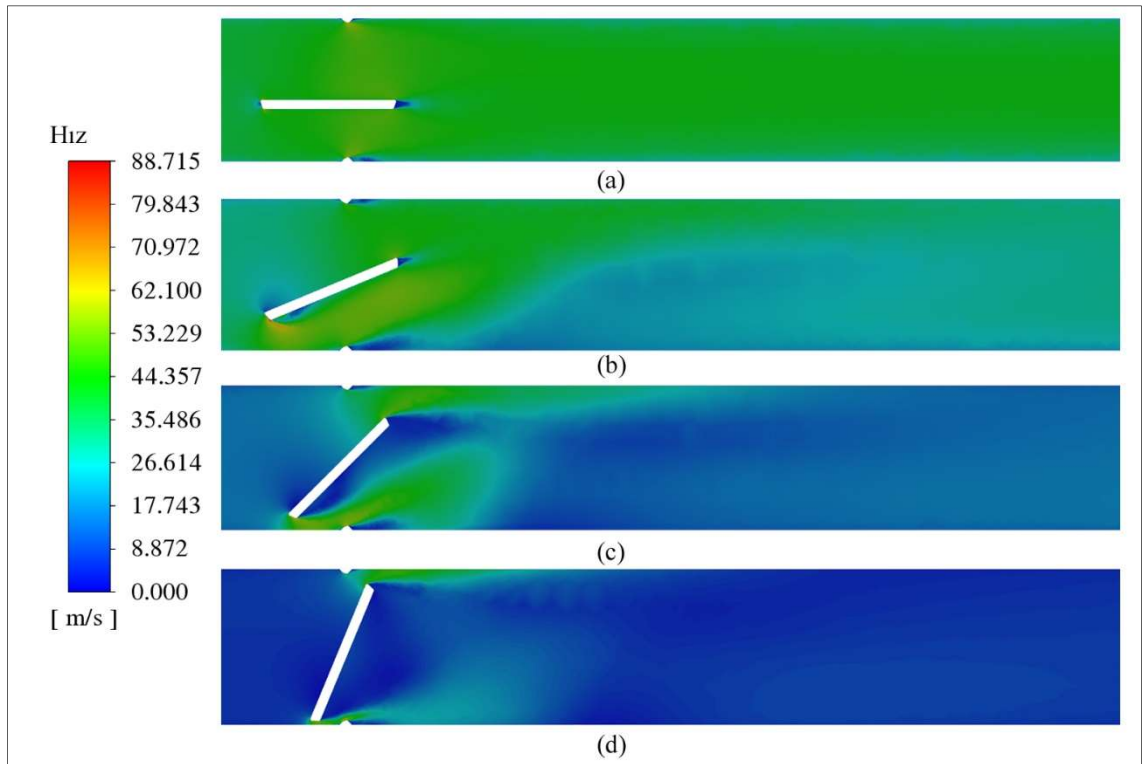
Şekillerdeki hız dağılımları incelendiğinde kelebek vananın %100 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında hızın akış alanında homojen olarak dağıldığı ve girişte hızın 40 m/s civarında olduğu görülmektedir. Klapa memba ucunda, daha yoğun olarak mansap ucunda ve klapa oturma yüzeyi mansabında hız düşüşlerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca klapa oturma yüzeyi ekseninde klapa yüzeyine doğru üçgen bir kesit boyunca daralan kesit nedeniyle maksimum 45 m/s değerindeki hız artışı olmaktadır. Akışın klapeyi terk etmesinden sonra hızların vana giriş bölgesine yakın hızlara döndüğü görülmektedir.

Kelebek vananın %75 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında hız girişte 32 m/s civarında olmaktadır. Klapa üst yüzeyine doğru girişten itibaren hızda düşüşün olduğu görülmektedir. Aynı şekilde klapa oturma yüzeyi mansap tarafında, klapa mansap yüzeyinde kısmen ve klapa memba ile mansap ucunda hız düşüşlerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca klappenin memba uç tarafının alt kısmında maksimum 80 m/s değerinde hız artışı meydana gelmektedir.

Kelebek vananın %50 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında girişte hız 17 m/s civarında olmaktadır. Klapa memba yüzeyine doğru hızın düşüş gösterdiği görülmektedir. Akışın klapa yüzeyini geçtiği kesitlerde akış kesitinde daralma nedeniyle

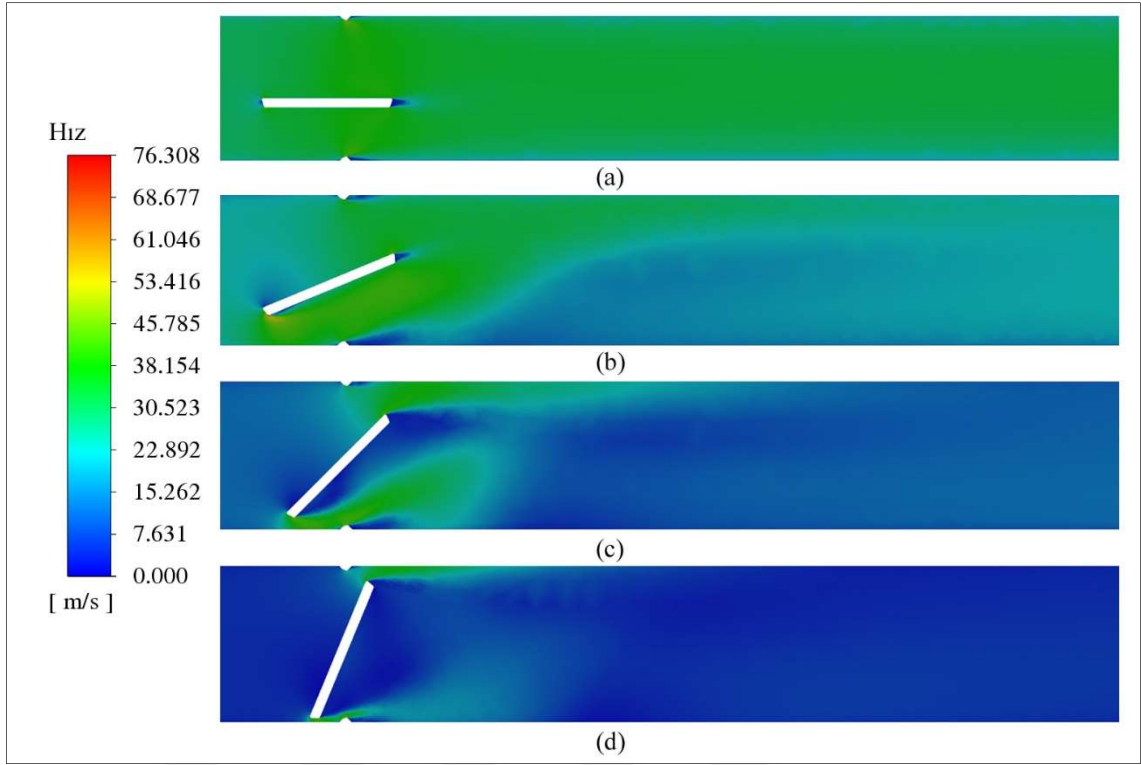
maksimumda 70 m/s değerindeki hızlarda artış olduğu görölmektedir. Klapе mansap yüzeyinde ve klapе oturma yüzeyi mansap tarafında minimumda 5 m/s değerinde hız düşüşlerinin olduğu görölmektedir.

Kelebek vananın %25 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında klapenin akışı neredeyse kapatması nedeniyle girişteki hızın 7 m/s civarına düştüğü görölmektedir. Klapenin alt ve üst kısımlarında akışın geçtiğı kesitlerde maksimum 60 m/s değerinde hızlarda artış meydana gelmektedir. Bu hızlardaki düzensizlikler belirli bir mesafeden sonra normale dönmekte ve homojen bir hız dağılımı görölmektedir.

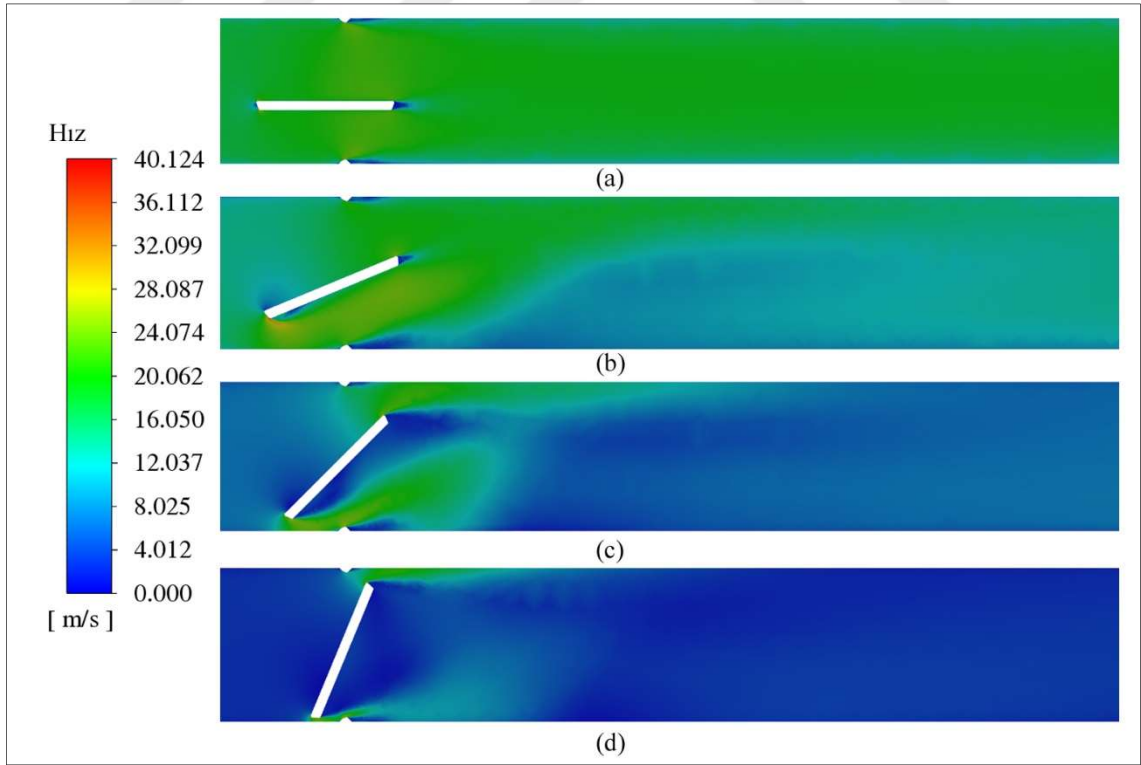


Şekil 4. 14. 10 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50, (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki hız dağılımı grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediğı görölmektedir.



Şekil 4. 15. 6 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı



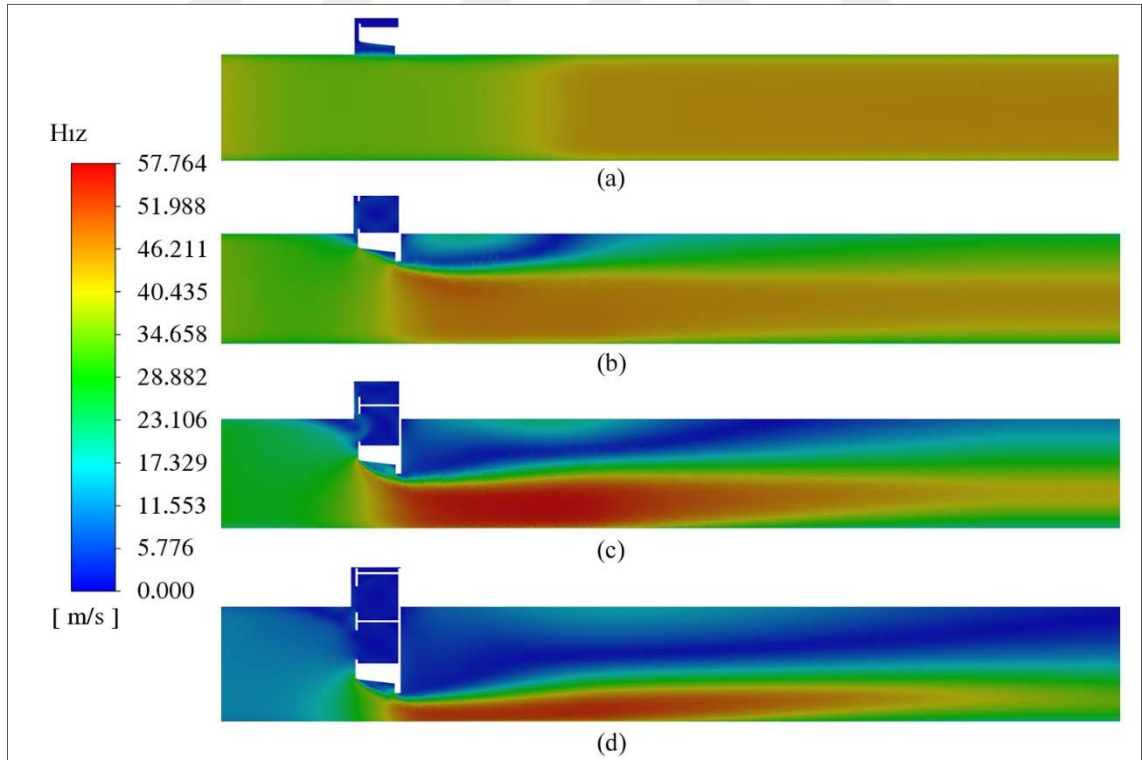
Şekil 4. 16. 2 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

4.3.2. Karesel sürgülü vana hız dağılımının incelenmesi

Şekil 4.17’de 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.18’de 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.19’da ise 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vanalarda meydana gelen hız dağılımları karesel sürgülü vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir.

Şekillerdeki hız dağılımları incelendiğinde karesel sürgülü vananın %100 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında girişte hızın 42 m/s civarında olduğu görülmektedir. Akış karesel kesite girdiğinde hızında 35 m/s değeriyle bir miktar düşüşün olduğu sonrasında dairesel kesite geçince hızın tekrardan yükseldiği görülmektedir.

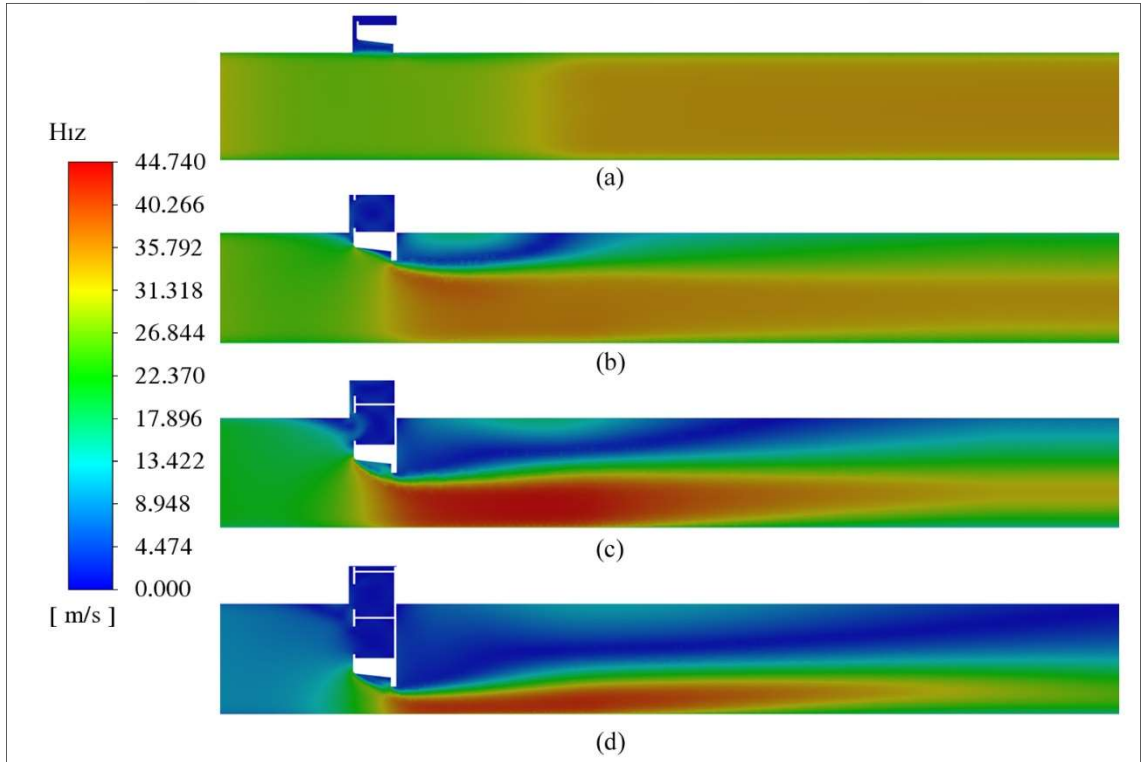
Karesel sürgülü vananın %75 açıklık konumunda 10 bar giriş basıncında giriş hızı 38 m/s civarında olmaktadır. Klappe altında akışın meydana geldiği daralan kesitte maksimum 48 m/s değeriyle hız artışı görülmektedir. Ayrıca klappenin arkasında oluşan girdapların etkisiyle, klappenin arkasında minimum 5 m/s değeriyle ani hız düşüşünün olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 17. 10 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

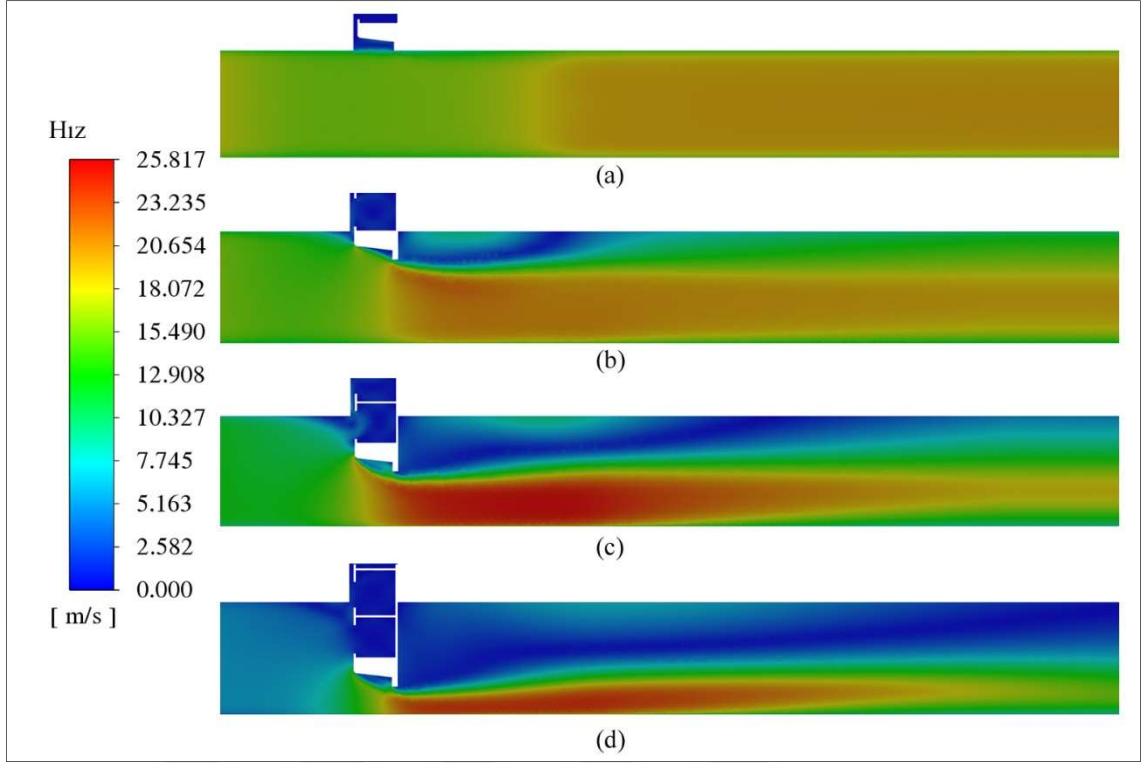
Karesel sürgülü vanaanın %50 açıklık konumunda, 10 bar giriş basıncında giriş hızı 39 m/s civarında olmaktadır. Klapе altında akışın meydana geldiği daralan kesitte maksimum 57 m/s değeriyle hız artışının yoğunlaştığı görülmektedir. Klapenin arkasında oluşan girdapların etkisinin artmasıyla klapenin mansap tarafında minimum 3 m/s değeriyle hız düşüşünün olduğu görülmektedir.

Karesel sürgülü vanaanın %25 açıklık konumunda, 10 bar giriş basıncında giriş hızı 14 m/s civarında olmaktadır. Klapе altında daralan kesitte, akıştaki maksimum 55 m/s değeriyle hız artışının yoğunlaştığı görülmektedir. Klapenin arkasında kalan bölgede girdapların etkisini iyice artırmasıyla minimum 2 m/s değeriyle hız düşüşlerinin etkisi de yoğunlaşmaktadır.



Şekil 4. 18. 6 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

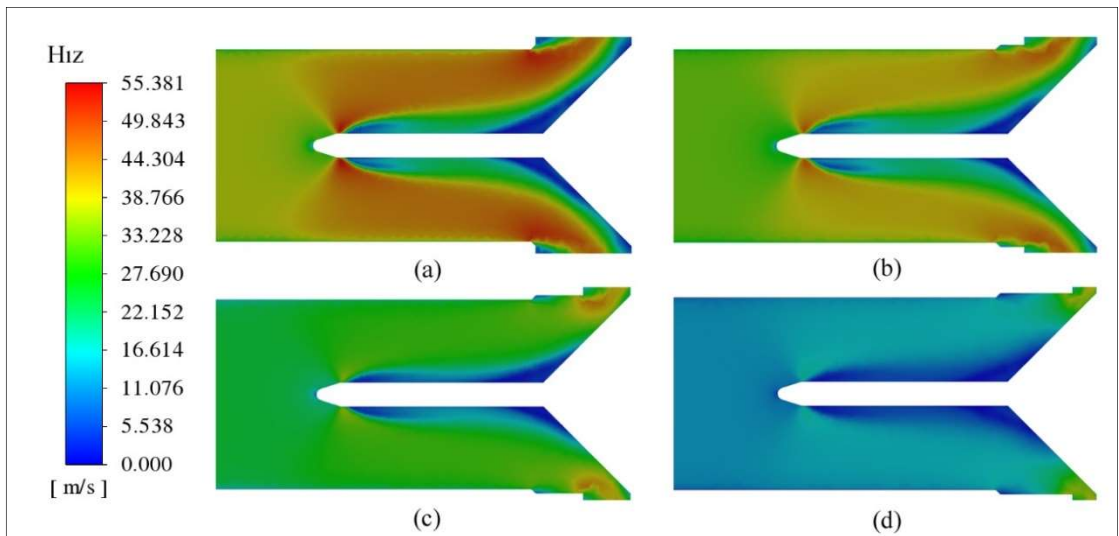
Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki hız dağılım grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.



Şekil 4. 19. 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

4.3.3. Konik vana hız dağılımının incelenmesi

Şekil 4.20’de 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.21’de 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.22’de ise 2 bar giriş basıncında konik vanalarda meydana gelen hız dağılımları, konik vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir.

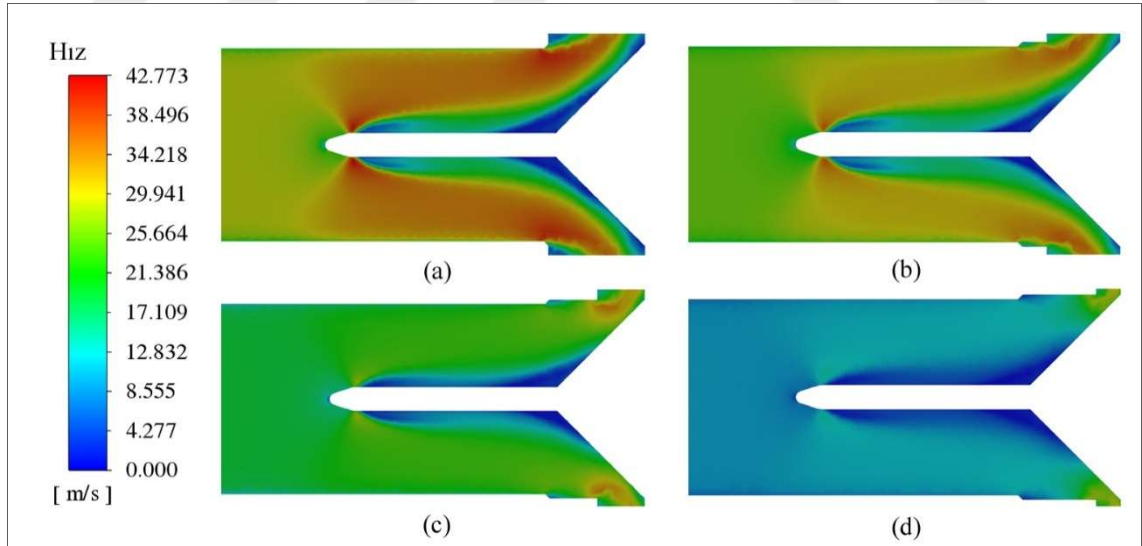


Şekil 4. 20. 10 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50, ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

Şekillerdeki hız dağılımları incelendiğinde konik vananın %100 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında girişte hız 37 m/s civarında olmaktadır. Akışın eksen milinin üzerinden çıkışa doğru geçişinde hızının maksimum 52 m/s değeriyle yoğun şekilde arttığı görülmektedir. Vana eksen mili çevresinde ve daha yoğun olarak çıkış koni yüzeyinde girdapların etkisiyle minimum 2 m/s değeriyle ani hız düşüşlerinin olduğu görülmektedir.

Konik vananın %75 açıklık durumunda ise giriş hızı 32 m/s civarında olmaktadır. %100 açıklıktaki hız dağılımına benzer şekilde akışın eksen milinin üzerinden çıkışa doğru geçişinde maksimum 48 m/s değeriyle hızda artışlar meydana gelmektedir. Eksen miline yakın bölgelerde ve çıkış koni yüzeyinde girdapların etkisiyle minimum 2 m/s değeriyle ani hız düşüşleri görülmektedir.

Konik vananın %50 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında hızın 25 m/s değerine düşmesiyle birlikte akışın eksen mili üzerindeki hız artışları daha az yoğunlukta olmaktadır. Ancak çıkışta kesitin daralmasıyla hız artışı etkisi maksimum 45 m/s değeriyle görülmektedir. Ayrıca eksen mili çevresinde girdapların etkisinin arttığı dolayısıyla çıkış koni yüzeyinde minimum 3 m/s değeriyle hız düşüşlerinin olduğu görülmektedir.

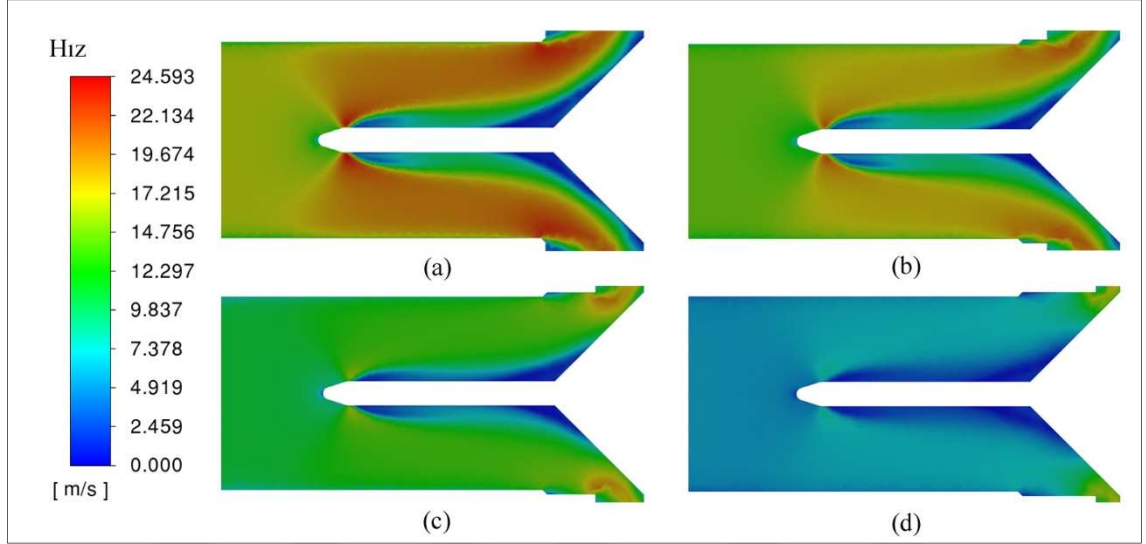


Şekil 4. 21. 6 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

Konik vananın %25 açıklık durumunda, 10 bar giriş basıncında hızın iyice düştüğü ve 13 m/s değerinde olduğu görülmektedir. Eksen mili çevresindeki akıştaki girdapların etkisi yoğunluğunu iyice artırmakta ve çıkış koni yüzeyine doğru minimum 2

m/s değeriyle hız düşüşleri yoğun şekilde görülmektedir. Ayrıca akışın çıkıştaki bölgesinde kesitin iyice daralmasından dolayı maksimum 38 m/s değeriyle hız artışının olduğu görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki hız dağılım grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.



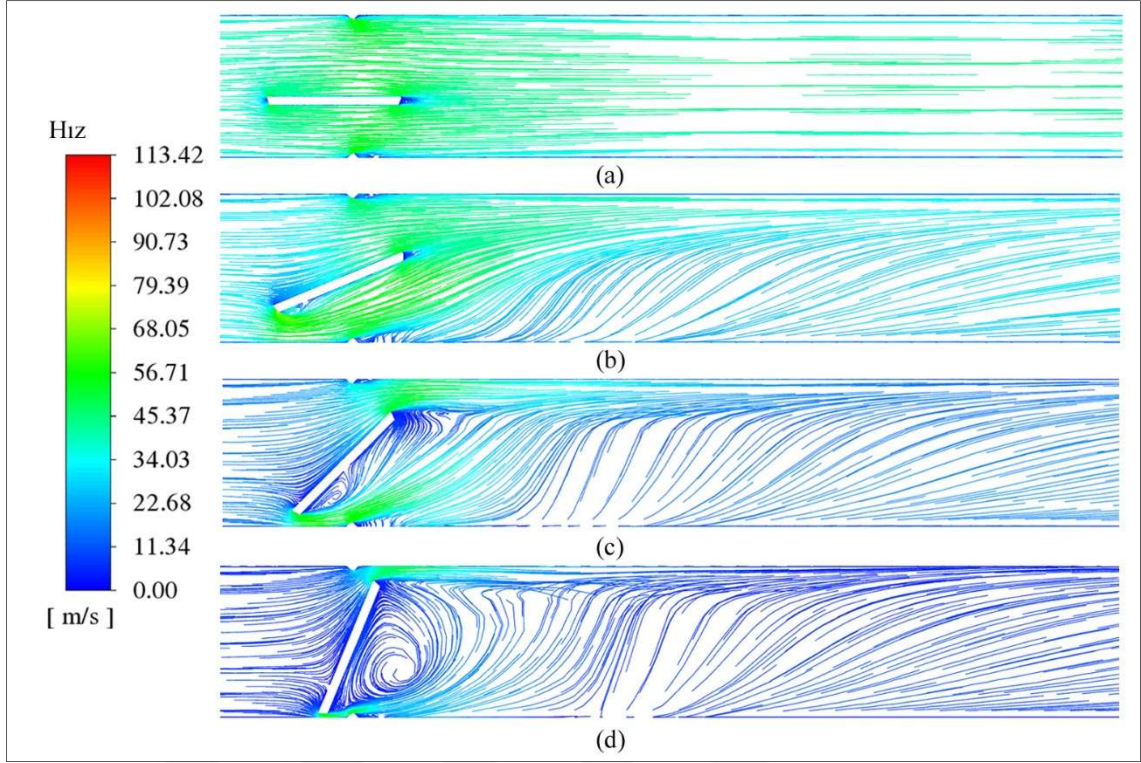
Şekil 4. 22. 2 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta hız dağılımı

4.4. Akım Çizgilerinin İncelenmesi

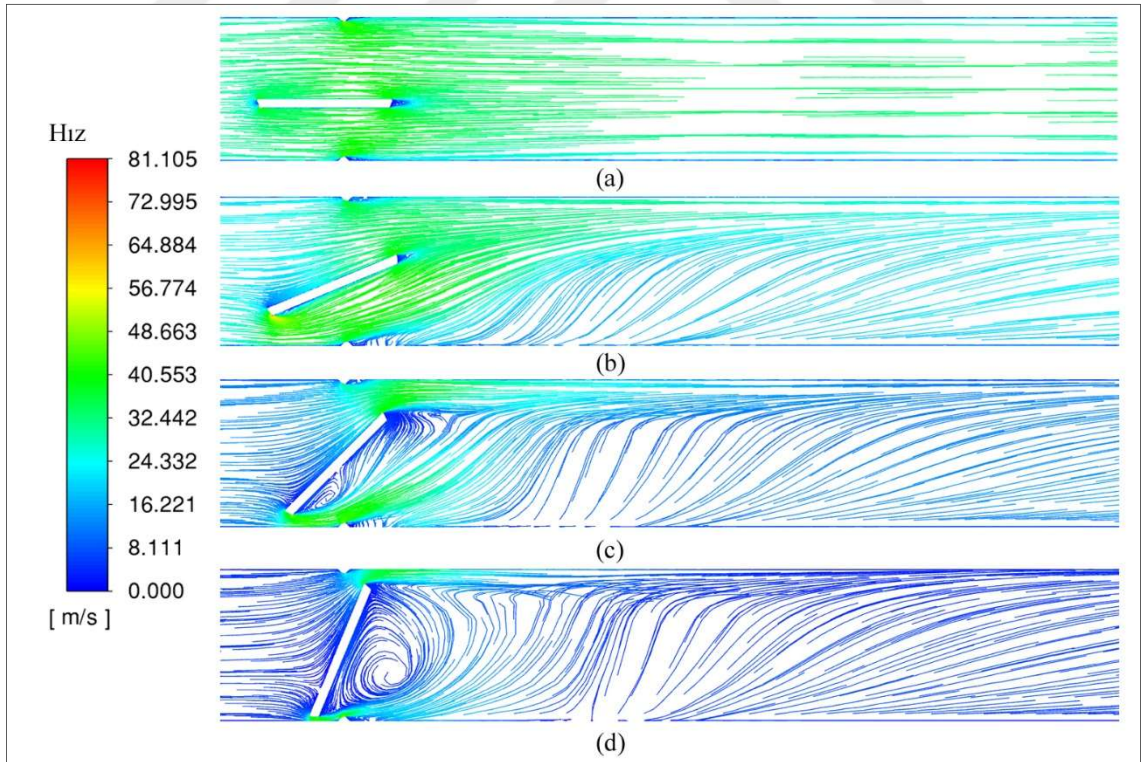
4.4.1. Kelebek vana akım çizgilerinin incelenmesi

Şekil 4.23'te 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.24'te 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.25'te ise 2 bar giriş basıncında kelebek vanalarda meydana gelen akım çizgileri, kelebek vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir. Akım çizgileri sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın belirli bir kesitteki hareketini görselleştiren, akışkanın her noktadaki hız vektörlerini temsil eden ve akışkanın nasıl hareket ettiğini anlamamıza yardımcı olan önemli bir analiz aracıdır.

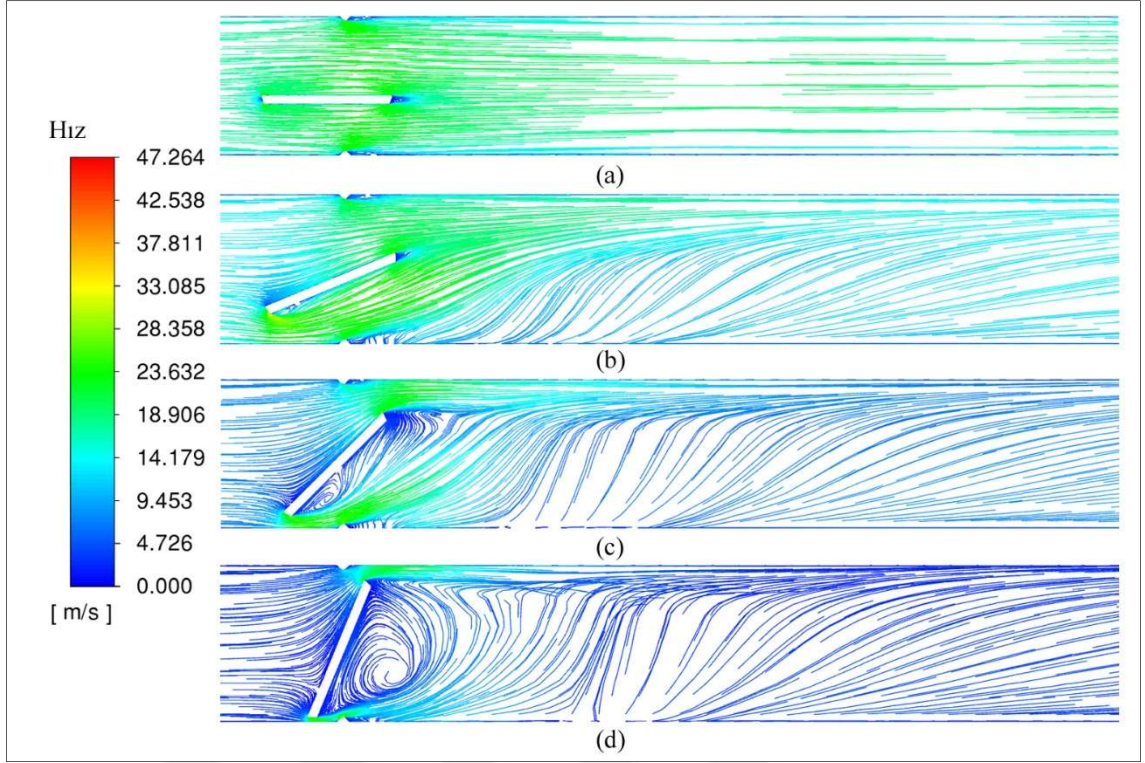
Şekillerdeki akım çizgileri incelendiğinde kelebek vananın %100 açıklık durumunda akım çizgilerinin oldukça doğrusal olduğu görülmektedir. Klape bölgesinde kesitin bir miktar daralması sonucunda hızların artmasıyla akım çizgileri yoğunluğunda da artış olmaktadır. Ayrıca klape memba ile mansap uçlarında ve klape oturma yüzeyi mansabında hızdaki düzensizlikler nedeniyle küçük girdapların olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 23. 10 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri



Şekil 4. 24. 6 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri



Şekil 4. 25. 2 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri

Kelebek vananın %75 açıklık konumuna geldiği durumda, klappenin yatay eksenle yaptığı $22,5^\circ$ açısı nedeniyle klape altında ve üstünde daralan kesitte hız artışı meydana gelmektedir. Bu hız artışından dolayı akım çizgileri yoğunluğu klape profili boyunca artmaktadır. Bu profilin altında kalan kısmında ise akım çizgilerinde bükülmelerin meydana geldiği ve bu düzensizliklerin belirli bir mesafeden sonra doğrusal hale gelerek etkisini kaybettiği görülmektedir. Ayrıca klape memba ile mansap uçlarında ve klape oturma yüzeyi mansabında ani hız değişimlerinden kaynaklı küçük girdapların olduğu görülmektedir.

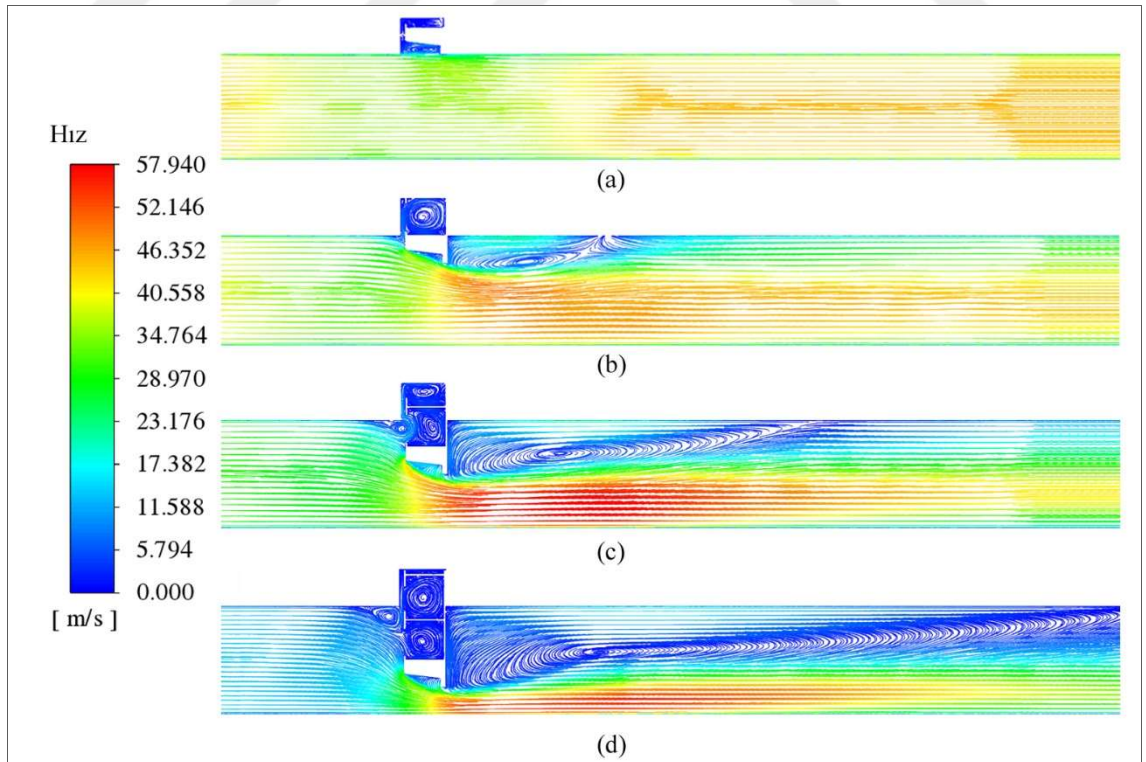
Kelebek vananın %50 açıklık durumuna geldiği durumda, klappenin yatay eksenle yaptığı açı 45° olmaktadır. Klappenin bu açısı nedeniyle akım çizgilerinin, klappenin üst ve altından daralmış kesitten hızı ve yoğunluğu artmış bir şekilde klappenin arka bölgesinde klapeye biraz daha uzak bölgede birleşmektedir. Bu birleşme sonrasında akım çizgileri doğrusal olmaktadır. Bu birleşim noktasının gerisinde yani klappenin hemen arkasında ani hız değişimleri nedeniyle girdaplar olmaktadır. Ayrıca akım çizgilerinin doğrusal hal almaya başladığı bölgenin altında akım çizgilerinde girdap olmaya meyilli bükülmelerin olduğu görülmektedir.

Kelebek vananın %25 açıklık konumuna geldiği durumda, klappenin yatay eksenle yaptığı açı $67,5^\circ$ olmaktadır. Klappe ile vana cidarı arasında kalan dar bir kesitten geçen akışkanın hızı ve akım çizgilerindeki yoğunluğu artmaktadır. Klappenin üst tarafından geçen akışa ait doğrusal akım çizgileri ile klappenin altından geçen yay profilindeki akışa ait akım çizgileri klappenin mansap tarafına kısmen uzak bir yerde birleşerek doğrusal olmaktadır. Klappenin hemen arkasında ise ani hız değişimi nedeniyle yoğun şekilde girdaplar görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki akım çizgileri grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.

4.4.2. Karesel sürgülü vana akım çizgilerinin incelenmesi

Şekil 4.26'da 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.27'de 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.28'de ise 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vanalarda meydana gelen akım çizgileri, karesel sürgülü vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir.



Şekil 4. 26. 10 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri

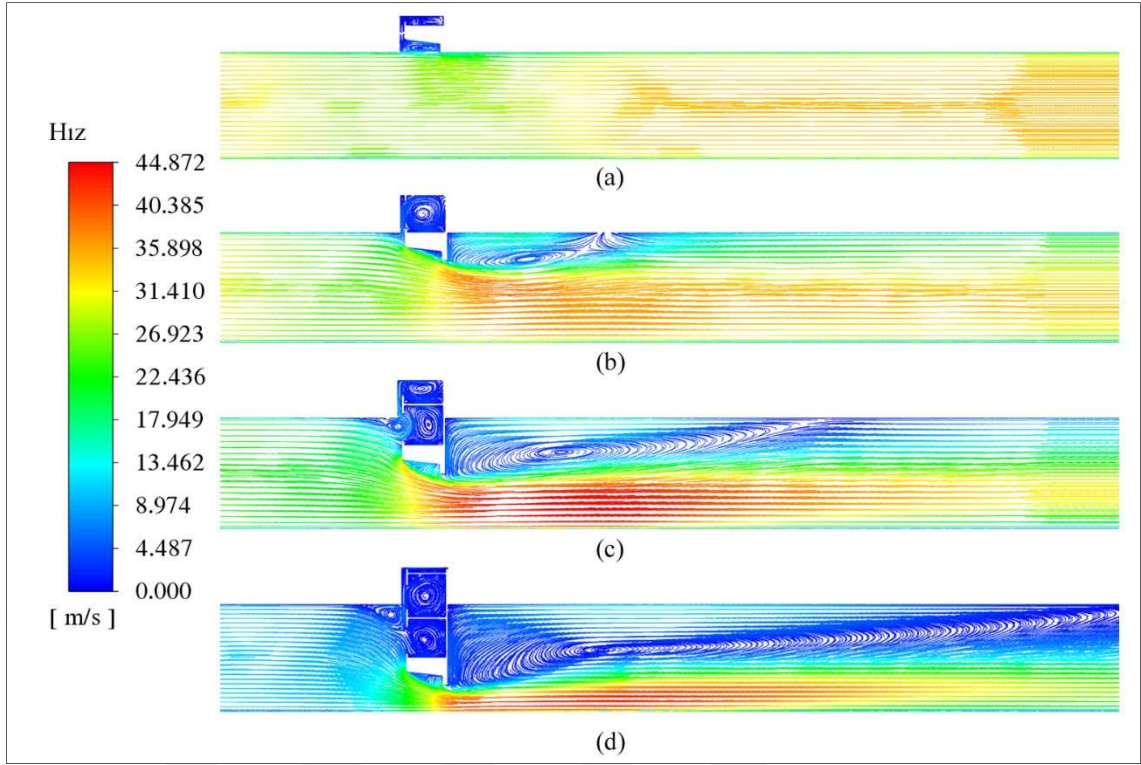
Şekillerdeki akım çizgileri incelendiğinde karesel sürgülü vananın %100 açıklık durumunda akım çizgileri doğrusal olmaktadır. Vananın karesel kesitinden dairesel kesite geçtiği bölümden itibaren hızların büyüklüğü ve akım çizgilerin yoğunluğunda bir miktar artış olduğu görülmektedir. Klapenin bulunduğu yuvada ise akış hızındaki ani değişiklikler nedeniyle küçük girdaplar meydana gelmektedir.

Karesel sürgülü vananın %75 açıklık durumunda, akışın olduğu klapenin altındaki kesitte daralmadan dolayı hız büyüklüğünde ve akım çizgilerinin yoğunluğunda artış olmaktadır. Klapenin alt tarafını süpürerek yay profili çizen akış doğrusal olmaktadır. Klapenin hemen arkasındaki akış, hızdaki ani değişiklikler nedeniyle girdaplar oluşturmaktadır. Oluşan bu girdapların kısa sürede etkisini kaybetmesiyle akış doğrusal bir profil çizmektedir. Ayrıca klapenin üst yuvasında ve klapenin yatay ve dikey kirişlerinin arasında kalan bölgede hızdaki düzensizlikler nedeniyle küçük girdaplar görülmektedir.

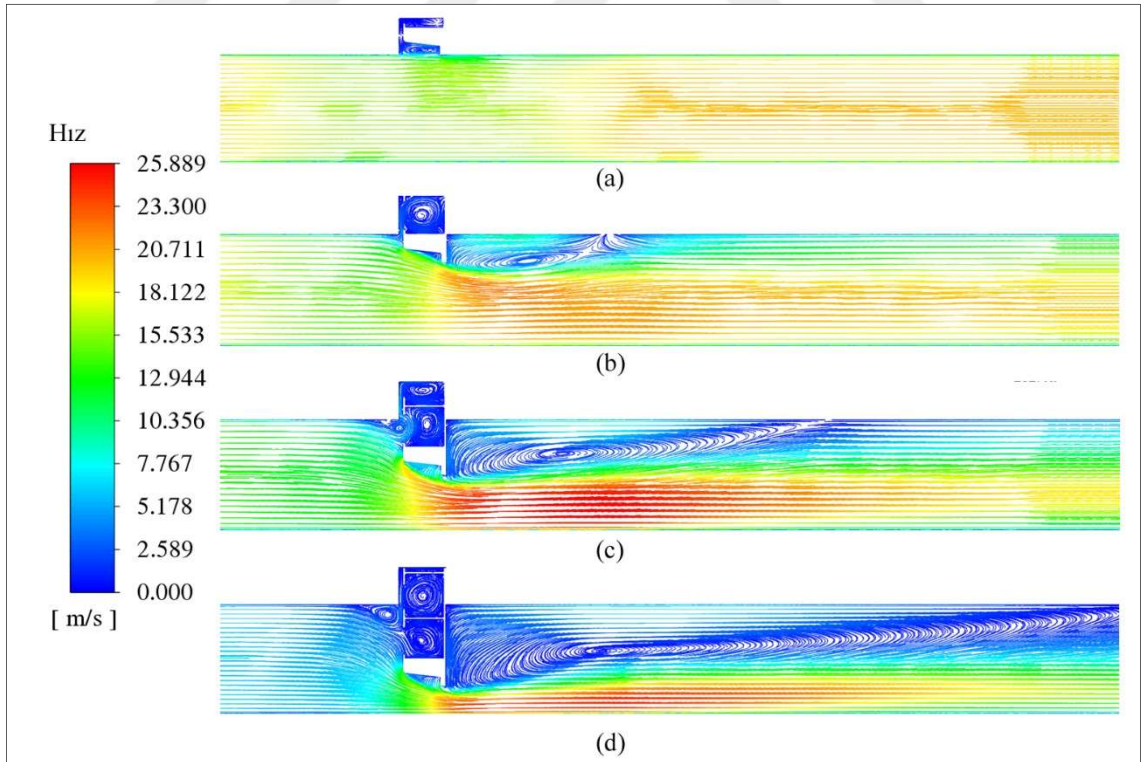
Karesel sürgülü vananın %50 açıklık durumunda ise akışın olduğu klapenin altındaki daralan kesitteki hız büyüklüğü ve akım çizgilerinin yoğunluğu daha da artmaktadır. Klapenin alt tarafını süpürerek yay profilini çizen akış, belirli bir mesafeden sonra hız artışıdaki ve akım çizgileri yoğunluğundaki etkisini kaybederek doğrusal devam etmektedir. Hızdaki düzensizlikler klapenin hemen mansabında girdaplar üretmektedir. Dolayısıyla bu bölgede ani hız düşüşleri olmakta, girdapların ve hız düşüşlerinin etkisi belirli bir mesafe sonra azalmaktadır. Diğer açıklık oranlarında olduğu gibi klapenin üst yuvasında ve klapenin yatay ve dikey kirişleri arasında girdapların olduğu görülmektedir.

Karesel sürgülü vananın %25 açıklık durumunda ise; klapenin altındaki daralan kesitteki akış, klapenin memba tarafından itibaren klapenin altını süpürerek bir yay profili çizmektedir. Bu bölgede hızın büyüklüğü ve akım çizgilerinin yoğunluğunda artış olmaktadır. Bu açıklık oranında klapenin hemen arkasında hızların ani değişikliği ile meydana gelen girdapların yoğunluğu artmaktadır. Klapenin üst yuvasında ve klapenin yatay ve dikey kirişleri arasında kalan bölgelerde küçük girdaplar bu açıklık oranında da görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki akım çizgileri grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.



Şekil 4. 27. 6 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri

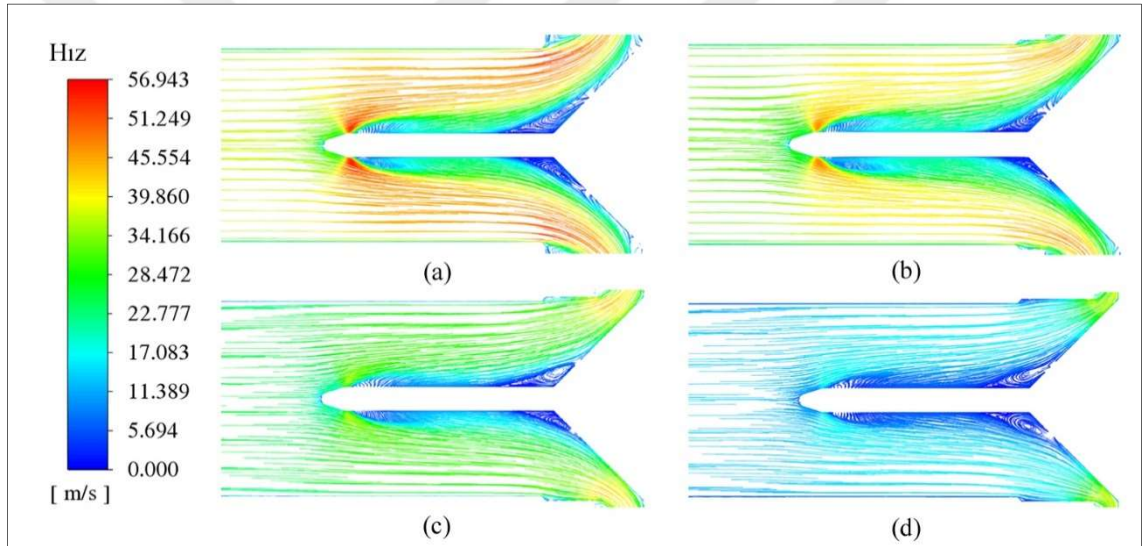


Şekil 4. 28. 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri

4.4.3. Konik vana akım çizgilerinin incelenmesi

Şekil 4.29'da 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.30'da 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.31'de ise 2 bar giriş basıncında konik vanalarda meydana gelen akım çizgileri, konik vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir.

Şekillerdeki akım çizgileri incelendiğinde konik vananın %100 açıklık durumunda, akışın olduğu eksen milinin çevresinden çıkışa kadar olan kesitte daralmanın olması nedeniyle akım çizgilerinin yoğunluğunda ve hızların büyüklüğünde artış olmaktadır. Ancak vana eksen milinden çıkış koni yüzeyine doğru olan bölgelerde kısmi girdapların ve hız düşüşlerinin olduğu görülmektedir.

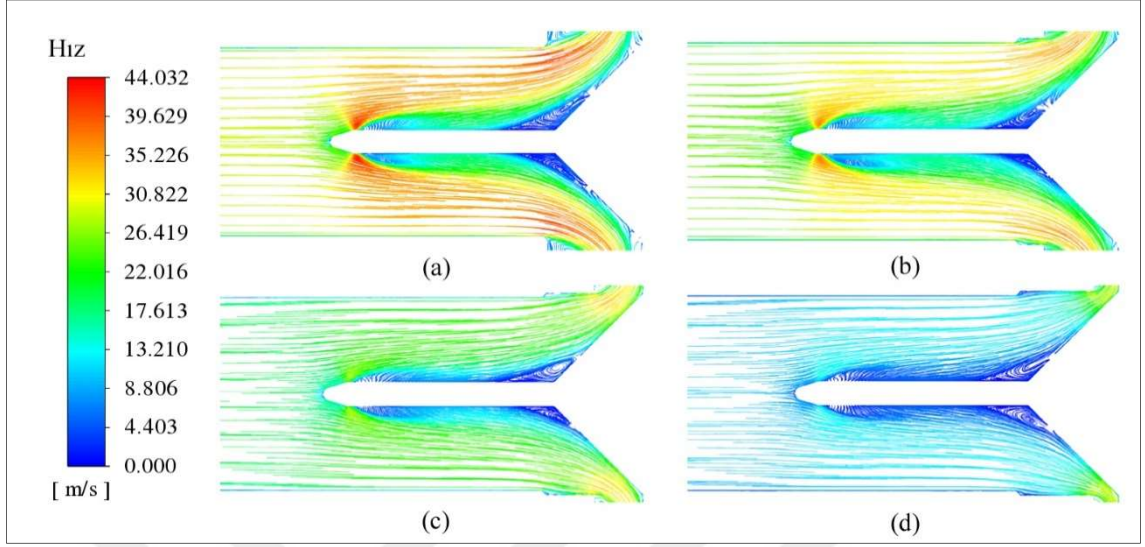


Şekil 4. 29. 10 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri

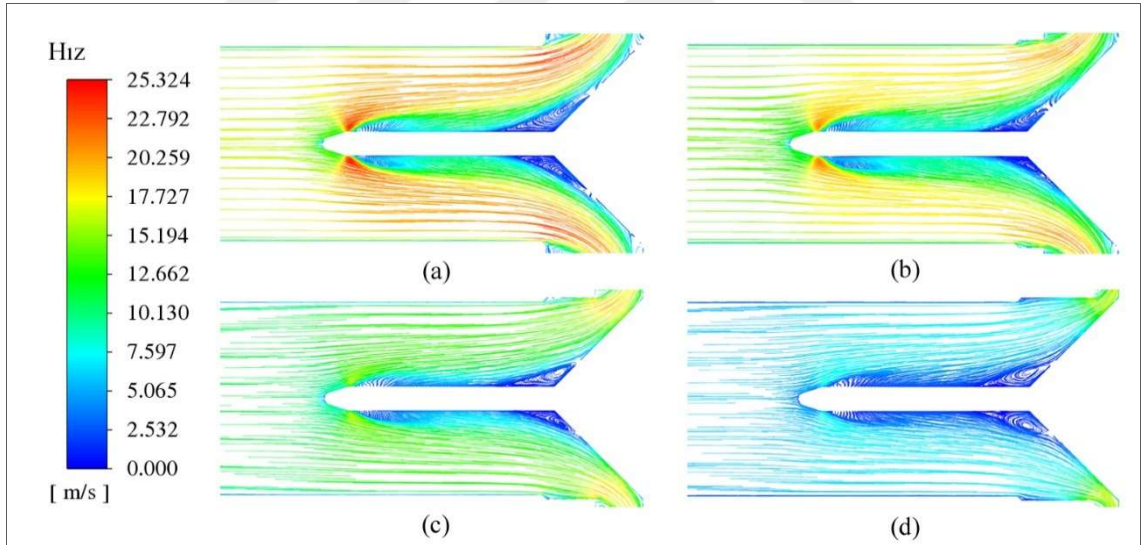
Konik vana %75 açıklık durumunda ise girişteki hız %100 açıklık durumuna göre bir miktar düşmektedir. Bundan dolayı vana eksen mili çevresinden çıkışa doğru olan daralan kesitte akışa ait akım çizgilerinin yoğunluğunda ve hızların büyüklüğündeki artış daha az olmaktadır. Vana eksen mili çevresinden çıkış koni yüzeyine doğru bölgelerdeki kısmi girdaplar ve hız düşüşleri bir miktar artmış şekilde görülmektedir.

Konik vananın %50 açıklık durumunda ise girişteki hızların daha da düşmesiyle vana eksen milinden çıkışa doğru olan daralan kesitteki akışa ait akım çizgilerinin yoğunluğunda ve hızların büyüklüğündeki artışta düşüş meydana gelmektedir. Ancak vana eksen mili çevresinden koni yüzeyine doğru bölgelerdeki girdapların yoğunluğunda

ve hız düşüşlerinde artış görülmektedir. Ayrıca kesit daralmasından dolayı çıkış bölgesindeki hız büyüklüğünde ve akım çizgilerinin yoğunluğunda artış görülmektedir.



Şekil 4. 30. 6 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri



Şekil 4. 31. 2 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta akım çizgileri

Konik vananın %25 açıklık konumunda ise diğer açıklık durumlarına göre girişteki hız daha düşük olmaktadır. Bundan dolayı vana mili ekseninden çıkışa kadar olan kesitte akım çizgileri daha doğrusal ve hız büyüklüklerindeki değişim azdır. Ancak vana eksen mili yüzeyinden çıkış koni yüzeyine doğru bölgelerdeki girdapların yoğunluğu ve hız büyüklüğündeki düşüşler artmaktadır. Kesit daralmasından dolayı çıkış bölgesindeki hız büyüklüğünde ve akım çizgilerinin yoğunluğunda artış görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki akım çizgileri grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.

4.5. Türbülans Kinetik Enerjisi Dağılımının İncelenmesi

4.5.1. Kelebek vana türbülans kinetik enerjisi dağılımının incelenmesi

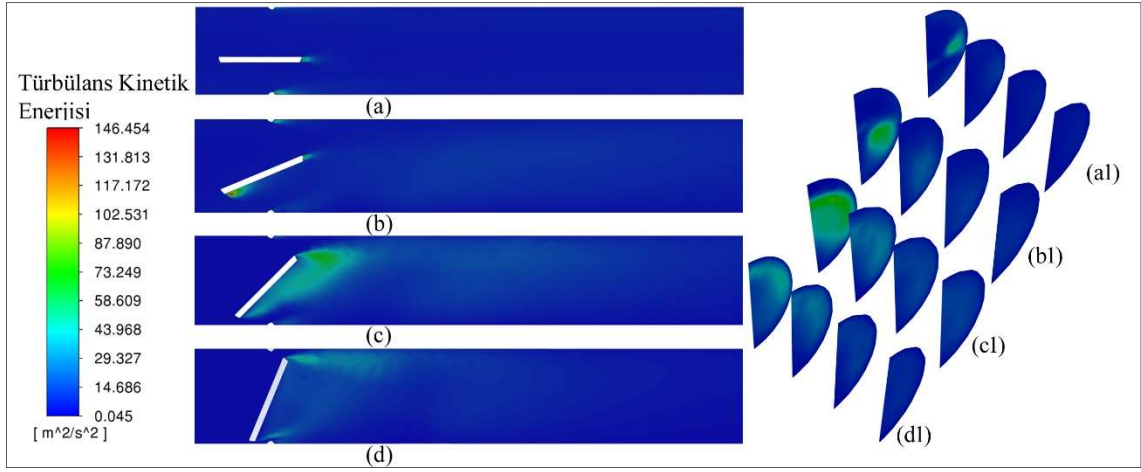
Şekil 4.32’de 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.33’te 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.34’te ise 2 bar giriş basıncında kelebek vanalarda meydana gelen türbülans kinetik enerjisi dağılımı, kelebek vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir. (a1), (b1), (c1) ve (d1) kesitlerinde ise (a), (b), (c) ve (d) kesitleriyle gösterilen vanaların klape oturma yüzeyi ekseninden itibaren 400 mm aralıklarla alınmış enine kesitlerdeki türbülans kinetik enerjisi dağılımı gösterilmektedir. Türbülans kinetik enerjisi akışın hızındaki düzensizliklerden dolayı düzensiz hareketlerin meydana getirdiği sistem üzerindeki kinetik enerjideki artış olarak tanımlanabilir.

Şekillerdeki türbülans kinetik enerjisi dağılımları incelendiğinde kelebek vananın %100 açıklık durumunda, türbülans kinetik enerjisindeki artış sadece klape mansap ucunda ve vana klapesi oturma yüzeyi mansap tarafında görülmektedir.

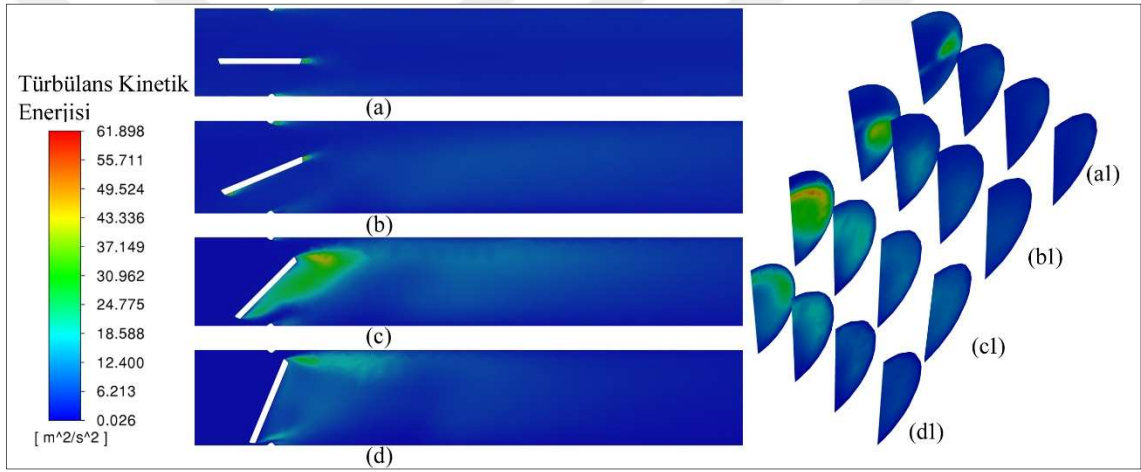
Kelebek vananın %75 açıklık konumunda ise türbülans kinetik enerjisi yoğunluğu, ani hız değişiklikleri nedeniyle klape mansap ucunda ve $146.454 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değeriyle maksimum seviyenin görüldüğü memba tarafı klape ucunun aşağıya bakan kısmındadır. (a1) grafiğinin ilk kesitinde görülen türbülans kinetik enerjisinin yoğunlaştığı bölge kelebek vana klape milinin bağlı olduğu yatak kısmının akış hızında düzensizlikler yaratmasından kaynaklanmaktadır.

Kelebek vananın %50 açıklık konumunda ise türbülans kinetik enerjisi, oluşan girdaplar nedeniyle klape oturma yüzeyi mansap tarafında ve maksimumda $74 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değeriyle yoğun bir şekilde klape arkasında meydana gelmektedir.

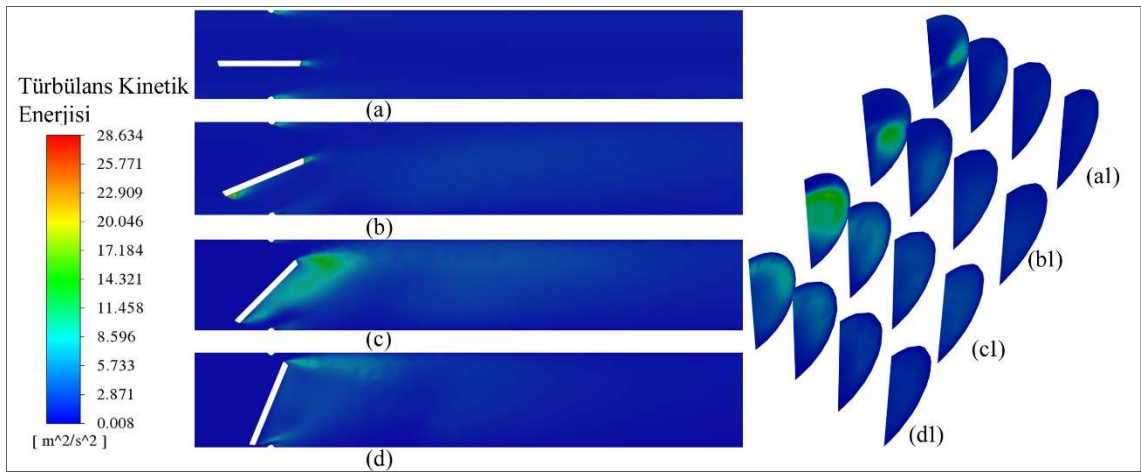
Kelebek vananın %25 açıklık konumunda türbülans kinetik enerjisi yoğunluğu maksimum $55 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değerinde daha çok hızların düzensiz bir şekilde değiştiği klape mansabı uçlarında ve girdapların meydana geldiği klape arkasında meydana gelmektedir.



Şekil 4. 32. 10 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı



Şekil 4. 33. 6 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı



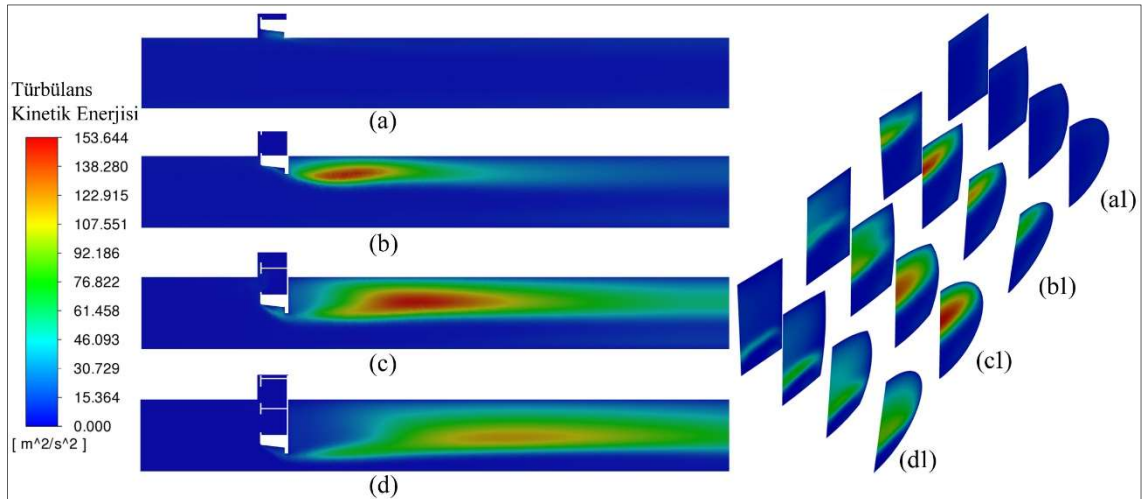
Şekil 4. 34. 2 bar giriş basıncında kelebek vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki türbülans kinetik enerjisi grafikleri, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.

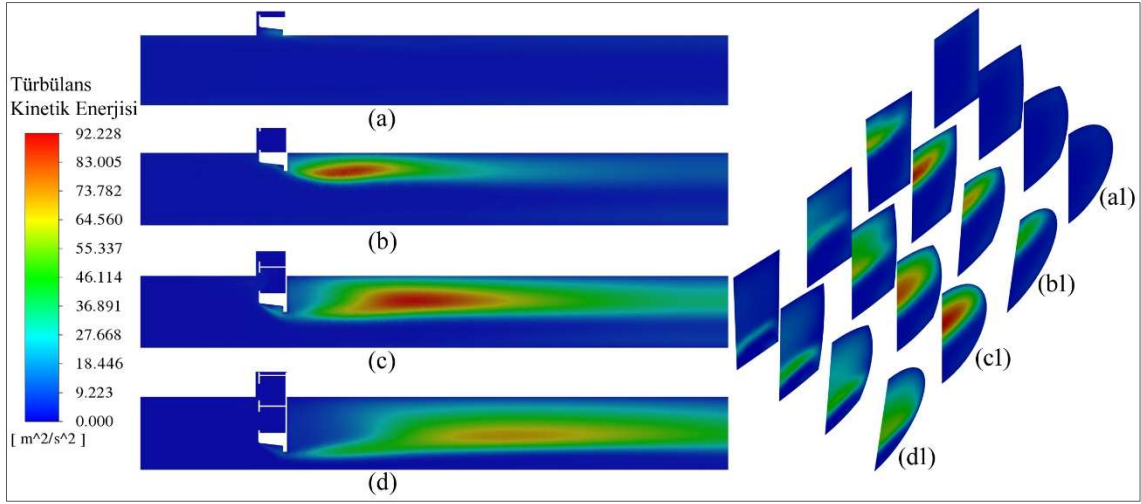
4.5.2. Karesel sürgülü vana türbülans kinetik enerjisi dağılımının incelenmesi

Şekil 4.35'te 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.36'da 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.37'de ise 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vanalarda meydana türbülans kinetik enerjisi dağılımı, karesel sürgülü vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir. (a1), (b1), (c1) ve (d1) kesitlerinde ise (a), (b), (c) ve (d) kesitleriyle gösterilen vanaların klape oturma yüzeyi ekseninden itibaren 400 mm aralıklarla alınmış enine kesitlerdeki türbülans kinetik enerjisi dağılımı gösterilmektedir.

Şekillerdeki türbülans kinetik enerjisi dağılımları incelendiğinde karesel sürgülü vananın %100 açıklık durumunda, türbülans kinetik enerjisi, hızların homojen dağılması nedeniyle akışın geçtiği bölgelerde olmayıp sadece klape üst yuvasındaki oluşan küçük girdaplar nedeniyle düşük değerlerde görülmektedir. Vananın %75, %50 ve %25 açıklıklarında ise klape arkasında oluşan girdapların etkisinin uzunluğuna göre, türbülans kinetik enerjisinin yoğunluğunun değiştiği görülmektedir. Maksimum türbülans kinetik enerjisi değerleri vananın %50 vana açıklığında $153 \text{ m}^2/\text{s}^2$, %75 açıklıkta $148 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ve %25 vana açıklığında $117 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değerinde görülmektedir.

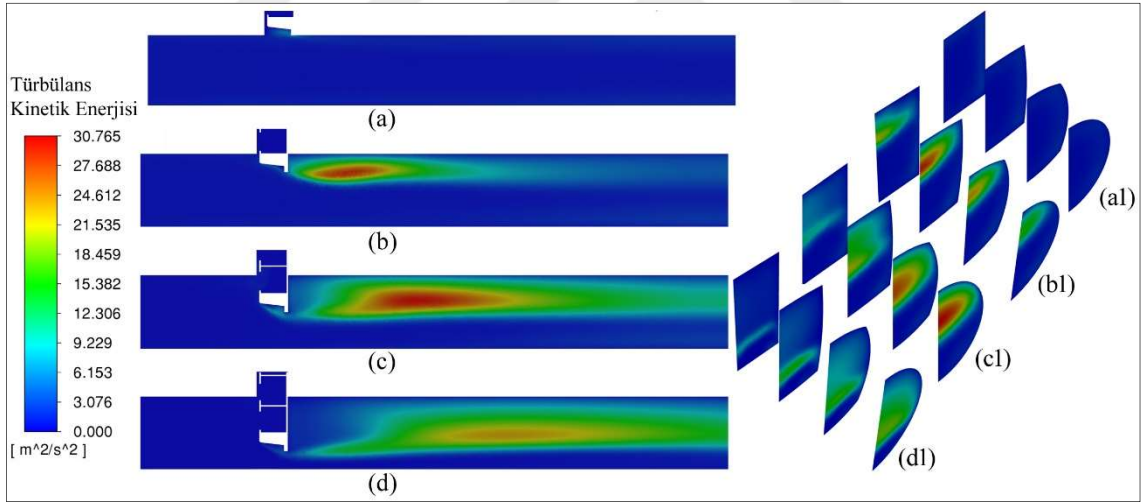


Şekil 4. 35. 10 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı



Şekil 4. 36. 6 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı

Grafikler incelendiğinde 10 bar, 6 bar ve 2 bar giriş basınçlarındaki türbülans kinetik enerjisi grafiklerinin, büyüklükleri giriş basıncına göre değişmekle beraber benzer özellikler sergilediği görülmektedir.

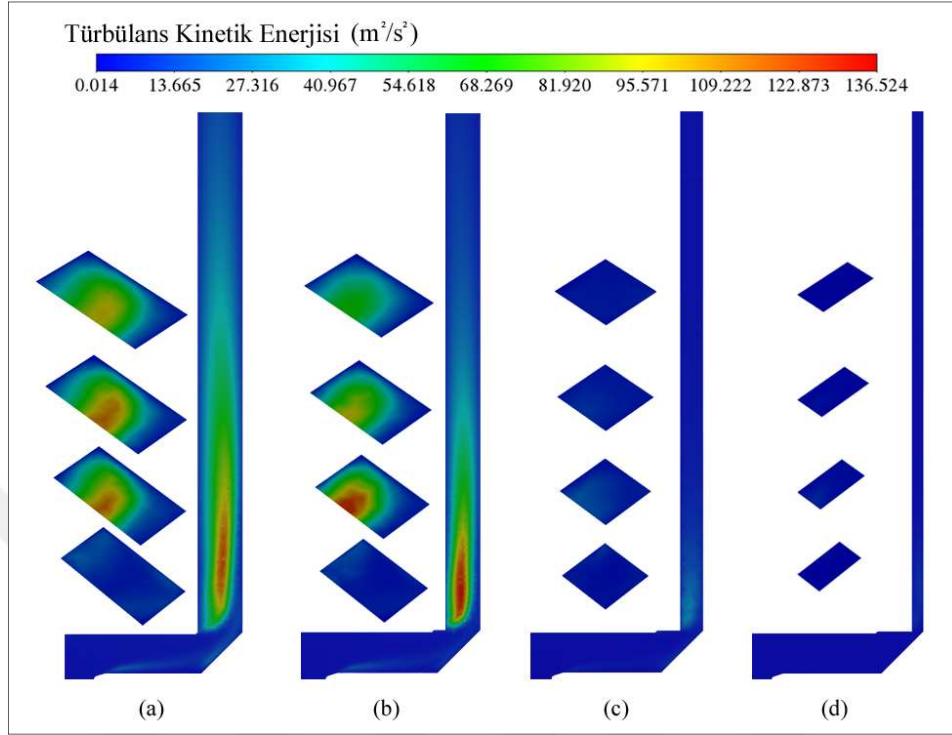


Şekil 4. 37. 2 bar giriş basıncında karesel sürgülü vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı

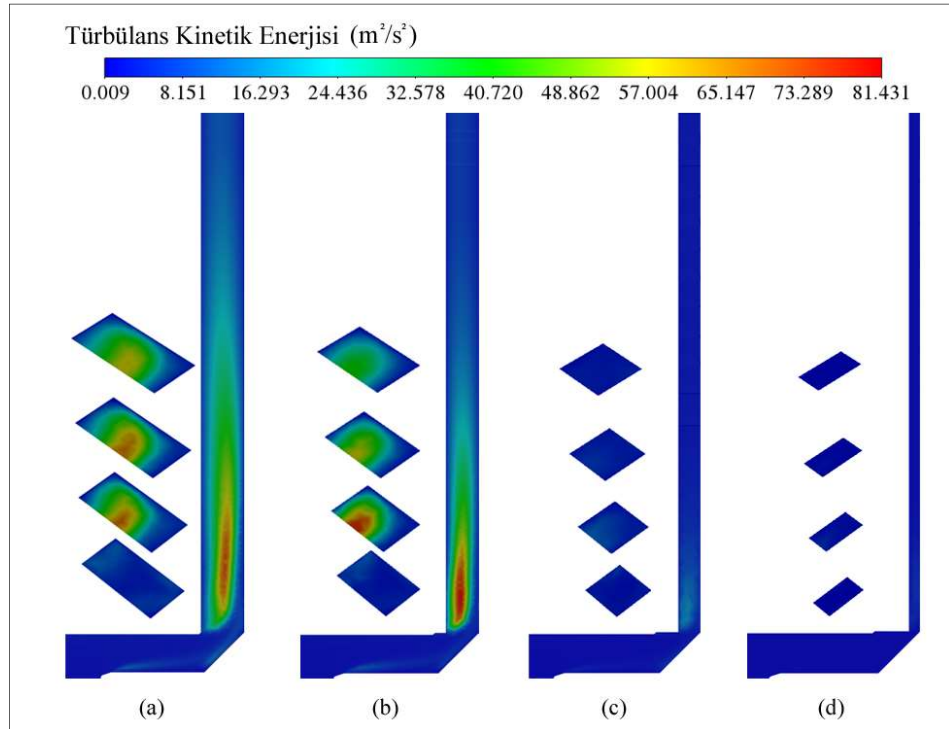
4.5.3. Konik vana türbülans kinetik enerjisi dağılımının incelenmesi

Şekil 4.38’de 10 bar giriş basıncında, Şekil 4.39’da 6 bar giriş basıncında, Şekil 4.40’da ise 2 bar giriş basıncında konik vanalarda meydana türbülans kinetik enerjisi dağılımı, konik vananın (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklık durumları için gösterilmektedir. (a), (b), (c) ve (d) kesitlerinde ise vanaların konik yüzeydeki çıkış

noktasından itibaren 400 mm aralıklarla alınmış enine kesitlerdeki türbülans kinetik enerjisi dağılımı gösterilmektedir.



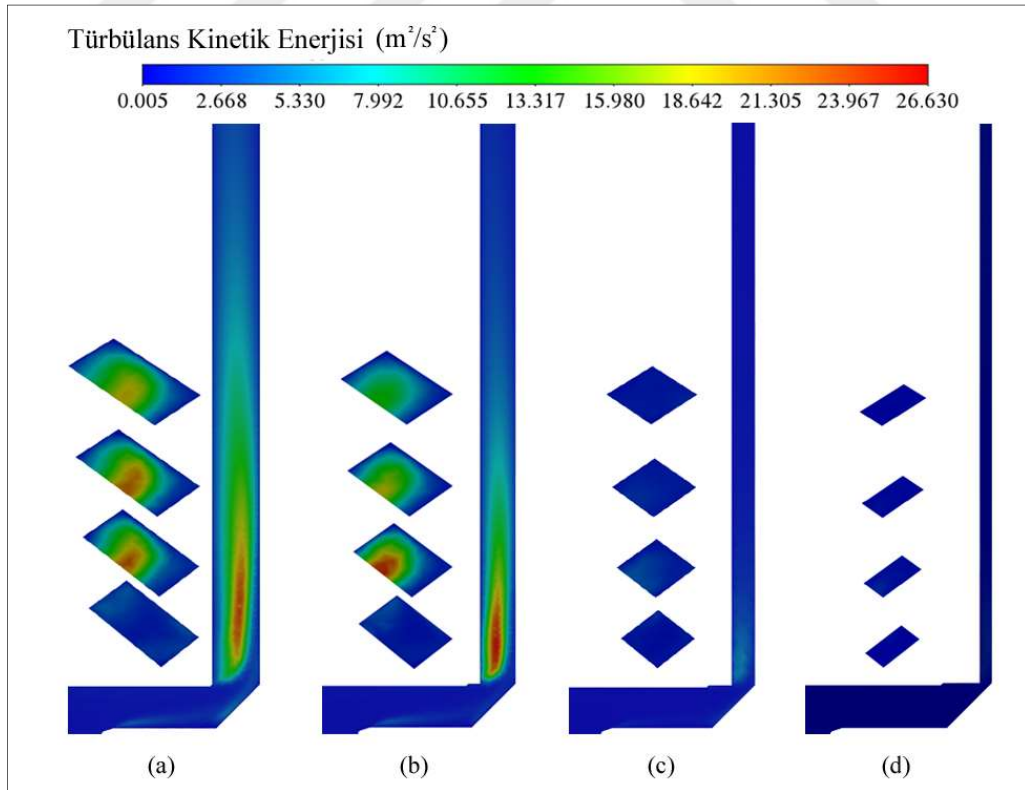
Şekil 4. 38. 10 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı



Şekil 4. 39. 6 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı

Şekillerdeki grafikler incelendiğinde konik vananın %100 açıklık durumundaki türbülans kinetik enerjisi, düşük yoğunlukta konik vana eksen mili çevresinde ve koni çıkış yüzeyinde, çıkışta ise girdapların etkisiyle maksimum $125 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değerinde yoğun olarak çıkış profilinde meydana gelmektedir. Vananın %75 açıklık durumunda ise konik vana eksen mili çevresi ile koni çıkış yüzeyinde ve çıkış profilindeki maksimum $136,5 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değerindeki türbülans kinetik enerjisinin büyüklüğü daha fazla olmakla birlikte yoğunluğu daha az olmaktadır. Giriş hızlarının düşmesiyle, türbülans kinetik enerjisi vananın %50 açıklığında çıkış profilinde düşük yoğunlukta ve maksimumda $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değerinde görülmektedir. Giriş hızının en düşük olduğu %25 vana açıklığında ise türbülans kinetik enerjisinin maksimumdaki $2 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değeriyle neredeyse yok olduğu görülmektedir.

Grafiklerin genel değerlendirilmesi sonucunda, tüm giriş basınçlarında türbülans kinetik enerjisi dağılımlarının benzer bir eğilim sergilediği görülmektedir. Giriş basıncı düştükçe türbülans kinetik enerjisi değerlerinde de belirgin bir azalma meydana gelmektedir. Bu durum, düşük basınç seviyelerinde konik vananın türbülans üretiminin azaldığını ve dolayısıyla daha kararlı bir akışın sağlandığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4. 40. 2 bar giriş basıncında konik vana (a) %100, (b) %75, (c) %50 ve (d) %25 açıklıkta türbülans kinetik enerjisi dağılımı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, kelebek vana, karesel sürgülü vana ve konik vana için %25, %50, %75 ve %100 açıklık oranlarında ve 2 bar, 4 bar, 6 bar, 8 bar ve 10 bar giriş basınçlarında akış karakteristikleri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, farklı giriş basınçlarında vanalarda meydana gelen basınç farkları ve vanalardan geçen hacimsel debi miktarları belirlenmiştir. Elde edilen veriler, her bir vananın farklı açıklık durumlarına göre karşılaştırılmak üzere grafikler halinde düzenlenmiş ve basınç dağılımı, hız dağılımı, akım çizgileri ile türbülans kinetik enerjisi incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Vanaların en yüksek K_v değeri %100, %75 ve %50 açıklık oranında sırasıyla 99.679, 50.406 ve 26.915 m^3/h değerleriyle karesel sürgülü vanada olmuştur. Kelebek vana %100 ve %75 açıklık oranında 53.953 m^3/h ve 25.147 m^3/h K_v değerleriyle konik vanadan daha yüksek K_v değerine sahiptir. Grafiğe göre vanaların kapanmasıyla birlikte %50 ve %25 vana açıklıklarında konik vanadaki 17.132 ve 9.266 m^3/h K_v değerleri kelebek vanadaki 10.181 ve 3.849 m^3/h K_v değerlerinden daha yüksek olmuştur. Bu durum kelebek vanada kısık çalışma koşullarında daha fazla kayıp meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. %25 açıklık oranında konik vanadaki 9.266 m^3/h K_v değeri, 8.992 m^3/h K_v değerindeki karesel sürgülü vananın bir miktar üzerinde olmaktadır. Bu durum konik vananın kısık çalışma şartlarında regülasyon için daha uygun bir vana olduğunu göstermektedir.

Farklı giriş basınçlarında yapılan analiz sonucu elde edilen verilere göre hacimsel debinin en yüksek değeri, 10 bar giriş basıncında %100 açıklık oranında, 21,279 m^3/s hacimsel debi değeriyle karesel sürgülü vanada gerçekleşmektedir. %100 açıklıkta tüm giriş basınçlarında kelebek vanadan geçen hacimsel debi miktarı konik vanadan fazla iken vanalardaki açıklık oranının düşmesiyle birlikte tüm giriş basınçlarında konik vanadan geçen hacimsel debi miktarı kelebek vanadan fazla olmuştur. %25 açıklık oranında, tüm giriş basınçlarında kelebek vanadan geçen hacimsel debi miktarı karesel sürgülü vana ve konik vanadan geçen hacimsel debi miktarının neredeyse yarısına kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum kelebek vananın klape yapısının, açıklık oranının düşmesiyle kayıpların, diğer vanalara göre daha fazla artmasından kaynaklanmaktadır.

Genel olarak tüm vanalarda, tüm açıklık oranlarında giriş basıncı arttıkça meydana gelen basınç farkının daha da arttığı görülmüştür. Konik vanadaki basınç kayıpları %100 ve %75 vana açıklık oranlarında diğer vanalara göre daha yüksek iken, %50 ve %25 vana açıklık oranlarında kelebek vanadaki basınç kaybının diğer vanalara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

5.2 Öneriler

Yapılacak geniş kapsamlı parametrik bir çalışmayla vanaların kullanılan tüm farklı çaplarına göre analizler yapıp daha fazla veri elde edilerek farklı çaplardaki akış karakteristiklerini karşılaştırma imkânı elde edilebilir.

HAD simülasyonlarında yapay zeka kullanımı son yıllarda kullanılmaya başladığından HAD'ın geleneksel hesaplama yöntemlerini optimize etmek, doğruluğunu artırmak ve işlem sürelerini kısaltmak maksadıyla yapay zeka kullanılabilir.

Yüksek hızlarda çalışan vanalarda titreşim problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu problemlerin önlenmesi amacıyla vanaların çalışmasında titreşim ve akustik çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Azzubaidi R.Z and Majeed N.M., 2018, Hydraulic performance of the control butterfly valves of the bottom outlet of kassa chai dam, *Zanco Journal Of Pure And Applied Sciences*, Salahaddin University – Erbil, 30(s1), 142-151.
- Adarsh, K.M., Seshadri, V., Mallikarjuna. S., 2016, Analysis of pressure drop characteristics of butterfly and dual plate check valve, *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, 03, 156-166.
- Anonim, 2024, Ansys fluent theory guide, Release 2024 R2, Ansys Inc.
- Anonymous, 2024, https://www.belgicast.eu/talisuk/user_upload/DS_Datasheet_ERHARD_butterfly_valves_EN.pdf: [24.12.2024]
- Aydın, H.A. (2017), İçme suyu tesislerinde kullanılan sürgülü ve kelebek vanaların akış karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 68-69.
- Bulut S., Ünveren M., 2011, Teknik Bülten No:05.
- Çelik, H.K., Rennie A.E.W., Karayel, D., Akıncı, İ., 2011, Determination of flow parameters through CFD analysis for agriculture irrigation equipment:a case study for a mini valve, *Journal of Agricultural Machinery Science*, 3, 231-239.
- Çiçek, U. (2023), “Vanaların akış karakteristiklerinin belirlenmesi” (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, 75-76.
- Duymaz, B.A. (2008), Kelebek Vanalarda Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ege Üniversitesi, 97-100.
- Elbakhshawangly, H.F., Abd El-Kawi, O.S., Sarhan, H.H., 2015, Numerical Study of Incompressible Flow Characteristics Through Butterfly Valve, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 2, 1641-1652.
- Ghaleb, İ., Zaben A., Husham M.A., 2013, An Investigation of Butterfly Valve Flow Characteristics Using Numerical Technique, *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 03, 151-166.
- Kumar, K., Komble, S., Thorat, S., Korgaonkar, P., Bartakke, V., Sonje, P., Kavire, K., 2021, Validation of installation effects of an ultrasonic flow meter on butterfly valve using numerical analysis. *Elsevier*, 46, 6692-6699.
- Koyunbaba, E. (2008), Computational Fluid Dynamics Application For Determining Flow Characteristics of Valves (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Dokuz Eylül Üniversitesi Üniversitesi, 67.

- L.Kyriakopoulos, G., Aminpour, Y., AminoroayaieYamini, O., Movahedi, A., HoomanMousavi, S., RezaKavianpour, M., (2022), Hydraulic performance of howell–bunger and butterfly valves used for bottom outlet in large dams under flood hazards, *Applied Sciences* , 12, 10971.
- Mutlu Y. (2018), Turbo Selenoid Vana (Doktora), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 97-100.
- Oh S.J., Yoon J.H, Kim S.P., (2021), A study on the flow characteristics of butterfly valve with baffles, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35 (3), 1065-1073.
- Oymak, M. (2021), Endüstriyel Akım Kontrol Yapılarının Verimliliğinin Artırılması Çalışmaları (Yüksek Lisans), *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Eskişehir Teknik Üniversitesi, 36-39.
- Osman Abdalla M., Nagarajan T., Fakhrudin Mohed H., (2011), Numerical study of flow field and energy loss in hydraulic proportional control valve, *IEEE Xplore*, 978-1-4577-1884-7/11.
- Prinçciler, M. (2008) Hidrolik Kumandalı Vana Tasarımı (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ege Üniversitesi, 74-80.
- Song X.G., Park Y.C., (2007), Numerical Analysis of Butterfly Valve-Prediction of Flow Coefficient and Hydrodynamic Torque Coefficient, *Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science*, San Francisco, USA.
- Tunç, G. (2014), Bir CFD Programı İle Vanalardaki Akışın İncelenmesi (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 1-2.
- Turhan, O.N. (2022), Çekvalf, Kelebek, Sürgülü ve İğne Tip Endüstriyel Kontrol Vanalarının Akış Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Necmettin Erbakan Üniversitesi, 18-99.
- Yiğit, İ. (2017), Plunger Vanalarda Akışın Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman Üniversitesi, 1-84.
- Yüksel, B. (2008), Sürgülü Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi (Yüksek Lisans), *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ege Üniversitesi, 3-4.