



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÇEKVALF, KELEBEK, SÜRGÜLÜ VE İĞNE
TİP ENDÜSTRİYEL KONTROL
VANALARININ AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**

Osman Nuri TURHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Kasım-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çekvalf, Kelebek, Sürgülü ve İğne Tip Endüstriyel Kontrol Vanalarının Akış Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi

Osman Nuri TURHAN
Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

2022, 105 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN
Dr. Öğr. Üyesi Havva DEMİRPOLAT

Tez çalışmasında, su hattı içerisinde vanaların bağlanması ile farklı endüstriyel kontrol vanalarının (değişik çaplardaki kelebek, sürgülü, iğneli vanalar ve çekvalflerin) akış özelliklerinin incelenmesi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile incelendi. Araştırmada sanayide üretilen anılan vana modelleri için k-ε türbülans modeli kullanan Solidworks Flow Simulation programı ile sayısal çalışma gerçekleştirildi. Farklı açıklık oranlarında kelebek ve sürgülü vanaların (DN250, DN300 ve DN350), tam açık konumda kollu çekvalf (DN250) ve iğneli vananın (DN250) belirtilen nominal çapları için HAD analizleri ve TS-EN1267 standartları uygun test düzeneğinde performans deneyleri yapıldı. İncelenen vanalar; akış katsayısı (K_v) değerleri, zeta katsayıları, basınç kayıpları, kavitasyon katsayıları, hız dağılımları, basınç değişimi, akım çizgisi değişimi ve diğer akış özelliklerinin ilgili vananın tam açık ve farklı açıklık oranlarında karşılaştırmalı olarak incelendi. Ayrıca, diğer kelebek vana çapları (DN40-DN2200) arasında ise sadece tam açık konumda akış katsayısı değerleri sayısal olarak belirlendi. Elde edilen sonuçlar ile vana geometrilerinde iyileştirme çalışmaları yapıldı. Vana çapı ve açıklık oranı azaldıkça basınç kaybı arttığı için akış katsayılarının azaldığı bulundu. HAD ve deney sonuçlarının karşılaştırması sonucunda aradaki farkları % 1-10 arasında vana tipine ve açıklık oranına göre değiştiği tespit edildi. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü su kontrol elemanları genel teknik şartnamesinde belirtilen akış performansı kriterlerini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: HAD analiz, endüstriyel vana, kelebek vana, solidworks akış simülasyonu, sürgülü vana, geri dönüşsüz vana

ABSTRACT

MS THESIS

Comparative Investigation of Flow Characteristics of Check-valve, Butterfly, Gate and Plunger Type Industrial Control Valves

Osman Nuri TURHAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

2022, 105 Pages

Jury

Advisor Danışmanın Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN

Asst. Prof. Dr. Havva DEMİRPOLAT

In this study, the connection of valves in the water line and the analysis of the flow properties of different industrial control valves (butterfly, gate, plunger valves and check valves of different diameters) were examined by computational fluid dynamics (CFD). In the investigation, numerical studies were carried out with the Solidworks Flow Simulation program, which uses the k-epsilon turbulence model for valve models produced in an industry. CFD analyzes and performance tests were carried out in accordance with TS-EN1267 standard for the nominal diameters of butterfly valves and gate valves (DN250, DN300 and DN350), fully open lever check valve (DN250) and plunger valve (DN250) with different opening ratios. Flow coefficient (K_v) values, zeta coefficients, pressure losses, cavitation coefficients, velocity distributions, pressure variation, streamline variation, and other flow properties were compared at full open and different opening ratios of the relevant valve. In addition, only the flow coefficient values were determined numerically in the fully open position for other butterfly valve diameters in the range of (DN40-DN2200). With the results obtained, some improvement studies were carried out on valve geometries. It has been shown that as the valve diameter and opening ratio decrease, the flow coefficients decrease while increasing the pressure loss increases. As a result of the comparison of CFD and test results, it was found that the differences were between 1-10% according to valve type and opening ratio. When all the results obtained are evaluated, they meet the flow performance criteria specified in the general technical specification in General Directorate of State Hydraulic Works of Türkiye Republic.

Keywords: butterfly valve, CFD analysis, gate valve, industrial valve, solidworks flow simulation, non return valve

ÖNSÖZ

Değerli danışman hocam Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN hocama katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bu tez çalışmamda annem Canan TURHAN, babam Mustafa TURHAN, ablam Esra MERT ve kardeşim Gürhan TURHAN bana katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Endüstriyel sanayide çalışmakta olduğum ESVANA firmasına desteklerinden dolayı başta Bilal ESKİ ve Namık ESKİ olmak üzere mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Osman Nuri TURHAN
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER TABLOSU	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Vana Çeşitleri ve Kullanım Alanları	1
1.1.1. Sürgülü vanalar	3
1.1.2. Disk tipi vanalar	4
1.1.3. Kelebek Vana.....	5
1.1.4. İğne Vana	7
1.1.5. Diyaframlı Vanalar	8
1.2 Çek Tipi Kontrol Vanaları	9
1.2.1. Nozul tip çek vanalar	9
1.2.2. Toplu tip çalpara çekvalf	10
1.2.3. Klapeli tip çalpara çekvalf	10
1.2.4. Eğim tip klapeli (kaldıraçlı) çek vanalar.....	11
1.2.5. Stop tip çek veya geri dönüşsüz vanalar	12
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Temel Denklemler	18
3.1.1. İçme suyu hatlarındaki vanalarda oluşan yük kayıpları.....	21
3.1.2. Vanalarda kavitasyon oluşumu	21
3.2. DN250 Kelebek Vana Kavitasyon Durumunun İncelenmesi ve Uygulama Alanları Şartları ile Karşılaştırılması	24
3.3. TS EN 1267 Standardına Uygun Vana Test Düzenineğinin DN250 Kelebek Vananın Hız Profilinin Çıkartılması	26
3.3.1. Kelebek vana zeta katsayısı	28
3.4. Kelebek Vana Analizi Akış Hacminin Modellenmesi.....	29
3.4.1 DN250 Kelebek Vana	29
3.4.2. DN250 kelebek vananın TS EN 1267 standardına göre hazırlanması.....	30
3.4.3. DN250 kelebek vananın simülasyona hazırlanması	32

3.4.4. Kelebek vananın ağ yapısının oluşturulması ve akış katsayısı Kv nin bulunması için klape pozisyonlarının ayarlanması	33
3.4.5 DN250 kelebek vana ağ uygulaması	33
3.5. Tilting Çekvalf Analizi Akış Hacminin Modellenmesi	38
3.5.1 DN250 tilting tipi çekvalf	38
3.5.2. DN250 tilting çekvalf simülasyona hazırlanması	38
3.5.3. Tilting çekvalf ağ yapısının ve Kv katsayısının bulunması için klape pozisyonlarının ayarlanması	41
3.6 Sürgülü Vana Analizinin Akış Hacminin Modellenmesi	41
3.6.1 DN250 sürgülü vana	41
3.6.2 DN250 sürgülü vana simülasyona hazırlanması	42
3.6.3.Sürgülü vanada ağ oluşturulması ve Kv Katsayısının Bulunması İçin Sürgü Pozisyonunun Ayarlanması	44
3.7 İğne Vana Analizi Akış Hacminin Modellenmesi	45
3.7.1 İğne vananın oluşturulması ve Kv katsayısının bulunması için klapenin pozisyonunun ayarlanması	47
3.8. TS EN 1267 Standardına Uygun Vana Test Düzenegi	48
Basınç Transmitteri	50
3.9. Ölçülen Değerlerin Toplam Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması	52
3.10. DN250 Kelebek Vana TS EN1267 Standardına Göre Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi	55
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	70
4.1. DN250 Kelebek Vana HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi	70
4.2. DN250 Sürgülü Vana HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi	74
4.3. DN250 Tilting Çekvalf HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi	78
4.4. DN250 İğne Vana HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi	81
4.5 Vana Akış Karakteristiklerin Karşılaştırılması	87
4.6. Farklı boyutlardaki kelebek vanaların HAD analiz sonuçları	95
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
5.1 Sonuçlar	99
5.2 Öneriler	103
6. KAYNAKLAR	104

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1. F4 tipi elastomer sürgülü vana (Anonim, 2021a)	4
Şekil 2. Bıçaklı sürgülü vana (Anonim, 2021a).....	4
Şekil 3. Diskli vana (Anonim, 2021a)	5
Şekil 4. Kelebek vana çeşitleri (Anonim, 2021b).....	6
Şekil 5. Kelebek vana patlatılmış görünümü ve ürün ağacı (Anonim, 2021c).....	7
Şekil 6. İğne vana (Anonim, 2021d).....	8
Şekil 7. Diyaframli vanalar (Anonim, 2021d)	9
Şekil 8. Nozul tip çalkara çekvalf (Anonim, 2021g)	10
Şekil 9. Nozul tip çalkara çekvalf (Anonim, 2021h)	10
Şekil 10. Toplu tip çalkara çekvalf (Anonim, 2021k)	10
Şekil 11. Klapeli tip çekvalf (Anonim, 2021l).....	11
Şekil 12. Eğimli tip klapeli çek valf (Anonim, 2021m).....	11
Şekil 13. Stop tipi çekvalf (Anonim, 2021n)	12
Şekil 14. Deney düzeneği DN250 hattının HAD analizinde kullanılan üç boyutlu boru hattının kontrol hacmi	21
Şekil 15. Vanalardaki kavite oluşum olayı (Anonim, 2021a)	22
Şekil 16. Vanalarda oluşan kavite oluşum olayı (Karabük, 2022).....	23
Şekil 17. DN250 kelebek vana kavite kontrol aralık ölçüsü	24
Şekil 18. DN250 kelebek vana basınç değişimi	25
Şekil 19. DN250 kelebek vana basınç değişim detayı.....	25
Şekil 20. DN250 kelebek vana akışa dik hız profili eksenleri.....	26
Şekil 21. DN250 Kelebek vana hız profili.....	27
Şekil 22. DN250 Kelebek vana hız profil gelişimi	28
Şekil 23. DN250 PN16 Kelebek vana (Anonim, 2021z).....	30
Şekil 24. DN250 Kelebek vana kesit görünümü (Anonim, 2021z)	30
Şekil 25. DN250 kelebek vana patlatılmış görünümü (Anonim, 2021z).....	30
Şekil 26. DN250 kelebek vana had analizi hazırlanması (Anonim, 2021r)	31
Şekil 27. DN250 kelebek vana HAD için kontrol hacmi düzenlemesi	32
Şekil 28. DN250 kelebek vana açıklık açma dereceleri	33
Şekil 29. DN250 kelebek vana genel ağ uygulaması.....	34
Şekil 30. DN250 kelebek vana cidar çevresi ağ yapısı.....	34
Şekil 31. DN250 kelebek vana ağ yapısı görselleri	34
Şekil 32. DN250 kelebek vana 90 derece döndürülmüş boru cidarı ağ yapısı detayı	35
Şekil 33. DN250 kelebek vana klape yüzeyi ağ yapısı.....	35
Şekil 34. DN250 kelebek vana ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi.....	37
Şekil 35. DN250 Tilting çekvalf ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi ($V_g=4m/s$)	40
Şekil 36. DN250 Tilting çekvalf açıklık açma dereceleri.....	41
Şekil 37. DN250 sürgülü vana ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi.....	44
Şekil 38. DN250 sürgülü vana açıklık açma dereceleri.....	45
Şekil 39. DN250 iğne vana ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi.....	47
Şekil 40. DN250 iğne vana açıklık dereceleri	48
Şekil 41. TS EN 1267 standardına uygun olarak tasarlanan deney düzeneği şematik gösterimi	49

Şekil 42. TS EN 1267 standardına uygun olarak tasarlanan deney düzeneği katı model görünümü.....	49
Şekil 43. TS EN 1267 standardına uygun olarak tasarlanan deney düzeneği HAD analizi için 3-Boyutlu kontrol hacmi gösterimi.....	50
Şekil 44. DN250 Kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi	71
Şekil 45. DN250 Kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi (yakınlaştırılmış akış alan görselleri).....	72
Şekil 46. DN250 kelebek vana akış hattında statik basınç konturları ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	73
Şekil 47. DN250 Kelebek vana akış katsayısı K_v (m^3/h) deney sonuçlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında zamanla değişimi.....	61
Şekil 48b. DN250 sürgülü vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $\alpha=75^{\circ}$ ve $\alpha=90^{\circ}$ aralığında değişimi	75
Şekil 49a. DN250 tilting çekvalf çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi	79
Şekil 50a. DN250 iğne vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi	82
Şekil 51b. DN250 sürgülü vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi	83
Şekil 52a. DN250 sürgülü vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $\alpha=75^{\circ}$ ve $\alpha=90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	74
Şekil 53. DN250 sürgülü vana akış hattı hız vektörü alanı ve hız konturları açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	76
Şekil 54. DN250 sürgülü vana akış hattı basınç alanı ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	77
Şekil 55. DN250 tilting çekvalf çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	79
Şekil 56. DN250 tilting çekvalf çevresinde basınç alanı ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	80
Şekil 57. DN250 iğne vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	82
Şekil 58. DN250 iğne vana çevresinde basınç alanı ve akım çizgilerini açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi.....	83
Şekil 59. DN250 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık derecesi $\alpha=15^{\circ}$ için karşılaştırması.....	84
Şekil 60. DN'50 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık derecesi $\alpha=45^{\circ}$ için karşılaştırması.....	85
Şekil 61. DN'50 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık derecesi $\alpha=90^{\circ}$ için karşılaştırması.....	86
Şekil 62. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel akış katsayısı (K_v) sonuçlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında karşılaştırılması.....	88
Şekil 63. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel hacimsel debi (Q_v) sonuçlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında karşılaştırılması.....	89
Şekil 64. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel basınç farkı (ΔP) sonuçlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında karşılaştırılması.....	90
Şekil 65. DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının akış katsayısı (K_v) ve hacimsel debi Q_v değişiminin karşılaştırması.....	91
Şekil 66. DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının akış katsayısı K_v (m^3/h) ve basınç kaybı ΔP (bar) değişiminin karşılaştırması.....	92

Şekil 67. DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının deneysel ve HAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	93
Şekil 68. DN250 kelebek ve çekvalf tipi vananın sabit hacimsel 500 m ³ /h farklı açıklık derecelerinde basınç kaybı ΔP_{net} (bar), akış katsayısı Kv'nin farklı açıklık oranlarının deneysel ve HAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil 69. DN250 iğne vanaların açıklık oranlarının firma X'in katalog değerleri ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması.....	95



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1a. Tez çalışmasındaki vanaların avantaj ve dezavantajları	12
Çizelge 1b. Tez çalışmasındaki vanaların avantaj ve dezavantajları	13
Çizelge 2. İncelenen vanaların zeta (ζ) değerlerinin açıklık oranına göre değişimleri .	29
Çizelge 3. DN250 kelebek vana ağ yapısı ağdan bağımsızlık sonuçları	36
Çizelge 4. DN250 kelebek vana y+ sonucu	37
Çizelge 5. DN250 Tilting çekvalf ağ yapısı bağımsızlık çalışması	39
Çizelge 6. DN250 sürgülü vana ağ yapısı ve ağdan bağımsızlık analiz sonuçları	43
Çizelge 7. DN250 iğne vana ağ yapısı ağdan bağımsızlık çalışması sonuçları	46
Çizelge 8. Ölçü aletlerin doğruluk değerleri ve ölçüm değerleri.....	52
Çizelge 9. İzin verilen fark basınç dalgalanma (çalkantı) değerleri.....	53
Çizelge 10. Debimetre ve test vanası girişindeki basınç ölçer için izin verilen dalgalanma (çalkantı) değerleri.....	53
Çizelge 11. Fark basınç ölçümündeki maksimum belirsizlik değeri.....	53
Çizelge 12. Debi, test vanası girişindeki basınç değeri ve debimetre çıkışındaki sıcaklık değerleri için izin verilen belirsizlik değerleri.....	54
Çizelge 13. Basınç kaybı direnç katsayısı ζ (zeta) değerine göre izin verilen akış katsayısı belirsizlik değerleri.....	54
Çizelge 14. Basınç kaybı yerel direnç katsayısı ζ (zeta) için izin verilen belirsizlik değerleri.....	54
Çizelge 15. DN250 kelebek vana belirsizlik analizi.....	62
Çizelge 16. DN250 kelebek vana ölçülen türbülans parametrelerin çalkantı değerleri analiz sonuçları	64
Çizelge 17. DN250 Tilting çekvalf ölçülen türbülans parametrelerin çalkantı değerleri analiz sonuçları.....	68
Çizelge 18. DN250 Sürgülü vana ölçülen türbülans parametrelerin çalkantı değerleri analiz sonuçları	69
Çizelge 19. TS EN 1092 Standardına uygun tasarlanan kelebek vanaların HAD analiz sonuçları.....	96
Çizelge 20. TS EN1092 Standardına uygun kelebek vanaların HAD analiz sonuçlarının katalog değerleri ile karşılaştırılması.....	97
Çizelge 21. TS EN1092 Standardına uygun vanaların deneysel sonuçları	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

k : Türbülans kinetik enerjisi (joule)

u_i : x yönündeki hız (m/s)

u_j : y yönündeki hız (m/s)

μ : dinamik (moleküler) sıvı viskozitesi (Pa s)

μ_t : girdap (türbülanslı) akışkan viskozitesi (Pa s)

ε : türbülanslı kinetik enerji dağılımı oranı (m^2 / s^2)

ΔP_{vk} : Vana basınç kaybı (bar)

$\Delta P(\text{vana+boru})$: Vana ve boru basınç kayıpları basıncı (bar)

P_1 : vanaya girmeden önceki basınç (bar)

P_2 : vana çıkışındaki en yüksek basınç (bar)

P_v : suyun vana içinden geçerken sıcaklığa karşılık gelen buharlaşma basıncı (bar)

ΔP_v : Vanadaki basınç kaybı (Pa).

ζ : zeta katsayısı

u : Vana içindeki ortalama su hızı (m/s).

K_v : akış katsayısı (m^3/h)

Q : akış debisi (m^3/h)

Kısaltmalar

HAD: hesaplamalı akışkanlar mekaniği

PLC: Programable logic control

DSİ: Devlet Su İşleri

DN: Diameter Nominal (Nominal Çap)

1. GİRİŞ

Dünyada su ve hava olmak üzere, çeşitli akışkanların kontrol etmek, bu akışkanların; geçişini veya engellemek, debi kontrolünü yapmak, geri dönüşünü engellemek, akış yönünü değiştirmek, akış basıncını sınırlamak ve akış emniyetini sağlamak gibi amaçlara ulaşmak için kullandığı mekanik makinalara vana denir.

Diğer bir tanımlama ile vana; akışkanların gidişine, geri dönmemesine, karıştıran veya akışkanın yönünü ve/veya miktarını, basınç veya sıcaklığını değiştirebilen ürünlerin genelidir.

Vanalar; borulama armatürleri içinde ağırlıklı bir yer tutarlar. Günümüzde geniş bir yelpazede; basit açma, kapama musluklarından, aşırı karmaşık servo sistemlere uzanan ve akışkanların kontrolü için kullanılan çok fazla sayıda vana çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar; uzay uygulamalarında kullanılan çok küçük ölçme vanalarından, çapı metrelerle, ağırlığı tonlarla ifade edilen boru hattı vanalarına kadar değişiklik gösterebilmektedir. Vanalar; vakum bölgesinden, 7000 bar ve üzerindeki basınçlara, -200 °C soğuktan, ergimiş metal sıcaklıklarına kadar kullanılabilen vanalar üretilmektedir. Vanaların kullanım süreleri ise; bir kez açma kapama yapabilen vanalar olduğu gibi, kendi mekanizmaları sayesinde bakım ve onarım gerekmeksizin on binlerce kez açılıp kapanabilen vana çeşitleri de mevcuttur (Gürler, 2003).

1.1. Vana Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Vananın Tanımı

Boru veya basınçlı kaplarda; gaz, sıvı veya toz akışkanlarda kullanılan, akışkanı geri dönüşünü engelleyen, hızını ayarlayabilen, debisini ayarlayabilen, akışı ve basıncı kontrol etmeye yarayan makine elemanlarına vana denir.

Genel olarak bir vananın taşınması gereken özellikler:

- İlgili standartlara uygun olması,
- Sızdırmazlık vazifesini yerine getirebilmesi,
- Yüksek basınç farklarını yaratmaması,
- Gürültü seviyesini aşmaması,
- Basınç şokuna neden olmaması,
- Korozyona dayanıklı ve uzun ömürlü olması,
- Kullanımı kolay olmalı ve pratik montaj edilebilmeli.
- Mümkün olduğunca bakım gerektirmemesi.

Vanalar özel yapı ve özel kullanım alanları için kullanılan bazı vanalar haricinde genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

Akış kontrolüne göre;

Kapama vanaları; Akışkanın istenilen seviye ulaşip ulaşmadığını kontrol ederler, akışkanların karışmalarına izin verebilir veyahut karışmasını müsaade etmeyen, acil durumlarda akışı kesen vanalardır. Kapalı konumda belirlenmiş bir sızdırma değerini aşmamaları, açık konumda da basınç kaybını minimize etmelidir.

Kısma ve kontrol vanaları; Debinin zamana bağlı olarak değiştirilmesi veya ayarlanması istendiğinde kullanılırlar. Elle manuel ya da aktüatör ile akış debisini, basıncını ve sıcaklığını düzenlerler.

İstenmeyen İşletme şartlarını Önlemesini sağlayan vanalar; Bunların içinde en önemlileri, istenmeyen basınç artışlarının önleme ve bir hatta akışkanın dönüşünü ve hattan diğer hatta karışmasını önlemek için görevlidirler.

Bağlantı şekline göre;

a) Vidalı (iç vidalı, dış vidalı): Genelde DN 50, vida sızdırmazlığının çok önemli görülmediği durumlarda da DN 100 anma ölçüsüne kadar kullanılır. Bu bağlantılarda kendi kendine sızdırmazlık sağlayan (TS 61-210, ISO 7/1) ve sağlamayan (TS 61-200, ISO 228/1) vidalar söz konusudur.

b) Flanşlı: Bu bağlantılar, genelde DN 65 ve yukarı anma ölçülerinde kullanılır. Vidalı bağlantıya göre tesisata daha kolay monte edilir. Vana veya borunun döndürülmesine gerek yoktur. Vanaların sökülmesi de kolay olur. Basınç kademesi, malzeme, kullanım yeri ve işletme sıcaklığı gibi parametrelere göre flanş kalınlığı, çapı, bağlantıyı sağlayan saplama çapları standartlarda verilmiştir (TS ISO 7005, TS 5014, TS 6755, ISO 2084, ISO 2441, ANSI B16.5, API 6A).

c) Kaynak bağlantılı; flanşlı bağlantıların sıcaklığa bağlı form değişikliğine uğramaya eğilimleri, sıcaklığın ve sıcaklık dalgalanmalarının fazla olduğu işletmelerde kaynak bağlantısını gündeme getirmiştir. Bu bağlantı; çevre, emniyet, sağlık veya verimlilik sebepleri ile bağlantılarda “sıfır kaçak” istendiğinde, PN 160 (ANSI Class 900) basınç kademesi ve üstünde kullanılır. Kuvvet santralleri, rafineriler gibi işletmelerin hemen hemen bütün su ve buhar hatlarında kaynak bağlantı söz konusudur. Yüksek basınç- yüksek sıcaklık uygulamalarında, alın kaynak bağlantı DN 65 ve üstü anma ölçülerinde; geçme kaynak bağlantı ise DN 50 ve altı anma ölçülerinde kullanılır.

d) Sıkıştırılmalı (Wafer-Sandviç tip): Kendisinde herhangi bir bağlantı sistemi olmayıp flanşlı armatür ve/veya tesisat flanşları arasında sıkıştırılarak monte edilebilen,

vana boyut ve ağırlığında ciddi küçülmeler sağlayan bir bağlantı şeklidir. Kolay monte edilip sökülebilmeye avantajı da vardır.

e) Rakor bağlantılı: Vidalı bağlantılı vanaların, boruların geri sökülmesi gibi sorunlu işlemlere yol açmadan monte edilip sökülmesini sağlayan ara bağlantı sistemidir.

f) Kelepçe bağlantılı: Hortumların vanaya bağlantısı için kullanılır. Yüksek basınçlar için uygun değildir.

g) Sert lehim bağlantılı: Genelde bakır ve bakır alaşımı malzemeden imal edilmiş vanaların, yine aynı malzemelerden borulara bağlantısı için kullanılır. Kolay sayılabilecek bir bağlantı şeklidir. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç uygulamalarında kullanılmaz.

Kapama organının iş hareketine göre; doğrusal ve akış yönüne dik ekseninde dönen vanalardır.

Akış Yönüne göre; düz, köşe, üç yollu, dört yollu ve çok yollu vanalar

Fonksiyonlarına göre; kapama, boşaltma, basınç ayar, basınç düşürme, debi ayar, seviye ayar, sıcaklık ayar ve karıştırma vanaları vardır.

Tahrik şekline göre; El ile (manuel) ve aktüatör tahrikli vanalar

Malzemeye göre; metal (demir ve alaşımları), metal (demir dışı metaller ve alaşımları), termoplastik malzeme ve elastomer malzeme

İmalat yöntemine göre; Döküm, dövme, çekme çubuktan ve enjeksiyon döküm

Gövde yapısına göre; Tek parçalı, iki parçalı, üç parçalı ve çok parçalı

Salmastra cinsine göre; Elastomer örgü veya paket salmastralı, kendi kendine sızdırmazlık sağlayan O-Ring salmastralı, metal körük salmastralı ve membran salmastralı olarak sınıflandırılır.

1.1.1. Sürgülü vanalar

Sürgülü vanalar genelde endüstride kullanılır. Sürgülü vanalar akışın tamamen kesilmesinde ya da tamamen açılmasında kullanılmak üzere tasarlanmış vanalardır. Tam açık pozisyonda akışkan düzgün ve basınç kaybı çok düşüktür. Akışkan vana gövdesinden yön değiştirmeden geçer. Bu yapı akışa karşı direnci azaltır ve vana boyunca oluşacak olan basınç düşümünü en aza indirir. Görüntüsüyle bir kapıyı andıran disk, mil ve vana volan ile hareket kazanır. Bu vanalar kısma ya da ayar amaçlı kullanılmaya elverişli değildirler. Çünkü kısmi açık pozisyonda oluşan yüksek akış hızı sızdırmazlık yüzeylerinde erozyona, kavitasyon oluşma riskine ve sürgünün gövde yüzeylerine

çarpması sonucu hasara neden olur. Sürgülü vanaları tamamen açılıncaya kadar genelde vana volanı bir kereden fazla döndürülür.

Sürgülü vanalar iki kısma ayrılır:

i-Vana mili dışarıda kalan: Bu tip vanalarda açık ya da kapalı pozisyonda mil vana volanın üstündedir. Mil üstündeki dişleri akışkanın erozyon, korozyon, kirlenme gibi etkilerine maruz kalmaz. Bu yapı milin kolayca yağlanmasını sağlar. Milin dışarıda olması disk pozisyonu hakkında da fikir edinilmesini sağlar.

ii-Vana mili içeride olan: Vana açıldıkça mil vana volanı üzerine çıkmaz. Mil vana volanı ile beraber döner. Bu vanalarda dolgu üstündeki aşınma minimumdur.

Sürgülü Vanalarının Çalışma Şekli ve Bakımı; bu vanalar elle çalıştırılırken, açmak için el volanı saat ibresinin aksine, kapamak için ise saat ibresi yönünde döndürülür.

Sürgülü vanalar serviste tam açık veya tam kapalı durumda kullanılmalıdır. Eğer sürgü bir ara pozisyonda yani kısmen açık tutulursa sürgünün alt yüzeyleri ve sızdırmazlık elemanları kısa sürede ve büyük ölçüde erozyona uğrar. Bu durum sürgü gürültülü titreşimlere neden olur. Kısmi açılan sürgüde meydana gelen vibrasyon, kırılmalarla sonuçlanabilir.



Şekil 1. F4 tipi elastomer sürgülü vana (Anonim, 2021a)



Şekil 2. Bıçaklı sürgülü vana (Anonim, 2021a)

1.1.2. Disk tipi vanalar

Sürgülü vanaların aksine disk vanalarda sit yüzeyleri akışa dik değil paraleldir. Akış başladığı anda da sit ve disk yüzeyleri temas hâlidir. Bu durum akış ayarlamasında ve sit erozyonunun minimuma indirilmesinde büyük bir avantajdır. Disk

vanalarda vana simidinin dönmesiyle sit açıklığının değişmesi arasında doğrudan bağlantı vardır. Özellikle plug tipi vanalarda çok hassas akış ayarlaması yapılabilir.

Operatör vana simidinin dönüşü ile akışı kontrol edebilir. Bu tip vanalarda daha az disk hareketi ile operasyon sağlanır. Böylece daha az güç harcanır ve vana parçaları daha iyi korunur. Disk vanalar akışın ayarlanması ve sit vana operasyonu yapan yerlerde tercih edilir.



Şekil 3. Diskli vana (Anonim, 2021a)

1.1.3. Kelebek Vana

Kelebek vana; klapeler olarak isimlendirilen bir disk parçası, bir şaft ve gövdeden oluşur. Şaft yatak içine monte edilmiştir ve salmastra sistemi mevcuttur. Kelebek vanalar tam sızdırmazlığın gerekli olmadığı kontrol ihtiyacı olan sistemlerde kullanılırlar. Manuel olarak da işletilebilmelerine rağmen genelde hava ya da elektrikle çalışan bir aksamla kullanılırlar. Kelebek vanalar kapatıldıklarında, normal olarak, metal-metal üzerine oturur. Dolayısıyla bunlarda tam bir sızdırmazlık söz konusu değildir. Kelebek vanaların büyükleri, genellikle, mekanik kumandalıdır. Mekanik kumandanın bir vazifesi de işletmedeyken akışın etkisi ile vananın kendiliğinden kapanmasını önlemektir.

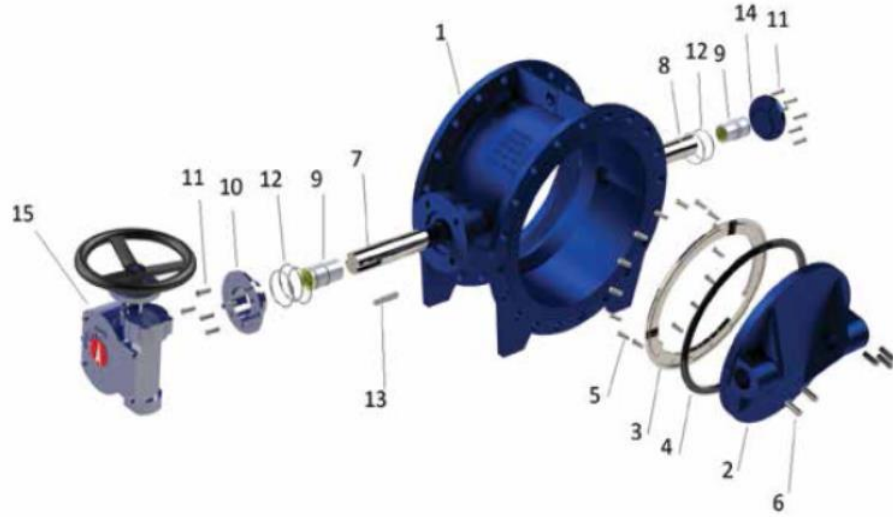
Kelebek vanalarda kapama elemanı, düşey ekseninde yerleştirilmiş bir mil etrafında dönen disklerdir. Monte edilmiş hâlde kendi ekseni etrafında dönmek suretiyle tam boru kesitini açan veya kapatan bir disk oluşturur. Sızdırmazlık metal klapeler ile gövde içini kaplayan elastik veya plastik sızdırmazlık elemanları arasında sağlanır. Sızdırmazlık elemanı aynı zamanda vana ile boru arasındaki flanşta conta görevi de yapmaktadır. Bu

tür vanaların avantajları; basınç kayıplarının az olması, kolay açılıp kapanması, sızdırmazlığının iyi olması, hafif olması ve az yer kaplamasıdır.



Şekil 4. Kelebek vana çeşitleri (Anonim, 2021b)

Kelebek vanaların uygulama alanları; ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, su arıtma ve dağıtım sistemleri, maden sanayi, gemi inşası ve sondaj tesisleri, kimyasal ve petrokimyasal tesisler, gıda ve kimya işletmeleri, petrol ve gaz prosesleri, yangın söndürme sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



Parça Numarası	Parça Adı
1	Gövde
2	Klape
3	Baskı çemberi
4	Klape lastiği
5	Kapak civatası
6	Setskur
7	Uzun Mil
8	Kısa Mil
9	Burç
10	Ön kapak
11	Ön kapak civatası
12	Sızdırmazlık contası
13	Kama
14	Arka kapak
15	Tahrik dişli kutusu

Şekil 5. Kelebek vana patlatılmış görünümü ve ürün ağacı (Anonim, 2021c)

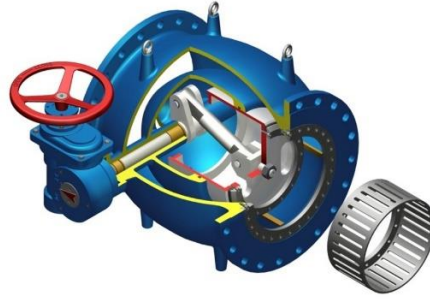
1.1.4. İğne Vana

İğne vanalar küçük çaptaki hatlarda hassas akış kontrolünü sağlamak için kullanılır. İğne vanaların tipi açılı ve glob vanalara benzer. Bronz ya da çelikten imal edilir ve su buharı, hava, su, yağ, gaz, fuel-oil, viskozitesi düşük akışkanlarda ve benzeri servislerde kullanılır. Mil dişleri normalden daha incedir ve daha hassas ayarlamalarda kullanılabilir.

İğneli vanalar, su şebekelerinde regülasyon amacına uygun kullanılmak için tasarlanmıştır. Tahrik mekanizmasının kumanda ettiği bir krank mekanizmasına bağlı klappenin, aksel olarak hareket etmesi neticesinde, basınç, debi, seviye, sıcaklık ve

benzeri parametrelerin regülasyonu yapılır. Klape, gövde üzerindeki minimum sürtünme yaratan klape rayları tarafından yataklanır ve böylelikle dengeli bir hareket sağlanır.

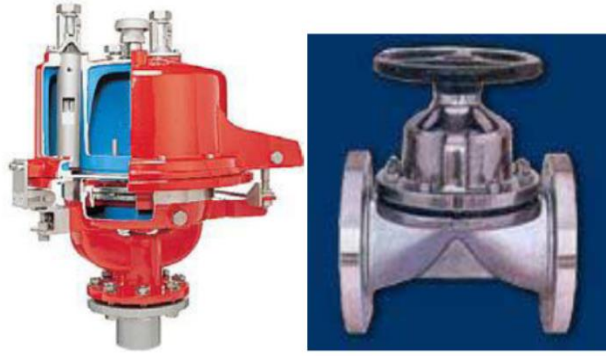
Tahrik mekanizmasının döndürdüğü mil, iç gövdedeki krank mekanizmasını harekete geçirir ve krank mekanizması klapeyi eksenal yönde hareket ettirerek vana açıklığının değişmesini sağlar. Vana, tam açık durumdayken aerodinamik bir yapıya bürünür ve vana üzerindeki basınç kaybını minimuma indirgeyerek debi kapasitesini maksimuma ulaştırır. Aynı şekilde vana tam kapalıyken özel sızdırmazlık mekanizması sayesinde tam sızdırmazlık sağlanır. Vananın tüm açıklık konumlarında dairesel bir açıklık oluştuğu için kavitasyon minimuma düşürülür ve sessiz, titreşimsiz olarak regülasyon amaçlı kullanım gerçekleştirilebilir. Kavitasyon oluşumunun yüksek olduğu özel durumlarda, kavitasyon kafesi ve yivli silindir gibi özel paslanmaz klape alternatifleri mevcuttur. Sistem basıncından bağımsız çalışan klape ve özel dişli kutusu sayesinde büyük çaplarda dahi ihtiyaç duyulan tork değeri oldukça düşüktür. Bu sayede oldukça ekonomik aktüatörler seçilebilir. Doğuş iğneli vanaları tüm çap aralığında yekpare gövdeden imal edilmekte, bu sayede rakiplerine oranla daha iyi gövde sızdırmazlığına ve daha hafif bir yapıya sahip olmaktadır. İğneli vanalar standart olarak GGG40 Sfero döküm malzemedен üretilmektedir.



Şekil 6. İğne vana (Anonim, 2021d)

1.1.5. Diyaframlı Vanalar

Yüksek korozyonlu servislerde kullanılır. Sürgülü ya da diskli vanaların içinde bir diyafram bulundurulur. Diyafram hareketli parçaları korozyona sebep olan akışkanlardan korur. Salmastra olmadığından kaçak problemleri de yoktur. Şayet mil üstünde bir kaçak söz konusu ise bu diyaframın yırtıldığına işarettir. Bu durumda diyafram değiştirilerek operasyona devam edilir.



Şekil 7. Diyaframalı vanalar (Anonim, 2021d)

1.2 Çek Tipi Kontrol Vanaları

Çek vanalar ters yöndeki akışın önlenmesi amacıyla kullanılır. Çek vana hatlarda tek yönlü akışı sağlamak ve kendinden önceki ekipmanı ve prosesi korumak amacıyla yerleştirilirler. Vana hareketini direk akışkandan aldığı hareketle yapar. Dışarıdan bir kuvvet uygulanmaz. İki prosesi ayırmak amacıyla kullanılmamalıdır ve sürgülü vana gibi değildirler. Bazen tek yönlü vanalar olarak da isimlendirilirler. Çek vana hattaki ters akışı durdurur.

Çek vanaları tek yönlü vanalar olarak da isimlendirilirler. Çek vana hattaki akışı durdurur.

Çek vana çeşitleri:

- Nozul tip çek vanalar
- Toplu tip çek vanalar
- Klapeli tip çek vanalar
- Eğim tip klapeli (Kaldıraçlı) çek vanalar
- Stop tip çek veya geri dönüşsüz vanalar

1.2.1.Nozul tip çek vanalar

Nozul çek vanalar özgül ağırlık ile çalışırlar. Sıvı akışıyla beraber piston yukarıya doğru hareketlenir ve akış yolu açılır Açılan kesitten akışkan geçer. Bu durum ters akışta sıvı vanayı kapatma yönünde zorlar ve akış durur. Piston tipi çek vanalar kapaklı çek vanalara göre daha fazla basınç düşümü oluştururlar.



Şekil 8. Nozul tip çalkara çekvalf (Anonim, 2021g)



Şekil 9. Nozul tip çalkara çekvalf (Anonim, 2021h)

1.2.2. Toplu tip çalkara çekvalf

Küresel çek vanalar ve piston çek vanalar aynı prensipte çalışırlar. Yalnızca piston yerine bilye mevcuttur.



Şekil 10. Toplu tip çalkara çekvalf (Anonim, 2021k)

1.2.3. Klapeli tipi çalkara çekvalf

Vana gövdesinden geçen akış yaklaşık olarak düzgün bir hat üstünde olduğundan, kapaklı çek vanalarda oluşan basınç düşümü piston ya da küresel çek vanalara göre daha azdır. Kapaklı çek vanalar, özellikle sıvı hatlarındaki basınç servislerinde kullanılırlar. Sıvı akışıyla beraber kapak açılmaya başlar ve akış artıkça tam açıklığa ulaşır. Ters akış anında ise kapak akış baskısıyla tam olarak kapanır. Sürgülü vanalardakine benzer olarak kapaklı çek vanalarda akış zıt tarafından engellenmeden düzgün bir hat üzerinde oluşur. Bu benzerlik sayesinde genelde sürgülü vanaların yanında çek vana kullanımı gerektiğinde bu kapaklı çek vana olur.



Şekil 11. Klapeli tip çekvalf (Anonim, 20211)

1.2.4. Eğim tip klapeli (kaldıraçlı) çek vanalar

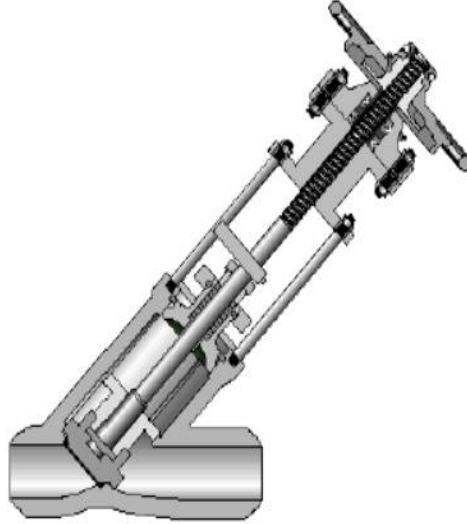
Bu çek vana grubunda pistonlu ve küresel çek vanalar vardır. Bu tip çek vanalarda akış sit içindeki diski yukarıya doğru hareket ettirir. Disk metal bir eksen üstünde aşağı – yukarı hareket edebilecek durumdadır. Diskin sit üzerindeki pozisyonu yalnızca yukarı doğru harekete müsaade edecek şekildedir. Akış kesildiği anda disk kendi ağırlığıyla sit yuvasına oturur ve ters akışı önler. Kaldıraçlı çek vanalar sitim, hava, gaz, su ve genel buhar servislerinde kullanılır. Dikey borulamada normal kaldıraçlı çek vanalar çalışmaz. Bu servisler için özel yapım çek vanalar kullanılır.



Şekil 12. Eğimli tip klapeli çek valf (Anonim, 2021m)

1.2.5. Stop tip çek veya geri dönüşsüz vanalar

Stop-çek ya da geri dönüşsüz vanalar iki ya da daha fazla ünitenin aynı hedere bağlandığı kazan servislerinde kullanılır. Bunlar hederde kazanlara doğru olacak ters akışı otomatik olarak engellerler. Stop-çek vanalar kazan devreye alırlarda ve devreden çıkarma işlemlerinde büyük kolaylık sağlar. Hederde ters akış önlediğinden kazan içinde meydana gelebilecek olumsuzluklar önlenmiş olur. Birden fazla kazanın bulunduğu sistemlerde mutlaka bu tip vanalar kullanılır.



Şekil 13. Stop tipi çekvalf (Anonim, 2021n)

Çizelge 1a. Tez çalışmasında incelenen vanaların avantaj ve dezavantajları

	Kelebek vana	Sürgülü vana	Tilting çekvalf	İğne vana
Kullanım alanı	Açma ve kapama fonksiyonu	Açma ve kapama fonksiyonu	Akışkanın geriye dönmesini engelleme	Açma, kapama ve kısıcı
Akışkan kontrolü	Akış kontrolü açma ve kapatma olarak yapılabilir. Farklı açıklıklarda kullanıma uygundur fakat kullanım alanında basınç kontrol vanası bulunmalıdır. Aksi takdirde vanada deformasyon ve fonksiyon kayıpları olabilir.	Açma ve kapatma vanası olarak kullanımı uygundur. Tasarım değişikliği ve elektrikli aktüatör montajı ile sayesinde farklı açıklıkta kullanımı yapılabilir.	Akışkanın geriye dönmesini engellemek için kullanılırlar. Akışkanın geriye dönmeye başlaması esnasında kol ağırlık mekanizması yardımı ile kapatma yapılan vanalardır. Bu vanalara hidrolik lif ünite montajı ile birlikte otomatik kontrol yapma olanağı mevcuttur.	Açma kapama vanası olarak kullanılabilir ve istenilen oranda kısma ve açma yapmaya uygundur.

Çizelge 2b. Tez çalışmasında incelenen vanaların avantaj ve dezavantajları

40 Bar üzeri basınçlı akışkanların kontrolü	Kısmen uygundur.	Uygun değildir.	Kısmen uygundur.	Uygundur.
Geri dönüş izin verme	Hidrolik ünite kol yardımı montajı ile geri dönüş engellenebilir.	Geri dönüş izin verir.	Geri dönüş izin vermez.	Geri dönüş izin vermeyen modelleri vardır.
Montaj ve bakımı	Montajı ve bakımı kolaydır. Sızdırmazlık elemanı sökölüp takılabilir olduğu için müdahale etmek kolaydır.	Montajı ve bakımı kolaydır. Sızdırmazlık elemanı sökölüp takılamaz yekpare olduğu için müdahale etmek kolay değildir. Sızdırmazlık sürgüsünün yenilenmesi gerekmektedir.	Montajı ve bakımı kolaydır.	Montajı ve bakımı kolaydır.

Kelebek vana, iğne vana, sürgülü vana ve tilting çek valf vanalar kullanım alanlarına göre değişiklikler göstermektedir. İğne vana akışkanın açma kapama ve kısma kontrolü yapma fonksiyonu diğer üç vanadan en haşhaş ayar yapabilecek vanadır. Kelebek vana ve sürgülü vana ise açma kapama fonksiyonu kullanarak akışkanın kontrolü yapılabilecek vanadır. Tilting çek valf vana ise geri dönüş kontrolü diğer üç vanadan daha etkili ve kolaydır. Kelebek vana ve iğne vanaya ek fonksiyon artıcı mekanizmalar kullanılarak geri dönüşsüz vana fonksiyonu eklenebilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

J. Eng. araştırmasında DN50 kelebek vanayı farklı klepe ve mil tasarımları ile aldı ve farklı kelebek vanaların akış durumunu inceledi. Farklı yapılarla sahip kelebek vanaların direnç özellikleri, akış durumu, özellikleri ve akış kararsızlığı deneyler ve sayısal simülasyonlar ile incelendi. Araştırmalar, akış ayrımının valf diskinin kenarında meydana geldiğini ve valf diskinin sürüklenmesinin zamanla periyodik olmayan bir şekilde dalgalandığını göstermektedir. Farklı açılma derecelerinde, vananın akış aşağısındaki hız dağılımı değişir ve milin hız dalgalanması üzerindeki etkisi farklıdır. Son olarak, vananın akış aşağısındaki dengesiz akış bölgesi belirlenir. Bu çalışma, kelebek vanaların kullanımı ve optimizasyonu için bir referans sağlamaktadır (J.Eng,2022).

Kelebek çek valf, normal çalışma koşullarında pompaların geri akıştan zarar görmesini önlemek için küçük modüler reaktörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, valfin büyük akış direnci, doğal sirkülasyon durumu sırasında reaktör soğutma sisteminin akış özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Standart k-ε modeli, RNG k-ε modeli, gerçekleştirilebilir k-ε modeli, SST k-ε modeli ve BSL-RSM modeli sırasıyla valf kayıp katsayısını ve valf akış katsayısını elde etmek için uygulandı. Ayrıca, deneyler gerçekleştirilmiş ve geçici sayısal simülasyonların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Diğer türbülanslı modellerle karşılaştırıldığında, standart k-ε modelinin kullanıldığı simülasyon sonuçlarının deney sonuçlarıyla daha iyi örtüştüğü belirtilmelidir. Deneysel ve sayısal sonuçlar, bu makalede oluşturulan sayısal simülasyon metodolojisinin, küçük bir modüler reaktör doğal sirkülasyon koşulları altındayken valf akış katsayısını elde etmek için kullanılabileceğini ve katsayının küçük reaktörlerin doğal sirkülasyon özelliklerini doğru bir şekilde analiz etmek için kullanılabileceğini göstermektedir. (Liu,2022)

Basınç düşüş performansı ve kavitasyon çalışmaları deneysel olarak incelenmiştir. Dört farklı kafes türünün basınç düşüş performansı incelemek için kayıp katsayıları ve akış katsayıları kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, kayıp katsayısının $Re < 4 \times 10^5$ dışında Reynolds sayısından neredeyse bağımsız olduğu görülmüştür. kavitasyon indeksleri karşılaştırılarak kavitasyon sınırları (başlangıç ve kritik kavitasyon) tespit edildi. Vana açıklık oranına göre kavitasyon indeksleri karşılaştırılarak vana için güvenli kavitasyon aralığı belirlendi. Boyut ölçeklendirmesi ve

basınç ölçeklendirmesinin etkisiyle yeni çap ve yukarı akış basınç değerleri için yeni bir kavitasyon indeksi tahmin çalışması yapıldı (Aydeniz,2020).

Akbulut (2020) tez çalışmasında iğne vananın akış karakteristikleri incelenmiştir. Kavitasyon olayının vana üzerindeki etkileri HAD programları ile araştırılmıştır. Kavitasyon; akışkan basıncı buhar basıncının altına düştüğünde oluşan kabarcıkların pompa, pervane ve vana gibi makinelerin parçalarına ciddi zararlar verdiği bir faz değişikliği olayıdır. Bu araştırmanın ilk amacı iğne vanalarda iki fazlı HAD simülasyonları yapılarak kavitasyon başlangıcını belirlemektir. Ardından birkaç farklı kavitasyon kafesi bağlanarak kavitasyon başlangıcındaki değişimi gözlemlemektir. Aşağı akış basıncının çok düşük olduğu durumlarda vanayı ve vana diskini korumak için bir kavitasyon kafesi kullanılır. Yapılan analizler sonucu kavitasyon kafesi kullanılarak kavitasyonun daha geç başladığı gözlemlenmiştir (Akbulut,2020).

Hoursan ve ark. (2018), ANSI/ISA-75.02-1996, ANSI/ISA-75.01.01-2002 ve IEC 60534 göre kurdukları test düzeneğinde glob vananın testlerini yapmışlardır. Deney düzeneğinin tasarımında burada sunulan bilgilerden faydalanılmıştır. Test ettikleri vananın giriş çapı 3 inç glob klape çapı 2.5 in olup tam açık konumda 120 m³/h debide 40 mm stoklu vana için vana debi kapasite katsayısı C_v değerini 72 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca vananın tam açık konum ve farklı açıklık oranları için K_v (C_v) ve basınç kayıp katsayısı (ζ) değerlerini de belirlemişlerdir.

İki çıkışlı bir santrifüj pompanın tasarımı ve HAD ile optimizasyonu isimli tez çalışmasında iki çark ve gövde yerine tek çark ve tek gövde ile akışkanın farklı zamanlarda iki farklı hatta akışkan gönderebilecek bir pompa tasarımı yapılmıştır. Tasarım kriterleri en düşük enerji tüketimi ile en yüksek verimde çalışacak bir pompa tasarlanmıştır (Kemerli, 2015).

Kelebek vana klape tasarımı yapılmış olan vananın analizleri yapılmış olup incelemeler yapıldığı ve sonuçların tartışılıp yeni bir optimizasyon işlemleri yapılmıştır. Yeni vana klapesinin analizleri tekrar yapılmıştır. Üretim kolaylığı, maliyetin düşürülmesi ve işlenebilirlik göz önüne alınarak kelebek vananın sürüklenme direnç kuvvetinin düşürülmesi sağlanmış ve vananın K_v değerleri düzeltilmiştir (Gök, 2014).

Tüzüner (2014) çalışmasında büyük çaplı DN2000 kelebek vananın analiz programı yardımı ile hesaplamalar yapılmış ve gerekli optimizasyonları yapılarak en uygun tasarımlı kelebek vana tasarlanmıştır. Diğer nominal çaplı vanalarda optimizasyonlar yapılarak literatüre uygunluğunu saptanmıştır (Tüzüner, 2014).

Tunç'un çalışmasında DN200 kelebek vananın farklı basınç farkları altında sonlu hacimler yöntemi ile kavitasyon oluşan bölgelerin tespiti yapılmış ve en yüksek kavitasyon oluşan vana açıklığı tespit edilmiş ve kavitasyonun düşürülmesi için tartışılması yapılmıştır (Tunç, 2014).

Sandalcı (2009) tarafından çalışmasında DN65 ve DN80 olmak üzere iki farklı kelebek vana kullanmıştır. ANSI/ISA-75.02-1996 standart test yöntemine göre test edilmiştir. Testlerini 2, 3 ve 4 m/s gibi farklı debilerde ve farklı vanalarda gerçekleştirilmiş 0, 10, 20, 30 ve 40° gibi açılma açılarına göre analizler sonuçlarını ve akış alanı yüzdelerinin inceleyip irdelenmiştir (Sandalcı, 2009).

Sestak (2009); çevredeki baca gaz akışı analizi yanmalı motor egzoz valfi CFD kullanımı konusunu incelemiştir. Tez çalışmasında baca bağlı vananın akış analizi yapılmış ve analiz sonucu değerlendirilmiştir (Šesták, 2009).

Sandalcı ve ark. (2009), çalışmalarında vana sektöründe tesisatlar da çabuk açma ve kapama durumları için ideal bir tasarım olan kelebek vanalarda (DN80 ve DN65) türbülanslı akış koşulunda (2, 3, 4 m/s akış hızlarında) farklı disk açlarına ($=0^\circ$, 10° , 20° , 30° ve 40°) karşılık gelen akış alan yüzdelerinde (%100, %82,64, %65,80, %50 ve %35,72) basınç kaybını ölçmüşlerdir. Kelebek vana diski tam açık pozisyonda (0°) iken borudan geçen akışkan debisi maksimumdur. Vana merkezine yataklanmış disk, açısı kadar döndürüldüğünde akışkan akışı sınırlanmaya başlar ve açısı 40° olduğunda akışkan geçişli kısmen azalır. Ölçümlerini test metodu ANSI/ISA-75.02-1996'da belirtilen şartlara uyularak kurulan test düzeneğinde yapılmıştır. İki farklı çaptaki DN80 ve DN65 kelebek vanada, basınç kaybı ölçüm değerlerini kullanılarak hesaplanan kayıp ve debi katsayılarının disk açlarına göre değişimini deneysel belirlemişler ve sonuçları korelasyon eşitlikler olarak sunmuşlardır.

Akışkan kontrolünde en yaygın kullanılan kelebek vananın kayıp katsayısının incelenmesi ve deneysel sonuçlarla belirlenmesi ve karşılaştırılmasını Duymaz (2008) tarafından incelenmiş ve irdelenmiştir. Çalışmada DN 40 nominal çapında bir kelebek vananın yersel yük kaybı katsayısı, hem deneysel olarak, hem de nümerik sonlu hacimler yöntemini kullanan Fluent paket programı yardımıyla hesaplanmış ve deney yöntemi ve Fluent programı ile problem çözülürken akışkan olarak hidrolik kullanılmıştır. Bu şekilde yerel kayıp katsayısı, vana açıklığı tam açık pozisyonda iken ($\theta=90^\circ$), deney sonucunda 0,5319 ve nümerik yöntemde ise 0,4659 olarak bulunmuştur. Bu değerler arasındaki fark %12,41 farkı ifade etmektedirler (Duymaz, 2008).

Akışkan açma kapamasında en yaygın kullanılan bir diğer sürgülü vananın kayıp katsayısının incelenmesi ve deneysel sonuçlarla belirlenmesi ve karşılaştırılmasını Yüksel (2008) tarafından incelenmiş ve irdelenmiştir. Bu çalışmada sürgülü vananın tam açık pozisyonunda olduğu şekilde hesaplamalı akışkanlar mekaniği programı yardımı ile 0,429 olarak bulunmuş olup deneyler sonucunda ise 0,377 bulunmuştur (Yüksel, 2008).

Prescott ve Ulanicki (2008), su boru hatlarında geçici rejimde basınç düşürücü vanaların karakteristik ve kontrol yöntemlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Basınç düşürücülerde hidrolik kontrol yerine PID (oransal integral derivative) kontrol yönteminin kullanılabilmesini ve bunun endüstriyel uygulamalar için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Gubanov (2007) Üst düzey programlama kullanarak CFD kodunun tasarımı paradigmaları: Serbest yüzey akışları keyfi olarak hareketli katı cisimler konusunu tez çalışmasında yapmıştır. Katı cisimlerin üzerindeki akış hareketleri irdelenmiştir. Safta ve ark. (2007) endüstriyel proses kontrol vanalarının hidrodinamik performans testlerini yapmak için Avrupa 73/23/EC normuna göre bir deney düzeneği "Department of University Politehnica of Bucharest" kurmuştur. Endüstriyel kelebek ve sürgülü vanalar DN600-DN300 boyutlarında testlerini akış katsayısı (Kv), basınç kayıp katsayısı (ζ) ve kavitasyon katsayısı değerlerini CEI/IEC 60534-2- 1:1998 standardına göre ölçerek belirlemiştir. Sabit su seviyesi olan test vanası seviyesinden 6.95-7.5m yükseklikle 2000 m³'lik bir tanktan 2.1 m³/s-3.43 m³/s debi değerlerinde deneyler yapılmıştır. Proje önerisinde daha düşük çaplı bir test olanağı sağlayacak suyun sirkülasyon pompası ile dolaşımı sağlayan bir deney düzeneği tasarlanmıştır.

Prescott ve Ulanicki (2003), basınç düşürücü vananın dinamik modellemesinin matematiksel formülasyonu çıkarmışlar ve deneysel sonuçlarla hesaplamalarını karşılaştırmışlardır.

Literatürde vanalar üzerine birçok çalışma yapılmıştır, burada sınırlı sayıda çalışma hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmada dört farklı (değişik çaplardaki kelebek, sürgülü, iğneli vanalar ve çek valflerin) vananın akış karakteristikleri ve test sonuçları karşılaştırmalı sunularak hem endüstriye hem de araştırmacılara faydalı olacak bilgiler sunulmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

SolidWorks Flow Simulation yazılımı akışkan hareketlerini, ısı transferini, akış yüklerini ve akışkan kuvvetlerini hesaplayıp ve analiz etmelerini sağlayan bir bilgisayarlı akışkan dinamikleri (CFD) aracıdır. Gaz veya sıvı akışları gerçek çalışma koşullarında analiz edebilir ve değerlendirebilir.

Flow Simulation analizi ile;

- Akışkan (sıvı/gaz) akışı veya ısı transferinden etkilenen ürünler test edebilir.
- Tasarımlarınızdaki soğutma prosesini iyileştirebilir.
- Valf ve regülatörünüzdeki basınç düşüşlerini öğrenilebilir.
- Aşırı ısınma sorunlarını tespit etmek için ısı alıcılarını, ısı borularını veya elektronik bileşenleri analiz edebilir.
- Elektronik muhafazanızdaki bileşenlerin seçilmesi ve yerleştirilmesi süreci optimize edebilir.
- Ürününüzün kullanılacağı ortamda bulunan insanların termal rahatlığını sağlayabilir.
- Aydınlatma ürünlerinin performansları test edebilir
- Bir ortamdaki kirlenme riski test edebilir.

3.1. Temel Denklemler

Kütlenin korunumu ve momentumun korunumu diferansiyel denklemleri akış analiz programında ayrıklaştırılarak kullanılmıştır.

Kartezyen koordinatlarda daimi olmayan akışlar için kullanılan üç boyutlu süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.2a)$$

Türbülans Modeli: Standart k-ε türbülans modeli iki ayrı taşınım denkleminin çözümüne imkan vermek suretiyle türbülans hız ve uzunluk ölçeğini saptamaya izin veren en basit ve temel iki-denklemlilik türbülans modelidir. Özellikle pratik mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Solidworks simülasyon programı akış analizinde sadece k-ε türbülans modeli ile çözümlenme yapabilmektedir. Standart k-ε RNG türbülans modelinde akış tümüyle türbülanslı kabul edilir ve moleküler viskozitenin etkisi ihmal edilir. Bu nedenle standart k-ε RNG türbülans modeli yalnızca

tam türbülanslı akışlar için geçerlidir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı (ε) için ilgili x yönündeki taşınım denklemleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3.2a)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.2b)$$

Bu denklemlerde; μ dinamik viskoziteyi, μ_t türbülans viskozitesini, ρ yoğunluğu, G_k ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerji üretimini, G_b sıcaklık farklarından dolayı oluşan yoğunluk değişimlerine bağlı olarak türbülans kinetik enerjisi üretimini ve C türbülans modeli sabitleri göstermektedir.

$$\mu_t = f_\mu * \frac{C_\mu * \rho * k^2}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

Burada C_m , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, σ_k ve σ_ε sabitleri ampirik olarak tanımlanır. Akış Simülasyonunda aşağıdaki tipik değerler kullanılır (değerler değiştirilebilir):

$$C_\mu = 0,09, C_{\varepsilon 1} = 1,44, C_{\varepsilon 2} = 1,92, \sigma_\varepsilon = 1,3, \sigma_k = 1$$

Akış Simülasyonu, sıvı karışımlarındaki basınç, sıcaklık ve tür konsantrasyonlarının fonksiyonları olarak yoğunluk, viskozite, termal iletkenlik, özgül ısılar ve tür dağılımları ile gaz ve sıvı akışlarının simülasyonlarını sağlar ve ayrıca suyun buhardan denge hacim yoğunlaşması belirlenebilir.

Kavitasyon analizinde suyun buharlaşması ve faz değişimi incelenmesi gerekir. Genel olarak, bir sıvının durum denklemi aşağıdaki forma sahiptir:

$$\rho = f(P, T, y) \quad (3.4)$$

Özel durumlar hariç (aşağıdaki alt bölümlere bakın Sıkıştırılabilir Sıvılar, Newtoniyen olmayan Sıvılar), sıvılar sıkıştırılmaz olarak kabul edilir, yani tek bir sıvının yoğunluğu yalnızca sıcaklığa bağlıdır.

$$\rho = f(T) \quad (3.5)$$

ve bir sıvı karışımı için durum denklemi şu şekilde tanımlanır.

$$\rho = \left(\sum_i^n \left(\frac{y_i}{\rho_i} \right) \right) \quad (3.6)$$

Burada $y = (y_1, \dots, y_n)$ sıvı karışım bileşenlerinin konsantrasyon vektörüdür. Sıkıştırılmayan sıvıların laminer akışlarını hesaplayabilir. Bu durumda viskoz kayma gerilmesi tensörü tanımlanır.

$$\tau_{ij} = \mu(\gamma) \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.7)$$

Vana akış katsayısı (Kv)

Vana akış katsayısı değeri, 15 °C sıcaklıktaki suyun, 1 Bar basınç kaybı ile belirli bir oranda açık vanadan geçen m³/h cinsinden debisini belirtmektedir. En büyük değer vana tam açık konumda olduğu için Kv değeri piyasada vana tam açık konum oluşturduğu Kv değerinin büyüklüğü vananın hidrodinamik açıdan iyi tasarlandığının göstergesi olarak değerlendirilir.

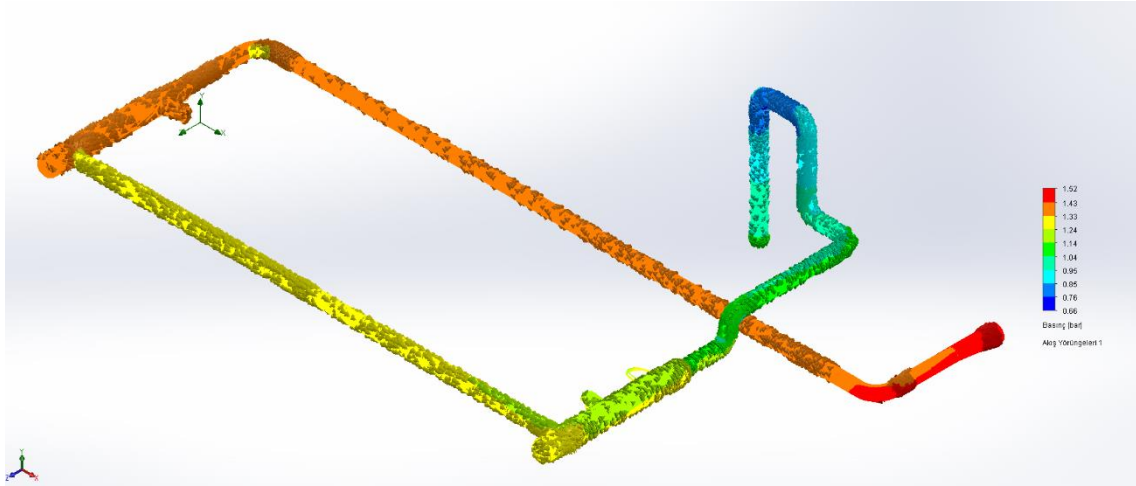
Vana akış katsayısı (Cv); Vana akış değeri ABD’nde kullanılan, eşdeğer değeri de basınç kaybı 1.0 Psi (0,07 Bar) ve akışkan sıcaklığı 60 °F olmak üzere US-Galon/dak cinsinden debi olarak tanımlanmıştır.

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P_{vk} * \rho_{su}}{\Delta P_{1bar} * \rho_0}}} \quad (3.8)$$

$$C_v = 1,17 * K_v \quad (3.9)$$

$$\Delta P_{vk} = \Delta P_{vana+boru} - \Delta P_{boru} \quad (3.10)$$

Burada ΔP_{vk} vanada oluşan net basınç kaybını, $\Delta P_{vana+boru}$ basınç prizleri arasındaki hatta boru hattı ve vanada oluşan toplam basınç kaybını ΔP_{boru} ise vana olmadan basınç prizleri arasında oluşan boru basınç kaybını göstermektedir. Şekil 14’de deney düzeneği DN250 hattının HAD analizinde kullanılan üç boyutlu boru hattının kontrol hacmi görseli gösterilmiştir. TSEN1267’ye uygun olarak yerleştirilen basınç prizlerinden ölçülen basınç deneylerinin zamanla değişiminin ortalama değerleri farklı debilerde ölçülerek PLC kontrolü data toplama işlemcisine eklenmiştir.



Şekil 14. Deney düzeneği DN250 hattının HAD analizinde kullanılan üç boyutlu boru hattının kontrol hacmi

Deney düzeneğinin analizi yapıldıktan sonra test vanasının bağlanacağı ara boşluğa düz boru konularak analiz yapıldı ve deney düzeneğindeki ΔP_{boru} basınç kaybı hesaplandı. Deney düzeneğine düz boru biçiminde sökölüp takılabilir bir parça işlenerek HAD analiz sonucu ile karşılaştırıldı düzenek ile HAD sonucunun uyumlu olduğu belirlenip test edilecek vanaların boru basınç kayıpları bulunup ΔP_{vk} vana basıncı bulunarak HAD analizleri ve deneyler yapıldı.

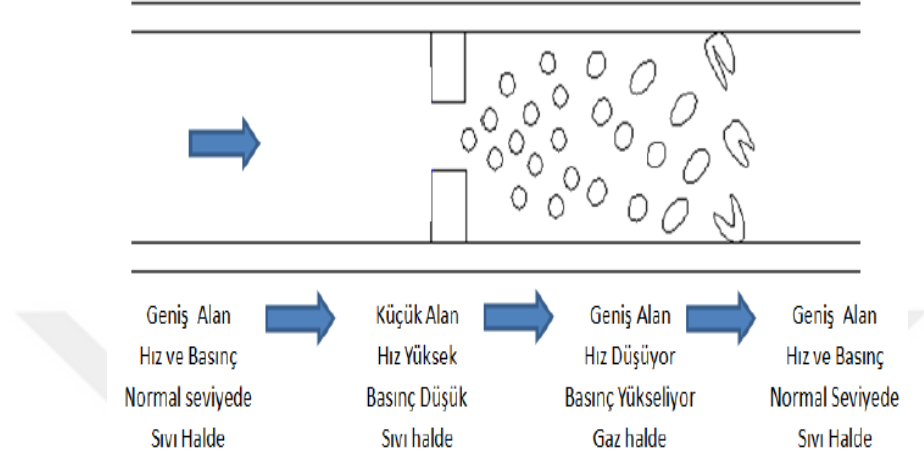
3.1.1. İçme suyu hatlarındaki vanalarda oluşan yük kayıpları

Akışkan hareket halindeyken enerjisinin bir miktarının ısıya dönüşmesi yük kaybı olarak tanımlanır. Genel olarak içme suyu hatlarında ortaya çıkan yük kaybının başlıca iki nedeni vardır. Birincisi sürtünme kaynaklı sürekli yük kayıpları, ikincisi ise yersel kaynaklı yük kayıplarıdır. Akış kontrol elemanı olan vanalardaki kayıplar yersel kaynaklıdır. Vanalar içinde kaybolan enerji ya doğrudan ya da titreşim ve gürültüyle ısıya dönüşerek dağılır. Boru hattı üzerindeki vanalar boru kesitine göre ani daralma oluşturmaktadır. Vanalar genel yapıları itibariyle bir orifis şeklindedir. Bu cihazlardaki yük kaybının akış hızının karesiyle doğrudan orantılı olduğu varsayılır (Aydın, 2017).

3.1.2. Vanalarda kavitasyon oluşumu

Bir boru hattındaki su, vanaya kadar normal akış koşullarıyla gelir. Vana açık halde iken akış fazla etkilenmez ve yoluna devam eder. Ancak vanadaki kısılma olayı başladığında vananın tasarımına bağlı olarak akışta değişimler olur. Kısılan vanada öncelikle akış kesiti daraldığından suyun hızı artar ve yerel basıncı düşer. Daralan kesit aşıldıktan sonra akış yavaşlar ve basınç tekrar artmaya başlar. Vanadaki yerel basıncın

suyun buharlaşma basıncının altına düşmesiyle su içinde kabarcıklar oluşur. Bu kabarcıklar suyla beraber hareket ederek düşük basınç bölgesinden yüksek basınç bölgesine geçtiğinde büyük miktarda enerji bırakarak patlar. Bu patlama vana cidar ve klapelerinde ciddi aşınmalara neden olur. Bu olaya kavitasyon denilmektedir. Kavitasyon olayının gelişimi Şekil 1’de gösterilmiştir (Song, 2007).



Şekil 15. Vanalardaki kavitasyon oluşum olayı (Anonim, 2021a).

Kavitasyon Katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanacaktır. Literatürde başka formüllerde kullanılmaktadır (Duyar, 2022).

$$\sigma = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_v} \quad (3.11)$$

Burada P_1 : vanaya girmeden önceki basınç, P_2 : vana çıkışındaki en yüksek basınç ve P_v : suyun vana içinden geçerken sıcaklığa karşılık gelen buharlaşma basıncıdır.

Kavitasyon öncelikle P_2 basıncı ile direkt ilişkilidir. Vanalarda kavitasyon etkisini en az seviyeye indirebilmek için uygulanması gereken değişimler vanaların bilezik çaplarının doğru tespit edilmesi çift eksantrik ayarlamalarının doğru yapılması vananın klapesinin akış yapısını akım çizgisinin en az düzeyde bozacak şekilde tasarım yapılması ve vana cidar yüzeyinin pürüzlülük seviyesinin 100 μm altında işlenmesi vananın kavitasyon olma ihtimalini en az seviyeye indirecektir. Kelebek vanalar ise endüstriyel alanda en çok tercih edilen kontrol vanası olarak kullanılmaktadır. Kelebek vananın kullanım alanı ve kullanım koşulları iyi belirlenmelidir aksi takdirde vanada oluşacak kavitasyon etkileri günlük kullanım şartlarında büyük tehlikeli arz etmektedir. Şekil 16’da görülen DN250 kelebek vana 12 Aralık 2022 yılında Karabük ili Eskipazar ilçesi sulama işleri hattında vananın delinmesi şikâyeti ile olunan vananın hattan çıkarıldıktan sonra vananın kavitasyon sonucu kelebek vananın gövdesinde delikler ve

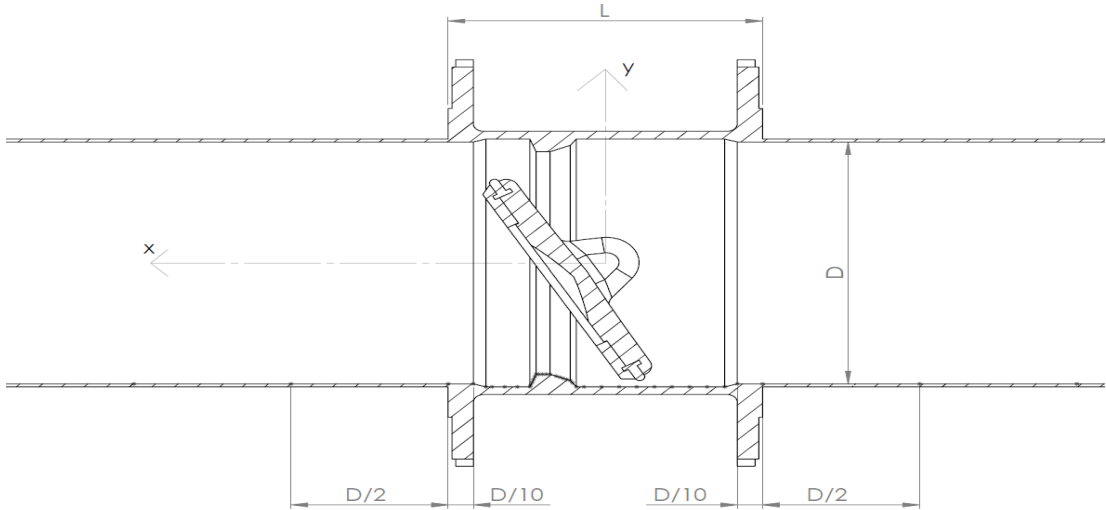
parçalanmalar tespit edilmiştir. Araştırmalar sonucunda vananın 15° açıklıkta 22 bar giriş basıncına maruz kaldığı depolama alanında ise 3bar basınca düştüğü tespit edilmiş olup vanada kavitasyon tespit edilmiştir.



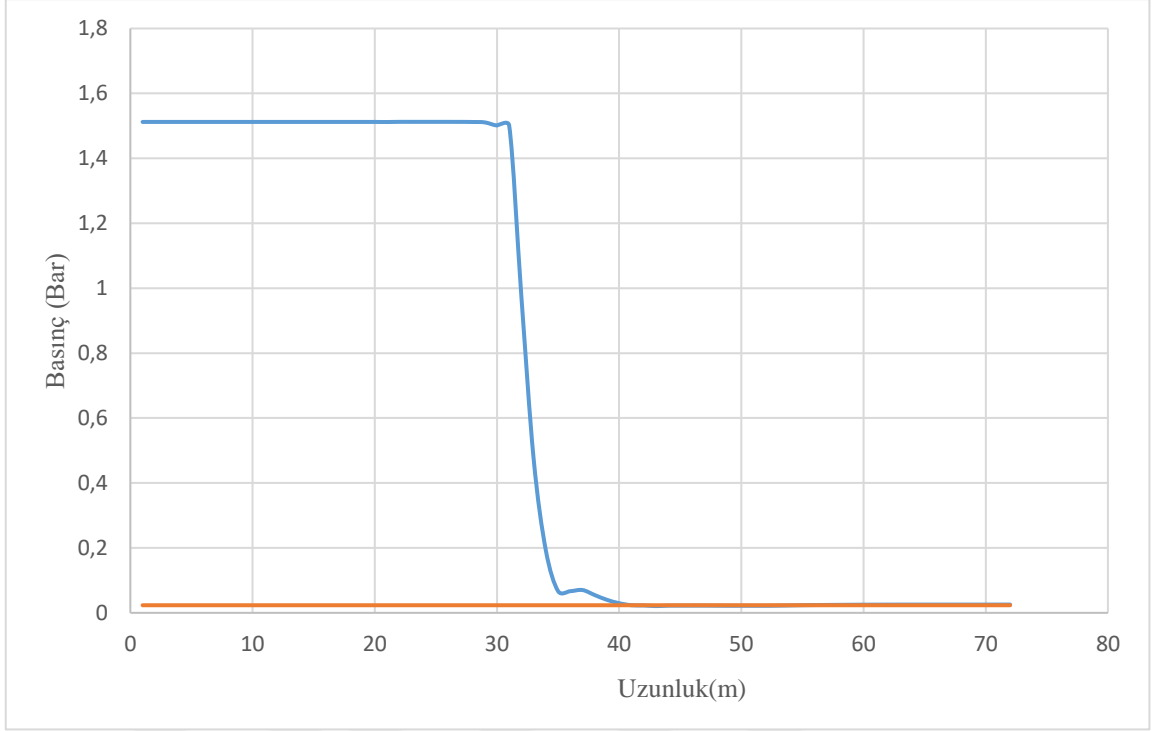
Şekil 16. Vanalarda oluşan kavitasyon olayı (Karabük, 2022)

3.2. DN250 Kelebek Vana Kaviteasyon Durumunun İncelenmesi ve Uygulama Alanları Şartları ile Karşılaştırılması

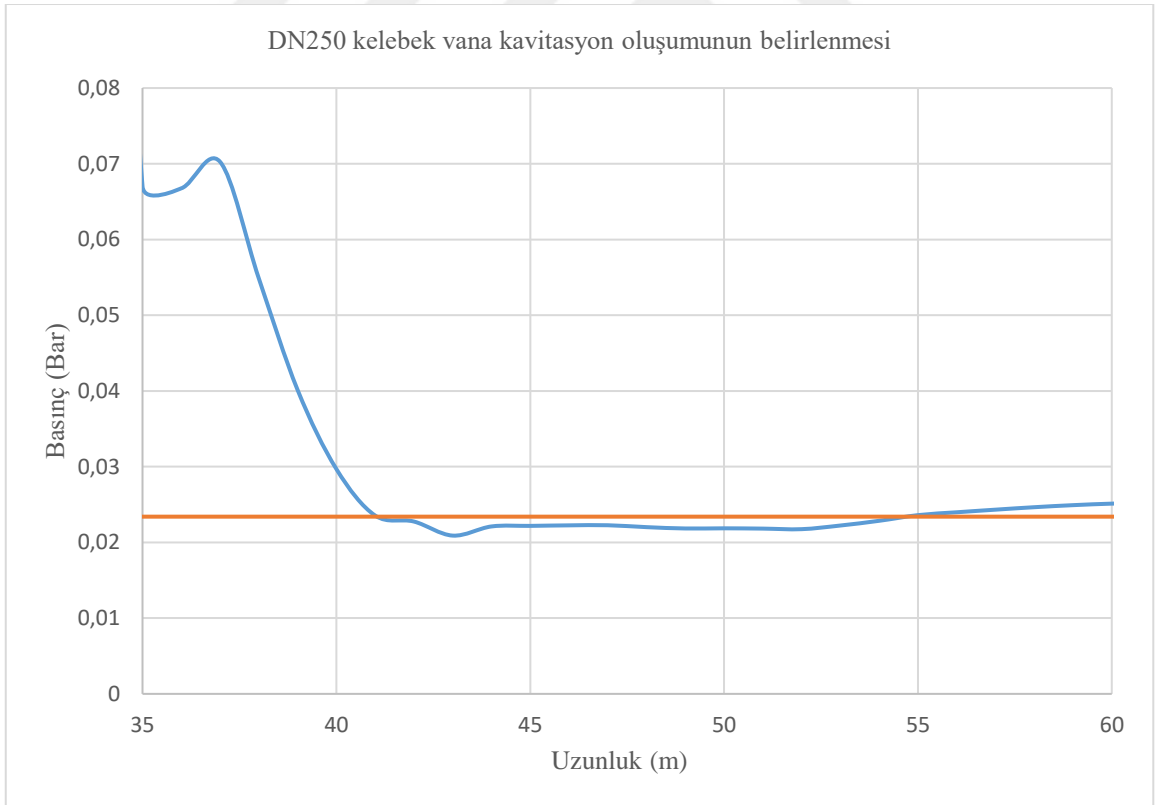
Endüstriyel alanlarda kontrol vanalarının çalışma şartlarının oluşturmuş olduğu durumlar neticesinde vanalarda kaviteasyon oluşabilmektedir. Kaviteasyonların neticesinde vana içerisinde kalıcı deformasyon yada yıkıcı etkiler sonucunda vanaların delinmesi ve fonksiyonun yitirilmesi gibi durumlar oluşabilmektedir. Solidworks Flow Similasyonunda gerekli modelleme işlemleri yapıldıktan sonra örnek olarak DN250 Kelebek vananın kaviteasyon oluşabilecek bölge ve durumlar incelenmiştir. İncelemeler sonrasında vananın %10 açıklık altındaki durum incelenmiş olup bu durumlarda oluşan modelleme üzerinde kritik noktalar işaretlenmiş olup bu noktalardan ölçümler sonrasında suyun şekil 19’de görüldüğü gibi P_{doyma} basıncının altına düştüğü noktalar tespit edilmiştir. Bu noktalarda oluşabilecek kaviteasyon bölgesi tespit edilmiştir. Kaviteasyon formülünde bu bulunan basınç değerleri konulduğunda vana içerisindeki bölgelerde kaviteasyon oluşabileceği tespit edilmiştir. Fakat gerekli koşulların endüstriyel uygulamalarda uygulanabilirliği araştırılmış olup suyun hatlarda maksimum hızının 5m/s hızın üzerine TS EN1704-3 standartında belirtilen maksimum hızın çok üstünde bir hız olan 19,7m/s hızın endüstriyel uygulamalarda uygulanamayacağından DN250 Kelebek vana için kaviteasyon riskinin TS EN1074 standartlarına uygun olan endüstriyel hatlarda çalışması durumunda kaviteasyona rastlanmayacağı tespit edilmiştir.



Şekil 17. DN250 kelebek vana kaviteasyon kontrol aralık ölçüsü



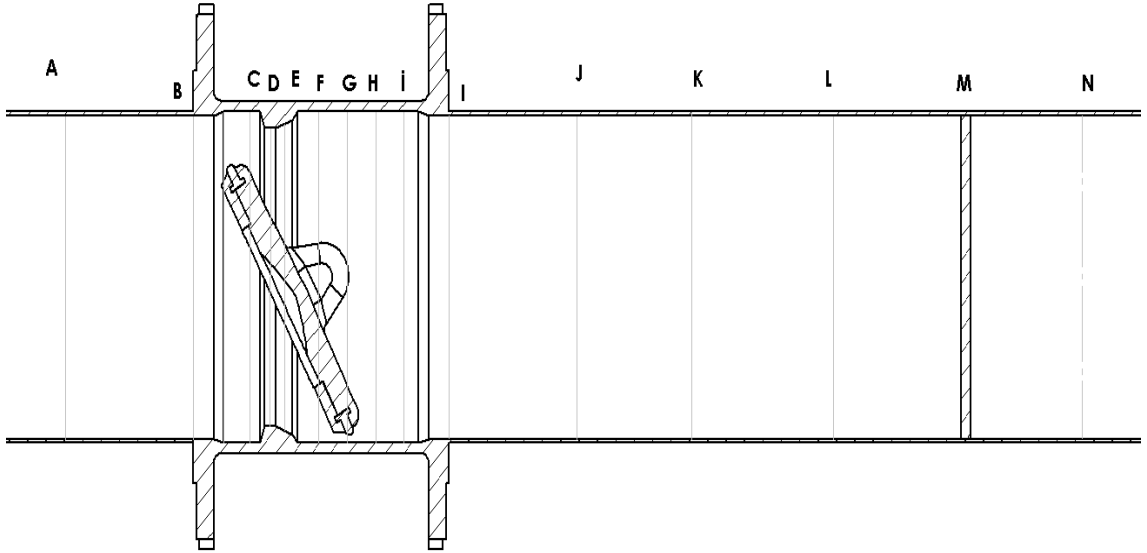
Şekil 18. DN250 kelebek vana basınç değişimi



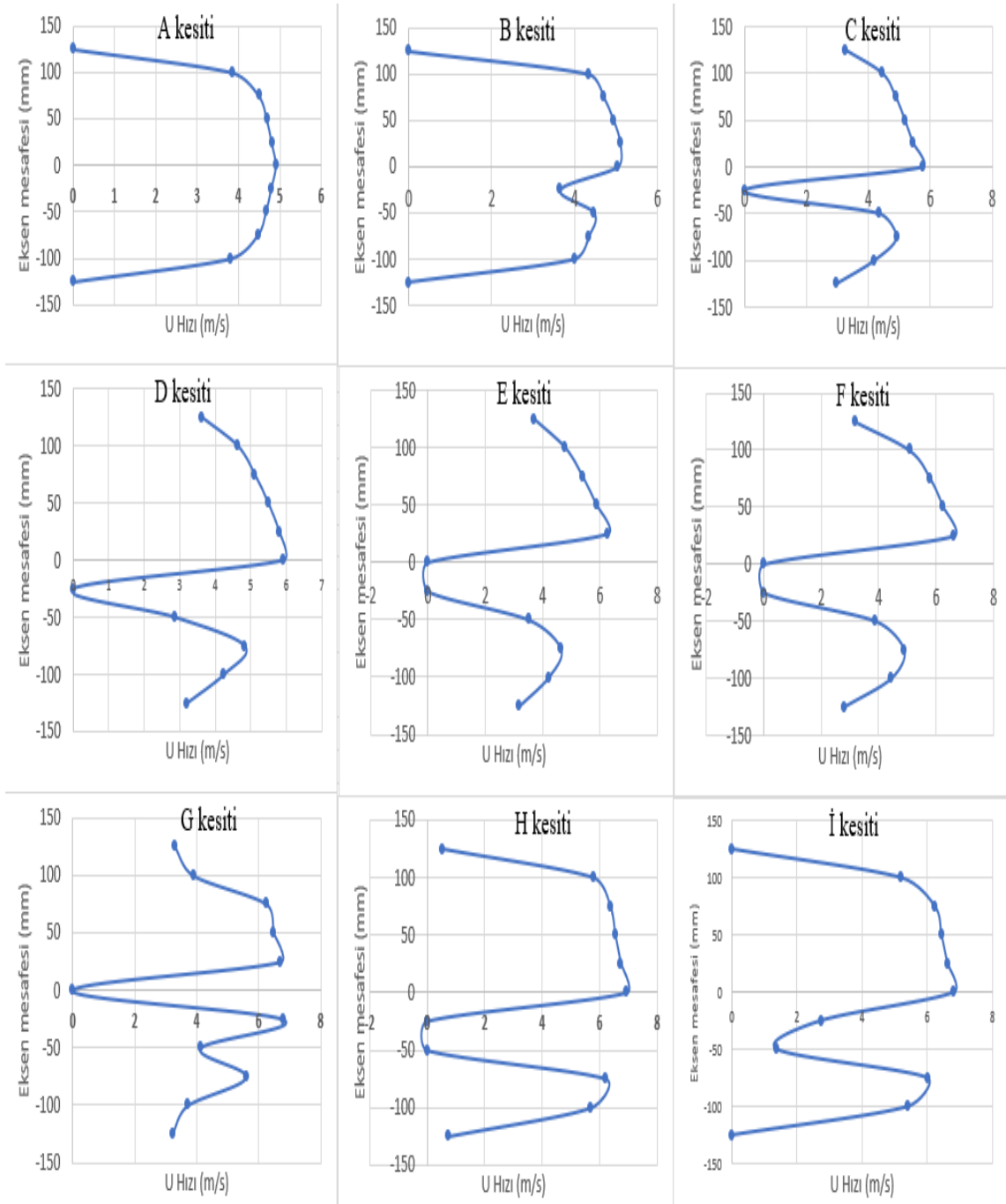
Şekil 19. DN250 kelebek vana basınç değişim detayı

3.3. TS EN 1267 Standardına Uygun Vana Test Düzeneginin DN250 Kelebek Vananın Hız Profiline Çıkartılması

TS EN 1267: 2012:04 Standardında tarif edilen test düzeneginin Solidworks Flow Simülasyon programında modelleme işlemi yapılmıştır. Bu modelleme sonucunda şekil 20’de gösterilen test vanasının giriş kısmı, çıkış kısmı ve test vanasının üzerinde belirli aralıklarda akışkanın hız profillerinin çizdirilmiştir. Bu sonuçlar incelenmesi sonucunda test düzeneginde test vanasına kadar olan bölümde akışkanın hızının tam gelişmiş akış olduğu belirlenmiştir. Test vanasının çıkış kısmında hız profillerin incelemesi sonucunda akışkanın test vanasının çıkışından sonra yaklaşık 12D’den sonra tekrar tam gelişmiş akış olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ile yapılmış olan test düzenegi çalışmasının uygunluğunun teyit edilmiştir. Şekil20’de görüldüğü gibi Vana test düzeneginde akışkanın tam gelişmiş hız profilinde test vanasına giriş yaptığı ve test vanasından 12D uzaklıkta ise tekrar hız profiline tam gelişmiş olduğu tespit edilmiştir. Test vanası üzerinde girişinden 2D önce ve çıkışından 12D uzaklık arasında ise Re sayısının 40000 üzerinde oluşan türbülanslı akış olduğu doğrulanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda TS EN 1267:2012:04 standardına uygun olarak yapıldığı tespit edilmiştir. DN250 kelebek vana akışa dik hız profili çizilen kesitler Şekil 20’de gösterilmiştir.

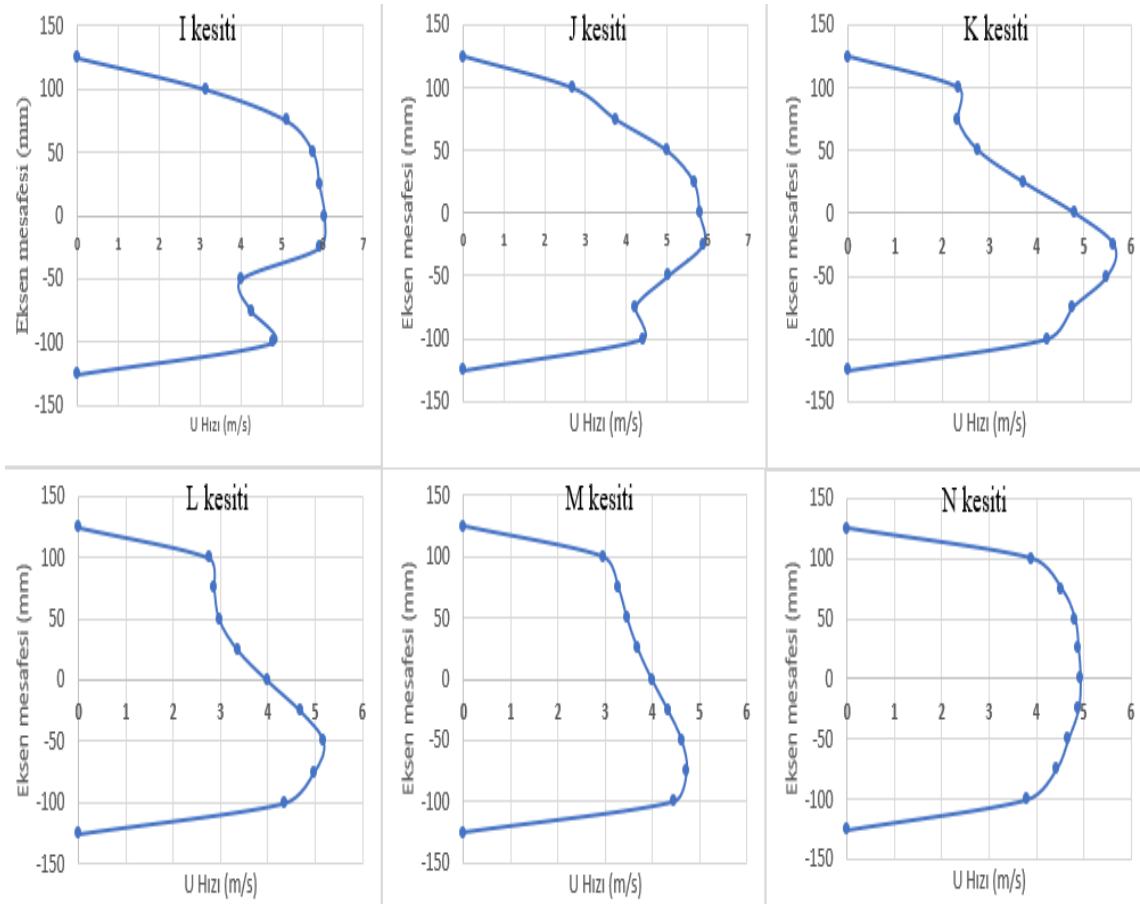


Şekil 20. DN250 kelebek vana akışa dik hız profili çizilen kesitler



Şekil 21. DN250 kelebek vana hız profili

Şekil 21 ve 22’de vananın giriş kısmında akışın tam gelişmiş şartlara ulaştığı A kesitinde görüldüğü gibi vananın girişinde tam gelişmiş akış şartları olmuştur. Şekil 21 ve 22’de A kesitinden N kesitine kadar vananın içerisindeki hız profilleri gelişimleri belirlendi vananın çıkışında sonra N kesitinde vanadan çıktıktan sonra hız profilinin tekrar tam gelişmiş akış hız profiline ulaşıldı. Bu hız profil gelişimin deney düzeneğindeki ölçüm noktaları belirlendi.



Şekil 22. DN250 kelebek vana hız profil gelişimi

3.3.1. Kelebek vana zeta katsayısı

Dirsekler, T parçalar, vanalar, redüksiyonlar ve bağlantı elemanları, hat sistemlerinde basınç kaybının önemli bir bileşenleridir. Bu bileşen TS EN 1267-2017 standardında zeta katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Zeta katsayısının formülü aşağıdaki gibidir.

$$\zeta = \frac{2 * \Delta P_v}{\rho * u^2} \quad (3.12)$$

ΔP_v : Vanadaki basınç kaybı (Pa).

u : Vana içindeki ortalama su hızı (m/s).

ρ : Vana içindeki suyun yoğunluğu (kg/m³)

Çizelge 3. İncelenen vanaların zeta (ζ) değerlerinin açıklık oranına göre değişimleri

Açıklık oranı (%)	ζ			
	Kelebek vana HAD/Deney	Sürgülü vana HAD/Deney	Çek Valf HAD/Deney	İğne vana HAD
100	0,305 / 0,332	0,214 / 0,248	0,297 / 0,324	0,145
75	0,368 / 0,379	0,242 / 0,267	0,415 / 0,428	0,182
50	0,491 / 0,465	0,315 / 0,342	0,682 / 0,701	0,245
25	0,648 / 0,615	0,615 / 0,623	0,748 / 0,793	0,314
10	0,911 / 0,883	0,713 / 0,781	0,992 / 0,997	0,451

Zeta katsayılarının %100 açık konumda iğne vana diğer dört vanaya göre akışı en az etkileyen vana olduğu tespit edilmiştir. Sürgülü vana %100 açık konumda akışı etkisi diğer vanalara göre az olması açma ve kapama fonksiyonunun kullanılması durumunda maliyet ve üretilebilirlik olarak diğer vanalardan daha kullanışlı olduğu belirlendi. İğne vananın ise akışın kontrol edilmesi hassas olunan bölgelerde diğer vanalara göre akışı en az etkilediği ve vananın bağlanacağı hat için emniyetin diğer vanalara göre daha yüksek olduğu belirlendi.

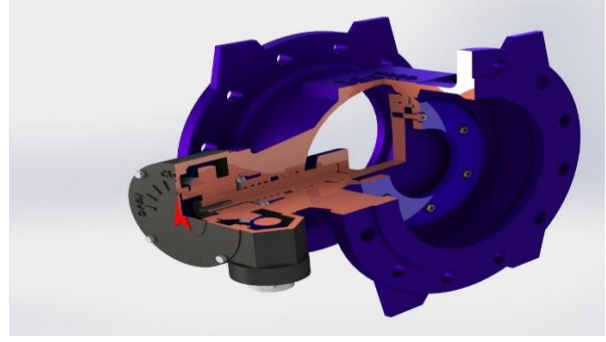
3.4. Kelebek Vana Analizi Akış Hacminin Modellenmesi

3.4.1 DN250 Kelebek Vana

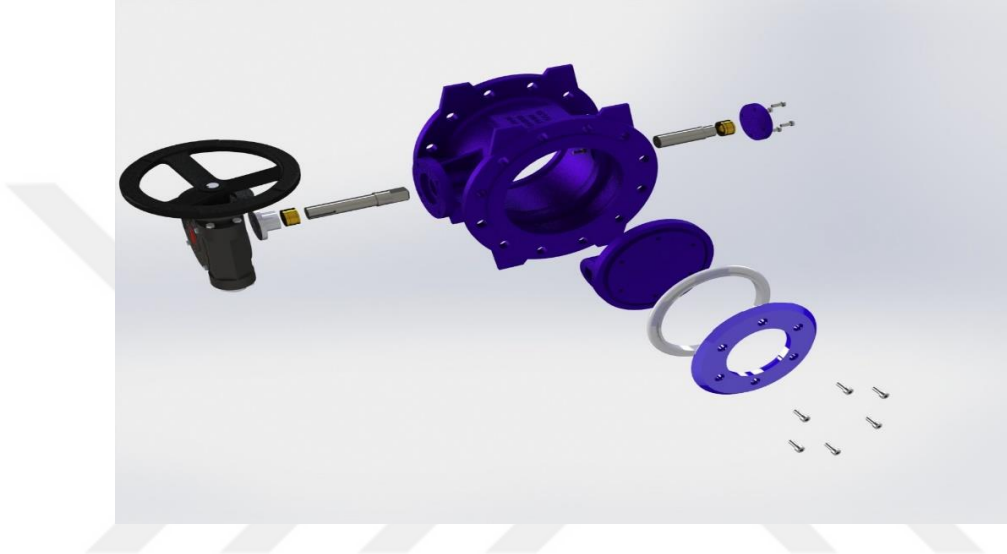
DN250 Kelebek vana gövde, klape, boğaz kapağı GGG50 dökümdür. Klape kapağı ST37,304 veya 316 paslanmaz olarak imal edilmektedir. Vananın ön ve arka milleri 304 veya 316 paslanmaz millerden imal edilmektedir. Boğaz yatakları bronz malzemeden işlenmektedir ve EPDM contalar ile sızdırmazlık sağlanmaktadır. Vananın suyla temas eden yüzeylerinin bağlantı cıvataları A4 cıvata ile su ile temas etmeyen yüzeylerin bağlantı cıvataları ise A2 paslanmaz cıvata kullanılmaktadır. Vananın tahrik redüktörü ise standartlara uygun IP67 sızdırmazlık sertifikalı redüktör kullanılmaktadır. Vananın açma kapama işlemini volan yardımı ile el ile kontrol edilmekte olup redüktöre aktüatör monte edilip otomasyon ile açma kapatma yapılmaktadır.



Şekil 23. DN250 PN16 Kelebek vana
(Anonim, 2021z)



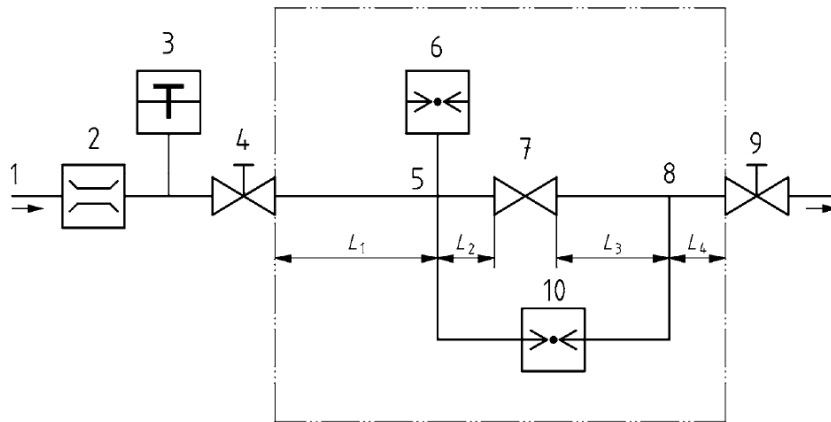
Şekil 24. DN250 Kelebek vana kesit görünümü
(Anonim, 2021z)



Şekil 25. DN250 kelebek vana patlatılmış görünümü (Anonim, 2021z)

3.4.2. DN250 kelebek vananın TS EN 1267 standardına göre hazırlanması

TS EN 1267 : 2012-04
EN 1267:2012 (E)



NOTE L_1 and $L_3 \geq 10 D$ and L_2 and $L_4 \geq 2 D$.

No	Ürün Adı
1	Su Kaynağı

2	Akış Ölçer
3	Sıcaklık ölçümü
4	Düzenleyici Valf
5	Yukarı akış basınç dokunma noktası
6	Yukarı akış basınç ölçüm cihazı
7	Test edilen Vana
8	Aşağı akış basınç dokunma noktası
9	Düzenleyici Valf
10	Fark basınç ölçüm cihazı

Şekil 26. DN250 kelebek vana had analizi hazırlanması (Anonim, 2021r).

Valf akış özellikleri, valfin Şekil 26'de gösterildiği gibi test tesisine monte edilmesiyle belirlenir.

Elde edilen akış özellikleri, çıkarılması gereken test tüplerinin özelliklerini içerir.

Flanşlı vanalar için bağlantı, test tesisi flanş yüzü ile boru arasında kayma olmadan hizalanmalıdır.

Üzerine sabitlendiği ve sıvı yolunun contalar tarafından engellenmediğine dikkat edilmelidir.

Tesisteki tüm havanın boşaltılması için bir su akış hızı sağlayın.

Test, vana tipine, kapsamına ve özelliklerine göre farklı şekilde yapılabilir.

Geçerli ürün standardı veya uygulama standardı aşağıdaki gibidir:

- belirli bir akış hızı için basınç kaybının belirlenmesi;
- bir dizi akış hızı değerinde basınç kaybının belirlenmesi;
- belirli bir basınç kaybı için akış hızının belirlenmesi;
- bir dizi basınç kaybı değerinde akış hızının belirlenmesi;
- türbülanslı akış koşullarında farklı akışlar altında ölçülen bir veya daha fazla katsayıyı belirlemek.

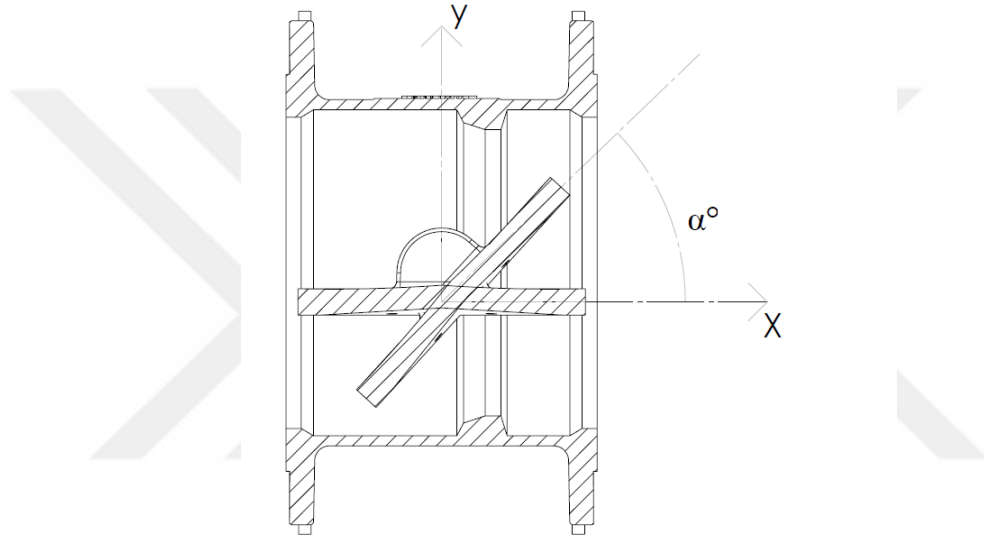
Bir valf, türbülanslı koşullarda akış katsayısını belirlemek için test edildiğinde:

En az üç farklı debi değeri için ölçümler yapılmalıdır; minimum akış hızı değeri, Reynolds sayısı her zaman 40000'in aşacak şekilde belirlenmelidir; maksimum akış hızı değeri, aşağıdakiler tarafından belirtilen çalışma aralığının üst değerinden daha büyük olacaktır. Üretici firma, test tesisi tarafından bu sınıra ulaşılamazsa, test laboratuvarı, Tesisinin ulaşılabilecek maksimum akış hızı değeri, doğru sonuçlar elde etmek için tatmin edicidir. Bu Avrupa Standardına uyumlu maksimum ve minimum arasında bir ara debi değeri belirlenmelidir. Maksimum ve minimum akış katsayısı değerleri arasındaki izin verilen fark %4'ü geçmemelidir. Fark bu toleransı aşarsa, bunun nedeni buharlaşma olabilir. Bu nedenle test tekrarlanmalıdır. Daha yüksek bir yukarı akış basınç değeri ile. Fark tolerans dâhilinde ise, türbülanslı akış koşullarında akış katsayısı, üç hesaplanmış

kaymama sınır şartı atanmıştır. Akış hacminin kademeli olarak daha iyi bir şekilde çözümlene yapması için yoğun ağ yapısı oluşturmaktadır. Diğer bölgelerdeki ağ yapısını düşürerek işlem süresini ve ihtiyaç duyulan bilgisayar kapasitesi de bu şekilde azaltılmaktadır.

3.4.4. Kelebek vananın ağ yapısının oluşturulması ve akış katsayısı K_v nin bulunması için klape pozisyonlarının ayarlanması

Şekil 28'de DN250 kelebek vana açıklık açma dereceleri simetri eksenini kesit görünümü şematik gösteri olarak gösterilmiştir.



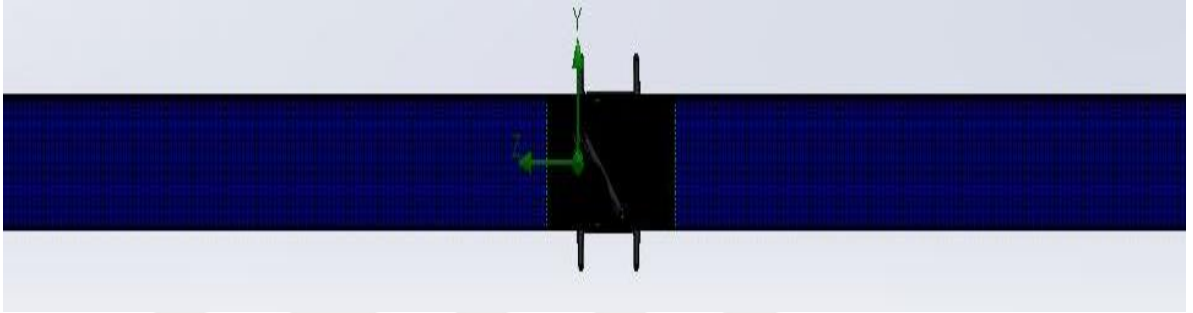
Şekil 28. DN250 kelebek vana açıklık açma dereceleri

Kelebek vananın ağ yapısının ayarlanması ve K_v katsayısının bulunması için klape derecelerinin $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ ve 90° açıklıkların ayarlamaları yapılarak ağ yapıları oluşturuldu.

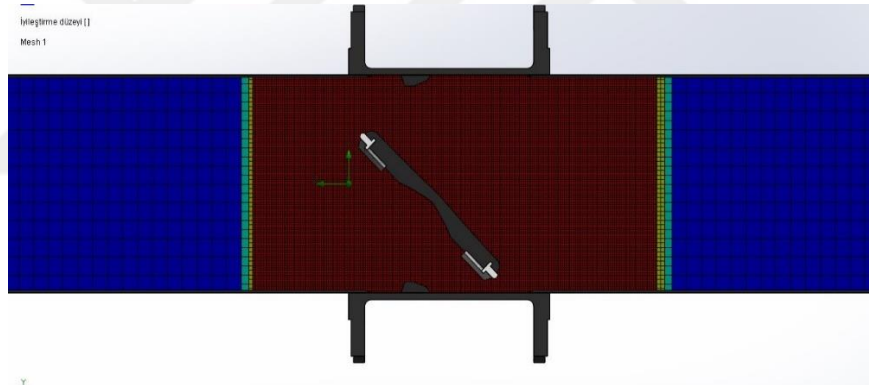
3.4.5 DN250 kelebek vana ağ uygulaması

Bu uygulamada vananın 500mm ($2 \cdot D$) uzaklığından sonra global ağ yapısı uygulanmıştır. Vananın iç cidarına ve boru girişlerine yerel ağ uygulaması yapılmıştır. Klape, klape kapağı, klape contası ve millerinin olduğu vananın iç kısım elemanlarına ise eğrilik tabanlı ağ uygulaması yapılmıştır. Bu ayarlamalar sonrasında 2315735 adet ağ yapısı için akışkan hücre sayısı elde edilmiş ve analizler bu ağ uygulamasına göre yapılmıştır.

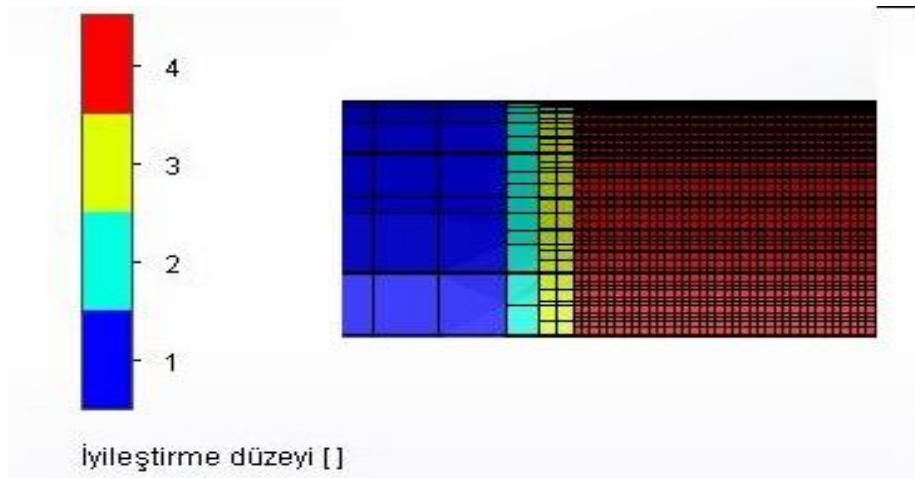
HAD analizinde vananın cidar çevresi ağ yapısı yüzeyine Şekil 30'da ince ağ yapısı uygulandı. Şekil 31'de vananın üzerindeki ağ yapısını yoğunluğu gösterildi. DN250 kelebek vana 90 derece döndürülmüş boru cidarı ağ yapısı detayı gösterildi. Şekil 32'de vananın sit yüzeyinin olduğu kısımda kesit daralmasını olduğu bölgelere daha yoğun ağ yapısı yapıldı. Şekil 33'de vana kapama elemanının yüzey ağ yapısı ince ağ yapısı uygulandı. Bu şekilde oluşturulan ağ yapısı ile çözümler gerçekleştirildi.



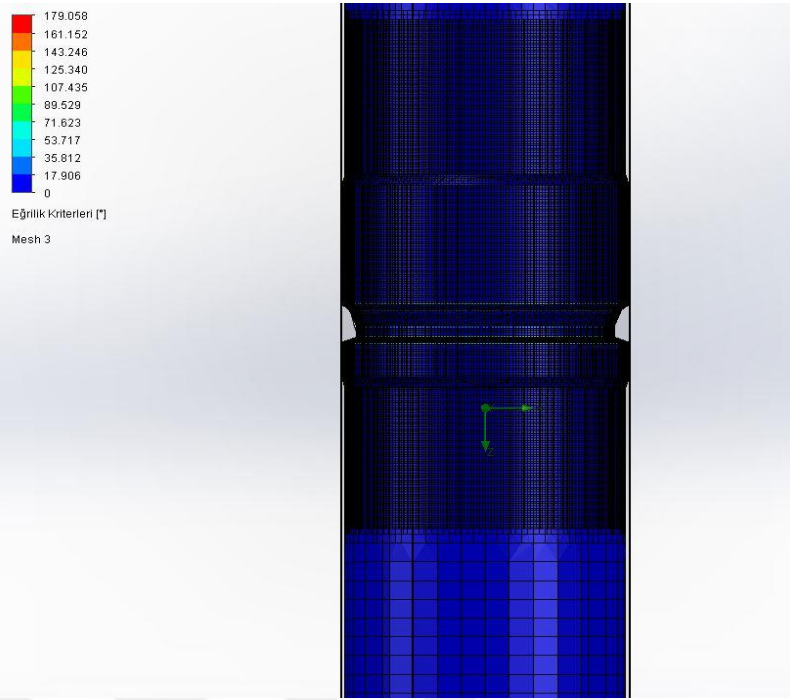
Şekil 29. DN250 kelebek vana genel ağ uygulaması



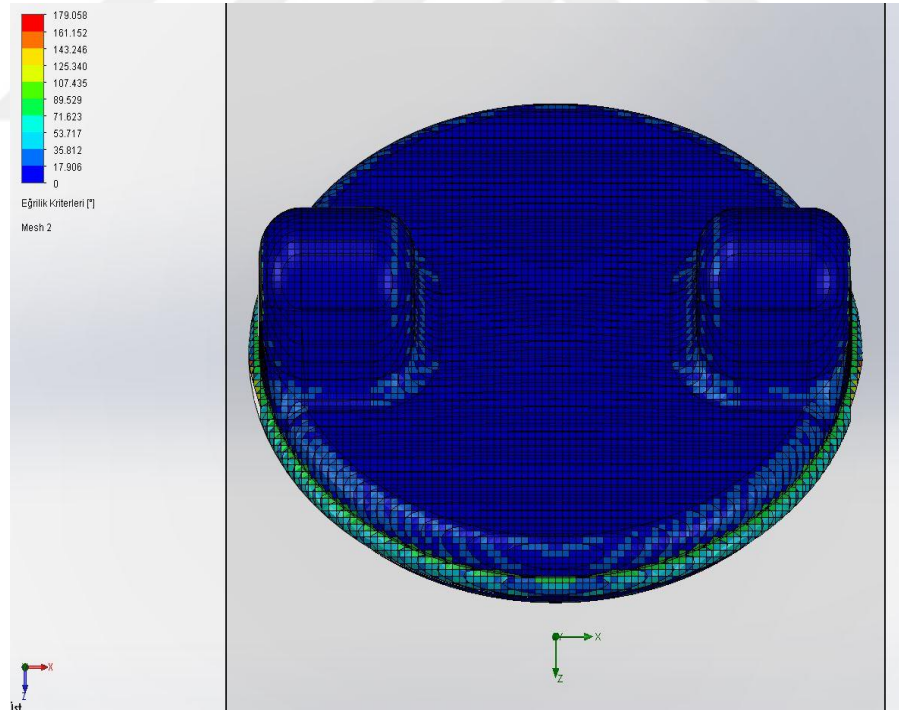
Şekil 30. DN250 kelebek vana cidar çevresi ağ yapısı



Şekil 31. DN250 kelebek vana ağ yapısı görselleri



Şekil 32. DN250 kelebek vana 90 derece döndürülmüş boru cidarı ağ yapısı detayı



Şekil 33. DN250 kelebek vana klape yüzeyi ağ yapısı

3.4.5.1 DN250 kelebek vana ağdan bağımsızlık çalışması

DN250 kelebek vana ağ yapısı ağdan bağımsızlık sonuçları Çizelge 3'de sunulmuştur. Çizelge 3 de kelebek vana ağdan bağımsızlık çalışması yapıldı. Bu ağ

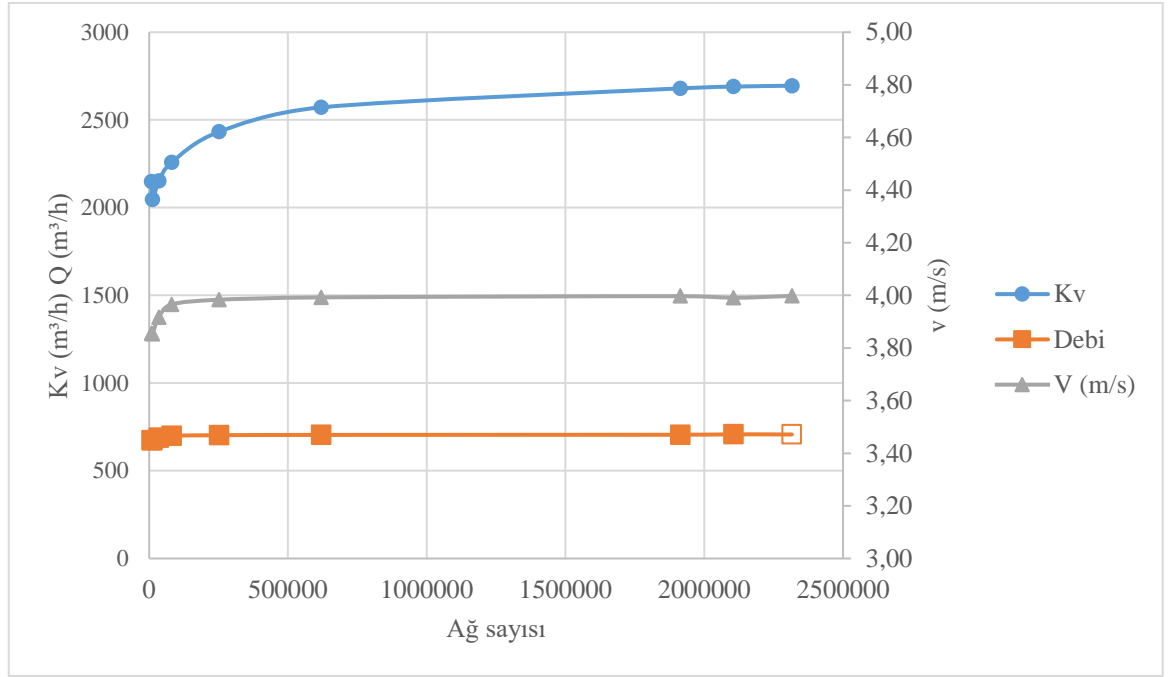
uygulaması yapıldı. Y+ değeri 1 olarak hesaplandı. Ağ uygulaması sonucunda K_v değeri 2149,21 hesaplandı. Ay yapısını arttırıldığında K_v diğer ağ uygulamalarında K_v değerleri h ve l uygulamalarında sapma %0,2'in altında olduğu için l (2315736 adet) durumunda ağ uygulamasının uygun olduğu tespit edildi. Kelebek vanaların diğer açıklık analizleri için L ağ uygulaması yapılarak çözümlene yapıldı.

Çizelge 4. DN250 kelebek vana ağ yapısı ağdan bağımsızlık sonuçları

	Ağ uygulamaları								
	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>d</u>	<u>e</u>	<u>f</u>	<u>g</u>	<u>h</u>	<u>l</u>
İlk ağ düzeyi	1	2	3	4	5	6	7	7	7
Toplam ağ sayısı	7807	12100	34569	80571	251848	619722	1913831	2105214	2315736
Ortalama sıcaklık (akışkan) [°C]	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05
Ortalama yoğunluk (akışkan) [kg/m³]	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56
Girişte ortalama hız V [m/s]	4,62	3,96	4,00	4,02	4,05	4,06	4,07	4,07	4,07
Ortalama toplam basınç [bar]	3,67	3,70	3,69	3,70	3,71	3,70	3,70	3,70	3,70
P1 toplam basınç [bar]	3,87	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
P1 noktasında hacimsel debi [m³/h]	674,36	674,37	689,54	699,08	702,99	704,71	705,53	708,00	707,00
P1 noktasında ortalama hız [m/s]	3,86	3,85	3,92	3,97	3,88	3,89	3,89	3,89	3,89
P2 toplam basınç [bar]	3,77	3,85	3,86	3,87	3,88	3,89	3,89	3,89	3,89
P2 noktasında hacimsel debi [m³/h]	674,37	674,36	689,56	699,08	702,99	704,68	705,49	708,00	707,00
P2 noktasında ortalama hız [m/s]	3,86	3,86	3,92	3,97	3,98	3,99	4,00	4,00	4,00
P3 noktasında toplam basınç [bar]	2,95	2,93	2,93	2,96	3,00	2,94	2,93	2,93	2,93
P3 noktasında hacimsel debi [m³/h]	674,28	674,37	694,32	699,11	703,64	704,86	705,86	705,86	705,86
P3 noktasında ortalama hız [m/s]	6,20	4,00	4,00	4,00	4,01	4,02	4,02	4,02	4,02
$\Delta P(P_1-P_3)$ [bar]	0,92	1,03	1,03	1,00	0,96	1,02	1,02	1,02	1,02
K_v [m³/h]	2149,21	2046,70	2151,78	2257,59	2432,39	2571,66	2679,77	2690,00	2695,00
C_v [Gal/dk]	2493,08	2374,17	2496,06	2618,80	2821,57	2983,13	3108,53	3114,53	3119,53

3.4.5.2 DN250 kelebek vana ağdan bağımsızlık alışması

DN250 kelebek vana ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi Şekil 34’de gösterilmiştir. DN250 kelebek vana ağdan bağımsızlık çalışmasının izelge 3’de uygunluğu tespit edilen değerlerin Şekil 34’de Kv değeri, v hız değer ve debi değerlerinin ağ sayısı ile değişimi incelendi. 9 kez farklı ağ uygulaması yapıldı. Değişimin stabil olduğu tespit edildi ve 1 ağ uygulamasına göre diğer vana açıklık değerleri analizi gerçekleştirildi.



Şekil 34. DN250 kelebek vana ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi

Çizelge 5. DN250 kelebek vana y+ sonucu

Giriş değerleri	
Giriş akış hızı	4,07
Akışkan yoğunluğu	997,56
Dinamik viskozite	4,22x10 ⁻⁵
Sınır katmanı uzunluğu	1
y+ değerleri	1
ıkış değerleri	
Reynolds sayısı	9,3x10 ⁶
yaklaşık tabaka mesafesi	3,0x10 ⁻⁶

$$y = \frac{y^+ * \mu}{\rho * u_*} \quad (3.13)$$

$$u_* = \sqrt{\left(\frac{\tau_w}{\rho}\right)} \quad (3.14)$$

Türbülans modelini akışkanın cidar yüzeyine mümkün olduğunca entegre edilmelidir. Kullanılan k- ε türbülans modelini cidarın etkilenen yüzeyini iyi çözümlenebilmek için y+ değerini 1 olacak şekilde ayarlamalar yapıldı. y+ değerinin 1 alınması sonucunda ağ yapısının ağ hücre sayısının artması ve vana akışkan yüzeylerine yoğun ağ yapısı atılarak akışkan HAD analizinin doğru sonuca yaklaştığı çözümlenmiştir.

3.5. Tilting Çekvalf Analizi Akış Hacminin Modellenmesi

3.5.1 DN250 tilting tipi çekvalf

DN250 tilting çekvalf gövde, klape, boğaz kapağı GGG50 dökümdür. Klape kapağı ST37,304 veya 316 paslanmaz olarak imal edilmektedir. Vananın ön ve arka milleri 304 veya 316 paslanmaz millerden imal edilmektedir. Boğaz yatakları bronz malzemedir ve EPDM contalar ile sızdırmazlık sağlanmaktadır. Vananın suyla temas eden yüzeylerinin bağlantı cıvataları A4 cıvata ile su ile temas etmeyen yüzeylerin bağlantı cıvataları ise A2 paslanmaz cıvata kullanılmaktadır. Vananın kapama kolu ise standartlara uygun döküm kullanılmaktadır. Vananın açma kapama işlemini karşı ağırlık kol yardımı ile açma kapatma yapılmaktadır. Tilting çekvalf hidrolik damperli kapama sistemi ile vananın kapanma ve açma ayarlamasını ayarlanabilmektedir.

3.5.2. DN250 tilting çekvalf simülasyona hazırlanması

3.5.2.1. DN250 tilting çekvalf ağdan bağımsızlık çalışması

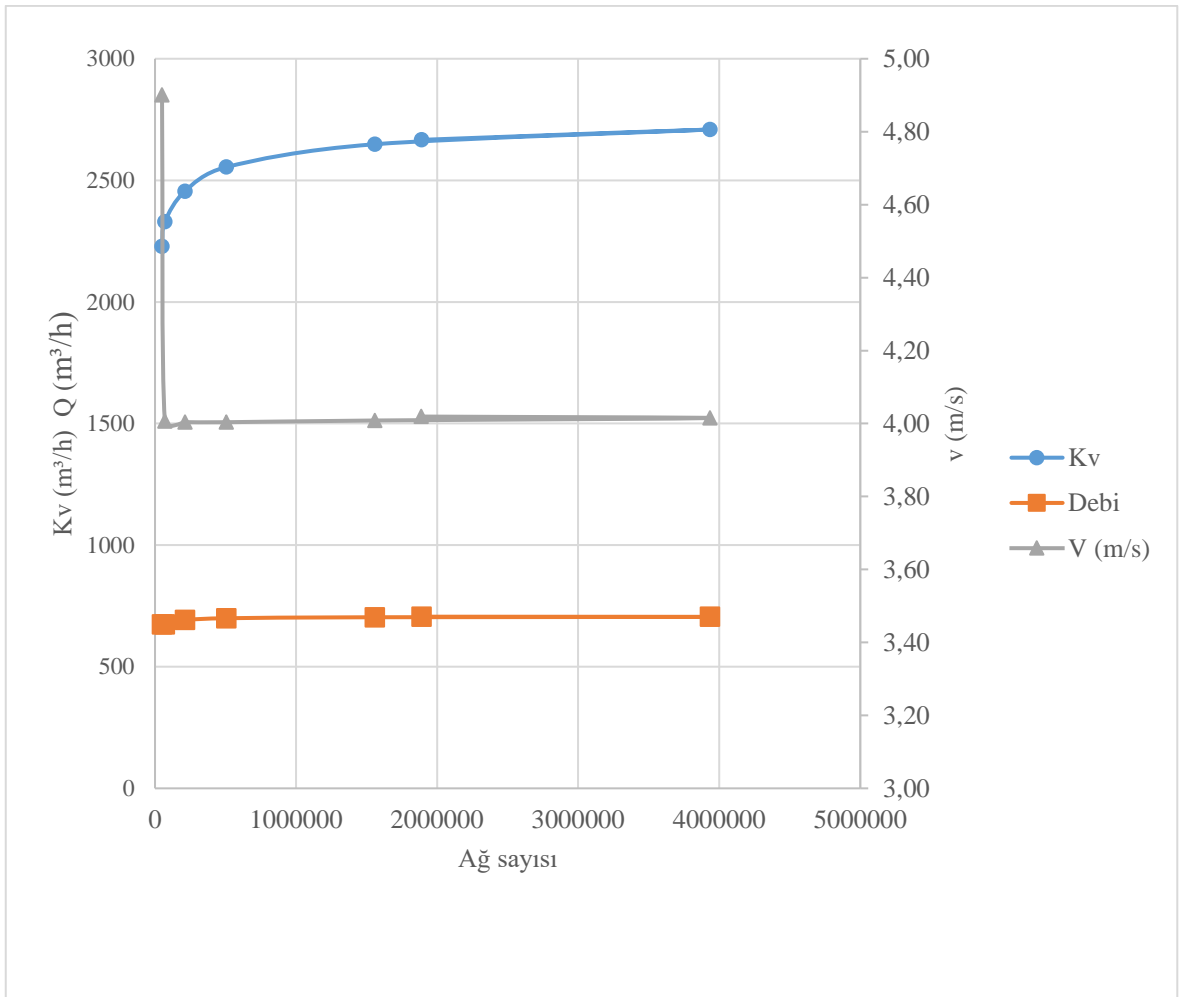
DN250 tilting çekvalf in ağ yapısı ağdan bağımsızlık sonuçları Çizelge 5’de sunulmuştur. Ağ uygulamaları yapılmıştır. Yakınsama sonuçları değerlendirildi. Ağ sayısı “g” (1889300 adet ağ) ağ uygulaması uygun görüldü. Diğer açıklıklar için aynı ağ uygulaması uygulanarak analizler yapıldı.

Çizelge 6. DN250 Tilting çekvalf ağ yapısı bağımsızlık çalışması

Farklı Ağ uygulamaları Sonuçları							
	a	b	c	d	e	f	g
İlk ağ düzeyi	1	2	3	4	5	6	7
Toplam ağ sayısı	49806	70137	212040	506006	1557050	1633123	1889300
Ortalama sıcaklık (akışkan) [°C]	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05
Ortalama yoğunluk (akışkan) [kg/m ³]	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56
Ortalama hız [m/s]	4,64	3,95	4,00	4,03	4,05	4,06	4,08
Ortalama toplam basınç [bar]	3,69	3,72	3,71	3,69	3,70	3,71	3,71
P1 toplam basınç [bar]	3,86	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
P1 hacimsel debi [m ³ /h]	674,05	674,05	689,77	698,19	702,82	704,51	705,65
P1 ortalama hız [m/s]	3,82	3,82	3,91	3,96	3,98	3,99	4,00
P2 toplam basınç [bar]	3,86	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
P2 hacimsel debi [m ³ /h]	674,05	674,05	689,77	698,19	702,80	704,48	705,63
P2 ortalama hız [m/s]	3,82	3,82	3,91	3,96	3,98	3,99	4,00
P3 toplam basınç [bar]	3,06	3,02	2,98	2,90	2,95	2,97	2,99
P3 hacimsel debi [m ³ /h]	674,06	673,99	692,44	699,49	703,55	704,96	705,94
P3 ortalama hız [m/s]	4,90	4,01	4,00	4,00	4,01	4,02	4,02
DP(P1-P3) [bar]	0,80	0,95	0,95	1,06	1,01	0,99	0,97
Kv [m ³ /h]	2227,96	2329,89	2455,19	2554,65	2648,48	2708,88	2666,54
Cv [Galon/dk]	2584,43	2702,67	2848,02	2963,39	3072,23	3142,30	3093,18

3.5.2.2. DN250 tilting çekvalf ağdan bağımsızlık çalışması

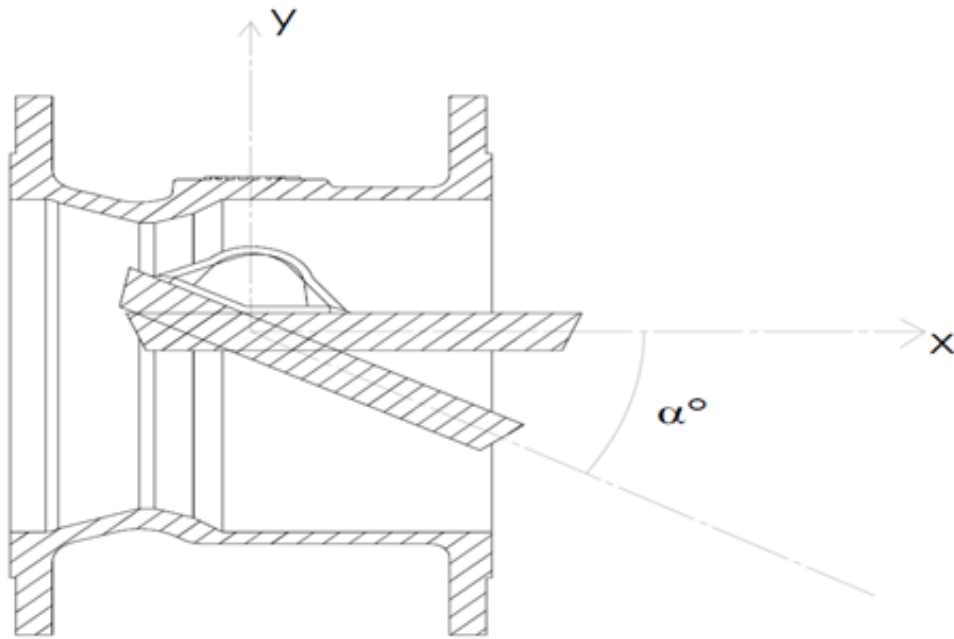
DN250 Tilting çekvalf ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi şekil 35’de ve Çizelge 5’de gösterilen ağ uygulamaları yapıldı. Şekil 35’de ağ uygulamalarının sonucunda çıkan Kv, hız ve debi değerlerinin ağ sayısı ile değişimi belirlendi. Ağ yapısından bağımsızlığı için %0,2’in altında fark olduğu ağ sayısı 1633123 adet ağ yapısı ile analizler gerçekleştirildi. Farklı açıklıklar ile seçilen ağ yapısı ile hesaplamalar yapıldı.



Şekil 35. DN250 Tilting çekvalf ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi

3.5.3. Tilting çekvalf ağ yapısının ve Kv katsayısının bulunması için klape pozisyonlarının ayarlanması

Tilting çekvalf vananın açıklık oranına göre akış karakteristiklerinin incelenmesi için belirli açıklıklar belirlenip vananın akış katsayısı, zeta sayısı hesaplama yapılarak vananın akış karakteristikleri incelendi. Tilting çekvalfin açıklık durumlarına göre vananın sağlıklı çalışma bölgelerinin tespiti yapılabilmesi için açıklık ayarlamaları yapılarak analizler test sonuçlarındaki debi değerleriyle uyumlu olarak gerçekleştirildi.



Şekil 36. DN250 Tilting çekvalf açıklık açma dereceleri

Tilting çekvalf Ağ yapısının ayarlanması ve Kv katsayısının bulunması için klape derecelerinin $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ ve 90° açıklıkların ayarlamaları yapılarak ağ yapıları oluşturuldu.

3.6 Sürgülü Vana Analizinin Akış Hacminin Modellenmesi

3.6.1 DN250 sürgülü vana

Sürgülü vana açma kapama vanası olarak kullanılmaya uygun vanalardır. Fakat yeni tip metal yataklı pomlu bornz sürgülü vanalar akış kontrol vanaları olarak kullanılmaya başlandı. Elastomer sürgülü vanalarda ise yataklı sürgülerin yanı sıra düşük açıklıklarda EPDM yırtılmalarını önlemek için EPDM kaplamanın yerine viton kaplamalı sürgüler kullanılarak daha dayanıklı ve kullanımı uzun ömürlü olurlar.

Sürgülü vana boru hatlarında sıvının akış yönünde akmasına izin verirken sürgünün kapatılması ile akışı engellemek için kullanılan vana çeşitlidir. Elastomer Yataklı Sürgülü vanalar, akışkan geçişini, iki sızdırmazlık halkası arasında, geçiş yönüne dik olarak sürgü ile kapatıp açarak çalışırlar. Vana düz bir yüzey, disk veya sürgü ile kapanır ve akışı keser. Tam açık veya tam kapalı olarak çalışmaları tercih edilir. Hassas akış kontrolü için tercih sebebi değildir.

DN250 Sürgülü vana gövde, sürgü, kapak ve boğaz kapağı GGG50 dökümdür. Sürgü kaplaması EPDM kaplama olarak imal edilmektedir. Vananın mili 304 veya 316 paslanmaz millerden imal edilmektedir. Boğaz yatakları bronz malzemeden işlenmektedir ve EPDM contalar ile sızdırmazlık sağlanmaktadır. Vananın suyla temas eden yüzeylerinin bağlantı cıvataları A4 cıvata ile su ile temas etmeyen yüzeylerin bağlantı cıvataları ise A2 paslanmaz cıvata kullanılmaktadır. Vananın kapama direksiyonu ise standartlara uygun döküm kullanılmaktadır. Vananın açma kapama işlemini direksiyon yardımı ile açma kapatma yapılmaktadır. Sürgülü vananın elektrik aktüatör kapama sistemi ile vananın kapanma ve açma ayarlamasını ayarlanabilmektedir.

3.6.2 DN250 sürgülü vana simülasyona hazırlanması

3.6.2.1. DN250 sürgülü vana ağdan bağımsızlık çalışması uygulaması

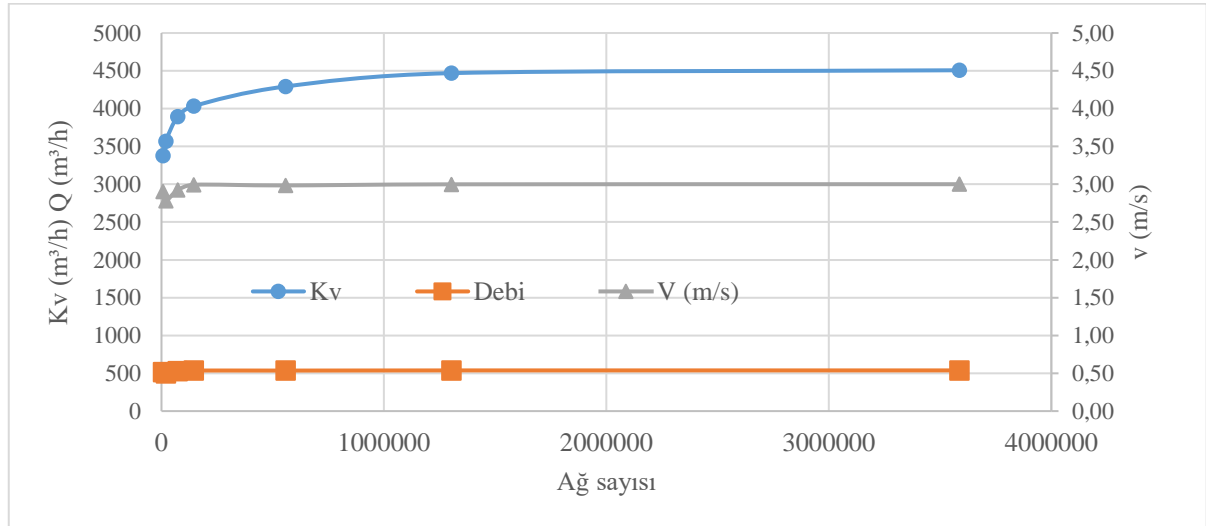
DN250 sürgülü vananın ağ yapısı ağdan bağımsızlık sonuçları Çizelge 6'da sunulmuştur. Sürgülü vana ağdan bağımsızlık yapısının incelenmesi için ağ uygulamaları yapıldı. Sürgülü vananın akış yüzeyini etkileyen sürgünün mesh yapısının ince olması ve vananın akışı etkileyen kısımlarına ince ağ yapısı uygulaması yapılarak A ağ uygulamasında Kv 3377,66 m³/h olduğu ağ yapısını artırdıkça Kv'nın arttığı görüldüğü için ağ yapısını artırarak bir önceki ağ yapısının sonucunda %1'in altında olduğu için G ağ yapısı kabul edilerek diğer açıklıklar için ağ yapısı olarak kullanıldı.

Çizelge 7. DN250 sürgülü vana ağ yapısı ve ağdan bağımsızlık analiz sonuçları

Ağ uygulamaları							
	a	b	c	d	e	f	g
İlk ağ düzeyi	1	2	3	4	5	6	7
Toplam ağ sayısı	7528	19190	72932	145208	557435	1303809	3586698
Ortalama sıcaklık (akışkan) [°C]	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05
Ortalama yoğunluk (akışkan) [kg/m ³]	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56
Ortalama hız [m/s]	3,01	2,85	2,91	2,94	2,93	2,94	2,94
Ortalama toplam basınç [bar]	2,94	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
P1 toplam basınç [bar]	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
P1 hacimsel debi [m ³ /h]	518,43	498,37	525,12	536,60	535,24	537,86	538,10
P1 ortalama hız [m/s]	2,90	2,78	2,92	2,99	2,98	3,00	3,00
P2 toplam basınç [bar]	2,97	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98
P2 hacimsel debi [m ³ /h]	518,43	498,38	527,41	536,64	535,91	538,07	538,18
P2 ortalama hız [m/s]	3,21	2,98	2,99	3,00	3,00	3,00	3,00
DP [bar]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Kv [m ³ /h]	3377,62	3568,35	3895,78	4034,13	4292,77	4469,28	4506,94
Cv	3918,03	4139,29	4519,11	4679,59	4979,62	5184,36	5297,65

3.6.2.2 DN250 sürgülü vana ağdan bağımsızlık çalışması uygulaması

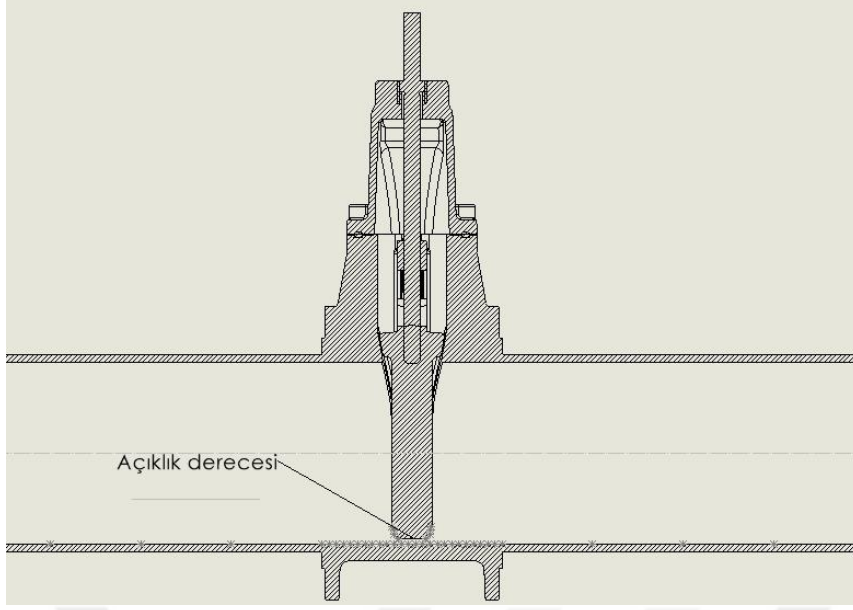
Çizelge 6'da uygulanan ağ uygulamalarının değer sonuçları ağ sayısından bağımsızlığı Şekil 37'de görüldüğü gibi K_v , hız ve debi değerlerinin ağ sayısından bağımsızlığı %1'in altında olduğu ağ sayısı değeri asimptotik değere ulaştığı bulundu ve vananın akış karakteristiklerinin incelenebilmesi için gerekli ağ sayısı tespit edildi. Sürgülü vananın diğer açıklıklarına uygulanarak vananın açıklık değerleri hesaplandı.



Şekil 37. DN250 sürgülü vana ağdan bağımsızlık çalışmasının K_v değerinin ağ sayısı ile değişimi

3.6.3. Sürgülü vanada ağ oluşturulması ve K_v Katsayısının Bulunması İçin Sürgü Pozisyonunun Ayarlanması

DN250 sürgülü vana açıklık açma dereceleri Şekil 38'de verilmiştir. Sürgülü vananın akış karakteristiklerini incelemelerini yapabilmek için vananın açıklık derecelerini ayarlayarak vananın K_v , zeta ve girdap değerlerinin incelenebilmesi için gerekli açıklıklar tespit edildi. Düşük açıklıklardaki akışın incelenebilmesi ve vananın karakteristiğini incelenebilmesi için ayarlamalar yapıldı.



Şekil 38. DN250 sürgülü vana açıklık açma dereceleri

3.7 İğne Vana Analizi Akış Hacminin Modellenmesi

İğne Vana, akış ve ayar uygulamaları için tasarlanmış ideal bir kontrol vanasıdır. DN250 İğne vana gövde, klape, kapak ve boğaz kapağı GGG50 dökümdür. Vananın mili 304 veya 316 paslanmaz millerden imal edilmektedir. Boğaz yatakları bronz malzemedendir ve EPDM contalar ile sızdırmazlık sağlanmaktadır. Vananın suyla temas eden yüzeylerinin bağlantı cıvataları A4 cıvata ile su ile temas etmeyen yüzeylerin bağlantı cıvataları ise A2 paslanmaz cıvata kullanılmaktadır. Vananın kapama direksiyonu ise standartlara uygun döküm kullanılmaktadır. Vananın açma kapama işlemini direksiyon yardımı ile açma kapatma yapılmaktadır. İğne vananın elektrik aktüatör kapama sistemi ile vananın kapanma ve açma ayarlamasını ayarlanabilmektedir.

3.7.1. DN250 iğne vana ağdan bağımsızlık çalışması uygulaması

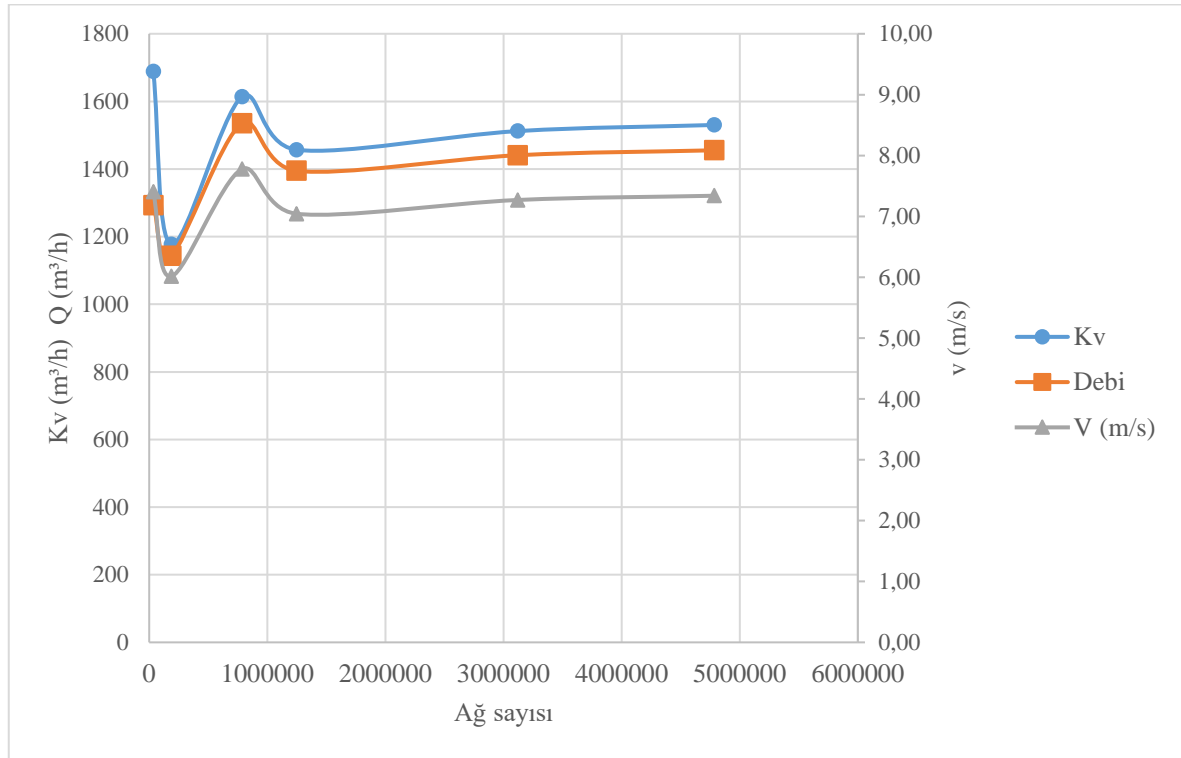
DN250 iğne vananın ağ yapısı ağdan bağımsızlık sonuçları Çizelge 7'da sunulmuştur. Vananın hassas akış kontrolü için ağ yapısının daha yoğun yapılarak yüzeylere daha fazla ağ atılarak vananın analizinin daha doğru değerler almak için ağ sayısı 4785091 ağ kullanılarak iğne vananın analizleri yapıldı.

Çizelge 8. DN250 iğne vana ağ yapısı ağdan bağımsızlık çalışması sonuçları

	Ağ uygulamaları					
	a	b	c	d	e	f
İlk ağ düzeyi	1	2	3	4	5	6
Toplam ağ sayısı	34582	188043	785200	1247863	3118934	4785091
GG ortalama sıcaklık (akışkan) [°C]	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05	20,05
Ortalama yoğunluk (akışkan) [kg/m ³]	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56	997,56
Ortalama hız [m/s]	7,53	5,22	6,75	6,12	6,32	6,40
Ortalama toplam basınç [bar]	3,28	3,44	3,41	3,41	3,40	3,40
P1 toplam basınç [bar]	3,51	3,95	3,92	3,92	3,92	3,92
P1 hacimsel debi [m ³ /h]	1292,52	1143,40	1535,52	1394,70	1440,80	1455,46
P1 ortalama hız [m/s]	7,40	6,01	7,78	7,04	7,27	7,34
P2 toplam basınç [bar]	2,92	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01
P2 hacimsel debi [m ³ /h]	1292,41	1143,40	1535,52	1394,78	1441,38	1455,83
P2 ortalama hız [m/s]	7,98	4,79	6,14	5,53	5,69	5,74
DP [bar]	0,58	0,94	0,90	0,92	0,91	0,90
Kv [m ³ /h]	1689,05	1177,12	1613,66	1456,95	1512,19	1530,34
Cv	1976,18	1377,23	1887,98	1704,63	1769,36	1790,49

3.7.2 DN250 iğne vana ağdan bağımsızlık çalışması

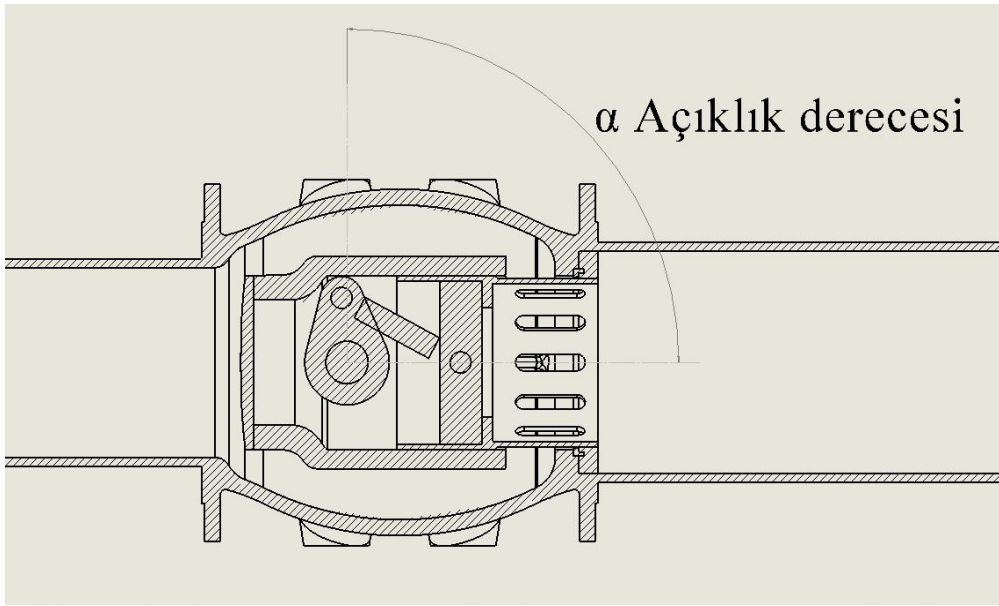
Çizelge 7’de ağ yapısı “F” (4785091 adet ağ yapısı) ağ yapısı seçildikten sonra iğne vananın ağdan bağımsızlığı belirlenmesi için %1 den az olduğu tespit edildiği için vananın farklı açıklıklar için akış karakteristiklerinin incelemeleri bu asimptotik değere ulaşan ağ yapısı ile yapıldı.



Şekil 39. DN250 iğne vana ağdan bağımsızlık çalışmasının Kv değerinin ağ sayısı ile değişimi

3.7.1 İğne vananın oluşturulması ve Kv katsayısının bulunması için klapein pozisyonunun ayarlanması

İğne vana ağ yapısının ayarlanması ve Kv katsayısının bulunması için klape derecelerinin 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° açıklıkların ayarlamaları yapılarak ağ yapıları oluşturularak analizler yapıldı. İğne vananın endüstriyel alanda iğne vana oransal akış ayarlanabilen vanalardır. Farklı açıklıklar ayarlamalar yapılarak akış karakteristiklerinin incelenmeleri yapıldı. İğne vananın akışkan üzerindeki zeta katsayılarının hesaplamalar yapıldı.

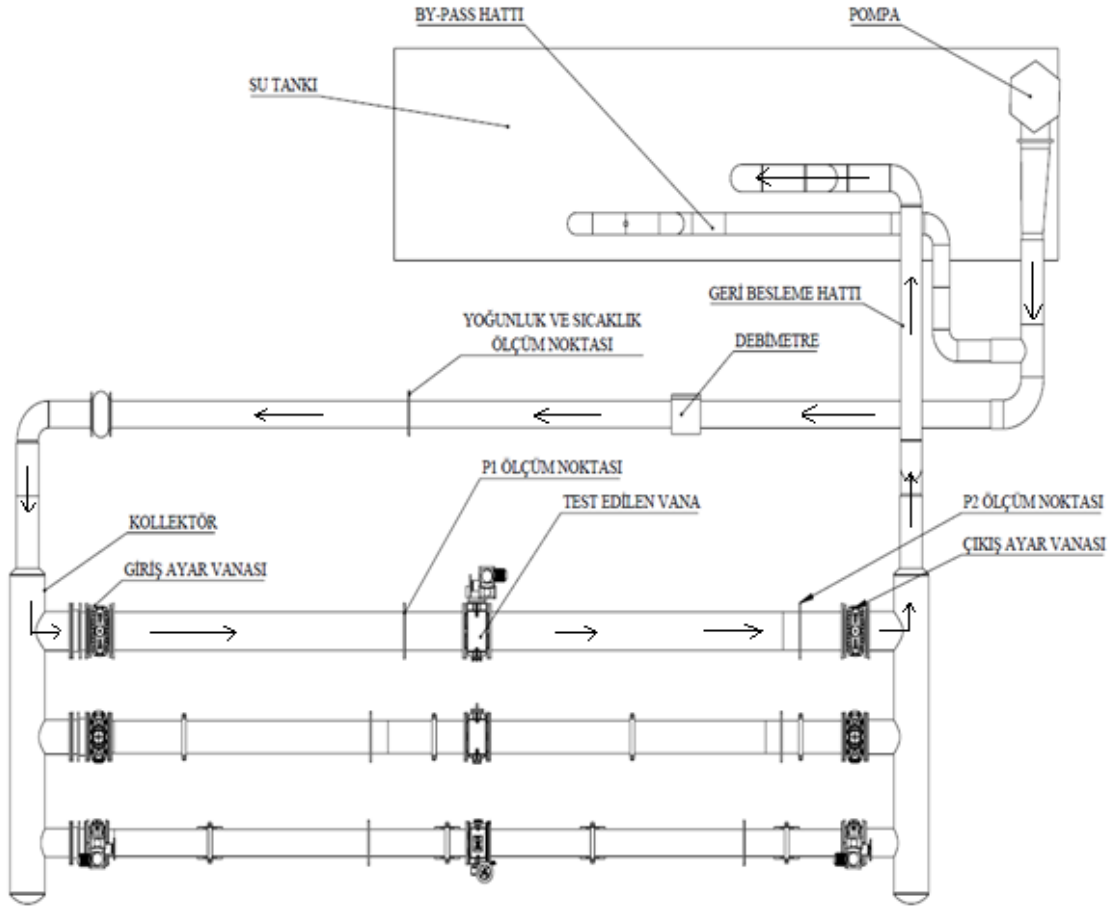


Şekil 40. DN250 iğne vana açıklık dereceleri

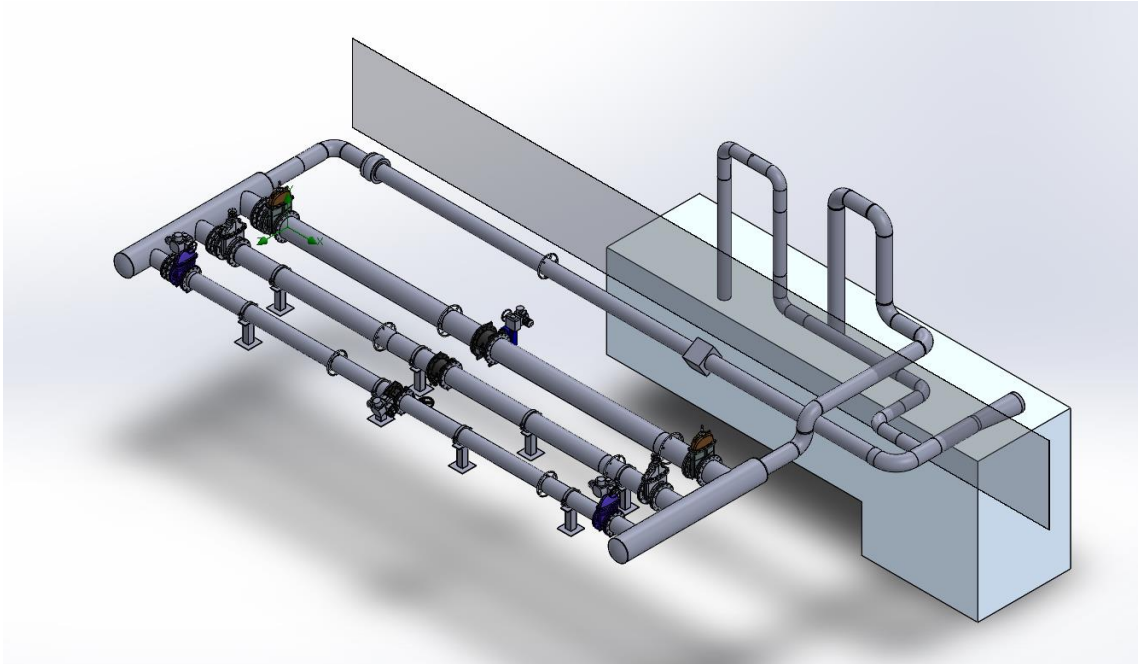
3.8. TS EN 1267 Standardına Uygun Vana Test Düzeneği

TS EN 1267 Standardında belirtilen düzeneğe uygun olarak tasarlanan test düzeneği Şekil 43'de gösterilen deney düzeneği solidworks programında tasarlandı. Deney düzeneğinin uygulamaya konulmadan önce HAD programı yardımı ile deney düzeneğinin basınç kayıpları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonrasında deney düzeneğine gerekli olan debimetre, basınç transmitterleri, PT100 ölçüm cihazı ve pompa değerleri belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda Enelsan firmasından debimetre, basınç transmitterleri ve PT100 ölçüm cihazları sipariş verilmiştir. Pompa kriterleri belirlenen değerleri karşılayacak pompa değerleri uygun olarak Sempa firmasından 1500(m³/h), 1.6mSS ve %85 verimli bir pompa takıldı. Bunun üzerine deney düzeneğinin belirsizlik analizleri yapılarak sistem üzerine gelen yüklemeler hesaplanmış olup boru et kalınlıkları hesaplanmıştır. Deney düzeneği için gerekli ölçüler kestirilerek firma bünyesinde kaynatılarak deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneğindeki testler yapılmış olup HAD programı ile karşılaştırmalar sonucunda farkın %10'un altında olduğu tespit edilmiştir.

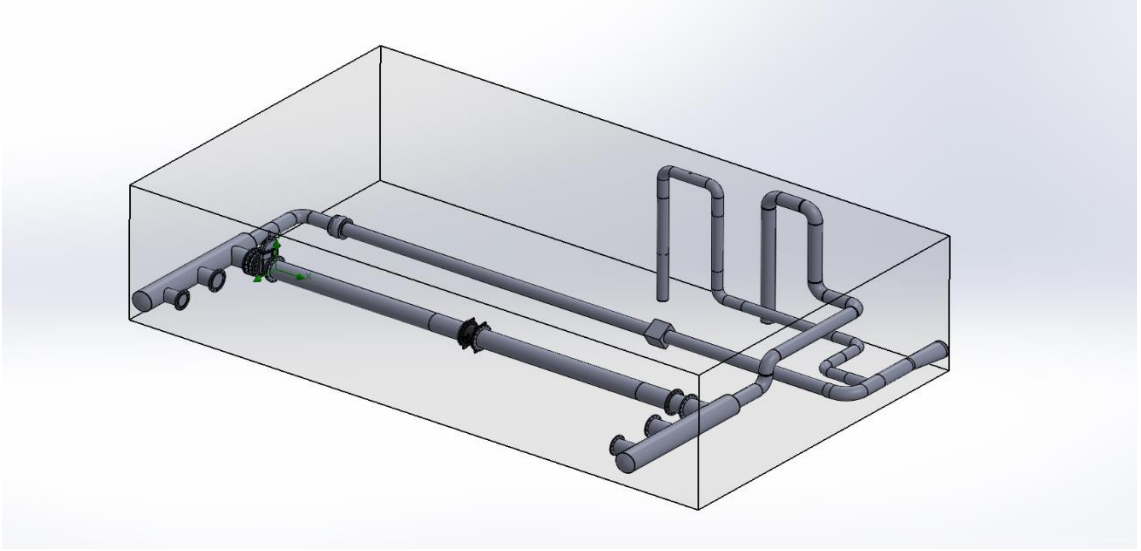
Deney düzeneği vanaların test sonuçlarının incelenebilmesi için test düzeneğini gerekli sabitlemeler kauçuk plaka üzerine kelepçe sistemi ile sabitleme yapılarak deney düzeneğinin titreşimi azaltıldı.



Şekil 41. TS EN 1267 standardına uygun olarak tasarlanan deney düzeneği şematik gösterimi



Şekil 42. TS EN 1267 standardına uygun olarak tasarlanan deney düzeneği katı model görünümü



Şekil 43. TS EN 1267 standardına uygun olarak tasarlanan deney düzeneği HAD analizi için 3-Boyutlu kontrol hacmi gösterimi

Deney düzeneği için araştırmalar sonucunda Enlisan firması ile anlaşılmıştır. Elektromanyetik debimetre seçilirken Enlisan firmasından debimetrenin özellikleri göz önüne alınarak seçim yapılmıştır. Seçim için minimum $50(\text{m}^3/\text{h})$ ile $2050(\text{m}^3/\text{h})$ arasında hassas ölçüm alınabilme özelliği bulunan DN250 Elektromanyetik debimetre seçilmiştir.

Elektromanyetik debimetrelerin genel özellikleri

- Hızlı tepki süresi ve yüksek istikrar
- % 0.2 ye varan yüksek hassasiyet
- 2 yönlü ölçüm (ileri (pozitif) ölçüm ver ters (negatif) ölçüm) ve NET toplam özelliği
- Analog, Frekans ve Pulse çıkış özelliklerinin olması.

Elektromanyetik debimetrelerin diğer debimetrelere göre avantajları

- Akışı engelleyen, basıncı düşüren hiçbir mekanik parça bulunmamaktadır. Ölçüm skalası; diğer debimetrelere oranla 10 kat daha fazladır.
- Tüm ölçüm ve ayarlamalar tümleşik veya duvara montaj LCD ekran üzerinden yapılabilir/gösterilebilir.
- Menü ile kalibrasyon (tam dolu ve stabil akışkan dolu boruda) yapılabilir.
- Ölçüm hassasiyeti %0.2 olarak sağlanabilir (Enlisan,2022 a).

Basınç Transmitteri

Basınç transmitteri ölçülen basıncın değişimini ya da büyüklüğünü standart bir elektriksel değere çevirmektedir. Kullanıldığı alanlara göre farklı basınç transmitterleri bulunmaktadır. Fark basınç transmitteri çalışma prensibi düşük basınç ve yüksek basınç arasındaki farkın algılanmasına ve ölçülmesine dayanır. Burada düşük basınç ve yüksek

basınç terimleri, seviye olarak aşağıda veya yukarıda yer alan anlamında kullanılır. Bu ölçüm cihazı, düşük basınç noktasını referans olarak alır. Daha sonra aldığı bu referans noktasında göre yüksek basınç olarak yerdeki değeri ölçer. Cihazda okunacak değer, düşük basınç ya da yüksek basınç noktasındaki basınç değerine göre negatif ya da pozitif olabilir. Eğer düşük basınç noktasında değer daha yüksekse, ölçüm cihazı negatif değer gösterir. Eğer yüksek basınç noktasındaki değer daha yüksekse, ölçüm cihazı pozitif değer gösterir. Aynı zamanda düşük basınç tarafının atmosfer basıncını ölçmesi durumunda bu ölçüm cihazı standart basınç transmitteri olarak da kullanılabilir (Enelsan,2022 a).

PT100 Transmitteri

PT100, birçok uygulama alanında kullanılan yüksek hassasiyetli RTD tipi bir sıcaklık sensörüdür. Sensörün direnç değeri bulunduğu ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. PT100 sensörler ile doğrusal değişen direnç değeri takip edilerek ortam sıcaklığı tespit edilir.

- -50°C ile +600°C Ölçüm aralığı.
- Prosesi durdurmadan inset değişim imkanı.
- 2/3/4/6 Telli bağlantı terminalleri.
- IP 68 DIN B Form alüminyum döküm kafa.
- Programlanabilir 4-20mA Analog çıkış terminali (Enelsan,2022 a).

TS EN 1267 Standardında belirtilen düzeneğe uygun olarak tasarlanan test düzeneği Şekil 41’de gösterilen deney düzeneği tasarlanmıştır. Deney işlemleri yapılırken deney düzeneğinde test edilecek vananın yerine düz boru koyularak sitem basınç kayıpları bulunmuştur. Sistem kayıpları bulunduktan sonra test vanaları tekrar takılarak test düzeneği çalıştırılır. Test edilecek vananın açıklık oranı test düzeneğine girilir ve bu değer test vanasının üzerindeki oransal aktüatöre sinyal göndererek vananın istenilen açıklık değerine getirilir. Test vanası hazır olduğunda vananın üzerinden geçen suyun test düzeneğinde belirsizlik değerleri %4’ün altında olduğu andan itibaren test düzeneğinden istenilen tekrar sayısı girilerek değerler alınır ve bu değerlerin belirsizlik sonuçlarına uygun formülasyonlar sonucunda değerler çıkartılır ve vananın hız, debi, sıcaklık, yoğunluk, Kv değeri ve zeta katsayıları değerleri bulunur. Bu test vanasındaki değişik açıklık derecelerine göre tekrarlanır. Diğer açıklıklarında sonuçları alındıktan sonra test düzeneğindeki PLC bilgisayara çıktı olarak değer Çizelgesi halinde teslim etmektedir.

Kullanılan ölçü aletlerin doğruluk değerleri ve ölçüm değerlerin çizelge 8’de verilmiştir. Ölçüm cihazlarının doğruluğu standarda belirtilen belirsizlik değerlerinin sağlanması için önemlidir.

Çizelge 9. Ölçü aletlerin doğruluk değerleri ve ölçüm değerleri

Ölçü Aletleri	Doğruluk Değeri ve birimi
$P_g(P_1)$ ve $P_c(P_2)$ basınç ölçümleri	$\pm\%0,1$ Bar= $\pm\%0,001$ Bar
Manyetik debimetre	$\pm\%0,5$ m ³ /h Maksimum test düzeneği 1600 m ³ /h doğruluğu $\pm\%8$ m ³ /h Ölçülen Değer= 1000 m ³ /h ise; $\Delta(\Delta Q)=\pm 1000*0,005=5$ Hız(u) debi ile doğru orantılı olduğu için hız değeri de $\pm\%0,8$ m/s olarak doğruluğu kabul edilir.
Sıcaklık ölçer	$\pm\%0,1$ °C
Fark basınçölçer	$\pm\%0,075$ Maksimum değer $\Delta P=40000$ Pa $\Delta(\Delta P)=\pm 40000*0,00075=30$ Pa
Yoğunluk (ρ_0)	$\pm\%0,1=\pm 0,001$ Eşitlikten hesaplanan değer 15 °C için 998,65kg/m ³ $\Delta(\Delta \rho_0)=\pm 998,65*0,001=\pm 0,0099841$ kg/m ³
Yoğunluk (ρ)	$\pm\%0,1=\pm 0,001$ Eşitlikten hesaplanan değer 27 °C için 997,56 kg/m ³ $\Delta(\Delta \rho_0)=\pm 997,56*0,001=\pm 0,0099715$ kg/m ³

Ölçü aletlerin doğruluk değerleri Çizelge 8’de verildi. Bu doğruluk değerlerine göre ve ölçüm değerlerine göre P_1 , P_2 ve P_3 basınç ölçümlerinin doğruluk payı gösterildi. Elektromanyetik debimetrenin doğruluk değeri verildi. Örnek debi ölçüm sonucunda oluşabilecek ölçü doruluk sapma değeri gösterildi. Sıcaklık ölçüm doğruluk payı PT100 ölçü aletinden alındı. Doğruluk değerinin $\pm\%0,1$ °C olduğu belirlendi. Basınç ölçüm aletinin doğruluk değeri belirtildi. Bu doğruluk değerine ilişkin örnek bir ölçüm sonucunun doğruluktan sapma değeri belirtildi. Yoğunluk ölçümü doğruluk değeri PT100 ölçü aletinden alındı Örnek yoğunluk doğruluk değeri hesaplandı. ρ_0 değeri teorik olarak çevre sıcaklığı değeri olup çevre sıcaklığını ve nem oranı ölçüm aletinin verdiği değerlere göre hesaplandı. Doğruluk değeri belirlendi.

3.9. Ölçülen Değerlerin Toplam Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması

TS EN 1267 standardında belirtilen test şartları ve izin verilen ölçüm çalkantıları, her bir ölçümün izin verilen (tölere edilen) çalkantı değerleri Çizelge 9 ve Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 9. İzin verilen fark basınç dalgalanma (çalkantı) değerleri

ζ zetanin değeri	Fark basınç çalkantıları Δp %
$\zeta > 20$	± 6
$4 < \zeta \leq 20$	± 10
$1 < \zeta \leq 4$	± 17
$0,1 \leq \zeta \leq 1$	± 26

Çizelge 10. Debimetre ve test vanası girişindeki basınç ölçer için izin verilen dalgalanma (çalkantı) değerleri

Ölçülen değer	Sembol	Çalkantılar %
Debi	e_q	± 6
Test vanası öncesi basınç	e_p	± 6

Çizelge 9 ve 10'da bahsedildiği gibi, rastgele belirsizlik, toplam belirsizlik ve fark basınç ölçümündeki herhangi bir diğer belirsizlik değeri dalgalanma genliğinin artmasıyla artmaktadır. Sonuç olarak, izin verilen ölçümdeki toplam belirsizlik hatası değeri, Çizelge 11'de gösterildiği gibi ζ değerine bağlıdır. Çizelge 12'de ise debi, test vanası girişindeki basınç değeri ve debimetre çıkışındaki sıcaklık değerleri için izin verilen belirsizlik değerleri verilmiştir. Çizelge 13'de ise basınç kaybı direnç katsayısı ζ (zeta) değerine göre izin verilen akış katsayısı belirsizlik değerleri verilmiştir. Basınç kaybı direnç katsayısı ζ (zeta) için izin verilen belirsizlik değerleri Çizelge 14'de verilmiştir.

Çizelge 11. Fark basınç ölçümündeki maksimum belirsizlik değeri

ζ zeta değeri	sembol	Belirsizlik %
$\zeta > 20$	$e_{\Delta p}$	$\pm 3,5$
$4 < \zeta \leq 20$	$e_{\Delta p}$	± 6
$1 < \zeta \leq 4$	$e_{\Delta p}$	± 10
$0,1 \leq \zeta \leq 1$	$e_{\Delta p}$	± 15

Çizelge 12. Debi, test vanası girişindeki basınç değeri ve debimetre çıkışındaki sıcaklık değerleri için izin verilen belirsizlik değerleri

Parametre	Sembol	Belirsizlik
Debi	e_q	$\pm 3,5 \%$
Test Vanası girişindeki basınç	e_p	$\pm 3,5 \%$
Sıcaklık	Δt	$\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}^a$

Çizelge 13. Basınç kaybı direnç katsayısı ζ (zeta) değerine göre izin verilen akış katsayısı belirsizlik değerleri

ζ zeta değeri	sembol	Belirsizlik %
$\zeta > 20$	e_{Kv} or e_{Cv}	$\pm 3,9$
$4 < \zeta \leq 20$	e_{Kv} or e_{Cv}	$\pm 4,6$
$1 < \zeta \leq 4$	e_{Kv} or e_{Cv}	$\pm 6,1$
$0,1 \leq \zeta \leq 1$	e_{Kv} or e_{Cv}	$\pm 8,3$

Çizelge 14. Basınç kaybı yerel direnç katsayısı ζ (zeta) için izin verilen belirsizlik değerleri

ζ zeta değeri	sembol	Belirsizlik %
$\zeta > 20$	e_ζ	$\pm 7,8$
$4 < \zeta \leq 20$	e_ζ	$\pm 9,2$
$1 < \zeta \leq 4$	e_ζ	$\pm 12,2$
$0,1 \leq \zeta \leq 1$	e_ζ	$\pm 16,6$

Sıcaklık ölçümü için, rastgele belirsizlik sistematik hata ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Katsayıların toplam belirsizliği TS EN 1267 verilen yöntemle aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Akış Katsayısı K_v için toplam belirsizlik formülü

$$e_{K_v} = 2 \sqrt{\left(\frac{a_{Q_V}}{2} \frac{\Delta Q_V}{Q_V}\right)^2 + \left(\frac{a_{\Delta P}}{2} \frac{\Delta \Delta P}{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{a_\rho}{1,73} \frac{\Delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{a_{\rho_0}}{1,73} \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{K_V}}{K_V}\right)^2} \quad (3.15)$$

Akış Katsayısı C_v için toplam belirsizlik formülü

$$e_{C_v} = 2 \sqrt{\left(\frac{a_{Q_V}}{2} \frac{\Delta Q_V}{Q_V}\right)^2 + \left(\frac{a_{\Delta P}}{2} \frac{\Delta \Delta P}{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{a_\rho}{1,73} \frac{\Delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{a_{\rho_0}}{1,73} \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{C_V}}{C_V}\right)^2} \quad (3.16)$$

Eşitlik (6) ve (7)'de katsayılar aşağıdaki şekilde hesaplanır. Belirsizlik hesabında uygulanacak katsayılar TSEN1267'de verilmiştir.

Duyarlılık katsayıları, Denklem (3.15)'nin girdi parametrelerine göre kısmi türevlerinden elde edilir.

$$dK_V = \frac{\partial K_V}{\partial Q_V} dQ_V + \frac{\partial K_V}{\partial \Delta P} d\Delta P + \frac{\partial K_V}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial K_V}{\partial \rho_0} d\rho_0 \quad (3.17)$$

Duyarlılık katsayısı a_{Q_V} şu şekilde verilir,

$$a_{Q_V} = \frac{\partial K_V}{\partial Q_V} \left[\frac{Q_V}{K_V} \right] = 1 \quad (3.18)$$

Duyarlılık katsayısı $a_{\Delta P}$ ile verilir,

$$a_{\Delta P} = \frac{\partial K_V}{\partial \Delta P} \left[\frac{\Delta P}{K_V} \right] = -\frac{1}{2} \quad (3.19)$$

Duyarlılık katsayısı a_ρ şu şekilde verilir,

$$a_\rho = \frac{\partial K_V}{\partial \rho} \left[\frac{\rho}{K_V} \right] = \frac{1}{2} \quad (3.20)$$

Duyarlılık katsayısı a_{ρ_0} şu şekilde verilir,

$$a_{\rho_0} = \frac{\partial K_V}{\partial \rho_0} \left[\frac{\rho_0}{K_V} \right] = -\frac{1}{2} \quad (3.21)$$

Akış katsayısı K_V belirsizliği için standart sapma değeri hesaplanması gerekir. K_V katsayısının ortalama değerinin bir tahmini, birkaç ölçümün ortalaması ile elde edilir. Ölçülen değerlerden hesaplanan akış katsayısı K_V 'nin aritmetik ortalama değeri;

$$\bar{K}_V = \frac{1}{n} \sum_i K_{Vi} \quad (3.22)$$

Burada;

n. ölçüm noktalarının sayısıdır

K_{Vi} : i'deki verilerin ölçüm sonucudur.

Deneysel standart sapma σ_{K_V} , gözlemlenen K_{Vi} değerlerinin ölçüm süresince değişkenliğini karakterize eder.

$$\sigma_{K_V} = \sqrt{\frac{\sum_i (K_{Vi} - \bar{K}_V)^2}{n-1}} \quad (n > 1) \quad (3.23)$$

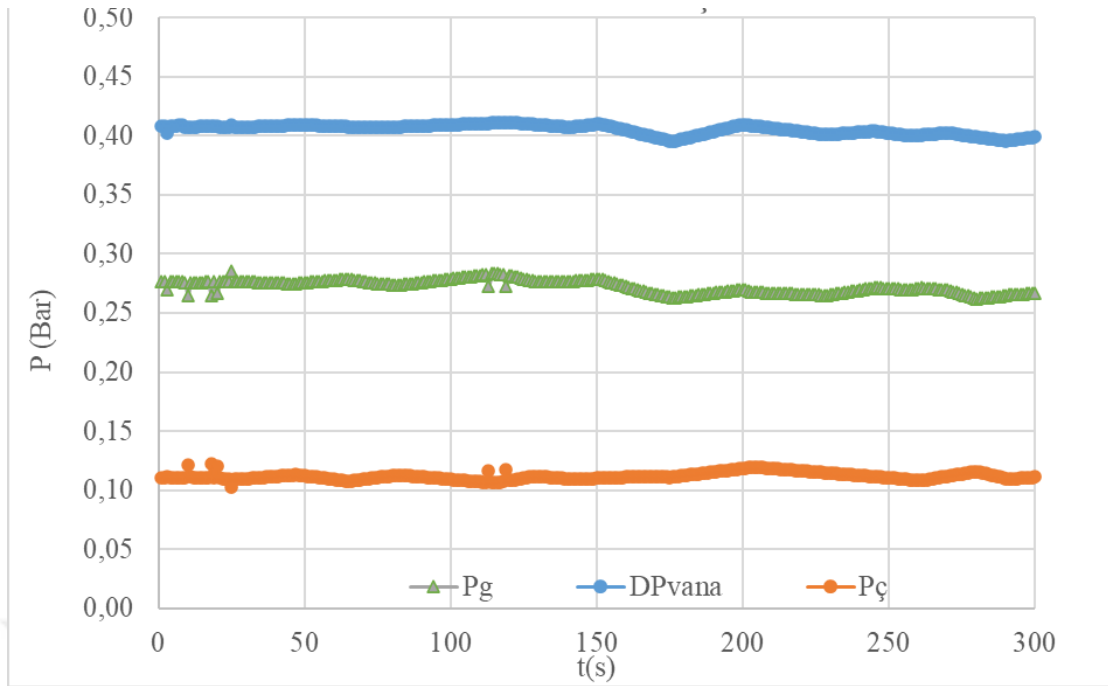
3.10. DN250 Kelebek Vana TS EN1267 Standardına Göre Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

DN250 kelebek vana test hattında TSEN 1267'ye göre yerleştirilen basınç transmitterleri ile ölçülen vanaya suyun girmeden 2D uzaklıkta giriş basıncı (P_g : Bar),

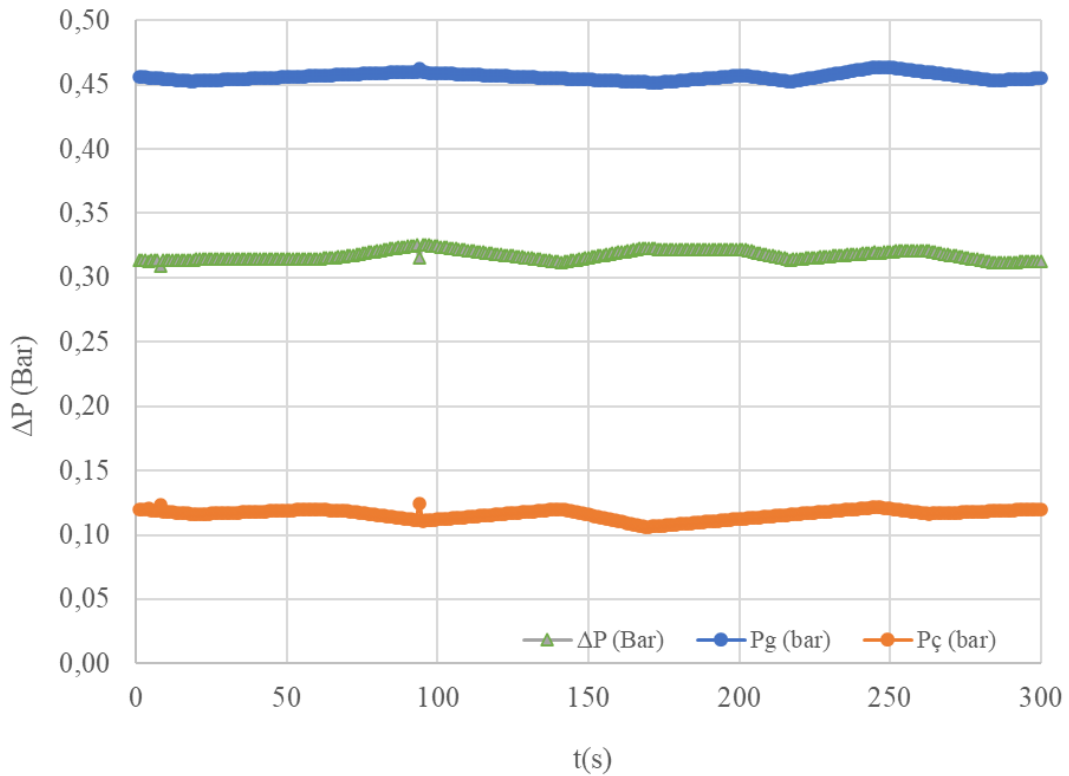
vana çıkışından 10D uzaklıkta çıkış basıncı ($P_ç$: Bar), basınç farkı $\Delta P = P_g - P_ç$ (Bar) değerlerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimleri zamanla ölçülen değerlerin değişimi Şekil 44a-f'de verilmiştir. DN250 Kelebek vana hattı hacimsel debi Q (m³/h) (Şekil 45) ve ortalama hız V (m/s) (Şekil 46) deney sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında zamanla değişimi gösterilmiştir. DN250 Kelebek vana akış katsayısı K_v (m³/h) deney sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında zamanla değişimi karşılaştırmalı olarak Şekil 47'de sunulmuştur. Türbülanslı akış yapısından dolayı oluşan çalkantıların değeri kütleli debisini yüksekliği ve suyun sönümlenme etkisinden dolayı maksimum ve minimum değerler arasındaki bağıl değişim $\pm\%5$ den küçük bulunmuştur. Ayrıca, ölçülen değerleri istatistiksel hesaplamaları (ortalama, standart sapma, maksimum, minimum) ile belirsizlik analizi de yapılmıştır. DN250 Kelebek vana belirsizlik analizi Çizelge 15'da verilmiştir. Çizelge 16'da DN250 kelebek vana testlerde ölçülen türbülans parametrelerinin çalkantı değerleri analiz sonuçları

Değerlerin çalkantı değerleri türbülanslı akışın göstergesidir. Yapılan data analiz çalışmalarında çalkantı seviyesinin tüm ölçülen debi, sıcaklık, basınç değerleri hesaplanan akış katsayısı K_v ve zeta değerleri için TSEN 1267'de belirtilen $\pm\%4$ değerinden düşük ve standarda uygun olduğu tespit edilmiştir.

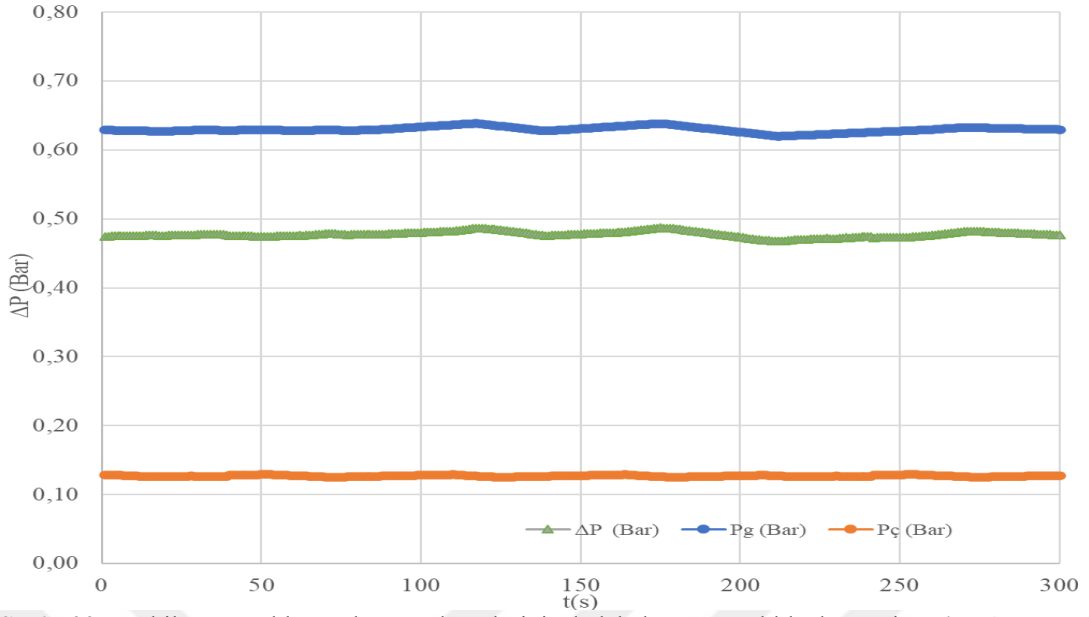
Sürgülü vana ve çekvalf için yapılan deneylerin zamanla değişim grafikleri benzer şekilde türbülanslı yapı göstermiştir. Değişimler benzer çalkantılı yapılar oluşturduğu için farklı açıklık dereceleri için yapılan değerlerin sonuçları Çizelge 17 ve Çizelge 18'de sunulmuştur.



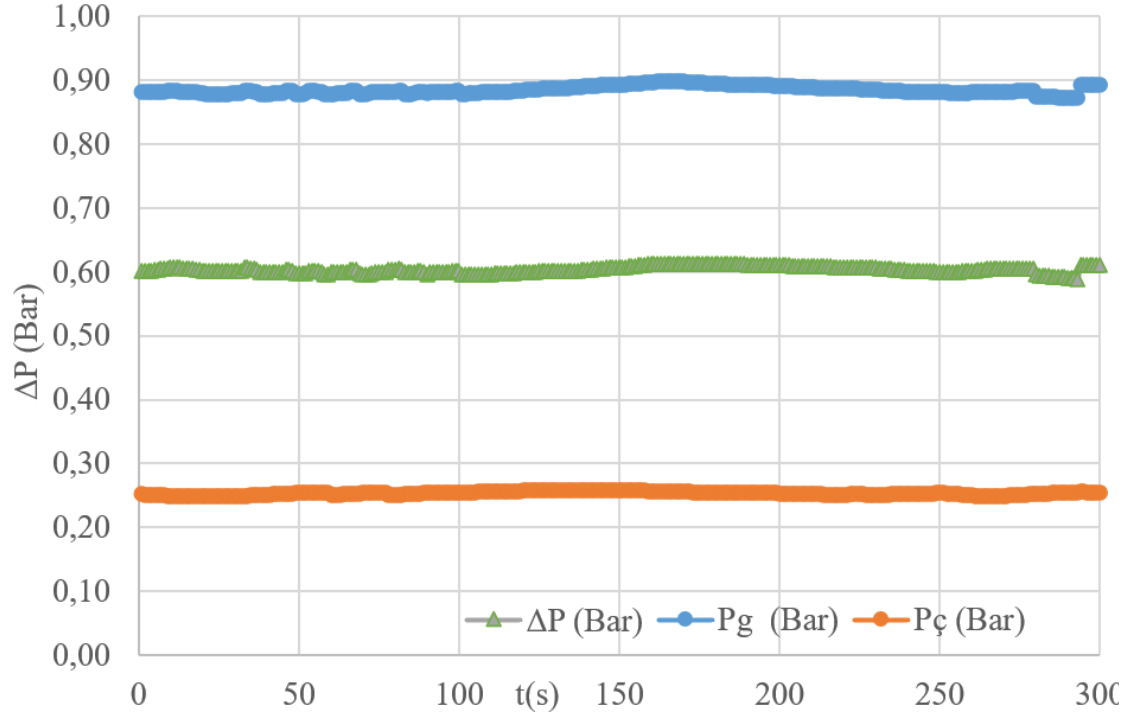
Şekil 44a. DN250 kelebek vana test hattında TSEN 1267'ye göre yerleştirilen basınç transmitterleri ile ölçülen vana girmeden 2D uzaklıkta giriş basıncı (P_g : Bar), vana çıkışından 10D uzaklıkta çıkış basıncı ($P_ç$: Bar), basınç farkı $\Delta P = P_g - P_ç$ (Bar) değerlerinin açıklık derecesi $\alpha = 15^\circ$ durumunda zamanla değişimi



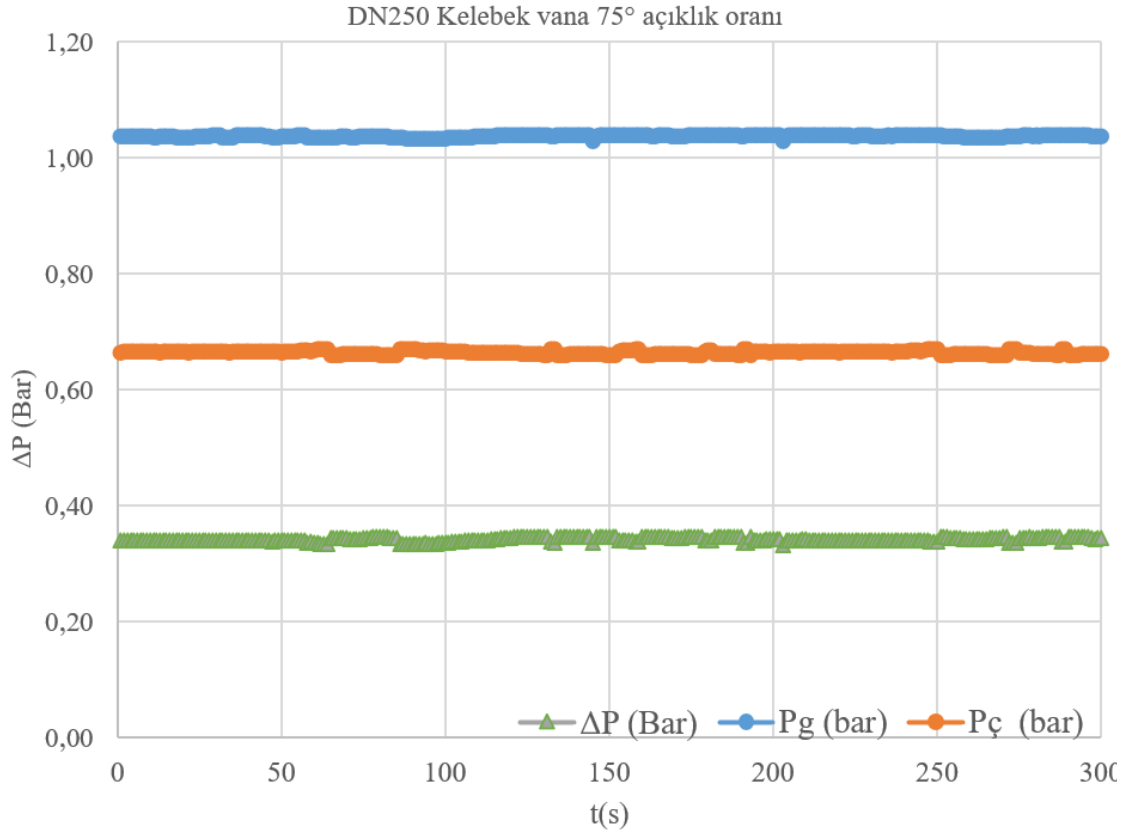
Şekil 44b. Şekil 44a açıklanan basınç değerlerinin kelebek vana açıklık derecesi $\alpha = 30^\circ$ durumunda zamanla değişimi



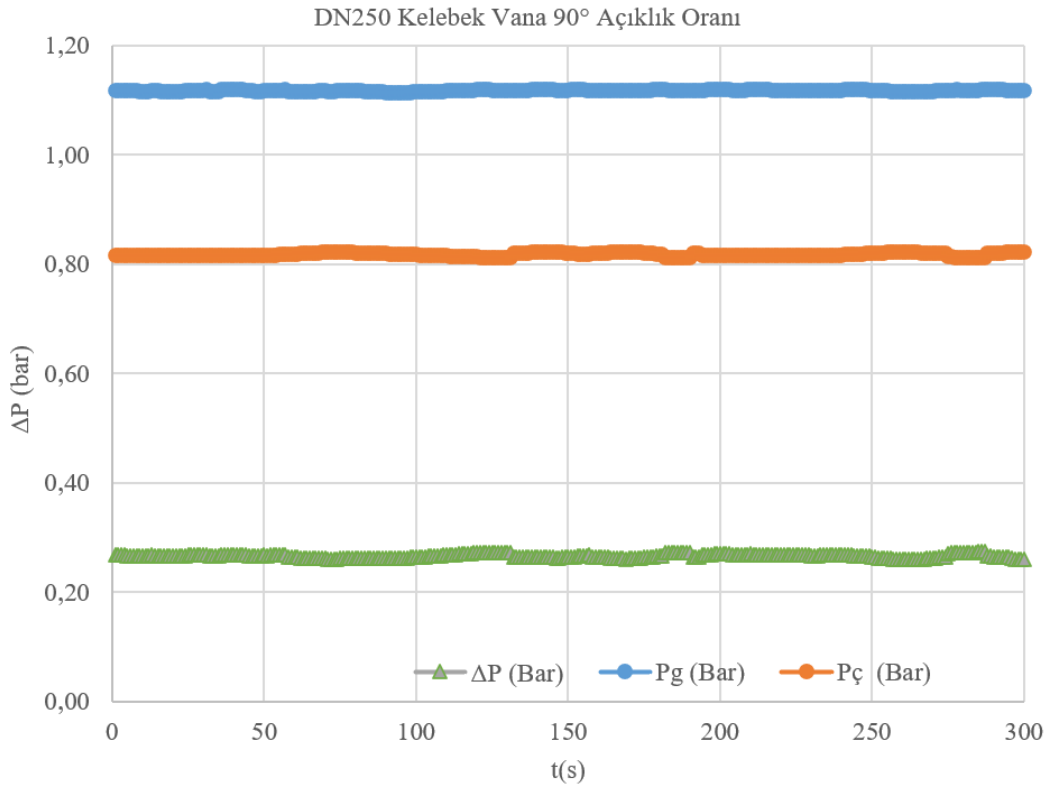
Şekil 44c. Şekil 44a açıklanan basınç değerlerinin kelebek vana açıklık derecesi $\alpha=45^\circ$ durumunda zamanla değişimi



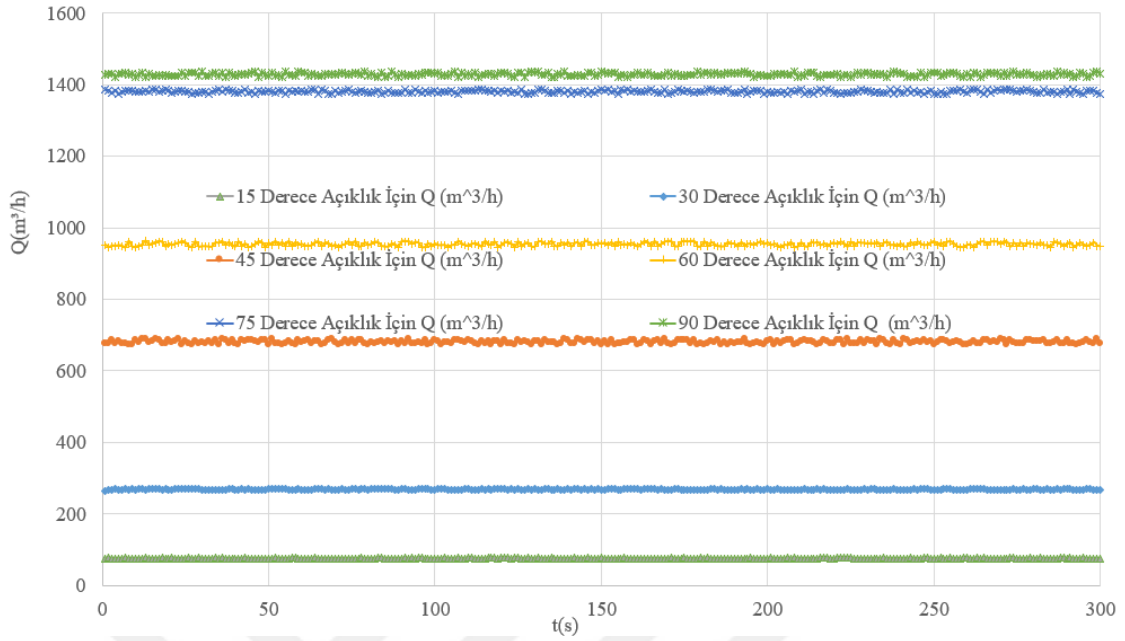
Şekil 44d. Şekil 44a açıklanan basınç değerlerinin kelebek vana açıklık derecesi $\alpha=60^\circ$ durumunda zamanla değişimi



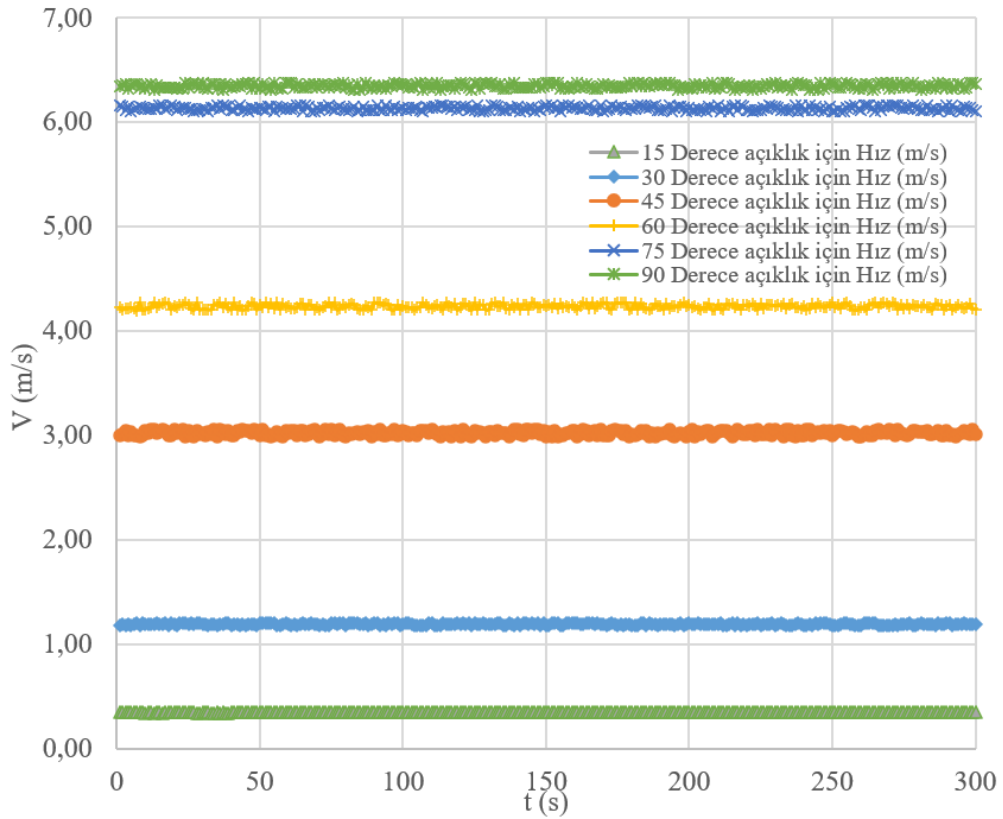
Şekil 44e. Şekil 44a açıklanan basınç değerlerinin kelebek vana açıklık derecesi $\alpha=75^\circ$ durumunda zamanla değişimi



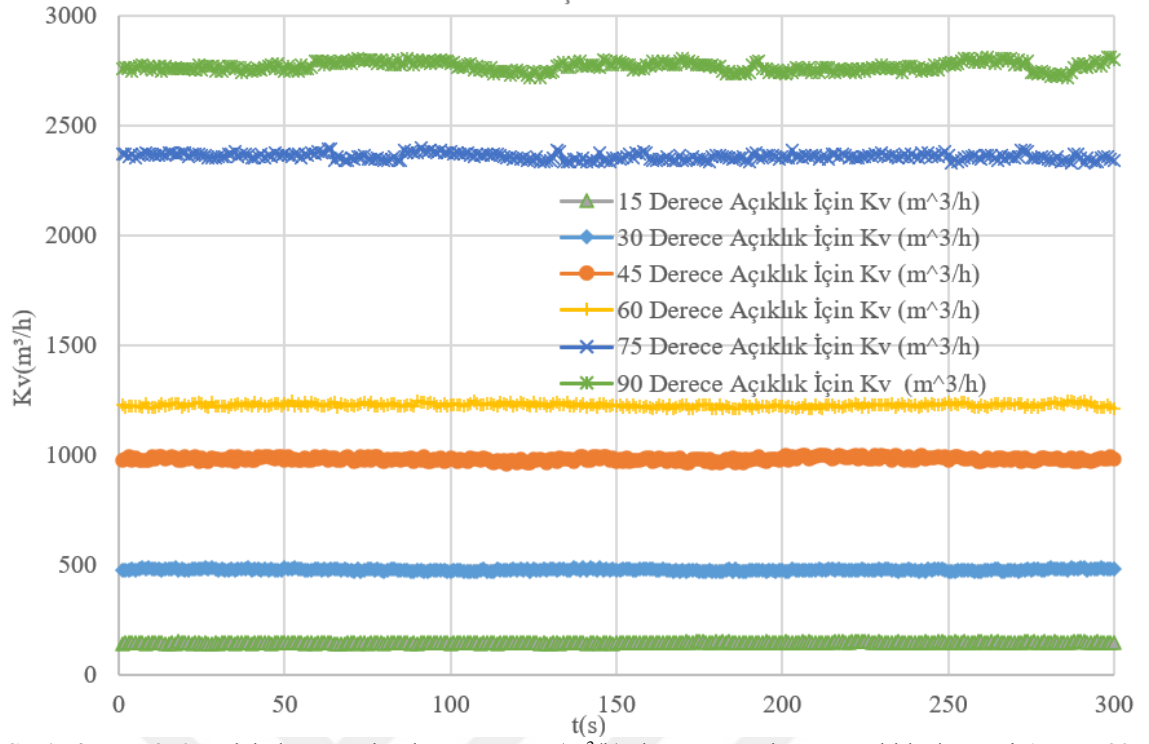
Şekil 44f. Şekil 44a açıklanan basınç değerlerinin kelebek vana açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ durumunda zamanla değişimi



Şekil 45. DN250 Kelebek vana hattı hacimsel debi \dot{Q} (m³/h) deney sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında zamanla değişimi



Şekil 46. DN250 Kelebek vana hattı ortalama hız V (m/s) deney sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında zamanla değişimi



Şekil 47. DN250 Kelebek vana akış katsayısı K_v (m^3/h) deney sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında zamanla değişimi

Çizelge 15. DN250 kelebek vana belirsizlik analizi

Ölçülen ve Hesaplanan Parametre	Test1	Test2	Test3
Ortalama debi Q_v (m ³ /h) (hesaplamada R değeridir)	1428,430	1418,903	1435,414
Akış Katsayısı K_v (m ³ /h) (hesaplamada R değeridir)	2758,910	2771,660	2796,666
Ortalama Akış Katsayısı K_v (m ³ /h) (R)	2775,7455		
Maksimum Ortalama Akış Katsayısı K_v (m ³ /h) ($K_{v_{mak}}$)	2796,66637		
Minimum Ortalama Akış Katsayısı K_v (m ³ /h) ($K_{v_{min}}$)	2758,9104		
Ortalama v maksimum K_v arasındaki bağıl fark (%) ($(K_{vmak}-R)/R*100$)	%0,67 Ortalama değere göre 3 test için bağıl hata %1.8'den küçük olduğu için TS EN1267, Tablo 4'de verilen test değerlerine göre uygundur.		
Ortalama v maksimum K_v arasındaki bağıl fark (%) ($(K_{vmin}-R)/R*100$)	%0,67 Ortalama değere göre 3 test için bağıl hata %1.8'den küçük olduğu için TS EN1267,Tablo 4'de verilen test değerlerine göre uygundur.		
Maksimum Anlık Akış Debisi \dot{Q}_v (m ³ /h) (Q_{vmak})	1436,010	1429,025	1451,154
Minimum Anlık Akış Debisi \dot{Q}_v (m ³ /h) (Q_{vmin})	1419,022	1409,026	1428,566
Ortalama ve Maksimum \dot{Q}_v arasındaki bağıl fark (%) ($(Q_{vmin}-R)/R*100$)	0,659	0,696	0,477
Ortalama ve Maksimum \dot{Q}_v arasındaki bağıl fark (%) ($(R-\dot{Q}_v \text{ min})/R*100$)	0,531	0,713	1,097
Akış debisi değişiminin TS EN 1267:2012 (EN) göre değerlendirilmesi	Akış debisi Q_v (m ³ /h) bağıl fark değerleri %0,53- %1,09 arasındadır. TS EN1267, Tablo 4'de verilen test değerlerine göre uygundur.		
Test Vanası Girişindeki Ortalama basınç değeri (P_{2mak}) (Pa)	1,117	1,117	1,117
Test Vanası Girişindeki Anlık maksimum basınç değeri (P_{2mak})	1,121	1,121	1,121
Test Vanası Girişindeki Anlık minimum basınç değeri (P_{2mak})	1,105	1,108	1,110
Ortalama ve Maksimum Anlık P_2 basıncı arasındaki bağıl fark (%):($P_{2mak}-R)/R*100$)	0,349	0,394	0,340
Ortalama ve Maksimum Anlık P_2 basıncı arasındaki bağıl fark (%)=($R-P_{2min}$)/ $R*100$)	1,119	0,770	0,618
Ortalama ve Maksimum Anlık P_2 basıncı arasındaki bağıl fark (%)=($R-P_{2min}$)/ $R*100$)	1,119	0,770	0,618
Test vanası Girişindeki Anlık basınç değeri değişiminin TS EN 1267:2012 (EN) göre değerlendirilmesi	Ölçülen basınç değerlerinin bağıl fark değerleri %3,5 değerinden küçüktür. TS EN1267:2012 (EN) Tablo4'de verilen test değerlerine göre uygundur.		
Sıcaklık değerinin değişimi (°C)	±0,1	±0,1	±0,1
Sıcaklık değerleri değişiminin TS EN 1267:2012 (EN) göre değerlendirilmesi	Ölçülen sıcaklık TS EN1267 Tablo 4'de verilen test değerlerine göre uygundur.		
Basınç kaybı katsayısı zeta(ζ)	0,297	0,294	0,305
Ortalama Basınç kaybı katsayısı zeta(ζ)	0,299		
Akış katsayısı K_v 'nin ölçülmesi ve hesaplanmasında belirsizlik değeri Hesaplama sadece $\dot{Q}_v=1435,41394$ m ³ /h için hesaplandı.	$e_{Kv}=\Delta K_v/K_v=\pm\%2,48$ TS EN1267: (EN) Tablo 7'ye göre $\pm\%4,6$ 'dan küçük olduğu için test verileri uygundur.		
Basınç kaybı katsayısı zeta(ζ) ölçülmesi ve hesaplanmasında toplam belirsizlik hesaplamada sadece $\dot{Q}_v =1435,41394$ m ³ /h için hesaplandı.	$e_{\zeta}=0,0165=\pm\%1,65$ EN1267, Tablo 8'e göre $\pm\%9,2$ 'dan küçük olduğu için test verileri uygundur.		

$$\frac{\Delta K_v}{K_v} = 2 \sqrt{\left(\frac{a_{Q_v} \Delta Q_v}{2 Q_v}\right)^2 + \left(\frac{a_{\Delta P} \Delta \Delta P}{2 Q_v}\right)^2 + \left(\frac{a_\rho \Delta \rho}{1,73 \rho}\right)^2 + \left(\frac{a_{\rho_0} \Delta \rho_0}{1,73 \rho_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{K_v}}{K_v}\right)^2} \quad (3.24)$$

$$e_\zeta = 2 \sqrt{\left(\frac{a_{Q_v} \Delta \Delta P}{2 \Delta P}\right)^2 + \left(\frac{a_u \Delta u}{2 u}\right)^2 + \left(\frac{a_\rho \Delta \rho}{1,73 \rho}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\zeta}{\zeta}\right)^2} \quad (3.25)$$

$$a_{Q_v} = 1$$

$$a_{\Delta p} = -0,5$$

$$a_\rho = 0,5$$

$$a_{\rho_0} = -0,5$$

$$Q_v = 1435,41394 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_v = 2796,666 \text{ m}^3/\text{h} \quad \Delta P_v = 2668 \text{ Pa} \quad \rho_0 = 998,65 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_0 = 998,65 \text{ kg}/\text{m}^3 ,$$

Çizelge 10. DN250 kelebek vana ölçülen türbülans parametrelerin çalkantı değerleri analiz sonuçlarıa) Ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m³/h)

Parametre→	Hacimsel debi \dot{Q} (m ³ /h)			
α (açıklık derecesi)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	74,065	76,988	75,498	3,8724
30°	264,277	271,306	268,352	2,6211
45°	672,238	688,315	680,598	2,3621
60°	944,549	962,636	953,532	1,8968
75°	1373,616	1386,679	1380,372	0,9463
90°	1420,844	1435,916	1428,638	1,055

b) Ortalama hız V (m/s)

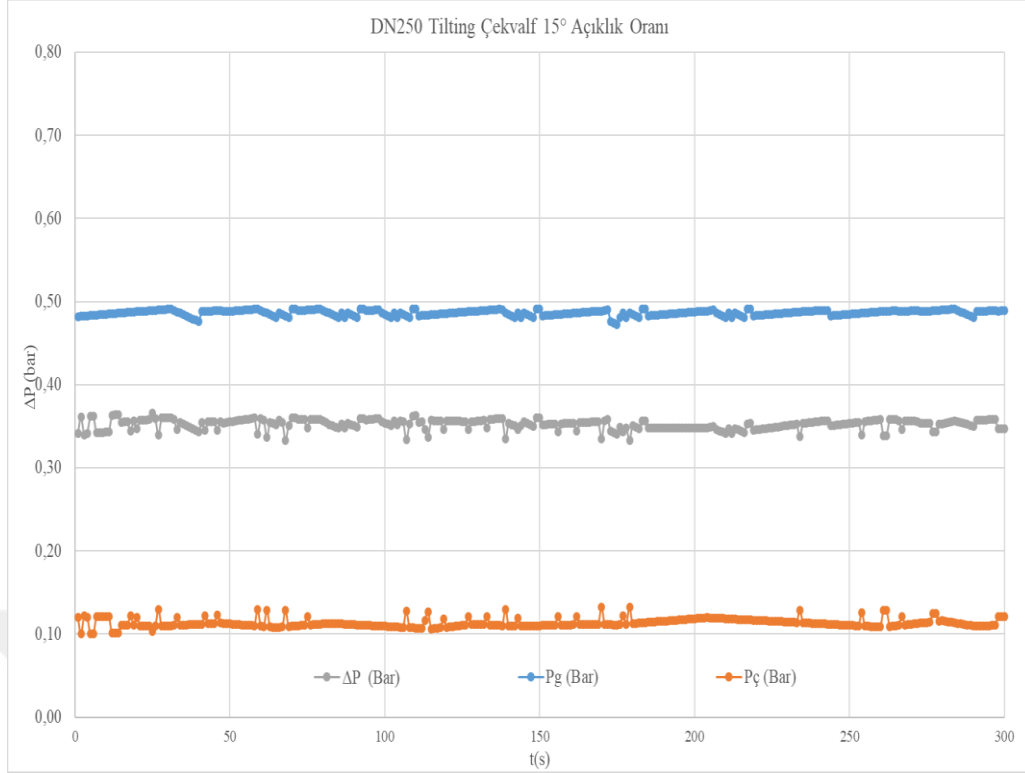
Parametre→	Hız (m/s)			
α (açıklık derecesi)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	0,3427	0,3528	0,3483	2,8944
30°	1,1745	1,2058	1,1927	2,6211
45°	2,9877	3,0592	3,0249	2,3623
60°	4,198	4,2784	4,2379	1,8969
75°	6,105	6,163	6,135	0,9463
90°	6,3149	6,3819	6,3495	1,055

c) Ortalama akış katsayısı K_v (m³/h)

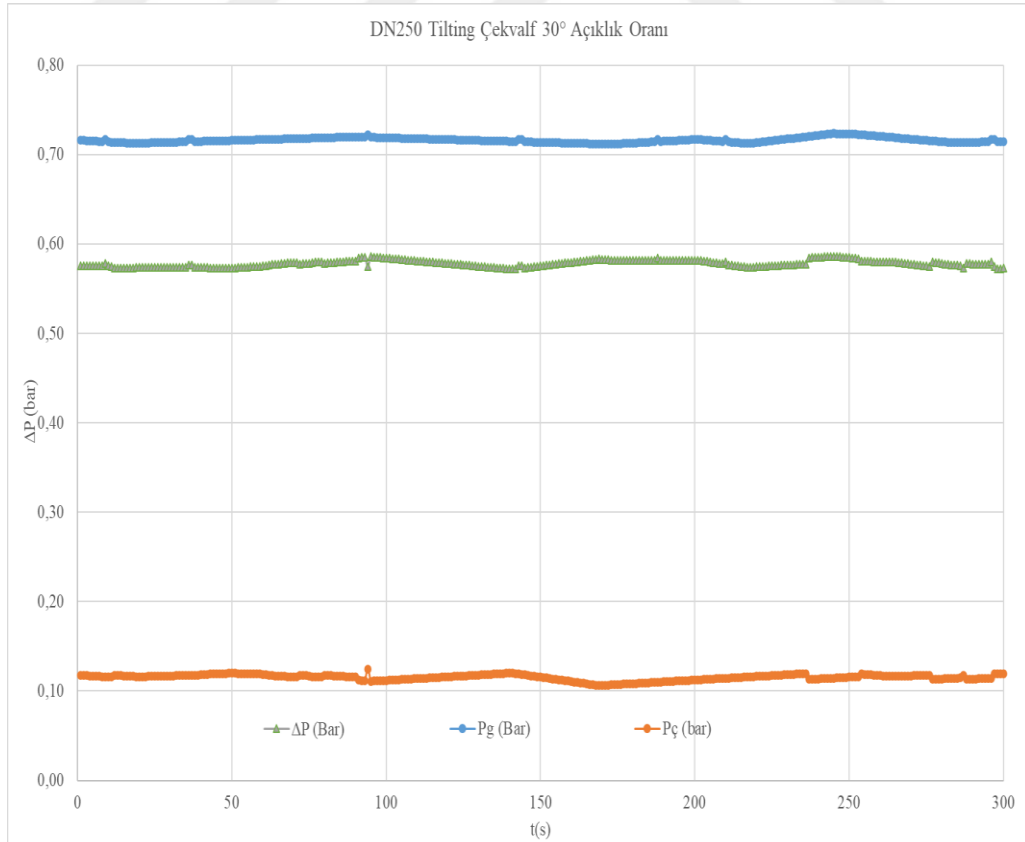
Parametre→	K_v (m ³ /h)			
α (açıklık derecesi)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	140,0801	150,0820	144,5361	3,9200
30°	466,3716	485,0751	475,7187	3,9316
45°	959,6547	998,8508	980,5634	3,9973
60°	1208,4563	1245,4580	1225,9859	3,0181
75°	2327,8409	2396,6413	2358,2639	2,9174
90°	2716,9900	2810,5450	2767,7933	3,3801

DN250 kelebek vana test sonuçlarının zamanla değişim değerlerinin zaman ortalamasının maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 10 (a) ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m³/h), (b) ortalama hız V (m/s) ve (c) ortalama akış katsayısı K_v (m³/h) için çalkantı değerleri (%) olarak verilmiştir. Deney sonuçları bütün açıklık oranları için değerlendirildiğinde TS EN 1267’de istenen $\pm\%4$ değerinin altında olduğu hesaplandı ve buna göre ölçülen değerler standardın gerektirdiği koşulları sağlamaktadır.

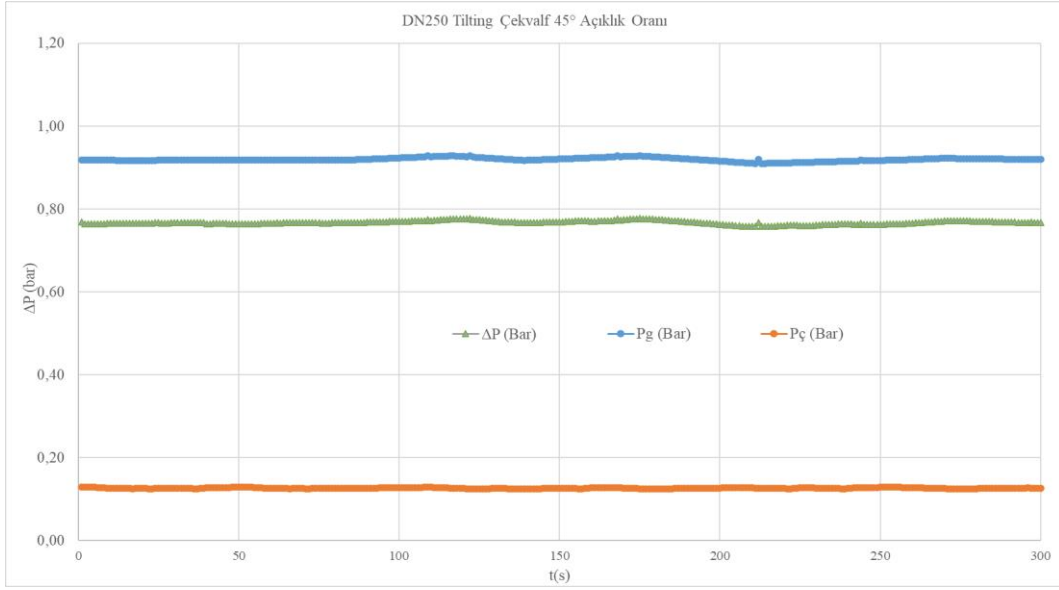
DN250 tilting test hattında TSEN 1267’ye göre yerleştirilen basınç transmitterleri ile ölçülen vanaya suyun girmeden 2D uzaklıkta giriş basıncı (P_g : Bar), vana çıkışından 10D uzaklıkta çıkış basıncı ($P_ç$: Bar), basınç farkı $\Delta P = P_g - P_ç$ (Bar) değerlerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimleri zamanla ölçülen değerlerin değişimi Şekil 48a-f’de verilmiştir. Debi, hız ve K_v değerlerinin zamanla değişimi kelebek vana durumuna benzediği için Çizelge 16’da zaman ortalaması değerlerinin minimum, maksimum, ortalama ve çalkantı değerleri verilmiştir.



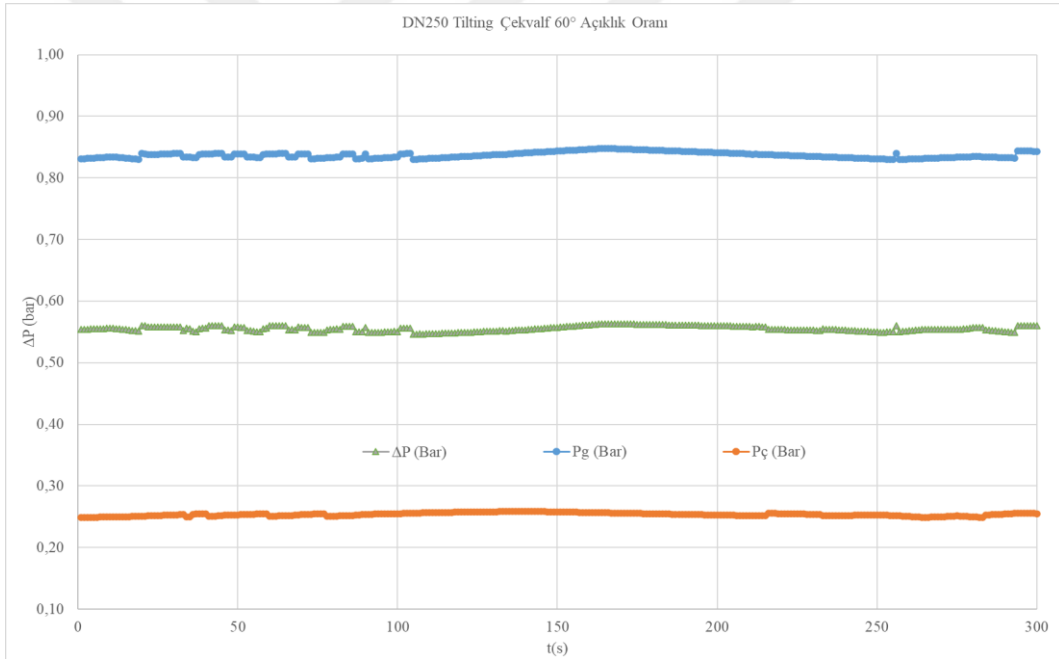
Şekil 48a. DN250 tilting çekvalf vana test hattında TSEN 1267'ye göre yerleştirilen basınç transmitterleri ile ölçülen vana girmeden 2D uzaklıkta giriş basıncı (P_g : Bar), vana çıkışından 10D uzaklıkta çıkış basıncı ($P_ç$: Bar), basınç farkı $\Delta P = P_g - P_ç$ (Bar) değerlerinin açıklık derecesi $\alpha = 15^\circ$ durumunda zamanla değişimi



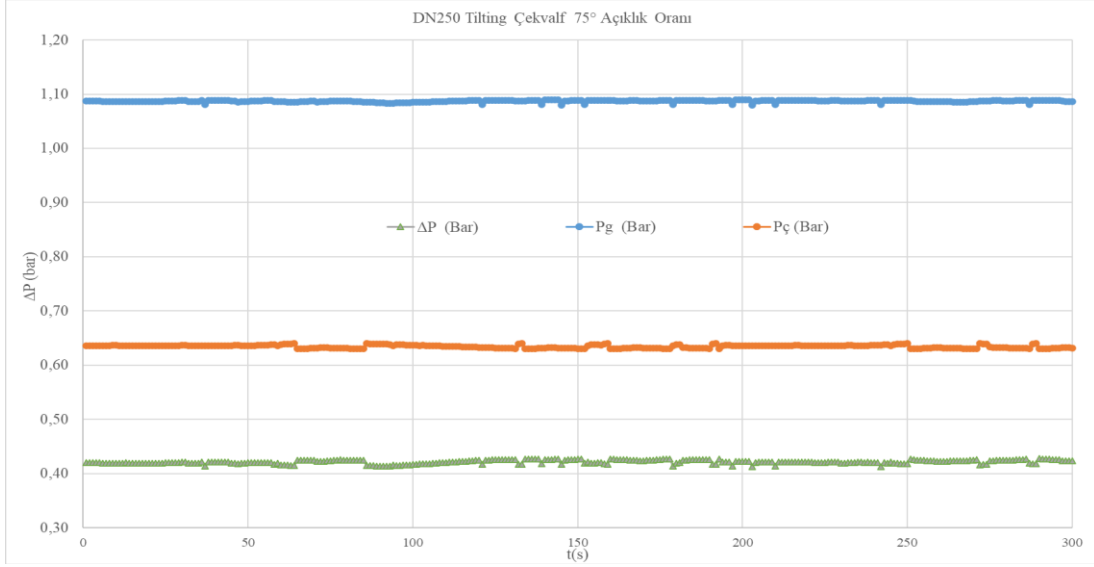
Şekil 48b. Şekil 48a açıklanan basınç değerlerinin tilting çekvalf açıklık derecesi $\alpha = 30^\circ$ durumunda zamanla değişimi



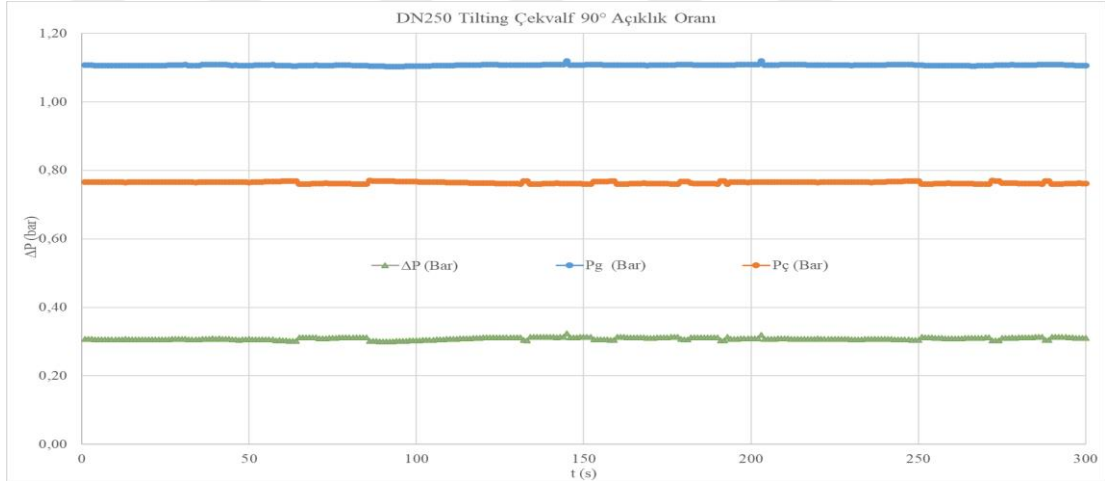
Şekil 48c. Şekil 48a açıklanan basınç değerlerinin tilting çekvaf açıklık derecesi $\alpha=45^\circ$ durumunda zamanla değişimi



Şekil 48d. Şekil 48a açıklanan basınç değerlerinin tilting çekvaf açıklık derecesi $\alpha=60^\circ$ durumunda zamanla değişimi



Şekil 48e. Şekil 48a açıklanan basınç değerlerinin tilting çekvaf açıklık derecesi $\alpha=75^\circ$ durumunda zamanla değişimi



Şekil 48f. Şekil 248a açıklanan basınç değerlerinin kelebek vana açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ durumunda zamanla değişimi

Çizelge 11’de verilen DN250 tilting çekvalf açıklık oranlarına göre debiler deney düzeneği DN250 elektromanyetik debimetreden ölçülmüştür. Tilting çekvalfin 15° açıklıkta debi değişimi çalkantı değeri en yüksek bulunmuştur. Bu olayın temel sebebi tilting çekvalf vanaların temel çalışma prensibi hat üzerinde oluşacak ters akışın engellenmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu nedenle vananın ara pozisyondaki ölçümlerinde kullanmaya elverişli olmadığı için belirsizlik değerinin değer fazlalığı vana için tolere edilebilir olduğu için sorun görülmemiştir. Diğer vanalar ile karşılaştırılması yapıldı ve değerlerin belirsizlik değeri hesaplandı 1 Hz örnekle ile 300 adet herbir ölçülen değer kayıt edilerek analiz edildi. Zaman ortalaması hesaplanan değerler ile akış katsayısı K_v ve zeta değerleri hesaplandı.

Çizelge 17. DN250 Tilting çekvalf ölçülen türbülans parametrelerinin çalkantı değerleri analiz sonuçları

a) Ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m³/h)

Parametre→	Hacimsel debi \dot{Q} (m ³ /h)			
α (açıklık derecesi)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	83,0127	88,0745	85,5571	3,9162
30°	265,278	271,307	268,373	2,2465
45°	612,472	621,583	616,892	1,47694
60°	906,053	962,636	913,933	1,66153
75°	1351,02	1363,14	1357,21	0,89344
90°	1372,24	1382,34	1377,26	0,73369

b) Ortalama hız V (m/s)

Parametre→	Hız (m/s)			
α (açıklık derecesi)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	0,3427	0,3528	0,3483	2,8944
30°	1,1745	1,2058	1,1927	2,6211
45°	2,9877	3,0592	3,0249	2,3623
60°	4,198	4,2784	4,2379	1,8969
75°	6,105	6,163	6,1350	0,9463
90°	6,3149	6,3819	6,3495	1,055

c) Ortalama akış katsayısı K_v (m³/h)

Parametre→	K_v (m ³ /h)			
α (açıklık derecesi)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	140,0567	149,8196	144,0341	3,7782
30°	346,4880	358,2104	352,5301	3,3252
45°	694,4876	712,7602	703,2505	2,5983
60°	1206,4334	1243,0995	1225,1165	2,9929
75°	2065,1983	2116,1540	2087,9114	2,4405
90°	2417,7381	2513,4057	2474,9563	3,8654

DN250 tilting çekvalf test sonuçlarının zamanla değişim değerlerinin zaman ortalamasının maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 11 (a) ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m³/h), (b) ortalama hız V (m/s) ve (c) ortalama akış katsayısı K_v (m³/h) için çalkantı değerleri (%) olarak verilmiştir. Deney sonuçları bütün açıklık oranları için değerlendirildiğinde TS EN 1267’de istenen $\pm\%4$ değerinin altında olduğu hesaplandı ve buna göre ölçülen değerler standardın şartlarını yerine getirmektedir.

Çizelge 11. DN250 Sürgülü vana ölçülen türbülans parametrelerin çalkantı değerleri analiz sonuçlarıa) Ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m³/h)

Parametre→	Hacimsel debi \dot{Q} (m ³ /h)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	160,3371	163,7405	164,0186	3,9925
30°	475,9384	490,9489	484,1279	3,9398
45°	1087,8573	1095,8931	1091,9455	0,7359
60°	1308,7878	1331,8192	1325,4842	1,7375
75°	1392,0624	1407,2835	1396,2067	1,0902
90°	1485,0666	1495,6782	1488,5055	0,7129

b) Ortalama hız V (m/s)

Parametre→	Hız (m/s)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	0,3428	0,3529	0,3484	2,8945
30°	1,1746	1,2059	1,1928	2,6212
45°	2,9878	3,0593	3,0248	2,3624
60°	4,1982	4,2785	4,2378	1,8968
75°	6,1052	6,1632	6,1358	0,9464
90°	6,3148	6,3818	6,3496	1,0552

c) Ortalama akış katsayısı K_v (m³/h)

Parametre→	K_v (m ³ /h)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Çalkantı (%)
15°	289,2594	307,8488	299,0436	3,2163
30°	1104,1422	1142,0000	1120,7920	3,3778
45°	2223,9244	2310,0289	2264,8872	3,8017
60°	3380,4442	3548,8881	3466,0893	3,5481
75°	4002,7176	4188,3168	4097,4758	3,5296
90°	4037,6933	4197,7360	4164,8910	3,8427

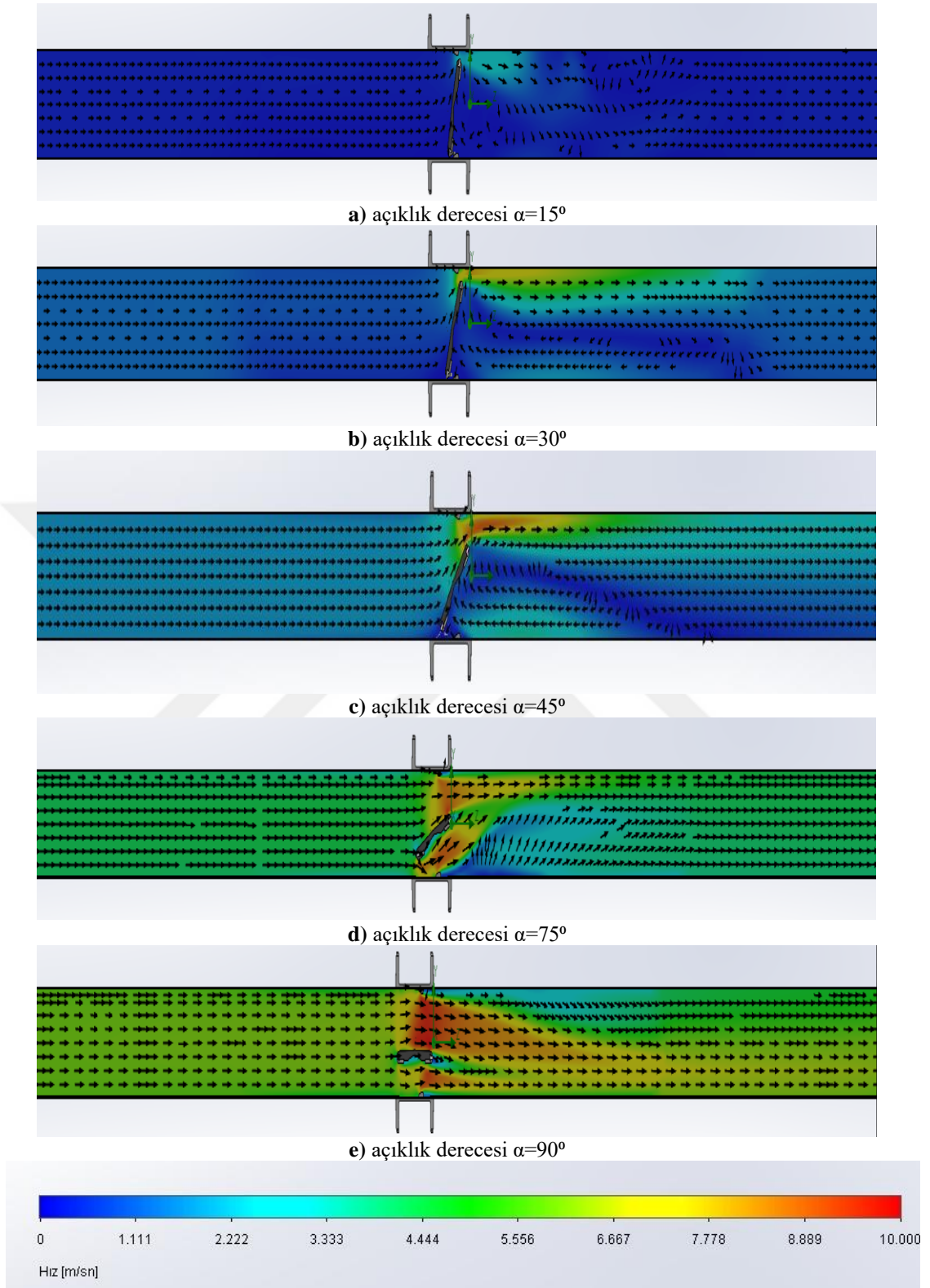
DN250 sürgülü vana test sonuçlarının zamanla değişim değerlerinin zaman ortalamasının maksimum, minimum ve ortalama değerleri Çizelge 12 (a) ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m³/h), (b) ortalama hız V (m/s) ve (c) ortalama akış katsayısı K_v (m³/h) için çalkantı değerleri (%) olarak verilmiştir. Deney sonuçları bütün açıklık oranları için değerlendirildiğinde TS EN 1267’de istenen $\pm\%4$ değerinin altında olduğu hesaplandı ve buna göre ölçülen değerler standardın şartlarını sağladığı tespit edildi.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

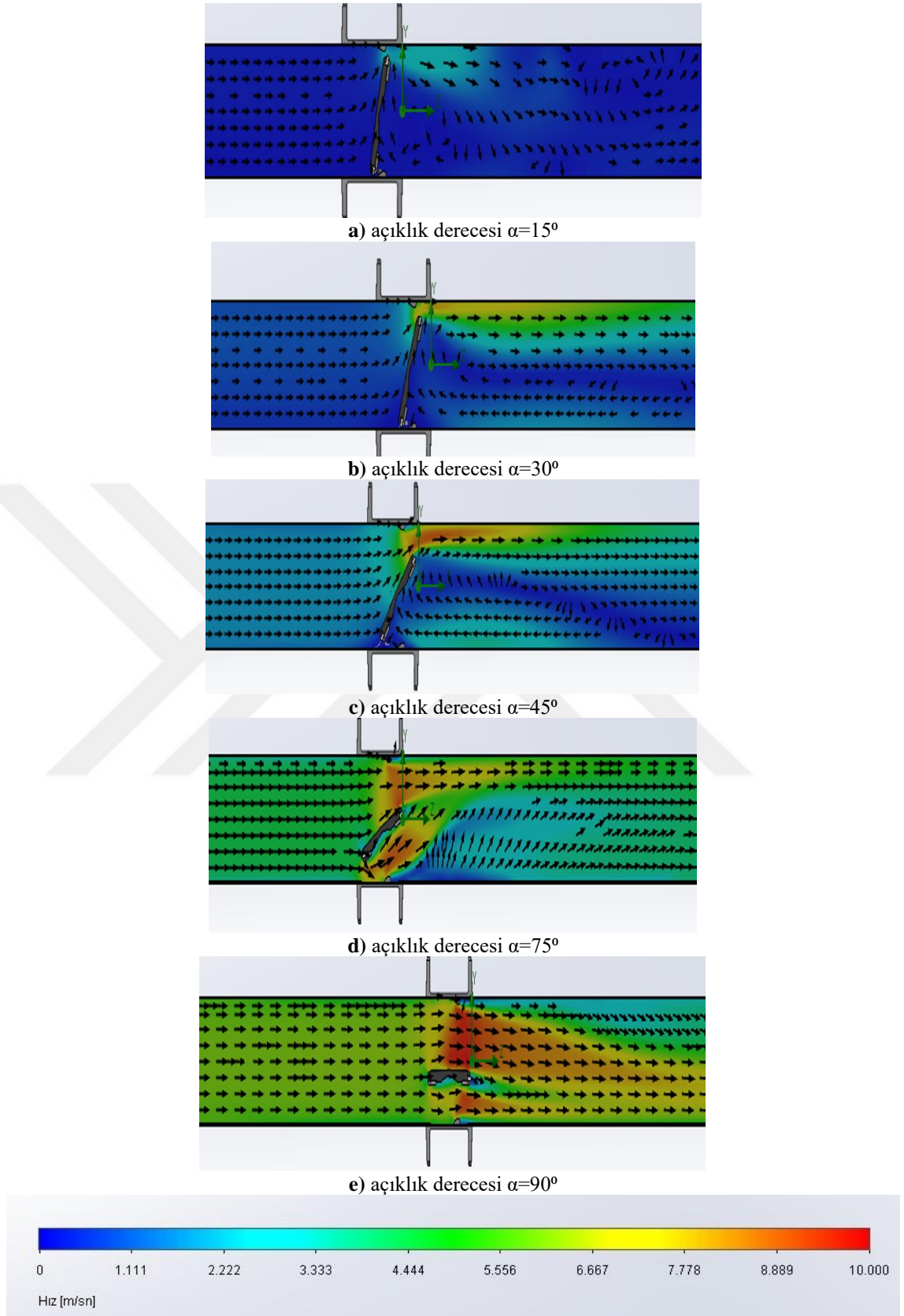
4.1. DN250 Kelebek Vana HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

DN250 Kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi Şekil 49'de verilmiştir. DN250 kelebek vana akış hattında statik basınç konturları ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi Şekil 50'de gösterilmiştir. Açıklık oranının azaldıkça akış ivmelendiği için akış ayrılmaları ve dönümlü akışlar artmaktadır. Bu da zeta değerlerinin arttırırken basınç kaybının artmasından dolayı akış katsayısı değerlerini düşürmektedir. Açıklık oranı büyüdükçe vana art izindeki ayrılmış akış bölgesinin etkisi kısalmaktadır. Akışın ivmelendiği bölgelerde basınç konturu değerlerinde enerjini korunumu gereksinimi azalma olduğu gösterilmiştir. Örneğin açıklık derecesi ($\alpha=75^{\circ}$) için vana ile boru cidarı arasında ivmelenen akışkan yukarı doğru daha büyük hız değerleri oluşmasına neden olmaktadır. Buda vananın arkasındaki basınç değerlerinin daha da düşük olduğunun göstergesidir. Tam açık konumda akış katsayısı değeri en yüksek iken vana giriş ve çıkış arasındaki basınç kaybı değeri en düşük değer olarak hem ölçülmüş hem de hesaplanmıştır. Akım çizgiler vananın art izindeki bölgede şiddeti yüksek dönümlü odak noktaları oluşturmaktadır. Vanayı geçen ayrılmış akışın hem vana ve hem de yakın bölgedeki boru çeperlerine şiddetle çarptığı için zamanla aşınmalara neden olmaktadır. Ayrılmış akış boru cidarın çarparak birleştikten sonra türbülans etkisinin tekrar ayrılarak spirial formunda dönüm akış yapısı oluşturmaktadır (açıklık derecesi $\alpha=15^{\circ}$).

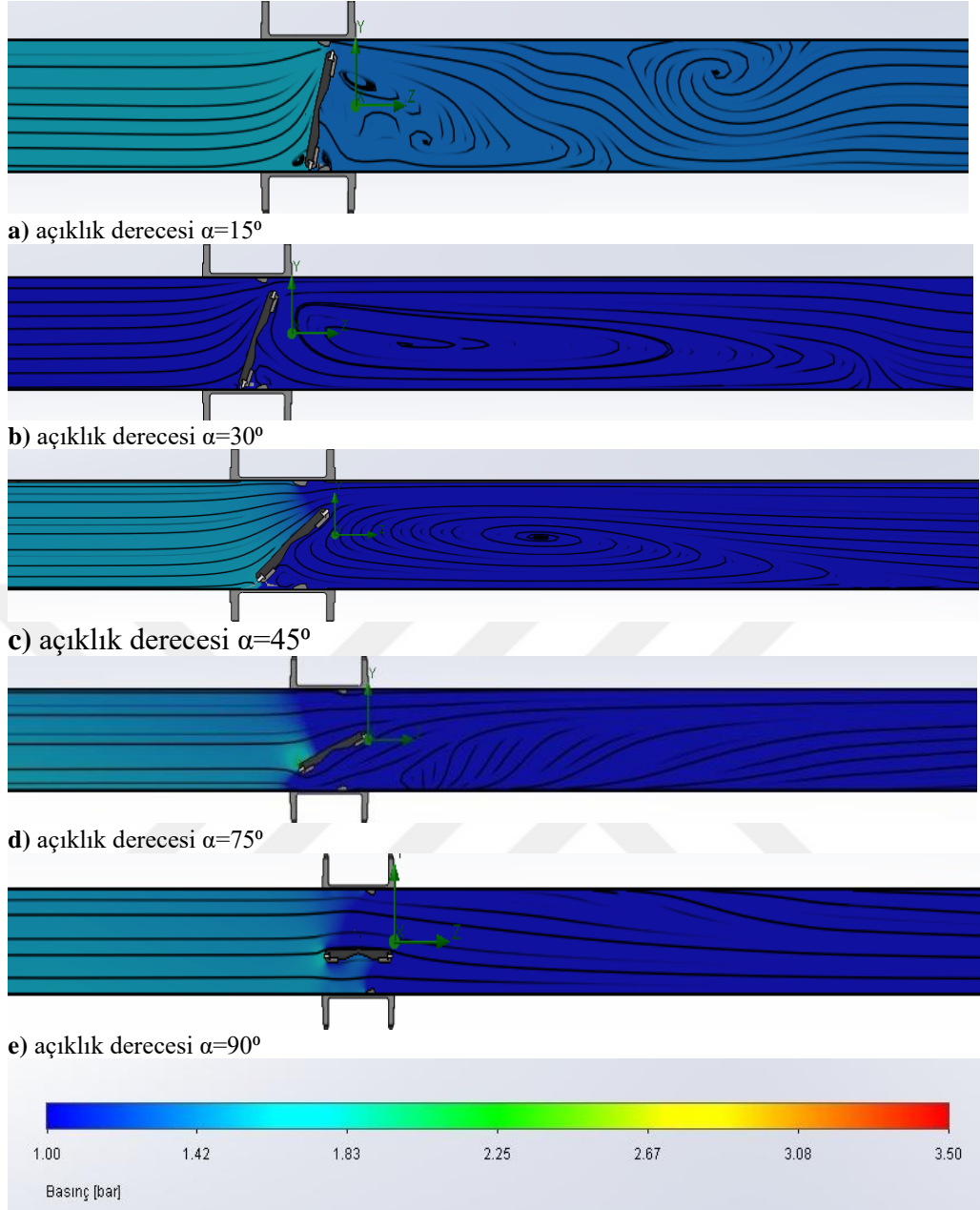
Şekil 49'da DN250 kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $\alpha=90^{\circ}$ hız kelebek vana için en yüksek hıza çıkmaktadır. A derecesi düştükçe vana üzerinde hızın azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni ise vananın akışın geçeceği kesit alanının daralması nedeni ile hızın düştüğü görülmüştür. Şekil 50'de ise vananın α derecesi azaldıkça vanadaki akış kesit alanı azaldığı için hızın düştüğü basıncın ise arttığı belirlendi. Vana açıklık derecesi azaldıkça akışkanın klape yüzeyinin arka yüzeyinde akış dönmeleri meydana gelmektedir. Bunun nedeni ise vananın açıklığının azalması sonrasında hızın düşmesinin sonucunda akışkanın bu alanda birikmeye bunun neticesinde ise küçük girdaplar oluşmuştur.



Şekil 44. DN250 Kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi



Şekil 45. DN250 Kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi (yakınlaştırılmış akış alan görselleri)



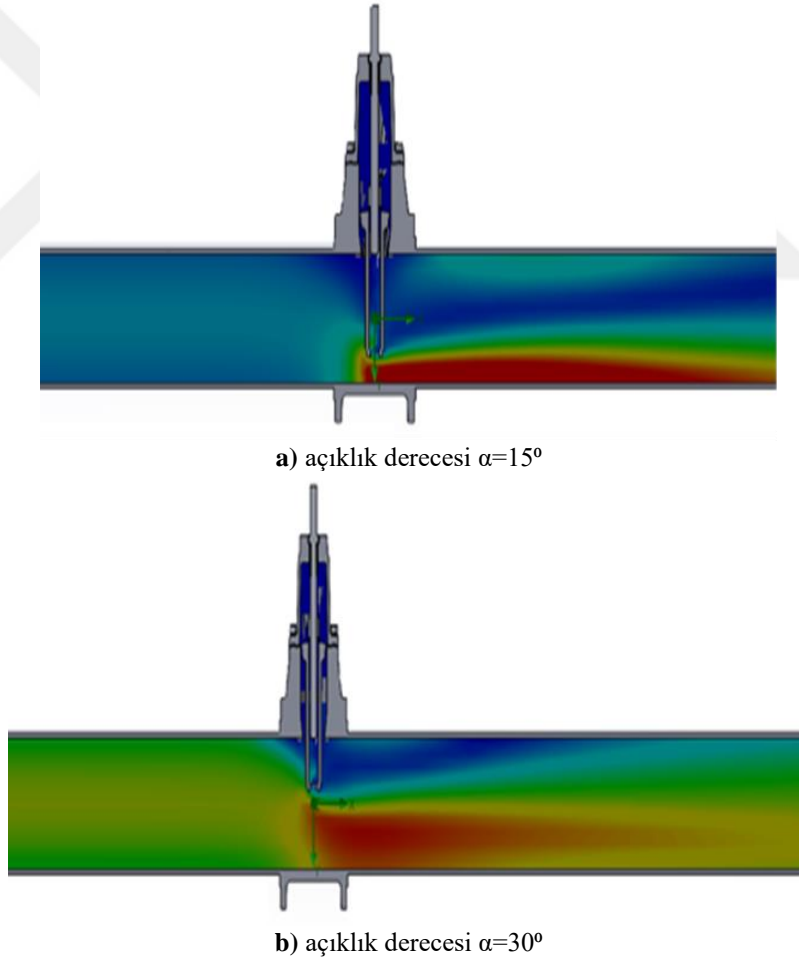
Şekil 51. DN250 kelebek vana akış hattında statik basınç konturları ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi

Şekil 49 ve 50’de DN250 kelebek vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ için hız değeri kelebek vana için en düşük hıza düşmektedir. Açıklık derecesi düştükçe vana üzerinde hızın arttığı görülmüştür. Bunun nedeni ise vananın akışın geçeceği kesit alanının daralması nedeni ile hızın artması kütlelenin korunumu prensibinin doğal sonucudur. Şekil 51’de ise vananın açıklık derecesi (α) azaldıkça vanadaki akış kesit alanı azaldığı için hızın düştüğü basıncın ise arttığı belirlendi. Vana açıklık derecesi azaldıkça akışkanın klape yüzeyinin arka yüzeyinde akış ayrılması sonucu oluşan dönümlü akışlar meydana gelmektedir. Bu yapının oluşmasında

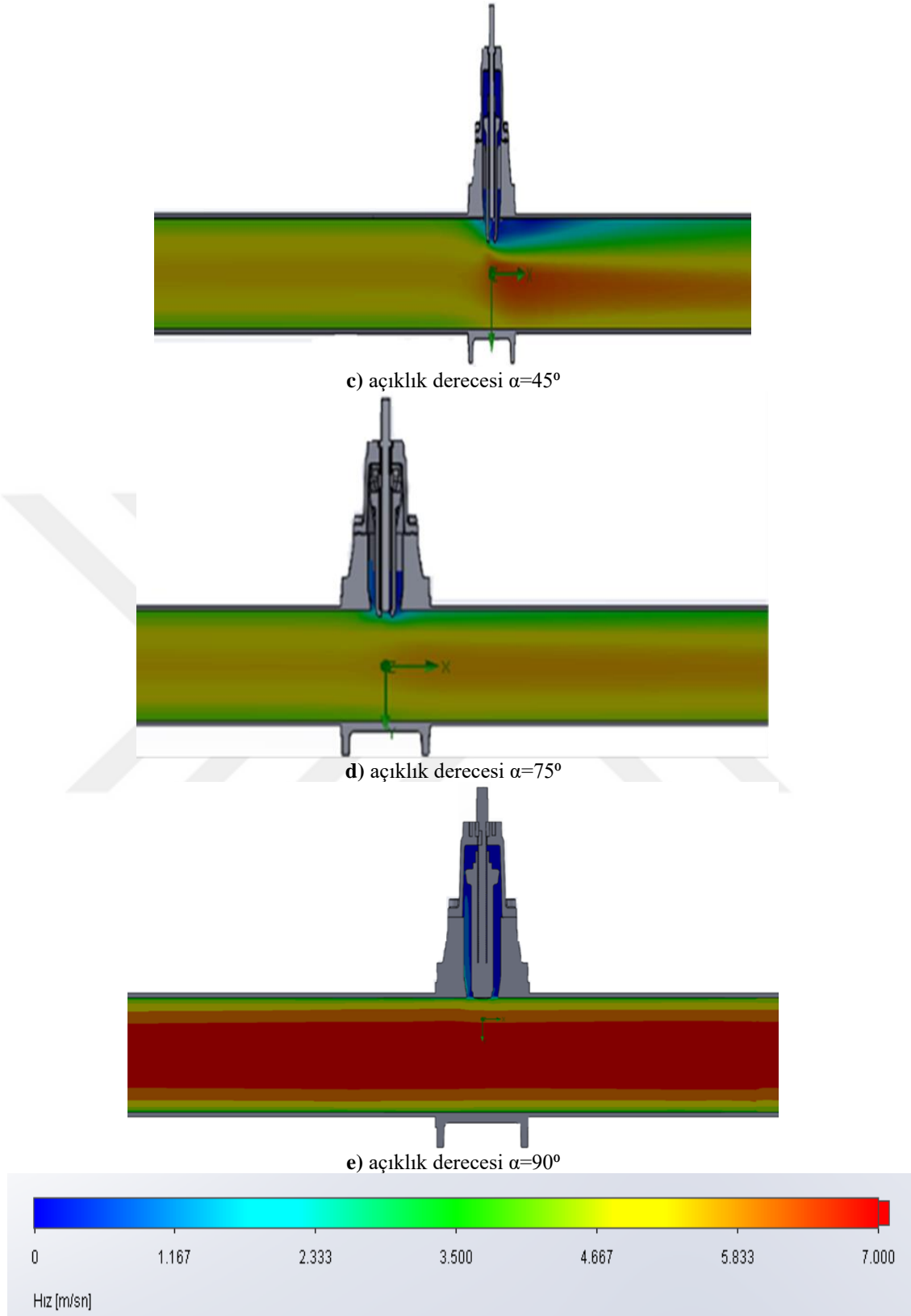
vananın açıklığının azalması sonrasında art izi bölgesinde hızın düşmesinin sonucunda akışkanın bu alanda akışa ters yönde akışın oluşmasına neden olmaktadır.

4.2. DN250 Sürgülü Vana HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

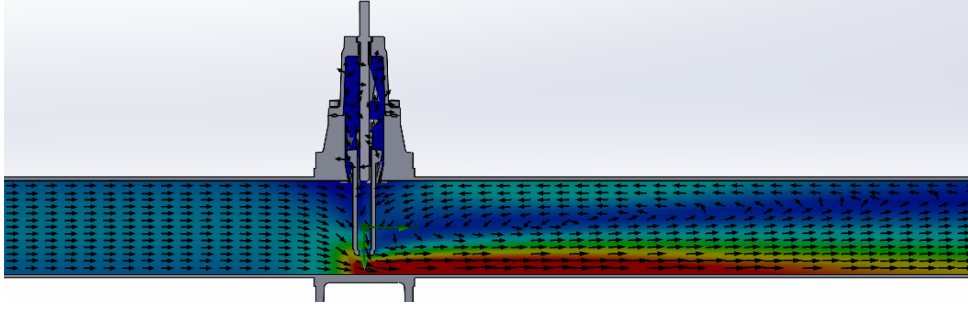
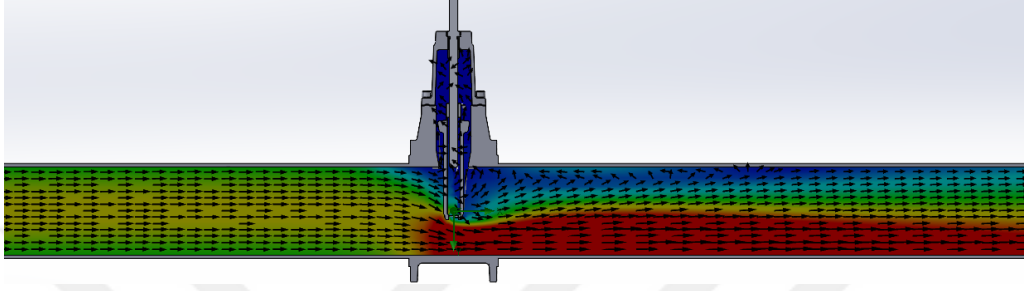
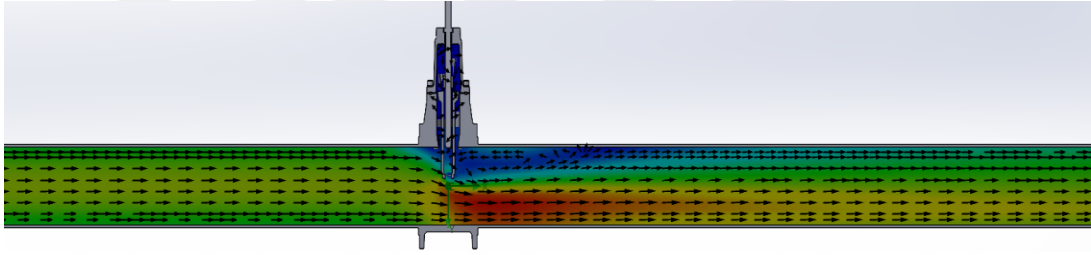
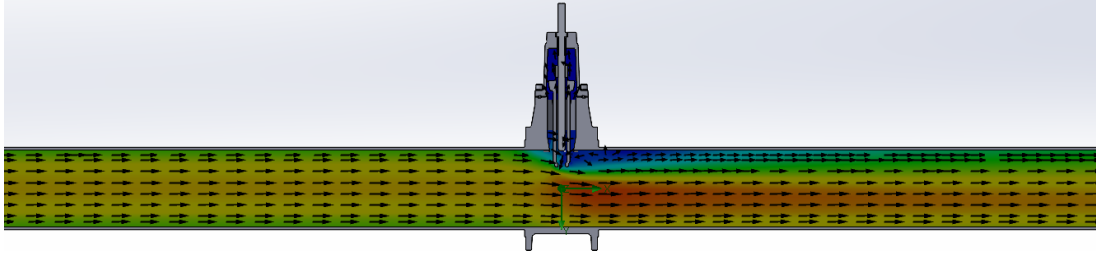
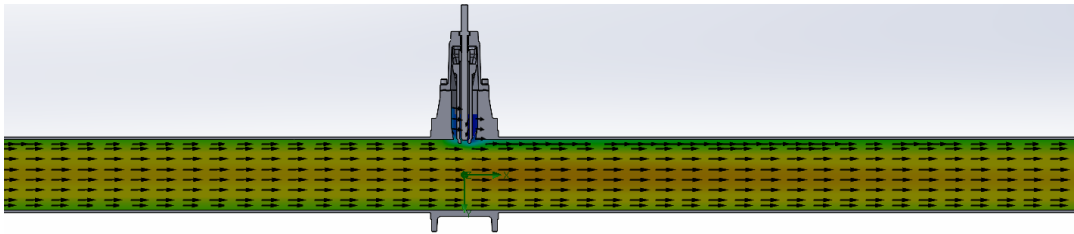
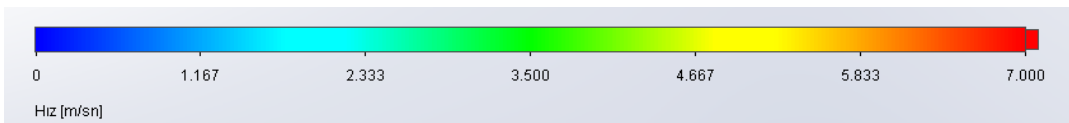
DN250 sürgülü vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi Şekil 52’de verilmiştir. Kelebek vanaya göre sürgülü vana akış ayrılması azaldığı için basınç kaybı azalmakta tüm açıklık oranlarında daha yüksek akış katsayısı oluşturmaktadır. DN250 sürgülü vana akış hattı basınç alanı ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi Şekil 53 ve 54’de gösterilmiştir. Açıklık oranı arttıkça akış ayrılmasının azaldığı akım çizgilerinden ve hız vektörlerinin doğrusal görünümünden açıkça görülmektedir.



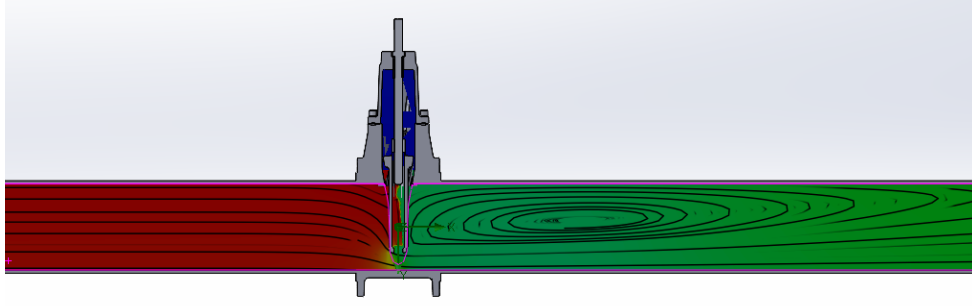
Şekil 52a. DN250 sürgülü vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $\alpha=75^\circ$ ve $\alpha=90^\circ$ aralığında değişimi



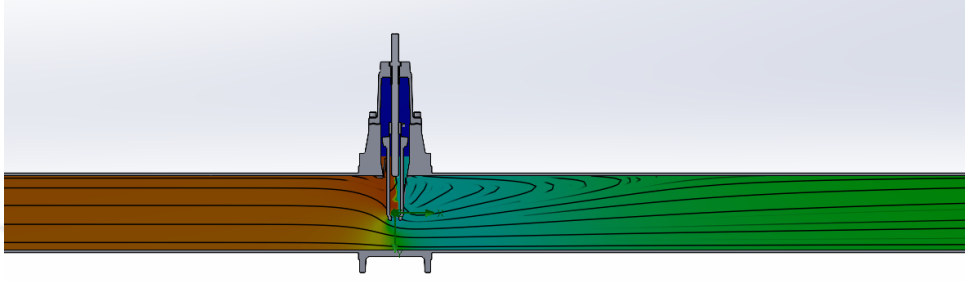
Şekil 46b. DN250 sürgülü vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ aralığında değişimi

a) açıklık derecesi $\alpha=15^\circ$ b) açıklık derecesi $\alpha=30^\circ$ c) açıklık derecesi $\alpha=45^\circ$ d) açıklık derecesi $\alpha=75^\circ$ e) açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ 

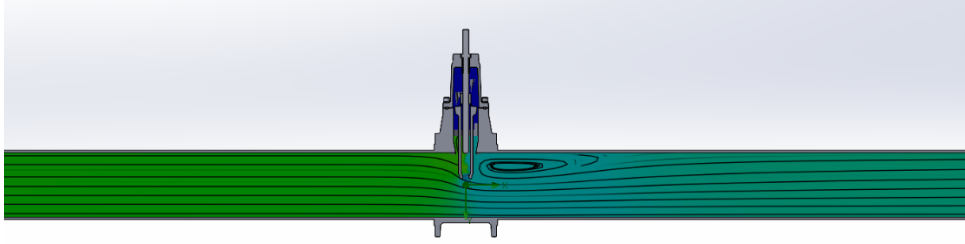
Şekil 53. DN250 sürgülü vana akış hattı hız vektörü alanı ve hız konturları açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi



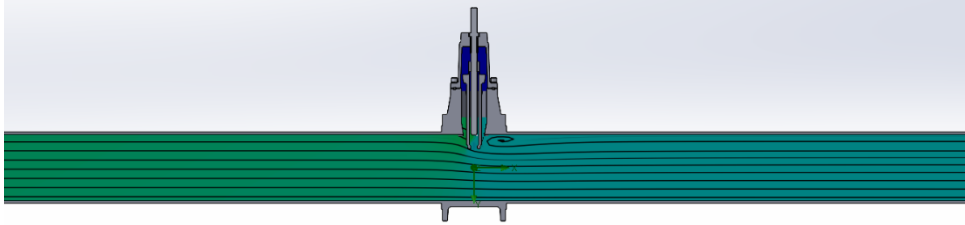
a) açıklık derecesi $\alpha=15^\circ$



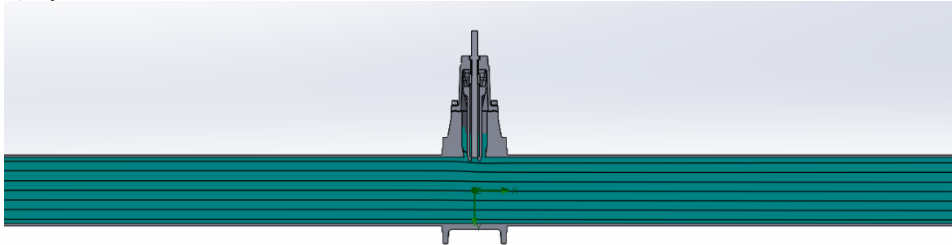
b) açıklık derecesi $\alpha=30^\circ$



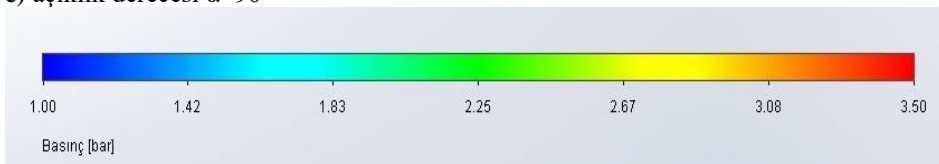
c) açıklık derecesi $\alpha=45^\circ$



d) açıklık derecesi $\alpha=75^\circ$



e) açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$

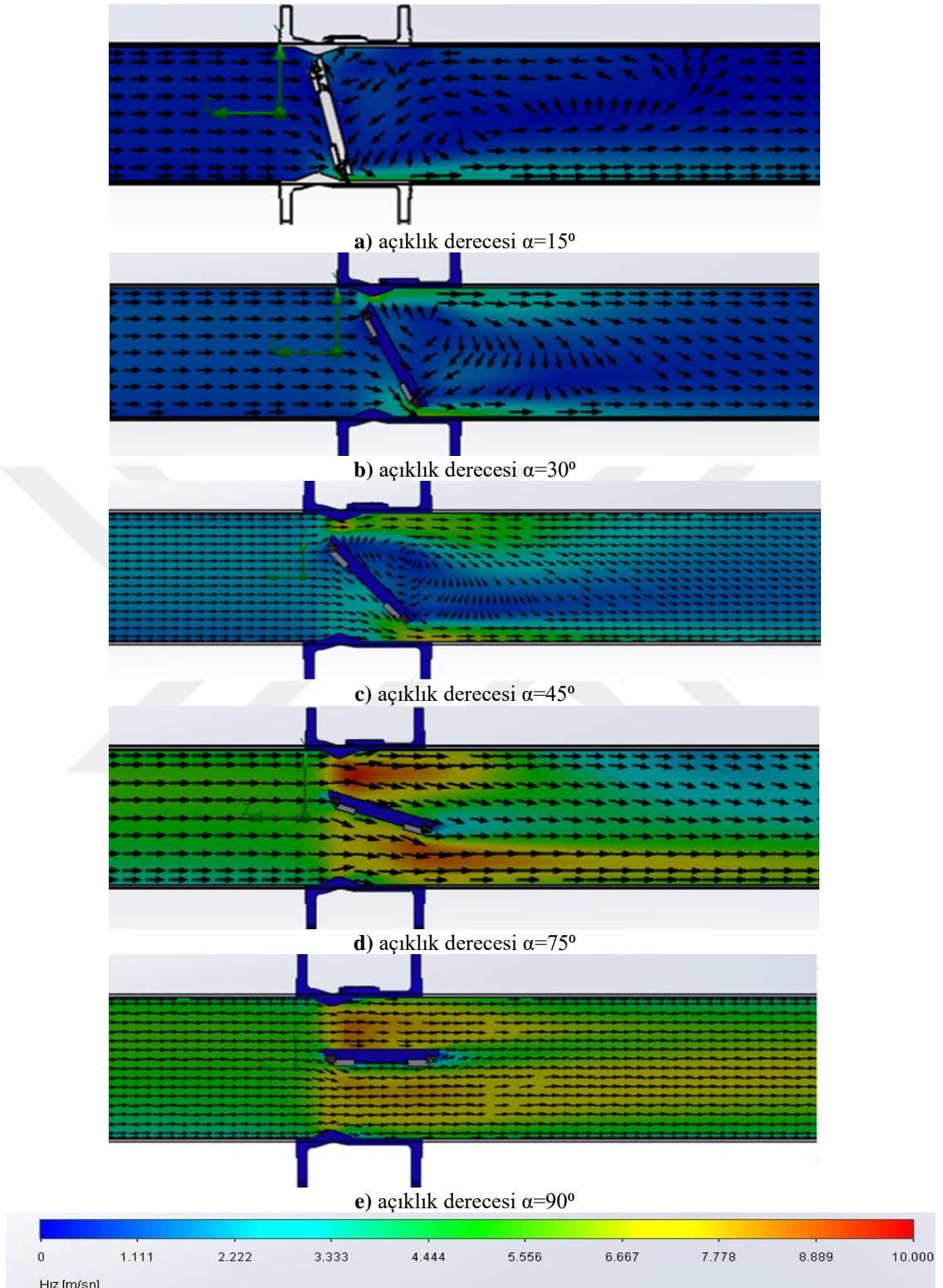


Şekil 54. DN250 sürgülü vana akış hattı basınç alanı ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi

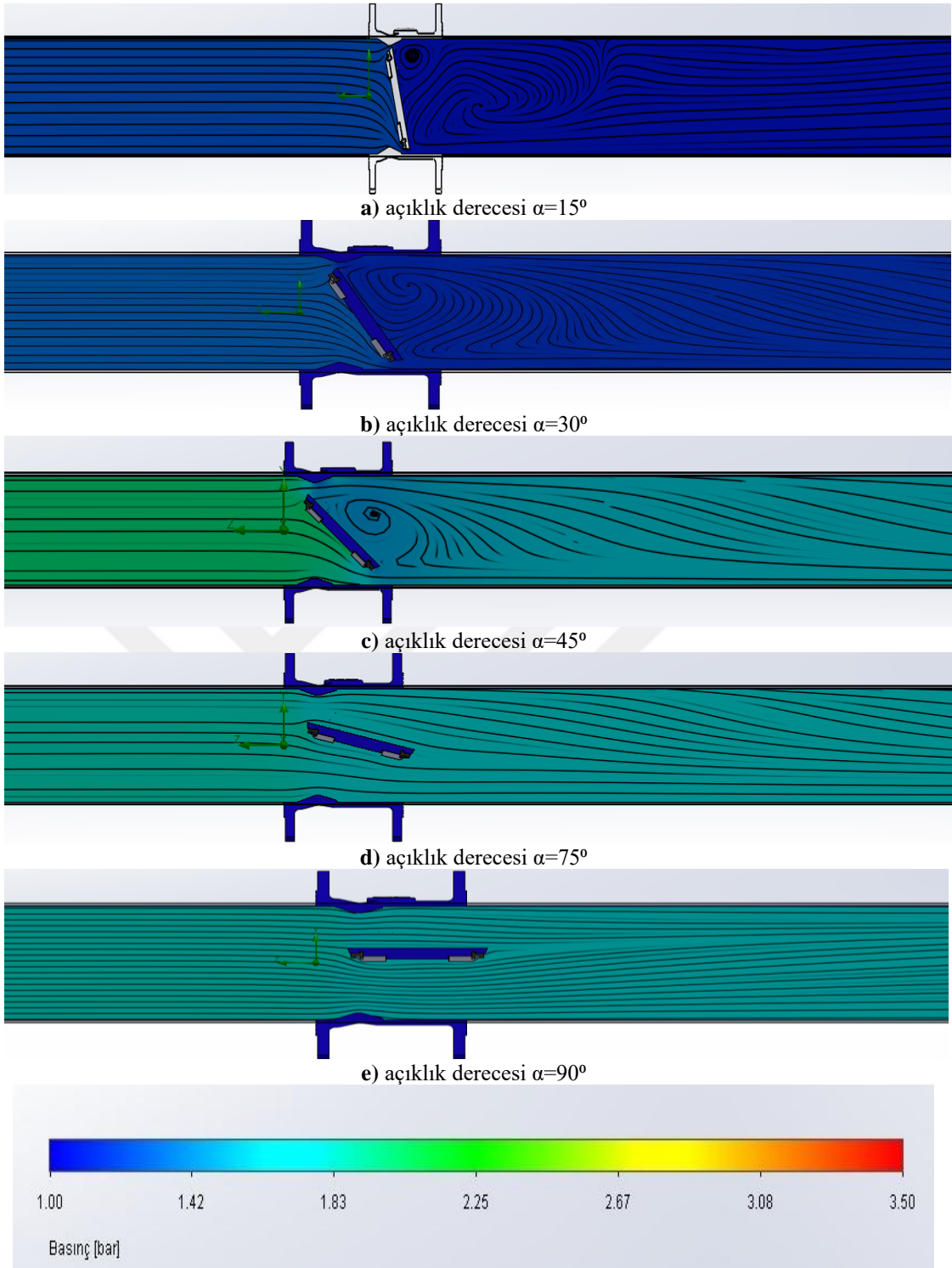
Şekil 53’de DN250 Sürgülü vana için çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ hız sürgülü vana hızı 6.83m/s olarak belirlendi. Açıklık derecesi α derecesi düştükçe vana üzerinde hızları düştüğü tespit edildi. Açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ hız çizgilerin doğrusal olduğu görüldü. Bunun nedeni vananın tam açık konumda akışı engelleyecek kapama elemanın hat üzerinden tamamen yukarı pozisyona gitmesidir. Bu sayede sürgülü vananın kapama elemanı olan sürgünün akış üzerinde etkisi minimum düzeydedir. Fakat sürgülü vana kapatılmaya başladığı zaman sürgü üzerinde hızın arttığı görülmektedir. Sürgülü vanalar ara pozisyonlarda çok fazla çalışmamasının nedeni sürgünün üzeri 70 shore sertlikte 12Mpa yüke dayanabilen EPDM hamur ile kaplanırlar. Düşük açıklık konumlarında EPDM kaplama deforme olarak vananın tam kapalı konumda sızdırma problemi yapmaktadır. Bu neden ile sürgülü vanalar EPDM kaplı sürgülü vanalar ara pozisyonlarda çalışması uygun değildirler. İstisnai sürgülü vana olarak ara pozisyonlarda çalışabilen bronz sürgülü metal yataklı sürgülü vanalar ara açıklık pozisyonlarında çalışabilirler.

4.3. DN250 Tilting Çekvalf HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

DN250 tilting çekvalf çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi Şekil 55’de gösterilmiştir. DN250 tilting çekvalf çevresinde basınç alanı ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi Şekil 56’da verilmiştir. Şekil 55’de görülen DN250 tilting çekvalf vananın çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi görülmektedir. Çekvalf kelebek vana ile akım çizgileri benzerlik göstermektedir. Bu iki vana arasındaki fark y koordinat ekseninde çekvalf kaçıktır (eksantriktir), bu yüzden çekvalf α açıklığı azaldıkça kapama elemanın arka bölgesinde girdaplar oluşmaktadır. Şekil 55’de şeklinde $\alpha=15^\circ$ derece açıklıkta kapama elemanı ile vana gövdesinin kesişiminde yoğun girdap oluşmaktadır. Bu akım dönmeleri vananın çalışmasını etkilemektedir. Çok fazla $\alpha=45^\circ$ ’den az açık pozisyonda çalışması durumunda vananın klape sızdırmazlık elemanı ve klapenin kendisinde kalıcı hasarlara maruz kalmalıdır. Çekvalf vanaların ana kullanımına uygun olarak çekvalfi tam açık ve tam kapalı şekilde kullanılacak biçimde kullanılmalıdır. Açıklık oranı azaldıkça asimetrik bağlantı milinden dolayı vananın sırtında daha şiddetli girdapların oluştuğu gözlenmiştir.



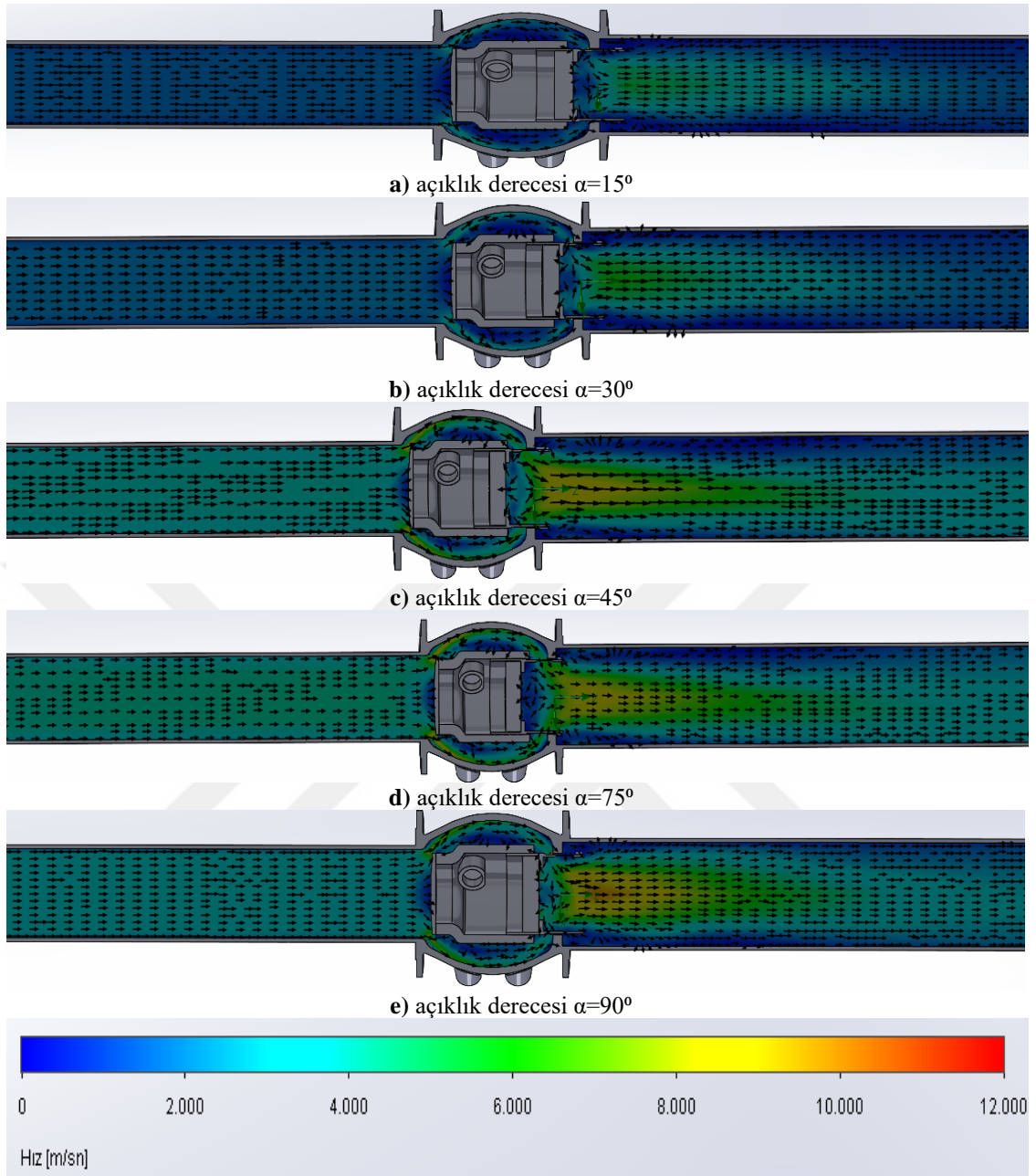
Şekil 55. DN250 tilting çekvalf çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi



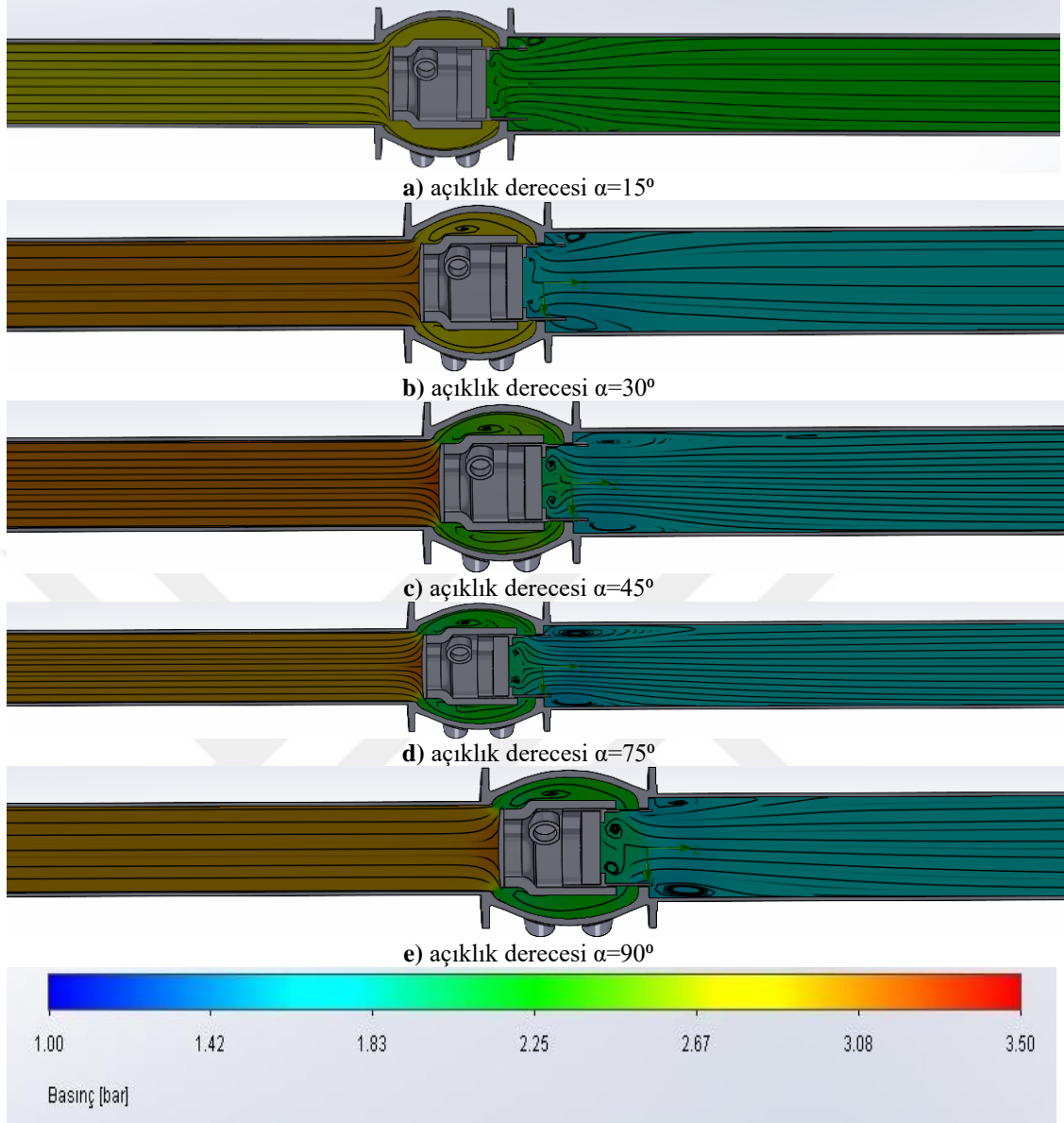
Şekil 56. DN250 tilting çekvalf çevresinde basınç alanı ve akım çizgilerinin açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi

4.4. DN250 İğne Vana HAD Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

DN250 iğne vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi Şekil 57’de, basınç alanı ve akım çizgilerini açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi ise Şekil 58’de verilmiştir. Vananın düşük açıklık oranlarında art izindeki düşük basınç akış bölgesine akışkan iğne (pistonu) çevresinden geçerek yönelmekte burada dönmümlü akış oluşturmaktadır. Şekil 47’de DN250 iğne vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında değişimi sonuçları görülmektedir. $15^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$ aralığında vananın açma kapama elemanı üzerinde bulunan U port bağlantısının sayesinde vananın hangi açıklıkta olursa olsun akışkanın akım çizgilerinde değişim çok az olduğu ve kelebek vanaya göre düşük açıklık oranlarında ki gibi akışkanı gövdenin cidarına doğru yönlendiği için akışkan herhangi açıklık pozisyonu olur ise olsun merkez eksen boyunca toplandığı görülmektedir. Buda vana üzerinde bir kavitasyon gibi vananın en önemli sorunu yok olduğu için her açıklıkta çalışmaya uygun olduğu için iğne vanaların diğer üç vanaya göre daha hassas kontrol vanaları olduğu tespit edildi.

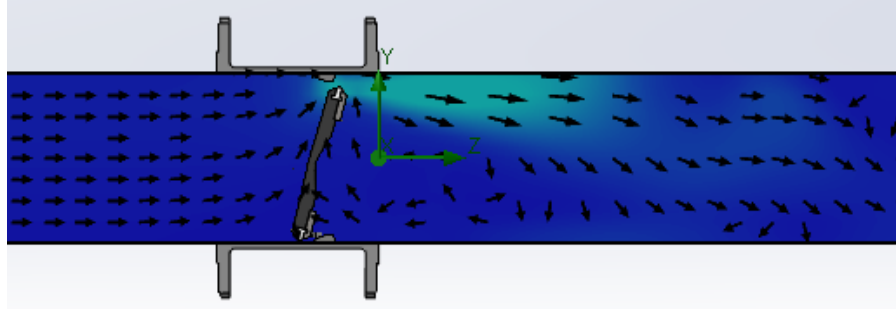


Şekil 48. DN250 iğne vana çevresinde hız vektör alanı ve hız konturlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi

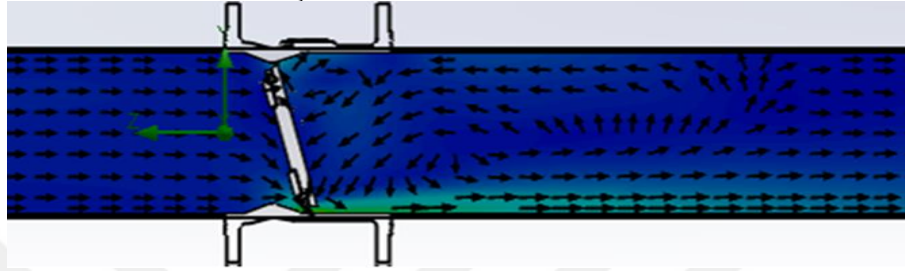


Şekil 58. DN250 iğne vana çevresinde basınç alanı ve akım çizgilerini açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında değişimi

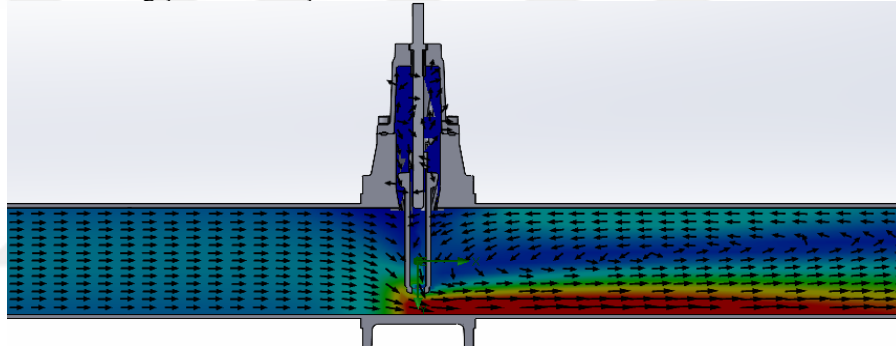
DN250 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık dereceleri $\alpha=15^\circ$, 45° ve 90° için karşılaştırması sırasıyla Şekil 59, 60 ve 61 de sunulmuştur. Akış alanındaki deformasyon en fazla tilting çekvafte gerçekleştiği gösterilmiştir. En düşük Kv değeri ise iğneli vanada oluşmaktadır. Bunun nedeni iğneli vanalar basınç düşürme amaçlı kullanılmaktadır ve debi değerinin basınç kaybı değerine bölünmesi ile bulunan Kv değeri de orantılı olarak düşük çıkmaktadır..



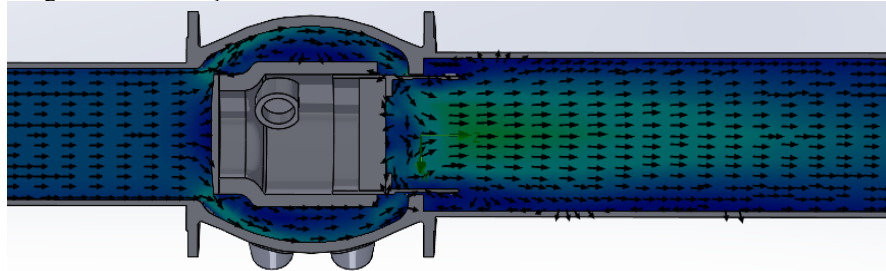
a) DN250 kelebek vana 15° açıklık



b) DN250 tilting çekvalf 15° açıklık

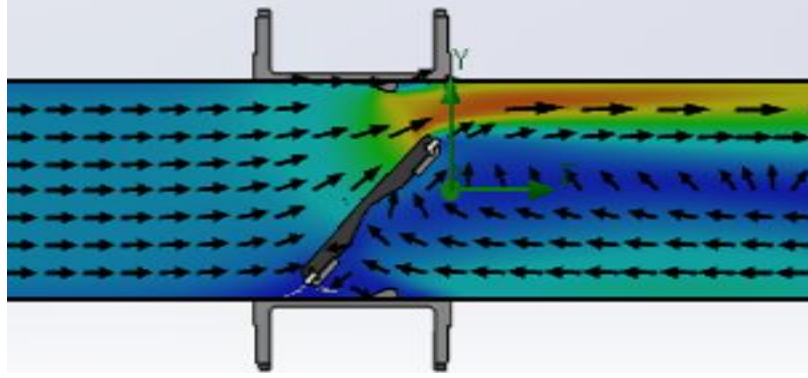


c) Sürgülü vana 15° açıklık

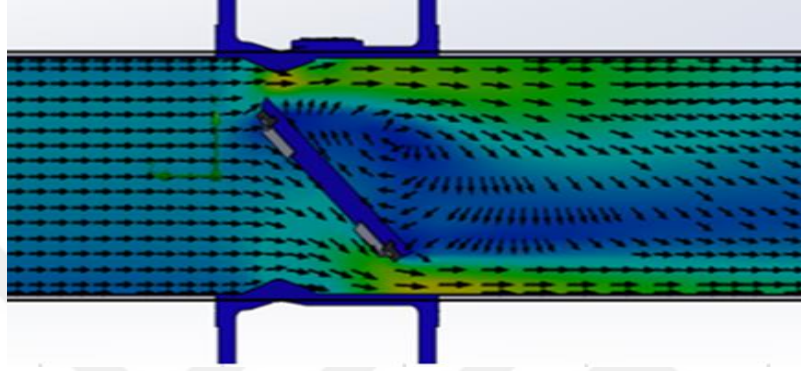


d) İğne vana 15° açıklık

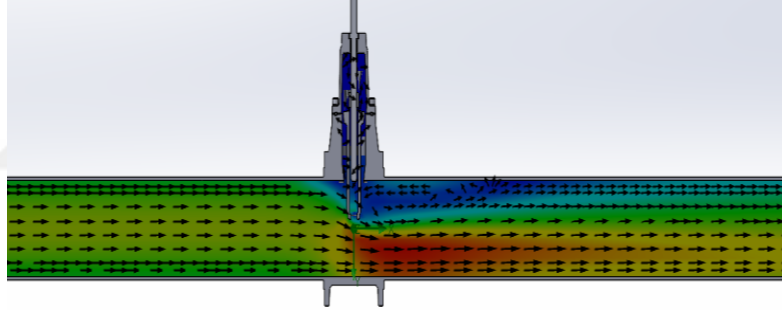
Şekil 59. DN250 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık derecesi $\alpha=15^\circ$ için karşılaştırması



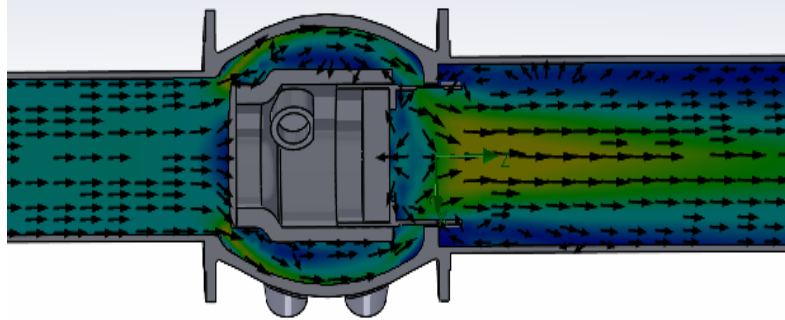
a) DN250 kelebek vana 45° açıklık



b) DN250 tilting çekvalf 45° açıklık

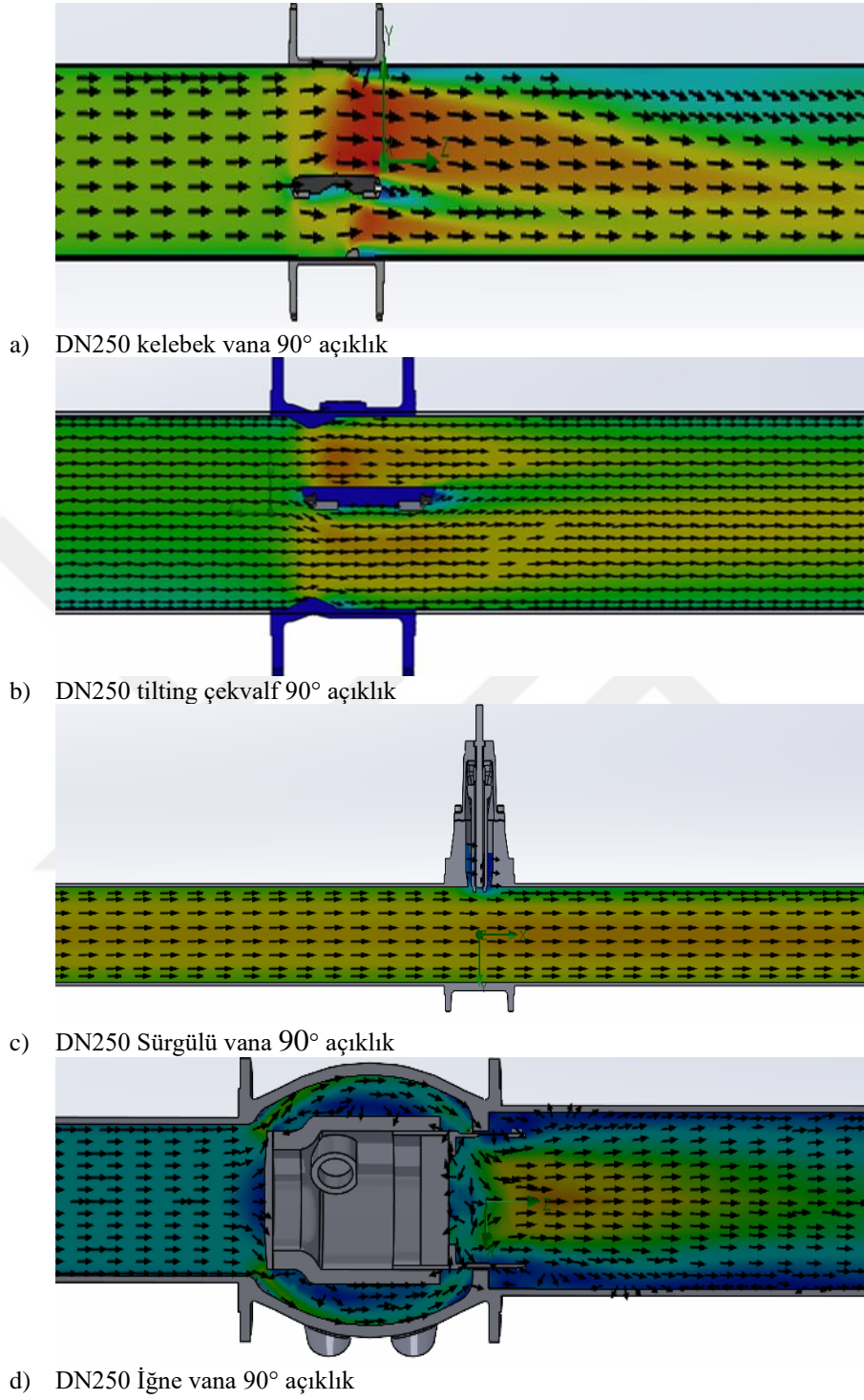


c) DN250 Sürgülü vana 45° açıklık



d) DN250 İğne vana 45° açıklık

Şekil 60. DN'50 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık derecesi $\alpha=45^\circ$ için karşılaştırması



Şekil 61. DN'50 kelebek, sürgülü, tilting çekvalf ve iğne vana hız vektör alanı görsellerinin açıklık derecesi $\alpha=90^\circ$ için karşılaştırması

4.5 Vana Akış Karakteristiklerin Karşılaştırılması

Tez çalışmasında endüstriyel alanda kullanılan vanaların basınç kayıpları, akış katsayısı (Kv) değerlerini bulunması ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Tez çalışmasında öncelikle vanaların sınıflandırılması yapıldı ve endüstriyel vanalar akış karakteristiklerinin incelenmesi üzerine kaynak araştırması yapılmıştır. Vanaların test edilmesi uygulanan standartlar ve deney düzenekleri hakkında açıklamalar yapılmıştır. Vanaları HAD programı yardımı ile analizler yapılmıştır. Çalıştığım firmanın lisanslı akış analiz programı Solidworks Flow Simulation ile örnek bir vana olarak DN250 kelebek vana, DN250 sürgülü vana ve DN250 karşı ağırlıklı geri dönüşsüz vana için modellemeler hazırlanmış ve TS EN 1267 Standartlarına uygun olacak şekilde akış hacmi tasarımı düzenlenmiştir. Hesaplamalarda vanaların akış katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Tez çalışmamda deneysel ve sayısal olarak su tesisatlarında kullanılan üç farklı vananın karşılaştırmalı araştırması yapılmıştır. İğne vana için sadece HAD analizleri yapılmıştır.

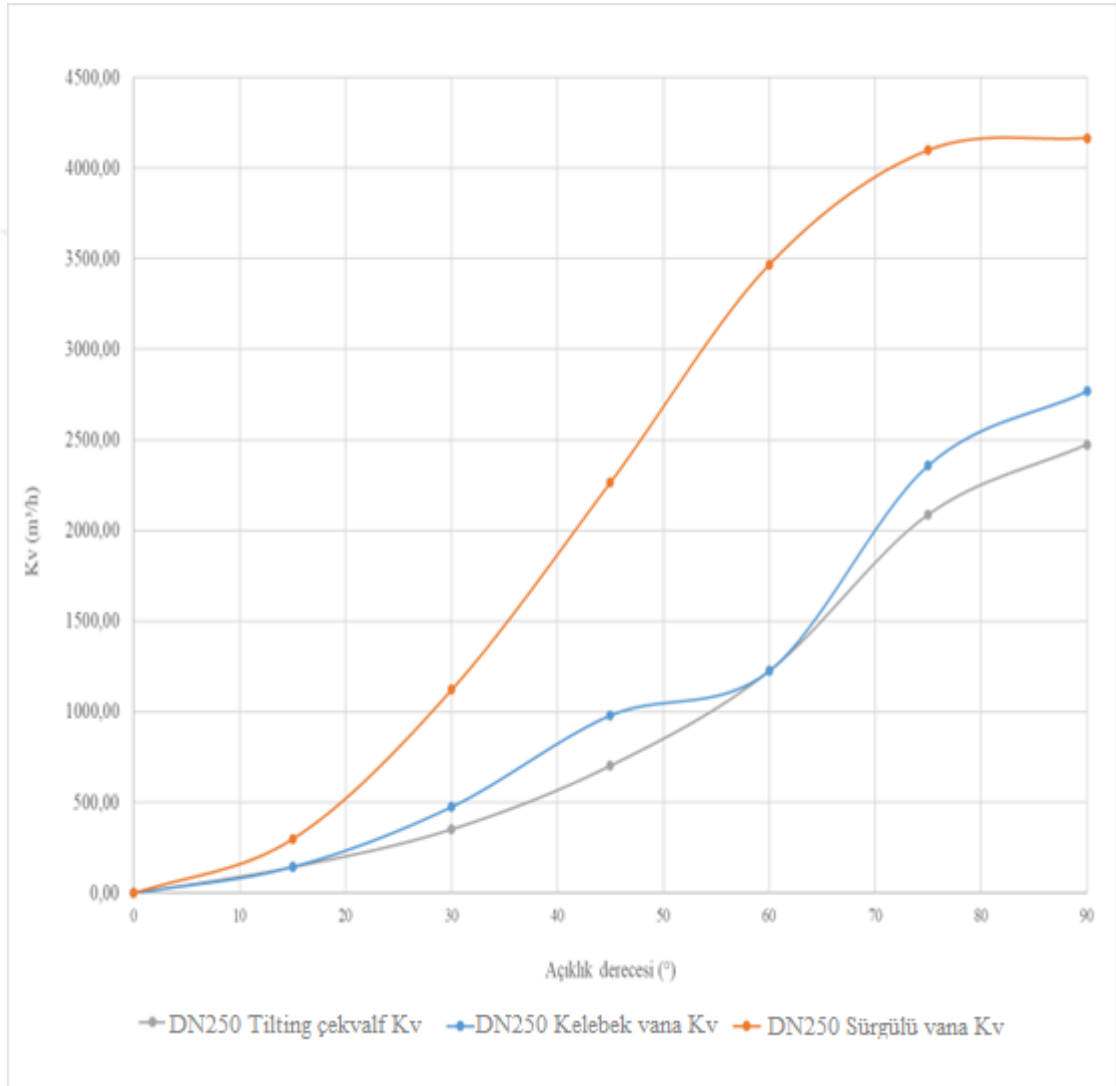
Şekil 62’da gösterilen DN250 Kelebek vana ile DN250 tilting çekvalf vanaların Kv değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi iki vanada da geometrik şekillerinin birbirine benzerlik göstermesi ve sızdırmazlık mekanizmalarının temel benzerliklerinin olması gelmektedir. DN250 Sürgülü vananın Kv değerinin yüksek olmasının nedeni vananın iç sızdırmazlık elemanlarının akış alanının engellemesini en az seviyede olmasından dolayı ΔP_{vana} basıncının diğer vanalara göre düşük olduğu için denklem 3.11’de $Kv - \Delta P_{vana}$ denkleminde ters orantı olduğu için ΔP_{vana} diğer vanalara göre düşük olduğu için Kv en yüksek DN250 Sürgülü vanada bulunmuştur. HAD analiz sonuçları ile deney sonuçlarının birbirine çok yakın çıkmıştır. DSİ standardına göre HAD analiz sonucu ile deney sonucu arasında $\pm\%10$ ’u geçmemek şartı ile doğrulama yapılmıştır. HAD analizi ile deney sonuçları doğrulanmıştır.

DN250 kelebek vana ile DN250 tilting çekvalf vanaların hacimsel debi değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi iki vanada da geometrik şekillerinin birbirine benzerlik göstermesi geometrik benzerlik göstermesidir. DN250 sürgülü vananın Q değerinin yüksek olmasının nedeni vananın iç sızdırmazlık elemanlarının akış alanının engellemesini en az seviyede olmasıdır.

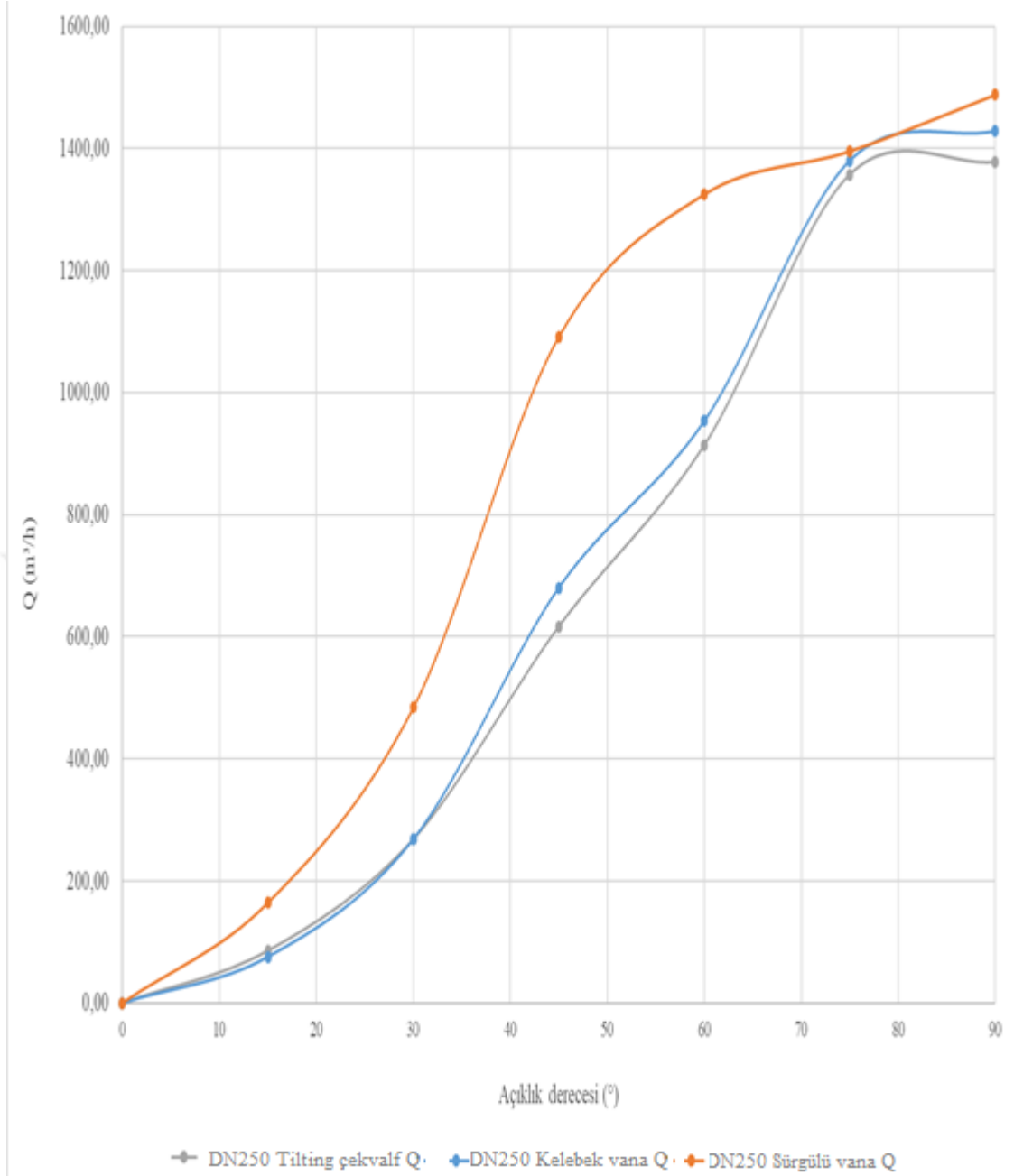
TSE standardına göre vanaların PN10 basınç normuna göre 4 ile 5 (m/s) olarak belirtilmektedir. PN16 basınç normuna göre suyun hızı 4 ile 8 olarak belirtilmektedir. Bu standartlara uygun olarak en yüksek suyun hızını 7 (m/s) geçmeyecek şekilde tasarımlar yapıldı ve test düzeneği boyutlandırıldı. Bu doğrultuda HAD analiz sonuçları ile deney

sonuçlarının birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda HAD analizi ile deney sonuçları doğrulanmıştır.

Vana oluşan basınç kaybı (ΔP_{vana}) TS EN 1267:2012 standardına göre 1 bar basınç farkını $\pm\%0,2$ farkı aşmamak şartı ile deneyler yapılmış olup sonuçlar HAD analiz sonuçları ile tolerans dahilindedir. Bu değerlerde ölçülen ve hesaplanan ortalama akış katsayısı K_v , yerel basınç kaybı katsayısı zeta, hız ve debi değerlerini doğrulamaktadır.

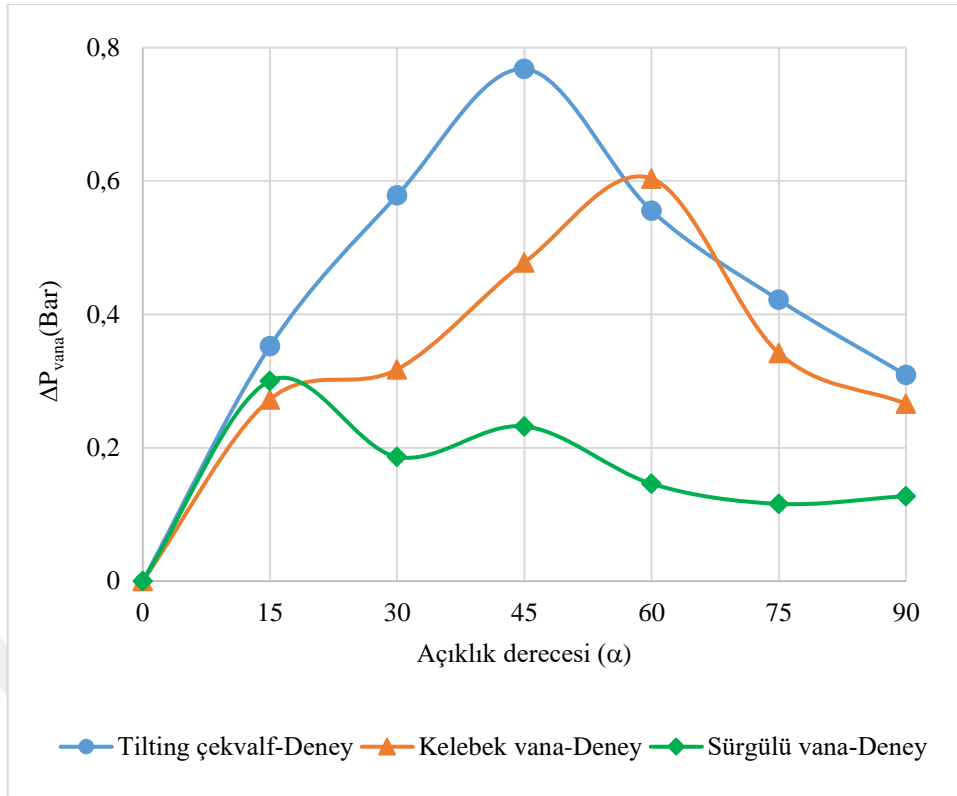


Şekil 49. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel akış katsayısı (K_v) sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında karşılaştırılması



Şekil 50. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel hacimsel debi (\dot{Q}) sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında karşılaştırılması

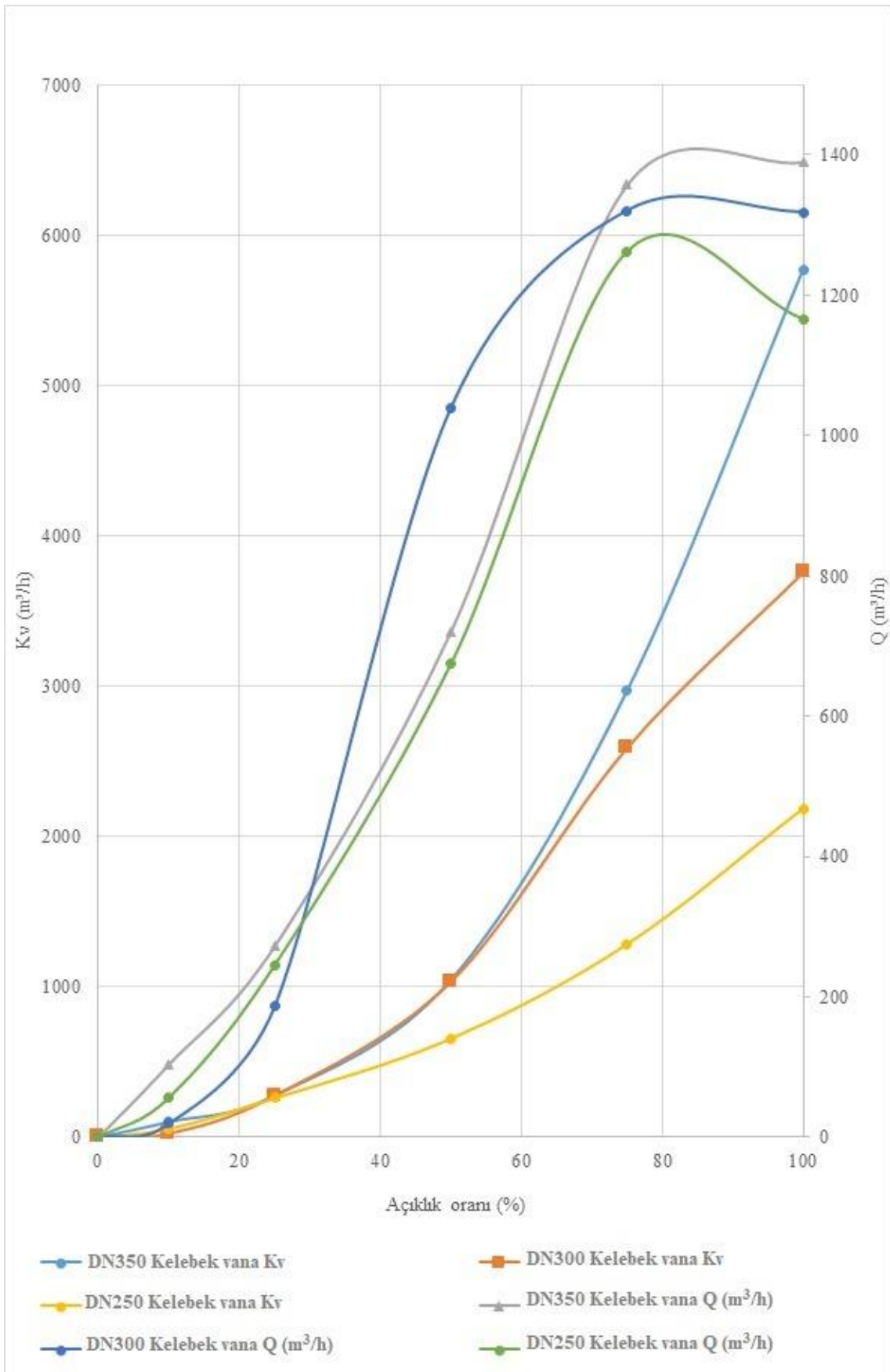
DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel hacimsel debi (\dot{Q}) sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında karşılaştırılması Şekil 63'de yapılmıştır. Açıklık derecesi ile debi quadratik olarak değişmektedir. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel basınç farkı (ΔP) sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında karşılaştırılması Şekil 64'de verilmiştir. Sürgülü vananın K_v 'si en yüksek basınç kaybı ise en düşük olarak belirlenmiştir ve bu sonuç literatürde kaynaklardaki sonuçlarla uyumludur.



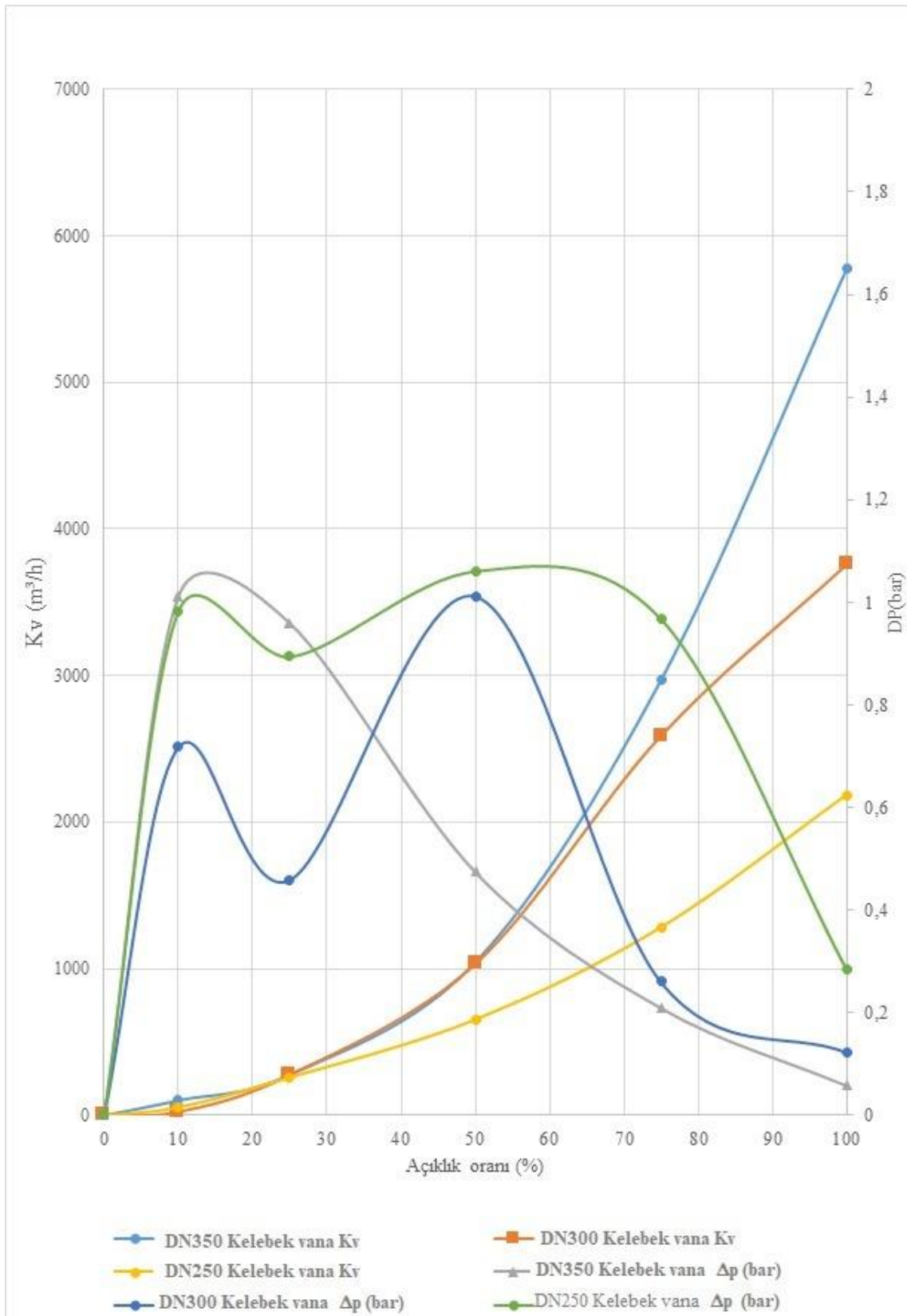
Şekil 64. DN250 tilting çekvalf, kelebek ve sürgülü vanaların deneysel basınç farkı (ΔP) sonuçlarının açıklık derecesi $15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında karşılaştırılması

DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının akış katsayısı (K_v) ve hacimsel debi Q değişiminin karşılaştırması Şekil 65’de verilmiştir. Kelebek vanaların açıklık oranlarının akış katsayısı K_v (m^3/h) ve basınç kaybı ΔP (bar) değişiminin karşılaştırması Şekil 66’da sunulmuştur. Vana Çapı ve açıklık oranı arttıkça akış katsayısı K_v değeri artmaktadır.

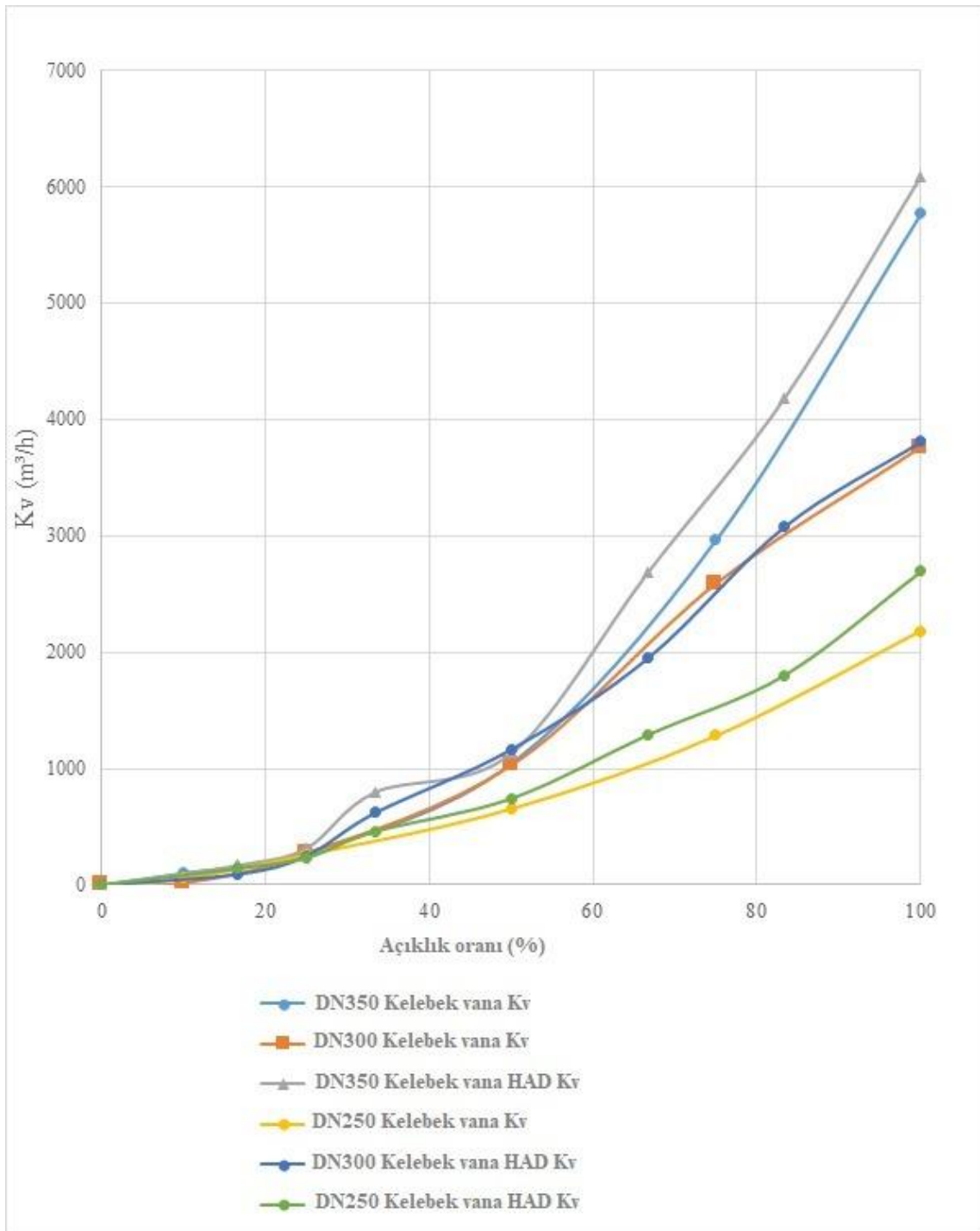
DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının deneysel ve HAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 67’de gösterilmiştir. HAD ve Deney sonuçları birileri uyumlu değişim göstermiştir. Vana çapı büyüdükçe K_v değeri artmaktadır. HAD ve Deney sonuçları arasındaki bağıl fark $\pm\%10$ değerinin düşük olup, kabul edilebilecek seviyededir.



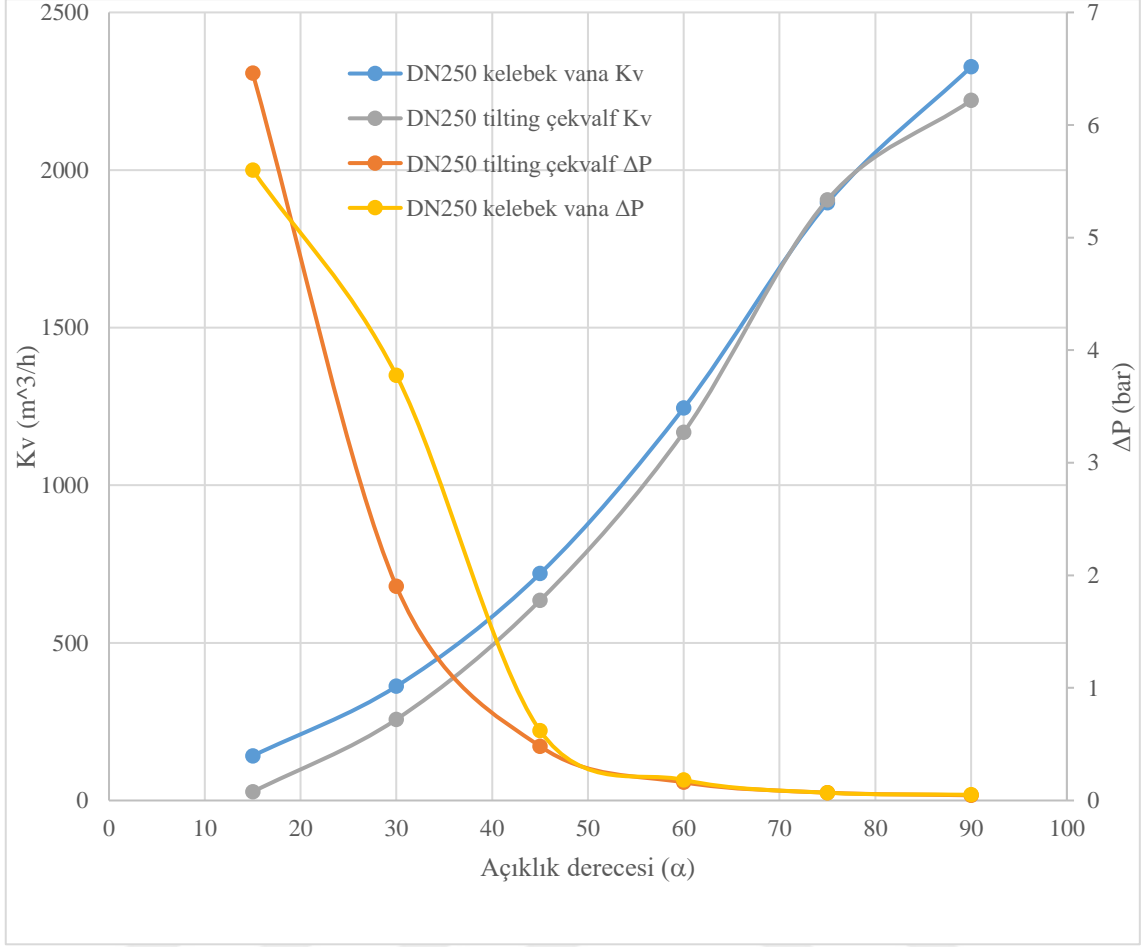
Şekil 65. DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının akış katsayısı (Kv) ve hacimsel debi \dot{Q} değişiminin karşılaştırması



Şekil 66. DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının akış katsayısı Kv (m³/h) ve basınç kaybı ΔP (bar) değişiminin karşılaştırması

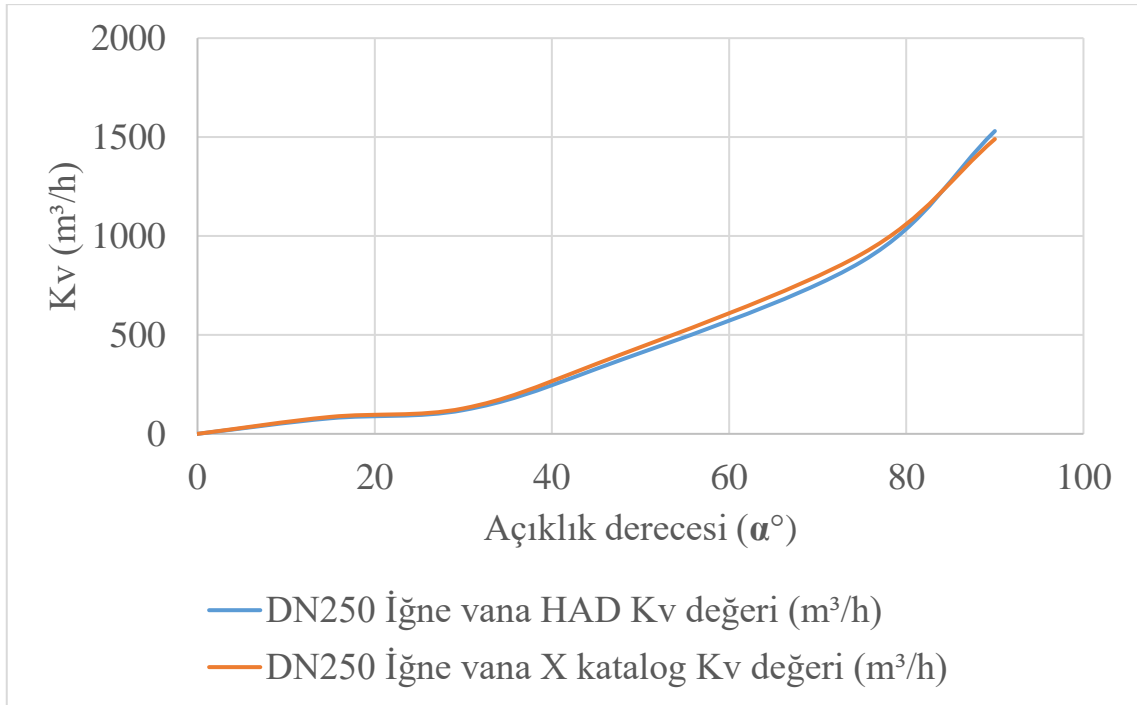


Şekil 67. DN250, DN300 ve DN350 kelebek vanaların açıklık oranlarının deneysel ve HAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 68. DN250 kelebek ve çekvalf tipi vananın sabit hacimsel 500 m³/h farklı açıklık derecelerinde basınç kaybı ΔP_{net} (bar), akış katsayısı Kv'nin farklı açıklık oranlarının deneysel ve HAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması

DN250 kelebek ve çekvalf tipi vananın sabit hacimsel 500 m³/h farklı açıklık derecelerinde basınç kaybı ΔP_{net} (bar), akış katsayısı Kv'nin farklı açıklık oranlarının deneysel ve HAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 68'de gösterilmiştir. Açıklık oranı arttıkça hiperbolik olarak basınç kaybı azalırken quadratik olarak akış katsayısı Kv'nin değeri artmaktadır. Şekil 66 ve Şekil 68 karşılaştırıldığında deneysel durumlarda yüksek debi değerlerinde düşük açıklık derecelerinde deney yapılamadığı için Şekil 66'da basınç dağılımı trendinde rastgele bir değişim olduğu söylenebilir. Şekil 56'de görüldüğü gibi DN250, DN300 ve DN350 Kelebek vanaların açıklık oranlarına göre deneysel ve HAD programı yardımı ile çözümlenmiş sonuçlar karşılaştırılmış olup değerlerin $\pm\%10$ aralığında kaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç ile vanaların HAD programı ile çözümlenmenin doğruluğunun kabul edilebilir aralıkta olduğu bulunmuştur.



Şekil 69. DN250 iğne vanaların açıklık oranlarının firma X'in katalog değerleri ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması

DN250 iğne vanaların açıklık oranlarının firma X'in katalog değerleri ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 69'da sunulmuştur. Tüm açıklık derecelerinde hesaplanan ve literatürde verilen Kv değerlerinin uyum olduğu görülmüştür. HAD ve katalog değerleri kıyaslandığında; X firmasının katalog değerleri ile karşılaştırma yapılan HAD sonucu değerlerin karşılaştırılması sonrasında $\pm\%10$ dahilinde DSİ istediği kritere uygun olduğu tespit edilmiştir.

4.6. Farklı boyutlardaki kelebek vanaların HAD analiz sonuçları

TS EN 1092 Standardına uygun tasarlanan kelebek vanaların HAD analiz sonuçları Çizelge 19'da gösterilmiştir. TS EN 1092 standardına uygun kelebek vanaların deneylerinin yapılması mümkün değildir. Bu durum sonucunda TS EN1267:2012 standardına uygun analizleri yapılarak kelebek vanaların HAD analizleri sonucunda Kv değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 20'de ise TS EN1092 Standardına uygun kelebek vanaların HAD analiz sonuçlarının katalog değerleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Kelebek vanaların HAD analizleri sonuçlarının endüstriyel vana kataloğundaki değerler ile karşılaştırılması yapılmış olup Devlet su işleri teknik şartnamesindeki sapma tolerans aralığı $\pm\%10$ değerleri arasında kaldığı gözlemlenmiş olup mevcut katalog (Firma X) ve HAD analiz sonuçları birbirini destekleyici şekilde doğruladığı görülmüştür.

Çizelge 12. TS EN 1092 Standardına uygun tasarlanan kelebek vanaların HAD analiz sonuçları

Kelebek vana HAD sonuçları						
Vana çapı	Sıcaklık (C°)	Giriş Hızı (m/s)	Çıkış Hızı (m/s)	Q Debi (m³/h)	ΔP (Bar)	Kv değeri
Vana çapı	Sıcaklık (C°)	Giriş Hızı (m/s)	Çıkış Hızı (m/s)	Q DEBİ (m³/h)	DP	Kv değeri
DN40	29,500	4,004	4,004	22,921	0,1377	61,814
DN100	29,500	3,998	3,998	221,517	0,1811	520,923
DN125	29,500	4,011	4,011	238,395	0,1665	584,676
DN150	29,500	4,001	4,001	326,870	0,1993	732,734
DN200	29,500	3,999	3,999	547,148	0,2282	1146,233
DN250	29,500	4,000	4,000	824,320	0,0985	2628,471
DN300	29,500	4,003	4,003	1087,470	0,1047	3363,330
DN350	29,500	4,001	4,001	1487,470	0,1011	4676,655
DN400	29,500	4,006	4,006	1997,643	0,092	6590,972
DN500	29,500	4,000	4,000	3057,561	0,1172	8937,926
DN600	29,500	4,013	4,013	4360,747	0,1061	13397,653
DN700	29,500	4,014	4,014	5882,348	0,1084	17879,756
DN800	29,500	4,001	4,001	7605,095	0,1127	22670,869
DN1000	29,500	4,009	4,009	12257,760	0,1028	38259,566
DN1200	29,500	4,018	4,018	17464,723	0,101	54995,415
DN1400	29,500	3,999	3,999	23441,467	0,1023	73345,325
DN1600	29,500	4,007	4,007	30465,999	0,1032	94907,614
DN1800	29,500	3,996	3,996	38661,378	0,1125	115352,375
DN2000	29,500	4,001	4,001	48933,199	0,1037	152068,657
DN2200	29,500	3,997	3,997	59253,431	0,1046	183346,717

Çizelge 20. TS EN1092 Standardına uygun kelebek vanaların HAD analiz sonuçlarının katalog değerleri ile karşılaştırılması

Kelebek vana katalog değeri ile karşılaştırma sonuçları				
Vana çapı	Vana Katalog Kv değeri	HAD Kv değeri	Sapma değeri (%)	Sapma tolerans aralığı $\leq \pm 10$
DN40	60	61,814	2,935	✓
DN100	483	520,923	7,280	✓
DN125	552	584,676	5,589	✓
DN150	721	732,734	1,601	✓
DN200	1107	1146,233	3,423	✓
DN250	2508	2628,471	4,583	✓
DN300	3442	3363,33	-2,339	✓
DN400	6441	6590,972	2,275	✓
DN500	8801	8937,926	1,532	✓
DN600	13503	13397,653	-0,786	✓
DN700	18102	17879,756	-1,243	✓
DN800	22457	22670,869	0,943	✓
DN1000	39253	38259,566	-2,597	✓
DN1200	54918	54995,415	0,141	✓
DN1400	73598	73345,325	-0,345	✓
DN1600	94508	94907,614	0,421	✓
DN1800	115252	115352,375	0,087	✓
DN2000	153545	152068,657	-0,971	✓
DN2200	185132	183346,717	-0,974	✓

Çizelge 21. TS EN1092 Standardına uygun vanaların deneysel sonuçları

DN250 kelebek vana deney sonuçları								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
10	45,608	0,244	0,067	0,165	0,013	0,211	16,788	86,838
25	198,958	0,340	0,087	0,236	0,017	0,884	16,788	354,532
50	686,306	0,629	0,129	0,475	0,025	3,050	16,788	991,424
75	1248,011	0,933	0,599	0,305	0,028	5,547	16,788	2140,385
100	1423,858	1,117	0,816	0,266	0,034	6,328	16,788	2756,427
DN250 tilting çekvalf deney sonuçları								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
Açıklık (%)	Q DEBİ (m ³ /h)	P Giriş Basıncı (bar)	P Çıkış Basıncı (bar)	ΔP Vana (bar)	ΔP Sistem (bar)	V Hız (m/s)	Sıcaklık (C°)	Kv (m ³ /h)
10	51,760	0,293	0,067	0,213	0,013	0,207	17,745	86,809
25	202,726	0,538	0,088	0,433	0,017	0,884	17,745	266,525
50	613,484	0,916	0,127	0,764	0,025	3,037	17,745	701,351
75	1216,826	0,978	0,572	0,377	0,028	5,515	17,745	1877,514
100	1376,281	1,110	0,762	0,313	0,034	6,328	17,745	2457,145
DN250 sürgülü vana deney sonuçları								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
10	96,400	0,310	0,114	0,183	0,013	0,206	17,700	174,379
25	359,985	0,408	0,251	0,140	0,017	1,600	17,700	832,519
50	1093,884	0,843	0,580	0,235	0,028	4,862	17,700	2255,693
75	1445,564	1,359	1,171	0,161	0,027	6,425	17,700	3755,074
100	1492,067	1,380	1,219	0,127	0,034	6,368	17,700	4179,362
DN300 Kelebek Vana								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
100	1110,851	1,124	1,052	0,107	0,035	4,089	17,200	3435,642
DN300 Sürgülü Vana								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
100	1453,858	1,311	1,301	0,045	0,034	6,328	17,100	6881,555
DN350 Kelebek Vana								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
100	1485,005	1,408	1,341	0,101	0,034	3,994	18,100	4668,906
DN350 Sürgülü Vana								
Açıklık (%)	\dot{Q} (m ³ /h)	P _g (P ₁) (bar)	P _ç (P ₂) (bar)	ΔP_{vana} (bar)	ΔP_{boru} (bar)	V (m/s)	T (C°)	Kv (m ³ /h)
100	1545,564	1,359	1,353	0,039	0,034	6,425	18,000	7781,350

Çizelge 13’de Standartlara uygun vanaların deneyleri yapıldı. Çizelge 14’de HAD analizleri ile karşılaştırılmaları yapıldı ve TS EN 1267:2012 standardına uygunluğu belirlendi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan tez çalışmasında, su hattı içerisinde vanaların bağlanması ile farklı endüstriyel kontrol vanalarının (değişik çaplardaki kelebek, sürgülü, iğneli vanalar ve çekvalf) akış özelliklerinin incelenmesi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile incelendi. Araştırmada sanayide üretilen anılan vana modelleri için k-epsilen türbülans modeli kullanan Solidworks Flow Simulation programı ile sayısal çalışma ve TS EN1267 standardına uygun testler yapıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

SolidWorks Flow Simulation yazılımı ile su akışkanı için oluşturulan kontrol hacminde düz boru ve vanaların yerleştirildiği durumlar için öncelikle yakınsama kriteri olarak 10^{-6} değerinde ağdan bağımsızlık çalışmaları yapıldı. Sınır şartı olarak akışın kaymama, yüzey pürüzlüğü, giriş hızı ve çıkış basıncı uygulaması ile HAD analizleri yapıldı.

TS EN1267 standardına uygun modelleme tamamlanıp giriş koşulu ve çıkış koşullarının tanımlaması yapıldı. Bu aşamadan sonra vana modeli üzerinde kaba ağ çalışması yapıldı. Bu çalışmanın sonrasında kritik yüzeyler belirlenip ince ağ oluşturma işlemi yapıldı. Vanaların gövde, klape, klape kapağı, sızdırmazlık contası ve bağlantı millerinin bulunduğu yerlere de ince ağ atma işlemi yapıldı. Yapılan ağ operasyonundan sonra ağdan bağımsızlık çalışması yapıldı. DN250 kelebek vana, DN250 tilting çekvalf, DN250 sürgülü vana ve DN250 iğne vana üzerinde ağdan bağımsızlık çalışmaları yapılarak vanalar tam açık konumda iken optimum ağ yapıları belirlendi. Belirlemeler yapıldıktan sonra vanalarda belirli orandaki açıklıklar modellenerek HAD analiz çalışması yapıldı.

DN250 kelebek vana kavitasyon durumunun incelenmesi ve uygulama alanları şartları ile karşılaştırılması yapılması için modellemeler yapıp kritik açıklık oranları belirlenip vanada kavitasyon oluştuğu giriş ve çıkış şartları ile vananın açıklık oranının ayarlanması sonucu vanadaki doyma basıncı altında kalan bölgeler tespit edilip bu şartların oluşması uygulama alanlarındaki oluşma ihtimallerinin belirlenip DN250 kelebek vananın endüstriyel uygulamalarda uygulanabilirliği araştırılmış olup suyun

hatlarda maksimum hızının 5m/s hızın üzerine TS EN standartında belirtilen maksimum hızın çok üstünde bir hız olan 19,7m/s hızın endüstriyel uygulamalarda uygulanamayacağından DN250 kelebek vana için kavitasyon riskinin TS EN 1267 standartlarına uygun olan endüstriyel hatlarda çalışması durumunda kavitasyona rastlanmayacağı tespit edilmiştir. Ancak sahadaki uygulamalarda kelebek vanalar yüksek debi ve düşük açıklık derecelerinde kontrol dışı çalışması durumunda kavitasyon oluşmalarında rastlanmaktadır (Şekil 16).

TS EN 1267 standardına uygun vana test düzeneğinin DN250 kelebek vananın hız profili çıkartılmıştır. TS EN 1267: 2012:04 standardında tarif edilen test düzeneğinin Solidworks Flow Simülasyon programında modelleme işlemi yapılmıştır. Bu modelleme sonucunda Şekil 21 ve 22’de gösterilen test vanasının giriş kısmı, çıkış kısmı ve test vanasının üzerinde belirli aralıklarda akışkanın hız profillerinin çizdirilmiştir. Bu sonuçlar incelenmesi sonucunda test düzeneğinde test vanasına kadar olan bölümde akışkanın hızının tam gelişmiş akış olduğu belirlenmiştir. Test vanasının çıkış kısmında hız profillerin incelemesi sonucunda akışkanın test vanasının çıkışından sonra yaklaşık 12D’den sonra tekrar tam gelişmiş akış olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ile yapılmış olan test düzeneği çalışmasının uygunluğu teyit edilmiştir. Şekil 21 ve 22’de görüldüğü gibi vana test düzeneğinde akışkanın tam gelişmiş hız profilinde test vanasına giriş yaptığı ve test vanasından 12D uzaklıkta ise tekrar hız profilinin tam gelişmiş olduğu tespit edilmiştir. Test vanası üzerinde girişinden 2D önce ve çıkışından 12D uzaklık arasında ise Re sayısının türbülanslı akış olduğu doğrulanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda Test ünitesinin TS EN 1267:2012:04 standardına uygun olarak yapıldığı tespit edilmiştir.

DN250 kelebek vana ve DN250 tilting çekvalf vanaların zeta katsayıları HAD analiz programında hesaplandı.

HAD analiz çalışmalarının sonuçlarının kontrol edileceği deney düzeneği tasarımı yapıldı. HAD analizleri yapılarak boru basınç kayıpları hesaplandı. Boru basınç kaybı TS EN 1267 Standardında belirtilen düzeneğe uygun olarak tasarlanan Şekil 14’de gösterilen test düzeneği deney düzeneğinde test vanasının yerine yüzey pürüzlülüğü yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı yardımı ile ölçülen boru parçası test vanasının yerine bağlanarak pompanın çalışması ile farklı debi aralıklarındaki boru basınç kayıpları deneysel yöntem ile hesaplandı. HAD analiz programının sonuçları ile eşleştirilip Kv, zeta, vana basınç kaybı gibi vananın akış kriterlerine etkisini ortadan kaldırıldı. Deney düzeneğine hesaplamalar sonrasında deney düzeneğine gerekli olan debimetre, basınç transmitterleri, PT100 ölçüm cihazı ile sıcaklık ve pompa değerleri belirlenmiştir. Bunun üzerine deney

düzeninin belirsizlik analizleri yapılarak sistem üzerine gelen yüklemeler dikkate alınarak boru et kalınlıkları hesaplanmıştır. Deney düzenindeki testler yapılmış olup HAD programı ile karşılaştırmalar sonucunda farkın $\pm\%10$ 'un altında olduğu tespit edilmiştir.

DN250 kelebek vana, DN250 sürgülü vana ve DN250 tilting çekvalf'in 90° , 75° , 60° , 45° , 30° ve 15° açıklıklardaki HAD analiz sonuçları ile deney sonucu ile karşılaştırma yapıldı ve sonuçları $\pm\%10$ aralığında kaldığı belirlendi. Deney sonuçlarının belirsizlik analizi yapılarak K_v , \dot{Q} , V ve ΔP değerlerinin belirsizlik değerleri bulundu. Vanaların deneysel K_v sonuçlarının karşılaştırılması yapıldı. DN250 Kelebek vana ile DN250 tilting çekvalf vanaların K_v değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi iki vanada da geometrik şekillerinin birbirine benzerlik göstermesi ve sızdırmazlık mekanizmalarının temel benzerliklerinin olması gelmektedir. DN250 sürgülü vananın K_v değerinin yüksek olmasının nedeni vananın iç sızdırmazlık elemanlarının akış alanının engellemesini en az seviyede olmasından dolayı ΔP_{vana} basıncının diğer vanalara göre düşük olduğu için denklem 3.11'de K_v - ΔP_{vana} denkleminde ters orantı olduğu için ΔP_{vana} diğer vanalara göre düşük olduğu için akış katsayısı K_v en yüksek DN250 sürgülü vanada bulunmuştur. HAD analiz sonuçları ile test deneyi sonuçlarının birbirine kabul edilebilir mertebede yakın çıkmıştır. DSİ şartnamesine göre HAD analiz sonucu ile test sonucu arasında $\pm\%10$ 'u geçmemek şartı ile doğrulama yapılmıştır. HAD analizi ile deney sonuçları doğrulanmıştır. Vanaların deneysel hacimsel debi (\dot{Q}) sonuçlarının karşılaştırılması yapıldı. DN250 Kelebek vana ile DN250 tilting çekvalf vanaların \dot{Q} debi değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi iki vanada da geometrik şekillerinin birbirine geometrik benzerlik göstermesidir. DN250 Sürgülü vananın \dot{Q} değerinin yüksek olmasının nedeni vananın iç sızdırmazlık elemanlarının akış alanının engellemesini en az seviyede olmasıdır. Vanaların deneysel hız (V) sonuçlarının karşılaştırılması yapıldı. TSE standardına göre vanaların PN10 basınç normuna göre 4 ile 5 m/s arasında olması belirtilmektedir. PN16 basınç normuna göre suyun hızı 4 ile 8 m/s olarak belirtilmektedir. Bu standartlara uygun olarak en yüksek suyun hızını 7 m/s geçmeyecek şekilde tasarımlar ve test düzeni hesaplandı. Bu doğrultuda HAD analiz sonuçları ile test sonuçlarının birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında HAD analizi ile test deney sonuçları doğrulanmıştır. TS EN 1267 standardına belirtilen 1 bar basınç farkı altında deney yapma şartları $\pm\%0,2$ farkı sağlanmış olup sonuçlar HAD analiz sonuçları ile

$\pm\%10$ 'dan az olduğu için tolerans dahilindedir. Bu değerlerde bulunan K_v , zeta, hız ve debi değerleri deneysel ve HAD sonuçları birbirini doğrulamaktadır.

Farklı açıklık oranlarında kelebek vananın (DN250, DN300 ve DN350 HAD analizleri ve TS-EN1267 standartları uygun test düzeneğinde performans deneyleri yapıldı. İncelenen vanalar; akış katsayısı (K_v) değerleri ve basınç kayıpları karşılaştırmalı olarak yapıldı. Ayrıca, diğer kelebek vana çaplarının DN40-DN2200 arası ise sadece tam açık konumda K_v değeri sayısal olarak belirlendi. Elde edilen sonuçlar ile vana geometrilerinde iyileştirme çalışmaları yapıldı. Vana çapı ve açıklık oranı azaldıkça basınç kaybı arttığı için akış katsayılarının azaldığı bulundu. HAD ve deney sonuçlarının karşılaştırması sonucunda aradaki farkları $\pm\%1-10$ arasında vana tipine ve açıklık oranına göre değiştiği tespit edildi. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü su kontrol elemanları genel teknik şartnamesinde belirtilen akış performansı kriterlerini sağlamaktadır.

Kontrol vanası olarak iğne tipi vananın en uygun vana olduğu tespit edilmiştir. Kelebek vana ve sürgülü vana ise 15° derece açıklıktan daha düşük açıklıklarda basıncın doyma basıncı altına düştüğü yerler olabileceği HAD programında görülmüştür. Bu sebeplerden ötürü sürgülü vana ve kelebek vanaları açma kapama vanası olarak kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Aksi durumlarda vanalarda kavitasyon oluşma riski vardır. Kavitasyon bölgesinden uzaklaşmak için sürgülü ve kelebek vanalar açma kapama vanası olarak kullanılması gerekmektedir. Tilting çekvalfin ise hat üzerinde suyun ters yönde dönmesini engellemek fonksiyonunu yerine getirdiği ve açma kapama vanası olarak kullanılabilmesi için hidrolik damperli sistem revizesi ile tilting çekvalfin hem geri dönüş akışını kesmesi hem de akışın tamamen açık veya kapalı konuma gelmesi fonksiyonunu yerine getirebilir. İğne vana ise basınç farkı 1 barın üzerinde olsa bile kavitasyona uğramadan 15° derece açıklıktan daha düşük açıklıklarda dahi kavitasyona ve gürültüye maruz kalmadan çalışabilme kabiliyetli olduğu bulunmuştur. Bu sebeple kontrol vanası olarak en uygun vana iğne vana olarak tespit edilmiştir.

Vanaların deney sonuçlarının doğruluğunu belirsizlik analizi yapılarak değerlendirildi ve Çizelge 8'de değerler verildi. Çizelge 15'da belirsizlik analizi yapılarak vanaların test sonuçlarının doğruluğunda uygunluğu tespit edildi. Çizelge 16 (a), Çizelge 17 (a) ve Çizelge 18 (a) ortalama hacimsel debi \dot{Q} (m^3/h), (b) ortalama hız V (m/s) ve (c) ortalama akış katsayısı K_v (m^3/h) için çalkantı değerleri (%) olarak verildi. Deney sonuçları bütün açıklık oranları için değerlendirildiğinde TS EN 1267'de istenen

%4 değerinin altında olduğu hesaplandı ve deney d¼zeneęinin DSİ Şartnamesine uygunluğu teyit edildi.

5.2 ¼neriler

Hidrodinamik kuvvetlerin vana g¼vdesine yaptığı etkiler araŐtırılabilir.

İğneli vanaların basınç d¼Ő¼r¼c¼ olarak kullanılması durumu araŐtırılabilir.

Kelebek vanalarda klape ve conta malzemelerinin dayanımının arttırılması ¼zerine araştırmalar yapılabilir.

Su vanaları için yapılan çalıŐmalar buhar hatlarında kullanılan vanalar ve sıkıştırılabilir gaz akışları için analizler geniŐletilebilir.

ek valflerin farklı modelleri ¼rneęin nozul, alpara için araştırmalar yapılarak basınç kaybı ve kaviteasyona maruz kalma riskleri araŐtırılabilir.

Tez kapsamında araŐtırılmayan diyaframlı vana ve bıçaklı s¼rg¼l¼ vanaların akış ¼zellikleri incelenerek karŐılaŐtırılabilir.

Vanaların akış kontrol sistemleri ile dinamik modellemesi ¼zerine araştırmalar yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut B. 2020, Numerical detection of cavitation in plunger valves, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mak. Muh. ABD.
- Anonim, 2021a, Faf vana, www.fafvana.com.tr, ziyaret tarihi:07.06.2021.
- Anonim, 2021b, Esvana, www.esvana.com.tr, ziyaret tarihi:15.06.2021.
- Anonim, 2021c, Esvana, www.esvana.com.tr, ziyaret tarihi:15.06.2021.
- Anonim, 2021d, Vanalar, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 18,2012.
- Anonim, 2021a, Doğuş Vana ve Döküm San. Tic. Ltd. Şti, Su Şebekeleri İçin Profesyonel Çözümler, Sunum Notları, 1-378, İzmir.
- Anonim, 2021b, Doğuş Vana ve Döküm San. Tic. Ltd. Şti, DN200 Sürgülü Vana ve Çift Eksantrik Kelebek Vana Modelleri, İzmir.
- Anonim, 2021g, Vanalar, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara,2012.
- Anonim, 2021h, Arkoç vana, www.arkocvana.com, ziyaret tarihi:07.06.2021.
- Anonim, 2021k, Esvana, www.esvana.com.tr, ziyaret tarihi:07.06.2021.
- Anonim, 2021l, Esvana, www.esvana.com.tr, ziyaret tarihi:08.06.2021.
- Anonim, 2021m, Esvana, www.esvana.com.tr, ziyaret tarihi:08.06.2021.
- Anonim, 2021n, Vanalar, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 42,2012.
- Anonim, 2021o, Enelsan, www.enelsan.com , ziyaret tarihi:30.06.2022.
- Anonim, 2021ö, Enelsan, www.enelsan.com , ziyaret tarihi:30.06.2022.
- Anonim, 2021p, Enelsan, www.esvana.com , ziyaret tarihi:30.06.2022.
- Anonim, 2021r, TSE EN1267 Vanalar- Akış direnci deneyi- Deney akışkanı olarak su kullanılan Standart.
- Anonim, 2021y, Faf vana, www.fafvana.com.tr, ziyaret tarihi:07.06.2021.
- Anonim, 2021z, Esvana, teknik dökümantasyon, ziyaret tarihi:15.06.2021.
- Aydın, H.A. 2017, İçme suyu tesislerinde kullanılan sürgülü ve kelebek vanaların akış karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi, Karadeniz teknik üniversitesi, FBE, Mak. Muh. ABD
- Aydeniz E. 2020, Experimental investigation of the pressure drop performance and the cavitation of a plunger valve, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü , FBE, Mak. Muh
- Enelsan a.2022, Enelsan, <https://www.enelsan.com>, ziyaret tarihi:08.11.2022.
- Duyar a.2022, Duyar, www.duyarakademi.com.tr, ziyaret tarihi:07.11.2022.
- Gubanov, 2007, Design of CFD code using high level programming paradigms: Free surface flows with arbitrarily moving rigid bodies, School of Graduate Studies Memorial University of Newfoundland St. John's, Newfoundland and Labrador KANADA.
- Gök O., 2014, Kelebek vanaların optimizasyonu ve yeni bir kelebek vana tasarımı, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mak. Muh. ABD, Yüksek Lisans tezi.
- J. Eng, 2022, Numerical and Experimental Study of the Time-Averaged and Transient Flow Downstream of a Butterfly Valve.
- Karabük,2022, Karabük ili sulama daire başkanlığı atık vana alanı, ziyaret tarihi:17.12.2022.
- Kemerli, M. 2015, İki Çıkışlı Bir Santrifüj Pompanın Tasarımı ve CFD İle Optimizasyonu, Sakarya Üniversitesi, FBE, Makine Müh. ABD, Yüksek Lisans tezi
- Sandalcı M. 2009, Experimental Analysis of the Performance Coefficients of the Butterfly Valves, Marmara Üniversitesi, FBE, Mak. Muh. ABD, Yüksek Lisans tezi

- Gürler S., 2003, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği dergisi sayı:3,1-2, mühendislerihttps://www.ttmd.org.tr/PdfDosyaları/Dergi-Eki-26-1-1.pdf, ziyaret tarihi:02.07.2021.
- Song, X. ve Park, Y. C., 2007, Numerical Analysis of Butterfly Valve - Prediction of Flow Coefficient and Hydrodynamic Torque Coefficient, In Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, Kasım 2007, San Francisco, 759–763.
- Yüksel B. 2008, Sürgülü vana kayıp katsayısının sonlu hacimler yöntemiyle ve deneysel olarak belirlenmesi, Ege Üniversitesi, FBE, Makine Müh. ABD, Yüksek Lisans tezi
- Tunç G. 2014, Bir HAD programı ile vanalardaki akışın incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, FBE, Makine Müh. ABD, Yüksek Lisans tezi.
- Tüzüner B. 2014, Büyük çaplı kelebek vanalarda disk üzerindeki gerilme dağılımının sayısal olarak belirlenmesi ve disk geometrisi tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, Mak Müh. ABD, Yüksek Lisans tezi.
- Yukang L. 2022, Numerical simulation and experimental validation of flow characteristics for a butterfly check valve in small modular reactor.

