

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK ÖLÇÜM HASSASİYETİNE SAHİP
ULTRASONİK ISI SAYACI TASARIMI, SAYISAL VE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Fuad SAMADZADE**

**Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2022
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK ÖLÇÜM HASSASİYETİNE SAHİP
ULTRASONİK ISI SAYACI TASARIMI, SAYISAL VE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Fuad SAMADZADE**

**Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN**

**Şubat 2022
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Fuad SAMADZADE



“Yüksek Ölçüm Hassasiyetine Sahip Ultrasonik Isı Sayacı Tasarımı, Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Fuad SAMADZADE

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

TEŞEKKÜR

Çalışma süresinde her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı yapmama ilham olan, çalışmamda bana destek veren, tüm bilgi ve birikimini benimle paylaşan çalıştığım Firma olan FNF Teknoloji SAN.TİC.A.Ş. Genel Müdürü M. Fatih ÖZTÜRK'e ve tüm firma ekibine teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca benim yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, sadece bu çalışma sürecinde değil tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren ve moral veren Anneme Babama ve kız kardeşime sonsuz şükranlarımı sunar ve teşekkür ederim.

YÜKSEK ÖLÇÜM HASSASİYETİNE SAHİP ULTRASONİK ISI SAYACI TASARIMI, SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK

Fuad SAMADZADE

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2022

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf TEKİN

ÖZET

Geçiş zaman tekniği ile çalışan ultrasonik akış ölçerler doğalgazdan petrol ve suya kadar geniş kullanım alanına sahip ölçüm cihazlarıdır. Basit mekanik yapıları, düşük basınç kayıpları, kolay kurulum, düşük maliyet, içerisinde hareketli mekanik aksam bulundurmamaları, yaşlanma ve yıpranma etkilerinin az olması, yüksek doğruluk ultrasonik su sayaçların avantajları arasında yer almaktadır. Gövdesinde yer alan yansıtıcı aynaların ve kurulum etkilerinin oluşturduğu türbülansa karşı duyarlı olmaları ise bu cihazların dezavantajlarıdır. Bu çalışmada, gerek gövde içerisindeki yansıtıcı aynalar ve gövdenin yapısından kaynaklanan gerek tesisat bağlantılarından kaynaklanan türbülans vb. hataya sebep olan oluşumlar incelenerek, bu etkilerin minimize edildiği yeni bir ultrasonik ısı sayacı tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan yeni sayaç, metal dış gövde ile aynaların ve akış düzenleyici unsurların yer aldığı plastik iç gövdeden oluşmaktadır. FNF Teknoloji SAN. TİC. A. Ş. bünyesinde tasarladığımız Ultrasonik ısı sayacı gövdesinin Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal modelleme ile akış analizleri yapılmıştır. ANSYS Fluent kullanılarak akış profili, hız dağılımı, akım çizgileri, hız vektörleri, akıştaki girdaplar ve türbülans şiddeti gibi veriler elde edilip incelenmiş ve tasarıma nihai şekli verilmiştir. Bu tasarımda yansıtıcı pimler kullanılmamış ve iç aksamının geometrisi akışı en az etkileyecek şekilde tasarlanmıştır. Yeni tasarımın en önemli farkı giriş kısmının akış düzenleyici geometriye sahip olması ve akış alanı tüpünün 8 mm çapından başlayıp daralarak 6 mm azalmasıdır. Plastik iç gövdenin giriş kısmı, akışı en az seviyede etkileyecek ve tesisat bağlantı elamanlarından kaynaklı akış bozulmalarının düzeltecek şekilde tasarlanmıştır. Yeni tasarımdaki bu iyileştirme, eski ve yeni sayaçların analiz ve test verileri incelendiğinde görülmektedir. Tasarlanan ısı sayacı 0,06 m³/h gibi düşük debilerde bile yüksek hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Tasarımı yapıp üretilen bu sayacın yurtiçi ve yurtdışı pazarlarda satışı gerçekleştirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik ısı sayacı, Ultrasonik, ısı pay ölçer, Ultrasonik akış ölçer

ULTRASONIC HEAT METER DESIGN WITH HIGH MEASUREMENT PRECISION, NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Fuad SAMADZADE

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis February 2022

Thesis Supervisor: Dr. Instructor Member Yusuf TEKİN

ABSTRACT

Ultrasonic flow meters working with the transition time technique are measurement devices with a wide range of uses from natural gas to oil and water. The advantages of ultrasonic flow meters are simple mechanical structures, low pressure losses, easy installation, low cost, less wear and tear effects, high accuracy in water measurement applications. The disadvantage is that they are sensitive to turbulence caused by reflective mirrors in their body, installation effects, and material roughness. In this study, the factors causing turbulence in the meter were analyzed and a new ultrasonic heat meter (UHM) design with lower turbulence was made. The newly designed meter consists of a metal housing and a plastic inner body with mirrors and flow regulator features. Flow analyzes of the UHM, which designed in FNF Teknology SAN. TİC. A.Ş., were carried out using computational fluid dynamics (CFD). The analysis were made in Ansys Fluent, the data such as flow profile, velocity distribution, streamlines, velocity vectors, eddies in the flow, and turbulence intensity were obtained and analyzed, and the design was given its final shape. In this design, reflective pins are not used, and its internal geometry is designed to affect the flow the least. The most important differences are that the inlet part of the new design has flow-regulating geometry, and the flow area tube starts from 8 mm in diameter and narrows to 6 mm. The inlet part of the plastic inner body is designed to affect the flow at the minimum level and to correct the flow disturbances caused by the plumbing fittings. This improvement in the new design can be seen when the old and new meters analyzes, and test data are examined. The designed heat meter can measure with high precision even at low flow rates as low as 0.06 m³/h. This meter, which is designed and produced, is sold in domestic and international markets.

Keywords: Ultrasonic heat meter, Ultrasonic, Calorimeter, Ultrasonic flow meter

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK ÖLÇÜM HASSASİYETİNE SAHİP ULTRASONİK ISI SAYACI TASARIMI, SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI.....	iii
KABUL ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

ULTRASONİK ISI SAYACININ ESASLARI VE TASARIMI

1.1. Enerji Hesaplama.....	6
1.2. Geçiş Zaman Tekniği ile Ultrasonik Akış Ölçüm Prensibi	8
1.3. Ölçüm Hassasiyetini Etkileyen Faktörler	10
1.3.1. Su Partiküllerinin Etkileri.....	11

2. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

3. BÖLÜM

YAPILAN TASARIMLAR.

3.2. Tasarım 1	24
3.3. Tasarım 2	26
3.4. Tasarım 3	27
3.5. Tasarım 4	29

4. BÖLÜM

SAYISAL MODELLEME

5. BÖLÜM

SONUÇLARIN İNCELENMESİ

5.1. Hız dağılımı.....	36
5.2. Hız profili	40
5.3. Girdap ve akış dönmeleri	41
5.4. Akım çizgileri.....	46
5.5. Türbülans yoğunluğu (turbulence intensity)	48
5.6. Tasarım 4 için düşük (0,04 m³/h) debi analizi	50

6. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

6.1. Sonuç ve İrdeleme	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR VE SİMGELER

UIS	Ultrasonik ısı sayacı
UAS	Ultrasonik akış sensörü
PF	Profil faktörü
AŞ	Akış şartlandırıcı
TY	Türbülans yoğunluğu
TKE	Türbülans kinetik enerjisi
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
Q	Tüketilen enerji miktarı
V	Sayaçtan geçen akışkanın hacmi
k	Akışkanın ısı katsayısı
ΔT	Ölçülen alanın giriş ve dönüş sıcaklık farkı
h_g	Giriş özgül entalpi
$h_ç$	Çıkış özgül entalpi
T_g	Giriş sıcaklığı
$T_ç$	Çıkış sıcaklığı
v	Özgül hacim
P	Basınç
π	İndirgenmiş basınç
R	özgül gaz sabiti
γ_π	Boyutsuzlaştırma
τ	İndirgenmiş sıcaklık
$P_s(T)$	doyma basıncı
$\bar{c}$	Ses hızı
$\bar{u}$	Akışkanın ortalama hızıdır.
Δt	zaman farkı
L	Ses dalgası yol uzunluğu
V	Sayaçtan geçen akışkanın hacimsel debisi
A	Sayaç gövdesinin kesit alanı.
I	Türbülans yoğunluğu
u'	Türbülans hız dalgalanmalarının (çalkantı) karekök ortalaması
U	Ortalama hız

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.	Formül 5 ve 6 için katsayılar üsler	8
Tablo 2.	Yapılan tasarımların karşılaştırılması.....	30
Tablo 3.	Ağ detayları	32
Tablo 4.	Türbülans yoğunluğu sonuçları.....	49
Tablo 5.	Tasarım4 - 0,04 m ³ /h için Türbülans yoğunluğu.....	50
Tablo 6.	Tasarım 1 kalibrasyon öncesi test sonuçları.....	54
Tablo 7.	Tasarım 4 kalibrasyon öncesi test sonuçları.....	55



ŞEKİLLER LİSTESİ

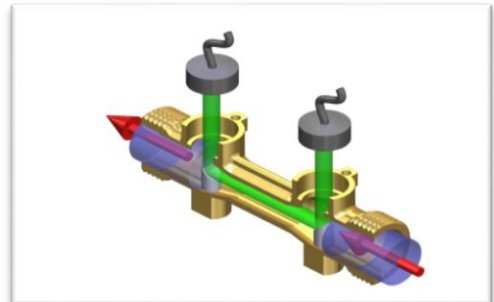
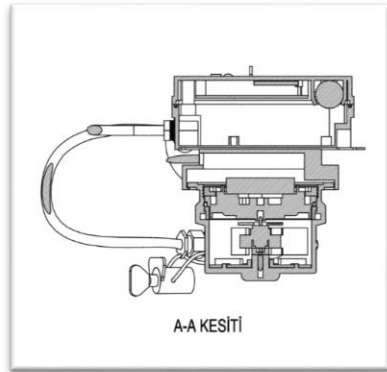
Şekil 1. Ultrasonik ve Mekanik ısı sayaçları	1
Şekil 2. Akış sensörleri yerleşim tipleri	5
Şekil 3. PT 1000 sıcaklık sensörü	6
Şekil 4. Geçiş zaman tekniği ile ultrasonik akış ölçümü şeması	10
Şekil 5. Su içerisinde ses dalgasının yayılma hızının sıcaklığa bağlı değişimi.	10
Şekil 6. Akış şartlandırıcı örnekleri	12
Şekil 7. Türbülanslı akışta ses dalgasının yayılımı	13
Şekil 8a. Ses dalgası açısı ve zaman gecikmesi grafiği	15
Şekil 8b. Farklı hız profilleri ve hata grafiği	15
Şekil 9. FNF teknoloji dn 15 UIS gövdesi	25
Şekil 10. Tasarım 1 DN 15 UIS gövdesi	25
Şekil 11. Tasarım 1 teknik resmi	27
Şekil 12. Tasarım 2 için Akış şartlandırıcı	27
Şekil 13. Tasarım 2 üç boyutlu modeli ve teknik resmi	27
Şekil 14. Tasarım 3 UIS görüntüleri	28
Şekil 15. Tasarım 3 Teknik Resmi	28
Şekil 16. Tasarım 4 UIS resimleri	29
Şekil 17. Tasarım 4 teknik resmi	30
Şekil 18. Ansys Mesh geometrisi	32
Şekil 19. Tüm tasarımların ağ şekilleri	33
Şekil 20. YZ ekseninde düzlemler	36
Şekil 21. YZ ekseninde düzlemlerde hız dağılımı. Düzlem 1'den 6'ya soldan sağa	37
Şekil 22. XY düzlemi hız dağılımları	39
Şekil 23. Tasarımların hız profili.	41
Şekil 24. Akış dönme tipleri	43
Şekil 25. YZ düzlemindeki hız vektörleri	45
Şekil 26. Akım çizgileri	48
Şekil 27. Türbülans yoğunluğu grafiği	50

Şekil 28. Tasarım 4 için xy düzleminde hız dağılımı	51
Şekil 29. Tasarım 4 için xy düzleminde akım çizgileri	51
Şekil 30. Tasarım 4 için yz düzleminde hız dağılımı	52
Şekil 31. Tasarım 4 için yz düzleminde hız vektörleri	53
Şekil 32. Tasarım 4 Türbülans yoğunluğu 1500l/h ile 40 l/h grafiği	53
Şekil 33 . Tasarım 1 ve Tasarım 4 için kalibrasyon öncesi test sonuç grafikleri	55
Şekil 34. Tasarım 1 ve Tasarım 4 için kalibrasyon sonrası test sonuç grafikleri	56
Şekil 35. Kamstrup Multical 303 marka ısı sayacı hata grafiği	58



GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ve küresel ekonominin hızla gelişmesiyle birlikte çevre ve enerji sorunları giderek daha ciddi bir sorun haline gelmektedir. Uluslararası kurumlar ve devletler enerji tasarrufu için yeni düzenlemeler yapmakta ve bu konuya daha hassas bir biçimde yaklaşmaktadır. Isı ölçümü cihazlarının kullanılması da bu konuda önem arz etmektedir. Isıtma ve soğutma sistemleri olan mekanlarda enerji tasarrufu sağlamak ve boşa harcanan enerji kullanımı önlemek için ısı sayaçları kullanımı önem arz etmektedir. Türkiye’de de merkezi ısıtma olan mekanlarda tüketilen enerjiyi ölçmek için kullanılan ısı sayaçları yönetmelikle zorunlu hale getirilmiştir. Genel olarak ısı sayaçlarını ölçüm prensibine göre ikiye ayırabiliriz: Mekanik ısı sayaçları ve Ultrasonik ısı sayaçları. (Şekil 1).



Şekil 1. Ultrasonik ve Mekanik ısı sayaçları

Ultrasonik Isı Sayacı Nedir

Ultrasonik ısı sayacı (UIS) bir ortamın soğutma veya ısıtma sistemlerinde tüketilen enerjiyi ölçmek için kullanılan cihazlardır. UIS ölçüm alanında giren ve çıkan akışkanının sıcaklık farkını ve ultrasonik ölçüm metodu ile akışkanın debisini ölçerek tüketilen enerjiyi hesaplar. UIS aslında üzerinde sıcaklık sensörü çiftleri yer alan ultrasonik akış ölçere sahip bir cihazdır ve akışkan analizleri bakımından ultrasonik akış ölçer olarak da değerlendirilebilir. Ultrasonik akış ölçerler sayaçtaki akışkanın geçtiği borunun içerisine veya dışına monte edilmiş ultrasonik akış sensörleri ile akış yönünde ve tersi yönde ses dalgaları göndererek zaman gecikmesinden akışkanın hızını ölçer. UIS'ler ek olarak kalorifer tesisatlarının gidiş ve dönüş hatlarındaki sıcaklık farkını ölçerek tüketilen enerjiyi hesaplar. Birçok alanda farklı amaçlar için kullanılan ve kullanımı giderek artan ultrasonik akış ölçerlerin ölçüm teknolojisi 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başlarında ticari uygulamalarda kullanılmaya başlandı. Bu ölçüm tekniğinin gelişimi 1950'lerde hükümet veya özel sektörler arasında yürütülen ortak bir proje ile başlamıştır. İlk zamanlarda bu projenin amacı kanallardan ve barajlardan akan büyük hacimli suyun debisinin doğru ölçülmesiydi. Su Kaynakları Departmanı, ABD Jeoloji Araştırması ve ABD Ordusu Mühendisler Birliği, Raytheon Üretim Şirketi ile birlikte 1957'de ultrasonik akış ölçer geliştirmeye başladı. 1960'larda Westinghouse Electric Corporation, kanallarda kullanılmak için California Su Kemeri boyunca yerleştirilecek ultrasonik akış ölçer tasarladı [1].

Mekanik yapıları, düşük basınç kayıpları, kolay üretim ve montajı, içerisinde mekanik hareketli parçalar bulunmaması bu sayaçların bazı avantajlarındandır. Bunun yanında tesisat bağlantı elamanlarından, boru bükülmelerinden, çap daralmalarından kaynaklan akış bozulmalarına ve türbülansa karşı hassas olması ve doğruluğunun etkilenmesi dezavantajlarındandır. Bunun dışında elektronik aksamalarında ve ısı sayaçlarında yer alan sıcaklık sensörünün (termocouple) hataları gibi etkenler de mevcuttur. Ultrasonik akış ölçerler ölçüm tekniğine göre farklı çeşitlere ayrılmaktadır. Kullanılan ölçüm tekniklerinden bazıları Doppler tekniği, geçiş-zaman tekniği, çapraz bağıntı tekniği, darbe tekrarlanma tekniği ve faz kayması tekniğidir. Bu teknikler arasında Doppler, çapraz bağıntı ve geçiş zaman teknikleri diğerlerine oranla daha yaygın kullanıma sahiptir. Geçiş zaman tekniğinin patenti 1931 yılında Rutten tarafından alınmıştır. Bu

tekniknin daha sık kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri hata oranlarının diğer tekniklerden daha az olmasıdır [11].

Geçiş zaman tekniği ile çalışan ultrasonik akış ölçerler doğal gazdan petrol ve suya kadar geniş kullanım alanına sahip ölçüm cihazlarıdır. Su ölçüm uygulamalarında düşük basınç kaybı, düşük bakım maliyetleri, doğruluk hassasiyeti ve üretim maliyetinin uygun olması ultrasonik sayaçlarını daha avantajlı hale getirmektedir. Bu çalışmada ultrasonik akış ölçümü prensibiyle geçiş zaman tekniğini kullanarak farklı debilerde yüksek ölçüm hassasiyetine sahip DN15 çaplı ultrasonik ısı sayacı (UIS) tasarımı yapılmıştır.



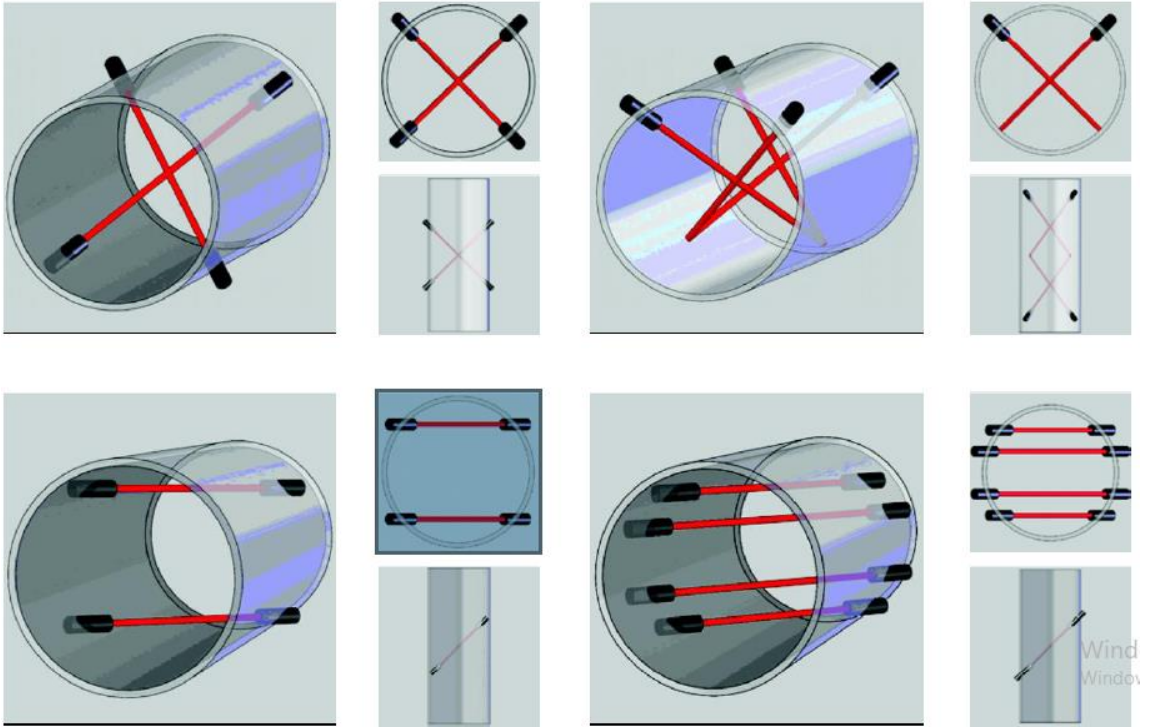
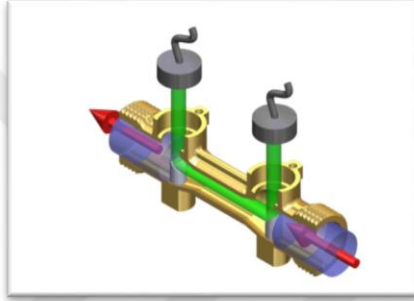
1. BÖLÜM

ULTRASONİK ISI SAYACININ ESASLARI VE TASARIMI

Isı sayaçları genel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar debi ölçüm kısmı, sıcaklık ölçüm kısmı ve hesaplayıcı ünedir.

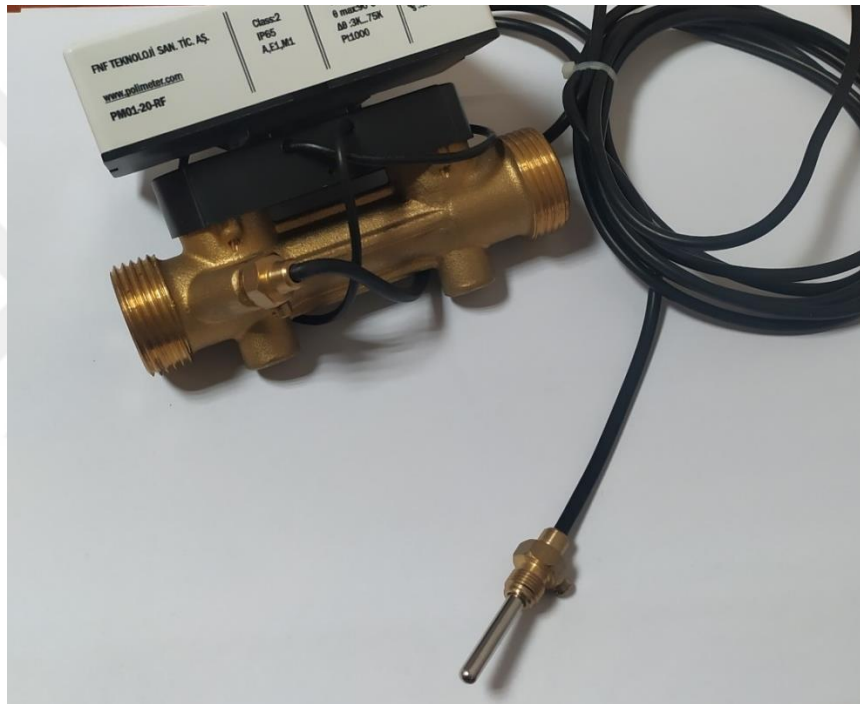
Hesaplayıcı ünite sayacın elektronik aksamlarının olduğu ve sensörlerden gelen verileri toplayıp enerji ve akış debisi gibi değerlerin hesaplandığı ve bu bilgilerin kullanıcıya sunulduğu kısımdır.

Debi ölçüm kısmı metal gövdeden, ultrasonik akış sensörlerinden ve ses dalgalarını sensörler arası yansıtan paslanmaz metal pimlerden (yansıtıcı) ibarettir. Ultrasonik akış sensörleri borudan geçen akışkanın debisini ölçmek için kullanılır. Sayaçlarda genellikle iki adet ultrasonik akış sensörü (UAS) kullanılır. Bazen ikiden daha fazla UAS'nin kullanıldığı sayaçlar da üretilmektedir (Şekil 2). Daha fazla akış sensörünün kullanılması ölçüm hassasiyeti artıran yöntemlerdendir. Büyük çaplı sayaçlarda genellikle daha fazla UAS kullanılır. UAS sayaç tasarımına göre farklı açılarda monte edilebilir. Bazı tasarımlarda yansıtıcı kullanılmadan sensörlerin karşılıklı olarak yerleştirilmiş versiyonlarına da rastlamak mümkündür (Şekil 2).



Şekil 2. Akış sensörleri yerleşim tipleri

UIS kullanılan mekânın tüketilen enerjisini hesaplamak için debi verisi ile sıcaklık verisine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için ultrasonik ısı sayaçlarında çift sıcaklık sensörü kullanılmaktadır (Şekil 3). Bu sensörler üretici tarafından soğuk ve sıcak olarak, çift şekilde kalibre edilir. Sıcaklık sensör çiftlerinden biri sayaca diğeri tesisata monte edilir. Sayaca monte edilen sensör sayaç vasıtası ile tesisatın dönüşüne bağlanır ve dönüş sıcaklığını ölçer. Diğer sensör ise giriş hattına monte edilir ve giriş sıcaklığını ölçer. Bu şekilde debi ve sıcaklık farkları verileri kullanılarak tüketilen enerji hesaplanır.



Şekil 3. PT 1000 sıcaklık sensörü

1.1. Enerji Hesaplama

UIS sıcaklık sensöründen ve akış sensörlerinden gelen verileri kullanarak tüketilen enerjiyi hesaplar. Sayaç içerisindeki yazılımlarda enerji hesaplama formülleri ısı sayaçları ile ilgili dünya standardı olan EN1434 standardında yer alan aşağıdaki formüllerle hesaplanır [16].

$$Q = \int_{V_2}^{V_1} k \Delta T dV \quad (\text{kWh}) \quad (1)$$

Q Tüketilen enerji miktarı (kWh)

V Sayaçtan geçen akışkanın hacmi (m³)

k Akışkanın ısı katsayısı ($\text{MJ}/\text{m}^3\text{K}$)

ΔT Ölçülen alanın giriş ve dönüş sıcaklık farkı

Burada, akışkanın hacmi (V) ultrasonik sayaç akış sensörleri vasıtasıyla hesaplanır. Bir sonraki bölümde yöntemden detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Sıcaklık farkı ise (ΔT) yine aynı şekilde tesisatın giriş ve çıkışı hattına (sensörlerde biri sayacın gövdesine bağlı olan sensör) bağlanan sıcaklık sensörleri vasıtası ile hesaplanmaktadır.

Isı katsayısını (k) aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$k(p, T_g, T_\varphi) = \frac{1}{v} \frac{h_g - h_\varphi}{T_g - T_\varphi} \quad (2)$$

h_g Giriş özgül entalpi

h_φ Çıkış özgül entalpi

T_g Giriş sıcaklığı

T_φ Çıkış sıcaklığı

v Özgül hacim

Özgül hacim (v) aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir.

$$v(\pi, \tau) \frac{P}{RT} = \pi \gamma_\pi \quad (3)$$

P basınç

π İndirgenmiş basınç

$$\pi = p/p^*$$

Aynı standartta $p^* = 16,53 \text{ MPa}$ olarak kabul edilir (4)

Özgül hacmi hesaplarken T çıkış sıcaklığı olarak kabul edilmektedir.

R özgül gaz sabiti $R = 461.526 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

γ_π Boyutsuzlaştırma

$$\gamma_\pi = \sum_{i=1}^{34} -n_i l_i (7.1 - \pi)^{l_i - 1} (\tau - 1.222)^{J_i} \quad (5)$$

τ İndirgenmiş sıcaklık $\tau = T^*/T$ $T^* = 1386 \text{ K}$ olarak kabul edilir (6)

Özgül entalpi (h) giriş ve çıkış sıcaklığına göre aşağıdaki formüllere göre hesaplanır.

$$\frac{h(\pi, \tau)}{RT} = \tau \gamma_\tau \quad (7)$$

$$\gamma_\tau = \sum_{i=1}^{34} -n_i (7.1 - \pi)^{l_i} J_i (\tau - 1.222)^{J_i - 1} \quad (8)$$

n_i, l_i Ve J_i değerleri ‘‘Uluslararası Su ve Buharın Özellikleri Birliği’’ tarafından yayımlanan standarttaki tablolarda yer almaktadır.

273.15 K $\leq T \leq$ 623.15 K sıcaklık aralığı ve $P_s(T) \leq P \leq$ 100 MPa arası basınç değerleri için n_i, l_i ve J_i değerleri Tablo 1 de verilmiştir.

$P_s(T)$ – doyma basıncı

Tablo 1. Formül 5 ve 6 için katsayılar üsler [16]

i	l_i	J_i	n_i	i	l_i	J_i	n_i
1	0	-2	0,146 329 712 131 67	18	2	3	-0,441 418 453 308 46 x 10 ⁻⁵
2	0	-1	-0,845 481 871 691 14	19	2	17	-0,726 949 962 975 94 x 10 ⁻¹⁵
3	0	0	-0,375 636 036 720 40 x 10 ¹	20	3	-4	-0,316 796 448 450 54 x 10 ⁻⁴
4	0	1	0,338 551 691 683 85 x 10 ¹	21	3	0	-0,282 707 979 853 12 x 10 ⁻⁵
5	0	2	-0,957 919 633 878 72	22	3	6	-0,852 051 281 201 03 x 10 ⁻⁹
6	0	3	0,157 720 385 132 28	23	4	-5	-0,224 252 819 080 00 x 10 ⁻⁵
7	0	4	-0,166 164 171 995 01 x 10 ⁻¹	24	4	-2	-0,651 712 228 956 01 x 10 ⁻⁶
8	0	5	0,812 146 299 835 68 x 10 ⁻³	25	4	10	-0,143 417 299 379 24 x 10 ⁻¹²
9	1	-9	0,283 190 801 238 04 x 10 ⁻³	26	5	-8	-0,405 169 968 601 17 x 10 ⁻⁶
10	1	-7	-0,607 063 015 658 74 x 10 ⁻³	27	8	-11	-0,127 343 017 416 41 x 10 ⁻⁸
11	1	-1	-0,189 900 682 184 19 x 10 ⁻¹	28	8	-6	-0,174 248 712 306 34 x 10 ⁻⁹
12	1	0	-0,325 297 487 705 05 x 10 ⁻¹	29	21	-29	-0,687 621 312 955 31 x 10 ⁻¹⁸
13	1	1	-0,218 417 171 754 14 x 10 ⁻¹	30	23	-31	0,144 783 078 285 21 x 10 ⁻¹⁹
14	1	3	-0,528 383 579 699 30 x 10 ⁻⁴	31	29	-38	0,263 357 816 627 95 x 10 ⁻²²
15	2	-3	-0,471 843 210 732 67 x 10 ⁻³	32	30	-39	-0,119 476 226 400 71 x 10 ⁻²²
16	2	0	-0,300 017 807 930 26 x 10 ⁻³	33	31	-40	0,182 280 945 814 04 x 10 ⁻²³
17	2	1	0,476 613 939 069 87 x 10 ⁻⁴	34	32	-41	-0,935 370 872 924 58 x 10 ⁻²⁵

1.2. Geçiş Zaman Tekniği ile Ultrasonik Akış Ölçüm Prensibi

Sayaçtan geçen akışkanın hacimsel debisini bulmak için ortalama hızı bulmak gerekmektedir. Ortalama hızı bulmak için sabit yol uzunluğu, sabit ses hızı (c) ve ortalama hız profili gibi birtakım varsayımlar yapılmalıdır (şekil 4).

Ultrasonik ölçüm prensibi ile çalışan sayaçlar debiyi ölçmek için ses dalgalarını kullanır. Karşılıklı olarak, belirli bir açı ile çapraz bir şekilde veya U şeklinde

yerleştirilmiş akış sensörleri hem verici hem de alıcı olarak belirli frekansta hem ses dalgası gönderir hem de diğer sensörden gelen ses dalgasını kabul eder. Ses dalgaları akış yönünde ve akışın tersi yönünde gönderilirken meydana gelen zaman gecikmesi ile akışkanın hızı bulunur. Sayaç bu hesaplamaları yaparken aşağıdaki formülleri kullanır.

A ultrasonik akış sensöründen akışın tersi yönde gönderilen ses dalgasının B sensörüne ulaşma zamanı t_{AB} ve B sensöründen akış yönünde gönderilen ses dalgasının A sensörüne ulaşma zamanı t_{BA} olarak gösterilirse $\Delta t = t_{BA} - t_{AB}$ (9) olur. Ses hızının (c) suda yayılma hızı suyun sıcaklığına bağlı olarak değişir ve bu değişim şekil 5'deki grafiğe göre hesaplanır. Akışkanın ortalama hızı ise:

$$\bar{u} = \frac{\Delta t}{2L \cos \theta} c^2 \quad (10) \text{ Formülünden hesaplanır}$$

Burada:

c Ses hızı

$\bar{u}$ Akışkanın ortalama hızıdır.

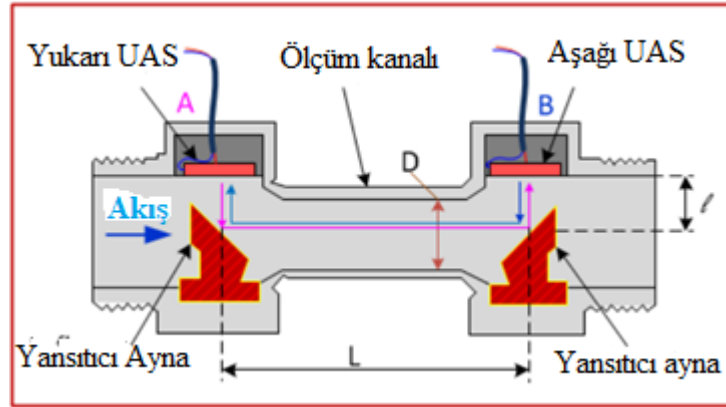
Δt zaman farkı (UAS lar arasında akış yönünde ve tersi yönde yayılan ses dalgaları arasında zaman farkı)

L Ses dalgası yol uzunluğu

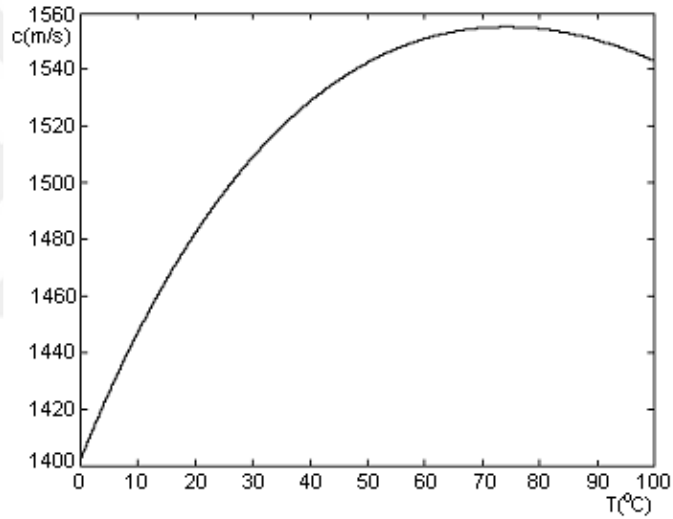
Sayaçtan geçen akışkanın hacimsel debisi ise $V = \bar{u} A$ (11) formülü ile hesaplanabilir.

A Sayaç gövdesinin kesit alanı.

u , c ve L nin hız ölçümü boyunca sabit olduğu ve hız profilinin üniform olduğu varsayılır. Bu varsayım sonucunda hız ölçümü boyunca hızın akışın her yerinde ortalama değere sahip olduğu kabul edilir. Bu kabuller doğrultusunda, ses yolu boyunca hızdaki, ses hızındaki ve yol uzunluğundaki değişimleri dikkate alınmaz. Akışın türbülanslı olduğu ve akışın bozulduğu zamanlarda bu değerlerin değişmesi sonucunda sayaçta hatalar meydana gelir. Ultrasonik akış ölçüm yöntemlerinin %0,1 ile %2 arasında doğruluğa sahip olduğu iddia edilmektedir [2].



Şekil 4. Geçiş zaman tekniği ile ultrasonik akış ölçümü şeması



Şekil 5. Su içerisinde ses dalgasının yayılma hızının sıcaklığa bağlı değişimi.

1.3. Ölçüm Hassasiyetini Etkileyen Faktörler

UIS'lerin ölçüm hassasiyetini etkileyen birçok faktör vardır. Hesaplayıcı üniteden, sıcaklık sensörlerinden, UAS'den, suyun kalitesinden, tesisat bağlantı elemanlarından ve sayaç gövdesinin geometrisinden kaynaklanan hatalar bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada Sayaç gövde tasarımı yapıldığı için akış bozukluğuna neden olan, tesisat bağlantı elemanlarından ve sayaç gövde geometrisinden kaynaklan akış bozulmalarının neden olduğu hataları dikkate alarak bu etkileri minimuma indirecek tasarım yapılmıştır.

1.3.1. Su Partiküllerinin Etkileri

Akışkan olarak kullanılan suyun kalitesi yani içindeki partiküllerin boyutlarının büyüklükleri ve konsantrasyonu da sayacın ölçüm hassasiyetini etkileyen önemli etkenler arasında yer almaktadır. Literatürde yer alan deneysel bir çalışmaya göre 0,07 m³/h ve 0,14m³/h debilerinde sudaki 10 µm büyüklüğündeki kalsiyum karbonat partiküllerinin konsantrasyonu %1 olduğunda sayacın ölçüm hatası çok büyük değerlere ulaşmaktadır. 0,07 m³/h'lik debi için sayaç hatası %10'a kadar çıkmaktadır. Diğer bir araştırmaya göre ise parçacık boyutu 100 µm ve akış hızı 0,07 m³/h, 0,14 m³/h ve 0,35 m³/h olduğunda, ses dalgası yolundaki konsantrasyon neredeyse 0 değerine ulaşmakta olup hemen hemen tüm parçacıklar ses dalgası yolunun altında dibe çökmektedir. 100 µm partiküller için ise yerçekiminin etkisi daha da artmakta, partiküller çıkıştan sadece akış hızı 1,05 m³/h veya 3,5m³/h olduğunda tamamen çıkabilmektedir [10] .

1.3.2. Akış bozulmaları, türbülanslı akış etkileri

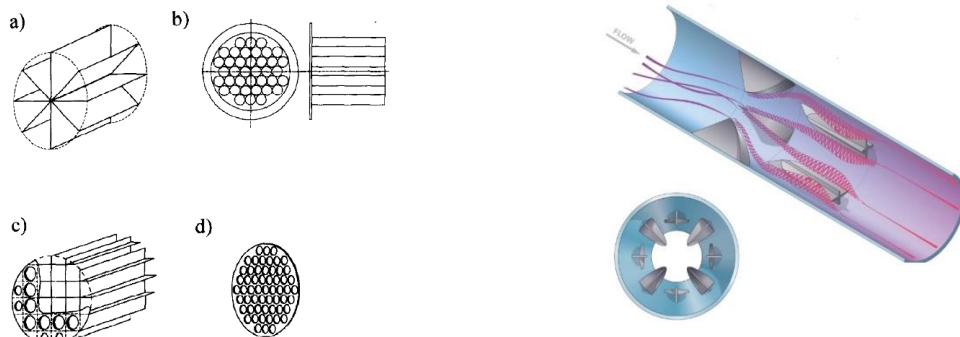
UIS ölçüm hassasiyetini etkileyen önemli etkenlerden bir diğeri de akış bozulmalarıdır. Tesisat bağlantı elemanlarının ultrasonik sayaçların ölçüm hassasiyeti üzerinde belirgin etkileri vardır. Dirsekler, boru daralmaları, vanalar gibi tesisat bağlantı elemanları ve aynı zamanda gövdenin geometrisi yani yansıtıcıların kullanılması gibi etkenler akış bozulmalarına, laminar ve türbülanslı akış geçişlerinin ve resirkülasyon alanların oluşmasına, hız profilinin dağılmasına ve girdapların oluşmasına neden olmaktadır. Tüm bu etkenler suyun gerçek hız alanı ile teorik hız alanı arasında farklılıklara neden olur. Bu da sayacın ölçüm hataların artması ile sonuçlanır. Sayaçlar üretim aşamasında laboratuvarda kalibre masalarında kalibre edilerek üretilir. Lakin laboratuvar şartları sayacın çalışacağı ortamdaki şartlar ile aynı olmayabilmektedir. Tesisatta bağlantılardan kaynaklanan akış bozulmalarını düzeltmek için sayacın girişinden önce uzun düz boruların kullanılması gerekmektedir. Bazı araştırmalara göre bu borunun uzunluğunun 10D olması yeterlidir. Ancak bazı uygulamada bu uzunluk yeterli olmamaktadır. Diğer bir çözüm ise sayacın girişine akış şartlandırıcının monte edilmesidir. Akış şartlandırıcının amacı sayaçtan önce yeterli uzunlukta düz borular olmasa bile akışkanın sayaç gövdesine girmesi esansında akışta meydana gelen girdapları engellemek, tam gelişmiş hız profili oluşturmak, türbülans etkilerini minimuma indirmeye çalışmaktır. Akış şartlandırıcının tasarlanmasında önemli faktörlerden biri akış iyileştirmelerinin minimum basınç kaybı ile yapılmasıdır. Akış şartlandırıcılarını çalışma özelliklerine

göre akış düzenleyiciler ve akış şartlandırıcılar olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Akış düzenleyiciler akıştaki girdapları ortadan kaldırır ve teğet hız bileşenlerine karşı etkilidir fakat hız dağılımını düzeltmez. Akış şartlandırıcı ise hem teğet hız bileşenlerini hem de eksenel hız bileşenlerini etkiler. Dolayısıyla hem girdapları ortadan kaldırabilir hem de hız profilini düzeltebilir. Yukarıdaki sınıflandırmaya göre akış düzenleyici ve şartlandırıcılara örnek olarak Etoile akış düzenleyici, Tube-bundle akış düzenleyici, Zanker akış şartlandırıcı, Single Perforated Plate akış şartlandırıcı verilebilir (şekil 6) [18].

Türbülanslı akışın ses dalgasının yayılması üzerindeki etkileri uzun süredir bilinmekte olup bu konu üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Schmit ve Tilman türbülanslı akışta ses dalgalarına yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, ses dalgalarının faz kaymasına dayanarak ses dalgası yayılımı yönündeki türbülanslı hareketin büyüklüğünü ve girdapların oluşması incelenmiştir [18].

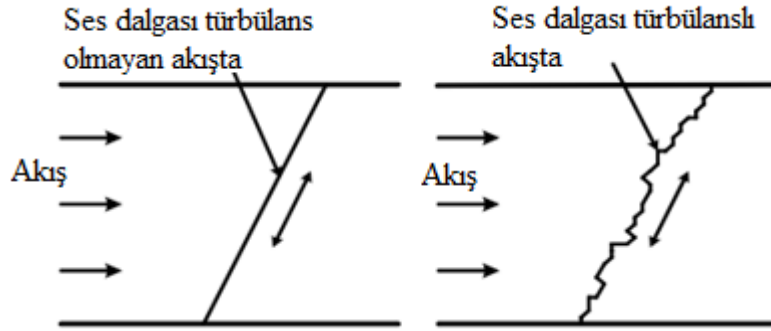
Lipkens ve Blackstock da türbülanslı akışta ses dalgalarını inceleyen deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada incelenen ses dalgası özellikleri, basınç artış süreleri ve maksimum basınç dağılımlarıdır. Bu çalışmanın neticesinde, türbülans yoğunluğunun ve türbülanslı akıştaki ses hızının yayılma mesafesinin ses geçişini etkilediği görülmüştür [18].

Akış yönünde ve akışın tersi yönde ses dalgaları göndererek ölçüm yapan ultrasonik sayaçlar akışkanın ölçüm alanında hızın ortalama sabit değer olduğunu varsayar. Fakat bu varsayım değişken bir akışkan alanında ölçüm hatasına neden olur [1].



a) Etoile akış düzenleyici, b) Tube-bundle Akış düzenleyici, c) Zanker Akış şartlandırıcı, d) Single Perforated Plate e) Westfall Modell 3000 akış düzenleyici

Şekil 6. Akış şartlatdırıcı örnekleri



Şekil 7. Türbülanslı akışta ses dalgasının yayılımı

Bu çalışmada farklı debilerde bile yüksek ölçüm hassasiyetine sahip ultrasonik ısı sayacı gövdesi tasarımı yapılacaktır. Bu çalışma FNF Teknoloji firması bünyesinde yapılmıştır. Sayaç gövdelerinin akış analizleri Erciyes üniversitesi bünyesinde yapılmıştır.

2. BÖLÜM

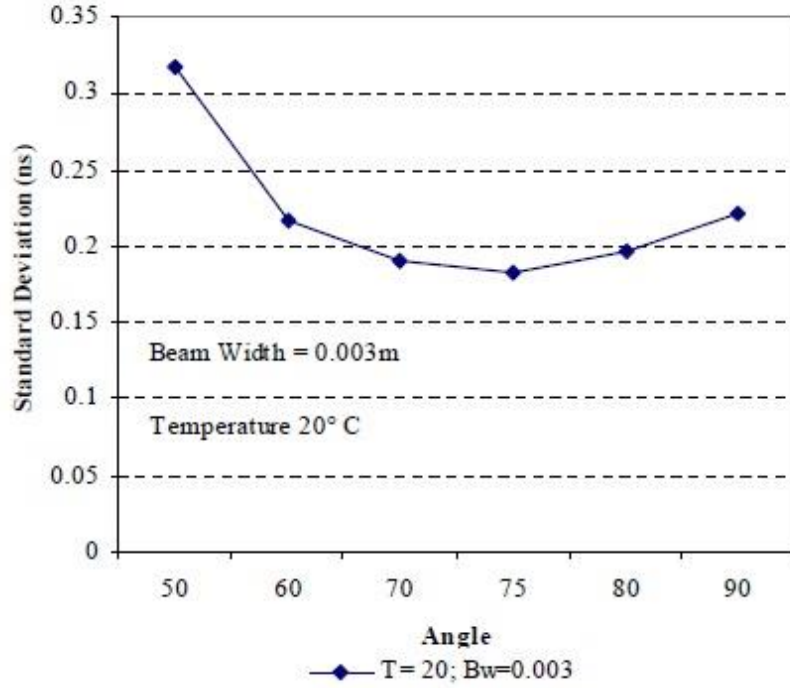
LİTERATÜR TARAMASI

Ultrasonik ölçüm prensibi ile çalışan akış ölçerlerin yaygın kullanılmaya başlamasıyla beraber bu sayaçlarla ilgili araştırmalar da artmaya başlamış ve farklı akış ölçer modelleri ortaya konulmuştur. Literatürde aynı zamanda, türbülanslı akışın bu sayaçlar üzerindeki etkilerini ele alan birçok çalışma mevcuttur.

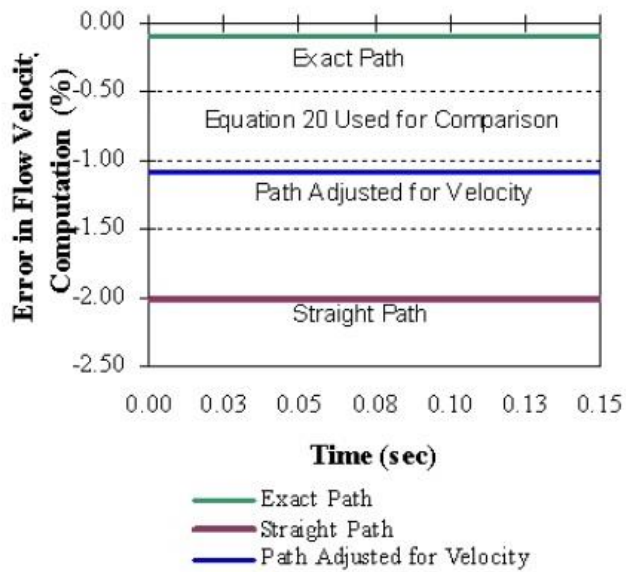
Francis J. ve Weber, Jr. ‘**Türbülanslı akışta ultrasonik dalganın yayılımı**’ adlı doktora tezinde türbülanslı akışın bir hız alanı boyunca yayılan ses dalgaları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, iki farklı akış alanı tipi kullanılmıştır; birincisi, girdap sokağı gibi üst üste bindirilmiş büyük bir akış alanı, ikincisi ise PIV (Particle Image Velocimetry) ile ölçülen kanal akışının akış alanıdır. Bu akış alanları üzerinde, ses dalgasının genişliği, girdap kuvveti, ses hızı ve ses yolu açısını içeren değişkenler incelenerek, çoklu ışınlar kullanılarak, PIV yöntemi ve Modified Ray Trace yöntemi kullanılarak parametrik çalışmalar yapılmıştır. Sayısal ve analitik çalışmalarla aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Ses dalgası açısının değişmesi Δt 'yi etkilemektedir; değişen ses dalgası açıları, açının kosekantının (cosecant) ters fonksiyonu olarak Δt 'nin artmasına neden olmaktadır. Akışkanın sıcaklığı ve ses hızı artıkça ortalama Δt standart sapması azalmaktadır. PIV (Particle Image Velocimetry) verisi ile ölçülmüş akış alanlarında, türbülanslı akışta ses dalgası yayılımının analizi yapılmıştır. Ses yolunun akış yönüne göre açısının, akış alanına göre 90°'den 50°'ye kadar değişmesi ters yayılan ses dalgaları arasında artan dt büyüklüğü ve açının kosekant fonksiyonu ile sonuçlanmıştır. Ses yolu açısı ve dt arasındaki bu ilişkiyi anlamak önemlidir, çünkü dt 'nin uzunluğu ortalama akış hızını ölçmek için gereken zamanlama cihazının doğruluğunun göstergesidir. Ses yolu açısı azaldıkça dt 'nin büyüklüğü kosekant ile arttığından, ses yolu açısı akış eksenine paralel

olmadığı için dt sonsuza gitmektedir. Bununla birlikte, ölçülen verilerin standart sapması, ses yolu açısı azaldıkça dt sürekli artarken, 75° 'lik bir ses yolu için minimum değere sahip olmaktadır.



Şekil 8a. Ses dalgası açısı ve zaman gecikmesi grafiği [1]



Şekil 8b. Farklı hız profilleri ve hata grafiği [1]

Özetle, akış alanının türbülansının yanı sıra alanın ortalama hız profilini hesaba katmamak, ultrasonik akış sisteminin bir boru veya kanaldaki ortalama akış hızının yanlış hesaplamasına neden olur [1].

Neil Colin Temperley **“Optimisation of an Ultrasonic Flow Meter Based on Experimental and Numerical Investigation of Flow and Ultrasound Propagation”** isimli doktora tezinde akış sensörleri karşılıklı olarak yerleştirilmiş bir ultrasonik akış ölçerin gövdesini optimize edilmesi üzerine çalışmış ve yeni bir kalibrasyon eğrisine sahip gövde tasarımı geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, HAD ve ışın izleme yöntemi kullanılarak bozuk akış alanından geçen ses dalgasını incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, değişen uzunluklara ve kanal çaplarına sahip çeşitli sayaç geometrileri için ölçülen kalibrasyon eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Laser Doppler Velocimetry ölçümleri ile ve bu alanda yayımlanmış sonuçlarla doğrulanmıştır. Bu tezde ses dalgasını yayılımını hesaplamak için yazılım kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde, tasarım ilkeleri için aşağıda yer alan sonuçlara varılmıştır:

1. İnce akış ayrımının meydana gelebileceği bölgelerden kaçınılmalıdır.
2. Mümkünse duvar devridaim (recirculation) bölgeleri ortadan kaldırılmalıdır.
3. Yukarı akış sensörünün önünde oluşan devridaim bölgesini gidermek pratik değildir. Bu nedenle, tutarlı bir ayırma konumu sağlamak için net bir duvar kenarı (veya süreksizlik) sağlayarak ve ince akış ayrımı potansiyelini ortadan kaldırarak stabilize edilmelidir.
4. Yansıtıcıların bağlantı şekilleri tasarımına dikkat edilmeli, bu tasarım mümkün olduğunca küçük ve aerodinamik olmalıdır. Bağlantı kısmının aerodinamik olması ve kanatların olması giriş kısmındaki yansıtıcının önünde oluşacak devridaim bölgesini önlemektedir.
5. Sayaç gövdesinde, ölçüm alanında laminer ve türbülanslı akış profilleri arasındaki farkın en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde geçiş akışlarının sayaç performansı etkisi minimum olmaktadır.
6. Sayaç gövde tasarımı türbülanslı kaynaklı basınç kaybını önlemek için yeterince aerodinamik yapıda olmalıdır.

7. Ses dalgası verimliliğini artırmak için yansıtıcın çapı büyük olmalı ama sayaç ölçüm alanı çapına eşit olmamalıdır [2].

A. Hilgenstock ve R. Ernst yayınladıkları “**Analysis of installation effects by means of computational fluid dynamics**” isimli makalede tesisat bağlantısından kaynaklanan akış bozulmalarının ultrasonik sayaç üzerindeki etkisi üzerine çalışmışlardır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayaçtan önce bağlı 90 dereceli çift boru modellenmiştir. Bu çalışmada, özellikle boru bükülmelerinden kaynaklanan akış dönmelerinin (swirl) etkilerini açıklamaya çalışmışlar [3].

Ultrasonic dergisinden S. Foad Mousavi ve S. Hassan Hashemabadi tarafından yayınlanan “**Calculation of Geometric Flow Profile Correction Factor for Ultrasonic Flow Meter Using Semi-3D Simulation Technique**” isimli makalede ticari bir DN200 ultrasonik gaz sayacının akış profili düzeltme faktörü kullanarak 3D akış analizlerini ve ses dalgası yayılımı analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, vorteks bölgesinin, ses dalgası basıncında bir bozulmaya neden olduğu ve geçiş süresini arttırdığı veya azalttığı için sayaçtaki hatanın ana nedeni olduğu ve giriş hızı arttıkça girdap bölgesinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür [4].

Yapılan diğer bir araştırma da T. STRUNZ, A. WIEST, A. FLEURY ve T. FRÖHLICH tarafından türbülansın ultrasonik ölçüm prensibine etkisi (**Influence Of Turbulence On Ultrasonic Flow Measurements**) üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada, türbülans kaynaklı dalgalanmaların istatistiksel özelliklerini karakterize etmek için akış sensör açısı 37° olan ve çapları 350, 600, 1000 ve 2000 mm olan akış ölçerler üzerinde deneyler yapılmıştır. Sayaçlardan önce 6D mesafede akış düzenleyici kullanılmıştır. Sonuçların, ultrasonik yöntemlerle hacim ölçümünün tekrarlanabilirliği üzerindeki pratik etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, yalnızca ultrasonik geçiş süresi sayaçlarla akış ölçümlerinin tekrarlanabilirliğine odaklanılmıştır. Farklı boyutlardaki ultrasonik sayaçlarda yaptıkları ölçümler, türbülansın aslında ölçüm sinyalindeki dalgalanmaların ana kaynağı olduğu görüşünü desteklemektedir. Özellikle elektronik gürültünün, türbülans kaynaklı gürültüye kıyasla ihmal edilebileceği görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar tepki süresi ve tekrarlanabilirlik arasında her zaman bir ilişki olduğu için, örneğin kaçak tespit uygulamaları gibi yüksek tekrarlanabilirlik ve hızlı tepki süresinin gerekli olduğu uygulamalarda, önemli çıkarımlara sahiptir.

Ultrasonik akış ölçerlerde girdaplar, ölçüm ses ışınına geçerek ortalama akış hızı ile taşınır ve bunların uzaysal korelasyonu, ölçülen hız değerlerinin zamansal korelasyonuna neden olur. Korelasyon süresi, azalan hız ve artan boru çapı ile artar ve yaklaşık olarak $\tau \propto D/V$ olarak formülü ile hesaplanır. Yüksek hızlarda korelasyon süresi, akış ölçümlerinin (5 Hz) örnekleme frekansı ile sınırlıdır. Akışın korelasyon süresi örnekleme zamanından daha büyük olduğu sürece, sayacın örnekleme frekansındaki bir artışın akış hakkında ek bilgi vermediğini belirtmek önemlidir. Sonuç olarak, bir ultrasonik akış ölçer için akış okumasındaki dalgalanmaların ana kaynağının akışın türbülans dalgalanmaları olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, ölçülen hacimlerde dalgalanmalara yol açar. Tipik bir sayaç konfigürasyonu için, debi tekrar tekrar ölçülürken standart sapma hacmin yaklaşık %3'ü kadardır [5].

Diğer bir grup araştırmacı ise (Ei Muramatsua,, Hideki Murakawaa, Daiki Hashiguchia, Katsumi Sugimotoa, Hitoshi Asanoa, Sanehiro Wadab, Noriyuki Furuichib) hibrit ultrasonik sayaçların geniş akış debileri için bozuk hız profillerinde nasıl çalıştığı üzerine çalışmışlardır (**Applicability of hybrid ultrasonic flow meter for wide-range flow-rate under distorted velocity profile conditions**). Bu çalışmada, bir borunun kesit alanı üzerindeki ultrasonik Doppler hız ölçümü (UDV) kullanarak elde edilen hız profillerinin geçiş zaman tekniği ile ölçüm yapan ultrasonik sayaca entegre edilerek yerinde kalibrasyon için hibrit bir ultrasonik sayaç önerilmiştir. Eşzamanlı ölçümün deneysel sonuçları, hız profilindeki dalgalanmanın geçiş süresininki ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Böylece, geliştirilen sistemin verilen amaca uygun olarak tasarlandığı kanıtlanmıştır.

Hız profili bozukluğunun etkisini değerlendirmek için, ölçüm bölümünün yukarı akışına 8D mesafede bir engel plakası yerleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, hız profil faktörünü (PF) kalibre etmeden, radyal bir düzenleme ile ölçüm hatlarının sayısını artırarak sayacın doğruluğunun iyileştirilemeyeceğini göstermektedir. Bununla birlikte, UDV kullanılarak üç ölçüm hattı boyunca akış hızının ölçülmesindeki hata, engel plakasını takarken bile %0,3'ü içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, hız profilinin bozuk olup olmadığına bakılmaksızın, radyal ölçüm hatlarının sayısı yeterliyse, UDV'nin akış hızını doğru bir şekilde ölçmek için kullanılabileceği gösterilmiştir. PF, UDV kullanılarak elde edilen akış hızı temelinde kalibre edilmiştir. Sayaç belirli bir ölçüm hattı için kalibre edilmiş PF'yi uygulayarak akış hızını doğru bir şekilde elde etmek için

kullanılabilir. Böylece, UDV kullanılarak PF'nin yerinde kalibrasyonunun etkili olduğu sonucuna varılmıştır [6].

Çin'de Shandong Üniversitesi, Enerji ve güç mühendisliği okulunda LIU Yong-hui, DU Guang-sheng, TAO Li-li ve SHEN Fang **ultrasonik ısı sayacında ortalama hız profili üzerine yayınladığı makalede belirli bir Reynolds sayısı ile geçiş akışının özelliklerini incelemek** için basitleştirilmiş bir boru modeli kullanmışlardır. Geçiş bölgesinin akış alanını hesaplamak için sırasıyla k- ϵ modeli ve Large Eddy Simulation (LES) modeli kullanılmış olup deney sonuçları ile yapılan karşılaştırma LES modelinin k- ϵ modelinden daha etkili olduğunu göstermiştir. Geçiş akışının profil-doğrusal ortalama hız ilişkisini hesaplamak için türbülans akışına dayalı ilişki kullanılmasının hatalı olacağı da görülmüştür. 5300 ile 10000 arasında değişen Reynolds sayısı için profil-doğrusal ortalama hız hesaplanmış ve ilişki eğrisi elde edilmiştir. Bu makalenin sonuçları, ultrasonik ısı ölçerin ölçüm doğruluğunu geliştirmek ve tüm geçiş akışının araştırılması için teorik bir temel sağlamak amacıyla kullanılabilir [7].

Alexander Y. G, Mikhail G, Yuri G. G. ve Armando M. L yayınladıkları **“Synthetic turbulence modeling for evaluation of ultrasonic cross-correlation flow measurement”** isimli çalışmada ultrasonik çapraz korelasyon akış ölçümünü matematiksel olarak modellemişlerdir. Önerilen matematiksel model ile elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle iyi bir uyum sağlamaktadır. Bu çalışmada, farklı akış koşulları altında enstrüman performansını modellemek ve analiz etmek için kullanılabilecek çeşitli türbülanslı alanlar oluşturmak için etkili bir araç sağlamak üzere yeni bir Sentetik Türbülans üretme yöntemi sunulmuştur. Önerilen yöntemde türbülanslı bir alan uzaydaki her noktada Fourier zaman serisi olarak sunulmaktadır. Türbülans ölçeklerinin istenen dağılımını ve iki noktalı korelasyonları elde etmek için gerekli faz fonksiyonu tasarlama ilkeleri, Tekdüzen İzotropik Türbülans örneği dikkate alınarak ana hatlarıyla belirtilmiştir. Boylamsal ve teğetsel türbülans ölçeklerinin dağılımı ve iki noktalı korelasyonun dağılımı gibi türbülansın istenen uzamsal özelliklerini oluşturmak için türbülans modeli parametrelerinin seçim süreci özetlenmiştir. Önerilen yöntemin türbülanslı boru akışına uygulanması, iki noktalı korelasyonun ve mesafenin artmasıyla bozulmanın daha iyi tahmin edildiğini göstermektedir. Çapraz korelasyonlu akış ölçerin modellenmiş davranışı, akış ölçerin farklı akış koşulları altında ve akış ölçerin ultrasonik ışınları arasındaki farklı mesafeler için akış ölçer davranışının iyi bir şekilde

tahmin edildiğini göstermiştir. Bu model, kontrol parametrelerinin değerlerinin uygun şekilde seçilmesiyle gerçek türbülans özelliklerinin yeniden üretilmesine izin vermektedir. Önerilen türbülans modelleme yönteminin, çapraz korelasyon akış ölçüm teknolojisinin doğrulanması ve iyileştirilmesi için bir simülasyon aracı olarak kullanılması beklenmektedir. Yöntem, türbülansın diğer akış enstrümantasyonu üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için de kullanılabilir [8].

A.Weissenbrunner, A.Fiebach, S.Schmelter, M.Bär, P.U.Thamsen ve T.Lederer **Belirsiz giriş koşullarından kaynaklanan debimetrelerin sistematik hatalarının simülasyon tabanlı tespitini** üzerine çalışma yapmışlardır. Farklı boru kombinasyonları arasında, düzlem dışı çift dirsekler akış profilinde güçlü bozulmalara yol açtıklarından ve birçok yaygın akış ölçer tipi üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduklarından dolayı araştırma konusu olarak rağbet görmektedir. Bu çalışmada ölçüm hatalarını bu girdaplar ve asimetri bileşenleri açısından giriş profilinin değiştirilmesiyle azaltılabileceği gösterilmiştir. Özellikle, belirsiz akış koşullarından kaynaklanan sistematik hataları ölçmek için bir ultrasonik ve bir elektromanyetik akış ölçer modellenmiştir. Ölçülen hacimsel akış üzerinde en etkili parametre olarak, çift dirsek ile akış ölçer arasındaki mesafe ve akış ölçerin yönü, polinom kaos yaklaşımında rastgele değişkenler olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşım, çift dirseğe olan mesafenin ultrasonik ve elektromanyetik ölçüm fonksiyonlarının doğru tahminini elde etmelerini sağlamıştır. Akış hızında meydana gelen hataların, ultrasonik (elektromanyetik) akış ölçer için %2-2,4 (%0,6-0,7) ile %1,5-4,5 (%0,1-0,5) aralığında olduğu bulunmuştur. Çift dirseğe olan mesafe 40 boru çapından daha küçüktür. Ayrıca, akış ölçerlerin bir Venturi daralmasından sonra yerleştirilmesinin, ölçüm hatalarının önemli ölçüde azalmasını sağlayacağı görülmüştür. Doğrudan sayacın önüne bir Venturi daralması yerleştirilirse, ölçüm sapmalarının ve belirsizlikler önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Ultrasonik akış ölçer için, beklenen hata, venturi nozülü için %1'den daha fazla düşürülebilir ve dikdörtgen yapı için %1,14 oranında artabilir. [8]

Diğer bir çalışma ise Çinde SHI Shuo, SUN Jian-ting, Guang-sheng ve ZHANG Min tarafından **Ultrasonik ısı ölçer gövdesindeki kirlilik dağılımının sayısal analizidir**. Bu çalışmada ayrı bir faz modeline dayalı olarak, ultrasonik ısı ölçer gövdesindeki farklı boyuttaki kalsiyum karbonat süspansiyonlarının akış alanları için sayısal simülasyonu gerçekleştirilmiş, ultrasonik ısı ölçer gövdesindeki akış özellikleri ve kirlilik dağılımı

analiz edilmiştir. Ultrasonik ısı ölçerin 10 mikrometrelik partiküllerin kalsiyum karbonat süspansiyonlarını ölçmedeki hataları ve bu hataların nedenleri simülasyon ve deney ile analiz edilmiş olup sonuçlar, kirliliklerin k katsayısı değeri üzerindeki etkilerini ve partikül dağılımından dolayı yansıma yolundaki ses zayıflamasının ölçüm doğruluğunu etkileyen iki ana faktör olduğunu göstermiştir. Kütle konsantrasyonu %1 ve partikül çapı 1 μm 10 μm ve 100 μm olan üç çeşit kalsiyum karbonat süspansiyonu ile u-şekilli ultrasonik ısı ölçer gövdesindeki akış alanını ve parçacık dağılımını simüle etmek için ayrı bir faz modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, 1 μm partiküllerin iyi takip davranışına ve ölçüm gövdesinde düzgün bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Partikül çapı 100 μm olduğunda, akış hızı 0,35 m^3/h ' in altında olduğunda büyük miktarda birikme görülmüştür. 10 μm kalsiyum karbonat süspansiyonlarında ise akış hızı 0,07 m^3/h ve 0,14 m^3/h olduğunda, sürekli fazın hız dağılımı, k katsayısı üzerinde büyük bir etkiye sahip olan parçacık fazının birikmesi nedeniyle değişir. Akış hızı 0,07 m^3/h olduğunda k katsayısının değişimi %5'ten fazla olmaktadır. Ek olarak, partikül kütle konsantrasyonu, 10 kg/m^3 'ün üzerinde bir aralıkla ultrasonik iletim yolunda büyük bir dalgalanmaya sahiptir. Bu nedenle iletim yolundaki akustik zayıflamanın neden olduğu zaman farkının hesaplamasındaki sapma düşük akış hızı ölçümü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Safsızlık içeren sudaki ölçüm doğruluğunu içeren temel faktör ultrasonik ölçüm alanındaki k katsayısı hatasına neden olan ultrasonik zayıflamadır. Shi ve diğerleri tarafından yapılan deneyler farklı akış hızları için 10 μm kalsiyum karbonat süspansiyonları üzerinde kütle konsantrasyonu %1 olduğunda hatanın 0,07 m^3/h ve 0,14 m^3/h debilerinde görüldüğünü ve akış hızı düşük olduğunda bağıl hatanın %10'dan fazla olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada yapılan simülasyon ve deneysel sonuçlar, kirli sulara maruz kalan ultrasonik ısı sayacının ölçüm doğruluğunu geliştirmek için teorik bir temel sağlamaktadır [9].

B. Iooss, C. Lhuillier ve H. Jeanneau **geçiş süreli ultrasonik akış ölçerlerde akış profili ve türbülansından kaynaklanan belirsizliklerin sayısal simülasyonunu yapmışlar**. Bu çalışmada, tam gelişmiş türbülans durumunda iki dönüştürücüyü birleştiren ses dalgası yollarının düz olduğu varsayılır ve akışkan türbülans olayının ihmal edilmesi yaklaşımından kaynaklanan belirsizlikleri tahmin etmek için sayısal bir metot tanımlanmaktadır. Ultrasonik ses dalgası yayılımı, bir ışın izleme algoritması yoluyla iki boyutlu hareketli homojen olmayan ortamda modellenmiştir. Ortalama

sıcaklık ve hız profillerinin etkisi basit örnekler üzerinde incelenmiştir. Akış hızı ölçümlerinde ortalama belirsizlikler elde etmek için akışkanın sıcaklık dalgalanmaları ve türbülansı stokastik çerçevede dikkate alınmıştır. Basitleştirilmiş konfigürasyonlarda, ortalama hız profilinin etkileri nedeniyle akış hızının %0.35 hata ile tahmin edildiği ve ortalama termal alanın ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur [10].

A. Hallangera, C. Saetrea ve K.E. Froysoa **gaz ölçüm istasyonunda ultrasonik gaz sayacının boru geometrisi nedeniyle akış profili bozulması etkilerinin HAD simülasyonları ile analizini** yapmışlardır. Ölçüm istasyonu, her biri bir ultrasonik akış ölçer ile donatılmış iki paralel ölçüm yoluna sahiptir. Ölçüm istasyonu, önerilen standartlara göre kurulmuş akış düzenleyicilere sahiptir. Sahadaki gözlemler, akışta daha ayrıntılı araştırılması gereken bazı özellikler ve istikrarsızlıklar göstermiştir. HAD analizi yoluyla, sayacın giriş kısmındaki T bükümlerinin akış profillerinde ciddi bozulmalara neden olabileceği gösterilmiştir. Hem giriş kısmının boru geometrisinin hem de giriş başlığının kendisinin geometrisinin akış ölçerlerdeki akış profilini etkileyebileceği gösterilmiştir. Geometrinin hangi kısımlarının farklı etkilere neden olduğunu araştırmak için boruların çeşitli varyantları analiz edilmiştir. Simülasyonlarda üç farklı geometri kullanılmıştır:

- Akış düzenleyici olamadan, T bükümler yerine normal 90° dirsekler,
- T-bükümlü, akış düzenleyici olamadan ölçüm istasyonu geometrisi
- T-bükümlü ve akış düzenleyicili ölçüm istasyonu geometrisi

Kolektörü ve ölçüm çalışmasını birleştiren T bükümün, akışta önemli bozulmalar meydana getirdiği görülmüştür. Bu çalışma, asimetrik eksenel akış profillerini, geriye doğru akan devridaim bölgelerini ve boru kesiti üzerinde dönüşe (girdap) sahip enine akış profillerini içermektedir. T bükümleri olan ancak akış düzenleyici olmayan ölçüm istasyonu geometrisini kullanılarak elde edilen sonuçlar, ölçümlere kıyasla tahmini girdap ve çapraz akış için makul ancak biraz yüksek değerler vermektedir. Akış düzenleyicinin dahil edildiği simülasyonlar, ölçümlere kıyasla çok küçük girdap ve çapraz akış sonuçları vermektedir. Elde edilen sonuçlar, akış düzenleyiciden geçen akış için yapılan HAD simülasyonu üzerinde daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. HAD ve ölçümler arasındaki sapmanın bir nedeni akışın çok güçlü bir

türbülansla sahip olmasına neden olan akış düzenleyici plaka için sayısal modelin oluşturulması ile bulunabilir. Fakat, düzenleyici plakadan çıkan jetler çok erken dağılmaktadır. Bu sonuçlar, HAD çalışmasında kullanılan türbülans modeline de bağlı olabilir. Bu bölgede sayısal modelin nasıl geliştirilebileceğini üzerine daha fazla çalışma yapılmalıdır. Sapmanın ikinci bir nedeni ise HAD simülasyonlarının zamandan bağımsız (veya zaman ortalamalı) akış için yapılmış olması olabilir. Akışta gözlemlenen kararsızlıkları çözmek için, daha sonraki simülasyonlarda geçici bir HAD kurulumu kullanılmalıdır. Bu durum, T bükümlerdeki ve akış düzenleyicilerdeki devridaim bölgelerindeki herhangi bir titreşim sorununu çözecektir [11].

Yong Chen, Yiyong Huang ve Xiaoqian Chen **üniform viskoz akışta ses dalgası yayılımı ve ultrasonik sayaç için yeni tasarım metodolojisi** isimli yayınladıkları makalede viskoz akışkanın hidrodinamiğine dayalı olarak, düzgün akış profili ile dalga yayılımını matematiksel olarak modellemiş ve ilk olarak potansiyel teori kullanılarak viskoz akışkan için yeni bir çözüm sunmuşlardır. Daha sonra, çok tonlu geniş şerit stratejisi ile integral belirsizliği ve faz kilit döngüsü izleme yöntemi kullanılarak fraksiyonel faz kayması çözülüp yüksek ölçüm aralığı ve doğruluğunun ayrı ayrı sağlandığı yeni bir ultrasonik akış ölçer tasarım metodolojisi önerilmiştir. Sonuç olarak akış viskozitesi, geçiş süresi yönteminin faz hızı, zayıflama ve ölçüm performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Her modun faz hızı, akışkan viskozitesi arttıkça doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte, zayıflama belirli bir akma noktasında aşırı bir değere ulaşmaktadır. Daha düşük viskozite için, geçiş süresi performansı ve geleneksel yöntemler verimsiz kalmakta ve akış ölçerin kalibrasyonu gerekmektedir. Daha yüksek viskozite için geçiş süresi ve bu çalışmada önerilen yöntem verimli sonuçlar vermemektedir. Olası bir çözüm olarak ultrasonik dalgaının frekansı azaltılabilir. Ayrıca, üniform akışlı viskoz akışkanda dalga yayılımının, her dalga modunun faz hızının akışkan viskozitesinin artmasıyla doğrusal olmayan bir şekilde arttığı ve akma noktasındaki zayıflamanın aşırı bir değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak, önerilen ve geçiş süresi akış ölçer de dahil olmak üzere, viskozitenin ultrasonik akış ölçerin performansı üzerindeki etkisi tartışılmış ve akışkan viskozitesinin ölçüm performansını düşürdüğü ve viskozitenin etkisini düzeltmek için kalibrasyonun gerekli olduğu gösterilmiştir [12].

3. BÖLÜM

YAPILAN TASARIMLAR.

Bu çalışmada gerek yüksek debilerde gerekse düşük debilerde yüksek ölçüm hassasiyetine sahip ultrasonik ısı sayacı tasarımı yapılacaktır. Yapılan tüm UIS tasarımları FNF Teknoloji SAN.TİC.A.Ş bünyesinde yapılmıştır. Bazıları üretilmiş ve test edilmiştir. Firma Bünyesinde üretilen mevcut DN15 çaplı ultrasonik ısı sayacının (şekil 9) ölçüm hassasiyetinin yeterli olmaması hem düşük su debilerinde hem de yüksek debilerde hata oralarının yüksek olması ve bu hataların sayaç gövde tasarımıdan kaynaklanması nedeniyle yeni UIS gövde tasarım çalışmaları yapılmıştır.

3.1. FNF Teknoloji

FNF Teknoloji 2014 yılından itibaren ısı sayaçları, su sayaçları ve bunların uzaktan okuma sistemlerini geliştiren Kayseri Organize Sanayi bölgesinde üretim yapan, alanında öncü firmalardadır. Firmada DN15-DN200 kadar ısı sayacı üretimi yapılmaktadır. Firmanın vizyonu müşteri memnuniyetini ön planda tutarak, teknolojik gelişmeler ışığında, kaliteden ödün vermeden yerli ve milli ürünler geliştirip, dinamik bir çalışma ruhuyla iç ve dış piyasada daha kaliteli ürünler üretebilmektir. Ürün ve hizmet kalitesini inovatif yaklaşımlarla geliştirerek müşterilerin talep ve beklentilerini en üst seviyede karşılamaktır. Kalite ve fiyat dengesini sağlayarak her kesim için ulaşılabilir ürünleri piyasaya sunmaktır. Uluslararası pazarda söz sahibi olarak ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır. Enerji verimliliğine yönelik, doğa dostu akıllı sayaçlar geliştirmektir [14].

3.2. Tasarım 1

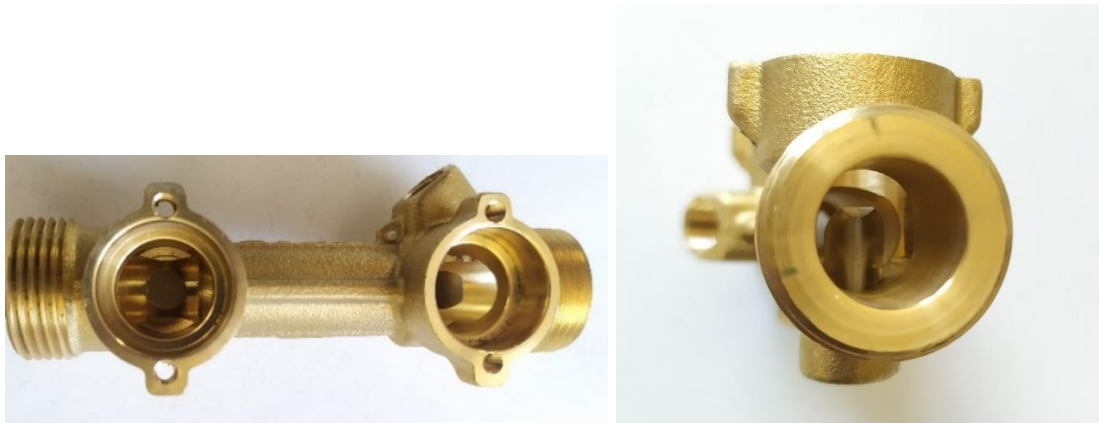
Şekil 9'da yer alan sayaç gövdesi FNF teknoloji firmasında ilk kullanılan DN15 çaplı ultrasonik ısı sayacı gövdesidir. Nominal debisi 1,5 m³/h, minimum debisi 0,03 m³/h,

gövdenin giriş çapı 20 mm ölçüm kanalına daralma açısı 45° , ölçüm kanalı çapı 10 mm'dir. Bu gövde tasarımı yeni üretilecek UIS için gerekli olan $0,006 \text{ m}^3/\text{h}$, debide ölçüm yapamamakta ve yüksek debilerde de ölçüm doğruluğu istenen hassasiyete ulaşmamaktadır. Bu kadar düşük debide ölçüm yapmak için mevcut tasarım modifiye edilerek sayaç gövdesinin giriş çapı ve ölçüm kanalı çapı düşürülmüştür. Giriş çapı 17 mm, ölçüm kanalı çapı 8 mm düşürülmüştür. Şekil 10'da gösterilen bu yeni gövde (tasarım 1) düşük debide ölçüm yapabildiyse de yüksek debilerde ölçüm hatalarının yükseldiği görülmüştür.

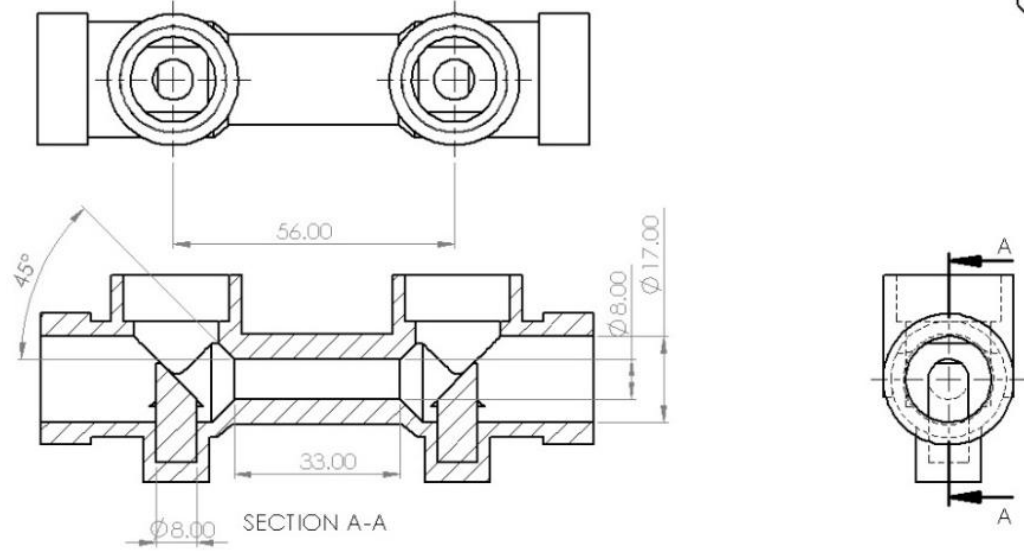
UIS gövde pirinç malzemeden yapılmış ve içinde ses dalgalarını yansıtmak için çapı 8 mm, merkezleri arasında mesafe 56 mm olan iki adet paslanmaz krom 303 malzemeden olan pimler kullanılmıştır. Yansıtıcıların üst kısmında iki adet ses dalgaları üreten UAS bulunmaktadır. Sayaç gövdesi içinde akışı bozan esas neden yansıtıcılardır. Daha detaylı tasarım ölçüleri şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 9. FNF teknoloji dn 15 UIS gövdesi



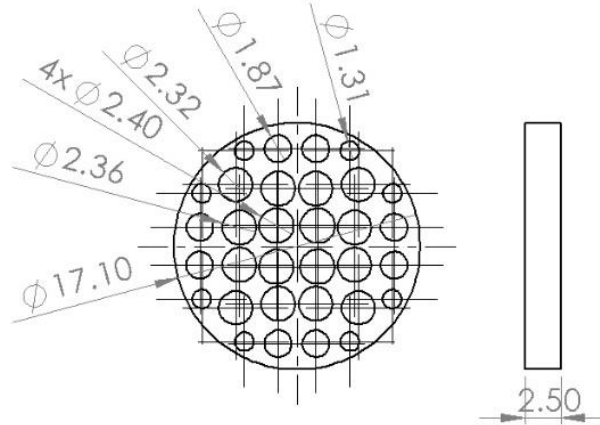
Şekil 10. Tasarım 1 DN 15 UIS gövdesi



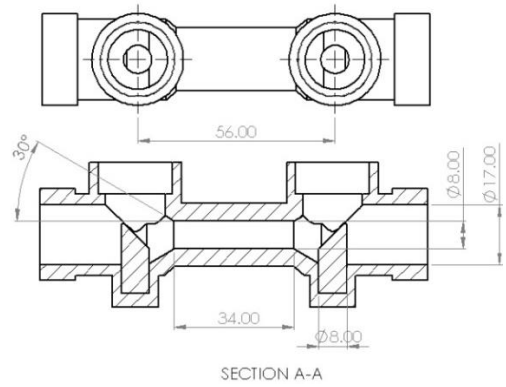
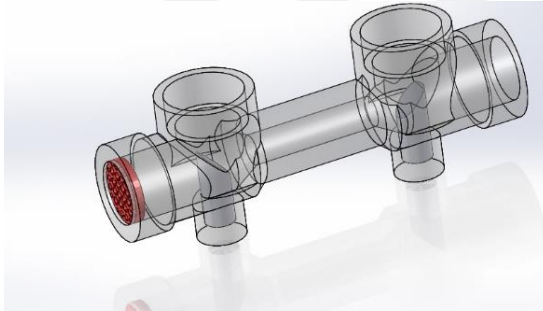
Şekil 11. Tasarım 1 teknik resmi

3.3. Tasarım 2

Firmada yendiden modfiye edilerek tasarlanan tasarım 1 nominal debide çalışırken türbülanslı akıştan dolayı hata oranların artmasının üzerine yeni bir tasarım gerekti. Aynı tasarım üzerinde değişiklik yaparak tasarım 2 yapılmıştır. Sayacın üç boyutlu modeli oluşturulduktan sonra akış analizi yapılmıştır. Gövdenin giriş çapı ve ölçüm kanalı çapı aynı tutularak (17mm / 8 mm) ölçüm kanalına daralma çapı 30° yapılmıştır. Ölçüm kanalına giriş açısının küçülmesinin nedeni akışın kanal daralmasından daha az etkilenmesidir. Tesisat bağlantılarının kaynaklanan akış bozulmalarını düzeltmek için sayacın girişine akış şartlandırıcı (AŞ) tasarlanmıştır (şekil 12). AŞ hem girdapların giderilmesinde ve hız prolinin düzeltilmesinde etkilidir. Tasarım 2' de de ses dalgalarını yansıtmak için aynı şekilde 8 mm çapında pslanmaz krom 303 malzemeden yapılmış yansıtıcılar kullanılmaktadır. Yansıtıcıların merkezleri arası mesafe 56 mm. Daha detaylı ölçüleri ve teknik resmi şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 12. Tasarım 2 için Akış şartlandırıcı



Şekil 13. Tasarım 2 üç boyutlu modeli ve teknik resmi

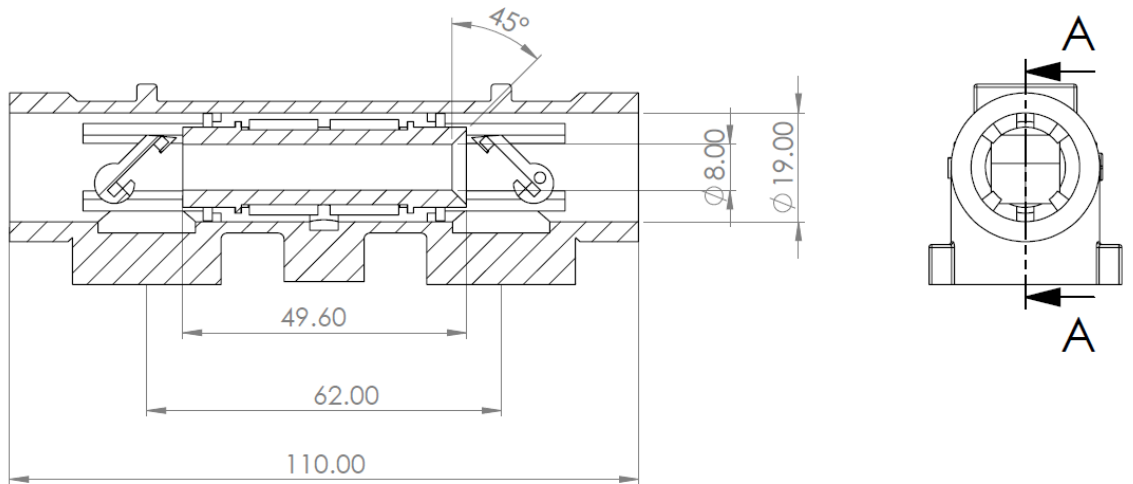
3.4. Tasarım 3

FNF teknolojide kullanılan diğer bir model ise tasarım 3'tür. Bu model diğer tasarımlardan farklı bir geometriye sahiptir. UIS gövde olan bu tasarım 3 parçadan oluşmaktadır. Metal kanal kısmı, ölçüm alanı olan plastik kanal ve bu kanalı metal gövde içinde kalmasını sağlayan diğer plastik tutucu kısımdır. Tasarım 3 ün benzerleri yurt dışında da kullanılmaktadır (şekil 13). Yapılan tasarımda pirinç gövde iç çapı 19 mm, iç kısmındaki plastik tutucunun dış çapı 19 mm ve ölçüm alanı olan plastik kanalın iç çapı 8 mm ve daralma açısı 30° dir. Bu tasarımın önemli farklarında biri yansıtıcı aynalar olarak metal çubuk kullanılmamasıdır. Bunun yerine gövde içinde yansıtıcı olarak plastik tutucuda üzerine 1,5 mm kalınlığında paslanmaz 304 krom sac monte

edilerek tasarlanmıştır (Şekil 14). Yansıtıcılar arası mesafe 62 mm olup bu tasarımın önceliklerden ayıran önemli bir özelliğidir. Ses dalgası yolunun daha uzun olması daha iyi ölçüm almada avantaj sağlamaktadır.



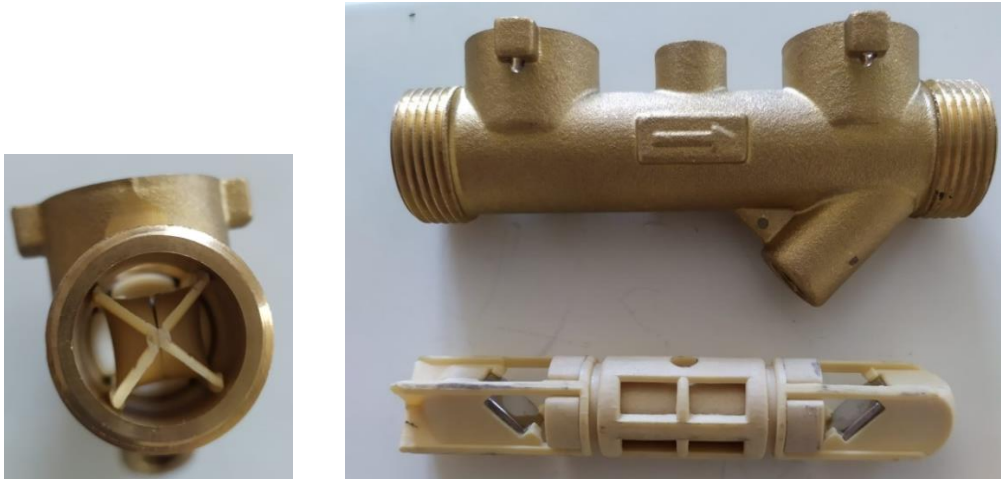
Şekil 14. Tasarım 3 UIS görüntüleri



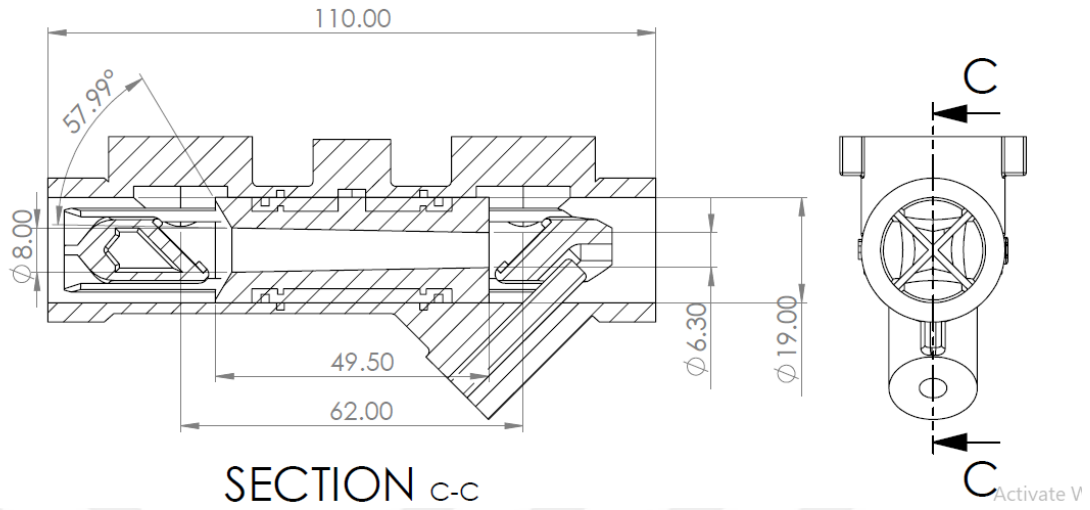
Şekil 15. Tasarım 3 Teknik Resmi

3.5. Tasarım 4

Tasarım 3'ün deney sonuçları nominal debide ($1,5 \text{ m}^3/\text{h}$) makul sonuçlar verse de yine de istenilen düşük debide ($0,06 \text{ m}^3/\text{h}$) hata oranlarının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun üzerine tamamen FNF Teknolojide tasarladığımız tasarım 4 (şekil 15) bir önceki tasarıma benzemekte ancak iç plastik ve dış metal gövde geometrisi tamamen farklıdır. Tüm akış analizleri inceledikten sonra prototipi yapılmış ve deney sonuçları da analizlerde olduğu gibi iyi sonuçlar vermiştir. Bu UIS gövdesi tasarımıyla sayaç istenen minimum debide de ($0,06 \text{ m}^3/\text{h}$) hassas ölçüm yapmaktadır. Plastik tutucu iç parçanın ön kısmının aerodinamik tasarımı akış bozulmalarını ve hız profilini düzeltecek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla yüksek debilerde de daha iyi ölçüm yapmaktadır. Tasarım 2 ve tasarım1'de olduğu gibi yansıtıcı olarak metal çubuklar kullanılmamıştır. Bu yöntemle gövde içinde akışı bozacak etkenler aradan kaldırılmıştır. Ses dalgalarının yansıtılması, plastik iç parçanın kendisi üzerine yansıtıcı olarak krom sac monte edilerek sağlanmıştır. Yansıtıcılar merkezleri arası mesafe 62 mm olup bu da önceki tasarımlara göre daha uzun ses yolu sağlayarak ölçüm hassasiyetini pozitif yönde etkilemektedir. Sayacın daha detaylı ölçüleri ve teknik resmi şekil 16 de verilmiştir. Tüm tasarımların özellikleri Tablo 2'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 16. Tasarım 4 UIS resimleri



Şekil 17. Tasarım 4 teknik resmi

Tablo 2.Yapılan tasarımların karşılaştırılması

	Tasarım 1	Tasarım 2	Tasarım 3	Tasarım 4
Giriş çapı (mm)	17	17	19	19
Ölçüm kanalı çapı (mm)	8	8	8	8 den 6,5' a küçülür
Daralma derecesi	45	30	45	
Yansıtıcılar arası mesafe (mm)	56	56	62	62
Tipi	8 mm metal pim yansıtıcılı	8 mm metal pim yansıtıcılı	Plastik iç aksamalar	Plastik iç aksamalar
Akış düzenleyici	Yok	Var	Yok	Kendi aerodinamik yapısında

4. BÖLÜM

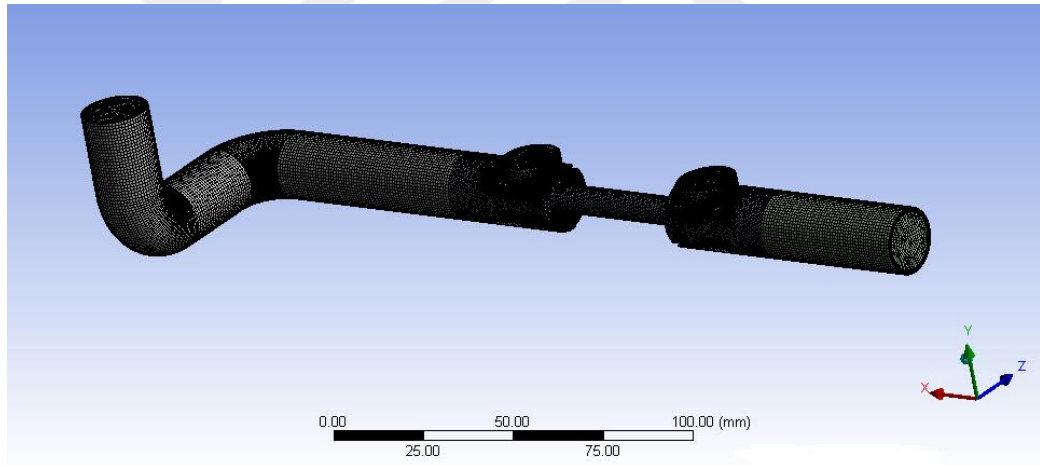
SAYISAL MODELLEME

Ultrasonik akış ölçerler doğruluk, yüksek hassasiyet, tekrarlanabilirlik, geniş ölçüm aralığı, basit çalışma mantığı, kolay montaj ve diğer avantajlarından dolayı birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu sayaçların doğruluğu borulardaki çap değişikliği, dirsekler, vanalar v.b. gibi tesisat bağlantı elamanlarından kaynaklanan farklı giriş koşullarından etkilenmektedir. Bu tezde tasarımı yaptığımız UIS gövdesi olan bu tip sayaçlar da gövde iç geometrisinden kaynaklanan akış bozulmasından da etkilenmektedir. Bu nedenle, ultrasonic sayaçların doğruluğu üzerine pek çok araştırma, makale, deneysel yöntem ve çalışmalar yapılmıştır.

FNF Teknoloji bünyesinde tasarladığımız UIS gövdesinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak akış analizleri yapılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği sayısal çözüm yöntemlerinin bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle karmaşık akış problemlerinin çözülmesi için kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Gelişmiş HAD paket programları akış problemlerini sayısal yöntemler ve algoritmalar kullanarak, gerçeğe yakın bir şekilde çözmek mümkün olmaktadır. HAD analizleri tasarım sürecinde zaman ve parasal açıdan tasarruf etmek için büyük avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle veri toplamak için geleneksel testlere kıyasla daha ucuz ve daha hızlıdır. Ayrıca gerçek testlerde ve deneylerde sınırlı sayıda ölçüm deney yapabiliyorken HAD analizleri bize istenen miktarda aynı anda farklı çalışma şartlarında ve tasarımlarda daha kısa sürede analiz yapma imkânı vermektedir. HAD analizleri sadece gerçek bir fiziksel çözüme yaklaştığı için bu analizler fiziksel deneylerden tamamen bağımsız olarak ele alınmamalıdır. Analizleri doğrulama amaçlı deneysel verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Burada sunulan tüm analizler Ansys Fluent paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca HAD analizleri için sayısal yöntemler, ağ oluşturma ve sınır koşulları

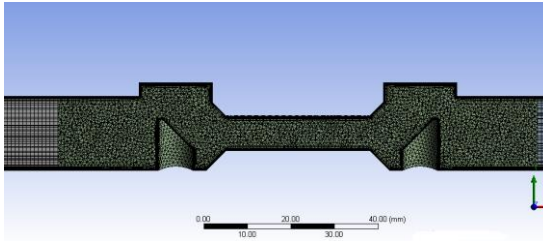
açıklanmaktadır. HAD analizleri sayaç gövdelerinde akışı görselleştirerek tesisat bağlantılarının ve gövde geometrisinin etkileri, akıştaki girdaplar, akış dönmeleri, hız dağılımı, hız profili, akım çizgileri, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans şiddeti gibi verileri elde ederek yeni tasarlanan gövdeleri kıyaslamak için kullanılmıştır. Türbülanslı akış oluşturmak için üç boyutlu modelde sayacın önüne çift 90 dereceli dirsek ve 3D uzunluğunda düz boru modellenmiştir (Şekil 17). Tesisatlarda ve boru sistemlerinde dirsekler ve çift dirsekler en yaygın kullanılan boru tertibatlarıdır. Bu boru tertibatları akış profilinde güçlü bozulmalar meydana getirdikleri için birçok sayaç performansı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Tasarım 1’de ağ düğüm sayıları sırasıyla 347.166 ve 791.253 eleman sayıları ise 633.356 olup tasarım 3 ve 4’ de ise düğüm sayısı sırasıyla 1.163.299 ve 1.936.991 ve eleman sayısı ise 2.618.593 ile 5.725.726 olmaktadır (Tablo 3). Ağ kaliteleri kontrol edilip skewness ve ortogonal kalite değerleri yeterli hassasiyeti sağlamak için minimum değerlerin üzerinde tutulmuştur.



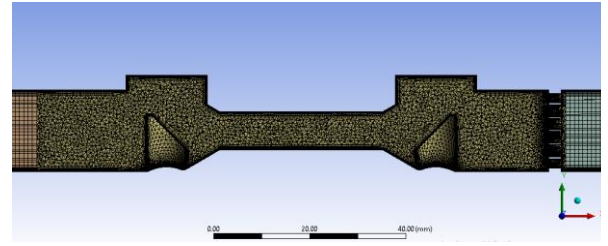
Şekil 18. Ansys Mesh geometrisi

Tablo 3. Ağ detayları

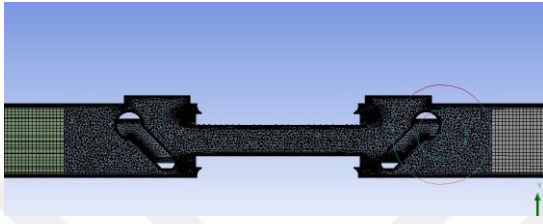
Ağ				
	Düğüm	Elemansayısı	Mesh kalitesi	Ortaganal Quality min
Tasarım 1	347166	633356	0,89	0,11
Tasarım 2	791253	1723001	0,89	0,11
Tasarım 3	1163299	2618593	0,9	0,09
Tasarım 4	1936991	5725726	0,89	0,11
Mesh	Body size	0,9 mm		



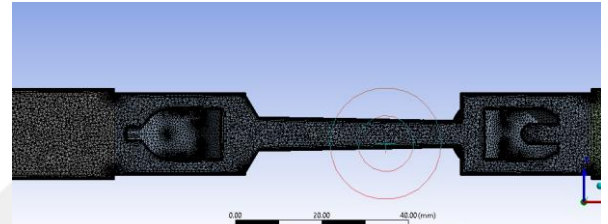
a) Tasarım 1



b) Tasarım 2



c) Tasarım 3



d) Tasarım 4

Şekil 19. Tüm tasarımların ağ şekilleri

Analiz için kullanılan Ansys Fluent paket programında türbülans modeli olarak k-ε realizable modeli seçilmiştir. Her tasarımın aynı sınır şartlarında analizi yapılmıştır. Giriş sınır şartı olarak “velocity inlet” seçilmiş ve girişteki hız 1,83 m/sn olarak seçilmiştir (nominal debi olan 1500 lt/s için). Çıkış sınır şartı olarak “pressure outlet” seçilmiş ve etkin basınç 0,5 MPa olarak ayarlanmıştır. Suyun yoğunluğu 50 derece sıcaklıktaki yoğunluğuna uygun olarak 983,3 kg/m³ ve dinamik viskozitesi ise 0,0047 olarak ayarlanmıştır. Girişte (çap 17 mm) Reynolds sayısı 6.5741,5 türbülans yoğunluğu ise 3,9’dur.

Sonlu hacimler yöntemi ile çalışan programlardan biri olan Fluent programı, workbench ve diğer modelleme programlarından aldığı mesh dosyalarını okuyarak sınır koşullarını uygulamakta ve bu sayede sistemin çözümünü elde etmeye çalışmaktadır. Ansys Fluent paket programı, sistemi çözüme ulaştırmak için altyapısındaki aşağıda bulunan denklemleri kullanır.

Süreklilik denklemi;

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (12)$$

Bu denklem kütle korunumu denkleminin genel halidir ve sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış için kullanılabilir. Burada, S_m terimi akışın ikinci bir faza geçmesi durumunda veya diğer kaynak terimlerini içerebilecek, yani kullanıcı tarafından programa girilebilecek bir bilgi, denklem vb., bir terimdir.

Momentum Korunumu:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla(\vec{T}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (13)$$

ANSYS Fluent'in içerisinde farklı türbülans modelleri mevcuttur. Momentum denkleminde ortaya çıkan türbülans gerilmelerinin hesabı için türbülans modelleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, realizable k-e modeli kullanılmıştır. Bu model standart k-e modelinin bir çeşididir. k-e modeli iki denklemlilik türbülans modelleri arasında, ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve dissipasyon oranı (ϵ) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümünü ve türbülans viskozitesinin hesabını içerir.

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \quad (14)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (15)$$

G_k , ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerjinin oluşumunu temsil eder. G_b , kaldırma kuvveti nedeniyle türbülanslı kinetik enerjinin oluşumudur. Y_M , sıkıştırılabilir türbülanstaki dalgalı genişlemenin genel dağılım hızına katkısını temsil etmektedir. Y_M , dalgalanan genişlemenin sıkıştırılamaz türbülansın genel dağılım dissipasyon oranına katkısını temsil etmektedir.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (16)$$

$$C_{1\epsilon} = 1.44$$

$$C_{2\epsilon} = 1.44$$

$$C_\mu = 0.09$$

$$\sigma_k = 1.0$$

$$\sigma_c = 1.3$$

Realizable $k - \varepsilon$ (RKE) modeli standard k-e modelinin bir çeşididir. Realizable terimi, modelin türbülanslı akışların fiziği ile tutarlı olarak Reynolds gerilmeleri üzerindeki belirli matematiksel kısıtlamaları karşıladığı anlamına gelmektedir.

Normal streslerin pozitifliği: $\overline{u'_i u'_j} > 0$

Reynolds kayma gerilmeleri için "Schwarz" eşitsizliği: $\left(\overline{u'_i u'_j}\right)^2 \leq \overline{u'^2_i} \overline{u'^2_j}$ (17)

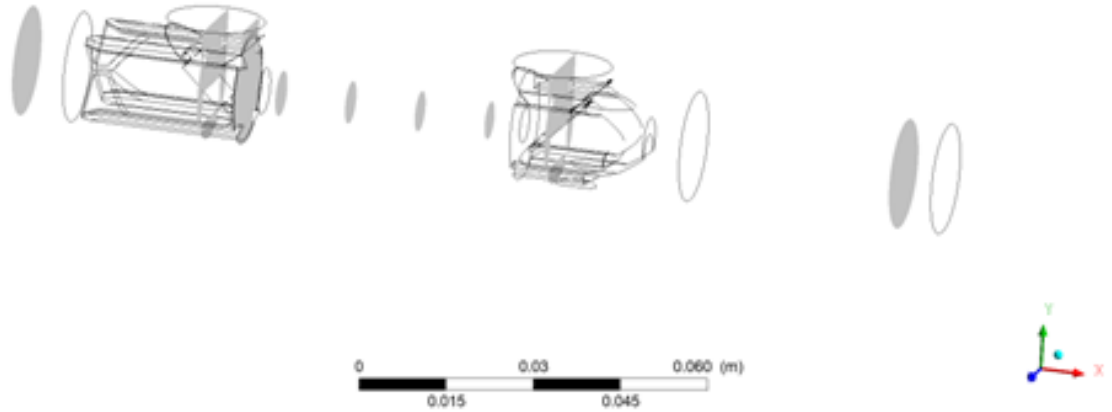
Realizable $k - \varepsilon$ (RKE) modelinin avantajı hem düzlemsel hem de yuvarlak jetlerin yayılma oranını daha doğru bir şekilde tahmin etmesidir. Bu modelin ayrıca, dönüş içeren akışlar, güçlü ters basınç gardiyanları altındaki sınır katmanları, ayırma ve devridaim içeren akışlar için üstün performans sağlaması muhtemeldir.

Realizable k-e modelinin dezavantajı ise hesaplama alanının hem dönen hem de durağan akışkan bölgelerini (örneğin, çoklu referans çerçeveleri, dönen kayan ağlar) olduğu durumlarda türbülanslı viskoziteler üretmesidir. Bunun nedeni, realizable k-e modelinin modelinin türbülans viskozitesinin tanımında ortalama rotasyonun etkilerini içermesidir.

5. BÖLÜM

SONUÇLARIN İNCELENMESİ

Ansys Fluent’de yapılan analizde akış profili, hız dağılımı, akım çizgileri, hız vektörleri, akıştaki girdaplar ve türbülans şiddeti gibi veriler elde edilip incelenmiştir. Bu sonuçları görmek için geometrinin hem XY hem de YZ ekseninde düzlemler eklenmiştir. YZ ekseninde gövdenin ölçüm alanında yansıtıcıların merkezinden itibaren 6 eşit mesafeye bölünerek düzlemler eklenmiştir (şekil 20). Düzlem 1 giriş taraftaki yansıtıcının merkezinde, düzlem 6 ise çıkış taraftaki yansıtıcının merkezinden geçmektedir. Basınç düşüşünü ölçmek için ise gövdenin giriş ve çıkışına da YZ ekseninde düzlem eklenmiştir.

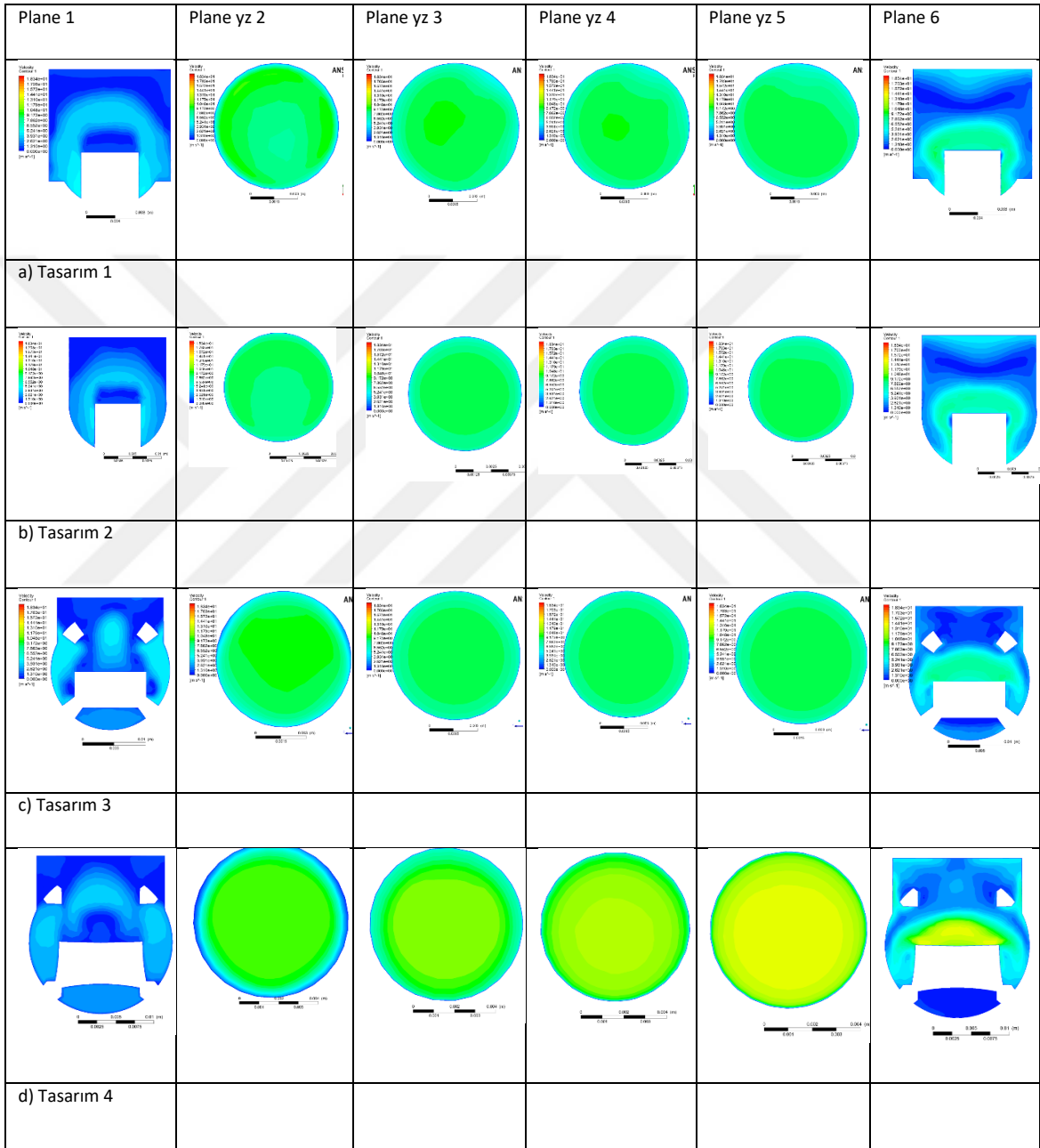


Şekil 20. YZ ekseninde düzlemler

5.1. Hız dağılımı

Sayacın ölçüm alanında hız dağılımının gövdenin merkezine göre simetrik olması istenmektedir. Aşağıdaki resimlerde her bir tasarım için YZ eksenindeki düzlemlerde hız dağılımları gösterilmiştir (Şekil 21 a). Tasarım 1’de simetrik olmayan hız dağılımı görülmektedir. Düzlem 1 sayacın giriş kısmında yansıtıcının tam merkezine denk

gelmektedir. Burası tasarım 1'in yansıtıcı engelinden dolayı hız dağılımı simetrisini bozulduğu yerdir. Düzlem 2 yansıtıcıdan hemen sonra eklediğimiz düzlemdir. Burada bu akış bozulmasının etkisi görülmektedir. Çıkıştaki yansıtıcıya kadar olan diğer düzlemlerde de hala simetrik olmayan hız dağılımını görülmektedir.



Şekil 21. YZ ekseninde düzlemlerde hız dağılımı. Düzlem 1'den 6'ya soldan sağa

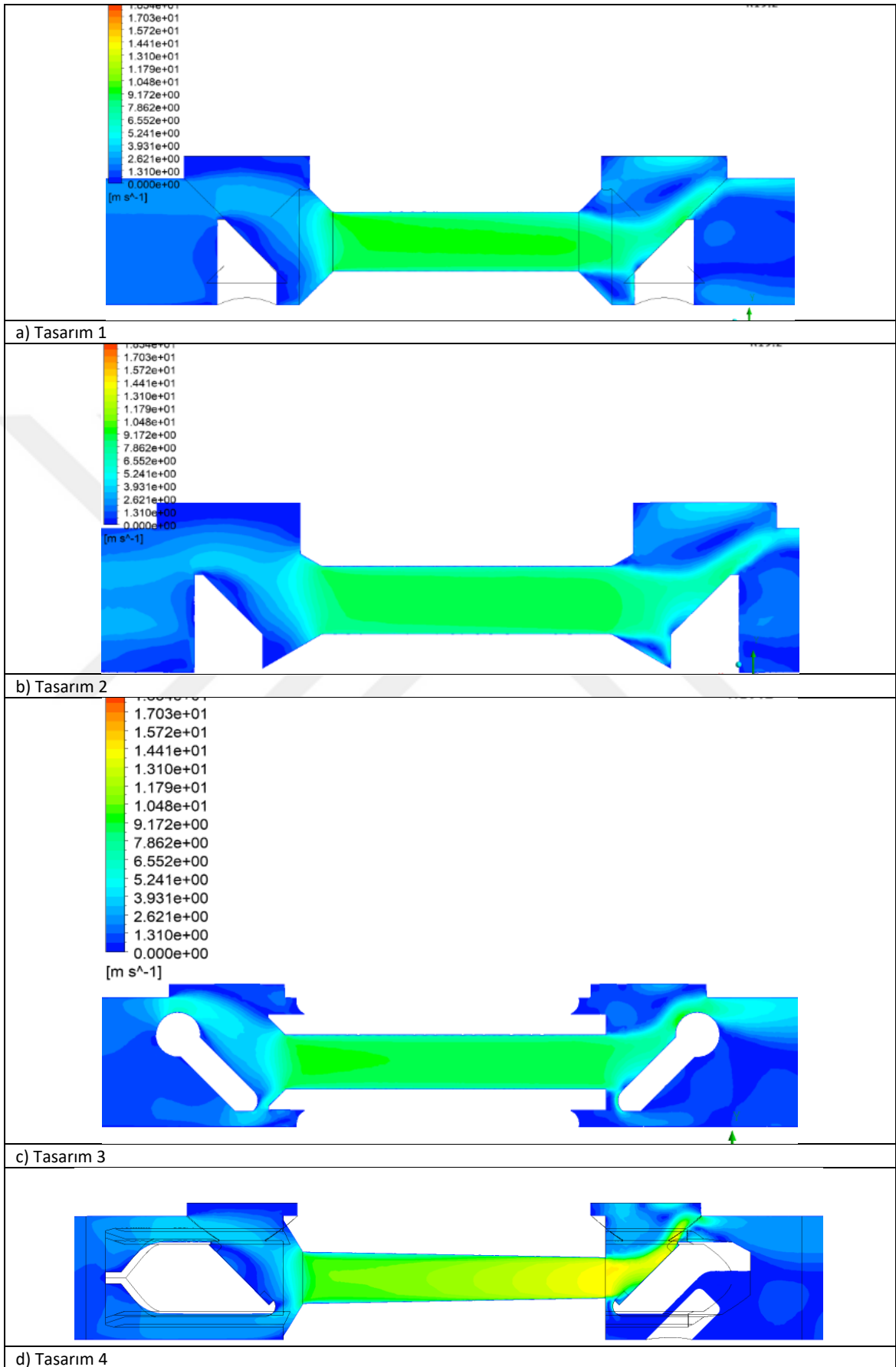
Şekil 21 b'de tasarım 2 için YZ eksenindeki düzlemde hız dağılımları incelendiğinde tasarım 1'e göre tasarım 2'nin hız dağılımının tasarım 1'e göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bu tasarımda neredeyse simetrik hız dağılımı oluşmaktadır. Her iki

tasarımda da girişteki yansıtıcı merkezinden geçen düzlem 1'deki hız profili beklenildiği gibi yansıtıcıdan dolayı bozulmaktadır. Bu bozulmanın etkisiyle yansıtıcıdan hemen sonraki düzlem 2'de hız dağılımının simetrik olmadığı görülmektedir. Düzlem 3'ten sonra hız dağılımı tasarım1'den daha iyi sonuç göstererek daha simetrik hız dağılımına ulaşmıştır.

Tasarım 3 ve 4'ün geometrisi önceki tasarımlardan farklıdır. Bu tasarımlarda yansıtıcı pimlerin kullanılmaması ve iç aksamının geometrik yapısı akışkan akımlarını en az etkileyecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarım 3'ün YZ eksenindeki düzlemlerindeki hız dağılımı (şekil 21 c) inceliginde önceki tasarımlara göre daha gelişmiş bir akış görülmektedir. Yansıtıcıdan hemen sonraki düzlem olan düzlem 2 de tam simetrik bir hız dağılımı oluşmamaktadır. Yalnız tasarım 1 ve 2' ye göre daha iyi simetrik bir hız dağılıma sahiptir. Çıkış yansıtıcıya kadar olan diğer düzlemlerde simetrik bir hız dağılımı görülmektedir.

Tasarım 4 tasarım 3'e benzemektedir. Fakat iç plastik parçaların geometrisi önceki tasarımdan farklıdır. Giriş kısmının akış düzenleyici geometriye sahip olması ve akış alanı tüpünün 8 mm çapından başlayıp daralarak 6 mm'ye düşmesi en önemli farklarından. Giriş geometrisi gereği yansıtıcı alanın akışı en az seviyede etkilemekte ve tesisat bağlantı elmalardan kaynaklı akış bozulmalarını da düzeltmektedir. Bu etkiler hız dağılımı görsellerini incelendiğinde görülmektedir. YZ ekseninde eklenen düzlemler (şekil 21 d) incelendiğinde ölçüm alanında olan her üç düzlemde de simetrik hız dağılımının olduğu görülmektedir. Yansıtıcıdan hemen sonraki düzlemde bile hız dağılımı simetrik olup en iyi hız dağılımı sonucu tasarım 4'te elde edilmiştir.

XY eksenindeki gövdenin merkezinden geçen düzlemde hız dağılımı görüntüsü Şekil 22' de gösterilmiştir. Şekil 22. a' da tasarım 1 in hız dağılımı görülmekte olup, hız dağılımının giriş yansıtıcın üzerinde devri daim (türbülans) bölgesinin olduğu olduğu ve bunun etkisinin çıkışa kadar devam ettiği görülmektedir. Şekil 22. b' da tasarım 2'n in hız dağılımı görülmekte olup, girişte yansıtıcın üst ve ön kısımlarında kopma bölgesinin olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki ve ölçüm kanalındaki türbülans etkilerinin tasarım 1'den daha az olduğu görülmektedir.



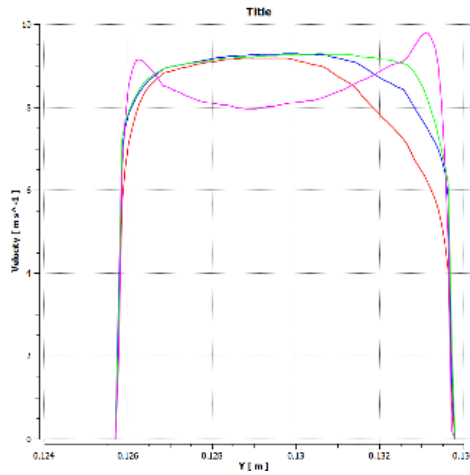
Şekil 22. XY düzlemi hız dağılımları

Tasarım 3'ün XY düzlemindeki hız dağılımı (şekil 22 c) incelendiğinde, akış ölçüm kanalı boyunca nerdeyse simetrik bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Giriş yansıtıcının ön ve üst kısımlarında hızın tasarım 1 ve 2'ye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Tasarım 4'ün XY ekseninde (şekil 22 d) boru merkezinden geçen düzlemdaki hız dağılımı incelendiğinde, tasarım 3'e göre giriş ve çıkıştaki hız farkının daha düşük olduğu görülmektedir.

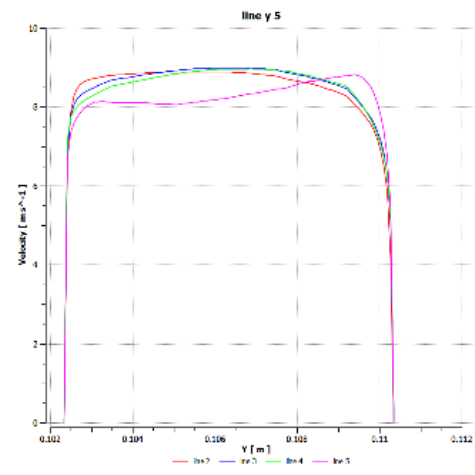
5.2. Hız profili

Farklı boyutlardaki ultrasonik akış ölçerler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, türbülansın aslında ölçüm sinyalindeki dalgalanmaların ana kaynağı olduğu görüşünü desteklemektedir. Bu dalgalanmalar, akış ölçerlerde ölçümleri doğrudan olumsuz etkilemektedir. Isı sayaçlarının kullanıldığı tesisat bağlantı yerleri dikkate alındığında, sayaç girişinde akışın tam gelişmiş akış profilinde olmadığı görülmektedir. Bu nedenle akışta türbülans dalgalanmalarını görmek için hız dağılımları, vektörleri ve akım çizgileri incelenecektir.

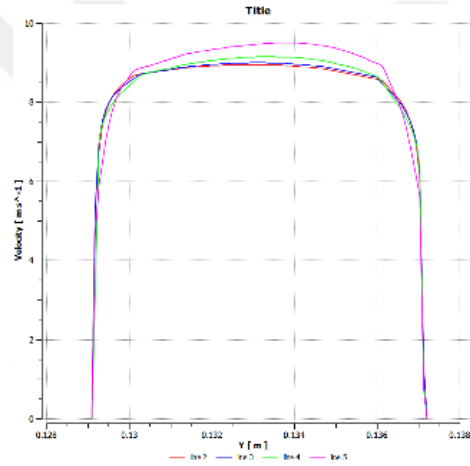
Her tasarım için yz eksenlerine, eklediğimiz düzlemlerin ortasından geçen, y yönünde düz çizgiler atanmıştır. Bu çizgiler üzerindeki noktalardan elde edilen veriler vasıtası ile hız profilleri oluşturulmuştur (Şekil 23). Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi ultrasonik sayaçlarda akıştaki türbülans dalgalanmaları ses dalgalarının yolunu saptırarak ölçüm hatalarına neden olmaktadır. Akış ölçümü için boru içindeki türbülanslı akışın hız profilinin laminar akıştakine benzer düzgün dağılımlı akış profili olması istenmektedir. Düzlem 2,3,4 ve 5 teki tasarım 1'in hız profilleri incelendiğinde (şekil 23'a) düzlem 2'de dalgalanmalı hız profili oluşmaktadır. Diğer düzlemlerde de hız profilinin düzgün hız profili olmadığı görülmektedir. Sol cidardan sağ cidara doğru (y ekseninde) hızın arttığı görülmektedir. Tasarım 2'de (şekil 23 b) giriş yansıtıcıdan hemen sonraki düzlem 2'deki hız profilinin dalgalanmalı olduğu fakat diğer düzlemlerde tasarım 1'e göre daha düzgün hız profilinin oluştuğu görülmektedir.



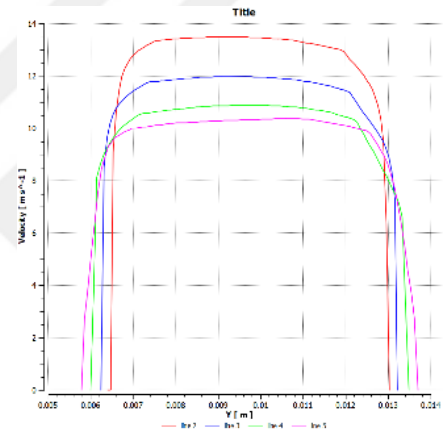
a) Tasarım 1



b) Tasarım 2



c) Tasarım 3



d) Tasarım 4

Şekil 23. Tasarımların hız profili. (düzlem 2 pembe, düzlem 3 yeşil, düzlem 4 mavi, düzlem 5 kırmızı)

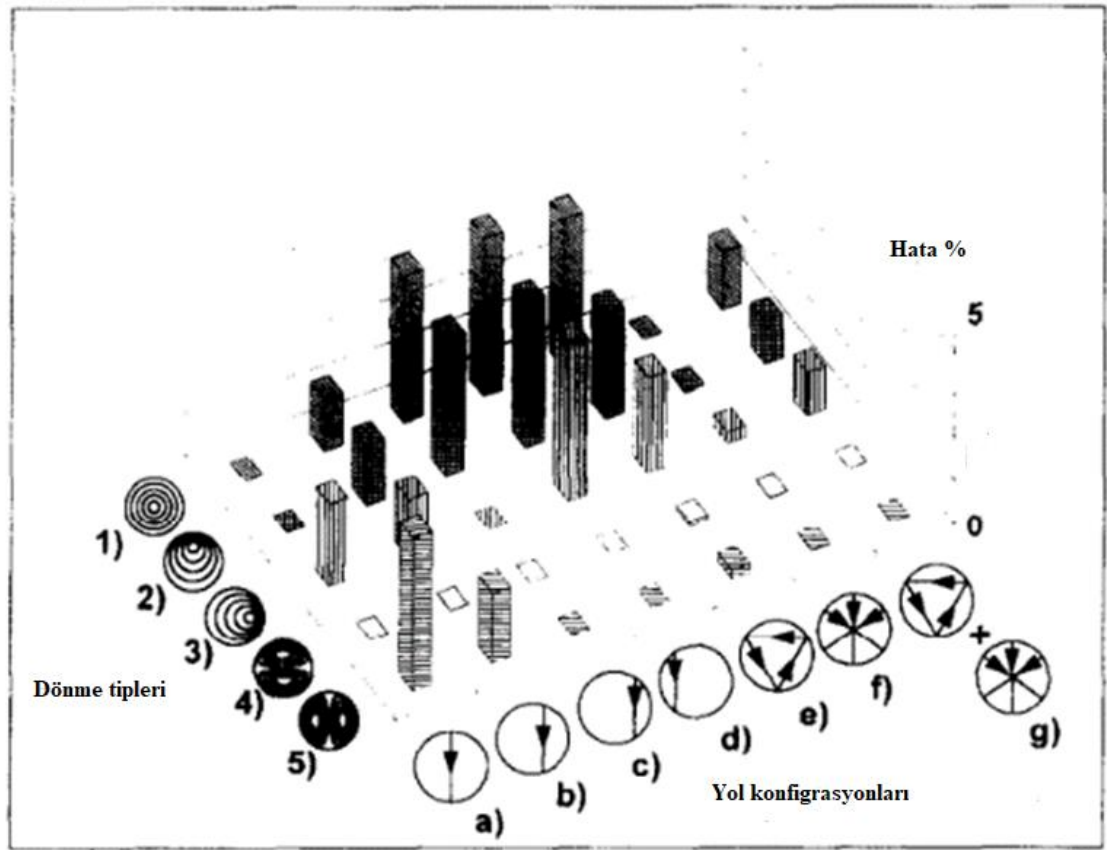
Tasarım 3'te hız profili düzlem 2 ve 3'te y ekseninde artarken düzlem 4 ve 5'te daha düzgündür. Tasarım 4'te ise tüm düzlemlerde daha düzgün bir profil elde edildiği görülmektedir. Çıkışa doğru hızın büyümesinin nedeni kanal giriş çapının çıkışa doğru daralmasıdır.

5.3. Girdap ve akış dönmeleri

Akış dönmesi (Swirl) ve girdaplar türbülanslı akışın ana bileşenleridir ve zamanla değişen akış profilinde öngörülemez bozulmalara istenmeyen vibrasyon ve akışta dengesizliğe neden olabilmektedir. Merkezkaç kuvveti nedeniyle akış profilleri düzleşir ve ardından tersine çevrilir. Akışkan ne kadar sert dönüyorsa, boru duvarlarına o kadar fazla enerji iletilir. Bu durum, ultrasonik sayaçlarda ölçüm hatalarına neden

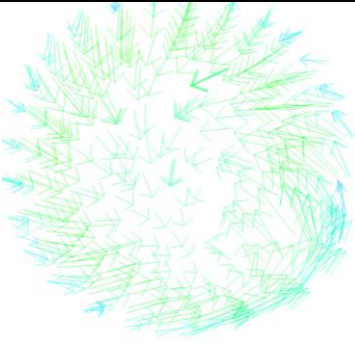
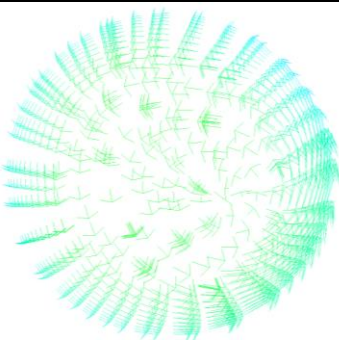
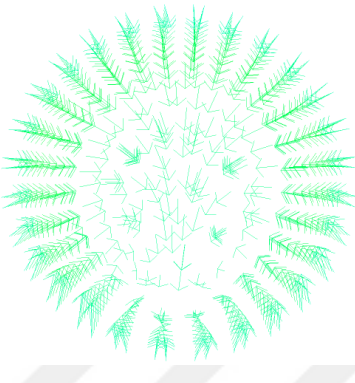
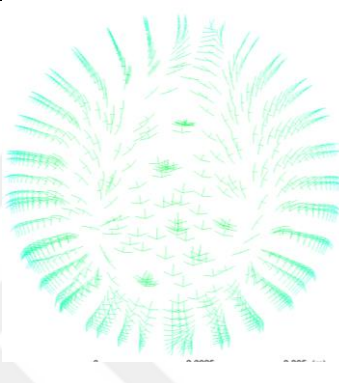
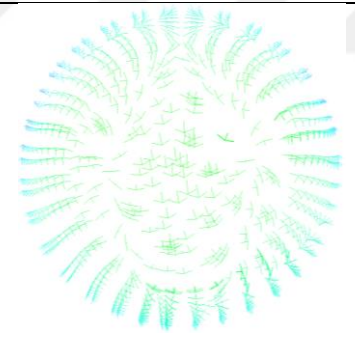
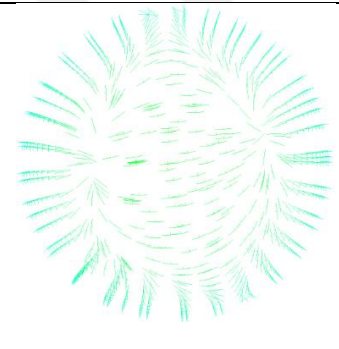
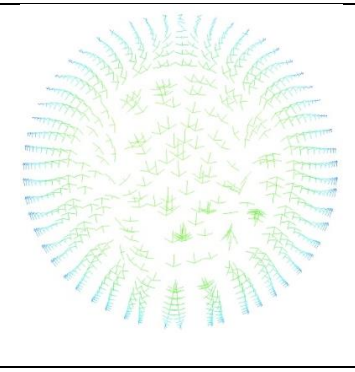
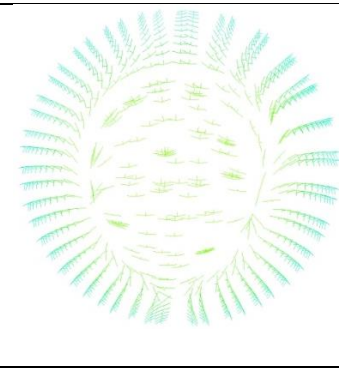
olmaktadır. Akış dönmesi veya akış sapması, borulardaki akış yönündeki değişiklikten (dirsek v.b) ve borunun içindeki kısıtlayıcı elemanlardan kaynaklanır ve akış yönüne paralel olmayan hız bileşenlerinin varlığı ile karakterize edilir. Dönen akışlar, ortalama teğetsel hızın ortalama eksenel hıza bölünmesiyle ölçülür. Ölçüm hatalarından kaçınmak için akışın dönme (swirl) açısının 2° altında olması ve belirli bir boru kesiti üzerindeki herhangi bir noktadaki eksenel hız oranının 100 çap uzunluğundan sonra aynı boruda ölçülen tam gelişmiş akışa karşılık gelen oranının % 5'i içinde olması istenir. Akış dönmelerini gidermek için dirsekler ve vanalar gibi tesisat elemanlarından sonra sayacın girişine kadar en az $5D - 10D$ uzunluğunda düz borular kullanmak gerekebilir. Bunun yanı sıra Standartlarda da belirtildiği gibi $5D-10D$ uzunluğunda düz borular kullanılsa bile akış dönmelerini ve girdapları gidermek, hız profilini düzeltmek için AŞ kullanılması yine de gerekli olabilir. [16]

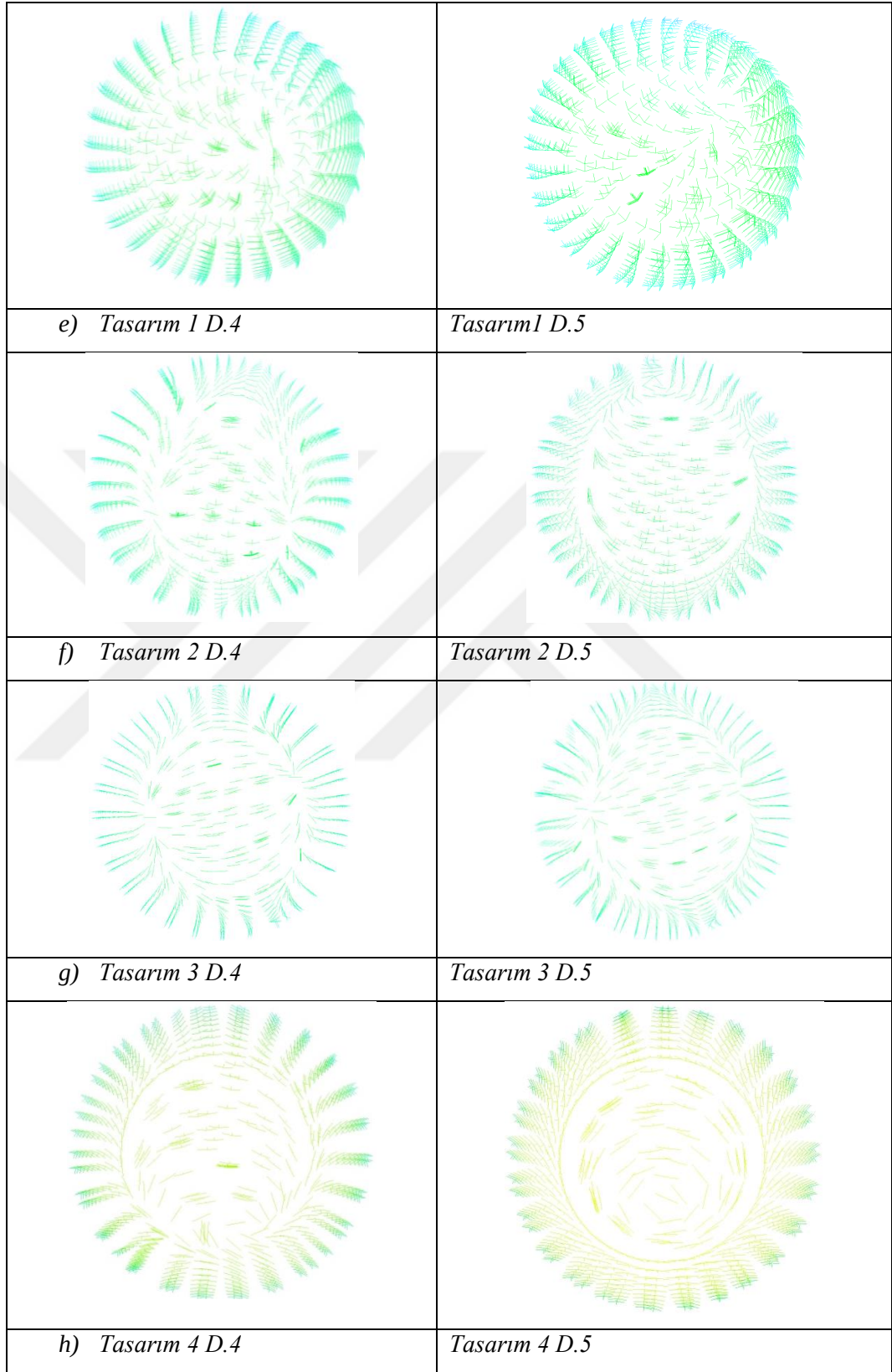
Literatürde yer alan, akış dönmesi ile ilgili olan ve tesisat bağlantı elemanlarının etkilerinin analizini ele alan bir araştırmadan elde edilen sonuçlar Şekil 24'de verilmiştir. Bu diyagramda birinci parametre olarak tipik girdap dağılımları ve ikinci parametre olarak farklı ses dalgası yolu konfigürasyonları gösterilmektedir. Dikey eksen, girdap tipi ve yol konfigürasyonunun bir fonksiyonu olarak hatayı göstermektedir. Şekil 23, girdap yönüne göre ses dalgası yolunun yönünün önemini göstermektedir. Örneğin, boru eksen (yol konfigürasyonu (a)) boyunca tek bir yolu olan bir sayaç, dönme (swirl) tipi 4 için dönme (swirl) tipi 5'ten tamamen farklı bir hata tespit etmektedir. Akış simülasyonundan her iki türün de 90° derecelik bir bükülme ile oluşturulduğu bilinmektedir. Tek yolun (a) bükülme düzlemine montajı, yani dönme (swirl) tipi 5, algılanan akış hızında nispeten yüksek bir hataya yol açacaktır. Bir öncekine dik düzlemde aynı ölçüm cihazının kurulumunun ölçüm cihazının performansı üzerinde neredeyse hiçbir etkisi yoktur (tip 4).



Şekil 24. Akış dönme tipleri [3]

Akış dönmelerini görmek için YZ ekseninde oluşturulan düzlemlerde hız vektörleri gösterilmiştir (şekil 25). Bu düzlemdeki hız vektörleri açıları akış dönmesi (swirl) seviyeleri ile ilgili bilgi vermektedir. Tasarım 1 ve 2 için hız vektörlerin giriş yansıtıcıdan hemen sonra yer alan düzlem 2’de dönme açılarının çok büyük olduğu görülmektedir (şekil 25 a ve b). Tasarım 1 için diğer düzlemler incelendiğinde zaman akış dönme açılarının büyük olduğunu görülmektedir (şekil 25 e). Tasarım 2’de diğer düzlemlerde (şekil 24 b ve f) Tasarım 1’e göre daha küçük dönme açıları görülmektedir. Tasarım 3 için giriş yansıtıcıdan hemen sonra yer alan düzlem 2’de (şekil 25 c) akış dönme açıları büyük olsa da önceki tasarımlara göre daha azdır. Tasarım 3’nin diğer düzlemleri (şekil 25 c ve d) incelendiğinde dönme açılarının çok düşük olduğu görülmektedir. Tasarım 4 için hız vektörleri incelendiğinde (şekil 25 d ve h) tasarım 3 ile yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. En az akış dönmesinin Tasarım 4’te olduğu görülmektedir.

	
a) <i>Tasarım 1 D.2</i>	<i>Tasarım 1 D.3</i>
	
b) <i>Tasarım 2 D.2</i>	<i>Tasarım 2 D.3</i>
	
c) <i>Tasarım 3 D.2</i>	<i>Tasarım 3 D.3</i>
	
d) <i>Tasarım 4 D.2</i>	<i>Tasarım 4 D.3</i>

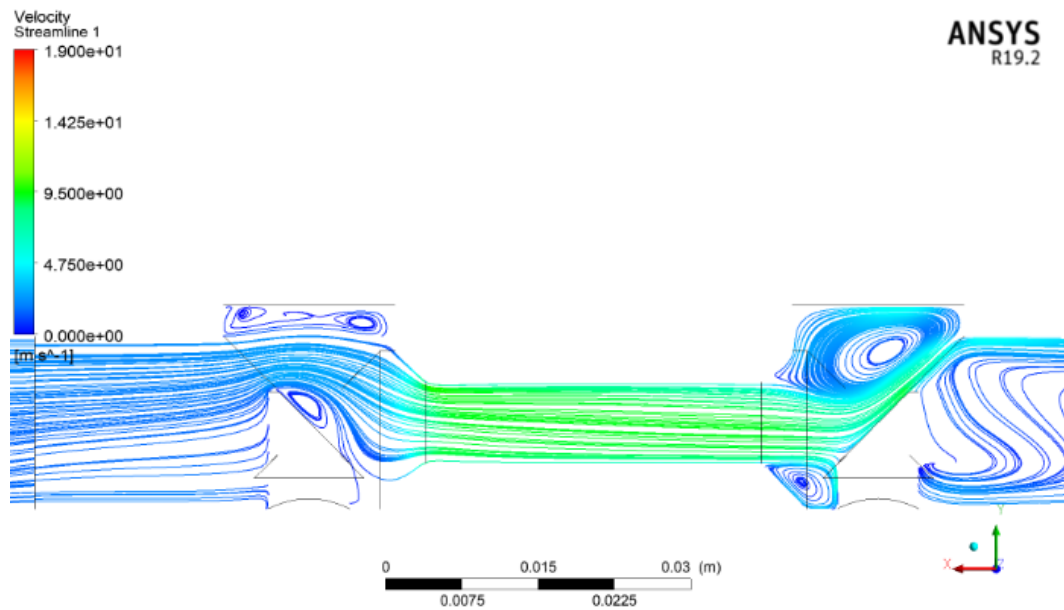


Şekil 25. YZ düzlemindeki hız vektörleri

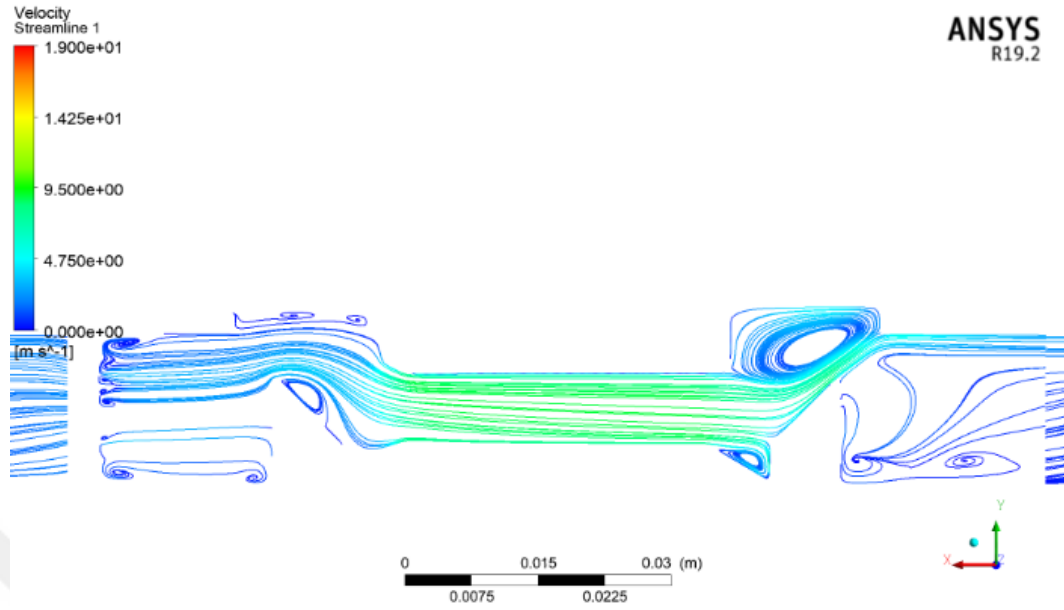
5.4. Akım çizgileri

Akım çizgileri hız vektörlerinin daima teğet olduğu anlık eğrilerdir. İki akım çizgisi arasından geçen debi bu akım çizgileri arasındaki farka eşittir. Akım çizgilerinin sık olduğu yerler hızın arttığı yerlerdir. Akım çizgileri incelenerek akış ayrılmalarını ve devridaim (resirkülasyon) bölgeleri görülebilmektedir (Şekil 26). Devridaim bölgelerinin oluşması sayaç ölçümünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle tasarlanan sayaç gövdelerinde minimum devridaim bölgesi olması istenir.

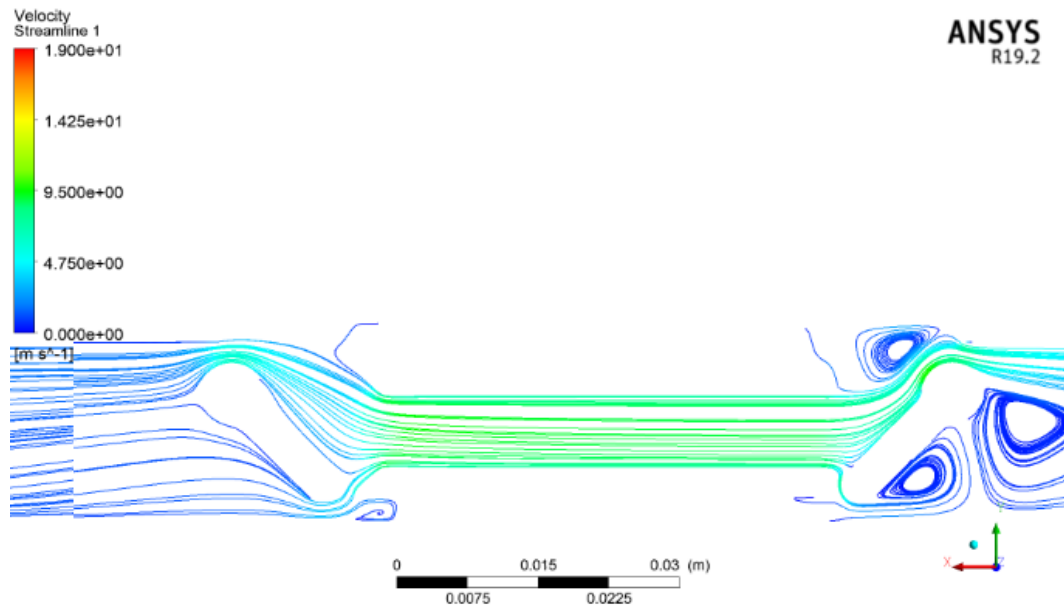
Tasarım 1 için akım çizgileri incelendiğinde (şekil 26 a) giriş yansıtıcın üzerinde devridaim bölgelerinin oluştuğu görülebilir. Tasarım 2’de (şekil 26 b) de giriş yansıtıcın üzerinde devridaim bölgeleri oluşmaktadır. Tasarım 3, geometrisinin farklı olması ve yansıtıcıların akışı daha az bozmasından dolayı bu modelde devridaim bölgesi oluşmamaktadır. Tasarım 4’te ise giriş yansıtıcının üzerinde az seviyede devridaim bölgesi oluşmaktadır.



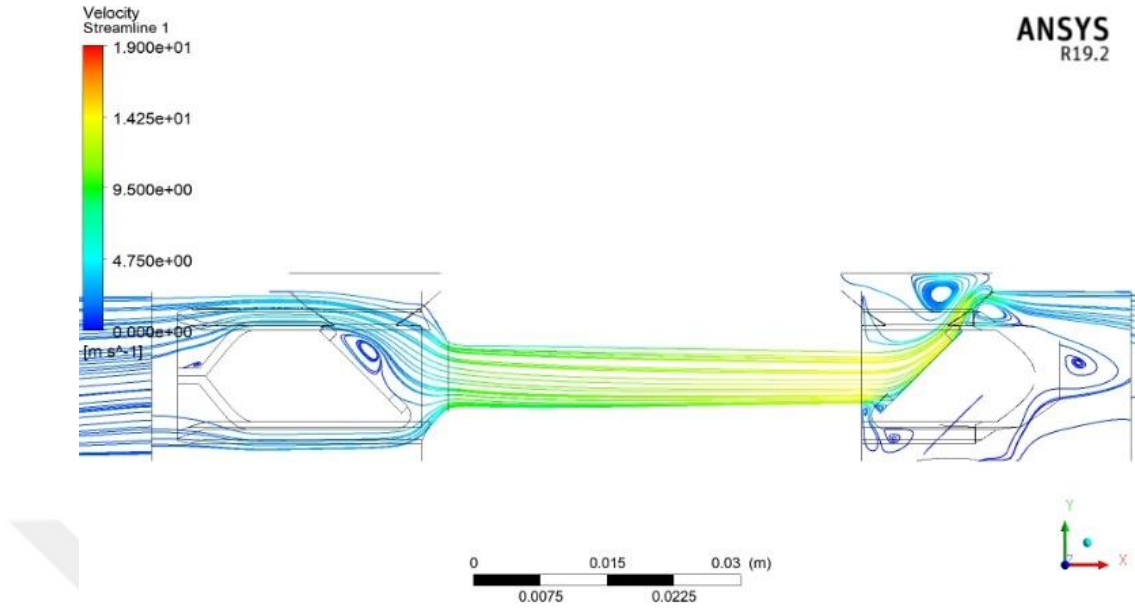
a) Tasarım 1 akım çizgileri



b) Tasarım 1 akım çizgileri



c) Tasarım 3 akım çizgileri



d) Tasarım 4 akım çizgileri

Şekil 26. Akım çizgileri

5.5. Türbülans yoğunluğu (turbulence intensity)

Aşırı Türbülans Seviyeleri Ultrasonik sayaçlarda ölçüm hatalarına neden olmaktadır. Türbülans yoğunluğu (I) ölçüm hatalarının yoğun olduğu akış bölgelerini göstermektedir. Böylece hangi tasarımda türbülans yoğunluğunun daha yüksek olduğu belirlenerek hangi tasarımın daha iyi olduğu hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Aşağıdaki formüller kullanılarak bu çalışmada tasarlanan sayaç gövdeleri içindeki akışta türbülans yoğunluğu hesaplanabilir.

$$I = \frac{u'}{U} \quad (18)$$

Burada u' ve türbülanslı hız dalgalanmalarının (çalkantı) karekök ortalamasıdır ve U ortalama hızı ifade etmektedir.

$$u' = \sqrt{\frac{1}{3}(u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2)} \quad (19)$$

Eğer türbülans kinetik enerjisi (TKE) (k) biliniyor ise u' aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

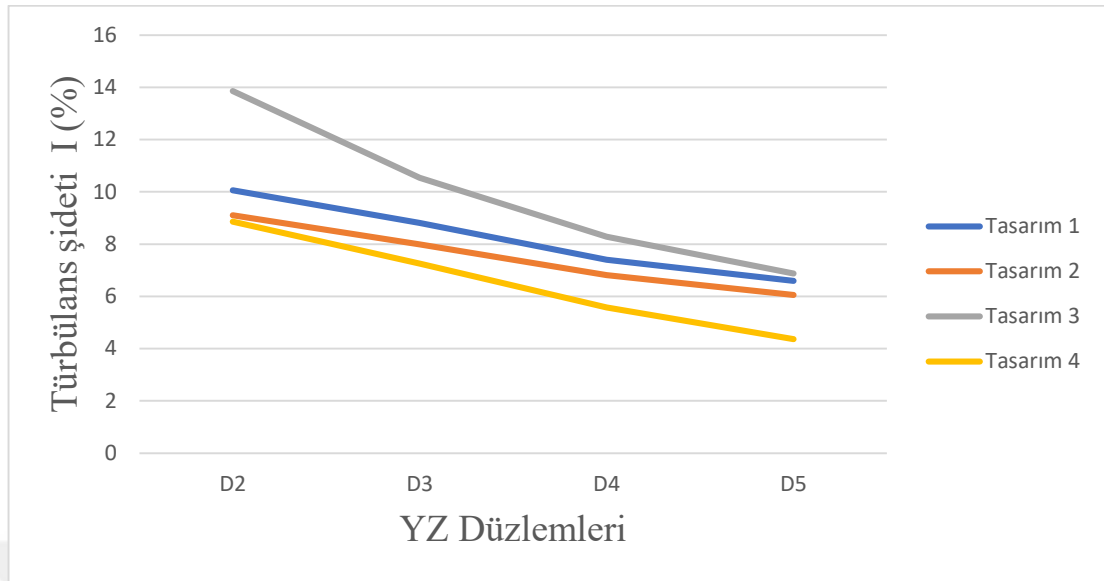
$$u' = \sqrt{\frac{2}{3}k} \quad (20)$$

Ortalama hız U bileşenleri olan U_x , U_y ve U_z 'den aşağıdaki gibi hesaplanabilir: $U = \sqrt{(U_x^2 + U_y^2 + U_z^2)}$ (21)

Her tasarım için YZ ekseninde oluşturduğumuz düzlemlerde (18) formülünden türbülans yoğunluğu hesaplanmıştır. Bunun için önce formül (20)'den TKE enerji kullanarak türbülans hız çalkantıları (u') hesaplanıp daha sonra bu değer o düzlemdeki ortalama hıza bölünerek (18) TY bulunmuştur. Her tasarım için hesaplanılan TY sonuçları Tablo 3' de verilmiştir. Şekil 27'da görüldüğü üzere türbülans yoğunluğu Tasarım 1'de %6,6 - 10 arasında, Tasarım 4'te ise %4,3-8,8 arasında değişmektedir. Diğer tasarımlarda da değerler Tasarım4'ün üzerindedir. En düşük sonuçlar tasarım 4 de görülmektedir.

Tablo 4. Türbülans yoğunluğu sonuçları

Düzlem 2				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	1,05765	8,34797	0,839702	10,06
Tasarım 2	0,862087	8,32586	0,758106	9,11
Tasarım 3	1,99983	8,33324	1,154651	13,86
Tasarım 4	0,873404	8,6156	0,763066	8,86
Düzlem 3				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	0,816225	8,3703	0,737665	8,81
Tasarım 2	0,655908	8,2746	0,661265	7,99
Tasarım 3	1,15735	8,33175	0,878389	10,54
Tasarım 4	0,742046	9,6936	0,703347	7,26
Düzlem 4				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	0,574518	8,36019	0,61888	7,40
Tasarım 2	0,476821	8,27577	0,563809	6,81
Tasarım 3	0,714551	8,33083	0,690194	8,28
Tasarım 4	0,565451	11,0027	0,613977	5,58
Düzlem 5				
	k	U	u'	I
Tasarım 1	0,454559	8,35656	0,55049	6,59
Tasarım 2	0,375811	8,27304	0,50054	6,05
Tasarım 3	0,490963	8,32489	0,572109	6,87
Tasarım 4	0,450672	12,5848	0,548131	4,36



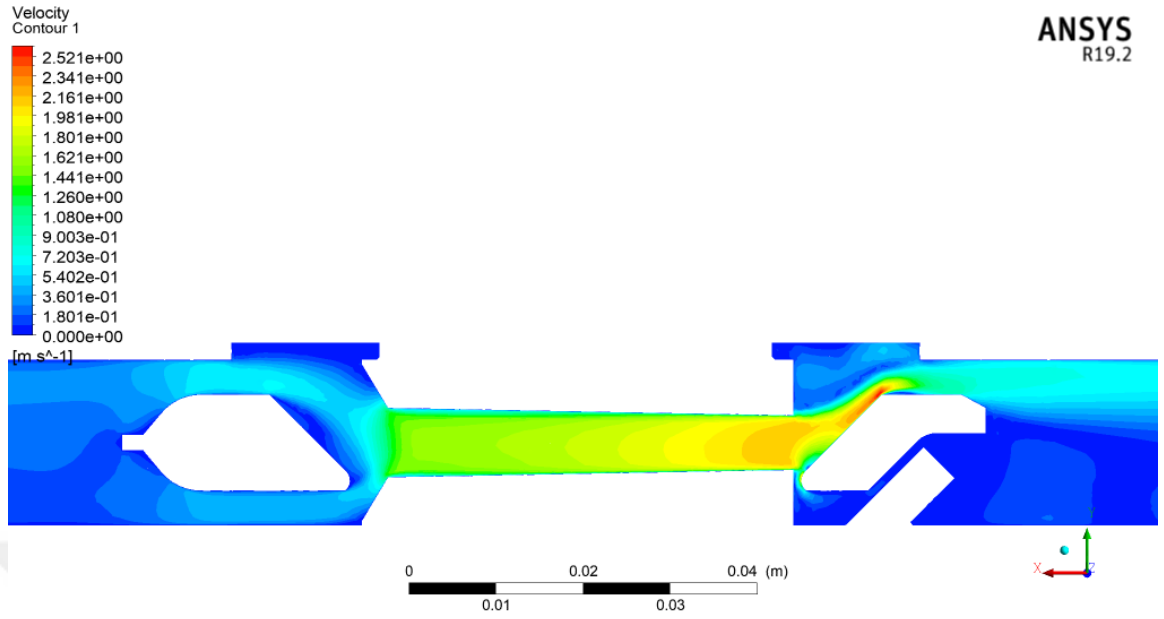
Şekil 27. Türbülans yoğunluğu grafiği

5.6. Tasarım 4 için düşük ($0,04 \text{ m}^3/\text{h}$) debi analizi

Tasarım 4 için düşük debi analizi yapılmıştır. HAD Analizlerinde akış giriş debisi $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak seçilmiş, diğer sınır şartları ise önceki analizler ile aynıdır. Tasarımın analiz sonuçlarını incelediğimiz zaman daha düzgün akış görmekteyiz. Sayacın daha hassas ölçüm yapabilmesi için hız dağılımının simetrik olmasını gerekmektedir.

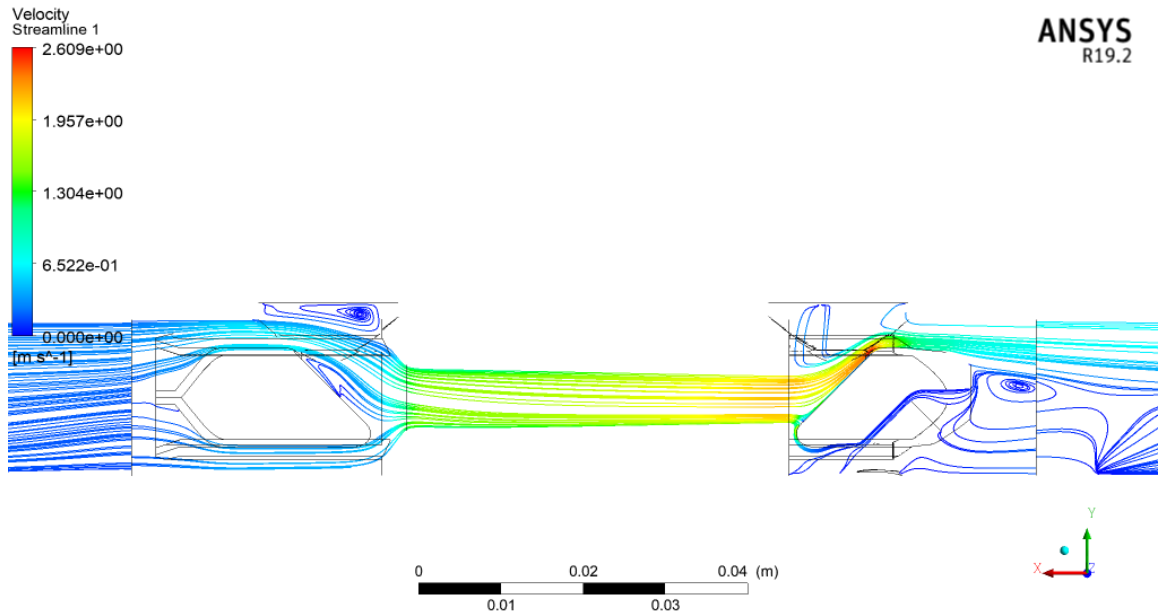
Tablo 5. Tasarım4 - $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$ için Türbülans yoğunluğu

	k	U	u'	I
Düzlem 2	0,0189715	1,387	0,112462	8,11
Düzlem 3	0,015351	1,53538	0,101162	6,59
Düzlem 4	0,012447	1,71081	0,091092	5,32
Düzlem 5	0,010724	1,91628	0,084555	4,41

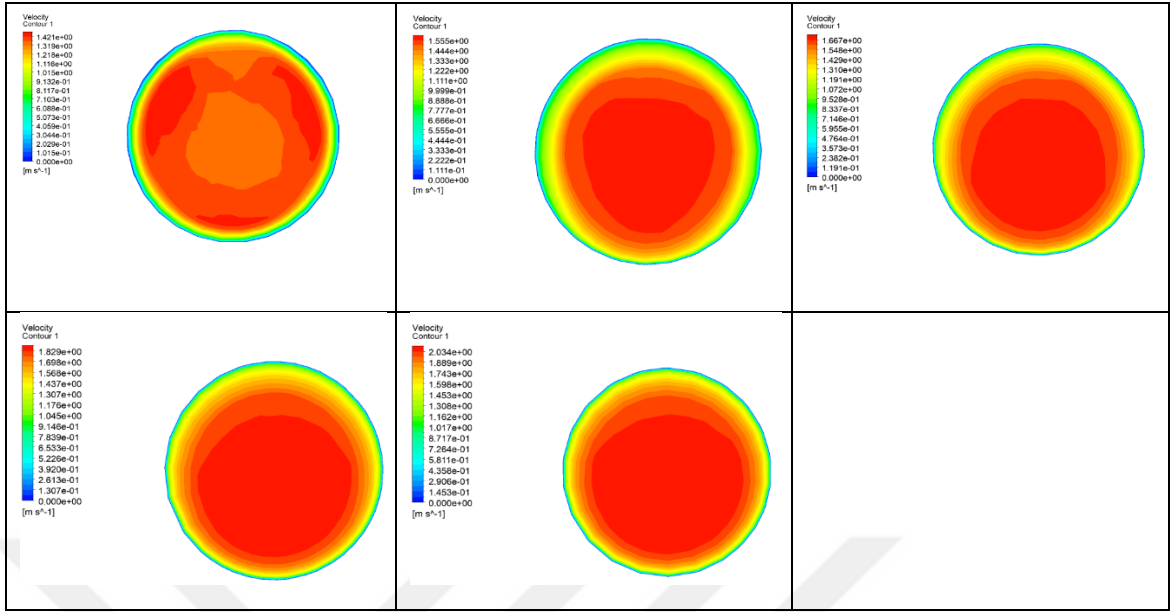


Şekil 28. Tasarım 4 için xy düzleminde hız dağılımı

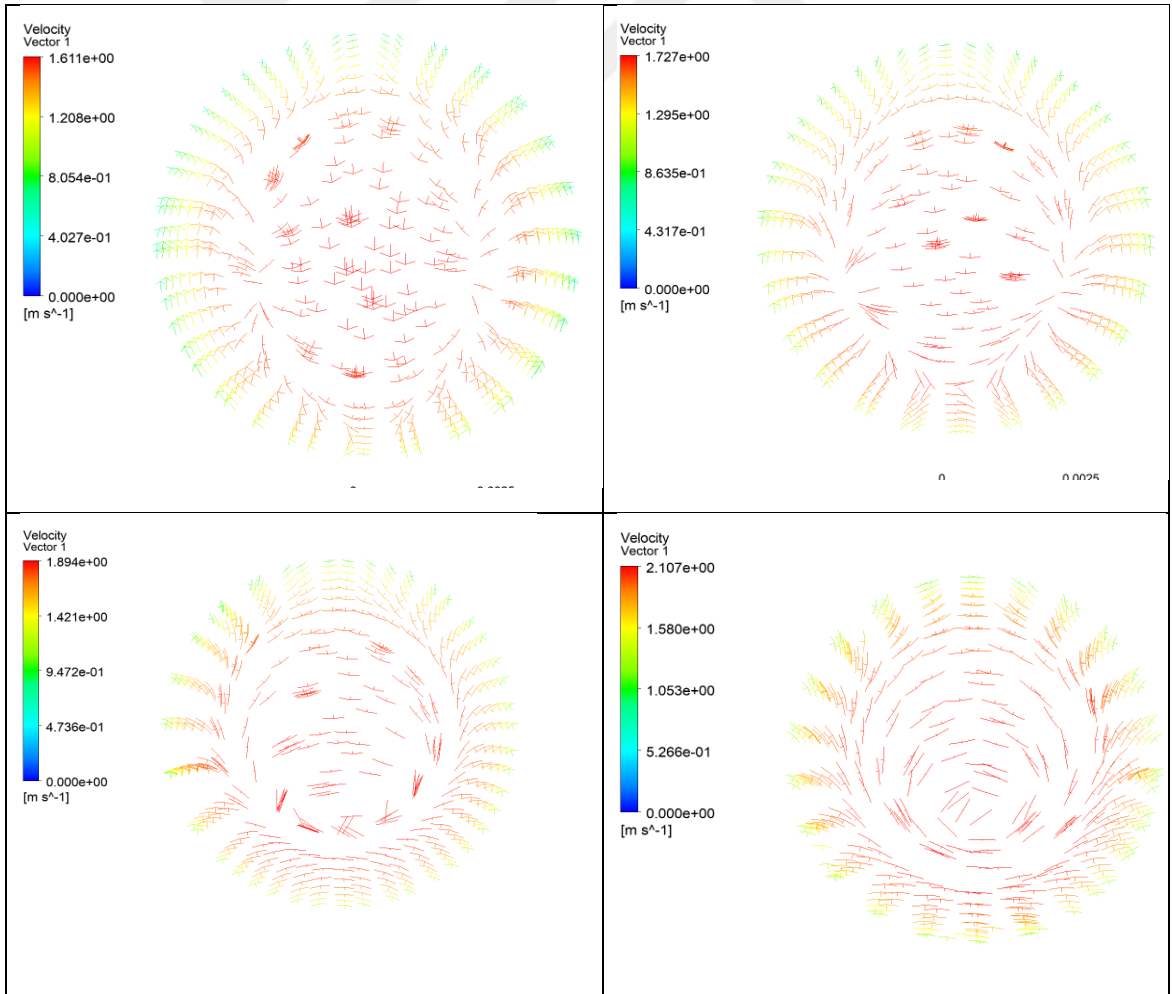
Şekil 28 ve 30'da hız dağılımına batkımızda ölçüm kanalı boyunca diğer tasarımlara göre daha simetrik bir hız dağılımı görülmektedir. Bunun nedeni sayacın giriş kısmındaki plastik ölçüm kısmının akış düzenleyicili aerodinamik yapısından kaynaklanmaktadır.



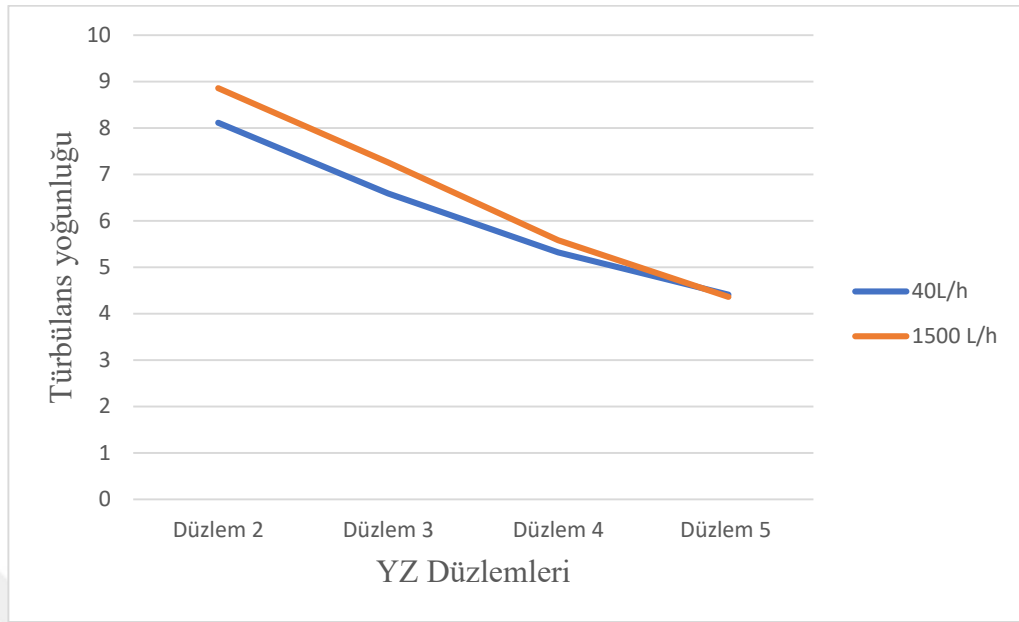
Şekil 29. Tasarım 4 için xy düzleminde akım çizgileri



Şekil 30. Tasarım 4 için yz düzleminde hız dağılımı



Şekil 31. Tasarım 4 için yz düzleminde hız vektörleri



Şekil 32. Tasarım 4 Türbülans yoğunluğu 1500l/h ile 40 l/h grafiği

Şekil 31’da yz düzleminde hız vektörleri gösterilmiştir. Hız vektörlerinin akış dönmelerini göre biliriz. Şekil 31’u incelediğimiz zaman hız vektörlerinin akışa yönünde olduğunu görüyoruz. Şekil 32’de baktığımızda türbülans yoğunluğunun %4,5-8,1 arasında olduğu görülmektedir. 1500 lt/h debide ortalama TY’si %6,1, 40 lt/h debide ortalama TY ‘si %6,5 tir

6. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

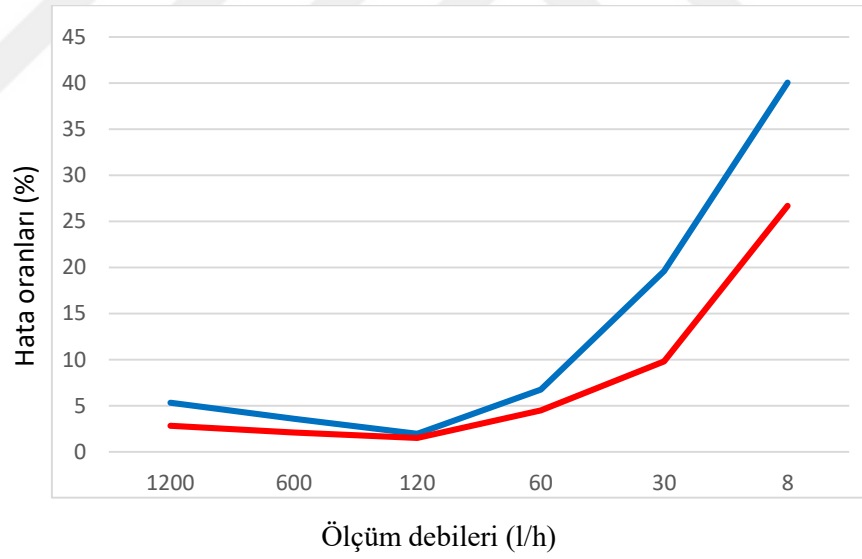
Akış analizleri yapılan tasarımlar daha sonra FNF Teknoloji firma bünyesinde Test kalibrasyon tezgâhlarında her tasarım için 13 örnek üretilerek deneyler yapılmıştır. Her tasarım için 6 farklı debide 50° su sıcaklığında testlere tabi tutulmuş daha sonra bu test sonuçlarına göre kalibre edilmiştir. Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi en düşük hata sonuçları tasarım 4 de görülmektedir.

Tablo 6. Tasarım 1 kalibrasyon öncesi test sonuçları

Debi (L/h)	1200	600	120	60	30	8
ID	Test1	Test 2	Test3	Test4	Test5	Test 6
201	5,51	3,57	2,21	6,6	14,2	31,5
202	2,47	2,04	2,6	4,65	12,6	22,2
203	2,66	2,89	2,86	6,75	17,6	43,35
206	6,84	6,46	1,43	4,65	15,4	35,55
207	5,13	2,89	4,42	7,8	16,6	43,2
208	4,37	2,89	2,21	4,65	17,4	30,6
209	13,87	11,05	1,82	1,5	11,4	35,7
211	5,32	3,57	1,95	6,75	19,6	40,05
212	13,68	10,2	1,3	2,7	15,4	33,6
213	13,11	9,69	0,78	3,75	17,6	44,4

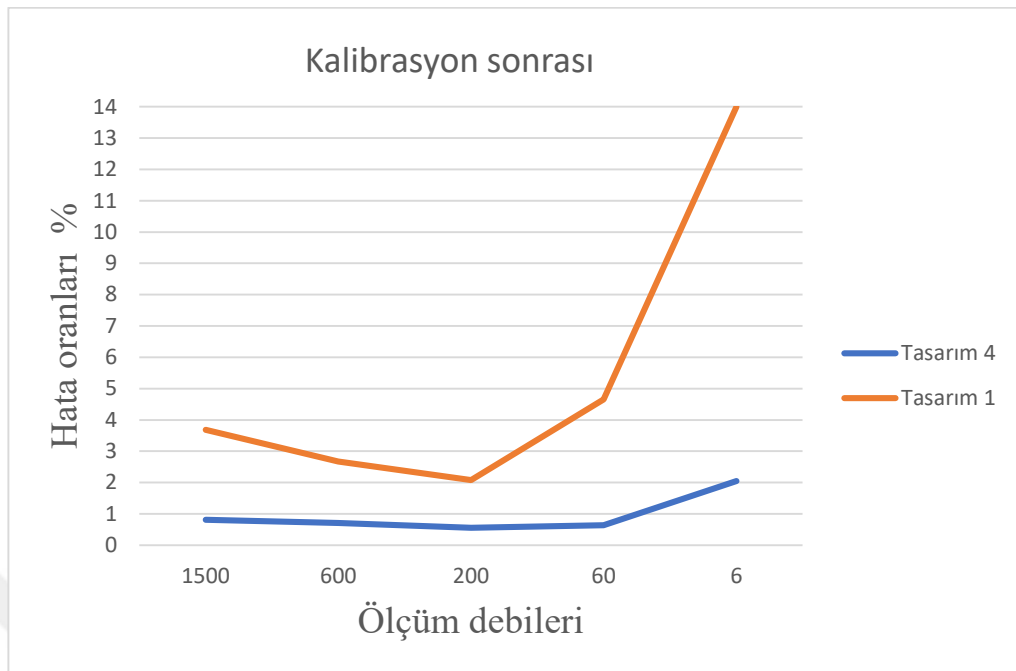
Tablo 7. Tasarım 4 kalibrasyon öncesi test sonuçları

Debi (L/h)	1200	600	120	60	30	8
ID	Test1	Test 2	Test3	Test4	Test5	Test 6
201	2,9	2,1	1,7	4,4	7,1	21
202	1,3	1,2	2	3,1	6,3	14,8
203	1,4	1,7	2,2	4,5	8,8	28,9
206	3,6	3,8	1,1	3,1	7,7	23,7
207	2,7	1,7	3,4	5,2	8,3	28,8
208	2,3	1,7	1,7	3,1	8,7	20,4
209	7,3	6,5	1,4	1	5,7	23,8
211	2,8	2,1	1,5	4,5	9,8	26,7
212	7,2	6	1	1,8	7,7	22,4
213	6,9	5,7	0,6	2,5	8,8	29,6



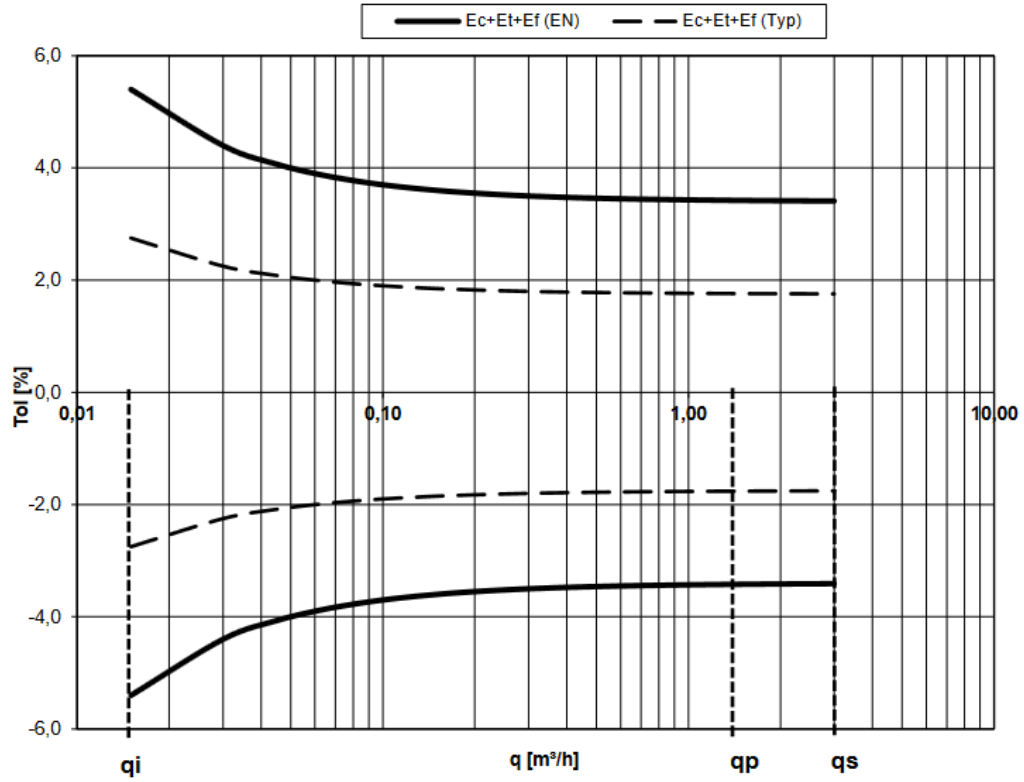
— Tasarım 1. — Tasarım 4.

Şekil 33 . Tasarım 1 ve Tasarım 4 için kalibrasyon öncesi test sonuç grafikleri



Şekil 34. Tasarım 1 ve Tasarım 4 için kalibrasyon sonrası test sonuç grafikleri

Şekil 34’de kalibrasyon sonrası test sonuçlarını görmekteyiz. Şekil 33 ve şekil 34 incelendiğinde tasarım 4 teki hata oranlarının gerek yüksek debilerde gerekse düşük debilerde tasarım 1’den daha düşük olduğu görülmektedir. Tasarım 1 için hata oranları %3 ile %14 arasında, Tasarım4 için ise %0,9 ile %2,3 arasında değişmektedir. Aynı zamanda Şekil 34’te Dünyada önde gelen Ultrasonik ısı sayası markalarından olan Kampstrup markasının “Multical 303 “ modelinin Teknik dosyasında paylaşılan doğruluk verilerine baktığımızda min. debide sayacın hata oranı yaklaşık %2,3 ve max. debide ise yaklaşık %1,8 dir. Grafikte siyah çizgiler üst sınırları kırık çizgiler ise sayacın hata oranlarını göstermektedir. Bu sayacın q_i q_p ve q_s değerleri sırası ile 0,006 m³/h, 0,6 m³/h ve 1,2 m³/h dir. [17]



Şekil 35. Kamstrup Multical 303 marka ısı sayacı hata grafiği

6.1. Sonuç ve İrdeleme

UIS Ultrasonik ölçüm prensibi ile çalışan ısı sayacıdır. Bu ölçüm prensibi ile çalışan sayaçların önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi birçok avantajları vardır. Bunun yansira bu sayaçlar akış bozulmalarından etkilenmekte ve bu etkiler sayaçta büyük hatalara neden olmaktadır. Tesisat bağlantı elemanlarından ve sayaç gövdesinin geometrisinden kaynaklardan akış bozulmaları bu hatalardan bazılarıdır. Dirsekler, boru daralmaları, vanalar gibi tesisat bağlantı elemanları ve aynı zamanda gövdenin geometrisi yani yansıtıcıların kullanılması gibi etkenler akış bozulmalarına, laminlerden türbülanslı akış geçişlerine ve resirkülasyon alanlarının (girdapların) oluşmasına neden olmaktadır. Tüm bu etkenler suyun gerçek hız alanı ile teorik hız alanı arasında farklılıklara neden olmaktadır. Buda sayacın ölçüm hatalarının artması ile sonuçlanmaktadır. Üretilen sayaçlar laboratuvar da kalibre masalarında test edilerek kontrol edilmektedir. Lakin laboratuvar şartları sayacın montajının yapıldığı çalışacağı ortamdaki şartlarla aynı olmayabilmektedir. Bu çalışmada, tesisat bağlantı elemanlarından kaynaklanan akış bozulmalarını düzenleyecek ve kendi aerodinamik yapısı ile akışı en az şekilde etkileyecek hatta akışı düzeltecek şekilde tasarım

yapılmıştır. FNF TEKNOLOJİ firma bünyesinde üretilen DN15 UIS sayaçları tasarımı yapıldıktan sonra deneyler yapılmıştır (Tablo 6 ve 7).

Analiz ve kalibrasyon testlerinden elde edilen verilere göre en iyi sonuçlar Tasarım 4' de görülmektedir. Tasarım 4'ün aerodinamik yapısı akış bozulmalarını minimuma indirecek şekilde tasarlanmış ve akış düzenleyicili giriş geometrisi sayesinde tesisat bağlantılarından kaynaklanan akış bozulmaları düzeltilmiştir. Bu tasarım ile daha simetrik hız dağılımı elde edilmiştir. Aynı zamanda, akış dönmelerini incelendiğinde en küçük hız vektörleri değişim açıları bu tasarımda elde edilmiştir. Yüksek debide ve daha düşük debilerde de hassas ölçüm yapabilmesi, üretim kolaylığı ve üretim işçiliğinin daha az olması bu tasarımın önemli avantajları arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak FNF Teknoloji Firması bünyesinde mevcut kullanılan UIS'nın ölçüm hassasiyetinin yeterli olmaması sebebi ile 4 farklı UIS tasarımı yapılmış sayısal ve deneysel sonuçları incelenmiştir. Sayısal analizlerden aldığımız sonuçlara göre en iyi hız profiline, en simetrik hız dağılıma ve en düşük türbülans yoğunluğu %4 ile Tasarım 4 de analiz edilmiş ve deney sonuçlarında da en düşük hata oranı bu tasarımda görülmüştür. 1500 lt/h debide %0,98 ve 6 lt/h debide ise %2,3 hata oranı sahiptir. Hata oranları diğer önde gelen ısı sayacı markaları ile karşılaştırılmış ve Tasarım 4'ün daha hassas ölçüm yapıldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Weber, F. J., Durgin, W. W., & Johari, H. 2003. Ultrasonic beam propagation in turbulent flow. Unpublished PhD Dissertation, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA.
2. Temperley, N. C. 2002. Optimisation of an Ultrasonic Flow Meter Based on Experimental and Numerical Investigations of Flow and Ultrasound Propagation (Doctoral dissertation, University of New South Wales).
3. Hilgenstock, A., & Ernst, R. 1996. Analysis of installation effects by means of computational fluid dynamics—CFD vs experiments?. **Flow measurement and instrumentation**, 7(3-4), 161-171.
4. Mousavi, S. F., Hashemabadi, S. H., & Jamali, J. 2020. Calculation of geometric flow profile correction factor for ultrasonic flow meter using semi-3D simulation technique. **Ultrasonics**, 106, 106165.
5. Strunz, T., Wiest, A., Fleury, A., & Fröhlich, T. 2004. Influence of turbulence on ultrasonic flow measurements. In 5th IGHEM Conference.
6. Muramatsu, E., Murakawa, H., Hashiguchi, D., Sugimoto, K., Asano, H., Wada, S., & Furuichi, N. 2018. Applicability of hybrid ultrasonic flow meter for wide-range flow-rate under distorted velocity profile conditions. **Experimental Thermal and Fluid Science**, 94, 49-58.
7. Liu, Y. H., Du, G. S., Tao, L. L., & Shen, F. 2011. The calculation of the profile-linear average velocity in the transition region for ultrasonic heat meter based on the method of LES. **Journal of hydrodynamics**, 23(1), 89-94.
8. Gurevich, A. Y., Goman, M. G., Gurevich, Y. G., & Lopez, A. M. 2018. Synthetic turbulence modeling for evaluation of ultrasonic cross-correlation flow measurement. **Flow Measurement and Instrumentation**, 60, 134-143.
9. Weissenbrunner, A., Fiebach, A., Schmelter, S., Bär, M., Thamsen, P. U., & Lederer, T. 2016. Simulation-based determination of systematic errors of flow meters due to uncertain inflow conditions. **Flow Measurement and Instrumentation**, 52, 25-39.

10. Shuo, S. H. I., Sun, J. T., Du, G. S., & Zhang, M. 2015. Numerical study of impurity distribution in ultrasonic heat meter body. **Journal of Hydrodynamics, Ser. B**, 27(6), 980-987.
11. Iooss, B., Lhuillier, C., & Jeanneau, H. 2002. Numerical simulation of transit-time ultrasonic flowmeters: uncertainties due to flow profile and fluid turbulence. **Ultrasonics**, 40(9), 1009-1015.
12. Hallanger, A., Saetre, C., & Frøysa, K. E. 2018. Flow profile effects due to pipe geometry in an export gas metering station–Analysis by CFD simulations. **Flow Measurement and Instrumentation**, 61, 56-65.
13. Chen, Y., Huang, Y., & Chen, X. 2013. Acoustic propagation in viscous fluid with uniform flow and a novel design methodology for ultrasonic flow meter. **Ultrasonics**, 53(2), 595-606.
14. Fnf Teknoloji <https://www.fnfteknoloji.com/>
15. ISO 12242:2018. Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic transit-time meters for liquid
16. EN1434-1:2007 European Standard, Request General Requirements for Heat Meters
17. Kamstrup ısı sayası markası teknik dosyası.
<https://products.kamstrup.com/documents/6048b98fa4375.pdf>
18. Frattolillo, A., & Massarotti, N. 2002. Flow conditioners efficiency a comparison based on numerical approach. **Flow Measurement and Instrumentation**, 13 (1-2), 1-11.

ÖZGEÇMİŞ**Adı, Soyadı:** Fuad SAMADZADE**Uyruğu:** Azərbaycan

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Azərbaycan Teknik Üniv.	2015
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. Bölümü	2022

YAYINLAR**PATENTLER**