

**SCR SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ÜRE MİKSERLERİNİN
AKIŞ VE AKUSTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

BUĞRA BAŞIHOŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ Y.L. PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SUAT SARIDEMİR**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SCR SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ÜRE MİKSERLERİNİN
AKIŞ VE AKUSTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Buğra BAŞIHOŞ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ümit AĞBULUT

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ŞEN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 18/07/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

18.07.2023

BUĞRA BAŞIHOŞ

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Suat SARIDEMİR'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Bilen Egzost A.Ő. ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve değerli arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

18.07.2023

Buğra BAŐIHÖŐ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. DİZEL MOTOR EMİSYONLARI VE EMİSYON KONTROL YÖNTEMLERİ.....	8
2.1. DİZEL MOTOR EMİSYONLARI	8
2.1.1. Karbon Monoksitler	8
2.1.2. Hidrokarbonlar	9
2.1.3. Partikül Maddeler	9
2.1.4. Azot Oksitler.....	10
2.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYON KONTROL YÖNTEMLERİ.....	10
2.2.1. Üç Yollu Katalitik Konvertörler	11
2.2.2. Dizel Partikül Filtresi	13
2.2.3. Seçici Katalizör İndirgeme.....	14
2.2.3.1. SCR Sistemlerinde Mikserlerin Önemi	16
3. MATERYAL VE METOT	17
3.1. TEK FAZLI AKIŞ ANALİZLERİ	19
3.2. ÇİFT FAZLI AKIŞ ANALİZLERİ	22
3.3. GERİ BASINÇ ÖLÇÜM DENEYİ.....	26
3.4. NH ₃ HOMOJENLİK İNDEKSİ ÖLÇÜM DENEYİ	30
3.5. AKUSTİK PERFORMANS ÖLÇÜM DENEYİ	33
4. SONUÇLAR.....	36
4.1. GERİ BASINÇ ANALİZİ VE DENEY SONUÇLARI	36
4.1.1. Tek Fazlı Akış Analizi Sonuçları	36
4.1.2. Kanat Sayısının ve Kanat Açısının Geri Basınca Etkisi	44
4.1.3. Kanat Uzunluğunun Geri Basınca Etkisi	46
4.1.4. Geri Basınç Deney Sonuçları	47
4.2. UI NH ₃ ANALİZİ VE DENEY SONUÇLARI.....	51
4.2.1. Çift Fazlı Akış Analizi Sonuçları	51
4.2.2. Kanat Sayısının ve Kanat Açısının UI NH ₃ 'e Etkisi	66
4.2.3. Kanat Uzunluğunun UI NH ₃ 'e Etkisi	68
4.2.4. UI NH ₃ Deney Sonuçları.....	70
4.3. AKUSTİK SONUÇLARIN İNCELENMESİ.....	74
5. BULGULAR.....	82

6. KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	88



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Üç yollu katalitik konvertör yapısı	12
Şekil 2.2. Kısmi akışlı partikül filtre.	13
Şekil 2.3. Duvar akışlı partikül filtre.	14
Şekil 2.4. SCR sistemi elemanları.	15
Şekil 2.5. Mikser görseli.	16
Şekil 3.1. Mikser tasarım parametreleri.	17
Şekil 3.2. Tek fazlı akış modeli.	19
Şekil 3.3. Çift fazlı akış analiz modeli.	22
Şekil 3.4. Çift fazlı akış analizi hacmi.	22
Şekil 3.5. Genel mesh görüntüsü.	23
Şekil 3.6. Mesh görüntüsü detay.	23
Şekil 3.7. Geri basınç ölçüm düzeneği şematik gösterimi.	27
Şekil 3.8. Ventürimetre.	27
Şekil 3.9. Testlerde kullanılacak mikserler.	29
Şekil 3.10. a) Geri basınç test düzeneği genel görünüm b) Mikser bağlı görünüm.	29
Şekil 3.11. UI NH ₃ ölçüm düzeneği.	30
Şekil 3.12. NH ₃ ölçüm noktaları.	31
Şekil 3.13. Pitot tüpü ve cetveli.	31
Şekil 3.14. Sense NH ₃ ölçüm cihazı.	32
Şekil 3.15. a) Örnek ölçüm fotosu b) Renk skalası.	32
Şekil 3.16. Dört kutup parametresi.	33
Şekil 3.17. Giriş ve çıkışta yansıyan ve gelen dalga.	33
Şekil 3.18. İletim kaybı ölçüm düzeneği.	34
Şekil 3.19. Akustik ölçüm akış şeması.	35
Şekil 4.1. Mikser 1 basınç dağılımı.	36
Şekil 4.2. Mikser 2 basınç dağılımı.	37
Şekil 4.3. Mikser 3 basınç dağılımı.	37
Şekil 4.4. Mikser 4 basınç dağılımı.	37
Şekil 4.5. Mikser 5 basınç dağılımı.	37
Şekil 4.6. Mikser 6 basınç dağılımı.	38
Şekil 4.7. Mikser 7 basınç dağılımı.	38
Şekil 4.8. Mikser 8 basınç dağılımı.	38
Şekil 4.9. Mikser 9 basınç dağılımı.	38
Şekil 4.10. Mikser 10 basınç dağılımı.	39
Şekil 4.11. Mikser 11 basınç dağılımı.	39
Şekil 4.12. Mikser 12 basınç dağılımı.	39
Şekil 4.13. Mikser 13 basınç dağılımı.	39
Şekil 4.14. Mikser 14 basınç dağılımı.	40
Şekil 4.15. Mikser 15 basınç dağılımı.	40
Şekil 4.16. Mikser 16 basınç dağılımı.	40
Şekil 4.17. Mikser 17 basınç dağılımı.	40
Şekil 4.18. Mikser 18 basınç dağılımı.	41
Şekil 4.19. Mikser 19 basınç dağılımı.	41
Şekil 4.20. Mikser 20 basınç dağılımı.	41
Şekil 4.21. Mikser 21 basınç dağılımı.	41
Şekil 4.22. Mikser 22 basınç dağılımı.	42
Şekil 4.23. Mikser 23 basınç dağılımı.	42

Şekil 4.24. Mikser 24 basınç dağılımı.....	42
Şekil 4.25. Mikser 25 basınç dağılımı.....	42
Şekil 4.26. Mikser 26 basınç dağılımı.....	43
Şekil 4.27. Mikser 27 basınç dağılımı.....	43
Şekil 4.28. Kanat uzunluğu 14 mm' ye göre geri basınç grafiği.	44
Şekil 4.29. Kanat uzunluğu 18 mm' ye göre geri basınç grafiği.	45
Şekil 4.30. Kanat uzunluğu 22 mm' ye göre geri basınç grafiği.	45
Şekil 4.31. Kanat açısı 30° ye göre geri basınç grafiği.	46
Şekil 4.32. Kanat açısı 45° ye göre geri basınç grafiği.	46
Şekil 4.33. Kanat açısı 60° ye göre geri basınç grafiği.	47
Şekil 4.34. Mikser 2 geri basınç grafiği.	48
Şekil 4.35. Mikser 7 geri basınç grafiği.	49
Şekil 4.36. Mikser 12 geri basınç grafiği.....	49
Şekil 4.37. Mikser 15 geri basınç grafiği.....	50
Şekil 4.38. Mikser 26 geri basınç grafiği.....	50
Şekil 4.39. Mikser 27 geri basınç grafiği.....	51
Şekil 4.40. Mikser 1 UI NH ₃ dağılımı.....	52
Şekil 4.41. Mikser 2 UI NH ₃ dağılımı.....	52
Şekil 4.42. Mikser 3 UI NH ₃ dağılımı.....	53
Şekil 4.43. Mikser 4 UI NH ₃ dağılımı.....	53
Şekil 4.44. Mikser 5 UI NH ₃ dağılımı.....	54
Şekil 4.45. Mikser 6 UI NH ₃ dağılımı.....	54
Şekil 4.46. Mikser 7 UI NH ₃ dağılımı.....	55
Şekil 4.47. Mikser 8 UI NH ₃ dağılımı.....	55
Şekil 4.48. Mikser 9 UI NH ₃ dağılımı.....	56
Şekil 4.49. Mikser 10 UI NH ₃ dağılımı.....	56
Şekil 4.50. Mikser 11 UI NH ₃ dağılımı.....	57
Şekil 4.51. Mikser 12 UI NH ₃ dağılımı.....	57
Şekil 4.52. Mikser 13 UI NH ₃ dağılımı.....	58
Şekil 4.53. Mikser 14 UI NH ₃ dağılımı.....	58
Şekil 4.54. Mikser 15 UI NH ₃ dağılımı.....	59
Şekil 4.55. Mikser 16 UI NH ₃ dağılımı.....	59
Şekil 4.56. Mikser 17 UI NH ₃ dağılımı.....	60
Şekil 4.57. Mikser 18 UI NH ₃ dağılımı.....	60
Şekil 4.58. Mikser 19 UI NH ₃ dağılımı.....	61
Şekil 4.59. Mikser 20 UI NH ₃ dağılımı.....	61
Şekil 4.60. Mikser 21 UI NH ₃ dağılımı.....	62
Şekil 4.61. Mikser 22 UI NH ₃ dağılımı.....	62
Şekil 4.62. Mikser 23 UI NH ₃ dağılımı.....	63
Şekil 4.63. Mikser 24 UI NH ₃ dağılımı.....	63
Şekil 4.64. Mikser 25 UI NH ₃ dağılımı.....	64
Şekil 4.65. Mikser 26 UI NH ₃ dağılımı.....	64
Şekil 4.66. Mikser 27 UI NH ₃ dağılımı.....	65
Şekil 4.67. Kanat uzunluğu 14 mm' ye göre UI NH ₃ grafiği.	66
Şekil 4.68. Kanat uzunluğu 18 mm' ye göre UI NH ₃ grafiği.	67
Şekil 4.69. Kanat uzunluğu 22 mm' ye göre UI NH ₃ grafiği.	68
Şekil 4.70. Kanat açısı 30° ye göre UI NH ₃ grafiği.....	68
Şekil 4.71. Kanat açısı 45° ye göre UI NH ₃ grafiği.....	69
Şekil 4.72. Kanat açısı 60° ye göre UI NH ₃ grafiği.....	69
Şekil 4.73. a) Mikser 2 analiz sonucu görseli b) Mikser 2 deney sonucu görseli.....	71

Şekil 4.74. a) Mikser 7 analiz sonucu görseli b) Mikser 7 deney sonucu görseli.....	71
Şekil 4.75. a) Mikser 12 analiz sonucu görseli b) Mikser 12 deney sonucu görseli.	72
Şekil 4.76. a) Mikser 15 analiz sonucu görseli b) Mikser 15 deney sonucu görseli.	72
Şekil 4.77. a) Mikser 26 analiz sonucu görseli b) Mikser 26 deney sonucu görseli.	73
Şekil 4.78. a) Mikser 27 analiz sonucu görseli b) Mikser 27 deney sonucu görseli.	73
Şekil 4.79. Mikser 2 TL grafiği 0-3000 Hz.	74
Şekil 4.80. Mikser 2 TL grafiği 0-1000 Hz.	75
Şekil 4.81. Mikser 7 TL grafiği 0-3000 Hz.	75
Şekil 4.82. Mikser 7 TL grafiği 0-1000 Hz.	76
Şekil 4.83. Mikser 12 TL grafiği 0-3000 Hz.	76
Şekil 4.84. Mikser 12 TL grafiği 0-1000 Hz.	77
Şekil 4.85. Mikser 15 TL grafiği 0-3000 Hz.	77
Şekil 4.86. Mikser 15 TL grafiği 0-1000 Hz.	78
Şekil 4.87. Mikser 26 TL grafiği 0-3000 Hz.	78
Şekil 4.88. Mikser 26 TL grafiği 0-1000 Hz.	79
Şekil 4.89. Mikser 27 TL grafiği 0-3000 Hz.	80
Şekil 4.90. Mikser 27 TL grafiği 0-1000 Hz.	80
Şekil 4.91. Mikserlerin bir arada olduğu TL grafiği 0-3000 Hz.	81

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Mikser parametreleri.	17
Çizelge 3.2. Tek fazlı akış analizi sınır koşulları.	19
Çizelge 3.3. Çift fazlı analiz sınır koşulları.	23
Çizelge 3.4. Deney için seçilen mikserler.	28
Çizelge 4.1. Tek fazlı akış analizinde elde edilen geri basınç değerleri.	43
Çizelge 4.2. Tek fazlı analiz ve geri basınç deney sonuçları.	48
Çizelge 4.3. Çift fazlı akış analizinde elde edilen UI NH ₃ değerleri.	65
Çizelge 4.4. Çift fazlı akış analizi ve deneylerde edilen UI NH ₃ sonuçları.	70

KISALTMALAR

AFT	Aftertreatment Sistemleri
C	Karbon
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
dB	Desibel
DPF	Dizel Partikül Filtresi
EAT	Egzoz Aftertreatment Sistemleri
HC	Hidrokarbon
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
Hz	Hertz
N	Azot
NH ₃	Amonyak
NO _x	Azotoksit
O ₂	Oksijen
PC	Bilgisayar
Pd	Paladyum
PM	Partikül Madde
Pt	Platin
Rd	Radyum
RSM	Reynolds Stress Model
SCR	Seçici Katalizör İndirgeme
UI	Uniformaty Index
UI H _{1z}	Hızın Homojenlik İndeksi
UI NH ₃	Amonyakın Homojenlik İndeksi

SİMGELER

U	Akışkanın İç Enerjisi
α	Akustik Eleman Katsayısı
η	Akustik Eleman Katsayısı
θ	Akustik Eleman Katsayısı
P	Basınç
ΔP	Basınç Farkı
∇P	Basınç Gradyanı
d_b	Boğaz Çapı
C	Boşaltım Katsayısı
$\emptyset$	Çap
$^\circ$	Derece
Ft	Dış Kuvvetler (Sürtünme vb.)
μ	Dinamik Vizkozite
μ_{eff}	Etkin Vizkozite
ε	Genleşme Faktörü
V	Hız
β	Küçük Çapın Büyük Çapa Oranı
qm	Kütlesel Debi
Cv	Özgül Isı
k	Türbülans
Pk	Türbülans Gerilim Radyanı
ε	Türbülans Kinetik Enerji Kabı
g	Yer Çekimi İvmesi
ρ	Yoğunluk

ÖZET

SCR SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ÜRE MİKSERLERİNİN AKIŞ VE AKUSTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Buğra BAŞIHOŞ

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

Temmuz 2023, 87 sayfa

Günümüzde artan dünya nüfusu ve beraber artış gösteren taşıt sayısının oluşturduğu egzoz gazlarının çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerini en aza indirebilmek için her geçen gün daha sıkı denetimler yapılmakta ve sınırlandırmalar getirilmektedir. Bu sınırlandırmalar ile beraber dizel motorlu araçlarda NO_x emisyonlarını azaltmak için Adblue katkı maddesi (amonyak) ve SCR sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Adblue katkı maddesinin SCR sistemlerinde daha iyi karışması ve iyi sonuç alınması için üre mikseri kullanılmaktadır. Egzoz sistemlerinde geri basıncın yüksek olması performansı olumsuz yönde etkilediği için SCR sistemlerinde kullanılan mikserlerin oluşturacağı geri basıncın düşük olması aynı zamanda SCR sisteminin efektif çalışabilmesi için NH₃ homojenlik indeksi (UI NH₃) değerinin yüksek olması gerekmektedir. Üre mikserleri kanat sayısı, kanat açısı, kanat uzunluğu gibi parametreler ile farklı performanslar vermektedir. Bu çalışmada mikserlerin geri basınca ve UI NH₃'e etkisi, 27 farklı mikserin parametrik etkileri sayısal analiz yöntemiyle incelenmiştir. Parametrik çalışma için kanat uzunlukları, kanat açıları ve kanat sayıları değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Geri basınç hedefinin 1 kPa'dan düşük olması ve UI NH₃ değerinin 0,85' ten yüksek olması hedeflenmiştir. Aralarından bu değerleri sağlayan 6 mikser prototip olarak imal edilmiş ve deneysel olarak geri basınç testleri ve UI NH₃ ölçümleri yapılarak sonuçlar doğrulanmıştır. Akustik performans için iletim kaybı ölçümleri yapılmış ve akustik davranışları incelenmiştir. Kanat sayısı ve uzunluğunun geri basıncı arttırdığını ancak UI NH₃ değerine etkisinin olmadığı yapılan çalışmada görülmüştür.

Anahtar sözcükler: SCR, Adblue, Homojenlik indeksi, Geri basınç, NH₃

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FLOW AND ACOUSTIC BEHAVIOR OF UREA MIXERS USED IN SCR SYSTEMS

Buğra BAŞIHOŞ

Düzce University

Graduate Education Institute Manufacturing Engineering Department

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

July 2023, 87 pages

Today, with the increasing global population and the subsequent rise in the number of vehicles, strict controls and limitations are being imposed to minimize the negative effects of exhaust gases on the environment and human health. To reduce NO_x emissions in diesel-powered vehicles, ADblue additive (ammonia) and SCR systems have been introduced. A urea mixer is used to achieve better mixing of the ADblue additive in SCR systems and to obtain effective results. In SCR systems, it is essential for the urea mixer to generate low backpressure, as high backpressure negatively affects performance, and for the NH₃ homogeneity index (UI NH₃) to be high for the SCR system to function effectively. Urea mixers exhibit different performances based on parameters such as the number of blades, blade angle, and blade length. In this study, the impact of mixers on backpressure and UI NH₃ was analyzed using a numerical analysis method, considering 27 different mixers and their parametric effects. The results were examined by varying blade lengths, blade angles, and the number of blades. The target was to have backpressure lower than 1 kPa and a UI NH₃ value higher than 0.85. Among them, six mixers that met these criteria were prototyped, and experimental backpressure tests and UI NH₃ measurements were conducted to validate the results. Sound transmission loss measurements were carried out to assess their acoustic performance and behavior. The study revealed that the number and length of blades increased backpressure but had no effect on the UI NH₃ value.

Keywords: SCR, Adblue, Homogeneity index, Back pressure, NH₃.

1. GİRİŞ

Günümüzde ülkemiz ve dünya nüfusu artmakta ve bu nüfus artışıyla beraber motorlu taşıt sayısı da artmaktadır. Motorlu taşıtların artmasıyla birlikte motorlu taşıtlardan kaynaklı hava kirliliği ciddi bir sorun hale gelmiştir. Motorlu taşıt kaynaklı hava kirliliğinin başında egzoz emisyonları gelmektedir. Egzoz emisyonları motorda yanma sonrası meydana gelen gazların ve partiküllerin atmosfere atılmasıyla oluşmaktadır. Bu gazların ve partiküllerin atmosfere atılmasıyla hava kirliliği oluşmakta, çevre ve insan sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir [1].

Motorlu araçların kullandığı yakıtlar, hidrokarbon (HC) içerikli olup, yanma işlemi sırasında karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO_x), yanmamış hidrokarbon (HC) ve partikül madde emisyonları (PM) gibi zararlı gazların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu emisyonların oluşmaması için ideal şartlarda tam bir yanma işlemi gerçekleşmesi gerekmektedir. Ancak içten yanmalı motorlar ideal koşullarda çalışmadıklarından dolayı, yanma sonrası zararlı gazların oluşması engellenememektedir [2]. Benzinli motorlar, zengin karışım ile çalıştıklarından dolayı, hidrokarbon (HC) ve karbonmonoksit (CO) emisyonları daha yüksektir. Diğer yandan, dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştıklarından dolayı, partikül madde (PM) ve azotoksit (NO_x) emisyonları daha fazla oluşmaktadır [3].

Dizel motorlu araçlar, yakıt tasarrufu, düşük yakıt maliyeti ve yüksek performans gibi temel nedenlerden dolayı tercih edilmektedir [2]. Dizel motorların yaydığı kirleticiler arasında, özellikle azotoksitler, karbonmonoksit, kükürtlü bileşenler, hidrokarbonlar, aldehitler ve partikül maddeler yer almaktadır [4]. Karbon monoksitler, yanma sırasında yeterli oksijenin olmamasından dolayı karbonun (C) havayla yeterince tepkimeye girememesi sonucu oluşurlar. Dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştıklarından dolayı, karbonmonoksit oranları genellikle düşüktür. Azotoksitler, yanma odasındaki sıcaklık 1800 °K üzerine çıktığı zaman havadaki azot ve oksijenin kimyasal olarak birleşmesi sonucu meydana gelirler. Hidrokarbonlar, yakıtın tam olarak yanmaması ya da buharlaşmaması sonucunda oluşurlar. Aldehitler, kullanılan yakıtın eksik yanması

nedeniyle oluşan hidrokarbonların yanmamış parçalarıdır. Partikül madde, is, yanmamış yakıt, yağ, metal, nitrat ve sülfat gibi maddelerden oluşur. Karışım ve yakıt türü, partikül madde oluşumuna neden olabilir [5].

Egzoz emisyonlarının kontrol altına alınması amacıyla ilk düzenleme 1968'de Kaliforniya'da yapılmıştır ve ilk sınırlamalar 1972'de Avrupa Birliği ülkelerinde ECE R 15 Regülasyonu ve EEC 72/220 yönetmeliği ile başlamıştır. Günümüzde, dünya genelindeki gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, EEC/ECE, EPA, JIS gibi çeşitli regülasyonlarla egzoz emisyonlarına yönelik düzenlemeler uygulamaktadır [6]. Avrupa Birliği ülkelerindeki binek ve ağır vasıta araçlardan çıkan egzoz gazlarındaki kirleticileri kontrol altına almak amacıyla Euro normu oluşturulmuştur. Euro normu, 1992 yılında Avrupa Birliği'nde Euro 1 ile başlamıştır. Euro-4, Euro-5 ve Euro-6 standartları 2006, 2009 ve 2014 yıllarında kabul edilmiştir. Bu standartlar, azotoksit ve partikül emisyonlarını azaltmak gibi çeşitli şartları da beraberinde getirmiştir. Dizel motorlu araçlarda Adblue (üre) ve SCR kullanımı, yanmayı kötüleştirmeden düşük emisyon üretmek için kullanılmaktadır [7].

Literatürde SCR sistemlerinin tasarımı, NO_x emisyonlarına ve geri basınca olan etkilerinin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. SCR sistemlerinde mikser kullanılmasının gerekli olduğunu ilk olarak Takehiko Kowatari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Takehiko Kowatari ve arkadaşları SCR sistemlerinde NO_x emisyonlarını azaltmak için bir dozlama cihazı geliştirmiştir. Bu dozlama cihazı bir hidroliz katalizörü ve elektrikle ısınan baypas içermektedir. Bir enjektör yardımıyla baypasa üre solüsyonu gönderilir. Baypas yalnızca amonyak (NH₃) üretmek için termoliz sırasında ısınır. Elde edilen amonyak gazı daha sonra ana egzoz akışı ile karıştırılır. Egzoz gazı ve ürenin birbirine daha iyi karışabilmesi için girdaplı bir akış oluşturulması ve bunun içinde kanatlı bir yapı kullanılmasının daha efektif bir karışma sağlayacağı belirtilmiştir [8].

Akira Nishioka ve arkadaşları üre dozlama ünitesini geliştirilmek için çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada, hidroliz katalizörü ve elektrikle ısıtılan baypas yardımıyla dozlama yapabilen cihaza amonyak ve egzoz gazının daha iyi birbirlerine karışabilmesi için statik mikser kullanmışlardır. Kullanılan mikserin basınç oluşturduğunu ve oluşan basıncında verimliliği etkilediği belirtilmiştir [9].

Felix, Ulrich ve Peter tarafından yapılan çalışmada, SCR sistemlerinde kullanılan ürenin bilgisayar ortamında akış analizi için çift fazlı akış modeli ve spreyleme yapılmıştır. Sprey model ile püskürtülen üre, atomize olarak amonyağa daha kolay dönüştüğü ve daha hızlı buharlaştığı belirtilmiştir. Çalışmada egzoz borusu hattı boyunca, ürenin SCR katalizörüne girene kadarki süreçlerini gözlemlemişlerdir [10].

Soo-Jin Jeong ve arkadaşları SCR katalizörü ile üre enjektörü arasında kısa bir mesafe olmasından dolayı enjeksiyon açısı, enjektörün konumu ve enjeksiyon deliklerinin sayısının SCR katalizörü girişindeki amonyak dönüşüm oranı ve amonyak homojenlik dağılımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada; 60° ile 120° arasında üre enjeksiyonunun maksimum NH₃ dönüşüm oranını ve NH₃ homojenlik indeksi verdiğini, 75° üre enjeksiyonu homojenlik endeksi için en yüksek sonucu ve 90° üre enjeksiyonu en yüksek NH₃ dönüşüm oranını verdiğini belirtmişlerdir [11].

Guanye Zheng ve arkadaşları üç farklı tip mikserin farklı sınır koşullarında UI Hız, UI NH₃ ve geri basınca etkilerini incelemiştir. Miksersiz, kılıç tip mikser, kelebek tip mikser ve konik tip mikserin egzoz gazı sıcaklığı ve kütsel debi miktarları değiştirilerek sayısal analiz çalışmaları yapmışlardır. Mikser kullanımının tüm sınır koşullarında geri basıncı arttırdığını, ancak UI NH₃ ve UI Hız değerlerini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Sınır koşulları değiştikçe mikserlerin verdiği performansların değiştiğini belirtmişlerdir [12].

Eduardo Alone ve arkadaşları SCR sistemlerinde NO_x emisyonlarını azaltabilmek için kompakt bir mikser tasarımı üzerine çalışmışlardır. Bu kompakt yapı 4 bölümden oluşmaktadır. Gaz giriş sacı, açılı bir mikser formu, ters açılı bir mikser formu ve üre enjektör montaj modülü. Oluşturdıkları kompakt mikseri hem bilgisayar ortamında analizlerini hem de deneysel yöntemler ile testlerini gerçekleştirmiştir. 4 farklı sınır koşulu ile çalışmalarını yaptıklarında kompakt mikserin UI NH₃ değerinin yüksek fakat geri basınç değerini de oldukça yüksek bulmuşlardır [13].

Christian Krenn ve arkadaşları SCR sistemlerinde kullanılan mikserlerin amonyak ve egzoz gazının karıştıktan sonra homojenlik endeksinin analiz yöntemlerinde daha doğru sonuçlar ile ölçülebilmesi için türbülanslı akış modellerini değiştirerek sistematik bir çalışma yapmışlardır. K-ε türbülans modellerinden RSM (Reynolds Stress Model)

kullanılarak yaptıkları analizlerin diğer türbülans modellerinden daha doğru sonuç verdiğini belirtmişlerdir [14].

Jungmo Oh ve arkadaşları, SCR sistemlerinde kullanılan üre mikserlerinin deneysel olarak Canny Filtreleme yöntemiyle görüntülenebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında, mikserden önce üre püskürtülerek akışın mikserlerle karışması sonucunda duvara püskürtülen amonyak-egzoz gazı karışımının görüntüsünü elde etmek için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Miksersiz, GCP tipi mikser ve vorteks tipi mikserlerle deneyler yapmışlar ve en iyi sonucu GCP tipi mikserde elde ettiklerini belirlemişlerdir [15].

Nic van Vuuren ve Jianrong Qin, SCR sistemlerinde kullanılan üre püskürtme işleminin sıcaklıkları ile ilgili çalışma yapmıştır. Yaptıkları çalışmada püskürtülen üre sıcaklığını oda sıcaklığında ve 100 °C'ye doğru kademeli sıcaklıklarda deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda püskürtülen ürenin buhar fraksiyonunun dengesiz arttığı ve püskürtmenin kontrolsüz hale geldiği belirtilmiştir. Üre püskürtme sıcaklığının CFD analizleri ile dengelenmesi gerektiği belirtilmiştir [16].

Taewha Park ve arkadaşları, SCR sistemlerinde mikser kullanımının, amonyak homojenlik indeksine (UI NH₃) etkisini mikserli ve miksersiz modelleri UI NH₃ açısından kıyaslamıştır. Mikser kullanılan SCR sistemlerinde UI NH₃ dağılımının, miksersiz modele göre büyük ölçüde iyileştiğini yaptıkları sayısal analiz yöntemleri ile görmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada çizgi tip mikser, girdap tip mikser ve miksersiz sonuçları karşılaştırarak UI NH₃ dağılımını ve geri basınca etkilerini incelemişlerdir [17].

Matthieu ve arkadaşları, SCR sistemlerinde üre dağılımını deneysel yöntemle incelemişlerdir. Komple egzoz hattının üreden püskürtme işleminden sonraki kısmını, şeffaf cam boru ile oluşturup lazer ve yüksek çözünürlüklü kamera ile kayıt alarak incelemişlerdir. Çalışmada mikserlerin kanatçıklarının püskürtülen üreyi buharlaştırmakta oldukça etkili olduğu ve püskürtme işleminden sonra katalizörün uzaklığı arttıkça karışımın daha verimli olduğu belirtilmiştir [18].

Cheolyong Choi ve arkadaşları, mikserin UI NH₃'e olan etkilerini incelemek için up-down tip mikser, girdap tip mikser, kısmi girdap tip mikser ve miksersiz olarak CFD

analizleri çalışmaları yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada mikser kullanımının NH_3 homojenlik indeksini ciddi anlamda iyileştirdiğini ve en yüksek sonuçları girdap tipi mikserin verdiğini belirtmişlerdir. Mikserden sonra ölçüm alınan yüzeyin uzaklığı arttıkça, karışımın daha homojen olduğu ifade edilmiştir [19].

Joel Michelin ve arkadaşları, SCR sistemlerinde NO_x emisyonlarını azaltmak için amonyağın SCR katalizörüne daha iyi karışabilmesi için mikser yerine, boru hattında 135° bükülmüş bir boru kullanarak akış yönünü değiştirmeyi ve ek olarak DOC veya DPF kullanımını araştırmışlardır. Çalışmalarında, CFD analiz yöntemini kullanarak elde ettikleri sonuçları deneysel olarak doğrulamışlar ve bu sistemlerin üre karışımını artırdığını ancak yüksek maliyetli olduklarını belirtmişlerdir [20].

Xinna Tian ve arkadaşları, GK olarak adlandırdıkları bir mikserin SCR sistemlerinde kullanılan egzoz borusunda konumunu sabit tutarak, mikserden sonra belirli uzaklıklardaki kesitlerin UI NH_3 'e etkisini incelemişlerdir. Analizler sonucunda, taranan kesitlerin mikserden uzaklaştıkça, UI NH_3 'in giderek iyileştiğini belirtmişlerdir [21].

Gianluca Padula ve arkadaşları, altı kanatlı kılıç tip mikser ve 53 delikli mikserin UI NH_3 ve geri basınca etkilerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada altı kanatlı kılıç tip mikserin delikli yapıli mikserle göre daha iyi UI NH_3 verdiğini ve yüzey alanları hemen hemen yakın oldukları için geri basınç değelerlerinin çok yakın olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada enjekte edilen amonyağın kütlele olarak büyüklüğünün, UI NH_3 'e etkisinin yok sayılacak kadar az olduğu belirtilmiştir [22].

Philipp Schiffmann ve arkadaşları, dört farklı tasarimli mikserin deneysel yöntem ile oluşturdukları geri basınca ve UI NH_3 değelerine bakmışlardır. Deneylerinde kılıç mikser, difüzör tip mikser, iki elemanli mikser ve ters iki elemanli mikser tipini kullanmışlardır. Bir hassas kamera ve optik düzenleyici ile görüntüleri yakalayan Philipp Schiffmann ve arkadaşları hesapları bu yöntem ile gerçekleştirmiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda debi değeri yükseldikçe mikserlerin oluşturduğu geri basınç değeri artmış ve en az geri basıncı kılıç tipi mikserde elde etmişlerdir. UI NH_3 değeri debiye bağıli fazla değışime uğramamış ve en iyi sonucu difüzör tip mikserde elde etmişlerdir [23].

Chuang Zhao ve arkadaşları, NO_x emisyonlarını azaltmak için SCR sistemlerinde yeni ve kompakt bir mikser tasarımı için deneysel olarak çalışmışlardır. Kompakt mikser; ön plaka, buharlaşma plakası, arka reflektör ve difüzörden oluşmaktadır. Yaptıkları çalışmada bir dizel motora, egzoz borusu, kompakt mikser ve SCR katalizörü bağlayıp sistemin çıkış tarafında 40 farklı noktadan emisyon ölçerek UI NH_3 değerlerinin ortalamasını almışlar ve CFD analiz yöntemi ile yaptıkları çalışmayı doğrulamışlardır. Çalışmada UI NH_3 değerini 0,9 üzerinde elde etmişlerdir [24].

Chaofeng Zhang ve arkadaşları GCP tip mikser, baffle tip mikser, çift vorteks tip mikser ve GCP-B tip mikser olarak isimlendirdikleri dört farklı mikserin konumuna göre üre püskürtülmesinden sonraki performanslarını incelemişlerdir. Çalışma analiz yöntemi ve deneysel olarak yapılmış olup, püskürtme noktası uzaklaştıkça UI NH_3 değerinin arttığını belirtmişlerdir. Üre püskürtme mesafesi, boru çapının 7 ve 8 katı olduğunda karışım performansının düştüğü ve ürenin mikserlerde yığılma yaparak biriktiği belirtilmiştir [25].

Ghazanfer Mehdi ve arkadaşları, girdap tip mikser, çizgi tip mikser ve ikisini arka arkaya kullanarak (hem girdap hem çizgi tip) sayısal analiz çalışması yapmışlardır. Çizgi tip mikserin UI Hız değerinin girdap tip mikserine göre daha iyi sonuç verdiği, girdap tip mikserin UI NH_3 değerinin çizgi tip mikserine göre daha iyi sonuç verdiği ve iki mikserinde arka arkaya kullanılması durumunda hem UI Hız değerinin hem de UI NH_3 değerinin tek mikser kullanıma göre daha iyi sonuç verdiği yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmalarda belirtilmiştir [26].

Ligang Tan ve arkadaşları 45° açılı ve 8 kanata sahip mikserin üre dönüşüm oranına etkisini, üre karışım oranı ve UI NH_3 performansına etkilerini; miksersiz, tek mikser ve çift mikser kullanarak analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmada çift mikser kullanmanın en iyi performans verdiği ve bu performansın mikser konumundan uzaklaştıkça arttığı belirtilmiştir [27].

Yuanqing Zhu ve arkadaşları dört farklı tip mikserin egzoz gazı akışına ve SCR performansına etkilerini analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada merkezi kavisli mikser, konik yelpazeli mikser, düzenli yukarı aşağı tip mikser ve düzensiz yukarı aşağı tip mikseri incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda mikserlerin geri basınca, UI

NH_3 'e ve UI Hız 'a olan etkilerini değerlendirmiş ve mikser kullanımının UI NH_3 'e faydalı olduğunun ancak geri basınç oluşturduğunu ve mikserlerin akış girdaplarının SCR sistemlerinde performansı değiştirdiğini belirtmişlerdir [28].

Yonmo Sung ve arkadaşları miksersiz, karışım çemberi, mikser ve karışım çemberi ile beraber mikser kullanımının SCR sistemlerindeki performansını deneysel ve analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada karışım çemberi ve mikseri bir arada kullanınca en iyi performansı aldıklarını görmüşlerdir. Ancak bunun geri basınca etkisi olumsuz olacağından dolayı, geri basınç ağıısından da değerlendirmesi gerektiğini belirtmişlerdir [29].

İsmail Hakkı ve Zafer Gül, mikser kullanımının SCR sistemleri kullanılan egzoz sisteminde akışa etkilerini deneysel ve analiz yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada vana tipi mikser kullanmışlardır. Bir egzoz hattına mikserden belirli bir uzaklıkta iki pencere ağııp, üre enjektöründen püskürtülen ürenin mikserden sonraki hareketlerini incelemişlerdir. Analiz çalışmalarında ise tetra ve holy mesh tiplerinin farklarını inceleyip, k-ε akış modelinde holy mesh tipinin daha doğru sonuç verdiğini ifade etmişlerdir [30].

Bu çalışmada dizel motorlarda emisyon oluşumu ve bu emisyonları azaltmak için kullanılan Aftertreatment Sistemleri mikserlerin, geri basınca ve NH_3 homojenlik indeksine UI NH_3 'e etkisi, 27 farklı mikserin parametrik etkileri sayısal analiz yöntemiyle incelenmiştir. Parametrik çalışma için kanat uzunlukları, kanat ağııları ve kanat sayıları değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. Geri basınç hedefinin 1 kPa'dan düşük olması ve UI NH_3 değerinin 0,85' ten yüksek olması hedeflenmiştir. Aralarından bu değerleri sağlayan 6 mikser prototip olarak imal edilmiş ve deneysel olarak geri basınç testleri ve UI NH_3 ölçümleri yapılarak sonuçlar doğrulanmıştır. Akustik performans için iletim kaybı ölçümleri yapılmış ve akustik davranışları incelenmiştir.

2. DİZEL MOTOR EMİSYONLARI VE EMİSYON KONTROL YÖNTEMLERİ

2.1. DİZEL MOTOR EMİSYONLARI

Dizel motorlar, tarım, ulaşım ve sanayi gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu motorların yüksek ısı verimi, yakıt ekonomisi, dayanıklılığı ve sağlamlığı avantajlarıdır. Dizel motorlar, fosil yakıtların kullanılması sonucunda çevreye zararlı emisyonlar salmaktadır. Bu emisyonların oluşumu, yanmanın tam ve ideal şartlarda gerçekleşmemesi nedeniyle meydana gelir. Dizel motorlar her zaman ideal şartlarda çalışmadığından dolayı, kirlетici emisyonların oluşması kaçınılmazdır. PM, is ve NO_x gibi zararlı emisyonlar nedeniyle çevresel endişeler her geçen gün artmaktadır. Dizel motorlar, yanma sırasında çeşitli zararlı gazlar salınımına neden olur. Bu gazlar arasında hidrokarbonlar, karbon monoksit, azot oksitleri, kükürt dioksit, partikül maddeler ve kurşun bileşikleri yer alır. Ancak, dizel motorların fakir karışımında çalışmaları nedeniyle en önemli kirlетici emisyonlar, azot oksitler ve partikül maddelerdir [2]. Bu emisyonlar insan sağlığı için tehlikeler oluşturduğundan dolayı, sınırlama için dünya genelinde sıkı düzenlemeler getirilmektedir. Bunun yanı sıra, fosil yakıtlara olan yüksek talep ve lüks tüketim fosil yakıt rezervlerinin tükenmesine neden olmaktadır [31-32].

2.1.1. Karbon Monoksitler

Dizel motorlar, yanma işlemi sırasında az miktarda oksijen kullanır ve bu nedenle tam yanma gerçekleşmez. Bu, bir dizi zararlı gazın oluşumuna neden olur, ancak karbon monoksit (CO) emisyonları düşük seviyelerde kalır. Bu nedenle, dizel motorların düşük karbon monoksit emisyonlarına sahip olmasının nedeni, yanma işleminin hava fazlalığı ile gerçekleşmesidir. Karbon monoksit emisyonları, hava fazlalık katsayısının etkisi altındadır. Düşük yüklerde, düşük sıcaklıklar CO'nun CO₂'ye oksidasyonunu yavaşlatır. Ancak yük arttıkça ve sıcaklık yükseldikçe oksidasyon reaksiyonu hızlanır. Ancak hava fazlalık katsayısı belirli bir seviyenin üzerine çıkarsa, oksijen yetersiz kalır ve CO emisyonları artar [33].

2.1.2. Hidrokarbonlar

Hidrokarbonların temel oluşum nedeni, oksijenin ve sıcaklığın yetersiz olmasıdır. Bu durumda, tam yanamayan yakıt egzozdan atılır. Bu oluşumun arkasındaki temel faktör, hava fazlalık katsayısının (HFK) 1'den küçük olmasıdır [34]. Dizel motorları, fakir karışımda çalıştıklarından dolayı hidrokarbon (HC) emisyonlarının benzinli motorlardan daha düşük olduğu bilinmektedir. Yanma odasının soğuk cidarlarında gerçekleşen ısı kayıpları, oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlamasına ve alevin söndürülmesine neden olur. Bu durum, hidrokarbon emisyonlarının oluşmasına yol açar [35]. Motorun ilk çalışma şartlarında, daha fazla hidrokarbon emisyonu üretildiği bilinmektedir. Ancak yükün artmasıyla birlikte silindire giren yakıt miktarı da artar ve sıcaklığın artmasıyla hidrokarbon miktarı azalır.

2.1.3. Partikül Maddeler

Partikül madde, is, kısmi veya yanmamış hidrokarbonlar, sülfat, nitratlar ve metaller gibi unsurlardan oluşur. Bu partikül madde, çözünabilir ve çözünemez olmak üzere katı kısım olarak da ayrılmaktadır [36]. İs, partikül madde içindeki yanmamış yakıtın katılaşması sonucu meydana gelir. Bu katılaşma, yüksek sıcaklıkların yanma odasında oluşmasından kaynaklanır. İs, genellikle 8 birim karbon ve 1 birim hidrokarbondan oluşur ve partikül maddenin yarısından fazlasını oluşturur. Hidrokarbonların is oluşumu, sıvı ve gaz fazındaki 6 aşamalı bir süreçle gerçekleşir: ısıl dönüşüm, çekirdekleşme, birleşme, yüzey genişlemesi, kümeleşme ve oksidasyon. Oksidasyon işlemi, hidrokarbonların karbon monoksit, karbondioksit ve su buharına dönüşmesine neden olur [37].

Nitratlar, genellikle azot dioksit ve su buharının birleşmesi sonucu oluşur. Bu bileşikler, özellikle yüksek sıcaklıklarda, yanma odasında meydana gelir. Nitratların, partikül madde içindeki hacimsel yüzdeleri oldukça düşüktür [38].

Metaller, partikül madde içinde bulunan bileşenler arasındadır. Bu metaller, genellikle demir, magnezyum, alüminyum, bakır ve kurşun gibi elementlerden oluşur. Metallerin partikül madde içerisindeki oranı oldukça düşüktür ve genellikle yağlama yağı içindeki metallerin yanı sıra piston ve segman aşınmalarından kaynaklanır [39]. Organik kısım ise, oksidasyon reaksiyonundan kaçan yakıt ve buharlaşmış yağlardan meydana gelir.

2.1.4. Azot Oksitler

Yanma işlemi sırasında, atmosferik havanın içindeki azot ve oksijenin birleşmesi sonucu azot oksitleri oluşmaktadır. Azot oksitlerin %90'ını azot monoksit (NO) oluşturur. Bu atık gazlar havaya salındıktan sonra, azot monoksitler (NO) bir kısmı azot dioksitine (NO₂) dönüşmektedir [40]. Azot oksit emisyonlarının oluşumu, hava fazlalık katsayısı, sıcaklık ve kimyasal reaksiyon hızları tarafından etkilenmektedir. Azot oksitlerin oluşum miktarı, yakıt ve hava karışımındaki oksijen oranı ile etkilenmektedir. Daha fakir karışımlarda azot oksit oranları artmaktadır ve bu oran %10'a kadar çıkabilmektedir. Ancak hava fazlalık katsayısı arttıkça yanma sıcaklığı da düşeceğinden, azot oksitlerin miktarı azalmaktadır [41]. Azot oksitlerin oluşumu Zeldovich reaksiyonları ile tanımlanmaktadır. Zeldovich reaksiyonları Eşitlik 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.



Azot oksitlerin oluşumu, reaksiyon hızlarına bağlıdır ve bu hızlar sıcaklık tarafından etkilenir. Yanma sırasında, ulaşılan en yüksek sıcaklıkta, azot oksitleri için kimyasal denge sağlanamadan sıcaklık düşmeye başlar. Sıcaklığın düşmesi ile azot oksitlerinin azota ve oksijene dönüşmesi beklenir, ancak sıcaklık çok düşük olduğunda reaksiyon oldukça yavaşlar. Bu durumda azot oksitler dönüşümü gerçekleştiremeden donarlar. [42].

2.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYON KONTROL YÖNTEMLERİ

İçten yanmalı motorlarda, egzoz gazlarının azaltılması amacıyla egzoz sonrası emisyon kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlere, egzoz aftertreatment sistemleri ya da direk aftertreatment sistemleri denilmektedir. Bu sistemler, egzoz gazlarının oksidasyon reaksiyonlarına maruz bırakılarak, zararsız gazlara dönüştürülmesini hedeflemektedir. Emisyon normlarının uygulanması ile birlikte, taşıt kaynaklı kirliliğin azaltılması için zararlı gazların limitleri her geçen gün düşürülmektedir. İlk yıllarda basit çözümlerle emisyon seviyeleri limitlere çekilebilirken, günümüzde daha karmaşık ve birden fazla eleman içeren sistemler kullanılarak, egzoz gazlarının kontrol altına alınması için çalışmalar devam etmektedir.

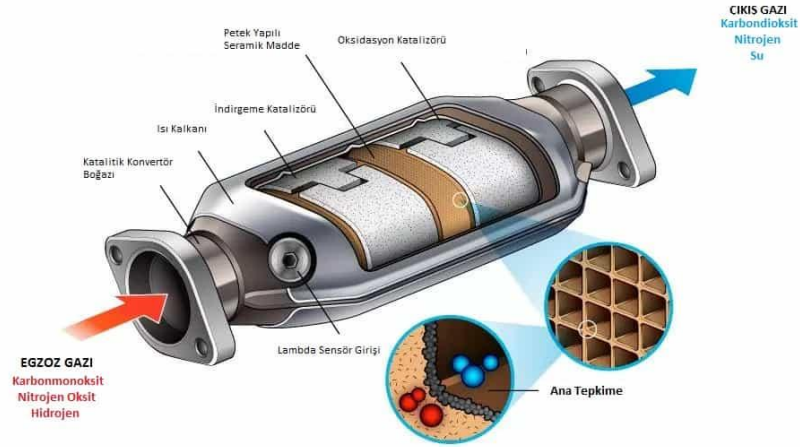
2.2.1. Üç Yollu Katalitik Konvertörler

Üç yollu katalitik konvertörler (ÜYK), emisyon kontrolü için kullanılan en yaygın yöntemdir ve genellikle seramik veya metal malzemeden yapılmıştır. Seramik konvertörler genellikle kordierit kullanılarak üretilirken, metal konvertörler genellikle demir-krom-alüminyum alaşımları kullanılarak üretilir [2]. Seramik konvertörler, yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı oldukları için tercih edilirken, araç üzerinde daha dayanıklı oldukları için metal katalizörler de tercih edilir [43].

Üç yollu katalitik konvertörler, Platinyum (Pt), Paladyum (Pd) ve Rodyum (Rd) gibi pahalı metallerle kaplanarak emisyon azaltımı sağlanmaktadır. Kaplama işlemi, belirli oranlarda elementlerin sıvı halde katalitik konvertör içine nüfuz ettirilmesiyle gerçekleştirilir. Pd ve Pt, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonlarını azaltırken, Rd azot oksit emisyonlarını azaltmaktadır. Kaplama işlemi sırasında, karışımın kanallar içinde homojen olarak yayılması önemlidir. Kaplama yapılmamış veya nüfuz etmemiş bölgeler, egzoz gazlarının reaksiyona girmeden atılmasına neden olabilir. Üç yollu katalitik konvertörlerde, kaplama miktarı toplam pahalı metallerin kütlesinin katalitik konvertör hacmine oranı ile ifade edilir. Eşitlik 2.3'te TPM; pahalı metallerin toplam kütlesini, KV; katalitik konvertör hacmini, KM ise kaplama miktarını ifade etmektedir. Katalitik konvertör etkinliğini kaplama miktarı belirlemektedir. Kaplama miktarının az olması katalitik konvertör etkinliğini düşürecektir, fazla olması ise maliyeti arttıracaktır. Bu nedenlerden dolayı kaplama miktarının optimize edilerek uygulanması gerekmektedir [2].

$$KM = \frac{TPM}{KV} \quad (2.3)$$

Üç yollu katalitik konvertörler, arka arkaya iki katalizörün kullanılması ile meydana gelmektedirler. İlk katalizör, indirgeme katalizörü, ikincisi ise oksidasyon katalizörü olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.1'de üç yollu katalitik konvertörün yapısı gösterilmiştir [2].



Şekil 2.1. Üç yollu katalitik konvertör yapısı [2].

İndirgeme katalizöründe, egzoz gazlarında bulunan zararlı azot oksit gazlarının (NO_x) azot (N_2) ve oksijene (O_2) ayrılmasını sağlamaktadır. Katalizör, rodyum ve platinyum elementleri ile kaplanmaktadır. Denklem 2.4 ve 2.5’ te ayrışım reaksiyonlarına ait tepkime denklemleri verilmiştir [2].



İndirgeme katalizöründen sonra gelen ise oksidasyon katalizörüdür. Oksidasyon katalizöründe ise egzoz gazlarındaki hidrokarbon ve karbon monoksit gazları azaltılmaktadır. Oksidasyon katalizöründe gerçekleşen reaksiyonlar Denklem 2.6 ve 2.7’de verilmiştir. Katalizör Pt ve Pd elementleri ile kaplanmaktadır [2].



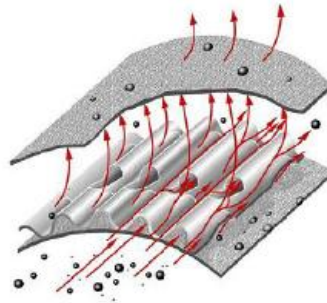
İndirgeme ve oksidasyon katalizöründe ki reaksiyonlarda görüldüğü üzere zararlı egzoz emisyonları daha zararsız olan karbondioksit, su buharı ve azota dönüşmektedir.

2.2.2. Dizel Partikül Filtresi

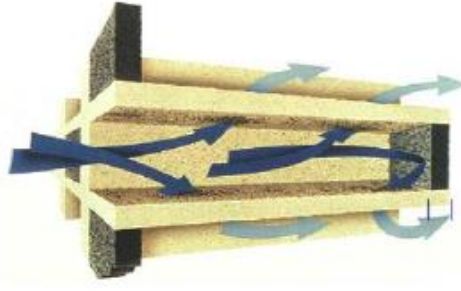
Dizel partikül filtresi (DPF), dizel motorlardan çıkan egzoz emisyonlarında doğal olarak oluşan partikül maddeleri (PM) veya kurum ve is gibi maddelerin azaltılması için kullanılan bir sistemdir.

PM, hava kirliliğinde en tehlikeli bileşenler arasında yer almaktadır ve insan sağlığına ciddi zararlar verebilir. Bu partiküllerin boyutları $0,1 \mu\text{m}$ ' a kadar düşebilir ve solunum yolu ile vücuda girdiklerinde akciğer, kalp hatta beyin gibi hayati organlara kolayca ulaşarak, ciddi hastalıklara ve hatta ölüme neden olabilirler [44].

Dizel partikül filtreleri, kısmi akışlı ve duvar akışlı olmak üzere iki farklı türde üretilmektedir. Duvar akışlı DPF' ler genellikle seramik malzemeden, kısmi akışlı DPF' ler ise metalik malzemeden üretilmektedir. Seramik DPF' ler genellikle kordierit veya silisyum karbid malzemeden imal edilirken, metal DPF' ler ise alüminyum-titan (Al_2TiO_5) alaşımından yapılmaktadır [2]. Dizel partikül filtreleri iki farklı yapıda üretilmektedir: kısmi akışlı ve duvar akışlı. Kısmi akışlı DPF' ler, metalik malzemelerden yapılmaktadır ve egzoz gazlarının yaklaşık %60'ını filtreleyebilmektedir. Öte yandan, seramik malzemelerden imal edilen duvar akışlı DPF'ler egzoz gazlarının %99'una kadarını filtreleyebilmektedir. Günümüzde partikül madde emisyonlarında büyük oranda azaltma gereksinimi duyulduğu için tercih edilen DPF'ler duvar akışlıdır. Kısmi akışlı partikül filtre ve duvar akışlı partikül filtre Şekil 2.2 ve Şekil 2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kısmi akışlı partikül filtre.



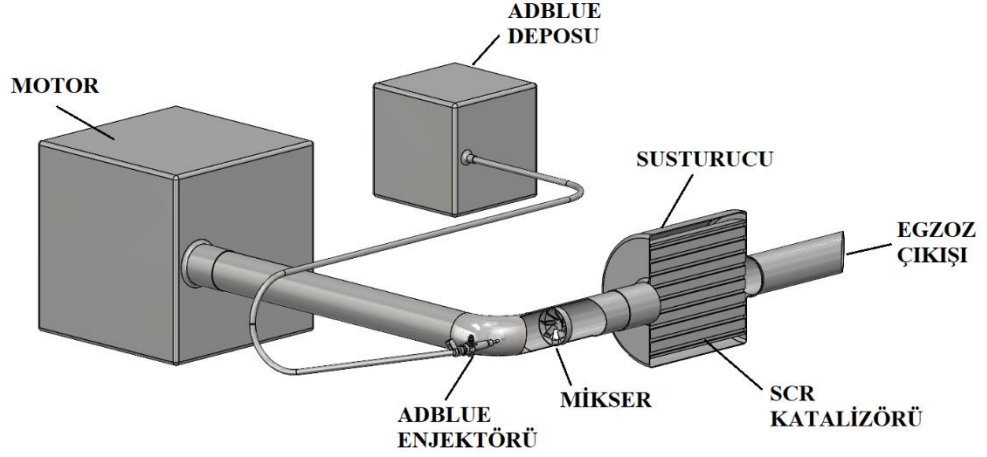
Şekil 2.3. Duvar akışlı partikül filtre.

Dizel partikül filtresi zaman içinde egzoz emisyonlarından biriken partikül maddeyi filtreleyerek aracın çevre dostu olmasını sağlar. Ancak, filtre içinde biriken partiküller, filtrelerin tıkanmasına ve dolayısıyla aracın performansının düşmesine neden olabilir. Bu nedenle, filtrenin temizlenmesi ve motor performansının düşüşünden kaynaklanan basıncın azaltılması için rejenerasyon adı verilen bir temizleme işlemi gereklidir. Rejenerasyon işlemi, pasif ve aktif olmak üzere iki çeşide ayrılır [45].

2.2.3. Seçici Katalizör İndirgeme

Seçici katalizör indirgeme (SCR), teknik olarak yıllarca geliştirilmiş, yüksek NO_x emisyonu giderme, uygun maliyetli ve yakıt ekonomisi konusunda faydalı bir AFT sistemidir. Euro standartlarına uymak amacıyla, yanmayı kötüleştirmeden düşük emisyon üretmek için dizel motorlarda Adblue katkı maddesi ve SCR kullanılmaya başlanmıştır [46]. Bu sistemde egzoz gazları, egzoz sıvısı ile reaksiyona girip azotoksit emisyonlarını azaltmaktadır. Bu egzoz sıvısı üre suyu çözeltisi (UWS) ya da Adblue diye tanımlanır. Bu üre suyu çözeltisinin egzoz gazı ile uygun bir şekilde karışması gerekmektedir [47].

Şekil 2.4'te SCR sistemi elemanları görülmektedir. Üre suyu çözeltisi Adblue tankından (%32,5 üre- %67,5 su) egzoz gazına enjekte edilir [48].



Şekil 2.4. SCR sistemi elemanları.

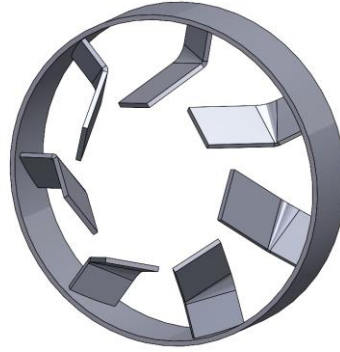
Üre ayrışması üç aşamada gerçekleşir: ilk olarak üre su çözeltisinden buharlaştırılır, ikinci olarak üre piroliz reaksiyonu meydana gelir ve üçüncü olarak üre izosiyonik asit (HNCO) ve amonyağa (NH₃) ayrışır [49]. Amonyak indirgeyici bileşen olarak kullanılır fakat zehirli yapısı ve depolanamaz oluşu ve kullanım zorluğundan dolayı doğrudan kullanılamaz [50]. SCR sisteminde yer alan reaksiyonlar Eşitlik 2.8-2.12’de tanımlanmıştır;



Eşitlik 2.8 üre piroliz reaksiyonunu, Eşitlik 1.9 HNCO hidrolizini, Eşitlik 2.10 standart SCR reaksiyonunu, Eşitlik 2.11 hızlı SCR reaksiyonunu ve Eşitlik 2.12 yavaş SCR reaksiyonunu göstermektedir [47].

2.2.3.1. SCR Sistemlerinde Mikserlerin Önemi

SCR sistemlerinde mikser SCR katalizörünün girişinde püskürtülen ürenin homojen bir dağılım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Mikserler genellikle susturucu girişi veya giriş borusunun içerisinde bir konumda bulunurlar ve üreyi katalizörün tüm kesitlerine ulaşmasını sağlamaktadır. Şekil 2.5'te mikser görseli bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Mikser görseli.

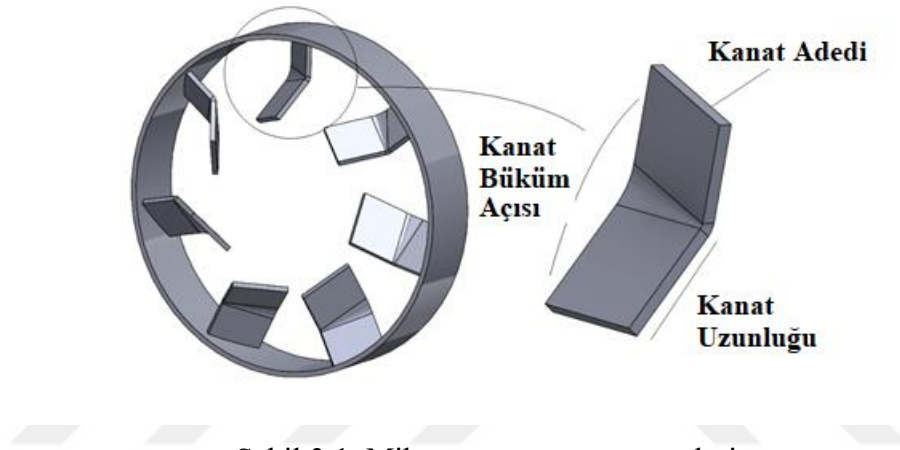
Mikserler genellikle kanatçıklardan oluşurlar. Kanatçık sayısı, kanatçık açısı ve kanatçık uzunlukları doğrudan mikserin performansını etkilemektedir. Kanatçık şekillerine göre mikser tipleri de değişmektedir. Mikserlerin tasarımı SCR sistemleri için oldukça önem arz etmektedir. Doğru mikser tasarımı yapılmaması püskürtülen ürenin katalizöre homojen yayılmasını ve katalizör içerisine giren egzoz gazının üre ile etkileşime girememesine sebep verir ve SCR sistemleri efektif olarak çalışamaz. Böyle bir durumda istenilen emisyon seviyeleri yakalanamaz.

İyi bir mikserin genel olarak; püskürtülen ürenin dağılımının her yere ulaşacak şekilde ve eşit olması, egzoz geri basıncını fazla arttırmaması, hız ve türbülansların optimum seviyede olması ve statik mukavemetlerinin iyi olmasıdır.

Aftertreatment sisteminde mikser tasarımı, püskürtülen ürenin akış hacmi içerisinde homojen yayılması açısından önemlidir. Uygun olmayan mikser tasarımı ile katalizör içerisine girecek olan egzoz gazlarının bazı bölgelerinde amonyak oluşmayacak ve istenilen NO_x azaltımı sağlanamayacaktır. Bundan dolayı mikser tasarımı bu şartları sağlaması oldukça önemlidir.

3. MATERYAL VE METOT

SCR sistemlerinde kullanılan mikserlere ait akış ve akustik özellikleri kanat sayısı, kanat uzunlukları ve kanat açılarına göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kanat sayıları, kanat açıları ve kanat uzunlukları değiştirilerek mikserlerin akış özelliklerinin değişimi analiz yöntemiyle ve deneysel yöntemlerle incelenmiştir. İncelenecek olan parametreler ve mikser görseli Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Mikser tasarım parametreleri.

Tasarlanan mikserler için kanat uzunlukları 14, 18 ve 22 mm, kanat sayıları 6, 7 ve 8, kanat açıları 30°, 45° ve 60° olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.1’de 27 ayrı tasarım parametresi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mikser parametreleri.

Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)
Mikser 1	6	30	14
Mikser 2	6	30	18
Mikser 3	6	30	22
Mikser 4	6	45	14
Mikser 5	6	45	18
Mikser 6	6	45	22
Mikser 7	6	60	14
Mikser 8	6	60	18
Mikser 9	6	60	22

Çizelge 3.1. (devam) Mikser parametreleri.

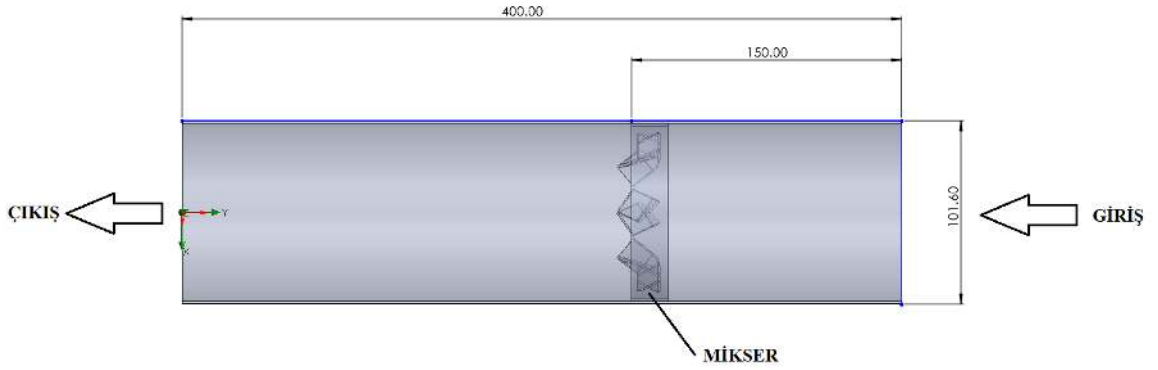
Mikser 10	7	30	14
Mikser 11	7	30	18
Mikser 12	7	30	22
Mikser 13	7	45	14
Mikser 14	7	45	18
Mikser 15	7	45	22
Mikser 16	7	60	14
Mikser 17	7	60	18
Mikser 18	7	60	22
Mikser 19	8	30	14
Mikser 20	8	30	18
Mikser 21	8	30	22
Mikser 22	8	45	14
Mikser 23	8	45	18
Mikser 24	8	45	22
Mikser 25	8	60	14
Mikser 26	8	60	18
Mikser 27	8	60	22

Akış analizleri tek fazlı akış analizleri ve çift fazlı akış analizleri olarak iki kısımda incelenmiştir. Mikser tasarımı esnasında, deneysel çalışmalar yapılmadan önce mikserlerin oluşturacağı geri basınç ve UI NH₃ değerlerinin görülmesinde sayısal çalışmalar büyük önem teşkil etmektedir. Prototip imalatı yapılmadan önce sayısal çalışmalar ile optimum mikserler tasarlanabilir ve imal edilebilir. Tek fazlı akış analizlerinde üre püskürtme işleminin geri basınca etkisi yok sayılacak kadar az olduğundan geri basınç analizleri yapılmış, çift fazlı akış analizlerinde ikinci faz olarak üre püskürtme analizlere dahil edilmiştir.

Tek fazlı ve çift fazlı akış analizlerinde elde edilen sonuçlara göre 6 mikser belirlenmiş ve prototip imalatları tasarım parametrelerine göre imal edilmiştir. İmal edilen 6 çeşit mikserin geri basınç testleri ve UI NH₃ testleri deneysel yöntem kullanılarak sonuçlar doğrulanmıştır ve bu yöntemler alt başlıklar halinde verilmiştir. Sonuçları doğrulanan 6 çeşit mikserin transmission loss (iletim kaybı) testleri deneysel olarak yapılarak, akustik davranışları incelenip, bu yöntemler alt başlıklar halinde verilmiştir ve değerlendirilmiştir.

3.1. TEK FAZLI AKIŞ ANALİZLERİ

Bu bölümde, mikserlerin geri basınca olan etkileri, Solidworks Flow Simulation programı kullanılarak incelenmiştir. Solidworks Flow Simulation, geri basınç analizi için kullanılan bir CFD (Computational Fluid Dynamics- Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımıdır. Geri basınç analizi, bir akışkanın bir sisteme girerken veya bir sistemden çıkarken oluşan basınç düşüşünü analiz etmek için kullanılır. Akış modelini oluşturmak için Solidworks programında mikser modeli CFD analizine uygun bir şekilde çizilmiştir. Mikserlerin kullanıldığı boru çapı, 101.6 mm seçilmiştir. Mikserli borunun toplam boyu 400 mm olacak şekilde modellenmiştir. Mikser borunun girişinden 150 mm uzaklığa konumlandırılmıştır. Tek fazlı akış modelinde yalnızca geri basınç değerine bakılacaktır ve üre püskürtülmesinin geri basınca etkisinin ihmal edilecek kadar düşük olduğundan dolayı analiz modeline dahil edilmemiştir. Şekil 3.2’de tek fazlı akış modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tek fazlı akış modeli.

Çizelge 3.2’de tek fazlı akış analizi için sınır koşulları verilmiştir. Sınır koşulları testlerin yapılacağı motorun debisi ve sıcaklığı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Tek fazlı akış analizi sınır koşulları.

Akışkan	Giriş Kütleli Debi (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Akış Modeli	Çıkış Basıncı (Pa)
Hava	380	650	Türbülanslı	101325

Geri basınç analizi için Solidworks Flow Simulation'da kullanılan fiziksel eşitlikler, temel akışkan mekaniği prensiplerine dayanır.

Bernoulli denklemi, akışkanın basınç ve hızının birbirleriyle ilişkisini ifade eden temel bir denklemdir. Eşitlik 3.1'de Bernoulli denklemi verilmiştir.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (3.1)$$

Burada, P_1 ve P_2 sırasıyla başlangıç ve bitiş noktasındaki basınçları, v_1 ve v_2 hızları, ρ akışkan yoğunluğu, g yerçekimi ivmesi ve h_1 , h_2 yükseklik farklarını temsil eder. Bu denklem, basınç düşüşü ve hız değişimi arasındaki ilişkiyi gösterir.

Momentum denklemi (Navier-Stokes denklemlerinin bir parçası olarak), bir noktadaki akışkanın momentum değişimini ifade eder. Bu denklem, akışkanın hız ve sıcaklığına bağlı olarak değişen bir terim içerir. Genel olarak, üç boyutlu akışlar için vektör formunda yazılır. Eşitlik 3.2'de hız ve sıcaklığa bağlı momentum denklemi verilmiştir.

$$\rho * \left(\frac{dV}{dt} \right) = \nabla P + \mu * \nabla^2 V + \rho * g + \rho * Ft \quad (3.2)$$

Burada, ρ akışkanın yoğunluğunu, dV/dt akışkanın hızının zamanla değişime olan ivmesini, P basıncı, μ akışkanın dinamik viskozitesini, ∇P basınç gradyanını, $\nabla^2 V$ akışkanın hızının ikinci türevini (laplacian), g yer çekimi ivmesini, Ft dış kuvvetlerin (sürtünme kuvveti gibi) toplamını gösterir. Momentum denklemi, akışkanın hareketini ve hız değişikliklerini açıklar. Hız ve sıcaklık, momentum denkleminin akışkanın davranışını belirleyen bileşenleridir. Bu denklem, akışkanın momentum transferini analiz etmek ve akışkanın hız ve sıcaklık değişimlerini hesaplamak için kullanılır.

İç enerji denklemleri, akışkanın enerji dağılımını hesaplamak için kullanılan temel denklemlerdir. İç enerji denklemleri, akışkanın sıcaklık ve özellikle sıcaklık değişimi ile

ilişkili olan iç enerjisi üzerine odaklanır. Geri basınç analizi için iç enerji denklemleri izotermal denklem ve izentropik denklem olarak verilir. Eşitlik 3.3 ve 3.4'te sırasıyla izotermal denklem ve izentropik denklem verilmiştir.

$$U = C_v * T \quad (3.3)$$

$$U = C_v * T + \frac{1}{2} * V^2 \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde U akışkanın iç enerjisini, C_v özgül ısı değerini, T sıcaklığı ve V hızı ifade etmektedir. İç enerji denklemleri, akışkanın termal davranışını analiz etmek ve enerji değişimlerini hesaplamak için önemli matematiksel araçlardır. Bu denklemler, geri basınç analizinde akışkanın iç enerji bileşenini hesaplamak için kullanılır.

Bu denklemler, Solidworks Simulation'da geri basınç analizi için kullanılan temel eşitliklerdir. Geri basınç analizi yaparken hesaplama alanı boyunca mesh yapısı olan tüm bölgelere bu denklemleri arka planda çözdürerek sonuçlar elde edilir. Geri basınç değerini elde ederken giriş ve çıkış yüzeylerindeki toplam basınç farkı alınır. Eşitlik 3.5'te geri basınç formülü verilmiştir.

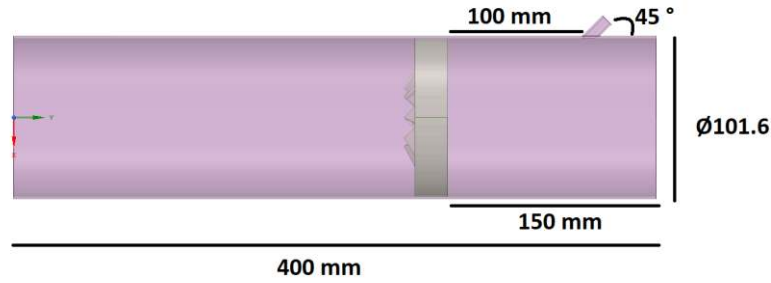
$$\Delta P = P_{t1} - P_{t2} \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte ΔP , giriş ve çıkış yüzeyleri arasındaki basınç farkını, P_{t1} giriş yüzeyindeki toplam basıncı, P_{t2} çıkış yüzeyindeki toplam basıncı ifade etmektedir. Giriş ve çıkış yüzeylerindeki toplam basınç farkı ise geri basınç değerini vermektedir.

3.2. ÇİFT FAZLI AKIŞ ANALİZLERİ

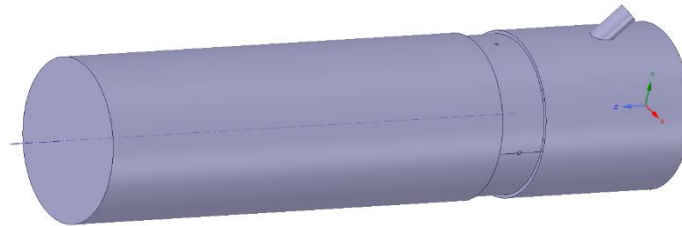
Bu bölümde, mikserlerin kanat sayıları, kanat açıları ve kanat uzunlukları UI NH₃'e olan etkileri, Ansys Workbench programı kullanılarak incelenmiştir.

Çift fazlı akış modelini oluşturmak için solidworks programında model CFD analizine uygun bir şekilde çizilmiştir. Mikserlerin kullanıldığı boru standart Ø101.6 'lık boru seçilmiştir. Mikserli borunun toplam boyu 400 mm olacak şekilde modellenmiştir. Mikser borunun girişinden 150 mm uzaklığa konumlandırılmıştır. Çift fazlı akış modelinde ikinci faz akış için ürenin püskürtüleceği bölge modele eklenmiştir. UI NH₃ dağılımına ve değerine mikserden en uzak olan düzlemde bakılacaktır. Ürenin püskürtüleceği alan mikserden 100 mm öteye konumlandırılmıştır. Şekil 3.3'te hazırlanan model görülmektedir.



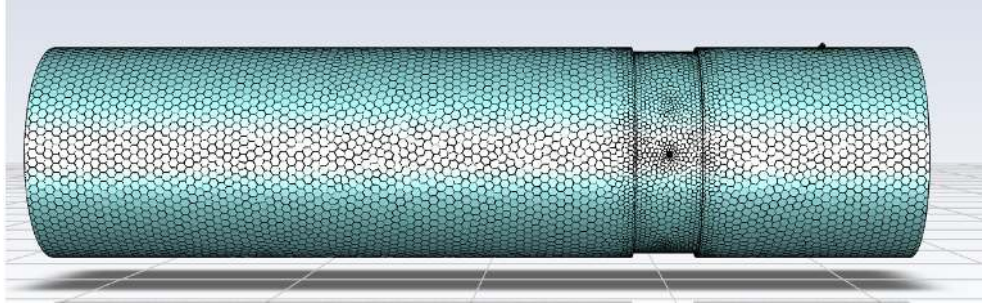
Şekil 3.3. Çift fazlı akış analiz modeli.

Model hazırlandıktan sonra akış hacmi (cavity) çıkarılmıştır. Ansys akış analizlerinde cavity ile çözümleme yapmaktadır. Çıkarılan akış hacmi modeli şekil 3.4'te gösterilmiştir.

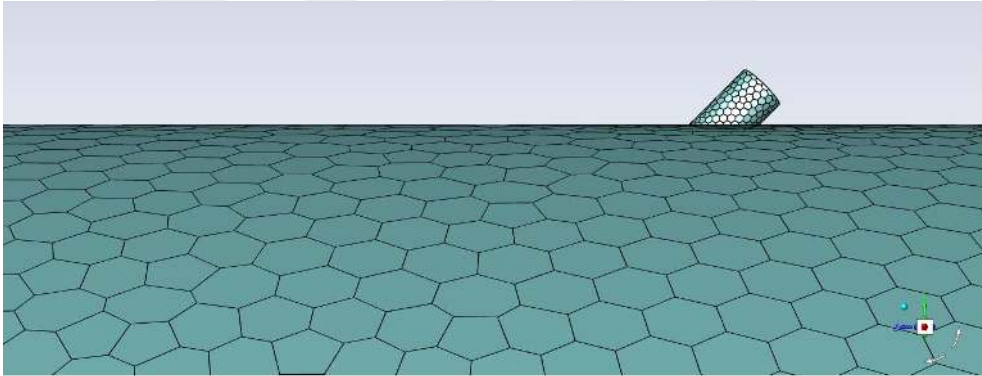


Şekil 3.4. Çift fazlı akış analizi hacmi.

Çift fazlı akış analizleri tek fazlı akış analizlerine göre daha karmaşık ve zordur. Çizilen model, çıkarılan akış hacmi, yapılan mesh oldukça hassas ve düzgün yapılmalıdır. Bu çalışmada daha hassas mesh atabilmek ve daha hassas sonuçlar alabilmek için fluent with fluent meshin modülü ile çalışma yapılmıştır. Meshleme metodu olarak poly-hexcore mesh metodu kullanılmıştır. Şekil 3.5'te ve şekil 3.6'da mesh görüntüsünün genel ve detay hali görülmektedir.



Şekil 3.5. Genel mesh görüntüsü.



Şekil 3.6. Mesh görüntüsü detay.

Çift fazlı akış analizi için sınır koşulları çizelge 3.3'te verilmiştir. Akış modeli k-omega seçilmiş, multi faz modeli Volume of fluid seçilmiş ve üre için spray model tercih edilmiştir. Spray model cone yapıda tercih edilmiştir.

Çizelge 3.3. Çift fazlı analiz sınır koşulları.

Debi (kg/h)	Sıcaklık (°C)	Üre Püskürtme Hızı (m/sn)	Üre Sıcaklığı (°C)
380	6	30	14

Çizelge 3.3. (devam) Çift fazlı analiz sınır koşulları.

Injection Type	Multiphase	Mechanism	Discrete Phase
Cone	Volume Of Fluid	Vof-to-dpm	On

Çift fazlı akış analizlerinde ANSYS, çeşitli eşitlikleri ve modelleri kullanır. Bu analizlerde, genellikle çok fazlı akışın karakteristiklerini hesaplamak için iki temel eşitlik kullanılır: kütlenin korunumu ve momentum denklemi. Ayrıca, akışkan fazlar arası etkileşimleri, yoğunluk farkları, yüzey gerilimi gibi faktörleri hesaba katan ek eşitlikler ve modeller de kullanılabilir.

Çift fazlı akış analizinde, her faz için ayrı ayrı kütlenin korunumu denklemleri kullanılır. Çift fazlı akış analizlerinde, kütlenin korunumu Eşitlik 3.6 ve 3.7’de verilen denklemler kullanılır.

$$S1 = \partial(\alpha1 * \rho1) / \partial t + \nabla \cdot (\alpha1 * \rho1 * v1) \quad (3.6)$$

$$S2 = \partial(\alpha2 * \rho2) / \partial t + \nabla \cdot (\alpha2 * \rho2 * v2) \quad (3.7)$$

Bu eşitliklerde $\alpha1$ ve $\alpha2$, sırasıyla 1. ve 2. fazın hacim fraksiyonlarını, $\rho1$ ve $\rho2$, sırasıyla 1. ve 2. fazın yoğunluklarını $v1$ ve $v2$, sırasıyla 1. ve 2. fazın hız vektörlerini $S1$ ve $S2$, sırasıyla 1. ve 2. fazın kaynak/sınırlama terimlerini temsil eder. Bu denklem, her fazdaki akışkanın hacimsel değişimini ve akış hızıyla olan ilişkisini ifade eder. Sağ tarafta yer alan terimler, bir fazın hacim fraksiyonunun zaman türevini ve akışkanın kütleli akışının çıkışını temsil eder. Sol tarafta yer alan terimler ise kaynak veya sınırlama terimlerini temsil eder. Bu terimler, herhangi bir fazdaki kütle kaynakları veya sınırlamaları (örneğin, kimyasal reaksiyonlar veya termal etkiler) hesaplamak için kullanılır. Bu denklem, her fazdaki kütlenin korunumunu ifade eder ve akışın çift fazlı doğasını dikkate alır. Bu denklem, çift fazlı akış analizlerinde önemli bir rol oynar ve diğer denklemlerle birlikte kullanılarak akışın davranışını ve karakteristiklerini hesaplamaya yardımcı olur.

Çift fazlı akış analizinde, her faz için ayrı ayrı momentum denklemleri kullanılır. Bu denklemler, her fazdaki akışkanın hareketini ve hız dağılımını hesaplar. Eşitlik 3.8 ve 3.9’da çift fazlı akış analizlerinde kullanılan momentum denklemleri verilmiştir.

$$\rho_1 * (\partial v_1 / \partial t + v_1 \cdot \nabla v_1) = -\nabla P_1 + \nabla \cdot \tau_1 + \rho_1 * g + F_1 \quad (3.8)$$

$$\rho_2 * (\partial v_2 / \partial t + v_2 \cdot \nabla v_2) = -\nabla P_2 + \nabla \cdot \tau_2 + \rho_2 * g + F_2 \quad (3.9)$$

Bu eşitliklerde v_1 ve v_2 , sırasıyla 1. ve 2. fazın hız vektörlerini, ρ_1 ve ρ_2 , sırasıyla 1. ve 2. fazın yoğunluklarını, P_1 ve P_2 , sırasıyla 1. ve 2. fazın basınçlarını, ∇P_1 ve ∇P_2 , sırasıyla 1. ve 2. fazın basınç gradyanlarını, τ_1 ve τ_2 , sırasıyla 1. ve 2. fazın gerilme tensörlerini, g yer çekimi ivmesini, F_1 ve F_2 sırasıyla fazın dış kuvvetlerini (sürtünme gibi.) ifade etmektedir. Bu denklemler, her fazdaki akışkanın hareketini ifade eder. Sol tarafta yer alan terimler, hızın zamana göre türevini ve hız vektörünün konveksiyon türevi ile ilgilidir. Sağ tarafta yer alan terimler ise basınç gradyanı, gerilme tensörü, yerçekimi etkisi ve dış kuvvetleri içerir. Bu denklemler, akışkanın hız ve basınç dağılımını, akışkan fazlar arasındaki etkileşimleri ve kuvvetlerin etkisini hesaplamak için kullanılır.

K-epsilon türbülans modeli, çift fazlı akış analizlerinde sıklıkla kullanılan bir türbülans modelidir. Bu model, akışta türbülansın etkilerini hesaplamak için Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemlerine dayanır. Eşitlik 3.10’da k-epsilon türbülans modelinde ‘‘k’’ eşitliği verilmiştir.

$$\partial(\rho * k) / \partial t + \nabla \cdot (\rho * k * v) = \nabla \cdot (\mu_{eff} * \nabla k) + Pk - \varepsilon \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte, k , türbülans kinetik enerjisi, ρ , akışkan yoğunluğunu, t , zamanı, v , akış hızını, μ_{eff} , etkin vizkoziteyi, Pk , türbülansın gerilim radyanını, ε , türbülans kinetik enerji kaybıdır.

Eşitlik 3.11’de epsilon (ε) eşitliği verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho * \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho * \varepsilon * v) = \nabla \cdot (\mu_{eff} * \nabla \varepsilon) + C1 * \varepsilon * Pk - C2 * \rho * (\varepsilon / k) * |\nabla v| + C3 * \varepsilon^2 / k \quad (3.11)$$

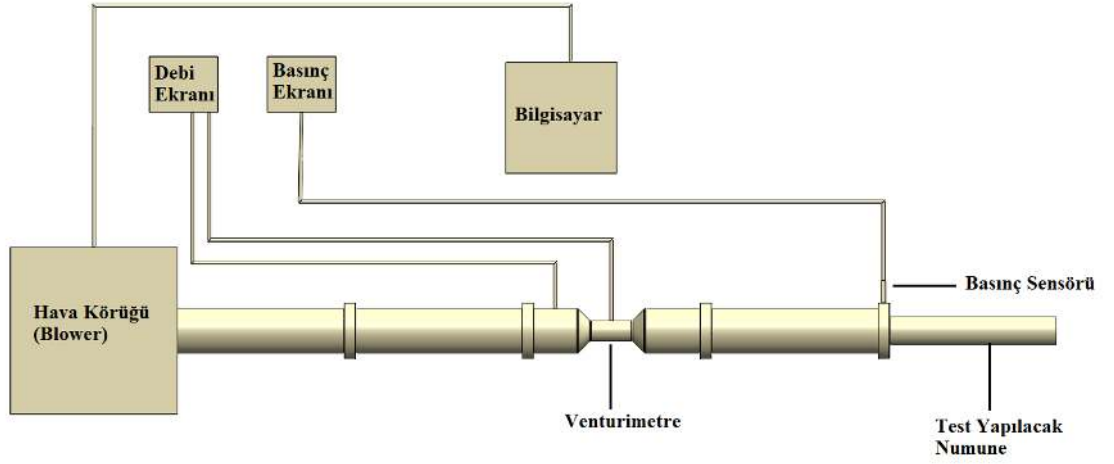
Bu denklemde ε türbülans dissipe olan enerjiyi, $C1, C2, C3$ modelin sabit katsayılarıdır. Bu eşitlikler, akıştaki türbülansın kinetik enerji ve dissipe olan enerjisinin korunumunu ifade eder. K eşitliği, türbülans kinetik enerjisinin türevini ve üretim, viskozite difüzyonu ve kaybı içeren terimleri içerir. Epsilon (ε) eşitliği ise türbülansın dissipe olan enerjisinin türevini ve üretim, difüzyon, hız gradyanı ve k-epsilon modeline özgü ek terimleri içerir.

Bu eşitlikler, akışta türbülansın etkilerini hesaplamak için kullanılır. K-epsilon türbülans modelini kullanarak çift fazlı akış analizlerinde türbülans hesaplanır ve akışın türbülans karakteristiklerini tahmin edebilir.

3.3. GERİ BASINÇ ÖLÇÜM DENEYİ

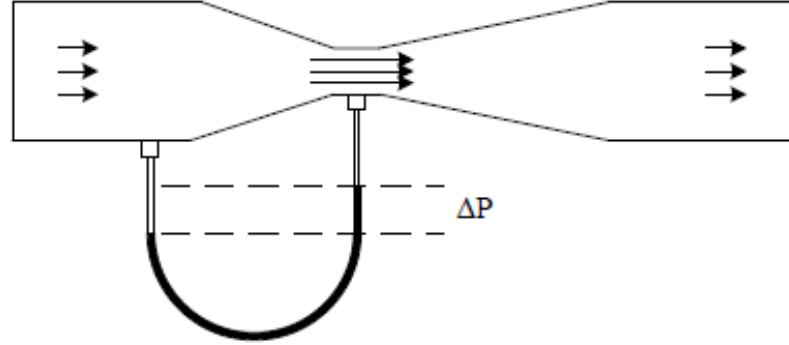
Egzoz sistemleri egzoz gazının akışı sırasında belirli bir direnç yaratırlar, bu direnç geri basınç olarak adlandırılmaktadır ve motor üreticileri, ürettikleri motorun maksimum debi ve egzoz gazı sıcaklığında aşılmasa gereken bir geri basınç limiti belirlerler. Bu değeri egzoz sistemi tasarlarken geçmemek gerekmektedir.

Geri basınç ölçümü yaparken istenilen hava debisini elde etmek için hava körüğü (blower) kullanılmıştır. Kullanılan hava körüğü bilgisayardan kontrol edilebilir bir hava kaynağıdır. Delta Vfdsoft yazılımı ile hava körüğü devri ve buna bağlı olarak hava debisi kontrol edilmektedir. Seviye seviye devri arttırarak her arttırılan devir için mikserlerin oluşturduğu geri basınç ve debi değerleri kayıt altına alınarak geri basınç-kütlesel debi grafikleri elde edilecektir. Şekil 3.7’de geri basınç ölçüm düzeneği şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.7. Geri basınç ölçüm düzeneği şematik gösterimi.

Akış sırasında kütleli debinin hesaplanması için sisteme uygun venturimetreye tasarlanmıştır. Venturimetreye ait gösterim şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Venturimetreye.

Venturimetreye çalışma prensibi olarak gelen akış geniş kesit alanından, dar kesit alanına geçer ve kesit alanı farklılarından dolayı basınç değişimi oluşur. Kütleli debi; oluşan basınç farkı değerlerine bağlı olarak (2.1)’deki eşitlik kullanılarak hesaplanır. Diğer özellikler standartlarda [51] belirtilenler kullanılarak belirlenmiş ve venturimetreye buna uygun olarak imal edilmiştir.

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \epsilon \frac{\pi}{4} d_b^2 \sqrt{2 \Delta P_V} \rho_1 \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte geçen q_m , C , β , ε , d_b , ΔP_v , ρ_1 terimleri sırası ile kütleli debiyi, boşaltım katsayısını, küçük çapın büyük çapa oranını, genişleme faktörünü, boğaz çapını, ventürimetrede ölçülen basınç farkını ve girişteki yoğunluğu ifade etmektedir. Boruya girişteki çap ve girişteki yoğunluk değeri kullanılarak kütleli debiden hızda hesaplanabilir. C ile ifade edilen boşaltım katsayısı ventürimetrede ki basınç kayıpları, ε ile ifade edilen genişleme faktörü ise havanın özelliklerinin değişmesine bağlı olan katsayılarıdır. Bu değerler ventürimetrenin geometrisine, akışkanın özelliklerine bağlıdır ve standartta deneysel yollarla elde edilen ifadeler esas alınarak belirlenmiştir.

Hem geri basınç hem de UI NH_3 değeri göz önünde bulundurularak, 6 mikser seçilip yapılan analiz çalışmalarının doğruluğu deneysel olarak incelenmiştir. Seçilen mikserler en yüksek UI NH_3 değerlerine sahip olan ve aynı zamanda geri basınç değerleri düşük çıkan mikserler olarak seçilmiştir. Analiz çalışmalarını doğrulamak için UI NH_3 değeri düşük olan mikserlerde seçilmiştir. Deney için seçilen mikserler; mikser 2, mikser 7, mikser 12, mikser 15, mikser 26 ve mikser 27'dir.

Çizelge 3.4'te deneysel çalışmalar için seçilen mikserler gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Deney için seçilen mikserler.

Model	Kanat Sayısı	Kanat Uzunluğu	Kanat Açısı
Mikser 2	6	18 mm	30°
Mikser 7	6	14 mm	60°
Mikser 12	7	22 mm	30°
Mikser 15	7	22 mm	45°
Mikser 26	8	18 mm	60°
Mikser 27	8	22 mm	60°

Deneylerde kullanılacak mikserlerin üretim sonrası resimleri Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Mikserler lazer tezgahında önce kanatçıklar kesilerek ve daha sonrasında kesilen kanatçıkların cakalama yöntemiyle kanat açıları ve uzunlukları ayarlanmıştır. Lazer boru kesim makinesinde kanatçıkların oturacağı borunun bağlantı yerleri kesilmiş ve bu

bağlantı yerlerinden mikser kanatçıkları kaynaklı birleşme ile nihai ürünler üretilmiştir. Üretimi yapılan mikserlerin doğruluğu profil projeksiyon cihazında kontrol edilmiştir.



Şekil 3.9. Testlerde kullanılacak mikserler.

Şekil 3.10'da geri basınç deney düzeneğine ait fotoğraf gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 3.10. a) Geri basınç test düzeneği genel görünüm b) Mikser bağlı görünüm.

3.4. NH₃ HOMOJENLİK İNDEKSİ ÖLÇÜM DENEYİ

Bu bölümde mikserlerin UI NH₃ ölçümü için kurulan test düzeneği ve ölçümün nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

UI NH₃ ölçümü için Şekil 3.11’de gösterilen deney düzeneği kurulmuştur.

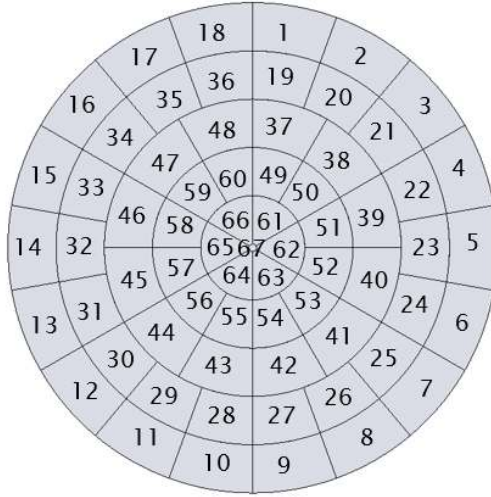


Şekil 3.11. UI NH₃ ölçüm düzeneği.

UI NH₃ ölçüm düzeneği dizel motor yardımı ile çalışmaktadır. Bu motor akış analizlerinde kullanılan egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz gazı debisini karşılamaktadır. Motorun egzoz manifoldu çıkışına ölçümü yapılacak olan mikserli egzoz hattı yerleştirilmiştir. Üre enjektörü çift fazlı akış analizleri ile aynı olması için mikserden 100 mm öncesine 45° açı ile konumlandırılmıştır.

SCR sistemlerinde mikser SCR katalizöründen önce kullanıldığı ve püskürtülen ürenin akış içerisinde her yere eşit dağılması gerektiği için ölçümü tek bir noktadan yapmak sonuçları yanıltacaktır. Bu çalışmada egzoz borusu içerisine püskürtülen ürenin mikserden sonra boru kesiti üzerinde her yere ulaşp ulaşmadığını görmek için NH₃ sensörü ile, pitot tüpü yardımıyla toplamda 67 noktadan ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.12). Bu noktalar, pitot tüpünün borunun en dış yüzeyinden merkezine doğru 10’ ar mm hareket

ettirilerek, 20° farka sahip 18 farklı noktanın seçimi ile elde edilmiştir.



Şekil 3.12. NH₃ ölçüm noktaları.

Pitot tüpü üzerine 5' er mm artacak şekilde toplam uzunluğu 80 mm olan cetvel çizilmiştir. Bu cetvel ve dijital açı ölçer yardımıyla boru kesitinde ki noktaların yerleri tayin edilmiştir (Şekil 3.13).



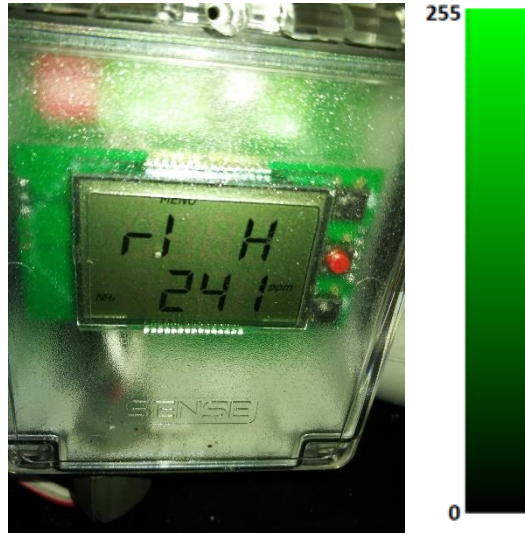
Şekil 3.13. Pitot tüpü ve cetveli.

Numaralandırılan 67 noktadan pitot tüpünün cetveli ve dijital açı ölçer yardımıyla Şekil 3.14'te gösterilen Sense marka yüksek hassasiyetli NH₃ ölçüm sensörü yardımıyla 67 adet ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.14. Sense NH₃ ölçüm cihazı.

NH₃ ölçüm sensörü NH₃ miktarına göre 0 ile 255 arasında değer vermektedir. Bunun için 0 ile 255 arası renk skala cetveli oluşturulmuştur.



a)

b)

Şekil 3.15. a) Örnek ölçüm fotosu b) Renk skalası.

Ölçülen 6 mikserin ölçüm kayıtları solidworks çizim programı yardımıyla renk kodları olarak girilerek modelde noktaların yüzeyleri boyanmıştır.

UI NH₃ değerini hesaplamak için 0 değeri 0 ve 255 değeri 100 kabul edilmiştir. Noktaların yüzey alanları farklı olduğu için ağırlıklı ortalama alınarak UI NH₃ değeri hesaplanmıştır.

$$UI \text{ NH}_3 = \frac{\sum(YA \times \ddot{O}D)}{TYA} \times \frac{100}{255} \quad (3.13)$$

Yukarıda ki eşitlikte YA, ÖD, TYA sırasıyla ölçüm alınan noktanın bulunduğu yüzeyin alanı, ölçülen değeri ve toplam yüzey alanını ifade etmektedir. Bu denklem yardımıyla UI NH₃ değeri yüzdesel olarak hesaplanmaktadır.

3.5. AKUSTİK PERFORMANS ÖLÇÜM DENEYİ

Tezin bu bölümünde analizleri ve üretimi gerçekleştirilen 2, 7, 12, 15, 26 ve 27 numaralı mikserlerin akustik testlerinin teorik arka plan bilgileri ve test düzeneği hakkında bilgiler verilmiştir. Akustik performansları incelemek için transmission loss (iletim kaybı) (TL) testleri gerçekleştirilmiştir.

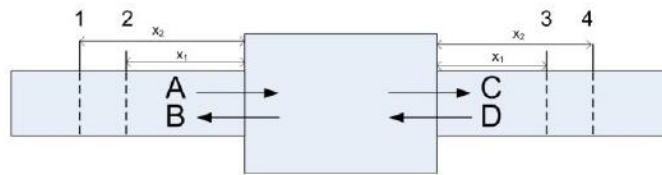
İletim kaybı daha çok susturucular için kullanılan bir terimdir ve susturucuya giren ile çıkan ses farkına denilir. Bu çalışmada aynı yöntem ile susturucu yerine mikserlerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Akustik bir eleman dört kutup parametresi yardımı ile modellenabilir [52]. Şekil 3.16’da bu parametreler gösterilmiştir. Mikserlerin giriş ve çıkışındaki basınç ve hız bileşenlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.16. Dört kutup parametresi.

Mikserlerin iletim kaybının dört kutup parametresi yöntemiyle hesaplanabilmesi için giriş ve çıkışlarında toplam 4 adet mikrofön kullanılmıştır. Giriş ve çıkış basınç ve hız parametrelerinin hesaplanmasında, Chung [53,54] tarafından geliştirilen ses dalgalarının, gelen ve giden dalga olarak ayrılması yöntemi kullanılacaktır ve 2 farklı empedans sınır koşulu (2 yük) ile denklemler türetilecektir. Şekil 3.17’de giriş ve çıkışlardan gelen ve giden dalgaya ayrılmış olan model gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.17. Giriş ve çıkışta yansıyan ve gelen dalga.

Gelen ve giden dalga arasındaki Eşitlik 3.14’teki gibi tanımlanabilir [55].

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

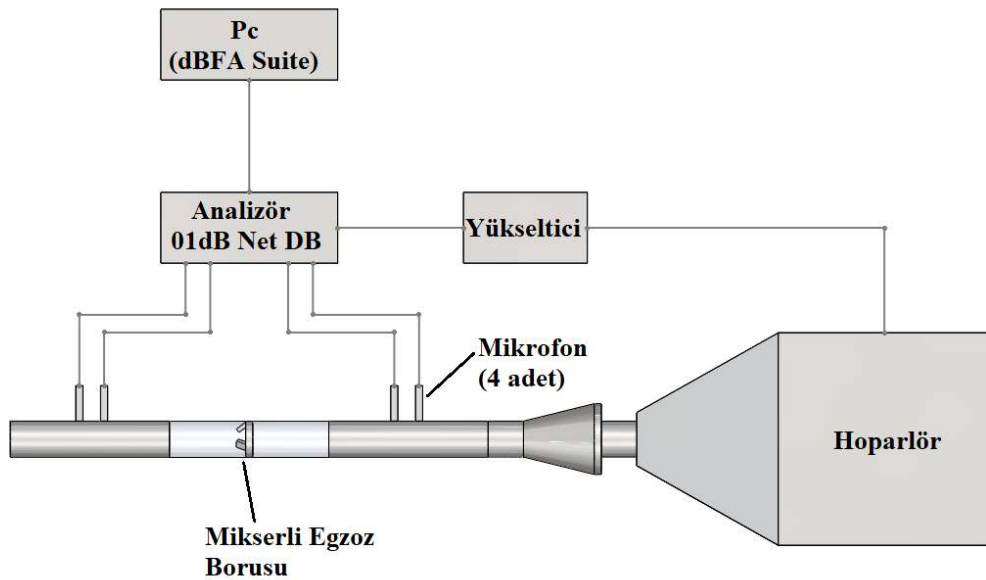
Bu eşitlikte α , β , γ ve θ akustik elemana ve yansıma şartlarına bağlı katsayıları ifade ederken A, B, C ve D ise sırası ile giriş ve çıkıştaki gelen ve yansıyan dalgaları ifade etmektedir. Bu eşitliğe göre gelen akustik enerjinin iletilen akustik enerjiye oranı olarak tanımlanan iletim kaybı Eşitlik 3.15'teki gibi olacaktır.

$$TL = 10 \log |\alpha| = 10 \log \left| \frac{A}{C + \beta D} \right| \quad (3.15)$$

Uçta anekoik sonlandırma kabulü yapıldığında, yansıyan bileşen olmayacağından $D=0$ olacaktır ve iletim kaybı Eşitlik 3.16'daki gibi olacaktır.

$$TL = 20 \log \left| \frac{A}{C} \right| \quad (3.16)$$

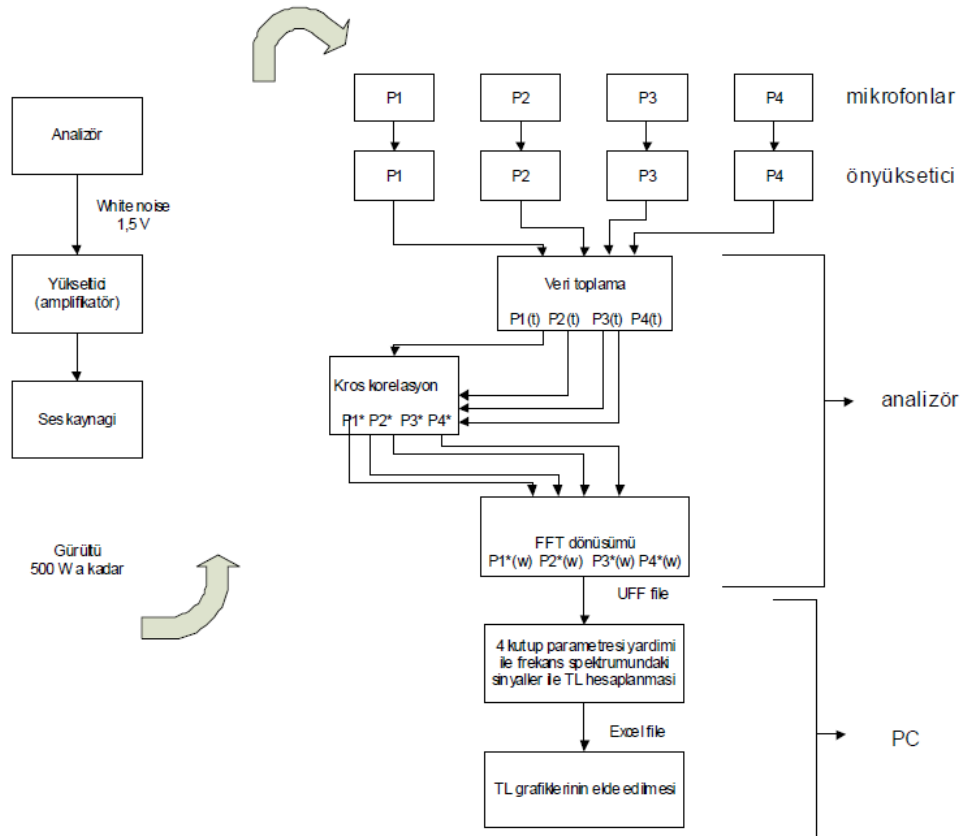
Şekil 3.18'de iletim kaybı yapılacak mikserlerin test düzeneği ve kullanılan ekipmanlar şeması verilmiştir.



Şekil 3.18. İletim kaybı ölçüm düzeneği.

Ölçüm düzeneği hoparlör, yükseltici, analizör, pc, mikrofon ve mikserli borudan oluşmaktadır. Analizörden beyaz gürültü sinyali üretilir ve beyaz gürültü tüm frekanslarda etkin çalışan bir gürültü çeşididir. Analizörden üretilen beyaz gürültü sinyali yükseltici yardımıyla hoparlöre gönderilir ve hoparlörden mikserle gönderilir. Mikserli borunun giriş ve çıkışında toplamda dört adet mikrofon bulunur ve bu mikrofonlar yardımıyla zamana bağlı sinyaller toplanır ve mikrofon ön yükselticilerinde yükseltildikten sonra FFT dönüşümü yapılarak frekansa bağlı oto spektrum ve çapraz spektrum değerleri elde edilir. Analizörden alınan bu veriler bilgisayarda işlenir ve iletim kaybı grafikleri elde edilir.

Şekil 3.19’da akustik ölçüm akış şeması verilmiştir. FFT dönüştürücüsü ve beyaz gürültü sinyal üreticisi olarak 01dB firmasına ait NetdB analizörü ve buna ait dBFA Suite yazılımı kullanılmıştır. FFT dönüştürücüsü için nokta sayısı 1024, frekans çözünürlüğü ise 12,5 Hz. olarak seçilmiş ve bant genişliği 3000 Hz’e kadardır. Sinyallerin toplanması için G.R.A.S. marka Type 46BD basınç tipi ¼ inç mikrofonlar kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Akustik ölçüm akış şeması.

4. SONUÇLAR

Bu bölümde parametrik çalışmaları yapılan 27 farklı mikserin tek fazlı analizlerinde elde edilen geri basınç sonuçları ve çift fazlı akış analizlerinden elde edilen UI NH₃ sonuçları paylaşılmış, bu sonuçlara göre kanat uzunluklarının, kanat açılarının ve kanat sayılarının değiştirilmesinin akış performansına geri basınç ve UI NH₃ açısından nasıl etki ettiği incelenmiş ve üretimi yapılan 6 mikserin deneysel sonuçları ile beraber mikserlerin akustik davranışları iletim kaybı grafikleriyle incelenmiştir.

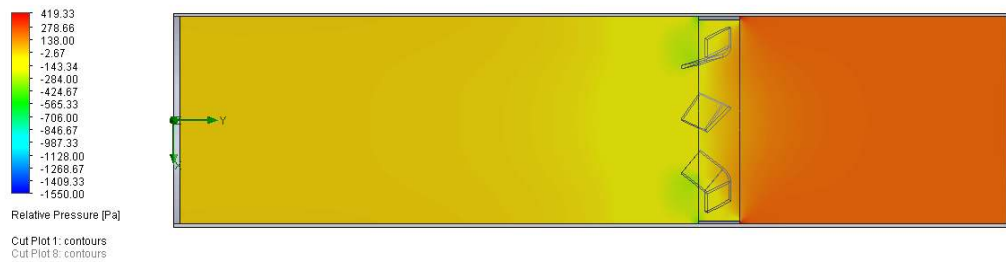
4.1. GERİ BASINÇ ANALİZİ VE DENEY SONUÇLARI

Mikserlerin tasarımının geri basınca etkisini görmek için tek fazlı akış analizlerinde elde edilen ve geri basınç deneyi ile elde edilen sonuçlar bu bölümde paylaşılmıştır. Geri basınç deneyi ile seçilen 6 mikser analiz sonuçlarının doğrulanması için kullanılmıştır. Tek fazlı akış analizinde elde edilen sonuçlar çizelge olarak verilmiş ve kanat sayısının, kanat açısının ve kanat uzunluğunun geri basınca olan etkileri grafikler üzerinde değerlendirilmiştir.

4.1.1. Tek Fazlı Akış Analizi Sonuçları

Tek fazlı akış analizleri yapılan 27 mikserin basınç dağılım grafikleri bu bölümde paylaşılmıştır.

Şekil 4.1’de Mikser 1’in basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.1. Mikser 1 basınç dağılımı.

Şekil 4.2’de Mikser 2’nin basınç dağılımları görülmektedir.



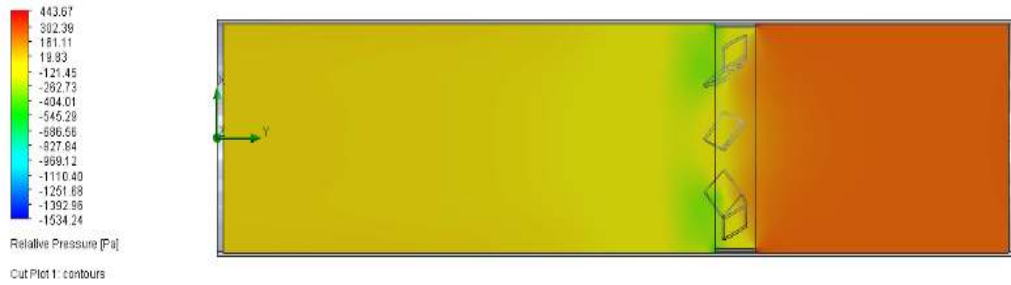
Şekil 4.2. Mikser 2 basınç dağılımı.

Şekil 4.3’te Mikser 3’ün basınç dağılımları görülmektedir.



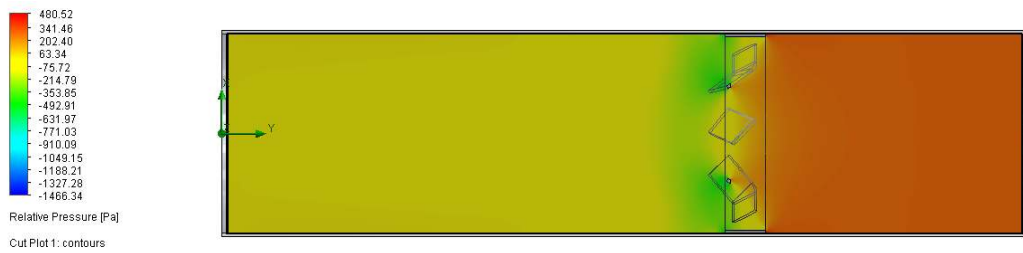
Şekil 4.3. Mikser 3 basınç dağılımı.

Şekil 4.4’te Mikser 4’ün basınç dağılımları görülmektedir.



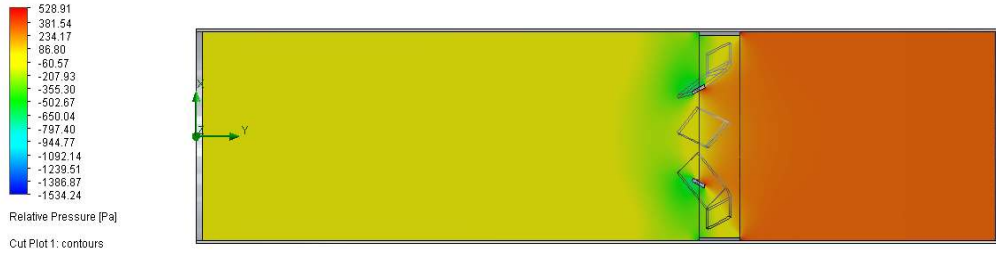
Şekil 4.4. Mikser 4 basınç dağılımı.

Şekil 4.5’te Mikser 5’in basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.5. Mikser 5 basınç dağılımı.

Şekil 4.6’da Mikser 6’nın basınç dağılımları görülmektedir.



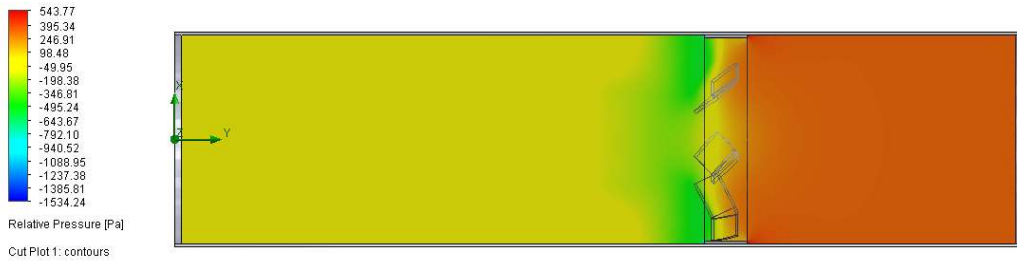
Şekil 4.6. Mikser 6 basınç dağılımı.

Şekil 4.7’de Mikser 7’nin basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.7. Mikser 7 basınç dağılımı.

Şekil 4.8’de Mikser 8’in basınç dağılımları görülmektedir.



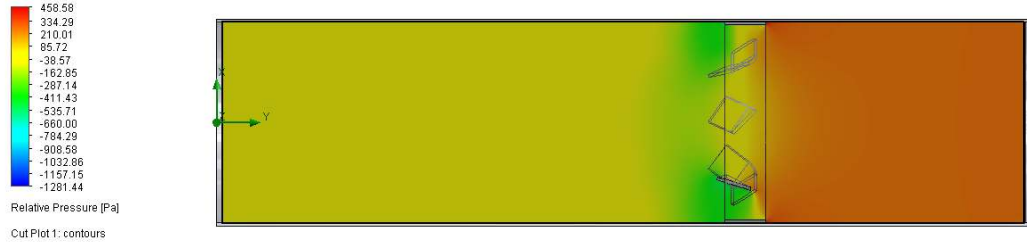
Şekil 4.8. Mikser 8 basınç dağılımı.

Şekil 4.9’da Mikser 9’un basınç dağılımları görülmektedir.



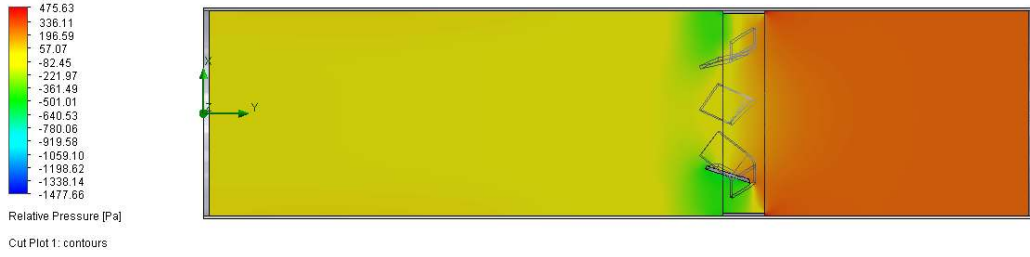
Şekil 4.9. Mikser 9 basınç dağılımı.

Şekil 4.10’da Mikser 10’un basınç dağılımları görülmektedir.



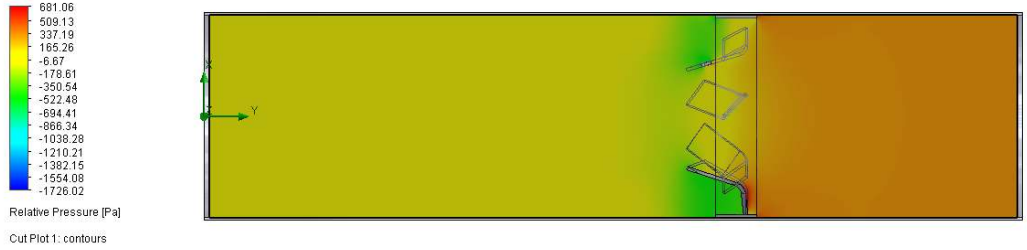
Şekil 4.10. Mikser 10 basınç dağılımı.

Şekil 4.11’de Mikser 11’in basınç dağılımları görülmektedir.



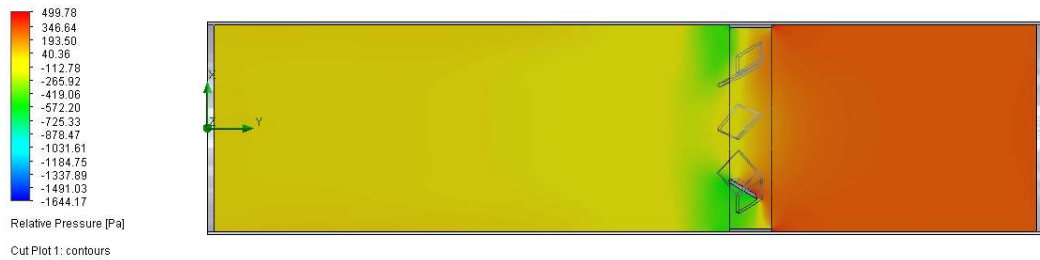
Şekil 4.11. Mikser 11 basınç dağılımı.

Şekil 4.12’de Mikser 12’nin basınç dağılımları görülmektedir.



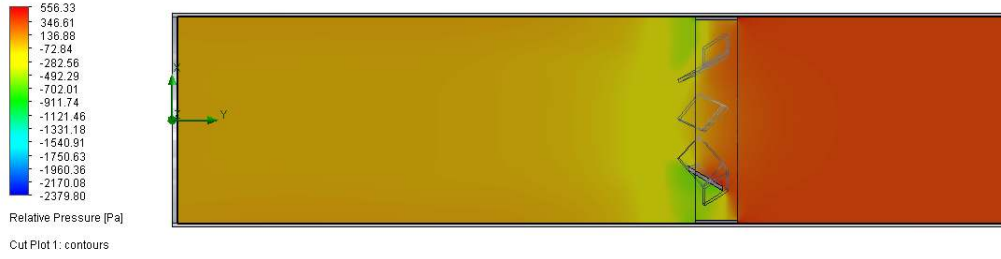
Şekil 4.12. Mikser 12 basınç dağılımı.

Şekil 4.13’te Mikser 13’ün basınç dağılımları görülmektedir.



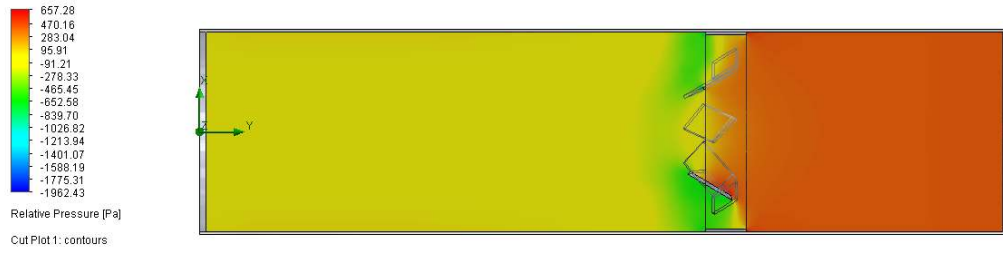
Şekil 4.13. Mikser 13 basınç dağılımı.

Şekil 4.14'te Mikser 14'ün basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.14. Mikser 14 basınç dağılımı.

Şekil 4.15'te Mikser 15'in basınç dağılımları görülmektedir.



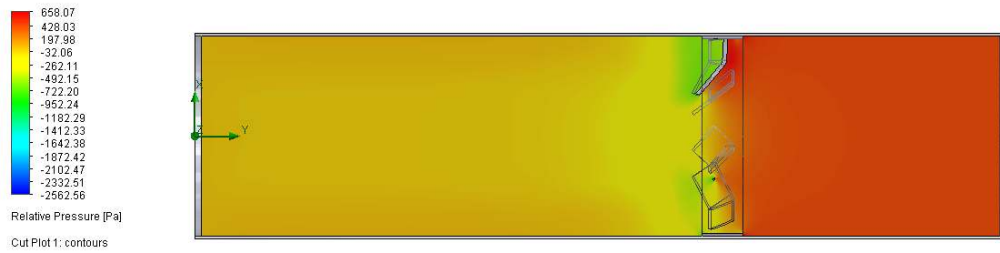
Şekil 4.15. Mikser 15 basınç dağılımı.

Şekil 4.16'da Mikser 16'nın basınç dağılımları görülmektedir.



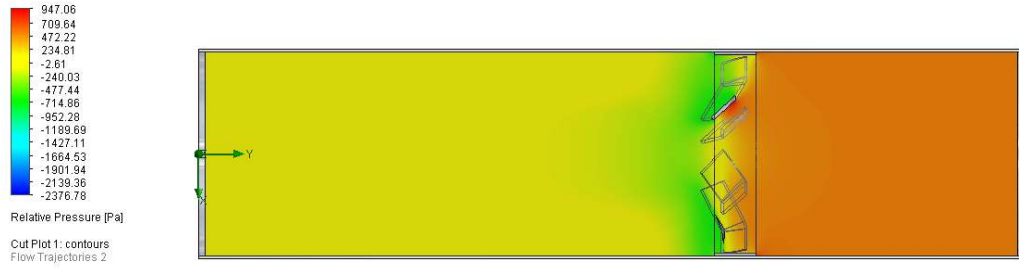
Şekil 4.16. Mikser 16 basınç dağılımı.

Şekil 4.17'de Mikser 17'nin basınç dağılımları görülmektedir.



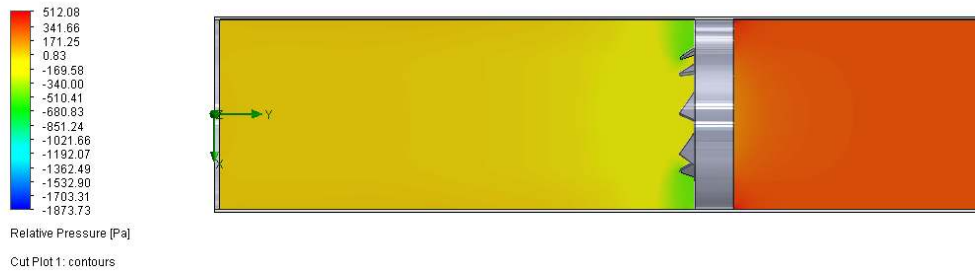
Şekil 4.17. Mikser 17 basınç dağılımı.

Şekil 4.18’de Mikser 18’in basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.18. Mikser 18 basınç dağılımı.

Şekil 4.19’da Mikser 19’un basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.19. Mikser 19 basınç dağılımı.

Şekil 4.20’de Mikser 20’nin basınç dağılımları görülmektedir.



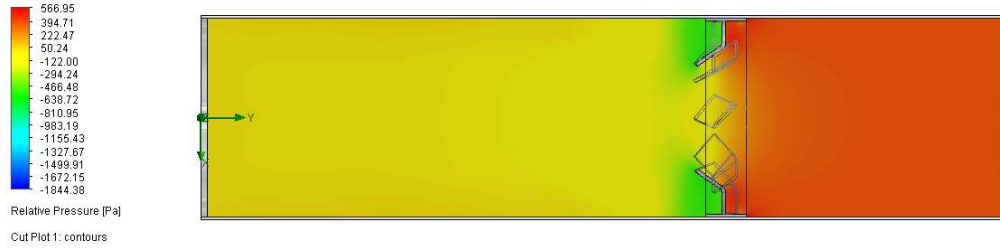
Şekil 4.20. Mikser 20 basınç dağılımı.

Şekil 4.21’de Mikser 21’in basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.21. Mikser 21 basınç dağılımı.

Şekil 4.22’de Mikser 22’nin basınç dağılımları görülmektedir.



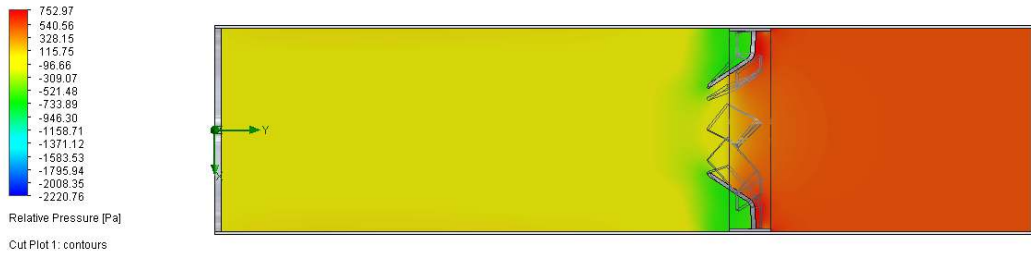
Şekil 4.22. Mikser 22 basınç dağılımı.

Şekil 4.23’te Mikser 23’ün basınç dağılımları görülmektedir.



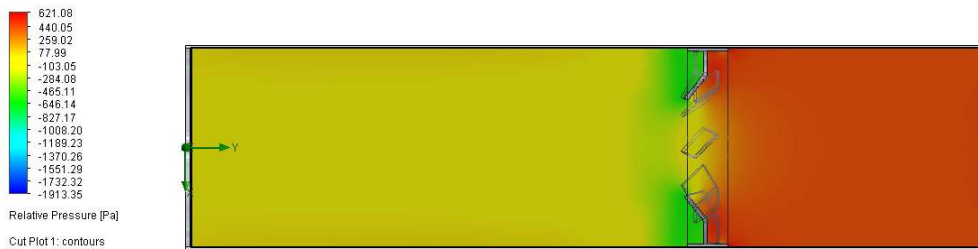
Şekil 4.23. Mikser 23 basınç dağılımı.

Şekil 4.24’te Mikser 24’ün basınç dağılımları görülmektedir.



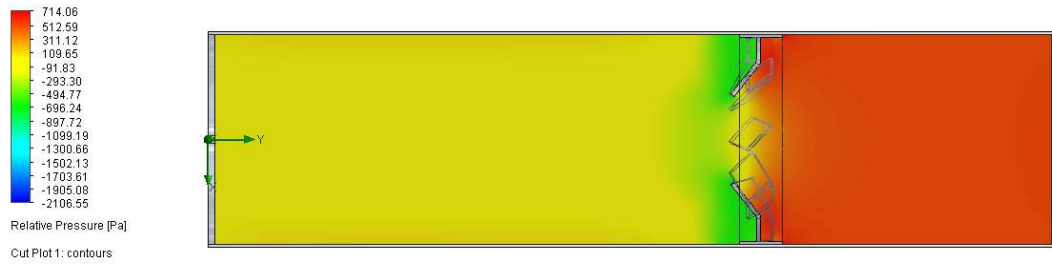
Şekil 4.24. Mikser 24 basınç dağılımı.

Şekil 4.25’te Mikser 25’in basınç dağılımları görülmektedir.



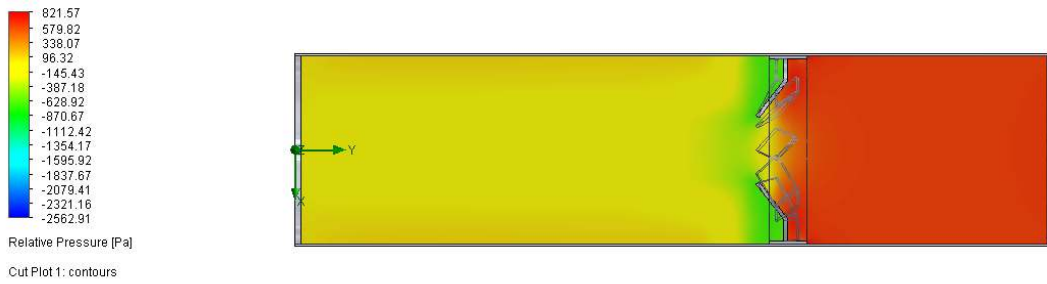
Şekil 4.25. Mikser 25 basınç dağılımı.

Şekil 4.26’da Mikser 26’nın basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.26. Mikser 26 basınç dağılımı.

Şekil 4.27’de Mikser 27’nin basınç dağılımları görülmektedir.



Şekil 4.27. Mikser 27 basınç dağılımı.

Çizelge 4.1’de tek fazlı akış analizlerinde elde edilen geri basınç değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tek fazlı akış analizinde elde edilen geri basınç değerleri.

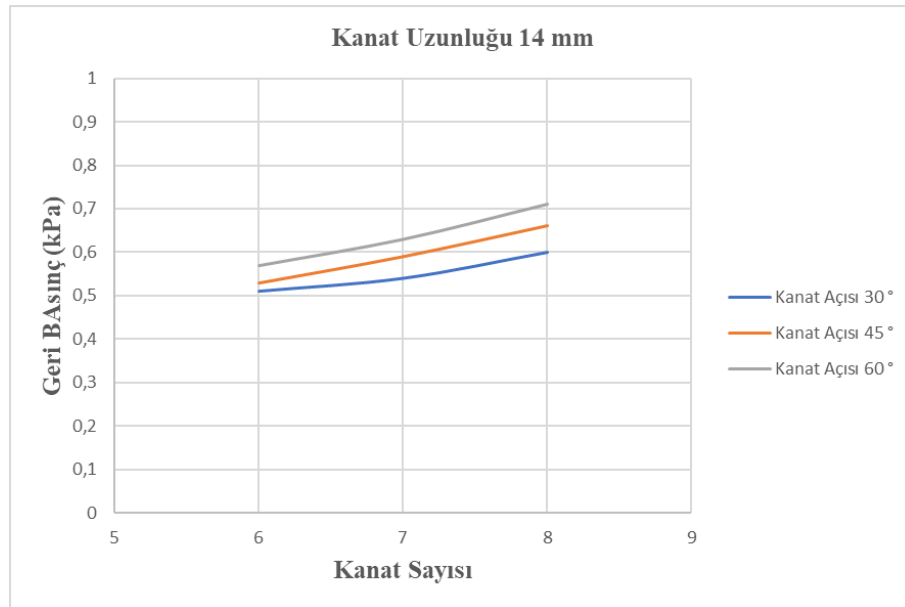
Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)	Geri Basınç Analizi (kPa)
Mikser 1	6	30	14	0,51
Mikser 2	6	30	18	0,52
Mikser 3	6	30	22	0,53
Mikser 4	6	45	14	0,53
Mikser 5	6	45	18	0,57
Mikser 6	6	45	22	0,61
Mikser 7	6	60	14	0,57
Mikser 8	6	60	18	0,63
Mikser 9	6	60	22	0,69
Mikser 10	7	30	14	0,54
Mikser 11	7	30	18	0,56
Mikser 12	7	30	22	0,60
Mikser 13	7	45	14	0,59

Çizelge 4.1. (devam) Tek fazlı akış analizinde elde edilen geri basınç değerleri.

Mikser 14	7	45	18	0,63
Mikser 15	7	45	22	0,70
Mikser 16	7	60	14	0,63
Mikser 17	7	60	18	0,71
Mikser 18	7	60	22	0,80
Mikser 19	8	30	14	0,60
Mikser 20	8	30	18	0,63
Mikser 21	8	30	22	0,66
Mikser 22	8	45	14	0,66
Mikser 23	8	45	18	0,72
Mikser 24	8	45	22	0,80
Mikser 25	8	60	14	0,71
Mikser 26	8	60	18	0,80
Mikser 27	8	60	22	0,91

4.1.2. Kanat Sayısının ve Kanat Açısının Geri Basınca Etkisi

Kanat sayısının ve kanat açısının geri basınca olan etkisini incelemek için kanat sayısı/geri basınç grafikleri incelenmiştir. Grafikler oluşturulurken x ekseninde kanat sayısı, y ekseninde geri basınç ve değişken olarak kanat açıları incelenmiştir.



Şekil 4.28. Kanat uzunluğu 14 mm' ye göre geri basınç grafiği.

Şekil 4.28'de kanat uzunluğu 14 mm olan mikserlerin kanat sayısına göre oluşturdukları geri basınç grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat sayılarını arttırmak ve kanat açılarını yükseltmek geri basıncı arttırmaktadır.



Şekil 4.29. Kanat uzunluğu 18 mm' ye göre geri basınç grafiği.

Şekil 4.29'da kanat uzunluğu 18 mm olan mikserlerin kanat sayısına göre oluşturdukları geri basınç grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat sayılarını arttırmak ve kanat açılarını yükseltmek geri basıncı arttırmaktadır.

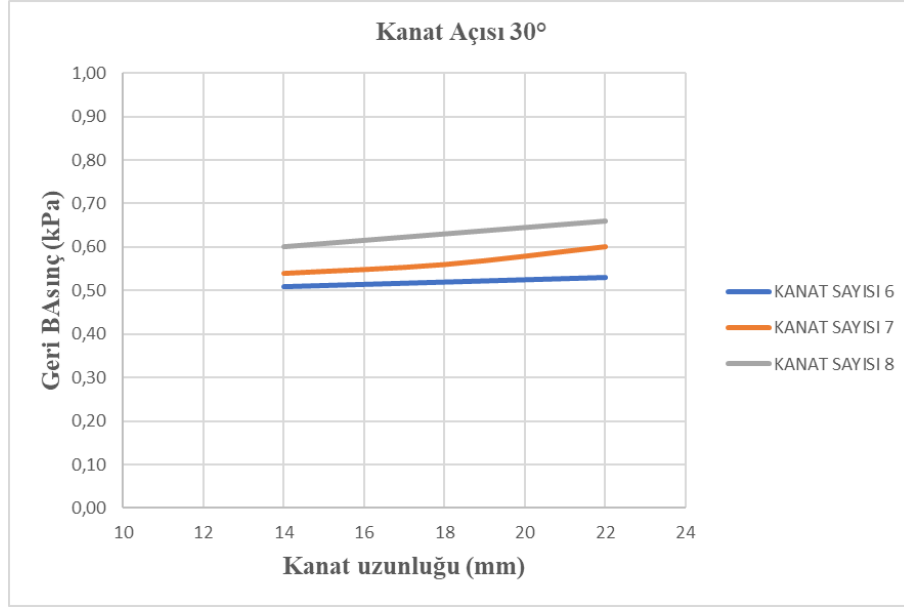


Şekil 4.30. Kanat uzunluğu 22 mm' ye göre geri basınç grafiği.

Şekil 4.30'da kanat uzunluğu 18 mm olan mikserlerin kanat sayısına göre oluşturdukları geri basınç grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat sayılarını arttırmak ve kanat açılarını yükseltmek geri basıncı arttırmaktadır.

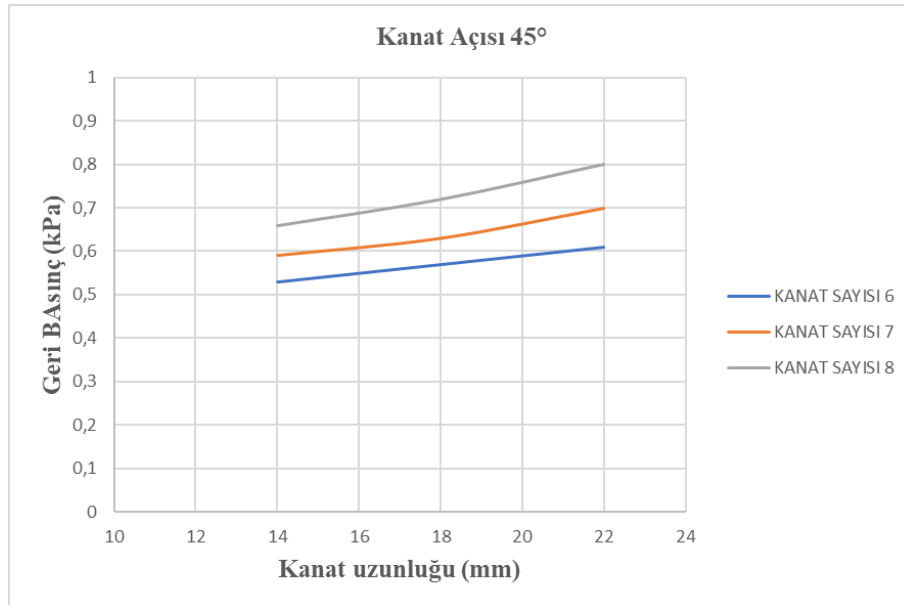
4.1.3. Kanat Uzunluğunun Geri Basınca Etkisi

Kanat uzunluğunun geri basınca olan etkisini incelemek için kanat uzunluğu/geri basınç grafikleri incelenmiştir. Grafikler oluşturulurken x ekseninde kanat uzunluğu, y ekseninde geri basınç ve değişken olarak kanat sayıları incelenmiştir.



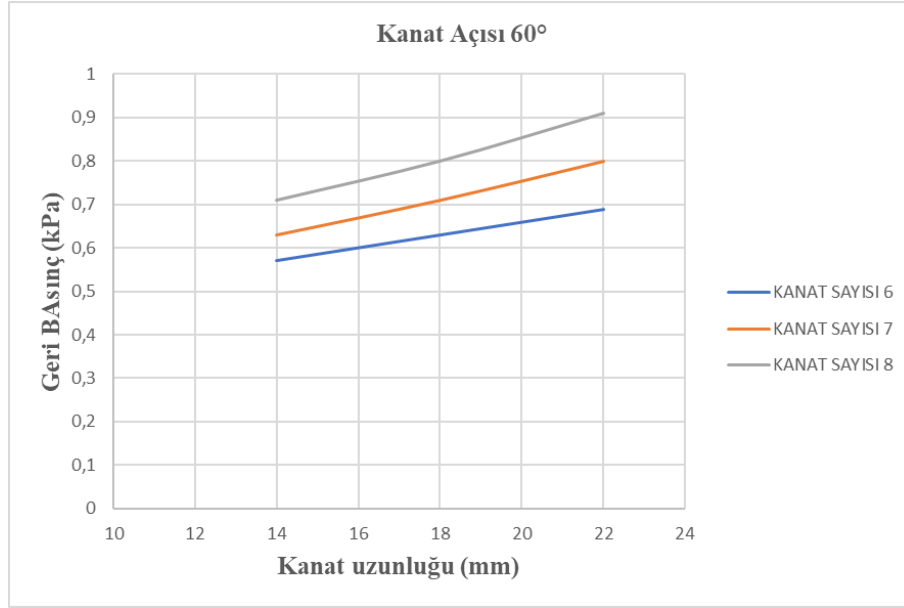
Şekil 4.31. Kanat açısı 30°'ye göre geri basınç grafiği.

Şekil 4.31'de kanat açısı 30° olan mikserlerin kanat uzunluğuna göre oluşturdukları geri basınç grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat uzunluğunu arttırmak ve kanat açılarını yükseltmek geri basıncı arttırmaktadır.



Şekil 4.32. Kanat açısı 45°'ye göre geri basınç grafiği.

Şekil 4.32’de kanat açısı 45° olan mikserlerin kanat uzunluğuna göre oluşturdukları geri basınç grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat uzunluğunu arttırmak ve kanat açılarını yükseltmek geri basıncı arttırmaktadır.



Şekil 4.33. Kanat açısı 60°’ ye göre geri basınç grafiği.

Şekil 4.33’te kanat açısı 60° olan mikserlerin kanat uzunluğuna göre oluşturdukları geri basınç grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat uzunluğunu arttırmak ve kanat açılarını yükseltmek geri basıncı arttırmaktadır.

4.1.4. Geri Basınç Deney Sonuçları

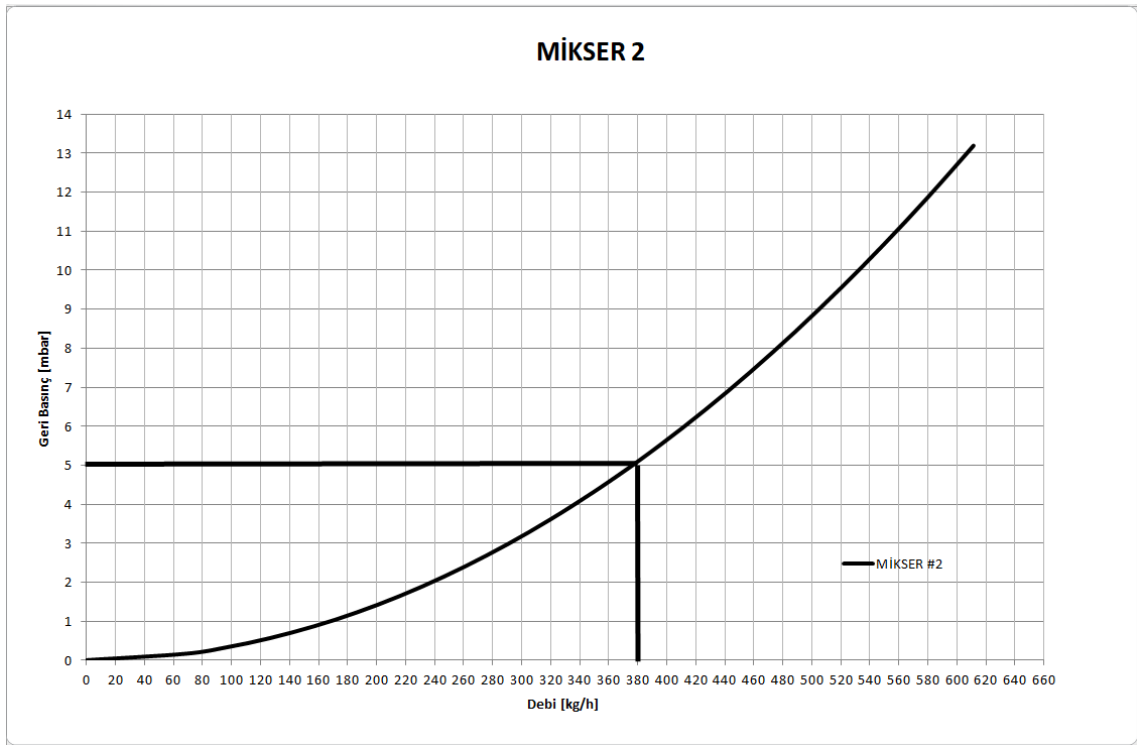
Geri basınç test düzeneği ile deneyleri yapılan 6 mikserin sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Tek fazlı akış analiz sonuçları ve geri basınç deneylerinin birbirini doğrulaması ve kıyaslanması için tek fazlı analiz sonuçları ve geri basınç deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tek fazlı analiz ve geri basınç deney sonuçları.

Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)	Geri Basınç Analizi (kPa)	Geri Basınç Deneyi (kPa)
Mikser 2	6	30	14	0,52	0,50
Mikser 7	6	30	18	0,57	0,60
Mikser 12	7	30	22	0,60	0,64
Mikser 15	7	45	22	0,70	0,72
Mikser 26	8	60	18	0,80	0,76
Mikser 27	8	60	22	0,91	0,82

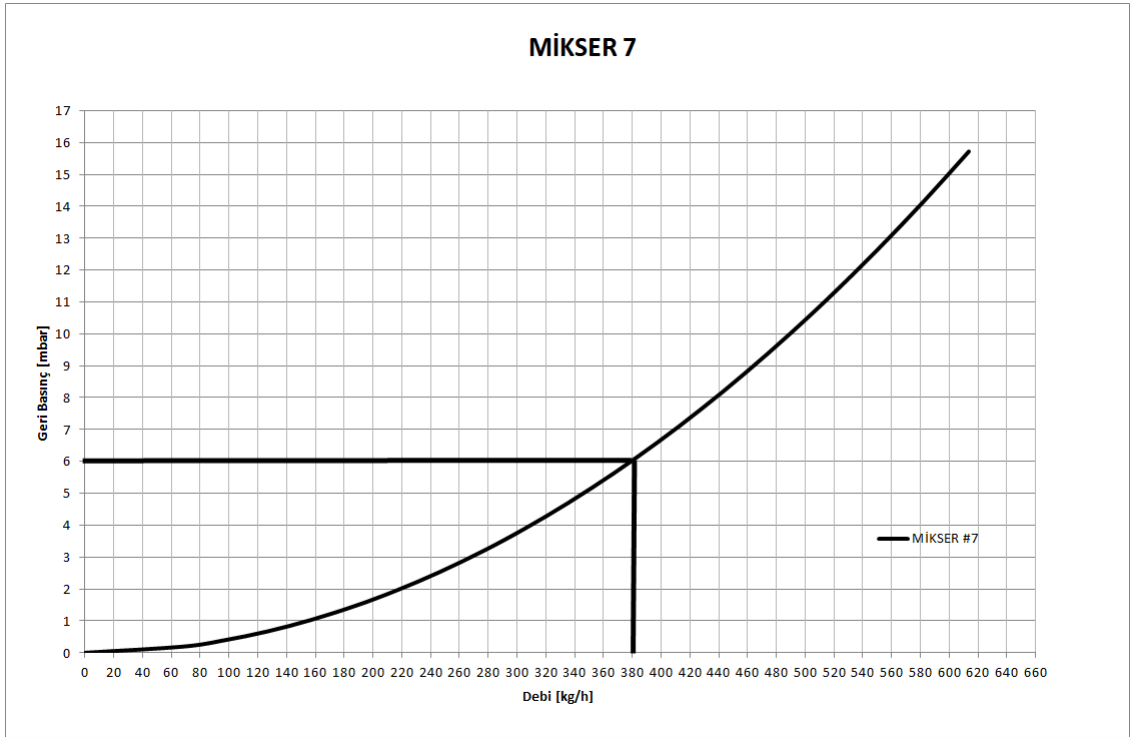
Çizelge 4.2 incelendiğinde tek fazlı akış analizlerinde elde edilen sonuçlar ile geri basınç deney sonuçları birbirlerini doğrulamaktadır. En fazla fark 0,09 Pa ile mikser 27 olmuştur ancak bu fark egzoz sistemlerinde oluşan geri basınç değeri için ihmal edilebilecek kadar düşük bir farktır.

Şekil 4.34'te Mikser 2'nin geri basınç grafiği görülmektedir.



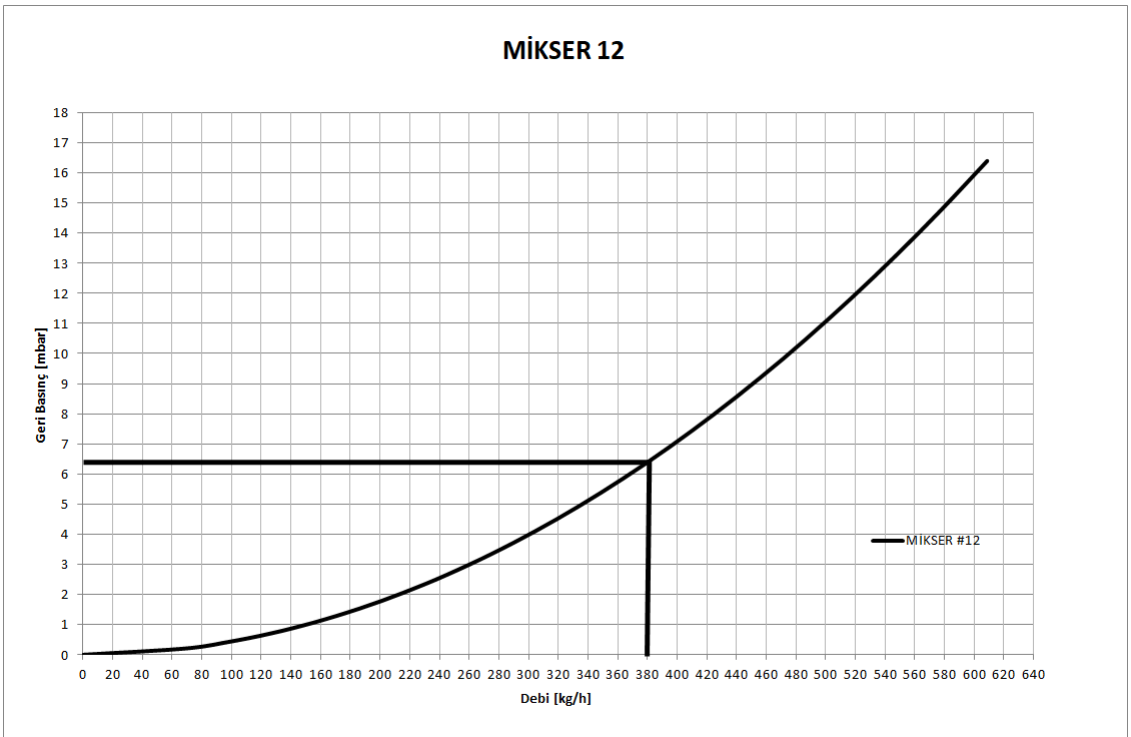
Şekil 4.34. Mikser 2 geri basınç grafiği.

Şekil 4.35'te Mikser 7'nin geri basınç grafiği görülmektedir.



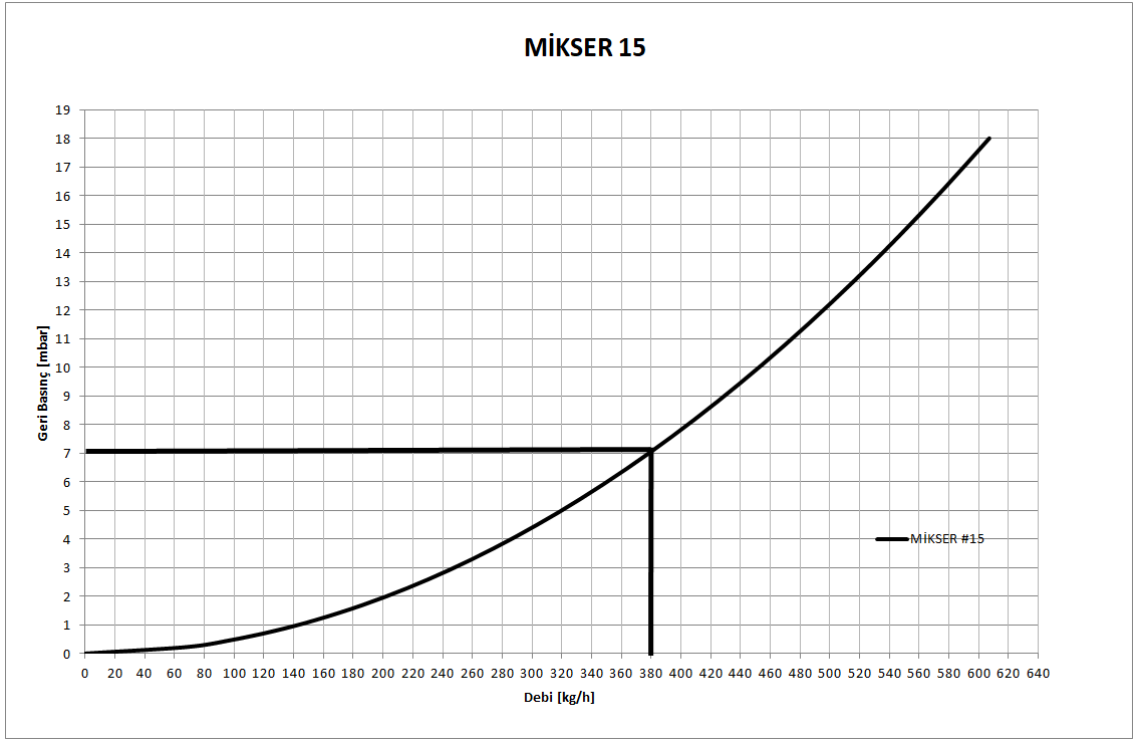
Şekil 4.35. Mikser 7 geri basınç grafiği.

Şekil 4.36'da Mikser 12'nin geri basınç grafiği görülmektedir.



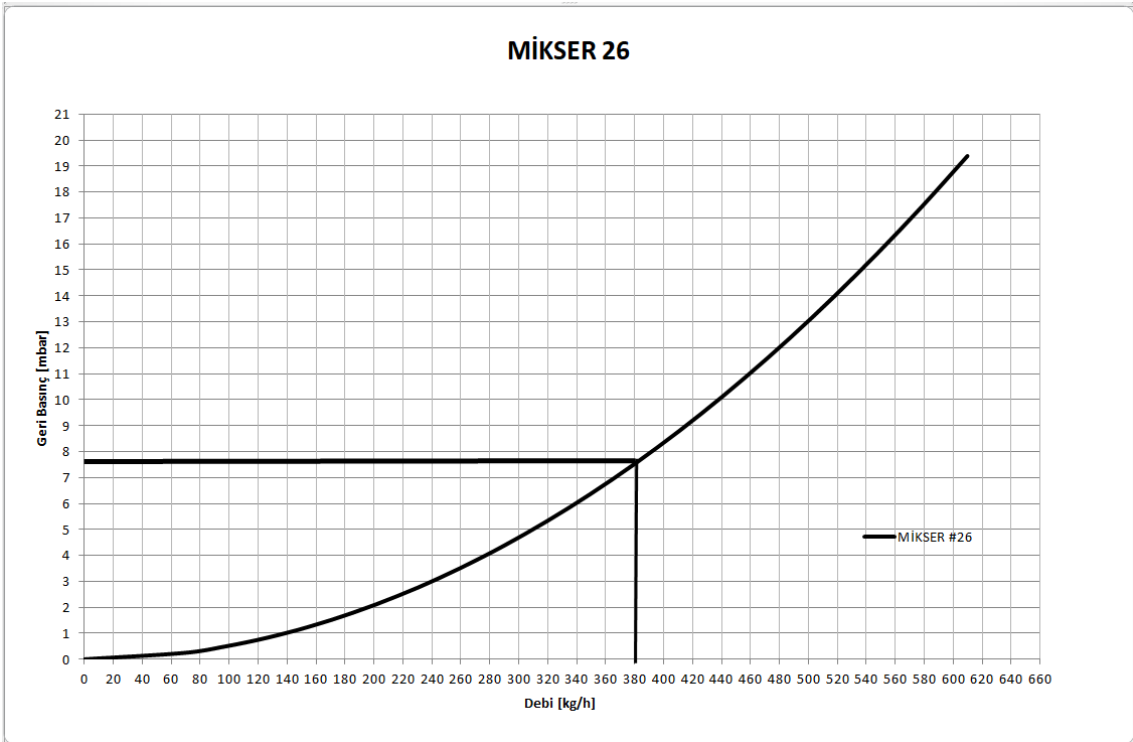
Şekil 4.36. Mikser 12 geri basınç grafiği.

Şekil 4.37’de Mikser 15’in geri basınç grafiği görülmektedir.



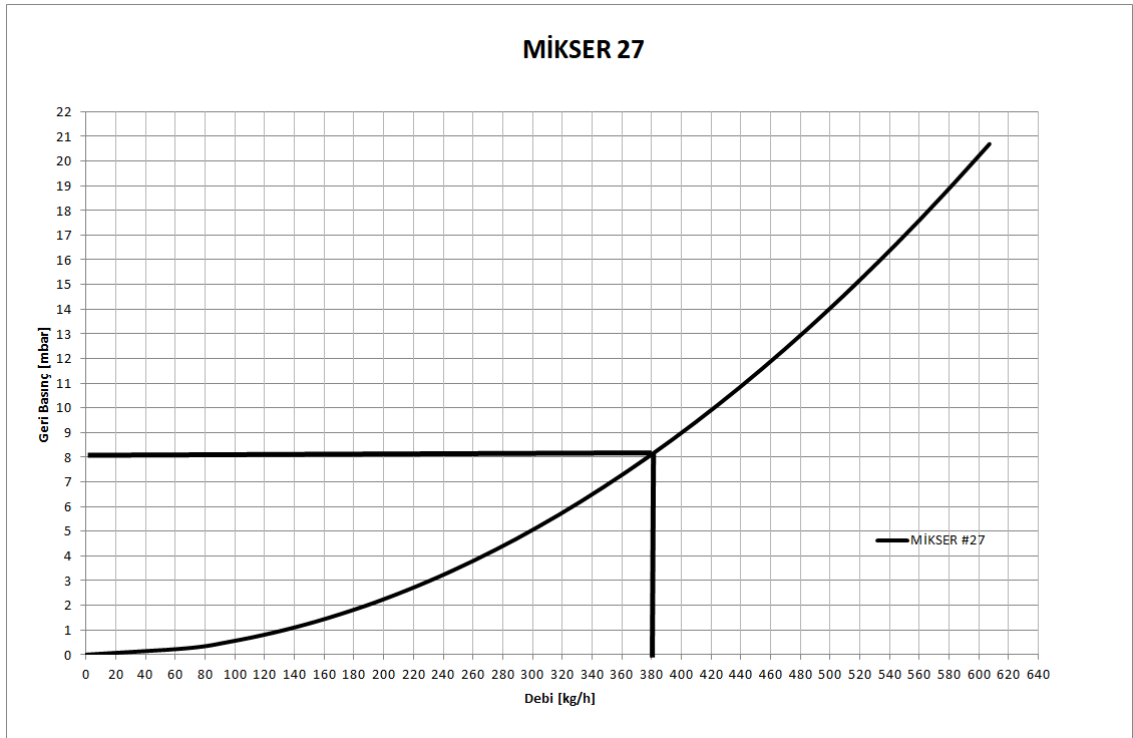
Şekil 4.37. Mikser 15 geri basınç grafiği.

Şekil 4.38’de Mikser 26’nın geri basınç grafiği görülmektedir.



Şekil 4.38. Mikser 26 geri basınç grafiği.

Şekil 4.39’da Mikser 27’nin geri basınç grafiği görülmektedir.



Şekil 4.39. Mikser 27 geri basınç grafiği.

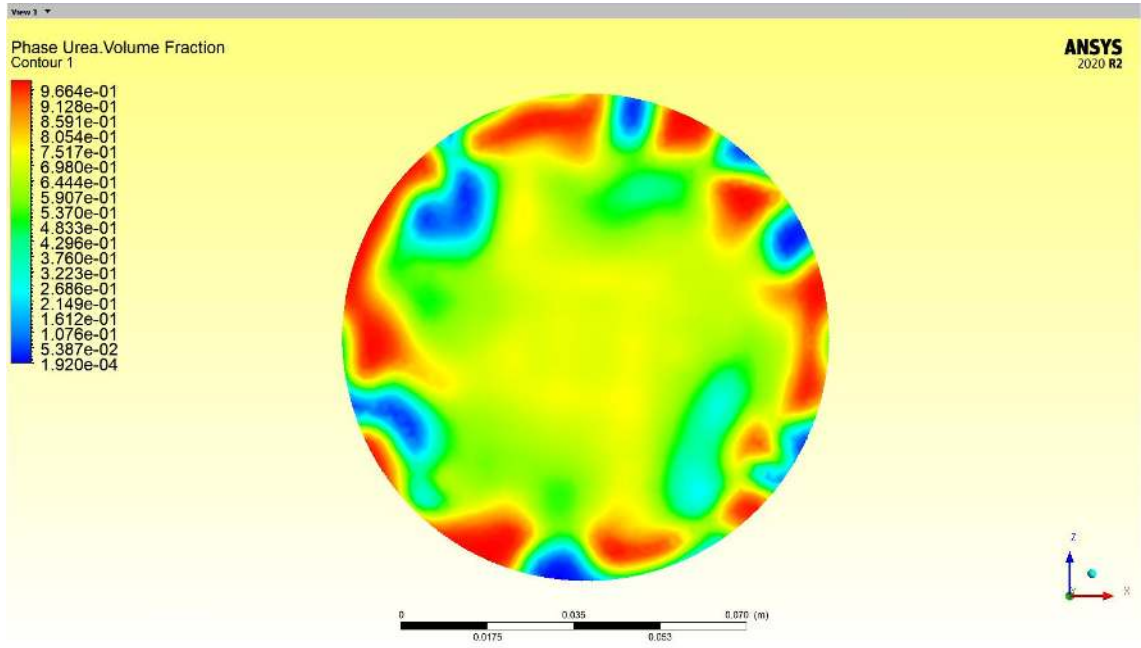
4.2. UI NH₃ ANALİZİ VE DENEY SONUÇLARI

Mikserlerin tasarımının UI NH₃'e etkisini görmek için çift fazlı akış analizlerinde elde edilen ve UI NH₃ deneyi ile elde edilen sonuçlar bu bölümde paylaşılmıştır. UI NH₃ deneyi ile seçilen 6 mikser analiz sonuçlarının doğrulanması için kullanmıştır. Çift fazlı akış analizinde elde edilen sonuçlar çizelge olarak verilmiş ve kanat sayısının, kanat açısının ve kanat uzunluğunun UI NH₃'e olan etkileri grafikler üzerinde değerlendirilmiştir.

4.2.1. Çift Fazlı Akış Analizi Sonuçları

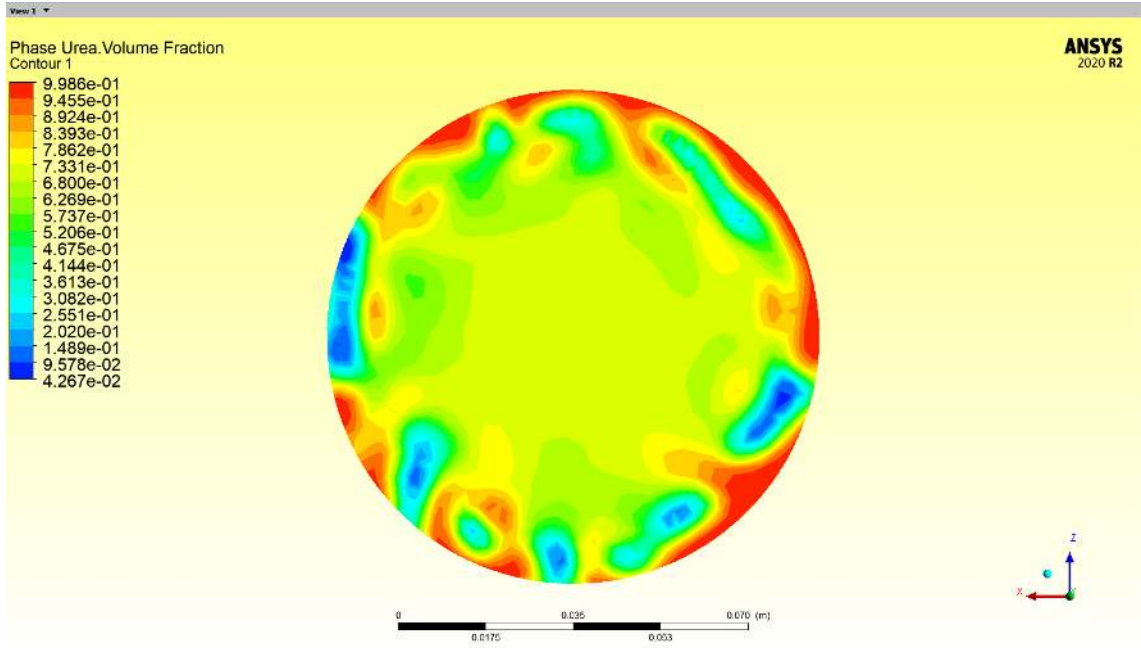
Çift fazlı akış analizleri yapılan 27 mikserin UI NH₃ dağılım grafikleri bu bölümde paylaşılmıştır.

Şekil 4.40'ta Mikser 1'in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



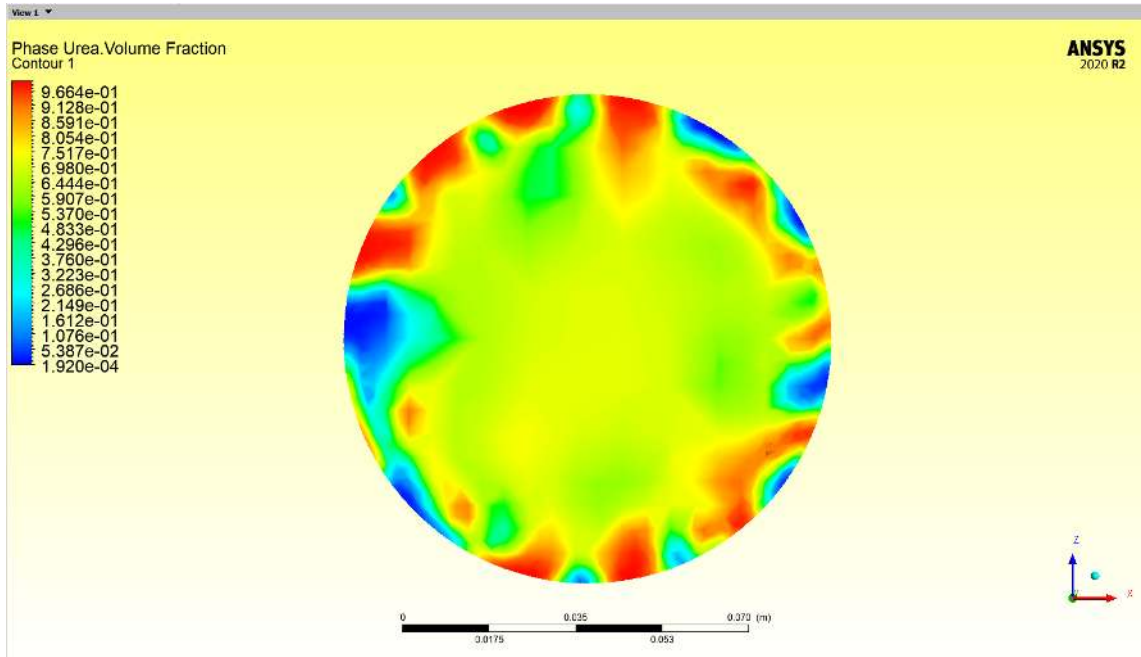
Şekil 4.40. Mikser 1 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.41'de Mikser 2'nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



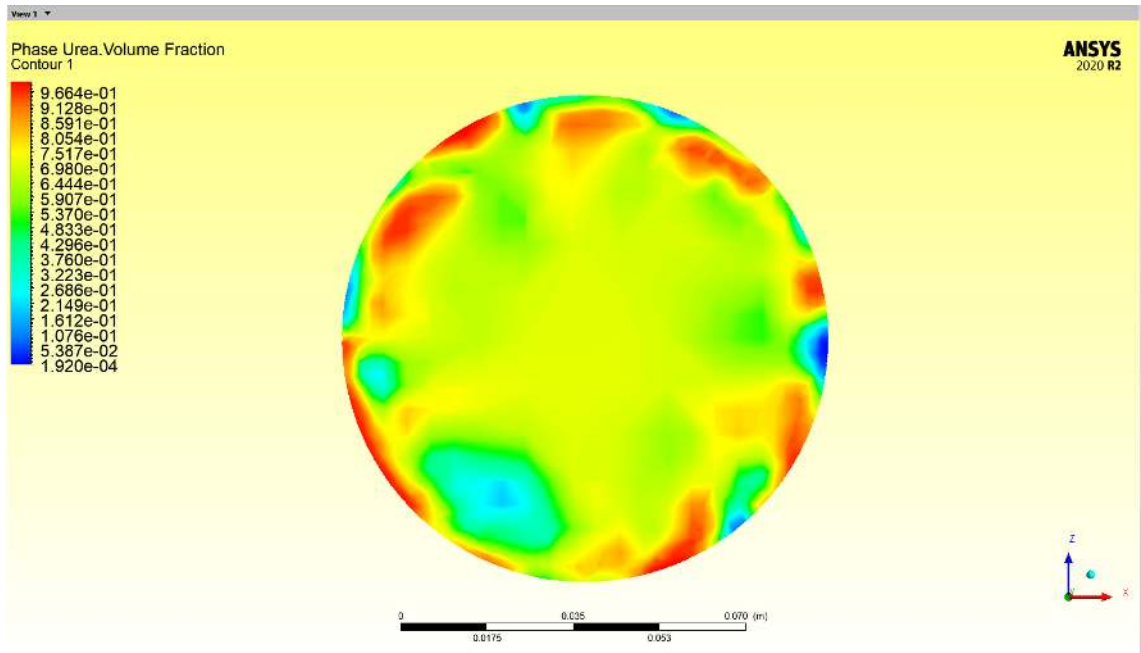
Şekil 4.41. Mikser 2 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.42’de Mikser 3’ün UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



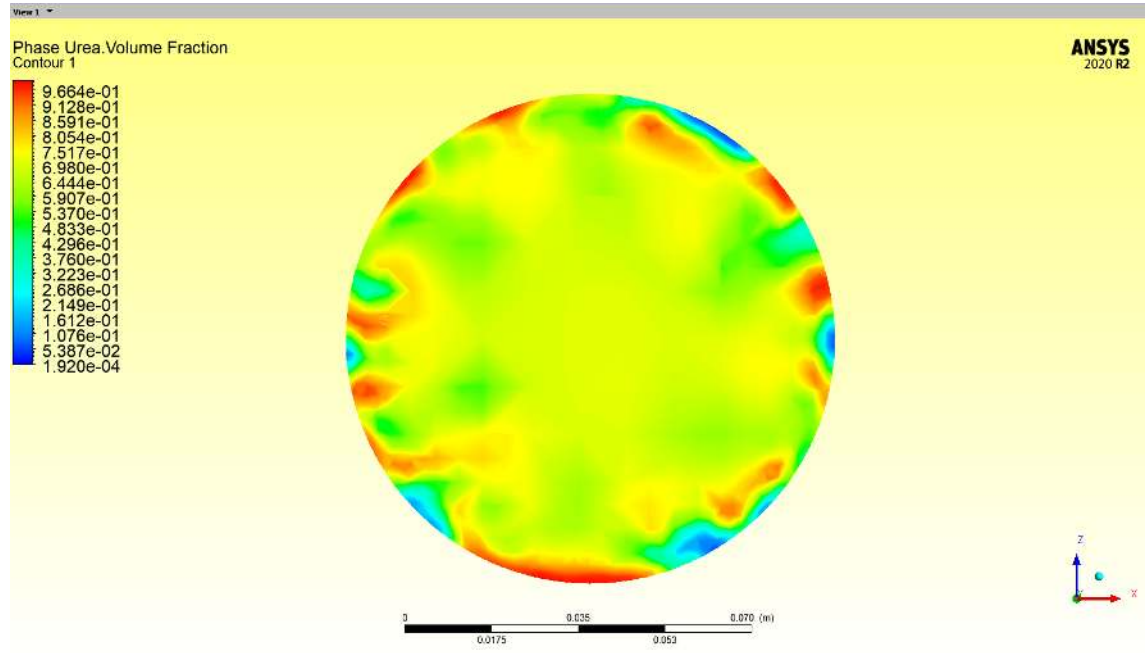
Şekil 4.42. Mikser 3 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.43’te Mikser 4’ün UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



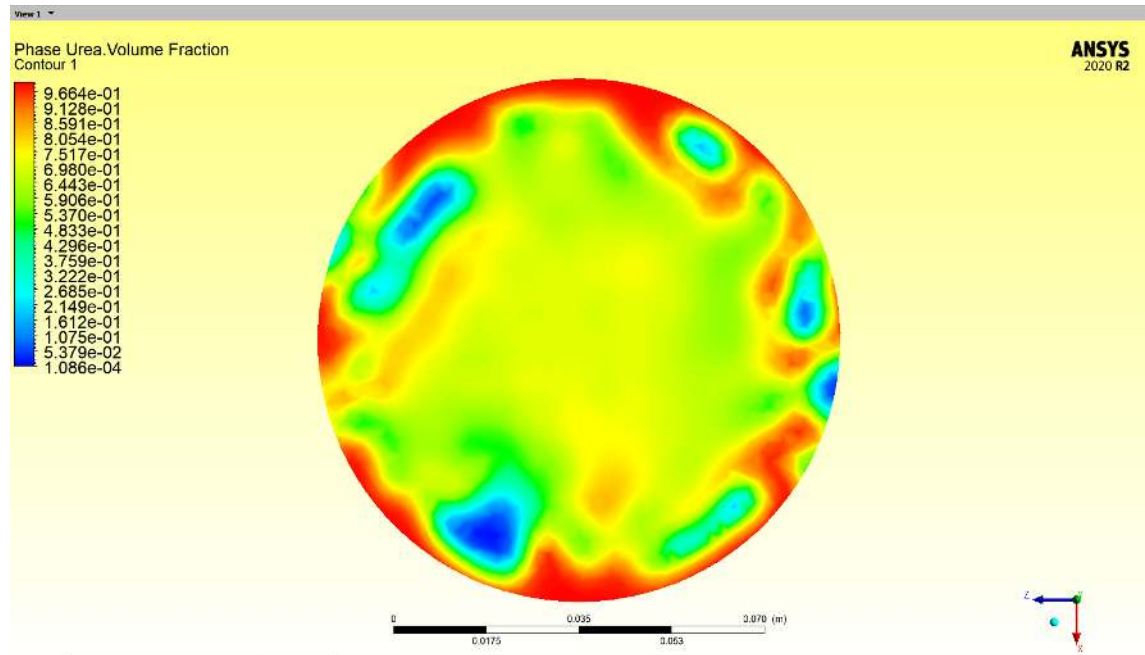
Şekil 4.43. Mikser 4 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.44'te Mikser 5'in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



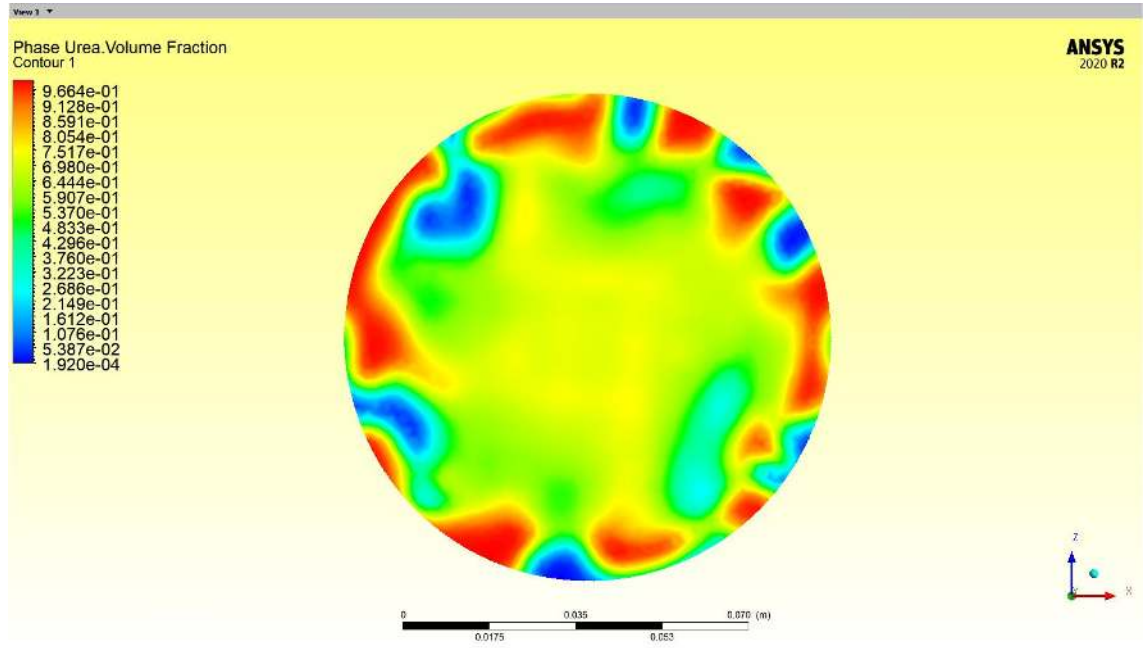
Şekil 4.44. Mikser 5 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.45'te Mikser 6'nın UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



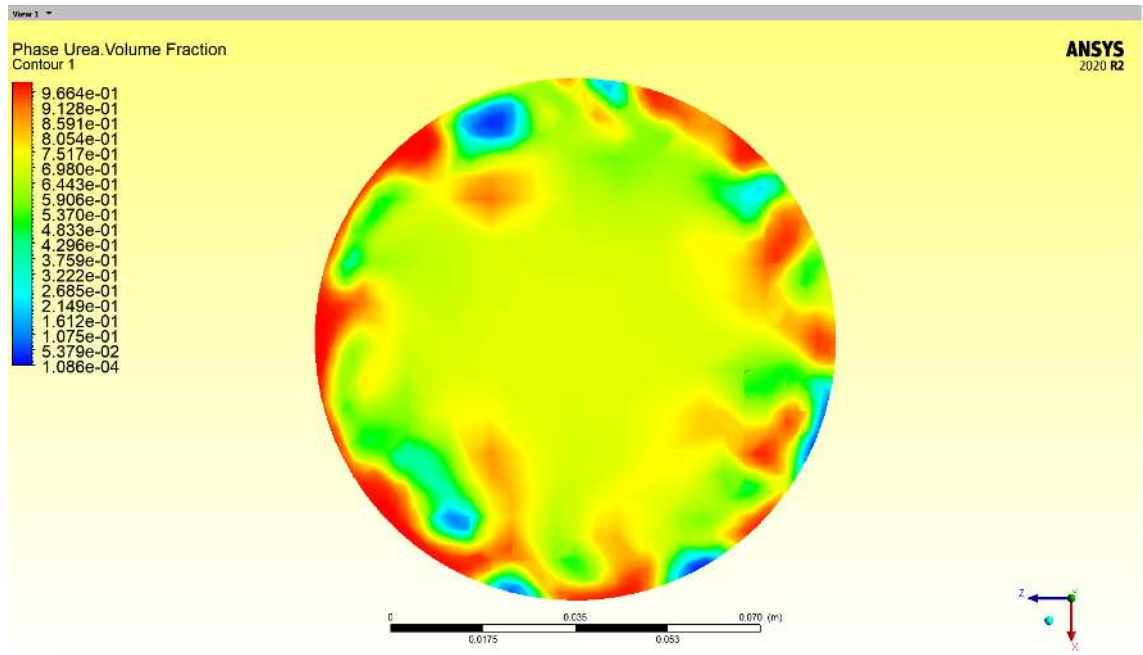
Şekil 4.45. Mikser 6 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.46’da Mikser 7’nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



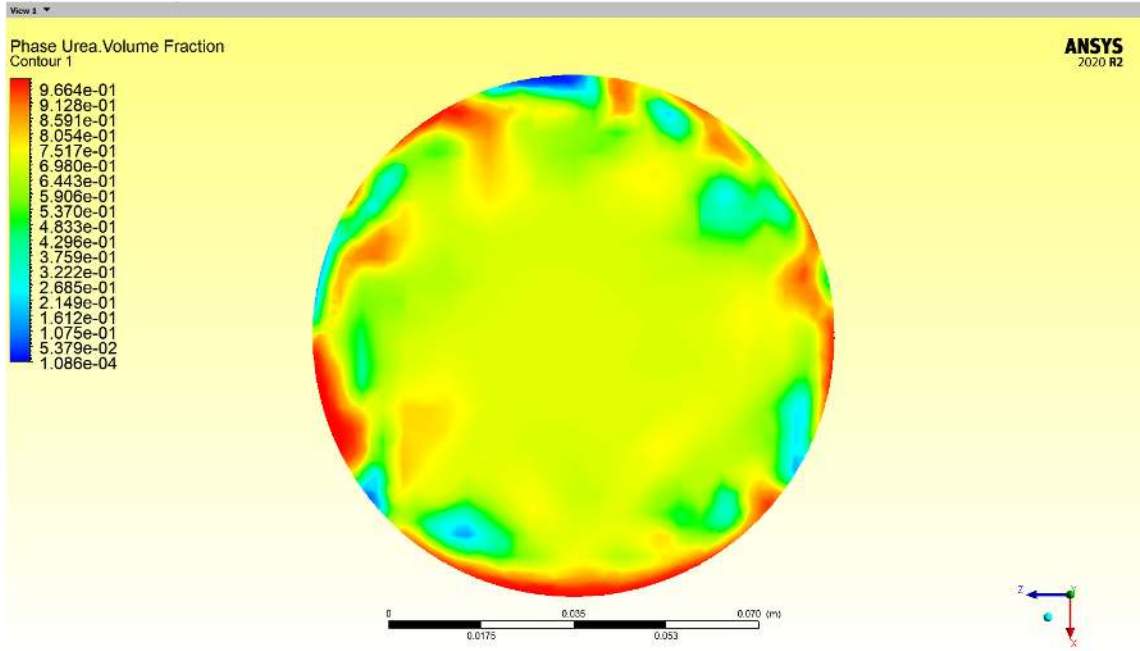
Şekil 4.46. Mikser 7 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.47’de Mikser 8’in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



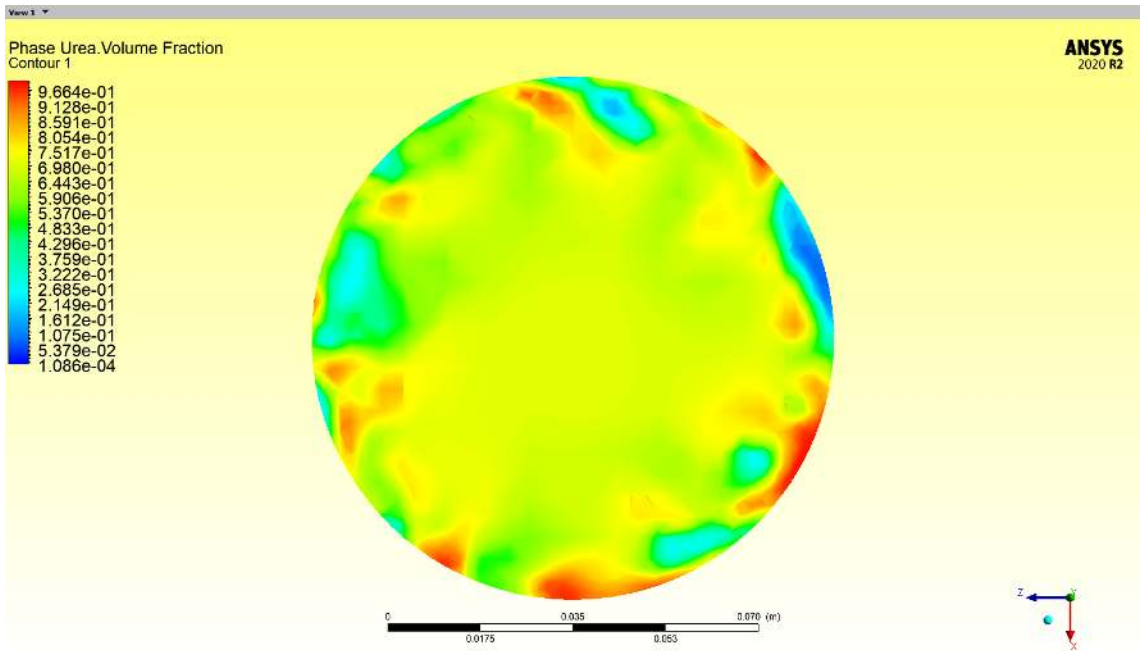
Şekil 4.47. Mikser 8 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.48’de Mikser 9’un UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



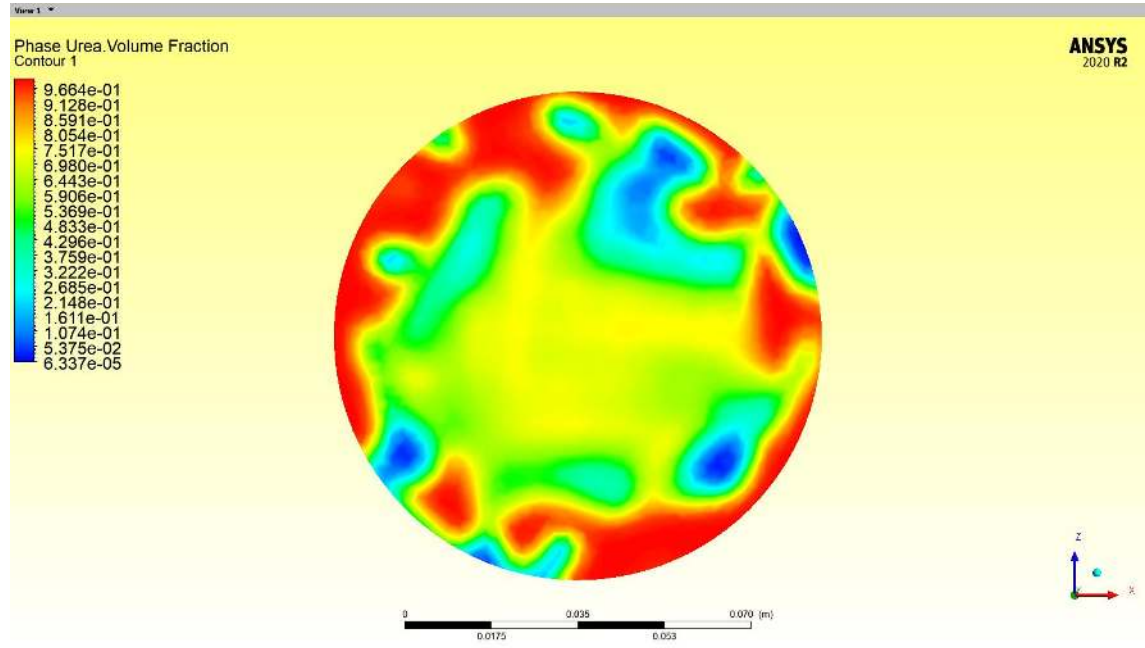
Şekil 4.48. Mikser 9 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.49’da Mikser 10’un UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



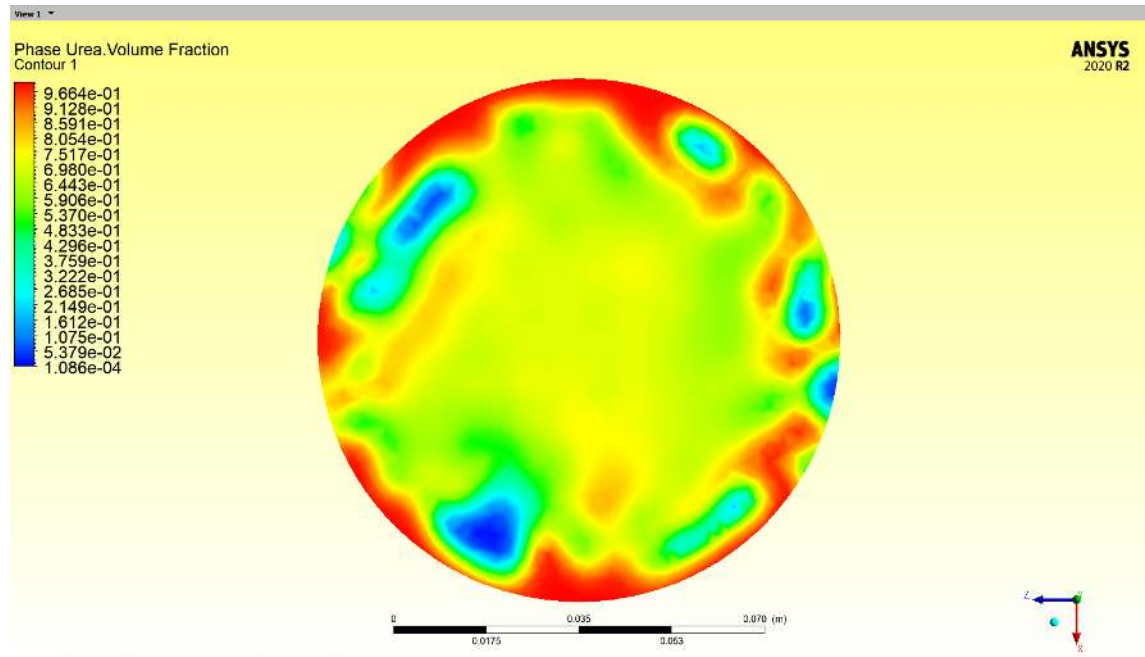
Şekil 4.49. Mikser 10 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.50’de Mikser 11’in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



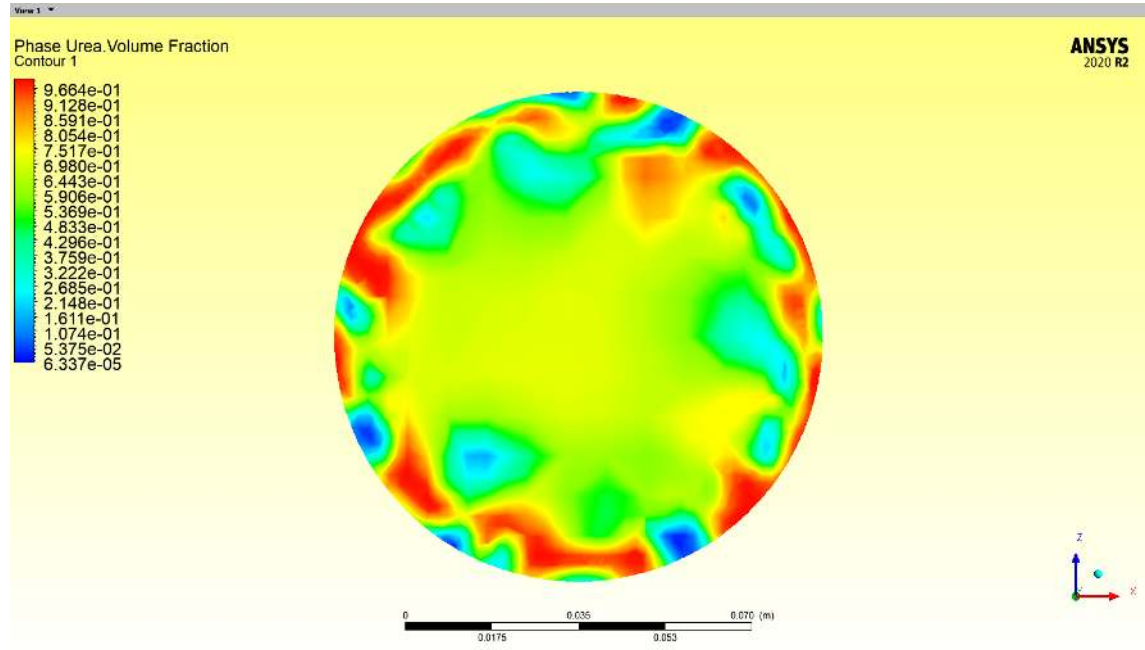
Şekil 4.50. Mikser 11 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.51’de Mikser 12’nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



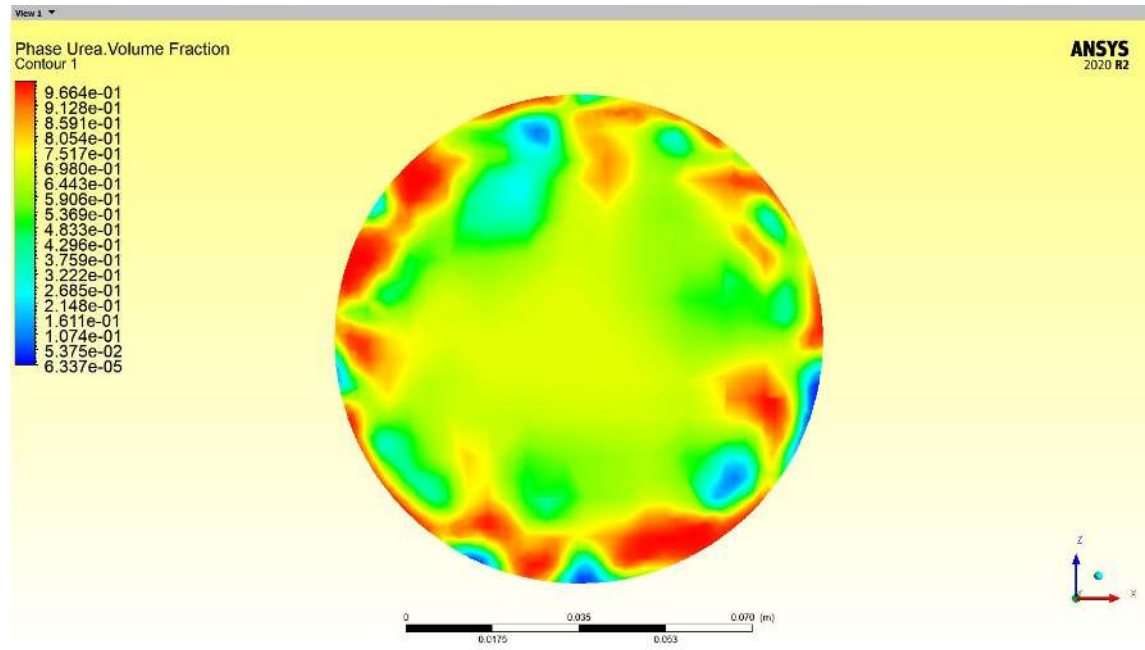
Şekil 4.51. Mikser 12 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.52’de Mikser 13’ün UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



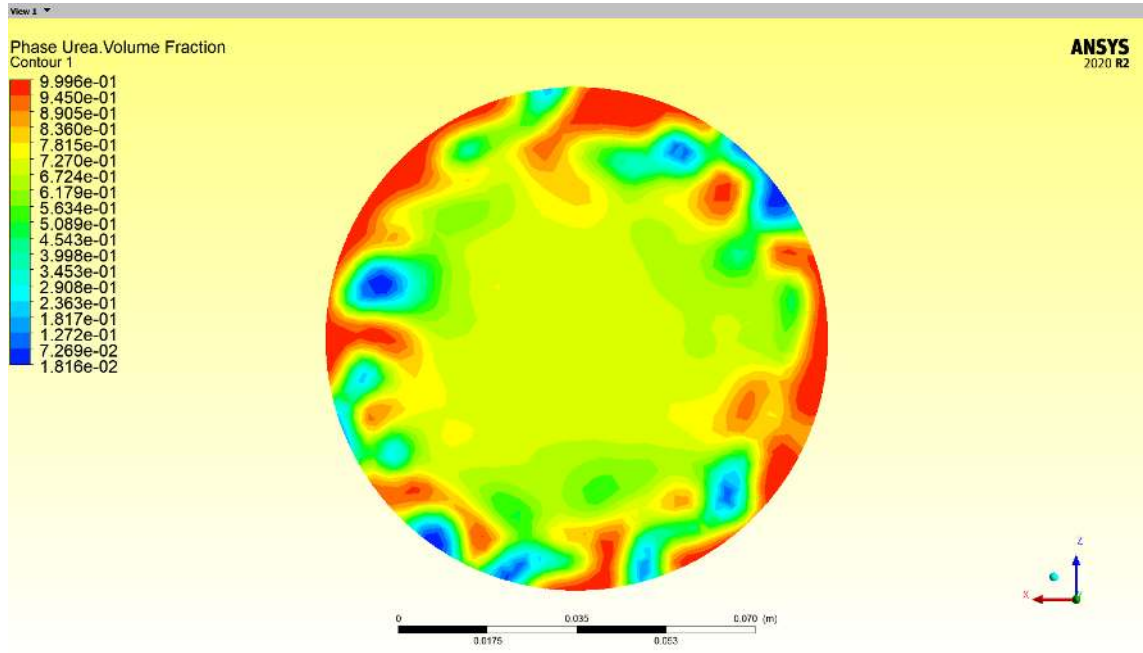
Şekil 4.52. Mikser 13 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.53’te Mikser 14’ün UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



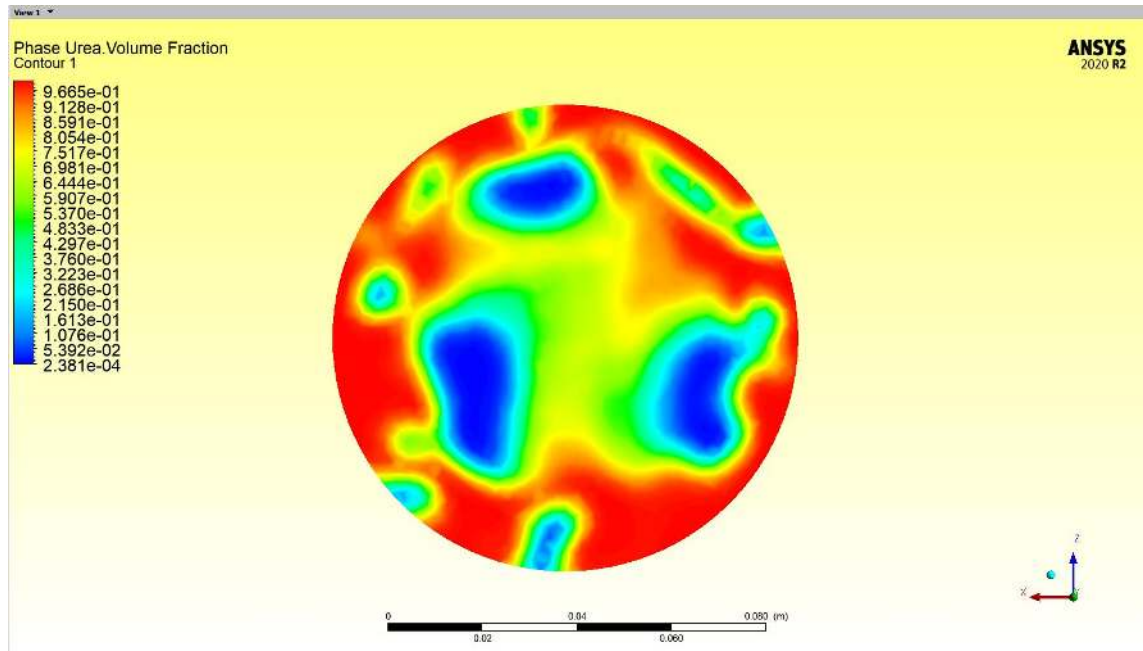
Şekil 4.53. Mikser 14 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.54'te Mikser 15'in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



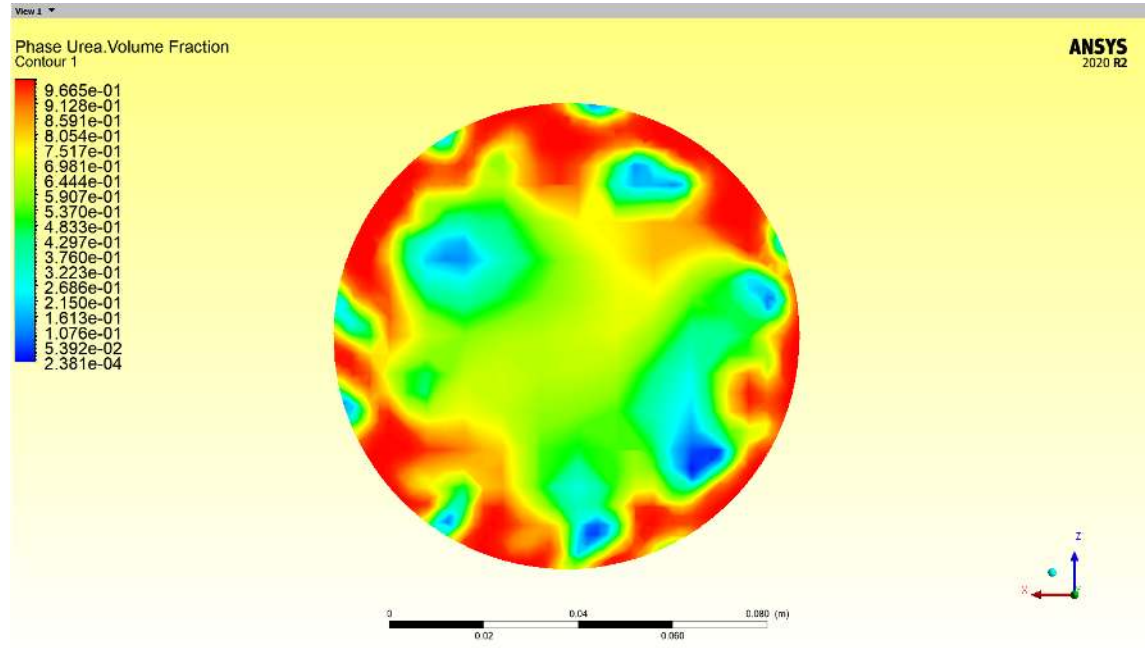
Şekil 4.54. Mikser 15 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.55'te Mikser 16'nın UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



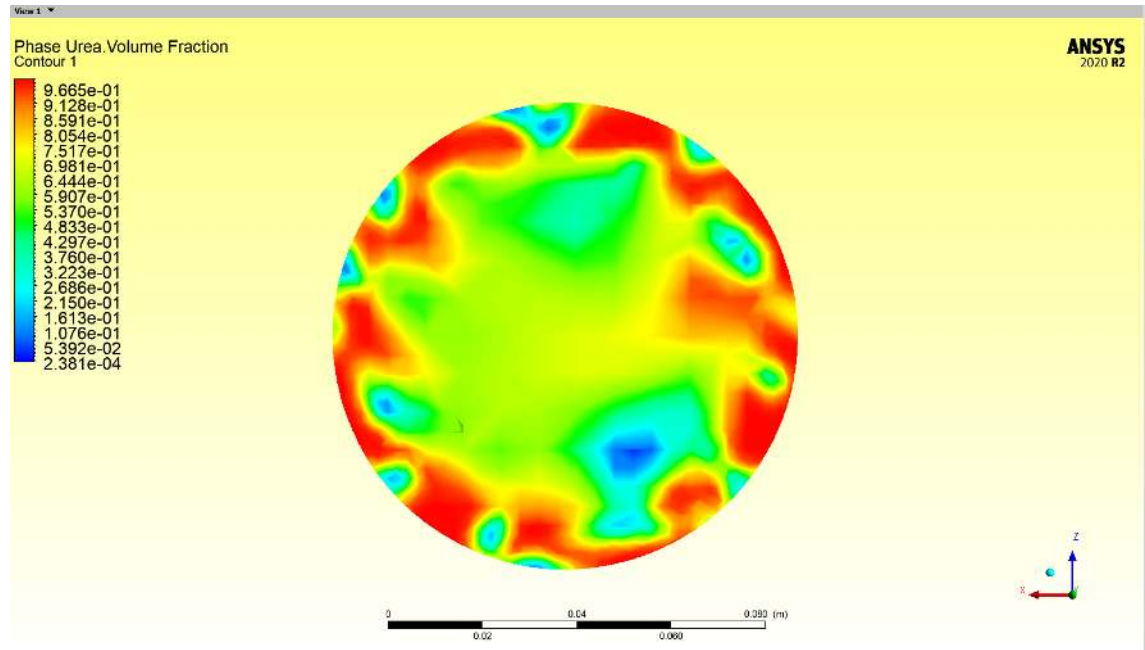
Şekil 4.55. Mikser 16 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.56'da Mikser 17'nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



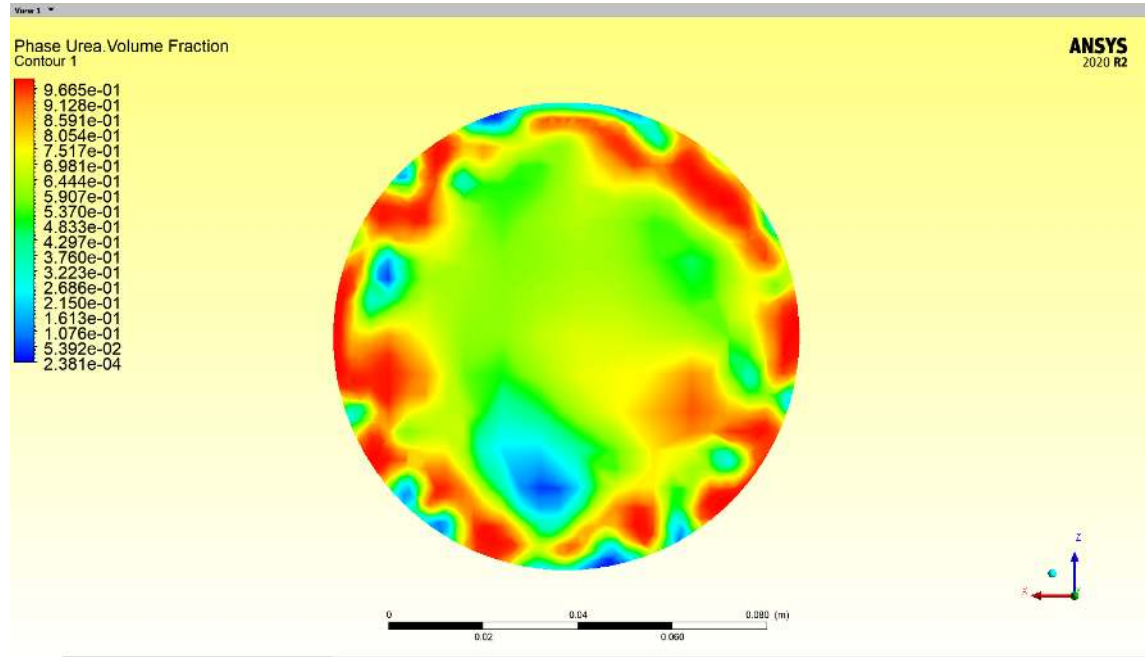
Şekil 4.56. Mikser 17 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.57'de Mikser 18'in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



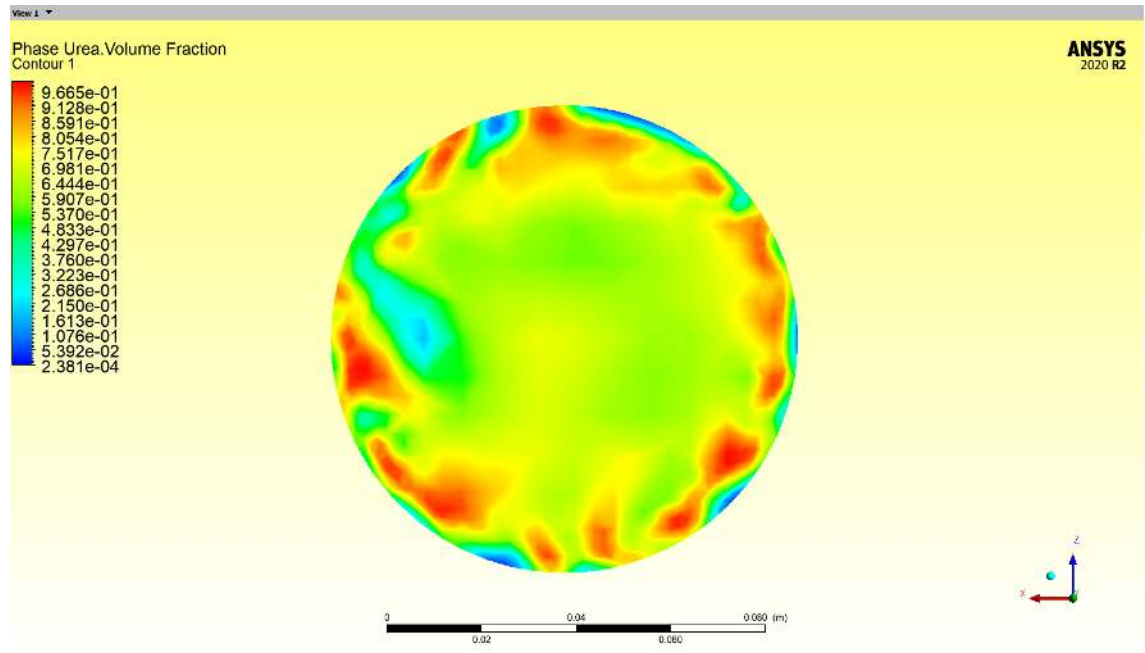
Şekil 4.57. Mikser 18 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.58’de Mikser 19’un UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



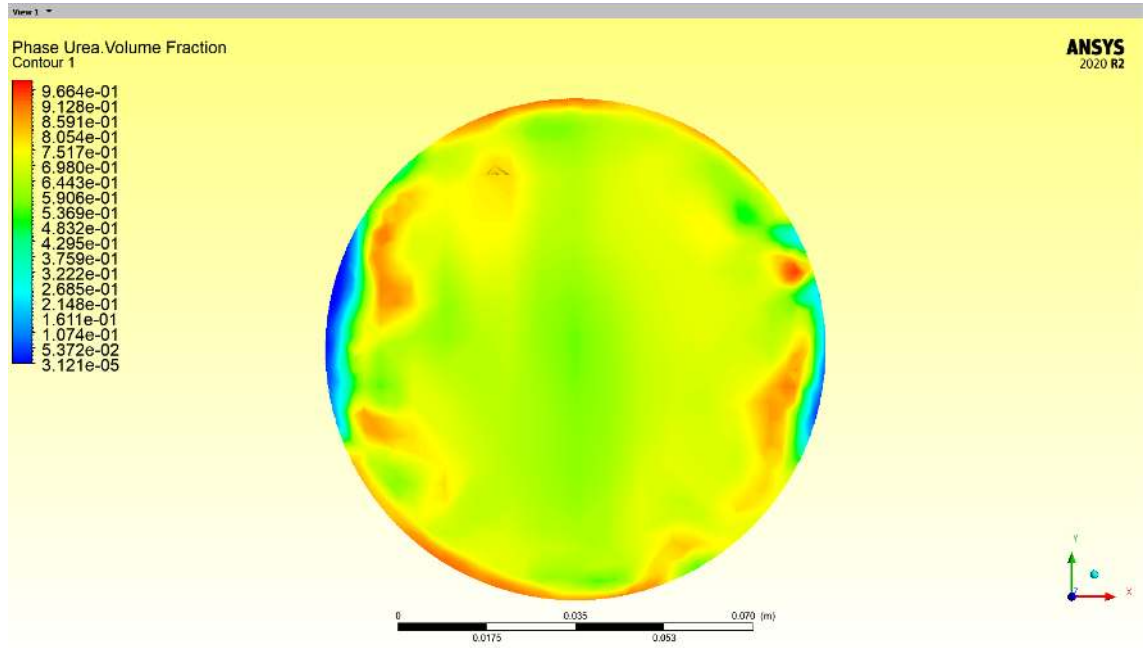
Şekil 4.58. Mikser 19 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.59’da Mikser 20’nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



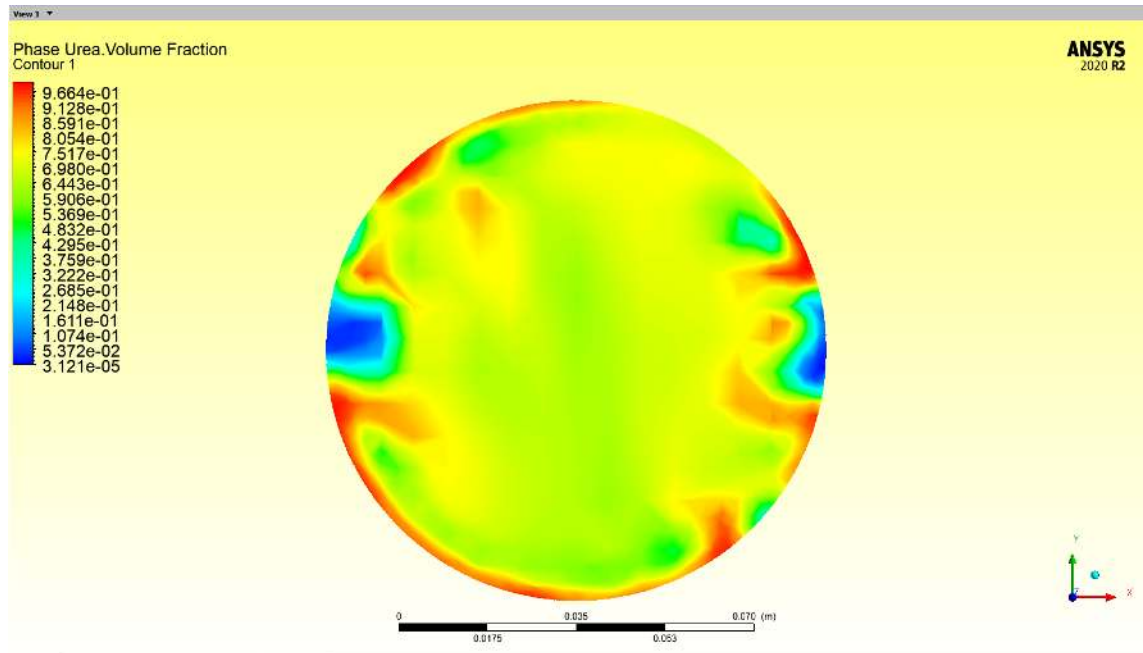
Şekil 4.59. Mikser 20 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.60'da Mikser 21'in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



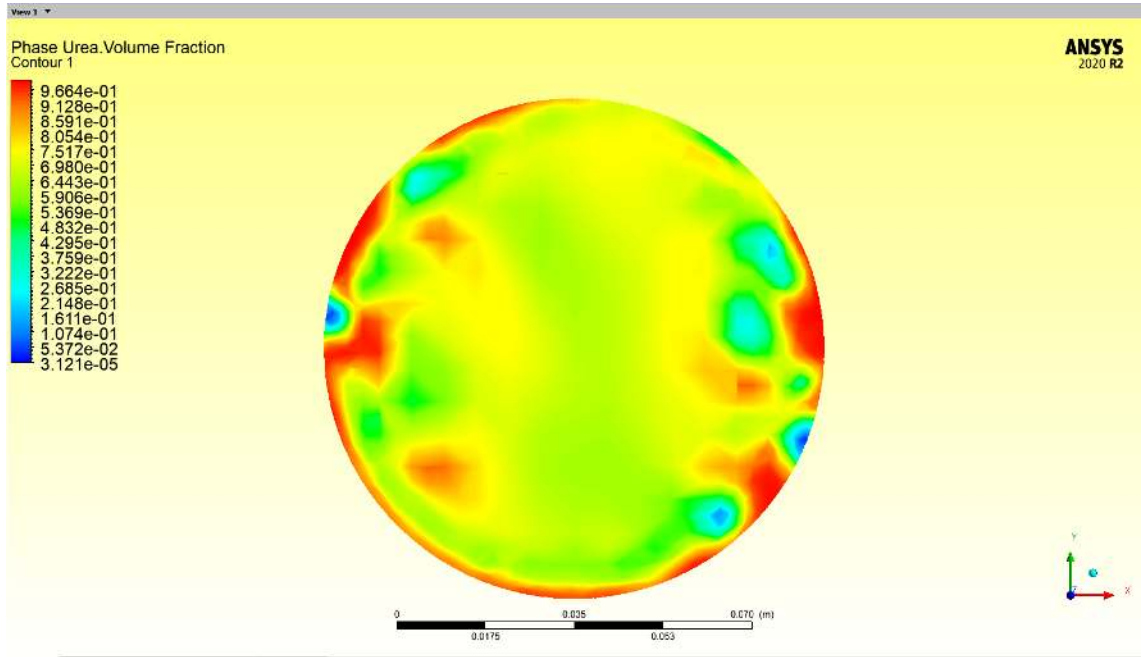
Şekil 4.60. Mikser 21 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.61'de Mikser 22 nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



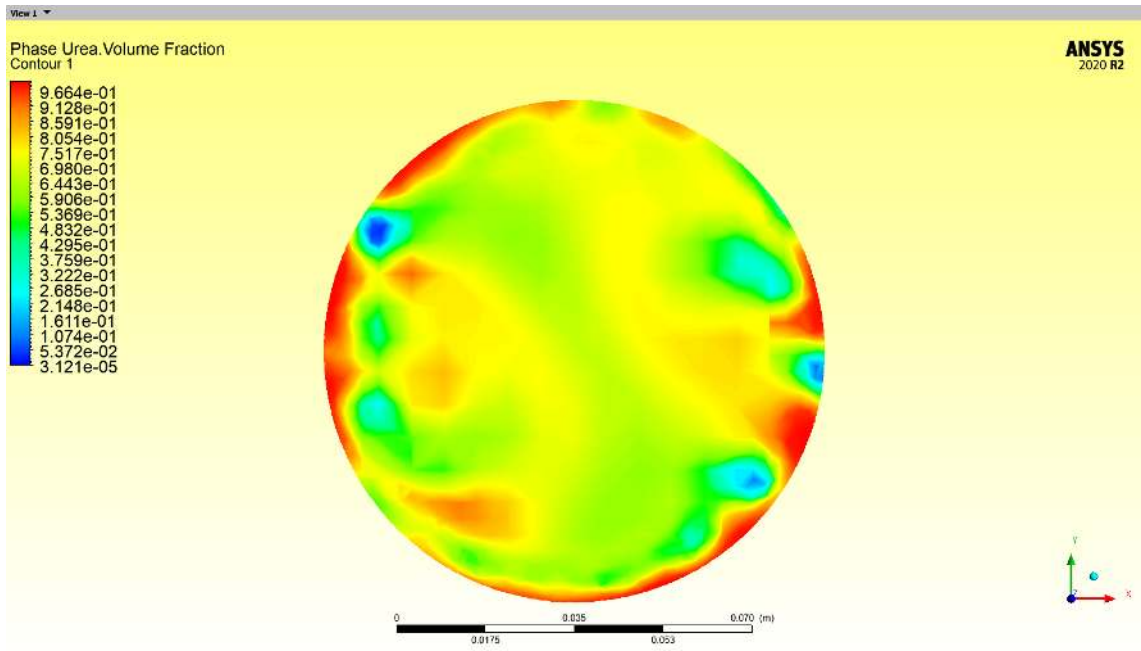
Şekil 4.61. Mikser 22 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.62’de Mikser 23’ün UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



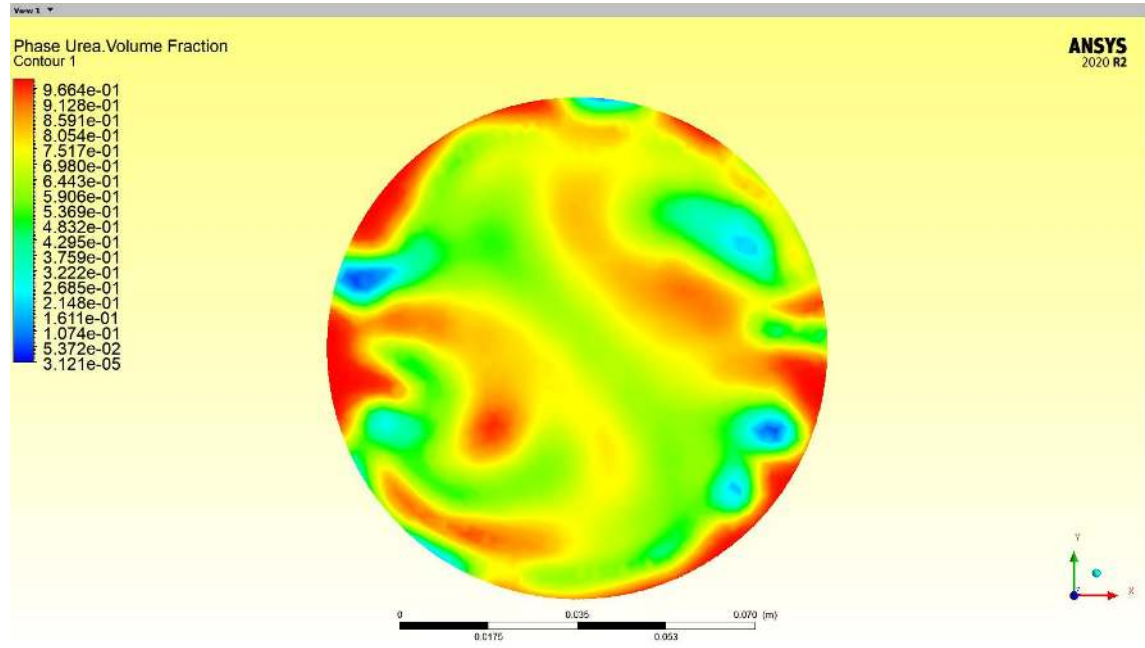
Şekil 4.62. Mikser 23 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.63’te Mikser 24’ün UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



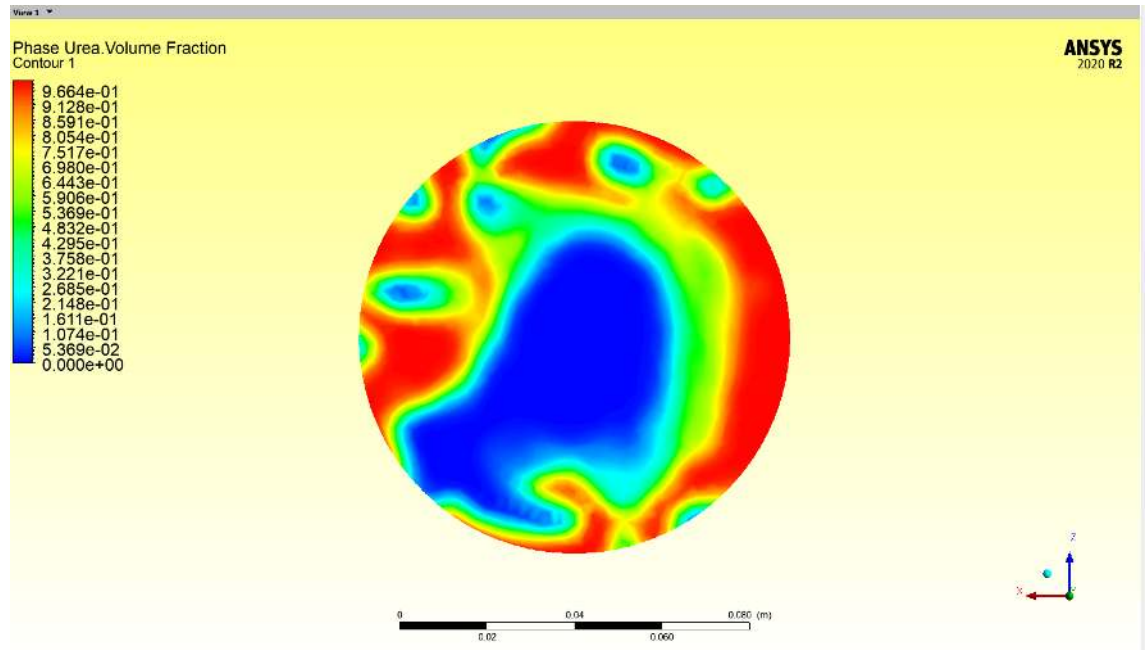
Şekil 4.63. Mikser 24 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.64'te Mikser 25'in UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



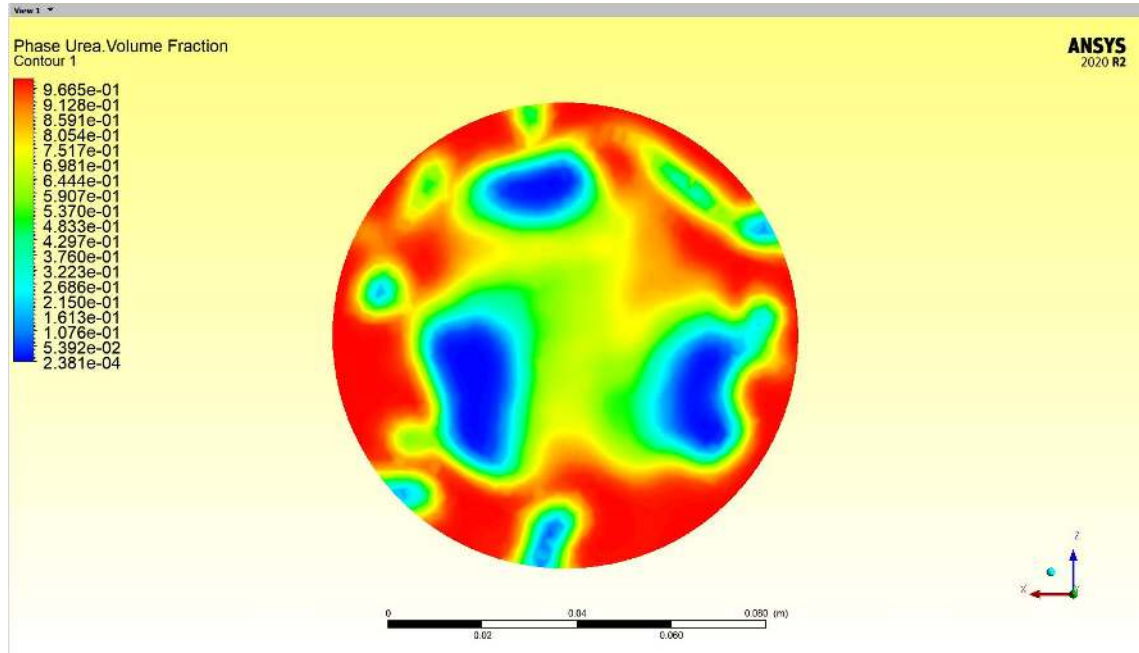
Şekil 4.64. Mikser 25 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.65'te Mikser 26'nın UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.65. Mikser 26 UI NH₃ dağılımı.

Şekil 4.66’da Mikser 27’nin UI NH₃ dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.66. Mikser 27 UI NH₃ dağılımı.

Çizelge 4.3’te çift fazlı akış analizlerinde elde edilen UI NH₃ değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çift fazlı akış analizinde elde edilen UI NH₃ değerleri.

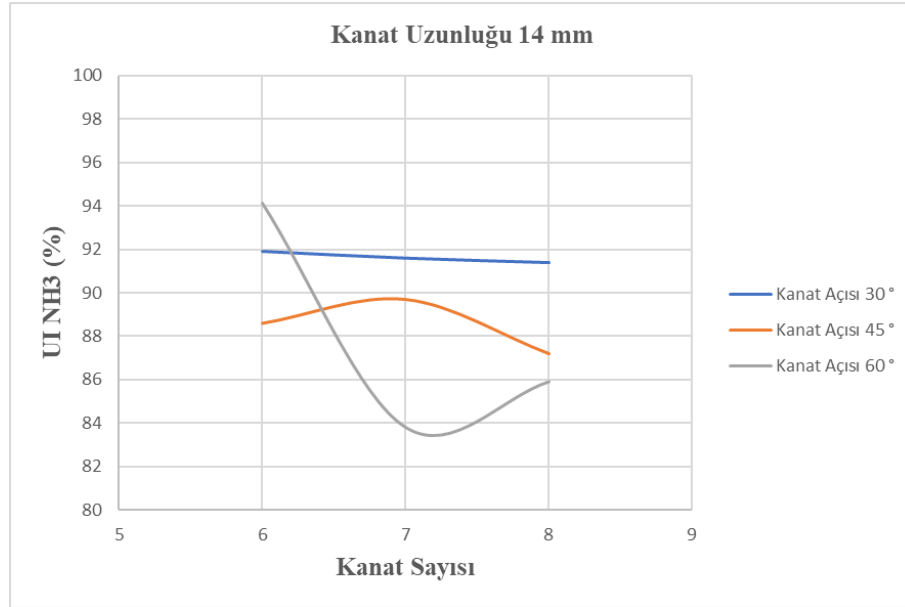
Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)	UI NH ₃ Analizi
Mikser 1	6	30	14	0,919
Mikser 2	6	30	18	0,939
Mikser 3	6	30	22	0,908
Mikser 4	6	45	14	0,886
Mikser 5	6	45	18	0,910
Mikser 6	6	45	22	0,926
Mikser 7	6	60	14	0,941
Mikser 8	6	60	18	0,865
Mikser 9	6	60	22	0,902
Mikser 10	7	30	14	0,916
Mikser 11	7	30	18	0,927
Mikser 12	7	30	22	0,933
Mikser 13	7	45	14	0,897
Mikser 14	7	45	18	0,902
Mikser 15	7	45	22	0,948
Mikser 16	7	60	14	0,838
Mikser 17	7	60	18	0,846

Çizelge 4.3. (devam) Çift fazlı akış analizinde elde edilen UI NH₃ değerleri.

Mikser 18	7	60	22	0,851
Mikser 19	8	30	14	0,914
Mikser 20	8	30	18	0,924
Mikser 21	8	30	22	0,929
Mikser 22	8	45	14	0,872
Mikser 23	8	45	18	0,890
Mikser 24	8	45	22	0,883
Mikser 25	8	60	14	0,859
Mikser 26	8	60	18	0,873
Mikser 27	8	60	22	0,915

4.2.2. Kanat Sayısının ve Kanat Açısının UI NH₃'e Etkisi

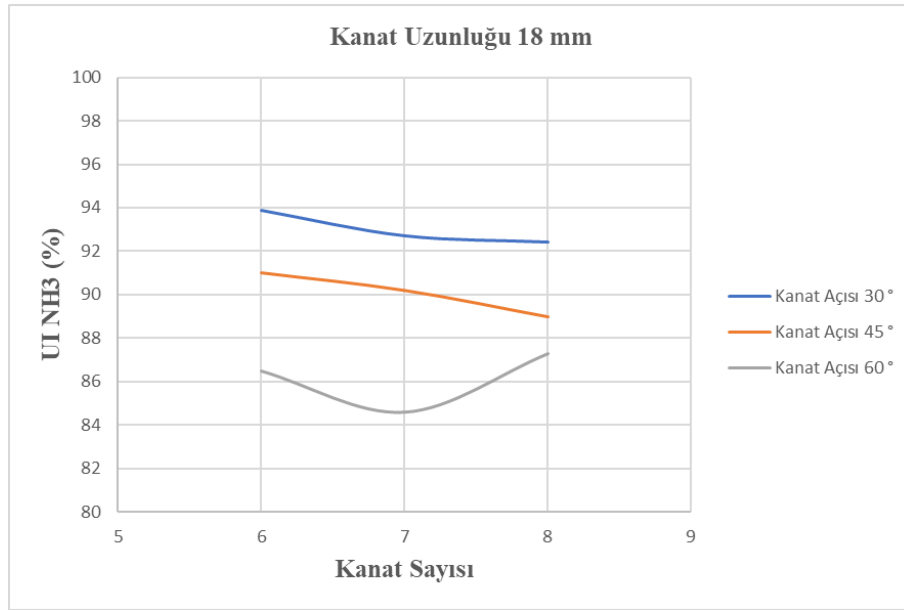
Kanat sayısının ve kanat açısının UI NH₃'e olan etkisini incelemek için kanat sayısı/ UI NH₃ grafikleri incelenmiştir. Grafikler oluşturulurken x ekseninde kanat sayısı, y ekseninde UI NH₃ ve değişken olarak kanat açıları incelenmiştir.



Şekil 4.67. Kanat uzunluğu 14 mm' ye göre UI NH₃ grafiği.

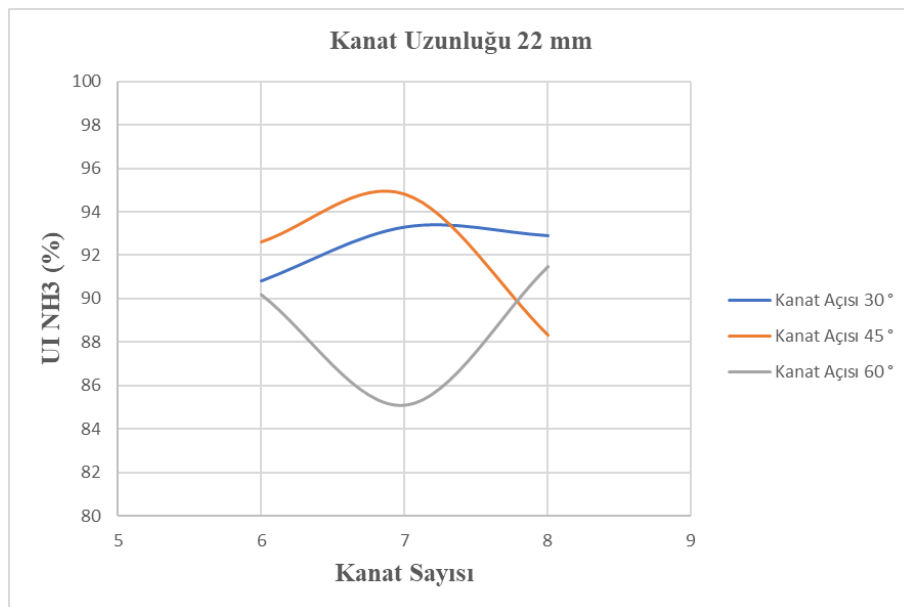
Şekil 4.67'de kanat uzunluğu 14 mm olan mikserlerin kanat sayısına göre oluşturdukları UI NH₃ grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat açısı 30° olduğunda en yüksek UI NH₃ değeri daha sonrasında 45° ve en son 60° verdiği görülmektedir. Kanat açısı 30° için UI NH₃ değeri kanat sayısı arttıkça düşüş eğiliminde, 45° için 7 kanata kadar yükseliş sonrasında düşüş eğiliminde, 60° için 7 kanata kadar düşüş daha sonrasında yükseliş

eğilimindedir.



Şekil 4.68. Kanat uzunluğu 18 mm' ye göre UI NH₃ grafiği.

Şekil 4.68'de kanat uzunluğu 18 mm olan mikserlerin kanat sayısına göre oluşturdukları UI NH₃ grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat açısı 30° olduğunda en yüksek UI NH₃ değeri daha sonrasında 45° ve en son 60° verdiği görülmektedir. Kanat açısı 30° ve 45° için UI NH₃ değeri kanat sayısı arttıkça düşüş eğiliminde, 60° için 7 kanata kadar düşüş daha sonrasında yükseliş eğilimindedir.

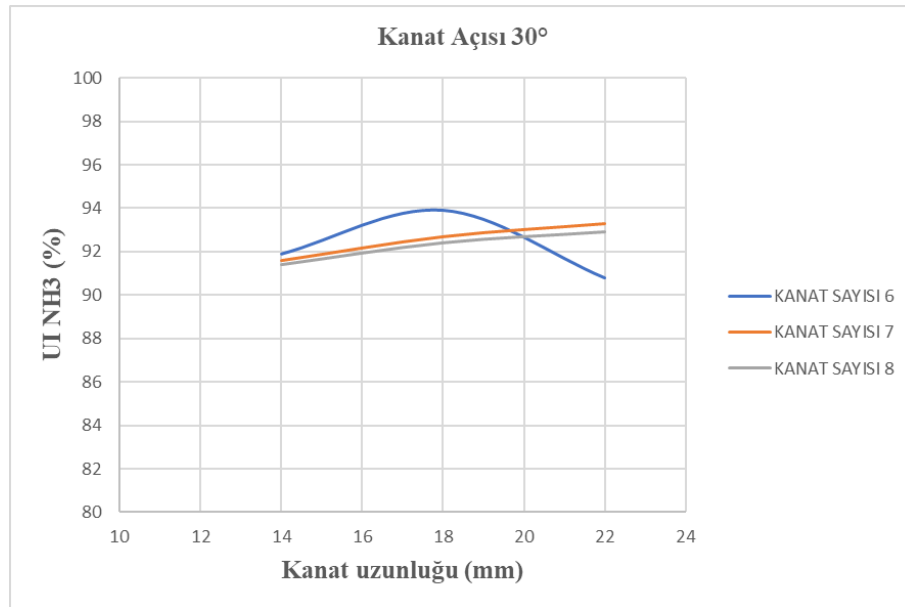


Şekil 4.69. Kanat uzunluğu 22 mm' ye göre UI NH₃ grafiği.

Şekil 4.69'da kanat uzunluğu 22 mm olan mikserlerin kanat sayısına göre oluşturdukları UI NH₃ grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat açısı 45° olduğunda 7 kanat sayısına kadar UI NH₃ değerinin arttığı, 7 kanattan sonra düşmeye başladığı, kanat açısı 30° olduğunda kanat sayısı ile beraber UI NH₃ değerinin yükseldiği, kanat açısı 60° olduğunda 7 kanat sayısına kadar UI NH₃ değerinin düştüğü, 7 kanat sayısından sonra arttığı görülmektedir.

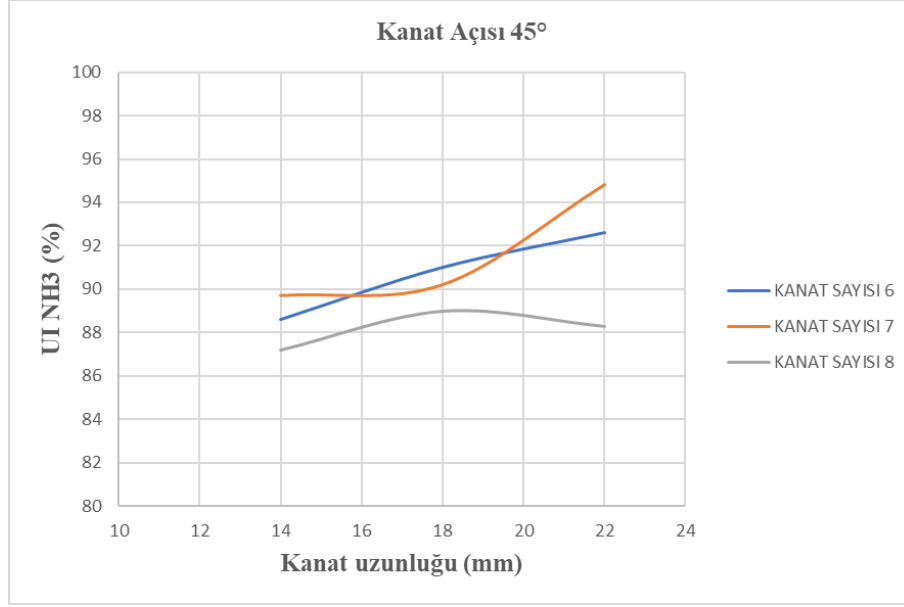
4.2.3. Kanat Uzunluğunun UI NH₃'e Etkisi

Kanat uzunluğunun UI NH₃' e olan etkisini incelemek için kanat uzunluğu/ UI NH₃ grafikleri incelenmiştir. Grafikler oluşturulurken x ekseninde kanat uzunluğu, y ekseninde UI NH₃ ve değişken olarak kanat sayıları incelenmiştir.



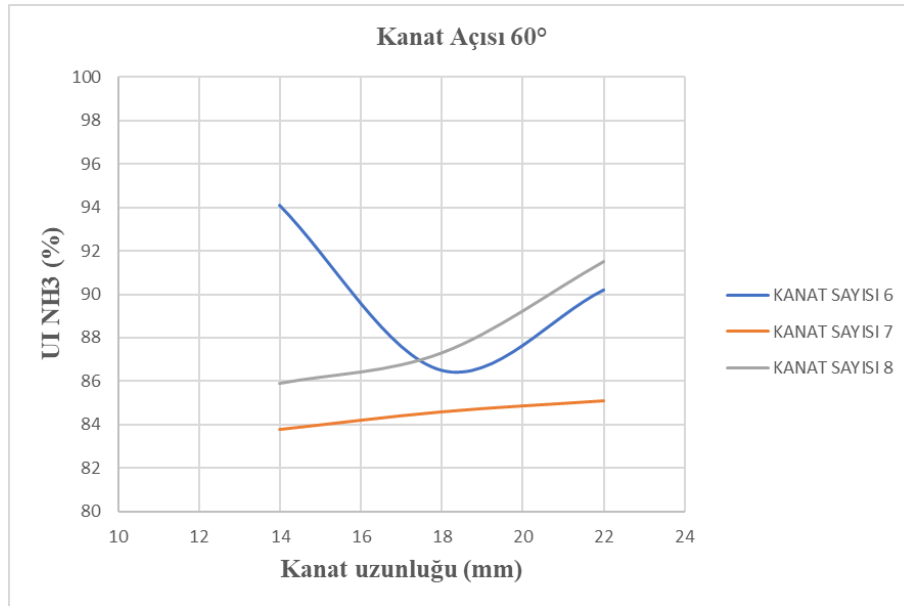
Şekil 4.70. Kanat açısı 30°' ye göre UI NH₃ grafiği.

Şekil 4.70'de kanat açısı 30° olan mikserlerin kanat uzunluğu ve kanat sayılarına göre oluşturdukları UI NH₃ grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat sayısı 6 olan mikserlerin en yüksek UI NH₃ değerini verdiği ancak 18 mm kanat uzunluğuna kadar bu değerin yükseldiği daha sonrasında düştüğü görülmektedir. Kanat sayısı 7 ve 8 olan mikserlerin kanat uzunlukları arttıkça UI NH₃ değerinin yükseldiği ve kanat sayısı 7 olunca 8 kanatlı mikserlere göre biraz daha iyi UI NH₃ değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.71. Kanat açısı 45°' ye göre UI NH₃ grafiği.

Şekil 4.71'de kanat açısı 45° olan mikserlerin kanat uzunluğu ve kanat sayılarına göre oluşturdukları UI NH₃ grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat sayısı 6 olan mikserlerin kanat uzunluğu arttıkça UI NH₃ değerinin arttığı, kanat sayısı 7 olan mikserlerin 18 mm kanat uzunluğuna kadar düştüğü daha sonrasında arttığı, kanat sayısı 8 olan mikserlerin 18 mm kanat uzunluğuna kadar arttığı daha sonrasında düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.72. Kanat açısı 60°' ye göre UI NH₃ grafiği.

Şekil 4.72’de kanat açısı 60° olan mikserlerin kanat uzunluğu ve kanat sayılarına göre oluşturdukları UI NH₃ grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında kanat sayısı 6 olan mikserlerin kanat uzunluğu 18 mm’ye kadar arttıkça UI NH₃ değerinin düştüğü ve sonrasında arttığını, kanat sayısı 7 ve 8 olan mikserlerin kanat uzunluğu arttıkça UI NH₃ değerlerinin arttığı görülmektedir.

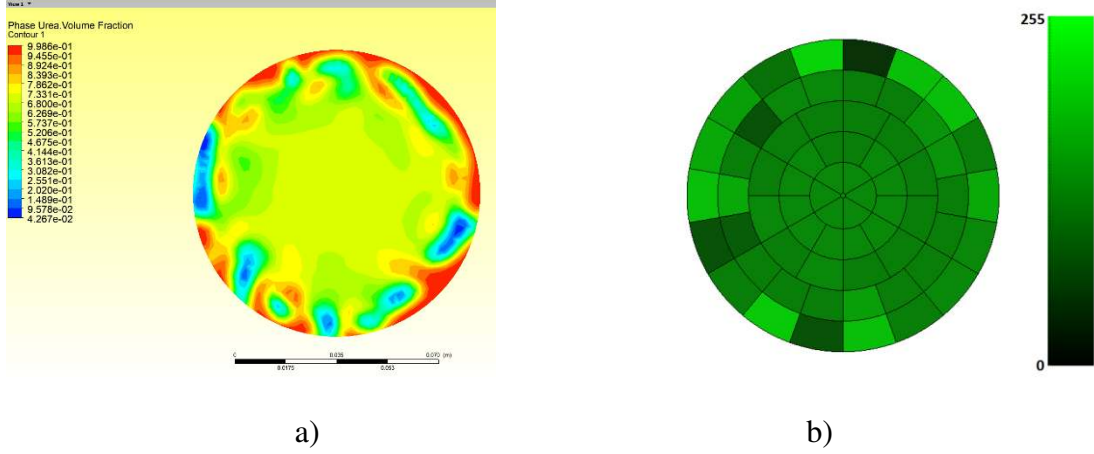
4.2.4. UI NH₃ Deney Sonuçları

UI NH₃ test düzeneği ile deneyleri yapılan 6 mikserin sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Çift fazlı akış analiz sonuçları ve UI NH₃ deneylerinin birbirini doğrulaması ve kıyaslanması için çift fazlı analiz sonuçları ve UI NH₃ deney sonuçları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çift fazlı akış analizi ve deneylerde edilen UI NH₃ sonuçları.

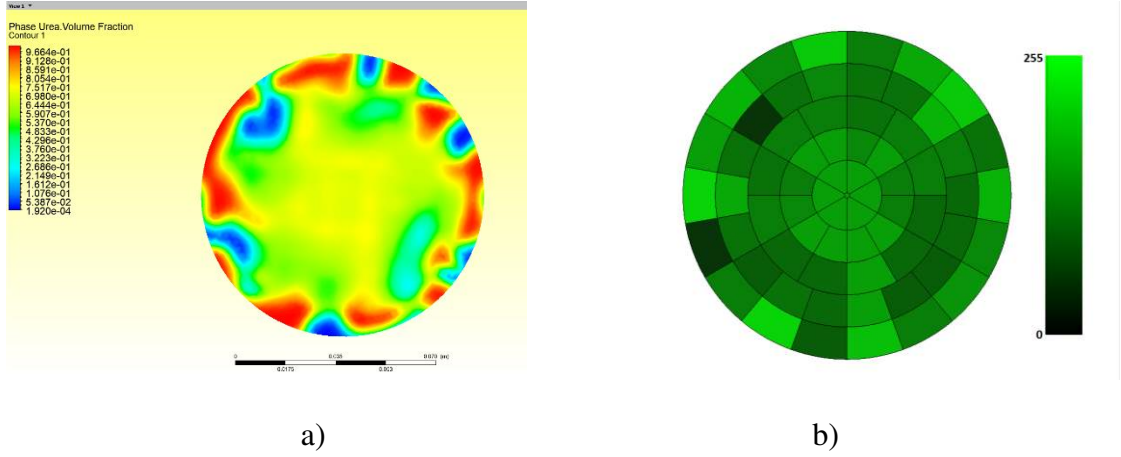
Mikser	Kanat Sayısı	Kanat Açısı (°)	Kanat Uzunluğu (mm)	Analiz Sonucu UI NH ₃	Deney Sonucu UI NH ₃
Mikser 2	6	30	14	0,939	0,915
Mikser 7	6	30	18	0,941	0,920
Mikser 12	7	30	22	0,933	0,908
Mikser 15	7	45	22	0,948	0,924
Mikser 26	8	60	18	0,873	0,857
Mikser 27	8	60	22	0,915	0,898

Çizelge 4.4 incelendiğinde çift fazlı akış analizlerinde elde edilen sonuçlar ile UI NH₃ test düzeneğinde elde edilen deney sonuçları birbirlerini doğrulamaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda en yüksek UI NH₃ değeri deneysel olarak 0,924 ile ve analiz sonuçlarına göre 0,948 ile mikser 15’tir.



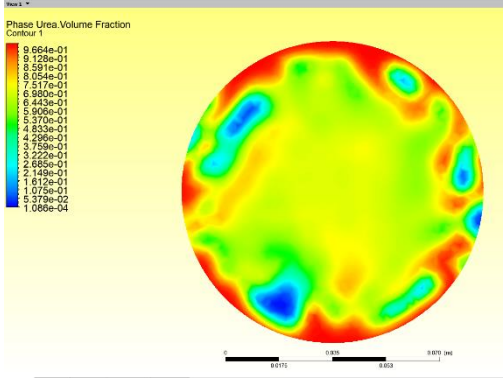
Şekil 4.73. a) Mikser 2 analiz sonucu görseli b) Mikser 2 deney sonucu görseli.

Şekil 4.73'te mikser 2 analiz ve deney sonuçları görseli verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları birbirine benzer çıkmaktadır. Yüzey kesitinde egzoz gazı ile NH_3 karışımı orta bölgelerde %80 üzerinde ve kenarlarda bazı bölgelerde %90 üzerinde ancak hiç ulaşmayan bir alan olduğu görülmektedir.

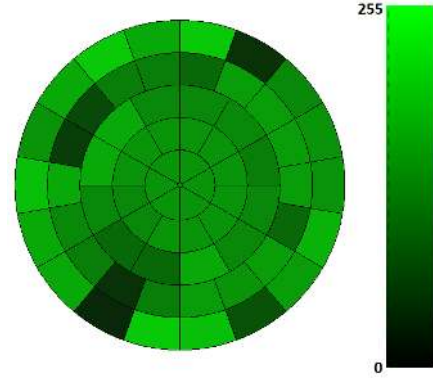


Şekil 4.74. a) Mikser 7 analiz sonucu görseli b) Mikser 7 deney sonucu görseli.

Şekil 4.74'te mikser 7 analiz ve deney sonuçları görseli verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları birbirine benzer çıkmaktadır. Yüzey kesitinde egzoz gazı ile NH_3 karışımı orta bölgelerde %80 üzerinde ve kenarlarda bazı bölgelerde %90 üzerinde ancak hiç ulaşmayan iki alan olduğu görülmektedir.



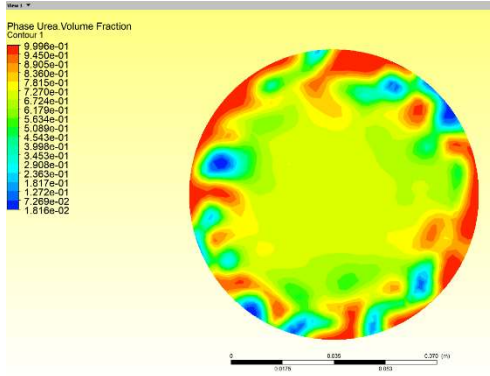
a)



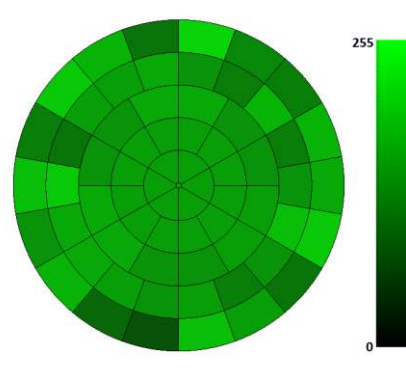
b)

Şekil 4.75. a) Mikser 12 analiz sonucu görseli b) Mikser 12 deney sonucu görseli.

Şekil 4.75'te mikser 12 analiz ve deney sonuçları görseli verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları birbirine benzer çıkmaktadır. Yüzey kesitinde egzoz gazı ile NH_3 karışımı orta bölgelerde %80 üzerinde ve kenarlarda bazı bölgelerde %90 üzerinde ancak hiç ulaşmayan birkaç alan olduğu görülmektedir.



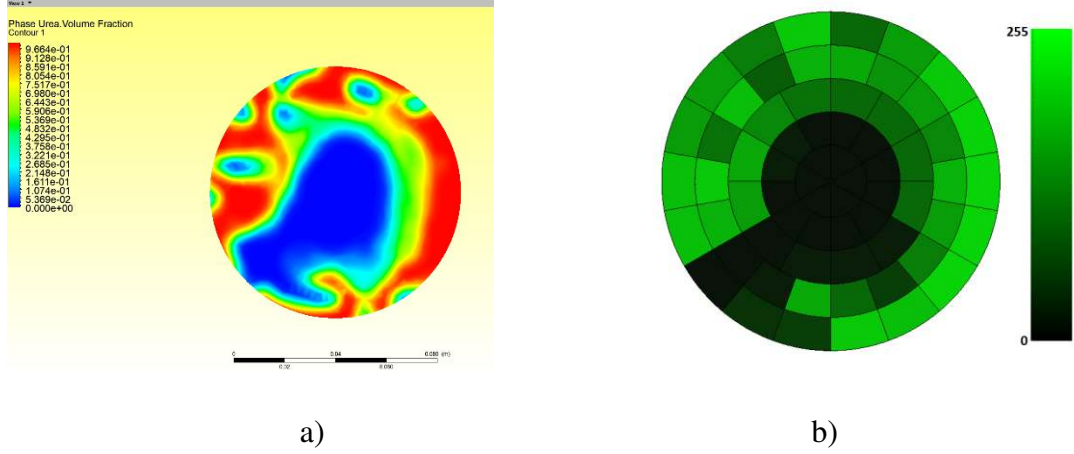
a)



b)

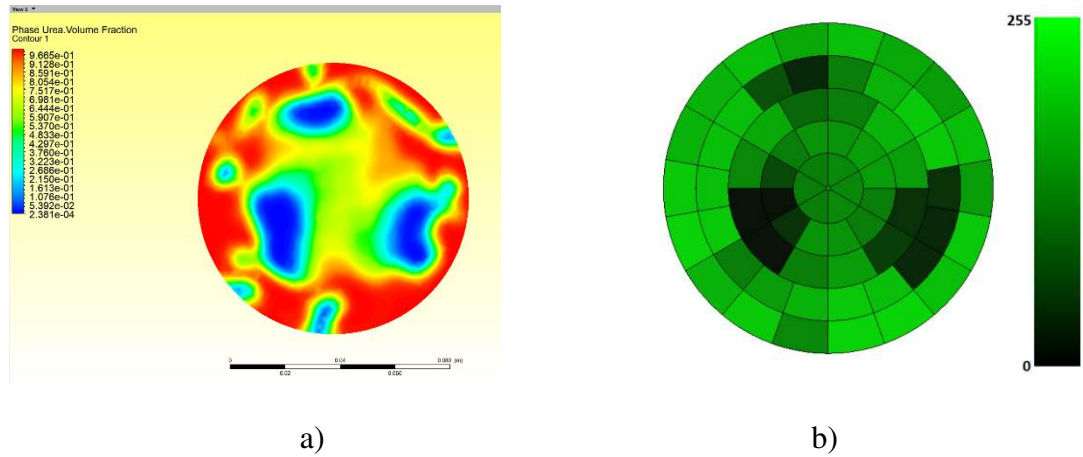
Şekil 4.76. a) Mikser 15 analiz sonucu görseli b) Mikser 15 deney sonucu görseli.

Şekil 4.76'da mikser 15 analiz ve deney sonuçları görseli verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları birbirine benzer çıkmaktadır. Yüzey kesitinde egzoz gazı ile NH_3 karışımı orta bölgelerde %80 üzerinde ve kenarlarda bazı bölgelerde %90 üzerinde ancak hiç ulaşmayan alanların olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.77. a) Mikser 26 analiz sonucu görseli b) Mikser 26 deney sonucu görseli.

Şekil 4.77’de mikser 26 analiz ve deney sonuçları görseli verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları birbirine benzer çıkmaktadır. Yüzey kesitinde egzoz gazı ile NH_3 karışımı orta bölgelerde çoğunlukla çok düşük olduğu ancak kenarlarda ve üst bölgelerde yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin kanat sayısı ve uzunluğu arttıkça orta bölgelerin kapandığından olduğu düşünülmektedir.



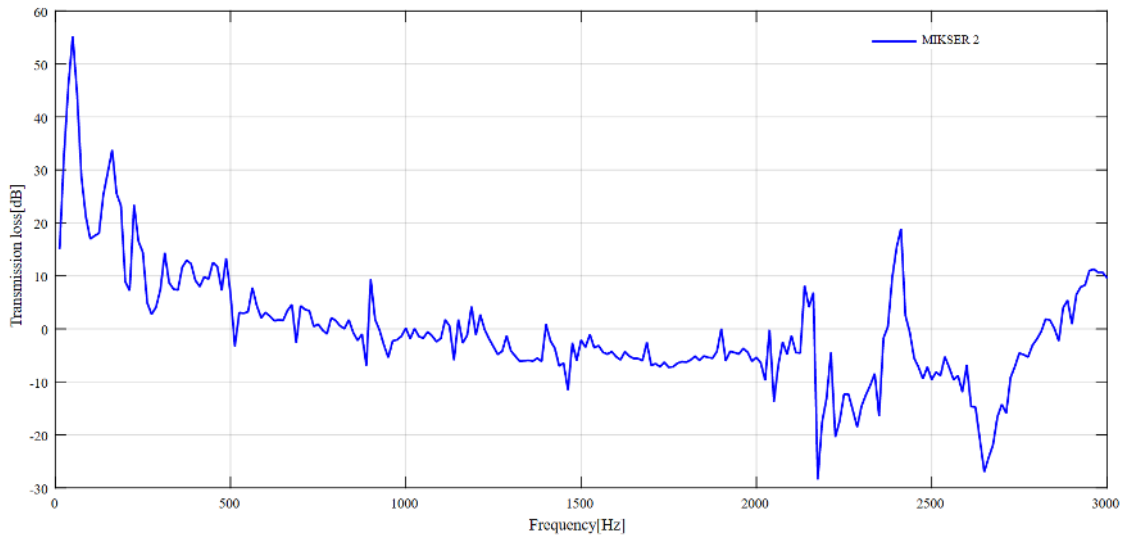
Şekil 4.78. a) Mikser 27 analiz sonucu görseli b) Mikser 27 deney sonucu görseli.

Şekil 4.78’de Mikser 27 analiz ve deney sonuçları görseli verilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları birbirine benzer çıkmaktadır. Yüzey kesitinde egzoz gazı ile NH_3 karışımının orta bölgelerde birkaç alan da çok düşük olduğu ancak diğer bölgelerde yüksek olduğu görülmektedir.

Yapılan analiz ve test yöntemiyle çıkan sonuçlar ve NH_3 dağılımları birbirleri ile aynı olduğu görülmüştür. Mikser 26 ve 27' de kanat sayısının diğer mikserlere göre fazla olması ve kanat açıları ile uzunluklarının da fazla olması özellikle kesitin orta bölgelerinde NH_3 dağılımının düşük çıkmasına sebep vermektedir. 6 ve 7 kanat sayısına sahip olan Mikser 2, 7, 12 ve 15' in 8 kanatlı mikserlere göre NH_3 dağılımı kesitlere bakıldığında daha çok bölgeye ulaşmıştır. Mikser 2, 7, 12, 26 ve 27' nin hiç NH_3 oluşmayan bölgeleri görünmektedir. Mikser 15' in ölçüm yapılan yüzeyindeki tüm bölgelere NH_3 dağıtabildiği görülmüştür.

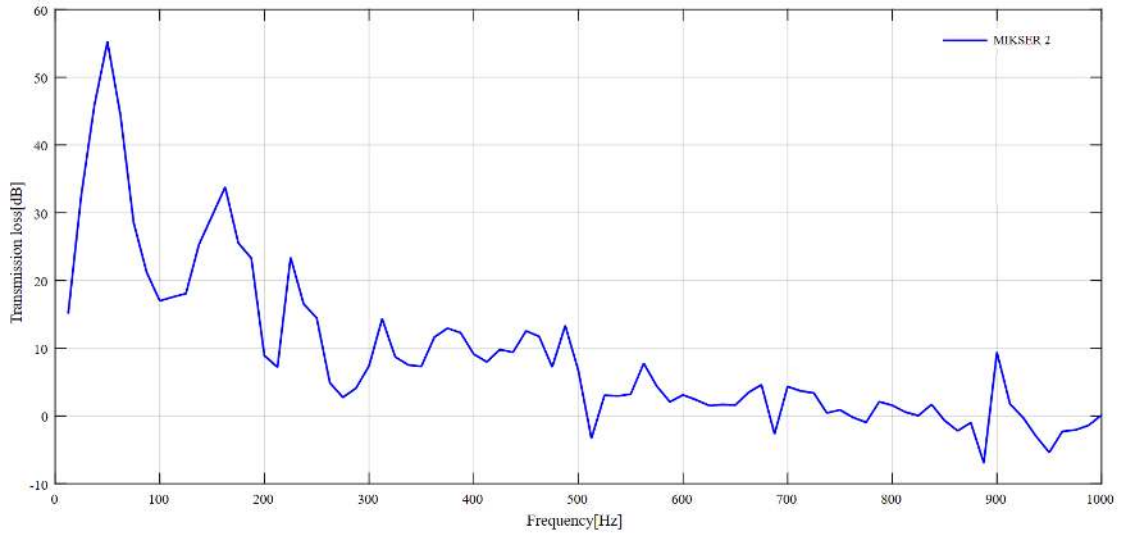
4.3. AKUSTİK SONUÇLARIN İNCELENMESİ

Bu bölümde üretimleri gerçekleştirilen ve akustik testleri yapılan 6 mikserin iletim kaybı (TL) grafikleri incelenmiştir.



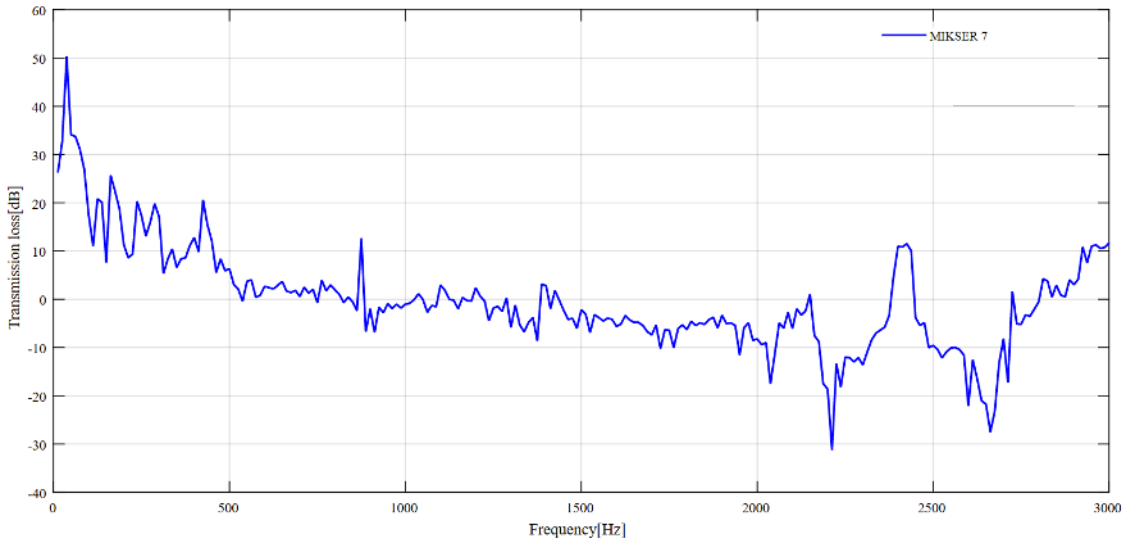
Şekil 4.79. Mikser 2 TL grafiği 0-3000 Hz.

Şekil 4.79'da Mikser 2'nin 0- 3000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 3000 Hz' e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 2' nin akustik performansı gösterilmektedir. Düşük seviye frekanslarda (0-500 Hz) daha yüksek seviyede ses sönümlenme özelliği gösterirken, orta frekanslarda (500-2000 Hz) 0 dB civarında hareket ettiği ve yüksek seviye frekanslarda (2000-3000 Hz) bazı bölgelerde -30 dB değerine kadar düştüğü, bazı bölgelerde yaklaşık 20 dB civarında ses sönümlediği görülmektedir.



Şekil 4.80. Mikser 2 TL grafiği 0-1000 Hz.

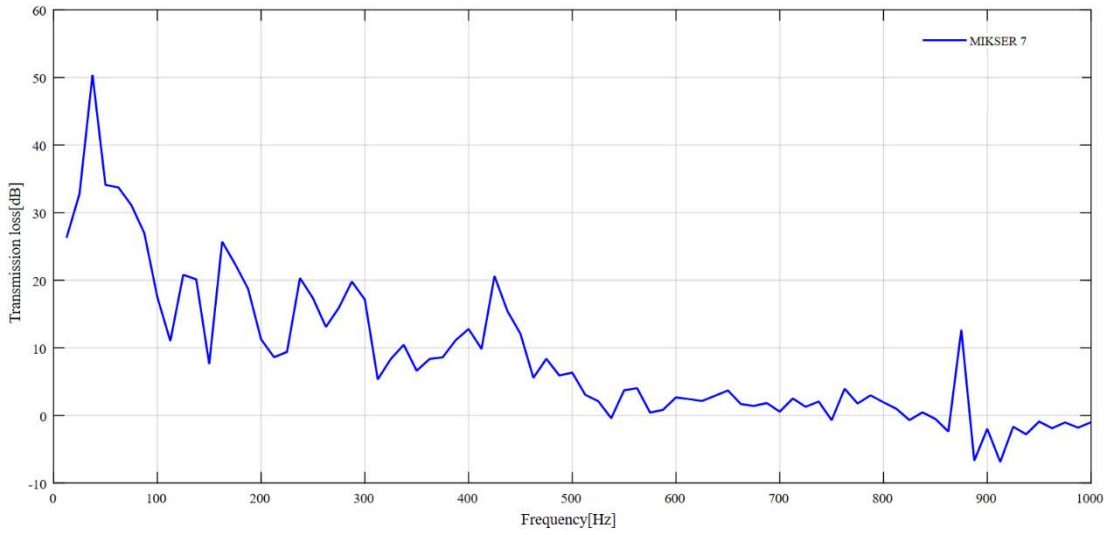
Şekil 4.80’de Mikser 2’nin 0- 1000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 1000 Hz’ e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 2’nin akustik performansı gösterilmektedir. Mikser 2’ nin yaklaşık 50 Hz frekansta en yüksek ses sönümleme değerine sahip olduğu (55 dB), 150 ile 170 Hz aralığında yaklaşık 34 dB ses sönümleme, 200 ile 500 Hz arasında 0 ile 20 dB aralığında hareket ettiği ve 900 Hz frekansında 10 dB ses sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 4.81. Mikser 7 TL grafiği 0-3000 Hz.

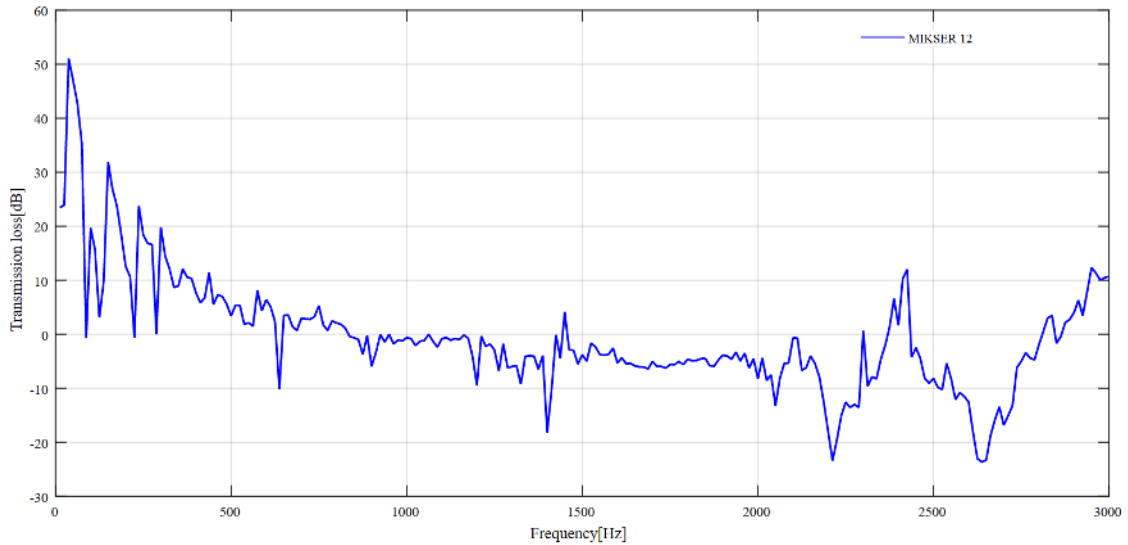
Şekil 4.81’de Mikser 7’nin 0- 3000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 3000 Hz’ e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 7’ nin akustik performansı gösterilmektedir. Düşük seviye frekanslarda (0-500 Hz) daha yüksek seviyede ses sönümleme özelliği gösterirken, orta frekanslarda (500-2000 Hz) 0 dB civarında hareket ettiği ve yüksek

seviye frekanslarda (2000-3000 Hz) bazı bölgelerde -30 dB değerine kadar düştüğü, bazı bölgelerde yaklaşık 10 dB civarında ses sönümlendiği görülmektedir.



Şekil 4.82. Mikser 7 TL grafiği 0-1000 Hz.

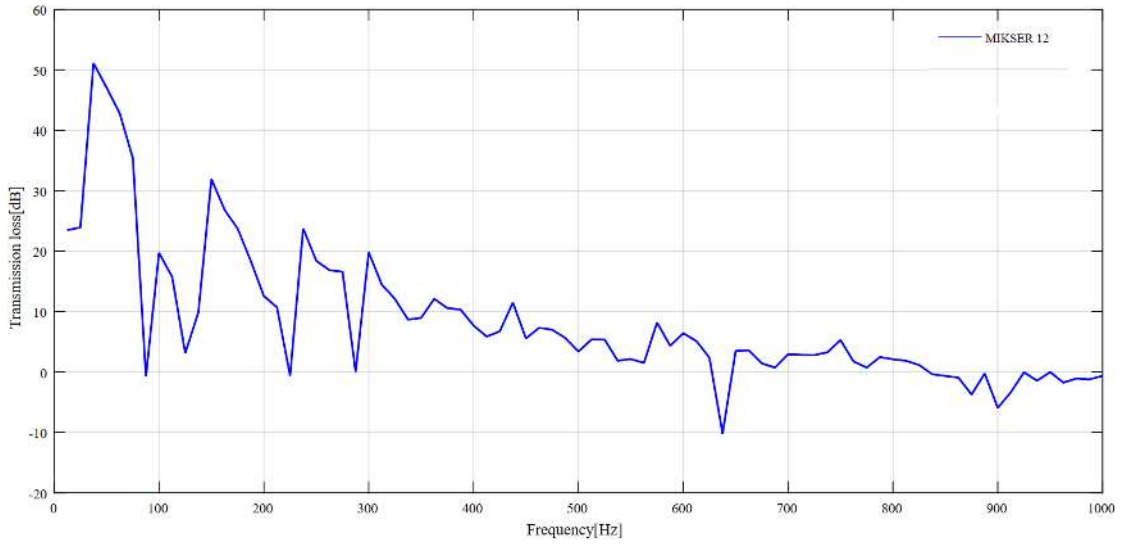
Şekil 4.82’de Mikser 7’nin 0- 1000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 1000 Hz’ e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 7’ nin akustik performansı gösterilmektedir. Mikser 7’ nin yaklaşık 40 Hz frekansta en yüksek ses sönümleme değerine sahip olduğu (50 dB), 100 ile 500 Hz aralığında 10 ile 25 dB civarlarında ses sönümleme, 500 ile 880 Hz arasında 0 ile 10 dB aralığında hareket ettiği ve 900 ile 1000 Hz frekansları arasında 0 dB’ nin altına düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.83. Mikser 12 TL grafiği 0-3000 Hz.

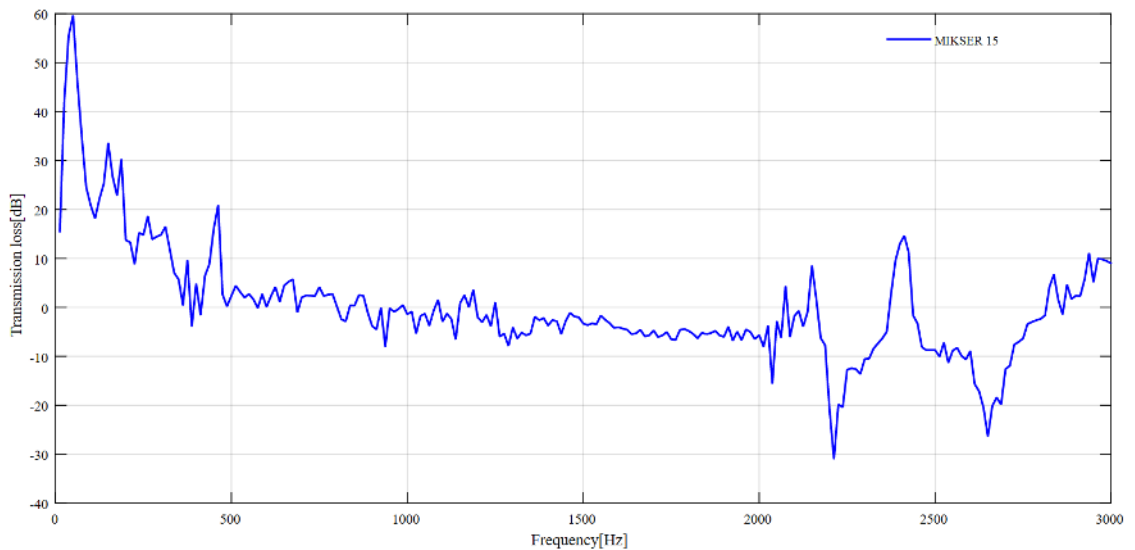
Şekil 4.83’te Mikser 12’nin 0- 3000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 3000 Hz’e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 12’nin akustik performansı

gösterilmektedir. Düşük seviye frekanslarda (0-500 Hz) daha yüksek seviyede ses sönümlleme özelliği gösterirken, 500 ile 1250 Hz aralığında 0 dB çevresinde, 1250 ile 2250 Hz arasında 0 dB' in altında ve 2250 Hz' den sonra ses sönümlemesinin yükseldiği görülmektedir.



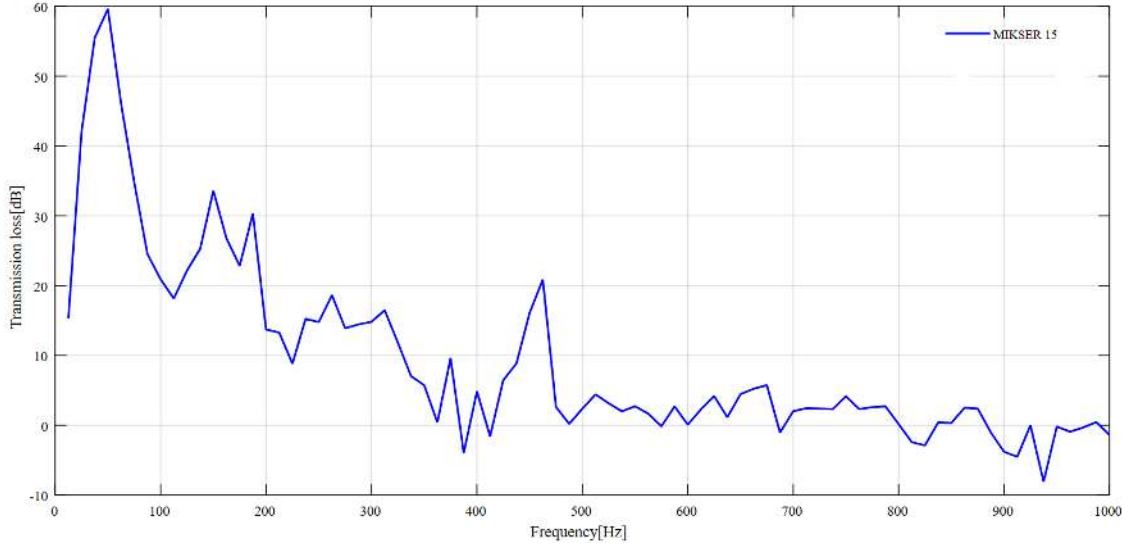
Şekil 4.84. Mikser 12 TL grafiği 0-1000 Hz.

Şekil 4.84'te Mikser 12'nin 0- 1000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 1000 Hz' e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 12' nin akustik performansı gösterilmektedir. Mikser 12'nin yaklaşık 50 Hz frekansta en yüksek ses sönümlleme değerine sahip olduğu (50 dB), 600 Hz'e kadar kademeli olarak düşerek, 600 Hz' den sonra ses sönümlleme özelliği olmadığı görülmüştür.



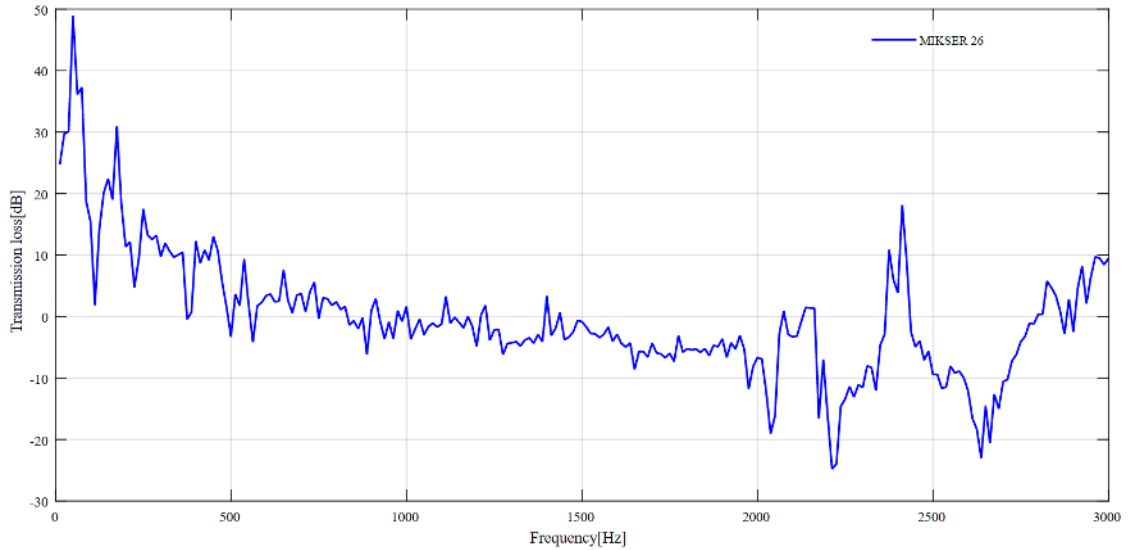
Şekil 4.85. Mikser 15 TL grafiği 0-3000 Hz.

Şekil 4.85'te Mikser 15'in 0- 3000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 3000 Hz' e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 15'in akustik performansı gösterilmektedir. Düşük seviye frekanslarda (0-500 Hz) daha yüksek seviyede ses sönümleme özelliği gösterirken, 500 ile 2000 Hz aralığında 0 dB çevresinde, 2000 ile 3000 Hz aralığında hem -30 dB ile 15 dB aralığında frekanslara grafiğin dalgalandığı görülmektedir.



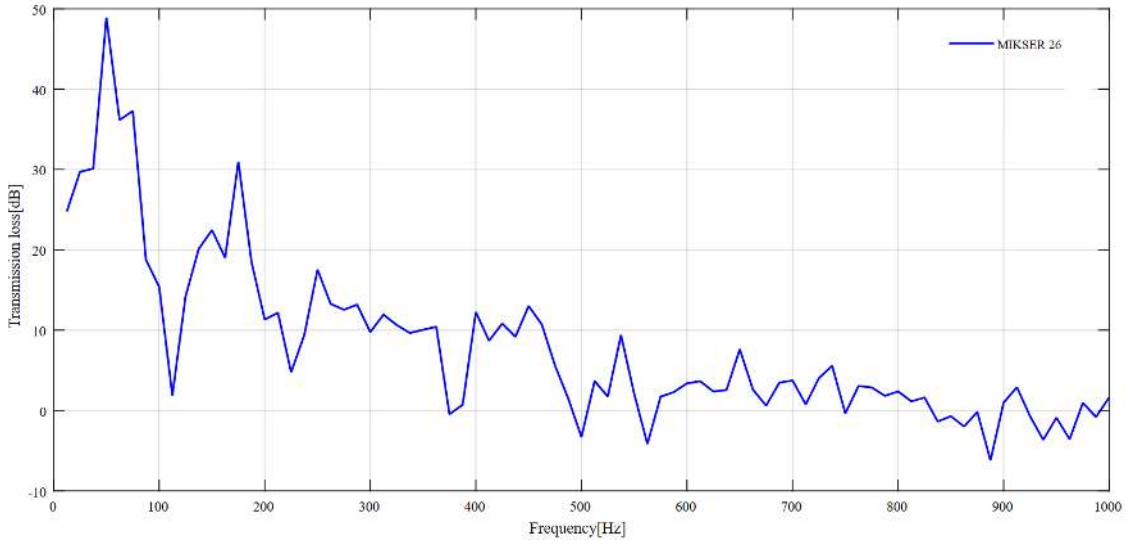
Şekil 4.86. Mikser 15 TL grafiği 0-1000 Hz.

Şekil 4.86'da Mikser 15'in 0- 1000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 1000 Hz' e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 15' in akustik performansı gösterilmektedir. Mikser 15'in yaklaşık 50 Hz frekansta en yüksek ses sönümleme değerine sahip olduğu (60 dB), 850 Hz'e kadar kademeli olarak düştüğü, 850 ile 1000 Hz aralığında 0 dB altında kalarak ses sönümleme özelliği olmadığı görülmektedir.



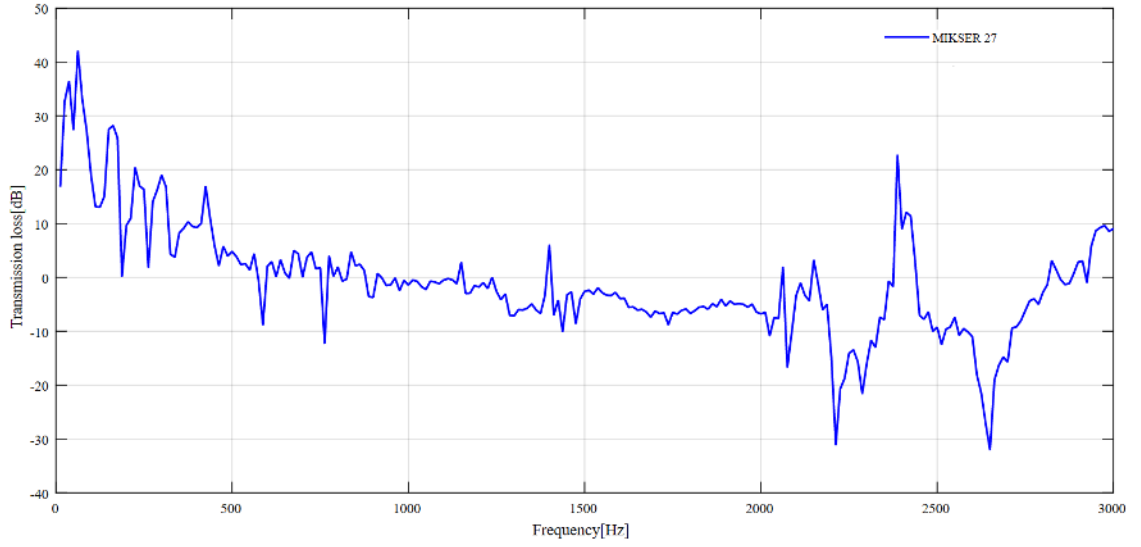
Şekil 4.87. Mikser 26 TL grafiği 0-3000 Hz.

Şekil 4.87’de Mikser 26’nın 0- 3000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 3000 Hz’e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 26’nın akustik performansı gösterilmektedir. Düşük seviye frekanslarda (0-500 Hz) daha yüksek seviyede ses sönümlleme özelliği gösterirken, 500 ile 2000 Hz frekans aralığında 10 dB değerinden - 10 dB değerine kadar düştüğü, 2000 Hz ile 3000 Hz frekans aralığında -20 dB ile 20 dB aralığında hareket ettiği ve yaklaşık 2400 Hz’ de 20 dB ses sönümlleme özelliği olduğu görülmektedir.



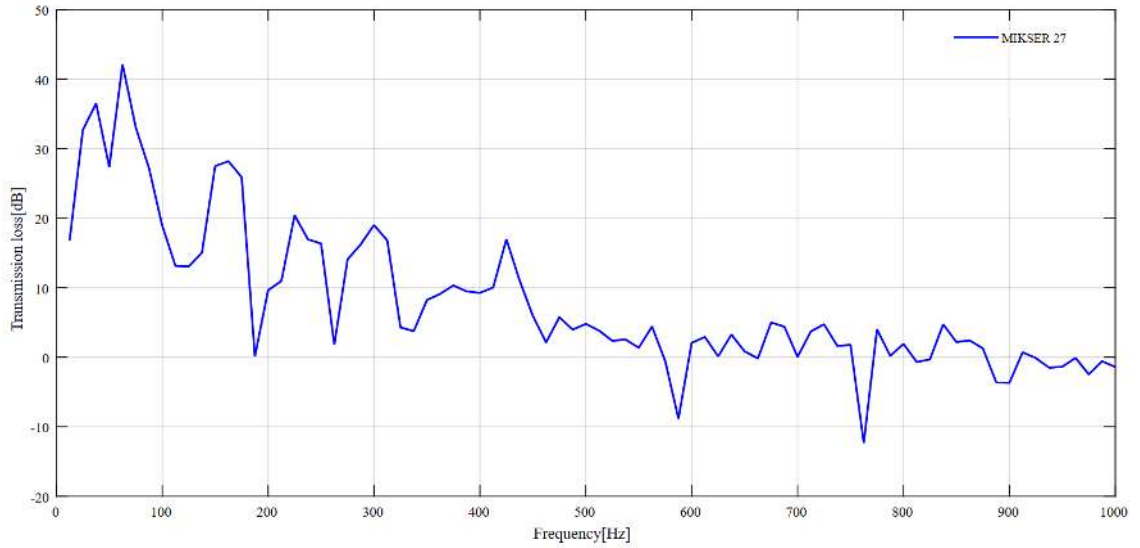
Şekil 4.88. Mikser 26 TL grafiği 0-1000 Hz.

Şekil 4.88’de Mikser 26’nın 0- 1000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 1000 Hz’e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 26’nın akustik performansı gösterilmektedir. Mikser 26’ nın yaklaşık 50 Hz frekansta en yüksek ses sönümlleme değerine sahip olduğu (50 dB), 180 Hz’ de 30 dB ses sönümlleme değerine sahip olduğu, 200 ile 850 Hz frekans aralığında 18 dB ile 0 dB aralığında kademeli olarak performansının düştüğü, 850 ile 1000 Hz frekans aralığında ses sönümlleme özelliği olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.89. Mikser 27 TL grafiği 0-3000 Hz.

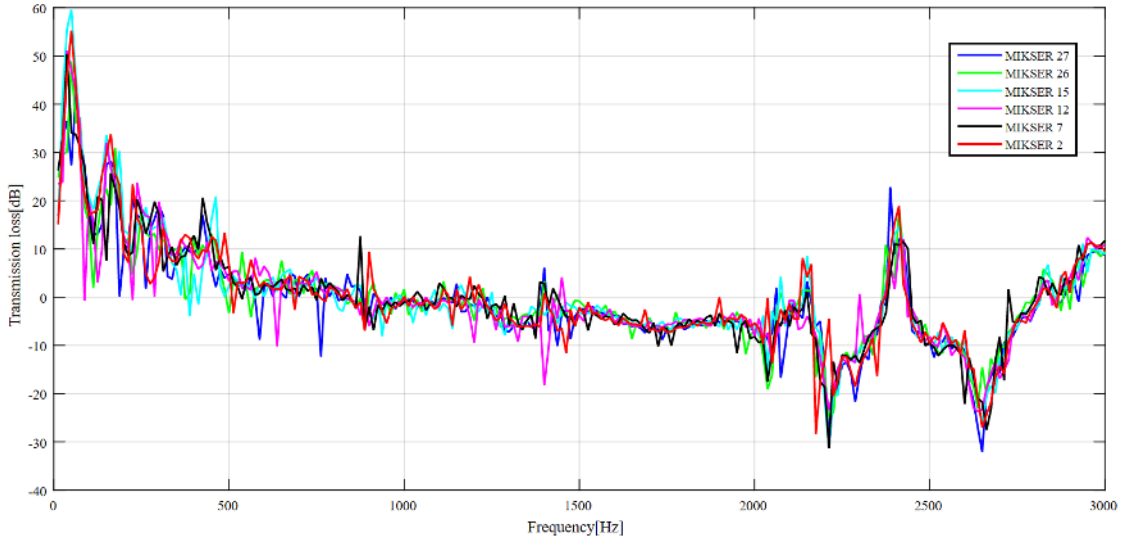
Şekil 4.89’da Mikser 27’nin 0- 3000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 3000 Hz’e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 27’nin akustik performansı gösterilmektedir. Düşük seviye frekanslarda (0-500 Hz) daha yüksek seviyede ses sönümleme özelliği gösterirken, 500 ile 2000 Hz frekans aralığında 10 dB’den -10 dB değerine kadar kademeli düştüğü, 2000 Hz ile 3000 Hz frekans aralığında -30 dB ile 20 dB aralığında ses sönümleme özelliği göstermektedir. Yaklaşık 2400 Hz’de 20 dB ses sönümleme özelliği göstermektedir.



Şekil 4.90. Mikser 27 TL grafiği 0-1000 Hz.

Şekil 4.90’da Mikser 27’nin 0- 1000 Hz aralığındaki TL grafiği verilmiştir. Grafikte 1000 Hz’e kadar olan frekans değerlerinde Mikser 27’nin akustik performansı gösterilmektedir. Mikser 27’nin 0 ile 200 Hz frekans aralığında 40 ile 10 dB, 200 ile

1000 Hz frekans aralığında kademeli olarak düştüğü ve 0 dB'e doğru hareket ettiği görülmektedir. 600 Hz ile 760 Hz frekanslarında 0' ın altına düşerek negatif iletim kaybı oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.91. Mikserlerin bir arada olduğu TL grafiği 0-3000 Hz.

Şekil 4.91'de bütün mikserlerin tek grafik üzerinde 0- 3000 Hz frekans aralığındaki iletim kaybı grafikleri görülmektedir. Grafiğe bakıldığında bütün mikserlerin birbirinden farklı ancak birbirine benzer iletim kaybı eğrilerinin oluştuğu görülmektedir. Grafikte en yüksek ses indirgeme seviyesi düşük frekansta (yaklaşık 50 Hz) 60 dB değeri ile Mikser 15 olurken, neredeyse tüm mikserlerin 2000 ile 2700 Hz aralığında negatif etki ettiği görülmektedir. Mikserlerin kanat açıları, kanat sayıları ve kanat açıları değiştirildikçe mikserlerin farklı farklı iletim kaybı değerlerinin oluştuğu görülmektedir. Düşük frekans aralığında (0- 500 Hz) tüm mikserler pozitif değer verirken 500 frekanstan yüksek seviyelerde herhangi bir frekans değerlerinde mikserlerin negatif değer verdiği görülmektedir.

Kanat açıları, kanat uzunlukları ve kanat açıları değiştikçe frekansa göre iletim kaybı değerleri değişmektedir. Mikser 12 yaklaşık 1400 Hz frekans değerinde negatif sonuç vermişken, Mikser 27 aynı frekans değerinde pozitif değer vermiştir. Buda bu üç parametrenin farklı farklı kombinasyonları yapılarak negatif çıkan frekansların pozitifte çevrilebileceğini göstermektedir.

5. BULGULAR

Mikserler egzoz sistemlerinin toplam geri basınçlarına direkt etki ettiğinden dolayı, komple sistemin izin verdiği geri basınç limitini aşmamak ve aynı zamanda en yüksek UI NH₃ değerini yakalamak için mikser tasarımı yaparken motor üreticisinin vereceği limitleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu çalışmada, SCR sistemlerinde kullanılan mikserlerin kanat sayıları, kanat açıları ve kanat uzunlukları değiştirilerek mikser tasarımının geri basınca ve UI NH₃'e olan etkileri akış analizleri ile incelenmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır. Akustik performanslarına iletim kaybı testleri yapıp, grafikler ile bakılmıştır. Kanat sayısı, kanat açısı ve kanat uzunlukları değiştirilerek farklı mikser tasarımları yapılmıştır. Bu kapsamda 6, 7, 8 kanat sayılı, 30°, 45°, 60° kanat açılı ve kanat 14, 18, 22 mm kanat uzunluklu mikserler tasarlanmıştır.

Analiz ve deney sonuçlarına göre, kanat sayısının, kanat açısının ve kanat uzunluklarının artması mikser geri basıncını artırdığı görülmüştür. Kanat sayısı 6, kanat açısı 30° ve kanat uzunlu 14 mm olan Mikser 1 geri basınç değeri olarak 0,51 kPa, kanat sayısı 8, kanat açısı 60° ve kanat uzunluğu 22 mm olan Mikser 27 geri basınç değeri olarak 0,91 kPa vermiştir.

7 kanatlı mikserlerin genel olarak en iyi UI NH₃ performansı verdiği görülmüştür. Kanat sayısı 7, kanat açısı 45° ve kanat uzunluğu 22 mm olan Mikser 15' in en iyi UI NH₃ değerini (0,948) verdiği görülmüştür.

Akustik davranışları incelendiğinde mikserlerin kanat açıları, kanat sayıları ve kanat uzunlukları değiştirilerek mikserlerin frekanslara bağlı iletim kaybı değerleri değişmektedir. İletim kaybı testleri yapılan Mikser 2, Mikser 7, Mikser 12, Mikser 15, Mikser 26 ve Mikser 27' nin 0-500 Hz aralığında en iyi iletim kaybı değerini verdiği 500 Hz frekansından sonra genel olarak mikserlerin akustik performansın düştüğü görülmüştür.

En yüksek dB sönümleme değerini yaklaşık 50 Hz frekansta 60 dB ile Mikser 15 vermiştir. Farklı parametreler ve daha fazla akustik test yapılarak hedeflenen frekans değerinde daha yüksek ses indirgeme seviyesine sahip mikserler elde edilebilir.

Oluşturdukları geri basınç ve UI NH₃ değeri açısından bakıldığında en optimum mikser, en yüksek UI NH₃ ve ortalama geri basınç oluşturmamasından dolayı Mikser 15 olduğu görülmüştür. Geri basınç olarak düşük sonuç veren (0,52 kPa) ve UI NH₃ değeri olarak yüksek (0,939) bulunan Mikser 2’inde performans olarak iyi sonuç verildiği görülmektedir.

Bu çalışma farklı mikser tasarımlarının geri basınç, UI NH₃ ve akustik performans (iletim kaybı) üzerindeki etkilerini incelemekte ve sonuçlarını sunmaktadır. Gelecekte bu çalışmayı ilerletmek ve daha kapsamlı hale getirmek için; farklı parametrelerin (kanat şekli, kanat aralıkları gibi.) etkisi incelenebilir, daha fazla mikser parametresi ile daha kapsamlı sonuçlar elde ederek, daha fazla deneysel veriler toplanarak çalışma kapsamı genişletilebilir.



6. KAYNAKLAR

- [1] Ayhan Vezir, "Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun NO_x ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [2] Yunus Özkan, "Farklı özellikteki duvar akışlı dizel partikül filtrelerinin basınç kaybına etkilerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2016.
- [3] Cem Soruşbay, Egzoz gazları emisyonu, *Ders Notları*, İstanbul, 2015.
- [4] A. Keskin, S. Sağıroğlu, "Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri," *Mühendis ve Makina*, c. 51, sayı 606, ss. 1-8, 2010.
- [5] A. Keskin, "Dizel motorlarından partikül madde emisyon kontrolü ve gelişmeler," 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, IATS 2009, Karabük, Türkiye, 2009, ss. 1-7.
- [6] T. V. Johnson, "Diesel emission control in review." *Journal Of Fuels and Lubricants*, c. 116, sayı 4, ss. 76-87, 2007.
- [7] P. Schiffmann, M. Lecompte, O. Laget, "Experimental Investigation of Novel Ammonia Mixer Designs for SCR Systems," IFP Energies Nouvelles, SAE Technical Paper, United States, ISSN 0148-7191, 2018.
- [8] T. Kowatari, Y. Hamada, K. Amou, "A New Dosing Device for Enhancing Low Temperature Performance of Urea-SCR," *Journal Of Fuels and Lubricants*, c. 115, sayı 4, ss. 244-251, 2006.
- [9] A. Nishioka, K. Amou, H. Yokota, T. Murakami, "A Urea-Dosing Device for Enhancing Low-Temperature Performance by Active-Ammonia Production in an SCR System," *SAE World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2008, ss. 14-17.
- [10] F. Birkhold, U. Meingast, P. Wassermann, O. Deutschmann, "Analysis of the Injection of Urea-Water-Solution for Automotive SCR DeNO_x-Systems: Modeling of Two-Phase Flow and Spray/Wall-Interaction," *SAE World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2006, ss. 43-54.
- [11] S.J. Jeong, S.J. Lee, and W.S. Kim, " Numerical Study on the Optimum Injection of Urea–Water Solution for SCR DeNO_x System of a Heavy-Duty Diesel Engine to Improve DeNO_x Performance and Reduce NH₃ Slip," *Environmental Engineering Science*, c. 25, sayı 7, ss. 1017-1035, 2007.
- [12] G. Zheng, G. Palmer, G. Salanta, A. Kotrba, "Mixer Development for Urea SCR Applications," *SAE 2009 Commercial Vehicle Engineering Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2009, ss. 48-58.

- [13] E. Alano, E. Jean, Y. Perrot, J.P. Brunel, N. Ferrand, M. Ferhan, J. Chapel, K. Pajot, "Compact SCR for Passenger Cars", *SAE 2011 World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2011, ss 117-127.
- [14] S. Fischer, R. Bitto, T. Lauer, C. Krenn, J. Tauer and G. Pessl, "Impact of the Turbulence Model and Numerical Approach on the Prediction of the Ammonia Homogenization in an Automotive SCR System," *SAE International Journal of Engines* c. 5, sayı 3, ss. 1443-1458, 2012.
- [15] J. Oh, K. Kim, K. Lee "Effects of various mixer types on the spatial distribution of a De-NOx reductant," *Fuel*, c. 94, sayı 1, ss. 93-101, 2012.
- [16] N. van Vuuren, J. Qin "High Speed Video Measurements with Water of a Planar Laser Illuminated Heated Tip Urea Injector Spray," *SAE World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2013, ss. 1073-1082.
- [17] T. Park, Y. Sung, T. Kim, I Lee, G. Choi, "Effect of static mixer geometry on flow mixing and pressure drop in marine SCR applications," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, c. 6, Sayı 1, ss. 27-38, 2014.
- [18] M. Lecompte, S. Raux, A. Frobert, "Experimental characterization of SCR DeNOx-Systems: Visualization of Urea-Water-Solution and Exhaust Gas Mixture," *SAE 2014 World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2014, ss 148-157.
- [19] C. Choi, Y. Sung, G. Min Choi, and D. J. Kim, "Numerical Analysis of Urea Decomposition with Static Mixers in Marine SCR System," *Journal of Clean Energy Technologies*, c. 3, sayı 1, ss. 39-42, 2015.
- [20] J. Michelin, P. Nappez, F. Guilbaud, F. Hinterberger, "Advanced Close Coupled SCR Compact Mixer Architecture." *SAE 2015 World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2015, ss 1020-1030.
- [21] X. Tian, Y. Xiao, P. Zhou, W. Zhang, Z. Chu, W. Zheng, "Study on the mixing performance of static mixers in selective catalytic reduction (SCR) Systems," *Journal of Marine Engineering & Technology*, c. 14, sayı 3, ss. 57-60, 2015.
- [22] G. Padula, P. Schiffmann, M. Lecompte, Olivier Laget, "Computational Fluid Dynamics Study of Gaseous Ammonia Mixing in an Exhaust Pipe Using Static Mixers," *SAE International Journal of Engines*, c. 10, sayı 4, ss. 1894-1902, 2017.
- [23] P. Schiffmann, M. Lecompte, O. Laget, "Experimental investigation of Novel Ammonia Mixer Designs for SCR Systems," *SAE World Congress & Exhibition*, Detroit, United States, 2018, ss 343-356.
- [24] C. Zhao, D. Lou, Y. Zhang, K. Lu, S. Liu, "Application Study on a New Hybrid Canning Structure of After-Treatment System for Diesel Engine," *Energies*, c. 12, sayı 6, ss. 733-746, 2020.
- [25] C. Zhang, C. Sun, M. Wu, K. Lu, "Optimisation design of SCR mixer for improving deposit performance at low temperatures," *Fuel*, c. 237, sayı 1, 465-474, 2019.
- [26] G. Mehdi, S. Zhou, Y. Zhu, A. Shah, K. Chand, "Numerical Investigation of SCR Mixer Design Optimization for Improved Performance," *Processes*, c. 7, sayı 3, ss. 168-177, 2019.

- [27] L. Tan, P. Feng, S. Yang, Y. Guo, S. Liu, Z. Li, "CFD studies on effects of SCR mixers on the performance of urea conversion and mixing of the reducing agent," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, c. 123, sayı 1, ss. 82-88, 2018.
- [28] Y. Zhu, T. Li, C. Xia, Y. Feng, S. Zhou, "Simulation analysis on vaporizer/mixer performance of the high-pressure SCR system in a marine diesel," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, c. 148, sayı 1, ss. 1-5, 2020.
- [29] Y. Sung, M. Choi, T. Park, C. Choi, Y. Park, G. Choi, "Synergistic effect of mixer and mixing chamber on flow mixing and NOx reduction in a marine urea-SCR System," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, c. 150, sayı 3, ss. 1016-1020, 2020.
- [30] İ. H. Savcı, M. Z. Gül, "A methodology to assess mixer performance for selective catalyst reduction application in hot air gas burner," *Alexandria Engineering Journal*, c. 61, sayı 9, ss. 6621-6633, 2022.
- [31] V. K. Kaimal, P. Vijayabalan, "A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends," *Energy Conversion and Management*, c.105, sayı 15, ss. 951-956, 2015.
- [32] J. Du, W. Sun, L. Guo, S. Xiao, M. Tan, G. Li, L. Fan, "Experimental study on fuel economies and emissions of direct-injection premixed combustion engine fueled with gasoline/diesel blends," *Energy Conversion and Management*, c. 100, sayı 9, ss. 300-309, 2015.
- [33] P. Erdumanlı, Y. Sekmen, C. Çınar, "Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi," *Selçuk-Teknik Online Dergisi*, c. 2, sayı 1, ss 1302-1311, 2001.
- [34] J. F. McDonald, D. L. Purcell, B. T. McClue, D.B. Kittelson, "Emissions characteristics of soy methyl ester fuels in an IDI compression ignition engine," *International Congress & Exposition, University of Minnesota*, Minneapolis, ABD, 1995, ss. 400-419.
- [35] A. Parlak, V. Ayhan, "Effects of using piston with thermal barrier layer in spark ignition engine on performance at WOT and cold start HC emission at idle," *Journal of Energy Institute*, c. 80, sayı 4, ss. 223-228, 2007.
- [36] T. L. Ullmann, "Investigation of the effects of fuel composition on heavy-duty diesel engine emissions," *SAE Transactions Journal of Fuels and Lubricants*, c. 98, sayı 4, ss. 833-851, 1989.
- [37] R. Lee, J. Pedley, C. Hobbs, "Fuel quality impact on heavy duty diesel emissions: a literature review," *SAE Transactions - Journal of Fuels and Lubricants*, c. 107, sayı 4, ss. 1952-1970, 1998.
- [38] J. Villinger, W. Federer, S. Praun, "Continuous pre and post catalyst hydrocarbon and nitrogen compounds monitoring of various DeNOx reactions by twin chemical ionization mass spectrometry," *SAE Transactions Journal of Fuels and Lubricants*, c. 111, sayı 4, ss. 1679- 1688, 2002.
- [39] S. H. Hill, S. J. Systma, "A Systems approach to oil consumption," *International Congress & Exposition, Sealed Power Div., Sealed Power Technologies Limited Partnership*, Muskegon, Michigan, U.S.A., 1991, ss. 743-759.

- [40] E. R. Karimi, A. H. Jane, "A combustion system investigation to achieve low emissions on a heavy duty diesel engine," *Fuel*, c. 320, sayı 25, ss. 143-149, 2022.
- [41] A. Meriçboyu, Ü. G. Beker, S. Küçükbayrak, Kömür ve Çevre İlişkileri, Enerji, Çevre ve Hukuku, *Ders Notları*, İstanbul, 2005.
- [42] EPA (Çevre Koruma Ajansı), "Sourcebook, NOX Control Technology Data," (1991).
- [43] H.S. Gandhi, G. Graham, "Automotive exhaust catalysis." *Journal of Catalysis*, c. 216, sayı 1, ss. 433-442, 2003.
- [44] "Dizel Partikül Filtresi" Wikipedia. Erişim tarihi: 2023. URL: https://tr.wikipedia.org/wiki/Dizel_partik%C3%BCl_filtresi.
- [45] A.P. Walker, "Controlling particulate emissions from diesel vehicles." *Topics in catalysis*, c. 28, Sayı 1, ss. 165-170, 2004.
- [46] P. Schiffmann, M. Lecompte, O. Laget, "Experimental Investigation of Novel Ammonia Mixer Designs for SCR Systems," *WCX World Congress Experience, IFP Energies Nouvelles*, Malmaison, Fransa, 2018, ss. 343-356.
- [47] G. Mehdi, S. Zhou, Y. Zhu, A. H. Shah, K. Chand, "Numerical Investigation of SCR Mixer Design Optimization for Improved Performance," *Process*, c. 7, sayı 3, ss. 168-180, 2019.
- [48] J. Michelin, P. Nappez, F. Guilbaud, C. Hinterberger, E. Ottaviani, "Advanced Close Coupled SCR Compact Mixer Architecture," *SAE World Congress & Exhibition, Faurecia Exhaust Systems Inc., RENAULT*, Nanterre, France 2015, ss. 1020-1030.
- [49] C. Zhao, D. Y. Zhang, K. Lu, S. Liu, "Application Study on a New Hybrid Canning Structure of After-Treatment System for Diesel Engine," *Energies*, c. 13, sayı 3, ss. 734-743, 2020.
- [50] C. Zhang, C. Sun, M. Wu, K. Lu, "Optimisation design of SCR mixer for improving deposit performance at low Temperatures." *Fuel*, c.237, sayı 25, ss. 465-474, 2019.
- [51] TS ISO 5167-4, "Borularda akışkan akışının ölçülmesi – sıvılar için - dolu akan daire kesitli borular içerisine yerleştirilen basınç farkı cihazları ile - Bölüm 4: venturi tüpleri," Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [52] Orçun Saf, "Perforasyonlu susturucuların akış ve akustik etkinliklerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [53] J. Y. Chung, D. A. Blaser, "Transfer Matrix Method of Measuring In-Duct Acoustic Properties: I. Theory," *Journal of the Acoustical Society of America*, c. 68, sayı 3, ss. 907-913. 1980.
- [54] J. Y. Chung, D. A. Blaser , "Transfer Matrix Method of Measuring In-Duct Acoustic Properties: II: Experiment," *Journal of the Acoustical Society of America*, Cilt 68, sayı 3, ss. 914-921.
- [55] Y. Ryu, "Transmission loss measurements of exhaust system using 4 microphones," Bruje l& Kæjer University, Danimarka. 2005.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Buğra BAŞIHOŞ

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Makine Müh.	Marmara Üniversitesi	2017
Lise	Makine Teknolojisi	Düzce Anadolu Teknik Lisesi	2012

YAYINLAR