

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERDE BACA FORMUNUN GAZ AKIŞINA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ufuk KIRAY

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERDE BACA FORMUNUN GAZ AKIŞINA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ufuk KIRAY
(508111014)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL

HAZİRAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **508111014** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ufuk KIRAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GEMİLERDE BACA FORMUNUN GAZ AKIŞINA ETKİLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Selma ERGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yr. Doç. Dr. Osman Akın KUTLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Nisan 2014**
Savunma Tarihi : **17 Haziran 2014**

Hayatımın her anına renk katan sevgili eşime,

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, bana değerli zamanını ayıran, bilgi, tecrübe ve anlayışıyla her zaman destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL'a teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca, her konuda en büyük desteğim olan sevgili eşim Hatice KIRAY'a ve aileme en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Ufuk KIRAY
(Gemi İnşaatı Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. BACA İÇİ AKIŞA ETKİ EDEN PARAMETRELER	7
2.1 Reynolds Sayısı	7
2.1.1 Reynolds benzerliği	8
2.2 Mach Sayısı	10
2.3 Pürüzlülük	11
3. TEORİ.....	13
3.1 Sonlu Hacim Ayırıklaştırması	15
3.2 Reynolds Ortalaması Alınmış Navier-Stokes Denklemleri (RANS).....	18
3.3 Türbülans Modelleri.....	20
3.3.1 k- ϵ türbülans modeli	21
3.3.1.1 Standart k- ϵ türbülans modeli.....	22
3.3.1.2 RNG k- ϵ türbülans modeli.....	23
3.3.1.3 Gerçeklenir k- ϵ türbülans modeli.....	24
3.3.2 k-Omega (k- ω) Türbülans Modeli	26
3.3.2.1 Standart k- ω türbülans modeli.....	26
3.3.2.2 SST k- ω türbülans modeli.....	29
3.3.3 Reynold Gerilmeleri Modeli (Reynold Stress Model).....	33
3.4 FLUENT Programının Desteklediği Türbülans Modellerine Bakış	34
3.5 Sınır Koşulları	36
3.6 Duvar Cıdarı.....	39
4. SAYISAL HESAPLAMA.....	43
4.1 Ağ Yapısı ve Duyarlılık Analizi	43
4.2 Temel Kavramlar	47
4.2.1 CFD hesaplama programı.....	47
4.2.1.1 Ayırıklaştırma şeması.....	47
4.2.1.2 Basınç interpolasyon şeması.....	48
4.2.1.3 Basınç-Hız bağıntısı.....	48
4.2.2 Yakın duvar uygulamaları.....	49
4.3 Baca Girişinde Gaz Akışına Ait Parametrelerin Sayısal Değerlerinin Belirlenmesi.....	50
5. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZLERİ	53
5.1 Sıcak Akış Özellikleri	53
5.2 Baca Geometrisi-1.....	55

5.3 Baca Geometrisi-2.....	61
5.4 Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4.....	66
5.5 Baca Geometrisi-5.....	77
5.6 Baca Geometrisi-6.....	84
5.7 Baca Geometrisi-7.....	92
5.8 Baca Geometrisi-8.....	100
5.9 Baca Geometrisi-9.....	107
5.10 Baca Geometrisi-10.....	115
5.11 Baca Geometrisi-11.....	122
5.12 Baca Geometrisi-12.....	130
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	139
KAYNAKLAR.....	143
ÖZGEÇMİŞ.....	145

KISALTMALAR

CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
DNS	: Direk Sayısal Simülasyon
LES	: Büyük Eddy Simülasyonu
RANS	: Reynold Ortalamalı Navier-Stokes
RNG	: Tekrar Normalleştirme Grubu
RSM	: Reynold Gerilmeleri Modeli
SST	: Kayma Gerilmesi Taşınımı
TI	: Türbülans Şiddeti

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1:	LM 2500 Gaz türbinine ilişkin teknik verile	3
Çizelge 3.1:	RNG k- ϵ ve Standart k- ϵ türbülans modellerinde kullanılan katsayılara ait sayısal değerlerin karşılaştırılması	24
Çizelge 3.2:	FLUENT programı tarafından desteklenen RANS tabanlı türbülans modellerinin karşılaştırılması	35
Çizelge 3.3:	Baca geometrilerine ilişkin sınır şartlarının sayısal değerleri	38
Çizelge 4.1:	Farklı yoğunluklarda ağ örgüsü	45
Çizelge 4.2:	FLUENT CFD programı tarafından desteklenen RANS tabanlı türbülans modelleri İçin Ayırıklaştırma Şemaları	47
Çizelge 4.3:	FLUENT CFD programı tarafından desteklenen yakın duvar uygulamaları	50
Çizelge 5.1:	Gazların termofiziksel özellikleri	53
Çizelge 5.2:	Katsayıların değerleri	54
Çizelge 5.3:	Yanma sonu ürünlerin bulunma oranları	54
Çizelge 5.4:	1 atm basınç altında 773 K sıcaklıkta sıcak kuru hava ile sıcak hava parametrelerinin karşılaştırılması	54
Çizelge 6.1:	Baca içerisinde meydana gelen toplam basınç düşüşü	141

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: İdaktör/Difüzer sistemi.....	2
Şekil 2.1	: Pürüzlü ve pürüzsüz borularda sürtünme katsayısı için Moddy diyagramı.....	12
Şekil 3.1	: Hesaplamalı kontrol hacmi.....	16
Şekil 3.2	: Türbülanslı akış içerisinde anlık hız ölçümleri	18
Şekil 3.3	: Fiziksel sınır koşullarının gösterilmesi	36
Şekil 3.4	: Tez çalışmasında incelenen durumlara ilişkin belirlenen sınır koşulları	37
Şekil 3.5	: Türbülanslı sınır tabaka	40
Şekil 4.1	: Baca Geometrisi-1.....	43
Şekil 4.2	: Baca Geometrisi-1'e ilişkin ağ yapısının üstten görünüşü.	44
Şekil 4.3	: Baca Geometrisi-1'e ilişkin ağ yapısının soldan görünüşü	44
Şekil 4.4a	: $y=4$ metre yükseklikteki kesitte y -yönündeki hızların x simetri eksenini boyunca dağılımı	45
Şekil 4.4b	: $y=6$ metre yükseklikteki kesitte y -yönündeki hızların x simetri eksenini boyunca dağılımı	46
Şekil 4.5a	: $y=4$ metre yükseklikteki kesitte sıcaklıkların x simetri eksenini boyunca dağılımı	46
Şekil 4.5b	: $y=6$ metre yükseklikteki kesitte sıcaklıkların x simetri eksenini boyunca dağılımı	46
Şekil 5.1	: Baca Geometrisi-1.....	55
Şekil 5.2	: Baca Geometrisi-1'e ilişkin ölçüler.....	55
Şekil 5.3	: Baca Geometrisi-1'e ilişkin çıkış kısmında y -yönündeki hız bileşeninin dağılımı	56
Şekil 5.4	: Baca Geometrisi-1'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y -yönündeki bileşeninin dağılımı.....	56
Şekil 5.5	: Baca Geometrisi-1'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.	57
Şekil 5.6	: Baca Geometrisi-1'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	57
Şekil 5.7	: Baca Geometrisi-1'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	58

Şekil 5.8 : Baca Geometrisi-1'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca sıcaklık dağılımı.....	58
Şekil 5.9 : Baca Geometrisi-1'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı.....	59
Şekil 5.10 : Baca Geometrisi-1'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı.....	59
Şekil 5.11 : Baca Geometrisi-1'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	60
Şekil 5.12 : Baca Geometrisi-2	61
Şekil 5.13 : Baca Geometrisi-2'ye ilişkin ölçüler	61
Şekil 5.14 : Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	62
Şekil 5.15 : Baca Geometrisi-2'nin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı	62
Şekil 5.16 : Baca Geometrisi-2'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri	63
Şekil 5.17 : Baca Geometrisi-2'nin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.....	63
Şekil 5.18 : Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	64
Şekil 5.19 : Baca Geometrisi-2'nin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca sıcaklık dağılımı.....	64
Şekil 5.20 : Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı.....	65
Şekil 5.21 : Baca Geometrisi-2'nin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı.....	65
Şekil 5.22 : Baca Geometrisi-2'nin sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	66
Şekil 5.23 : Baca Geometrisi-3	67
Şekil 5.24 : Baca Geometrisi-4	67
Şekil 5.25 : Baca Geometrisi-3'e ilişkin ölçüler	68
Şekil 5.26 : Baca Geometrisi-4'e ilişkin ölçüler	68
Şekil 5.27 : Baca Geometrisi-3'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	69
Şekil 5.28 : Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	69
Şekil 5.29 : Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı	70
Şekil 5.30 : Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı	70

Şekil 5.31 : Baca Geometrisi-3'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.	71
Şekil 5.32 : Baca Geometrisi-4'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.	71
Şekil 5.33 : Baca Geometrisi-3'ün xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	72
Şekil 5.34 : Baca Geometrisi-4'ün xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	72
Şekil 5.35 : Baca Geometrisi-3'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	73
Şekil 5.36 : Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	73
Şekil 5.37 : Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	73
Şekil 5.38 : Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	74
Şekil 5.39 : Baca Geometrisi-3'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı	74
Şekil 5.40 : Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı	75
Şekil 5.41 : Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı	75
Şekil 5.42 : Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı	75
Şekil 5.43 : Baca Geometrisi-3'ün sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.....	76
Şekil 5.44 : Baca Geometrisi-4'ün sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.....	76
Şekil 5.45 : Baca Geometrisi-5.....	77
Şekil 5.46 : Baca Geometrisi-5'e ilişkin ölçüler.....	78
Şekil 5.47 : Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	78
Şekil 5.48 : Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	79
Şekil 5.49 : Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	79
Şekil 5.50 : Baca Geometrisi-5'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.	80
Şekil 5.51 : Baca Geometrisi-5'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	80
Şekil 5.52 : Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	81
Şekil 5.53 : Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	81

Şekil 5.54 : Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı.....	82
Şekil 5.55 : Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı.....	82
Şekil 5.56 : Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	83
Şekil 5.57 : Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	83
Şekil 5.58 : Baca Geometrisi-5'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	84
Şekil 5.59 : Baca Geometrisi-6	85
Şekil 5.60 : Baca Geometrisi-6'ya ilişkin ölçüler	85
Şekil 5.61 : Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	86
Şekil 5.62 : Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	86
Şekil 5.63 : Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	86
Şekil 5.64 : Baca Geometrisi-6'ya ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.....	87
Şekil 5.65 : Baca Geometrisi-6'nın xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.....	88
Şekil 5.66 : Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	88
Şekil 5.67 : Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı.....	89
Şekil 5.68 : Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı.....	89
Şekil 5.69 : Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı.....	90
Şekil 5.70 : Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	90
Şekil 5.71 : Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	91
Şekil 5.72 : Baca Geometrisi-6'nın sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	91
Şekil 5.73 : Baca Geometrisi-7	93
Şekil 5.74 : Baca Geometrisi-7'ye ilişkin ölçüler	93
Şekil 5.75 : Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	94
Şekil 5.76 : Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	94

Şekil 5.77 : Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	94
Şekil 5.78 : Baca Geometrisi-7'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.	95
Şekil 5.79 : Baca Geometrisi-7'nin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	96
Şekil 5.80 : Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	96
Şekil 5.81 : Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	97
Şekil 5.82 : Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	97
Şekil 5.83 : Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı	98
Şekil 5.84 : Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	98
Şekil 5.85 : Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	99
Şekil 5.86 : Baca Geometrisi-7'nin sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.....	99
Şekil 5.87 : Baca Geometrisi-8.....	100
Şekil 5.88 : Baca Geometrisi-8'e ilişkin ölçüler.....	100
Şekil 5.89 : Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	101
Şekil 5.90 : Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	101
Şekil 5.91 : Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	102
Şekil 5.92 : Baca Geometrisi-8'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri.	102
Şekil 5.93 : Baca Geometrisi-8'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	103
Şekil 5.94 : Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	103
Şekil 5.95 : Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	104
Şekil 5.96 : Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca sıcaklık dağılımı	104
Şekil 5.97 : Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı	105
Şekil 5.98 : Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı.....	105

Şekil 5.99 : Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı.....	106
Şekil 5.100 : Baca Geometrisi-8'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	106
Şekil 5.101 : Baca Geometrisi-9	107
Şekil 5.102 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin ölçüler.....	108
Şekil 5.103 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	108
Şekil 5.104 : Baca Geometrisi-9'un çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı	109
Şekil 5.105 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	109
Şekil 5.106 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri	110
Şekil 5.107 : Baca Geometrisi-9'un xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.....	111
Şekil 5.108 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	111
Şekil 5.109 : Baca Geometrisi-9'un çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca sıcaklık dağılımı.....	112
Şekil 5.110 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı.....	113
Şekil 5.111 : Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı.....	113
Şekil 5.112 : Baca Geometrisi-9'un xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı.....	114
Şekil 5.113 : Baca Geometrisi-9'un sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	114
Şekil 5.114 : Baca Geometrisi-10	115
Şekil 5.115 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin ölçüler.....	115
Şekil 5.116 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı	116
Şekil 5.117 : Baca Geometrisi-10'un çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı	116
Şekil 5.118 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	117
Şekil 5.119 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri	117
Şekil 5.120 : Baca Geometrisi-10'un xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.....	118
Şekil 5.121 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	119

Şekil 5.122 : Baca Geometrisi-10'un çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca sıcaklık dağılımı.....	119
Şekil 5.123 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı	120
Şekil 5.124 : Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı.....	121
Şekil 5.125 : Baca Geometrisi-10'un xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı.....	121
Şekil 5.126 : Baca Geometrisi-10'un sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.....	122
Şekil 5.127 : Baca Geometrisi-11.....	123
Şekil 5.128 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin ölçüler.....	123
Şekil 5.129 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	124
Şekil 5.130 : Baca Geometrisi-11'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	124
Şekil 5.131 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	125
Şekil 5.132 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri	125
Şekil 5.133 : Baca Geometrisi-11'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.	126
Şekil 5.134 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	127
Şekil 5.135 : Baca Geometrisi-11'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca sıcaklık dağılımı.....	127
Şekil 5.136 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı	128
Şekil 5.137 : Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı.....	128
Şekil 5.138 : Baca Geometrisi-11'in xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı.....	129
Şekil 5.139 : Baca Geometrisi-11'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.....	129
Şekil 5.140 : Baca Geometrisi-12.....	130
Şekil 5.141 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin ölçüler.....	131
Şekil 5.142 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	131
Şekil 5.143 : Baca Geometrisi-12'nin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı.....	132
Şekil 5.144 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı.....	132

Şekil 5.145 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri	133
Şekil 5.146 : Baca Geometrisi-12'nin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı.....	134
Şekil 5.147 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı.....	134
Şekil 5.148 : Baca Geometrisi-12'nin çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca sıcaklık dağılımı	135
Şekil 5.149 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı.....	137
Şekil 5.150 : Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı.....	137
Şekil 5.151 : Baca Geometrisi-12'nin xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı.....	137
Şekil 5.152 : Baca Geometrisi-12'nin sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri	138

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Kesit alanı
C_f	: Yüzey sürtünme faktörü
C_p	: Özgül ısı
D	: Çap
D_h	: Hidrolik çap
D_ω	: Çapraz yayılma terimi
D_ω^+	: Çapraz yayılma teriminin pozitif kısmı
f	: Sürtünme faktörü
F_1	: Kaynaştırma fonksiyonu
F_2	: Kaynaştırma fonksiyonu
g_i	: i yönündeki yer çekimi ivmesi
k	: Isı iletim katsayısı
k	: Türbülans kinetik enerjisi
Ma	: Mach sayısı
P	: Basınç
P_b	: Kaldırma kuvvetinin etkisi
P_k	: Türbülans kinetik enerjisi üretimi
P_ω	: Özgül enerji yitimi üretimi
P_{geo}	: Çevre
Pr_t	: Enerji için türbülans Prandtl sayısı
R	: Gaz sabiti
Re	: Reynold sayısı
Re_D	: Çap Reynold sayısı
S_{ij}	: Ortalama gerilme miktarı
S_k	: Kullanıcı tanımlı kaynak terimi
T	: Sıcaklık
V	: Akışkan hızı
Y_k	: Türbülans enerji yitimine ait türbülans kaynaklanan yitim
Y_M	: Genleşmeden kaynaklanan kayıp

Y_ω	: Özgöl enerji yitimine ait türbülans kaynaklanan yitim
U^+	: Boyutsuz hız
y^+	: Boyutsuz uzaklık
α	: Ses hızı [m/s]
α	: Termal yayılım [m^2/s]
α^*	: Türbülans viskozitesini söndüren bir düzeltme katsayısı
β	: Sıcaklık genleşme katsayısı
ε	: Ortalama pürüz yüksekliği
ε	: Türbülans enerji yitimi
ρ	: Yoğunluk
μ	: Dinamik viskozite
μ_t	: Türbülans viskozitesi
ω	: Özgöl enerji yitimi
Ω_{ij}	: Ortalama rotasyon tensörü miktarı
$\overline{\Omega_{ij}}$	: Ortalama rotasyon tensörü miktarı
Γ_k	: Türbülans enerji yitimine ait etkin yayılma gücü
Γ_ω	: Özgöl enerji yitimine ait etkin yayılma gücü
τ_w	: Duvar kayma gerilmesi
σ_k	: Türbülans enerji yitimine ilişkin türbülans Prandtl sayısı
σ_ω	: Özgöl enerji yitimine ilişkin türbülans Prandtl sayısı
u, v, w	: x, y ve z eksenleri yönündeki yerel hızlar
u', v', w'	: x, y ve z eksenleri yönündeki yerel hızlar için zamanla değişen dalgalanan hız bileşenleri

GEMİLERDE BACA FORMUNUN GAZ AKIŞINA ETKİLERİ

ÖZET

Gemilerde ilk defa buharlı makinelerin kullanılmasıyla birlikte yanma sonu sıcak egzoz gazlarının gemi dışına tahliyesi için bacalar kullanılmış ve günümüzde de hala kullanılmaktadır. İkinci Dünya Savaşı'nın başlamasıyla birlikte insanlar bulundukları ortamda tespit edilebilirliği zorlaştırmak maksadıyla çeşitli kamuflaj teknikleri geliştirmişlerdir. Fakat geliştirilen bu kamuflaj teknikleri daha çok bulunulan ortamda gözle seçilebilirliği zorlaştırma prensibi üzerine kurulmuştur. Gözle tespit edilebilirliğin zorlaşması üzerine infrared tespit cihazları geliştirilmiştir. İnfrared tespit cihazları daha çok ortam sıcaklığından farklı sıcaklıklara sahip cisimlerin tespit edilmesini kolaylaştırmaktaydı. Ortam sıcaklığından daha yüksek veya düşük sıcaklığa sahip olan cisimler ortam ile aralarında bulunan sıcaklık farkı doğrultusunda bir infrared iz oluşturmaktadır ve infrared iz ne kadar büyükse tespit edilmek o kadar kolay olmaktadır. Bu açıdan düşünüldüğünde gemilerde sıcak egzoz gazlarının ne kadar büyük bir infrared iz oluşturduğu anlaşılmaktadır. Yapılan araştırmalar baca gazlarından dolayı oluşan infrared izinin geminin toplam infrared izinin yaklaşık olarak %50'sini oluşturduğunu göstermiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda gelişen infrared güdümlü silahlar ile birlikte infrared tespit edilebilirliği düşürmek maksadıyla infrared karşı tedbirler günümüze kadar hızla gelişmiş ve günümüzde hala gelişimini sürdürmektedir. Yüzer platformlarda infrared gizlenmenin en önemli ve en zor kısmını 500 C gibi yüksek sıcaklıklara sahip egzoz gazının baca çıkışına kadar olabildiğince ortam sıcaklığına kadar düşürülmesi oluşturmaktadır. Bu maksatla yüksek savaş teknolojisine sahip ülkeler çeşitli baca sistemleri geliştirmişlerdir. Bu sistemlerin en önemlisi idaktör/difüzer sistemidir.

Bu tez çalışmasında idaktör/difüzer sistemleri gibi karmaşık yapılardan ziyade daha basit baca geometrileri incelenmiştir. Her ne kadar basit baca geometrileri incelense de yapılan bu çalışmanın ileriki çalışmalar için bir temel oluşturacağı ve idaktör/difüzer sistemlerine ilişkin baca kesit formunun belirlenmesi hususu açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında geçmişten günümüze birçok yüzer platformda kullanılan ve bu çalışma için de referans geometri olarak belirlenen dairesel kesitli baca geometrisi ile birlikte bir adet kare, iki adet dikdörtgen, iki adet eliptik, iki adet oval ve dört adet ortasında daralan kesite sahip dairesel çıkış kesitli baca geometrisi olmak üzere toplam on iki adet baca geometrisi incelenmiştir. İncelen geometrilere ilişkin çizimler Solidworks programı ile yapılmış olup daha sonra bu çizimler ANSYS Workbench 14.5 programına transfer edilmiştir. Baca geometrilerine ilişkin ağ yapıları ANSYS Workbench 14.5 programı vasıtasıyla oluşturulmuş ve akış analizlerine ilişkin sayısal çözümler FLUENT 6.3 programı kullanılarak yapılmıştır.

FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla gerçeğe yakın ve kabul edilebilir CFD analizleri yapabilmek için simüle edilen duruma en uygun sınır koşulları belirlenmiş ve uygun bir türbülans modeli seçilmiştir. Akış analizlerini yapabilmek maksadıyla FLUENT 6.3 CFD programı tarafından desteklenen türbülans modelleri içerisinde gerçeklenir k- ϵ türbülans modeli temel türbülans modeli olarak seçilmiş olup standart duvar fonksiyonları ile birlikte kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında ele alınan on iki adet baca geometrisine ilişkin hız, sıcaklık ve basınç dağılımları ile birlikte çıkış kısmı x ve z simetri eksenleri boyunca hız, sıcaklık, basınç dağılımları ve baca geometrilerine ilişkin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımları incelenmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan CFD analizleri incelendiğinde ve birlikte değerlendirildiğinde referans geometri olarak belirlenen dairesel kesitli baca geometrisi azami sıcaklık değerine egzoz gazlarının yoğun olarak bulunduğu çekirdek bölgenin soğuması bakımından en düşük performansa sahip olduğu görülmüştür. Her hangi bir daralan kesite sahip olmayan diğer baca geometrilerine ilişkin veriler birbirine oldukça benzerdir. Baca geometrilerine ilişkin yüksekliğin yarısına kadar daralan ve daha sonra çıkış kesitine doğru gidildikçe genişleyen baca geometrileri incelendiğinde daralan kesitlerden ziyade genişleyen kesitlerde soğumanın çeperlerden merkeze daha iyi etkin bir şekilde nüfuz ettiği görülmüştür.

THE EFFECTS OF EXHAUST DUCT FORM ON GAS FLOW ON SHIPS

SUMMARY

When the machine, working with steam, used as a main propulsion system in ships for the first time, the exhaust ducts were needed to discharge the hot exhaust gases to atmosphere and it is still needed at the present time. In the World War II, peoples developed some camouflage techniques to make the detecting as difficult as possible. But this camouflage techniques stand for the principle related with detecting by eyes in an environment. When the detecting by eyes became difficult, the infrared detection devices were developed. The infrared detection devices were mostly helpful for detecting an object which has a different temperature according to environment. The objects which have a higher or lower temperature according to environment have an infrared signature. The detectability changes to the magnitude of the infrared signature. The detectability of an object increases when the infrared signature increases and decreases when the infrared signature decreases. When we take into account the temperature of the hot exhaust gases, it is easily understood the magnitude of infrared signature belongs to a ship because of the hot exhaust gases. The researches showed that half of the infrared signature of a ship occurred because of hot exhaust gases. In the direction of the researches, the infrared guided weapons and its countermeasures to harden the detectability developed rapidly and their developing process continue. Decreasing the 500 °C exhaust gases as possible as to the lower levels consist of the most important and the most difficult case of the infrared suppression. The countries which have high technology, developed various exhaust duct systems to decrease the hot exhaust gas temperature as possible. The most important system relating with exhaust suppression is Eductor/Diffuser.

In this study, exhaust ducts which have simple geometry were analysed instead of complex eductor/diffuser system. Although analysing simpler exhaust duct geometries to the eductor/diffuser system in this study, this study can be important for the case of choosing the geometrical form of the eductor/diffuser system.

The Reynolds similarity rule must be applied to the exhaust duct geometries to compare the CFD analyses results belongs to different geometries. When the exhaust duct geometries were created the Reynolds similarity rule was taken into account. When the exhaust duct geometries were created, firstly the circular shaped exhaust duct geometry was calculated then according to the circular exhaust duct geometry the other exhaust duct geometries were created using Reynolds similarity rule. The Reynolds similarity rule based on the Reynolds number similarities of different exhaust ducts. In the other word, the Reynolds number of different exhaust ducts must be equal or very close to each other. If we accept that

the density and viscosity of the fluid are not changed, the hydraulic diameter of the geometries are different because the cross section of the geometries are different. As a result of this situation, the flow velocities in the exhaust ducts become different. Although the cross sections of the geometries, the hydraulic diameters of the exhaust ducts and the velocities of the flows in the exhaust ducts are different, the mass must be conserved. According to the conservation of mass, the mass flow rate of the hot exhaust gas flows through the ducts must be equal. If we take into account the case of the equality of the mass flow rate and the case of the Reynolds number similarity in our calculations, we can find a relation. When the exhaust ducts excluding the circular shaped exhaust duct were created this relation was used. According to this relation, the perimeter of the exhaust ducts evaluated in this thesis must be equal to the value of $\sqrt{16\pi}$. This relation is really very important.

When we use FLUENT 6.3 CFD program, If we want to obtain results compatible with real situation, firstly we must define realistic boundary condition and select appropriate turbulence model to our simulations. In this study, the realizable k- ϵ turbulence model with standart wall function was selected as a main turbulence model among the turbulence models supported by FLUENT 6.3 CFD program.

In this study, adding to the circular exhaust duct which is the most popular geometrical form of the exhaust ducts from past to present and the reference exhaust duct geometry for his study, one square, two rectangular, two elliptic, two oblong and four exhaust ducts which have a narrowing section to a defined diameter in the middle of the ducts, totally twelve different formed exhaust duct was analysed. The modal of the exhaust duct geometries examined in this study was designed by the program named Solidworks. Then these drawings was transferred to the program named ANSYS Workbench 14.5. The mesh structures related with selected exhaust duct geometries were build in ANSYS Workbench 14.5. After building the mesh structures belong to the exhaust duct geometries, flow analyses were made by using the FLUENT 6.3 CFD program. When analysing the selected exhaust duct geometries, for obtaining realistic and acceptable result we should define convenient boundary conditions and select convenient turbulence model supported by FLUENT program. For making the flow analyses, the realizable k- ϵ turbulence model was selected as primary turbulence model among the turbulence models supported by FLUENT 6.3 CFD program and it was used for CFD analyses with standart wall functions.

In this study, adding to the velocity, temperature and pressure contours, velocity, temperature and pressure distribution along the x and z symmetry axis in the exit section of exhaust ducts and temperature contours on xy plane of symmetry was evaluated for the selected twelve exhaust duct geometry. The results also compared with each other. After making the CFD analyses, when the obtained results were examined and evaluated together, the circular shaped exhaust duct geometry which was selected as a reference geometry for this study, gave the worst result for the core region. The core region was occupied by the hot exhaust gases which have maximum temperature value. The result for the other exhaust duct geometries which do not have any narrowing section in the middle of the duct, are very similar to each other. It was seen that the cooling from wall to center is better for the exhaust ducts which have a narrowing section to a defined diameter in the middle of

the exhaust duct. If we evaluated the exhaust ducts which have narrowing section in the middle of them, we can see that the core region has the lowest value for the exhaust geometry-12. But if we take into account the total mass flow rate with the area of the core regions, the uncooled exhaust gas mass are very close to each other. As a result we can say that when the length of the narrowing section increases, the core region area decreases. But the exhaust gas which can not cool, have the same mass flow rate.

1. GİRİŞ

18'inci yüzyılda sanayi devriminin gelişmesiyle birlikte 1763 yılında James Watt tarafından ilk buharla çalışan makine bulunmuştur. 1807 yılına gelindiğinde Robert Fulton adındaki bir Amerikalı buharlı makineyi ilk defa gemilere uygulamış ve sevk sistemi olarak kullanmıştır. Buharlı makinenin gemilerde sevk sistemi olarak kullanılmasıyla birlikte o güne kadar sevk sistemi olarak kullanılan yelken ve kürek yavaş yavaş tarih sahnesinden silinmeye başlamıştır. 1900'lerin hemen başında buharlı makinelerle alternatif olarak gemilerde iki ve dört zamanlı dizel makineler ile 1960'lı yıllarda ise başka bir sevk sistemi olan gaz türbinleri kullanılmaya ve tarih sahnesindeki yerini almaya başlamıştır.

Gemilerde makinelerin ilk defa sevk sistemi olarak kullanılmasından günümüze yanma sonu egzoz gazlarının gemi dışına tahliye edilebilmesi için bacalara ihtiyaç duyulmuş ve geçmişten günümüze birçok yüzer platformda dairesel kesitli baca formları kullanılmıştır.

Her geçen gün hızla gelişen savaş teknolojileri dikkate alındığında askeri unsurların tespit edilebilirliği eğer her hangi bir karşı tedbir alınmazsa gün geçtikçe kolaylaşmaktadır. Günümüzde ülkeler sahip oldukları askeri unsurlarının tespit edilebilirliği zorlaştırmak için birçok teknoloji geliştirmektedirler. Özellikle savaş gemileri için bu teknolojilerin başında ikinci dünya savaşından günümüze kadar gelişimini sürdüren infrared gizlenme gelmektedir. Her cisim bir infrared ize sahiptir. İnfrared iz cismin sahip olduğu sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. İnfrared gizlenmeyi sağlayabilmek için cismin sahip olduğu sıcaklığı ortam sıcaklığına düşürmek veya yükseltmek gerekir. Önemli olan ortam sıcaklığı ile cismin sıcaklığı arasındaki farktır. Teorik olarak ortam sıcaklığının 25 C olduğu düşünülürse savaş gemilerinde sıcak egzoz gazının gemi dışına tahliye edilmesi maksadıyla kullanılan bacaların oluşturduğu infrared iz ne kadar önemli olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Günümüzde hala infrared tespit edilebilirlik açısından en önemli kaynağı yaklaşık 500 C sıcaklığa sahip baca gazları oluşturmaktadır ve infrared gizlenme açısından egzoz gazlarının çıkış sıcaklığının olabildiğince ortam sıcaklığına düşürülmesi gerekmektedir. Günümüzde yüksek savaş teknolojilerine sahip gelişmiş ülkeler sahip oldukları savaş gemilerinin infrared olarak tespit edilebilirliğini engellemek

maksadıyla birçok çalışma yapmaktadırlar ve bu çalışmaların başında sıcak egzoz gazlarının soğutulmasına yönelik çalışmalar yer almaktadır. Baca gazlarının soğutulması maksadıyla birçok baca formu geliştirilmektedir. Bu baca formlarının başında ise idaktör/difüzer sistemleri yer almaktadır. Şekil 1.1 ile bir idaktör/difüzer sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.1: İdaktör/Difüzer sistemi.

Basit bir idaktör/difüzer baca sisteminin çalışma prensibini şu şekilde özetleyebiliriz. Yüksek hıza sahip egzoz gazları nozuldan çıkışı esnasında bir miktar hava emişi gerçekleşir ve ortamdaki emilen hava ile sıcak egzoz gazı, karışım tüpü içerisinde karıştıktan sonra bacanın en üst kısmında yer alan iç içe geçmiş difüzer kısmından dışarı atılır. Difüzer kısmından geçerken bir miktar daha hava emişi olur.

Yapılan bu tez çalışmasında, anlatılan idaktör/difüzer sistemleri kadar detaylı bir geometri ele alınmamıştır. Böyle bir geometrinin ele alınmamasının en büyük nedeni benzer sistemlerin savaş gemileri ile ilgili projelerde yer alması ve bu tür bilgilerin gizliliğinden dolayıdır. Bu sebeple daha basit geometrilere ilişkin CFD (Computational Fluid Dynamics, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizleri yapılmıştır. Her ne kadar basit geometriler incelenmiş olsa bile yapılan bu çalışmanın ileriki çalışmalar için bir temel oluşturacağı ve idaktör/difüzer sistemlerine ilişkin baca kesit formunun belirlenmesi hususu açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında geçmişten günümüze birçok yüzer platformda kullanılan ve bu sebepten dolayı bu tez çalışması için de referans geometri olarak belirlenen dairesel

kesitli baca geometrisinin yanında bir adet kare, iki adet dikdörtgen, iki adet elips, iki adet oval ve baca ortasında daralan kesitin bulunduğu dört adet dairesel kesitli baca geometrisi olmak üzere toplam on iki adet baca geometrisi incelenmiştir. Aynı geometrik kesit formuna sahip baca geometrilerinden birden fazla baca geometrisi türetilmiştir. Bunun amacı geometrik kesit formu aynı kalmak kaydıyla geometrilerin oluşturulması esnasında kullanılan geometrilere ilişkin boyutların değiştirilmesi neticesinde CFD analizleri sonrasında elde edilen sonuçların nasıl değiştiğini görmektir.

Bu tez çalışmasının amacı idaktör/difüzer sistemi gibi detaylı bir geometrinin CFD analizlerinin yapılmasından ziyade belirli kıstaslara göre oluşturulan birbirine benzer geometrilerin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçları öncelikli olarak kendi aralarında, daha sonra referans geometri olarak belirlenen dairesel kesitli baca geometrisinin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar ile kıyaslamak ve yapılan bu kıyaslama neticesinde analizi yapılan ve incelenen baca geometrileri içerisinde performansı en iyi olanın belirlenmesidir.

Yapılan tüm analizler için gemimizin azami hız ile seyrettiği ve ana sevk sistemi olarak bir adet LM 2500 gaz türbinin bulunduğu kabulü yapılmıştır. Çünkü bir makinenin en çok yanma sonu egzoz gazı miktarını azami hız ile seyrederken üretmektedir. Sonuç olarak egzoz gazının debisi baca geometrilerinin tasarımında oldukça önemli bir role sahiptir. LM 2500 gaz türbinine ilişkin teknik veriler Çizelge 1.1 ile verilmiştir.

Çizelge 1.1: LM 2500 gaz türbinine ilişkin teknik veriler [1].

Çıkış Gücü	25060 KW
Özgül Yakıt Tüketimi	0.2265 kg/kw-hr
Isı Oranı	9705 kJ/kw-hr
Termal Verim	%37
Egzoz Gazı Sıcaklığı	566 C
Egzoz Gazı Kütleli Debisi	70.5 kg/s
Gaz Türbini Devri	3600 rpm

Çizelge 1.1'den de görüldüğü üzere LM 2500 egzoz gazı çıkış sıcaklığı 566 C'dir. Fakat yapılan araştırmalar neticesinde benzer analizlerde egzoz gazı sıcaklığı 450 C veya 500 C olarak kabul edilmesinden dolayı bu tez çalışmasında egzoz gazı sıcaklığı 500 C olarak kabul edilmiştir. Sıvılara nazaran gazların sahip oldukları sıcaklıkların değişmesiyle birlikte yoğunluklarında daha büyük değişimler gözlenmektedir. Baca boyunca akan egzoz gazı için ideal gaz kabulü yapılmış ve

ideal gaz kanununa göre yapılan hesaplamalar neticesinde egzoz gazının 500 C sıcaklıktaki yoğunluğu 0.457 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan bu yoğunluk değerinin dikkate alınması neticesinde CFD analizlerinde kullanılan egzoz gazına ilişkin kütleli debi 70.3 kg/s olarak belirlenmiştir.

Mach sayısı (Ma) akışkan hızının sesin o ortamdaki hızına oranı olarak tanımlanabilir ve büyüklüğüne bağlı olarak sıkıştırılabilirlik etkilerinin önemli olup olmadığına karar vermede önemli bir parametredir. Bu açıdan değerlendirildiğinde baca geometrilerinin oluşturulmasında Ma sayısı hayati derecede öneme sahip bir parametredir. Çünkü 0.3 Ma hızından yüksek olan hızlarda akış için sıkıştırılabilirlik etkileri devreye girmeye başlar. Yapılan CFD analizlerinde sıkıştırılabilirlik etkilerini ihmal edebilmek maksadıyla baca geometrilerinin giriş ve çıkış kesit alanları ile Baca Geometrisi-9, Baca Geometrisi-10, Baca Geometrisi-11 ve Baca Geometrisi-12'nin ortasında yer alan daralan kesitlerin çap değerleri bu husus dikkate alınarak belirlenmiştir.

Farklı kesitlerdeki baca geometrilerinin karşılaştırılabilmesi için geometriler arası Reynolds benzerliği kurulması zorunludur. Baca Geometrileri oluşturulurken Reynolds benzerliğinden faydalanılmıştır. Baca geometrileri oluşturulması esnasında dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 referans alınarak diğer geometrilere ilişkin boyutlar türetilmiştir. Reynolds benzerliğinin temelinde farklı iki geometriye ilişkin Reynolds sayılarının aynı veya oldukça yakın olması hususu yatmaktadır. Yoğunluğun ve viskozitenin değişmediğini kabul edersek, oluşturulan baca geometrilerinin kesitlerinin farklı olmasının neticesinde hidrolik çaplar farklı olmakta ve dolayısıyla baca içerisindeki akış hızları farklı olmaktadır. Fakat her ne kadar kesit alanları, hidrolik çaplar ve baca geometrileri içerisindeki akış hızları farklı olsa da kütleli korunumu kanunu gereği sıcak egzoz gazına ilişkin kütleli debi aynı olmak zorundadır. Farklı baca geometrileri olsa bile kütleli debinin aynı olması gerektiği hususundan yola çıkılarak yapılan işlemler neticesinde oluşturulacak baca geometrilerinin çevreleriyle alakalı bir bağıntı bulunmuştur ve bu bağıntıdan yola çıkarak diğer baca geometrileri oluşturulmuştur. Bu bağıntı gereği bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerinin çevreleri $\sqrt{16\pi}$ 'dir.

Bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerine ilişkin çizimler Solidworks programı ile yapılmıştır. Seçilen ve incelenen tüm baca geometrilerine ilişkin yükseklikleri 8000 mm 'dir. Solidworks programı ile çizimi yapılan bu baca geometrileri daha sonra ANSYS Workbench 14.5 programına aktarılmış olup baca geometrilerine ilişkin ağ yapıları bu program vasıtasıyla oluşturulmuştur. Ağ yapısı

oluşturulan baca geometrilerine ilişkin CFD analizleri FLUENT 6.3 CFD modülü kullanarak yapılmıştır.

FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla ger  e yakın ve kabul edilebilir CFD analizleri yapabilmek için simüle edilen duruma en uygun sınır koşullarını belirlemek ve uygun bir türbülans modeli seçmek gerekir. Bu tez çalışmasında yapılan CFD analizlerinde FLUENT 6.3 programı tarafından desteklenen türbülans modelleri içerisinden temel türbülans modeli olarak gerçeklenir k-  türbülans modeli seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında ele alınan on iki adet baca geometrisine ilişkin hız, sıcaklık ve basınç dağılımları ile birlikte çıkış kısmı x ve z simetri eksenleri boyunca hız, sıcaklık, basınç dağılımları ve baca geometrilerine ilişkin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımları incelenmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan bu CFD analizlerine ilişkin veriler değerlendirildiğinde oldukça çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. Bunlardan en  onemlisi, gemilerde sıcak egzoz gazlarının sebep olduğu infrared iz dikkate alındığında, azami sıcaklık değerine sahip egzoz gazlarının yoğun olarak bulunduğu çekirdek bölge ile çeper ve çepere yakın bölgelerdeki sıcaklık değerleri dikkatlice incelendiğinde geçmişten günümüze birçok yüzer platformda kullanılan ve bu çalışma için de referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesatine sahip Baca Geometrisi-1 diğer seçilen baca geometrileri ile kıyaslandığında en yüksek çekirdek bölge oranına sahip baca formu olmuştur. Her hangi bir daralan kesite sahip olmayan diğer baca geometrileri Baca Geometrisi-1'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Fakat bu baca geometrilerine ilişkin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar birbirine oldukça benzerdir. Baca geometrilerine ilişkin yüksekliğin yarısına kadar daralan ve daha sonra çıkış kesatine doğru gidildikçe genişleyen baca geometrileri incelendiğinde daralan kesitlerden ziyade genişleyen kesitlerde soğumanın çeperlerden merkeze daha iyi etkin bir şekilde nüfuz ettiği görülmektedir. Bunun neticesinde soğumanın merkeze doğru daha iyi nüfuz ettiği baca geometrilerinde çekirdek bölgeler diğerlerine nazaran daha küçük alan kaplamaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasının yer alan ikinci bölümünde Reynolds sayısı, Mach sayısı ve pürüzlülük gibi akışa etki eden parametreler incelenmiş ve üçüncü bölümünde tez çalışmasının matematiksel formülasyonuyla birlikte CFD analizleri için kullanılan ve FLUENT 6.3 programı tarafından desteklenen türbülans modelleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü b  l  m  de ağ yapısı ve a  örgüsü yoğunluğundan bağımsız çözümün bulunması ile birlikte sayısal hesaplamalara ilişkin detaylar ve baca geometrilerinin giriş kısımlarında baca içerisine giren akışkana ilişkin sayısal değerler ele alınmıştır. Beşinci b  l  m  de ise on iki baca geometrisine ait FLUENT 6.3

programı ile yapılan CFD analizleri neticesinde elde edilen hız, sıcaklık ve basınç dağılımlarıyla birlikte x ve z simetri eksenleri boyunca dağılımları incelenmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır.

2. BACA İÇİ AKIŞA ETKİ EDEN PARAMETRELER

Günümüzde gemilerde kullanılan baca sistemleri göz önüne alındığında bacaları en genel haliyle içinden bir akışkan geçen boruya benzetebiliriz. Boru içi akışları incelediğimiz zaman boru içindeki akışın karakteristiğini “*Reynolds Sayısı*”, “*Mach Sayısı*” ve “*Pürüzlülük*” gibi parametrelerin etkilediği gerçeğiyle karşılaşırız.

Bu bölümde yukarıda bahsedilen parametrelerin iç akış karakteristiğine ve bu çalışmada ele alınan modeller üzerine nasıl etki ettiği incelenecektir.

2.1 Reynolds Sayısı

Tüm Newton tipi akışkanların viskoz davranışlarını belirleyen ana parametre boyutsuz *Reynolds sayısı*dır ve bize bir akışın karakteristiği hakkında bilgi verir ve bir borudaki iç akış için aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de;

Re_D : Çap Reynolds Sayısı

ρ : Yoğunluk [kg/m³]

V : Hız [m/s]

D : Çap [m]

μ : Dinamik viskozite [kg/m.s]

olup dairesel kesitli borular için geçerlidir. Dairesel kesitli olmayan borular için “*Hidrolik Çap*” kullanılmalıdır.

$$D_h = \frac{4A_c}{P_{geo}} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de;

D_h : Hidrolik çap [m]

A_c : Kesit alanı [m²]

P_{geo} : Geometrinin çevresi [m]'dir.

Boru içindeki akış *Reynolds sayısı* dikkate alındığında akışın niteliği ve *Reynolds sayısına* bağımlılığı açısından kabaca aşağıda olduğu şekilde gruplandırılabilir [2] ;

$0 < Re < 1$: Çok sürtünmeli laminar

$1 < Re < 100$: Laminar, *Reynolds sayısına* şiddetli bağımlı

$100 < Re < 10^3$: Laminar, sınır tabaka teorisi faydalı

$10^3 < Re < 10^4$: Türbülansa geçiş

$10^4 < Re < 10^6$: Türbülanslı, orta derecede *Reynolds sayısına* bağımlı

$10^6 < Re < \infty$: Türbülanslı, az derecede *Reynolds sayısına* bağımlı

Bu çalışmada oluşturulan modeller çerçevesinde *Reynolds sayısı* 10^6 mertebesinin üzerinde olduğundan dolayı baca içi akışımız türbülanslı olup *Reynolds sayısına* az bağımlıdır.

2.1.1 Reynolds benzerliği

Farklı geometrilere ilişkin akışları karşılaştırabilmemiz için Reynolds benzerliğine ihtiyaç duyarız. Reynolds benzerliğinin temelinde farklı iki forma ilişkin Reynolds sayılarının eşitliği hususu yatmaktadır. Bu çalışmada dairesel kesite sahip Baca Geometrisi-1 referans geometri olarak belirlendiği için diğer geometriler Baca Geometrisi-1'e benzetilmiştir.

$$Re_{daire} = Re_2 \quad (2.3)$$

Denklem (2.3) ile verilen bağıntıda Re_2 terimi, dairesel baca geometrisine benzetmek istediğimiz geometrinin Reynolds sayısıdır. Reynolds sayısı benzerliğinde kullanacağımız diğer bağıntı ise kütleli debi bağıntısıdır. Çünkü baca geometrisi hangi şekilde olursa olsun giren egzoz gazı debisi bütün geometriler için aynı olmak zorundadır.

$$\dot{m}_{daire} = \dot{m}_2 \quad (2.4)$$

Denklem (2.4)'ten yola çıkarak,

$$\rho_d \cdot V_d \cdot A_d = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad (2.5)$$

denklem (2.5) ile verilen bağıntıyı elde edebiliriz. Denklem (2.5) ile verilen ifadede ρ yoğunluk, V hız ve A alandır. Hatırlamak gerekirse hidrolik çap daha önceden denklem (2.6) ile gösterildiği şekilde tanımlanmıştı.

$$D_h = \frac{4A_c}{P_{geo}} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'dan kesit alanı ifadesini çekersek denklem (2.7)'yi elde ederiz.

$$A_c = \frac{D_h \cdot P_{geo}}{4} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'den yola çıkarak denklem (2.5)'i tekrar düzenlersek,

$$\rho_d \cdot V_d \cdot \frac{\pi D_d^2}{4} = \rho_2 \cdot V_2 \cdot \frac{D_h \cdot P_{geo}}{4} \quad (2.8)$$

denklem (2.8)'i elde etmiş oluruz. Denklem (2.8)'in her iki tarafını $\frac{\mu}{\mu}$ ifadesi ile çarparsak ve denklem (2.8)'i tekrar düzenlersek,

$$\frac{\rho_d \cdot V_d \cdot D_d}{\mu} \cdot \frac{\pi D_d}{4} \cdot \mu = \frac{\rho_2 \cdot V_2 \cdot D_h}{\mu} \cdot \frac{P_{geo}}{4} \cdot \mu \quad (2.9)$$

denklem (2.9)'u elde ederiz. Denklem (2.9) incelendiğinde Reynolds benzerliği kurulacak her iki geometriye ilişkin Reynolds sayıları açıkça görülmektedir. Her iki geometriye ilişkin Reynolds sayılarının aynı olması gerektiğinden Reynolds sayılarına ilişkin ifadeler ile birlikte viskozite terimi sadeleşir. Bu durumda denklem (2.9) denklem (2.10)'a dönüşür.

$$\pi \cdot D_d = P_{geo} \quad (2.10)$$

Dairenin alanına ilişkin genel formülden dairenin alanını çekersek denklem (2.11) ile verilen bağıntıyı elde ederiz.

$$D_d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.11)$$

Denklem (2.11) ile verilen ifadeyi denklem (2.10)'da yerine yazarsak denklem (2.12) ile verilen ifadeyi elde etmiş oluruz.

$$P_{geo} = \sqrt{4A \cdot \pi} \quad (2.12)$$

Biz bu tez çalışmasında dairesel kesitli baca geometrisi için giriş kesit alanını 4 m^2 olacak şekilde belirlemiştik. Bu durumda denklem (2.12) ile verilen ifade,

$$P_{geo} = \sqrt{16 \cdot \pi} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13) ile verilen genel bir ifadeye dönüşür. Bu bağıntı diğer geometrilerin oluşturulmasında dikkat etmemiz gereken şartı bize sunmaktadır. Buradan çıkaracağımız sonuç diğer geometrilerin çevresinin $\sqrt{16 \cdot \pi}$ olması gerektiğidir. Bu tez çalışması için oluşturulan geometrilerde bu hususa dikkat edilmiştir.

2.2 Mach Sayısı

Akış esnasında yoğunluk değişimlerinin çok küçük olduğu durumlarda akış “Sıkıştırılmaz Akış” olarak kabul edilir. Bu sebepten dolayı birçok sıvı akış genelde sıkıştırılmaz akış sınıfına girerler. Fakat aynı durum gaz akışlar için geçerli olmayabilir. Gazların yüksek hızlı akışlarında, basınç, yoğunluk ve sıcaklıkta çok büyük değişiklikler olur ve bunlar Denklem (2.14)’teki ideal gaz yasası gibi hal denklemleri ile ilişkilendirilmelidirler.

$$P = \rho RT \quad (2.14)$$

Denklem (2.14)’te;

P : Basınç [Pa]

ρ : Yoğunluk [kg/m^3]

R : Gaz Sabiti [$\text{m}^2/\text{s}^2.\text{K}$]

T : Sıcaklık [K]

olup denklem (2.14) ile tanımlanan ideal gazlar için ses hızı;

$$\alpha_{ideal\ gaz} = \sqrt{kRT} \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)’te;

α : Ses hızı [m/s]

k : Isı iletim katsayısı

R : Gaz Sabiti [$\text{m}^2/\text{s}^2.\text{K}$]

T : Sıcaklık [K]

olup “Mach sayısı” ise bir ortamda bulunan akışkanın hızının o ortamdaki ses hızına oranı olarak tanımlanabilir.

$$Ma = \frac{V}{\alpha_{ideal\ gaz}} \quad (2.16)$$

Mach Sayısı, büyüklüğüne bağlı olarak sıkıştırılabilirlik etkilerinin önemli olup olmadığına karar vermede önemli bir parametredir. Aerodinamikçiler, Mach sayısının çeşitli aralıkları arasında özellikle ayırım yaparlar ve genellikle aşağıdaki kaba sınıflandırma kullanılır:

$Ma < 0.3$: Sıkıştırılabilir akış, yoğunluk değişimleri ihmal edilebilir.

$0.3 < Ma < 0.8$: Sesaltı akış

$0.8 < Ma < 1.2$: Transonik akış

$1.2 < Ma < 3.0$: Sesüstü akış

$3.0 < Ma$: Hipersonik akış

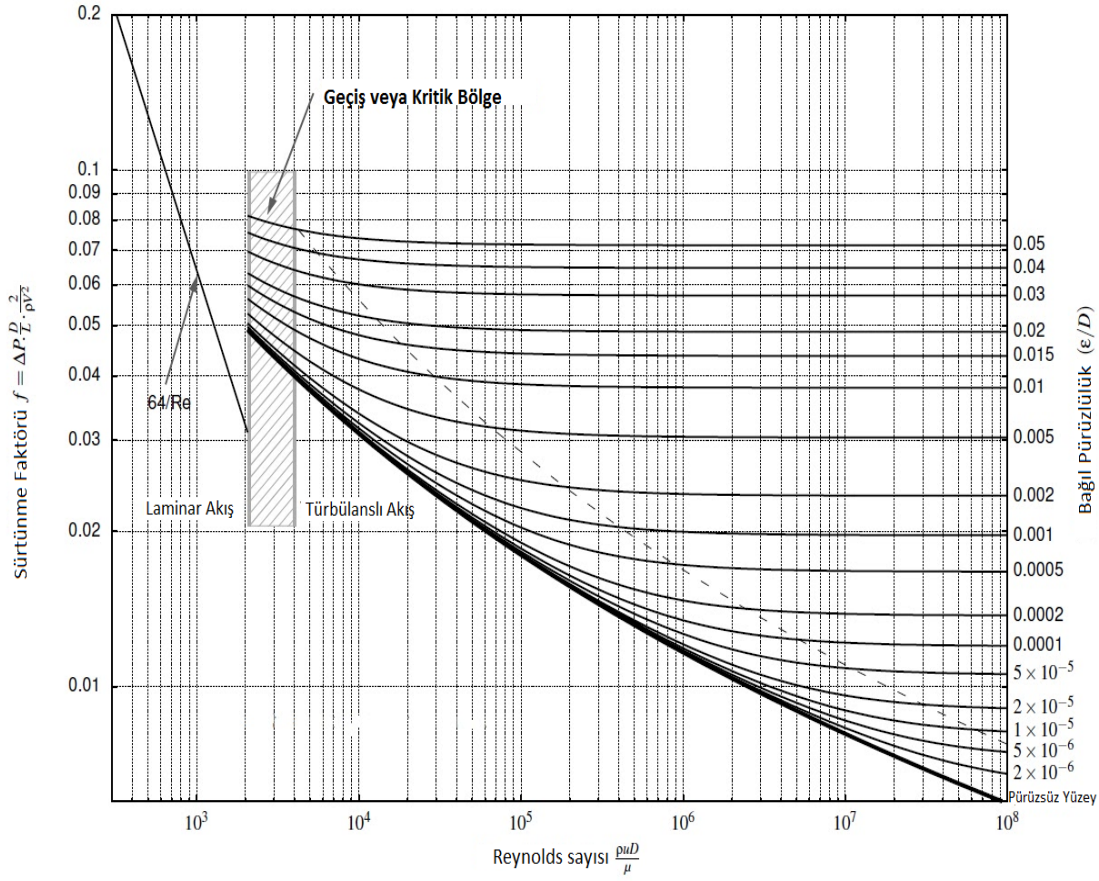
Bu çalışmada ele alınan farklı baca geometrilerindeki akış için Ma sayısı 0,3'ten küçük olup yukarıdaki sınıflandırmadan da anlaşılacağı üzere sıkıştırılabilir akış özellikleri göstermektedir.

2.3 Pürüzlülük

Coulomb'un 1800'deki deneylerine kadar yüzey pürüzlülüğünün sürtünme direnci üzerindeki etkisi olduğu bilinmiyordu. Daha sonraları Prandtl'in öğrencisi Nikuradse üniform kum tanelerini boruların içerisine yapıştırmak suretiyle pürüzlülüğü simüle etmiş, bu borularda basınç düşüşlerini ve debileri ölçerek sürtünme katsayısının *Reynolds sayısı* ile değişimini incelemiştir. Yaptığı incelemeler neticesinde sürtünme katsayısının laminar akımda etkilenmediğini fakat türbülanslı akımda sürtünmenin belirli bir başlangıç noktasından sonra, bağıl pürüzlülük ε/d ile arttığını tespit etmiştir [2].

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left[\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re_d f^{1/2}} \right] \quad (2.17)$$

Denklem (2.6) türbülanslı akışlarda sürtünme katsayısı için tasarım formülüdür. Bu formül akışkanlar mekaniğinin belki en ünlü ve faydalı diyagramı olan Moody diyagramının temelini oluşturmaktadır.



Şekil 2.1: Pürüzlü ve pürüzsüz borularda sürtünme katsayısı için Moody diyagramı [3].

Bu çalışmada ele alınan farklı geometrilerdeki bacalar için, üretimde kullanılan malzemeler ve dizayn edilen bacaların çapları dikkate alındığında bağıl pürüzlülük katsayısı ϵ/d oldukça küçük olmaktadır. Baca içindeki akışın yüksek *Reynolds sayısı* da dikkate alındığında, Moody diyagramına göre bu çalışmada incelenen bacalar pürüzsüz boru bölgesinde bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı hesaplamalarda yüzey pürüzlülüğünün etkisi incelenmemiştir.

3. TEORİ

Fizik biliminde akışkan parçacıklarının hareketini inceleyen akışkanlar dinamiği, akışkanlar mekaniğinin bir alt disiplini. Akışkanlar dinamiğinin de hareket halindeki hava ve diğer gazları inceleyen aerodinamik ve hareket halindeki sıvı akışkanları inceleyen hidrodinamik gibi disiplinleri de içeren birkaç alt disiplini bulunmaktadır. Akışkanlar dinamiğinin bir hava aracına etki eden kuvvet ve momentlerin hesaplanması, bir petrol boru hattı içerisinde akan petrol debisinin belirlenmesi gibi birçok alanda uygulamaları bulunmaktadır.

Akışkanlar dinamiği, akış ölçümlerinden elde edilen ampirik ve yarı ampirik kuralları içeren sistematik bir yapı sunmaktadır. Bir akışkanlar dinamiği probleminin çözümü, zamanın ve uzayın bir fonksiyonu olarak akışkanın sıcaklık, basınç, hız ve yoğunluk gibi özelliklerinin hesaplanması ile ilgilidir.

Akışkanlar dinamiğinin temel aksiyomları, kütlenin korunumu, Newton'un ikinci hareket yasası olarak da bilinen momentumun korunumu ve termodinamiğin birinci kanunu olarak da bilinen enerjinin korunumu gibi korunum yasalarıdır. Bu üç korunum yasası aynı zamanda akışkanlar dinamiği problemlerini çözmekte kullanılmaktadır.

Kütlesi olan tüm şeylerin transferine tamamen kapalı olan bir sistemin kütlesi zaman içinde değişmez çünkü sistemin kütlesi, sisteme herhangi bir kütle eklenmeden veya sistemden herhangi bir kütle çıkarılmadan değişmez. Bir kontrol hacmi içerisindeki akışkan kütlesinin değişim miktarı, kontrol hacmine giren ve çıkan akışların arasındaki fark kadar olmalıdır. Bu kanun "Kütlenin Korunumu Kanunu" olarak bilinir ve en genel haliyle denklem (3.1)'de gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

Sıkıştırılamaz akışlarda yoğunluğun zamanla değişimi söz konusu olmadığı için denklem (3.1)'de verilen ifadede yoğunluğun zamana göre değişimini ifade eden ilk terim denklemden düşer. Yoğunluğun tüm akış boyunca sabit olması durumunda denklem (3.1)'de geçen terimlerde yoğunluk terimi de ihmal edilebilir. Yoğunluğun tüm akış boyunca değişmediği sıkıştırılamaz akışlar için kütlenin korunumu denklemi denklem (3.2)'de gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

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

Denklem (3.2) akış ister daimi olsun ister olmasın yoğunluğun tüm akış boyunca değişmediği sıkıştırılmaz tüm akışlar için geçerlidir.

Bir cisme çok küçük zaman aralığı süresince, bir kuvvetin bir kütleye etkimesi o kütlenin momentumunda bir değişim oluşturacaktır. Newton'un ikinci yasası bize o kütleye etkiyen net kuvvetin, kütlenin momentumundaki değişim miktarına eşit olduğunu söylemektedir.

Bir kontrol hacmine etki eden kuvvetler, bünye kuvvetleri ve basınç kuvvetleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yüzey kuvvetleri ise basınç ve viskoz gerilmelerin toplamından oluşmaktadır. Üç boyutlu, sabit yoğunluk ve viskoziteli Newton tipi bir akışkan için diferansiyel momentum denklemleri,

$$\begin{aligned} \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) &= \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) &= \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) &= \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

denklem (3.3) ile verilmiştir. Bu denklemler onları türeten Claude-Louis Navier ve George Gabriel Stokes'a atfen Navier-Stokes denklemleri olarak anılır. Navier-Stokes denklemlerini en genel haliyle denklem (3.4)'te gösterildiği şekilde yazabiliriz.

$$\rho \frac{d\vec{U}}{dt} = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{U} + \vec{F} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te $-\nabla P$ basınç gradyenini, $\mu \nabla^2 \vec{U}$ viskoziteden kaynaklanan kuvvetleri ve $\vec{F}$ ise diğer bünye kuvvetlerini temsil etmektedir.

Bir sistemin iç enerjisindeki artış; sisteme verilen enerji ile sistemin çevresine uyguladığı iş arasındaki farktır. Bu yasa "Enerjinin Korunumu Yasası" olarak da bilinir. Enerji yoktan var edilemez ve yok edilemez sadece bir şekilden diğerine dönüşür. Seçilen sonsuz küçüklükteki kontrol hacmi içerisine sonsuz küçüklükte bir mil koyamayacağımız için mil işi yoktur. Bu durumda birim zamandaki toplam enerji değişimi,

$$\dot{Q} - \dot{W}_v = \left[\frac{\partial}{\partial t}(\rho e) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u \zeta) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \zeta) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w \zeta) \right] \quad (3.5)$$

denklem (3.5) ile verilmiştir. Burada $\zeta = e + \frac{P}{\rho}$ 'dur.

$$\dot{Q} - \dot{W}_v = \left(\rho \frac{de}{dt} + U \cdot \nabla P \right) d_x d_y d_z \quad (3.6)$$

Denklem (3.5) ile verilen ifadeyi denklem (3.6)'da gösterildiği şekilde yazabiliriz. İletim ile ısı geçişi Fourier kanunundan hesaplanır:

$$q = -k \nabla T \quad (3.7)$$

Burada k , ısı iletim katsayısıdır. Birim elemana eklenen net ısı,

$$\dot{Q} = - \left[\frac{\partial}{\partial x} (q_x) + \frac{\partial}{\partial y} (q_y) + \frac{\partial}{\partial z} (q_z) \right] d_x d_y d_z = -\nabla \cdot q d_x d_y d_z \quad (3.8)$$

$$\dot{Q} = \nabla (k \nabla T) d_x d_y d_z \quad (3.9)$$

denklem (3.9) ile verilmiştir.

Vizkoz gerilmeler tarafından birim zamanda yapılan iş, gerilme bileşeninin, karşılık geldiği hız bileşeni ve eleman yüzey alanı ile çarpımına eşittir. Net birim zamandaki viskoz iş

$$\dot{W}_v = - \left[\frac{\partial}{\partial x} (u \tau_{xx} + v \tau_{xy} + w \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u \tau_{yx} + v \tau_{yy} + w \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u \tau_{zx} + v \tau_{zy} + w \tau_{zz}) \right] d_x d_y d_z \quad (3.10)$$

denklem (3.9) ile verilmiştir. Denklem (3.9) aynı zamanda denklem (3.10)'a eşittir.

$$-\nabla \cdot (U \cdot \tau_{ij}) d_x d_y d_z \quad (3.11)$$

Eğer denklem (3.11) ve denklem (3.9)'u denklem (3.6)'ya yerleştirirsek denklem (3.12) ile verilen genel enerji denklemini elde etmiş oluruz.

$$\rho \frac{de}{dt} + U \cdot \nabla p = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau_{ij}) \quad (3.12)$$

Denklem (3.12)'de verilen $e = \hat{u} + \frac{1}{2} U^2 + gz$ 'dir.

3.1 Sonlu Hacim Ayırıklaştırması

Navier-Stokes denklemlerinin veya genel skaler taşınım denklemlerinin sayısal olarak çözülebilir cebrik denklemlere dönüştürülebilmesi için ayırıklaştırma işleminin yapılması gerekmektedir. Ayırıklaştırma işlemi genel olarak sonlu fark, sonlu eleman veya sonlu hacim yöntemleri ile hesaplama bölgesinin ayırık nokta, eleman ya da hacimler ile ifade edilmesi ile yapılabilir [4]. Bu tez çalışmasının hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin yapılması esnasında kullanılan FLUENT 6.3 programı tarafından sonlu hacim ayırıklaştırması kullanılmaktadır. Buradaki amaç,

sonlu hacim ayrıklaştırmasının detaylı bir incelemesini yapmak değil, temel fikirlerini mümkün olduğunca basit bir biçimde ortaya koyabilmektir.

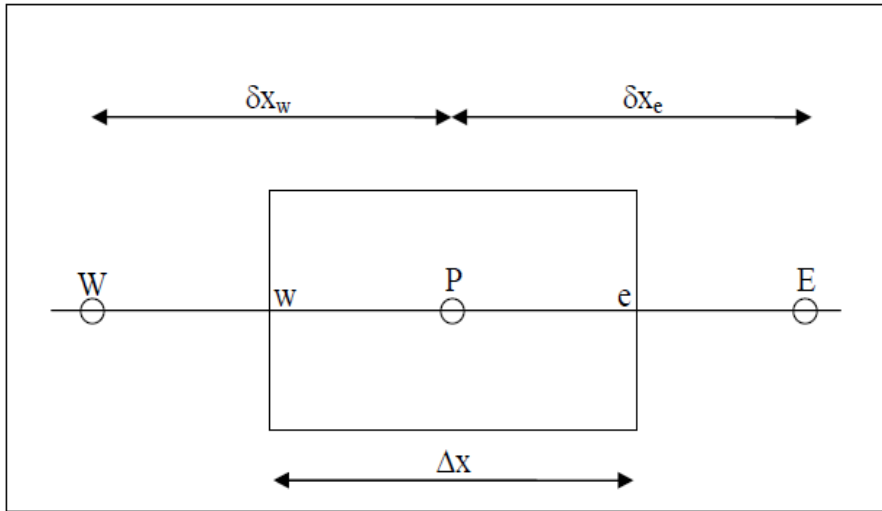
Akışkan akışını modelleyen taşınım denklemlerinin, uzayda sabit bir sonsuz küçük eleman alınarak, bu elemanın tüm yüzeylerinden yapılan momentum transferinin hesap edilmesi ile konservatif diferansiyel denklemler formunda elde edilmesi mümkündür [5]. Sonlu hacim ayrıklaştırması, bu denklemlerin sonlu bir hacim boyunca entegre edilmesi esasına dayanmaktadır. Akışın ϕ gibi bir taşınım özelliğinin (örneğin sıcaklık) konveksiyon ve difüzyon taşınım denklemi Kartezyen tansör notasyonunda,

$$\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} + \rho \frac{\partial (U_j \phi)}{x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S \quad (3.13)$$

Şeklinde ifade edilebilir [6]. Burada; U üç ayrı yöndeki hızları, ϕ akışın herhangi bir taşınım özelliğini, Γ difüzyon katsayısını ve S kaynak terimini göstermektedir. Sade ve olabildiğine basit bir denklem formu elde etmek maksadıyla, denklem daimi ve bir boyutlu formda yazılacak olursa,

$$\rho \frac{d(U\phi)}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) + S \quad (3.14)$$

elde edilir.



Şekil 3.1: Hesaplamalı kontrol hacmi.

Denklem (3.14) ile verilen denklem, Şekil 3.1’de görülen kontrol hacmi boyunca integre edilirse, giriş ve çıkış yüzeylerinin birim değerinde olduğu kabul edilerek ($A_e = A_w = 1$);

$$\int_w^e \rho \frac{d}{dx} (U\phi) dx = \int_w^e \left[\frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) + S \right] dx \quad (3.15)$$

yazılabilir. Denklem (3.15) ile verilen integralin sol tarafının integralden çıkarılması ile,

$$SOT = (\rho U \phi)_e - (\rho U \phi)_w \quad (3.16)$$

ve sağ tarafı integralden çıkarıp kaynak terimi bağımlı değişkenin bir fonksiyonu olarak lineerleştirerek,

$$SAT = \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right)_e - \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right)_w + S_U + S_{P\phi P} \quad (3.17)$$

elde edilir. Burada S_U daha sonra cebrik denklemin sağında kalacak olan terimden gelen sabit sayısı ve bağımlı değişkenin S_P sabit sayıdan gelen katsayısını göstermektedir. SOT ve SAT, sırasıyla denklemin sol ve sağ tarafları anlamında kullanılmıştır. Difüzyon terimleri genel olarak merkezi farklar ile interpolate edilmektedir [7]. Merkezi farklar kullanılacak olursa sağ taraftaki ilk bileşen,

$$\left(\Gamma \frac{d\phi}{dx} \right)_e = \Gamma \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\delta x_e} \right) \quad (3.18)$$

şeklini alır. Konvektif terimler için, birinci derece ileriye doğru (upwind), merkezi farklar, QUICK (Quadratic Upwind Interpolation for Convective Kinematics) [7], MUSCLE (Monoton Ustream-Centered Schemes for Conservation Laws) [8] ve değişik şemaları karıştırarak kullanan melez yapıda olanlar gibi pek çok farklı özelliklerde ayrıklaştırma şeması mevcuttur [4]. Örnek olarak hesaplamalı analizlerde sıkça kullanılan “İkinci derece ileriye doğru” interpolasyon şeması ele alınacak olursa [9], $\delta x_e = \delta x_w = \delta x$ kabulü yapılarak,

$$\phi_e = \frac{3}{2} \phi_P - \frac{1}{2} \phi_W + O((\Delta x)^2) \quad (3.19)$$

$$\phi_w = \frac{3}{2} \phi_W - \frac{1}{2} \phi_{WW} + O((\Delta x)^2) \quad (3.20)$$

şeklinde yüzeylerdeki ϕ değerleri belirlenebilir. Bu noktada, ϕ değerlerinin katsayılarının ağ örgüsü aralıkları δx 'in eşit olmadığı durumda farklı değerler alacağını belirtmekte fayda vardır. Yüzeylerdeki ϕ değerleri denklem (3.16) ve denklem (3.17)' de yerlerine yazılacak olursa,

$$(\rho U)_e \left(\frac{3}{2} \phi_P - \frac{1}{2} \phi_W \right) - (\rho U)_w \left(\frac{3}{2} \phi_W - \frac{1}{2} \phi_{WW} \right) = \frac{\Gamma}{\delta x} (\phi_E - 2\phi_P + \phi_W) + S_U + S_{P\phi P} \quad (3.21)$$

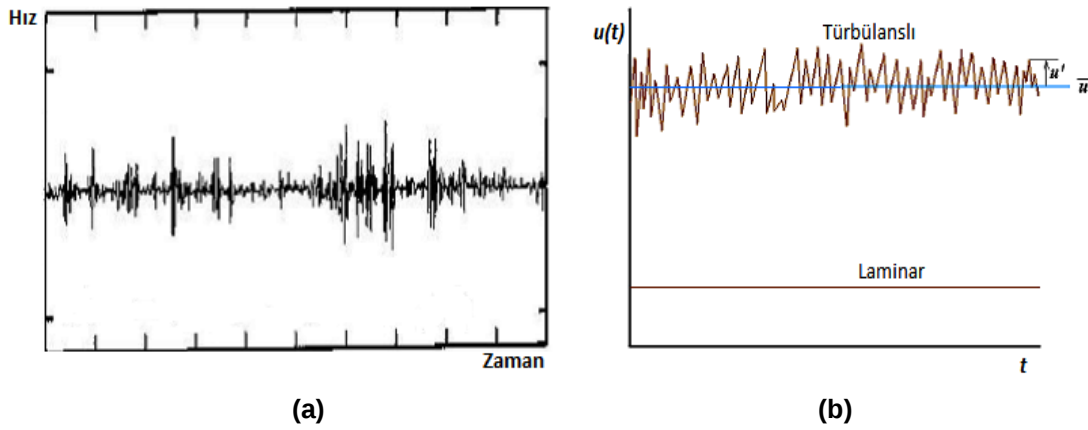
bulunur. Böylece,

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E - a_{WW} \phi_{WW} + S_U = \sum_{km} a_{km} \phi_{km} + S_U \quad (3.22)$$

şeklinde lineer bir denklem sistemi elde edilmiş olur. Buradaki km indisi P hacmine komşu hacimleri göstermektedir. Bu denklem sisteminin Gauss- Siedel gibi iteratif bir denklem çözücü ile çözülmesi mümkündür [10].

3.2 Reynolds Ortalaması Alınmış Navier-Stokes Denklemleri (RANS)

Özellikle baca veya boru içerisinde gerçekleşen birçok akış türbülanslı akış sınıfına girmektedir. Türbülanslı akışlarda karakteristik olarak belirli bir yönde olan ana akımın üzerine küçük ölçekli ve yüksek frekanslı rasgele salınımlar eklenmektedir. Normal olarak bu dalgalanmaların büyüklüğü, ana akımın büyüklüğünün %5-%10'u nispetindedir.



Şekil 3.2: Türbülanslı akış içerisinde anlık hız ölçümleri (a) Deneysel hız ölçümü çıktısı
(b) İdealize edilmiş hali.

Şekil 3.2 (b)' de hızın zamandan bağımsız ortalamasını ($\bar{u}$) ve zamana bağlı salınan bileşenini (u') görmekteyiz. Türbülanslı hız alanını hızın zamandan bağımsız ortalaması ile zamana bağlı salınan değerinin toplamı şeklinde ifade etmek yanlış olmayacaktır.

$$u(x, t) = \bar{u}(x) + u'(x, t) \quad (3.23)$$

Denklem (3.23)'te gösterildiği şekilde aynı işlem hızın diğer bileşenlerine de uygulanabilir. Navier-Stokes denklemlerindeki değişkenlerin yukarıdaki şekilde ayrıştırılmasıyla elde edilen denklem formuna RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) adı verilmektedir. Reynolds ortalaması tekniklerini kullanarak akışkanının yoğunluk, basınç ve sıcaklık gibi diğer hareket değişkenlerini zamandan bağımsız ortalama bileşene ve zamana bağlı salınan bileşene ayırmak mümkündür.

İlk olarak süreklilik denkleminin ortalamasını alalım. Denklem (3.23)' te gördüğümüz ifadeyi eğer süreklilik denkleminde uygularsak denklem (3.24) ile verilen ifadeyi elde ederiz.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \quad (3.24)$$

Denklem (3.24) ile verilen ifadenin zaman ortalamasını yazarsak,

$$\overline{\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial z}} = 0 \quad (3.25)$$

denklem (3.25)'i elde etmiş oluruz. Denklem (3.25)'in dönüşümünü yapmadan ve denklem (3.25)'i indirgemeden önce zaman ortalaması kurallarına kısaca bir göz atalım.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+t_1} \frac{\partial u}{\partial x} dt = \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+t_1} u dt = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (3.26)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+t_1} \frac{\partial u'}{\partial x} dt = \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+t_1} u' dt = 0 \quad (3.27)$$

Denklem (3.27)'de görüldüğü üzere ortalaması alınmış salınan hız bileşeninin türevi sıfıra eşittir. Bu bilgi ışığında denklem (3.25)'i tekrar düzenlersek süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.28)$$

Ayrıştırılmış hız bileşenleri Navier-Stokes denklemlerinin x yönündeki bileşenine uygulanırsa,

$$\rho \left(\frac{\partial (\bar{u}+u')}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}+u')^2}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{u}+u')(\bar{v}+v')}{\partial y} + \frac{\partial (\bar{u}+u')(\bar{w}+w')}{\partial z} \right) = F_x - \frac{\partial (\bar{P}+P')}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 (\bar{u}+u')}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\bar{u}+u')}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (\bar{u}+u')}{\partial z^2} \right) \quad (3.29)$$

Denklem (3.26) ve denklem (3.27) ile verilen kuralları denklem (3.29)'a uygularsak,

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}\bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \right) = F_x - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) \quad (3.30)$$

Daha basit formda her üç yöne Navier-Stokes denklemlerini yazarsak,

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) &= F_x - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} - \rho \left(\frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) &= F_y - \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \mu \nabla^2 \bar{v} - \rho \left(\frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) &= F_z - \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \mu \nabla^2 \bar{w} - \rho \left(\frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}'w'}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3.31)$$

denklem (3.31) elde edilmiş olur. Denklem (3.31) ile verilen her üç yöne Navier-Stokes denklemlerini tansör formunda denklem (3.32)'deki şekliyle yazabiliriz.

$$\rho \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = F_i - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 \bar{u}_i - \rho \left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) \quad (3.32)$$

Denklem (3.32)'de $\left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right)$ ifadesi Reynolds gerilmeleri terimidir. Denklem (3.32)'nin sağ tarafında bulunan son iki terime incelersek,

$$\begin{aligned} \mu \nabla^2 \bar{u}_i - \rho \left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) &= \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) \end{aligned} \quad (3.33)$$

Denklem (3.33) ile verilen parantez içerisindeki terim toplam kayma gerilmesidir.

$$\tau_{ij} = \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \quad (3.34)$$

Bu denklemde, $-\overline{u'_i u'_j}$ terimini birim kütle başına Reynolds gerilmesi olarak görmek mümkündür. Reynolds gerilme tansörünün orijinal Navier-Stokes denklemlerine katılmasıyla birlikte altı adet bilinmeyen bileşen de değişkenler arasına eklenmiş olmaktadır. Söz konusu altı bileşen hesaplanmadan denklem sisteminin çözümü mümkün olmamakta, bir başka ifadeyle sistem kapatılamayacaktır. Reynolds ortalamasının neden olduğu bu duruma “kapanma problemi” adı verilir. Türbülans modelleri Reynolds gerilmesi $-\overline{u'_i u'_j}$ 'nin hesaplanması ve böylelikle denklem sisteminin kapatılarak bir çözüme ulaştırılması görevini üstlenmektedir.

3.3 Türbülans Modelleri

Türbülanslı akışkan hareketini, akışın çeşitli büyüklüklerinin uzaya ve zamana göre rasgele değişim gösterdiği, öyle ki istatistiki olarak belirgin bir ortalamanın güçlülükle ayırt edilebildiği kuralı bir akış durumu olarak tarif etmek mümkündür [11]. Akış alanındaki hareketi tanımlayan Navier-Stokes denklemleri sıkıştırılamaz akışlar için en genel haliyle,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.35)$$

$$\rho \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = F_i - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 \bar{u}_i - \rho \left(\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \right) \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilmektedirler.

Eğer Navier-Stokes denklemlerini kartezyen tansör notasyonunda ifade etmek istersek,

$$\rho \frac{D\bar{u}_i}{Dt} = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j}) \quad (3.37)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Buradaki değişkenler hem zamana hem de uzaysal koordinatlara bağıllık gösteren anlık niceliklerdir.

Navier-Stokes denklemleri gerçekte akış hareketini her nokta ve zaman seviyesinde temsil edebilme fiziki bilgisine sahiptirler. En azından bugüne kadar aksini ispat edecek bir bulgu yoktur. Navier-Stokes denklemlerinin sayısal olarak direkt çözülmesine dayanan hesaplamalı simülasyonlara DNS (Direct Numerical Simulations) adı verilmektedir. DNS simülasyonları, akışta türbülansın dolaylı olan girdapların en küçüğünden en büyüğüne kadar türbülans modeli kullanmaksızın hesaplanmasını hedeflenmektedir. Hızla artmakta olan paralel hesaplama olanakları ile DNS simülasyonlarına olan ilgi giderek artmaktaysa da, halen günümüzdeki bilgisayarların hesaplama kapasiteleri dikkate alındığında, DNS yönteminin yüksek Reynolds sayılı akışlarda uygulanmasının imkansız olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Bir başka türbülanslı akış hesaplama yöntemi “*Büyük Girdap Simülasyonu*” (LES)’dur. LES, büyük ölçekli olan üç boyutlu zamana bağlı türbülanslı hareketleri direkt olarak çözümlerken, ağ örgüsü ve zaman ölçeğinin çözümleyemediği küçük ölçekli hareketler modellerle temsil edilmektedir. Bu özelliği ile LES, hesaplama yeteneği bakımından RANS temelli modeller ile DNS arasında yer almaktadır. Son yıllarda bilgisayar kapasitelerinin hızlı bir şekilde gelişmesi LES’i daha popüler hale getirmiştir.

Bu bölümde FLUENT 6.3 CFD programı tarafından akış analizlerinde kullanılan türbülans modelleri incelenecektir.

3.3.1 K-epsilon (k-ε) Türbülans Modeli

K-epsilon (k-ε) türbülans modelleri günümüze kadar her türlü mühendislik alanında kullanılmış olan en yaygın ve en çok bilinen türbülans modeli tiplerini oluşturmaktadır. İki denklemlilik bir türbülans modelidir. Yani; akışın türbülans özelliklerini temsil edebilmek için Navier-Stokes denklemlerine ek olarak iki adet taşınım denklemi içermektedir. Birinci taşınan değişken türbülansın enerjisini belirler ve “*Türbülans Kinetik Enerjisi*” olarak adlandırılır ve “k” ile gösterilir. İkinci taşınan

değişken türbülanslı akışın kinetik enerjisindeki yitim oranını belirler ve “*Türbülans Enerji Yitimi*” olarak adlandırılır ve “ $\mathcal{E}$ ” ile gösterilir.

Diğer türbülans modellerinden farklı olarak k- $\mathcal{E}$ türbülans modeli, türbülans kinetik enerjisine etkiyen unsurlara odaklanmaktadır. Bu türbülans modelinin altında yatan kabulleri incelediğimiz zaman türbülanslı akış viskozitesinin isotropik olduğu yani, Reynolds gerilmesi ile ortalama deformasyon miktarının birbirine oranının tüm yönlerde aynı olduğu hususu ile karşılaşırız [12].

3.3.1.1 Standart k- $\mathcal{E}$ türbülans modeli

Tüm k- $\mathcal{E}$ denklemleri birçok bilinmeyen ve ölçülemeyen terimler içermektedir. Daha pratik bir yaklaşım için Launder ve Spalding tarafından 1974 yılında geliştirilen Standart k- $\mathcal{E}$ modeli kullanılmaktadır. Bu model sayesinde tam k- $\mathcal{E}$ denklemlerine göre bilinmeyen sayısı azaltılmakta ve aynı zamanda türbülanslı akışın hakim olduğu birçok uygulamada kullanılmak üzere denklem sistemleri elde edilmektedir.

Standart k- $\mathcal{E}$ türbülans modeli için taşınım denklemlerini incelersek türbülans kinetik enerjisi (k) için;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \mathcal{E} - Y_M + S_k \quad (3.38)$$

Türbülans enerji yitimi ($\mathcal{E}$) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho \mathcal{E})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \mathcal{E} u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\mathcal{E}}} \right) \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial x_j} \right] + C_{1\mathcal{E}} \frac{\mathcal{E}}{k} (P_k + C_{3\mathcal{E}} P_b) - C_{2\mathcal{E}} \rho \frac{\mathcal{E}^2}{k} + S_{\mathcal{E}} \quad (3.39)$$

Türbülans kinetik enerjisini denklem (3.5)’te gösterildiği şekilde ifade edebiliriz;

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (3.40)$$

Türbülans viskozitesi μ_t ;

$$\mu_t = \rho C_{\mu} \frac{k^2}{\mathcal{E}} \quad (3.41)$$

(3.38) ve (3.39) denklemlerinde geçen P_k türbülans kinetik enerjisi üretimi olup şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.42)$$

$$P_k = \mu_t S^2 \quad (3.43)$$

$$S \equiv \sqrt{2 S_{ij} \cdot S_{ij}} \quad (3.44)$$

Denklem (3.38) ve (3.39)’da geçen P_b kaldırma kuvvetinin etkisi olup;

$$P_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (3.45)$$

denklem (3.45)'te gösterildiği şekilde ifade edilebilir. Denklem (3.45)'teki denklemde geçen g_i ifadesi i yönündeki yerçekimi ivmesini belirtmektedir. Pr_t ifadesi enerji için türbülans Prandtl sayısı olup Standart k- ϵ türbülans modeli için varsayılan değeri 0,85'tir. Sıcaklık genleşme katsayısı β ;

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3.46)$$

Denklem (3.38) (3.39) ve (3.40)'ta geçen katsayılar;

$$C_{1\epsilon} = 1,44, \quad C_{2\epsilon} = 1,92, \quad C_{3\epsilon} = -0,33, \quad C_\mu = 0,09, \quad \sigma_k = 1,0 \quad \text{ve} \quad \sigma_\epsilon = 1,3 \text{ tür.}$$

Denklem (3.38)'de geçen Y_M terimi genleşmeden kaynaklanan kayıp olarak bilinmektedir ve sıkıştırılabilir akış özellikleri için önem arz eder. Fakat bu çalışmada tüm akışlar sıkıştırılmaz olduğu için bu terim bu çalışma için önemli değildir ve ihmal edilebilir.

Standart k- ϵ türbülans modelinde, türbülanslı akış viskozitesinin isotropik olarak kabul edilmiş olmasına rağmen bu durum gerçek hayatta karşımıza çıkan birçok durum için geçerli değildir. Böyle bir kabulün yapılmasından dolayı standart k- ϵ türbülans modeli akışın ayrılması, yüksek ters basınç gradyenine sahip akışlar, dönen akışlar, tekrar birleşme bölgeleri gibi durumlar için hassas tahminlerde bulunamamaktadır. Standart k- ϵ türbülans modeline ait zayıflıklar bilindiğinden dolayı CFD toplulukları tarafından RNG k- ϵ ve Realizable k- ϵ türbülans modelleri gibi çeşitli k- ϵ modelleri geliştirilmiştir [13].

3.3.1.2 RNG k- ϵ türbülans modeli

RNG tabanlı k- ϵ türbülans modeli Navier-Stokes denklemlerinin “Renormalizasyon Grubu” yöntemleri olarak bilinen matematiksel yöntemlerin kullanılması neticesinde elde edilmiştir. RNG k- ϵ türbülans modeli gerilme oranından kaynaklanan etkileri de dikkate almak için türbülans enerji yitimi (ϵ)'ne ek bir kaynak terimi içermektedir.

k ve ϵ için taşınım denklemlerini yazmak için birçok yol vardır. Taşınım denklemlerini kaldırma kuvvetinin ihmal edildiği daha basit bir denklem olarak yazmak istersek türbülans kinetik enerjisi (k) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon \quad (3.47)$$

Türbülans enerji yitimi (ϵ) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} P_k + C_{2\epsilon}^* \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3.48)$$

$$C_{2\epsilon}^* = C_{2\epsilon} + \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{(1 + \beta \eta^3)} \quad (3.49)$$

$$\eta = S \frac{k}{\epsilon} \quad (3.50)$$

Denklem (3.50)'de geçen S teriminin nasıl hesaplanacağı daha önceden denklem (3.44) ile verilmişti.

Standart k- ϵ türbülans modelinde taşınım denklemlerinde yer alan katsayılar yapılan deneyler neticesinde elde edilmiş olmasına karşın RNG k- ϵ türbülans modelinde taşınım denklemlerinde yer alan katsayılar (β hariç) direkt olarak RNG teorisi ile elde edilmiştir. Bu katsayılar ve standart k- ϵ türbülans modelinde kullanılan değerleri Çizelge 3.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1: RNG k- ϵ ve Standart k- ϵ türbülans modellerinde kullanılan katsayılar ait sayısal değerlerin karşılaştırılması.

Katsayılar	RNG k- ϵ	Standart k- ϵ
$C_{1\epsilon}$	1,42	1,44
$C_{2\epsilon}$	1,68	1,92
C_μ	0,0845	0,09
σ_k	0,7194	1,00
σ_ϵ	0,7194	1,30
η_0	4,38	---
β	0,012	---

3.3.1.3 Gerçeklenir k- ϵ türbülans modeli

Gerçeklenir k- ϵ türbülans modelinde diğer k- ϵ türbülans modelleri ile aynı türbülans kinetik enerjisi (k) taşınım denklemini kullanılır. Fakat bunun yanında tamamen farklı bir türbülans enerji yitimi (ϵ) taşınım denklemine sahiptir.

Türbülans kinetik enerji (k) taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3.51)$$

Türbülans enerji yitimi (ε) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} P_b + S_\varepsilon \quad (3.52)$$

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right] \quad (3.53)$$

Denklem (3.53)'te geçen η ye ilişkin bağıntı, denklem (3.50)'de verilmiştir. Aynı şekilde denklem (3.51)'de yer alan ortalama hız gradyenlerinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimi P_k ve kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimi P_b 'ye ilişkin bağıntılar denklem (3.43) ve (3.45) ile verilmiştir. Türbülans viskozitesi μ_t ;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.54)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Görüldüğü üzere denklem (3.54) denklem (3.41) ile aynıdır. Standart k- ε ve RNG k- ε türbülans modellerinden farklı olarak C_μ katsayısı sabit değil k, ε , ortalama gerilme ve açısız hızın bir fonksiyonudur [13].

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{k U^*}{\varepsilon}} \quad (3.55)$$

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij} \tilde{\Omega}_{ij}} \quad (3.56)$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk} \omega_k \quad (3.57)$$

$$\Omega_{ij} = \overline{\Omega_{ij}} - \varepsilon_{ijk} \omega_k \quad (3.58)$$

Denklem (3.58)'te yer alan $\overline{\Omega_{ij}}$ ifadesi, ω_k açısız hızıyla dönen bir referans çerçevede görülen ortalama rotasyon tensörü miktarıdır.

$$A_0 = 4,04 \quad (3.59)$$

$$A_s = \sqrt{6} \cos \Phi \quad (3.60)$$

$$\Phi = \frac{1}{3} \cos^{-1} \sqrt{6} W \quad (3.61)$$

$$W = \frac{S_{ij} S_{jk} S_{ki}}{\tilde{S}} \quad (3.62)$$

$$\tilde{S} = \sqrt{S_{ij} S_{ij}} \quad (3.63)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.64)$$

Gerçeklenir k- ϵ modeline ilişkin katsayılar ve bu katsayılarla ilişkin bağıntılar denklem (3.59) ile denklem (3.64) arasında verilmiştir.

Denklem (3.51) ve (3.52) ile verilen taşınım denklemlerinde yer alan diğer katsayılar ve değerleri $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_2 = 1.9$, $\sigma_k = 1.0$ ve $\sigma_\epsilon = 1.2$ 'dir.

Standart k- ϵ türbülans modeli ile karşılaştırıldığı zaman gerçeklenir k- ϵ türbülans modeli dönme ile ilgili akış özellikleri, tekrardan birleşme ve kuvvetli bir ters basınç gradyeni altındaki sınır tabaka ile ilgili oldukça iyi sonuçlar vermektedir [14].

3.3.2 K-omega (k- ω) Türbülans Modeli

k- ω modellerinin, modelleri geliştiren ve iyileştiren en önemli araştırmacıların başında gelen Wilcox tarafından k- ϵ türbülans modeline göre çok daha sade temellere dayandığı ifade edilmektedir [15]. k- ω türbülans modelleri aslında çok karmaşık geometrilere ve olaylara sahip havacılıkla ilgili uygulamalar için geliştirilmiştir. k- ω türbülans modellerinin k- ϵ türbülans modellerine göre önemli bir üstünlüğü, denklemlerin viskoz alt tabakaya kadar çözülebilir olmasıdır [16]. En çok kullanılan k- ω türbülans modelleri standart k- ω türbülans modeli ve SST k- ω türbülans modelleridir.

3.3.2.1 Standart k- ω türbülans modeli

Standart k- ω türbülans modeli Wilcox'un 1998 yılında geliştirdiği k- ω modeline dayanmaktadır ve bu türbülans modeli düşük Reynolds sayısından kaynaklanan etkileri ve sıkıştırılabilirlik etkilerini de hesaplamalara dahil eder. Standart k- ω türbülans modeli türbülans kinetik enerjisi (k) ve özgül enerji yitimi (ω) ile ilgili taşınım denklemleri üzerine kurulmuş ampirik bir modeldir.

K- ω türbülans modelinin yıllardır gelişmekte olmasından dolayı k ve ω taşınım denklemlerine serbest kayma akışlarına ilişkin tahminleri iyileştiren üretim terimleri eklenmiştir [17].

Türbülans kinetik enerjisi (k) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - Y_k + S_k \quad (3.65)$$

Özgül enerji yitimi (ω) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \omega u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + P_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (3.66)$$

Denklem (3.65) ve (3.66)'da yer alan P_k terimi türbülans kinetik enerji (k) üretimi, P_ω özgül enerji yitimi (ω) üretimi, Γ_k ve Γ_ω terimleri sırasıyla türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω)'ne ait etkin yayılma gücü terimleridir. Y_k ve Y_ω terimleri ise sırasıyla türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω)'ne ait türbülans kaynaklanan yitimlerdir.

Etkin yayılma gücü terimleri Γ_k ve Γ_ω aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (3.67)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \quad (3.68)$$

Denklem (3.67) ve (3.68)'de geçen σ_k ve σ_ω terimleri sırasıyla türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω)'ne ilişkin türbülans Prandtl sayısıdır. Türbülans viskozitesi μ_t türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω) ile bağıntılı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\mu_t = \alpha^* \frac{\rho k}{\omega} \quad (3.69)$$

α^* katsayısı düşük Reynolds sayılarında türbülans viskozitesini sönmülendiren bir düzeltme katsayısıdır.

$$\alpha^* = \alpha_\infty^* \left(\frac{\alpha_0^* + Re_t / R_k}{1 + Re_t / R_k} \right) \quad (3.70)$$

Denklem (3.70)'te yer alan parametreleri incelersek;

$$Re_t = \frac{\rho k}{\mu \omega} \quad (3.71)$$

$$Re_k = 6 \quad (3.72)$$

$$\alpha_0^* = \frac{\beta_i}{3} \quad (3.73)$$

$$\beta_i = 0,072 \quad (3.74)$$

Şunu belirtmek gerekir ki, yüksek Reynolds sayıları için $\alpha_0^* = \alpha_\infty^* = 1$ 'dir. P_k türbülans kinetik enerjisi (k)'nin üretimi olup aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

$$P_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.75)$$

$$P_k = \mu_t S^2 \quad (3.76)$$

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij} \cdot S_{ij}} \quad (3.77)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.78)$$

Özgöl enerji yitimi (ω)'nin üretimi P_ω aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P_\omega = \alpha \frac{\omega}{k} P_k \quad (3.79)$$

Denklem (3.79)'da yer alan α terimini daha açık bir şekilde yazarsak;

$$\alpha = \frac{\alpha_\infty}{\alpha^*} \left(\frac{\alpha_0^* + Re_t / R_\omega}{1 + Re_t / R_\omega} \right) \quad (3.80)$$

denklem (3.80) elde edilmiş olunur. Denklem (3.80)'de yer alan R_ω teriminin değeri 2,95'tir. Re_t teriminin nasıl hesaplanacağı ise denklem (3.71) ile verilmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında $\alpha = \alpha_\infty = 1$ olduğuna dikkat edilmelidir.

Türbülans kinetik enerjisi (k)'nin yitimi;

$$Y_k = \rho \beta^* f_{\beta^*} k \omega \quad (3.81)$$

denklem (3.81) ile verilmiştir.

$$f_{\beta^*} = \begin{cases} 1 & x_k \leq 0 \\ \frac{1+680x_k^2}{1+400x_k^2}, & x_k > 0 \end{cases} \quad (3.82)$$

$$x_k \equiv \frac{1}{\omega^3} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (3.83)$$

$$\beta^* = \beta_i^* [1 + \zeta^* F(M_t)] \quad (3.84)$$

$$\beta_i^* = \beta_\infty^* \left[\frac{\frac{4}{15} + \left(\frac{Re_t}{R_\beta} \right)^4}{1 + \left(\frac{Re_t}{R_\beta} \right)^4} \right] \quad (3.85)$$

$$\zeta^* = 1.5 \quad (3.86)$$

$$R_\beta = 8 \quad (3.87)$$

$$\beta_\infty^* = 0.09 \quad (3.88)$$

Denklem (3.85)'te yer alan Re_t parametresi daha önceden denklem (3.71) ile verilmiştir.

Özgöl enerji yitimi (ω)'ne ait türbülans kaynaklanan yitim;

$$Y_\omega = \rho \beta f_\beta \omega^2 \quad (3.89)$$

$$f_\beta = \frac{1+70\mathcal{X}_\omega}{1+80\mathcal{X}_\omega} \quad (3.90)$$

$$\mathcal{X}_\omega = \left| \frac{\Omega_{ij}\Omega_{jk}S_{ki}}{(\beta_\infty^*\omega)^3} \right| \quad (3.91)$$

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.92)$$

S_{ij} ortalama gerilme miktarı olup daha önce denklem (3.78) ile verilmiştir.

$$\beta = \beta_i \left[1 - \frac{\beta_i^*}{\beta_i} \zeta^* F(M_t) \right] \quad (3.93)$$

Denklem (3.93)'da yer alan β_i^* denklem (3.85) ile verilmiştir. Denklem (3.84) ve (3.93)'de yer alan $F(M_t)$ parametresi sıkıştırılabilirlik fonksiyonudur.

$$F(M_t) = \begin{cases} 0 & M_t < M_{t0} \\ M_t^2 - M_{t0}^2 & M_t > M_{t0} \end{cases} \quad (3.94)$$

$$M_t^2 \equiv \frac{2k}{\alpha^2} \quad (3.95)$$

$$M_{t0} = 0.25 \quad (3.96)$$

$$\alpha = \sqrt{\gamma RT} \quad (3.97)$$

Yüksek Reynolds sayısına sahip akışlarda denklem (3.85)'ten de görüleceği üzere $\beta_i^* = \beta_\infty^*$ eşitliği geçerli olacaktır. Sıkıştırılamaz akış için ise denklem (3.84) ve denklem (3.94)'ün birlikte değerlendirilmesiyle $\beta^* = \beta_i^*$ eşitliğinin geçerli olacağı açıkça görülmektedir.

Standart k- ω türbülans modeline ilişkin katsayılar $\alpha_\infty^* = 1.00$, $\alpha_\infty = 0.52$, $\alpha_0 = \frac{1}{9}$, $\beta_\infty^* = 0.09$, $\beta_i = 0.072$, $R_\beta = 8.00$, $R_k = 6.00$, $R_\omega = 2.95$, $\zeta^* = 1.50$, $M_{t0} = 0.25$, $\sigma_k = 2.00$, $\sigma_\omega = 2.00$ 'dır.

3.3.2.2 SST k- ω türbülans modeli

Türbülans modellerinin en büyük problemlerinden bir tanesi pürüzsüz yüzeylerdeki akış ayrılmasının tam olarak tahmin edilememesidir. Standart iki denklemlilik türbülans modelleri ters basınç gradyenlerinin olduğu durumlarda çoğunlukla akış ayrılmasının başlangıcını ve miktarını tahmin etmekte çoğunlukla başarısız olmaktadır. Özellikle uçak aerodinamiğinde olmak üzere birçok teknik uygulamalarda bu sorun önemli bir yer teşkil etmektedir. Çünkü bir uçağın havadaki irtifa kaybına ilişkin karakteristiği kanatlardaki akış ayrılması ile kontrol edilmektedir [18]. Bu sebepten dolayı

aerodinamik toplulukları bu tarz uygulamalar için çeşitli gelişmiş türbülans modelleri geliştirmişlerdir. Bu modellerin en uygunu ve en popülerleri Menter'in 1993 yılında geliştirdiği SST k- ω türbülans modelidir. Kayma gerilmesi taşınımı formülasyonu iki farklı dünyayı birbirine bağlamaktadır. Bu türbülans modeli ile Menter duvardan uzak tamamen gelişmiş bölgelerde standart k- ϵ türbülans modelinin, duvara yakın bölgelerde ise k- ω türbülans modelinin kullanılmasını önermiştir [19]. SST k- ω türbülans modelini kullanan bilim adamları yazdıkları makalelerde bu modelin ters basınç gradyeni ve akış ayrılması karşısında göstermiş olduğu iyi davranışlardan övgüyle bahsetmişlerdir [20]. SST k- ω türbülans modeli standart k- ω türbülans modeli ile benzerlik göstermektedir.

Türbülans kinetik enerjisi (k) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - Y_k + S_k \quad (3.98)$$

Özgül enerji yitimi (ω) için taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \omega u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + P_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (3.99)$$

Denklem (3.98) ve (3.99)'da yer alan P_k terimi ortalama hız gradyenlerinden dolayı oluşan türbülans kinetik enerji (k) üretimi, P_ω özgül enerji yitimi (ω) üretimi, Γ_k ve Γ_ω terimleri sırasıyla türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω)'ne ait etkin yayılma gücü terimleridir. Y_k ve Y_ω terimleri ise sırasıyla türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω)'ne ait türbülans kaynaklı yitimlerdir. D_ω ifadesi çapraz yayılma terimi olup nasıl hesaplanacağı ilerleyen sayfalarda anlatılacaktır.

Etkin yayılma gücü terimleri Γ_k ve Γ_ω aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Gamma_k = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \quad (3.100)$$

$$\Gamma_\omega = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \quad (3.101)$$

Denklem (3.100) ve (3.101)'de geçen σ_k ve σ_ω terimleri sırasıyla türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω)'ne ilişkin türbülans Prandtl sayısıdır. Türbülans viskozitesi μ_t türbülans enerji yitimi (k) ve özgül enerji yitimi (ω) ile bağıntılı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \frac{1}{\max \left[\frac{1}{\alpha^*}, \frac{\Omega F_2}{\alpha_1 \omega} \right]} \quad (3.102)$$

$$\Omega \equiv \sqrt{2 \Omega_{ij} \Omega_{ij}} \quad (3.103)$$

$$\sigma_k = \frac{1}{F_1/\sigma_{k,1} + (1-F_1)/\sigma_{k,2}} \quad (3.104)$$

$$\sigma_\omega = \frac{1}{F_1/\sigma_{\omega,1} + (1-F_1)/\sigma_{\omega,2}} \quad (3.105)$$

Ω_{ij} terimi dönme tensörünün ortalama oranıdır.

$$\alpha^* = \alpha_\infty^* \left(\frac{\alpha_0^* + Re_t/R_k}{1 + Re_t/R_k} \right) \quad (3.106)$$

Denklem (3.106)'da yer alan parametreleri incelersek;

$$Re_t = \frac{\rho k}{\mu \omega} \quad (3.107)$$

$$Re_k = 6 \quad (3.108)$$

$$\alpha_0^* = \frac{\beta_i}{3} \quad (3.109)$$

$$\beta_i = 0,072 \quad (3.110)$$

Kaynaştırma fonksiyonu olan F_1 ve F_2 terimleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$F_1 = \tanh(\Phi_1^4) \quad (3.111)$$

$$\Phi_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right), \frac{4\rho k}{\sigma_{\omega,2} D_\omega^+ y^2} \right] \quad (3.112)$$

$$D_\omega^+ = \max \left[2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega,2}} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right] \quad (3.113)$$

$$F_2 = \tanh(\Phi_2^2) \quad (3.114)$$

$$\Phi_2 = \max \left[2 \frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2 \omega} \right] \quad (3.115)$$

y terimi bir sonraki yüzeye olan uzaklık olup D_ω^+ ifadesi çapraz yayılma teriminin pozitif kısmını belirtmektedir.

Denklem (3.98)'te geçen P_k terimi türbülans kinetik enerjisi (k)'nin üretimi olup aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

$$P_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.116)$$

$$P_k = \mu_t S^2 \quad (3.117)$$

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij} \cdot S_{ij}} \quad (3.118)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.119)$$

Görüldüğü üzere P_k teriminin hesaplanması standart k- ω türbülans modelinde olduğu gibidir. Denklem (3.99)'da geçen P_ω ifadesi özgül enerji yitimi (ω) üretimi olup denklem (3.120)'de gösterildiği şekilde ifade edilebilir.

$$P_\omega = \frac{\alpha}{v_t} P_k \quad (3.120)$$

Dikkat edilirse denklem (3.120)'deki P_ω özgül enerji yitimi(ω) üretimi ifadesinin hesaplanması standart k- ω türbülans modelindeki hesaplama şeklinden farklıdır. Standart k- ω türbülans modelinden farklı diğer bir yönü ise α_∞ teriminin hesaplanmasından ileri gelir. Hatırlayacağımız gibi standart k- ω türbülans modelinde α_∞ terimi 0.52 değerine eşit iken SST k- ω türbülans modelinde bu terim aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\alpha_\infty = F_1 \alpha_{\infty,1} + (1 - F_1) \alpha_{\infty,2} \quad (3.121)$$

$$\alpha_{\infty,1} = \frac{\beta_{i,1}}{\beta_\infty^*} - \frac{\kappa^2}{\sigma_{\omega,1} \sqrt{\beta_\infty^*}} \quad (3.122)$$

$$\alpha_{\infty,2} = \frac{\beta_{i,2}}{\beta_\infty^*} - \frac{\kappa^2}{\sigma_{\omega,2} \sqrt{\beta_\infty^*}} \quad (3.123)$$

Denklem (3.122) ve (3.123)'te geçen κ terimi 0.41 değerine sahip olup $\beta_{i,1}$ ve $\beta_{i,2}$ terimleri sırasıyla 0.075 ve 0.0828 değerlerine sahiptirler. Y_k terimi türbülans enerji yitimi (k) olup standart k- ω türbülans modeline benzerdir. Fakat temel farklılık f_β^* teriminden ileri gelir. Standart k- ω türbülans modelinde f_β^* terimi parçalı bir fonksiyon iken SST k- ω türbülans modelinde bu terim 1'e eşitti. Bu durumda Y_k terimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Y_k = \rho \beta^* k \omega \quad (3.124)$$

Y_ω terimi özgül enerji yitimi (ω)'ne ait türbülans kaynaklı yitim olup standart k- ω türbülans modeline benzer bir şekilde hesaplanır. Fakat temel farklılık β_i ve f_β terimlerinden kaynaklanır. Hatırlayacağımız gibi standart k- ω türbülans modelinde β_i bir sabit olup değeri 0.072'dir ve bunun yanında f_β terimi ise denklem (3.90) ile hesaplanmaktadır. Fakat SST k- ω türbülans modelinde f_β terimi sabit olup 1'e eşittir. Bu durumda Y_ω terimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Y_\omega = \rho \beta \omega^2 \quad (3.125)$$

$$\beta = \beta_i \left[1 - \frac{\beta_i^*}{\beta_i} \zeta^* F(M_t) \right] \quad (3.126)$$

$$\beta_i = F_1 \beta_{1,i} + (1 - F_1) \beta_{i,2} \quad (3.127)$$

Denklem (3.127)'de yer alan $\beta_{i,1}$ ve $\beta_{i,2}$ terimleri sırasıyla 0.075 ve 0.0828 değerlerine sahiptirler. Denklem (3.126)'da yer alan $F(M_t)$ parametresi sıkıştırılabilirlik fonksiyonudur ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F(M_t) = \begin{cases} 0 & M_t < M_{t0} \\ M_t^2 - M_{t0}^2 & M_t > M_{t0} \end{cases} \quad (3.128)$$

$$M_t^2 \equiv \frac{2k}{\alpha^2} \quad (3.129)$$

$$M_{t0} = 0.25 \quad (3.130)$$

$$\alpha = \sqrt{\gamma RT} \quad (3.131)$$

F_1 fonksiyonunun nasıl hesaplanacağı denklem (3.111) ile gösterilmiştir. Bununla birlikte denklem (3.126)'da yer alan β_i^* terimine ilişkin hesaplamanın nasıl yapılacağı daha önceden denklem (3.85) ile gösterilmiştir.

SST k- ω türbülans modeli hem standart k- ϵ hem de standart k- ω türbülans modeli ile ilişkilidir. Bu iki türbülans modelini birbirine kaynaştırmak için standart k- ϵ türbülans modeli k ve ω terimlerine dayanan bir denkleme dönüştürülmüştür ve bu dönüşüm neticesinde karşımıza çapraz yayılma terimi D_ω çıkmaktadır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$D_\omega = 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega,2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (3.132)$$

SST k- ω türbülans modeline ait katsayılar $\sigma_{k,1} = 1.176$, $\sigma_{\omega,1} = 2.00$, $\sigma_{k,2} = 1.00$, $\sigma_{\omega,2} = 1.168$, $\alpha_1 = 0.31$, $\beta_{i,1} = 0.075$ ve $\beta_{i,2} = 0.0828$ 'dir. Hesaplamalarda geçen α_∞^* , α_∞ , α_0 , β_∞^* , R_β , R_k , R_ω , ζ^* ve M_{t0} sabit katsayıları ise standart k- ω türbülans modelindeki değerleri ile aynı değere sahiptir.

3.3.3 Reynold Gerilmeleri Modeli (Reynolds Stress Model)

Karmaşık gerilme alanlarına ve önemli bünye kuvvetlerine sahip bir akışı modellemekte k- ϵ ve k- ω türbülans modelleri gibi iki denklemlilik türbülans modelleri yetersiz kalmaktadır. İki denklemlilik türbülans modellerine ilişkin bu gibi zafiyetler araştırmacıları daha gelişmiş bir türbülans modelini bulmaya yönlendirmiştir. Reynold gerilmeleri modeli şu an RANS tabanlı modeller içinde en karmaşık olanıdır. Bu türbülans modelinde tüm Reynold gerilmeleri türbülans kinetik enerji yitimi ile birlikte çözülmekte olup isotropic türbülans viskozitesi artık

kullanılmamaktadır. İsootropik türbülans viskozitesinin kullanılmaması Reynold gerilmeleri modelini akış çizgisi kıvrımları, dönme, gerilme oranındaki ani değişiklik gibi hususlardan kaynaklanan etkileri hesaba katan bir türbülans modeli haline getirmektedir. k- ϵ türbülans modeli kadar geçerliliğini ispatlamış bir model olmamasına ve her zaman iki denklemlı modellere karşın belirgin bir üstünlüğünün bulunmamasına rağmen Reynold gerilmelerinin isotropik olmayışından kaynaklanan özellikleri içeren akışların analizinde kullanılması şiddetle tavsiye edilmektedir. Kullanılması yönünde oldukça çok tavsiye bulunmasının yanında iki denklemlı türbülans modelleri ile karşılaştırıldığı zaman hesaplama maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve yakınsamasının oldukça zor olması Reynold gerilmeleri modelinin endüstriyel alanda yaygın bir biçimde kullanılmasını engellemektedir.

3.4 FLUENT 6.3 Programının Desteklediği Türbülans Modellerine Bakış

Bu tez çalışmasında FLUENT 6.3 CFD modülü kullanılmasıından dolayı FLUENT programının desteklediği türbülans modellerinin özelliklerini ve uygulanabilirliğini özetlemek maksadıyla izelge 3.2’de bazı bilgiler sunulmuştur.

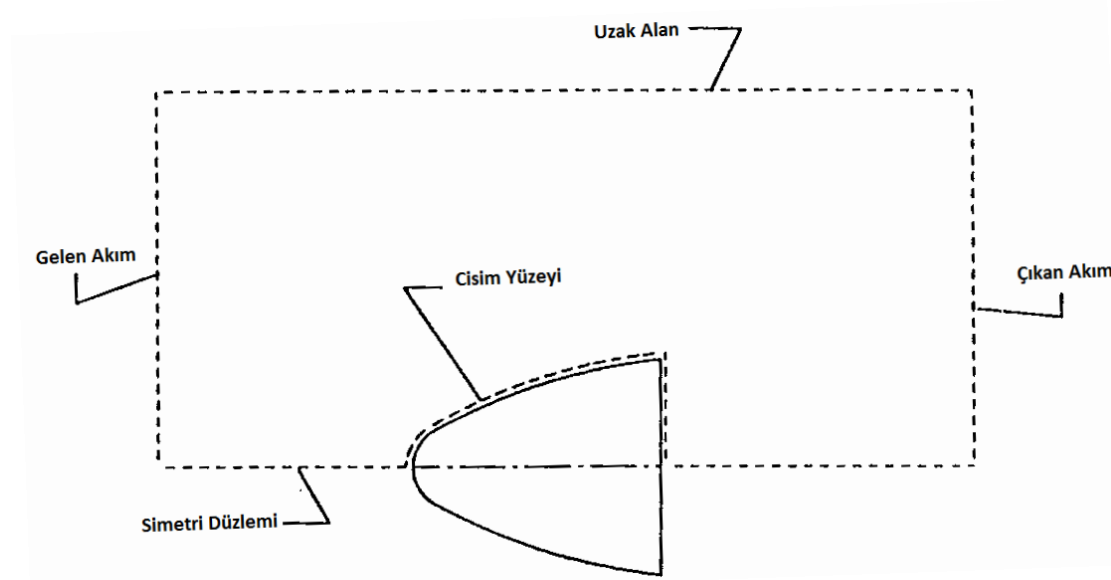
Bu çalışmada analizler için güvenilir bir biçimde yakınsaması ve daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı temel olarak gerçeklenir k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır. gerçeklenir k- ϵ türbülans modelinin iyi sonuç vermediği durumlar için ise k- ω türbülans modelleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.2: FLUENT programı tarafından desteklenen RANS tabanlı türbülans modellerinin karşılaştırılması [13].

Model	Türbülans Modelinin Gücü	Kısıtlamalar	Hesaplama Zamanı	Yakınsama
Standart k- ϵ	- Güçlü, ekonomik ve kabul edilebilir doğruluk - Endüstriyel akış ve ısı transferi simülasyonlarında kullanılan asıl model	Şiddetli basınç gradyeni, ayrılma ve dönmeye sahip akışları tahmin eder	Referans	Referans
RNG k- ϵ	- Aniden gerilen akış - Dönen akış - Düşük Reynold sayısına sahip akış		%10-15 daha fazla	Yüksek dönme sayısına sahip akışlarda yakınsama elde etmek zordur.
Gerçeklenir k- ϵ	Ayrılma, tekrar birleşme ve güçlü ters basınç gradyenine sahip akışlar	Etki alanı hem dönen hem de hareketsiz bölgeler içerir	Nispeten fazla	Duvar fonksiyonları ile iyi yakınsar
Standart k- ω	- Düşük Reynolds sayısı etkileri - Sıkıştırılabilirlik	Ters basınç gradyenine sahip akışlar	Aynı	Aynı
SST k- ω	- Havacılık alanındaki uygulamalar - Ters basınç gradyenine sahip akışlar - Kanat profili ve transonik şok dalgaları	Standart k-ϵ modeline benzer	Aynı	Aynı
RSM	Dönme, akış çizgisi kıvrımları ve gerilme oranında hızlı değişim olan akışlar		%50-60 daha fazla	Ağ yapısına karşı çok hassastır.

3.5 Sınır Koşulları

Sınır koşullarının gerektiği veya bağımlı değişkenlerin değerlerinin tüm çözümün bir parçası olarak belirlendiği, bir alanın fiziksel sınırlarını cismin yüzeyi, uzak alan, gelen akım, çıkan akım ve simetri düzlemi olarak sınıflandırabiliriz. Bahsedilen bu sınır koşulları Şekil 3.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Fiziksel sınır koşullarının gösterilmesi.

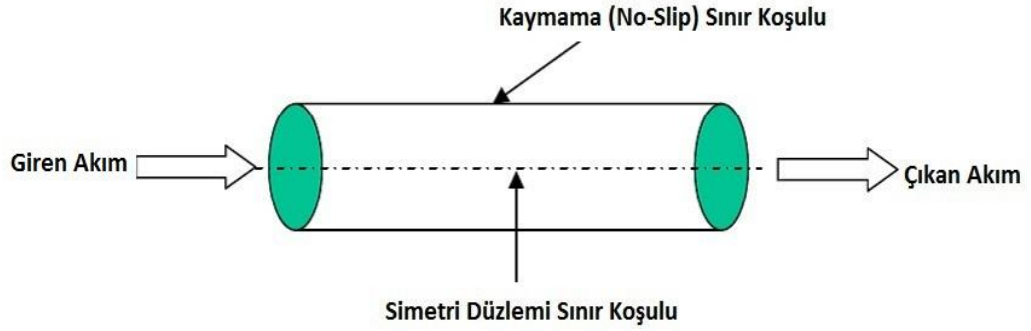
Cismin yüzeyinde kaymama sınır koşulu (No-Slip Boundary Condition) kullanılmaktadır. Cismin yüzeyi ile akışkan arasında bağıl bir hareketin bulunmadığı birçok uygulama için hız bileşeni kaymama sınır koşuluna göre sıfır olacak şekilde belirlenmektedir.

Uzak alanda sınır koşulunun belirlenmesi probleme oldukça bağlıdır. Eğer belirlenen uzak alan sınırında akış özellikleri akış alanı içindeki akımdan dolayı etkilenmiyorsa, o sınırın bulunduğu yer gerçekten de uzak alandır ve orada serbest akım (freestream) koşulları geçerlidir. Diğer yandan belirlenen sınır eğer akış alanı içerisindeki akımdan etkileniyorsa artık uzak alan olarak adlandırılmaz ve gelen akım veya çıkan akım sınırı olarak adlandırılmalıdır. Akımdan etkilenen sınırın ise gelen akım veya giden akım olarak belirlenmesi hususu ise tamamen akışın sınıra dik bileşeninin işaretine bağlıdır. Eğer hız, akış alanı içerisine doğru ise gelen akım sınırı, aksi takdirde çıkan akım sınırı olarak belirlenir.

Eğer problemin tanımlandığı alan ile cismin simetrik olması durumunda, simetri eksenini sınır olarak tanımlanabilir.

Gelen akım sınır koşulu için genellikle girişteki hız alanı tanımlanmakta ve basınç ile ilgili sınır koşulu ise sıfır gradyen olacak şekilde belirlenmektedir. Çıkan akım sınırında ise genellikle hız ve basınç değerleri bilinmemektedir. Bu sebepten dolayı Neumann tipi sınır koşulu dayatılmaktadır. Çıkışta hız gradyeninin sıfır olacak şekilde belirlenmesi birçok uygulama için uygun olabilir.

Yukarıda fiziksel sınır koşullarından kısaca bahsedilmiştir. Bu tez çalışmasında incelenen durumları genel olarak boru içindeki akışa benzetebiliriz. Yukarıda bahsedilen fiziksel sınır koşulları çerçevesinde bu tez çalışmasında ele alınan durumlara ilişkin fiziksel sınır koşulları Şekil 3.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Tez çalışmasında incelenen durumlara ilişkin belirlenen sınır koşulları.

Bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerinin, sıcaklığı 25 C (298 K) olan bir ortamda bulunduğu, bacanın atmosfere açıldığı ve bacaların giriş kısımlarında akışkana ilişkin sıcaklığın 773 K olduğu kabulü yapılmıştır. Baca Geometrilerine ilişkin sınır şartları Çizelge 3.3 ile verilmiştir. Analizi yapılan baca geometrilerinin alüminyumdan yapıldığı düşünülmüştür.

Çizelge 3.3: Baca geometrilerine ilişkin sınır şartlarının sayısal değerleri.

BACA GEOMETRİLERİ	GİRİŞ KISMINDA SINIR ŞARTLARI				ÇIKIŞ KISMINDA SINIR ŞARTLARI		YÜZEYDE SINIR ŞARTLARI			
	Hız (m/s)	Sıcaklık (K)	k (m ² /s ²)	ε (m ² /s ³)	Basınç (kPa)	Sıcaklık (K)	Malzeme Türü	Cidar Kalınlığı (mm)	k (W/m.K)	α (m ² /s)x10 ⁶
BACA GEOMETRİSİ-1	38.46	773	1.997	2.934	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-2	48.98	773	3.239	7.722	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-3	49.79	773	3.346	8.245	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-4	55.98	773	4.231	13.179	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-5	64.63	773	5.639	23.404	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-6	46.37	773	2.902	6.199	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-7	55.77	773	4.198	12.972	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-8	51.56	773	3.588	9.483	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-9	38.46	773	1.997	2.934	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-10	38.46	773	1.997	2.934	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-11	38.46	773	1.997	2.934	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1
BACA GEOMETRİSİ-12	38.46	773	1.997	2.934	101.325	298	Alüminyum	2	202.4	97.1

3.6 Duvar Cıdarı

Akış alanında duvarların varlığı türbülanslı akışları oldukça etkilemektedir. Duvara çok yakın yerlerde viskoz sönümlenme türbülans dalgalanmalarını azaltmaktadır. Yüzeyden uzaklaştıkça ise yüksek hız gradyeni nedeniyle türbülans kinetik enerjisi oluşumu hızla artış gösterir. Buna bağlı olarak duvara yakın bölgelerin sayısal olarak yeterli derecede hassasiyetle çözülmesi oldukça önemlidir. Duvarlar aynı zamanda girdaplılığın ve türbülansın temel kaynaklarıdır.

Duvara doğru yaklaşıldıkça viskoz kuvvetler atalet kuvvetlerine eşit hatta daha büyük değerlere ulaşmaktadırlar. Bu bölgedeki akış viskoz kuvvetlerden oldukça etkilenirken serbest akım parametrelerinden bağımsızdır. Ortalama hızlar duvardan uzaklık, kinematik viskozite ve duvar kayma gerilmesine bağlıdır.

Duvar cıdarında laminar ve türbülanslı hareketten dolayı oluşan toplam gerilmeler duvar kayma gerilmesine eşittir. Bu bağıntıyı,

$$U^+ = f(y^+) \quad (3.133)$$

şeklinde ifade etmek mümkündür. Burada U^+ , duvar cıdarındaki boyutsuz hız değerini, y^+ ise duvardan boyutsuz uzaklığı temsil etmektedir. Burada U^+ , ve y^+ sırasıyla,

$$U^+ = \frac{U}{u_\tau} \quad (3.134)$$

$$y^+ = \frac{\rho u_\tau y}{\mu} \quad (3.135)$$

şeklinde verilmektedir. u_τ , bu bölgede kullanılan ve boyut analizi ile elde edilmiş olan sürtünme hızıdır.

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (3.136)$$

Denklem (3.136)'da geçen τ_w duvar kayma gerilmesi terimi, yüzey sürtünme katsayısı C_f ile hesaplanabilir.

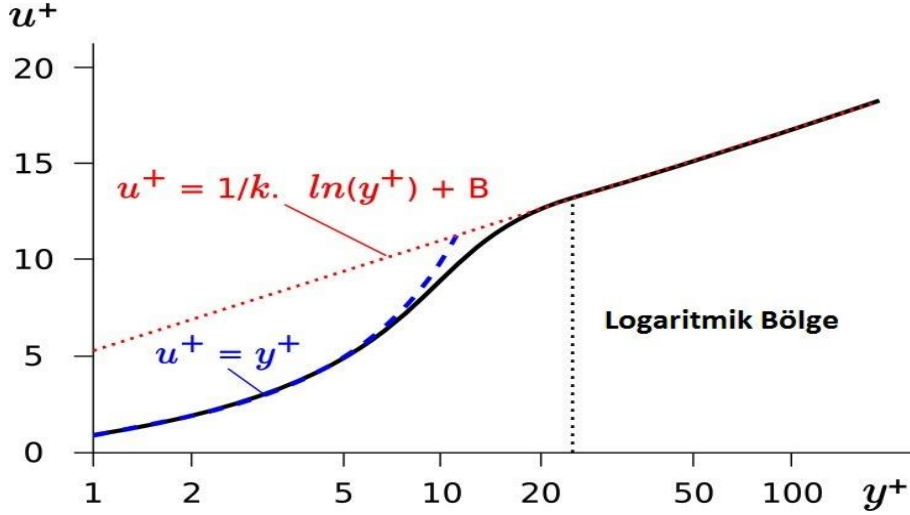
$$\tau_w = \frac{1}{2} \cdot C_f \cdot \rho \cdot U^2 \quad (3.137)$$

Denklem (3.137)'de geçen C_f teriminin yaklaşık olarak tahmini için ampirik formüller kullanılmaktadır.

$$C_f = 0.079 \cdot Re^{-0.25} \quad (3.138)$$

$$C_f = 0.058 \cdot Re^{-0.2} \quad (3.139)$$

Denklem (3.138) ve denklem (3.139) ile verilen ve yüzey sürtünme katsayısı C_f 'nin yaklaşık olarak hesaplanmasında kullanılan formüller sırasıyla iç ve dış akışlar içindir. Şekil 3.5 ile türbülanslı sınır tabakaya ilişkin bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Türbülanslı sınır tabaka.

Denklem (3.133) ile verilen bağıntı “Duvar kuralı” olarak bilinmektedir. Türbülanslı bir sınır tabaka temel olarak iç ve dış katmanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İç katman ise, viskoz alt tabaka, logaritmik tabaka ve bu iki tabakayı birbirine bağlayan tampon tabaka olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Yaklaşık olarak $y^+ \leq 5$ olan aralığı kapsayan viskoz alt tabaka, son derece ince bir bölgedir. Bu tabakada $f(y^+) = y^+$ olmakta ve dolayısıyla $U^+ = y^+$ eşitliği geçerli olmaktadır. Logaritmik tabaka ise tamamen türbülansın ve neden olduğu gerilmelerin etkili olduğu bölgedir. Deneysel çalışmalar bu bölgede,

$$U^+ = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + B \quad (3.140)$$

eşitliğinin geçerli olduğuna işaret etmektedir. Bu eşitlik logaritmik duvar fonksiyonu olarak bilinmektedir. Denklem (3.140) ile verilen eşitlikteki B sabiti pürüzsüz yüzeyler için yaklaşık olarak 5'tir. κ ile gösterile von Karman sabiti ise yaklaşık olarak 0.41 değerine sahiptir.

Logaritmik tabaka yaklaşık olarak $30 \leq y^+ \leq 500$ aralığında yer almaktadır. $5 \leq y^+ \leq 30$ aralığında yer alan tampon bölge ise hem türbülansın hem de viskoz kuvvetleri etkisi altındadır. Buna bağlı olarak bu bölgede türbülanslı akış zaman zaman laminar akışa dönmekte veya laminar akış türbülanslı akışa dönmektedir.

Türbölans modellerinin çoğunluğu tamamıyla türbölanslı akışlar için geliştirilmiş olduklarından, duvar kenarındaki sınır koşulları verilirken hassas bir şekilde çalışılması gerekmektedir. Örnek olarak, duvar kenarındaki ilk ağ örgüsünün viskoz alt tabakada olması ile logaritmik bölgede olması durumunda türbölans değişkenleri benzer değildir.

4. SAYISAL HESAPLAMA

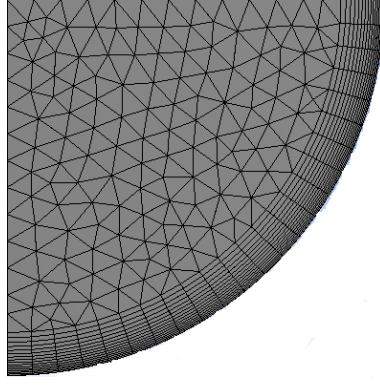
Oluşturulan baca geometrilerinde akış yapısı sayısal hesaplama tekniklerinin kullanılması ile analiz edilmiştir. Herhangi bir deney düzeneği ile veri elde edilmemiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD)'ne ilişkin simülasyonlar ve veriler ticari bir program olan FLUENT 6.3 CFD programı kullanılarak elde edilmiştir. FLUENT 6.3 programı kullanılarak analiz edilen geometriler önce Solidworks CAD programı ile çizilmiş olup daha sonra bu geometrilere ilişkin ağ yapıları ANSYS Workbench 14.5 programının ağ yapısı oluşturma modülünde FLUENT 6.3 CFD programına uygun olacak şekilde oluşturulmuştur.

4.1 Ağ Yapısı ve Duyarlılık Analizi

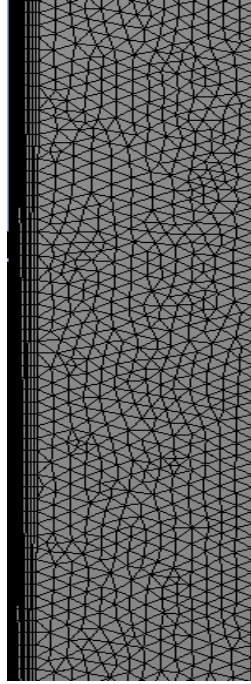
FLUENT 6.3 CFD programı ile analiz edilecek baca geometrilerinin çizimi Solidworks programı ile çizilmiş olup daha sonra bu geometriler ANSYS Workbench 14.5 programına ihraç edilmiş ve bu program dahilinde ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerinin simetrik olmasından dolayı baca geometrilerinin $1/4$ 'ü çizilmiş ve ağ yapısı buna göre oluşturulmuştur. Dairesel kesite sahip Baca Geometrisi-1, Şekil 4.1 ve Baca Geometrisi-1'e ilişkin oluşturulan ağ yapısı Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Baca Geometrisi-1.



Şekil 4.2: Baca Geometrisi-1'e ilişkin ağ yapısının en kesit görünüşü.



Şekil 4.3: Baca Geometrisi-1'e ilişkin ağ yapısının boy kesit görünüşü.

Bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerinin oluşturulması esnasında dört yüzlü (tetrahedron) ağ elemanları kullanılmıştır. İlk ağ elemanının duvardan olan uzaklığının hesaplanabilmesi amacıyla y^+ değeri ilk etapta 70 olarak seçilmiştir. İlk ağ elemanının duvardan olan uzaklığının bulunması işleminden sonra büyüme oranı 1.1 olacak şekilde duvara yakın bölgelere yirmi adet katman çizilmiştir. Böylelikle duvara yakın bölgelerin daha hassas bir şekilde hesaplanabilmesi ve incelenebilmesi amacıyla ağ yapısı duvara yakın bölgelerde sıklaştırılmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinin ağ örgüsü yoğunluğundan bağımsız olduğunun tespiti türbülans modeli performansının belirlenmesinde oldukça etkin bir rol üstlenmektedir. Yetersiz ağ örgüsü yoğunluğunun etkisi kullanılan türbülans modeli hakkında yanlış yorumlara sebebiyet verebilmektedir. Ağ örgüsünün

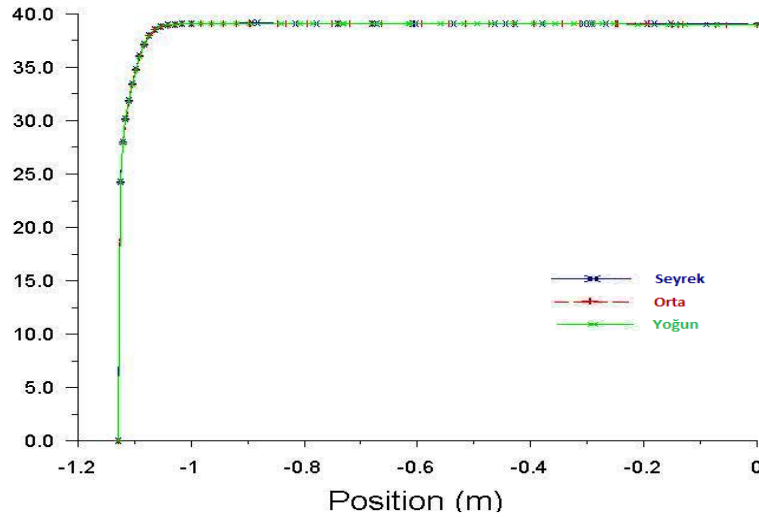
gerekenden fazla yoğun olması hususu da yetersiz ağ örgüsü yoğunluğunun etkisine benzer etkiler gösterebilmekte ve kullanılan türbülans modelinin yanlış yorumlanmasının yanında simüle edilen problemin karmaşıklığına göre değişen, oldukça ciddi zaman kayıplarına sebebiyet verebilmektedir.

Ağ örgüsü yoğunluğundan bağımsız çözümün bulunabilmesi için öncelikli olarak üç farklı ağ örgüsü oluşturulmuş ve daha sonra baca geometrisinin farklı bölgelerinden alınan kesitlerde hız ve sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması neticesinde bir ağ örgüsü yoğunluğu seçilmiştir. Farklı yapıdaki ağ örgülerinin oluşturulması esnasında farklı iki ağ örgüsünün sahip oldukları eleman sayıları arasındaki oran yaklaşık 1.5 olacak şekilde belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında ağ yoğunluğundan bağımsız çözümün elde edilmesi maksadıyla oluşturulan üç farklı ağ yapısına ilişkin özellikler Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

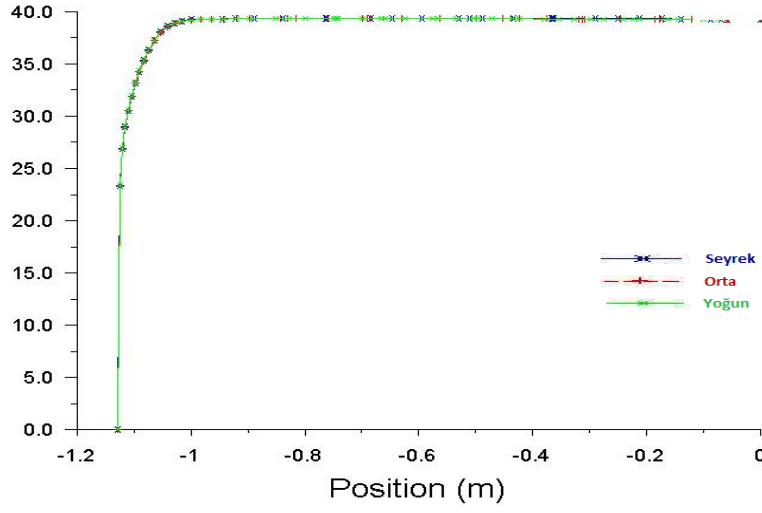
Çizelge 4.1: Farklı ağ örgüsü yoğunlukları.

AĞ ÖRGÜSÜ YOĞUNLUĞU	ELEMAN SAYISI	DÜĞÜM NOKTASI SAYISI	YAN ORAN
SEYREK	200909	65490	5.57
ORTA	299926	105452	4.84
SIKI	450429	150868	4.01

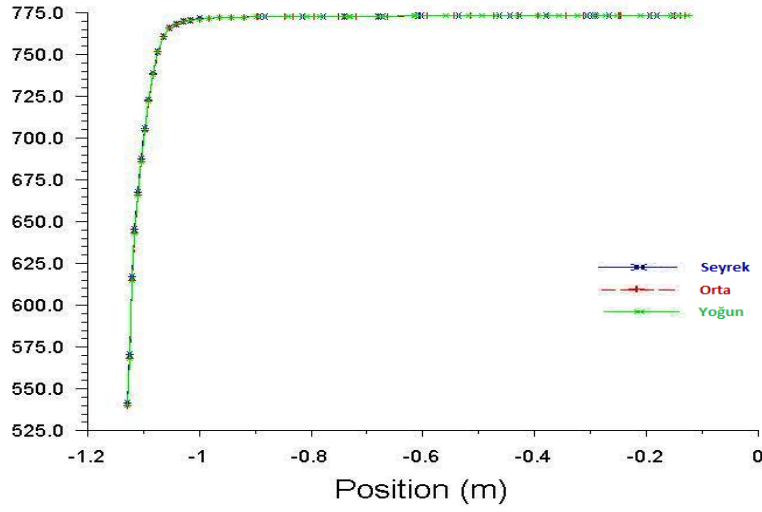
Ağ örgüsü yoğunluğunun etkisini inceleyebilmek maksadıyla dört metre ve altı metre yükseklikte olacak şekilde iki farklı kesit alınmış ve bu kesitte hız ve sıcaklık değerleri grafiksel olarak incelenmiştir. Farklı yoğunluklardaki ağ yapılarının kullanılması neticesinde elde edilen sonuçlara ilişkin grafikler Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ile verilmiştir.



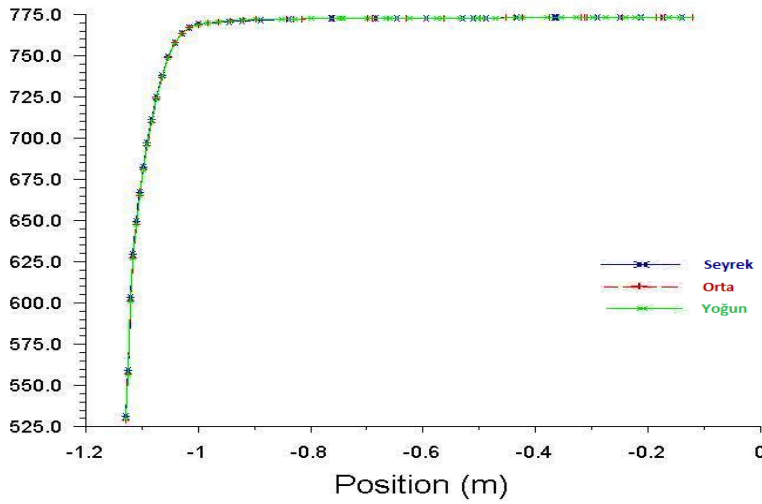
Şekil 4.4a: y=4 metre yükseklikteki kesitte y-yönündeki hızların x simetri eksenini boyuncası dağılımı (m/s).



Şekil 4.4b: y=6 metre yükseklikteki kesitte y-yönündeki hızların x simetri eksenini boyunda dağılımı (m/s).



Şekil 4.5a: y=4 metre yükseklikteki kesitte sıcaklıkların x simetri eksenini boyunda dağılımı (K).



Şekil 4.5b: y=6 metre yükseklikteki kesitte sıcaklıkların x simetri eksenini boyunda dağılımı (K).

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ile verilen değişik kesitlerdeki sıcaklık ve hız değişimleri incelendiğinde oluşturulan üç farklı yoğunluktaki ağ örgüsüne ilişkin sonuçların aynı olduğu ve örtüştüğü görülmektedir. Aşırı yoğunluktaki ağ yapılarının gereksiz olarak kullanılmasından sakınmak maksadıyla seyrek yoğunluğa sahip ağ yapısı tercih edilmiş olup, bu tez çalışması kapsamında seyrek ağ yapısının özelliklerine benzer ağ yapıları oluşturulmuştur.

4.2 Temel Kavramlar

4.2.1 CFD hesaplama programı

Çeşitli akış analizlerini yapabilmek maksadıyla ticari kullanım lisansına sahip çeşitli CFD programları bulunmaktadır. Bu tezde yapılan CFD analizleri FLUENT 6.3 CFD programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizlerde akışın daimi olması durumu incelenmiştir.

4.2.1.1 Ayırıklaştırma şeması

İki komşu hacim elemanının arasında kalan yüzeye ait değerlerin hücre merkezlerindeki değerlerin interpolasyonu ile hesaplanması gerektiği zaman ayırıklaştırma şeması kullanılmaktadır. Çizelge 4.1'de FLUENT 6.3 programı tarafından desteklenen RANS tabanlı türbülans modelleri için bazı ayırıklaştırma şemaları listelenmiştir.

Çizelge 4.2: FLUENT CFD programı tarafından desteklenen RANS tabanlı türbülans modelleri için ayırıklaştırma şemaları [13].

Ayırıklaştırma Şeması	Özellik
Birinci mertebe ileriye doğru	Bir yüzün değerini akış yönündeki hücrenin merkezindeki değere eşit olarak kabul eder.
İkinci mertebe ileriye doğru	Bir yüzün değeri hücre merkezindeki değerin Taylor seri açılımı ve hücreler arasındaki gradyan ile hesaplanmaktadır.
Power law	Konveksiyonun hakim olduğu akışlarda bu şema birinci mertebe ayırıklaştırma şemasına eşittir.
QUICK	Akış yönüne göre hizalanmış yapısal gridler için daha kesin sonuçlar verebilir. Yapısal olmayan veya hibrid gridler için ikinci mertebe ayırıklaştırma şemasına eşittir.
Üçüncü mertebe MUSCL	Tüm ağ yapıları için kullanılabilir ve karmaşık üç boyutlu akışlar için doğruluğu artırma potansiyeline sahiptir.

Birinci merteye ayırıklaştırma şemasının karmaşık akışlarda sayısal yayılmayı arttırdığı bilindiği için bu ayırıklaştırma şeması daha çok ilkel akış simülasyonlarında kullanılmaktadır. Fakat ikinci merteye ayırıklaştırma şeması ile yakınsama problemleri yaşandığı takdirde birinci merteye ayırıklaştırma şeması kullanılabilir [21]. Power law ayırıklaştırma şeması ile elde edilen doğruluk birinci merteye ayırıklaştırma şeması ile elde edilen doğruluğa eşit olmakla birlikte QUICK ayırıklaştırma şeması ile elde edilen doğruluğun ikinci merteye ayırıklaştırma şeması ile elde edilen doğruluktan önemli bir farkı bulunmamaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında ikinci merteye ayırıklaştırma şeması kullanılmıştır.

4.2.1.2 Basınç interpolasyon şeması

FLUENT programında Standart, PRESTO!, Linear, İkinci Merteye ve Bünye Kuvvetleri Ağırlıklı olmak üzere beş farklı basınç interpolasyon şeması bulunmaktadır.

Varsayılan şema olan Standard basınç interpolasyon şeması basıncın hücre merkezleri arasında yumuşak bir şekilde değişmesi durumunda iyi sonuçlar vermektedir. Bünye Kuvvetleri Ağırlıklı basınç interpolasyon şemasının ise büyük bünye kuvvetlerinin bulunduğu durumlarda kullanılması tavsiye edilmektedir. Linear basınç interpolasyon şeması ise bir yüzdeki basıncı komşu hücrelerdeki basınç değerlerinin ortalaması olarak hesaplamaktadır. İkinci Merteye basınç interpolasyon şeması Linear ve Standart basınç interpolasyon şemalarının üzerine bazı yenilikler getirmiştir. Fakat hesaplamaların başlangıcında kullanılması veya kifayetsiz bir ağ yapısı ile kullanılması bazı olumsuz durumlara sebebiyet verebilir. İkinci Merteye basınç interpolasyon şemasının sıkıştırılabilir akışlarda kullanılması tavsiye edilebilir fakat gözenekli veya delikli yapıların analizinde kullanılmamalıdır. PRESTO! Basınç interpolasyon şeması her türlü ağ yapısı için elverişlidir.

Bu tez çalışmasında yapılan analizlerde Standart basınç interpolasyon şeması kullanılmıştır.

4.2.1.3 Basınç-Hız bağlantısı

Bir akışın sıkıştırılamaz olması durumunda basınç ve hız alanları, momentum ve süreklilik denklemlerini kullanan basınç ve hız arasındaki bir bağıntı ile çözülür [22]. Bu çalışma için FLUENT 6.3 programında seçilebilecek üç algoritma bulunmaktadır: SIMPLE, SIMPLEC ve PISO.

Karmaşık olmayan akışlarda daha hızlı bir yakınsamanın sağlanması SIMPLEC basınç-hız bağlantısının seçilmesiyle elde edilebilir. Fakat türbülansın hakim olduğu

akışlarda SIMPLE ve SIMPLEC basınç-hız bağlantısının kullanılmasıyla benzer yakınsama oranları elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında SIMPLE basınç-hız bağlantısı kullanılmıştır.

4.2.2 Yakın duvar uygulamaları

Duvarların varlığı türbülanslı akışın performansını önemli bir biçimde etkilemektedir. Yakın duvar bölgesinde ortalama hız alanı, viskoz akışa ilişkin hızın tam duvar yüzeyinde sıfır olmasından etkilenmektedir. Duvara yakın bölgelerdeki hız alanlarının içinde bulunan yüksek gradyenlerden kaynaklanan türbülans kinetik enerjisi üretimi gelişmiş türbülansa sebep olmaktadır. Türbülans modellerinin türbülanslı çekirdek akışları için dizayn edilmesinden dolayı duvarla sınırlandırılmış türbülanslı akışların başarılı tahminleri duvara yakın bölgelerde akışın tam olarak temsil edilmesi üzerine kurulmuştur [13].

Çeşitli deneyler yakın duvar bölgesinin üç katmana ayrılabilceğini göstermiştir. Bu katmanlar:

- Viskoz katman: viskozitenin hakim olduğu katman.
- Tampon katman: viskozite ve türbülansın eşit derecede öneme sahip olduğu katman.
- Tamamen türbülanslı katman: türbülansın hakim olduğu katman.

Duvara yakın bölgeleri modellemek için FLUENT programında iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar duvar fonksiyonları ve duvara yakın bölgelerin modellenmesidir. Duvar fonksiyonları viskoziteden etkilenen iç bölge ile tamamen türbülanslı bölgeyi bağlamak için yarı ampirik formülleri kullanmaktadır. Duvara yakın bölgelerin modellenmesi yaklaşımında ise viskoziteden etkilenen bölgeler değiştirilmiş türbülans modelleri ile çözülmektedir. Yakın duvar uygulamaları Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3: FLUENT programı tarafından desteklenen yakın duvar uygulamaları [23].

Uygulama	Özellik	Kısıtlamalar
Standart Duvar Fonksiyonu	• Lokal denge kabulü (Üretim=Yitim) • Güçlü bünye kuvvetleri	• Düşük Reynolds sayısı • Şiddetli basınç gradyanı
Dengesizlik Duvar Fonksiyonu	• Kısmen dengesizlikten kaynaklı etkileri dikkate alır • Ayrışmaların ve tekrar birleşmelerin olduğu karmaşık akışlarda kullanılır.	• Akıştaki ayrışmalar
Geliştirilmiş Duvar Fonksiyonu	• Viskoziteden etkilenmiş duvara yakın bölgeler tamamen çözülür.	

Gelişmiş duvar fonksiyonunun kullanılabilmesi için çok iyi ve sıkı ağ yapısı gerektiğinden dolayı analiz edilecek cismin ağ yapısını oluştururken büyük efor sarf etmek gerekmektedir. Bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerinin ve akışın çok karmaşık olmamasından dolayı gerçekleştirir k- ϵ türbülans modeli standart duvar fonksiyonu ile birlikte kullanılmıştır.

4.3 Baca Girişinde Gaz Akışına Ait Parametrelere İlişkin Sayısal Değerlerin Belirlenmesi

Bir modelde, giriş kısmında akışa ilişkin parametrelerin yapılacak olan CFD analizine göre uygun bir şekilde belirlenmesi ve bu doğrultuda FLUENT 6.3 programında karşımıza çıkan çeşitli parametrelere modele uygun değerlerin atanması program tarafından yapılacak olan hesaplamalar ve hesaplamalar neticesinde elde edeceğimiz sonucun mantıklı ve gerçeğe yakın olması açısından hayati derecede öneme sahiptir. Günümüzde teknoloji ile birlikte gelişen süper bilgisayarlara rağmen CFD paket programları tarafından yapılacak olan analizlerin zorluğu ve karmaşıklığı ile birlikte bu hesaplamalar için gerekli olan zaman dikkate alındığında başarısız olunacak bir simülasyon neticesinde kaybedilen zaman ve para her ne kadar başarısız olunacak bir deney neticesinde kaybedilecek zaman ve para kadar çok olmasa da oldukça yüksek seviyelere ulaşabilir.

Baca geometrilerinin giriş kısmındaki akışa ilişkin verilerin başında akış hızının belirlenmesi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında akış hızının belirlenmesine etki eden en önemli parametrelerin başında hiç kuşkusuz sıcak egzoz gazının kütle

debisi gelmektedir. Kütlesel debinin belirlenmesi sırasında LM 2500 gaz türbinine ilişkin egzoz gazı çıkış debisi dikkate alınmıştır. Bu çerçevede kütlesel debi 70.3 kg/s olarak hesaplanmıştır. Sıcak egzoz gazının kütlesel debisinin sabit tutulması neticesinde değişen akışın girişteki hızı her geometri için ayrı ayrı hesaplanmış ve bu şekilde veri girişi yapılmıştır.

Daha önceden yapılmış araştırmalar, deneyler ve tez çalışmalarının incelenmesi neticesinde LM 2500 gaz türbininden çıkıp bacaya giren egzoz gazının sıcaklığı 773 K olarak kabul edilmiştir [13][24-26].

Baca geometrilerinin giriş kısmında akışa ait parametrelerin belirlenmesi esnasında, akışa ilişkin türbülans parametreleri “*Türbülans şiddeti*” ve “*Hidrolik çap*” olacak şekilde seçilmiş olup hidrolik çap değeri her bir model için ayrı ayrı hesaplanmış ve bu şekilde veri girişi yapılmıştır. FLUENT 6.3 programı dahilinde türbülans şiddetine ilişkin varsayılan değer %10’dur. Türbülans şiddetinin, analizi yapılan baca geometrilerine ilişkin gerçek modellerin oluşturulup yapılacak deneyler neticesinde belirlenmesi gibi bir durum söz konusu olmadığı için türbülans şiddetine ilişkin değer ampirik bir formül olan denklem 4.1 ile hesaplanmış ve yapılan hesaplamalar neticesinde %3 olarak kabul edilmiştir. Tamamen türbülanslı akışlar için türbülans şiddeti;

$$TI = 0.16 * (Re_{dh})^{-1/8} \quad (4.1)$$

olarak ampirik bir şekilde hesaplanabilir.

Baca içerisindeki sıcak egzoz gazına ilişkin özgül ısı (C_p), ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite (μ) 773 K için sırasıyla 1.090 kJ/(kg.K), 0.05509 W/m.K ve 3.55×10^{-5} kg/m.s olacak şekilde kabul edilmiştir. Önemli bir parametre olan sıcak gaz yoğunluğu (ρ) ise 773 K sıcaklığındaki egzoz gazı için ideal gaz yasasına dayanılarak hesaplanmıştır.

5. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZLERİ

Bu bölümde önceden hazırlanmış baca geometrilerine ilişkin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar incelenmiştir. FLUENT 6.3 programı kullanılarak analizi yapılan on iki adet baca geometrisinin çıkış kısmında basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ile birlikte x ve z simetri eksenleri boyunca basınç, hız ve sıcaklık dağılımları incelenmiş ve benzer baca geometrileri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

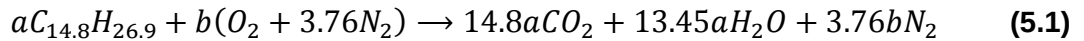
5.1 Sıcak Akış Özellikleri

Günümüzde dizel ana makine sevk sistemlerinde olduğu gibi LM 2500 gaz türbinlerinde de F-76 motorin kullanılmaktadır. F-76 motorinin kimyasal formülü $C_{14.8}H_{26.9}$ 'dur. F-76 motorinin yanma işlemi neticesinde yanma sonu ürünü olarak CO_2 ve su buharı gibi gazlar ortaya çıkmaktadır. CFD analizlerinde kuru havanın kullanılmasından dolayı akış özelliklerinin ne kadar etkileneceği hususunun incelenmesi ihtiyacı doğmuştur.

Yapılan analizleri basitleştirmek maksadıyla bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller:

- İdeal tam yanmanın olduğu,
- Bahsedilen tüm gazların ideal gaz olduğu,
- Hiçbir enerji kaybının olmadığıdır.

Kimyasal formülü $C_{14.8}H_{26.9}$ olan F-76 motorinin ideal tam yanma denklemi;



Denklem (5.1)'de geçen a ve b terimleri $kmol$ cinsinden katsayılarıdır. Bahsi geçen gazlara ilişkin termodinamik özellikler Çizelge 5.1 ile verilmiştir.

Çizelge 5.1: Gazların termodinamik özellikleri.

	Moleküler Ağırlık	$\rho @ T_h = 773 K$	$\rho @ T_h = 773 K$	R gaz sabiti @
	kg/kmol	kg/m ³	kmol/m ³	$T_h = 773 K$ kJ/kg.K
CO_2	44.01	0.6939	0.01577	0.189
O_2	32	0.5045	0.01577	0.260
N_2	28.013	0.4417	0.01577	0.297
H_2O	18.015	0.2842	0.01577	0.4615

Önceden bahsi geçen a ve b katsayılarını bulmak için iki adet denkleme ihtiyacımız var. İhtiyacımız olan denklemlerden birincisi ideal tam yanma denklemindeki oksijen dengesinden elde edilir ve denklem (5.2)'de gösterildiği şekildedir.

$$b = 21.525a \quad (5.2)$$

İhtiyacımız olan denklemlerden ikincisi yanma sonu ürünlerinin hacimsel dengesinden elde edilir. Hatırlarsak baca geometrilerinin giriş koşullarında egzoz gazımızın kütleli debisini 70.3 kg/s olarak belirlemiştik. Kütleli debinin akışkanın o sıcaklıktaki yoğunluğuna oranlanması neticesinde hacimsel debi elde edilir. Yapılan bu analiz için hacimsel debimiz $153.83 \text{ m}^3/\text{s}$ ' dir. Bu çerçevede yanma sonu ürünlerin hacimsel dengesine ilişkin denklem;

$$\frac{14.8 a}{\rho_{CO_2,h}} + \frac{13.45 a}{\rho_{H_2O,h}} + \frac{3.76 b}{\rho_{N_2,h}} = 153.83 \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (5.3)$$

şeklinde. Denklem (5.2) ve (5.3)'ün birlikte çözülmesi neticesinde a ve b katsayıları kmol cinsinden bulunur. Yapılan hesaplamalar neticesinde bulunan a ve b katsayılarına ilişkin değerler Çizelge 5.2'de verilmiştir. Yanma sonu ürünlerinin bulunma oranları Çizelge 5.3'te, 773 K sıcaklıktaki sıcak hava ile sıcak kuru hava akışkanlarına ilişkin parametrelerin karşılaştırılması ise Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2: Katsayıların değerleri.

a (kmol)	b (kmol)
0.02221	0.4783

Çizelge 5.3: Yanma sonu ürünlerin bulunma oranları.

	CO_2	H_2O	N_2
Mol Bazında	%13.55	%12.32	%74.13

Çizelge 5.4: 1 atm. basınç altında 773 K sıcaklıkta sıcak kuru hava ile sıcak hava parametrelerinin karşılaştırılması.

	Moleküler Ağırlık kg/km ol	C_p kJ/kg.K	ρ (kg/m ³)	Kütleli Debi kg/s
Hava	28.6	1.12	0.451	69.38
Kuru Hava	28.97	1.08	0.457	70.3
Hata	%1.27	%3.29	%1.31	%1.31

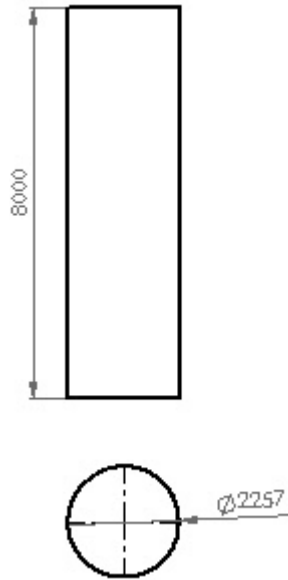
Çizelge 5.4'te verilen bilgiler doğrultusunda, yapılan analizlerde hava yerine kuru havanın kullanılması neticesinde hata oranı azami %3.29 olmaktadır. Bu küçük hata oranı yapılan analizlerde havanın kuru hava olarak kabul edilebileceği hususunu desteklemektedir.

5.2 Baca Geometrisi-1

Baca Geometrisi-1 dairesel kesitli baca geometrisi olup çapı 2257 mm ve boyu 8000 mm'dir. Baca Geometrisi-1, Şekil 5.1 ile gösterilmiş olup Baca Geometrisi-1'e ilişkin ölçülendirme Şekil 5.2 ile verilmiştir.

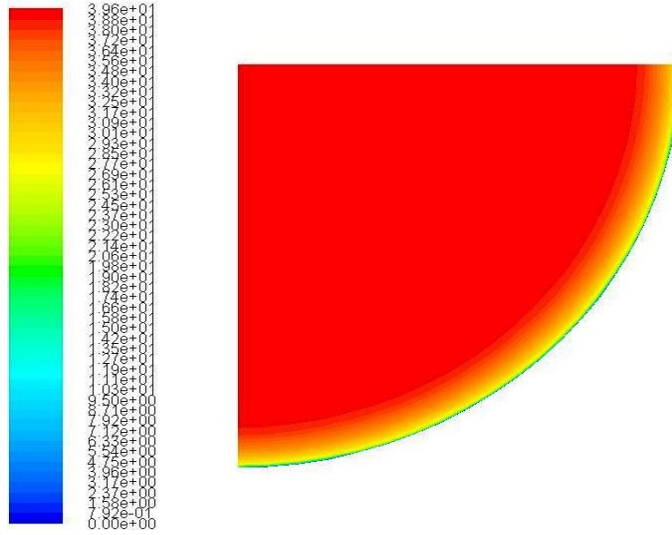


Şekil 5.1: Baca Geometrisi-1.



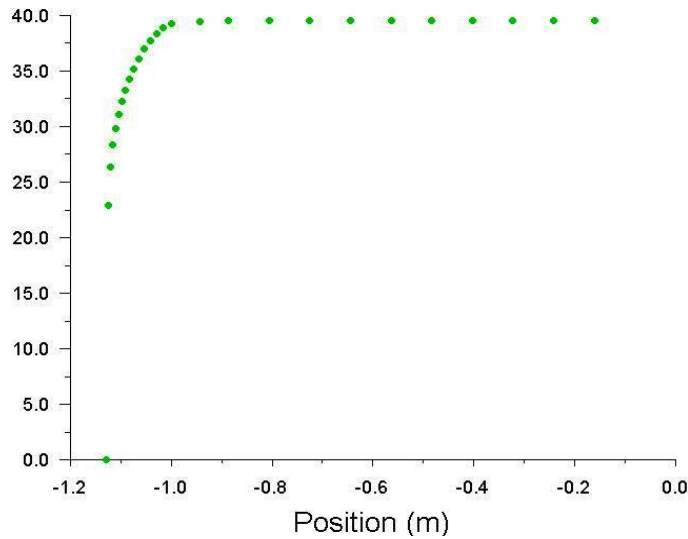
Şekil 5.2: Baca Geometrisi-1'e ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-1'in giriş kısmında akış hızı 38.45 m/s olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.3: Baca Geometrisi-1'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

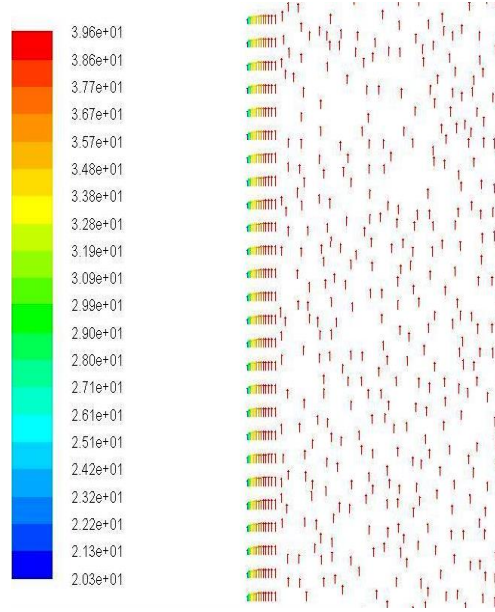
Şekil 5.3 ile verilen Baca Geometrisi-1'in çıkış kısmına ilişkin y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı incelendiği zaman baca çıkış kesitinin büyük çoğunluğunda egzoz gazının en yüksek hız değerine sahip olduğunu görürüz. Şekil 5.4 ile Baca Geometrisi-1'in çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.4: Baca Geometrisi-1'in çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.4 incelendiği zaman baca çıkış kesitinin sahip olduğu alan göz önüne alınırsa, çıkış kesitinin yaklaşık %70'inin azami hız değerine sahip egzoz gazı tarafından kaplandığını ve diğer %30'luk kesit alanında egzoz gazının sahip olduğu hız değerlerinin belirli bir seviyenin altına düştüğünü görürüz.

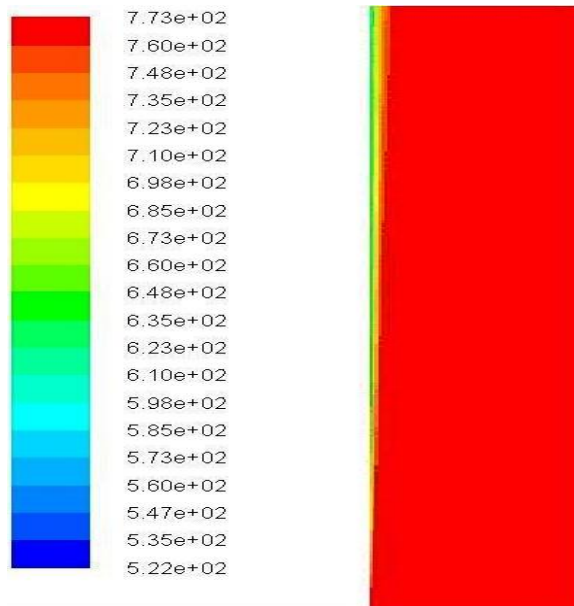
Baca Geometrisi-1'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri Şekil 5.5 ile verilmiştir.



Şekil 5.5: Baca Geometrisi-1'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

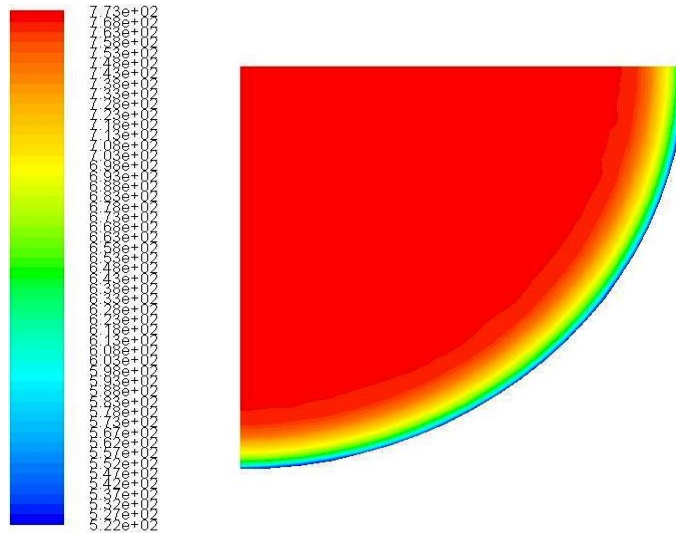
Şekil 5.5 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-1'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

Baca Geometrisi-1'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı Şekil 5.6 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.6: Baca Geometrisi-1'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Baca içerisindeki sıcaklık dağılımından ziyade bizim için baca çıkış kısmındaki sıcaklık dağılımı çok daha önemlidir. Baca Geometrisi-1'e ait çıkış kısmı sıcaklık dağılımı Şekil 5.7 ile, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca sıcaklık dağılımı Şekil 5.8 ile verilmiştir.



Position (m)	Value (Y-axis)
-1.15	525.0
-1.15	550.0
-1.10	595.0
-1.10	620.0
-1.08	640.0
-1.08	655.0
-1.05	670.0
-1.05	680.0
-1.02	695.0
-1.00	705.0
-0.98	715.0
-0.95	725.0
-0.92	735.0
-0.90	745.0
-0.88	755.0
-0.85	765.0
-0.80	770.0
-0.75	772.0
-0.70	773.0
-0.65	774.0
-0.60	775.0
-0.55	775.0
-0.50	775.0
-0.45	775.0
-0.40	775.0
-0.35	775.0
-0.30	775.0
-0.25	775.0
-0.20	775.0
-0.15	775.0
-0.10	775.0
-0.05	775.0
0.00	775.0

Şekil 5.7 ve 5.8 birlikte incelendiği zaman çıkış kısmında merkezden itibaren yaklaşık 0.85 R mesafesine kadar azami sıcaklık değerlerinin hakim olduğu görülmektedir. Azami sıcaklığın hakim olduğu kesit yaklaşık toplam çıkış kesitinin %75'ini oluşturmaktadır. Fakat çıkışta en soğuk bölgeleri oluşturan çeper bölümleri ile en sıcak bölgeyi oluşturan çekirdek bölge arasında yaklaşık 250 C kadar bir

Baca Geometrisi-1'e ilişkin çıkış toplam basınç dağılımı ve çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.9 ve 5.10 ile verilmiştir.

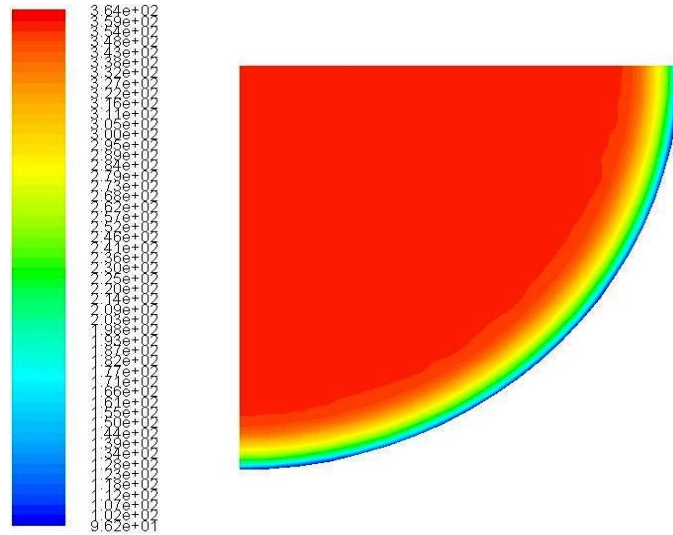
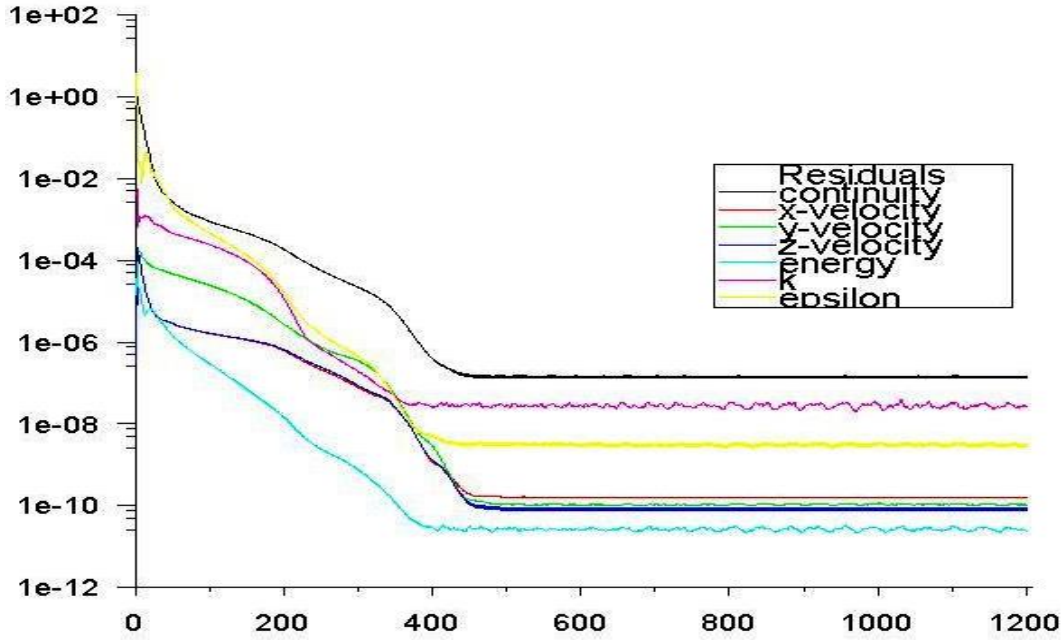


Figure 1 is a scatter plot showing the relationship between Position (m) on the x-axis and an unlabeled y-axis. The x-axis ranges from -1.2 to 0.0, and the y-axis ranges from 50.0 to 400.0. The data points show a sharp increase in the y-value as the x-value increases from -1.2 to -1.0, after which the y-value plateaus around 350.0.

Baca Geometrisi-1 için geometriden kaynaklı toplam basınç düşmesi 123 Pa civarındadır. Şekil 5.7 ile Şekil 5.9 ve Şekil 5.8 ile Şekil 5.10 karşılaştırıldığı zaman çıkış kısmı toplam basınç dağılımı ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyuncası toplam basınç dağılımı, çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyuncası sıcaklık dağılımı ile benzer formlara sahiptirler.

Baca Geometrisi-1 geçmişten günümüze birçok yüzer platformda kullanılan baca formu olup bu açıdan bakıldığında yapılan analizler bize önemli bilgiler sunmaktadır. Şekil 5.3 ile verilen çıkış kısmı y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı Şekil 5.7 ile verilen çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile beraber yorumlandığında ve detaylı bir şekilde analiz edildiğinde, sıcak egzoz gazı yoğunluğunun akış boyunca değişmediğini kabul edersek, toplam kütleli debinin yaklaşık %76'lık kısmının hiç soğumadığı, çepere en yakın bulunan ve aynı zamanda nispi olarak en soğuk egzoz gazlarından oluşan yaklaşık %6.7'lik bir kısmın ise 600 K civarına kadar soğuduğu sonucuna ulaşırız. Çıkış kesitinde merkezden çepere doğru gidildikçe sıcaklığın düştüğünü daha önceden belirtmiştik. Toplam kütleli debinin değişmemesi kaydıyla çıkış kesitinde bulunan farklı kütleli debi ve sıcaklıklara sahip egzoz gazlarını karıştırarak tek bir sıcaklığa sahip bir egzoz gazı elde etmek isteseydik bu egzoz gazının sıcaklığı yaklaşık 750 K olurdu. Bu sıcaklık aynı zamanda çıkış kesitindeki ortalama egzoz gazı sıcaklığıdır.

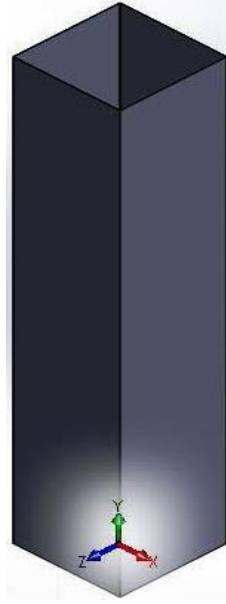
Baca Geometrisi-1'in FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata (residual) değerleri Şekil 5.11 ile gösterilmiştir.



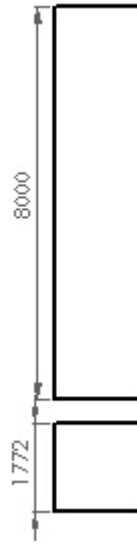
Şekil 5.11: Baca Geometrisi-1'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

5.3 Baca Geometrisi-2

Baca Geometrisi-2 Şekil 5.12 ile gösterilmiş olup Baca Geometrisi-2'ye ilişkin ölçülendirme Şekil 5.13 ile verilmiştir. Baca Geometrisi-2 kare kesitli bir baca olup kenar uzunluğu 1772 mm ve baca uzunluğu 8000 mm'dir.

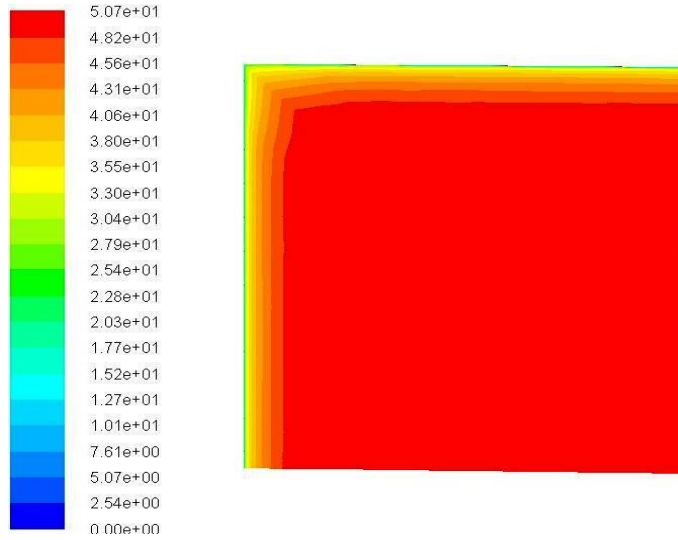


Şekil 5.12: Baca Geometrisi-1.



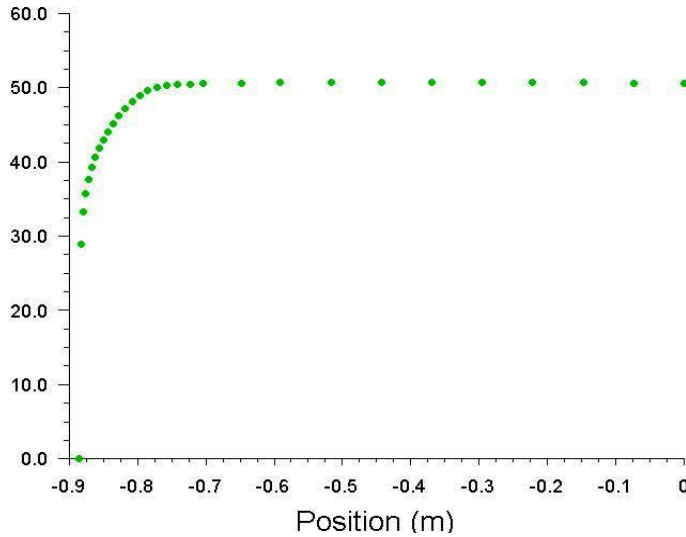
Şekil 5.13: Baca Geometrisi-2'ye ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-2'nin giriş kısmında akış hızı 48.98 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.14 ile çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.15 ile verilmiştir.



Şekil 5.14: Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

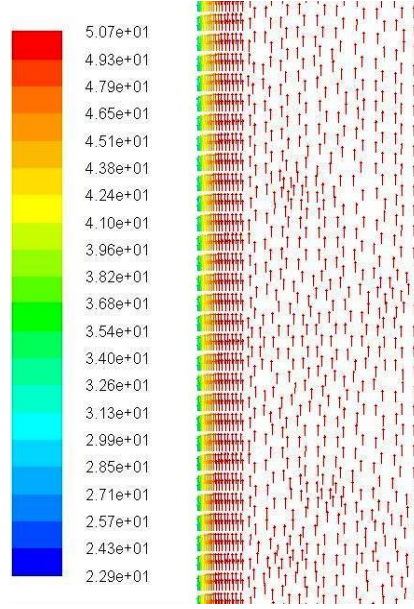
Şekil 5.14 dikkatli bir biçimde incelendiğinde çıkış kesitinin büyük bölümünde egzoz gazının azami hız değerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 5.15 ile Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hız dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.15: Baca Geometrisi-2'nin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.15 incelendiğinde Baca Geometrisi-2'nin çıkış kesitinin sahip olduğu alan göz önüne alındığında yaklaşık %70'lik bir kısmının azami hıza sahip egzoz gazı tarafından kaplanmıştır.

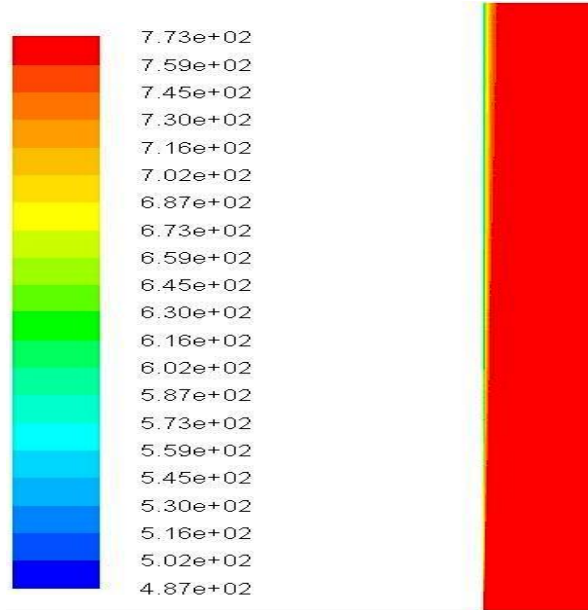
Baca Geometrisi-2'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi amacıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri Şekil 5.16 ile verilmiştir.



Şekil 5.16: Baca Geometrisi-2'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.16 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-2'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

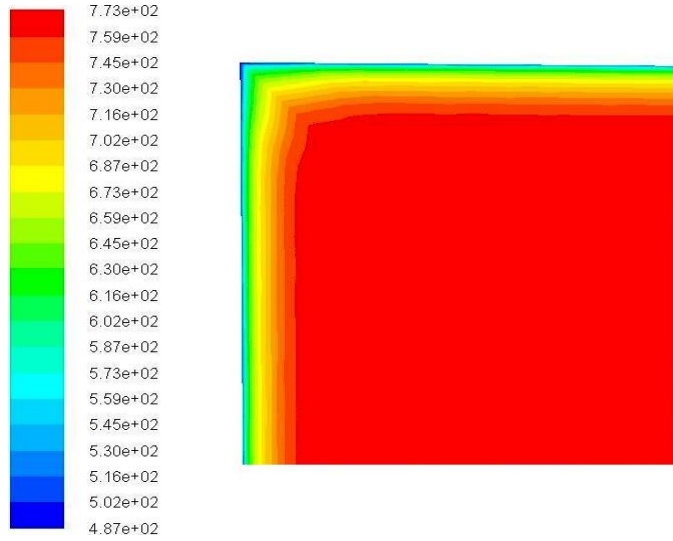
Baca Geometrisi-2'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı Şekil 5.17 ile verilmiştir.



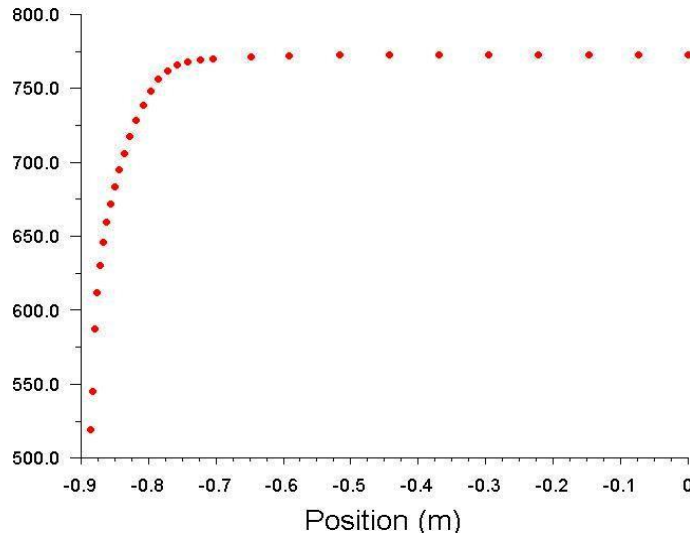
Şekil 5.17: Baca Geometrisi-2'nin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.17 ile verilen xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı incelendiğinde çeperden merkeze doğru olan soğuma bölgesinin çok fazla olmadığı görülmektedir.

Fakat bunun yanında dairesel kesitli baca geometrisine göre çepere yakın bölgelerde daha etkin bir soğuma olmuştur. Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı Şekil 5.18 ve çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca sıcaklık dağılımı Şekil 5.19 ile verilmiştir.



Şekil 5.18: Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).

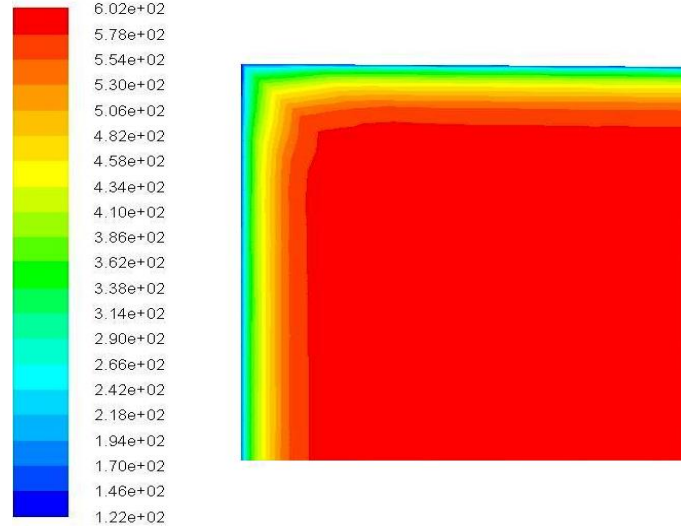


Şekil 5.19: Baca Geometrisi-2'nin çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca sıcaklık dağılımı (K).

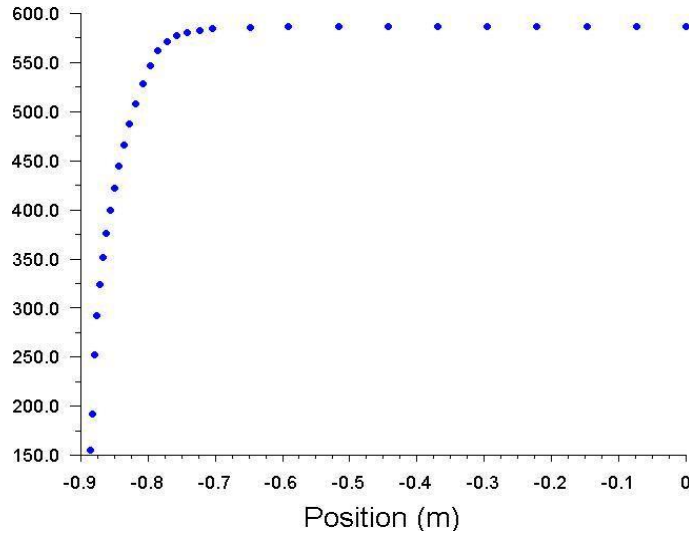
Şekil 5.18'i incelediğimiz zaman kare kesitli baca geometrisinin çeperine yakın çok ince bir bölge olmasına rağmen yaklaşık 250 C'ye varan soğumanın olduğunu görürüz. Çok az bir alanı kaplayan çepere yakın ince bölgeler haricinde kalan kısmı incelediğimiz zaman çepere yakın bölgelerde yaklaşık 180 C'ye varan bir soğuma olduğunu görürüz.

Baca çıkış kesitinin sahip olduğu alanın %54'lük bölümünde azami sıcaklık değerinin görüldüğü sonucuna varırız. Dairesel kesitli baca geometrisinde bu oran %75 idi.

Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.20 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.21 ile verilmiştir.

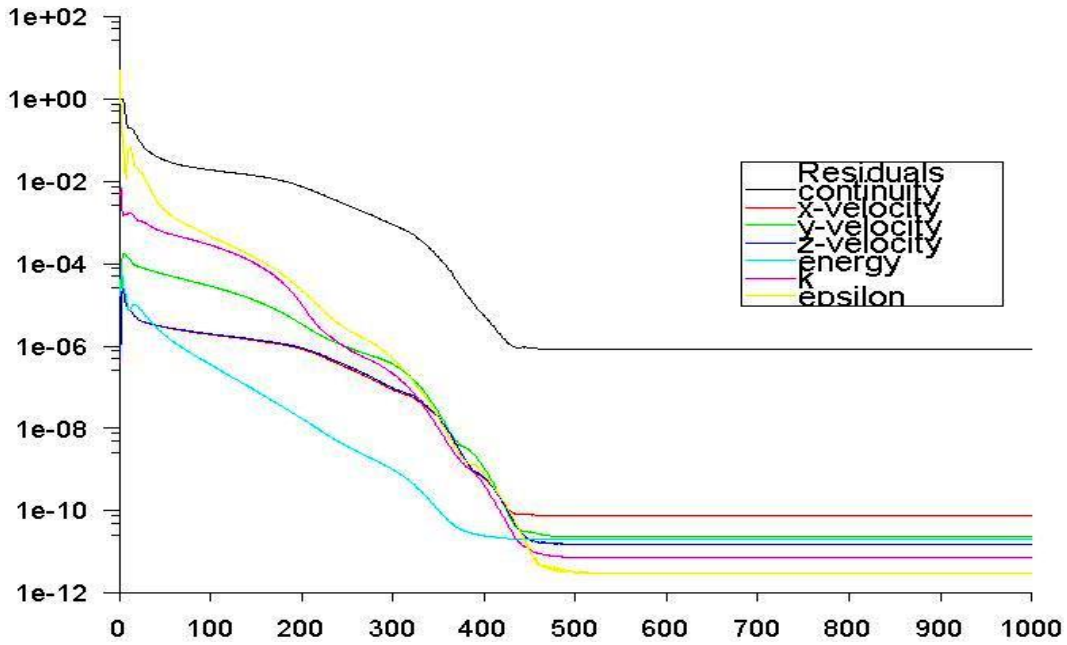


Şekil 5.20: Baca Geometrisi-2'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.21: Baca Geometrisi-2'nin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-2 için geometriden kaynaklı toplam basınç düşmesi 214 Pa civarındadır. Baca Geometrisi-2'nin FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata (residual) değerleri Şekil 5.22 ile gösterilmiştir.

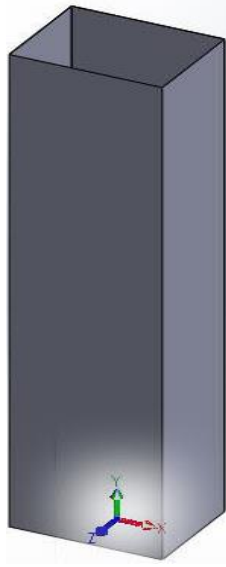


Şekil 5.22: Baca Geometrisi-2'nin sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

Baca Geometrisi-2'nin CFD analizleri neticesinde kare kesitli baca formlarında çepere yakın bölgelerde dairesel kesitli baca formlarına nazaran daha yüksek bir oranda soğumanın olduğunu, çepere yakın diğer bölgelerde yaklaşık %34 oranında bir soğumanın olduğu sonucuna varırız. Dairesel kesitli baca formu ile karşılaştırıldığında kare kesitli Baca Geometrisi-2'de azami sıcaklığa sahip egzoz gazlarının oluşturduğu çekirdek bölge yaklaşık %21 daha azdır.

5.4 Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4

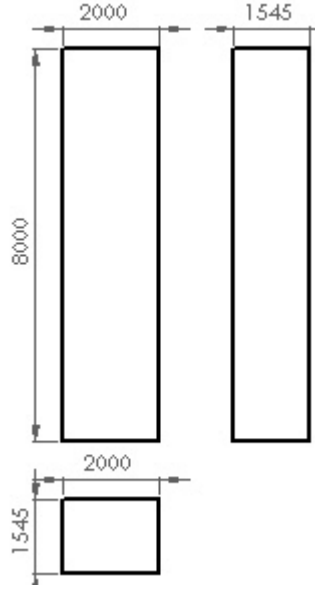
Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4 birbirine benzer geometriler olduğu için yapılan CFD analizlerine ilişkin sonuçlar bu bölümde beraber ele alınacaktır. Baca Geometrisi-3'ün kısa kenarı 1545 mm, uzun kenarı 2000 mm ve Baca Geometrisi-4'ün kısa kenarı 1145 mm, uzun kenarı 2400 mm'dir. Her iki geometrinin boyları 8000 mm'dir. Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4 sırasıyla Şekil 5.23 ve Şekil 5.24, bu geometrilere ilişkin ölçülendirmeler Şekil 5.25 ve Şekil 5.26 ile verilmiştir.



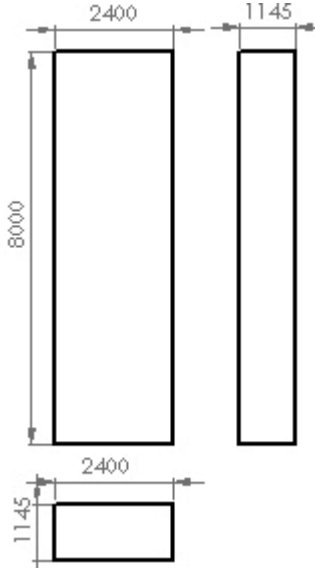
Şekil 5.23: Baca Geometrisi-3.



Şekil 5.24: Baca Geometrisi-4.

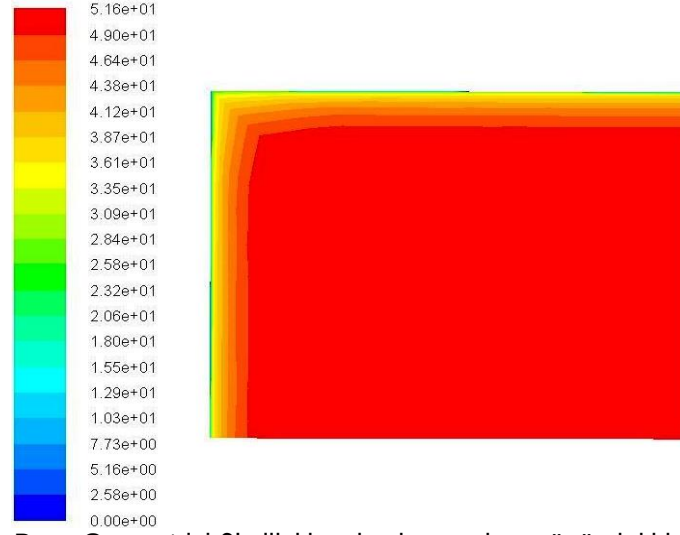


Şekil 5.25: Baca Geometrisi-3'e ilişkin ölçüler (mm).

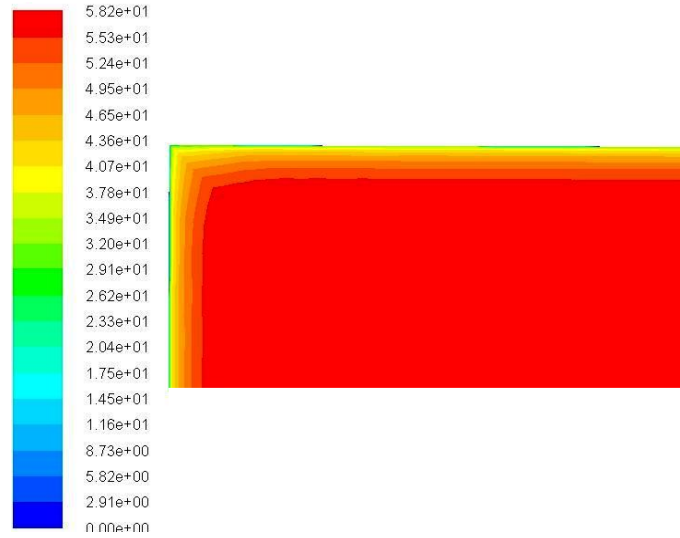


Şekil 5.26: Baca Geometrisi-4'e ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-3'ün giriş kısmında akış hızı 49.79 m/s ve Baca Geometrisi-4'ün giriş kısmında akış hızı 55.98 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-3'e ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenlerine ilişkin dağılımları sırasıyla Şekil 5.27 ve Şekil 5.28, Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'ün çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızların y-yönündeki bileşenlerine ilişkin dağılımları ise Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 ile verilmiştir.

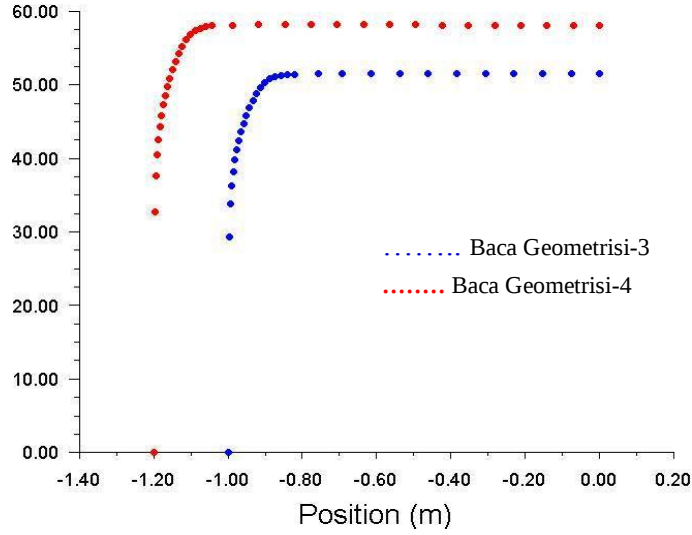


Şekil 5.27: Baca Geometrisi-3'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

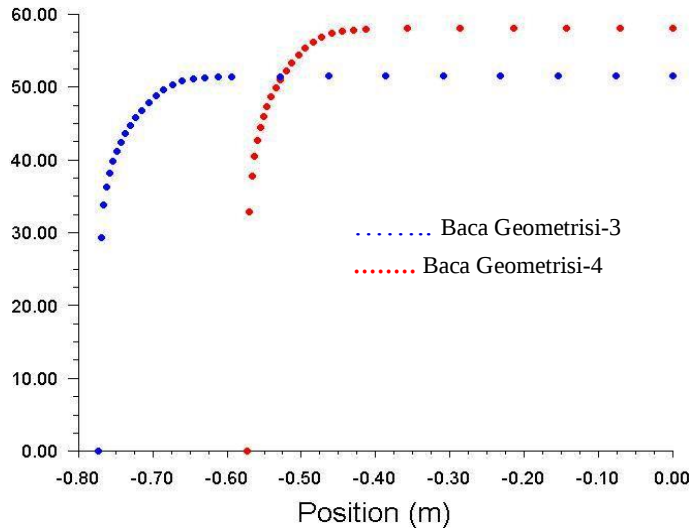


Şekil 5.28: Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

Baca Geometrisi-3 ile Baca Geometrisi-4'ün birbirine olan benzerliğinden dolayı daha sağlıklı bir yorum yapabilmek için çıkış x simetri eksenini boyunca y yönündeki hız bileşenlerinin dağılımlarını incelemekte fayda vardır. Baca Geometrisi-3'e ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca y-yönündeki hız bileşenleri dağılımı Şekil 5.29 ile çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca y-yönündeki hız bileşenleri dağılımı Şekil 5.30 ile verilmiştir.



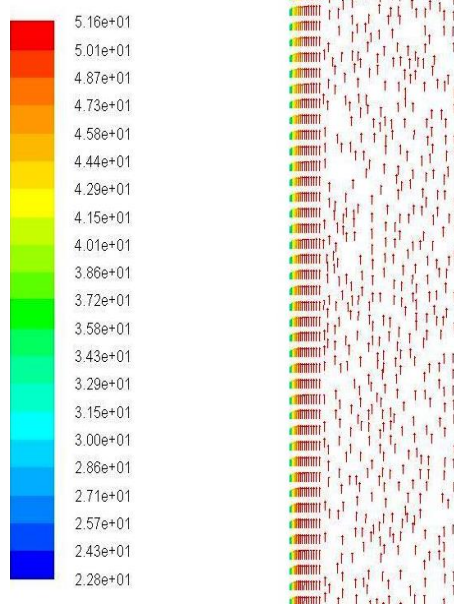
Şekil 5.29: Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızların y-yönündeki bileşenlerinin dağılımı (m/s).



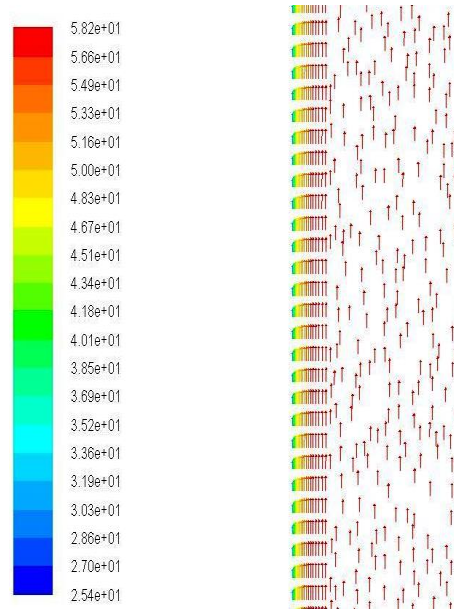
Şekil 5.30: Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca hızların y-yönündeki bileşenlerinin dağılımı (m/s).

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'un birlikte yorumlanması neticesinde Baca Geometrisi-3'ün çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık olarak %68'inin, Baca Geometrisi-4'ün çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık olarak %64'ünün azami hıza sahip egzoz gazı tarafından kaplandığı görülmektedir. Baca Geometrisi-2 için azami hız değerine sahip egzoz gazının kapladığı alan yaklaşık olarak %70 idi.

Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi amacıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri sırasıyla Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 ile verilmiştir.



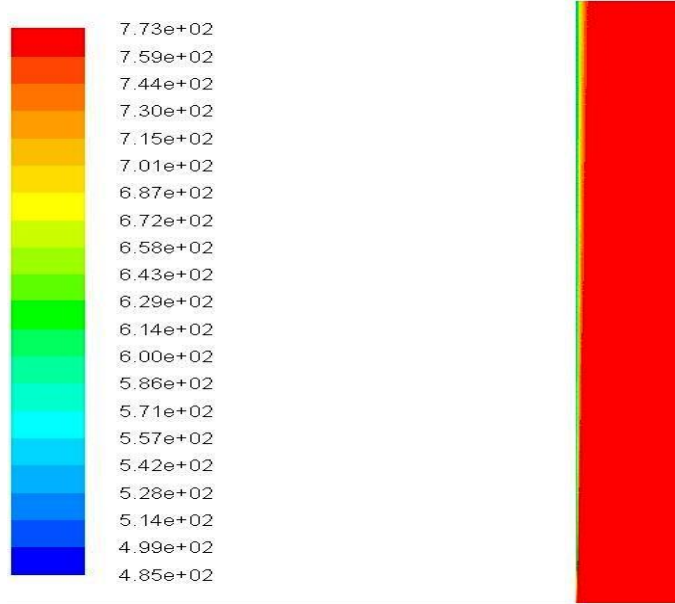
Şekil 5.31: Baca Geometrisi-3'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).



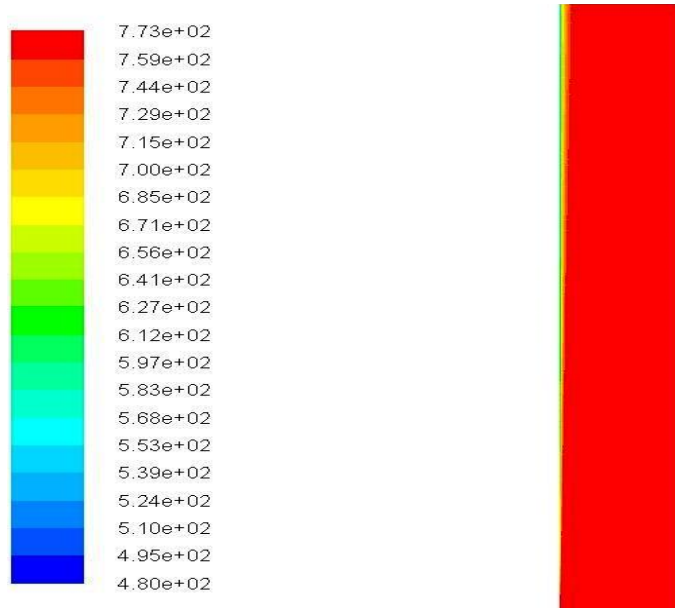
Şekil 5.32: Baca Geometrisi-4'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 ile verilmiştir.



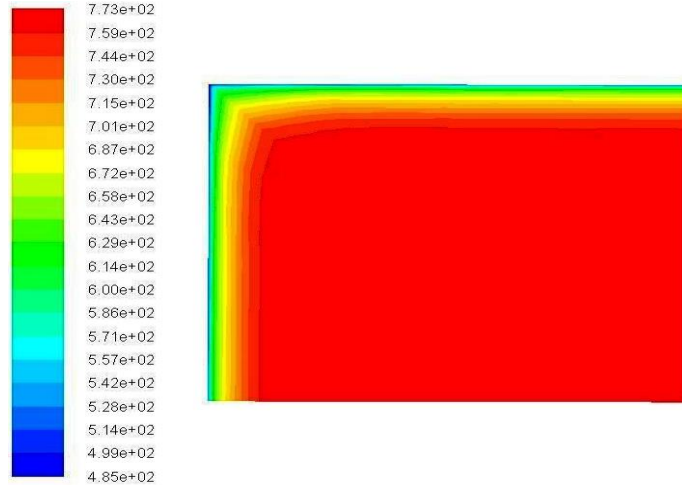
Şekil 5.33: Baca Geometrisi-3'ün xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).



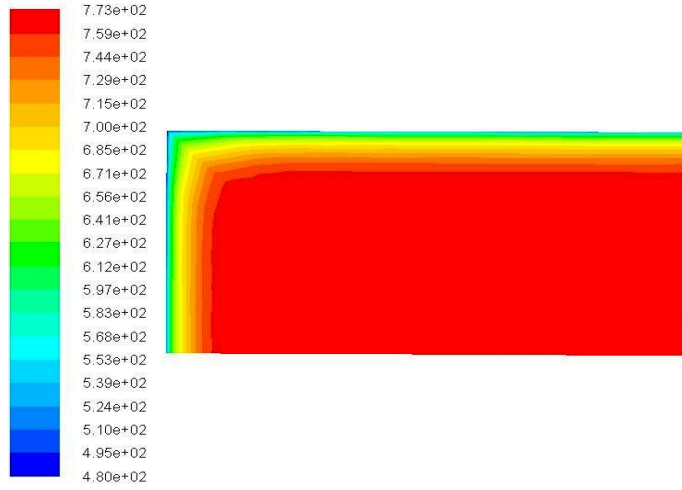
Şekil 5.34: Baca Geometrisi-4'ün xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 ile verilen xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımları incelendiğinde çeperden merkeze doğru olan soğuma bölgesinin kare kesitli Baca Geometrisi-2 ile benzer şekilde çok fazla olmadığı görülmektedir.

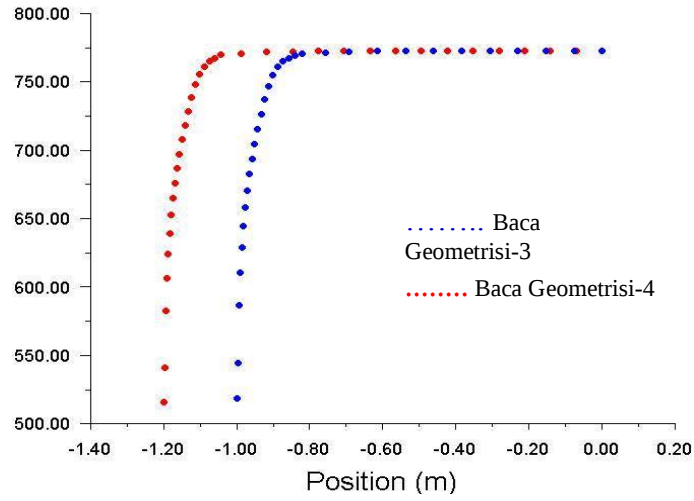
Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 5.35 ve Şekil 5.36, çıkış kesiti x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımları Şekil 5.37 ve çıkış kesiti z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.38 ile verilmiştir.



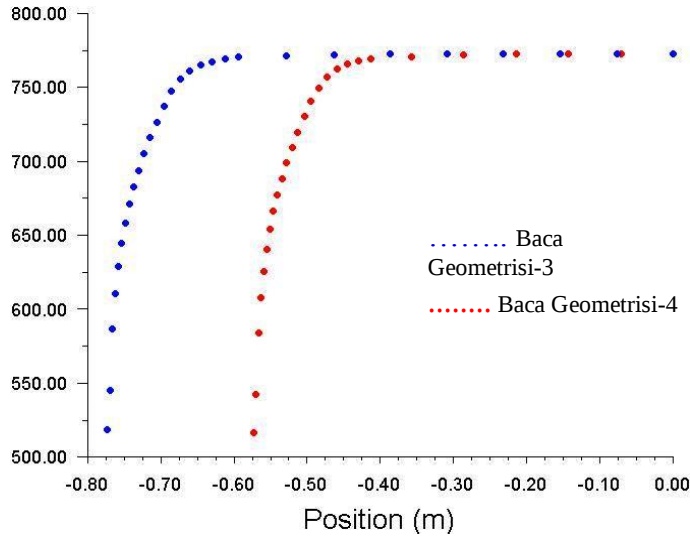
Şekil 5.35: Baca Geometrisi-3'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



Şekil 5.36: Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



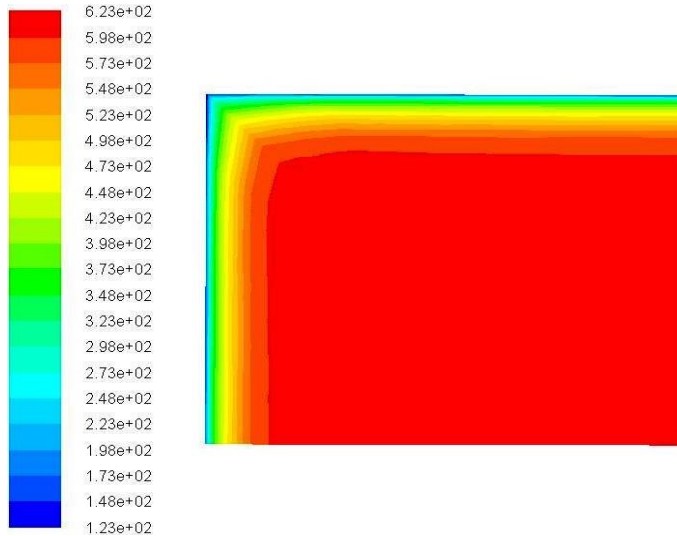
Şekil 5.37: Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).



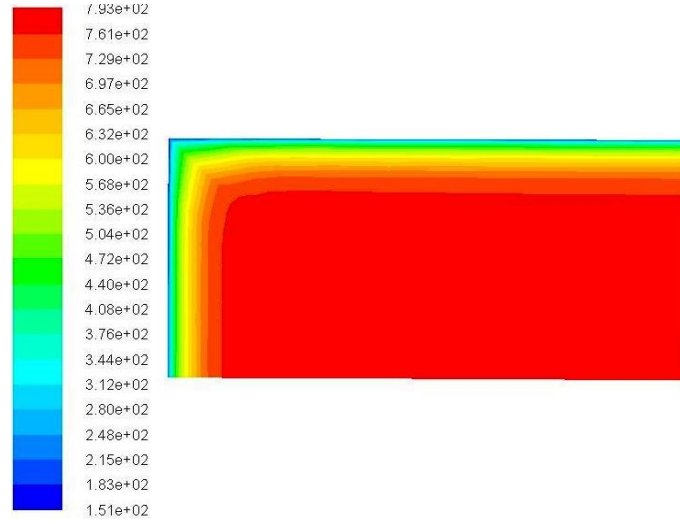
Şekil 5.38: Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'in birlikte yorumlanması neticesinde Baca Geometrisi-3'ün çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık olarak %62'sinin, Baca Geometrisi-4'ün çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık olarak %59'unun azami sıcaklığa sahip egzoz gazı tarafından kaplandığı görülmektedir. Baca Geometrisi-2 için azami sıcaklık değerine sahip egzoz gazının kapladığı alan yaklaşık olarak %54 idi.

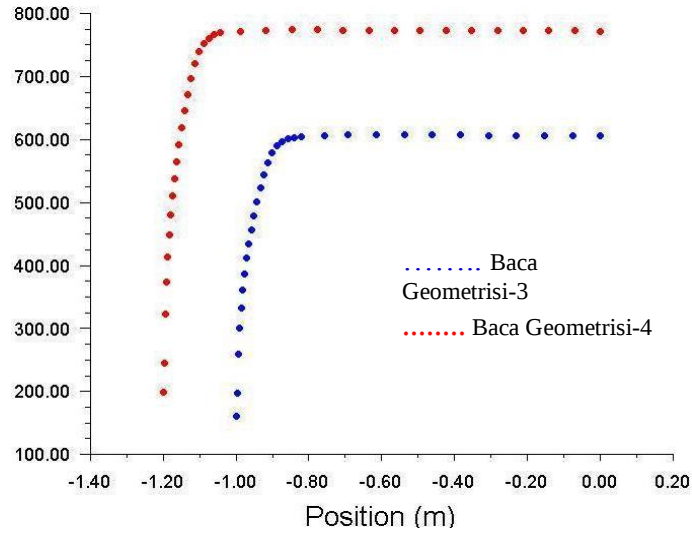
Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımları Şekil 5.39 ve Şekil 5.40, çıkış kısmı x simetri eksenine göre toplam basınç dağılımı Şekil 5.41 ve çıkış kısmı z simetri eksenine göre toplam basınç dağılımı Şekil 5.42 ile verilmiştir.



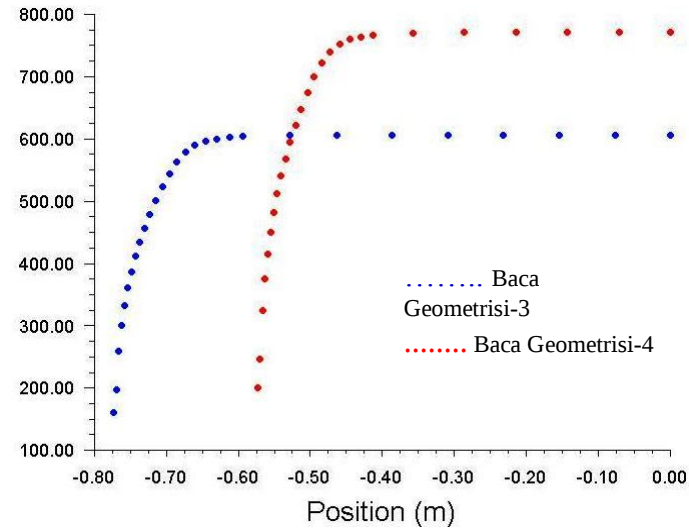
Şekil 5.39: Baca Geometrisi-3'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.40: Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



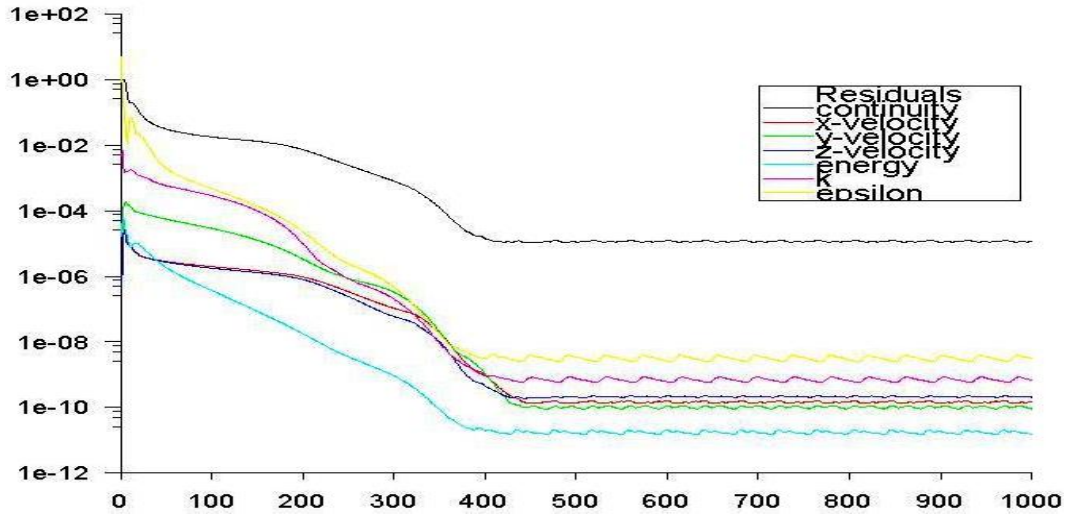
Şekil 5.41: Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



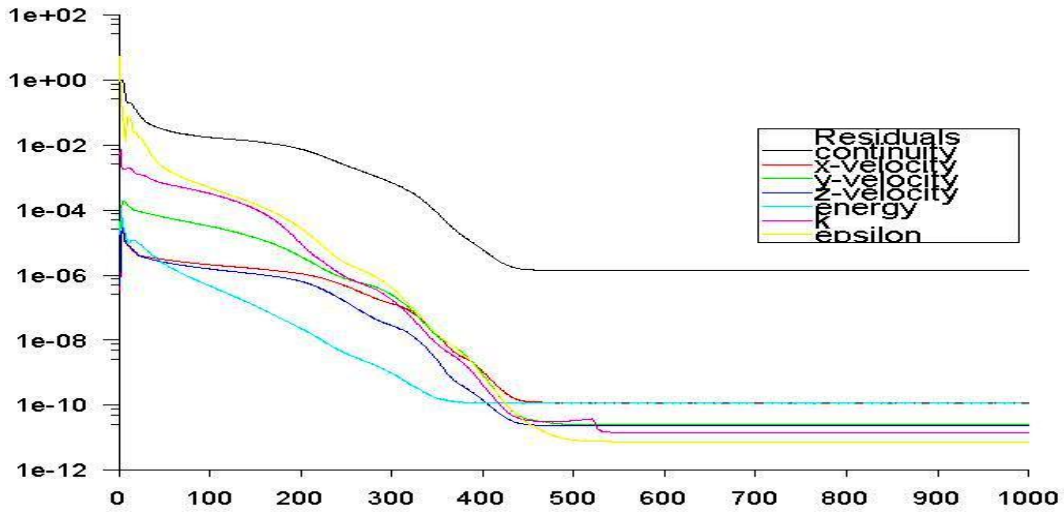
Şekil 5.42: Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4 baca içerisindeki basınç düşüşü sırasıyla 228 Pa ve 304.4 Pa'dır. Baca Geometrisi-3 ile Baca Geometrisi-4'ün geometrik benzerlik gereği oluşturulması neticesinde geometrilerin kenarlarına ilişkin kenar uzunluklarının farklı olmasından dolayı hesaplanan hidrolik çaplar farklı olmakta ve Reynolds benzerliğinin tesis edilmesi neticesinde giriş kısımlarında akış hızları farklı tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-4'ün giriş kısmında tanımlanan akış hızı daha yüksek olduğundan dolayı Baca Geometrisi-4'e ilişkin toplam basınç Baca Geometrisi-3'e nazaran daha yüksek olmaktadır. Bu durum Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'de de açıkça görülmektedir.

Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'ün FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.43 ve Şekil 5.44 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.43: Baca Geometrisi-3'ün sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.



Şekil 5.44: Baca Geometrisi-4'ün sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

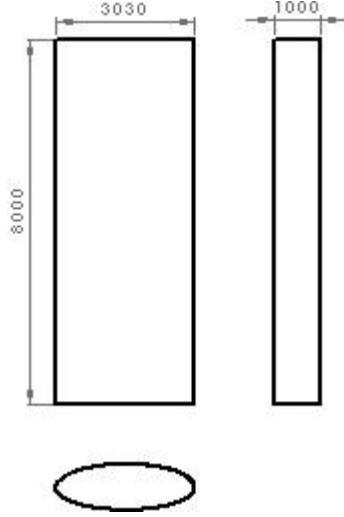
Kare çıkış kesit alanına sahip Baca Geometrisi-2'nin CFD analizlerinden elde edilen sonuçlar ile Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'ün CFD analizlerinden elde edilen sonuçlar ışığında, çıkış kesit alanı ve boyları aynı olmak kaydıyla prizmatik baca geometrilerinin sıcak egzoz gazını soğutma performanslarının birbirine oldukça benzer olduğu hususu göze çarpsa da böyle bir şey söyleyebilmek için daha fazla benzer modelin kullanıldığı ileri seviye analizlere ihtiyaç vardır.

5.5 Baca Geometrisi-5

Baca Geometrisi-5 elips bir baca formu olup eliptik kesitin büyük çapı 3030 mm ve küçük çapı 1000 mm'dir. Baca Geometrisi-5'in yüksekliği 8000 mm'dir. Baca Geometrisi-5 Şekil 5.45 ve ilgili ölçülendirme Şekil 5.46 ile gösterilmiştir.



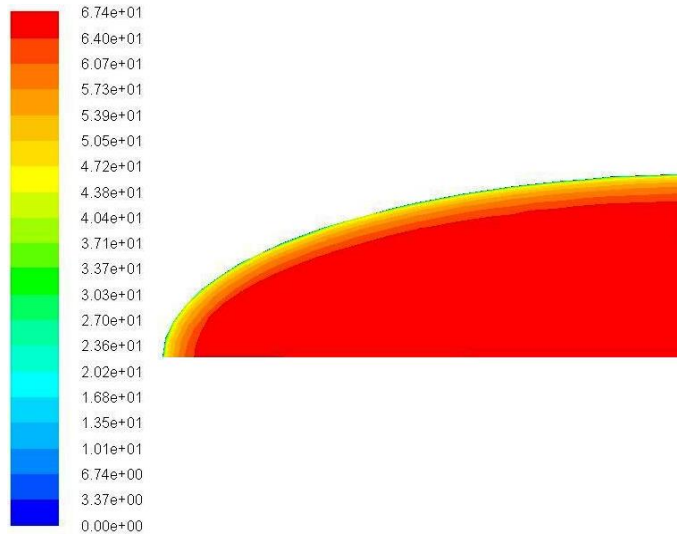
Şekil 5.45: Baca Geometrisi-5.



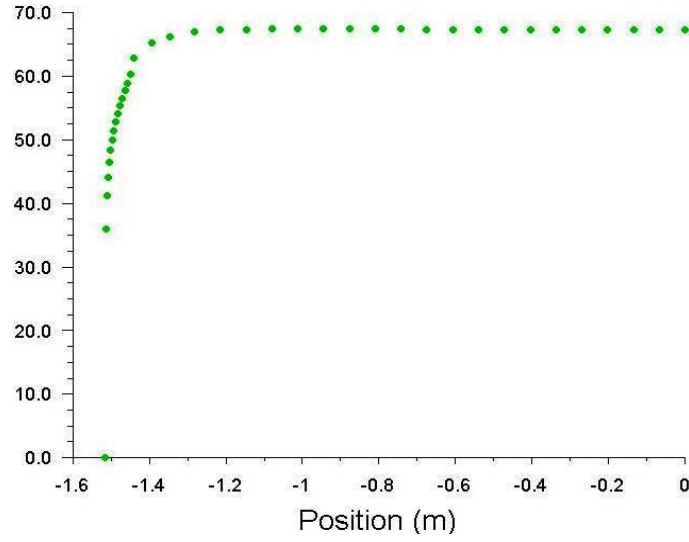
Şekil 5.46: Baca Geometrisi-5'e ilişkin ölçüler (mm).

Daire bilindiği üzere elipsin özel bir formudur. Bu sebeple Baca Geometrisi-5'e ilişkin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçları dairesel giriş ve çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1'in CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar ile kıyaslamak yanlış olmayacaktır.

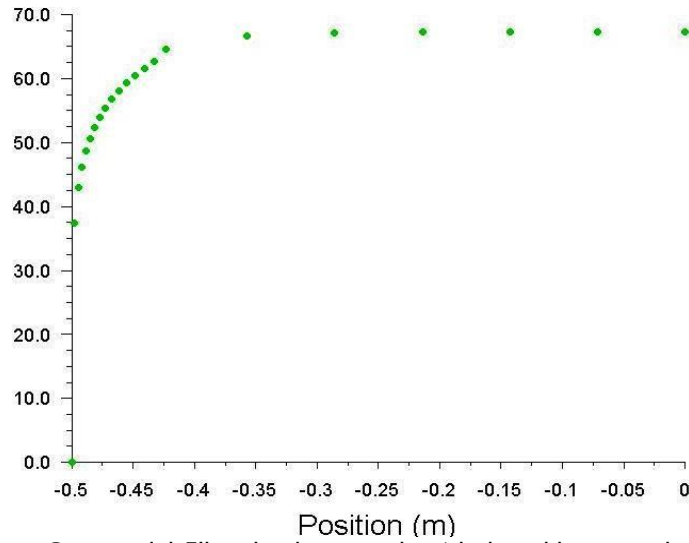
Baca Geometrisi-5'in giriş kısmında akış hızı 64.63 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.47, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.48 ve çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılım Şekil 5.49 ile verilmiştir.



Şekil 5.47: Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



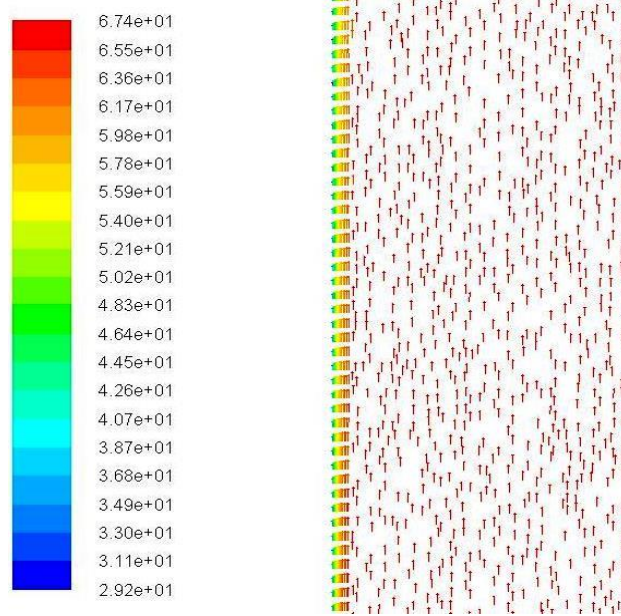
Şekil 5.48: Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunda hızın y-yönündeki bileşenin dağılımı (m/s).



Şekil 5.49: Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı z simetri eksenini boyunda hızın y-yönündeki bileşenin dağılımı (m/s).

Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımına ilişkin yukarıda verilen şekiller incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında çıkış kısmı kesit alanının yaklaşık %63'ü azami hız değerine sahip egzoz gazı tarafından kaplanmıştır. Dairesel kesitli Baca Geometrisi-1 ile karşılaştırıldığında bu oranın %7 daha az olduğunu görürüz.

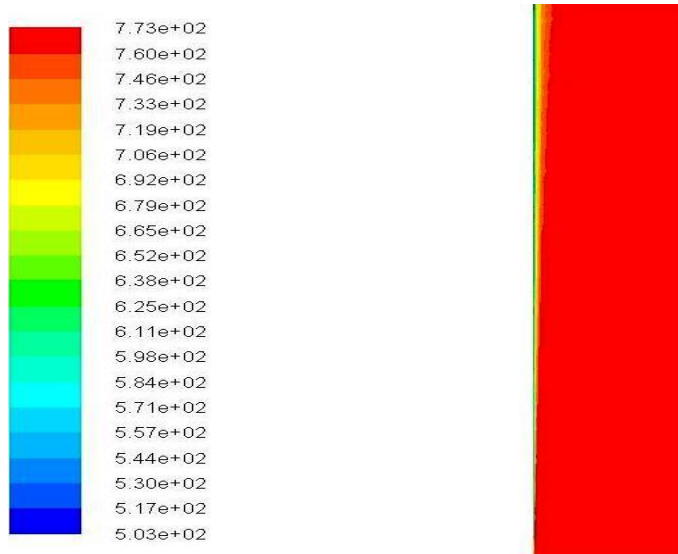
Baca Geometrisi-5'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri Şekil 5.50 ile verilmiştir.



Şekil 5.50: Baca Geometrisi-5'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.50 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-5'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

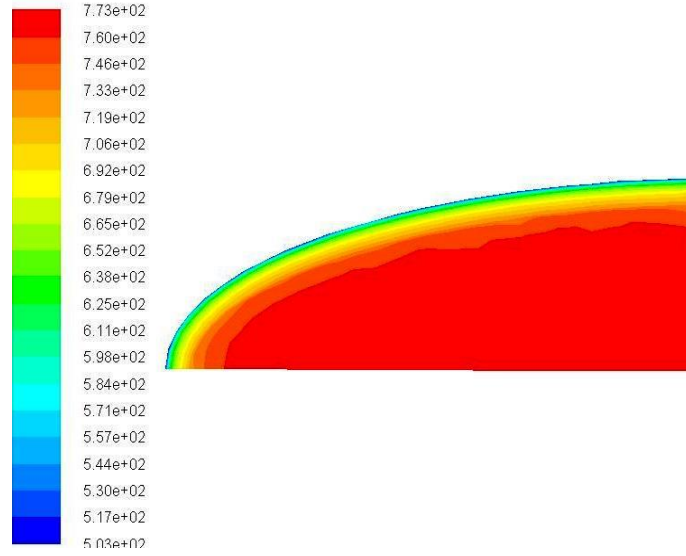
Baca Geometrisi-5'in xy düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.51 ile verilmiştir.



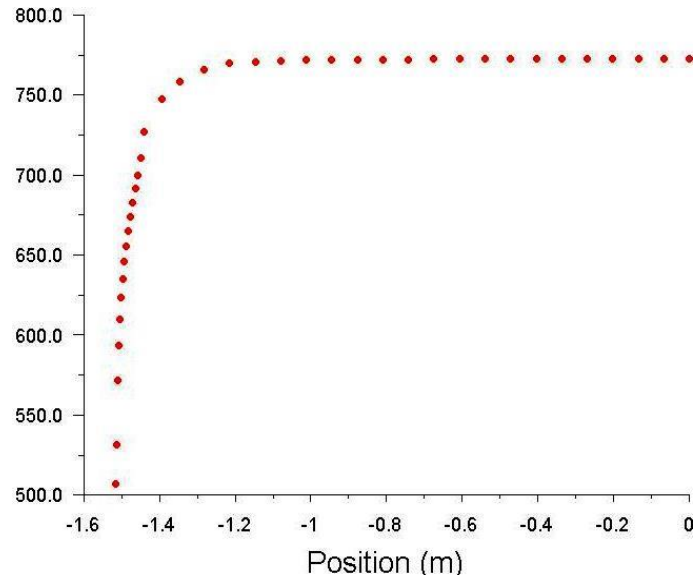
Şekil 5.51: Baca Geometrisi-5'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-5'in xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı dairesel kesitli baca geometrisine ait xy simetri düzlemi sıcaklık dağılımına yapı olarak

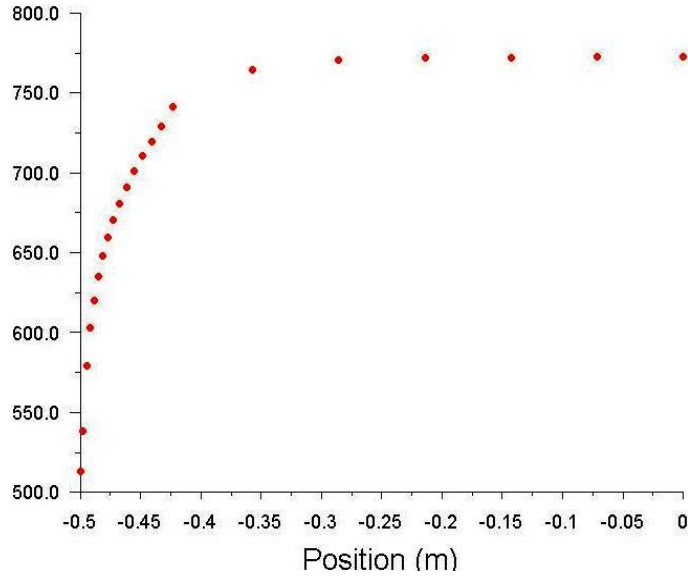
benzemekle birlikte çepere yakın bölgelerin sıcaklık değerleri açısından farklılık göstermektedir. Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı, çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı ve z simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 5.52, Şekil 5.53 ve Şekil 5.54 ile verilmiştir.



Şekil 5.52: Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış sıcaklık dağılımı (K).



Şekil 5.53: Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).



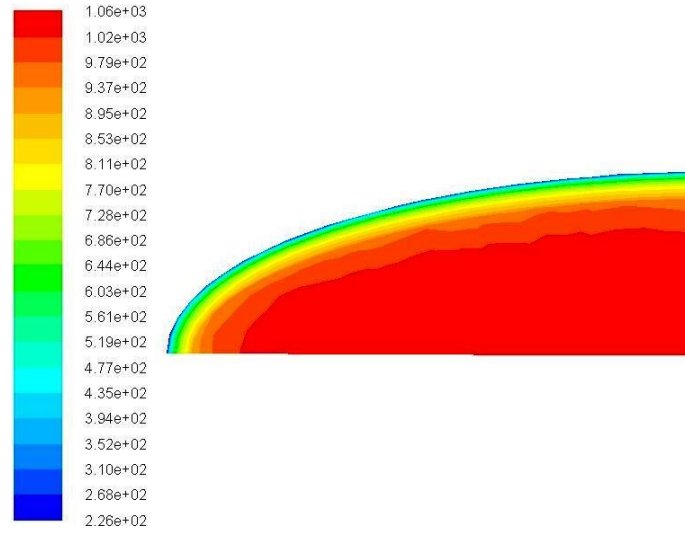
Şekil 5.54: Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı ile x ve z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımları incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %52'lik kısmında azami sıcaklık değerine sahip egzoz gazı akışı olmaktadır.

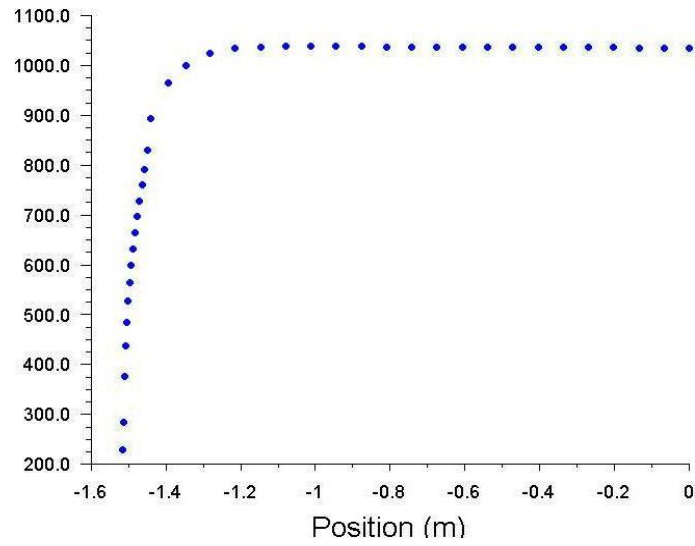
Çepere çok yakın ince bir bölgede sıcaklık değeri 510 K civarına düşmüş olsa da bu ince bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının 600 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 170 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz. Azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge dairesel kesitli baca geometrisinde toplam çıkış kesit alanının yaklaşık %75'ini kaplarken eliptik çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-5'te bu oran %52'dir.

Genel olarak düşünüldüğünde şu ana kadar incelenen tüm baca geometrilerinin merkezlerinde her ne kadar ihmal edilemeyecek kadar büyük azami sıcaklığın hakim olduğu çekirdek bölge bulunsun da çeperlerde meydana gelen soğumayı dikkate alırsak Baca Geometrisi-5'in çeperlerinde meydana gelen soğuma miktarı, dikdörtgen çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4'ten 20 C kadar az olmakla birlikte dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1'den 20 C kadar daha fazladır.

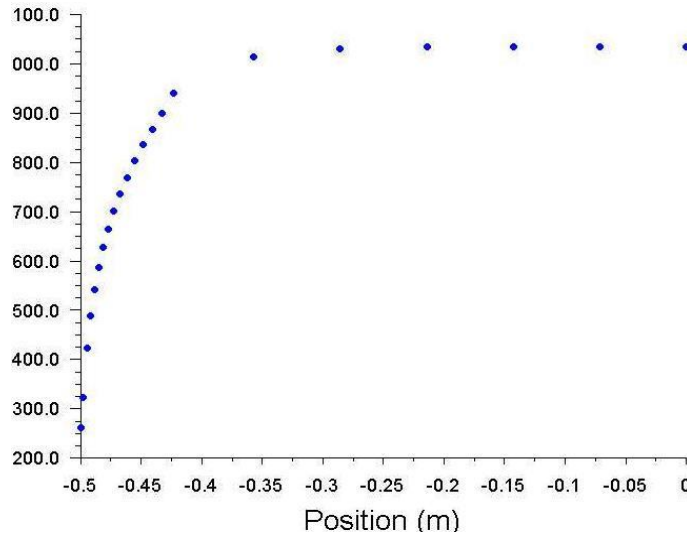
Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.55, çıkış kısmı x simetri düzlemi boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.56 ve z simetri düzlemi boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.57 ile verilmiştir.



Şekil 5.55: Baca Geometrisi-5'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



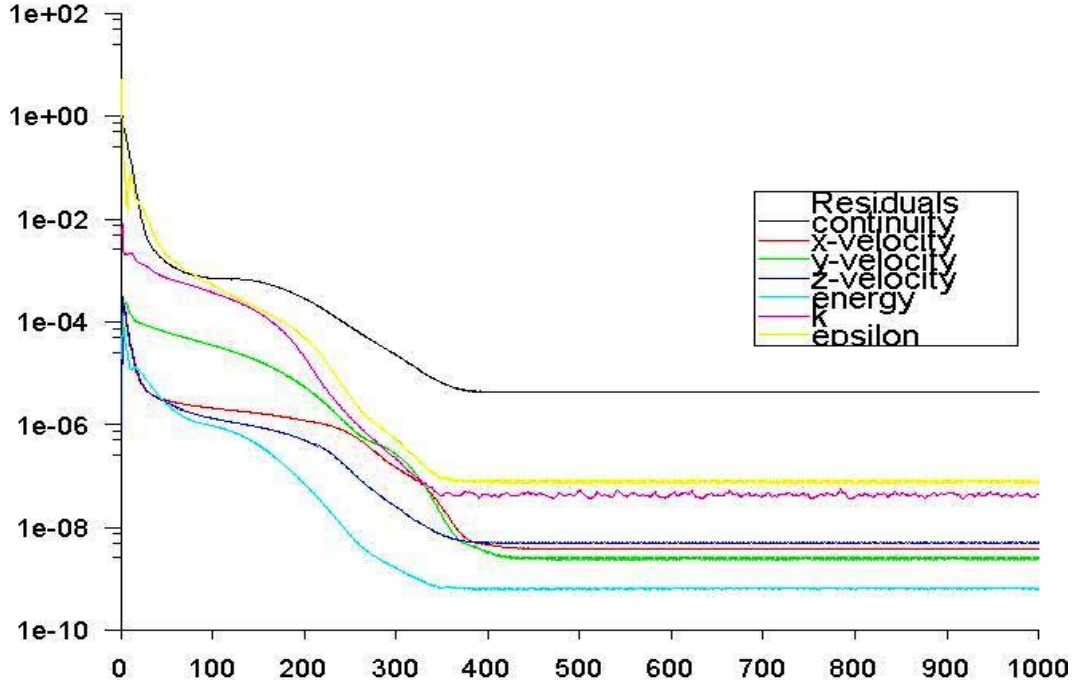
Şekil 5.56: Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.57: Baca Geometrisi-5'in çıkış kısmı z simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-5'in baca içerisindeki basınç düşüşü 555 Pa'dır. Bu değer hem dairesel kesitli Baca Geometrisi-1'e hem de kare ve dikdörtgen kesitli baca geometrilerine nazaran fazladır. Hatırlamak gerekirse dairesel kesitli baca geometrisi için baca içerisindeki basınç düşüşü 123 Pa değerine sahipti.

Baca Geometrisi-5'in FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.58 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.58: Baca Geometrisi-5'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

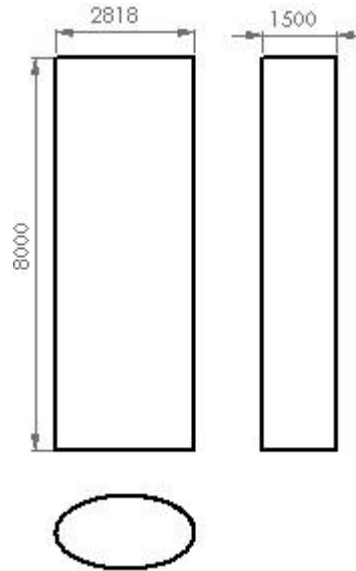
5.6 Baca Geometrisi-6

Baca Geometrisi-6 bu çalışmada incelenen diğer bir eliptik forma sahip baca geometrisidir. Fakat eliptik form oluşturma aşamasında kullanılan büyük ve küçük çap değerleri açısından farklıdır. Bu çalışmada ikincil bir eliptik forma sahip baca geometrisine ilişkin CFD analizi yapılmasındaki amaç formu oluştururken kullanılan farklı çap değerlerinin etkisini incelemektir.

Baca Geometrisi-6'nın oluşturulmasında kullanılan büyük çap değeri 2818 mm, küçük çap değeri 1500 mm, ve yüksekliği 8000 mm'dir. Baca Geometrisi-6 Şekil 5.59 ile gösterilmiş olup ilgili ölçülendirme Şekil 5.60 ile verilmiştir.

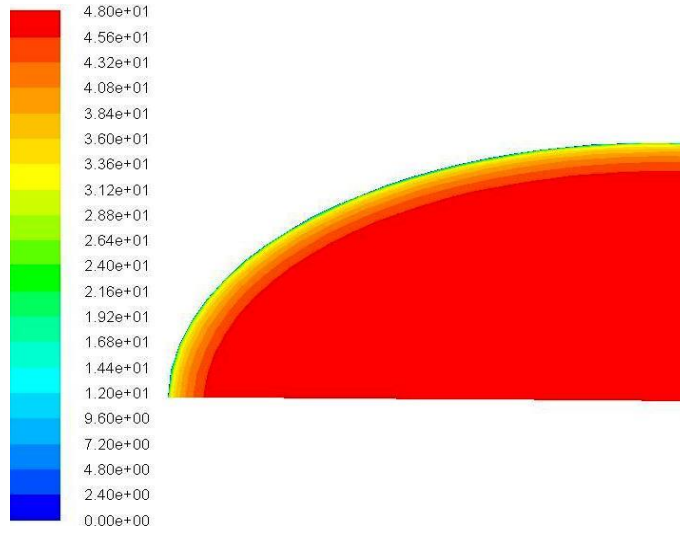


Şekil 5.59: Baca Geometrisi-6.

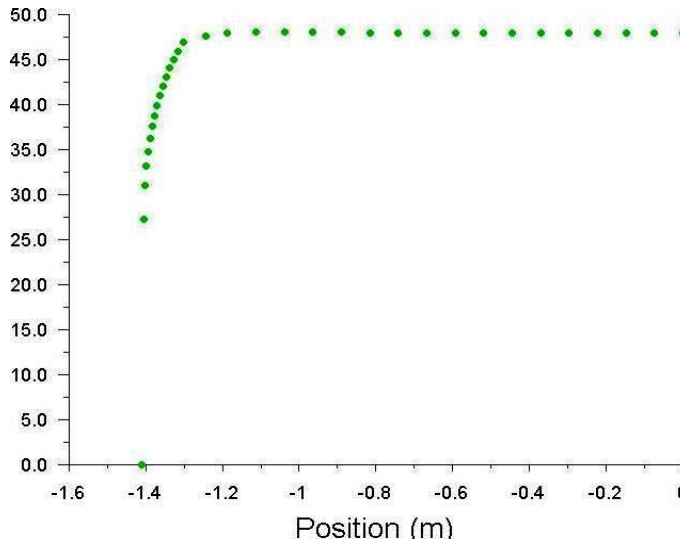


Şekil 5.60: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin ölçüler (mm).

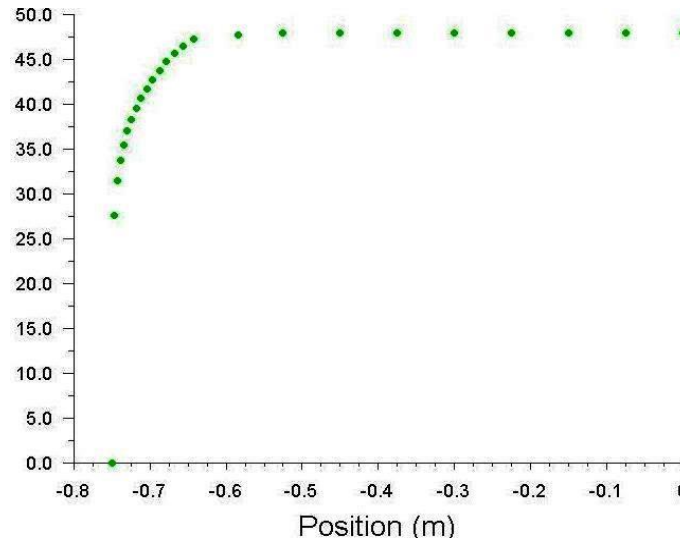
Baca Geometrisi-6'nın giriş kısmında akış hızı 46.37 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılım Şekil 5.61, çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.62 ve çıkış kısmı z simetri ekseni boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılım Şekil 5.63 ile verilmiştir.



Şekil 5.61: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.62: Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

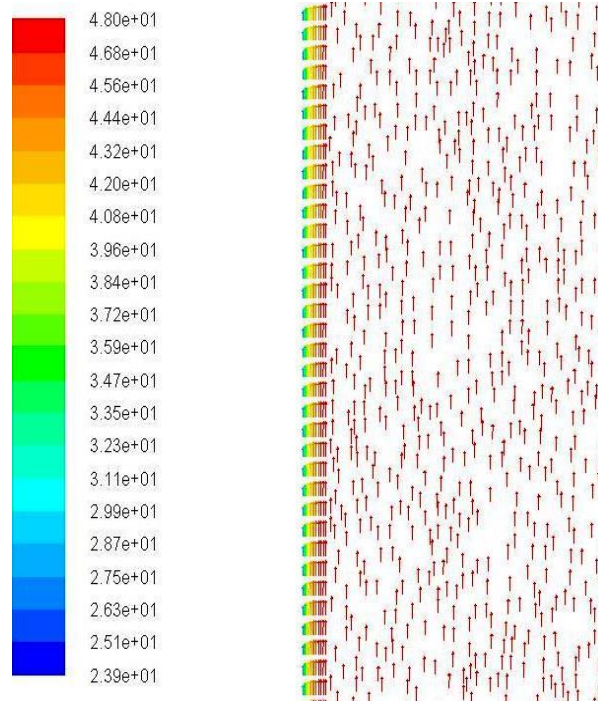


Şekil 5.63: Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.61'den de görüldüğü üzere diğer geometrilerde olduğu gibi Baca Geometrisi-6'nın da çıkış kısmının merkezden çeperlere doğru yayılan büyük bir bölümde azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır.

Şekil 5.62 ve Şekil 5.63 incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında Baca Geometrisi-6'nın çıkış kesitinin sahip olduğunu alanın yaklaşık %72'lik bir kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Diğer eliptik kesite sahip baca geometrisi olan Baca Geometrisi-5 için aynı oran %63 ve bu çalışma için referans geometri olarak belirlenen ve oran dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için bu oran %70'tir.

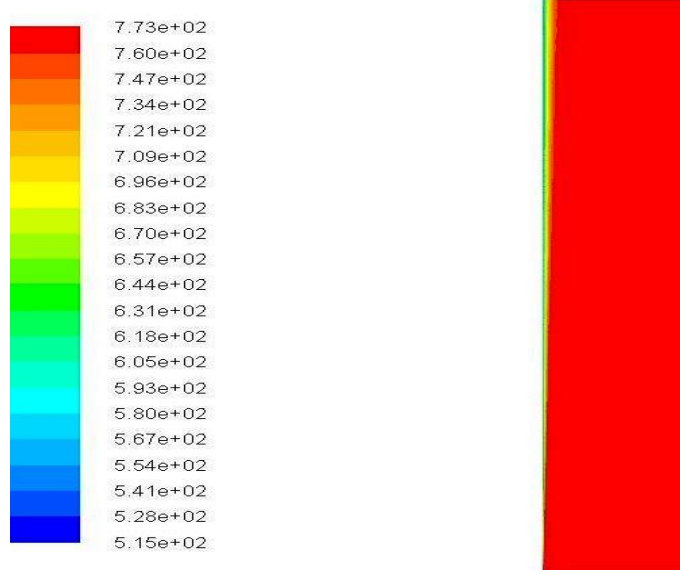
Baca Geometrisi-5'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri Şekil 5.64 ile verilmiştir.



Şekil 5.64: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.64 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-6'ya ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

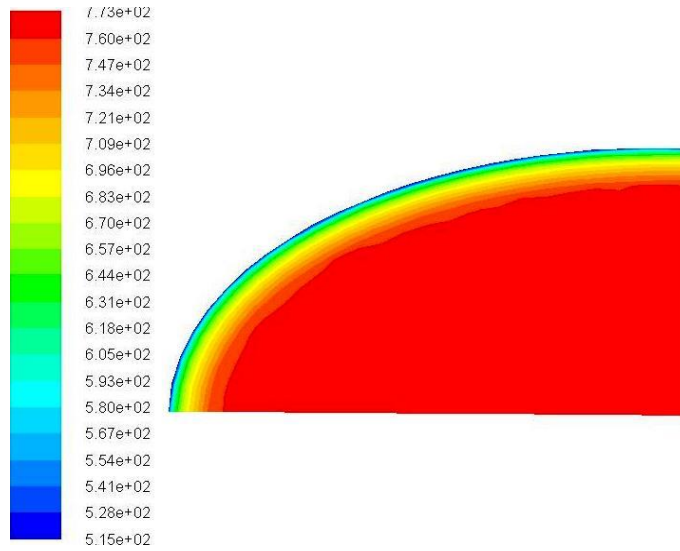
Baca Geometrisi-5'in xy düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.65 ile verilmiştir.



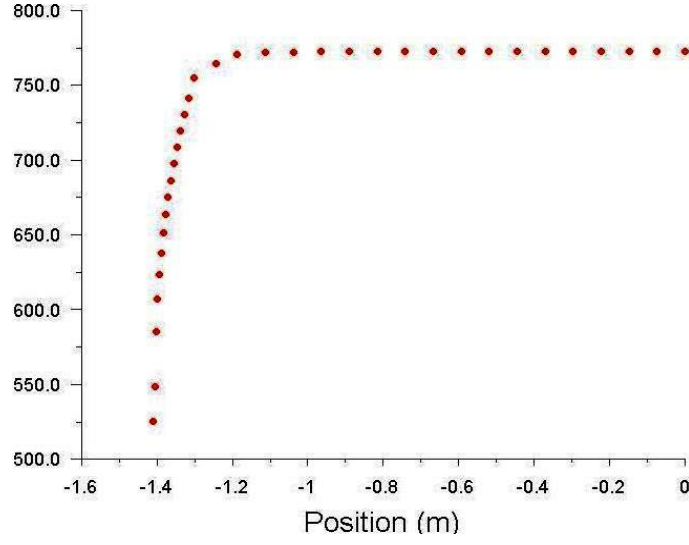
Şekil 5.65: Baca Geometrisi-6'nın xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-6'nın xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı diğer eliptik kesite sahip baca geometrisi olan Baca Geometrisi-5'in sıcaklık dağılımına hem yapı itibarıyla hem de sıcaklık dağılımı olarak oldukça benzemektedir. Aynı zamanda dairesel kesitli baca geometrisine ait xy düzlemi sıcaklık dağılımına da yapı olarak benzemekle birlikte çepere yakın bölgelerin sıcaklık değerleri açısından küçük farklılık göstermektedir.

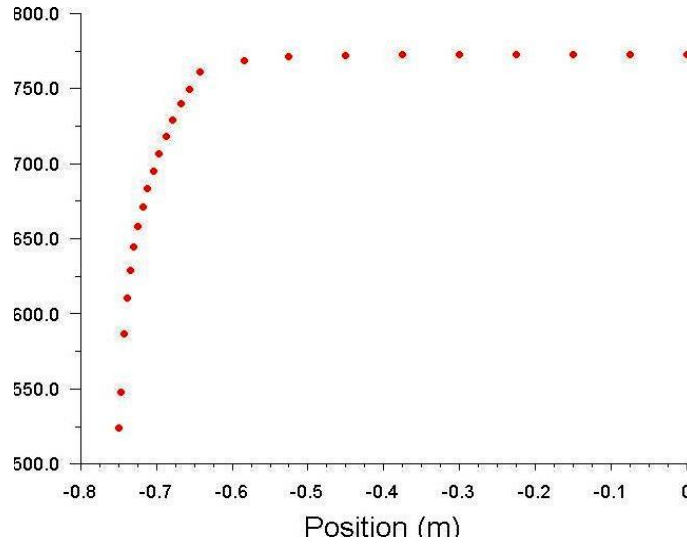
Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı ve z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 5.66, Şekil 5.67 ve Şekil 5.68 ile verilmiştir.



Şekil 5.66: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



Şekil 5.67: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).



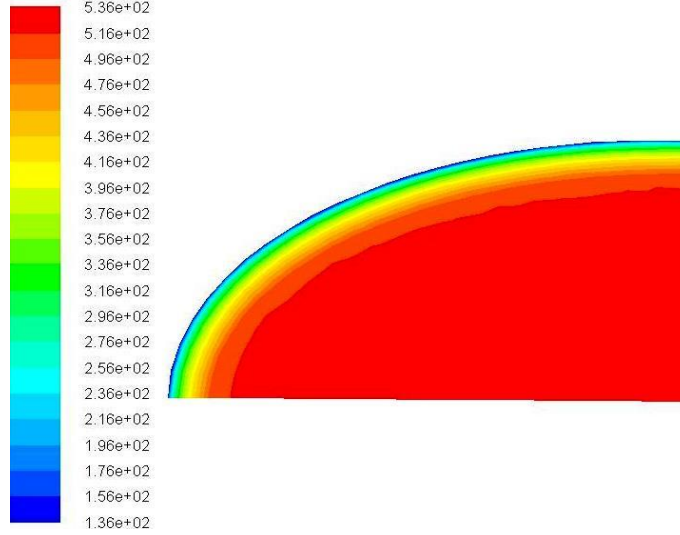
Şekil 5.68: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-6'nın çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile x ve z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımları incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %65'lik kısmında azami sıcaklık değerine sahip egzoz gazı akışı olmaktadır.

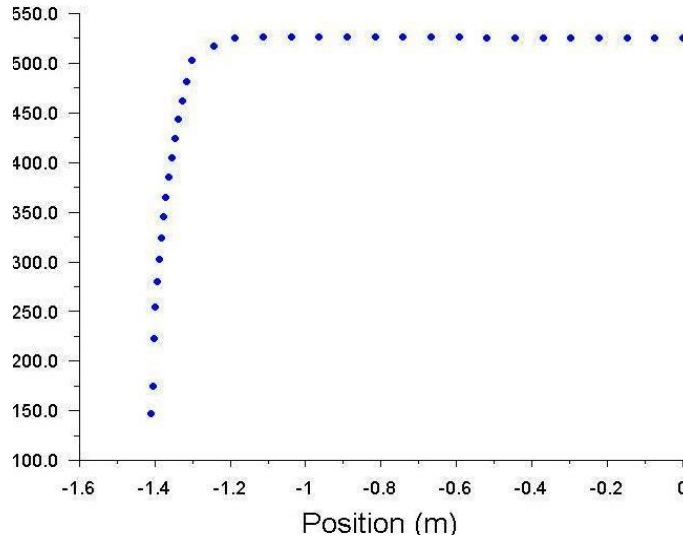
Çepere çok yakın ince bir bölgede sıcaklık değeri 515 K civarına düşmüş olsa da bu ince bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının 600 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 170 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz. Bu sonuç Baca Geometrisi-5'in CFD analizi neticesinde elde edilen sonuca oldukça benzemektedir. Azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge dairesel kesitli baca geometrisinde toplam çıkış kesit alanının

yaklaşık %75'ini kaplarken Baca Geometrisi-5'te bu oran %52 ve Baca Geometrisi-6'da da %65'tir.

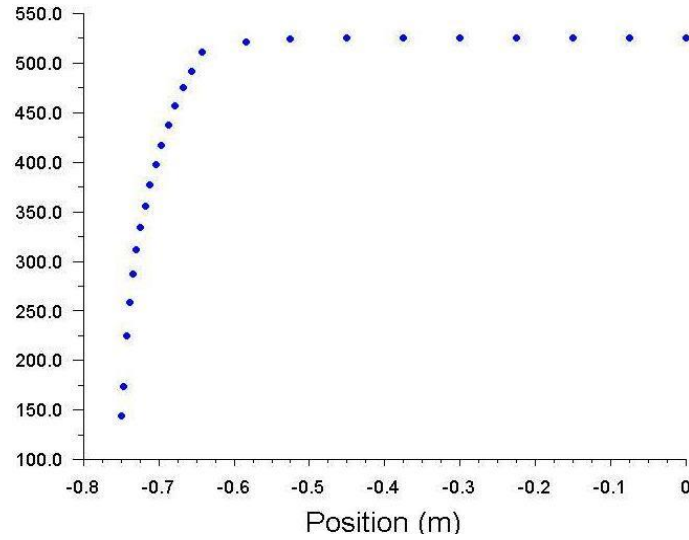
Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.69, çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.70 ve çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.71 ile verilmiştir.



Şekil 5.69: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış toplam basınç dağılımı (Pa).



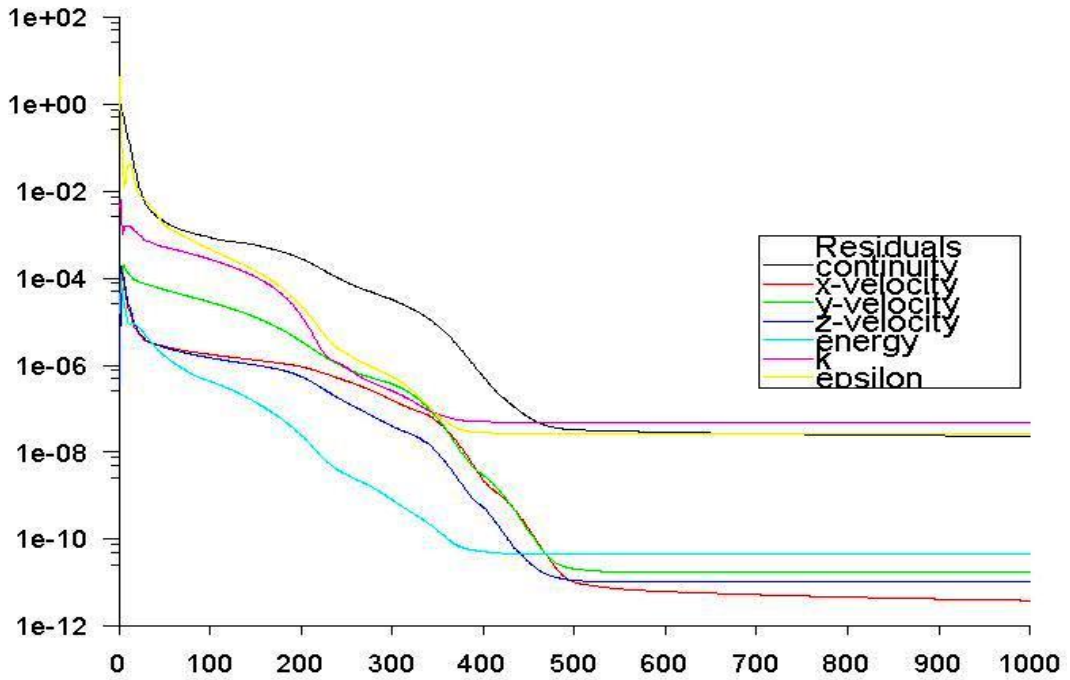
Şekil 5.70: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.71: Baca Geometrisi-6'ya ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyuncası toplam basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-6'nın baca içerisindeki basınç düşüşü 198 Pa'dır. Diğer eliptik kesite sahip baca geometrisi olan Baca Geometrisi-5 için bu değer 555 Pa'dır. Hatırlamak gerekirse dairesel kesitli baca geometrisi için baca içerisindeki basınç düşüşü 123 Pa değerine sahipti.

Baca Geometrisi-6'nın FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.72 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.72: Baca Geometrisi-6'nın sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

Eliptik çıkış kesit alanına sahip baca geometrilerinin çeperlerinde dairesel çıkış kesit alanına sahip baca geometrilerinin çeperlerindeki soğumaya nazaran az bir miktar da olsa daha iyi bir soğumanın olduğundan önceki bölümlerde bahsetmiştik. Baca Geometrisi-6 için yapılan CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların benzer bir geometriye sahip Baca Geometrisi-5'e ait CFD sonuçları ile kıyaslanması neticesinde Baca Geometrisi-5 ile Baca Geometrisi-6'nın birbirine karşı bir üstünlüğünün ve önemli bir fark yaratacak yönünün bulunmadığını söyleyebiliriz.

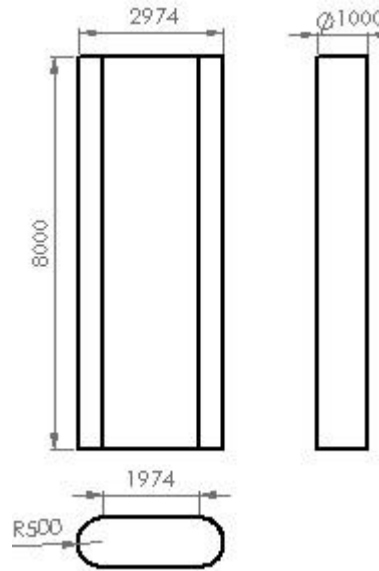
Her ne kadar Baca Geometrisi-5 ve Baca Geometrisi-6'nın CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar ışığında eliptik baca formları için sonuçlar baca yüksekliği aynı olmak kaydıyla elipsin oluşturulmasında kullanılan büyük ve küçük çap değerlerinden bağımsız gibi görünse de bu tez çalışmasında incelenen iki eliptik form analizine dayanarak böyle bir hususu belirtmek yanlış olacaktır. Böyle bir hususu söyleyebilmek için aynı yüksekliğe sahip, değişik büyük ve küçük çaplar kullanılarak elde edilmiş birçok baca geometrisinin CFD analizlerinin yapılması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması neticesinde bu sonuçların birbirine oldukça yakın sonuçlar olduğunun gösterilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yetersiz sayıda benzer baca geometrisi kullanılarak yapılan analizler neticesinde böyle bir sonuca ulaşmak oldukça yanlış olur. Bu çalışmadaki amaç böyle kesin bir sonuca varmaktan ziyade geçmişten günümüze birçok yüzer platformda kullanılan dairesel kesitli baca geometrisine alternatif olabilecek bazı geometrilerin CFD analizlerinin yapılması, yapılan bu analizler neticesinde benzer geometrilere ait sonuçlarının kendi içerisinde ve bu çalışma için referans geometri olarak tanımlayabileceğimiz dairesel kesitli baca formuna ilişkin sonuçlar ile karşılaştırılmasıdır.

5.7 Baca Geometrisi-7

Baca Geometrisi-7 bu tez çalışmasında incelenen ve analiz edilen iki oval kesitli baca geometrisinden bir tanesidir. Her ne kadar CFD analizleri yapılan iki oval geometrinin sonuçlarına bakarak kesin bir hükme varmamız zor olsa da en azından bize bir fikir verebilir. Bu sebeple oval forma sahip baca geometrilerinin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçları hem kendi aralarında hem de referans geometri olarak belirlediğimiz dairesel kesite sahip Baca Geometrisi-1'in CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırmamız yanlış olmaz. Baca Geometrisi-7 ve ilgili ölçülendirme sırasıyla Şekil 5.73 ve Şekil 5.74 ile verilmiştir.

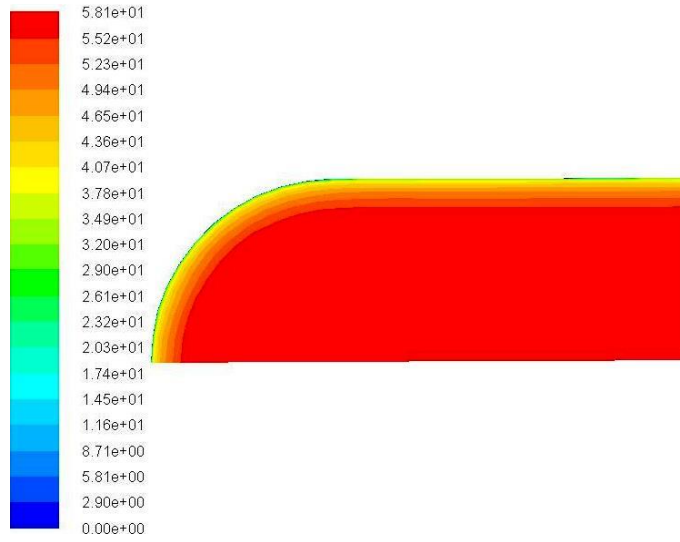


Şekil 5.73: Baca Geometrisi-7.

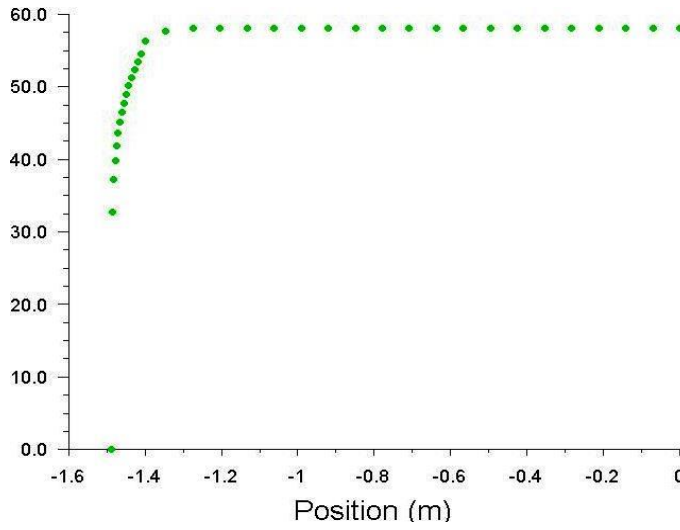


Şekil 5.74: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin ölçüler (mm).

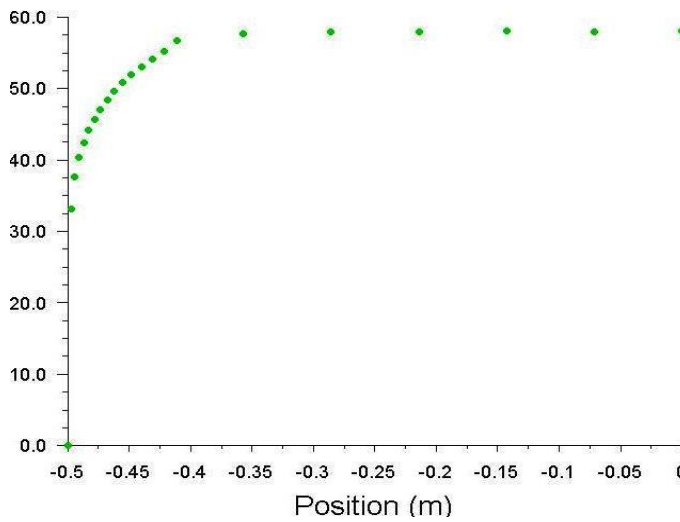
Baca Geometrisi-7'nin giriş kısmında akış hızı 55.77 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.75, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.76 ve çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılım Şekil 5.77 ile verilmiştir.



Şekil 5.75: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.76: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

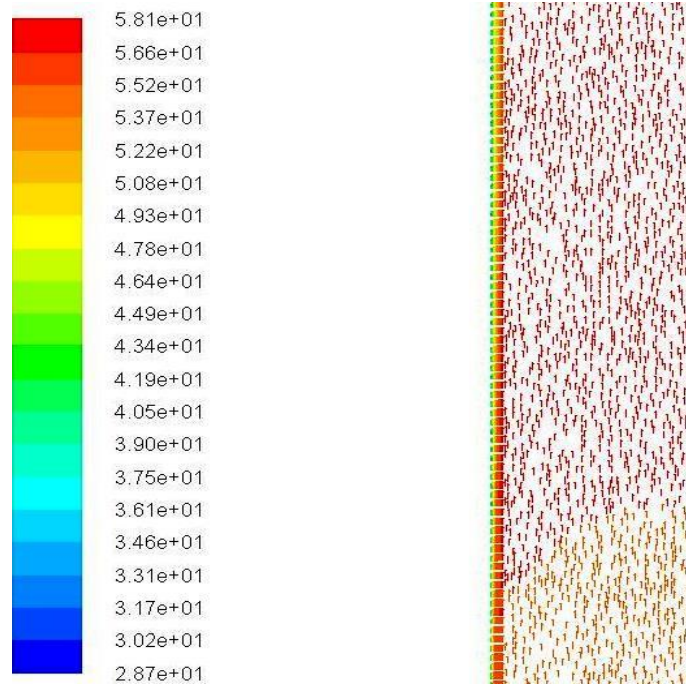


Şekil 5.77: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.75'ten de görüldüğü üzere diğer geometrilerde olduğu gibi Baca Geometrisi-7'nin de çıkış kısmının merkezden çeperlere doğru yayılan büyük bir bölümde azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır.

Şekil 5.76 ve Şekil 5.77'yi incelediğimizde ve birlikte yorumlandığında Baca Geometrisi-7'nin çıkış kesitinin sahip olduğunu alanın yaklaşık %65'lik bir kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Bu oran referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1'e göre %5 daha az olmakla birlikte eliptik çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-5'e göre yaklaşık %2 daha fazladır.

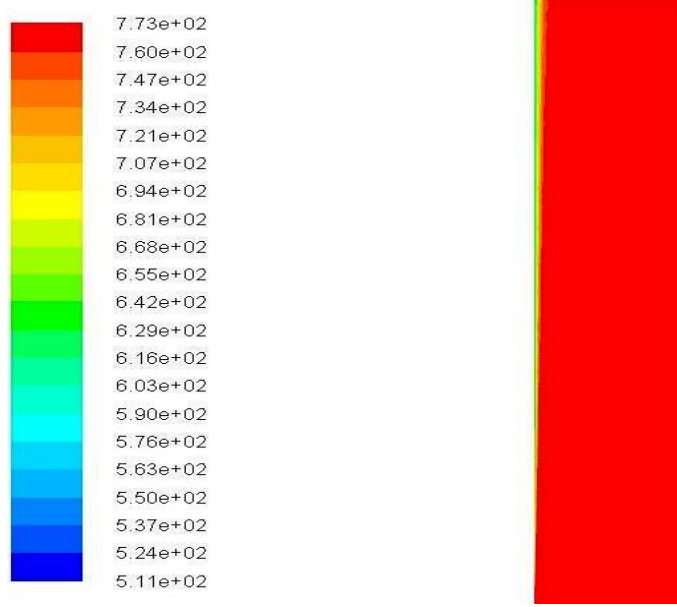
Baca Geometrisi-7'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi amacıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri Şekil 5.78 ile verilmiştir.



Şekil 5.78: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

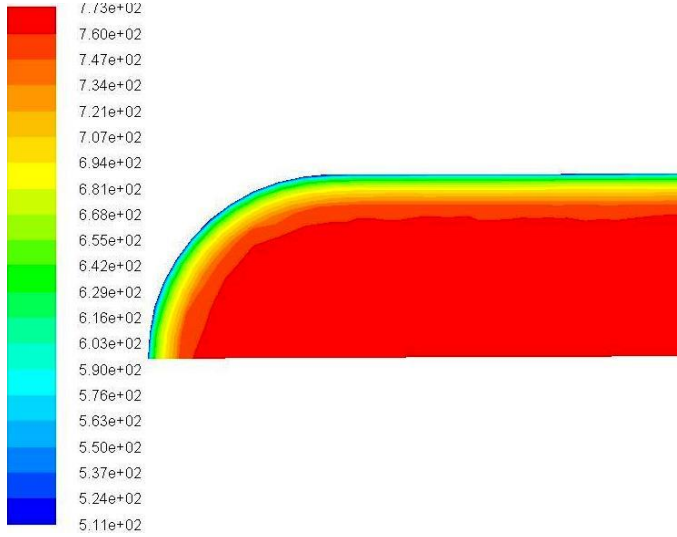
Şekil 5.78 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-7'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

Baca Geometrisi-7'nin xy düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.79 ile verilmiştir.

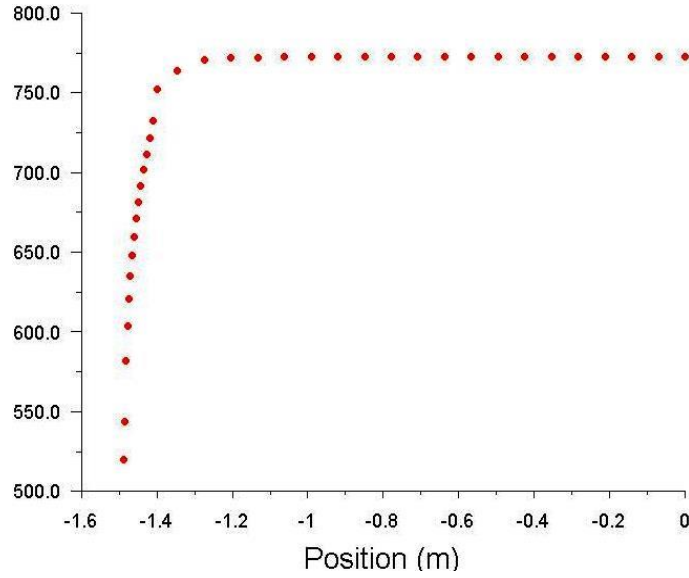


Şekil 5.79: Baca Geometrisi-7'nin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

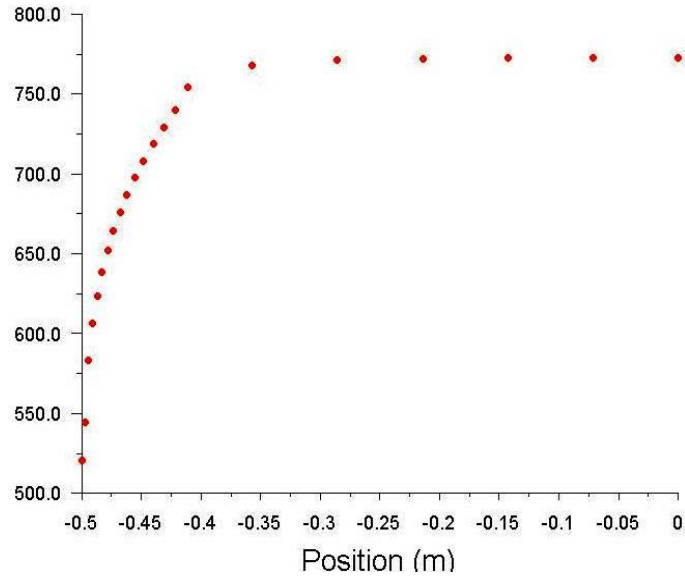
Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.80, çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.81 ve z simetri eksenine boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.82 ile verilmiştir.



Şekil 5.80: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



Şekil 5.81: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

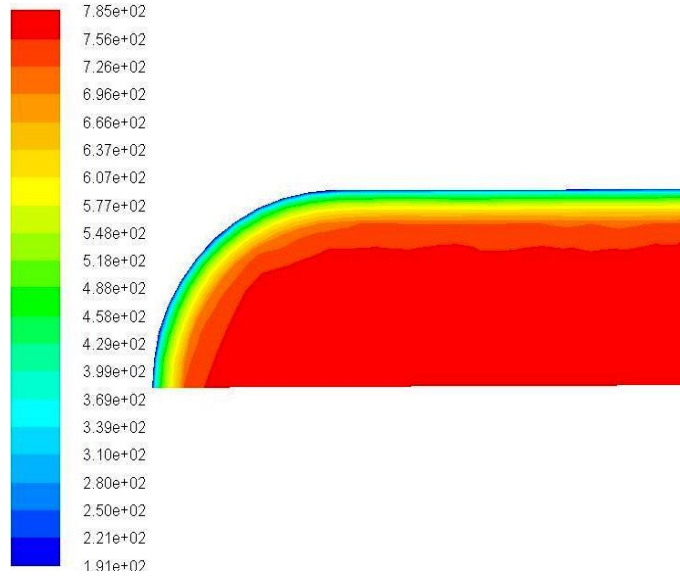


Şekil 5.82: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

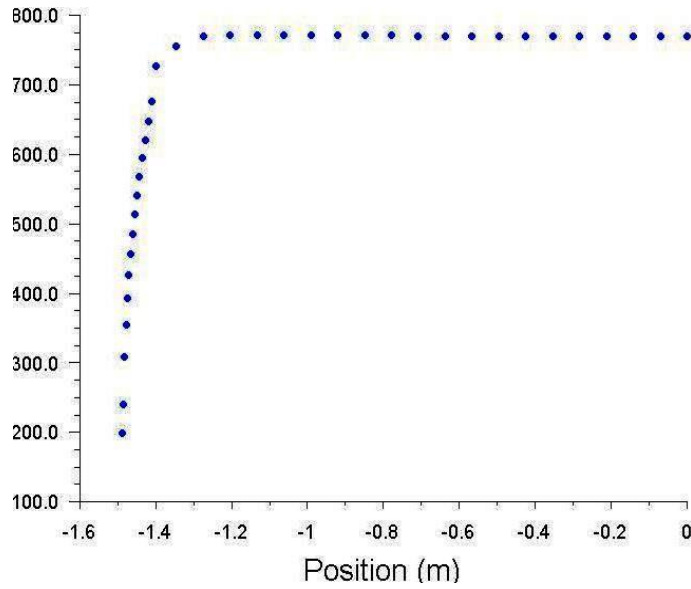
Baca Geometrisi-7'nin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile x ve z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımları incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında merkezden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge, çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %60'lık kısmını kaplarken bu oran dairesel kesite sahip Baca Geometrisi-1 için yaklaşık olarak %75'tir.

Çepere yakın çok ince bir bölgede sıcaklık değeri 520 K civarına kadar düşmüş olsa da bu ince bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının yaklaşık 600 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 170 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz.

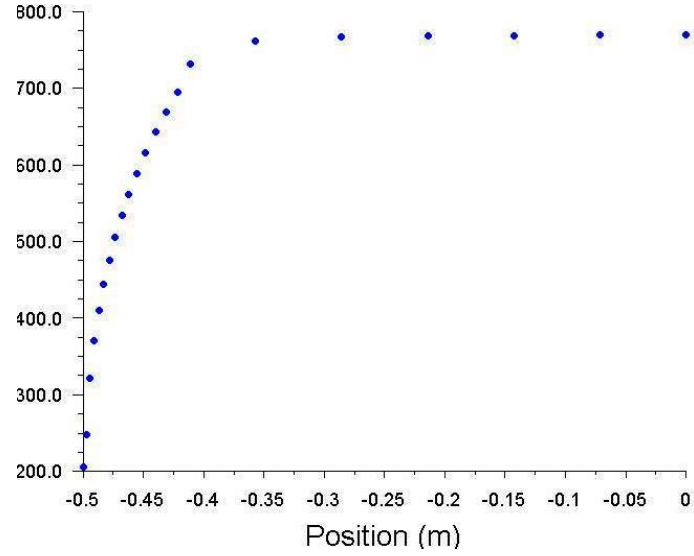
Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.83, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.84 ve çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.85 ile verilmiştir.



Şekil 5.83: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış toplam basınç dağılımı (Pa).



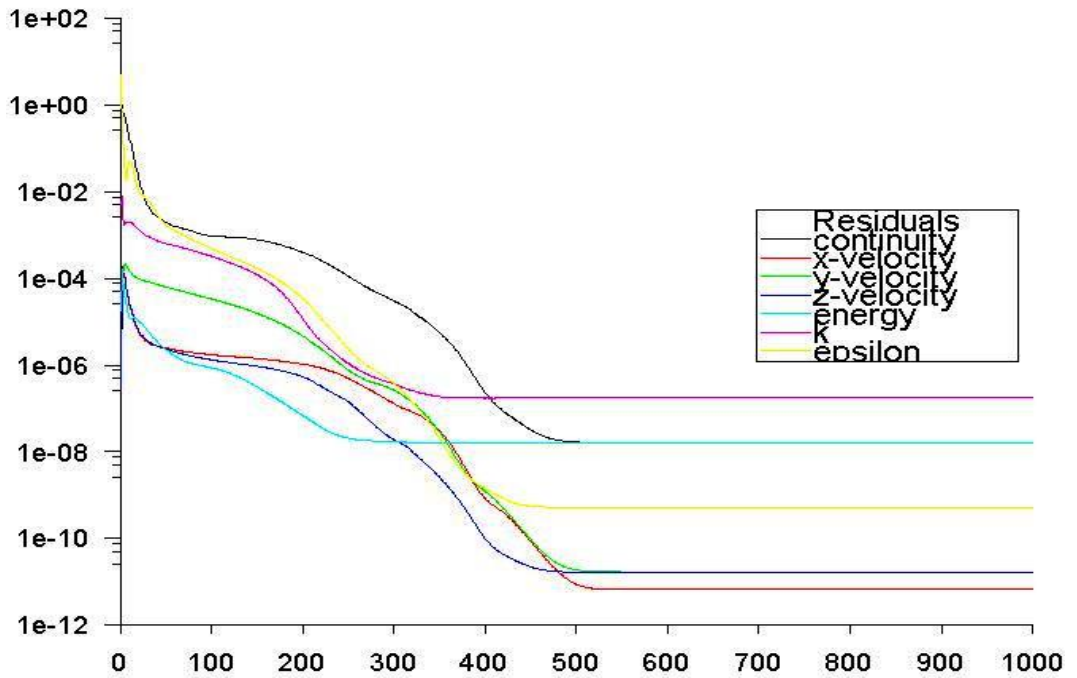
Şekil 5.84: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.85: Baca Geometrisi-7'ye ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-7'nin baca içerisindeki basınç düşüşü 338 Pa'dır. Eliptik kesite sahip Baca Geometrisi-5'in baca içerisindeki basınç düşüşü 555 Pa, diğer eliptik kesite sahip baca geometrisi olan Baca Geometrisi-6 için bu değer 198 Pa'dır. Hatırlamak gerekirse dairesel kesitli baca geometrisi için baca içerisindeki basınç düşüşü 123 Pa değerine sahipti.

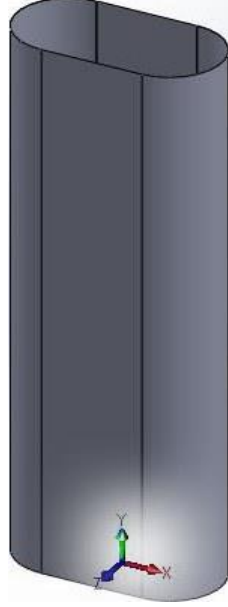
Baca Geometrisi-7'nin FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.86 ile gösterilmiştir.



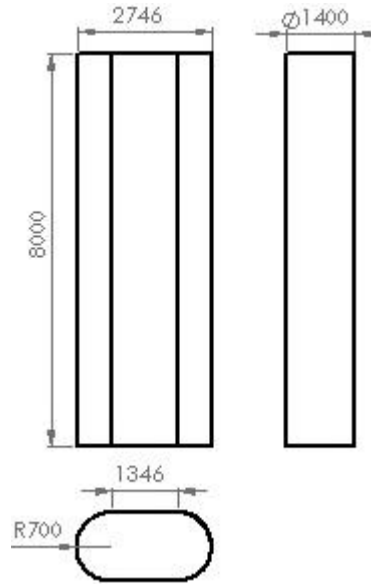
Şekil 5.86: Baca Geometrisi-7'nin sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

5.8 Baca Geometrisi-8

Baca Geometrisi-8'in yüksekliği Baca Geometrisi-7 ile aynı, fakat oval kesit oluşturulurken kullanılan geometrik ölçüler açısından farklı olan, Baca Geometrisi-7'ye benzer başka bir baca formudur. Baca Geometrisi-8 Şekil 5.87 ve ilgili ölçölendirme Şekil 5.88 ile verilmiştir.



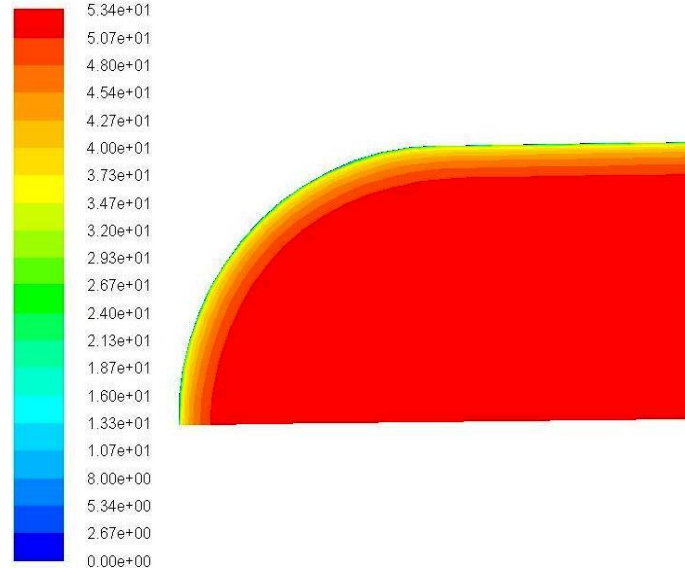
Şekil 5.87: Baca Geometrisi-8.



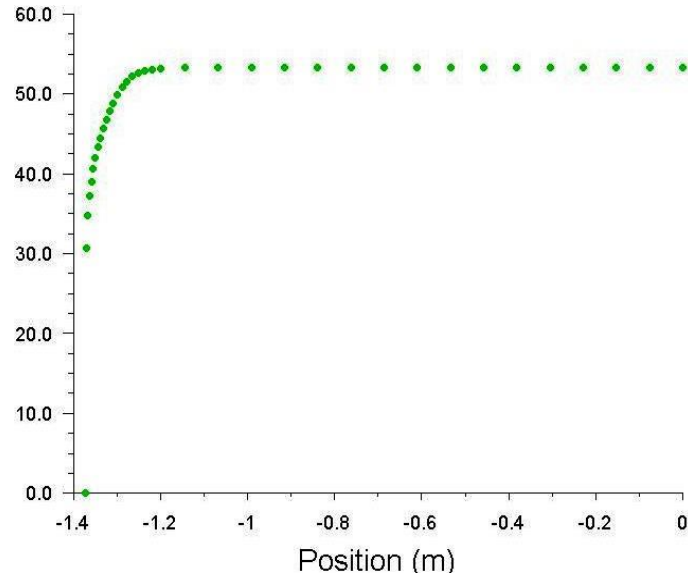
Şekil 5.88: Baca Geometrisi-8'e ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-8'in giriş kısmında akış hızı 51.56 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.89, çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin

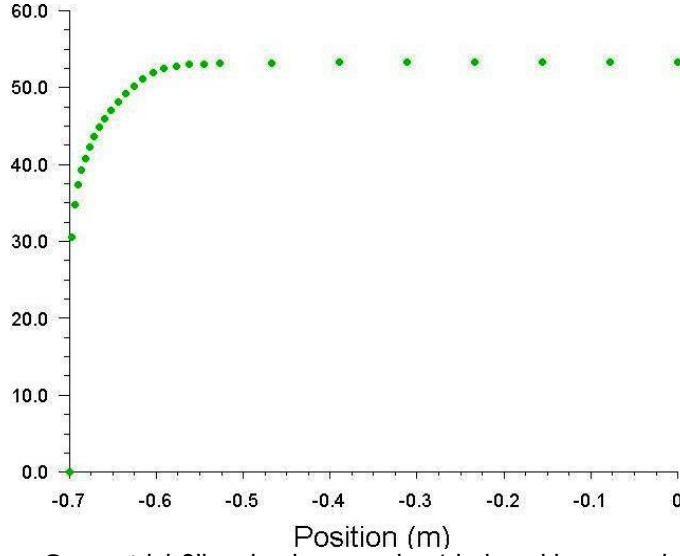
dağılımı ise Şekil 5.90 ve çıkış kısmı z simetri eksenine boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılım Şekil 5.91 ile verilmiştir.



Şekil 5.89: Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.90: Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

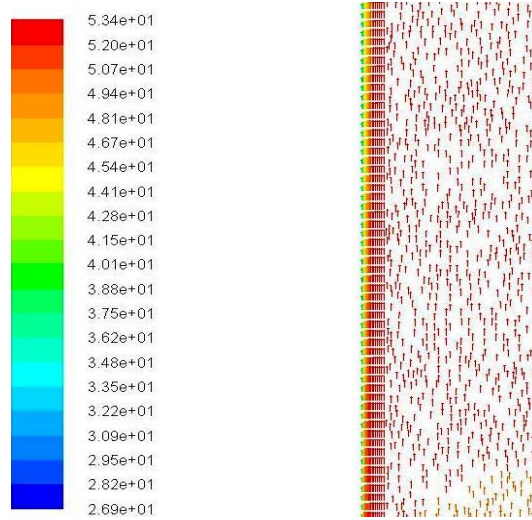


Şekil 5.91: Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı z simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşenin dağılımı (m/s).

Şekil 5.89 incelendiğinde Baca Geometrisi-7'ye benzer şekilde Baca Geometrisi-8'in de çıkış kısmının merkezden çeperlere doğru yayılan büyük bir bölümünde azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunduğu görülmektedir.

Şekil 5.90 ve Şekil 5.91'i incelediğimizde ve birlikte yorumlandığımızda Baca Geometrisi-8'in çıkış kesitinin sahip olduğunu alanın yaklaşık %68'lik bir kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Hatırlamak gerekirse bu oran referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için %70 olmakla birlikte diğer oval çıkış kesitine sahip baca geometrisi olan Baca Geometrisi-7 için %65'ti.

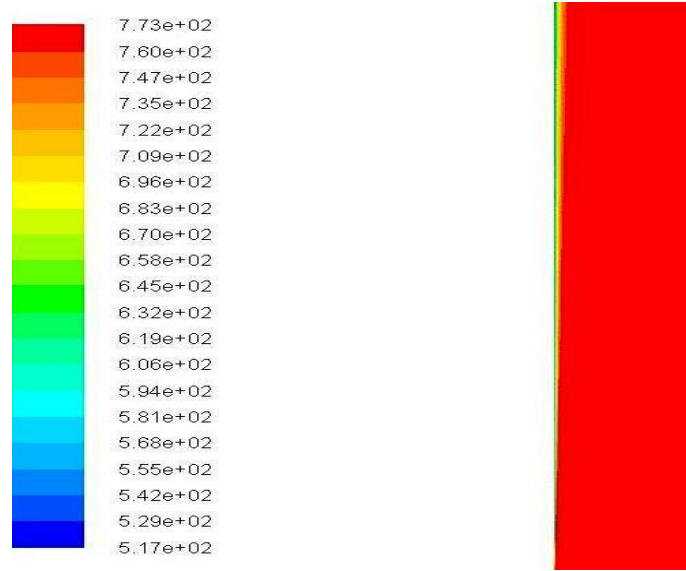
Baca Geometrisi-8'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan belirli kesitteki hız vektörleri Şekil 5.92 ile verilmiştir.



Şekil 5.92: Baca Geometrisi-8'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden alınan belirli bir kesitteki bileşke hız vektörleri (m/s).

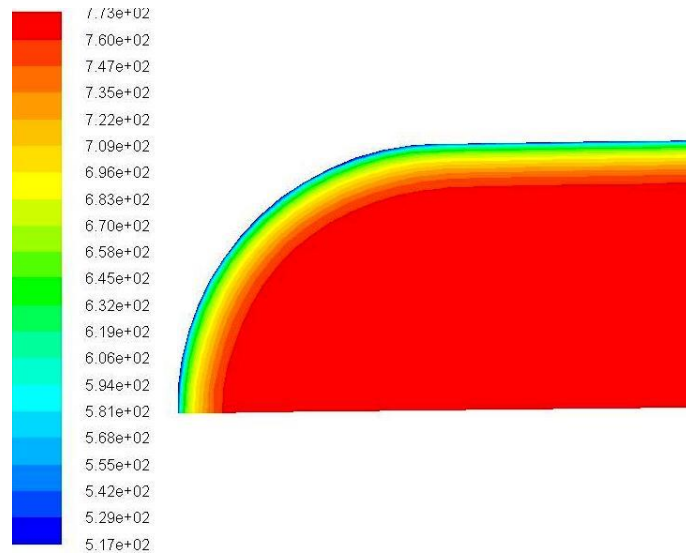
Şekil 5.92 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin olmadığı görülmektedir. Her ne kadar belirli bir kesitteki vektörler gösterilmiş olsa bile Baca Geometrisi-8'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca vektörlerin yönü aynı olup her hangi bir dönme veya ayrılma bulunmamaktadır.

Baca Geometrisi-8'in xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.93 ile verilmiştir.

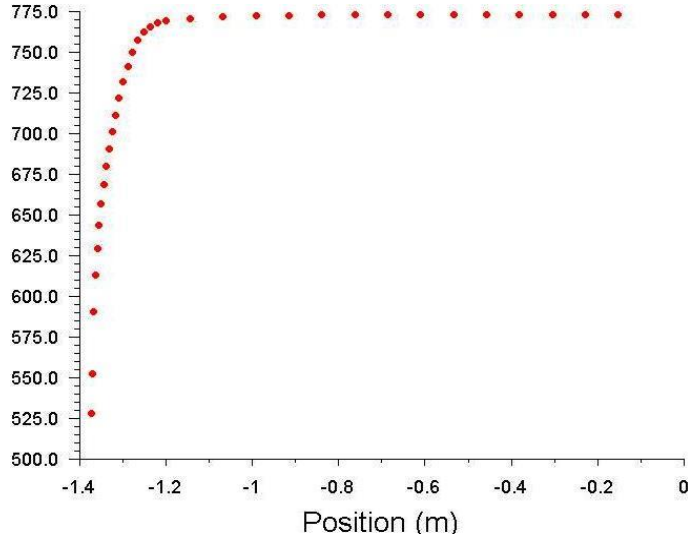


Şekil 5.93: Baca Geometrisi-8'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

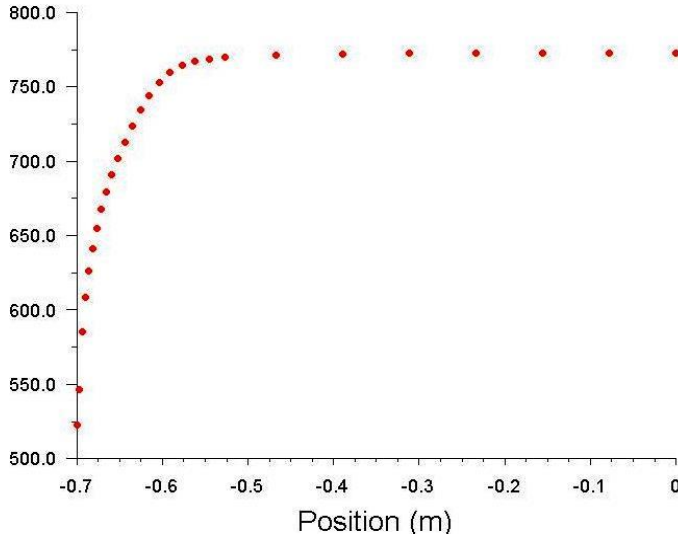
Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.94, çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.95 ve z simetri eksenine boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.96 ile verilmiştir.



Şekil 5.94: Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



Şekil 5.95: Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

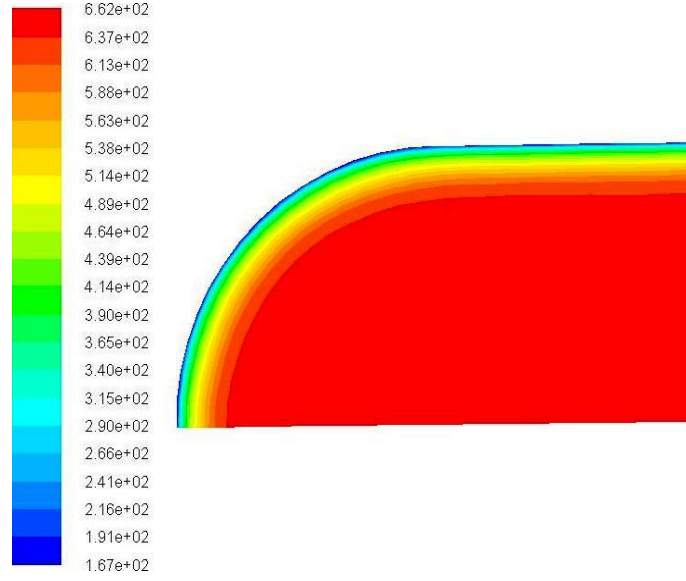


Şekil 5.96: Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

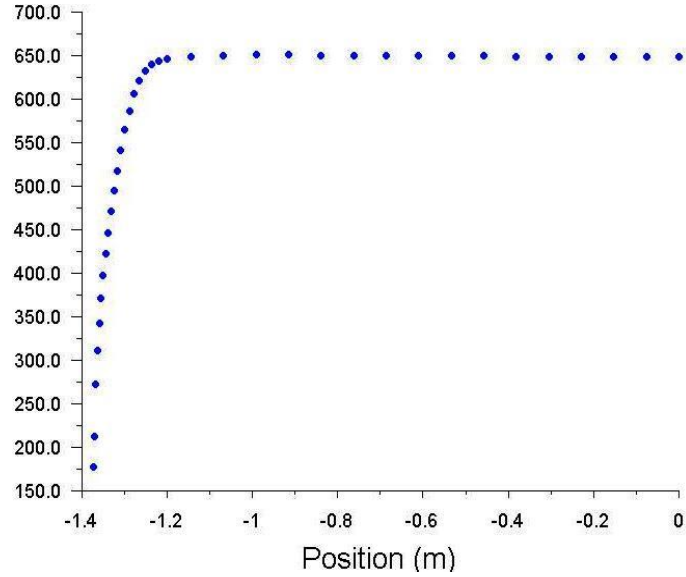
Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile x ve z simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımları incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında merkezden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge, çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %67'lik kısmını kaplarken bu oran benzer bir geometri olan Baca Geometrisi-7'ye nazaran yaklaşık %7 daha kötüdür.

Çepere yakın ince bir bölgede sıcaklık değeri 520 K civarına kadar düşmüştür. Bu ince bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının yaklaşık 600 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 170 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz.

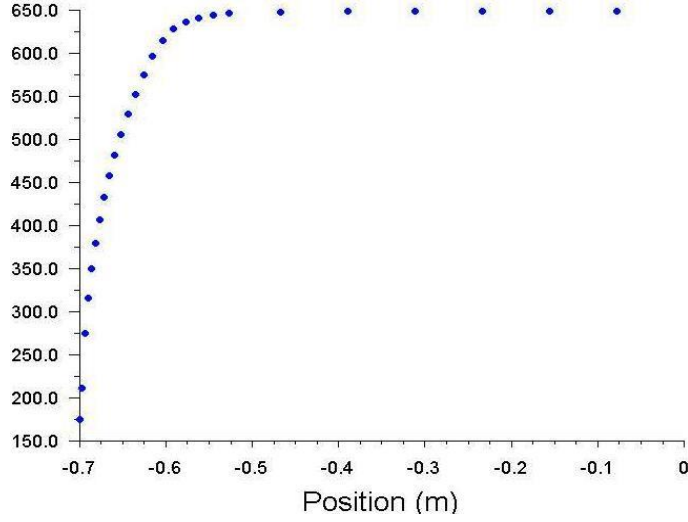
Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.97, çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.98 ve çıkış kısmı z simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.99 ile verilmiştir.



Şekil 5.97: Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



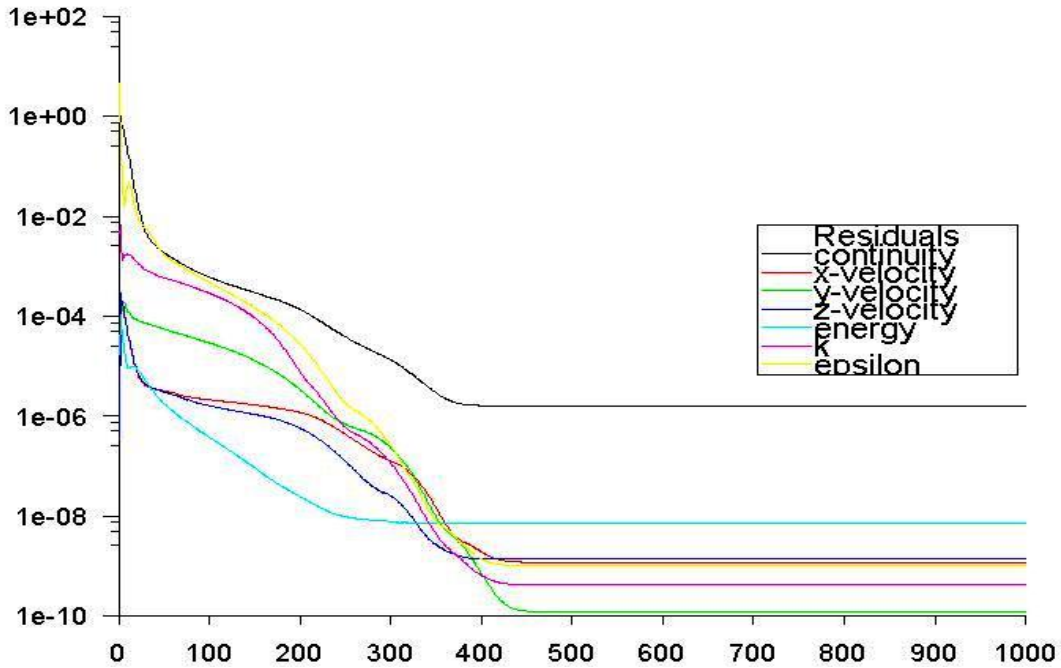
Şekil 5.98: Baca Geometrisi-8'in çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.99: Baca Geometrisi-8'e ilişkin çıkış kısmı z simetri eksenini boyuncası toplam basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-8'in baca içerisindeki basınç düşüşü 253 Pa civarındadır. Benzer bir diğer geometri olan Baca Geometrisi-7'nin baca içerisindeki basınç düşüşü 338 Pa olup eliptik kesite sahip Baca Geometrisi-5'in baca içerisindeki basınç düşüşü 555 Pa, diğer eliptik kesite sahip baca geometrisi olan Baca Geometrisi-6 için bu değer 198 Pa'dır. Hatırlamak gerekirse dairesel kesitli baca geometrisi için baca içerisindeki basınç düşüşü 123 Pa değerine sahipti.

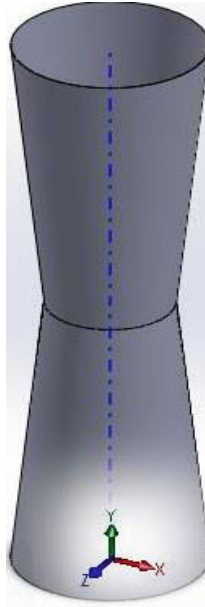
Baca Geometrisi-8'in FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.100 ile gösterilmiştir.



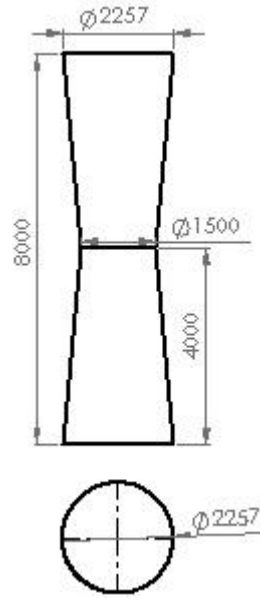
Şekil 5.100: Baca Geometrisi-8'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

5.9 Baca Geometrisi-9

Baca Geometrisi-9 şu ana kadar incelenen diğer geometrilerden farklı olarak tam ortasında daralan bir kesite sahiptir. Bacanın ortasına kadar form daralmakta ve sonra tekrar genişlemektedir. Daralan kesit, sıkıştırılabilirlik etkilerinin ihmal edilebilmesi maksadıyla daralan kesitte akış hızı $0.3 Ma$ değerinden küçük olacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu baca geometrisinde akış hızı daralan kesite kadar artmakta daralan kesitten sonra ise azalmaktadır. Çıkış kesiti ise yine dairesel formdadır. Baca Geometrisi-9'da çıkış kesitinin çapı 2257 mm, daralan kesitin çapı 1500 mm ve baca yüksekliği 8000 mm'dir. Baca Geometrisi-9'un da çıkış kesitinin dairesel formda olmasından dolayı CFD analizi neticesinde elde edilen sonuçları referans geometri olarak belirlediğimiz ve dairesel forma sahip Baca Geometrisi-1'in CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmak yanlış olmayacaktır. Bu karşılaştırma neticesinde Baca Geometrisi-9'un ortasında bulunan daralan kesitin etkisi incelenmiş olacaktır. Baca Geometrisi-9 ve ilgili ölçülendirme sırasıyla Şekil 5.101 ve 5.102 ile verilmiştir.

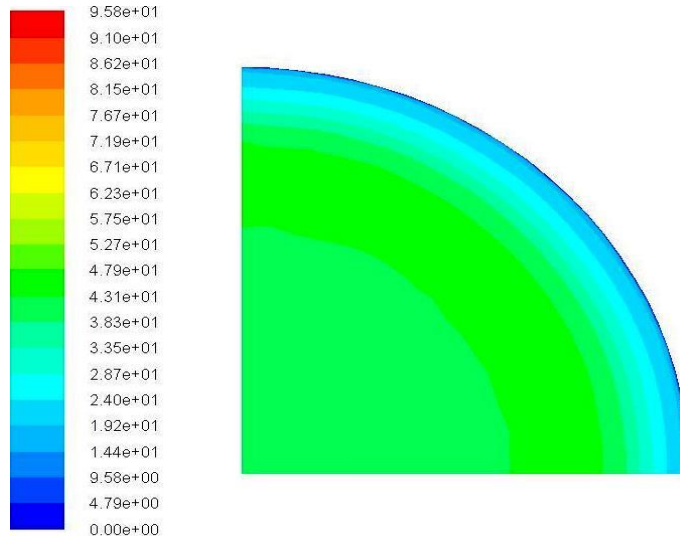


Şekil 5.101: Baca Geometrisi-9.

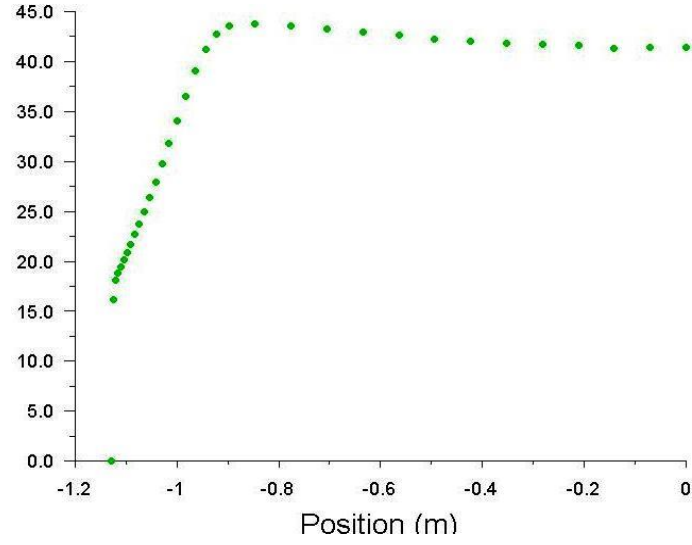


Şekil 5.102: Baca Geometrisi-9'a ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-9'un giriş kısmında akış hızı 38.46 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.103 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.104 ile verilmiştir.



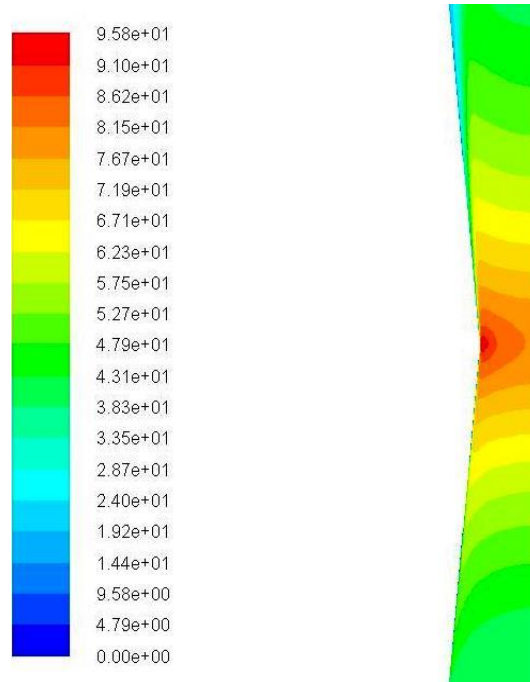
Şekil 5.103: Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.104: Baca Geometrisi-9'un çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşenin dağılımı (m/s).

Şekil 5.104'ü incelediğimizde ve yorumlandığımızda Baca Geometrisi-9'un çıkış kesitinin sahip olduğunu alanın yaklaşık %60'lık bir kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Bu oran referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için %70 idi.

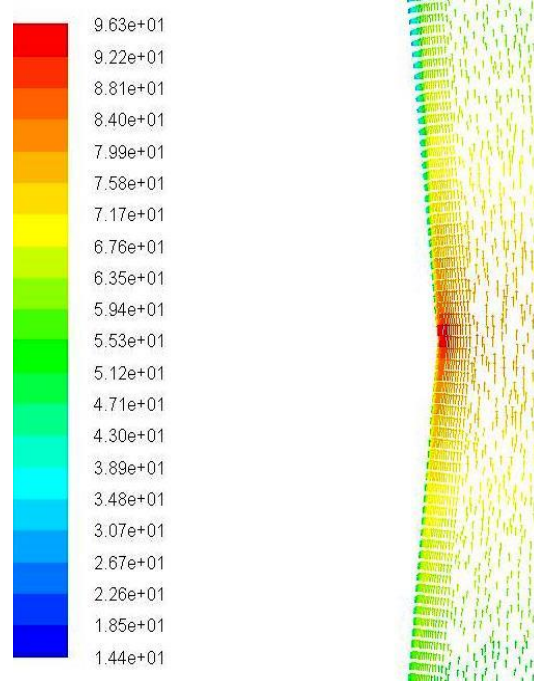
Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı Şekil 5.105 ile verilmiştir.



Şekil 5.105: Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.105'ten de görüldüğü üzere akış hızı önce daralan kesite doğru artmış, daralan kesitte azami değere ulaşmış ve çıkış kesatine doğru gidildikçe azalmıştır.

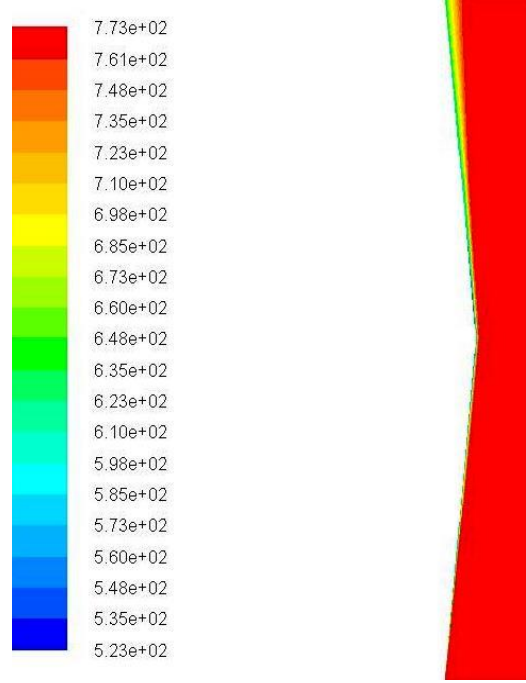
Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan kesitteki hız vektörleri Şekil 5.106 ile verilmiştir.



Şekil 5.106: Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.106 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin veya ayrılmanın olmadığı görülmektedir.

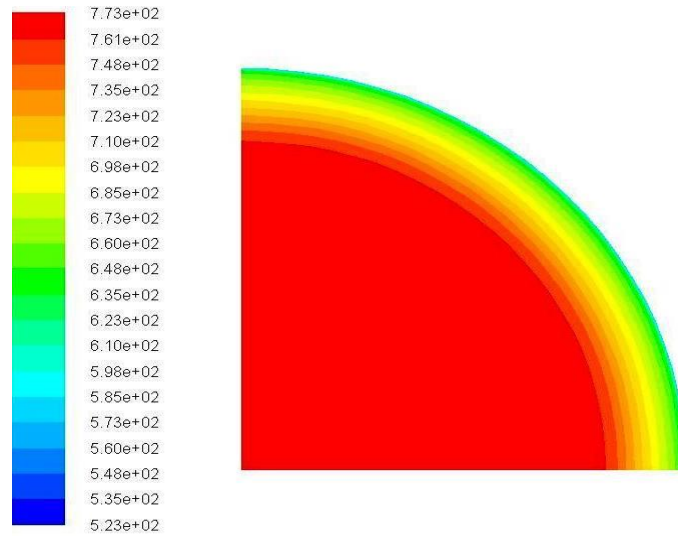
Baca Geometrisi-9'un xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.107 ile verilmiştir.



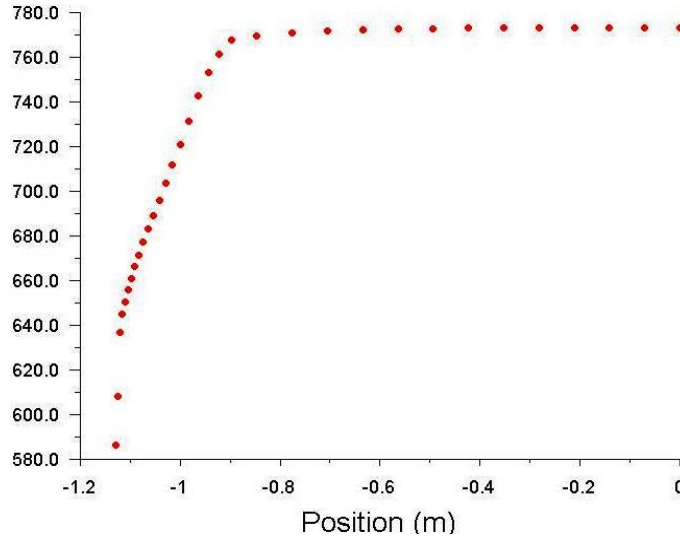
Şekil 5.107: Baca Geometrisi-9'un xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.107'yi incelediğimizde Baca Geometrisi-9'un en alt noktasından ortasında yer alan daralan kesite kadar çeperlerden merkeze çok fazla soğuma olmasa da daralan kesit ile çıkış kesiti arasında çeperlerden merkeze biraz daha fazla soğuma olduğu göze çarpmaktadır.

Baca Geometrisi-9'un çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.108 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.109 ile verilmiştir.



Şekil 5.108: Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



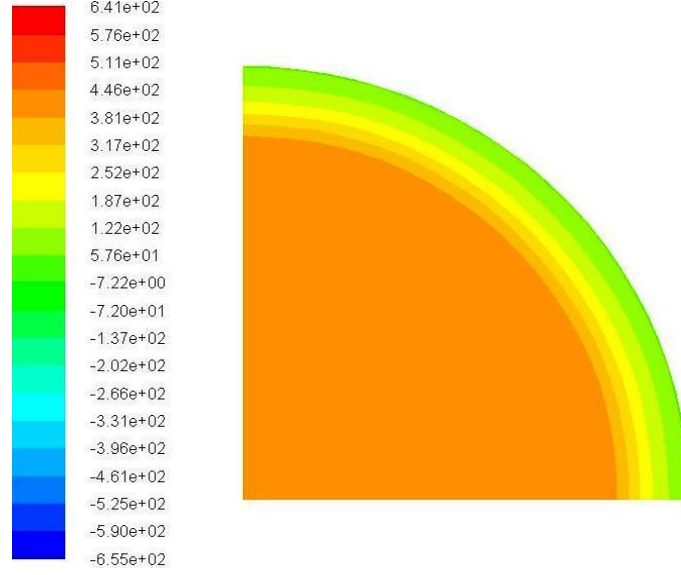
Şekil 5.109: Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-9'un çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında merkezden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge, çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %57'lik kısmını kaplamaktadır. Bu oran referans geometri olarak belirlediğimiz ve dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için %75 idi.

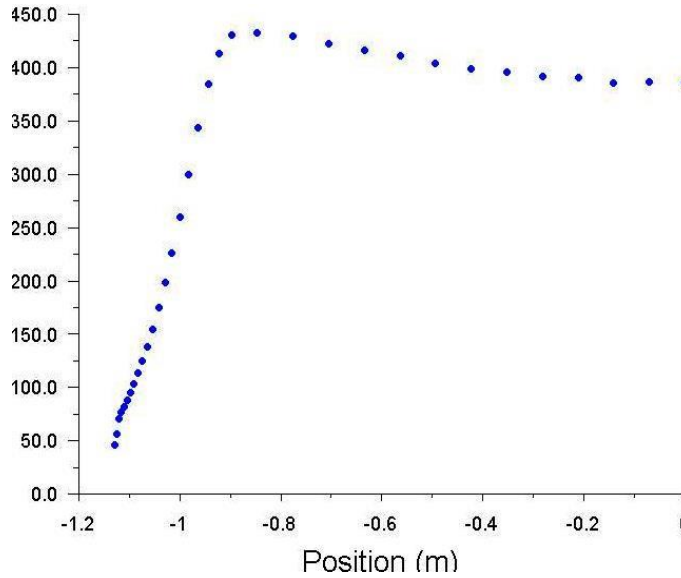
Şekil 5.108 incelendiğinde çepere yakın çok ince bir bölgede sıcaklık değeri 580 K civarına kadar düşmüştür. Bu bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının yaklaşık 640 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 130 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz. Dairesel çıkış kesitine sahip geometriler ele alındığında hem Baca Geometrisi-1 hem de Baca Geometrisi-9'un çıkış kesit alanlarıyla birlikte baca yükseklikleri aynıdır. Tek fark Baca Geometrisi-1'in tüm yüksekliği boyunca çap değeri 2257 mm olarak aynı kalmış, fakat Baca Geometrisi-9'un giriş ve çıkış kesit çapı 2257 mm olup bu değer orta kısma doğru konik bir şekilde azalmakta ve orta kesimde çap değeri 1500 mm olmaktadır. Her iki baca geometrisine ilişkin sıcaklık dağılımları ile birlikte çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde Baca Geometrisi-1 için çepere yakın bölgelerde yaklaşık 150 C civarında bir soğumanın olduğu, fakat çıkış kesit formu bakımından aynı olan Baca Geometrisi-9 için çepere yakın bölgelerde yaklaşık 130 C civarında bir soğumanın olduğu görülmüştür. Fakat azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge Baca Geometrisi-1 için toplam çıkış kesit alanının %75'ini oluştururken bu oran Baca Geometrisi-9 için %57'dir. Baca Geometrisi-9'un CFD analizleri neticesinde elde edilen bu veriler ışığında sabit veya nozul gibi daralan

kesitlerden ziyade difüzer gibi genişleyen kesitlerde çeperlerde meydana gelen soğumanın daha efektif olduğu yönünde bir sonuç çıkarmak yanlış olmaz.

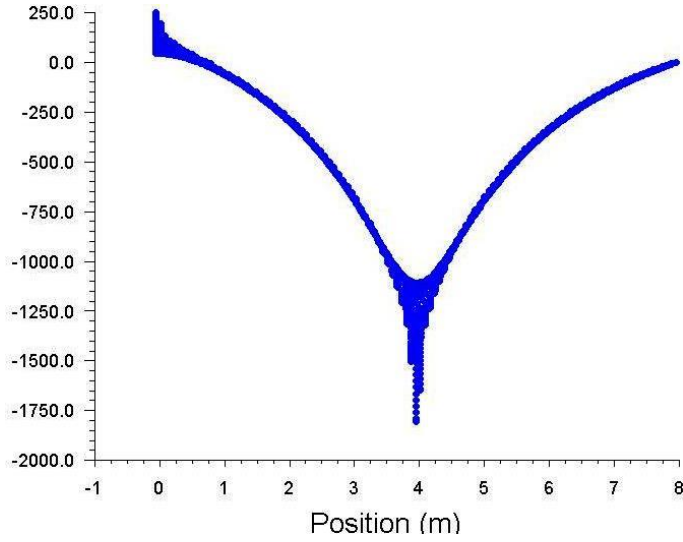
Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.110 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.111 ve xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı Şekil 5.112 ile verilmiştir.



Şekil 5.110: Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).

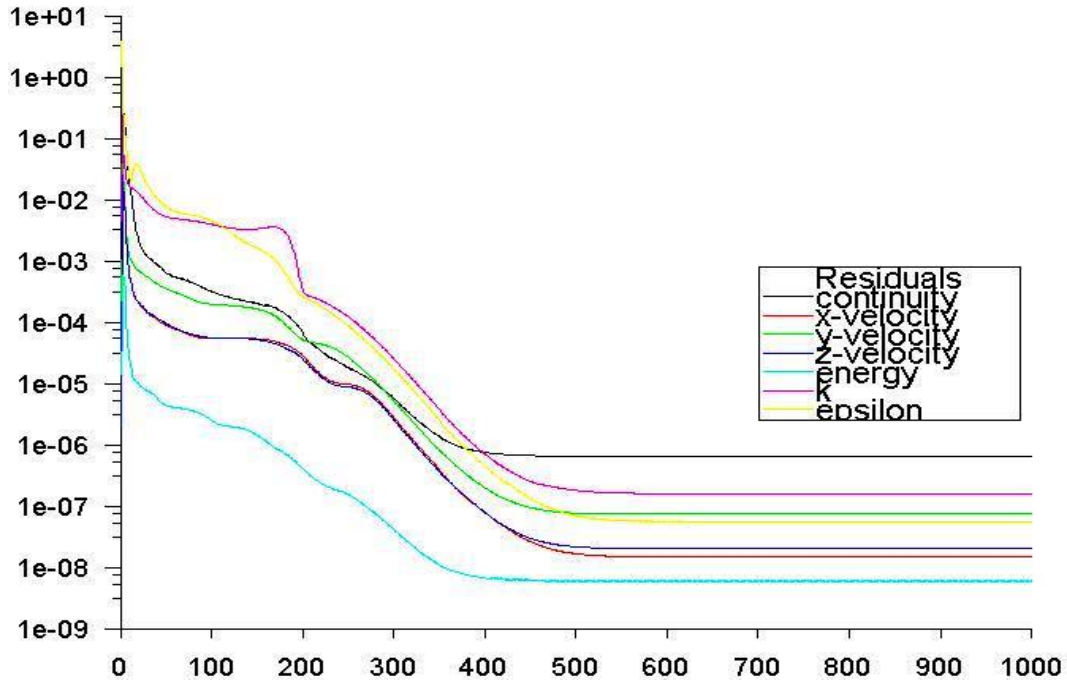


Şekil 5.111: Baca Geometrisi-9'a ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.112: Baca Geometrisi-9'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-9'un FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.113 ile gösterilmiştir.

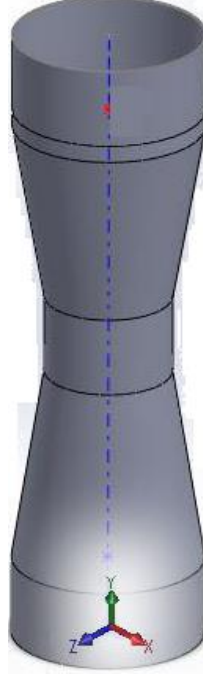


Şekil 5.113: Baca Geometrisi-9'un sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

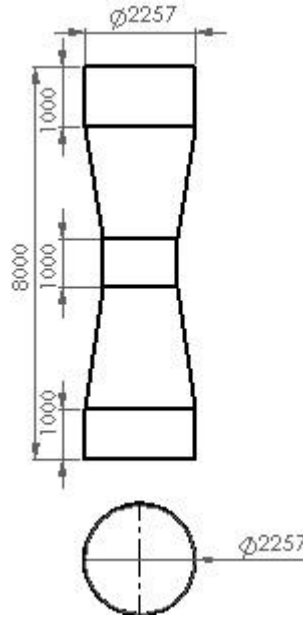
5.10 Baca Geometrisi-10

Baca Geometrisi-10'un ortasında Baca Geometrisi-9'dan farklı olarak 1000 mm uzunluğunda ve 1500 mm çapında dar bir kesit bulunmaktadır. Baca Geometrisi-10

Şekil 5.114 ile ve Baca Geometrisi-10'a ilişkin ölçülendirme Şekil 5. 115 ile verilmiştir.

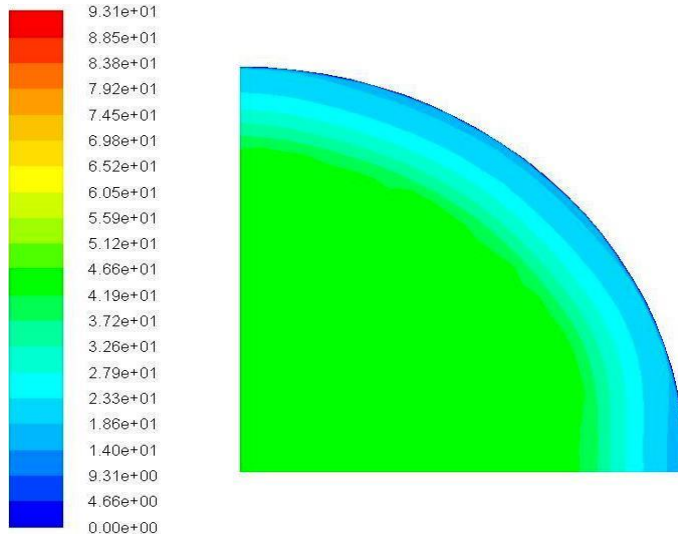


Şekil 5.114: Baca Geometrisi-10.

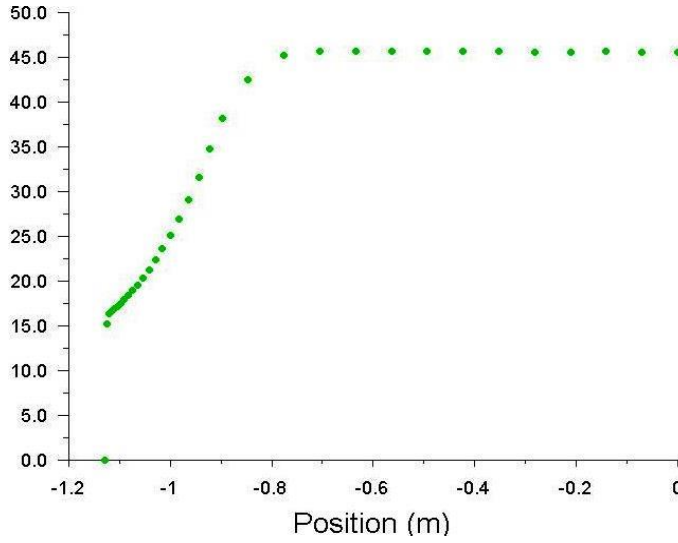


Şekil 5.115: Baca Geometrisi-10'a ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-10'un giriş kısmında akış hızı 38.46 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.116 ve çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.117 ile verilmiştir.



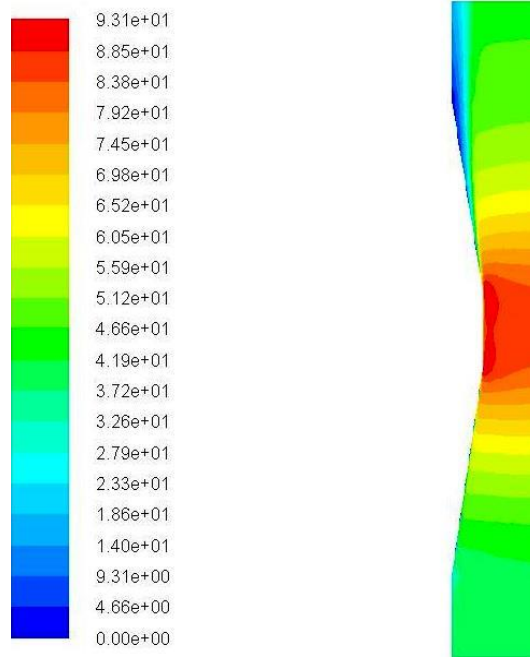
Şekil 5.116: Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.117: Baca Geometrisi-10'un çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

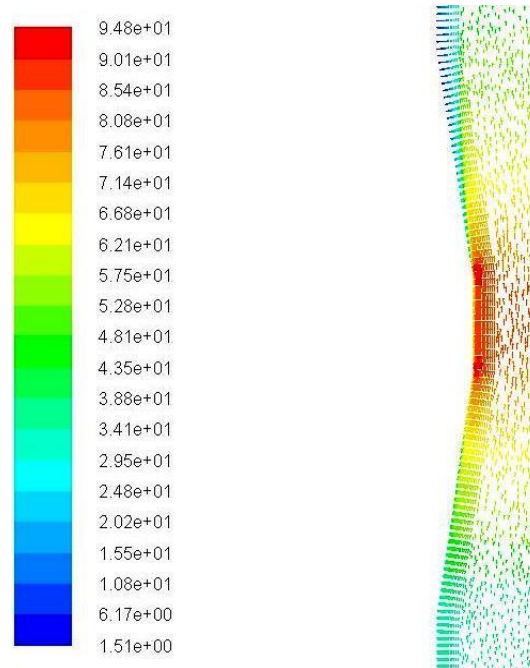
Şekil 5.117'yi incelediğimizde ve yorumlandığımızda Baca Geometrisi-10'un çıkış kesitinin sahip olduğunu alanın yaklaşık %47'lik bir kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Bu oran diğer bir daralan kesite sahip Baca Geometrisi-9 için %60 ve referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için %70 idi.

Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı Şekil 5.118 ile verilmiştir.



Şekil 5.118: Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi amacıyla alınan kesitteki hız vektörleri Şekil 5.119 ile verilmiştir.

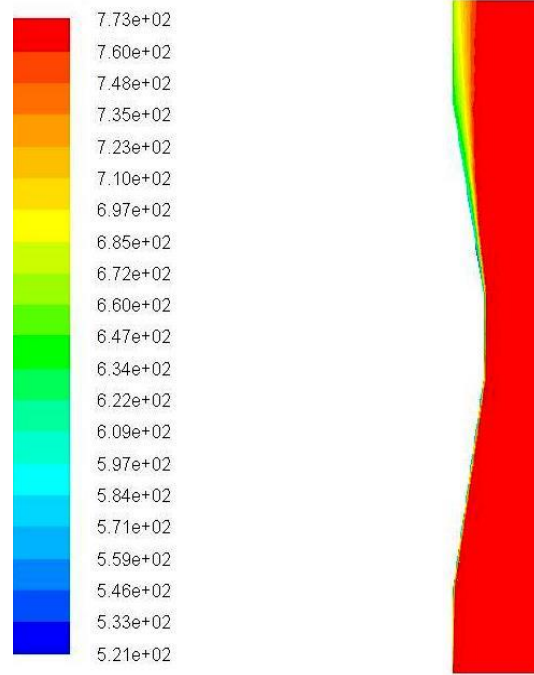


Şekil 5.119: Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.117'den de görüldüğü üzere akış hızı önce daralan kesite doğru artmış, 1000 mm uzunluğundaki daralan kesit boyunca azami değere ulaşmış ve çıkış kesitine doğru gidildikçe azalmıştır.

Şekil 5.119 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin veya ayrılmanın olmadığı açıkça görülmektedir.

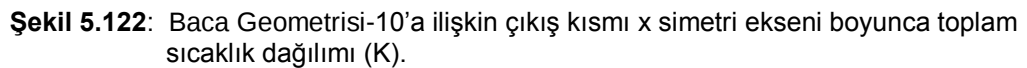
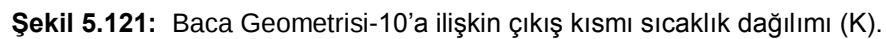
Baca Geometrisi-9'un xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.120 ile verilmiştir.



Şekil 5.120: Baca Geometrisi-10'un xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.120'yi incelediğimizde Baca Geometrisi-10'un en alt noktasından ortasında yer alan daralan kesite kadar çeperlerden neredeyse hiç soğuma olmamıştır. Fakat daralan kesit ile çıkış kesiti arasında çeperlerden merkeze çok daha iyi oranda bir soğumanın olduğu ve bu oranın Baca Geometrisi-9'a nazaran da daha iyi olduğu göze çarpmaktadır.

Baca Geometrisi-10'un çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.121 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.122 ile verilmiştir.

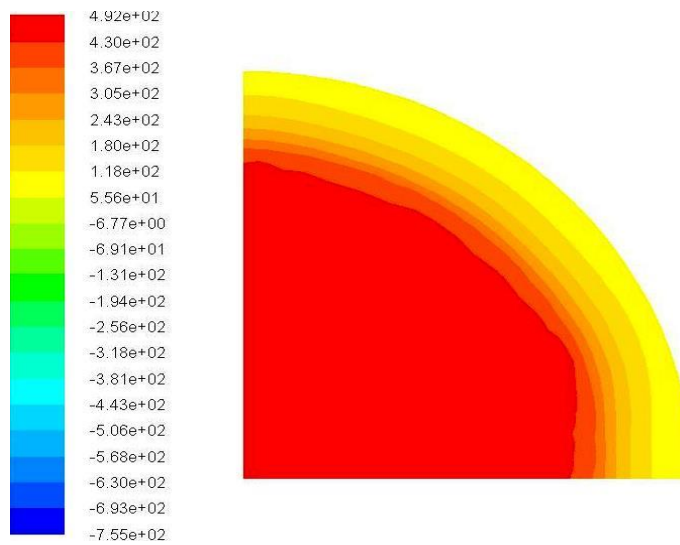


Şekil 5.122 incelendiğinde çepere çok yakın ince bir bölgede geçerli olmak üzere sıcaklık değeri 620 K civarına kadar düşmüştür. Bu bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman

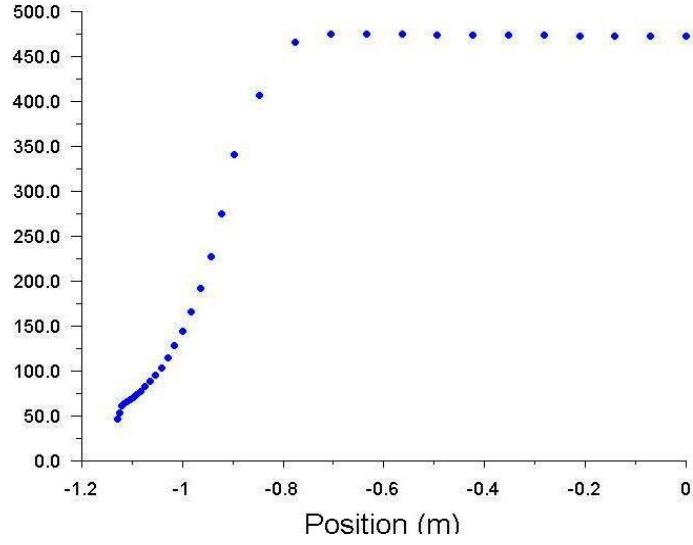
çeperde genel olarak ince bir bölge halinde olsa bile azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının yaklaşık 660 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 110 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz. Aynı zamanda bu sonuçlar Baca Geometrisi-9'un CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlara benzerdir. Fakat Baca Geometrisi-10, merkezinden çepere doğru yayılan ve azami sıcaklıkların hakim olduğu çekirdek bölgenin alanının toplam çıkış kesit alanına oranı bakımından Baca Geometrisi-9'a nazaran biraz daha iyidir.

Şekil 5.116 ile verilen çıkış kısmında hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı, Şekil 5.121 ile verilen çıkış kısmı sıcaklık dağılımı beraber yorumlandığında ve detaylı bir şekilde analiz edildiğinde, sıcak egzoz gazı yoğunluğunun akış boyunca değişmediğini kabul edersek, toplam kütleli debinin yaklaşık %64'lük kısmının hiç soğumadığı, çepere en yakın bulunan ve aynı zamanda nispi olarak en soğuk egzoz gazlarından oluşan yaklaşık %4.25'lik bir kısmın ise 660 K civarına kadar soğuduğu sonucuna ulaşırız. Çıkış kesitinde merkezden çepere doğru gidildikçe sıcaklığın düştüğünü daha önceden belirtmiştik. Toplam kütleli debinin değişmemesi kaydıyla çıkış kesitinde bulunan farklı kütleli debi ve sıcaklıklara sahip egzoz gazlarını karıştırarak tek bir sıcaklığa sahip bir egzoz gazı elde etmek isteseydik bu egzoz gazının sıcaklığı yaklaşık 745 K olurdu. Bu sıcaklık aynı zamanda çıkış kesitindeki ortalama egzoz gazı sıcaklığıdır.

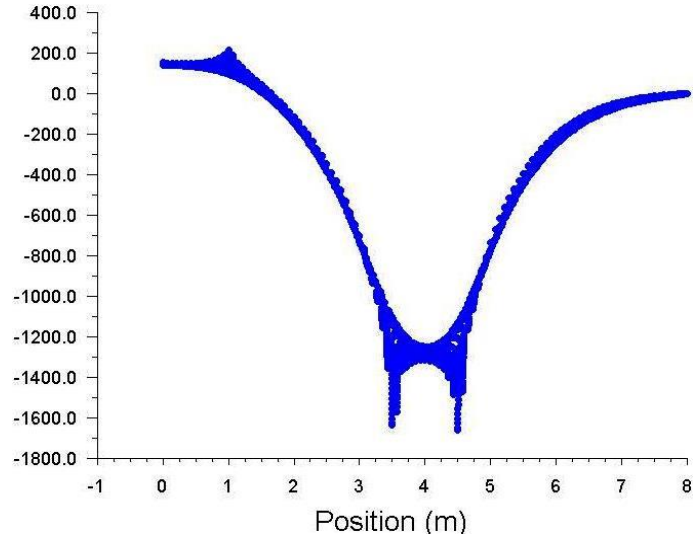
Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.123, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.124 ve xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı Şekil 5.125 ile verilmiştir.



Şekil 5.123: Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



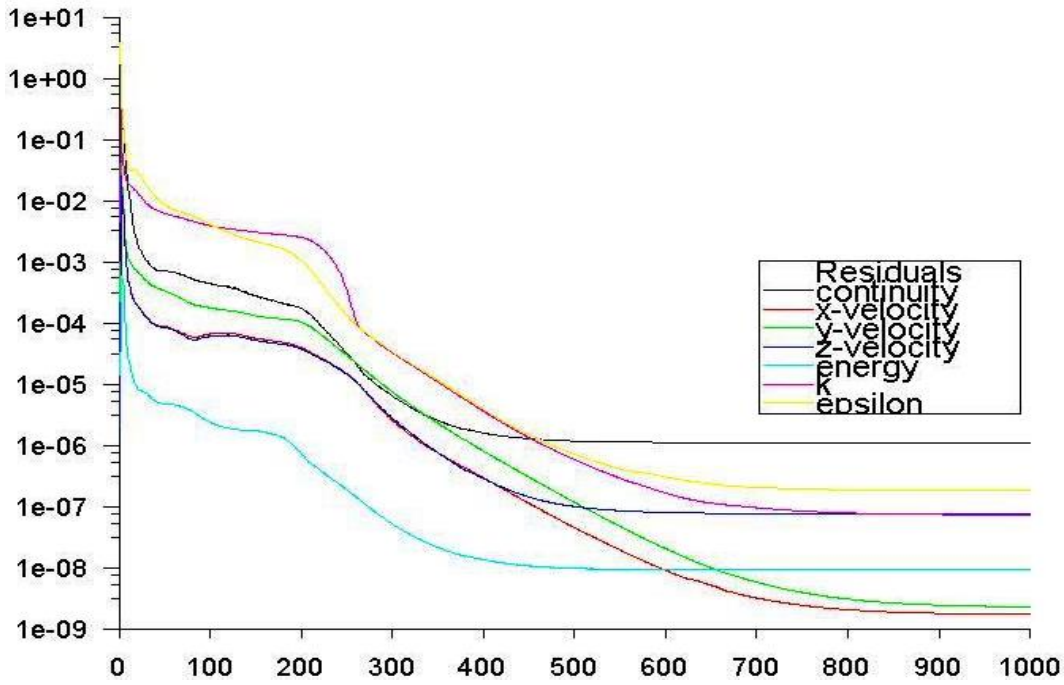
Şekil 5.124: Baca Geometrisi-10'a ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunda toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.125: Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı (Pa).

Şekil 5.125 ile verilen Baca Geometrisi-10'a ilişkin xy simetri düzleminde statik basınç dağılımı incelendiğinde bacanın giriş ve çıkış uçlarında yer alan 1000 mm uzunluğunda ve 2257 mm çapındaki kesitte statik basınç azami değere sahiptir. Kesitin daralmaya başlamasıyla birlikte egzoz akış hızının artmaya ve statik basınç düşmeye başlamış, ortada yer alan 1500 mm çapında ve 1000 mm uzunluğundaki dar kesitte en küçük değerine sahip olmuş ve kesitin yavaş yavaş genişlemesiyle birlikte egzoz akış hızı düşmeye ve statik basınç değeri tekrardan yükselmeye başlamıştır.

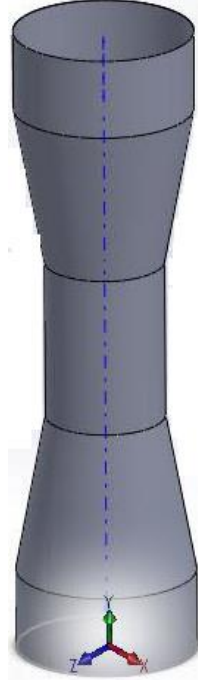
Baca Geometrisi-10'un FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.126 ile gösterilmiştir.



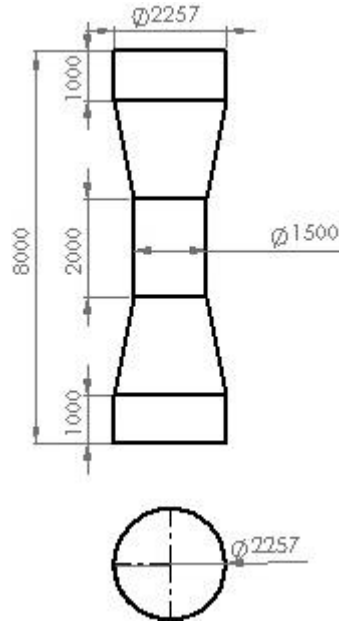
Şekil 5.126: Baca Geometrisi-10'un sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

5.11 Baca Geometrisi-11

Baca Geometrisi-11, Baca Geometrisi-10'a benzemekle birlikte aralarındaki temel fark, bacaların ortasında yer alan dar kesitten ileri gelmektedir. Baca Geometrisi-10 için baca ortasındaki dar kesit 1500 mm çapında ve 1000 mm uzunluğunda iken Baca Geometrisi-11'in ortasındaki dar kesit 1500 mm çapında ve 2000 mm uzunluğundadır. Her iki baca geometrisinin boyu 8000 mm olup giriş ve çıkış çapları 2257 mm'dir. Baca Geometrisi-11'in ortasında yer alan dar kesitin uzunluğunun farklı dizayn edilmesindeki amaç dar kesit uzunluğunun CFD analizleri üzerindeki etkisini incelemektir. Baca Geometrisi-11 Şekil 5.127 ve ilgili ölçülendirme Şekil 5.128 ile verilmiştir.

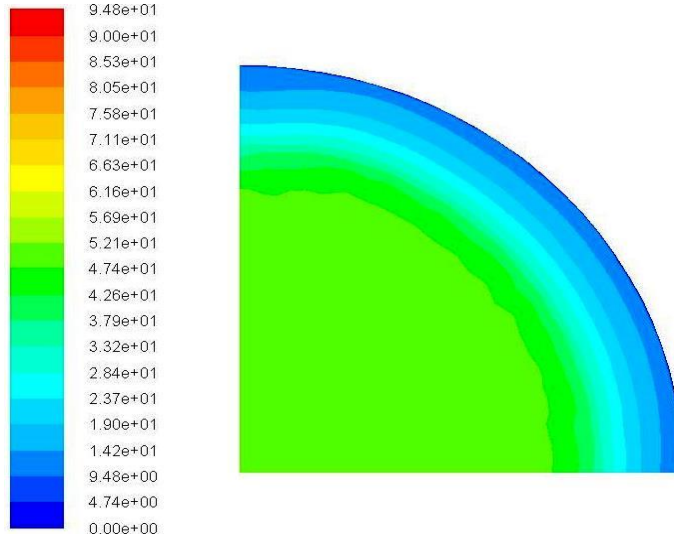


Şekil 5.127: Baca Geometri-11.

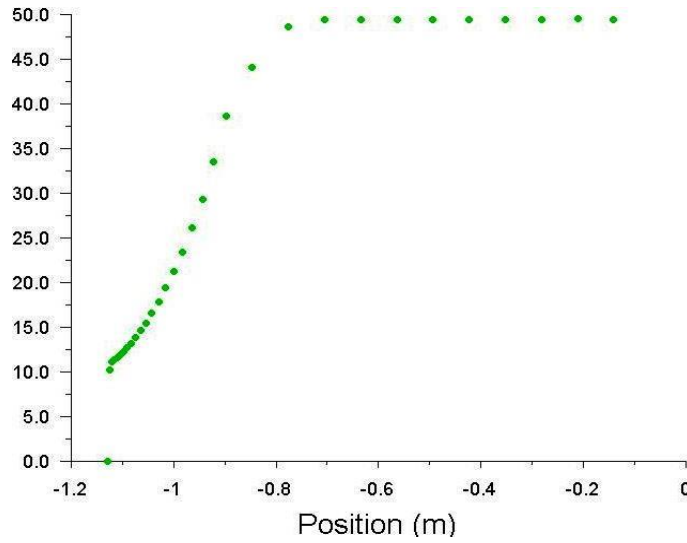


Şekil 5.128: Baca Geometri-11'e ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometri-11'in giriş kısmında akış hızı 38.46 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometri-11'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.129 ve çıkış kısmı x simetri eksenine boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.130 ile verilmiştir.



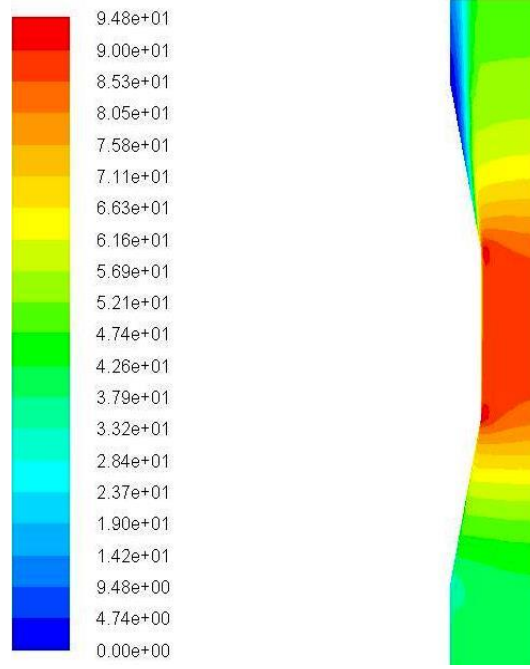
Şekil 5.129: Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.130: Baca Geometrisi-11'in çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.130'u incelediğimiz ve yorumladığımızda Baca Geometrisi-11'in çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık % 42'lik kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Bu oran benzer bir geometri olan Baca Geometrisi-10 için %47 ve diğer bir daralan kesite sahip Baca Geometrisi-9 için %60 olup referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için %70 idi.

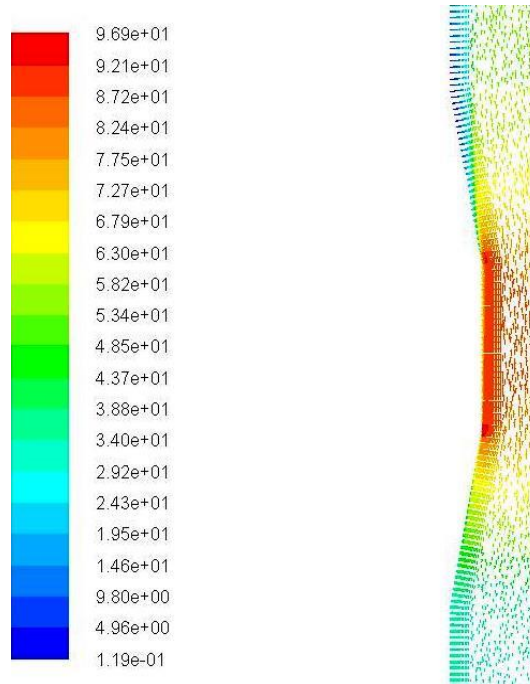
Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı Şekil 5.131 ile verilmiştir.



Şekil 5.131: Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.131'den de görüldüğü üzere Baca Geometrisi-10'a benzer bir şekilde akış hızı önce daralan kesite doğru artmış, 2000 mm uzunluğundaki daralan kesit boyunca azami değere ulaşmış ve çıkış kesitine doğru gidildikçe azalmıştır.

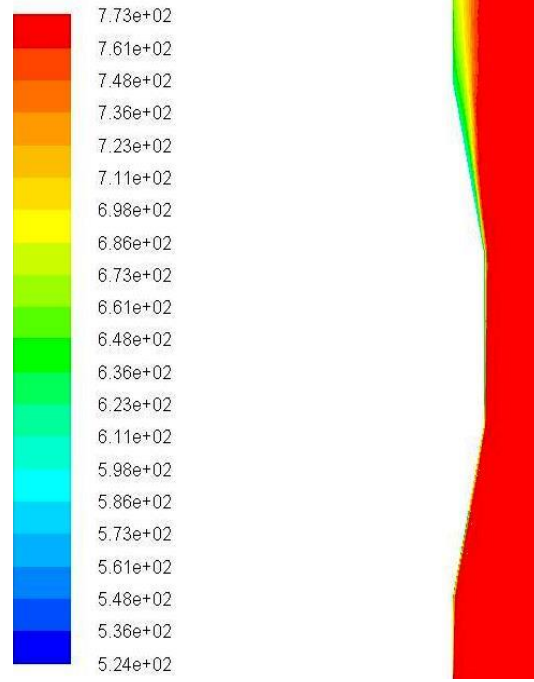
Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan kesitteki hız vektörleri Şekil 5.132 ile verilmiştir.



Şekil 5.132: Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.132 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin veya ayrılmanın olmadığı açıkça görülmektedir.

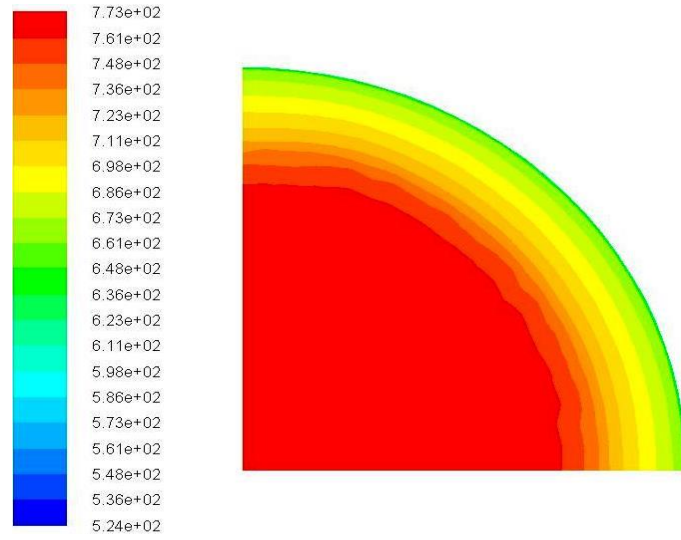
Baca Geometrisi-11'in xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.133 ile verilmiştir.



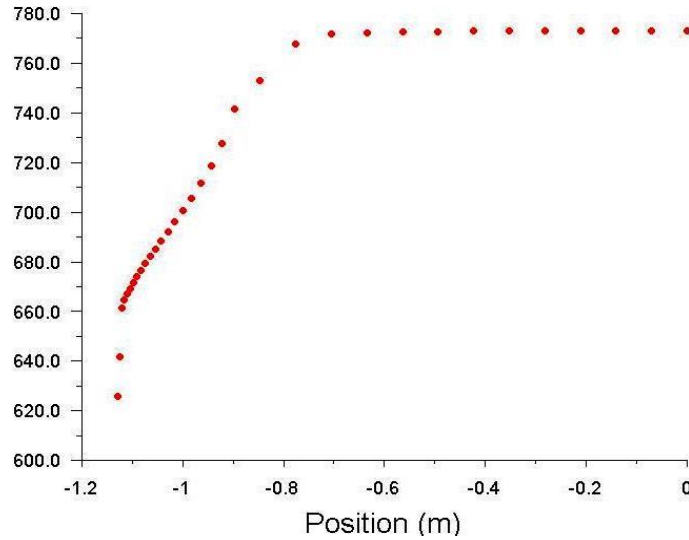
Şekil 5.133: Baca Geometrisi-11'in xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.133'ü incelediğimizde Baca Geometrisi-11'in en alt noktasından ortasında yer alan daralan kesite kadar çeperlerden neredeyse hiç soğuma olmamıştır. Fakat daralan kesit ile çıkış kesiti arasında çeperlerden merkeze çok daha iyi oranda bir soğumanın olduğu ve bu oranın Baca Geometrisi-9 ve Baca Geometrisi-10'a nazaran da daha iyi olduğu göze çarpmaktadır.

Baca Geometrisi-11'in çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.134 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.135 ile verilmiştir.



Şekil 5.134: Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



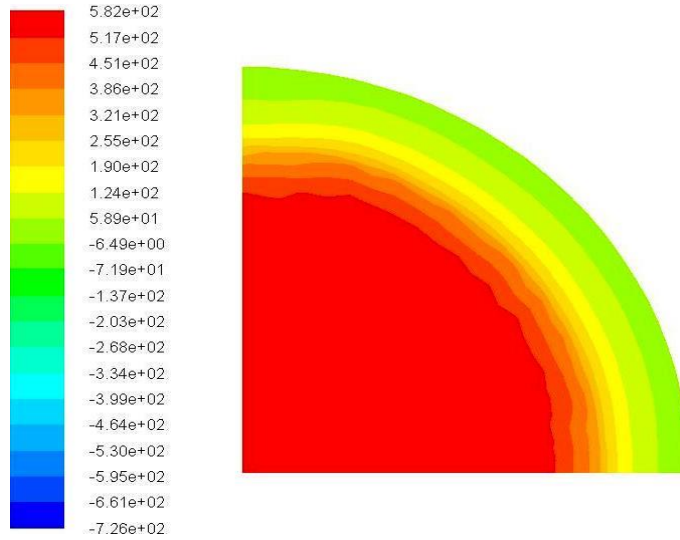
Şekil 5.135: Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-11'in çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında merkezden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge, çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %38'lik kısmını kaplamaktadır. Bu oran referans geometri olarak belirlediğimiz ve dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1'in sahip olduğu değere nazaran çok daha iyi olmakla birlikte yaklaşık %37 daha azdır. Daralan kesite sahip başka bir geometri olan Baca Geometrisi-9 için çekirdek bölgenin çıkış kesitinde kapladığı alan toplam çıkış kesit alanının %57'sini oluşturmaktaydı.

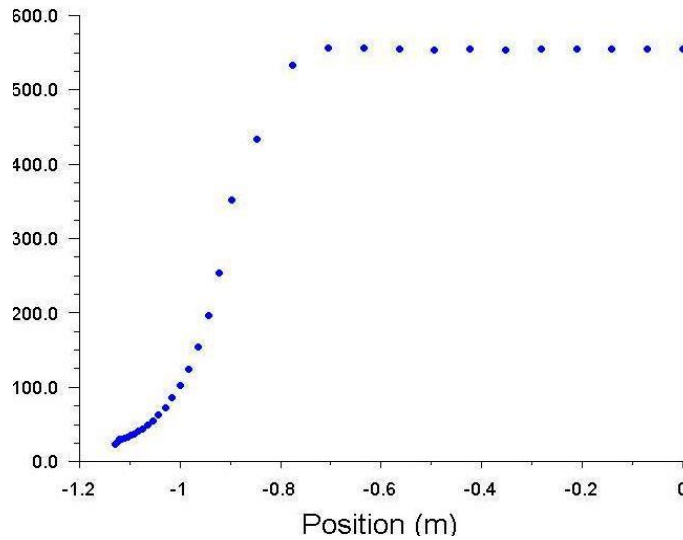
Şekil 5.135 incelendiğinde Baca Geometrisi-10'a oldukça benzer şekilde, çepere çok yakın ince bir bölgede geçerli olmak üzere sıcaklık değeri 620 K civarına kadar

düşmüştür. Bu bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak ince bir bölge halinde olsa bile azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının yaklaşık 660 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 110 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz. Aynı zamanda bu sonuçlar Baca Geometrisi-9'un CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlara da benzerdir. Fakat Baca Geometrisi-11, merkezinden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklıkların hakim olduğu çekirdek bölgenin alanının toplam çıkış kesit alanına oranı bakımından Baca Geometrisi-9'a nazaran biraz daha iyidir.

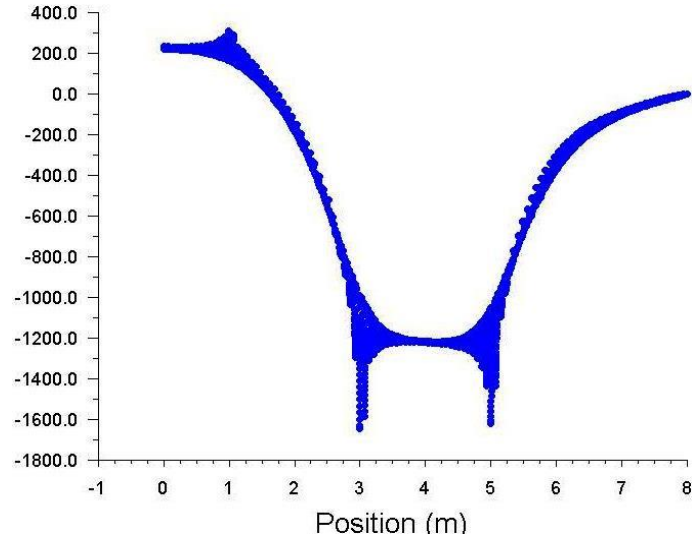
Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.136, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.137 ve xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı Şekil 5.138 ile verilmiştir.



Şekil 5.136: Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).



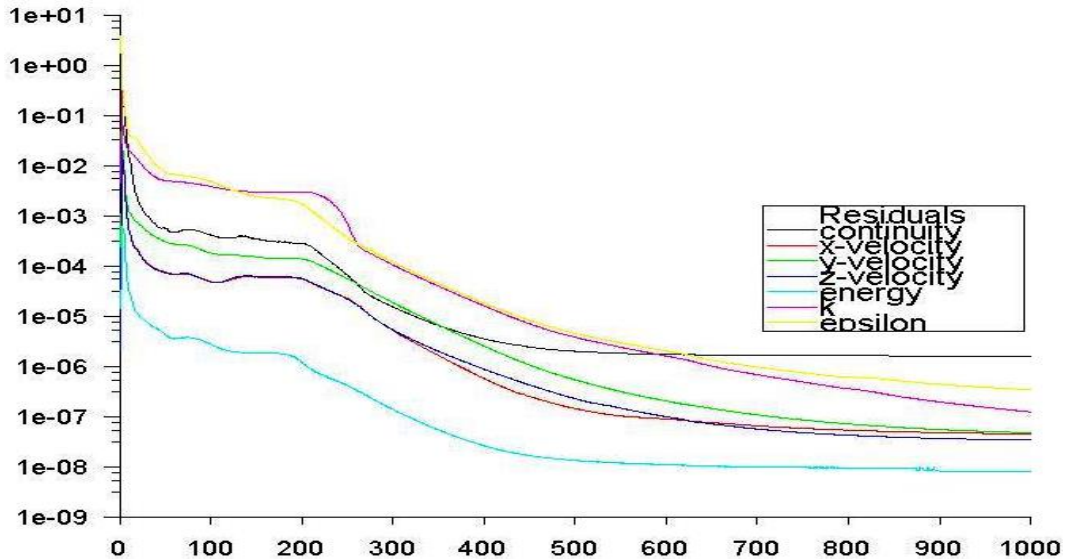
Şekil 5.137: Baca Geometrisi-11'e ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.138: Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı (Pa).

Şekil 5.138 ile verilen Baca Geometrisi-11'e ilişkin xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı incelendiğinde bacanın giriş ve çıkış uçlarında yer alan 1000 mm uzunluğunda ve 2257 mm çapındaki kesitte statik basınç azami değerlere sahiptir. Kesitin daralmaya başlamasıyla birlikte egzoz akış hızının artmaya ve statik basınç düşmeye başlamış, ortada yer alan 1500 mm çapında ve 2000 mm uzunluğundaki dar kesitte en küçük değerine sahip olmuş ve kesitin yavaş yavaş genişlemesiyle birlikte egzoz akış hızı düşmeye ve statik basınç değeri tekrardan yükselmeye başlamıştır.

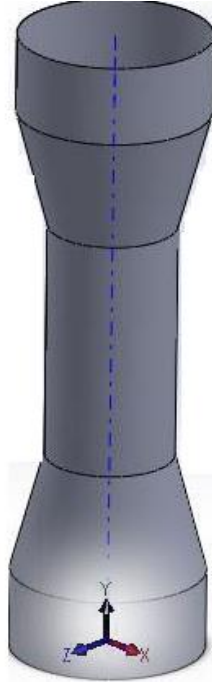
Baca Geometrisi-11'in FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.139 ile gösterilmiştir.



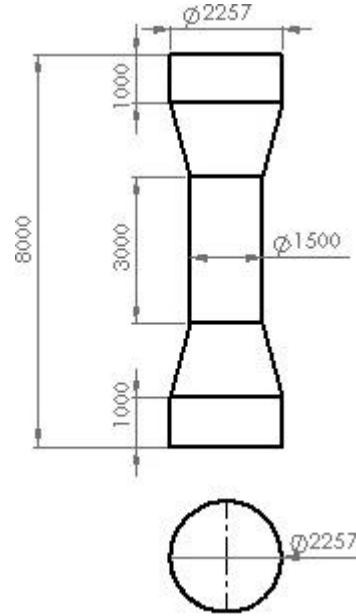
Şekil 5.139: Baca Geometrisi-11'in sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

5.12 Baca Geometrisi-12

Baca Geometrisi-12, hem Baca Geometrisi-10 hem de Baca Geometrisi-12'ye benzemekle birlikte aralarındaki temel fark, bacaların ortasında yer alan dar kesitten ileri gelmektedir. Baca Geometrisi-10 için baca ortasındaki dar kesit 1500 mm çapında ve 1000 mm uzunluğunda iken Baca Geometrisi-11'in ortasındaki dar kesit 1500 mm çapında ve 2000 mm uzunluğundadır. Baca Geometrisi-12 için ise baca ortasındaki dar kesit 1500 mm çapında ve 3000 mm uzunluğundadır. Her üç baca geometrisinin boyu da 8000 mm olup giriş ve çıkış çapları 2257 mm'dir. Baca Geometrisi-14 Şekil 5.140 ile ve Baca Geometrisi-12'ye ilişkin ölçülendirme Şekil 5.141 ile verilmiştir.

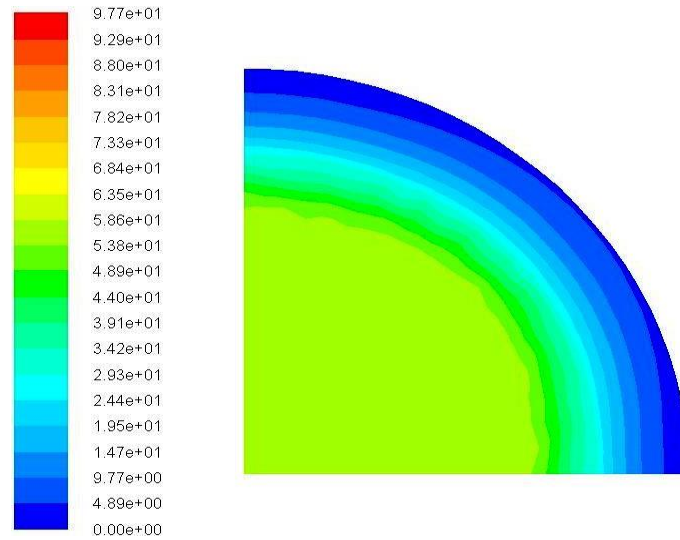


Şekil 5.140: Baca Geometrisi-12.

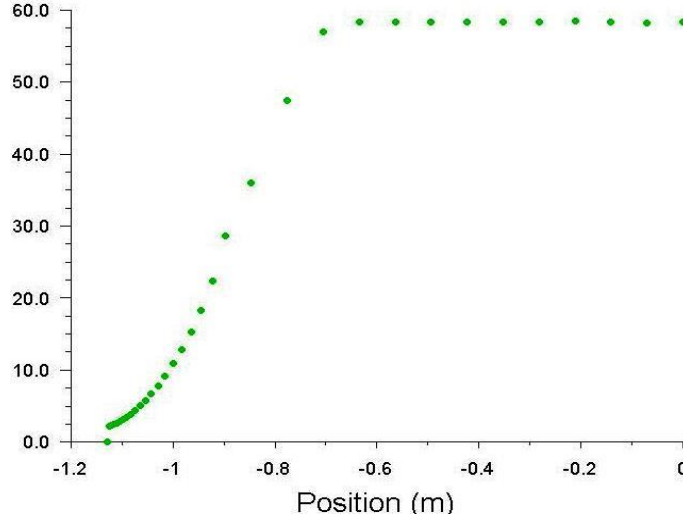


Şekil 5.141: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin ölçüler (mm).

Baca Geometrisi-12'nin giriş kısmında akış hızı 38.46 m/s olarak tanımlanmıştır. Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşenine ilişkin dağılımı Şekil 5.142 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ise Şekil 5.143 ile verilmiştir.



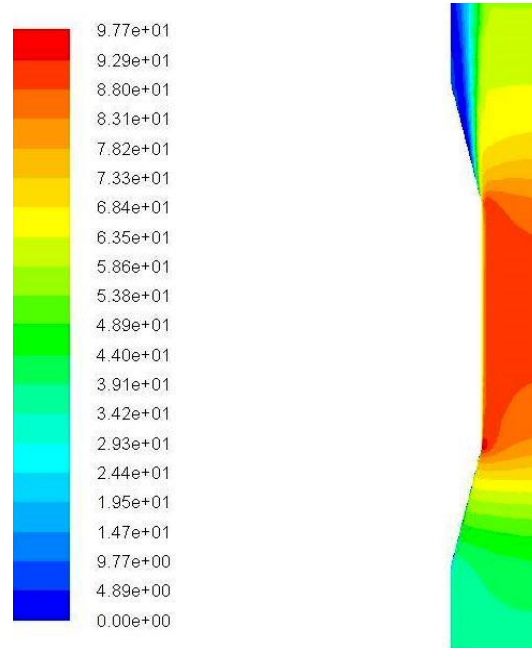
Şekil 5.142: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmında y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).



Şekil 5.143: Baca Geometrisi-12'nin çıkış kısmı x simetri ekseni boyunca hızın y-yönündeki bileşenin dağılımı (m/s).

Şekil 5.143'ü incelediğimizde ve yorumlandığımızda Baca Geometrisi-10 ve Baca Geometrisi-11'e oldukça benzer bir şekilde Baca Geometrisi-12'nin çıkış kesitinin sahip olduğunu alanın yaklaşık %35'lik bir kısmında azami hız değerine sahip egzoz gazı akışı bulunmaktadır. Bu oran benzer diğer baca geometrileri olan Baca Geometrisi-9 için %60, Baca Geometrisi-10 için %47 ve Baca Geometrisi-11 için %42 olup hatırlamak gerekirse referans baca geometrisi olarak kabul ettiğimiz dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1 için %70 idi.

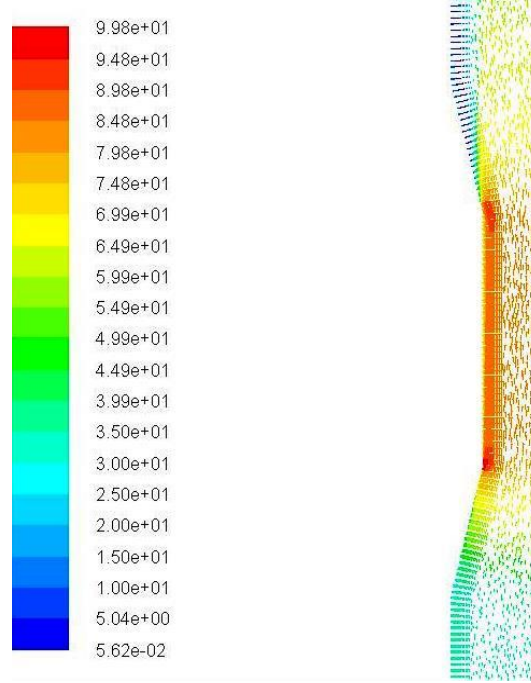
Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı Şekil 5.144 ile verilmiştir.



Şekil 5.144: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca y-yönündeki hız bileşeninin dağılımı (m/s).

Şekil 5.144'ten de görüldüğü üzere Baca Geometrisi-10 ve Baca Geometrisi-11'e benzer bir şekilde akış hızı önce daralan kesite doğru artmış, 3000 mm uzunluğundaki daralan kesit boyunca azami değere ulaşmış ve çıkış kesitine doğru gidildikçe azalmıştır.

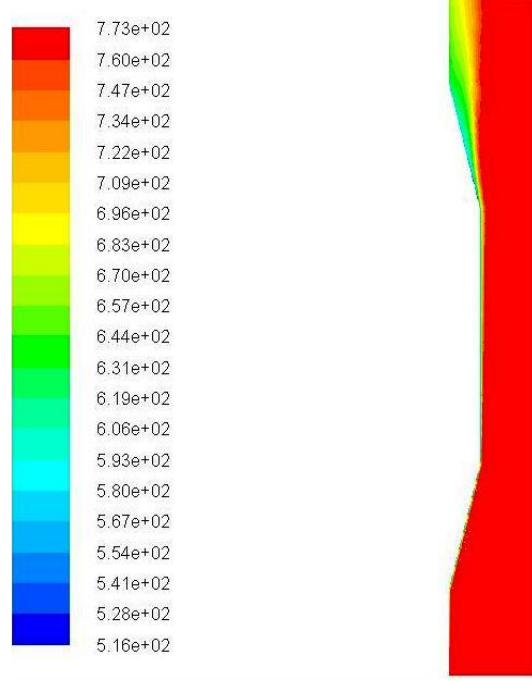
Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinden hız vektörlerinin incelenmesi maksadıyla alınan kesitteki hız vektörleri Şekil 5.145 ile verilmiştir.



Şekil 5.145: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi üzerinde bileşke hız vektörleri (m/s).

Şekil 5.145 incelendiğinde vektörlerin tek yönde olduğu ve her hangi bir dönmenin veya ayrılmanın olmadığı açıkça görülmektedir.

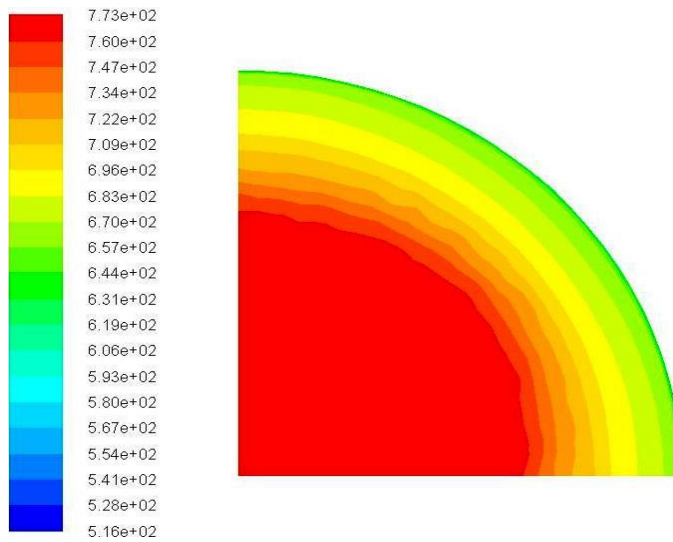
Baca Geometrisi-12'nin xy simetri düzlemi boyunca toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.146 ile verilmiştir.



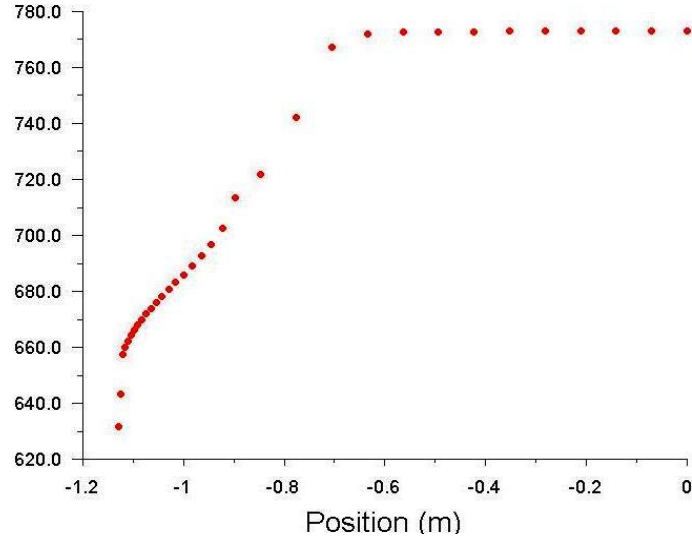
Şekil 5.146: Baca Geometrisi-12'nin xy simetri düzlemi boyunca sıcaklık dağılımı (K).

Şekil 5.146'yı incelediğimizde Baca Geometrisi-12'nin en alt noktasından ortasında yer alan daralan kesite kadar çeperlerden neredeyse hiç soğuma olmamıştır. Fakat daralan kesit ile çıkış kesiti arasında çeperlerden merkeze çok daha iyi oranda bir soğumanın olduğu ve bu oranın Baca Geometrisi-10 ve Baca Geometrisi-11'e nazaran da daha iyi olduğu göze çarpmaktadır.

Baca Geometrisi-12'nin çıkış kısmı toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.147 ve çıkış kısmı x simetri eksenini boyuncası toplam sıcaklık dağılımı Şekil 5.148 ile verilmiştir.



Şekil 5.147: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı (K).



Şekil 5.148: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı (K).

Baca Geometrisi-12'nin çıkış kısmı sıcaklık dağılımı ile x simetri eksenı boyunca toplam sıcaklık dağılımı incelendiğinde ve birlikte yorumlandığında merkezden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklığa sahip çekirdek bölge, çıkış kesitinin sahip olduğu alanın yaklaşık %33'lük kısmını kaplamaktadır. Bu oran referans geometri olarak belirlediğimiz ve dairesel çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-1'in sahip olduğu değere nazaran çok daha iyi olmakla birlikte yaklaşık %42 daha azdır. Baca Geometrisi-10 için bu oran %43 olmakla birlikte Baca Geometrisi-11 için %38 idi.

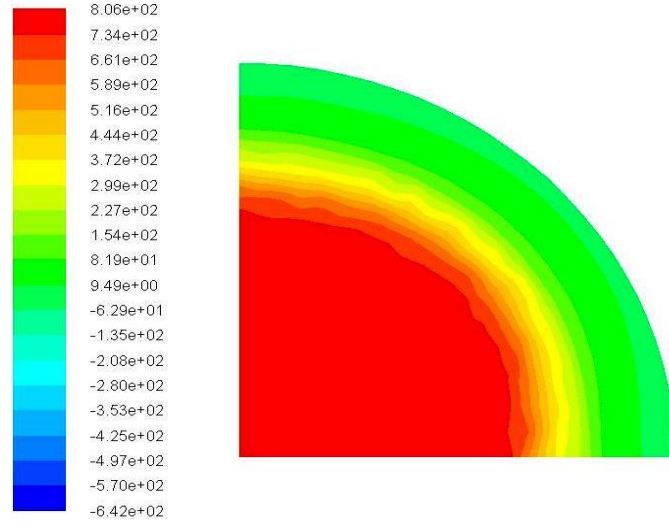
Şekil 5.148 incelendiğinde Baca Geometrisi-11'e oldukça benzer şekilde, çepere çok yakın ince bir bölgede geçerli olmak üzere sıcaklık değeri 630 K civarına kadar düşmüştür. Bu bölgeyi ihmal ettiğimiz zaman çeperde genel olarak ince bir bölge halinde olsa bile azami 773 K sıcaklığa sahip egzoz gazının yaklaşık 650 K sıcaklık değerine kadar soğuduğunu yani yaklaşık 120 C civarında bir soğumanın olduğundan bahsedebiliriz. Aynı zamanda bu sonuçlar Baca Geometrisi-10 ve Baca Geometrisi-11'in CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlara da benzerdir. Fakat Baca Geometrisi-12, merkezinden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklıkların hakim olduğu çekirdek bölgenin alanının toplam çıkış kesit alanına oranı bakımından Baca Geometrisi-11'e nazaran biraz daha iyidir.

Şekil 5.142 ile verilen çıkış kısmında hızın y-yönündeki bileşeninin dağılımı, Şekil 5.147 ile verilen çıkış kısmı sıcaklık dağılımı beraber yorumlandığında ve detaylı bir şekilde analiz edildiğinde, sıcak egzoz gazı yoğunluğunun akış boyunca değişmediğini kabul edersek, toplam kütledebının yaklaşık %64'lük kısmının hiç soğumadığı, çepere en yakın bulunan ve aynı zamanda nispi olarak en soğuk egzoz

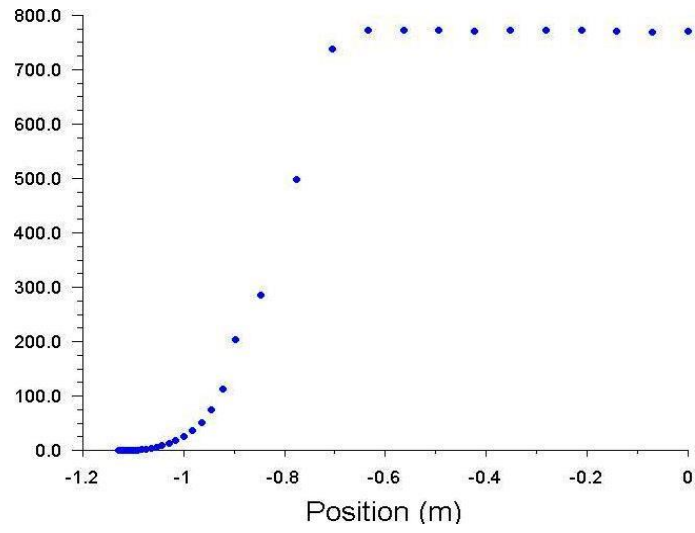
gazlarından oluşan yaklaşık %3.9'luk bir kısmın ise 640 K civarına kadar soğuduğu sonucuna ulaşırız. Çıkış kesitinde merkezden çepere doğru gidildikçe sıcaklığın düştüğünü daha önceden belirtmiştik. Toplam kütleli debinin değişmemesi kaydıyla çıkış kesitinde bulunan farklı kütleli debi ve sıcaklıklara sahip egzoz gazlarını karıştırarak tek bir sıcaklığa sahip bir egzoz gazı elde etmek isteseydik bu egzoz gazının sıcaklığı yaklaşık 748 K olurdu. Bu sıcaklık aynı zamanda çıkış kesitindeki ortalama egzoz gazı sıcaklığıdır.

Baca Geometrisi-10, Baca Geometrisi-11 ve Baca Geometrisi-12 birbirine oldukça benzemektedirler. Bu dört geometriye ilişkin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde çepere yakın bölgelerde meydana gelen soğumalar da oldukça benzerdir. Fakat baca çıkış kesitlerinin merkezlerinden çeperlere doğru yayılan ve azami sıcaklığa sahip egzoz gazlarının oluşturduğu çekirdek bölgelerin kapladıkları alanlar açısından farklılıklar göstermektedir. Hatırlamak gerekirse ortasında 1000 mm uzunluğunda ve 1500 mm çapında dar kesit bulunan Baca Geometrisi-10 için bu oran %43, ortasında 2000 mm uzunluğunda ve 1500 mm çapında dar kesit bulunan Baca Geometrisi-11 için %38, ortasında 3000 mm uzunluğunda ve 1500 mm çapında dar kesit bulunan Baca Geometrisi-12 için de %33'tür. Fakat hem Baca Geometrisi-10 hem de Baca Geometrisi-12 için yapılan analizler neticesinde sıcak egzoz gazının kütleli debisi göz önüne alındığında, her iki geometri için de egzoz gazının yaklaşık %64'lük kısmı hiç soğumamıştır. Bu oran Baca Geometrisi-1 için ise %76 idi. Baca Geometrisi-10 ve Baca Geometrisi-12'nin sıcaklık ve hız ile ilgili sonuçlarına bakarak baca ortasında bulunan daralan kesitin boyunun çekirdek bölgenin kapladığı alanını küçülttüğü fakat kütleli debi dikkate alındığında soğuyan egzoz gazı debisi üzerinde her hangi bir etkisinin olmadığı sonucunu çıkarmak yanlış olmaz.

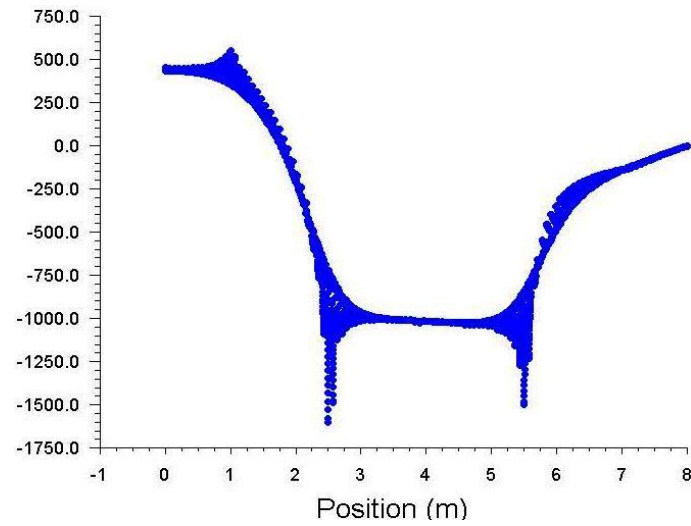
Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı Şekil 5.149, çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı Şekil 5.150 ve xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı Şekil 5.151 ile verilmiştir.



Şekil 5.149: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı toplam basınç dağılımı (Pa).

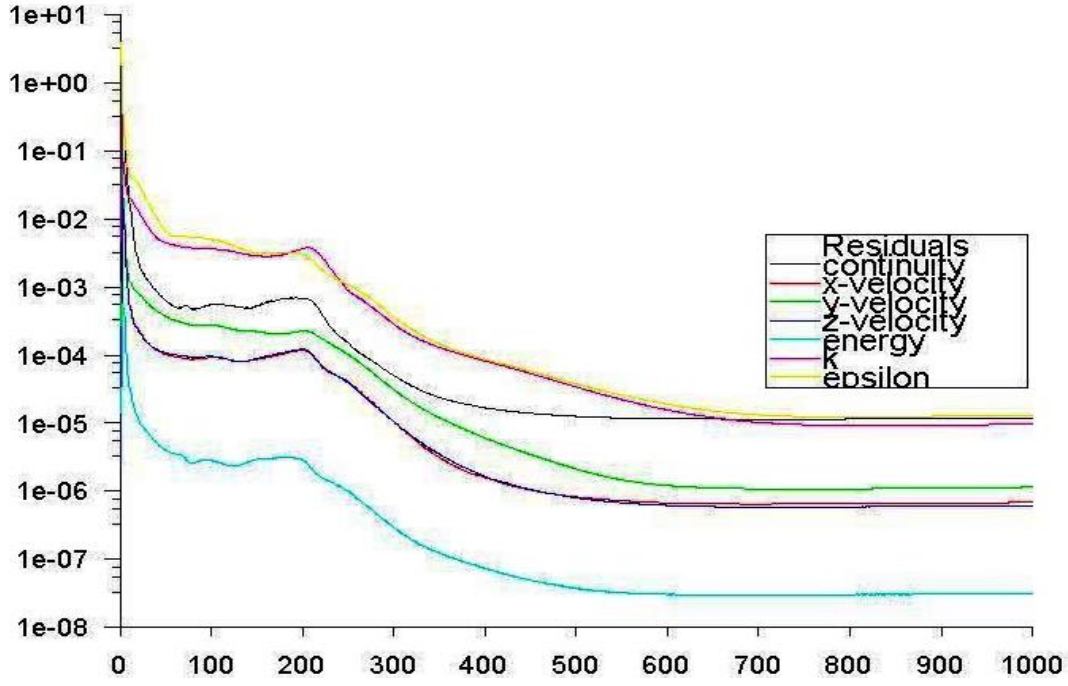


Şekil 5.150: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin çıkış kısmı x simetri eksenini boyunca toplam basınç dağılımı (Pa).



Şekil 5.151: Baca Geometrisi-12'ye ilişkin xy simetri düzlemi boyunca statik basınç dağılımı (Pa).

Baca Geometrisi-12'nin FLUENT 6.3 programı vasıtasıyla yapılan sayısal hesaplamalarına ilişkin yapılan bin iterasyon neticesinde artık hata (residual) değerleri Şekil 5.152 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.152: Baca Geometrisi-12'nin sayısal hesaplamalarına ilişkin artık hata değerleri.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yüzer platformlarda en çok tercih edilen dairesel kesite sahip baca geometrisiyle birlikte bir adet kare, iki adet dikdörtgen, iki adet elips, iki adet oval ve baca ortasında daralan kesitin bulunduğu dört adet dairesel kesitli baca geometrisi olmak üzere toplam on iki adet baca geometrisi incelenmiştir.

İlk olarak, incelenecek baca geometrileri Solidworks programı vasıtasıyla çizilmiş ve çizilen bu şekiller ANSYS Workbench 14.5 programına transfer edilmiştir. Daha sonra ANSYS Workbench 14.5 programı vasıtasıyla dört yüzlü ağ yapıları oluşturulmuş, ortam koşullarıyla birlikte akış ve sınır koşullarının belirlenmesi neticesinde FLUENT 6.3 CFD programı kullanılarak istenilen analizler yapılmıştır. Özellikle basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ile birlikte çıkış kısmında x ve z simetri eksenleri boyunca basınç, hız ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çeperlerden merkeze doğru olan soğumaların etkinliğini görmek amacıyla baca geometrilerine ait xy simetri düzlemleri boyunca sıcaklık dağılımlarından faydalanılmıştır. Baca geometrilerine ait CFD analizleri neticesinde elde edilen veriler hem referans geometri olarak belirlenen dairesel kesite sahip Baca Geometrisi-1 ile hem de gerekli görülmesi halinde birbirleriyle kıyaslanmıştır.

CFD analizlerine ilişkin veriler değerlendirildiğinde oldukça çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan en önemlisi, gemilerde sıcak egzoz gazlarının sebep olduğu infrared iz dikkate alındığında azami sıcaklık değerine sahip egzoz gazlarının yoğun olarak bulunduğu çekirdek bölgenin kapladığı alan bakımından geçmişten günümüze birçok yüzer platformda kullanılan ve aynı zamanda bu çalışma için de referans geometri olarak belirlediğimiz dairesel kesite sahip Baca Geometrisi-1 en yüksek değere sahiptir. Baca Geometrisi-1'e ilişkin çıkış kısmında hızın y-yönündeki bileşenine ilişkin dağılımı ile y-yönündeki hız bileşeninin x simetri eksenini boyunca dağılımıyla çıkış kısmında sıcaklık dağılımıyla beraber yorumlandığında ve detaylı bir şekilde analiz edildiğinde, sıcak egzoz gazı yoğunluğunun akış boyunca değişmediğini kabul edersek, toplam kütsel debinin yaklaşık %76'lık kısmının hiç soğumadığı, çepere en yakın bulunan ve aynı zamanda nispi olarak en soğuk egzoz gazlarından oluşan yaklaşık %6.7'lik bir kısmın ise 600 K civarına kadar soğuduğu sonucuna ulaşırız.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan CFD analizleri neticesinde diğer baca geometrilerine nazaran daha iyi sonuç veren Baca Geometrisi-10 için benzer bir çalışma yapıldığında, bu geometriye ilişkin toplam kütleli debinin yaklaşık %64'lük kısmının hiç soğumadığı, çepere en yakın bulunan ve aynı zamanda nispi olarak en soğuk egzoz gazlarından oluşan yaklaşık %4.25'lik bir kısmın ise 660 K civarına kadar soğuduğu sonucuna ulaşılmıştır. Toplam kütleli debinin değişmemesi kaydıyla çıkış kesitinde merkezden çepere doğru farklı sıcaklıklara sahip katmanlar halinde bulunan farklı kütleli debilere sahip egzoz gazlarını karıştırarak debisi toplam egzoz gazı debisine eşit, tek bir sıcaklığa sahip bir egzoz gazı karışımı elde etmek isteseydik bu egzoz gazının sıcaklığı referans baca geometrisi olarak belirlenen Baca Geometrisi-1'in çıkış kesitinde yaklaşık 750 K, Baca Geometrisi-10'un çıkış kesitinde ise yaklaşık 745 K olurdu.

Kare ve dikdörtgen kesite sahip baca geometrilerine ait sonuçlar birbirine oldukça benzerdir. Bu geometrilerde azami sıcaklığa sahip egzoz gazlarının yoğunluklu olarak bulunduğu çekirdek bölgelerin kapladıkları alanların çıkış kesit alanlarına oranı kare çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-2 için %54 olmakla birlikte dikdörtgen çıkış kesitine sahip Baca Geometrisi-3 ve Baca Geometrisi-4 için sırasıyla yaklaşık %62 ve %59'dur. Her ne kadar daha detaylı analizlere ve araştırmalara ihtiyaç duyulsa bile bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara bakarak Reynolds benzerliği kullanılarak türetilen ve aynı yüksekliğe sahip kare veya dikdörtgen kesitli baca geometrilerine ilişkin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçların, kare veya dikdörtgen kesitin oluşturulmasında kullanılan kenar uzunluklarından bağımsız olduğu hususunu söylemek yanlış olmaz.

Oval kesite sahip iki adet baca geometrisine ilişkin CFD analizleri neticesinde elde edilen veriler incelendiğinde çeper ve çepere yakın bölgelerde meydana gelen soğumanın yaklaşık olarak aynı seviyede olduğu fakat çekirdek bölgelerin kapladıkları alanların çıkış kesit alanlarına oranları bakımından %7 gibi bir farklılık gösterdiği görülmektedir.

Baca yüksekliğinin yarısına kadar daralan ve baca ortasından çıkış kesitine doğru gidildikçe genişleyen baca geometrileri incelendiğinde daralan kesitlerden ziyade genişleyen kesitlerde çeperlerden merkeze doğru olan soğumanın daha etkin olduğu görülmektedir. Bunun neticesinde soğumanın merkeze doğru daha iyi nüfuz ettiği baca geometrilerinde çekirdek bölgeler diğerlerine nazaran daha küçük alan kaplamaktadır. Çekirdek bölgelerin soğuması infrared iz açısından da oldukça öneme sahiptir.

Gemi makinalarının egzoz sistemlerindeki toplam basınç düşüşü de makinaların sıhhati açısından önemlidir ve belirli bir değerin üzerinde olmaması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında incelenen baca geometrilerine ilişkin baca içerisinde meydana gelen toplam basınç düşüşü Çizelge 6.1 ile verilmiştir.

Çizelge 6.1: Baca içerisinde meydana gelen toplam basınç düşüşü (Pa).

BACA GEOMETRİSİ	BASINÇ DÜŞÜŞÜ (Pa)
BACA GEOMETRİSİ-1	123
BACA GEOMETRİSİ-2	214
BACA GEOMETRİSİ-3	228
BACA GEOMETRİSİ-4	304
BACA GEOMETRİSİ-5	555
BACA GEOMETRİSİ-6	198
BACA GEOMETRİSİ-7	338
BACA GEOMETRİSİ-8	253
BACA GEOMETRİSİ-9	416
BACA GEOMETRİSİ-10	1144
BACA GEOMETRİSİ-11	1596
BACA GEOMETRİSİ-12	2164

Her ne kadar sıcak egzoz gazlarının soğutulmasında yüksek savaş teknolojilerine sahip ülkeler tarafından kullanılan ve gün geçtikçe geliştirilen idaktör/difüzer sistemleri gibi oldukça karmaşık geometriler incelenmemiş olsa bile basit baca geometrilerinin incelendiği bu çalışmanın ileriki çalışmalar için bir temel oluşturacağı ve idaktör/difüzer sistemlerine ilişkin baca kesit formunun belirlenmesi hususu açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

Belirlenen ve bu tez çalışması doğrultusunda incelenen geometrilerin CFD analizleri neticesinde elde edilen sonuçların deneysel analizler neticesinde elde edilecek sonuçlar ile karşılaştırılması hem daha sağlıklı veriler ve değerlendirmeler elde edebilmek hem de CFD programları neticesinde elde edilen sonuçlar ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçların benzerlikleriyle beraber farklılıklarının ortaya konulması adına önemlidir. Fakat hem kurulacak deney düzeneklerinin oldukça maliyetli olmasıyla birlikte oldukça fazla teknik donanım ihtiyacı duyulması hem de yapılacak deneylerin oldukça geniş zaman istemesinden dolayı bu çalışmada deneysel analiz yapılamamıştır.

İleriki çalışmalar için seçilecek bir geometri üzerinden boyutlarının değiştirilmesi neticesinde elde edilecek çeşitli benzer geometrilerinin CFD analizlerinin yapılması ve elde edilen verilerin karşılaştırılması neticesinde o geometriye ilişkin bir boyut

optimizasyonunun yapılması ve elde edilen verilerin, yapılabilmesi halinde deneysel analizler neticesinde elde edilen veriler ile karşılaştırılması ve komple veya kısmi bir idaktör/difüzer sistemi için bazı parametrelerin sabit tutulması neticesinde benzer geometrilere ilişkin boyut optimizasyonunun yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] <<http://www.geaviation.com/engines/marine/lm2500.html>>
alındığı tarih: 02.04.2014.
- [2] **White, M.F.** (2004). Akışkanlar Mekaniği (4. Baskı) (Çev: K.Kırkköprü ve E.Ayder).
İstanbul: Literatür.
- [3] <<http://www.yalcinboru.com.tr/menu/188/Boru-Çapı-Hesabı>>
alındığı tarih: 10.01.2014.
- [4] **Ferziger, J.H. and Peric, M.** (2002) Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, New York, USA.
- [5] **Anderson, J.D.**, (1996). Computational Fluid Dynamics: An Introduction, Springer, Berlin, Germany.
- [6] **Johnson, R.W.**, (1998). The Handbook of Fluid Dynamics, CRC Press, Boca Raton, Fla.
- [7] **Versteeg, H.K. and Malalasekera, W.**, (1995). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, Longman Group Ltd., Harlow, England.
- [8] **Blazek, J.**, (2001). Computational Fluid Dynamics: Principle and Applications, Elsevier, London, UK.
- [9] **Davidson, L.**, (2005). Numerical Method For Turbulent Flow, MTF071 Lecture Notes, Department of Thermo and Fluid Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [10] **Hoffman, K.A., Chiang, S.T.**, (2000). Computational Fluid Dynamics for Engineers Volume 1-2-3, Engineering Education System Publication, Kansas, USA.
- [11] **Hinze, J.O.**, (1975). Turbulence, McGraw-Hill, New York, USA.
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model>
alındığı tarih: 18.01.2014
- [13] **Chen, Q.**, (2008). Performance of Air-Air Ejectors with Multi-ring Entraining Diffusers. Doktora Tezi, Kanada: Queen's University.
- [14] FLUENT (2005), "Fluent Manuel", V6.216, Fluent Inc.
- [15] **Wilcox, D.C.**, (1998) Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries, California, USA.

- [16] **Ünal, U.O.**,(2007).Girdap YarATICILARIN Dairesel Silindir Etrafindaki Akışa Etkisinin DeneySEL ve Hesaplamalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [17] <<http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthhelp/html/ug/node486.htm>>
alındığı tarih: 19.01.2014
- [18] <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent14/help/cfx_mod/i1345900.html>
alındığı tarih: 09.02.2014
- [19] <http://www.cfd-online.com/Wiki/SST_k-omega_model>
alındığı tarih: 09.02.2014
- [20] <<http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthhelp/html/ug/node487.htm>>
alındığı tarih: 09.02.2014
- [21] <<http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthhelp/html/ug/node1015.htm>>
alındığı tarih:16.02.2014
- [22] **Bottenheim, S.**,(2004). Experimental and Numerical Investigation into Circular to Slot Ducts with a 90⁰ Bend and Their Performance with an Entraining Diffuser, Yüksek Lisans Tezi, Kanada: Queen's University.
- [23] <<http://ingemecaeronautique.files.wordpress.com/2010/07/report-pierrot1.pdf>>
alındığı tarih:16.02.2014
- [24] **Hill, J.A.**,(1979). Hot Flow Testing of Multiple Nozzle Exhaust Eductor Systems, Yüksek Lisans Tezi, A.B.D: Naval Postgraduate School.
- [25] **Begg, N.** (2011). Evaporative Spray Cooling of Gas Turbine Exhaust for The Purpose of Infrared Suppression, Yüksek Lisans Tezi, Kanada: Queens University.
- [26] **Hiscoke, B.**, (2002). IR Supression- Exhaust Gas Cooling by Water Injection, Almanya: MECON.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ufuk KIRAY

Doğum Yeri ve Tarihi : Çanakkale 10.06.1985

Adres : Güngören/İSTANBUL

Lisans Üniversite : Deniz Harp Okulu 2008