

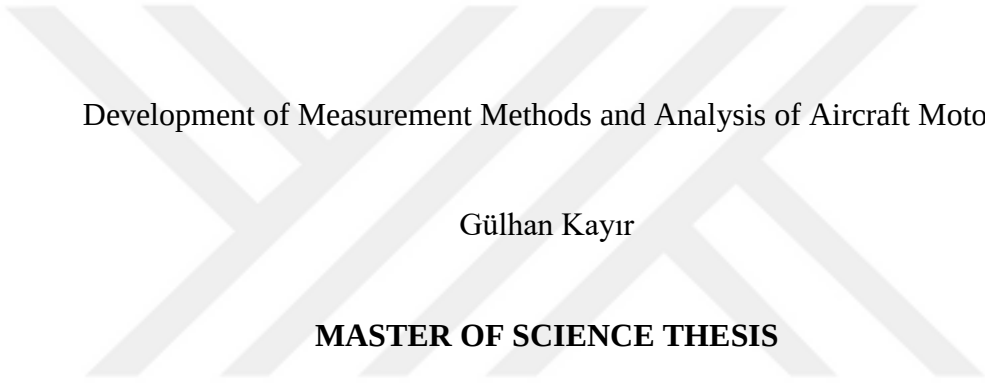
Uçak Motorlarında Ölçüm Yöntemleri Geliştirilmesi ve Analizi

Gülhan Kayır

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2018



Development of Measurement Methods and Analysis of Aircraft Motors

Gülhan Kayır

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical and Electronics Engineering

May 2018

Uçak Motorlarında Ölçüm Yöntemleri Geliştirilmesi ve Analizi

Gülhan Kayır

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı

Kontrol ve Kumanda Sistemleri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç.Dr.Metin Özkan

Mayıs 2018

ONAY

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Gülhan Kayır'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Uçak Motorlarında Ölçüm Yöntemler Geliştirmesi ve Analizi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Metin Özkan

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç.Dr.Metin Özkan

Üye : Prof.Dr.Osman Parlaktuna

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan Korul

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Metin Özkan danışmanlığında hazırlamış olduğum “ Uçak Motorlarında Ölçüm Yöntemleri Geliştirilmesi ve Analizi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 25/05/2018

Gülhan Kayır

ÖZET

Bu çalışma kapsamında uçak motorları için en kritik performans kriterlerinden biri olan hava akış mertebesinin bellmouth yapısı vasıtasıyla belirlenmesi ve sınıflandırılmasına yönelik ölçüm ve değerlendirme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bellmouth, uçak motoru hava kanallarının girişine monte edilip havanın düzgün bir şekilde motora iletilmesini sağlayan katı, dairesel bir parçadır. Hava akışının motora düzgün bir şekilde iletilmesi için bellmouth farklı şekillerde tasarlanabilmektedir. Bellmouth tasarımında en önemli etken motor giriş çapıdır. Bu sebeple her bir motor giriş çapı değerlendirmeye tabi tutularak toplam basınç bozulmasını asgariye indirilebilecek bellmouth tasarımlarının gerçekleştirilmesi genel eğilimi teşkil etmektedir.

Bellmouth tasarımı gerçekleştirilmesinin ardından, hava akış oranının doğru belirlenmesi amacıyla bellmouth üzerine enstrümantasyon çalışması gerçekleştirilmektedir. Enstrümantasyon çalışması, bellmouthtan geçen hava akışının basıncının ve sıcaklığının ölçülmesi için gerçekleştirilen sensör yerleştirilmesidir.

Bellmouth üzerine yerleştirilen sensörlerin kalibre edilmesi motor yer testlerinden alınan verilerin doğruluğunun belirlenmesi için önem teşkil etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında motor giriş çapına göre tasarlanmış olan bellmouth yapısının enstrümantasyon çalışmaları, kalibrasyon çalışmaları ve motor testleri ardından kalibrasyon verileri ile motorun test sonuçlarının karşılaştırmalı analizine dair çalışmaların çıktıları yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bellmouth, Kalibrasyon, Enstrümantasyon, Uçak Motoru

SUMMARY

In the scope of this study, the measurement and evaluation activities for the determination and classification of air flow level, which can be stated as one of the most critical performance criteria for aero engines, with the bellmouth structure have been presented. At first glance, bellmouth can be illustrated as a rigid circular apparatus which provides the transfer of air to the engines effectively by mounting to the intake nozzles. There are different bellmouth design alternatives for the most effective transfer of air to the engine. Engine intake diameter is one of the most important parameter in bellmouth design processes. Due to that reason, the overall tendency for bellmouth design is taking all of the engine intake diameters into consideration for minimizing the total pressure disturbance. After finalizing the bellmouth design process, Instrumentation activities have been performed for determination of air flow rate accurately. Instrumentation process can be summarized as mounting the appropriate sensors for pressure and temperature measurement of air flow through bellmouth structure. The calibration of mounted sensors onto bellmouth has importance for the reliability of data obtained from engine ground tests.

This thesis study includes the outputs of instrumentation studies, calibration studies and the comparative analysis between calibration and engine test data obtained from Bellmouth structure which is designed according to engine intake diameter.

Keywords: Bellmouth, Calibration, Instrumentation, Aircraft Engine

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez yazım süreçlerinde iyi niyetli ve samimi yaklaşımı ile bana yol gösterici olan değerli hocam Doç. Dr. Metin Özkan'a ve eğitim hayatım boyunca verdikleri emekleriyle akademik ve profesyonel kariyerime katkılarından dolayı tek tek ismini anamadığım tüm hocalarıma minnettarım.

Kişiliğimde, duruşumda ve bugünlere gelmemde yadsınamaz öneme sahip babam Özkan Kayır ve annem Gülnaz Kayır'a, hayatım boyunca yürüdüğüm yollara hiç farketirmeden serptiği aydınlatıcılığından istifade ettiğim abim Gökhan Kayır'a, hatırıma düşen gülümsemeleri ile her sıkıntılı anımı feraha ulaştıran yeğenlerim Zeynep Ela Kayır ve Elif Gökçe Kayır'a şükranlarımı sunuyorum.

Ayrıca tez yazım sürecinde desteklerinden dolayı TEI'deki yöneticim Kahraman Çoban'a ve her konudaki yol göstericiliğinden ve samimi arkadaşlığından dolayı Ahmet Başdoğan'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1.Bellmouth Tasarımı	7
2.2.Bellmouth Kalibrasyonu	10
3.KALİBRASYON VERİLERİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	11
3.1. Debi Hesaplaması	11
3.1.1. Teorik mach sayısının belirlenmesi.....	17
3.1.2. Çap değerinin belirlenmesi.....	17
3.1.3. Isıl sığa değerinin belirlenmesi	18
3.2. Deşarj Katsayısının Hesaplanması.....	19
3.3. Reynolds Sayısının Hesaplanması	19
4.MATERYAL VE YÖNTEM	21
4.1. Bellmouth Enstrümantasyonu	21
4.2. Bellmouth Kalibrasyonu	30
4.2.1. Kalibrasyon test düzeneği	30

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.2.Kalibrasyon testlerinin gerçekleştirilmesi	34
4.2.3.Kalibrasyon test sonuçlarının hesaplanması	36
4.2.4.Kalibrasyon sonuçlarının analizi	70
4.3.Bellmouthlu Motor Yer Testleri	79
4.3.1.Motor yer testi düzeneği.....	80
4.3.2.Motor yer testlerinin gerçekleştirilmesi	81
4.3.3.Motor yer testi sonuçlarının hesaplanması.....	83
5.BULGULAR VE TARTIŞMA	104
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

2.1 Bellmouth Temsili Yerleşim Gösterimi(Japan Aır Tec,-)	3
2.2 Bellmouth Test Sistemi (NASA,1976).....	4
2.3 Bellmouth Test Sistemi (Lutfhansa, 2014).....	5
2.4 Bellmouth Test Sistemi (Atec, 2017)	5
2.5 Bellmouth Test Sistemi (GTS, 2017)	6
2.6 Bellmouth Test Sistem (Anecom,2016)	7
2.7 Bellmouth Tasarım Kriterleri (ISO 5167-3,2003).....	9
3.1 Temsili Bellmouth Resmi.....	18
4.1 Bellmouth Enstrümantasyon Prob Yerleşim Gösterimi	23
4.2 Bellmouth Enstrümantasyon Prob Yerleşim Gösterimi (Eksenel)	24
4.3 Toplam Basınç Prolarının Yerleşimi	24
4.4 Toplam Basınç Enstrümantasyon Detayı	25
4.5 Statik Basınç Enstrümantasyon Detayı	25
4.6 Toplam Sıcaklık Enstrümantasyon Detayı	26
4.7 Enstrümantasyon Yerleşim Harflendirmesi.....	27
4.8 Parametre Adı Seçimi.....	28
4.9 Temsili Kalibrasyon Test Sistemi.....	30
4.10 Veri Toplama Sistemi Görseli a) Pano İçten Görüntüsü b) Pano Isı Çift Girişleri c) Pano Basınç Sensör Girişleri.....	32
4.11 Test Düzeneği	34
4.12 GA Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri	40
4.13 GA Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri	41
4.14 GA Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri	42
4.15 GA Portundan Elde Edilen CDmth oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	42
4.16 CC Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri.....	45
4.17 CC Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri	46
4.18 CC Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

4.19 CC Portundan Elde Edilen <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	47
4.20 PW Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri.....	50
4.21 PW Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri.....	51
4.22 PW Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri.....	52
4.23 PW Portundan Elde Edilen <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi.....	52
4.24 KY Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri	55
4.25 KY Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri.....	55
4.26 KY Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri	56
4.27 KY Portundan Elde Edilen <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	56
4.28 Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması).....	57
4.29 GA Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması).....	58
4.30 CC Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması).....	59
4.31 GA Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması).....	61
4.32 CC Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması).....	63
4.33 PW Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması).....	65
4.34 Kalibrasyon Testlerinden Elde Edilen <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	66
4.35 Kalibrasyon Test-1 'den Elde Edilen Toplam Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.36 Kalibrasyon Test-1 'den Elde Edilen Statik Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimleri.....	71
4.37 Kalibrasyon Test-2'den Elde Edilen Toplam Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	71
4.38 Kalibrasyon Test-2'den Elde Edilen Statik Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimleri.....	72
4.39 Kalibrasyon Test-3'den Elde Edilen Toplam Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	72
4.40 Kalibrasyon Test-3'den Elde Edilen Statik Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimleri	73
4.41 Kalibrasyon Test-1 'den Elde Edilen Ortalama Sıcaklık Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	74
4.42 Kalibrasyon Test-2'den Elde Edilen Ortalama Sıcaklık Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	74
4.43 Kalibrasyon Test-3'den Elde Edilen Ortalama Sıcaklık Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	75
4.44 Kalibrasyon Test-1 'den Elde Edilen CDmth oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	76
4.45 Kalibrasyon Test- 2'den Elde Edilen CDmth oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	76
4.46 Kalibrasyon Test - 3'den Elde Edilen CDmth oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	77
4.47 Kalibrasyon Test Verilerine Göre CDmth oranı	78
4.48 Temsili Test Düzenegi (Price Induction, -)	80
4.49 Temsili Test Standı (Grounds, T., 2015).....	81
4.50 GA Portundan Elde Edilen CDmth oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	88
4.51 CC Portundan Elde Edilen CDmth oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	92

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

4.52 PW Portundan Elde Edilen <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi.....	96
4.53 Motor Yer Testlerinden Elde Edilen <i>CDmth</i> oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi	100
5.1 GA Parametresi için Deşarj Katsayılarının Dinamik Basınç ile Değişimi.....	105
5.2 CC Parametresi için Deşarj Katsayılarının Dinamik Basınç ile Değişimi	105
5.3 PW Parametresi için Deşarj Katsayılarının Dinamik Basınç ile Değişimi.....	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

4.1 Bellmouth Enstrümantasyon Konumları	22
4.2 Enstrümantasyon Harflendirilmesi	27
4.3 Enstrümantasyon Listesi.....	29
4.4 Pano Ekipmanları	33
4.5 Bellmouth Kalibrasyonunun Gerçekleştirildiği Hava Debileri	35
4.6 GA Portu için Test 1 Sonuçları.....	38
4.7 GA Portu için Test 2 Sonuçları.....	39
4.8 GA Portu için Test 3 Sonuçları.....	39
4.9 CC Portu için Test 1 Sonuçları	43
4.10 CC Portu için Test 2 Sonuçları	44
4.11 CC Portu için Test 3 Sonuçları	44
4.12 PW Portu için Test 1 Sonuçları	48
4.13 PW Portu için Test 2 Sonuçları	49
4.14 PW Portu için Test 3 Sonuçları	49
4.15 KY Portu için Test 1 Sonuçları.....	53
4.16 KY Portu için Test 2 Sonuçları.....	54
4.17 KY Portu için Test 3 Sonuçları.....	54
4. 18 GA Portu Kalibrasyon Testi Sonuçları	60
4.19 CC Portu Kalibrasyon Testi Sonuçları	62
4.20 PW Portu Kalibrasyon Testi Sonuçları.....	64
4.21 Deşarj Katsayısı Karşılaştırılması-Kalibrasyon Testleri (GA Portu)	67
4.22 Deşarj Katsayısı Karşılaştırılması-Kalibrasyon Testleri (CC Portu).....	68
4.23 Deşarj Katsayısı Karşılaştırılması-Kalibrasyon Testleri (PW Portu)	69
4.24 Oluşturulan Denklemler ile Kalibrasyon Testi Sonuçlarının Farkı	79
4.25 GA Portu için Test 1 Sonuçları.....	85
4.26 GA Portu için Test 2 Sonuçları.....	86
4.27 GA Portu için Test 3 Sonuçları.....	87

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

4.28 CC Portu için Test 1 Sonuçları	89
4.29 CC Portu için Test 2 Sonuçları	90
4.30 CC Portu için Test 3 Sonuçları	91
4.31 PW Portu için Test 1 Sonuçları	93
4.32 PW Portu için Test 2 Sonuçları	94
4.33 PW Portu için Test 3 Sonuçları	95
4.34 GA Portu Test Sonuçları Analizi-Test 1	97
4.35 CC Portu Test Sonuçları Analizi-Test 1	98
4.36 PW Portu Test Sonuçları Analizi-Test 1	99
4.37 Gerçek Kütlesel Debi Karşılaştırılması-Motor Yer Testleri (CC Portu).....	101
4.38 Gerçek Kütlesel Debi Karşılaştırılması-Motor Yer Testleri (GA Portu)	102
4.39 Gerçek Kütlesel Debi Karşılaştırılması-Motor Yer Testleri (PW Portu)	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\dot{m}$	Ana Hava Debisi
$\dot{m}_{act}$	Gerçek Kütlesel Debi
$\dot{m}_{th}$	Teorik Kütlesel Debi
M_{th}	Teorik Mach Sayısı
M	Mach Sayısı
Re_{act}	Gerçek Deşarj Katsayısı
Re_{th}	Teorik Deşarj Katsayısı
P	Ortam Basıncı
P_T	Toplam Basıncı
P_s	Statik Basıncı
P_{hg}	Basıncı
P	Basıncı
T	Sıcaklık
T	Sıcaklık
t	Zaman
T_T	Toplam Sıcaklık
ϑ	Kesitten Geçen Havanın Hızı
ρ	Nemli Havanın Yoğunluğu
k	Isıl Sığa Oranı
R	Gaz Sabiti
p_{sv}	Yoğunlaşma Buhar Basıncı
X_v	Su Buharı Mol Oranı
Z	Sıkıştırılabilirlik Katsayısı
h	Ölçülen Ortam Bağlı Nemi
d	Bellmouth Çapı
A	Alan

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
V	Hacim
Q	Özel Hacim
R	Gaz Sabiti (Hava için:0,286 kJ/kg/k)
n	Mol Sayısı
$\bar{R}$	Evrensel Sabit (8.31 J/mole/K)
R	Her gaz için sabit değer (Hava için: 0.286 kJ/kg/K)
M	Kütle
μ	Gaz dinamik viskozitesi
v	Akışın Hızı
h	Ortam Nem Değeri
∂	Ses Hızı
x_V	Mol Oranı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
GTS	Ground Test System
GE	General Electric
NBS	National Bureau of Standards (Ulusal Standartlar Bürosu)

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde tasarımı ve üretimi yapılan uçak motorlarında gerçekleştirilen yer testleri ile motor performansının belirlenmesi, motorun uçuş testlerinde göstereceği performans için önemli bir konudur. Belirli isterlere göre tasarımı gerçekleştirilen uçak motorunun, üretim işlemleri ardından testler ile tasarım isterlerine uygunluğu kontrol edilmektedir. Bu amaçla uçak motor testleri iki ana şekilde değerlendirilmektedir. Bunlar yer testleri ve uçuş testleri olarak adlandırılmaktadır. Uçuş testlerinin amacı, uçak motorunun uçağa entegre edilerek, motorun performansının beklenen çalışma ortamlarında gözlemlenmesidir. Uçuş testleri, genellikle uçuş simülasyonu şeklinde olduğundan detaylı tasarım ve üretim kontrolü olmayıp, uçak motorunun uçağa entegrasyonu sonrası performansının gözlenmesi için gerçekleştirilmektedir. Detaylı tasarım ve üretim kontrolleri genellikle yer testlerinde gerçekleştirilmektedir. Yer testleri için hazırlanan düzenekler ile uçak motorları birçok teste tabi tutulmaktadır.

Bellmouth, motor testlerinde kullanılan motorun hava kanallarına yerleştirilen, motora düzgün bir şekilde hava girişi sağlanması ve giren havanın kontrol edilmesi için tasarlanmış olan katı, bir dairesel parçadır. Bu çalışma kapsamında, bellmouth tasarımı hakkında kısa bir bilgi eşliğinde, bellmouth kalibrasyon ve test işlemlerine yönelik detaylı çalışmalara yer verilmiştir.

Bölüm 2’de dünya genelinde bellmouth ile kullanılan test sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş olup, bellmouth tasarım kriterlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3’te bellmouth kalibrasyon ve test işlemlerinde kullanılan hesaplama yöntemleri açıklanmıştır. Hesaplama yöntemlerinin kalibrasyon ve test aşamasında kullanıldığı yerler hakkındaki bilgiler ilgili bölümlerde belirtilmiştir.

Bölüm 4’te kalibrasyon ve test işlemleri için bellmouth üzerinde bulunması gereken enstrümantasyon ekipmanlarının yerleşimleri konusunda genel bilgilendirme yapılmış ardından kalibrasyon ve test işlemlerinden bahsedilmiştir.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Uçak motorları, motorun geliştirilmesi istenilen doğrultuda tasarlanıp üretilmesi amacıyla birçok yer testine tabi tutulmaktadır. Temel motor performans özelliklerini tanımlamak için üç temel performans parametresi olarak nitelendirilen hava akışı, yakıt akışı ve itiş gücünün doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Belirtilen üç temel parametrenin doğrulanması ihtiyacı, eşit öneme sahiptir.

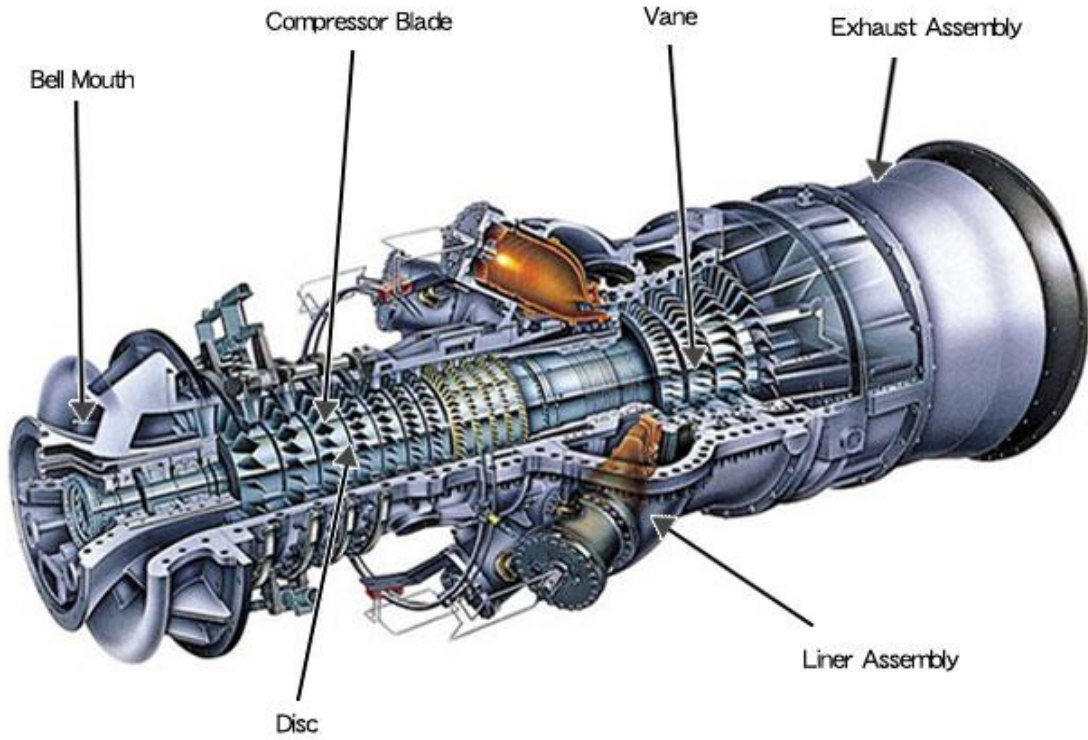
Belirtilen üç temel parametrenin ölçümlerinin gerçekleştirilmesi esnasında kullanılan ölçüm sistemlerinin kalibreli olması ölçümlerin güvenilir olması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda itki gücünün ve yakıt akışının ölçülmesi amacıyla yıllardır kullanılan kalibreli sistemler mevcuttur. Günümüz endüstrisinde itki gücünün ve yakıt akışının ölçülmesi için bulunan ürünler Ulusal Standartlar Bürosu (NBS) tarafından tanımlanmış olan koşulları sağlayacak şekilde üretilmektedir. NBS tarafından belirtilen koşullar gereğince itki kuvvetinin ölçülmesi için kullanılan test sisteminin doğruluk seviyesi $\pm 0.1\%$ iken yakıt akışının ölçülmesi için kullanılan test sistemleri $\pm 0.5\%$ doğruluk seviyesine sahiptir. Bu durum NBS tarafından tanımlanmış olan ekipmanlar ile gerçekleştirilen tüm testlerde belirtilen doğruluk seviyeleri sağlanmış ölçüm değerleri elde edileceğini göstermektedir.

Belirtilen üç parametreden biri olan hava akışının ölçülmesi için kullanılan bellmouth sisteminin kalibre edilmesi amacıyla kullanılabilecek herhangi bir method, standart ve ekipman bulunmamaktadır (Keller ve Dimow, 1993). Bu durum hava akışının ölçülmesi için metod geliştirme faaliyetleri üzerine çalışılması ihtiyacını doğurmaktadır.

Motor performans parametrelerinden olan hava akışının doğru bir şekilde ölçülebilmesi için bellmouth tasarımları gerçekleştirilmektedir. İlgili bellmouth yapısı motor yer testlerinde kullanılmakta olup, hava akışının ölçülebilmesi amacıyla bellmouth üzerinde toplam basınç probu, statik basınç probu ve ısılıçiftler yerleştirilmektedir (Smith, 1985).

Motor yer testleri bellmouth karakteristiğinin doğru tanımlanması ve motora verilen kütleli hava debisinin doğru hesaplanabilmesi için oldukça önemli bir konudur. Bu kapsamda günümüzde kullanılan birçok motor için doğru kütleli hava debisinin sağlanması amacıyla farklı şekilde bellmouth tasarımları gerçekleştirilmiştir ve motor yer testlerinde kullanılmıştır.

Motor yer testleri esnasında, bellmouth motor hava kanallarına yerleştirilmektedir. Şekil 2.1’de temsili olarak bellmouth yerleşim bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Bellmouth Temsili Yerleşim Gösterimi(Japan Aır Tec,-)

Şekil 2.2 ile Şekil 2.6 arasında verilen şekillerde dünya genelinde motor yer testlerinde kullanılan bellmouth test sistemlerine ait örnekler bulunmaktadır.

Şekil 2.2’de NASA Glenn Araştırma Merkezinde bulunan bellmouth test sistemine ait bir görsel bulunmaktadır (NASA,1976). Şekilde görülen bellmouth 20 inç fan motor modeli testleri için hazırlanmıştır.



Şekil 2.2 Bellmouth Test Sistemi (NASA,1976)

Şekil 2.3’te Lufthansa Teknik’te bulunan ve motor yer testlerinde kullanılan motor bellmouth test sistemi görülmektedir(Lufthansa, 2014). İlgili test sistemi, tasarımı gerçekleştirilen motorlara verilen kütleli hava debisinin doğru olması için motorların yetkin bir test sisteminde test edilmesi amacıyla kurulmuştur. Motor yer testleri, motor imalat ve revizyon işlemleri sonrasında uçuş işlemleri öncesinde motorun kabul edilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Bellmouth Test Sistemi (Luthansa, 2014)

Şekil 2.4'te Atec firması tarafından motor testleri için hazırlanmış olan bellmouth test sistemi görülmektedir(Atec, 2017).



Şekil 2.4 Bellmouth Test Sistemi (Atec, 2017)

Şekil 2.5 Şekil 'te Ground Test Solutions (GTS) firması tarafından hazırlanan ve uçak motoru yer testlerinde kullanılan bellmouth test sistemine ait görsel bulunmaktadır (GTS, 2017). İlgili test sistemi, uçak motoruna entegre edilerek uçak motoruna verilen kütleli hava debi değerinin hesaplanabilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Bellmouth Test Sistemi (GTS, 2017)

Şekil 2.6'da Anecom firmasında bulunan bellmouth test sistemine ait görsel bulunmaktadır. İlgili test sistemi yardımıyla uçak motoruna verilen kütleli hava debi değeri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır (Anecom, 2016). Bu bilgiler bellmouth üzerinde bulunan enstrümantasyon ekipmanları yardımıyla motor testleri esnasında alınan verilerin yorumlanmasıyla elde edilmektedir.



Şekil 2.6 Bellmouth Test Sistem (Anecom,2016)

Resimlerde gösterilen tüm bellmouth test sistemleri, test edilecek motorlar için gerekli olan tüm test isterlerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Gerçek kütleli debi değeri bu test isterleri arasında en önemlisi olarak nitelendirilebilir. Bellmouth tasarımı gerçekleştirilirken motorun ihtiyacı olan kütleli debinin test sistemleri tarafından sağlanabilecek olmasına dikkat edilmektedir.

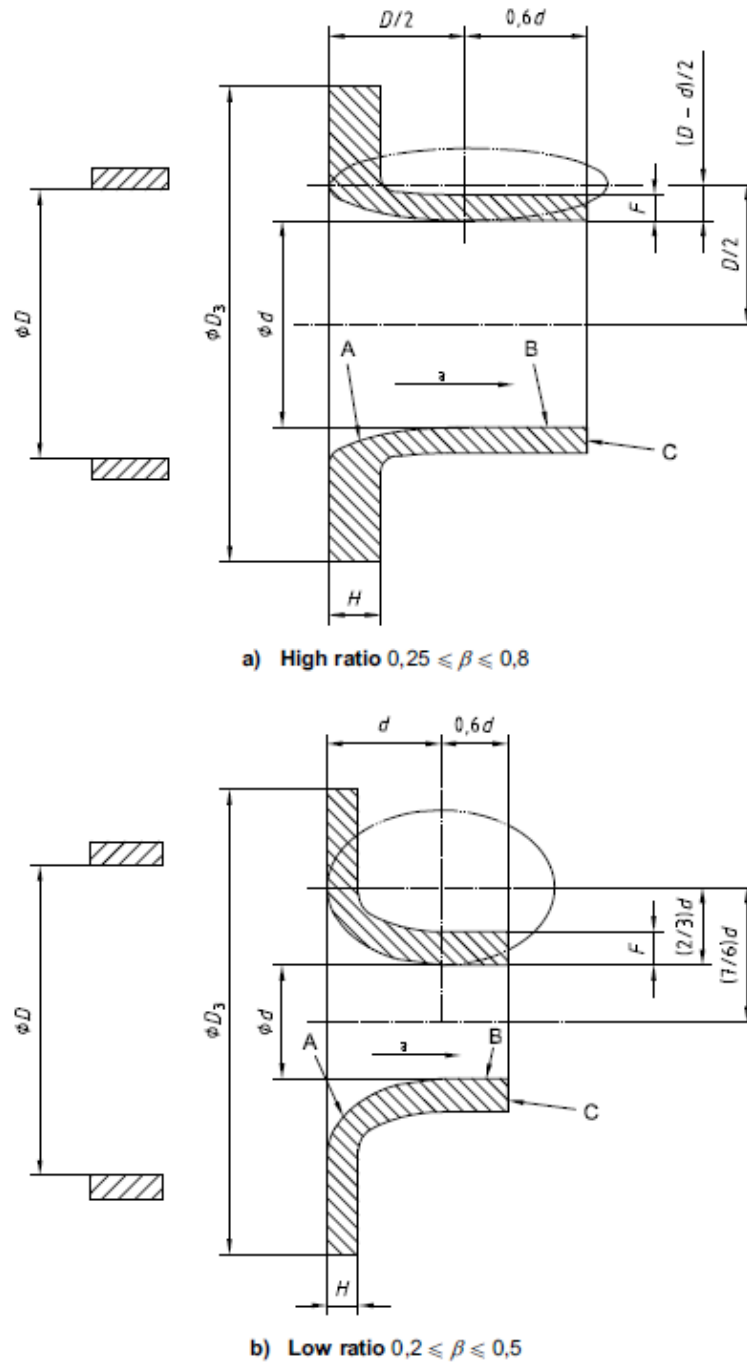
2.1.Bellmouth Tasarımı

Her motor tasarımına uygun olacak şekilde bellmouth tasarımı gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu gereksinim, her motorun ihtiyaç duyduğu kütleli hava debi değerinin ve motor büyüklüklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Bellmouth tasarımı ISO 5167-3 standardı uyarınca gerçekleştirilmektedir. Bellmouth tasarımının gerçekleştirilmesi için dikkat edilmesi gereken veriler aşağıda belirtildiği şekildedir. Bellmouth tasarımı esnasında, şu bilgiler kullanılır:

- Bellmoutha verilecek olan gerçek hava debisinin değeri
- Bellmouth giriş ağız ölçüsü
- Bellmouth-motor bağlantısı ağız ölçüsü
- Bellmouth boyu
- Bellmouth yüzey pürüzlülüğü
- Bellmouth ağız genişleme açısı

Bellmouth tasarımı aşamasında kullanılması için ISO 5167-3 numaralı standart hazırlanmıştır. İlgili standartta kullanılan tasarım bölümü örnek teşkil etmesi açısından Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Bellmouth Tasarım Kriterleri (ISO 5167-3,2003)

2.2.Bellmouth Kalibrasyonu

Uçak motoru, tasarım aşaması ardından motorun tasarımının iyileştirilmesi ve motor ömür analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla birçok yer testine tabi tutulmaktadır. Genel olarak motor yer testlerinden hava akış değerinin ölçülmesi, motorun yakıt ihtiyacının belirlenmesi ve motorun itiş gücünün öğrenilmesi amaçlanmaktadır. Belirtilen üç temel değerin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için kalibre edilmiş, doğru ölçüm alınabileceğinden emin olunan sistemlerin kullanılması gerekmektedir (Keller ve Dimow, 1993). Bu amaçla bu tez kapsamında motor temel parametrelerinden olan hava akış değerinin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için motor giriş kısmına bellmouth uygulamasının gerçekleştirilmesi ve ölçülen değerlerin yorumlanması yönünde bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bellmouth karakteristiğinin belirlenmesi için bellmouth giriş toplam sıcaklığı, toplam basıncı ve hava akış oranının bilinmesi zorunludur. Bellmouth karakteristiğinin belirlenmesi için ihtiyaç duyulan verilerin uçuş testlerinden elde edilmesi çok zor olduğundan ilgili veriler yer testlerinden elde edilmektedir.

Motor için önemli bilgilerden olan kütleli hava değerinin doğru belirlenmesi amacıyla, motora giren hava debisinin doğru ölçülmesi gerekmektedir. Hava akışı bellmouthun kalibrasyon datalarınca belirlenecek sıcaklık ve basınç ölçümleri kullanılarak belirlenmektedir.

Bu kapsamda motor yer testleri esnasında giriş hava debisinin doğru belirlenmesi için, kullanılan bellmouthun enstrümantasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi, enstrümantasyonlu bellmouthun kalibre edilmesi ve kalibrasyonlu bellmouthun motora entegre edilip motor testlerinin sıralı olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Motor testlerinin gerçekleştirilmesinin ardından kalibrasyon ve test sonuçları baz alınarak hava debisi analizi gerçekleştirilmektedir.

3.KALİBRASYON VERİLERİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Hava debisi uçak motoru testlerinde birçok aşamada kullanılan bir parametredir. Motor testlerinde hava debisinin doğru bir şekilde ölçüldüğünden emin olmak için kalibreli bellmouth kullanılması gerekmektedir. Bellmouth genellikle motora giren hava akışının doğru bir şekilde yönlendirilmesi için kullanılan katı yapıdır. Bellmouthun hava akışını yönlendirmesi, bellmouth duvarlarına yavaşça girerek havanın bellmouth merkezine doğru yönlendirmesiyle gerçekleştirilir (Apurva ve Patel,2016). Bu nedenle bellmouth yapısının kalibre edilmesi özellikle ölçülecek olan hava akış hızının doğruluğu konusunda bilgi vermektedir. Kalibrasyon işlemleri ardından, alınan ölçüm sonuçlarının hesaplamalarda kullanılmasıyla istenilen debi değerleri hesaplanabilmektedir.

3.1. Debi Hesaplaması

Bellmouth üzerinden geçen ve motora iletilen havanın debi hesaplamaları gerçekleştirilirken, bellmouth üzerinden geçen hava miktarının motora iletilmesi esnasında herhangi bir kayıp yaşanmadığı varsayılmaktadır. Yani bellmouth girişinden giren havanın uçak motoruna iletilmesi esnasında herhangi bir kayıp oluşmadığı kabul edilmektedir.

Bellmouth yapısında gözlenmiş olduğu gibi, bellmouthdan akış göz önüne alındığında akış ilk önce kademeli olarak sıkıştırılır ve daha sonra yavaş yavaş genişleyip akış orijinal değerlerine geri döner. Bu bellmouth içerisinde tersine bir akış meydana gelir. Termodinamiğin ikinci yasası göz önüne alındığında, tersine çevrilebilir bir akış sabit bir entropi meydana getirir. Bu tip bir yaklaşım isentropik akış olarak bilinmektedir. Yani hava akışının bellmouthdan motora girişi izantropik akış olarak adlandırılır (NASA, 2018 b). Bu durumda bellmouth kalibrasyon verileri ile debi hesabı gerçekleştirilmesinde izantropik akış formülleri kullanılarak hesaplama işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Kütlenin korunumu yasasından hava miktarının aynı olması durumunda havanın akış hızının bellmouth boyunca eşit olduğu bilgisine ulaşılabilmektedir. Bu durumda belli bir alandan belli bir sürede geçen havanın hacmi 3.1 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir (NASA, 2015 a).

$$V = A\theta t \quad (3.1)$$

3.1 numaralı eşitlikte V hacim, A akışın geçtiği alan, θ kesitten geçen havanın hızı ve t zamanı belirtmektedir.

3.1 numaralı eşitlik kullanılarak belli bir hacimden geçen havanın kütlesi hesaplanabilmektedir. Kütle hesaplanması için kullanılan 3.2 numaralı eşitlikteki havanın hacmine 3.1 numaralı eşitlik değerleri yazıldığında belirli bir alandan belirli bir zamanda belirli hızla geçen havanın kütle miktarının hesaplanması gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumda, belirli bir bölgeden geçen havanın kütle miktarını hesaplamak için 3.3 numaralı eşitlik kullanılabilmektedir (NASA, 2015 a).

$$m = \rho V \quad (3.2)$$

$$m = \rho A\theta t \quad (3.3)$$

3.2 numaralı eşitlikte m kütle ve ρ nemli havanın yoğunluğu belirtmektedir.

Kütlesel debi, kütlenin zamana bölünmesi sonucunda elde edilmektedir. Bu durumda 3.3 numaralı formülün zamana bölünmesi sonucunda kütlesel debi elde edilmektedir. 3.4 numaralı eşitlikte 3.3 numaralı eşitlikte bulunan kütle miktarının zamana bölünmesi sonucunda oluşan kütlesel debi eşitliğinin elde edilmesi gösterilmektedir (NASA, 2015 a).

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{\rho A\theta t}{t} \quad (3.4)$$

3.4 numaralı eşitlikte $\dot{m}$ kütlesel debiyi belirtmektedir.

Yapılan bu işlemler ardından $\dot{m}$ ile belirtilen kütleli debi hesabı 3.5 numaralı formülde de gösterilmiş olduğu gibi, kütlenin geçtiği bellmouth kesit alanına (A), hava hızına (9) ve havanın yoğunluğuna (ρ) bağlı olduğu sonucu elde edilmektedir(NASA, 2015 a).

$$\dot{m} = \rho \vartheta A \quad (3.5)$$

Kütleli debinin birimi, kg/s'dir.

Havacılık hesaplamalarında kütleli debi mach sayısı cinsinden hesaplanmaktadır. Kütleli debinin mach sayısı cinsinden hesaplanması için aşağıda belirtilen eşitliklerin kullanılması gerekmektedir.

3.6 numaralı eşitlikte mach sayısı cinsinden havanın hızının hesaplanması gösterilmiştir. ϑ ile gösterilen ses hızı $\sqrt{\kappa RT}$ hesaplamasından elde edilmektedir. İlgili eşitlikle ihtiyaç duyulan sıcaklık değeri T, Kelvin cinsinden olmalıdır (NASA, 2018 a).

$$\vartheta = M \vartheta = M \sqrt{\kappa RT} \quad (3.6)$$

3.6 numaralı eşitlikte belirtilen κ ısıl sığa değeri, M değeri kütle, R gaz sabiti değeri ve T sıcaklık değerini belirtmektedir.

$$PV = n \bar{R} T \quad (3.7)$$

3.7 numaralı denklemde değişkenler basınç P, hacim V ve mole sayısı n olarak ve $\bar{R}$ evrensel sabit olup değeri 8.31 J/mole/K ile belirtilmiştir (NASA, 2015 b).

3.7 numaralı denklemin kütle M değerine bölünmesi sonucunda 3.8 numaralı denklem elde edilmiştir(NASA, 2015 b).

$$\frac{PV}{M} = \frac{n \bar{R} T}{M} \quad (3.8)$$

3.8 numaralı denklemde özel hacim olarak belirtilen değer $Q = \frac{\text{volume}}{\text{mass}} = \frac{1}{\rho}$ 'dir (NASA, 2015 b). İlgili denklemde ρ nemli havanın yoğunluğunu belirtmektedir.

$$PQ = \frac{n\bar{R}T}{M} \quad (3.9)$$

3.9 numaralı eşitlikte belirtilen $\frac{n\bar{R}}{M} = R$, gaz sabiti değerine eşittir. Tüm değişkenler ilgili yerlere yazılarak 3.10 numaralı denklem elde edilir (NASA, 2015 b).

$$P \frac{1}{\rho} = RT \quad (3.10)$$

3.10 numaralı denklem kullanılarak kütleli debinin hesaplanabilmesi için 3.5 numaralı denklemde ihtiyacımız olan ρ , yoğunluk değeri 3.11 numaralı denklemde hesaplanabilir (NASA, 2015 b).

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (3.11)$$

3.5 numaralı eşitlikte, θ değeri bulunması için 3.6 numaralı eşitlik ve ρ değerinin belirlenmesi için de 3.11 numaralı eşitliğin yerine yerleştirilmesi sonucunda 3.12 numaralı denklem elde edilmiştir (NASA, 2018 a).

$$\dot{m} = MA \frac{P}{RT} \sqrt{\kappa RT} \quad (3.12)$$

3.12 numaralı formülün düzenlenmiş hali 3.13 numaralı formülde belirtilmiştir (NASA, 2018 a).

$$\dot{m} = MA \frac{P}{\sqrt{T}} \sqrt{\frac{\kappa}{R}} \quad (3.13)$$

3.14 ve 3.15 numaralı denklemler izantropik basınç ve sıcaklık denklemleridir (NASA, 2018 a).

$$\frac{P}{P_T} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{-\frac{\kappa}{\kappa+1}} \quad (3.14)$$

3.14 numaralı denklemde P basınç değerini ve P_T toplam basınç değerini ifade etmektedir.

$$\frac{T}{T_T} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{-1} \quad (3.15)$$

3.15 numaralı denklemde T_T toplam sıcaklık değerini belirtmektedir.

3.14 ve 3.15 numaralı eşitlikler ile basınç değerinin sıcaklıklar ile değişimlerini gösteren denklem 3.16 numaralı eşitlik ile gösterilmiştir (NASA, 2018 b).

$$P = P_T \left(\frac{T}{T_T}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa+1}} \quad (3.16)$$

3.16 numaralı eşitlikten elde edilen P değerini 3.13 numaralı eşitliğe yerleştirdiğimiz zaman 3.17 numaralı eşitlik elde edilmektedir (NASA, 2018 a).

$$\dot{m} = \frac{AP_T}{\sqrt{T_T}} \sqrt{\frac{\kappa}{R}} M \left(\frac{T}{T_T}\right)^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} \quad (3.17)$$

3.15 numaralı denklemde belirtilen sıcaklık değişimleri 3.17 numaralı denklemde kullanılırsa 3.18 numaralı denklem elde edilir (NASA, 2018 a).

$$\dot{m} = \frac{AP_T}{\sqrt{T_T}} M \sqrt{\frac{\kappa}{R}} \sqrt{\left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{-\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} \quad (3.18)$$

3.18 numaralı eşitliğin düzenlenmiş hali 3.19 numaralı eşitlikte belirtilmiştir.

$$\dot{m} = A P_T M \sqrt{\frac{\kappa}{R T_T} \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{-\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} \quad (3.19)$$

3.19 numaralı eşitlik ile hesaplanan değerler teorik değerlerdir. 3.19 numaralı eşitlik üzerinde son düzenlemeler gerçekleştirilip, eşitliğin kullanılabilir hale getirilmesi ile 3.20 numaralı denklem elde edilmiştir.

3.20 numaralı denklem mach sayısı cinsinden kütleli debinin hesaplanabilmesi için kullanılacak olan eşitliktir. Mach sayısı cinsinden kullanılabilir bir denklem oluşturmak ihtiyacı, mach sayısı ve ilintili denklemlerin havacılıkta yaygın bir kullanım alanına sahip olmasından doğmaktadır.

$$\dot{m}_{th} = \frac{\pi}{4} d^2 P_T M_{TH} \sqrt{\frac{\kappa}{R T_T} \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M_{TH}^2\right)^{-\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} \quad (3.20)$$

3.20 numaralı eşitsizlik kullanılarak teorik kütleli debinin hesaplanabilmesi için, eşitsizlikte bulunan κ ısıl sığa değeri, d çap değeri ve M_{th} teorik mach sayısının hesaplanması gerekmektedir. R değeri, hava gaz sabiti değerini belirtmekte olup 287,058J/kg K olarak hesaplara dâhil edilmektedir. Toplam basınç ve toplam sıcaklık değerleri testler esnasında ölçülen değerlerdir.

Newton'un ikinci hareket yasasından, bir uçak motoru üzerindeki aerodinamik kuvvetler zamanla değişim gösteren gaz momentumu ile doğrudan ilişkilidir. Momentum bellmouthtan geçen hava kütlesi ve hava hızının çarpımından hesaplanmaktadır. Uçak motorunu etkileyen aerodinamik kuvvetler motor üzerinden geçen havanın kütleli debisine bağlıdır.

3.1.1. Teorik mach sayısının belirlenmesi

Teorik mach sayısının belirlenmesi için 3.21 numaralı izantropik akış denkleminde belirtilen eşitlikten faydalanılmaktadır. 3.21 numaralı eşitlikten M_{TH} değeri çekildiğinde 3.22 numaralı denklem elde edilmektedir (NASA, 2018 b).

$$\frac{P_S}{P_T} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M_{TH}^2\right)^{\frac{-\kappa}{\kappa - 1}} \quad (3.21)$$

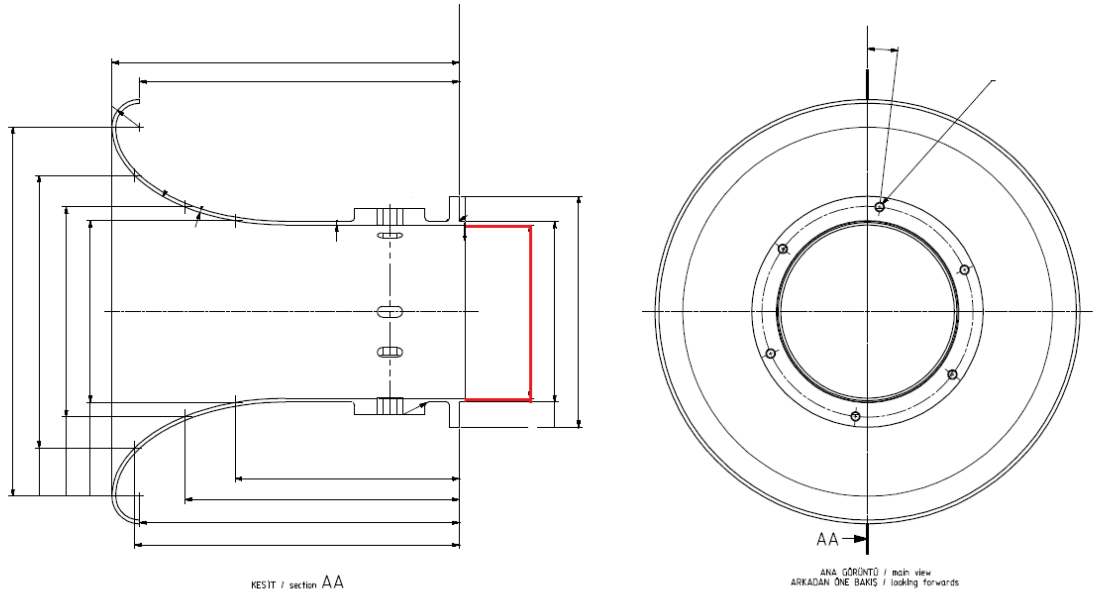
$$M_{th} = \sqrt{\frac{2}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{P_S}{P_T}\right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} - 1 \right]} \quad (3.22)$$

3.22 numaralı eşitlik yardımıyla ölçülen statik ve toplam basınç değerlerinden teorik mach sayısı hesaplanmaktadır.

3.1.2. Çap değerinin belirlenmesi

Teorik mach sayısının belirlenmesi ve mach sayısı kullanılarak bellmouthtan geçen debi miktarının hesaplanması için gerekli olan çap değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Şekil 3.1’de temsili bellmouth teknik resmi gösterilmiştir. Şekilde kırmızı ile belirtilmiş ölçü, işlemlerde kullanılacak olan bellmouth çapı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.1 Temsili Bellmouth Resmi

3.1.3. Isıl sığa değerinin belirlenmesi

Hava debisinin hesaplanması için kullanılan bir diğer değişken olan κ ısı sığa değeri, bir maddeye aktarılan ısıнын sıcaklık değişimine oranıdır. Yani herhangi bir maddenin sıcaklığının $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ya da 1 K) artırılması amacıyla verilmesi gereken enerji miktarı için ısı sığa terimi kullanılmaktadır. Isı sığa kütleye bağlı olmayan bir değişkendir. Hava debisinin hesaplanması için kullanılacak olan ısı sığa değeri aşağıda belirtilen iki yöntem kullanılarak belirlenmektedir.

- **1.yöntem:** Bellmouth kalibrasyon işlemi esnasında hava kullanılmıştır, hava için 25°C 'de κ ısı sığa değeri 1.4 olarak kabul görmektedir. Belirtilen sabit değer hesaplamalarda kullanılabilmektedir (Urieli, 2015).
- **2.yöntem:** Bir diğer yöntem de kullanılacak olan ısı sığa değerinin ortamın sıcaklık ve nem oranına göre hesaplanmasıdır. İlgili hesaplamalar 3.23 numaralı eşitsizlik kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

$$\kappa = 1,39984 - (5,2 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-5} T + 7,5 \cdot 10^{-7} T^2 + 4,5 \cdot 10^{-8} T^3)(h + 0,125) \quad (3.23)$$

3.23 numaralı eşitlikte τ ile gösterilen sıcaklık değerlerinin birimi $^{\circ}\text{C}$ 'dir. Aynı denklemde belirtilen h değeri ortam nemini ifade etmektedir. 3.23 numaralı denklem ampirik olarak deneylerden elde edilen bir eşitliktir. İlgili denklem basınç değişiminin önemsiz ancak sıcaklık ve nem değerinin önemli olabileceği durumlarda kullanılmaktadır.

İki farklı yöntem kullanılarak yapılan hesaplamalar Bölüm 4.2.3.5 ve Bölüm 4.3.3.4'de gösterilmiştir.

3.2.Deşarj Katsayısının Hesaplanması

Deşarj katsayısı, bellmouth üzerinde gerçekleşen akış ve basınç kayıp davranışını karakterize etmek için kullanılan boyutsuz bir sayıdır (Shalfie ve Said, 2017).

Teorik kütleli debi ile gerçek kütleli debi oranı olan deşarj katsayısı 3.24 numaralı eşitlik ile gösterilmektedir (Nakao & Yokoi, 1997).

$$C_D = \frac{\dot{m}_{act}}{\dot{m}_{th}} \quad (3.24)$$

3.24 numaralı denklemde $\dot{m}_{th}$ değeri teorik kütleli debi, $\dot{m}_{act}$ değeri gerçek kütleli debi ve C_D deşarj katsayısını belirtmiştir.

3.3.Reynolds Sayısının Hesaplanması

Reynolds sayısı bellmouth içerisinde geçen akış sırasında, havanın hızından kaynaklanan atalet kuvvetlerinin akışa karşı direncinden kaynaklanan viskoz kuvvetlere oranını veren boyutsuz bir sayıdır.

Farklı çaplardaki bellmouth sonuçlarını karşılaştırmak ve viskozite etkisini (giriş sıcaklığı oda koşulları olduğu durumlarda göz ardı edilebilir) de göz önünde bulundurmak amacıyla deşarj katsayısı Reynolds(Re) sayısına bağlı olarak 3.26 numaralı eşitlikte olduğu gibi tanımlanabilir.

3.25 numaralı eşitlik reynolds sayısının nasıl hesaplandığına dair bilgi vermektedir. Eşitlikten de görüldüğü üzere reynolds sayısı kesitten geçen havanın hızına ϑ , havanın yoğunluğuna p , bellmouth yarıçapına d ve havanın viskozite etkisine μ bağlıdır. Reynolds sayısının hesaplanması için gerekli olan havanın yoğunluğunun p , 3.4 numaralı denklemde belirtildiği şekilde kütleli debi denkleminde hesaplanması ile reynolds sayısının hava kütleli debisine bağlı olduğu duruma ait eşitlik çıkmaktadır. İlgili eşitlik 3.26'da belirtilmiştir (Anonim, -) (Subramanian, -) .

$$Re_{th} = \frac{pVd}{\mu} = \frac{\left(\frac{\dot{m}}{A\vartheta}\right)\vartheta d}{\mu} = \frac{\left(\frac{\dot{m}}{A}\right)d}{\mu} = \frac{\left(\frac{\dot{m}}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}\right)d}{\mu} = \frac{4\dot{m}}{\pi d \mu} \quad (3.25)$$

$$Re_{th} = \frac{4\dot{m}_{th}}{\pi d \mu} = \frac{Re_{act}}{C_D} \quad (3.26)$$

3.26 numaralı eşitlikte belirtilen μ değişkeni sıcaklığa bağlı gaz dinamik viskozite değeridir ve değerin belirlenmesi için 3.27 numaralı formül kullanılmaktadır. 3.27 numaralı formülde derece cinsinden sıcaklık değeri $T_0=518.7$ ve μ_0 değeri 3.62×10^{-7} lb-s/ft²'dir (NASA,2009).

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1.5} \left(\frac{T_0 + 198.72}{T + 198.72}\right) \quad (3.27)$$

3.27 numaralı formülde hava için vizkozite değerlerinin bulunması amacıyla, sabit değerler eşitlikte işleme tabi tutulduğunda 3.28'de belirtilen denklem elde edilmektedir. 3.28'de belirtilen denklem 3.25 ve 3.26 numaralı denklemlerde kullanılarak reynolds sayısının bulunmasına yardımcı olmaktadır.

$$\mu = \frac{145,8T^{1,5}}{110,4 + T} \quad (3.28)$$

4.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında, gerçekleştirilen enstrümantasyon yöntemi, kalibrasyon ve testlerle ilgili ayrıntılar alt bölümlerde kapsamlı bir şekilde anlatılmaktadır.

4.1.Bellmouth Enstrümantasyonu

Motora giren hava debisinin belirlenmesi için ihtiyacımız olan ölçümlerin alınması ve ölçülen değerler göz önünde bulundurularak enstrümantasyon yerleşiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Hava debisinin belirlenmesi için Bölüm 3'te belirtilen eşitliklerden faydalanılmaktadır. İlgili bölümde geçen 3.20 eşitliğinde kullanılmak üzere toplam basınç ve toplam sıcaklık değerlerinin ve 3.22 eşitliğinde kullanılmak üzere toplam ve statik basınç değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu durumda, bellmouth üzerine toplam sıcaklık, toplam basınç ve statik basınç değerlerinin ölçülmesi amacıyla enstrümantasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

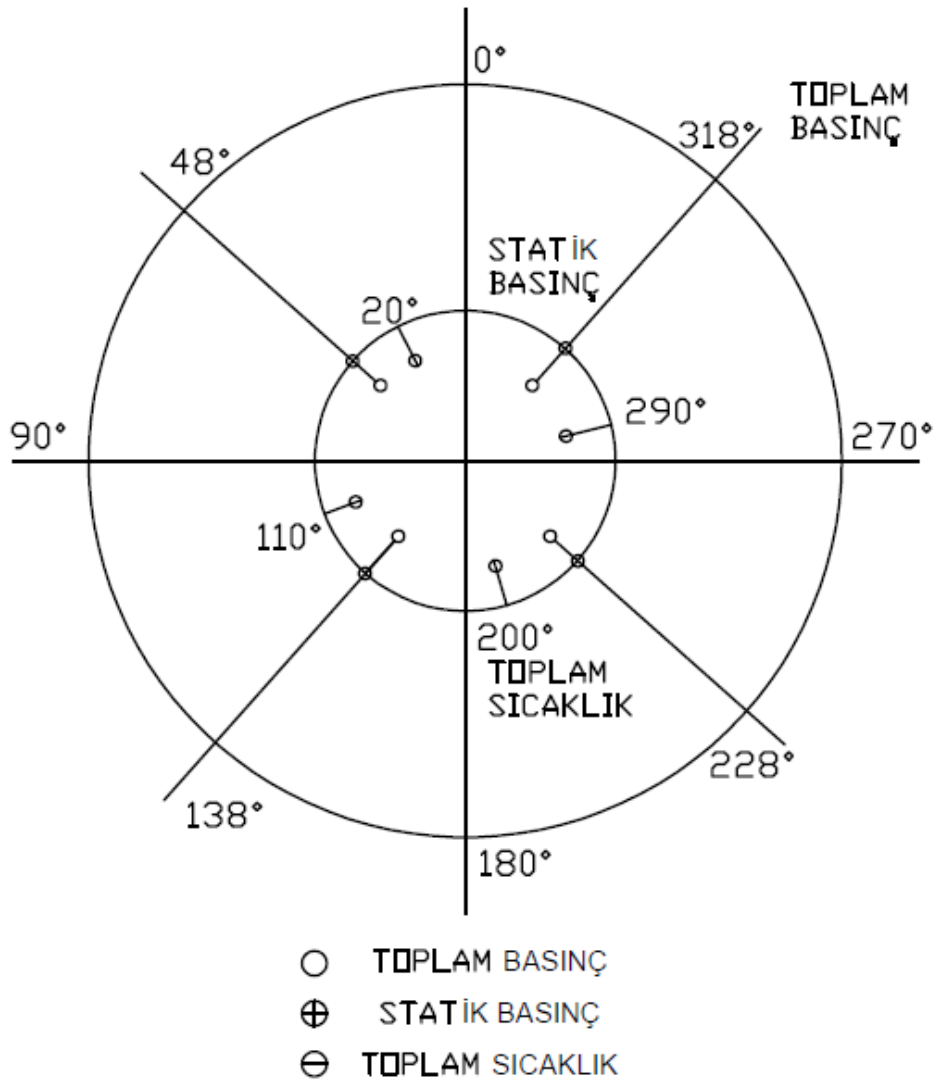
İlgili enstrümantasyon yerleşimleri, NASA tarafından 1985 yılında hazırlanan “Airflow Calibration of Bellmouth Inlet for Measurement of Compressor Airflow in Turbine-Powered Propulsion Simulators” isimli dokümanda belirtilmiş olduğu gibi gerçekleştirilmiş olup Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te ilgili dokümanda tanımlanmış olan enstrümantasyon yerleşimleri gösterilmiştir.

Şekillerde de belirtilmiş olduğu gibi bellmouth üzerine dört adet toplam basınç, dört adet statik basınç ve dört adet toplam sıcaklık probu enstrümante edilmiştir. Entegre edilen problemlerin tipleri, ölçüm aralıkları ve açılma değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

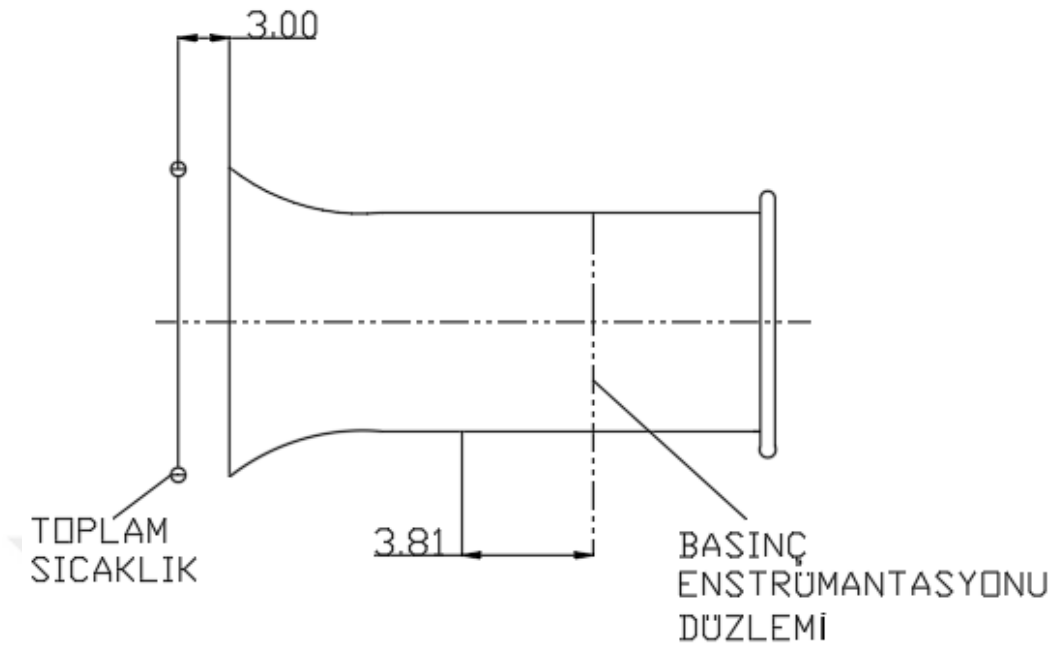
Bellmouth tasarımı gerçekleştirilirken Şekil 4.7’de belirtildiği gibi harflendirmelerin belirlenmesine azami itina gösterilir (ISO 5167-3,2003). Harflendirme bölgelerinden de anlaşılacağı üzere bellmouth tasarımında açılarının her bir motora özgü ayrı tasarlanması gerekmektedir.

Çizelge 4.1 Bellmouth Enstrümantasyon Konumları

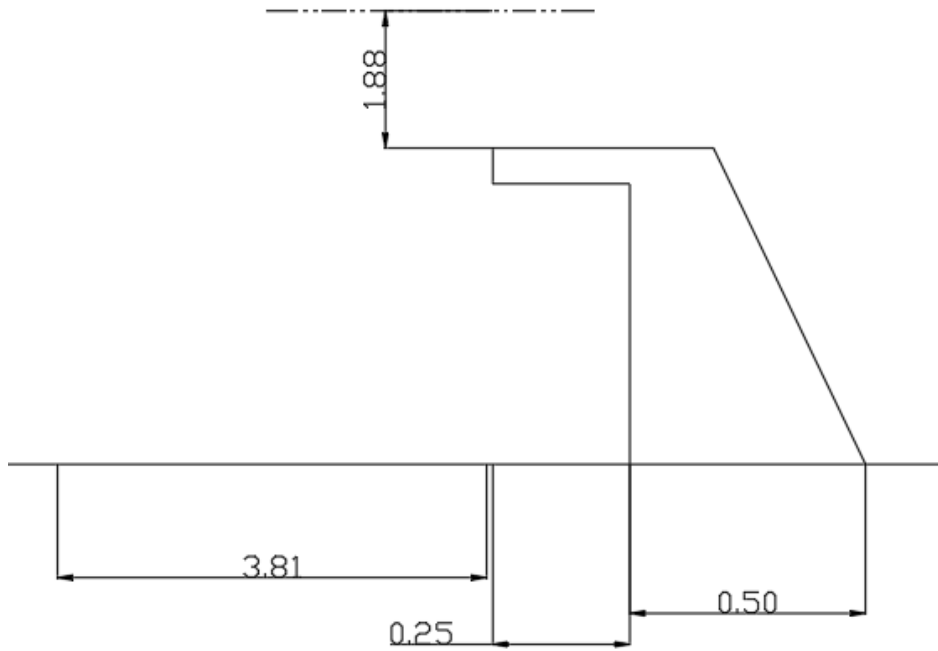
Ölçüm	Tipleri	Ölçüm Aralığı	Açı Değerleri
Toplam Basınç	Metal Tüp	0,98-1,2 bar absolute	48°,138°,228°,318°
Statik Basınç	Metal Tüp	0,70-1 bar absolute	48°,138°,228°,318°
Toplam Sıcaklık	K tipi ısı çifti	0°C -40°C	20°,110°,200°,290°



Şekil 4.1 Bellmouth Enstrümantasyon Prob Yerleşim Gösterimi

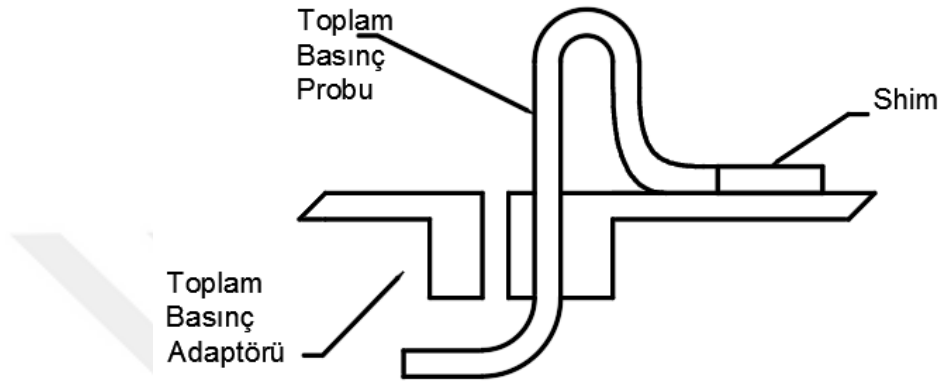


Şekil 4.2 Bellmouth Enstrümantasyon Prob Yerleşim Gösterimi (Eksenel)



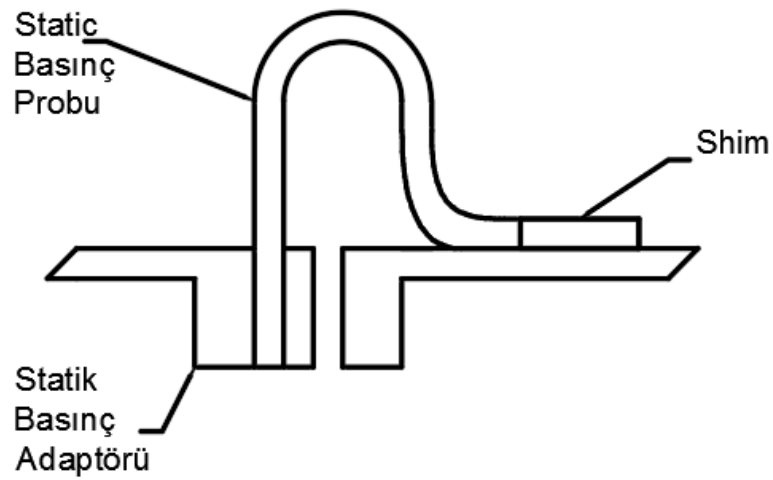
Şekil 4.3 Toplam Basınç Prolarının Yerleşimi

Prob enstrümantasyon detaylarının uygulama yöntemleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ da gösterilmiştir. Şekil 4.4’te gösterilmiş olduğu gibi toplam basınç probu akış yönüne paralel olacak şekilde konumlandırılmaktadır. Böylece akış içerisinde bulunan toplam basıncı ölçmektedir.



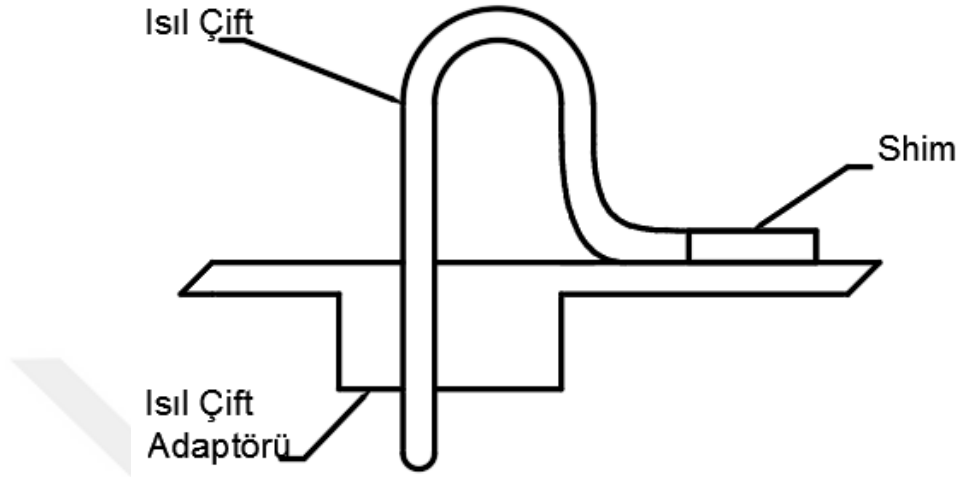
Şekil 4.4 Toplam Basınç Enstrümantasyon Detayı

Şekil 4.5’te statik basınç probu enstrümantasyon detayları gösterilmiştir. İlgili prob bellmouth içerisinde akışa maruz bırakılmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Probun akışa temas etmemesi sayesinde statik basınç ölçümü gerçekleştirilmektedir.



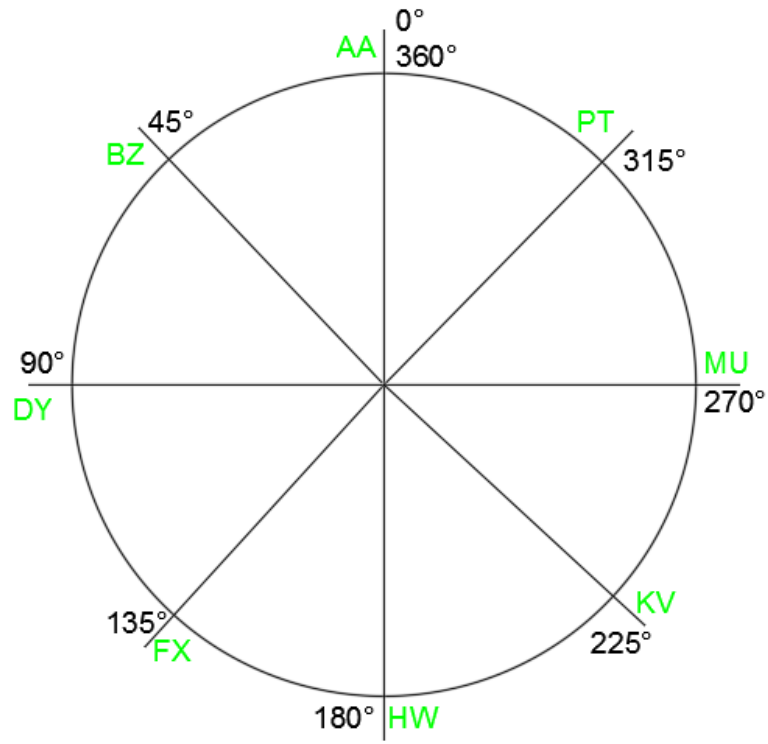
Şekil 4.5 Statik Basınç Enstrümantasyon Detayı

Şekil 4.6’da toplam sıcaklık probu enstrümantasyon detayları gösterilmiştir. Toplam sıcaklık probu akışa dik olacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 4.6 Toplam Sıcaklık Enstrümantasyon Detayı

Şekil 4.7’de görülmüş olduğu için her bir açı değeri için ikili harf kodu oluşturulmuştur. Oluşturulan kodlama sistemi motorun arka tarafından (egzoz tarafından) bakıldığında motor üzerinde bulunan 360 derecelik her açı değeri için ikili harf kodu kullanılması şeklinde temellenmektedir.



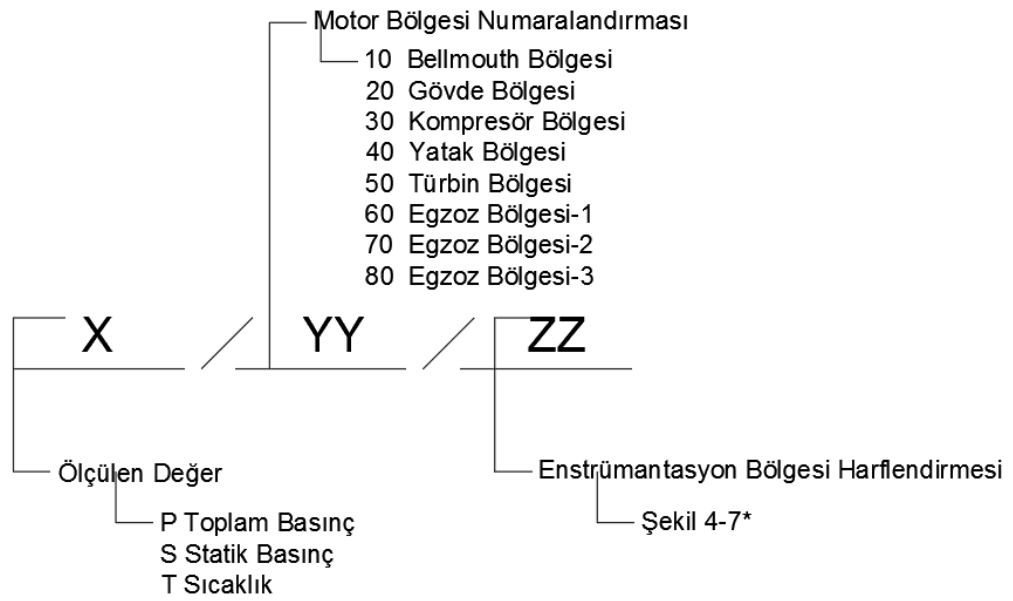
Şekil 4.7 Enstrümantasyon Yerleşim Harflendirilmesi

Enstrümantasyon harflendirilmesi Çizelge 4.2’de belirtilen şekilde gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 4.2 Enstrümantasyon Harflendirilmesi

Harf Kodu	Açı Değeri
CC	48°
GA	138°
KY	228°
PW	318°
AX	20°
EV	110°
JT	200°
NR	290°

Enstrümantasyon problemlerinin montajı esnasında kabloların karışmaması ve problemlerin veri toplama ünitesine/test sisteminde doğru kanallara takılması için Çizelge 4.3'te belirtildiği şekilde etiketlenmektedir. İlgili etiketler üzerinde belirtilen P değeri toplam basınç, S değeri statik basınç ve T değeri de toplam sıcaklık değerini belirtmektedir. Harf kodlarında belirtilen numaralandırma motor üzerinde yapılan enstrümantasyon bölgelerini belirtmektedir. 10 numara bellmouth bölgesini göstermektedir. Parametre seçimi Şekil 4.8'de detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 4.8 Parametre Adı Seçimi

Ek olarak ilgili etiketlemeler farklı renklerde yapılarak, dikkat çekmesi amaçlanmaktadır. Toplam basınç problemleri mavi, statik basınç problemleri beyaz ve toplam sıcaklık problemleri kırmızı ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Enstrümantasyon Listesi

Parametre Adı	Tanım	Sensör Referansı	Açı	Ölçüm Aralığı
T10AX	Bellmouth Çıkış Sıcaklığı	Sıcaklık (K Tipi)	20°	0°C - 40°C
T10EV	Bellmouth Çıkış Sıcaklığı	Sıcaklık (K Tipi)	110°	0°C - 40°C
T10JT	Bellmouth Çıkış Sıcaklığı	Sıcaklık (K Tipi)	200°	0°C - 40°C
T10NR	Bellmouth Çıkış Sıcaklığı	Sıcaklık (K Tipi)	290°	0°C - 40°C
S10CC	Bellmouth Çıkış Statik Basınç	Statik Basınç	48°	0,70-1 bar ABSOLUTE
S10GA	Bellmouth Çıkış Statik Basınç	Statik Basınç	138°	0,70-1 bar ABSOLUTE
S10KY	Bellmouth Çıkış Statik Basınç	Statik Basınç	228°	0,70-1 bar ABSOLUTE
S10PW	Bellmouth Çıkış Statik Basınç	Statik Basınç	318°	0,70-1 bar ABSOLUTE
P10CC	Bellmouth Çıkış Toplam Basınç	Toplam Basınç	48°	0,98-1.2 bar ABSOLUTE
P10GA	Bellmouth Çıkış Toplam Basınç	Toplam Basınç	138°	0,98-1.2 bar ABSOLUTE
P10KY	Bellmouth Çıkış Toplam Basınç	Toplam Basınç	228°	0,98-1.2 bar ABSOLUTE
P10PW	Bellmouth Çıkış Toplam Basınç	Toplam Basınç	318°	0,98-1.2 bar ABSOLUTE

4.2.Bellmouth Kalibrasyonu

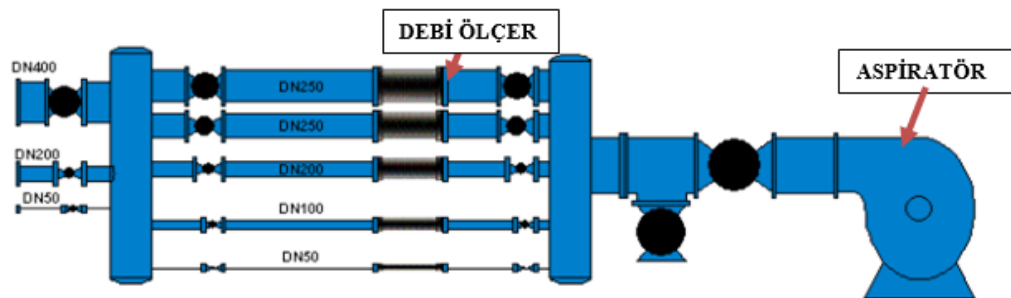
Bellmouthta kullanılan enstrümantasyon ekipmanlarının doğru ölçüm gerçekleştirdiğinden emin olmak amacıyla bellmouth sisteminin kalibre edilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Sistemin kalibre edilmesinin amacı, bellmouth üzerine yerleşimi yapılan ve çalıştığından emin olunan ekipmanların kalibrasyon test sistemine monte edilmesi, böylece kalibrasyon test sisteminden bellmoutha verilecek olan belirli miktardaki hava debisi yardımıyla bellmouth enstrümantasyon ekipmanlarının genel karakteristiğinin çıkarılmasıdır. Bellmouth enstrümantasyon karakteristiklerinin çıkartılması, bellmouthlu uçak motoru testlerinde bellmouth enstrümantasyonu üzerinden alınan verilerin yorumlanmasını sağlamaktadır.

4.2.1.Kalibrasyon test düzeneği

Kalibrasyon test düzeneği için altyüklenici tesislerinde bulunan orta debi gaz ölçüm sistemi kullanılmıştır. Debi ölçerlerin kalibrasyonu için kullanılan bu düzeneğe 10000m³/h hava debisinde aspiratörler ile çalışmaktadır. İlgili düzenekte sağlanabilecek maksimum basınç düşümü 200 mbar mertebelerindedir.

İlgili test düzeneği Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Debimetre kalibrasyonu sırasında bellmouth montajının gerçekleştirilebilmesi için DN200 ile belirtilen çıkış kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Temsili Kalibrasyon Test Sistemi

Bellmouth kalibrasyonu için altyüklenici sadece Şekil 4.9’da gösterilen test düzeneğini sağlamış olup, veri toplama sistemi ve sensörlerin hazırlanması gerekmiştir. Bu kapsamda veri toplama sistem yazılımı olarak labview kullanılmış, sensörler ve diğer ekipmanlar için bir adet pano hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan pano ve veri toplama sistemine ait görsel Şekil 4.10’da gösterilmektedir.





a)



b)



c)

Şekil 4.10 Veri Toplama Sistemi Görseli a) Pano İçten Görüntüsü b) Pano Isı Çift Girişleri c) Pano Basınç Sensör Girişleri

Pano içerisinde bulunan ilgili ölçüm elemanları seçilirken, bellmouth üzerinde bulunan enstrümantasyon sensörlerinin ölçüm aralığına dikkat edilmiştir. Herhangi bir karışıklık oluşmaması için pano üzerinde bulunan sensörler ile bellmouth üzerinde bulunan sensörlerin isimlendirilmesi eşleştirilmiştir.

Pano içerisinde bulunan ekipmanları Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 Pano Ekipmanları

Pano Ekipmanları
K Tipi Isıl Çift Konnektörü
Basınç Sensörü (10 Bar)
AC- DC Çevirici
Yazılım Modülü

Şekil 4.11'de gösterilmiş olduğu gibi test düzeneğinin girişine kalibrasyonu yapılacak bellmouth monte edilmiştir. Test düzeneğinin sonunda bulunan aspiratör ile düşük basınç oluşturularak hava emiliminin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Test odasında bulunan bir adet kontrol panosu ile aspiratörün gücü değiştirilerek sistemden geçecek olan hava debisi kontrol edilmiştir. Böylece, hava emilimi yardımıyla bellmouthlu motor testleri esnasında motorun hava ihtiyacına uygun olacak şekilde bellmouth kalibrasyonu yapılması sağlanmıştır.



Şekil 4.11 Test Düzeneği

Bellmouthun orta debi gaz ölçüm sistemine entegresinin ardından, bellmouthda bulunan enstrümantasyon kabloları ile pano bağlantıları gerçekleştirilmiştir.

4.2.2. Kalibrasyon testlerinin gerçekleştirilmesi

Kalibrasyon testleri altyüklenici laboratuvarında iki gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Testlere başlamadan önce bellmouth üzerinde bulunan sensörlerde bağlantılarda ya da basınç problemlerinde herhangi bir kayıp olup olmadığı kontrol edilmiştir. Herhangi bir hata görülmediğinden testlere başlanmıştır.

Kalibrasyon testleri kapsamında üç adet test gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.5'te bu testler kapsamında kalibrasyonun gerçekleştirildiği hava debileri gösterilmiştir. Bu testlerde ölçüm aralığı Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi 0,1 kg/s ile 0,7 kg/s bandındadır. Test 1'de 0,05kg/s aralıklarla tüm ölçüm bandı taranmıştır. Test 2 ve Test 3'de ölçüm aralığı 0,1 kg/s'dir. Test ölçüm süresi her bir debi için 120 saniyedir.

Çizelge 4.5 Bellmouth Kalibrasyonunun Gerçekleştirildiği Hava Debileri

Test 1 (kg/s)	Test 2 (kg/s)	Test 3 (kg/s)
0,1142	0,1155	0,1502
0,1482	0,2035	0,2530
0,2503	0,3039	0,3525
0,2995	0,4108	0,4561
0,3491	0,5043	0,5608
0,4036	0,6058	0,6595
0,4503	0,6973	
0,4997		
0,5553		
0,5967		
0,6499		
0,6939		

Çizelge 4.5'te verilmiş olan hava debilerinin hesaplanmasında kalibrasyon gerçekleştirilen ortamda bulunan hava nem miktarının yoğunluğa etkisi hesaplanmıştır. Havadaki nem miktarının debiye etkisini incelemek için mükemmel gaz denklemi yerine oluşturulmuş korelasyonlar kullanılmıştır.

Nemli havanın yoğunluğu (ρ) hesaplaması için 4.1 numaralı eşitliği kullanılmıştır (Jones, F,1983).

$$\rho = 0,003488353 \frac{P}{ZT} (1 - 0,378x_v) \quad (4.1)$$

4.1 numaralı eşitlikte Z sıkıştırılabilirlik katsayısı, T sıcaklık, P ortam basıncı ve x_v mol oranıdır (Jones, F,1983).

Sıkıştırılabilirlik katsayısı 4.2 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır (Jones, F,1983).

$$\begin{aligned}
Z = 1 - \frac{P}{T} [1,58123 \times 10^{-6} - 2,9331 \times 10^{-8} T + 1,1043 \times 10^{-10} T^2 \\
+ (5,707 \times 10^{-6} - 2,051 \times 10^{-8} T) x_V \\
+ (1,9898 \times 10^{-4} - 2,376 \times 10^{-6} x_V^2) + \frac{P^2}{T^2} (1,83 \times 10^{-11} \\
- 0,765 \times 10^{-8} x_V^2)
\end{aligned} \quad (4.2)$$

4.2 numaralı eşitlikte T ve τ ile gösterilen sıcaklıklarının birimleri sırayla K ve °C'dir.

Mol oranı (x_V) 4.3 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır(Jones, F,1983). 4.3 numaralı eşitliğin hesaplanabilmesi için 4.4 ve 4.5 numaralı eşitliklerden faydalanılmaktadır.

$$x_V = h_{0,01} f(p, \tau) \frac{p_{sv}(\tau)}{P} \quad (4.3)$$

$$f(p, \tau) = 1,00062 + 3,14 \times 10^{-8} P + 5,6 \tau^2 \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned}
p_{sv}(\tau) = \exp(1,2378847 \times 10^{-5} T^2 - 1,9121316 \times 10^{-2} T + 33,93711047 \\
- \frac{6,3431645 \times 10^3}{T}
\end{aligned} \quad (4.5)$$

4.2.3.Kalibrasyon test sonuçlarının hesaplanması

Kalibrasyon sisteminin kurulmasının ardından, kalibrasyon test işlemleri başlamıştır. Test düzeneğinin sonunda bulunan aspiratör yardımıyla sisteme verilen hava debisi ayarlanmış ve hesaplama işlemleri için kullanılmak üzere not edilmiştir.

Bölüm 4.2.3’de kalibrasyon sonucunda alınan veriler ve yapılan hesaplamalar gösterilmiştir. Her bölümde yapılmış olan üç teste ait veriler bulunmaktadır. Tablolarda belirtilen $\dot{m}_{act}$ değerleri test sisteminde ayarlanıp sisteme verilen değerleri göstermektedir. P_{TGA} ve P_{SGA} değerleri bellmouth sisteminde bulunan GA portuna entegre edilmiş toplam ve statik ölçüm sonuçlarını göstermektedir. T değeri test esnasında okunan sıcaklık değerlerini belirtmektedir.

Bu bölümde bulunan değerler incelendiğinde;

- $\dot{m}_{act}$ değeri kalibrasyon test sisteminden sisteme verilen ve ayarlanabilir hava debisini ifade etmektedir. Yani, $\dot{m}_{act}$ değeri sisteme verilen debi değeridir.
- P_{TGA} , P_{SGA} ve T değerleri, kalibrasyon sistemi tarafından verilen debi değerine göre bellmouthda portlardan ölçülen değerlerdir. P_{Tx} değeri portlardan ölçülen toplam basınç değerini, P_{Sx} değeri statik basınç değerini ve T değeri toplam sıcaklık değerini ifade etmektedir.
- $\dot{m}_{th}$ değeri 3.20 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilen teorik kütleli debiyi ifade etmektedir.
- C_D değeri 3.24 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilen deşarj katsayısını ifade etmektedir.
- Re değeri 3.25 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilen Reynolds sayısını ifade etmektedir.

Bölüm 4.2.3 ve Bölüm 4.3.3’te verilen çizelgelerde görüldüğü gibi toplam basınç değerleri statik basınç değerlerinden büyük çıkmıştır. Bu durum 4.6 numaralı eşitlikte de görüldüğü gibi toplam basınç değerinin statik ve dinamik basınç (P_{Dx}) değerlerinin toplamı olduğundan dolayı doğrudur (NASA, 2015 c).

$$P_{Tx} = P_{Sx} + P_{Dx} \quad (4.6)$$

4.2.3.1. GA portu kalibrasyon testi verileri

Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8 ‘de kalibrasyon testleri esnasında GA portundan alınan değerler ve alınan değerler ile yapılan işlemler sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir.

İlgili test verilerine bakıldığında, Çizelge 4.6’da bulunan değerlerin daha fazla olmasının sebebi Test 1’den alınan verilerin 0,05kg/s çözünürlüğünde, Test 2 ve Test 3’te ise 0,1kg/s ölçüm çözünürlüğünde olmasıdır.

GA portunun test sonuçlarına bakıldığında tüm deşarj katsayısı değerlerinin 1’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durum sonucunda GA portunun kalibrasyon işleminden alınan sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Ayrıca tablolarda görüldüğü gibi toplam basınç değerleri statik basınç değerlerinden büyük çıkmıştır. Bu durum elde edilen sonuçların tutarlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.6 GA Portu için Test 1 Sonuçları

$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1142	99373,75	98903,75	294,45	7,4282	109730
0,1482	99397,50	98636,25	294,73	5,9733	142158
0,2503	99396,25	97201,25	294,72	3,5546	240197
0,2995	99382,50	96325,00	294,81	3,0841	287196
0,3491	99396,25	95258,75	294,51	2,6860	335287
0,4036	99397,50	93846,25	294,44	2,3512	387737
0,4503	99391,25	92468,75	294,30	2,1366	432954
0,4997	99380,00	90822,50	294,33	1,9555	480326
0,5553	99388,75	88660,00	293,99	1,7769	534717
0,5967	99375,00	86695,00	294,07	1,6560	574430
0,6499	99385,71	83740,00	293,81	1,5163	626446
0,6939	99397,50	81047,50	294,60	1,4340	666120

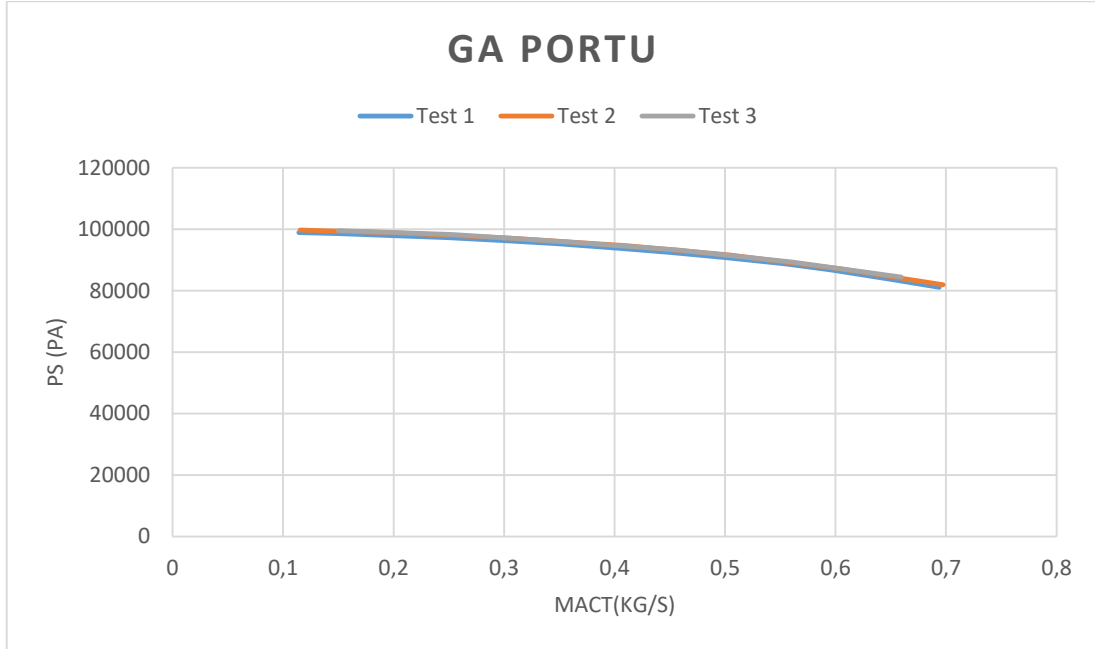
Çizelge 4.7 GA Portu için Test 2 Sonuçları

$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1155	100228,75	99753,75	294,11	7,3599	111181
0,2035	100215,00	98855,00	294,19	4,5752	195779
0,3039	100225,00	97131,25	294,23	3,0616	292347
0,4108	100226,25	94616,25	294,13	2,3468	395343
0,5043	100225,00	91580,00	293,69	1,9336	486421
0,6058	100233,75	87050,00	293,94	1,6100	583480
0,6973	100233,75	81974,50	294,60	1,4300	669437

Çizelge 4.8 GA Portu için Test 3 Sonuçları

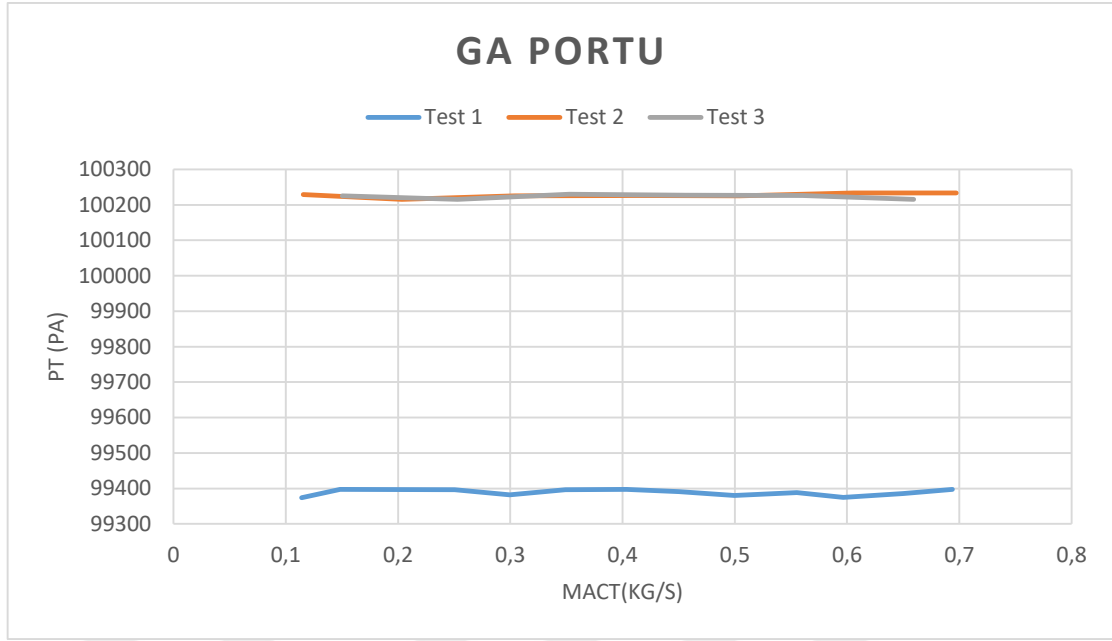
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1502	100225,00	99532,50	294,34	5,8966	144340
0,2530	100215,00	98265,00	294,32	3,5459	243209
0,3525	100230,00	96048,75	294,46	2,6617	338679
0,4561	100227,50	93258,75	293,93	2,1285	439325
0,5608	100226,25	89345,00	294,00	1,1561	540010
0,6595	100215,00	84466,25	293,55	1,5141	636518

Şekil 4.12’de GA portunda statik basınç ile gerçek kütleli debi değişimi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi üç test sonucunda da yaklaşık aynı statik basınç değerleri gözlenmiştir.



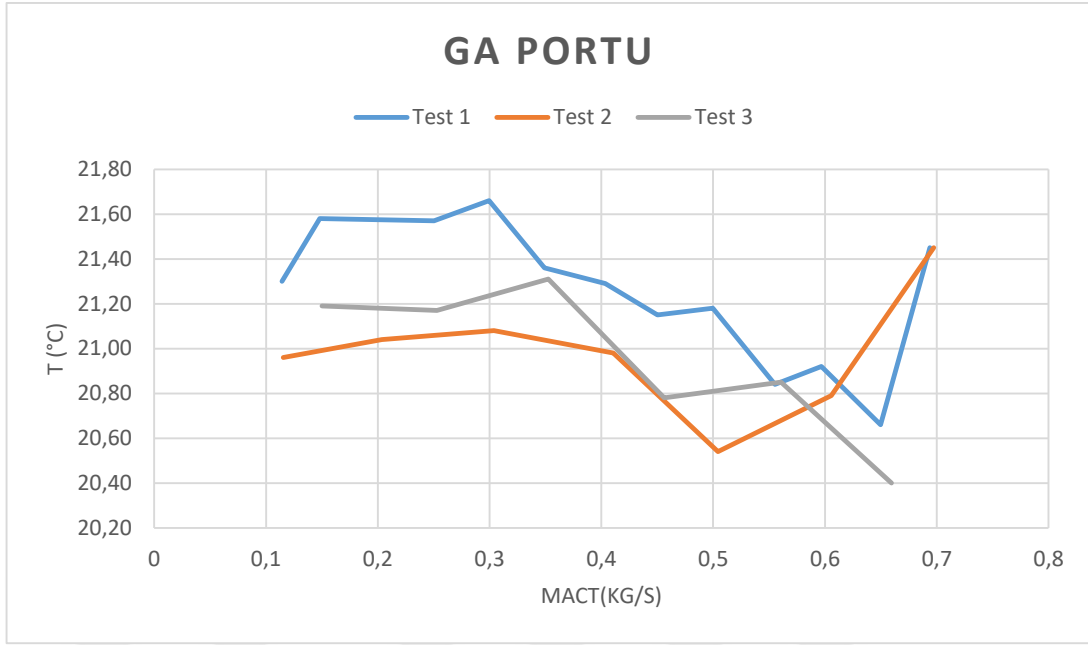
Şekil 4.12 GA Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütleli Debi Değişimleri

Şekil 4.13’te GA portuna ait toplam basınç değerleri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi Test 2 ve Test 3 sonuçları yaklaşık aynı olmakla birlikte Test 1 sonucunda diğer sonuçlara göre farklılık görülmektedir. Toplam basınç havanın akış yönünden kaynaklı olacak şekilde değişiklik gösterebileceğinden dolayı, Test 1 esnasında havanın akış yönü kaynaklı bir değişiklik meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

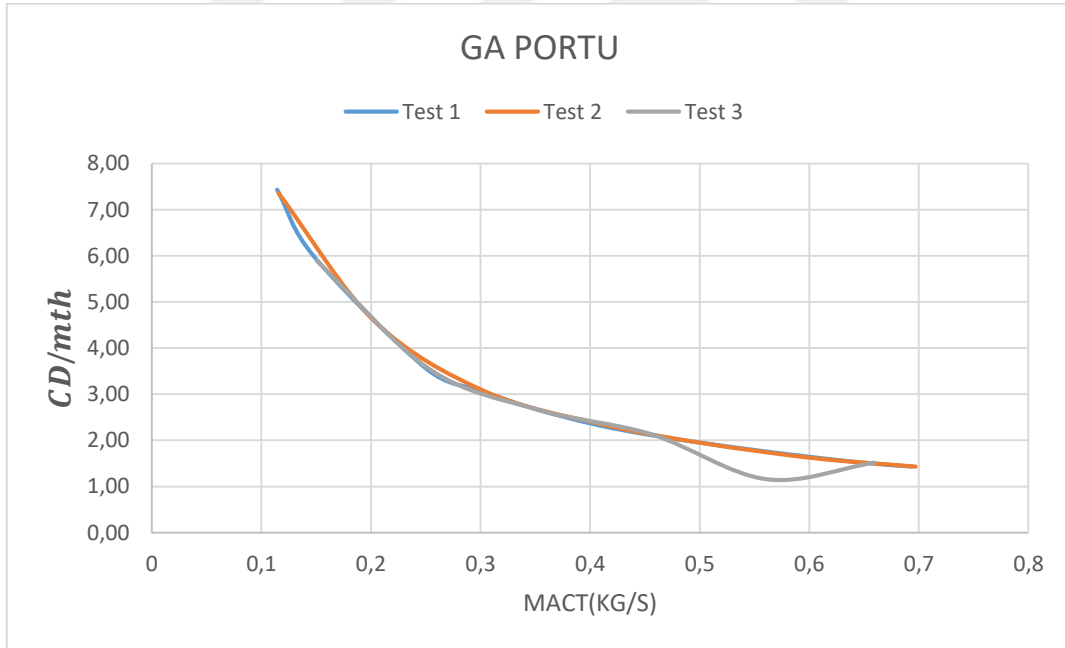


Şekil 4.13 GA Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri

Şekil 4.14'te GA portuna ait üç ayrı kalibrasyon testinden alınan sıcaklık ölçümleri görülmektedir. Bellmouth içerisinden alınan sıcaklık ölçümleri Şekil 4.14'te görülmüş olduğu gibi çeşitlilik göstermektedir. Gösterilmiş olan bu çeşitlilik bellmouth duvarlarına çarpan hava değişkeninin ve ısı çiftlerinin ölçüm belirsizliğinden kaynaklanmaktadır. Isıl Çiftlerin ölçümlerinin doğruluğundan emin olmak amacıyla GA, CC, PW ve KY portundan üç test ile alınan verilerin karşılaştırılması gerekmektedir. İlgili karşılaştırma Bölüm 4.2.4'te verilmiştir. Bölüm 4.2.4'te kalibrasyon testleri esnasında portlarda değişen sıcaklık verileri Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te gösterilmiştir. Şekillerde de gösterilmiş olduğu gibi her bir ayrı testten alınan sıcaklık ölçümleri benzer ölçümler almıştır.



Şekil 4.14 GA Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri



Şekil 4.15 GA Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

4.2.3.2. CC portu kalibrasyon testi verileri

Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de kalibrasyon testleri esnasında CC portundan alınan değerler ve alınan değerler ile yapılan işlemler sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir.

İlgili test verilerine bakıldığında, Çizelge 4.9’da bulunan değerlerin daha fazla olmasının sebebi Test 1’den alınan verilerin 0,05kg/s çözünürlüğünde, Test 2 ve Test 3’te ise 0,1kg/s ölçüm çözünürlüğünde olmasıdır.

CC portunun test sonuçlarına bakıldığında tüm deşarj katsayısı değerlerinin 1’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durum sonucunda CC portunun kalibrasyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği sonucu çıkmaktadır.

Ayrıca tablolarda görüldüğü gibi toplam basınç değerli statik basınç değerlerinden büyük çıkmıştır. Bu durum elde edilen sonuçların gerçekçi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.9 CC Portu için Test 1 Sonuçları

$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{Tcc} (Pa)	P_{Scc} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1142	99430,00	98858,75	294,86	6,1223	109730
0,1482	99435,00	98582,50	295,11	5,3447	142158
0,2503	99431,00	97342,50	295,10	3,7350	240197
0,2995	99436,00	96436,25	295,32	3,1448	287196
0,3491	99432,50	95405,00	295,31	2,7623	335287
0,4036	99430,00	94008,75	295,19	2,4090	387737
0,4503	99435,00	92620,00	295,36	2,1742	432954
0,4997	99435,00	90996,25	294,99	1,9835	480326
0,5553	99430,00	88787,50	295,05	1,7950	534717
0,5967	99425,00	86755,00	295,26	1,6627	574430
0,6499	99412,86	83731,43	295,73	1,5231	626446
0,6939	99430,00	80925,00	296,84	1,4354	666120

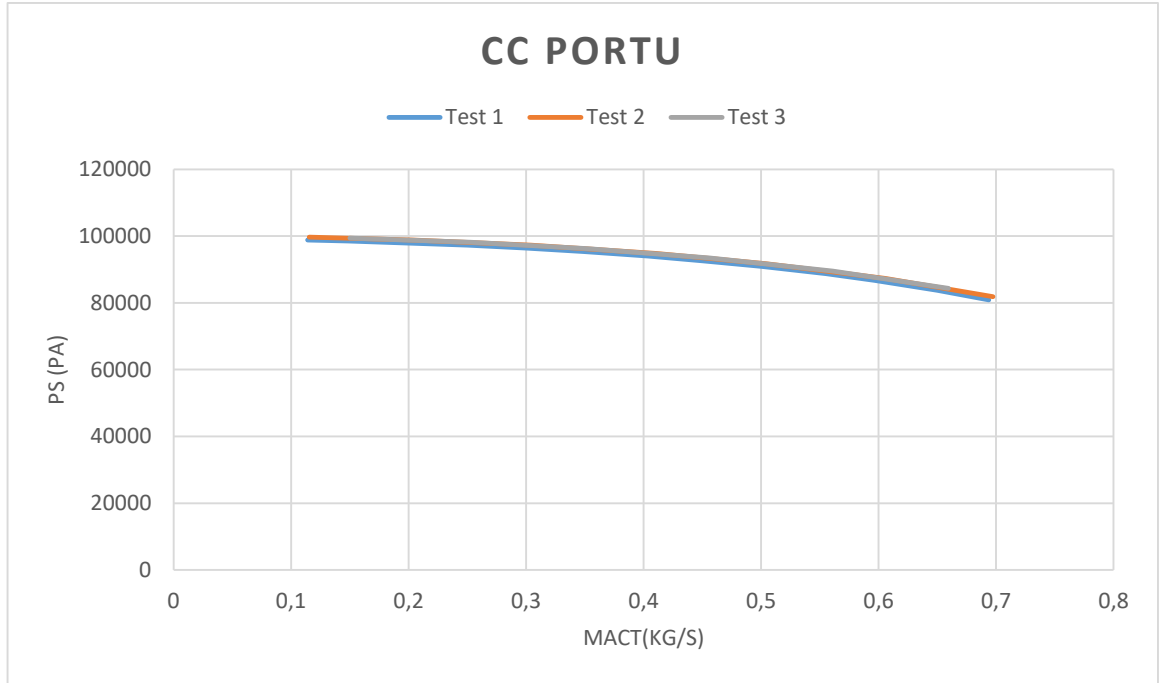
Çizelge 4.10 CC Portu için Test 2 Sonuçları

$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{Tcc} (Pa)	P_{Scc} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1155	100273,75	99710,00	294,49	6,2164	111181
0,2035	100257,50	98816,25	294,60	4,3255	195779
0,3039	100261,25	97260,00	294,44	3,1543	292347
0,4108	100261,25	94781,25	294,42	2,4003	395343
0,5043	100258,75	91750,00	294,46	1,9658	486421
0,6058	100233,75	87351,25	294,84	1,6467	583480
0,6973	100233,75	81825,00	294,84	1,4717	669437

Çizelge 4.11 CC Portu için Test 3 Sonuçları

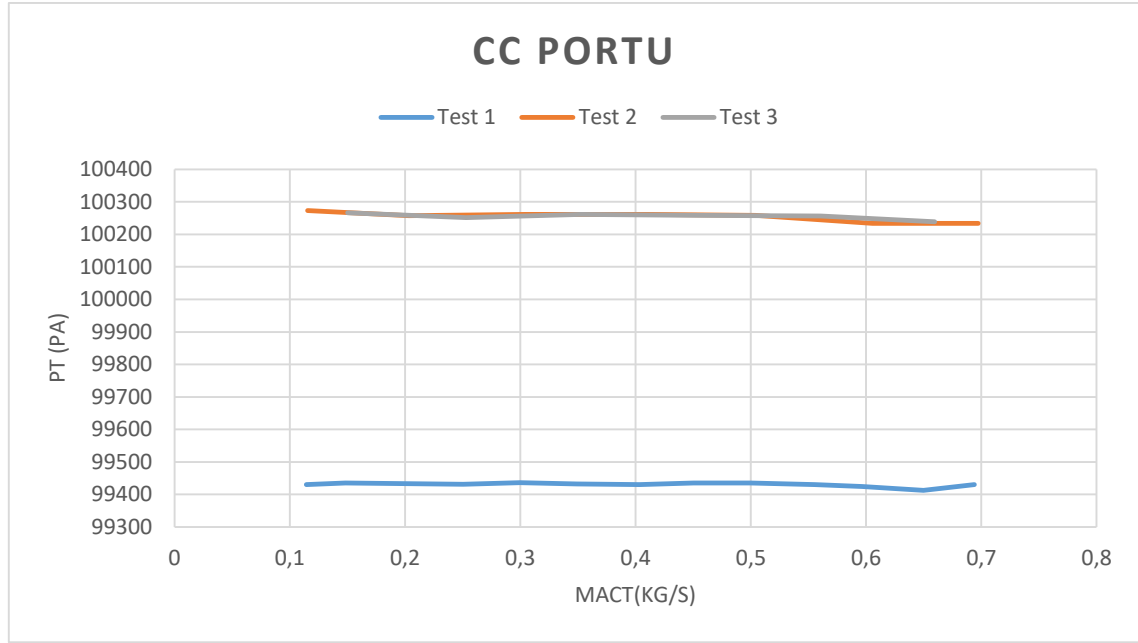
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{Tcc} (Pa)	P_{Scc} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1502	100266,25	99421,25	294,50	5,4043	144340
0,2530	100251,25	98140,00	294,62	3,6972	243209
0,3525	100261,25	96200,00	294,22	2,7335	338679
0,4561	100258,75	93436,25	294,52	2,1742	439325
0,5608	100256,25	89532,50	294,56	1,7813	540010
0,6595	100238,75	84342,50	295,32	1,5117	636518

Şekil 4.16’da GA portunda statik basınç gerçek kütleli debi değişimi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi üç test sonucunda da yaklaşık aynı statik basınç değerleri gözlenmiştir.



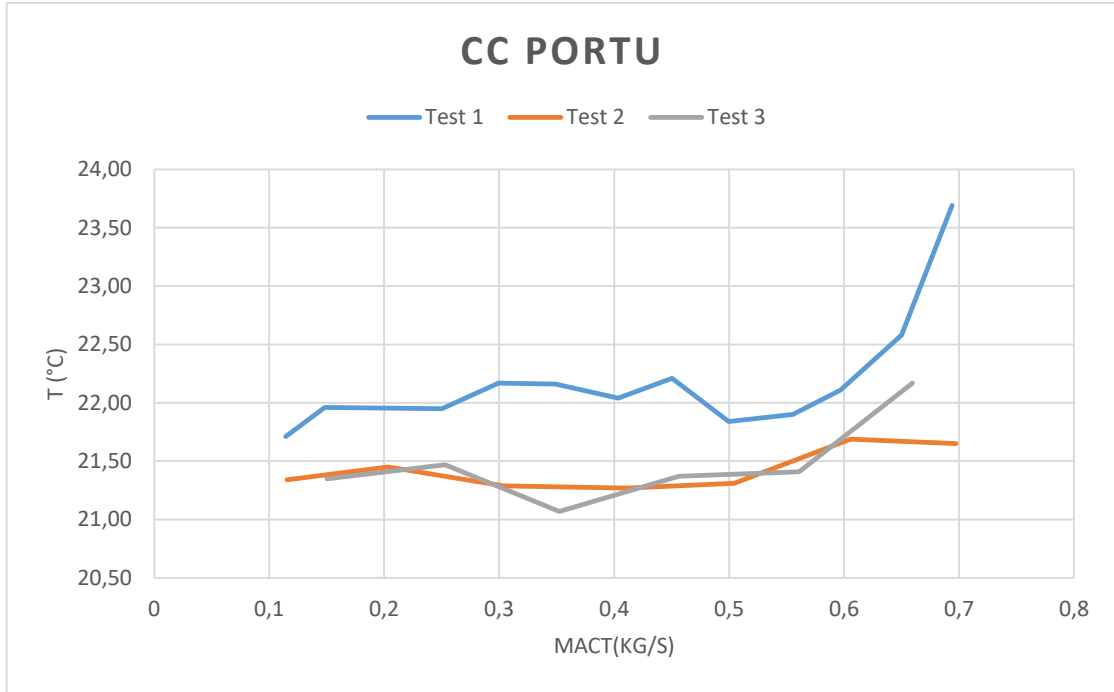
Şekil 4.16 CC Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri

Şekil 4.17’de CC portuna ait toplam basınç değerleri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi Test 2 ve Test 3 sonuçları yaklaşık aynı olmakla birlikte Test 1 sonucunda diğer sonuçlara göre farklılık görülmektedir. Toplam basınç havanın akış yönünden kaynaklı olacak şekilde değişiklik gösterebileceğinden dolayı, Test 1 esnasında havanın akış yönü kaynaklı bir değişiklik meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

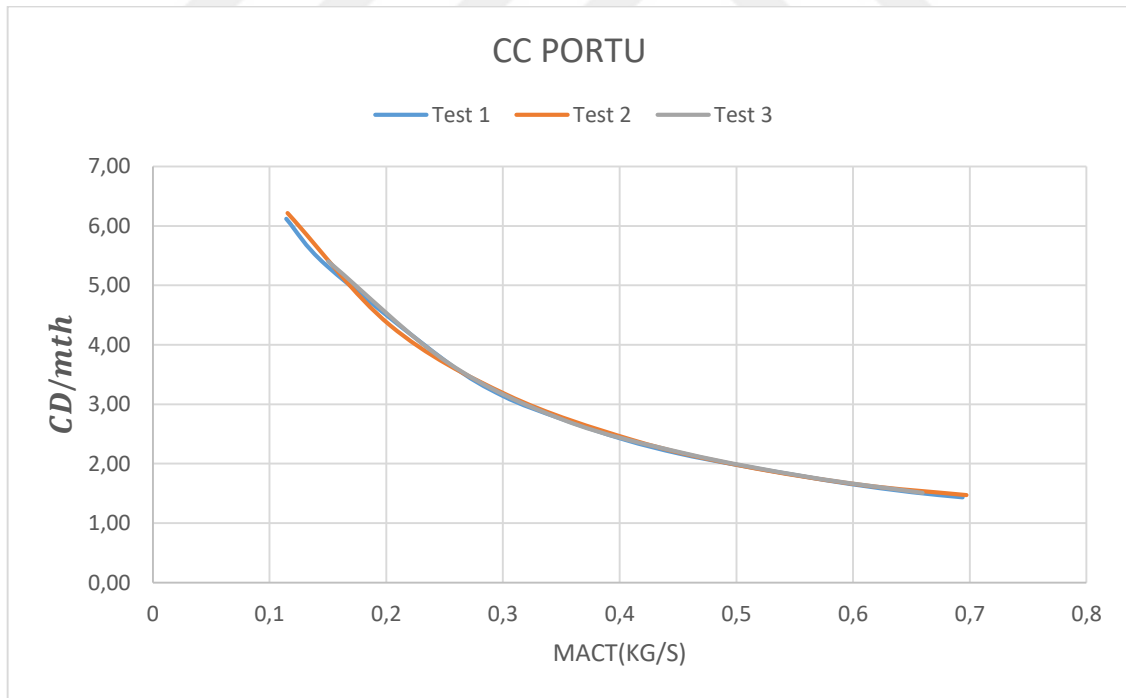


Şekil 4.17 CC Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri

Şekil 4.18’de GA portuna ait üç ayrı kalibrasyon testinden alınan sıcaklık ölçümleri görülmektedir. Bellmouth içerisinden alınan sıcaklık ölçümleri Şekil 4.18’de görülmüş olduğu gibi çeşitlilik göstermektedir. Gösterilmiş olan bu çeşitlilik bellmouth duvarlarına çarpan hava değişkeninin ve ısı çiftlerinin ölçüm belirsizliğinden kaynaklanmaktadır. Isıl Çiftlerin ölçümlerinin doğruluğundan emin olmak amacıyla GA, CC, PW ve KY portundan üç test ile alınan verilerin karşılaştırılması gerekmektedir. İlgili karşılaştırma Bölüm 4.2.4’te verilmiştir. Bölüm 4.2.4’te kalibrasyon testleri esnasında portlarda değişen sıcaklık verileri Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’te gösterilmiştir. Şekillerde de gösterilmiş olduğu gibi her bir ayrı testten alınan sıcaklık ölçümleri benzer ölçümler almıştır.



Şekil 4.18 CC Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri



Şekil 4.19 CC Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

4.2.3.3. PW portu kalibrasyon testi verileri

Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’de kalibrasyon testleri esnasında PW portundan alınan değerler ve alınan değerler ile yapılan işlemler sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir.

İlgili test verilerine bakıldığında, Çizelge 4.12’de bulunan değerlerin daha fazla olmasının sebebi Test 1’den alınan verilerin 0,05kg/s çözünürlüğünde, Test 2 ve Test 3’te ise 0,1kg/s ölçüm çözünürlüğünde olmasıdır.

PW portunun test sonuçlarına bakıldığında tüm deşarj katsayısı değerlerinin 1’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durum sonucunda PW portunun kalibrasyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği sonucu çıkmaktadır.

Ayrıca tablolarda görüldüğü gibi toplam basınç değerli statik basınç değerlerinden büyük çıkmıştır. Bu durum elde edilen sonuçların gerçekçi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.12 PW Portu için Test 1 Sonuçları

$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1142	99750,00	99208,75	294,93	5,6104	109730
0,1482	99742,50	98881,25	294,90	4,8220	142158
0,2503	99748,75	97638,75	294,79	3,5486	240197
0,2995	99742,50	96785,00	294,11	3,0925	287196
0,3491	99758,75	95756,25	294,46	2,7073	335287
0,4036	99743,75	94385,00	294,70	2,3880	387737
0,4503	99751,25	93050,00	294,53	2,1688	432954
0,4997	99755,00	91471,25	294,38	1,9866	480326
0,5553	99847,50	89308,75	294,48	1,7852	534717
0,5967	99753,75	87325,00	294,27	1,6675	574430
0,6499	99851,43	84550,00	294,63	1,5312	626446
0,6939	100095,13	82030,00	295,16	1,4352	666120

Çizelge 4.13 PW Portu için Test 2 Sonuçları

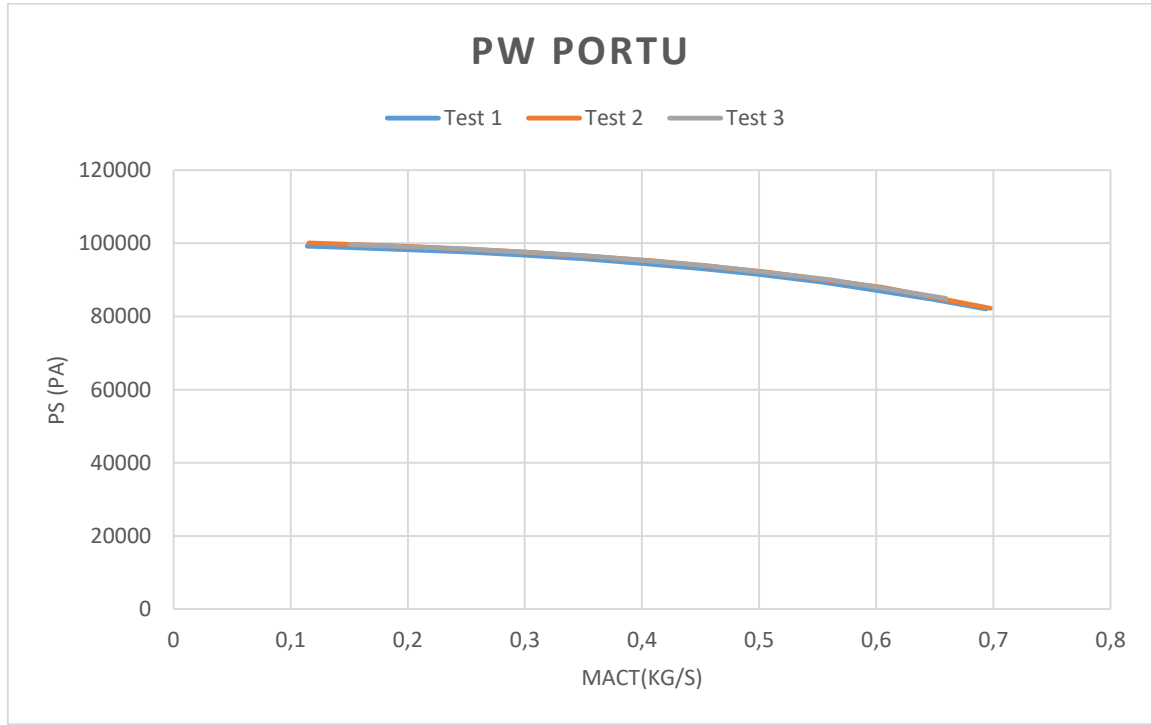
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1155	100606,25	100100,00	294,30	5,9469	111181
0,2035	100593,75	99108,75	293,98	3,9634	195779
0,3039	100585,00	97578,00	293,96	3,0516	292347
0,4108	100577,50	95157,50	293,69	2,3761	395343
0,5043	100590,00	92198,75	293,72	1,9598	486421
0,6058	100578,75	87876,25	294,26	1,6462	583480
0,6973	100578,75	82230,00	295,16	1,4170	669437

Çizelge 4.14 PW Portu için Test 3 Sonuçları

$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1502	100600,00	99668,75	294,34	4,5038	144340
0,2530	100591,25	98453,75	294,17	3,5043	243209
0,3525	100591,25	96535,00	293,93	2,6721	338679
0,4561	100590,00	93837,50	293,66	1,1554	439325
0,5608	100593,75	90001,25	293,84	1,7761	540010
0,6595	100588,75	84983,75	293,97	1,5130	636518

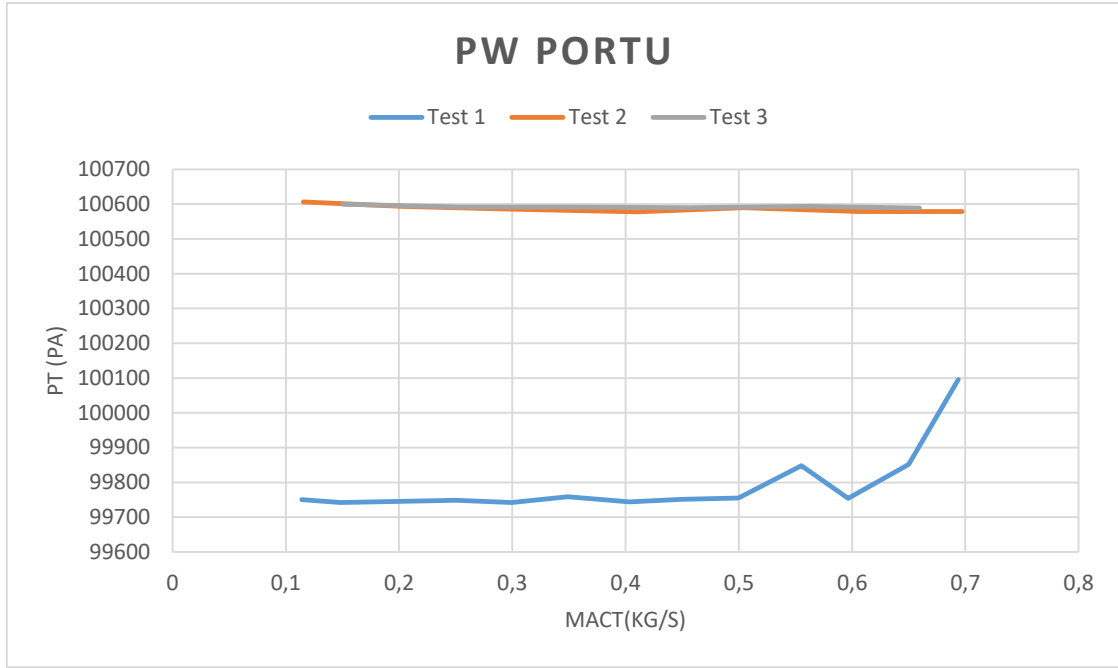
Şekil 4.20’de GA portunda statik basınç gerçek kütleli debi değişimi gösterilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi üç test sonucunda da yaklaşık aynı statik basınç değerleri gözlenmiştir.



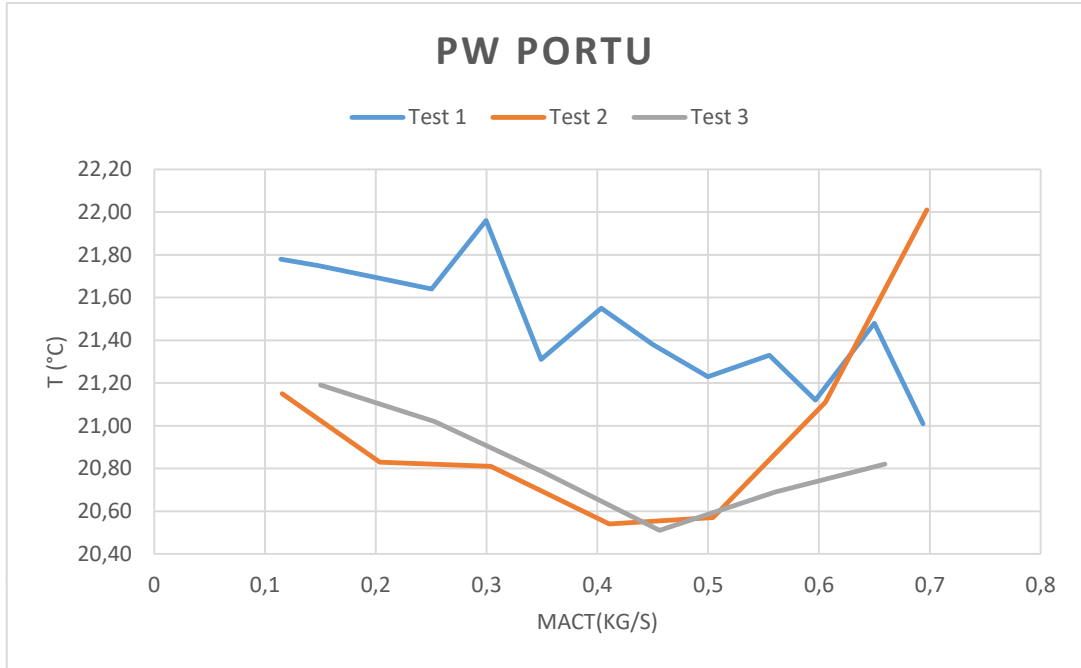
Şekil 4.20 PW Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütleli Debi Değişimleri

Şekil 4.21’de PW portuna ait toplam basınç değerleri gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi Test 2 ve Test 3 sonuçları yaklaşık aynı olmakla birlikte Test 1 sonucunda diğer sonuçlara göre farklılık görülmektedir. Toplam basınç havanın akış yönünden kaynaklı olacak şekilde değişiklik gösterebileceğinden dolayı, Test 1 esnasında havanın akış yönü kaynaklı bir değişiklik meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

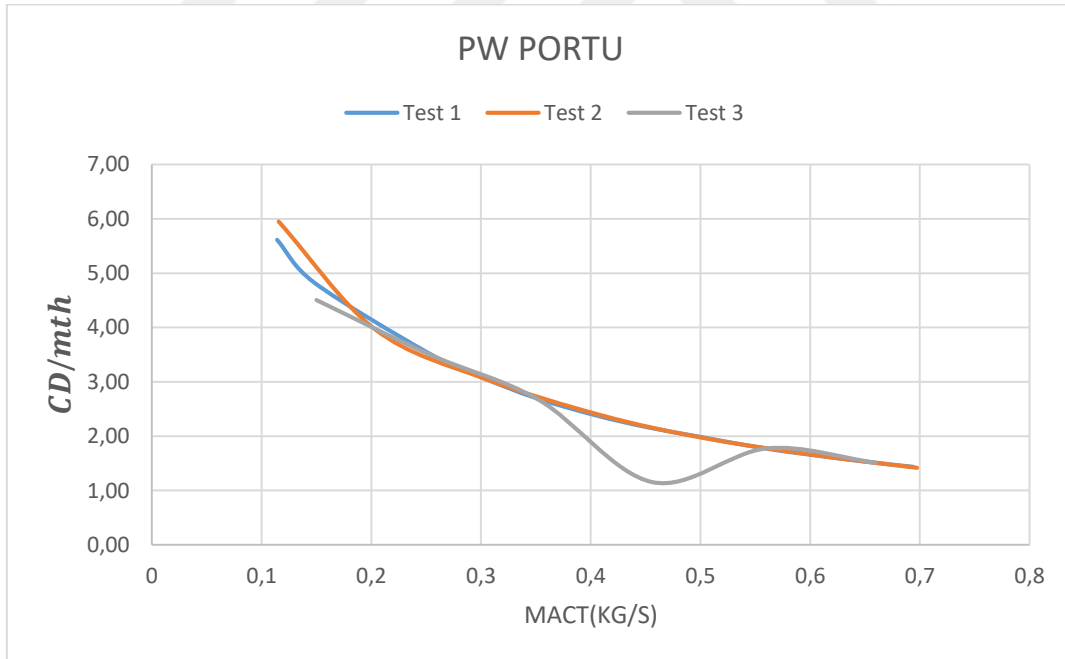


Şekil 4.21 PW Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri

Şekil 4.22’de GA portuna ait üç ayrı kalibrasyon testinden alınan sıcaklık ölçümleri görülmektedir. Bellmouth içerisinden alınan sıcaklık ölçümleri Şekil 4.22’de görülmüş olduğu gibi çeşitlilik göstermektedir. Gösterilmiş olan bu çeşitlilik bellmouth duvarlarına çarpan hava değişkeninin ve ısı çiftlerin ölçüm belirsizliğinden kaynaklanmaktadır. Isıl Çiftlerin ölçümlerinin doğruluğundan emin olmak amacıyla GA, CC, PW ve KY portundan üç test ile alınan verilerin karşılaştırılması gerekmektedir. İlgili karşılaştırma Bölüm 4.2.4’te verilmiştir. Bölüm 4.2.4’de kalibrasyon testleri esnasında portlarda değişen sıcaklık verileri Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’te gösterilmiştir. Şekillerde de gösterilmiş olduğu gibi her bir ayrı testten alınan sıcaklık ölçümleri benzer ölçümler almıştır.



Şekil 4.22 PW Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri



Şekil 4.23 PW Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

4.2.3.4. KY portu kalibrasyon testi verileri

Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de kalibrasyon testleri esnasında KY portundan alınan değerler ve alınan değerler ile yapılan işlemler sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir.

KY portunun test sonuçlarına bakıldığında deşarj katsayısı değerlerinin arasında 1’den büyük değerler olduğu görülmektedir. Bu durum sonucunda KY portunun kalibrasyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilemediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum olanaksız olduğu için KY portunun kalibrasyon işleminin gerçekleşmediği sonucuna ulaşabiliriz.

Çizelge 4.15 KY Portu için Test 1 Sonuçları

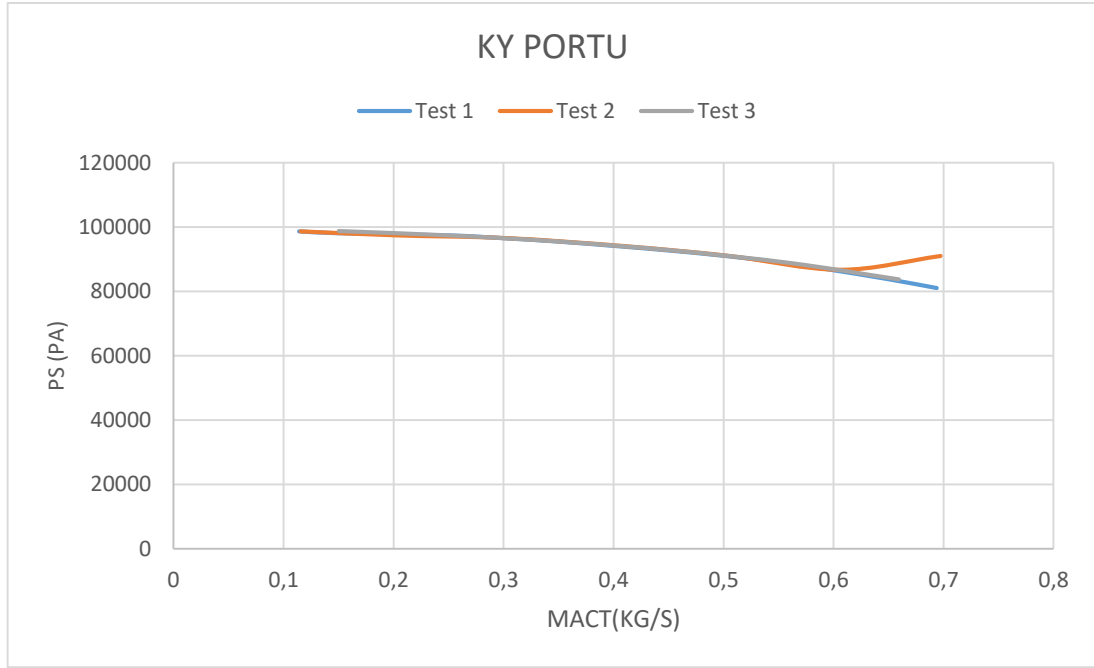
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TKY} (Pa)	P_{SKY} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1142	99007,500	98697,50	294,38	11,2833	109730
0,1482	98716,250	98132,50	294,39	7,8569	142158
0,2503	99106,250	97445,00	294,93	4,6876	240197
0,2995	99106,250	96582,50	294,84	3,7256	287196
0,3491	99121,250	95535,00	294,70	3,0884	335287
0,4036	99111,250	94083,75	294,57	2,5894	387737
0,4503	99107,500	92741,25	294,34	2,3156	432954
0,4997	99126,250	91096,25	294,14	2,0752	480326
0,5553	99121,250	88878,75	294,12	1,8570	534717
0,5967	99127,500	86757,50	293,33	1,6917	574430
0,6499	99111,429	83791,43	293,10	1,5434	626446
0,6939	99120,000	81041,25	292,68	1,4459	666120

Çizelge 4.16 KY Portu için Test 2 Sonuçları

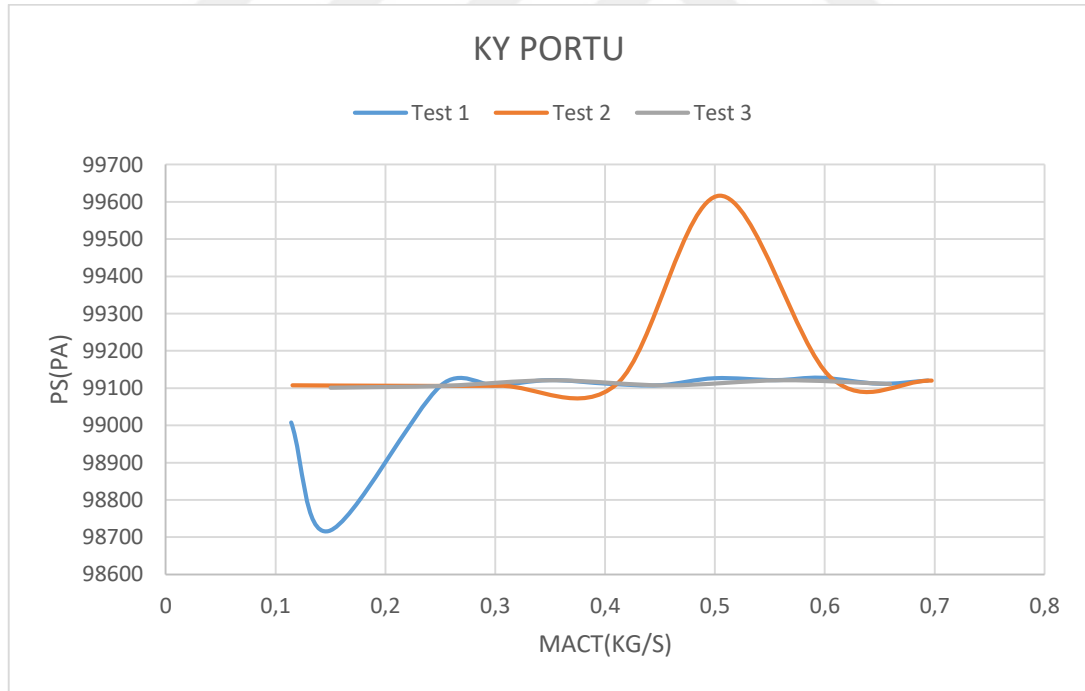
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TKY} (Pa)	P_{SKY} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1155	99107,5	98697,5	294,44	14,8922	111181
0,2035	99106,25	97445	294,19	6,0781	195779
0,3039	99106,25	96582,5	294,36	3,6815	292347
0,4108	99111,25	94083,75	293,87	2,5650	395343
0,5043	99616,33	91096,25	293,82	2,0457	486421
0,6058	99127,5	86757,5	293,64	1,6871	583480
0,6973	99120	91041,25	292,68	1,4412	669437

Çizelge 4.17 KY Portu için Test 3 Sonuçları

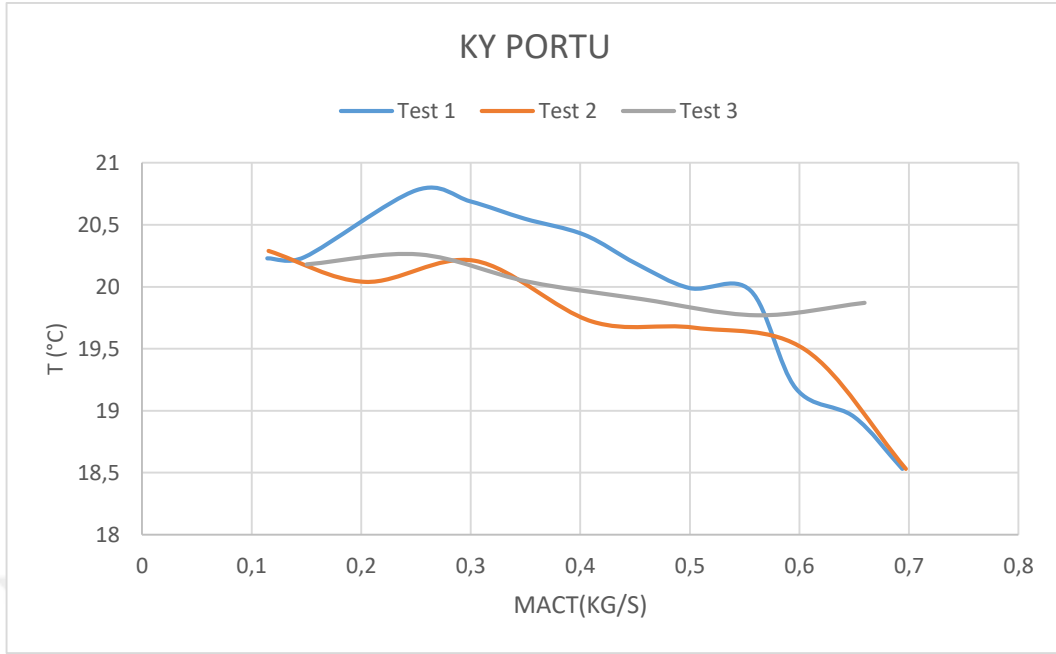
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TKY} (Pa)	P_{SKY} (Pa)	T (K)	$\frac{C_D}{m_{th}}$	Re
0,1502	99101,25	98838,52	294,33	6,3085	144340
0,2530	99106,25	97445	294,41	3,9648	243209
0,3525	99121,25	95535	294,19	2,8305	338679
0,4561	99107,5	92741,25	294,05	2,2204	439325
0,5608	99121,25	88878,75	293,92	1,8024	550010
0,6595	99111,43	83791,43	294,02	1,5240	636518



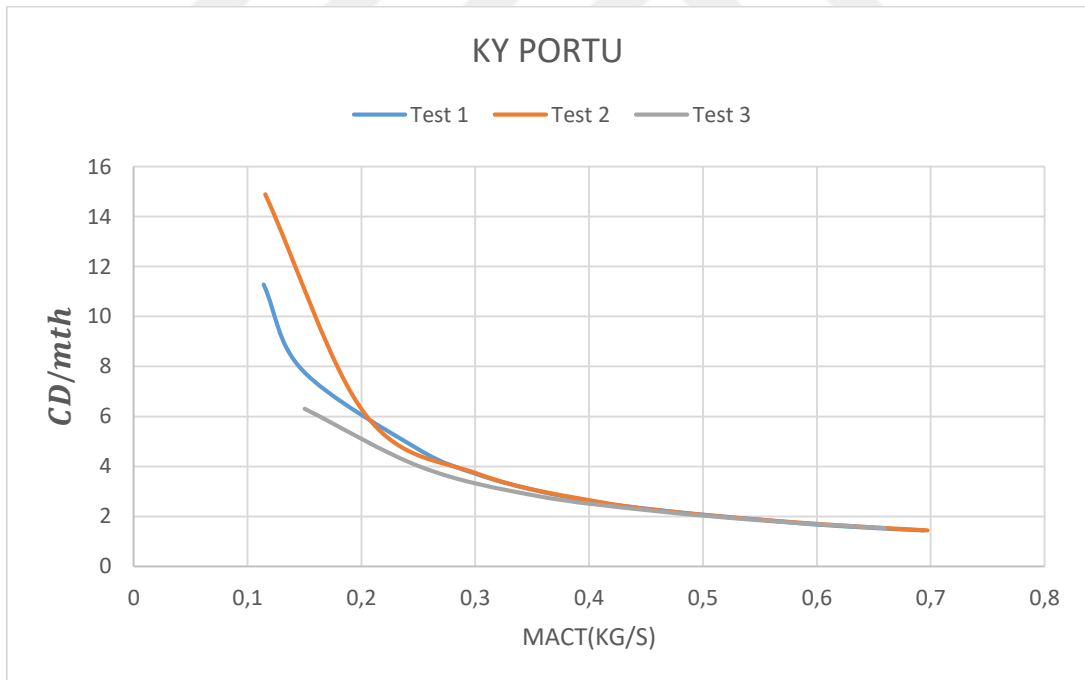
Şekil 4.24 KY Portu Ortalama Statik Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri



Şekil 4.25 KY Portu Toplam Basınç Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri



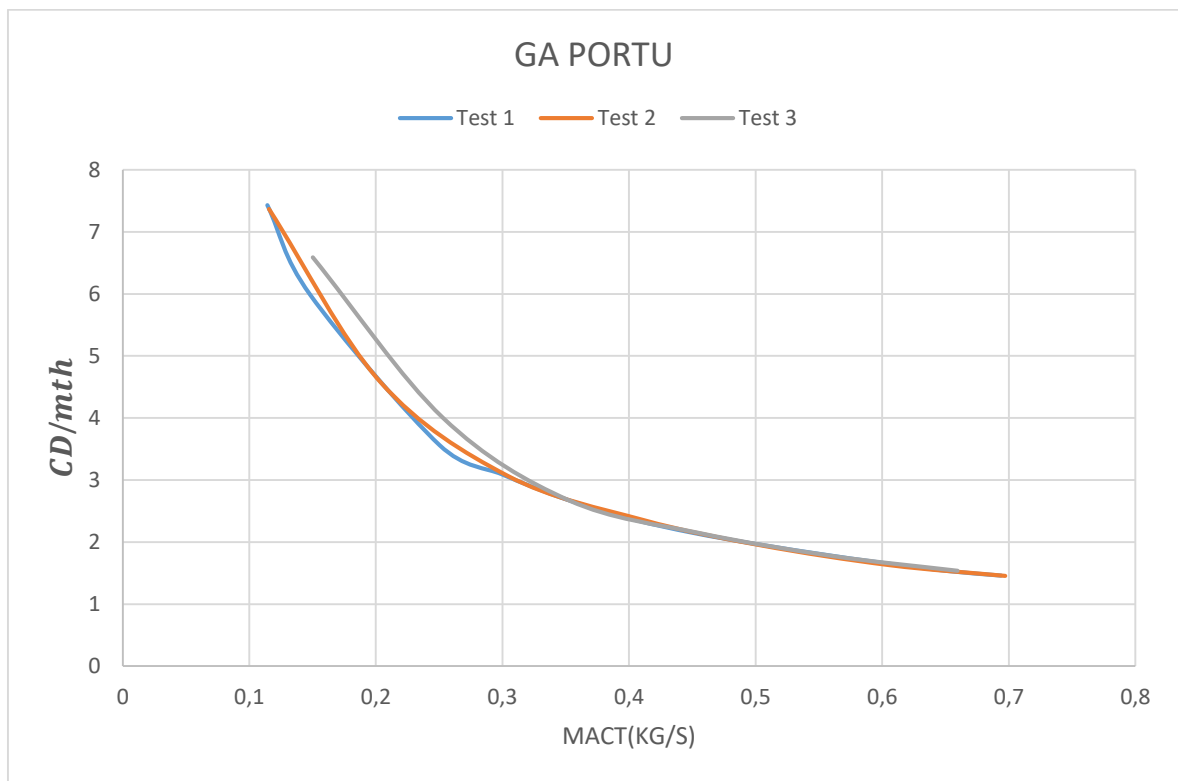
Şekil 4.26 KY Portu Ortalama Sıcaklık Gerçek Kütlesel Debi Değişimleri



Şekil 4.27 KY Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

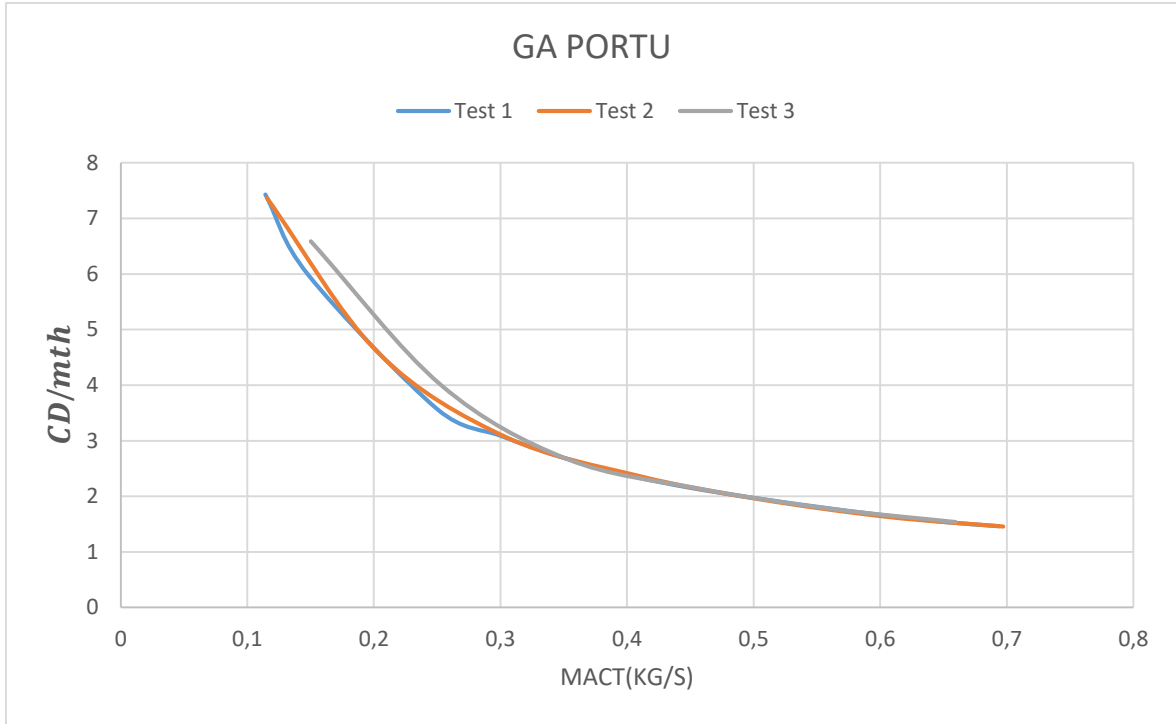
4.2.3.5. Port verilerinden ısıl sığa hesaplanması

Bölüm 4.2.3.1, Bölüm 4.2.3.2, Bölüm 4.2.3.3 ve Bölüm 4.2.3.4’te kalibrasyon testleri esnasında alınan verilerin Bölüm 3’de verilen hesaplamalar kullanılarak işleme tabi tutulmasının ardından alınan sonuçlar gösterilmiştir. Gösterilen sonuçlarda Bölüm 3.1.3’de belirtilen ısıl sığa değeri sabit olarak 1.4 alınmıştır. Bölüm 3.1.3’te belirtildiği gibi ısıl sığanın hesaplanması için ikinci yöntem olan eşitlik 3.23 kullanılması sonucu elde edilen veriler Çizelge 4. 18, Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin $\frac{CD}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması)

Çizelge 4. 18’de gösterilen kalibrasyon test sonuçlarına istinaden hazırlanmış olan üç testte ait verilerin değişimlerini göstermesi açısından Şekil 4.29 hazırlanmıştır. Şekilde görülmüş olduğu gibi $\frac{CD}{m_{th}}$ oranının gerçek kütlesel debi ile değişimleri her üç testte de yaklaşık aynı şekildedir.

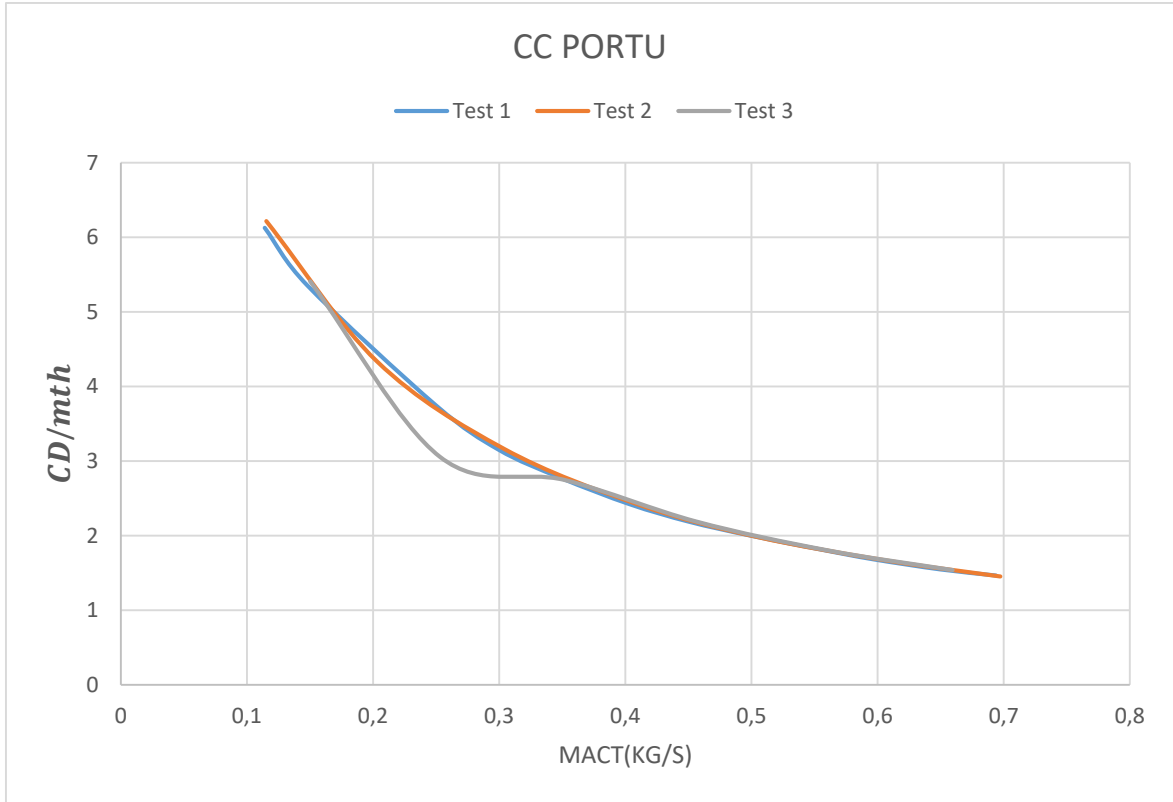


Şekil 4.29 GA Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması)

Çizelge 4.19’da CC portuna ait kalibrasyon test sonuçları gösterilmektedir. GA portuna ait kalibrasyon test sonuçları ısı sığa hesaplaması kullanılarak tekrar hesaplanmış çizelge de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19’da gösterilen kalibrasyon test sonuçlarına istinaden hazırlanmış olan üç testte ait verilerin değişimlerini göstermesi açısından

Şekil 4.30 hazırlanmıştır. Şekilde görülmüş olduğu gibi $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının gerçek kütlesel debi ile değişimleri her üç testte de yaklaşık aynı şekildedir.



Şekil 4.30 CC Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması)

Çizelge 4.20’de CC portuna ait kalibrasyon test sonuçları gösterilmektedir. GA portuna ait kalibrasyon test sonuçları ısı sığa hesaplaması kullanılarak tekrar hesaplanmış çizelge de gösterilmiştir.

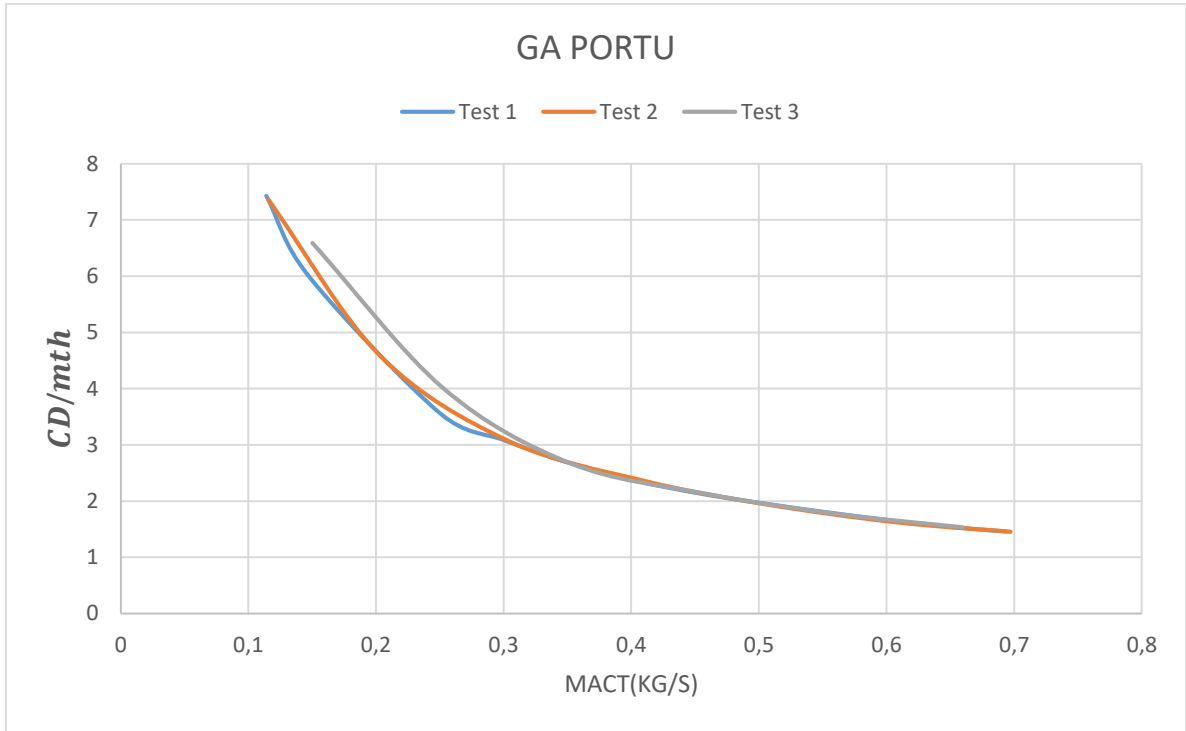
Çizelge 4. 18’de GA portuna ait kalibrasyon test sonuçları gösterilmektedir. GA portuna ait kalibrasyon test sonuçları ısı sığa hesaplaması kullanılarak tekrar hesaplanmış çizelge de gösterilmiştir.

İlgili çalışma sonucunda ısı sığanın sabit kabul edilmesi ile ölçülen değerler kullanılarak hesaplanması arasındaki farkın gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4. 18 GA Portu Kalibrasyon Testi Sonuçları

	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	$P_{T_{GA}}$ (Pa)	$P_{S_{GA}}$ (Pa)	T (K)	h (%)	Isıl Sığa	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$
GA Test 1	0,1142	99373,75	98903,75	294,45	50	1,2922	7,4290
	0,1482	99397,50	98636,25	294,73	50	1,2903	5,9803
	0,2503	99396,25	97201,25	294,72	50	1,2904	3,5617
	0,2995	99382,50	96325,00	294,81	50	1,2898	3,0929
	0,3491	99396,25	95258,75	294,51	50	1,2918	2,6965
	0,4036	99397,50	93846,25	294,44	50	1,2923	2,3637
	0,4503	99391,25	92468,75	294,30	50	1,2932	2,1503
	0,4997	99380,00	90822,50	294,33	50	1,2930	1,9712
	0,5553	99388,75	88660,00	293,99	50	1,2952	1,7949
	0,5967	99375,00	86695,00	294,07	50	1,2947	1,6757
	0,6499	99385,71	83740,00	293,81	50	1,2964	1,5387
	0,6939	99397,50	81047,50	294,60	50	1,2912	1,4608
GA Test 2	0,1155	100228,75	99753,75	294,11	50	1,2945	7,3666
	0,2035	100215,00	98855,00	294,19	50	1,2939	4,5802
	0,3039	100225,00	97131,25	294,23	50	1,2937	3,0702
	0,4108	100226,25	94616,25	294,13	50	1,2943	2,3587
	0,5043	100225,00	91580,00	293,69	50	1,2972	1,9481
	0,6058	100233,75	87050,00	293,94	50	1,2956	1,6298
	0,6973	100233,75	81947,50	294,60	50	1,2912	1,4561
GA Test 3	0,1502	100225,00	99532,50	294,34	50	1,2929	6,5894
	0,253	100215,00	98265,00	294,32	50	1,2931	4,0024
	0,3525	100230,00	96048,75	294,46	50	1,2921	2,6718
	0,4561	100227,50	93258,75	293,93	50	1,2956	2,1422
	0,5608	100226,25	89345,00	294,00	50	1,2952	1,7738
	0,6595	100215,00	84466,25	293,55	50	1,2981	1,5359

Çizelge 4.19’de gösterilen kalibrasyon test sonuçlarına istinaden hazırlanmış olan üç testte ait verilerin değişimlerini göstermesi maksadıyla Şekil 4.31 hazırlanmıştır. Şekilde görülmüş olduğu gibi $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının gerçek kütleli debi ile değişimleri her üç testte de yaklaşık aynı şekildedir.



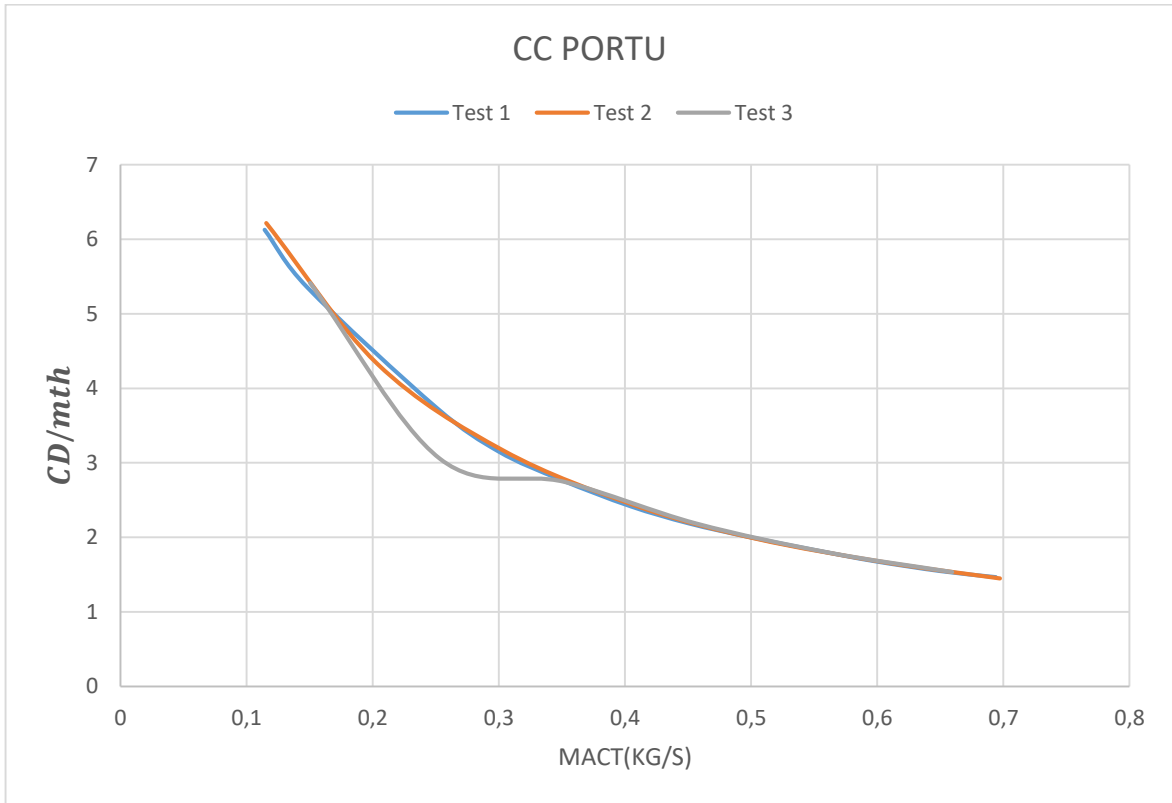
Şekil 4.31 GA Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütleli Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması)

Çizelge 4.19’da CC portuna ait kalibrasyon test sonuçları gösterilmektedir. GA portuna ait kalibrasyon test sonuçları ısı sığa hesaplaması kullanılarak tekrar hesaplanmış ve ilgili çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.19 CC Portu Kalibrasyon Testi Sonuçları

	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{Tcc} (Pa)	P_{Scc} (Pa)	T (K)	h (%)	Isıl Sığa	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$
CC Test 1	0,1142	99430,00	98858,75	294,86	50	1,2894	6,1275
	0,1482	99435,00	98582,50	295,11	50	1,2877	5,3510
	0,2503	99431,25	97342,50	295,10	50	1,2878	3,7425
	0,2995	99436,25	96436,25	295,32	50	1,2863	3,1548
	0,3491	99432,50	95405,00	295,31	50	1,2863	2,7734
	0,4036	99430,00	94008,75	295,19	50	1,2872	2,4223
	0,4503	99435,00	92620,00	295,36	50	1,2860	2,1892
	0,4997	99435,00	90996,25	294,99	50	1,2886	2,0002
	0,5553	99430,00	88787,50	295,05	50	1,2881	1,8144
	0,5967	99425,00	86755,00	295,26	50	1,2867	1,6843
	0,6499	99412,86	83731,43	295,73	50	1,2834	1,5486
	0,6939	99430,00	80925,00	296,84	50	1,2752	1,4667
CC Test 2	0,1155	100273,75	99710,00	294,49	50	1,2919	6,2172
	0,2035	100257,50	98816,25	294,60	50	1,2912	4,3303
	0,3039	100261,25	97260,00	294,44	50	1,2923	3,1623
	0,4108	100261,25	94781,25	294,42	50	1,2924	2,4122
	0,5043	100258,75	91750,00	294,46	50	1,2921	1,9814
	0,6058	100233,75	87351,25	294,84	50	1,2896	1,6677
	0,6973	100233,75	81825,00	294,80	50	1,2899	1,4502
CC Test 3	0,1502	100266,25	99421,25	294,50	50	1,2919	5,4118
	0,253	100251,25	98140,00	294,62	50	1,2911	3,057
	0,3525	100261,25	96200,00	294,22	50	1,2937	2,7428
	0,4561	100258,75	93436,25	294,52	50	1,2917	2,1884
	0,5608	100256,25	89532,50	294,56	50	1,2915	1,7997
	0,6595	100238,75	84342,50	295,32	50	1,2863	1,5363

Çizelge 4.20’de gösterilen kalibrasyon test sonuçlarına istinaden hazırlanmış olan üç testte ait verilerin değişimlerini göstermesi maksadıyla Şekil 4.32 hazırlanmıştır. Şekilde görülmüş olduğu gibi $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının gerçek kütleli debi ile değişimleri her üç testte de yaklaşık aynı şekildedir.



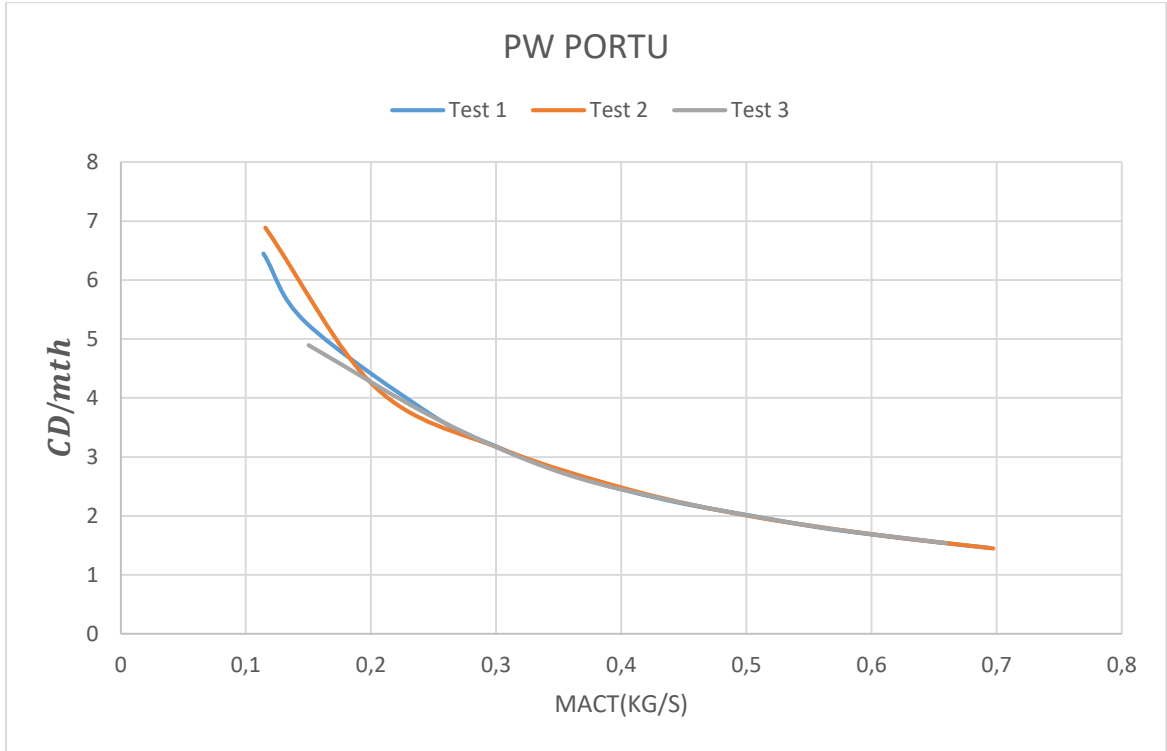
Şekil 4.32 CC Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütleli Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması)

Çizelge 4.20’de PW portuna ait kalibrasyon test sonuçları gösterilmektedir. PW portuna ait kalibrasyon test sonuçları ısı sığa hesaplaması kullanılarak tekrar hesaplanmış ve ilgili çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.20 PW Portu Kalibrasyon Testi Sonuçları

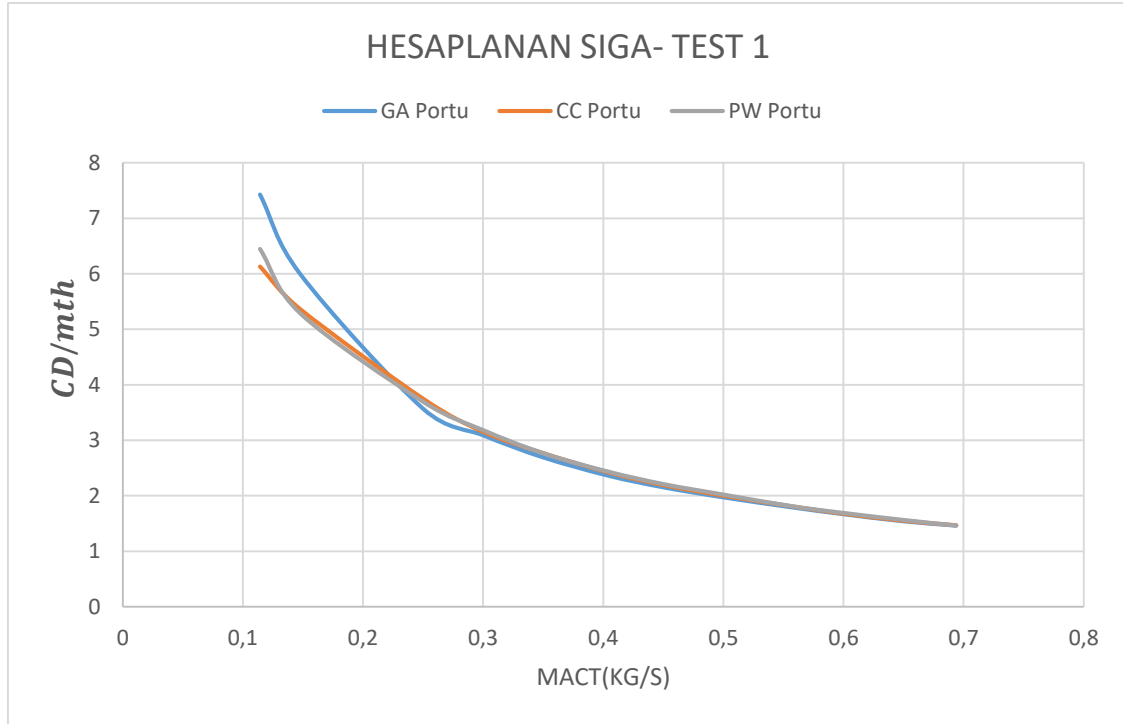
	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	T (K)	h (%)	Isıl Sığa	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$
PW Test 1	0,1142	99750,00	99208,75	294,93	50	1,2890	6,4455
	0,1482	99742,50	98881,25	294,90	50	1,2892	5,2757
	0,2503	99748,75	97638,75	294,79	50	1,2899	3,6891
	0,2995	99742,50	96785,00	295,11	50	1,2877	3,1859
	0,3491	99758,75	95756,25	294,46	50	1,2921	2,7715
	0,4036	99743,75	94385,00	294,70	50	1,2905	2,4361
	0,4503	99751,25	93050,00	294,53	50	1,2917	2,2081
	0,4997	99755,00	91471,25	294,38	50	1,2927	2,0213
	0,5553	99847,50	89308,75	294,48	50	1,2920	1,8166
	0,5967	99753,75	87325,00	294,27	50	1,2934	1,6976
	0,6499	99851,43	84550,00	294,63	50	1,2910	1,5626
	0,6939	100095,13	82030,00	294,16	50	1,2941	1,4617
PW Test 2	0,1155	100606,25	100100,00	294,30	50	1,2932	6,8888
	0,2035	100593,75	99108,75	293,98	50	1,2953	4,1822
	0,3039	100585,00	97578,00	293,96	50	1,2954	3,1401
	0,4108	100577,50	95157,50	293,69	50	1,2972	2,4225
	0,5043	100590,00	92198,75	293,72	50	1,2970	1,9930
	0,6058	100578,75	87876,25	294,26	50	1,2935	1,6761
	0,6973	100578,75	82230,00	295,16	50	1,2874	1,4499
PW Test 3	0,1502	100600,00	99668,75	294,34	50	1,2929	4,8978
	0,253	100591,25	98453,75	294,17	50	1,2941	3,6433
	0,3525	100591,25	96535,00	293,93	50	1,2956	2,7338
	0,4561	100590,00	93837,50	293,66	50	1,2974	2,1936
	0,5608	100593,75	90001,25	293,84	50	1,2962	1,8064
	0,6595	100588,75	84983,75	293,97	50	1,2954	1,5428

Çizelge 4.20’de gösterilen kalibrasyon test sonuçlarına istinaden hazırlanmış olan üç testte ait verilerin değişimlerini göstermesi maksadıyla Şekil 4.33 hazırlanmıştır. Şekilde görülmüş olduğu gibi $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının gerçek kütleli debi ile değişimleri her üç testte de yaklaşık aynı şekildedir.



Şekil 4.33 PW Portu Testlerinden Elde Edilen Verilerin $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütleli Debi ile Değişimi (Isıl Sığa Hesaplaması)

Kalibrasyon test 1’e göre hesaplanmış olan ısı sığa değerine göre elde edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının gerçek kütleli debi ile değişimi Şekil 4.34’de gösterilmiştir. Emsal teşkil etmesi açısından Test 1 karşılaştırmasının yeterli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.34 Kalibrasyon Testlerinden Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

Bölüm 4.2.3.1, Bölüm 4.2.3.2, Bölüm 4.2.3.3 ve Bölüm 4.2.3.4’de portlardan ölçülen ve sabit ısıl sığa değeri ile hesaplanan ve Bölüm 4.3.4.2’de hesaplamalar ile bulunan ısıl sığa değerlerinin her port özelinde karşılaştırılması Çizelge 4.21, Çizelge 0.22 ve Çizelge 0.23’de verilmiştir. Tabloda her bir port özelinde iki yöntem arasındaki farklar hesaplanmıştır. Farklardan da görülmüş olduğu gibi ısı sığası değerinin 1.4 olarak kabul edilmesi ve hesaplanması arasından ölçüm sonuçlarını büyük ölçüde değiştirecek farklılıklar bulunmamaktadır. Bu durumda yapılacak hesaplamalarda ısıl sığa değerinin 1.4 olarak kabul edilmesi bu çalışma kapsamında uygun bulunmuştur.

Çizelge 4.21 Deşarj Katsayısı Karşılaştırılması-Kalibrasyon Testleri (GA Portu)

		GA Portu		
		1.Yöntem	2.Yöntem	Fark
	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	Cd		
Test 1	0,1142	0,9211	0,9212	-0,0001
	0,1482	0,9408	0,9413	-0,0005
	0,2503	0,9434	0,9442	-0,0008
	0,2995	0,9610	0,9625	-0,0015
	0,3491	0,9683	0,9702	-0,0019
	0,4036	0,9741	0,9767	-0,0026
	0,4503	0,9809	0,9840	-0,0031
	0,4997	0,9885	0,9925	-0,0040
	0,5553	0,9933	0,9983	-0,0050
	0,5967	0,9941	0,9999	-0,0058
	0,6499	0,9927	1,0000	-0,0073
	0,6939	0,9975	1,0068	-0,0093
Test 2	0,1155	0,9222	0,9223	-0,0001
	0,2035	0,9649	0,9655	-0,0006
	0,3039	0,9647	0,9659	-0,0012
	0,4108	0,9819	0,9843	-0,0024
	0,5043	0,9875	0,9912	-0,0037
	0,6058	0,9876	0,9937	-0,0061
	0,6973	0,9986	1,0076	-0,0090
Test 3	0,1502	0,9411	0,9950	-0,0539
	0,2530	0,9471	1,0062	-0,0591
	0,3525	0,9686	0,9704	-0,0018
	0,4561	0,9853	0,9884	-0,0031
	0,5608	0,9924	0,9974	-0,0050
	0,6595	0,9993	1,0065	-0,0072
Fark Oranı				-0,0078

Çizelge 0.22 Deşarj Katsayısı Karşılaştırılması-Kalibrasyon Testleri (CC Portu)

		CC Portu		
		1.Yöntem	2.Yöntem	Fark
	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	Cd		
Test 1	0,1142	0,8363	0,8364	-0,0001
	0,1482	0,8899	0,8904	-0,0005
	0,2503	0,9670	0,9678	-0,0008
	0,2995	0,9705	0,9720	-0,0015
	0,3491	0,9820	0,9840	-0,0020
	0,4036	0,9860	0,9888	-0,0028
	0,4503	0,9895	0,9928	-0,0033
	0,4997	0,9955	0,9997	-0,0042
	0,5553	0,9984	1,0037	-0,0053
	0,5967	0,9961	1,0025	-0,0064
	0,6499	0,9949	1,0032	-0,0083
	0,6939	0,9980	1,0088	-0,0108
Test 2	0,1155	0,8473	0,8474	-0,0001
	0,2035	0,9382	0,9388	-0,0006
	0,3039	0,9791	0,9803	-0,0012
	0,4108	0,9930	0,9955	-0,0025
	0,5043	0,9957	0,9996	-0,0039
	0,6058	0,9987	1,0051	-0,0064
	0,6973	0,9999	1,0056	-0,0057
Test 3	0,1502	0,9009	0,9016	-0,0007
	0,2530	0,9672	0,9683	-0,0011
	0,3525	0,9816	0,9833	-0,0017
	0,4561	0,9958	0,9990	-0,0032
	0,5608	0,9995	1,0046	-0,0051
	0,6595	0,9985	1,0066	-0,0081
Fark Oranı				-0,0035

Çizelge 0.23 Deşarj Katsayısı Karşılaştırılması-Kalibrasyon Testleri (PW Portu)

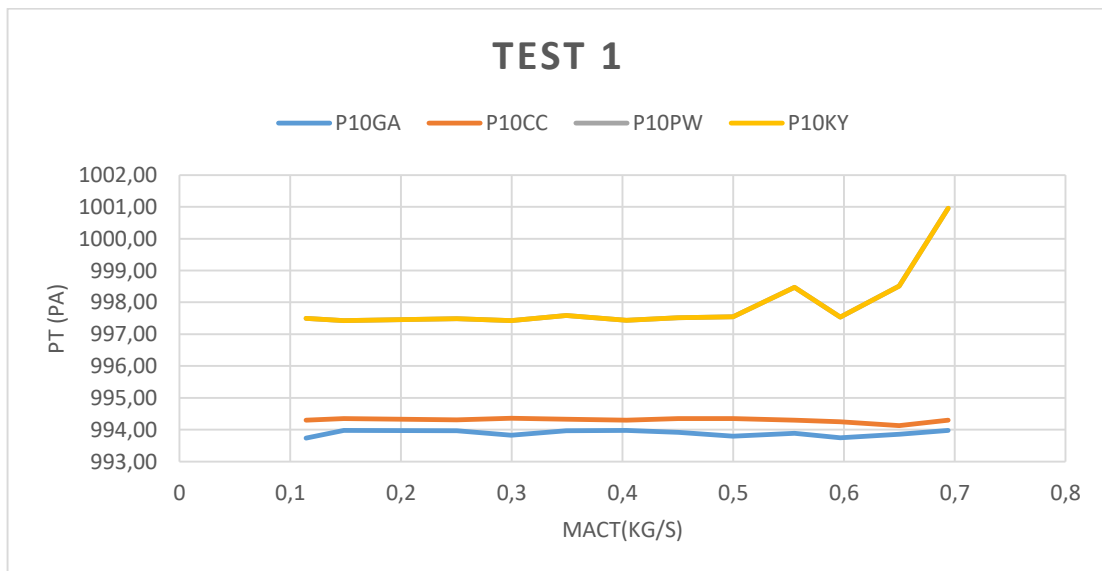
		PW Portu		
		1.Yöntem	2.Yöntem	Fark
	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)	Cd		
Test 1	0,1142	0,8006	0,8579	-0,0573
	0,1482	0,8453	0,8842	-0,0389
	0,2503	0,9425	0,9610	-0,0185
	0,2995	0,9624	0,9768	-0,0144
	0,3491	0,9722	0,9836	-0,0114
	0,4036	0,9817	0,9915	-0,0098
	0,4503	0,9883	0,9972	-0,0089
	0,4997	0,9963	1,0050	-0,0087
	0,5553	0,9956	1,0044	-0,0088
	0,5967	0,9975	1,0065	-0,0090
	0,6499	0,9976	1,0077	-0,0101
	0,6939	0,9979	1,0071	-0,0092
Test 2	0,1155	0,8290	0,8921	-0,0631
	0,2035	0,8981	0,9226	-0,0245
	0,3039	0,9631	0,9769	-0,0138
	0,4108	0,9880	0,9976	-0,0096
	0,5043	0,9942	1,0025	-0,0083
	0,6058	0,9986	1,0077	-0,0091
	0,6973	0,9940	1,0055	-0,0115
Test 3	0,1502	0,8224	0,8576	-0,0352
	0,2530	0,9416	0,9600	-0,0184
	0,3525	0,9705	0,9817	-0,0112
	0,4561	0,9915	1,0003	-0,0088
	0,5608	0,9980	1,0065	-0,0085
	0,6595	0,9989	1,0087	-0,0098
Fark Oranı				-0,0175

4.2.4.Kalibrasyon sonuçlarının analizi

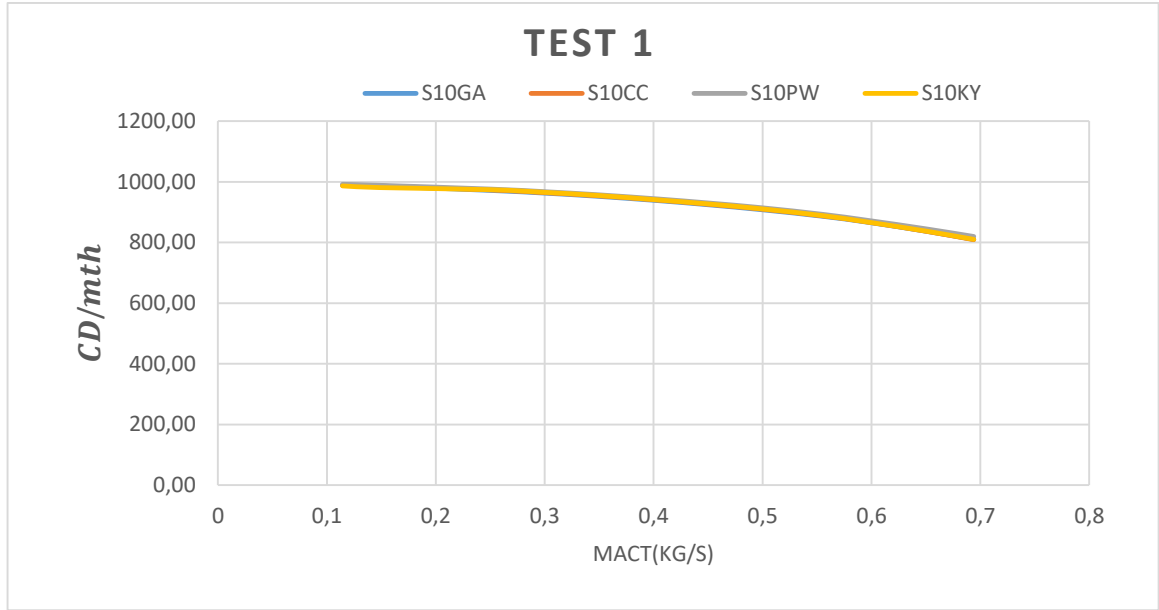
Bellmouth ile teorik kütleli debinin doğru hesaplanmasında basınç ölçümlerinin doğruluğu en önemli noktadır. Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da birinci kalibrasyon testine ait ölçümlerden elde edilen statik basınç ve toplam basınç değerlerinin gerçek kütleli debi ile değişimleri gösterilmektedir.

Şekil 4.35’te gösterilen toplam basınç ölçümlerinde, sensörler arasında yaklaşık olarak 15 mbar değerinde ölçüm farkı vardır. Kalibrasyonu güvenli (ölçüm belirsizliği düşük kalibrasyon), doğru yapılmış ve ayrıca doğruluğu yüksek olan basınç sensörleri için bu fark aslında oldukça fazladır. Toplam basınç sensörlerinde bu hatanın sebebi olarak, sensörlerin akış eksenine paralellikleri, kalibrasyon ve offset hataları gösterilebilir. Söz konusu sensörler arasında bulunan 15 mbar değerindeki fark kütleli debi hesabında %2’den fazla bir farka tekabül etmektedir.

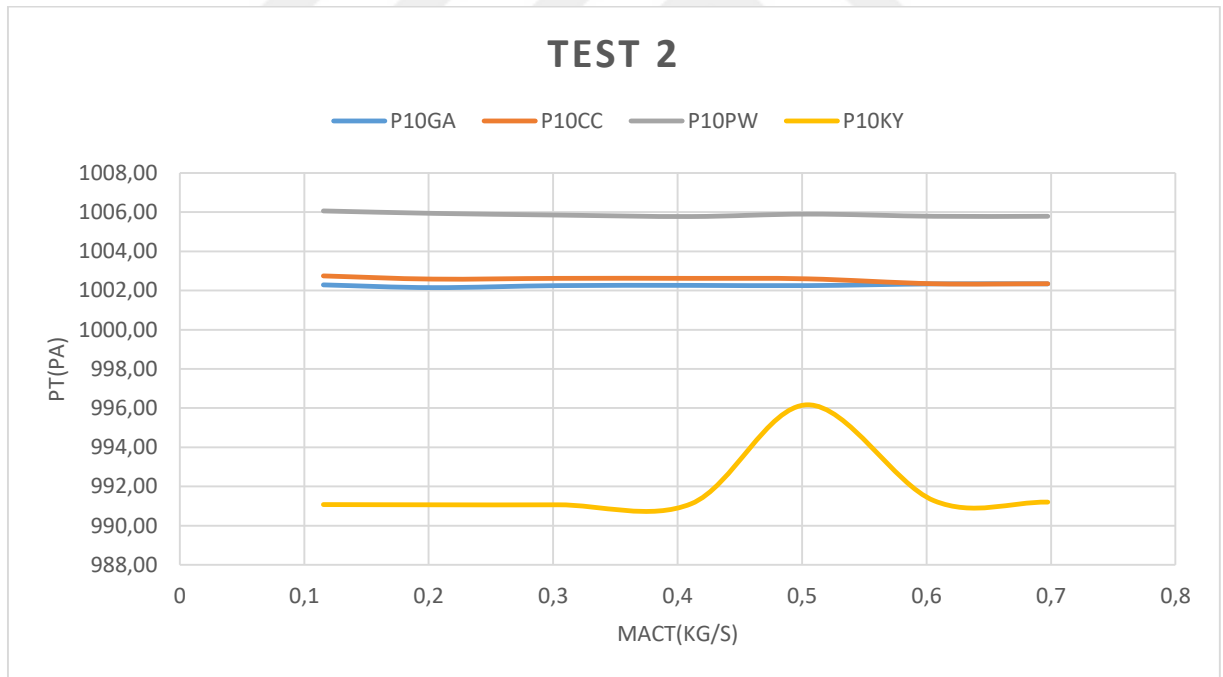
Şekil 4.36’da gösterildiği gibi, ölçülen dört statik basınç değeri aynı kesit alanından ölçüm alındığında ve bir kesit alanında statik basınç değerlerinin radyal eksene göre değişmesi beklenmediğinden aynıdır.



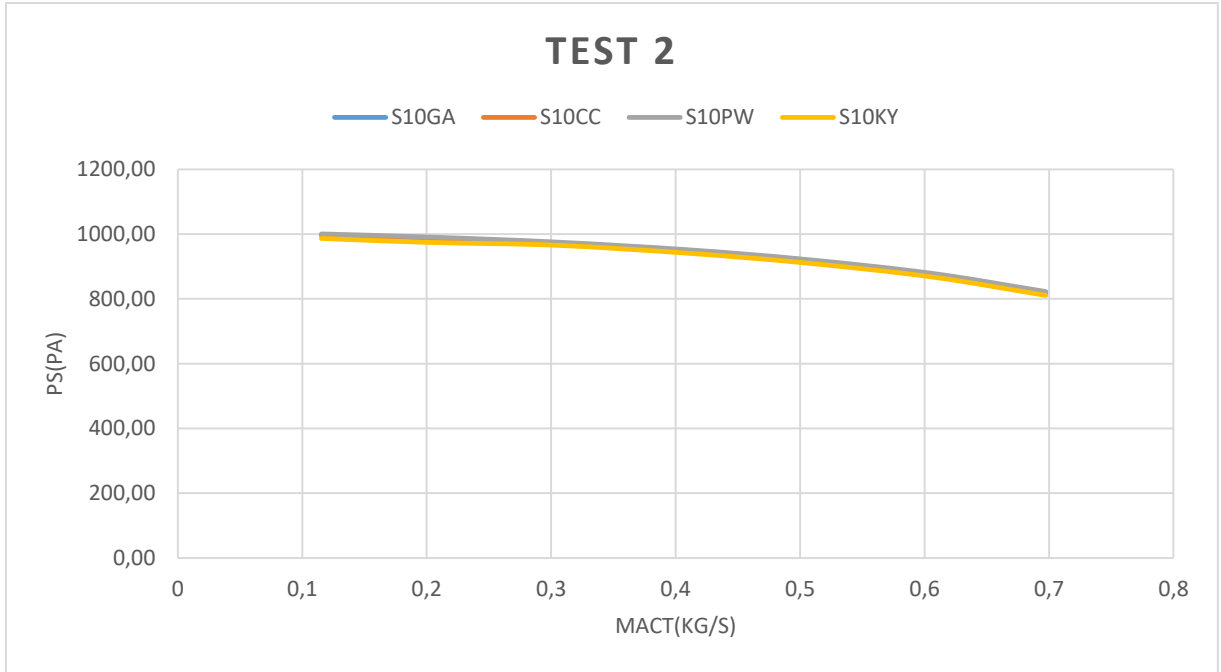
Şekil 4.35 Kalibrasyon Test-1’den Elde Edilen Toplam Basınç Verilerinin Gerçek Kütleli Debi ile Değişimi



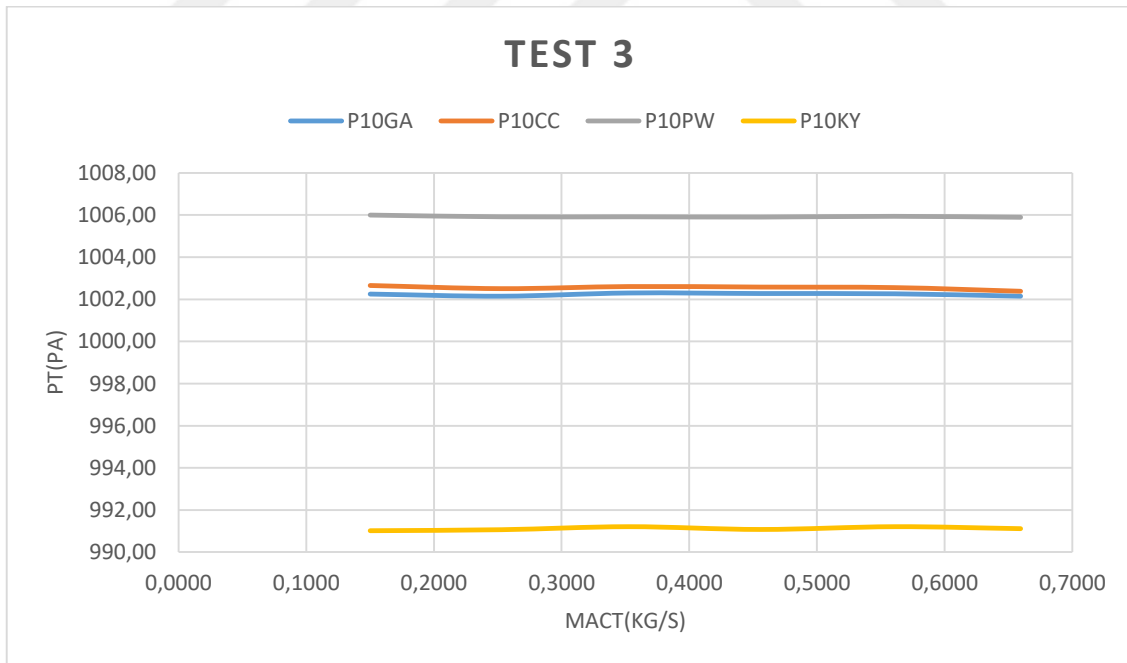
Şekil 4.36 Kalibrasyon Test-1'den Elde Edilen Statik Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimleri



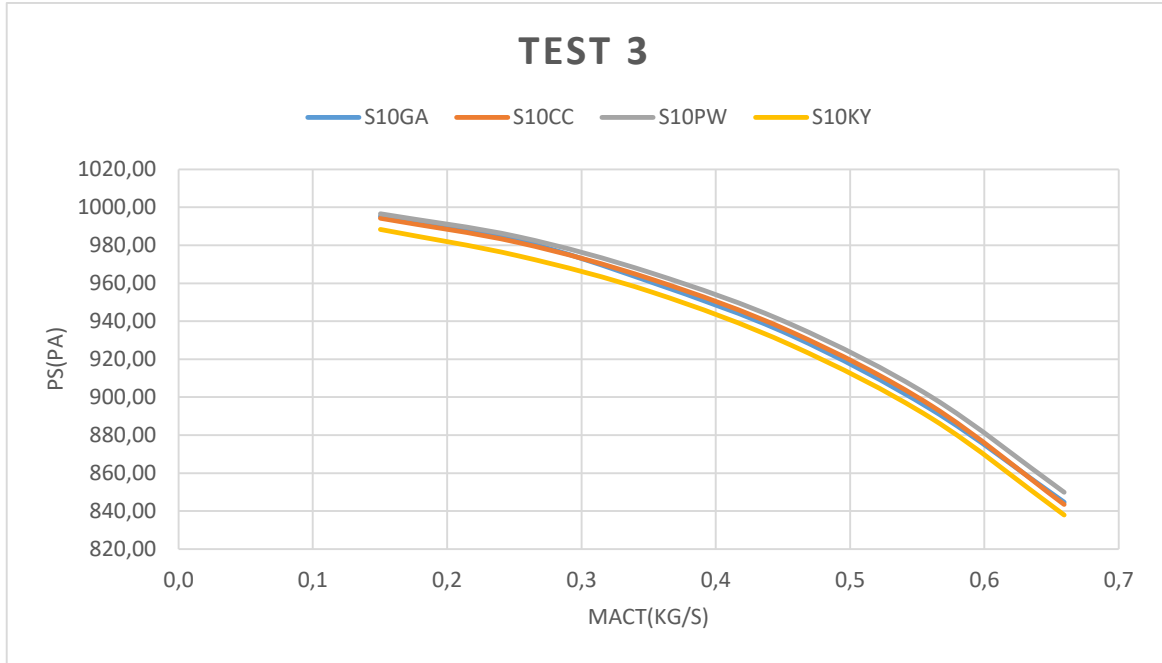
Şekil 4.37 Kalibrasyon Test-2'den Elde Edilen Toplam Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi



Şekil 4.38 Kalibrasyon Test-2'den Elde Edilen Statik Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimleri



Şekil 4.39 Kalibrasyon Test-3'den Elde Edilen Toplam Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

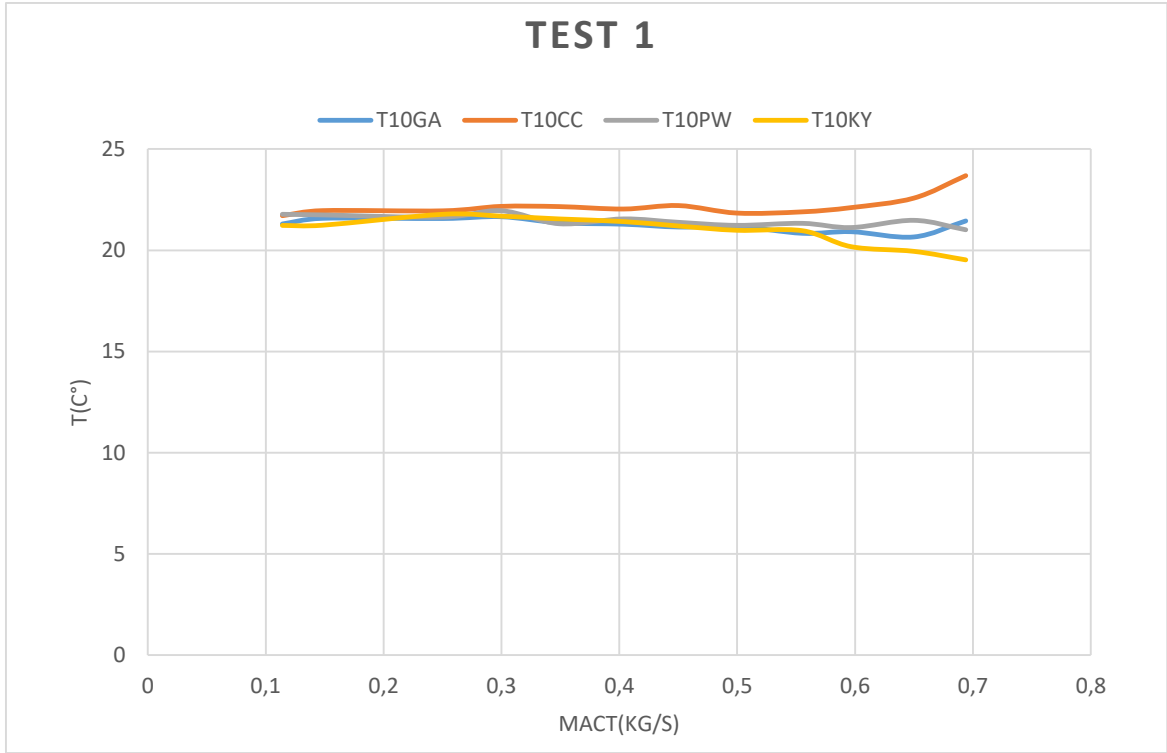


Şekil 4.40 Kalibrasyon Test-3'den Elde Edilen Statik Basınç Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimleri

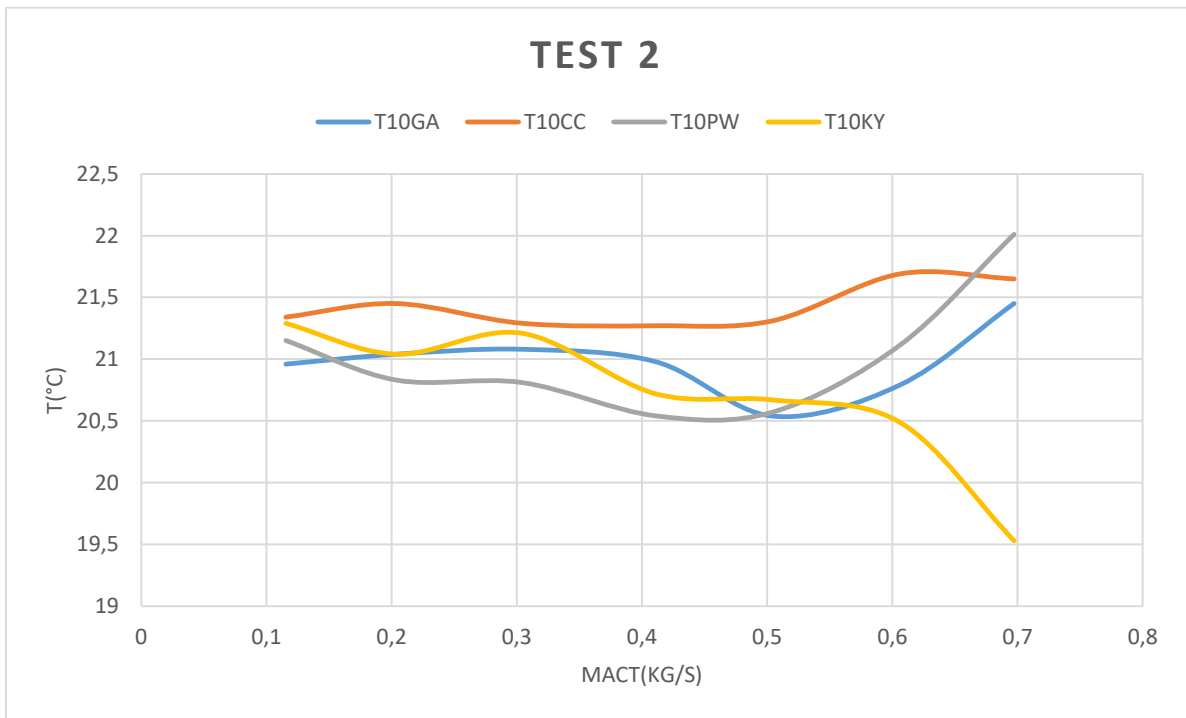
Şekil 4.35, Şekil 4.37 ve Şekil 4.39'da görüldüğü üzere KY portundan alınan toplam basınç değerlerinin diğer portlardan alınan değerlere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durumda KY portunda bir sıkıntı olduğu ve kalibrasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilemediği sonucuna ulaşılabilir.

Şekil 4.41' de Test 1 ölçümlerinden elde edilen ortalama sıcaklık değerlerinin gerçek kütlesel debi ile değişimleri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, farklı portlardan okunan sıcaklık değerleri paralellik göstermektedir.

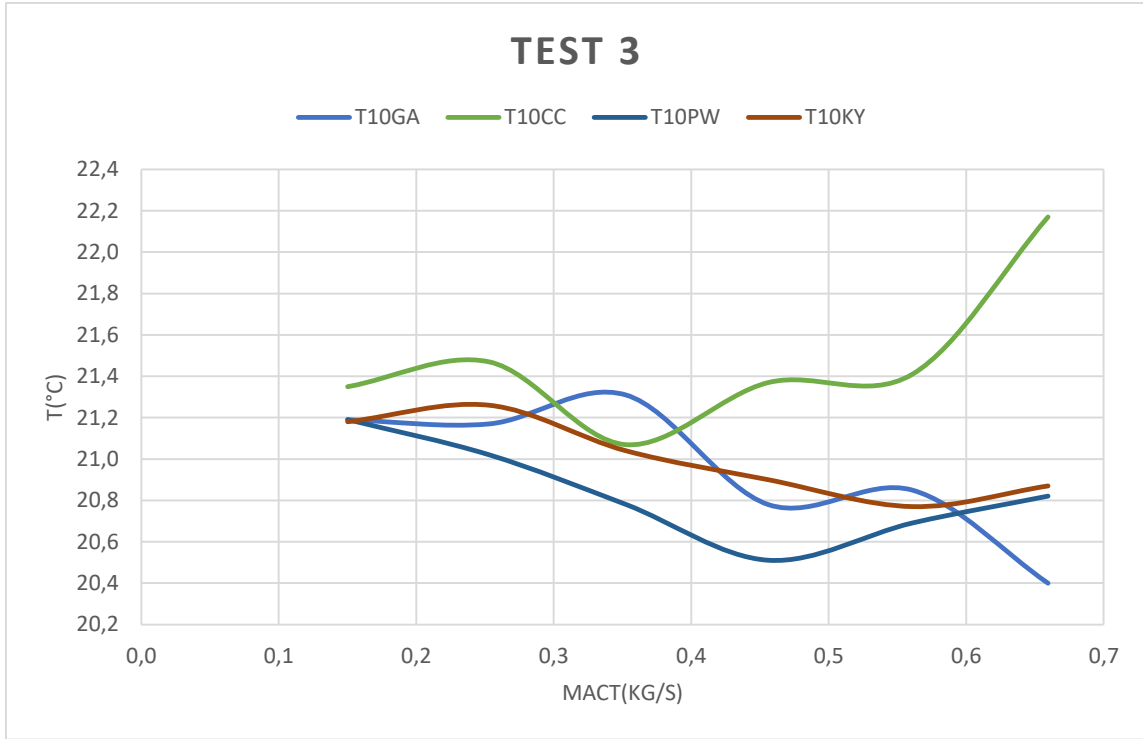
Sıcaklık verisi kütlesel debi hesabında ısıl sığa için ve Re sayısı eşitliğinde kullanılmak üzere viskozite hesaplamaları için kullanılmaktadır. Isı sığası hesaplamasında 10 °C sıcaklık farkı %50 nem değeri için yaklaşık %0,05 hataya sebep olmaktadır. Bu nedenle sıcaklık değerlerindeki hata kütlesel debinin doğruluğunu çok fazla etkilememektedir. Diğer taraftan sıcaklık değerlerinin en azından 0.5°C doğrulukla ölçülebilmesi bellmouth sisteminin uzun dönem kararlılığı için gerekli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.41 Kalibrasyon Test-1'den Elde Edilen Ortalama Sıcaklık Verilerinin Gerçek Kütleli Debi ile Değişimi



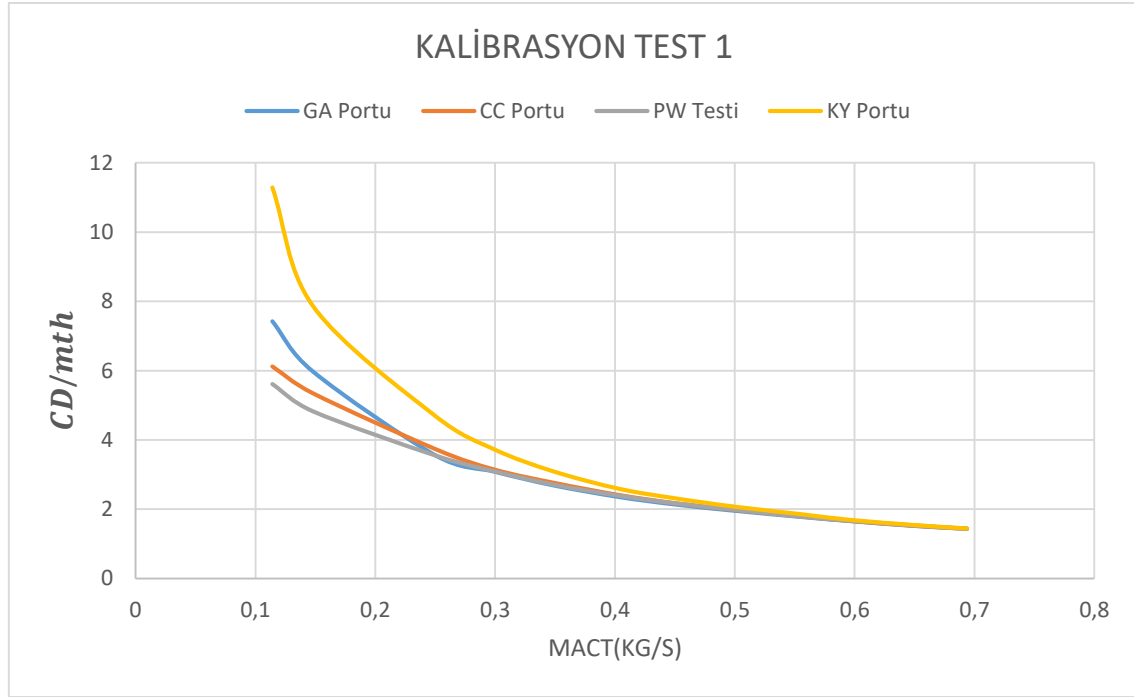
Şekil 4.42 Kalibrasyon Test-2'den Elde Edilen Ortalama Sıcaklık Verilerinin Gerçek Kütleli Debi ile Değişimi



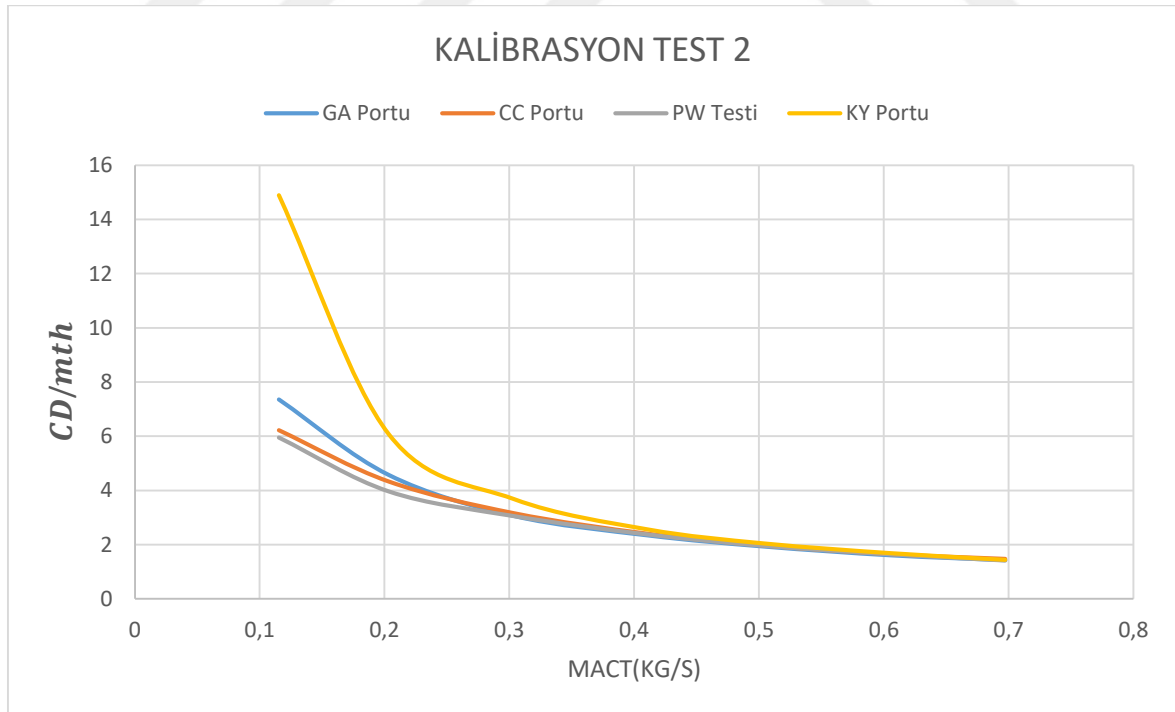
Şekil 4.43 Kalibrasyon Test-3'den Elde Edilen Ortalama Sıcaklık Verilerinin Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

Sensörlerin ölçüm aldığı kesit alanı içerisinde statik basınç, toplam basınç ve sıcaklık verilerinin kabul edilebilir bir doğrulukta eşit olmaları beklenmektedir. Bu beklentinin temelinde bellmouth akışının iki boyutlu ve eksenel simetrik olarak kabul edilebileceği varsayımı/kabulü yatmaktadır. Bu durumda her bir basınç ölçüm noktasından elde edilendeşarj katsayılarının, ideal durumda, eşit olması gerekmektedir. Şekil 4.47'de kalibrasyon sonuçlarından hesaplanmışdeşarj katsayılarının değişimleri gösterilmektedir.

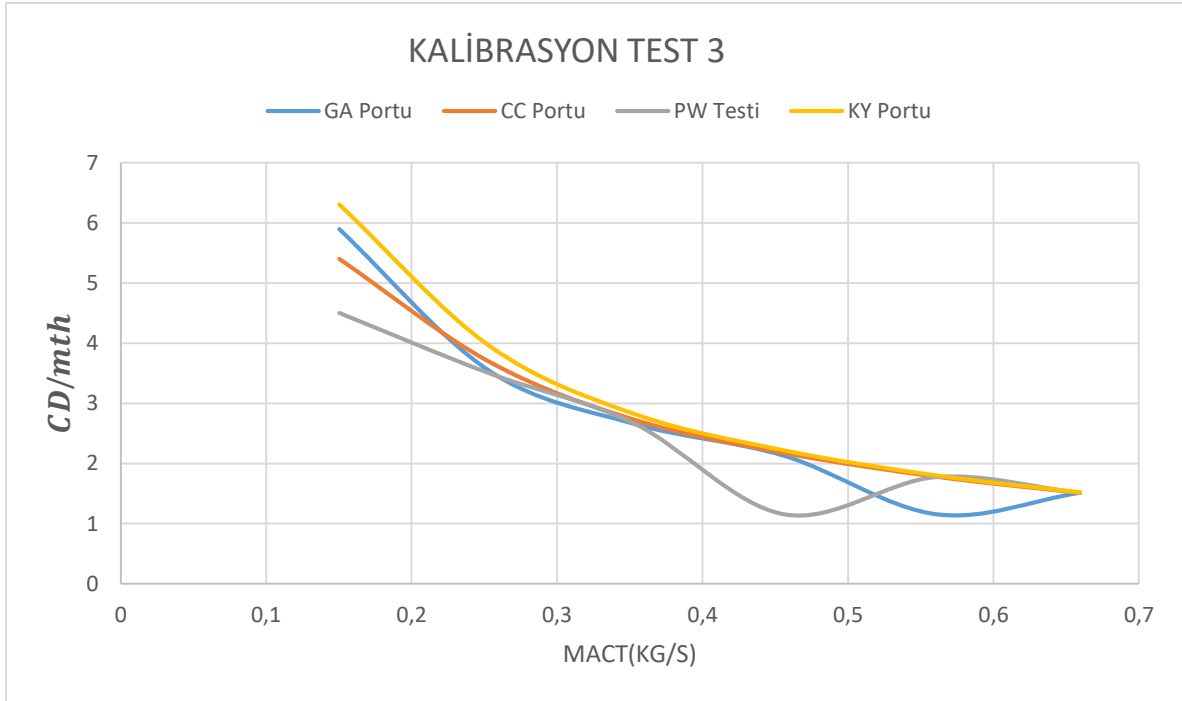
Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'de hesaplanandeşarj katsayılarının değişimleri verilmektedir. Gerçek debinin teorik debiden büyük olması söz konusu olamayacağından dolayı, 1'den büyükdeşarj katsayısı değerleri gerçekçi değildir.



Şekil 4.44 Kalibrasyon Test-1’den Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi



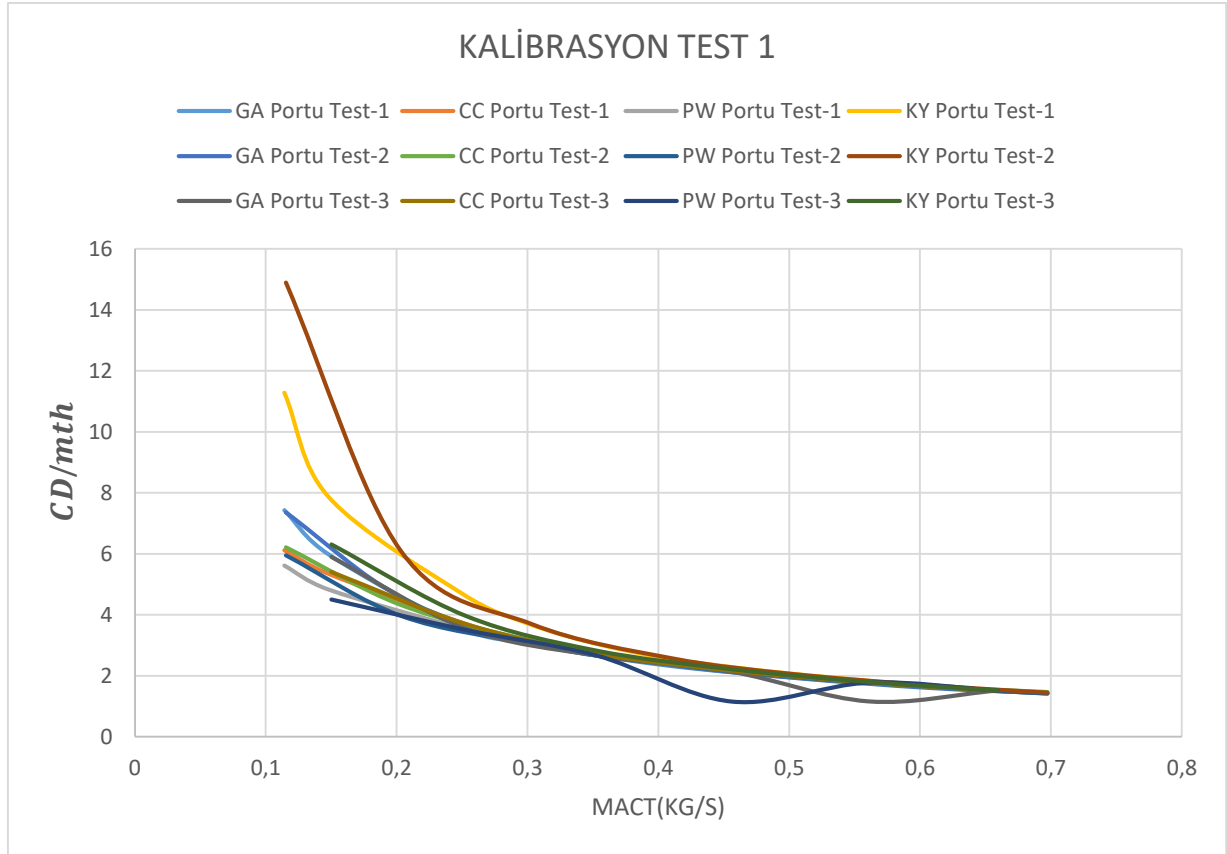
Şekil 4.45 Kalibrasyon Test- 2’den Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi



Şekil 4.46 Kalibrasyon Test - 3'den Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

KY portundan toplam basınç ölçümleri alınırken, diğer portlara göre farklı değerler gözlemlenmiştir. Bu değerler ile hesaplamalar gerçekleştirildiğinde Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da KY portunun deşarj katsayısı değerlerinin 1'den büyük olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.47'de gösterildiği gibi KY olarak isimlendirmesi gerçekleştirilen portta meydana gelen deşarj katsayılarında gerçek debinin teorik debiden büyük olduğu görülmektedir. 23 numaralı deşarj hesaplama eşitliğinden de anlaşılacağı üzere, hiçbir durumda gerçek debinin teorik debiden büyük olması mümkün olmadığından, kalibrasyon testleri esnasında KY portundan alınan ölçümler dikkate alınmayacaktır. Bu durumda KY portunun kalibre işlemini geçemediği sonucu çıkmaktadır.



Yapılan hesaplar sonucunda her bir parametre için ayrı ayrı oluşturulan deşarj katsayılarının teorik kütleli debiye oranını gösteren eşitsizlikler 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

$$\frac{C_{d_{GA}}}{m_{th}} = 15,104 - 94,217P_{d_{GA}} + 272,43 - 363,53P_{d_{GA}}^3 + 181,24P_{d_{GA}}^4 \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{C_{d_{CC}}}{m_{th}} = & 7,2684 - 0,0025P_{d_{CC}} + 5 \times 10^{-7}P_{d_{CC}}^2 - 5 \times 10^{-11}P_{d_{CC}}^3 \\ & + 2 \times 10^{-15}P_{d_{CC}}^4 - 5 \times 10^{-20}P_{d_{CC}}^5 \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\frac{C_{d_{PW}}}{m_{th}} = 5,2115 - 0,0009P_{d_{PW}} + 8 \times 10^{-8}P_{d_{KY}}^2 - 3 \times 10^{-12}P_{d_{KY}}^3 \quad (4.9)$$

Bu oluşturulan denklemler ile elde edilen sonuçlar ve testlerden elde edilen sonuçların farkı Çizelge 4.24’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.24 Oluşturulan Denklemler ile Kalibrasyon Testi Sonuçlarının Farkı

Dinamik basınç (bar)	Hata GA	Hata CC	Hata PW
0,0047	-0,00676	-0,02296	0,00183
0,0076	0,00921	0,01196	-0,00320
0,0219	-0,00572	0,02598	0,00312
0,0306	0,00353	0,00087	-0,00014
0,0414	0,00166	-0,00677	-0,00252
0,0555	-0,00184	-0,01265	0,00037
0,0692	-0,00181	-0,00855	0,00085
0,0856	0,00050	0,00341	0,00163
0,1073	0,00146	0,01124	-0,00308
0,1268	0,00063	0,00458	0,00222
0,1565	-0,00172	-0,01139	-0,00031
0,1835	0,00057	0,00363	0,00031

4.3.Bellmouthlu Motor Yer Testleri

Bellmouth kalibrasyon işlemi ardından, bellmouth ile motor entegre işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bellmouthlu motor ile testlere başlamadan önce, bellmouthlu motorun test standına sabitlenmesi ve motor üzerinde bulunan tüm sensörlerin veri toplama sistemi ile bağlantısının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İlgili işlemler ardından, Bölüm 4.3.2’de bahsedildiği şekilde bellmouthlu motor yer testleri gerçekleştirilmiştir.

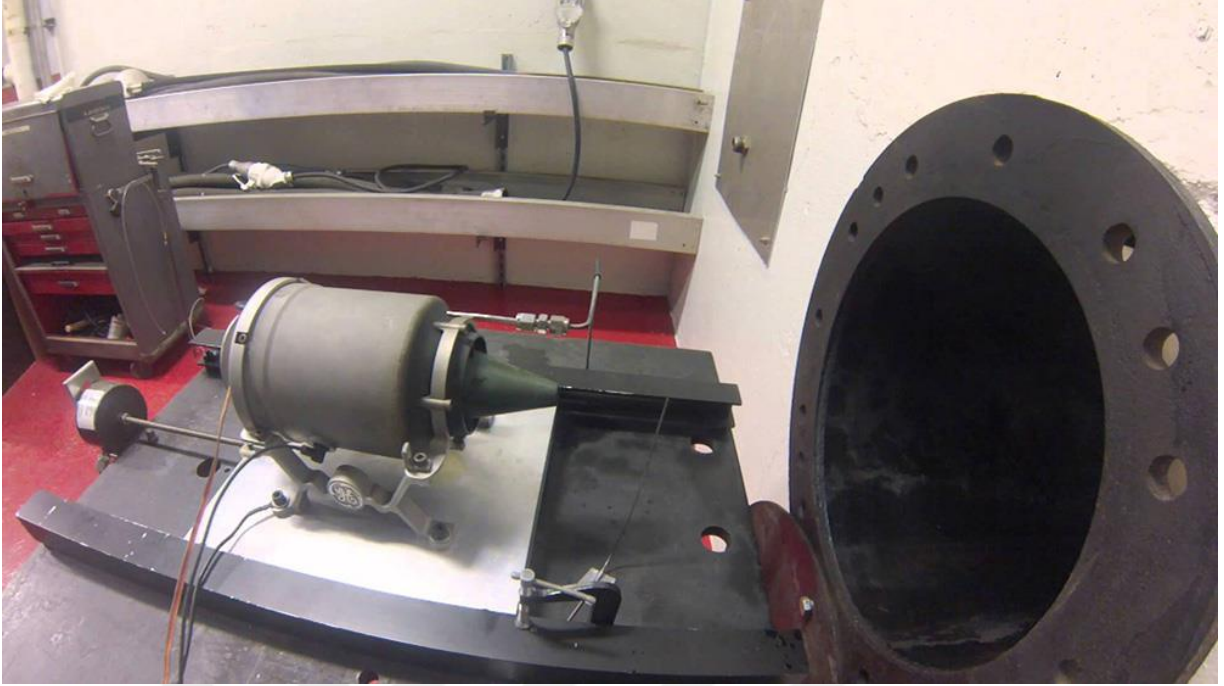
4.3.1. Motor yer testi düzeneği

Price Induction firmasına ait olan motor test düzeneği, temsili olması açısından Şekil 4.48’de gösterilmiştir. Şekilde de gösterilmiş olduğu gibi test düzeneği iki kısımdan oluşmuştur. Birinci kısım motor testlerinin gerçekleştirildiği bölge, ikinci kısım ise kontrol odasıdır.



Şekil 4.48 Temsili Test Düzeneği (Price Induction, -)

Birinci kısımda motor testlerinin gerçekleştirilebilmesi için, test standı, motor yakıt sistemi, motor üzerinde bulunan sensör verilerinin kontrol odasına aktarılabilmesi için pano sistemleri bulunmaktadır. Şekil 4.49’da motor testlerinde kullanılan test standına ait temsili görsel bulunmaktadır. İlgili temsili test standı, General Electric (GE) tarafından gerçekleştirilen 3 boyutlu yazıcı ile üretilen motor testlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere, motorun oluşturduğu itkidenden dolayı motorun hareket etmesinin engellenmesi için motor sabitlenmiştir ve motorun egzozundan atılacak duman, alev vb. gibi maddelerin zarar vermemesi için baca yapısı bulunmaktadır.



Şekil 4.49 Temsili Test Standı (Grounds, T., 2015)

Kontrol odasında motordan gelen tüm verilerin işlenip istenilen format ile kullanıcıya sunulmasını sağlayan kontrol sistemleri bulunmaktadır. Motor test faaliyetleri kontrol odasından yürütülmektedir.

4.3.2. Motor yer testlerinin gerçekleştirilmesi

Motor testleri aşağıda belirtilen isterler uyarınca gerçekleştirilmiştir. Bellmouthlu motor yer testleri esnasında sadece bellmouth üzerinden veri alınmamış olup, motor üzerinden de testlerin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğinin anlaşılması için veriler alınmıştır. Motor testlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermek amacıyla, Kompresör, ön yatak, arka yatak, türbin ve egzoz bölgelerinden basınç ve sıcaklık değerleri alınmıştır.

Aşağıda belirtilen kısımlar, bellmouthlu motor üzerinde test metodolojisini tanımlamaktadır.

- Motor çalıştırılarak rölanti devrine getirilecektir. Rölanti devirde 1 dakika boyunca tutulacak, bu süre zarfında motordan veri alınacaktır. Ardından şaft hızı yavaşça düşürülecek ve bazı noktalarda 1 dakika boyunca tutulup veri alınacaktır.
- Motor düzeltilmiş rpm parametresinin istenilen seviyeye ulaştığı gözlemlendiğinde, mekanik rpm değeri olan Y değerine çıkarılacak ve bu devirde 1 dakika boyunca sabit tutulacaktır.
- Rpm'ler olabildiğince nominal değerlere getirilmeye çalışılmalıdır ve testler esnasında motor salınımı ve rpm sensörü toleranslarına dikkat edilmelidir.
- Test sırasında motor gözlemlenecektir. Motor hasara uğrayacak noktalara gelmesi durumunda vakit kaybetmeden motor rölanti devre indirilmeli ardından susturulmalıdır.
- Maksimum rpm'e çıkıldıktan sonra motor mümkün olduğunca yavaş bir şekilde devir azaltılarak rölanti devre indirilecek, 1 dakika boyunca bu rpm değerinde tutulup susturulacaktır. Susturulduktan sonra soğutma işlemi yapılacaktır.

Belirtilen test metodolojisine göre testler gerçekleştirilmiştir. Testlerden alınan veriler sonucunda rpm değerlerinde motor bellmouthu üzerinde bulunan enstrümantasyon ekipmanlarından veriler alınmıştır. Bu bilgi sonucunda motorun ihtiyacı olan hava debileri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda motorun rpm değerlerinde ihtiyaç duyduğu hava debileri sonuçları elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen test sonuçları Bölüm 4.3.3'de incelenmiştir. İlgili bölümde rpm değerlerine ait veri bulunmamaktadır. Yapılan testler ve analizler milli gizli bir proje olduğundan ilgili kısımların paylaşılması uygun bulunmamıştır.

4.3.3.Motor yer testi sonuçlarının hesaplanması

Motor yer testleri Bölüm 4.3.2’de belirtirildiği şekilde gerçekleştirilip, testler esnasında bellmouth üzerinden toplam basınç, statik basınç ve toplam sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında hava için 25°C’de κ ısıl sığa değeri 1.4 olarak kabul edilerek Bölüm 3’te belirtilen hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. İlgili hesaplama yöntemleri ardından teorik mach sayısı, teorik kütleli debi, deşarj katsayısı ve ardından gerçek kütleli debi ölçüm alınan her bir toplam basınç ve statik basınç değerlerine göre hesaplanmıştır. Bölüm 4.2.4’te verilen 4.2, 4.3 ve 4.4 ile numaralandırılan formüller yardımıyla deşarj katsayısı her bir dinamik basınç değerine göre hesaplanmıştır.

Aşağıdaki veriler Bölüm 4.3.2 ‘de belirtilen isterler uyarınca gerçekleştirilmiştir. Alt başlıklarda bulunan veriler motorun farklı rpm değerlerinde ihtiyaç duyduğu kütleli debiye göre bellmouth üzerinde bulunan sensörlerden okunan statik ve toplam basınç değerlerinin kayıt altına alınması ardından teorik mach sayısının, teorik kütleli debinin, deşarj katsayısının ve motorun ihtiyaç duyduğu gerçek kütleli debinin hesaplanmasıyla oluşturulmuştur.

Bölüm 4.3.4.1 ve bölüm 4.3.4.2 ‘de motor yer testlerinden alınan basınç ve sıcaklık değerlerinden gerçek kütleli debinin hesaplanması için kullanılan iki ayrı yöntem ile yapılan çalışmalar gösterilmiştir. Çalışmalarda ısı sığasının sabit ve değişken olmasının sonuçlara etkisinden anlaşılacağı üzere, ısı sığasının sabit kabul edilmesi hesaplamalarımız üzerinde büyük bir etkide bulunmamaktadır.

4.3.3.1. GA portu motor yer testi verileri

Çizelge 4.25'te motor yer testlerinden alınan toplam basınç, statik basınç ve sıcaklık ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Çizelgede geçen dinamik basınç değerleri eşitlik 4.6 kullanılarak elde edilmiştir.

Motor test verilerinde, kalibrasyon test sonuçlarından elde edilen ve 4.7 numaralı eşitlik yardımıyla $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranı bulunmuştur. İlgili oran kullanılarak motorun ihtiyacı olan hava debi miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan hava debi miktarı Çizelge 4.25'te tanımlanmıştır.

Motor yer testleri kalibrasyon testleri ile karşılaştırmak amacıyla motorun farklı itki değerlerinde üç kez tekrarlanmış olup tekrarlanan tüm testlere ait veriler ve yapılan hesaplamalar Çizelge 4.25, Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27 'de verilmiştir.

Üç teste ait hesaplamaları gerçekleştirilen test sonuçları Şekil 4.50'da gösterilmiştir. Şekilde de görülmüş olduğu gibi motorun itki değerine göre ihtiyaç duyduğu hava debileri tüm testlerde benzer şekilde bulunmaktadır.

Çizelge 4.25 GA Portu için Test 1 Sonuçları

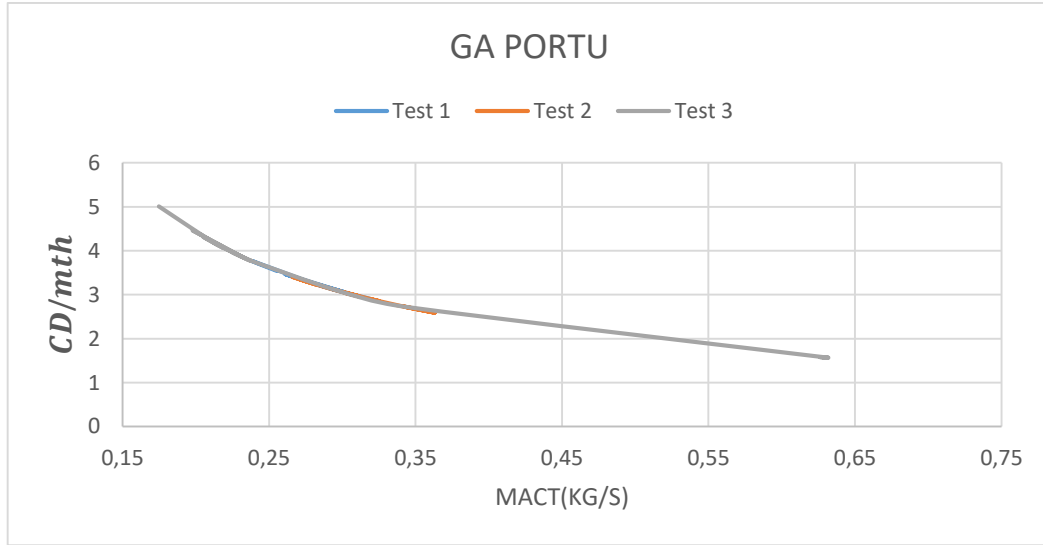
P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	P_{DGA} (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
91300	88900	2400	287,45	0,1954	3,5413	0,2555
91100	89000	2100	287,45	0,1828	3,7694	0,2384
91500	88700	2800	287,45	0,2112	3,2961	0,2768
91400	88700	2700	287,35	0,2074	3,3528	0,2716
91300	88600	2700	287,35	0,2075	3,3540	0,2714
91400	88900	2500	287,35	0,1994	3,4726	0,2611
91300	88500	2800	287,35	0,2114	3,2995	0,2765
91200	88700	2500	287,35	0,1997	3,4765	0,2608
91300	88600	2700	287,35	0,2075	3,3540	0,2714
91200	88400	2800	287,35	0,2115	3,3006	0,2764
91300	88500	2800	287,35	0,2114	3,2995	0,2765
91300	88700	2600	287,35	0,2036	3,4128	0,2663
91400	88100	3300	287,35	0,2298	3,0616	0,3009
91400	88400	3000	287,35	0,2189	3,1957	0,2866
91300	88500	28000	287,35	0,2114	3,2995	0,2765
91300	88200	31000	287,35	0,2227	3,1503	0,2913
91200	88400	28000	287,35	0,2115	3,3006	0,2764
91500	88200	33000	287,35	0,2297	3,0596	0,3011
91300	88200	31000	287,35	0,2227	3,1503	0,2913
91300	88100	32000	287,35	0,2263	3,1052	0,2961
91400	88300	31000	287,35	0,2226	3,1492	0,2915
91400	88000	34000	287,35	0,2333	3,0211	0,3055
91500	88100	34000	287,35	0,2332	3,0192	0,3057
91500	88100	34000	287,35	0,2332	3,0192	0,3057
91500	87800	37000	287,35	0,2436	2,9065	0,3192

Çizelge 4.26 GA Portu için Test 2 Sonuçları

P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	P_{DGA} (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
92400	89800	2600	280,05	0,2847	3,3482	0,2714
92300	89700	2600	280,05	0,2845	3,3501	0,2712
92500	89800	2700	280,05	0,2901	3,2892	0,2768
92600	89900	2700	280,05	0,2903	3,2873	0,2770
92400	89600	2800	280,05	0,2951	3,2369	0,2819
92400	89900	2500	280,05	0,2793	3,4088	0,2660
92400	89600	2800	280,05	0,2951	3,2369	0,2819
92400	89400	3000	280,05	0,3051	3,1372	0,2920
92500	89500	3000	280,05	0,3052	3,1354	0,2921
92500	89400	3100	280,05	0,3101	3,0893	0,2971
92600	89200	3400	280,05	0,3244	2,9618	0,3116
92500	89300	3200	280,05	0,3149	3,0453	0,3019
92500	89100	3400	280,05	0,3242	2,9634	0,3114
92400	89100	3300	280,05	0,3194	3,0051	0,3066
92500	89300	3200	280,05	0,3149	3,0453	0,3019
92500	88800	3700	280,05	0,3376	2,8535	0,3252
92500	88800	3700	280,05	0,3376	2,8535	0,3252
92500	88800	3700	280,05	0,3376	2,8535	0,3252
92400	88800	3600	280,05	0,3330	2,8902	0,3205
92500	88800	3700	280,05	0,3376	2,8535	0,3252
92400	88400	4000	280,05	0,3501	2,7578	0,3381
92400	88300	4100	280,05	0,3543	2,7278	0,3424
92500	87900	4600	280,05	0,3743	2,5914	0,3631
92200	88100	4100	280,05	0,3539	2,7309	0,3420
92500	87900	4600	280,05	0,3743	2,5914	0,3631

Çizelge 4.27 GA Portu için Test 3 Sonuçları

P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	P_{DGA} (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
92200	91100	1100	279,35	0,1869	5,0101	0,1749
92600	91000	1600	279,35	0,2252	4,1845	0,2122
92600	90900	1700	279,35	0,2320	4,0670	0,2189
92500	91000	1500	279,35	0,2180	4,3161	0,2052
92400	90700	1700	279,35	0,2317	4,0715	0,2186
92500	90500	2000	279,35	0,2510	3,7719	0,2377
92700	90800	1900	279,35	0,2451	3,8587	0,2318
92400	90800	1600	279,35	0,2249	4,1891	0,2120
92400	90500	1900	279,35	0,2447	3,8651	0,2314
92500	90700	1800	279,35	0,2384	3,9618	0,2252
92500	90700	1800	279,35	0,2384	3,9618	0,2252
92600	90700	1900	279,35	0,2450	3,8609	0,2317
92400	90500	1900	279,35	0,2447	3,8651	0,2314
92300	90900	1400	279,35	0,2105	4,4642	0,1979
92300	90400	1900	279,35	0,2446	3,8673	0,2313
92300	90300	2000	279,35	0,2508	3,7760	0,2374
92400	89300	3100	279,35	0,3103	3,0871	0,2973
92300	88200	4100	279,35	0,3545	2,7259	0,3426
92400	77200	15200	279,45	0,6351	1,5654	0,6314
92300	77400	14900	279,45	0,6297	1,5786	0,6260
92500	77300	15200	279,45	0,6355	1,5644	0,6318
92400	77300	15100	279,45	0,6334	1,5694	0,6297
92500	77500	15000	279,45	0,6322	1,5725	0,6285
92500	77400	15100	279,45	0,6339	1,5684	0,6302
92600	77600	15000	279,45	0,6326	1,5714	0,6289



Şekil 4.50 GA Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

4.3.3.2. CC portu motor yer testi verileri

Çizelge 4.28’da motor yer testlerinden alınan toplam basınç, statik basınç ve sıcaklık ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Çizelgede geçen dinamik basınç değerleri eşitlik 4.6 kullanılarak elde edilmiştir.

Motor test verilerinde, kalibrasyon test sonuçlarından elde edilen ve 4.7 numaralı eşitlik yardımıyla $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranı bulunmuştur. İlgili oran kullanılarak motorun ihtiyacı olan hava debi miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan hava debi miktar Çizelge 4.28’de tanımlanmıştır.

Motor yer testleri kalibrasyon testleri ile karşılaştırmak amacıyla motorun farklı itki değerlerinde üç kez tekrarlanmış olup tekrarlanan tüm testlere ait veriler ve yapılan hesaplamalar Çizelge 4.28, Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30 ’de verilmiştir.

Üç teste ait hesaplamaları gerçekleştirilen üç teste ait test sonuçları Şekil 4.51’de gösterilmiştir. Şekilde de görülmüş olduğu gibi motorun itki değerine göre ihtiyaç duyduğu hava debileri tüm testlerde benzer şekilde bulunmaktadır.

Çizelge 4.28 CC Portu için Test 1 Sonuçları

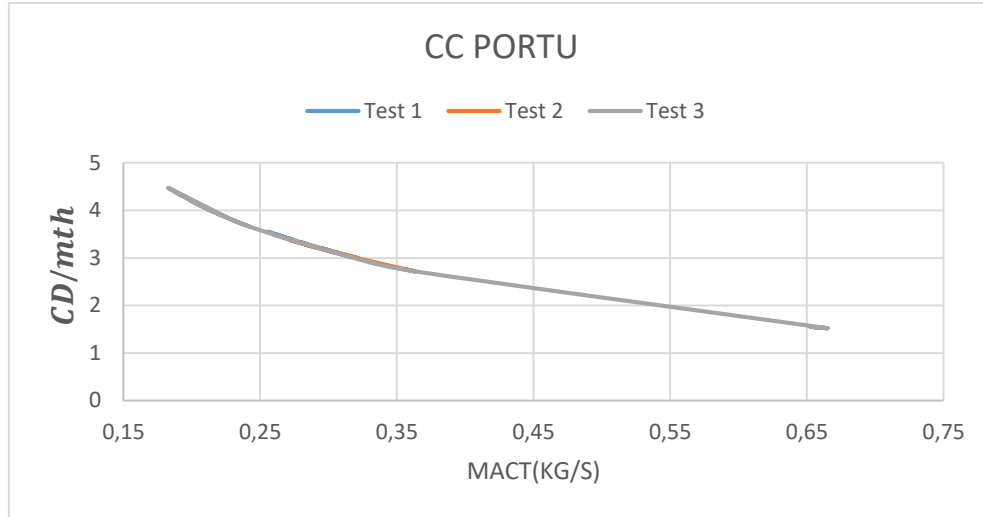
$P_{T_{cc}}$ (Pa)	$P_{S_{cc}}$ (Pa)	$P_{D_{cc}}$ (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
91200	88600	2600	287,45	0,2037	3,4346	0,2676
91300	88700	2600	287,45	0,2036	3,4321	0,2677
91100	88700	2400	287,45	0,1957	3,5490	0,2555
91100	88500	2600	287,35	0,2038	3,4358	0,2675
91200	88500	2700	287,35	0,2076	3,3823	0,2734
91000	88500	2500	287,35	0,1999	3,4923	0,2614
91100	88600	2500	287,35	0,1998	3,4897	0,2616
91100	88400	2700	287,35	0,2078	3,3847	0,2732
91300	88400	2900	287,35	0,2152	3,2838	0,2848
91200	88300	2900	287,35	0,2154	3,2861	0,2846
91200	88300	2900	287,35	0,2154	3,2861	0,2846
91200	88300	2900	287,35	0,2154	3,2861	0,2846
91100	88300	2800	287,35	0,2117	3,3347	0,2789
91200	88300	2900	287,35	0,2154	3,2861	0,2846
91200	88200	3000	287,35	0,2191	3,2421	0,2901
91200	88100	3100	287,35	0,2228	3,1987	0,2954
91200	88000	3200	287,35	0,2265	3,1575	0,3007
91100	87900	3200	287,35	0,2266	3,1595	0,3005
91000	87900	3100	287,35	0,2231	3,2019	0,2951
91400	88100	3300	287,35	0,2298	3,1152	0,3062
91100	87800	3300	287,35	0,2302	3,1201	0,3057
91200	87800	3400	287,35	0,2336	3,0803	0,3109
91200	87800	3400	287,35	0,2336	3,0803	0,3109
91300	87800	3500	287,35	0,2370	3,0422	0,3160
91200	87600	3600	287,35	0,2406	3,0086	0,3207

Çizelge 4.29 CC Portu için Test 2 Sonuçları

$P_{T_{cc}}$ (Pa)	$P_{S_{cc}}$ (Pa)	$P_{D_{cc}}$ (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
92100	89700	2400	280,05	0,2734	3,4828	0,2603
92300	89600	2700	280,05	0,2898	3,3184	0,2787
92200	89600	2600	280,05	0,2844	3,3710	0,2726
92300	89600	2700	280,05	0,2898	3,3184	0,2787
92400	89500	2900	280,05	0,3001	3,2224	0,2903
92200	89500	2700	280,05	0,2896	3,3203	0,2785
92100	89300	2800	280,05	0,2946	3,2739	0,2841
92300	89400	2900	280,05	0,3000	3,2242	0,2901
92000	89200	2800	280,05	0,2944	3,2757	0,2840
92200	89200	3000	280,05	0,3047	3,1821	0,2955
92100	89000	3100	280,05	0,3094	3,1418	0,3008
92300	89000	3300	280,05	0,3192	3,0593	0,3117
92200	89200	3000	280,05	0,3047	3,1821	0,2955
92200	88800	3400	280,05	0,3236	3,0238	0,3167
92100	88800	3300	280,05	0,3189	3,0628	0,3114
92200	88700	3500	280,05	0,3282	2,9880	0,3218
92200	88900	3300	280,05	0,3190	3,0611	0,3116
92200	88900	3300	280,05	0,3190	3,0611	0,3116
92200	88600	3600	280,05	0,3326	2,9534	0,3267
92200	88600	3600	280,05	0,3326	2,9534	0,3267
92300	88000	4300	280,05	0,3622	2,7389	0,3593
92300	88100	4200	280,05	0,3582	2,7666	0,3549
92400	88200	4200	280,05	0,3584	2,7650	0,3551
92300	87900	4400	280,05	0,3661	2,7120	0,3636
92200	87900	4300	280,05	0,3620	2,7405	0,3591

Çizelge 4.30 CC Portu için Test 3 Sonuçları

$P_{T_{cc}}$ (Pa)	$P_{S_{cc}}$ (Pa)	$P_{D_{cc}}$ (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
92400	90800	1600	279,35	0,2249	4,0886	0,2069
92300	90700	1600	279,35	0,2248	4,0908	0,2068
92200	90800	1400	279,35	0,2104	4,3231	0,1914
92200	90900	1300	279,35	0,2029	4,4575	0,1835
92300	90600	1700	279,35	0,2316	3,9913	0,2141
92200	90600	1600	279,35	0,2247	4,0931	0,2067
92200	90500	1700	279,35	0,2315	3,9935	0,2140
92400	90400	2000	279,35	0,2509	3,7360	0,2352
92400	90300	2100	279,35	0,2569	3,6636	0,2419
92300	90400	1900	279,35	0,2446	3,8160	0,2282
91900	90600	1300	279,35	0,2026	4,4649	0,1832
92300	90500	1800	279,35	0,2382	3,9001	0,2212
92300	90700	1600	279,35	0,2248	4,0908	0,2068
92100	90600	1500	279,35	0,2176	4,2047	0,1990
92200	90400	1800	279,35	0,2380	3,9023	0,2211
92200	90000	2200	279,35	0,2625	3,5999	0,2481
92300	89100	3200	279,35	0,3149	3,0941	0,3069
92300	88000	4300	279,35	0,3626	2,7355	0,3597
92100	75200	16900	279,45	0,6603	1,5258	0,6652
92200	75900	16300	279,45	0,6517	1,5462	0,6567
92400	76000	16400	279,45	0,6541	1,5407	0,6592
92500	75700	16800	279,45	0,6606	1,5254	0,6656
92100	76000	16100	279,45	0,6482	1,5541	0,6530
92300	76000	16300	279,45	0,6521	1,5452	0,6571
92400	76400	16000	279,45	0,6479	1,5544	0,6526



Şekil 4.51 CC Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

4.3.3.3. PW portu motor yer testi verileri

Çizelge 4.31’da motor yer testlerinden alınan toplam basınç, statik basınç ve sıcaklık ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Çizelgede geçen dinamik basınç değerleri eşitlik 4.6 kullanılarak elde edilmiştir.

Motor test verilerinde, kalibrasyon test sonuçlarından elde edilen ve 4.7 numaralı eşitlik yardımıyla $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranı bulunmuştur. İlgili oran kullanılarak motorun ihtiyacı olan hava debi miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan hava debi miktar Çizelge 4.31’de tanımlanmıştır.

Motor yer testleri kalibrasyon testleri ile karşılaştırmak amacıyla motorun farklı itki değerlerinde üç kez tekrarlanmış olup tekrarlanan tüm testlere ait veriler ve yapılan hesaplamalar Çizelge 4.31, Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Üç teste ait hesaplamaları gerçekleştirilen test sonuçları Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Şekilde de görülmüş olduğu gibi motorun itki değerine göre ihtiyaç duyduğu hava debileri tüm testlerde benzer şekilde bulunmaktadır.

Çizelge 4.31 PW Portu için Test 1 Sonuçları

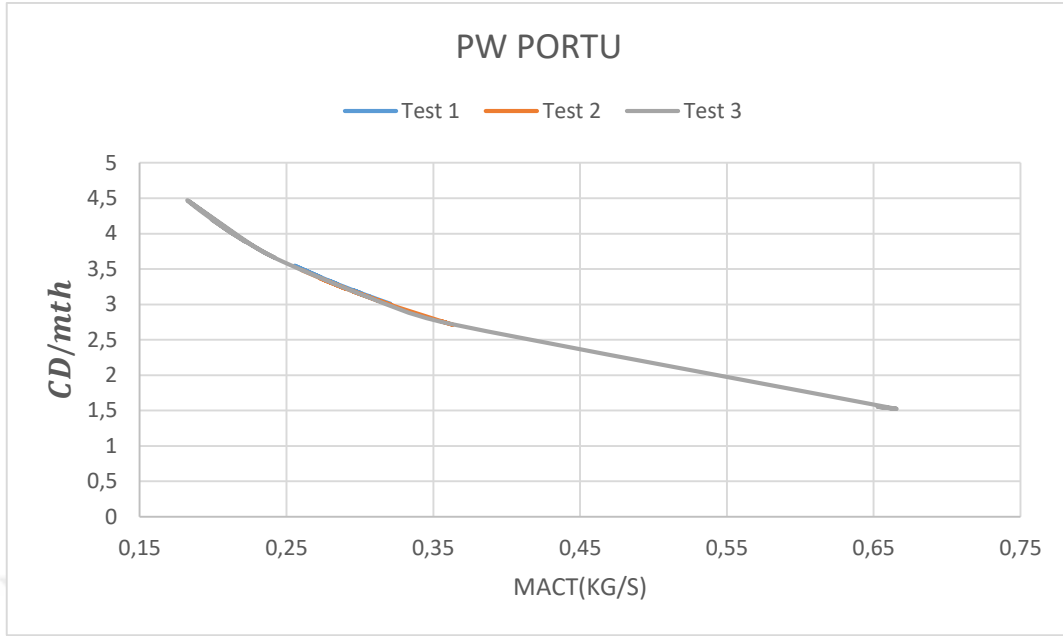
P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	P_{DPW} (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
90900	88800	2100	287,45	0,1830	3,8081	0,2403
91100	88900	2200	287,45	0,1872	3,7313	0,2468
90800	88800	2000	287,45	0,1787	3,8890	0,2337
91000	88700	2300	287,35	0,1916	3,6639	0,2529
91000	88700	2300	287,35	0,1916	3,6639	0,2529
91000	88700	2300	287,35	0,1916	3,6639	0,2529
90900	88700	2200	287,35	0,1874	3,7342	0,2466
90800	88600	2200	287,35	0,1875	3,7371	0,2465
91000	88600	2400	287,35	0,1958	3,5981	0,2589
91000	88400	2600	287,35	0,2039	3,4774	0,2703
91000	88500	2500	287,35	0,1999	3,5358	0,2647
91000	88400	2600	287,35	0,2039	3,4774	0,2703
91000	88300	2700	287,35	0,2079	3,4204	0,2759
90900	88400	2500	287,35	0,2000	3,5384	0,2645
91000	88300	2700	287,35	0,2079	3,4204	0,2759
90900	88300	2600	287,35	0,2040	3,4787	0,2702
91200	88200	3000	287,35	0,2191	3,2635	0,2920
90900	88200	2700	287,35	0,2080	3,4228	0,2757
90900	88200	2700	287,35	0,2080	3,4228	0,2757
91000	88000	3000	287,35	0,2194	3,2667	0,2917
90800	88200	2600	287,35	0,2041	3,4811	0,2700
91000	88000	3000	287,35	0,2194	3,2667	0,2917
91000	87900	3100	287,35	0,2231	3,4811	0,2967
90800	88000	2800	287,35	0,2120	3,2667	0,2809
90900	87900	3000	287,35	0,2195	3,2194	0,2915

Çizelge 4.32 PW Portu için Test 2 Sonuçları

P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	P_{DPW} (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
91800	89700	2100	280	0,2558	3,7401	0,2447
92200	89600	2600	280	0,2844	3,4092	0,2757
92000	89800	2200	280	0,2619	3,6639	0,2514
92000	89800	2200	280	0,2619	3,6639	0,2514
91900	89700	2200	280	0,2618	3,6660	0,2512
92100	89700	2400	280	0,2734	3,5298	0,2638
92100	89700	2400	280	0,2734	3,5298	0,2638
92000	89600	2400	280	0,2732	3,5318	0,2637
92000	89300	2700	280	0,2893	3,3578	0,2810
92000	89500	2500	280	0,2787	3,4709	0,2696
91800	89300	2500	280	0,2784	3,4748	0,2693
91800	89200	2600	280	0,2837	3,4168	0,2751
92100	89300	2800	280	0,2946	3,3033	0,2867
91900	89100	2800	280	0,2943	3,3070	0,2864
92100	89100	3000	280	0,3046	3,2049	0,2973
92000	89000	3000	280	0,3044	3,2068	0,2971
91900	89100	2800	280	0,2943	3,3070	0,2864
91900	89100	2800	280	0,2943	3,3070	0,2864
92000	88700	3300	280	0,3187	3,0739	0,3122
92000	88800	3200	280	0,3140	3,1164	0,3073
92100	88300	3800	280	0,3411	2,8827	0,3354
91900	88300	3600	280	0,3320	2,9576	0,3261
92100	88300	3800	280	0,3411	2,8827	0,3354
92000	88000	4000	280	0,3494	2,8177	0,3439
91800	88100	3700	280	0,3362	2,9228	0,3304

Çizelge 4.33 PW Portu için Test 3 Sonuçları

P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	P_{DPW} (Pa)	T (K)	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
92100	90800	1300	279,35	0,2028	4,5352	0,1865
92000	90900	1100	279,35	0,1867	4,8546	0,1691
91900	91100	800	279,35	0,1594	5,5318	0,1405
92000	90900	1100	279,35	0,1867	4,8546	0,1691
92100	90800	1300	279,35	0,2028	4,5352	0,1865
91900	90500	1400	279,35	0,2101	4,4063	0,1945
92100	90800	1300	279,35	0,2028	4,5352	0,1865
92200	90600	1600	279,35	0,2247	4,1675	0,2104
92000	90600	1400	279,35	0,2102	4,4039	0,1946
91800	90700	1100	279,35	0,1864	4,8599	0,1689
91900	90700	1200	279,35	0,1947	4,6893	0,1778
92000	90600	1400	279,35	0,2102	4,4039	0,1946
92100	90600	1500	279,35	0,2176	4,2804	0,2026
92200	90600	1600	279,35	0,2247	4,1675	0,2104
92100	90500	1600	279,35	0,2246	4,1698	0,2103
92200	90300	1900	279,35	0,2444	3,8848	0,2321
91700	89400	2300	279,35	0,2675	3,5976	0,2575
91900	88300	3600	279,35	0,3325	2,9539	0,3265
91900	77900	14000	279,45	0,6126	1,6268	0,6106
91900	78200	13700	279,45	0,6073	1,6409	0,6052
91800	78100	13700	279,45	0,6069	1,6420	0,6048
91800	78100	13700	279,45	0,6069	1,6420	0,6048
92000	78100	13900	279,45	0,6113	1,6304	0,6092
91700	78300	13400	279,45	0,6011	1,6581	0,5991
91900	78700	13200	279,45	0,5982	1,6665	0,5963



Şekil 4.52 PW Portundan Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

4.3.3.4. Port verilerinden ısı sığa hesaplanması

Isıl sığanın hesaplanması için kullanılan yöntem Bölüm 3.1.3’de belirtilmiş olup 3.23 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilmektedir. İlgili eşitlikte belirtilen T değerleri sıcaklık değerleri olup Kelvin cinsinden hesaplamalara dâhil edilmektedir. Ortam nemi h olarak belirtilmektedir. İlgili sıcaklık ve nem değerleri kalibrasyon işleminin gerçekleştirildiği ortama ait değerlerdir.

Çizelge 4.34, Çizelge 4.35 ve Çizelge 4.36’de GA, CC ve PW portlarından test 1 esnasında alınan toplam ve statik basınç değerleri ile hesaplanan ısı sığa değeri ile yapılan işlemler ardından bulunan teorik mach sayısı, teorik kütlesel debi, deşarj katsayısı ve gerçek kütlesel debi değerleri bulunmaktadır. İlgili hesaplamalar portlardan alınan her bir toplam ve statik basınç değeri ayrı ayrı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isıl sığa hesaplaması örnek teşkil etmesi açısından test 1 özelinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.34 GA Portu Test Sonuçları Analizi-Test 1

P_{TGA} (Pa)	P_{SGA} (Pa)	P_{DGA} (Pa)	T (K)	h (%)	Isıl Sığa	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
91300	88900	2400	287,45	53,6	1,3259	0,2008	3,544	0,2553
91100	89000	2100	287,45	53,6	1,3259	0,1878	3,7724	0,2382
91500	88700	2800	287,45	53,6	1,3259	0,2169	3,2995	0,2765
91400	88700	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2131	3,3551	0,2714
91300	88600	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2132	3,3575	0,2712
91400	88900	2500	287,35	53,8	1,3261	0,2049	3,4752	0,2609
91300	88500	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2172	3,3029	0,2763
91200	88700	2500	287,35	53,8	1,3261	0,2051	3,479	0,2606
91300	88600	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2132	3,3575	0,2712
91200	88400	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2173	3,304	0,2761
91300	88500	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2172	3,3029	0,2763
91300	88700	2600	287,35	53,8	1,3261	0,2091	3,4153	0,266
91400	88100	3300	287,35	53,8	1,3261	0,236	3,0645	0,3006
91400	88400	3000	287,35	53,8	1,3261	0,2248	3,1989	0,2863
91300	88500	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2172	3,3029	0,2763
91300	88200	3100	287,35	53,8	1,3261	0,2287	3,1534	0,291
91200	88400	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2173	3,304	0,2761
91500	88200	3300	287,35	53,8	1,3261	0,2359	3,0625	0,3008
91300	88200	3100	287,35	53,8	1,3261	0,2287	3,1534	0,291
91300	88100	3200	287,35	53,8	1,3261	0,2325	3,1093	0,2958
91400	88300	3100	287,35	53,8	1,3261	0,2286	3,1524	0,2912
91400	88000	3400	287,35	53,8	1,3261	0,2397	3,0239	0,3052
91500	88100	3400	287,35	53,8	1,3261	0,2395	3,022	0,3054
91500	88100	3400	287,35	53,8	1,3261	0,2395	3,022	0,3054
91500	87800	3700	287,35	53,8	1,3261	0,2501	2,91	0,3188

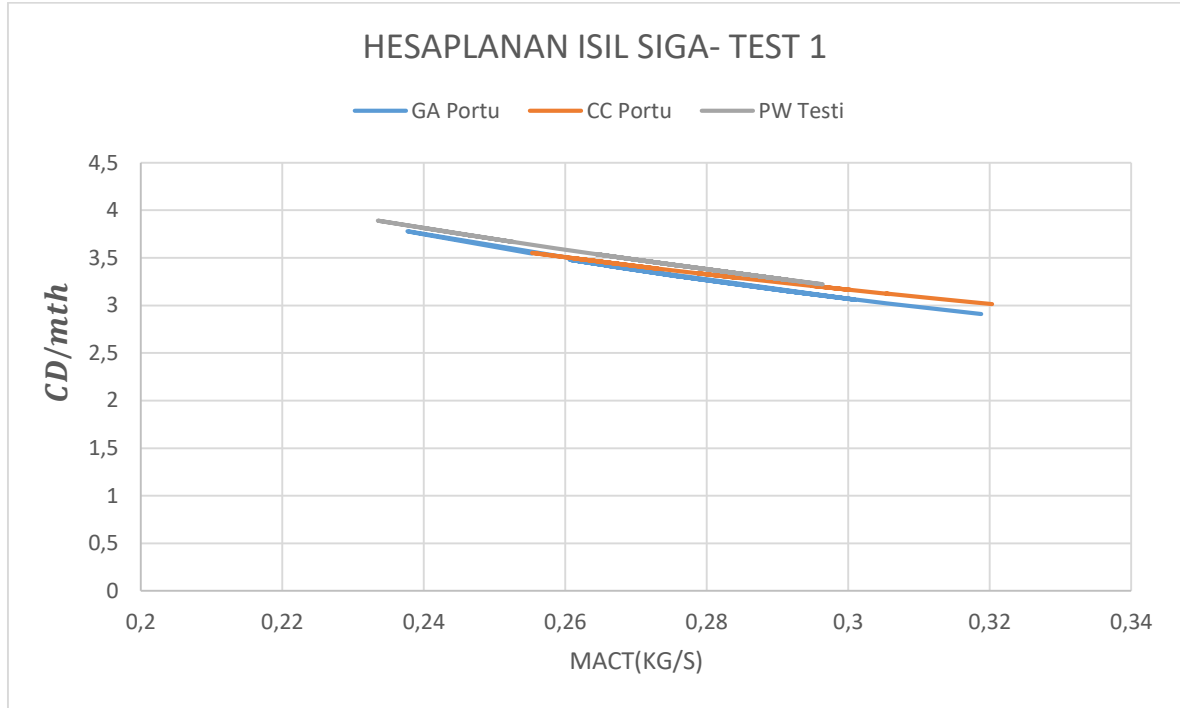
Çizelge 4.35 CC Portu Test Sonuçları Analizi-Test 1

P_{Tcc} (Pa)	P_{Scc} (Pa)	P_{Dcc} (Pa)	T (K)	h (%)	Isıl Sığa	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
91200	88600	2600	287,45	53,6	1,3259	0,2092	3,4371	0,26733
91300	88700	2600	287,45	53,6	1,3259	0,2091	3,4359	0,26749
91100	88700	2400	287,45	53,6	1,3259	0,201	3,5516	0,2553
91100	88500	2600	287,35	53,8	1,3261	0,2093	3,4384	0,26723
91200	88500	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2133	3,3848	0,27315
91000	88500	2500	287,35	53,8	1,3261	0,2053	3,4948	0,2612
91100	88600	2500	287,35	53,8	1,3261	0,2052	3,4935	0,26135
91100	88400	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2134	3,3871	0,27299
91300	88400	2900	287,35	53,8	1,3261	0,2211	3,2874	0,28451
91200	88300	2900	287,35	53,8	1,3261	0,2212	3,2896	0,28435
91200	88300	2900	287,35	53,8	1,3261	0,2212	3,2896	0,28435
91200	88300	2900	287,35	53,8	1,3261	0,2212	3,2896	0,28435
91100	88300	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2174	3,3383	0,27865
91200	88300	2900	287,35	53,8	1,3261	0,2212	3,2896	0,28435
91200	88200	3000	287,35	53,8	1,3261	0,2251	3,2453	0,28979
91200	88100	3100	287,35	53,8	1,3261	0,2289	3,202	0,29512
91200	88000	3200	287,35	53,8	1,3261	0,2326	3,1616	0,30036
91100	87900	3200	287,35	53,8	1,3261	0,2327	3,1626	0,30019
91000	87900	3100	287,35	53,8	1,3261	0,2291	3,2062	0,29479
91400	88100	3300	287,35	53,8	1,3261	0,236	3,118	0,30584
91100	87800	3300	287,35	53,8	1,3261	0,2364	3,124	0,30532
91200	87800	3400	287,35	53,8	1,3261	0,2399	3,0842	0,31054
91200	87800	3400	287,35	53,8	1,3261	0,2399	3,0842	0,31054
91300	87800	3500	287,35	53,8	1,3261	0,2434	3,046	0,31566
91200	87600	3600	287,35	53,8	1,3261	0,2471	3,0123	0,32034

Çizelge 4.36 PW Portu Test Sonuçları Analizi-Test 1

P_{TPW} (Pa)	P_{SPW} (Pa)	P_{DPW} (Pa)	T (K)	h (%)	Isıl Sığa	$\dot{m}_{th}$	$\frac{C_D}{\dot{m}_{th}}$	$\dot{m}_{act}$ (kg/s)
90900	88800	2100	287,45	53,6	1,3259	0,188	3,8112	0,2401
91100	88900	2200	287,45	53,6	1,3259	0,1923	3,7342	0,2467
90800	88800	2000	287,45	53,6	1,3259	0,1835	3,8906	0,2335
91000	88700	2300	287,35	53,8	1,3261	0,1968	3,6667	0,2527
91000	88700	2300	287,35	53,8	1,3261	0,1968	3,6667	0,2527
91000	88700	2300	287,35	53,8	1,3261	0,1968	3,6667	0,2527
90900	88700	2200	287,35	53,8	1,3261	0,1925	3,7371	0,2464
90800	88600	2200	287,35	53,8	1,3261	0,1926	3,7401	0,2463
91000	88600	2400	287,35	53,8	1,3261	0,2011	3,6007	0,2586
91000	88400	2600	287,35	53,8	1,3261	0,2095	3,4799	0,2701
91000	88500	2500	287,35	53,8	1,3261	0,2053	3,5384	0,2644
91000	88400	2600	287,35	53,8	1,3261	0,2095	3,4799	0,2701
91000	88300	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2135	3,424	0,2756
90900	88400	2500	287,35	53,8	1,3261	0,2054	3,541	0,2643
91000	88300	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2135	3,424	0,2756
90900	88300	2600	287,35	53,8	1,3261	0,2096	3,4824	0,2699
91200	88200	3000	287,35	53,8	1,3261	0,2251	3,2667	0,2917
90900	88200	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2137	3,4252	0,2755
90900	88200	2700	287,35	53,8	1,3261	0,2137	3,4252	0,2755
91000	88000	3000	287,35	53,8	1,3261	0,2253	3,27	0,2914
90800	88200	2600	287,35	53,8	1,3261	0,2097	3,4837	0,2698
91000	88000	3000	287,35	53,8	1,3261	0,2253	3,27	0,2914
91000	87900	3100	287,35	53,8	1,3261	0,2291	3,2236	0,2964
90800	88000	2800	287,35	53,8	1,3261	0,2178	3,3741	0,2807
90900	87900	3000	287,35	53,8	1,3261	0,2254	3,2722	0,2912

Şekil 4.53’de hesaplanan ısıl sığa değerine göre değişim gösteren $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranına ait bilgilendirme gerçekleştirilmiştir. Şekilde de gözlemlenmiş olduğu için ısıl sığa üzerinde yapılan hesaplamalar $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranı üzerinde herhangi büyük bir değişikliğe sebep olmamaktadır.



Şekil 4.53 Motor Yer Testlerinden Elde Edilen $\frac{C_D}{m_{th}}$ oranının Gerçek Kütlesel Debi ile Değişimi

Bölüm 4.2.35’te kalibrasyon testlerinden elde edilen ısı sığasının sabit ve değişken olmasının hava debisinde büyük bir değişiklik oluşturmadığı sonucunu teyit etmek amacıyla motor yer testlerinde elde edilen sonuçlar için de ısıl sığa değeri hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan motor yer testlerinde de ısıl sığa değerinin kabulü ve hesaplanması yöntemleri üzerinde çalışılmış olup, ilgili sonuçlar ile yapılan karşılaştırmalar Çizelge 4.37’te belirtilmiştir. Sunulan verilerde, gerçek kütlesel debinin ısı sığasının sabit kabul edilmesi ve hesaplanması durumlarına göre gösterdiği değişiklik Çizelge 4.37, Çizelge 0.38 ve Çizelge 0.39’da belirtilmektedir. Çizelge de gösterilmiş olduğu gibi hava debisinde büyük bir değişiklik olmamıştır. Bu durumda tüm işlemlerin sabit ısıl sığa olan 1.4 ile hesaplanmasının uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Çizelge 4.37 Gerçek Kütlesel Debi Karşılaştırılması-Motor Yer Testleri (CC Portu)

CC Portu		
1.Yöntem	2.Yöntem	Fark
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)		
0,2676	0,2673	0,0002
0,2677	0,2675	0,0002
0,2555	0,2553	0,0002
0,2675	0,2672	0,0002
0,2734	0,2731	0,0002
0,2614	0,2612	0,0002
0,2616	0,2613	0,0002
0,2732	0,2730	0,0002
0,2848	0,2845	0,0003
0,2846	0,2843	0,0003
0,2846	0,2843	0,0003
0,2846	0,2843	0,0003
0,2789	0,2786	0,0003
0,2846	0,2843	0,0003
0,2901	0,2898	0,0003
0,2954	0,2951	0,0003
0,3007	0,3004	0,0003
0,3005	0,3002	0,0003
0,2951	0,2948	0,0003
0,3062	0,3058	0,0003
0,3057	0,3053	0,0003
0,3109	0,3105	0,0004
0,3109	0,3105	0,0004
0,3160	0,3157	0,0004
0,3207	0,3203	0,0004
0,3304	0,3300	0,0004

Çizelge 0.38 Gerçek Kütlesel Debi Karşılaştırılması-Motor Yer Testleri (GA Portu)

GA Potu		
1.Yöntem	2.Yöntem	Fark
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)		
0,2555	0,2553	0,0002
0,2384	0,2382	0,0002
0,2768	0,2765	0,0003
0,2716	0,2714	0,0002
0,2714	0,2712	0,0002
0,2611	0,2609	0,0002
0,2868	0,2865	0,0003
0,2714	0,2712	0,0002
0,2608	0,2606	0,0002
0,2764	0,2761	0,0003
0,2765	0,2763	0,0003
0,2663	0,2660	0,0002
0,3009	0,3006	0,0003
0,2866	0,2863	0,0003
0,2765	0,2763	0,0003
0,2913	0,2910	0,0003
0,2764	0,2761	0,0003
0,3011	0,3008	0,0003
0,2913	0,2910	0,0003
0,2961	0,2958	0,0003
0,2915	0,2912	0,0003
0,3055	0,3052	0,0003
0,3057	0,3054	0,0003
0,3057	0,3054	0,0003
0,3192	0,3188	0,0004
0,3099	0,3096	0,0004

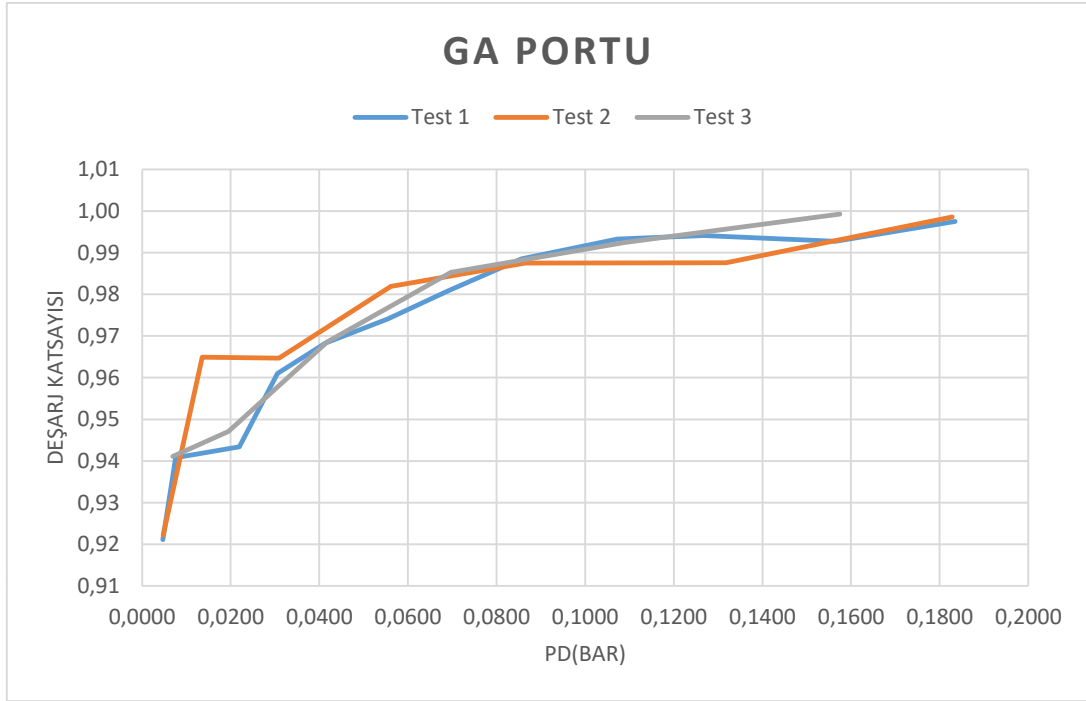
Çizelge 0.39 Gerçek Kütlesel Debi Karşılaştırılması-Motor Yer Testleri (PW Portu)

PW Portu		
1.Yöntem	2.Yöntem	Fark
$\dot{m}_{act}$ (kg/s)		
0,2403	0,2401	0,0002
0,2468	0,2467	0,0002
0,2337	0,2335	0,0002
0,2529	0,2527	0,0002
0,2529	0,2527	0,0002
0,2529	0,2527	0,0002
0,2466	0,2464	0,0002
0,2465	0,2463	0,0002
0,2589	0,2586	0,0002
0,2703	0,2701	0,0002
0,2647	0,2644	0,0002
0,2703	0,2701	0,0002
0,2759	0,2756	0,0002
0,2645	0,2643	0,0002
0,2759	0,2756	0,0002
0,2702	0,2699	0,0002
0,2920	0,2917	0,0003
0,2757	0,2755	0,0002
0,2757	0,2755	0,0002
0,2917	0,2914	0,0003
0,2700	0,2698	0,0002
0,2917	0,2914	0,0003
0,2967	0,2964	0,0003
0,2809	0,2807	0,0003
0,2915	0,2912	0,0003
0,3111	0,3108	0,0004

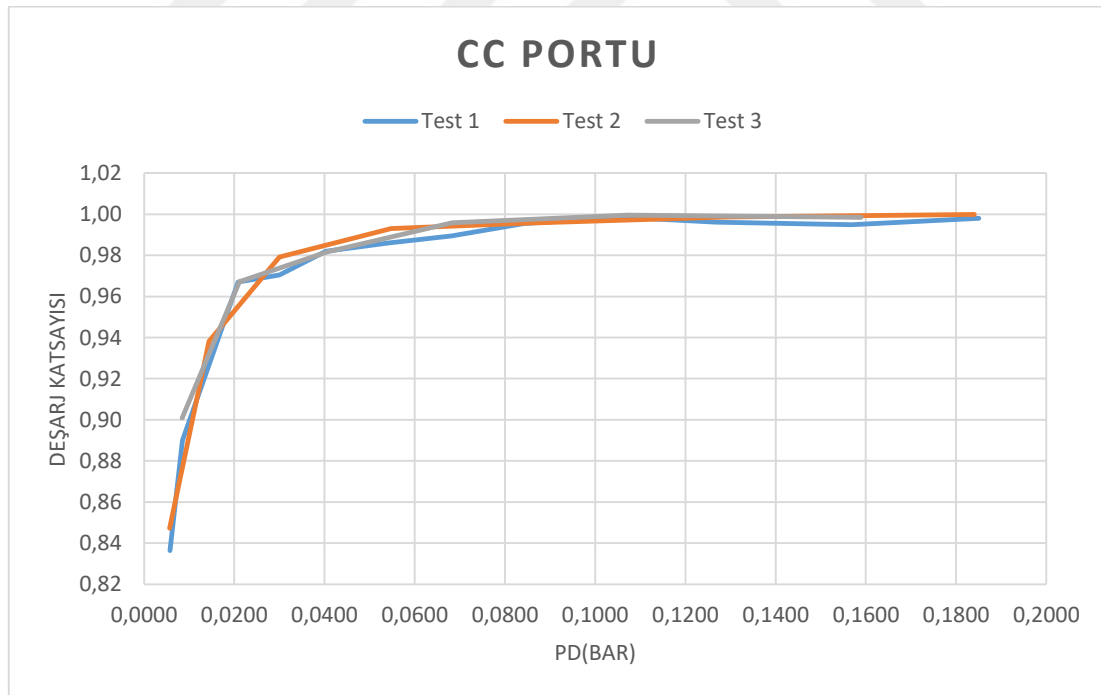
5.BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında bellmouth kalibrasyonu ve kalibrasyon ardından motor yer testlerinin gerçekleştirilmesi ile teorik olarak kullanılan hesaplama yöntemlerinin motor yer testlerinde incelenmesi sağlanmıştır.

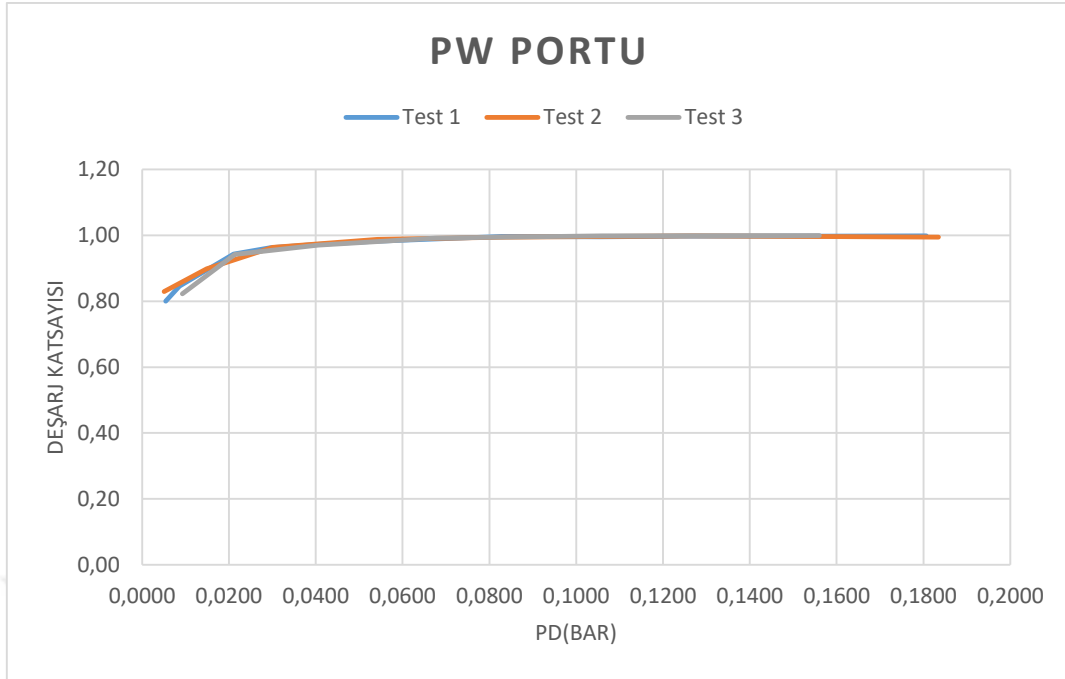
Deşarj katsayısı ana hava debisini hesaplarken kullanılacak bir değişkendir. Altyüklenici tarafından yayınlanan raporda kullanım şekli gözden kaçırılarak deşarj katsayısı debiye bağlı bir denklem ile verilmiştir. Debiyi iterasyon yaparak bulmak kullanışlı bir yöntem değildir. Bu durum ışığında ifade edebiliriz ki deşarj katsayısı debiden bağımsız bir şekilde formüle edilmelidir. Bu ifadeyi motor testlerinde de ölçülen dinamik basınç ile ifade etmek kullanım açısından çok daha uygundur ve bu raporda izlenen yöntem de bu olacaktır. Aşağıda Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 numaraları ile verilen grafiklerde deşarj katsayılarının dinamik basınca göre değişimi verilmiş ve korelasyonlar bu grafiklere göre hazırlanmıştır. Ayrıca her bir grafikte ölçümlerin belirsizlikleri hata sütunları ile belirtilmiş ve ölçüm sonuçları için çıkarılan denklemler ile beraber gösterilmektedir.



Şekil 5.1 GA Parametresi için Deşarj Katsayılarının Dinamik Basınç ile Değişimi



Şekil 5.2 CC Parametresi için Deşarj Katsayılarının Dinamik Basınç ile Değişimi



Şekil 5.3 PW Parametresi için Deşarj Katsayılarının Dinamik Basınç ile Değişimi

KY parametreleri deşarj katsayısı 1'den büyük değerler gösterdiğinden dolayı hesaplamalardan çıkarılmışlardır. Deşarj katsayısının 1'den büyük olması fiziksel olarak anlamsızdır ve bu analitik açıdan doğru bir yaklaşımdır. Ancak burada ölçüm tekniğindeki zorluklar gözden kaçmaktadır. Statik basınç ölçümü için açılan deliğin geometrisindeki hatalar bellmouth'un deşarj katsayısının 1'den büyük hesaplanmasına sebep olabilir. Burada dikkat edilmesi gereken ölçümlerin anlamlı ve kendi içinde tutarlı olup olmadığıdır, bellmouth kalibrasyonu sırasında alınan datalar incelendiğinde KY parametrelerinin test sırasında benzer davrandıkları görülmüştür. Yani bu parametreler ölçümsel olarak anlamlıdır. Yapılması gereken her bir ölçüm noktasındaki dinamik basınç için ayrı ayrı deşarj katsayısının hesaplanmasıdır.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilmiş olan yer testlerinde ana hava debisi hesabı sırasında izlenen yöntem ölçülen toplam basınç ve statik basınçlardan dinamik basıncın hesaplanmasıdır. Dinamik basıncın bulunması ardından, 3.20 ve 3.22 eşitsizlikler ve yapılan testlerden elde edilen veriler kullanılarak gerçek kütleli debi hesaplanmıştır.

Yukarıda elde edilen sonuçların ışığında debi hesaplamaları her bir parametre için ayrı ayrı yapılmıştır. Aslına bakılırsa bu hesaplama yöntemi kendi içinde bir doğrulama da içermektedir. Eğer her parametrede deşarj katsayısı denklemleri kullanılarak yapılan hesaplar doğru ise kalibrasyon eğrisi çıkartılan CC, GA ve PW parametrelerinde hesaplanan hava debilerinin birbirlerine çok yakın olması gerekmektedir. Nitekim hesaplanan değerlerde üç portun hava debisinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Yapılan bellmouth kalibrasyonu çalışmasının başarılı olduğu söylenebilir. Bu raporda ölçülen değerlerin işlenmesi ile ilgili olası hatalar değerlendirilmiş bellmouth kalibrasyonu testinden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Detaylı çalışma ile korelasyonlar hazırlanmıştır. Oluşturulan bu çalışma sayesinde yapılacak testlerde debi hassas ve doğru bir şekilde hesaplanabilecek olup bu rapor alınan ölçümlerin ne kadar doğru ve güvenilir olduğunu da ortaya koymuştur.

İlgili tez çalışması kapsamında, uçak motorunu testler esnasında emiş yaptığı havanın hava debisi hesaplanma yöntemlerinin nasıl hesaplanması yönünde bilgi aktarılmıştır. Bu çalışma kapsamında görüldüğü gibi kalibrasyonlu bellmouth ile gerçekleştirilen testlerin kalibrasyon test verileri ile analizinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. İlgili çalışma ile, hava debi miktarının hesaplanması sağlanmış olup bu kapsamda hesaplamaların gerçekleştirilmesi için kullanılacak yöntem olarak yol gösterici niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma ardından gerçekleştirilecek uçak uçuş testleri ile kalibrasyon test verileri ve yer test verileri karşılaştırılacaktır. Yapılacak uçuş testlerinde uçak motorunun bellmouthlu testinin gerçekleştirilmesi ve bellmouth üzerinde bulunan sensörlerden ölçüm alınması gerekmektedir.

Literatürde bellmouth kalibrasyonu ile ilgili çalışmalar bulunmasına rağmen bellmouth kalibrasyon test verilerin uçak motoru test verileri ile karşılaştırılmasını içeren kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışması, kalibrasyon test verilerinin ve motor test verilerinin değerlendirilmesi ve izantropik akış denklemlerinin test verilerinin analizinde kullanılması için yol gösterici niteliği taşımaktadır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anecom, 2016, Whole Engine Test, <https://www.anecom.de/services/aerodynamic-testing/whole-engine-tests/>, erişim tarihi:11.10.2017
- Anonim, -, Reynolds Number& Pipe Flow, <https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-000-how-and-why-machines-work-spring-2002/study-materials/TurbulentFlow.pdf>, erişim tarihi: 05.01.2018
- Apurva, T., Patel S., Lad, Arpit., Mistry, C., 2016 Development of Bellmouth for Low Speed Axial Flow Compressor Testing Facility, p.1
- Atec, 2017, Engine Test Adapters, <https://www.atec.com/support-equipment-systems/engine-test-adapters/>, erişim tarihi: 11.10.2017
- Chabane, S., Sesmat, S., Hubert, D., Wartelle, C., vd., 2015, Reynolds Number-Dependent Mass Flow Rate Calculation for Pneumatic Pipes,
- Grounds, T., 2015, GE 3D Prints a Working Jet Engine, unbonmotgroundswell.blogspot.com.tr/2015/05/ge-3d-prints-working-jet-engine.html, erişim tarihi: 05.01.2018
- GTS, 2017, Capabilities, <http://www.groundtestsolutions.com/pages/services.html>, erişim tarihi: 11.10.2017
- ISO 5167-3, 2003, Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular-Cross Section Conduits Running Full- Part 3: Nozzles and Venturi Nozzles
- Japan Air Tec, -, Gas Turbines, http://www.j-airtec.co.jp/e_gas.html, erişim tarihi: 05.01.2018
- Jones, F., 1983, Calculation of Compressibility Factor for Air Over the Ranges of Pressure, Temperatur, and Relative Humidity of Interest in Flowmeter Calibration, U.S. Department of Commerce, NSIR 83-2652.
- Keller, R., Dimow M., 1993, Calibration System For Air Metering Bellmouth, United States Patent.
- Linfield, K., 2000, A Study of the Discharge Coefficient of Jets From Angled Slots and Conical Orifices,
- Lufthansa, 2014, Testing, testing, <https://www.lufthansa-technik.com/engine-test>, erişim tarihi: 14.11.2017

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nakao, S., Yokoit, Y., Takamoto, M., 1997, Development of a Calibration Facility for Small Mass Flow Rates of Gas and the Uncertainty of a Sonic Venturi Transfer Standard, p.83
- NASA,1976, 20 Inch Fan Engine Model Bellmouth Configuration- Acoustic Muffler
- NASA, 2009, Air Viscosity, <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/viscosity.html>, erişim tarihi: 10.01.2018
- NASA, 2015 a, Mass Flow Rate, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/mflow.html>, erişim tarihi: 14.11.2017
- NASA, 2015 b, Equation of State (Ideal Gas), <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/eqstat.html>, erişim tarihi: 14.11.2017
- NASA,2015 c, Dynamic Pressure, <http://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/dynpress.html>., erişim tarihi:14.11.2017
- NASA, 2018 a, Mass Flow Choking, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/mflchk.html>, erişim tarihi: 10.04.2018
- NASA, 2018 b, Isentropic Flow, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/isentrop.html>, erişim tarihi: 10.04.2018
- Price Induction, -, Westt Br Real Engine Test Bench, www.price-induction.com/westt-solutions/westt-br/ , erişim tarihi: 05.01.2018
- Shafie, M., Said M., 2017, Discharge and Flow Coefficient Analysis in Internal Combustion Engine Using Computational Fluid Dynamics Simulations, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.
- Smith, S.,1985, Airflow Calibration of a Bellmouth Inlet for Measurement of Compressor Airflow in Turbine-Powered Propulsion Simulators,
- Subramanian, R., Reynolds Number, <http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Reynolds%20Number.pdf>, erişim tarihi: 05.01.2018

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Urieli, I., 2015, Specific Heat Capacities of Air,
[https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/air/air_Cp_Cv.ht](https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/air/air_Cp_Cv.html)
[ml](https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/air/air_Cp_Cv.html) erişim tarihi: 14.11.2017

