T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL YAKICI YÜZEYLERDE, YANMA MODELLENMESİNİN TEORİK VE DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Ali H. ABDULKARİM

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

Nisan-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ali H. ABDULKARİM tarafından hazırlanan "Metal Yakıcı Yüzeylerde, Yanma Modellenmesinin Teorik ve Deneysel Araştırılması" adlı tez çalışması 07/04/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Şefik BİLİR	.....
Danışman Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK	.....
Üye Prof. Dr. Yüksel KAPLAN	.....
Üye Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP	.....
Üye Doç. Dr. Halil Kürşad ERSOY	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

* Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 114M059 nolu proje ve BAP tarafından 13201008 nolu proje ile desteklenmiştir.

** Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ali H. ABDULKARİM

Tarih: 07.04.2016

ÖZET

DOKTORA TEZİ

METAL YAKICI YÜZEYLERDE, YANMA MODELLENMESİNİN TEORİK VE DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Ali H. ABULKARİM

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
2. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ

2016, 135 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Prof. Dr. Şefik BİLİR
Prof. Dr. Yüksel KAPLAN
Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP
Doç. Dr. Halil Kürşad ERSOY

Bilindiği gibi, tam yanma için zaman, sıcaklık ve iyi bir karışımın olması gerekir. Bu üç temel yaklaşımdan biri eksik veya yeterli olmazsa eksik yanma olur. Bu çalışmada günümüzde konvansiyonel yakıcılar yerine kullanılmak üzere tam yanmanın gerçekleştiği silindirik formda, düşük emisyonlu, poroz metal matrix radyant premix gaz yakıcı geliştirildi ve prototipi gerçekleştirildi. Hazırlanan prototip üzerinde deney düzeneği kuruldu ve ölçüm değerleri alındı.

Yanmanın matematik modeli için karışımın fiziksel özellikleri, korunum yasası, gececi rejimde sıkıştırılabilir akış için süreklilik ve momentumun korunumu denklemleri sıkıştırılabilir akış için iki boyutlu silindirik koordinatlarda yazıldı. Ayrıca enerji denkleminin radyal yönünde ifadesi ve enerjinin korunumu bağlantıları yazıldı.

Matematik model oluşturulurken gaz ve katı ortam için yazılan denklemler, iki kademe için de yazıldı. Sayısal çözüm için MATLAB programlama dilinde bir bilgisayar programı geliştirildi. Sayısal çözüm yöntemi olarak "sonlu farklar" yöntemi kullanıldı. Sayısal çözümde seçilen hesaplama ağı yoğunluğunun bulgular üzerindeki hata oranını belirlemek için bir Ağ Yakınsama İndeksi (yaklaşımı) kullanıldı. Yakınsama belirsizliğinin tahmini ve sayısal hesaplama hatalarının istenen bir sınırın altında kalıp kalmadığını belirlemek için GCI analizi yapıldı. Yapılan GCI analizinde sayısal çözümün grid sayısından bağımsız olduğu görüldü. Ayrıca MATLAB programı ile yapılan analize ek olarak STAR CCM ile akış analizi yapıldı. Her iki analizlerden çıkan sonuçların literatürdeki benzer çalışmalarla uyum içinde olduğu görüldü. Deneysel sonuçlar ise ayrıca değerlendirildi. Deney sonuçlarına göre geliştirilen prototipin ısıl verim yönünden daha önce çalışılan standart yoğuşmalı kombilere göre daha iyi bir performans sağlandığı tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Akış Analizi, Kompakt Isı Değiştiricisi, Matematik Modelleme, Silindirik Yakıcı, Simülasyon, Yoğuşmalı Kazan.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COMBUSTION MODELING AT METAL BURNER SURFACES

Ali H. ABDULKARİM

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCEOF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREEOF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
2nd Advisor: Assit. Prof. Dr. Ali ATEŞ

2016,135 Pages

Jury
Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Prof. Dr. Şefik BİLİR
Prof. Dr. Yüksel KAPLAN
Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP
Assoc. Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY

As it is known, time, temperature and a good mixture are required for a complete combustion. Poor combustion takes place when one of these three elements is missing or insufficient. In this study, porous metal matrix radiant premix gas burner in cylindrical form in which complete combustion takes place with low emissions was developed in order to be used instead of conventional burner used in our time and its prototype was manufactured. An experimental setup was established for the prototype and measurement values were taken.

Physical properties of the mixture, continuity were written for the mathematical model of the combustion, continuity and momentum conservation equations were written for transient compressible flow, expression of momentum conservation equation in axial and radial directions in two dimensional geometry were written for compressible flow and energy conservation equation were written.

The equations written for gas and solid mediums during forming mathematical model were written for both levels. A computer software was developed in MATLAB programming language for the numerical solution. "Finite Differences" method was used as numerical solution method. A Grid Convergence Index (approach) was utilized in order to determine the error rate of computational grid intensity selected for the numerical solution on the findings. GCI analysis was conducted to determine whether the numerical calculation error stayed under a desired limit and to estimate convergence uncertainty. It was seen that numerical solution was independent from the grid number by the conducted GCI analysis. Additionally, flow analysis was performed via STAR CCM as an addition to the analysis in MATLAB software. The results from both analyses were compared to experimental results and it was seen that the results are in accordance to each other. Experimental results were interpreted separately. It was determined that the prototype developed according to the experimental results exhibits a better performance comparing to the standard condensing combined burners tested before in respect of thermal efficiency.

Keywords: Cilindirical Burner, Combi Boiler, Compact Heat Exchanger, Condensation Boiler, Flow Analysis, Mathmetical Modelling, Simulation.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışma esnasında desteğini ve değerli fikirlerini esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK'a, Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ'e, ayrıca tezimde katkısı olan saygı değer öğretim üyesi hocalarıma, çalışmam boyunca bana her türlü desteği sağlayan, moral veren, her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen eşime ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ali H. ABDULKARİM
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Poroz Yapı ve Özelliği 1
1.2. Poroz Ortamın Uygulama Alanları 3
1.2.1. Gaz Yakıcılar 3
1.2.2. Poroz Metal Gaz Yakıcılar 4
1.3. Tezin Amacı 5

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **14**

3.1. Materyal 14
3.1.1. Deneysel çalışma 14
3.1.1.1. Çift kademeli matriks yakıcı 16
3.1.1.2. BK-G4 tip gaz sayacı 23
3.1.1.3. Manometreler: 24
3.1.1.4. Su sayacı 25
3.1.1.5. Lazer sıcaklık okuyucular 25
3.1.1.6. Termoelemanlar 26
3.1.2. Bilgisayar yazılımı 27
3.1.3. Akış analizi paket programı 27
3.2. Metod 27
3.2.1. Yanma 27
3.2.1.1. Az hava ile yanma (eksik yanma) 28
3.2.1.2. Fazla hava ile yanma 28
3.2.1.3. Tam yanma 28
3.2.1. Karışımın fiziksel özelliklerini veren bağıntılar 29
3.2.2 Kontrol Hacmi İçin Enerji denklemi 30
3.2.3. Sınır şartları 35
3.2.3.1. Denklemlerin ayrıklaştırılması 35
3.2.4. Bilgisayar Programı 39
3.2.5. Sayısal Çözümün Gridden Bağımsızlığı ve GCI Analizi: 40
3.2.6. Matlab program ile yapılan analizler ve irdeleme 42
3.2.7. Star CCM ile yapılan akış analizi ve irdeleme 49

4.DENEYSELÇALIŞMA……55
4.1. Deneysel Veriler 57

4.2. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi 57
4.2.1. Deney 1, Deney 2 ve Deney 3' e ait yorumlar……..57
4.3. Hata Analizi 65
4.4. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Ölçümü 70

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER 71

5.1. Sonuçlar 71
5.2. Öneriler 72

KAYNAKLAR 74

EKLER 77

ÖZGEÇMİŞ 124

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a_E : Kontrol hacmi için doğu yönü noktasına ait katsayı

a_N : Kontrol hacmi için kuzey yönü noktasına ait katsayı

a_P : Kontrol hacım merkezine ait katsayı

a_S : Kontrol hacmi için güney yönü noktasına ait katsayı

a_W : Kontrol hacmi için batı yönü noktasına ait katsayı

β_r : Rosseland ayırma katsayısı, (1/m)

β_v : Işınım fonksiyonu

C_p : Özgül ısı, (kJ/kg.K)

CO_2 : Yanma sonu gazlarındaki CO_2 yüzdesi (%)

D_h : Hidrolik çap, (m)

D_a : Darcy sayısı

Δr : İç ve dış yarı çapı farkı (m)

E_a : Aktivasyon enerjisi, (kJ/kg)

E_{stor} : Sistemde depolanan enerji, (J)

ε_p : Poroz ortamın emisivitesi

F : Radyasyon ile ısı transferinin lineerleştirilmesi ifadesi

f : Arrhenius düzeltme faktörü

Φ: : Denklik oranı, (m^3/m^3)

ϕ : Porozite

h : Taşınım katsayısı, (W/m^2K)

h_v : Hacimsel taşınım katsayısı, (W/m^3K)

h_{sf} :Gaz ve yüzey arasında taşınım katsayısı, (W/m^2K)

H_c : Birim hacimde yanma sonucu oluşan genel entalpi farkı, (J/m^3)

Hu : Yakıtın alt ısıl değeri ($Kcal/m^3$)

k : Isı iletim katsayısı, (W/mK)

k_s : Cr-Ni sacın ısı iletim katsayısı, (W/mK)

k_r : Işınım katsayısı, (W/m^2K)

k_1 : LPG için sabit katsayı (CO_2 için, $k_1 = 0{,}42$)

k_2 : LPG için sabit katsayı (O_2 için, $k_2 = 0{,}63$)

L : Yakıcının yüksekliği, (m)

n : Hidrokarbon yakıt molekülleri içinde Karbon atom sayısı

η_{yanma} : Yanma verimi (%)

μ_f : Dinamik viskozite, (kg/ms)

O_2 : Yanma sonu gazlarındaki O_2 yüzdesi (%)

π_{sf} :Kontrol hacmine ait yüzey alanı, (m^2/m^3)

$\dot{Q}_{gen}$: Sistemde birim hacimde üretilen enerji, (J/m^3)

Q_{kazan} : Kazan ısı kapasitesi (W)

R : Gaz sabiti, (kJ/kgK)

r_1 : Yakıcı 1.kademe iç çapı, (mm)

r_2 : Yakıcı 2. kademe iç çapı, (mm)

r_3 : Yakıcı 2. kademe dış çap, (mm)

r_4 : Tel örgü (wire mesh) dış çapı, (mm)

ρ : Gazın yoğunluğu, (kg/m^3)

S_c :Kaynak terim sabiti

S_{fg} : Birim hacım ve birim zamandaki yakıt tüketim oranı, (kg/m^3s)

S_p : Kaynak teriminin sabit sıcaklık değeri

σ : Stephan Boltzmann sabiti, (W/m^2K^4)

T_m : Yakıcı iç ortam sıcaklığı, (K)

$T_{1.k,in}$: 1. kademe iç yüzey sıcaklığı, (K)

$T_{2.k,in}$: 2. kademe iç yüzey sıcaklığı, (K)

$T_{2.k,o}$: 2. kademe dış yüzey sıcaklığı, (K)

$T_{w.m,o}$: Tel örgü dış yüzey sıcaklığı, (K)

V_0 :Yakıcı içindeki hava hızı, (m/s)

$\dot{v}_y$:Yakıt hacimsel debisi (m3/h)

W : Mil işi, (J)

Kısaltmalar

Arr : Arrhenius Sayısı, $[E_a/RT_g]$
CFD :Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
PPI : İnçteki delik sayısı (Pore per inch)

1. GİRİŞ

1.1. Poroz Yapı ve Özelliği

Enerji son yüzyılda sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel etkenlerinden biri olmuştur. Türkiye, kullandığı enerjinin büyük bir kısmını ithal etmektedir. Ayrıca tüm dünya üzerinde fosil kökenli enerji kaynakları büyük bir hızla tükenmektedir. Bu nedenle, enerji tasarrufu ve enerjinin verimli kullanımı her bakımdan büyük bir önem arz etmektedir.

Günümüzde dünya toplam enerji üretiminin %87' lik payı fosil yakıtlar, %6' sı yenilenebilir enerji kaynaklar ve %7' si nükleer enerji tarafından karşılanmaktadır. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %64,5' nin kaynağı fosil yakıtlardır. Bunun %38.7'si kömür, %18,3'ü doğal gaz ve %7,5'i ise petrol kökenlidir.

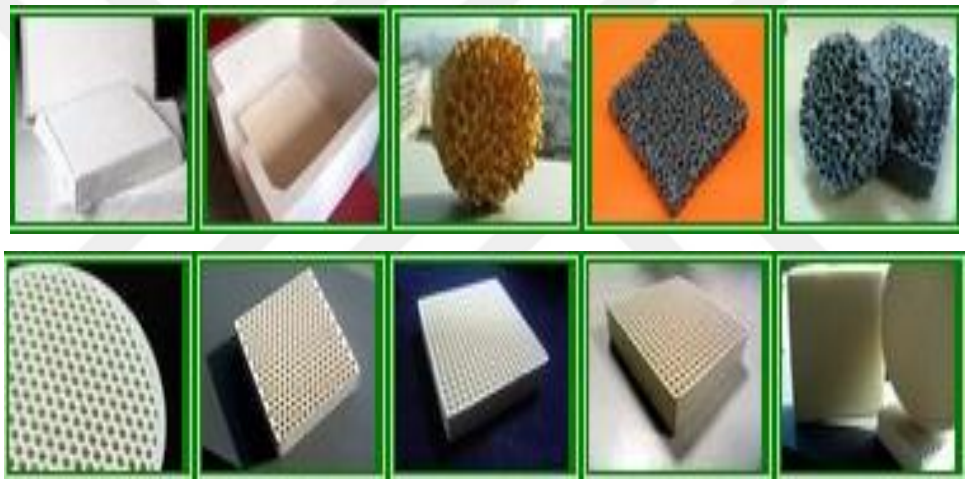
Türkiye'de tüketilen toplam enerjinin içinde ısıtma ve soğutma sistemlerinin payı %35 olup, endüstriyel tesisler de dikkate alınırsa bu pay, %65-70 mertebelerine ulaşmaktadır. Enerji maliyetlerinin gittikçe artan bir eğilim göstermesi, ısıtma cihazlarına olan talebin yönünü; daha az enerji kullanan, daha efektif, çevreye çok daha duyarlı cihazlara yönlendirmiştir. Bu durum, yakıt ekonomisi ve düşük atık gaz emisyonları talebini karşılayan, yoğuşmalı kazan sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Yoğuşmalı kazanlar dâhil olmak üzere doğal gaz yakan sistemlerin büyük çoğunluğunda konvansiyonel yakma sistemleri kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde yakıcı yüzey sıcaklıkları alev boyuna göre 500-700 ^{o}C arasında değişmektedir. Ancak konvansiyonel sistemler yerine verimlerinin yüksek olması, boyutlarının küçük olması ve emisyon değerlerinin düşük olması nedeniyle, poroz yapıya sahip alevli veya ışınım esaslı gaz yakıcılar geliştirilmiş ve uygulamaya koyulmuştur.

İçerisinde gözenekli bir yapının olduğu ortamlara poroz ortam denir. Poroz ortam en az bir fazı katı olan çok fazlı, heterojen ortamlardır. Gözenekli ortamlarla ilgili ilk çalışmalar Henry Philibert Gaspard Darcy tarafından 1856 yılında Fransa'nın Dijon kentinde bir hastaneye temiz su getirme projesi kapsamında başlatılmıştır.

Poroz ortamdaki boşluklara por adı verilir. Konuyla ilgili olarak yapılan pek çok çalışmada poroz ortam yapısal deformasyona uğramayan, homojen ve isotropik olarak alınmıştır. Katı yapının içindeki boşluklar sıvı ya da gaz ortamdan oluşabilir.

Poroz ortamlar, gözeneklerin birbiriyle ilişkili olup olmamalarına göre sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmada akışkan rejimi önemlidir. Şayet akışkan akmak için kendine madde içinde bir yol bulabiliyorsa boşluklar birbiriyle ilişkilidir ve etkin gözenek boşluğu ismini alır. Diğer bir deyişle etkin gözenekte akışkan poroz ortamın bir ucundan diğer ucuna kolayca geçebilir. Poroz ortamın boşlukları birbiriyle irtibatlıdır. Akışkanın akması için boşluklar arasında bir bağlantı yoksa gözenekler birbiriyle ilişkili değildir ve etkin olmayan gözenek boşluğu olarak isimlendirilir. Yani etkin olmayan poroz ortam, birbiriyle ilişkisi olmayan bağımsız boşluklardan oluşur. Akışkan, bu boşluklar arasında bir yandan öbür tarafa geçmek için yol bulamaz. Bu tür ortamlardaki bütün gözenek boşluklarına toplam boşluk denir. Şekil 1.1.'de çeşitli poroziteye sahip seramik yapılar verildi.



Şekil 1.1. Farklı poroziteye sahip seramik yapılar

Seramik hammaddesi bol, kolay işlenebilen, imalatı basit ve nispeten düşük maliyetli bir üründür. Kullanım rahatlığı olan, aynı zamanda sertliği ve ısıya dayanıklılığı bulunan seramiklerin bu avantajları göz önünde bulundurulduğunda gelişen teknolojiyle çok çeşitli işlerde kullanılmaya başlamıştır. Seramik köpük filtreleri de bu çeşitlilikten yararlanmış ve değişik alanlarda kullanıma girmiştir. Başlıca kullanım alanları; jet motoru çerçevesi, helikopter dişli kutusu muhafazası, roket motor bileşenleri, radar bileşenleri ve seramik yakıcılar örnek olarak gösterilebilir.

1.2. Poroz Ortamın Uygulama Alanları

Poroz ortam uygulamalar kimyasal, jeolojik, çevresel, mekanik ve sağlık olmak üzere çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Kimyasal olarak; katalitik ve aletli dolu yatak reaktörleri (gazlı ya da su bazlı), filtreleme, kurutma, küçük yatak reaktörleri, dolu yatak kromatografisi, yanan ürünlerin havaya olan zararlarının azaltılması için katalitik dönüştürme işlemleri, membranlardan kütle transferi, biyoreaktörlerde, toz ve tablet sentezlerinde ve yakıt hücrelerinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Çevresel olarak; yeraltı suyunda kirlenmenin giderilmesi, yapı elemanlarında difüzyon yoluyla hava, su buharı ve su geçişinin sağlanması, radyoaktif maddelerin tutulması, toprak temizliği, karda suyun süzülmesi ve radiant yakma için poroz ortam oluşturması alanlarında geniş bir uygulama alanına sahiptir. Jeolojik alanda özellikle su ve mineral taşınması ve taşların termal dönüşümüne katkı sağlar. Mekanik olarak; geçiş membranı olarak kullanılmaktadır. Son olarak petrol alanında özellikle depolarda yağ ve gaz çıkışında, artırılmış yağ üretiminde, petrolün toplanmasında ve doğalgaz üretiminde membran olarak kullanılmaktadır.

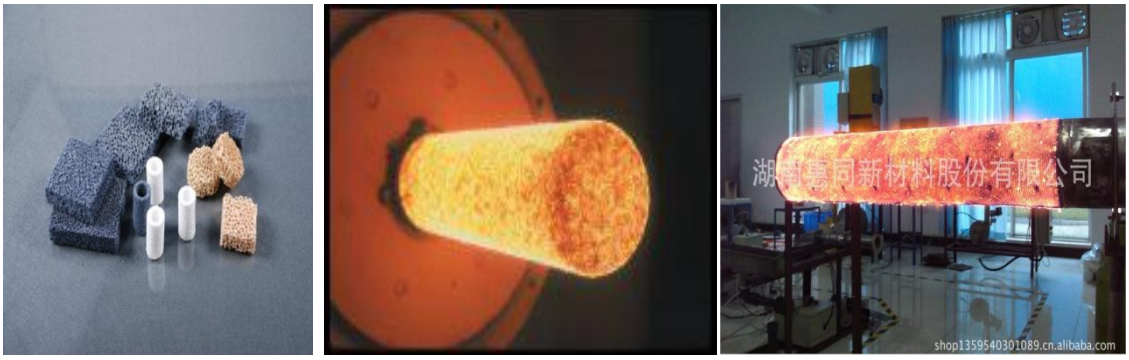
1.2.1. Gaz Yakıcılar

Genel olarak gaz yakıcılar kullanım yönünden geniş bir alanı kapsamasına karşın, yanmaya etki eden faktörlerin çok olması nedeniyle, yakıcılarda yanma ile ilgili problemlerin bu gün için tam olarak çözüldüğü söylenemez. Optimum yanmayı sağlamak için kazan, kombi ve diğer endüstriyel tesislerde kullanılan yakıcılar sürekli geliştirilmektedir. Bu nedenle, yakıcıların sınırlarını belirlemek oldukça zordur.

Poroz ortamlardaki yanma, serbest ortamdaki alevli yanmaya göre daha iyi bir yanma performansı sağlar. Çünkü yakıt+hava karışımı poroz ortamlarda çok daha mükemmel bir karışım sağlamakta ve sonuçta tam yanmaya yakın bir yanma sağlanmış olmaktadır. Ayrıca poroz ortamlarda yüzey çok büyüdüğü için yakıtın sıcak yüzeylerle teması sonucu bir doğal ön ısıtma oluşmaktadır. Bu doğal geniş yüzey ısı transferi için de mükemmel bir ortam sağlamaktadır.

Isıtma sektöründe bulunan büyük firmalar yakıcıların geliştirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Özellikle yüksek poroziteleri nedeniyle, poroz seramik yapının yakıcı olarak kullanılması konusunda araştırmalar, bazı firmalar tarafından yapılmaktadır. Bilindiği gibi, günümüzde poroz seramikler genellikle köpük filtre

olarak kullanılmaktadır. Ancak bu filtrelerin seramik yakıcı olarak da kullanılması düşüncesi ısıtma sektörüne yeni bir bakış açısı getirmiştir. Şekil 1.2.'de silindirik ve düzlemsel yapıda kullanılan çeşitli seramik yakıcılar verildi.



Şekil 1.2. Seramik yakıcılara örnekler

1.2.2. Poroz Metal Gaz Yakıcılar

Her ne kadar seramik poroz gaz yakıcıların birim yüzeyinden elde edilen ısı akısı yüksek ve tam yanmaya çok yakın değerler elde edilse de uzun süreli yanmada oluşan termal şokların önüne geçilemediği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, seramik poroz yakıcılardan ziyade, poroz yapıda metal gaz yakıcılar tercih edilmektedir. Bu sistemler özel formda paslanmaz saç üzerine açılan delikler üzerine wire mesh geçirilerek elde edilir. Uzun ömürlü olup, özellikle konutlarda ve yoğuşmalı sistemlerde kullanılmaktadır. Özel ihtiyaçlara göre çeşitli boyutlarda bulunmaktadır. Bu sistemler yüksek modülasyon aralıklarında (>1/10) ve düşük emisyon değerlerinde çalışırlar. Dolayısıyla, poroz metal gaz yakıcılarda yüksek verim, uzun ömür ve düşük emisyon (NO_x, CO, CO_2) değerleri ölçülebilmektedir. Şekil.1.3.'de BEKAERT firması tarafından geliştirilen premiks gaz yakıcı ve wire mesh görülmektedir.



Şekil 1.3. Poroz metal gaz yakıcılar

Son zamanlarda özel formda hazırlanan paslanmaz delikli saç üzerine tel örgü yerine seramik elyaftan yapılan örgülü seramik kumaş kullanılmaktadır. Yakıcı yüzeyinde istenilen üniform bir yanma elde edilememiştir. Bu nedenle, henüz kullanıma sokulamamıştır ve üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 1.4'de seramik kumaş yakıcı verildi.



Şekil 1.4. Seramik kumaş yakıcı

1.3. Tezin Amacı

Bu çalışmada metal yakıcı yüzeylerde, yanma modellenmesinin teorik ve deneysel olarak araştırılması yapıldı. Çalışmada, silindirik formda çift kademeli premix bir gaz yakıcının matematik modeli yapıldı. Çözüm için Matlab programlama dili kullanılarak bir program geliştirildi ve nümerik çözümler yapıldı. STAR CCM kullanılarak akış analizi yapıldı. Ayrıca deneysel çalışma yapılarak elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldı.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Genel olarak endüstriyel yakıcılar, kullanım alanları yönünden doğrudan veya dolaylı olarak çok geniş bir alanı kapsar. Geniş bir alanı kapsamasına rağmen, yanmaya etki eden faktörlerin çok olması nedeniyle, yanma ile ilgili problemlerin bu gün için tam olarak çözüldüğü söylenemez. Optimum yanmayı sağlamak için kazan, kombi ve diğer endüstriyel tesislerde kullanılan yakıcılar sürekli geliştirilmektedir. Bu nedenle, yakıcıların sınırlarını belirlemek oldukça zordur. Yanma işleminin poroz bir ortamda gerçekleştirilmesi, alevsiz bir yanma elde etmek için tercih edilmektedir. Konuyla ilgili yapılan bilimsel çalışmalara genel olarak bakıldığında ışınımla ısı transferinin ön plana çıktığı görülmektedir. Konuya ilişkin literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Burada özellikle radiant gaz yakıcılarla ilgili olarak yapılan çalışmaların geniş bir literatür özeti verildi.

Viskanta ve Menguc, yanma sistemlerindeki ışınımla olan ısı transferini incelediler. Çalışmalarında ışınımla ısı transferinin temellerini ve onun yanma sistemlerinde modellenmesi ile ilgili olarak son zamanlardaki ilerlemeleri sundular. Konu ile ilgili eksiklikleri tespit edip, potansiyel olarak gelecek vaat eden araştırma konularını önerdiler(Viskanta ve Menguc, 1987).

Khalil ve ark., yanma odalarında iki boyutlu eksenel akışı incelediler. Kullandıkları modelin sonuçlarının, deneysel araştırmaların sonuçları ile çok yakın benzerlik içinde olduğu sonucuna vardılar(Khalil ve ark., 1975).

Rodi, sıkıştırılamayan akışlar için türbülans modeller üzerinde çalıştı. Yaptığı türbülans modellerle, daha önce yapılan çalışmaları karşılaştırdı ve birbirlerine yakın değerler buldu(Rodi, 1982).

Markatos ve Moult, eksenel simetrik yanma odalarında, türbülanslı, sıkıştırılamayan akış için, içinde kimyasal reaksiyonları ve ısıl radyasyonu da kapsayan bir hesaplama tekniği geliştirdiler. Geliştirdikleri bu metodun yanma odalarında sıcaklık dağılımlarının hesaplanmasında endüstride geniş bir alanda uygulanabileceği görüşünü öne sürdüler(Markatos, 1986).

Nikjooy ve Peck, eksenel simetrik yanma odalarında girdabın mevcut olduğu ve olmadığı durumlar için, kimyasal modeller kullanıp bu modeller arasındaki farkları incelediler ve girdabın simetrik yanma odalarındaki etkisini gördüler(Nikjooy ve ark., 1988).

Torii ve ark., dairesel bir tüpte ısıtılmış türbülanslı gaz akışını laminer hale getirdiler, modifiye edilen k-ε modeli yardımı ile nümerik analizini yaptılar ve analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla yakın benzerlik içinde olduğunun sonucuna vardılar(Torii ve ark., 1990).

Mujeebu ve ark., gözenekli ortamlarda yanma modelleme eğilimlerini sayısal ve deneysel olarak incelediler. Gözenekli ortamlardaki yanmayı, serbest alevli yanma ile karşılaştırdılar ve gözenekli ortamlardaki yanmanın üstün özelliklere sahip olduğunu gördüler(Mujeebu ve ark., 2010).

Altınışık ve ark., yarı küresel seramik yakıcıda Fluent programı kullanarak yanma simülasyonu yaptılar. Yanmanın akışkanın yoğunluğuna, viskozitesine, akışkan hızına, basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak değişimini incelediler. Elde ettikleri sonuçları daha önce yapılan bir deneyin sonuçları ile karşılaştırdılar. Sonuçların uyum içerisinde olduğunu gördüler.(Altınışık, 2005).

Altınışık ve ark., SiC seramik köpük filtrede PPI 10, PPI 20 ve PPI 30 değerleri için çeşitli deneyler yaptılar ve uygun radiant yanmanın PPI 20'de olduğunu gözlemlediler(Altınışık ve ark., 2005).

Francisco ve ark., biokütle, organik atık ve fosil yakıt gibi düşük kalorili yakıtların bir seramik yakıcıda yanma karakteristiklerini incelediler(Francisco Jr ve ark., 2009).

Haussner ve ark., gerçek bir poroz yapıyı, bilgisayarlı tomografi yardımıyla dijital 3D geometriye dönüştürerek ısı ve kütle transferi için karakterize ettiler. İletim ve taşımımla olan ısı transferini ve sonlu hacim yöntemi uygulayarak akış karakteristiklerini incelediler(Haussener ve ark., 2010).

Cumber ve ark., yaptıkları çalışmada homojen olmayan yakma sistemleri için geniş bant ışınım modeli uygulamasını analiz ettiler(Cumber ve ark., 1998).

Filimonov., yaptığı çalışmada heterojen sistemlerde yanma dalga yayılımı üzerinde ışınımın etkisini inceledi. Düşük dalga yayınım hızlarında ışınım etkisinin az olduğunu ve ihmal edilebileceğini gösterdiler(Filimonov, 1998).

Wu ve ark., yaptıkları çalışmada, homojen premixed yakma sistemlerinde türbülans/ ışınım etkileşiminin doğrudan nümerik simülasyonunu araştırdılar(Wu ve ark., 2005).

Rogachev ve ark., mikro ve nano hetorojen sistemlerin yanma sırasında faz değişimini incelediler. Sinkrotron ışınım kırınım analizi ile çalışmalarını sonuçlandırdılar(Rogachev ve ark., 2005).

İlbaş, yaptığı çalışmada alev ve alev olmayan ışınım modelleri non-premixed hidrojen H2 ve hidrojen-hidrokarbon türbülans modellerin nümerik simülasyon sonuçlarını sundu. Işınım modelleri ile sonuç ölçümlerini ışınım olmayan sonuçlar ile karşılaştırdı(Ilbas, 2005).

Deshmukh ve ark., yaptıkları çalışmada homojen non-premixed yakma sistemlerinde türbülans ışınım etkileşiminin doğrudan nümerik simülasyonunu incelediler. Emisyon türbülans-ışınım etkileşimi β PDF modelini kullanarak tahmin ettiler. β PDF modelinin sonuçlarının, doğrudan nümerik simülasyon ile iyi bir uyum içinde olduğunu gördüler(Deshmukh ve ark., 2007).

Borghi, türbülanslı yanma modelini inceledi. İleride yapılacak fiziksel temeller üzerindeki türbülanslı yanma modellerine yardımcı olması amacıyla türbülanslı alev yapısının fiziksel ve deneysel bilgisini ayrıntılı bir şekilde sundu(Borghi, 1988).

Tong ve ark., fiber boyutunun bir fonksiyonu olarak poroz radyant yakıcıların performansını belirlemek için bir çalışma yaptılar. Fiberlerin ışınım özelliklerini iki farklı sıcaklık (1000^{o}C ve 1500 ^{o}C) için elektromanyetik dalganın saçılması teorisini kullanarak belirlediler. Çalışmalarının sonucunda çapı 1 mikron olan fiberlerin düzeninden daha küçük olan fiberlerin daha yüksek ışıma oluşturduğunu ortaya koydular(Tong ve ark., 2014).

Hsu ve ark., çok gözenekli hareketsiz ortam içindeki premix yanmayı sayısal olarak incelediler. Çalışmada özellikle gaz ve gözenekli katı arasındaki kimyasal kinetikler ve enerji değişimini ayrıntılı olarak verdiler. Kullandıkları formülasyonun önceki modellerden çok adımlı kinetiklerin kullanılması ve katının termo fiziksel özelliklerinin daha iyi tanımlanması ile ayrıldığını ifade ettiler. Yapmış oldukları çalışma ile konvektif ısı transferinin ve katının efektif ısıl iletkenliğinin artması ile ön ısıtma etkisinin güçlü bir şekilde arttığını ortaya koydular. Absorbsiyon katsayısının artan hücre genişliği ve azalan hücre yoğunluğu ile düştüğünü belirlediler(Hsu ve ark., 1993).

Sathe ve ark., poroz tabaka içinde önceden karıştırılmış metan-hava karışımının kararlılığını ve ısı transfer özelliklerini deneysel olarak incelediler. Çalışmalarının temel amacı yanma ve poroz yataktaki ısı transferini simüle etmek ve yakıcıdaki taşınım-iletim-ışınım ısı transferlerini hazırladıkları bilgisayar programı ile tahmin etmekti. Onlar çalışmalarının sonucunda deneysel sonuçlar ile doğrulanmış bilgisayar programlarının parametrik çalışmalar ve ölçek büyütme hesaplamaları için kullanabileceğini önerdiler(Sathe ve ark., 1991).

Goeckner ve ark., radyant yakıcılardaki ışınım ile olan ısı transferini arttırmak için bir çalışma yaptılar. Deneylerini, düz geçişli radyant tüp yakıcıdaki doğal gaz alevinden ışınımla olan ısı transferini arttırmak için poroz seramik parçaları kullanarak gerçekleştirdiler. Kullandıkları seramik parçalar ile boru yüzey sıcaklıklarını arttırdılar ve egzoz sıcaklıklarını düşürdüler(Goeckner ve ark., 1992).

Sanitjai ve Jugjai, poroz radyant yakıcısının ısıl verimi üzerinde çalıştılar. Konvansiyonel açık alev atmosferik yakıcıların ısıl verimini arttırmak için yeni bir gaz yakıcı tasarladılar. Onlar, tasarladıkları yakıcının içine, egzoz gazının entalpisinin bir kısmını geri kazanmak için bir geri kazanım sistemi kurdular. Tasarladıkları bu yakıcı ile standart ve poroz radyant yakıcıları karşılaştırdılar ve tasarladıkları yakıcının ısıl veriminin, standart yakıcı ve poroz radyant yakıcıdan yaklaşık olarak %10 daha fazla olduğunu gördüler(Sanitjai ve Goldstein, 2001).

Rumminger ve ark., poroz radyant yakıcılar üzerinde gaz sıcaklığını incelediler. İki katmanlı, ağ özelliğine sahip seramik yakıcının işlemini hazırlamış oldukları bir boyutlu modelde simüle ettiler. Gözenekli ortamdaki yanma için hazırlamış oldukları model; çok adımlı kimya, gözenekli ortam içindeki ışınım ile ısı transferi, ayrı gaz ve katı enerji denklemlerini içermektedir. Çalışmada, yakıcı üzerindeki gaz sıcaklığı için deneysel ve tahmini model sonuçlarını karşılaştırdılar ve aralarındaki sapmanın; gözenekli ortam özelliklerindeki belirsizliğe ve gözenekli ortamdaki katı yüzeyden etkilenen kimyadan olabileceğini ileri sürdüler(Rumminger ve ark., 1996).

Villasenor ve Escalera, yoğun fueloil ‘in yanması için yüksek derecede radyoaktif yanma odası üzerinde deneysel olarak çalıştılar. Alev eksenine dik enjekte edilen sekonder hava jetlerinin, yoğun fueloil ’in yanması üzerindeki etkilerini, 500 kW güce sahip silindirik ateşe dayanıklı bir yakıcıda deneysel olarak incelediler. Tasarlanan bu yeni yakıcının performansını CO ve NOx egzoz konsantrasyon seviyeleri ile değerlendirdiler. Deneysel çalışmalarından NOx miktarının % 70 kadar azaldığını ve CO için pratik olarak %100 uzaklaştırma verimi elde edildiğini gördüler(Villasenor ve Escalera, 1998).

Hackert ve ark., iki basit poroz yakıcı geometrisinin, por ölçekli yapılar içindeki yanma üzerinde çok boyutluluğun etkisini analiz etmek için, iki boyutlu model geliştirdiler. Çalışmalarında uzunluk skalasındaki alev değişiklilerinin, por genişliğindekinden daha az olduğunu ortaya koydular(Hackert ve ark., 1999).

Talukdar ve ark., 2-B (iki boyutlu) alanın etkisi altında poroz, radyant yakıcının ısı transfer özelliklerini incelediler. Gözenekli ortamdaki yanmayı ısı üretim bölgesine

bağımlı bir mekânsal olarak modellediler. Gaz ve katı fazlarının bölgesel ısıl dengede olmadığını kabul ettiler ve iki faz için ayrı enerji denklemleri kullandılar. Yakıcı performansı üzerindeki çeşitli parametrelerin etkilerini incelediler(Talukdar ve ark., 2004).

Wood ve Harris, gözenekli yakıcılardaki zayıf metan yanmasını incelediler. Özellikle serbest alev için zayıf tutuşa bilirlik sınırında ya da bu sınırın altında olan "ultra zayıf" yanma üzerinde odaklandılar. Yapmış odlukları bu özel çalışma sonucunda "ultra zayıf" yanma konusunda literatürdeki veri eksikliğini tamamlayarak, bir sonraki benzer çalışmalar için katkıda bulundular(Wood ve Harris, 2008).

Keshtkar ve Nassab, poroz radiant yakıcılardaki ısı transferini teorik olarak incelediler. Ön karışımlı alevden önce egzoz gazı için poroz ortam ve gaz tarafındaki denklemleri çözmek için 2-B dikdörtgen modelini kullandılar. Modellemede gaz ve katı fazlar için bölgesel olmayan ısı dengesini kabul ettiler ve gözenekli ortamdaki yanmayı, uniform olmayan ısı üretim bölgesi olarak kabul ettiler. Çalışmalarını, literatürdeki benzer teorik ve deneysel çalışmalarla karşılaştırdılar ve birbirleri ile uyum içinde olduğunu gördüler(Keshtkar ve Nassab, 2009).

Mujeebu ve ark., gözenekli ortamdaki yanma ve uygulamaları üzerinde çalıştılar. Bu alanda şimdiye kadar yayınlanan eserleri yorumlayarak amaçlarına göre sınıflandırdılar ve genel sonuçlar ile organize bir şekilde sundular. Ayrıca çalışmalarının bir bölümünü, gözenekli ortamdaki yanmanın sayısal modellemesi için ayırdılar(Mujeebu ve ark., 2009b).

Mujeebu ve ark., yüzey üzerindeki poroz ortam yakıcılarının ve gizli yanma modalarının enerji verimliliğini geliştirme üzerinde çalıştılar. Poroz ortamdaki gizli ve yüzey yanma modalarını temel alan iki kompakt ön karışımlı LPG yakıcılarını geliştirdiler ve konvansiyonel yakıcı ile karşılaştırdılar. Yapılan çalışmanın sonucunda, geliştirdikleri iki yakıcının ve konvansiyonel yakıcının ısıl verimini sırasıyla % 71, % 59 ve %47 olarak buldular(Mujeebu ve ark., 2009a).

Mujebu ve ark, ayrık poroz ortam içindeki stabilize yanmayı temel alan, ön karışımlı yakıcının geliştirilmesi üzerinde çalıştılar. Poroz ortam yakıcısı ile konvansiyonel yakıcıyı karşılaştırdılar. Çalışmalarında 0.4 lt/dk yakıt girişi için poroz ortam yakıcısının verimini % 56 ve 0.5 lt/dk için konvansiyonel yakıcının verimini ise % 46 olarak buldular(Mujeebu ve ark., 2011).

Jones ve ark., gaz türbinlerindeki yanma odaları için matematiksel model geliştirdiler. Bu modeli iki ve üç boyutlu yanma odaları üzerinde uyguladılar(Jones ve McGuirk, 1980).

Pop ve ark. (2000), gözenekli ortamda tutulan, içi oyuk düşey silindir üzerinden doğal taşınım ile ısı transferine birleşik ısı transferinin etkisini incelediler(Pop ve Na, 2000).

Hossain ve ark., gözenekli bir ortamda bulunan düşey silindir kanatçıkta birleşik ısı transferini inceledi(Hossain ve ark., 1995).

Vaszi ve ark., gözenekli ortamdaki bir eğik plakada iki boyutlu iletim olduğunu kabul ederek, sınır tabaka denklemlerini doğal taşınım koşulları için çözdüler(Vaszi ve ark., 2001).

Bidi ve ark., silindirik yanma odası için metan-hava karışımının yanmasında radyasyon ektisini dikkate alarak nümerik çalışma yaptılar. Bu çalışmada standart k-ε türbülans modelini, enerji denklemlerini, radyasyon denklemlerini kullanarak türbülanslı yanmada radyasyon etkisiyle sıcaklık ve derişikliğinin etkilendiğini kanıtladılar ve elde edilen nümerik bulgularda radyasyonlu sonuçların deneysel sonuçlara radyasyonsuz sonuçlardan daha yakın olduğunu saptadılar(Bidi ve ark., 2008).

Ziabasharhagh ve Mohammadi, poroz yanmanın fazlar arasında etkileşimi nedeniyle, filitrasyon yanma olarak adlandırıldığını ve filitrasyonlu yanmanın yeni bir alev tipini içerdiğini ifade ederler. Poroz yanmanın yüksek güç yoğunluğunun, düşük emisyonlarının ve yüksek alev hızına sahip olması nedeniyle, eşsiz karakteristiğinin olduğu ifade edildi(Ziabasharhagh ve Mohammadi, 2012).

Martynenko, ve ark., poroz ortamda gaz halindeki bir karışımda yanma olayının nümerik çözümü üzerinde çalıştılar. Gaz, sıvı ve katı arasında iletim, taşınım ve ışınımla olan kompleks bir ısı transferinin olduğu ve bu üç ortam arasında buharlaşma ve taşınımla olan ısı transferinin farklı modalarının bulunduğunu dikkate aldılar(Martynenko ve ark., 1998).

Muhammadi, ve ark., Poroz ortamdaki yanmayı, serbest alevli yanma ile karşılaştırdılar. Poroz yanmanın düşük emisyona sahip olması ve zayıf tutuşma limitinin genişlemesi nedeniyle, enteresan özelliğe sahip olduğunu gözlemlediler. Yeni kuşak motorlarda poroz yanmanın gelecek vaad ettiğini ifade ettiler. Bu çalışmada motorlarda poroz ortamda yanmanın üç boyutlu simülasyonu yapılmıştır(Mohammadi ve Ziabasharhagh, 2012).

Chao,ve ark, Premiks yakıcıda kararlı yanmada alevin analizini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak yaptılar. Bu çalışmada, yapılan analizin daha önce yapılan çalışmalarla uyum içinde olduğu belirtildi(Chao ve Xia, 2000).

Silva, ve ark., Arrhenius oran yasasından yararlanarak düşük sıcaklık sapmaları için hesaplamalar yaptılar. Bu çalışmada sıcaklığa karşı gelen aktivasyon enerjisinin genişlemesi gösterildi(Silva ve ark., 2013).

Kaya, içi boş dikey konumda bir silindirde, karışık konveksiyon ısı transferini araştırdı. Keller kutu metodunu kullanarak benzer olmayan çözümler elde etti. Çalışmada cidar parametresi, poroz ortam parametresi, Forchheimer parametresi ve Richardson sayısını esas parametre olarak dikkate aldı. Lokal ısı transfer parametreleri ve lokal cidar sürtünme parametrelerinin muhtelif değerler için hesapladı(Kaya, 2011).

Schwaab,ve ark., Arrhenius bağıntısının frekans faktörü ve aktivasyon enerjisi olmak üzere iki parametre içerdiğini ve bunların genellikle deneysel verilerden tahmin edildiğini bu çalışmada verdiler. İki parametre arasındaki korelasyonun genellikle çok yüksek olduğu ve pratik olarak çok durumlarda bir'e eşit olduğu ifade edildi(Schwaab ve Pinto, 2007).

Zhou ve ark., bu çalışmada motorlarda poroz ortamda yanmanın verim artışına ve emisyon değerlerindeki düşmeye neden olacağı ifade edildi. Motorda poroz ortamda yanmayı simule etmek için KİVA-3 motorunu seçtiler. Bu motordan elde ettikleri sonuçları poroz yapısı olmayan fakat aynı özelliğe sahip motorun değerleriyle karılaştırdılar. Sonuçta poroz motorun yüksek verim ve düşük emisyon değerlerine sahip olduğunu gördüler(Zhou ve ark., 2014).

Kumar ve ark., yanmanın modellemesi için farklı metan hava karışım oranları kullandılar. Katı ve gaz fazı için kütle korunum ve enerji denklemlerini sonlu hacim yöntemini kullanarak çözdüler. Yanma üzerinde etki eden parametrelerden porozite, ısıl yük ve ısıl iletkenliğin etkilerini araştırdılar(Kumar, 2013).

Bu çalışmada çift kademeli yanmanın gerçekleştirildiği yeni sistem bir yoğuşmalı kombi sistemi geliştirilerek üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. İlk kademe yanmada doğalgaz mavi alevli olarak yakılmakta, ikinci kademede ise infraret ışınımlı bir yüzeyden radyasyonla ısı transferinin gerçekleştiği bir yanma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kombi sistemi de iki kademeden oluşmaktadır. İlk kademede doğalgazın alt ısıl değerinin tamamı kullanılmakta, ikinci kademede ise yanma gazları içindeki su buharı yoğuşturulmak suretiyle buharlaşma gizli ısısı yeniden

sisteme döndürülmekte ve böylece yakıtın üst ısıl değeri ısı olarak sisteme kazandırılmış olmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

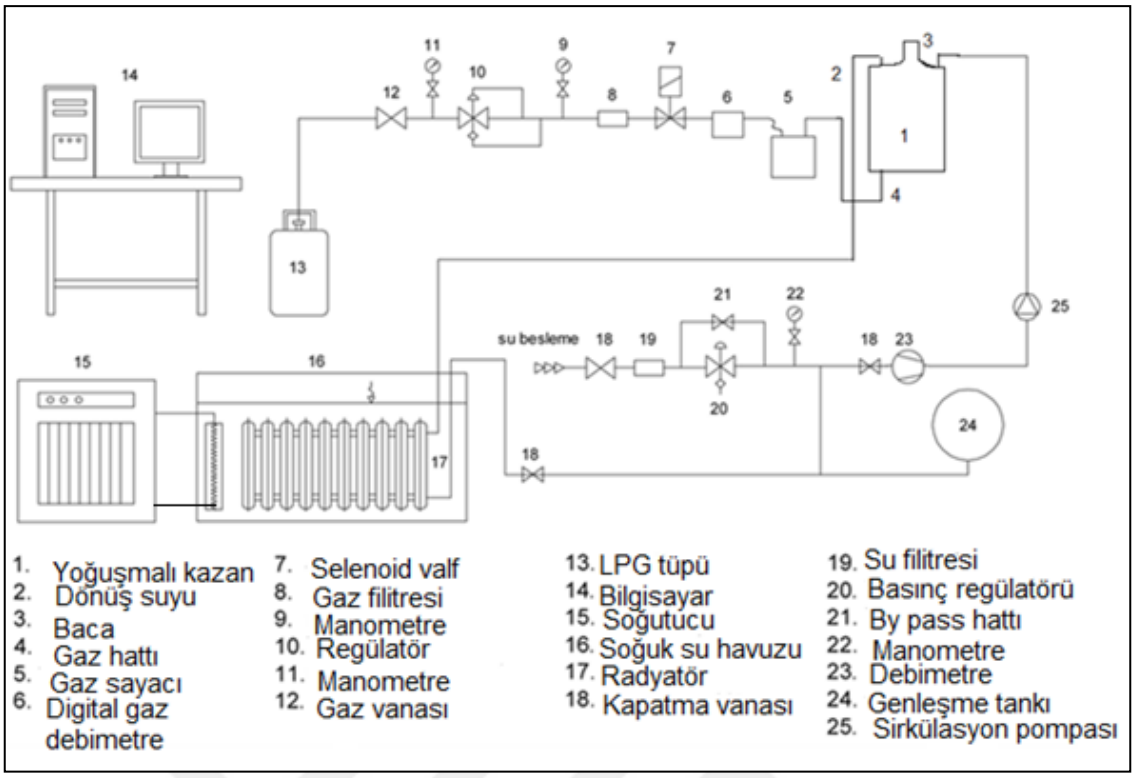
3.1. Materyal

Bu tez çalışması; deneysel çalışma, sayısal programlama ve hazır paket program ile akış analizi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Deneysel çalışmada çift kademeli matrix yakıcının kullanıldığı yoğuşmalı bir kombi modeli geliştirilmiştir. Sayısal programlamada MATLAB programlama dilinde geliştirilen bir program yardımıyla matrix yakıcı ve civarındaki ısı transferi analizleri yapılmıştır. STAR CCM adında diğer bir paket program aracılığı ile de geliştirilen modele bağlı akış analizleri gerçekleştirilmiştir.

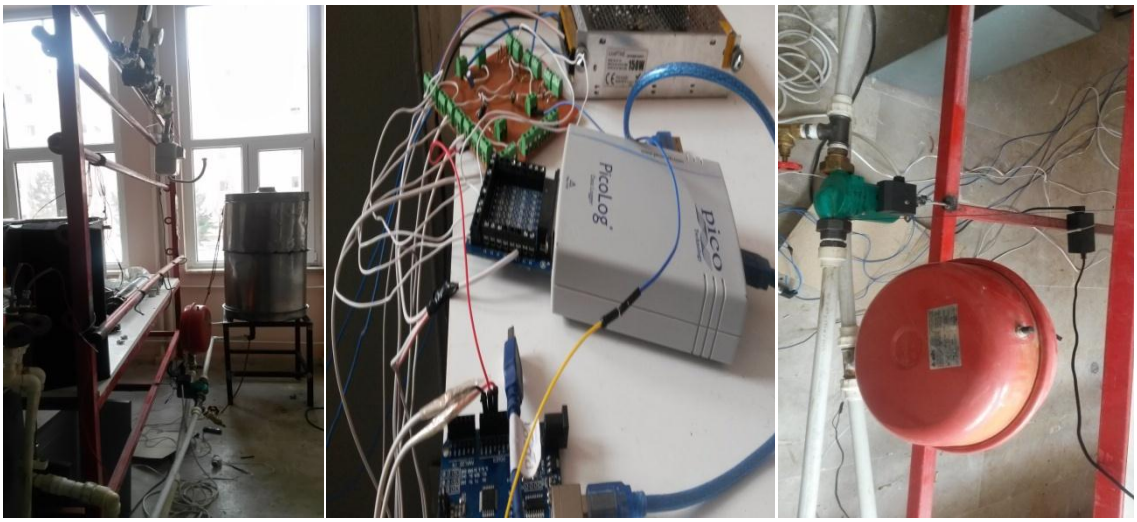
3.1.1. Deneysel çalışma

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin prensip şeması şekil 3.1’ de verilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar şekil üzerinde görülmektedir. Ayrıca şekil 3.2’ de Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Transfer Laboratuvarında kurulan deney düzeneğinin resmi görülmektedir.

Deneyde kullanılan ekipmanlar ve ölçüm cihazlarının çeşitli özellikleri aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 3.1. Deney düzeneği ve elemanları



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin çeşitli yönlerden görünüşü

3.1.1.1. Çift kademeli matriks yakıcı

Yakıcı için çeşitli alternatifler üzerinde çalışılmıştır. İnfrared yakmayı elde edebilmek için kademeler arasındaki mesafe ve poroz yapı üzerinde oynamalar yapılmıştır. Yakıcı yüzeyinde üniform bir sıcaklık dağılımı elde etmek için çeşitli tasarımlar yapıldı ve en uygun olan yakıcı uygulamaya koyuldu. Bu sayede yakıcı yüzeyinde infrared yanma gerçekleştirildi.

Yakıcının emisyon değerlerini ölçmek için, yakıcının bir kapalı ortam içine alınması gerekir. Yakıcının yüzey sıcaklığı bir lazer sıcaklık okuyucu ile ölçüldü. Hava yakıt karışımı değiştirildikçe yüzey sıcaklığı 900-952 ^{o}C arasında değişmektedir. Yanmanın gerektirdiği zaman, tutuşma sıcaklığı ve türbülans yeterince sağlanmadığı zaman alevin rengi, olması gerekenden daha koyu renktedir ve sıcaklık değerleri daha düşüktür. Yakıcı yüzeyi boyunca ölçülen sıcaklıklar aynı değerdedir. Bunun anlamı yakıcı yüzeyinde üniform ışınımlı bir yakma olduğudur. Şekil 3.3. de yakıcı yüzeyindeki ışınımlı yanma görülmektedir.



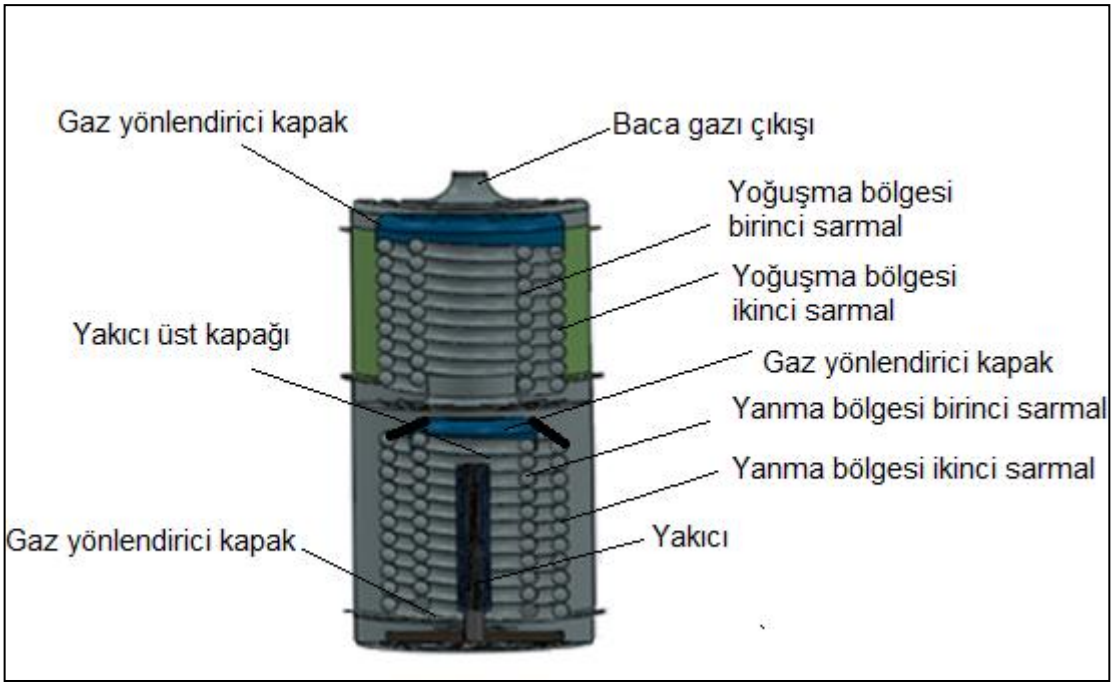
Şekil 3.3. Yakıcı yüzeyindeki ışınımlı yanma

Yakıcı yüzeyinde lazer sıcaklık ölçüm cihazıyla ölçülen değerler Şekil 3.4’ de verildi. Düşük sıcaklık değerleri karışımın optimum sağlanamadığı durumları(a), yüksek sıcaklık değerleri ise optimum karışım sağlanmasına karşı gelir(b).



Şekil 3.4. Optimum şartlar sağlanmadığı zaman ölçülen sıcaklık değerleri (a) ve optimum şartlar sağlandığı zaman ölçülen sıcaklık değerleri(b)

Prototipi üretilen yakıcının kapalı bir sistem içinde yakılarak baca gazı sıcaklığı, CO, NOx , CO2 , O2 değerleri, su giriş-çıkış sıcaklığı, basınç kayıpları, yoğuşan su miktarı, yakıt sarfiyatı, yanma verimi ve sistem verimi ayrı ayrı hesaplanabilmesi için Şekil 3.5'de verilen kapalı sistem oluşturuldu.

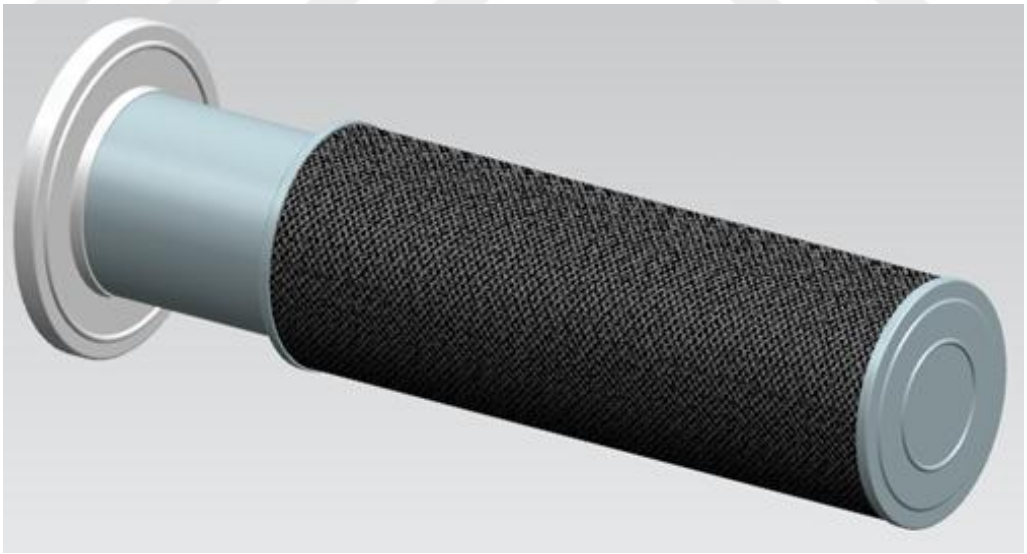


Şekil 3.5. Deneysel çalışma için oluşturulan sistemin kesiti

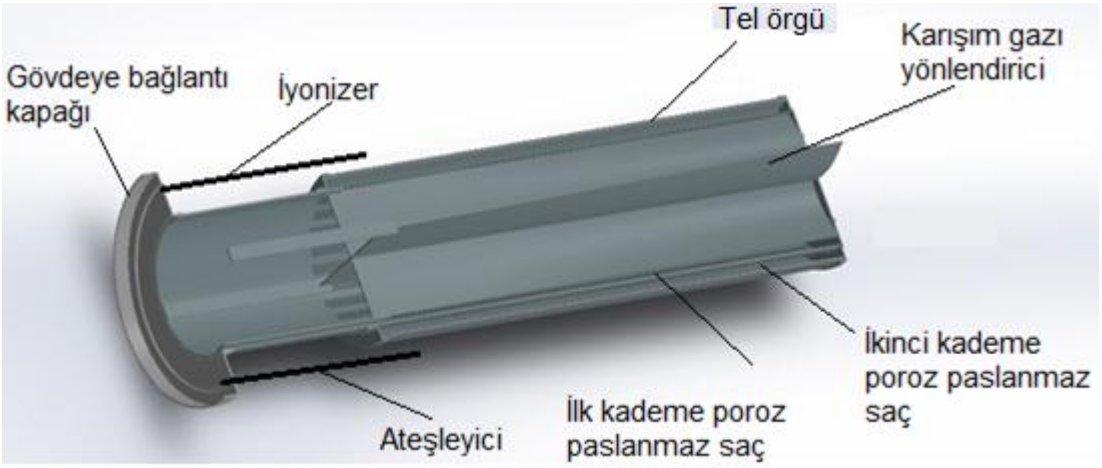
Kapalı sistem tam yoğuşmalı ve çok geçişli bir kazan olup, iki kademeden oluşmaktadır. İlk kademe yanmanın oluştuğu bölge; ikinci kademe ise baca gazına ait üst ısıl değerin kullanıldığı yoğuşma bölgesidir.

Farklı zaman aralıklarında ve farklı akışkan debilerinde olmak üzere toplamda 3 deney yapıldı. Yapılan deneylerde debi ve ölçüm zaman aralıkları bilgisayar ekranında anlık olarak okundu ve 1' er saniye aralıklarla kaydedildi. Deneyler sırasında hava yakıt oranını, dolayısıyla yakıt miktarını sabit tutmaya özen gösterildi.

Şekil 3.6'da çift kademeli poroz yapıda metal matrix yakıcının katı modeli verilmiştir. Şekil 3.7' de ise metal matrix yakıcının kesiti ve elemanları görülmektedir. Hava yakıt karışımı yakıcıda yanma bölgesine girmeden önce premix olarak karıştırılır. Yakıcı içinde özel dizayn edilmiş yönlendiriciler yardımıyla gaz karışımının tüm yüzeylere üniform dağılması sağlanır. İlk kademeden geçen karışım tutuşur ve yanma başlar. İlk kademedeki yanma mavi alevli olup, sıcaklığı 700 ^{o}C'nin altındadır. İlk kademeden sonra asıl yanma ikinci kademenin yüzeyinde ışınımlı (infrared) yanma olarak gerçekleşir. Burada yüzey sıcaklığı ise 900-957 ^{o}C arasındadır.

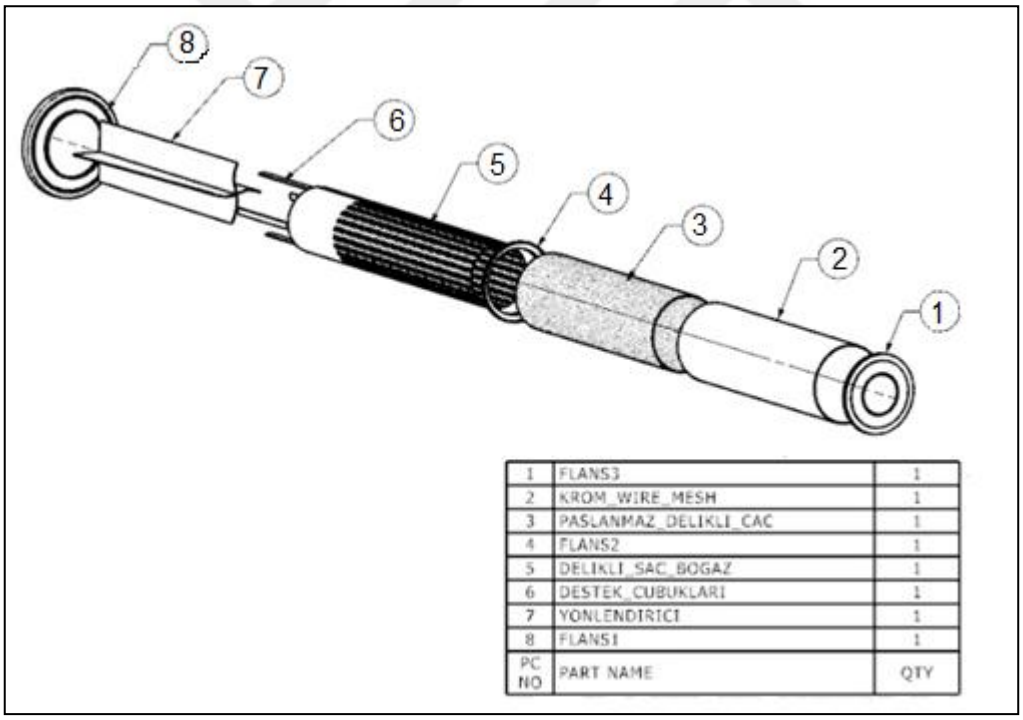


Şekil 3.6. Çift kademeli poroz metal matrix yakıcının katı modeli



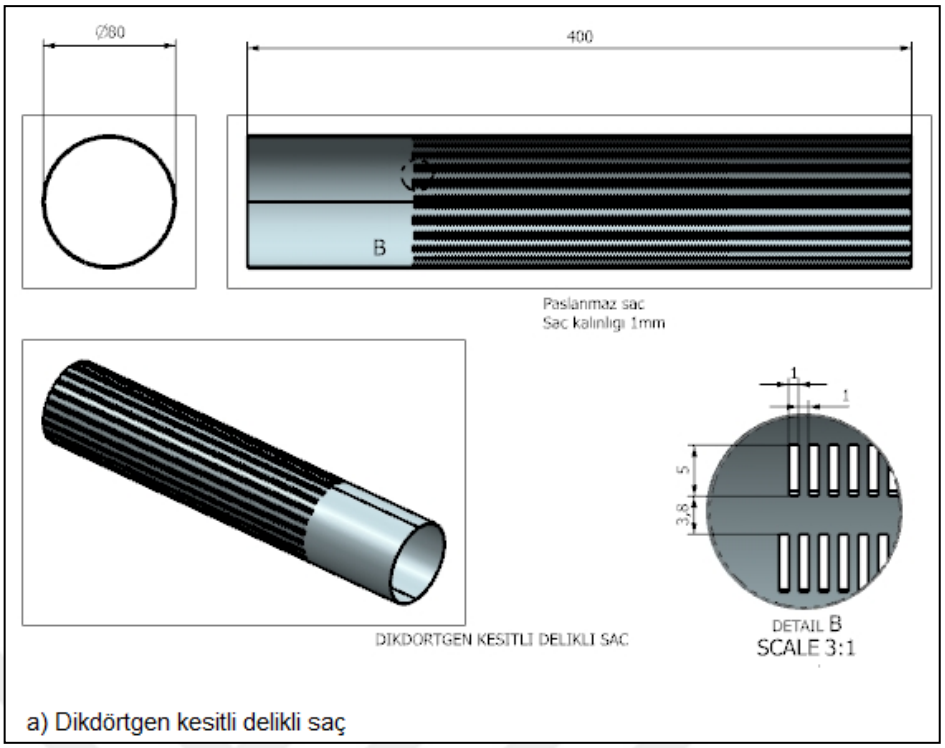
Şekil 3.7 Yakıcının kesiti ve elemanları

Yakıcının katı modeline ait ayrıklaştırılmış perspektif resmi Şekil 3.8’ de verildi.

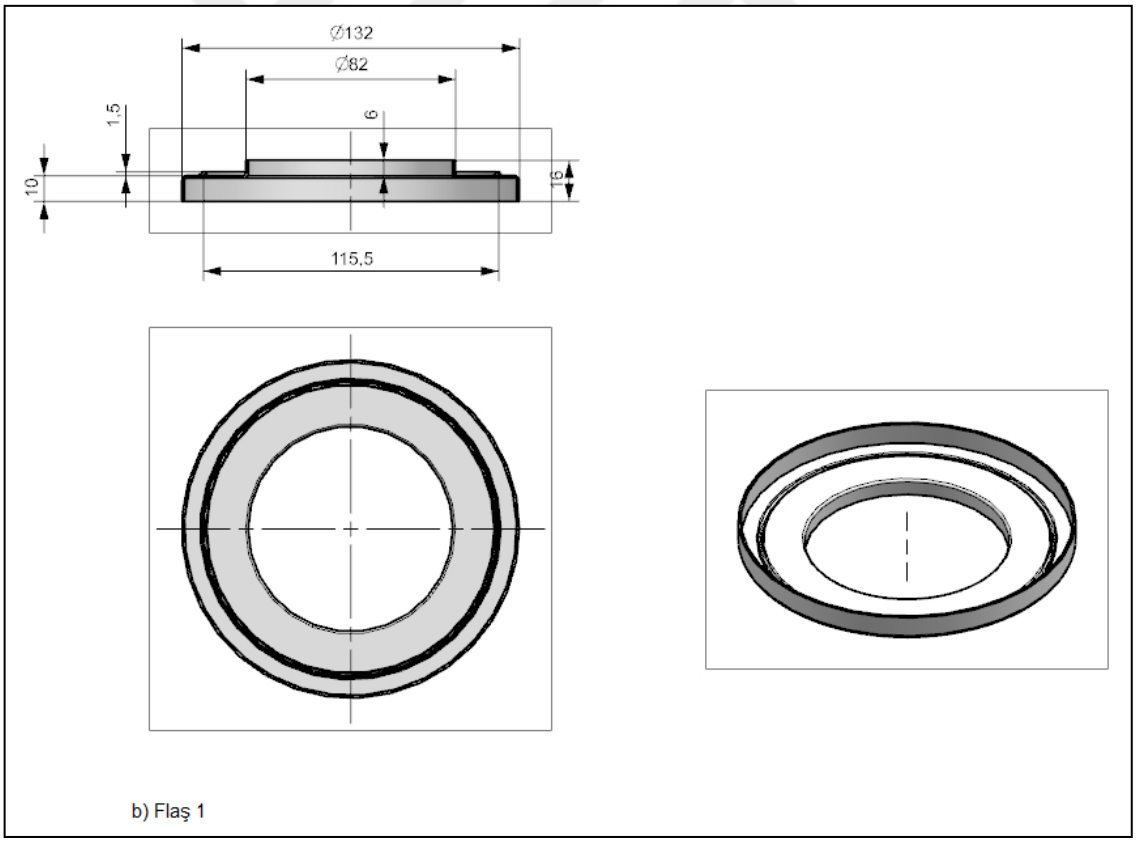


Şekil 3.8. Yakıcının ayrıklaştırılmış perspektif resmi

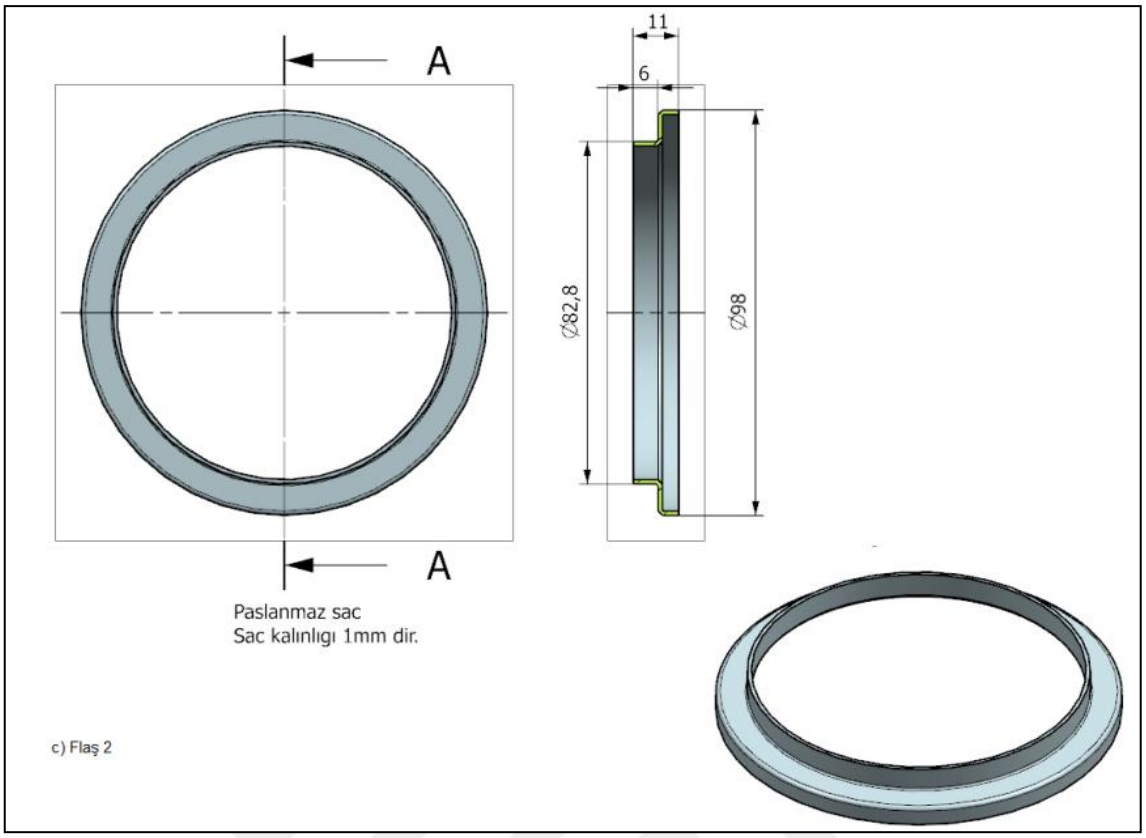
Yakıcıyı oluşturan tüm parçaların imalatına ait teknik resimleri Şekil 3.9’ da, a) Dikdörtgen kesitli delikli saç, b) Flanş 1, c) Flanş 2, d) Flanş 3, e) Krom wire mesh, f) Delik çapı 1 mm olan özel imalat paslanmaz delikli saç, g) Gaz yönlendirici olarak sıra ile verildi.



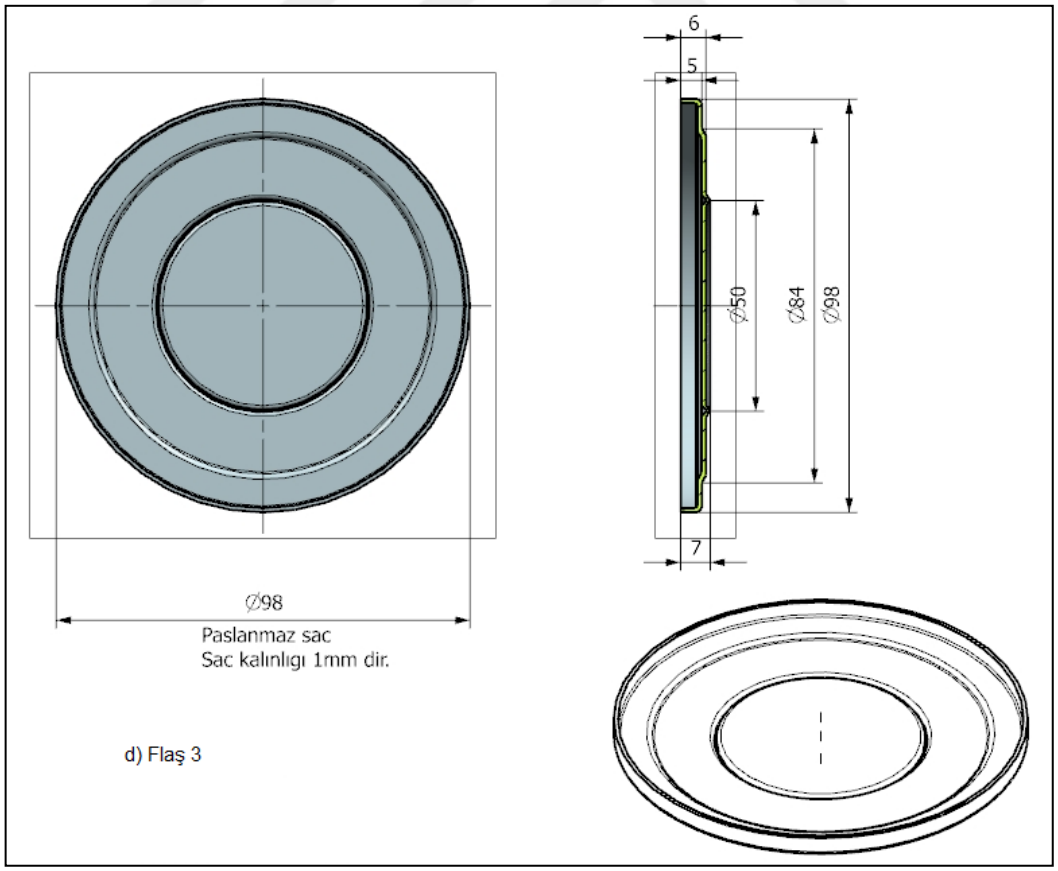
a) Dikdörtgen kesitli delikli saç



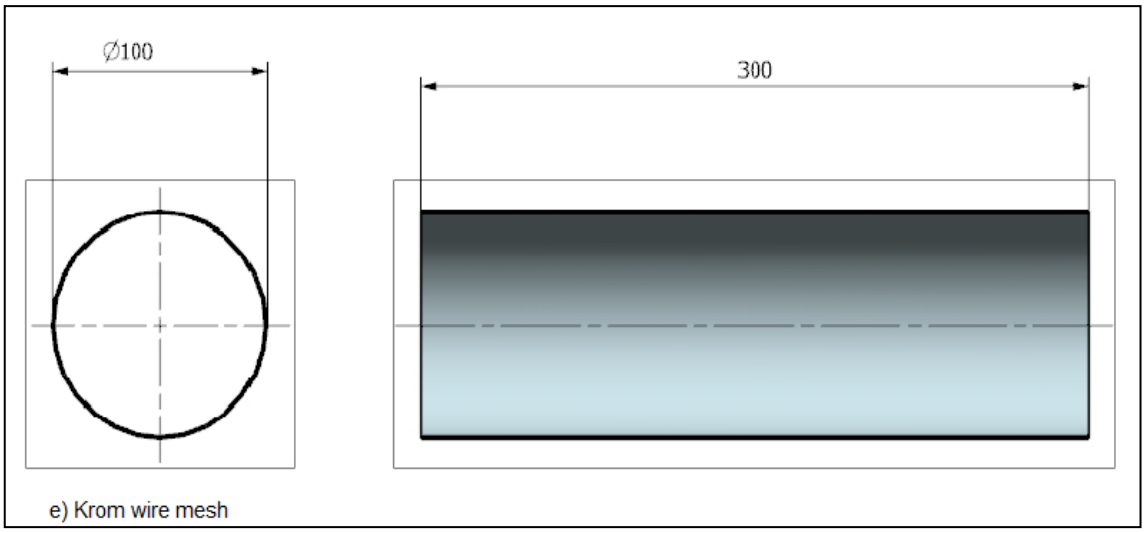
b) Flaş 1



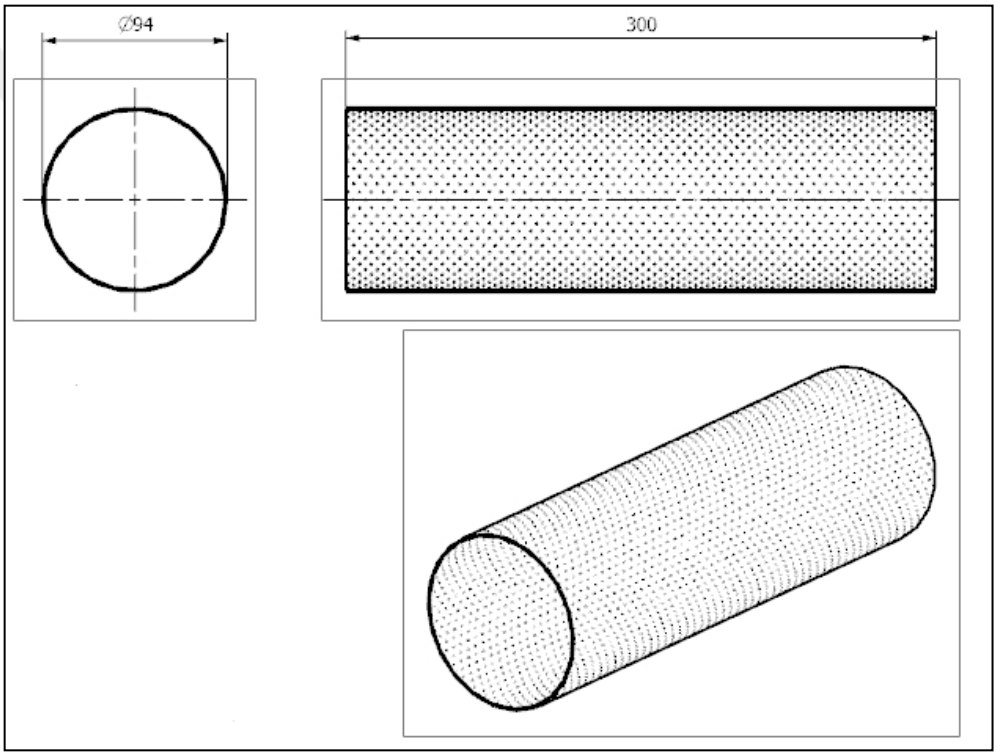
c) Flaş 2



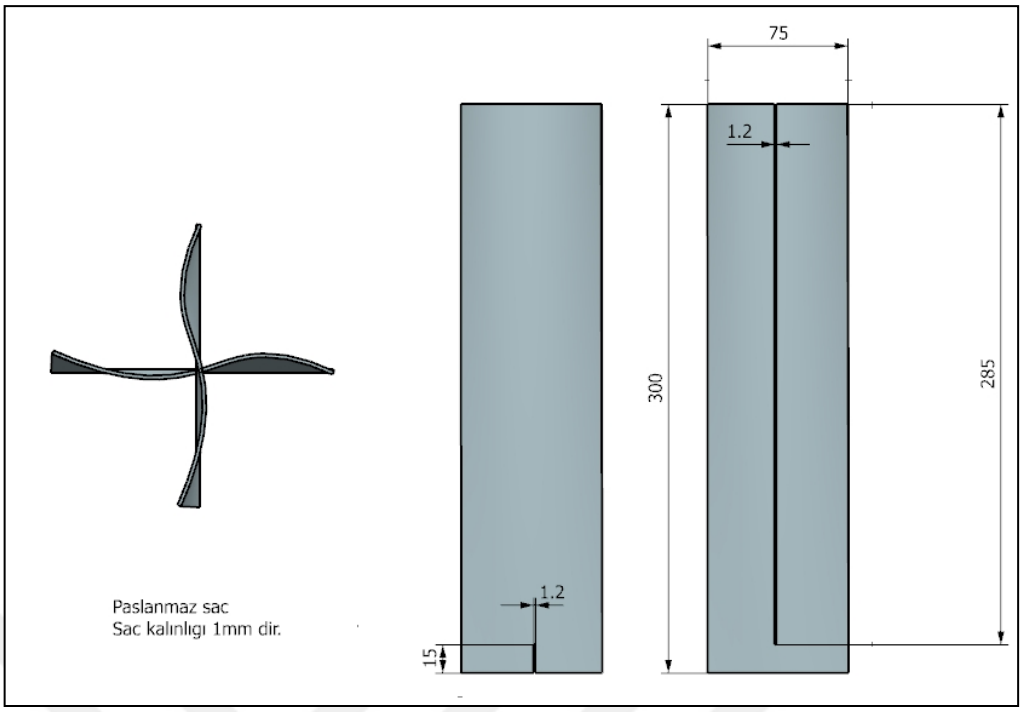
d) Flaş 3



e) Krom wire mesh



f) Paslanmaz delikli saç



h) Gaz yönlendiricisi

Şekil 3.9. Yakıcıya ait parçaların imalatına ait teknik resimleri

3.1.1.2. BK-G4 tip gaz sayacı

Bu tip sayaçlar domestik doğalgaz için yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu sayaçlar körüklü tip olarak da bilinir. G-4 tipi gaz sayacı ±0,001% hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.10'da deney tesisatında kullanılan gaz sayacı gösterilmiştir.



Şekil 3.10.BK-G4 tip gaz sayacı

3.1.1.3. Manometreler:

Deney tesisatında iki tip manometre kullanılmıştır. Manometrelerden biri gaz basıncını, diğeri ise su basıncını ölçmek için kullanıldı. Su basıncını ölçen manometre 0-10 bar basınç aralığında ölçüm yapmaktadır. Gaz basıncını ölçmek için ise 0-100 mbar basınç aralığında ölçüm yapabilen kapsül diyaframlı manometre kullanıldı. Her iki manometre de alttan bağlantılıdır. Deney tesisatında kullanılan gaz manometresi Şekil 3.11' de görülmektedir.



Şekil 3.11. Gaz manometresi

Şekil 3.12' de 0-10 bar aralığında çalışan basınç sensörü görülmektedir. Sisteme su giriş ve çıkış noktalarında kullanılan basınç sensörleri % 0,5 hassasiyet değerine sahiptir.



Şekil 3.12. Basınç sensörü

3.1.1.4. Su sayacı

Kombi tesisatında kullanılan suyun miktarını ölçmek için ±0,0001% hassasiyete sahip kuru tip bir su sayacı kullanıldı. (Şekil 3.13)



Şekil 3.13. Su sayacı

3.1.1.5. Lazer sıcaklık okuyucular

Yapılan deneylerde yüksek ve alçak sıcaklıkları ölçmek için iki ayrı lazer sıcaklık okuyucu kullanıldı. Şekil 3.14 ile gösterilen cihaz yüksek sıcaklıkları ölçebilen lazer sıcaklık okuyucudur. Bu cihaz ile silindirik yakıcı yüzeyindeki yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Düşük derecedeki sıcaklıklar ise Şekil 3.15'de verilen başka tip bir lazer sıcaklık okuyucu ile okundu.



Şekil 3.14. Yüksek sıcaklık ölçen lazer sıcaklık ölçüm cihazı



Şekil 3.15. Düşük sıcaklıklar için kullanılan lazer sıcaklık okuyucu

3.1.1.6. Termoelemanlar

Baca gazı giriş - çıkış sıcaklıklarını, yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklıklarını, kazan suyu çıkış sıcaklığını ve radyatör su giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için K tipi nikel krom-nikel termo elemanlar kullanıldı. Bu termoelemanlar 0 ^{o}C-150 °C aralığında ve ± 2,5% doğrulukta ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.16'daK tipi nikel krom-nikel PT 100 termo eleman görülmektedir.



Şekil 3.16.PT 100 termoeleman

3.1.2. Bilgisayar yazılımı

Bu çalışmada deneysel çalışmaların yansıra MATLAB bilgisayar programlama dilinde geliştirilen bir yazılım ile yanma olayı sayısal olarak simüle edilip incelenmiştir. Ayrıca STAR CCM adında hazır bir paket program aracılığı ile akış analizi yapılmıştır.

3.1.3. Akış analizi paket programı

Bu çalışmada akış analizi yapmak için STAR CCM paket programı kullanılmıştır. Bu paket program aracılığı ile akışkana ait yoğunluk, viskozite, hız, basınç değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

3.2. Metod

Bu çalışmada uygulanacak yöntem literatür taramasına atıf yapılarak, ayrıntılı bir şekilde verildi. Sistemin matematik modelini oluşturmak için hava ve yakıt karışımının fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Ayrıca yanmayı karakterize eden havanın yakıt ile yanması sonucu oluşan yanmaya ait kimyasal reaksiyonlar verilmiştir.

3.2.1. Yanma

Tutuşma sıcaklığında oksijen ile yanıcı madde yeterli miktarlarda bir araya gelirse, yanma olayı gerçekleşir. Yanma tekniği açısından incelendiğinde, yanma olayı üç değişik şekilde meydana gelir. Bunlar az hava ile yanma, fazla hava ile yanma ve tam yanma şeklindedir.

3.2.1.1. Az hava ile yanma (eksik yanma)

Az hava ile yanmada yakıt zerrecikleri yeterli miktarda oksijen ile buluşamadıkları için eksik yanma meydana gelir. Eksik yanmada CO gazı oluşur. Bunun göstergesi yanma sonucu ortaya çıkan dumanın koyu ve isli olmasıdır. Ayrıca alev rengi de olması gerekenden daha koyu renktedir. Eksik yanma sonucu alevlerin yaladığı yüzeylerde is ve kurum birikir. Bu da o yüzey için ısıl bir direnç oluşturur. Bu durumda yakıt tüketimi artacaktır. Eksik yanma sonucu oluşan is ve kurum ile CO gazı bacadan atıldığında çevre kirliliğine neden olur. Eksik yanmaya ait kimyasal reaksiyonu (3.1) bağıntısı ile verilmiştir.

$$2C + O_2 \rightarrow 2\,CO \qquad (3.1)$$

3.2.1.2. Fazla hava ile yanma

Fazla hava ile yanma durumunda alev rengi çok açık ve parlaktır. Baca gazı hemen hemen gözle görülmez. Fazla hava ile yanma olayında ısının bir miktarı fazla hava tarafından çekilir. Bu nedenle, yanma odası sıcaklığı düşer. Buna karşılık baca gazı sıcaklığı artar. Bu yüzden aynı miktardaki enerjiyi elde etmek için daha fazla yakıt harcamak gerekir. Daha fazla yakıt yakıldığı için baca gazı debisi ve buna bağlı olarak çevre kirliği de artar.

3.2.1.3. Tam yanma

Tam yanmada yakıt/hava oranı çok iyi ayarlandığı için ideal bir yanma elde edilir. Tam yanmada katı ve sıvı yakıtlarda alev rengi açık sarı portakal renginde, gaz yakıtlarda ise mavi renktedir. Tam yanmada baca gazı içerisinde CO bulunmaz ya da çok az bulunur. İdeal bir yanmada baca gazının karbondioksit ve azot gazından oluşması gerekir. Fakat genellikle yanma bir miktar fazla hava ile yapılır. Bunların dışında baca gazı sıcaklığı da kazan verimi üzerinde direkt rol oynar. Baca gazı sıcaklığı

yakıt cinsi ve yakıt bileşenlerine bağlıdır. Kükürt ve kükürtlü bileşikler içeren yakıtlarda baca gazı sıcaklığı 180 ^{o} C altında düşürülmemelidir. Aksi halde kükürt havanın içindeki oksijen ve hidrojenle birleşerek sülfürik asit oluşumuna neden olur. Ancak doğalgaz içinde kükürt bulunmadığından baca gazı sıcaklığı 56 ^{o} C' ye kadar düşürülebilir. Yakıtın içinde karbon miktarının artması alev renginin kırmızıya dönmesine neden olur. Benzer şekilde yakıt içerisindeki hidrojen miktarının artışı yanma sonucu oluşan su miktarının yani su buharının artmasına neden olmaktadır. İyi bir yanma neticesinde baca gazı içinde % 12 – 13 oranında CO_2 bulunmalıdır. CO miktarı ise mümkün olan en alt seviyeye indirilmelidir. Tam yanma için kimyasal reaksiyon aşağıda verildiği gibidir.

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \tag{3.2}$$

3.2.1. Karışımın fiziksel özelliklerini veren bağıntılar

Sıkıştırılamaz akışlar için ideal gaz denkleminden hareketle yoğunluk,

$$\rho = \frac{P}{R.T} \tag{3.3}$$

şeklinde yazılabilir. Sıkıştırılabilir akış için ideal gaz denklemi kullanılarak yoğunluk aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\rho = \frac{P + P_0}{R.T} \tag{3.4}$$

Burada p yerel bağıl basınç, p_0 ise sistemin çalışma basıncıdır. İdeal olmayan gaz karışımı için karışım yoğunluğu

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{m_i}{\rho_i}} \tag{3.5}$$

ifadesiyle verilebilir. Sıkıştırılabilir akışlar için karışım yoğunluğu ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\rho = \frac{p + p_0}{R \cdot T \sum_{i=1}^{N} \frac{m_i}{M_i}} \tag{3.6}$$

Sıkıştırılamaz akışlar için karışımın yoğunluğu,

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T \sum_{i=1}^{N} \frac{m_i}{M_i}} \tag{3.7}$$

bağıntısı ile verilir. Sıcaklığa bağlı olarak gazın viskozitesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu(T) = \mu_n + \frac{\mu_{n+1} - \mu_n}{T_{n+1} - T_n}(T - T_n) \tag{3.8}$$

Sutherland viskozite yasası,

$$\mu = \frac{C_1 T^{3/2}}{T + C_2} \tag{3.9}$$

şeklinde verilebilir.

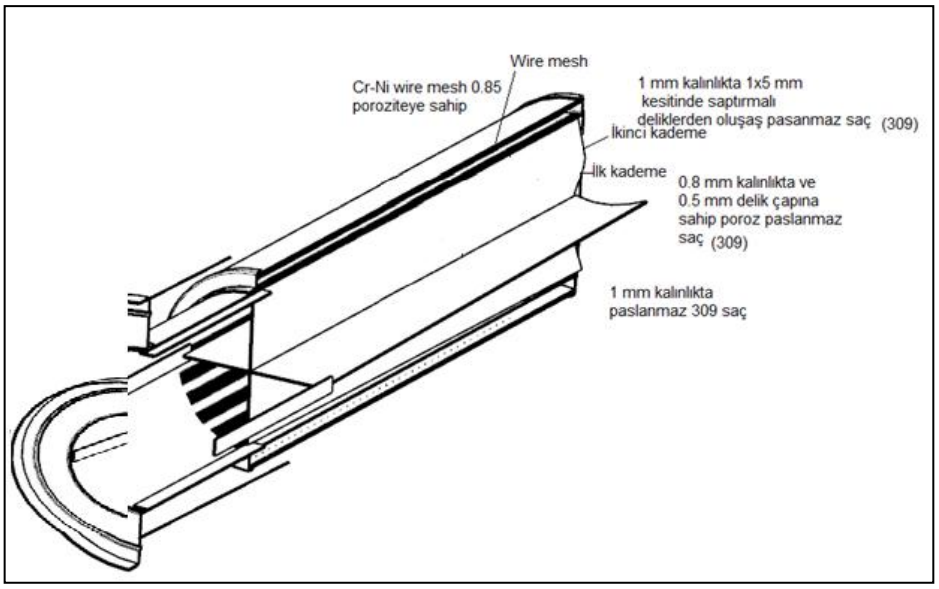
3.2.2 Kontrol Hacmi İçin Enerji denklemi

Bir kontrol hacmi için enerji dengesi en genel halde aşağıdaki gibi yazılabilir.

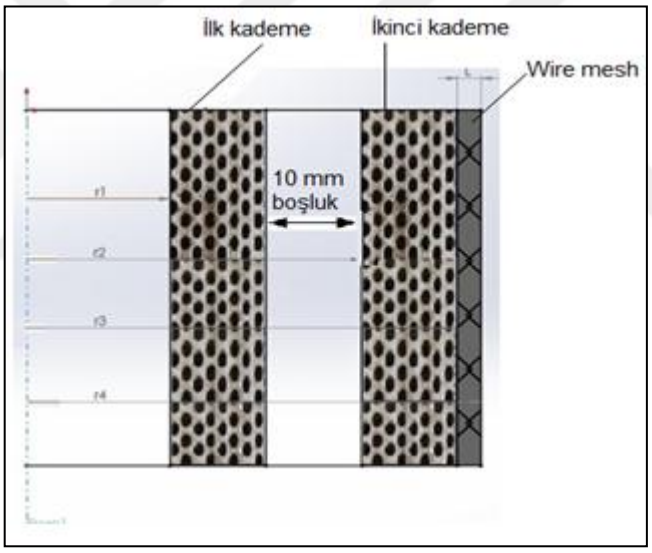
$$Q_{in} - Q_{out} + W_{in} - W_{out} + Q_{gen} = E_{store} \tag{3.10}$$

Burada, W_{in} sisteme verilen mil işi, W_{out} milden çekilen iş, Q_{gen}sistemde birim hacimde üretilen enerji ve E_{store} sistemde depolanan enerjidir. Kontrol hacmi içerisinde

meydana gelen yanma olayı olup herhangi bir mil işi yoktur. Bu nedenle, denklem (3.10)'da verilen ifadede W_{in} ve W_{out} ihmal edilmiştir. Sistemde depolanan herhangi bir enerji yoktur. Sistemde sürekli rejim hali kabul edilmesi nedeniyle,E_{store}teriminin sistemin enerji dengesini değiştirecek her hangi bir etkisi yoktur.Q_{in}veQ_{out}sistemin çevresi ile olan enerji alış verişi ilişkisini ifade eder. Çevreden sisteme bir ısı akısı veya tersine, sistemden çevreye taşınım ve ışınımla veya bunların bir karışımı şeklinde ısı alış verişi söz konusudur. Sistemde üretilen ısı, yakıcı içerisinde katı ortam nedeniyle iletimle, yakıcı çevresine ise ışınım ve taşınımla yayılmaktadır. Taşımımla gerçekleşen ısı transferi, katı yüzey ile gaz arasında ve kütle transferi yardımıyla kontrol hacmine giren ve çıkan ısı olmak üzere, iki ayrı mekanizma ile gerçekleşir. Sistemde yanma nedeniyle, ısı üretimi söz konusudur. Bu nedenle, yakıtın kimyasal enerjisinden oluşan ısıl enerji dikkate alındı. Bu durumda sistem hem bir katı cidar, hem de onu çevreleyen gaz ortamdan oluşur. Şekil 3.17' de görüldüğü gibi, yakıcı içindeki yanma iki kademeli olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle, gaz ve katı ortam için yazılan denklemler, hem ilk kademe için hem de ikinci kademe için ayrı ayrı yazılmalıdır. Birinci poroz yapı 0.80 mm kalınlıkta ve 0.5 mm delik çapına sahip Cr 316 paslanmaz saçtan yapıldı. Poroz yapının yüzey üzerinde dağılımı özel tasarlanıp, lazer ile form verildi. İkinci kademe yine Cr 316 paslanmaz sac olup, 1x5 mm kesitinde saptırmalı olarak dikdörtgen kesitli deliklerden oluşmuştur. İlk ve ikinci kademe arasında 10 mm boşluk bulunmaktadır. İlk kademe poroz malzemenin çok ince olması nedeniyle, bu malzemenin her iki tarafındaki sıcaklık gradyantı birbirine oldukça yakındır. Bu nedenle, ilk kademe için aynı denklemlerin yazılmasına gerek görülmedi. Nitekim geliştirilen bilgisayar programında yapılan bu kabulün sıcaklık değişimi grafiğini etkilemediği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle yapılan kabul doğru bir yaklaşımdır. Bu nedenle, sınır şartları poroz yapı iç ve dış yarıçapları ile ışınım etkisinde kalan bölge arasında yazıldı.



Şekil 3.17. Yakıcı kademelerinin gösterilişi



Şekil 3.18 Sınır şartlarına esas teşkil eden yakıcının boyuna kesiti

Yakıcı için eksenel simetrikenerji denklemi diferansiyel formda aşağıdaki gibi yazılır(Ziabasharhagh ve Mohammadi, 2012).

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\phi\rho_g c_{pg} T_g\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi\rho_g c_{pg} r v T_g\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\phi\rho_g c_{pg} u T_g\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi \mathrm{k_g r}\frac{\partial \mathrm{T_g}}{\partial \mathrm{r}}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\phi k_g \frac{\partial T_g}{\partial z}\right) \quad (3.11)$$
$$-(1-\phi)\mathrm{h_v}\left(\mathrm{T_g}-\mathrm{T_s}\right)+\phi\Delta\mathrm{H_v S_{fg}}$$

Bu bağıntıda sol taraftaki ilk ifade zamana bağlı terimdir ve sürekli rejim kabul edilmesi nedeniyle, bu terim ihmal edilir. Sol taraftaki ikinci ve üçüncü terimler, kütle akışı nedeniyle gerçekleşen gaz hareketindeki taşınım ifadeleridir. Sistemden olan ısı transferi sadece radyal yönde gerçekleşmesi nedeniyle, eksenel boyut göz ardı edilir. Denklemin sağ tarafındaki birinci ve ikinci ifadeler, Fourier ısı iletim yasasına göre yazılan ısı iletimi ifadeleridir. Üçüncü terim gaz ile katı ortam arasında gerçekleşen ısı transferini karakterize eden ve Newton soğuma yasasına göre yazılan taşınım ifadesidir. Son terim ise yakıtın yanmasından kaynaklanan entalpi artışını ifade eder. Bu denklem yazılırken gaz ışınımı ihmal edildi. Buna göre denklem (3.11) gaz ortam için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi\rho_g c_{pg} r v T_g\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi \mathrm{k_g r}\frac{\partial \mathrm{T_g}}{\partial \mathrm{r}}\right)-\left(1-\phi\right)\mathrm{h_v}\left(\mathrm{T_g}-\mathrm{T_s}\right)+\phi\Delta\mathrm{H_v S_{fg}} \tag{3.12}$$

Katı taraf için enerji denklemi, aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir,

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_s C_{ps} T_s\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(k_s r\frac{\partial T_s}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial \mathrm{z}}\left(k_s\frac{\partial T_s}{\partial \mathrm{z}}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(k_r r\frac{\partial T_s}{\partial r}\right)-h_v\left(T_s-T_g\right) \tag{3.13}$$

Burada, sol taraftaki terim sürekli rejim olması nedeniyle ve sağ taraftaki ikinci terim ise eksenel yönde ısı transferinin ihmal edilmesi nedeniyle, z boyutu göz ardı edilmiştir. Bu ifadede sağ tarafta üçüncü terimde verilen k_r ifadesi radyasyonla ısı iletimi terimi olarak düşünülebilir. Literatürde kullanılan çeşitli radyasyon modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, radyasyonla ısı transfer terimini lineer hale getirmek için Rosseland modelinin kullanılması tercih edildi, (Rosseland, 1931). Buna bağlı olarak,

$$F=\int_0^\infty F_v dv=-\frac{4\pi}{3}\frac{\partial t}{\partial z}\int_0^\infty\frac{1}{\beta_v+\sigma_v}\frac{d\beta_v}{dT}dv \tag{3.14}$$

İfadesi yazılabilir. Bu bağıntıda β_v ifadesi radyasyon fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\int_0^{\infty} \frac{d\beta_v}{dT} = \frac{4\sigma}{\pi} T_s^3 \tag{3.15}$$

$$\beta_r = \beta_v + \sigma_v \tag{3.16}$$

için aşağıdaki ifade yazılarak F elde edilir.

$$F = \frac{4\pi}{3} \frac{\partial T}{\partial z} . \frac{1}{\beta_r} . \frac{4\sigma T_s^3}{\pi} = \frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r} \frac{\partial T_s}{\partial z} \tag{3.17}$$

Burada k_r için;

$$k_r = \frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r} \tag{3.18}$$

ifadesi yazılabilir,

Katı ve gaz ortam için yazılan enerji denklemleri birleştirildiğinde;

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi \rho_g c_{pg} r v T_g\right) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi \mathrm{k_g r} \frac{\partial \mathrm{T_g}}{\partial \mathrm{r}}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(k_s r \frac{\partial \mathrm{T_s}}{\partial \mathrm{r}}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r} r \frac{\partial T_s}{\partial r}\right) - \tag{3.19}$$
$$(1-\phi)\mathrm{h_v}\left(\mathrm{T_g} - \mathrm{T_s}\right) - \mathrm{h_v}\phi\left(\mathrm{T_g} - \mathrm{T_s}\right) + \phi \Delta \mathrm{H_v S_{fg}}$$

bağıntısı elde edilir. Katı malzemenin porozitesi dikkate alınılarak (3.19.) ile verilen ifade,

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi \rho_g c_{pg} r v T_g\right) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi k_g r \frac{\partial T_g}{\partial r}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[(1-\phi) k_s \left(r \frac{\partial T_s}{\partial r}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r} r \frac{\partial T_s}{\partial r}\right) \tag{3.20}$$
$$-\mathrm{h_v}\left(\mathrm{T_g} - \mathrm{T_s}\right) + \phi . \Delta \mathrm{H_v} . \mathrm{S_{fg}}$$

şeklinde yeniden yazılabilir**.**(Rosseland, 1931)Bu denklem poroz bölge için yazılan birleştirilmiş enerji denklemdir. Yakıcının iç kısmında gaz ortamdan katı ortama ve katı ortamdan gaz ortamına olan ısı geçişi sıra ile aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\rho_g Cp_g T_g v r\right) - h_v\left(T_g - T_s\right) = 0 \tag{3.21}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\rho_g Cp_g T_g v r\right) - h_v\left(T_s - T_g\right) = 0 \tag{3.22}$$

Yakıcının dış yüzeyi için enerji denklemi;

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\rho_g c_{pg}\, r v T_g\right) = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r} r \frac{\partial T_s}{\partial r}\right) + h_v\left(T_s - T_g\right) \tag{3.23}$$

şeklinde yazılabilir. Burada T_s yakıcının yüzey sıcaklığı ve T_g gazın ortalama sıcaklığıdır.

3.2.3. Sınır şartları

Silindirik formdaki yakıcı ’in radyal yöndeki sınır şartları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$r=0$ için, $T=T_m$ (3.24-a)

$r=r_1$ için, $T= T_{1.k,in}$ (3.24-b)

$r=r_2$ için $T=T_{2.k,in}$ (3.24-c)

$r=r_3$ için $T=T_{2.k,o}$ (3.24-d)

$r=r_4=r_3+L$ için, $= T_{w.m,o}$ (3.24-e)

3.2.3.1. Denklemlerin ayrıklaştırılması

Ayrıklaştırma, diferansiyel denklemlerin, sistem için oluşturulmuş olan grid sistemi dikkate alınarak integrallerinin alınması sonucu cebirsel çözüm denklemlerinin elde edilmesi işlemidir. (3.20) ile verilen denklemin bütün ifadeleri ***r*** ile çarpılarak aşağıdaki forma getirilir.

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi\rho_g c_{pg} r v T_g\right)=\frac{\partial}{\partial r}\left(\phi k_g r\frac{\partial T_g}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial r}\left[(1-\phi)k_s\left(r\frac{\partial T_s}{\partial r}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r}r\frac{\partial T_s}{\partial r}\right) \tag{3.25}$$
$$-h_v r\left(T_g-T_s\right)+\phi.r\Delta H_v.S_{fg}$$

Poroz bölge için yazılan birleştirilmiş enerji denklemi 3.25.'in çözümü için, denklemin tüm terimlerinin ayrı ayrı ayrıklaştırılması gerekir.

Denklemin sol tarafındaki ilk terim ayrıklaştırılırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\int_s^n \phi\rho_g C_{pg}\frac{\partial}{\partial r}\left(rvT_g\right)dr=\phi\rho_g C_{pg}v_o r_P\left(T_{gn}-T_{gs}\right)\Delta r \tag{3.26}$$
$$=\phi\rho_g C_{pg}v_o r_P\left(\frac{T_N+T_P}{2}-\frac{T_P+T_S}{2}\right)\Delta r$$
$$=\frac{1}{2}\phi\rho_g C_{pg}v_o r_P\left(T_N-T_S\right)$$

Sağ taraftaki ilk terim ayrıklaştırılarak,

$$\int_s^n \frac{\partial}{\partial r}\left(\phi k_g r\frac{\partial T_g}{\partial r}\right)dr=\phi k_g\left[r_n\left.\frac{\partial T_g}{\partial r}\right|_n-r_s\left.\frac{\partial T_g}{\partial r}\right|_s\right]\Delta r \tag{3.27}$$
$$=\phi k_g\left[\frac{r_P+\Delta r/2}{(\delta r)_n}\left(T_N-T_P\right)-\frac{r_P-\Delta r/2}{(\delta r)_s}\left(T_P-T_S\right)\right]\Delta r$$

ifadesi elde edilir.

Üçüncü terim için (sağ taraftaki ikinci terim) aşağıdaki ayrıklaştırma ifadesi yazılır.

$$\int_s^n \frac{\partial}{\partial r}\left((1-\phi)k_s\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r}r\frac{\partial T_s}{\partial r}\right)dr=(1-\phi)k_s\left[\frac{r_P+\Delta r/2}{(\delta r)_n}\left(T_N-T_P\right)-\frac{r_P-\Delta r/2}{(\delta r)_s}\left(T_P-T_S\right)\right]\Delta r \tag{3.28}$$

Dördüncü terim için;

$$\int_s^n \frac{\partial}{\partial r}\left((1-\phi)\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r}r\frac{\partial T_s}{\partial r}\right)dr=(1-\phi)\frac{16\sigma T^3}{3\beta_r}\left[\frac{r_P+\Delta r/2}{(\delta r)_n}\left(T_N-T_P\right)-\frac{r_P-\Delta r/2}{(\delta r)_s}\left(T_P-T_S\right)\right]\Delta r \tag{3.29}$$

bağıntısı yazılır. Beşinci terimin ayrıklaştırılması sonucu aşağıda verilen ifade yazılır.

$$\int_s^n h_v.r\left(T_g - T_s\right)dr = h_v.r_P.\Delta r.T_p - h_v.r_p.\Delta r.T_S = h_v r_P\left[T_P - T_S\right]\Delta r \tag{3.30}$$

Altıncı ve son terim için ise,

$$\int_s^n \phi.\Delta \mathrm{H}_v.\mathrm{r}.\mathrm{S}_{\mathrm{fg}}dr = \phi\Delta \mathrm{H}_{\mathrm{c}}\, s_{\mathrm{fg}}\left.\frac{r^2}{2}\right|_{\mathrm{s}}^{n} = \phi\Delta \mathrm{H}_{\mathrm{c}} S_{fg}\, r_P\Delta r \tag{3.31}$$

ifadesi yazılabilir. Bu ifadeler elde edilirken aşağıda verilen değişken dönüşümleri kullanıldı.

$$r_n = r_p + \frac{\Delta r}{2} \tag{3.32}$$

$$r_s = r_p - \frac{\Delta r}{2} \tag{3.33}$$

$$(r_p + \frac{\Delta r}{2})^2 = r_p^2 + r_p.\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4} \tag{3.34}$$

$$\frac{r_n^2}{2} - \frac{r_s^2}{2} = \frac{1}{2}\left(r_p^2 + r_p.\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4} - r_p^2 + r_p.\Delta r - \frac{\Delta r^2}{4}\right) = \frac{1}{2}(2.r_p.\Delta r) = r_p.\Delta r \tag{3.35}$$

(3.26) - (3.31) arası ayrıklaştırılmış ifadeler birleştirilerek ayrıklaştırılmış genel denklem, aşağıdaki gibi verilir.

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\phi\rho_g C_{pg} v_o r_P\left(T_N - T_S\right) &= \phi k_g\left[\frac{r_P + \Delta r/2}{(\delta r)_n}\left(T_N - T_P\right) - \frac{r_P - \Delta r/2}{(\delta r)_s}\left(T_P - T_S\right)\right]\Delta r \\ &+ (1-\phi)k_s\left[\frac{r_P + \Delta r/2}{(\delta r)_n}\left(T_N - T_P\right) - \frac{r_P - \Delta r/2}{(\delta r)_s}\left(T_P - T_S\right)\right]\Delta r \\ &+ (1-\phi)\frac{16\sigma T_s^3}{3\beta_r}\left[\frac{r_P + \Delta r/2}{(\delta r)_n}\left(T_N - T_P\right) - \frac{r_P - \Delta r/2}{(\delta r)_s}\left(T_P - T_S\right)\right]\Delta r + h_v r_P\left[T_P - T_S\right]\Delta r + \phi\Delta \mathrm{H}_{\mathrm{c}} S_{fg}\, r_P\Delta r\end{aligned} \tag{3.36}$$

Bu denklemde S_{fg} , birim hacim başına yakıt tüketimi oranı olup,

$$S_{fg} = f\,\rho_g^2 m_f m_{O_2} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \tag{3.37}$$

ifadesi ile hesaplanabilir; (Silva ve ark., 2013)

Problemi bilgisayar ortamında çözmek için (3.36) ile verilen ayrıklaştırılmış denklem, bilgisayar notasyonuna uygun olan kompakt bir formda yazılır. Tek boyutlu bir ısı transferi için bu denklem,

$$a_p\phi_p = a_N\phi_N + a_S\,\phi_S + S_c \tag{3.38}$$

şeklinde verilebilir; (Patankar, 1980)Burada,

$$a_N = \frac{1}{2}\phi.\rho_g.c_{pg}.\Delta r.v_0 + \left[\frac{r_P - \Delta r/2}{(\delta r)_n}\right]\left[(\phi k_g) + (1-\phi)k_s + \frac{16\sigma T^3}{3\beta_r}\right] \tag{3.39}$$

$$a_s = \frac{1}{2}\phi.\rho_g.c_{pg}.\Delta r.v_0 + \left[\frac{r_P - \Delta r/2}{(\delta r)_s}\right]\left[(\phi k_g) + (1-\phi)k_s + \frac{16\sigma T^3}{3\beta_r}\right] \tag{3.40}$$

$$S_c = \phi\Delta H_c.S_{fg} \tag{3.41}$$

$$S_p = -h_v r_p \Delta r \tag{3.42}$$

$$a_p = a_N + a_S - S_p \tag{3.43}$$

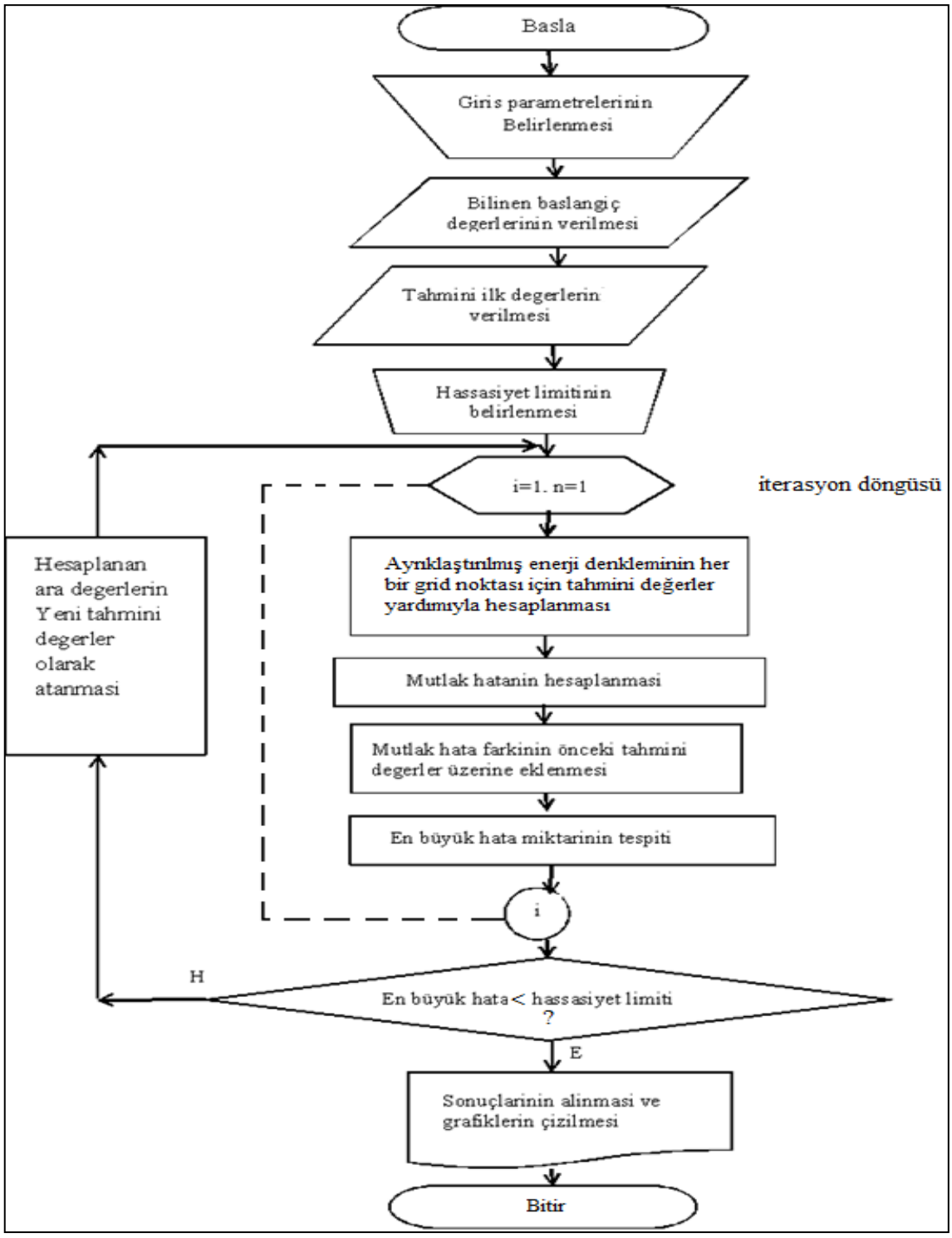
Kaynak teriminin lineerleştitirilmesi için,

$$\overline{S}.\Delta V = S_c + S_p T_p \tag{3.44}$$

ifadesi verilmiştir, (Patankar, 1980)

3.2.4. Bilgisayar Programı

Sayısal çözüm için MATLAB programlama dilinde bir bilgisayar programı geliştirildi. Bilgisayar programına esas teşkil eden akış şeması Şekil 3.19'da verildi. Sayısal çözüm yöntemi olarak "sonlu farklar" yöntemi kullanıldı. Silindirik yakıcının yer aldığı çözüm bölgesi radyal yönde 960 adet eşit aralıklı gridlere bölündü. Bu sayı hassas bir çözüm için oldukça yeterlidir. Sayısal çözümde kullanılan diferansiyel denklemler merkezi fark yöntemi ile ayrıklaştırılarak sonlu farklar sayısal çözüm yöntemine göre çözüldü. Denklem sisteminin bilgisayar destekli çözümünde Gauss-Seidel iterasyon yöntemi kullanıldı. Çözümün yakınsaklığını anlamak için bir "hassasiyet limiti" kriteri belirlendi. Radyal yönde sıcaklık dağılımları elde edildi. Ayrıca bu sıcaklıklara bağlı olarak her bir düğüm noktası için yoğunluk, viskozite, özgül ısı ve ısı iletim katsayısının değişimi grafik olarak verildi. Bilgisayar programına girişte daha önce belirlenen sınır şartları ayrı ayrı yazıldı. Daha sonra iterasyon başlangıcı için tahmini başlangıç sıcaklık değerleri girildi. Yakıcı için radyal yönde gridler oluşturuldu. Çözüm döngüsünde elde edilen mutlak hataların her biri ayrı ayrı olmak üzere belirlenen hassasiyet limitinin altında kalmış ise yakınsama sağlanmış kabul edilerek, döngüden çıkıldı ve elde edilen veri grupları ile gerekli grafik çıktıları oluşturuldu. Sayısal çözümün grid sayısından bağımsız olduğunu göstermek için Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) kullanılarak hata analizi yapıldı **(**Roache 1998**).** GCI analizi grid noktaları sayısına göre kaba, orta ve iyi olarak üç şekilde değerlendirildi. Kaba grid sayısı 240, orta grid sayısı 480, iyi grid sayısı ise 960 olarak alındı.



Şekil 3.19. Bigisayar programına esas teşkil eden akış şeması

3.2.5. Sayısal Çözümün Gridden Bağımsızlığı ve GCI Analizi:

Sayısal çözümde seçilen hesaplama ağı yoğunluğunun bulgular üzerindeki hata oranını belirlemek için GCI yaklaşımı kullanıldı. GCI analizi sayısal çözümlerin kabul

edilebilir değerlere yakınsamasında hesaplama belirsizliğinin tahmini ve sayısal hesaplama hatalarının istenen bir sınırın altında kalıp kalmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu yöntemin esası, farklı yoğunluktaki ağlardan elde edilen sayısal çözümleri karşılaştıran genelleştirilmiş ***Richardson Ekstrapolasyonu***(Rogachev ve ark., 2005)'na dayanmaktadır. Genel olarak GCI analizi için aşağıda verilen bağıntı kullanılabilir.

$$GCI = \frac{F_s |\varepsilon|}{r^p - 1} \tag{3.45}$$

Burada "***p***"üst indisi, boyutsal doğruluk mertebesidir ve

$$p = \frac{\ln\left(\frac{f_3 - f_2}{f_2 - f_1}\right)}{\ln(r)} \tag{3.46}$$

şeklinde verilir. Burada verilen "***r***" grid düzeltme faktörü olup;

$$r = \frac{h_2}{h_1} = \frac{h_3}{h_2} \tag{3.47}$$

bağıntısı ile hesaplanır. (3.47.) bağıntısında verilen "h_1, h_2,ve h_3"notasyonları sırasıyla iyi, orta ve kaba (fine, medium ve coarse) gridleri arasındaki mesafedir. (3.45.) ifadesinde verilen "F_s" grid güvenlik faktörü olup, 1 veya 2 boyutlu grid sistemleri için 1.25 mertebesindedir.

Mutlak hata ortalaması,

$$\varepsilon = \frac{f_2 - f_1}{f_1} \tag{3.48}$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda kullanılan "f_1, f_2 ve f_3" değerleri sırasıyla, iyi, orta ve kaba gridler için problem çözümünde kullanılan genel değişkenlerin ortalama değerleridir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de GCI analizi ile ilgili toplu sonuçlar verildi.

Tablo 3.1. Kaba-Orta ve Orta-İyi grid yapısı arasında ε ve GCI sonuçları

Grid aralığı	ε_{rms} (%)	GCI (%)
240-480	5.44	2.06
480-960	1.25	0.47

Tablo 3.2. Grid sayısına bağlı olarak elde edilen sıcaklık ortalaması

Grid sayısı	Kare ortalamalı sıcaklık (K)
240	814.1
480	861.0
960	871.8

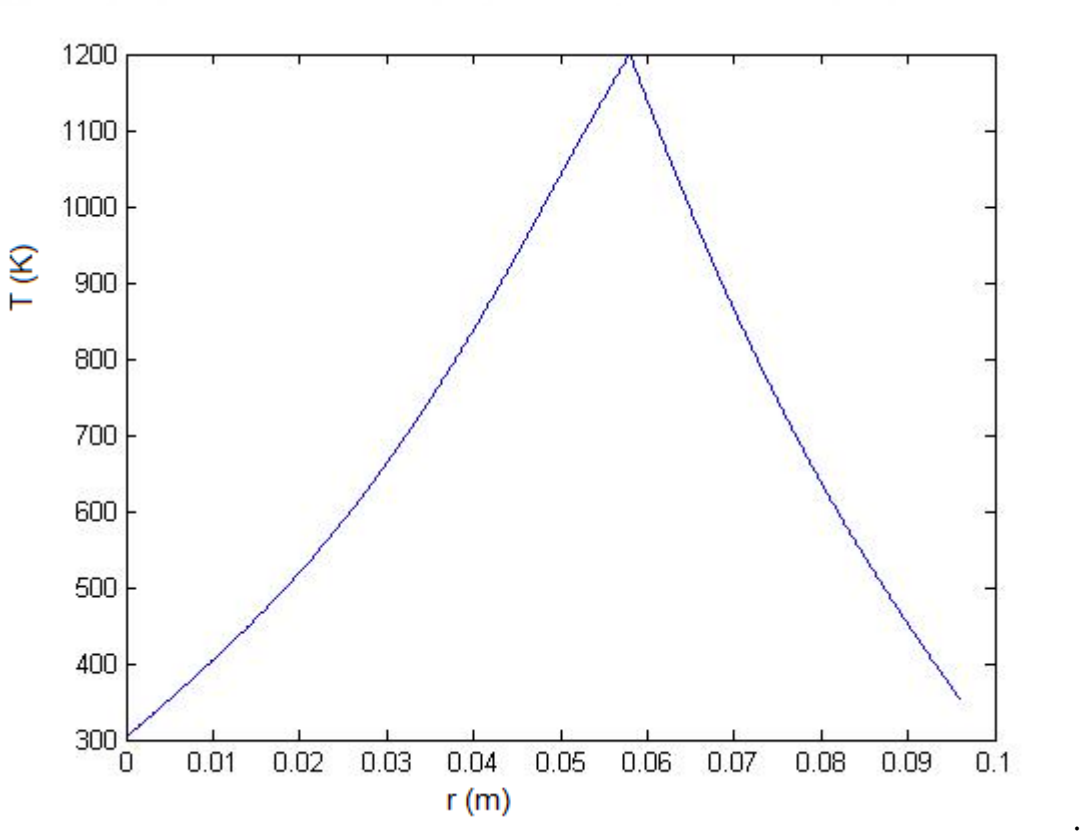
Sayısal çalışmada grid sayısı önce deneyime (tecrübeye) dayalı olarak belirlenir. Daha sonra elde edilen sonuçlar tatmin edici bulunmazsa düğüm sayısı arttırılır. GCI analizi ise gridden bağımsızlığın bir göstergesi olmaktadır. Örneğin bu çalışmada medium grid ile fine grid arasındaki hata oranı % 0.47 olarak gerçekleşmiştir. Bu ise fine grid yerine medium gridin kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte bu çalışmada gerçeğe çok daha yakın değerlere ulaşmak için fine grid kullanıldı. Diğer yandan yarı çap yönündeki yakıcının boyutlarına bağlı olarak düzgün bir grid dağılımı elde etmek için, 240, 480 ve 960 düğüm sayılarının belirlenmesi etkili olmuştur.

3.2.6. Matlab program ile yapılan analizler ve irdeleme

Sayısal çözüm için MATLAB programlama dilinde bir bilgisayar programı geliştirildi. Sayısal çözüm için geliştirilen MATLAB yazılımından çıkan sonuçları daha iyi yorumlayabilmek için program çıktıları grafiklere dönüştürüldü. Bu grafiklerin arasında ana parametre, sıcaklığın radyal yöndeki değişimidir. Ancak sıcaklığa bağlı olarak değişen bazı fiziksel özellikler de program içerisinde hesaplandı.

Şekil 3.20 sıcaklığın radyal yönde değişimini göstermektedir. Yakıcı ekseninde yakıt+hava karışımının sıcaklığı, yakıcıya giriş sıcaklığına eşit alındı. Şekilde görüldüğü gibi sıcaklık yakıcı merkezinde r=0 için, $T=T_m$ karışım sıcaklığındadır. Sıcaklık yarı

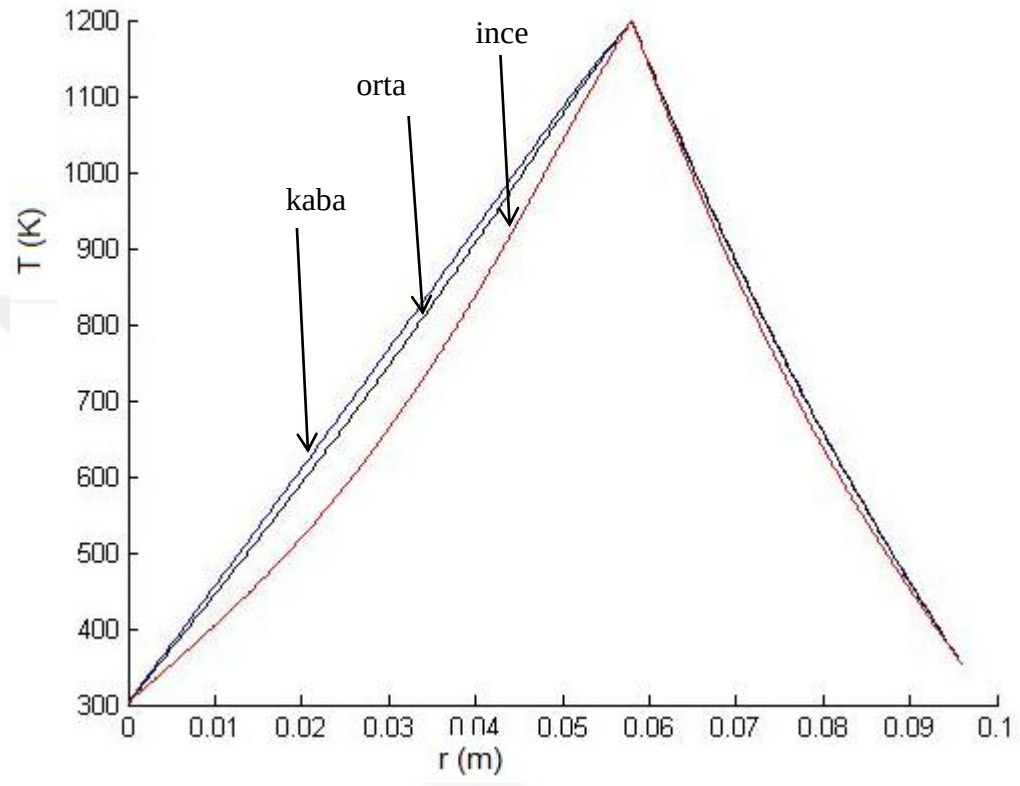
çapa göre artmakta ve $r=r_4 = r_3+ L$ için, $T = T_{w.m,o}$ olmaktadır. Yani sıcaklık maksimum dış yüzey sıcaklığına (Wire mesh üzerindeki sıcaklık) ulaşır. Yakıcı dış yüzeyinden itibaren sıcaklık düşmeye başlar ve ısı değiştiricisinin dış yüzey sıcaklığına ulaşır. Burada *L* ile verilen değer, wire mesh kalınlığıdır. Isı değiştiricisinin yüzey sıcaklığı 373 K'nin biraz altındadır. En yüksek sıcaklık yakıcın dış yüzeyine yakın bir bölgede oluşmaktadır. Bunun nedeni radyasyonla ısı transferinin etkisidir. Maksimum seviyeye ulaşan sıcaklık bundan sonra tekrar radyasyon ve konveksiyon etkisi ile ısı değiştiricisi yüzey sıcaklığına yaklaşır. Dış yüzeyde radyasyonun etkisinden dolayı parabol eğrisinin eğimi dış yüzeye göre daha dik gerçekleşir. Bu hesaplamalarda hassasiyet limiti 10^{-3} olarak alındı.



Şekil 3.20.Sıcaklığın radyal yöndeki değişimi (T,r)

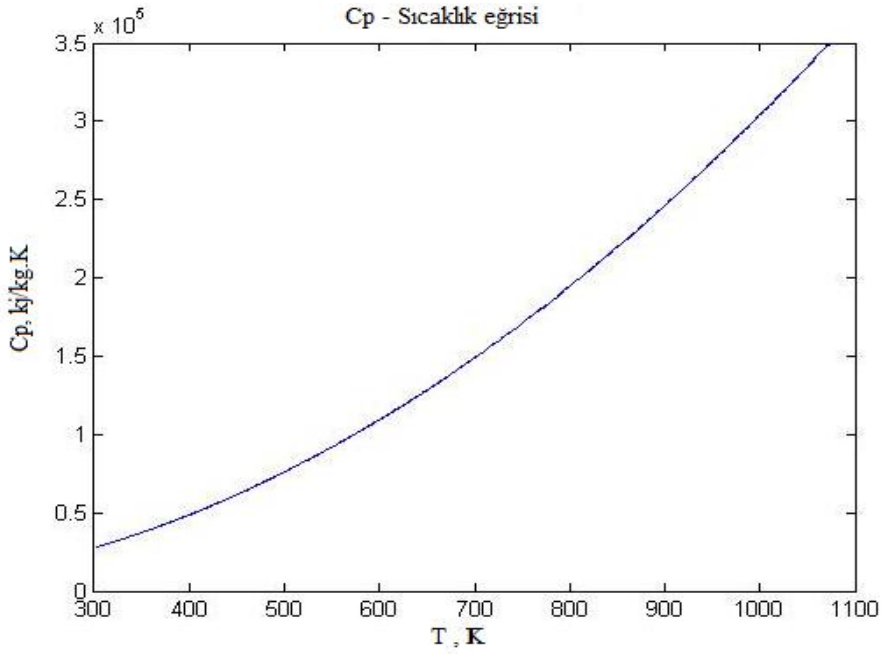
Şekil 3.21' deki grafik GCI analizinin sonuçlarını görmek için verildi. Şekilden görüleceği gibi kaba gride göre alınan sonuçların eğrisinde yarıçap yönünde sıcaklık değişimi neredeyse lineerdir. Dolayısıyla konveksiyonla ısı transferinin etkisi çok açık bir şekilde ifade edilememektedir. Orta grid sayısına göre elde edilen eğride bu etki daha çok belirgindir. İnce grid yapısında ise eğri lineer değil paraboliktir. Yakıcı

ekseninden yakıcı yüzeyine doğru sıcaklık eğrisi daha yatay bir seyir izlerken, yakıcı dış yüzeyinden ısı değiştiricisi yüzey sıcaklığına doğru sıcaklık düşüşü daha dik bir eğimde gerçekleşmektedir. Burada radyal yönde konveksiyonla ısı transferinin yanı sıra radyasyonla ısı transferinin etkisi de açıkça kendini gösterir.

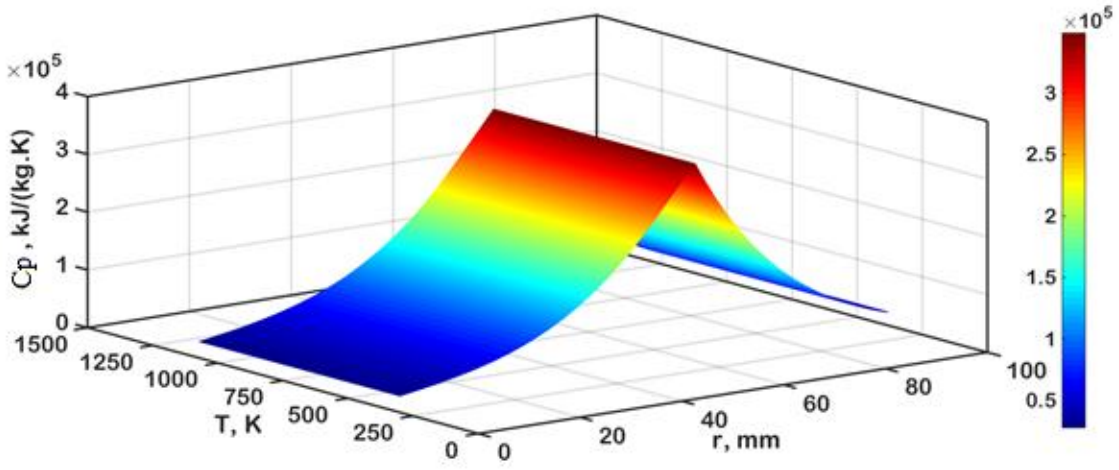


Şekil 3.21. GCI analiz sonuçları (T,r)

Şekil 3.22'de özgül ısının sıcaklıkla değişimi gösterildi. Şekilden özgül ısının sıcaklıkla değişimi parabolik bir formda olduğu ve değişimin yaklaşık olarak $0.3x10^5$ - $3.5x10^5$ aralığında geniş bir alanda gerçekleştiği açıkça görülmektedir. Şekil 3.23 ise özgül ısının yarı çapa bağlı olarak sıcaklıkla değişimi üç boyutlu olarak verildi. Şekilde, üç boyutlu olarak özgül ısının sıcaklıkla artışı ve yine sıcaklığa bağlı olarak azalışı net bir şekilde gözlemlenmektedir.



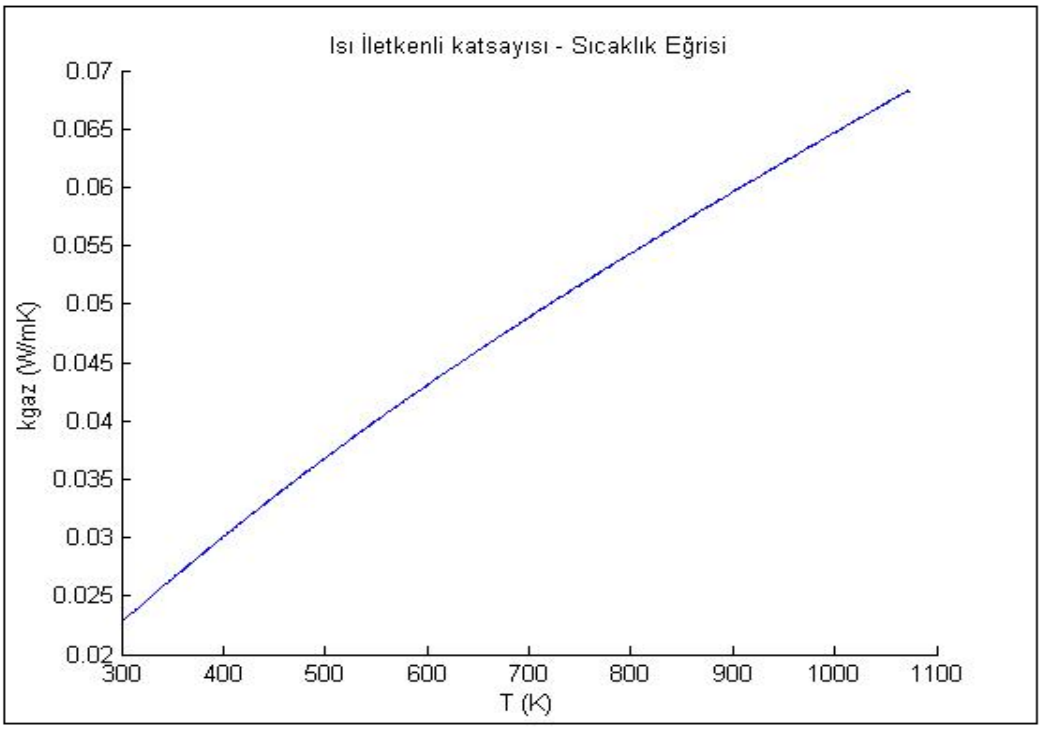
Şekil 3.22. Özgül ısının sıcaklıkla değişimi (Cp,T)



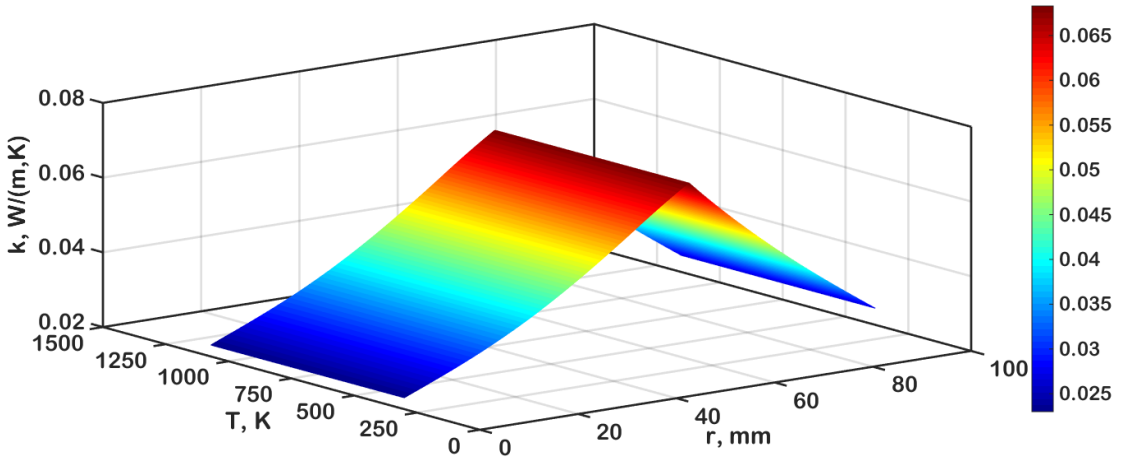
Şekil 3.23.Özgül ısının sıcaklık ve yarı çapa bağlı olarak değişimin üç boyutlu görünümü (Cp,T ve r)

Şekil 3.24' de ısı iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla ısı iletkenlik katsayısı da artar. Bu artış başlangıçta parabolik formda olsa bile, yaklaşık 600 K' den sonra lineer bir artış olarak kendini gösterir. Hava yakıt karışımının bu artışı pratikteki davranış değerlerine uymaktadır. Sıcaklığa

bağlı olan bu doğrusal artma, ya da azalma üç boyutlu formda Şekil 3.25'de açıkça gözlemlenmektedir.



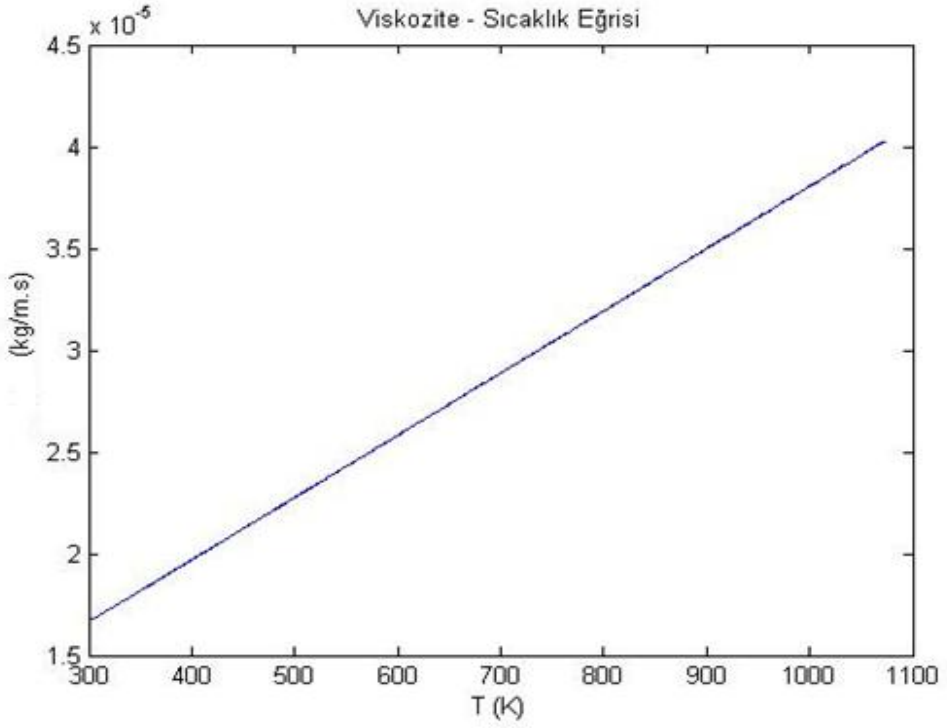
Şekil 3.24. Isı iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimi (k_{gaz},T)



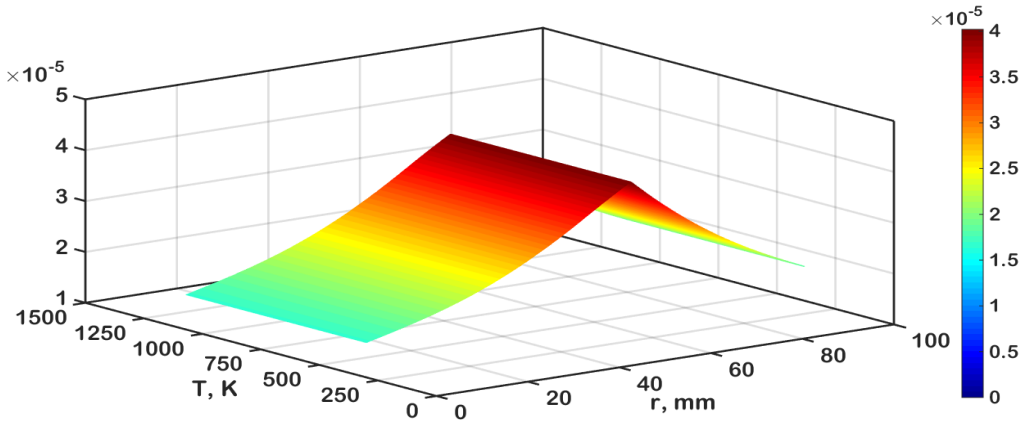
Şekil 3.25 Isı iletkenlik katsayısının sıcaklık ve yarı çapa bağlı olarak değişimin üç boyutlu görünümü (k_{gaz},T ve r)

Şekil 3.26' de viskozitenin sıcaklıkla değişimi gösterildi. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi sıcaklık artışı ile viskozite de artmaktadır. Ancak bu artış lineer bir seyir izlemektedir Bu da beklenen bir sonuçtur. Çünkü Newtonien akışlarda viskozite

sıcaklıkla lineer olarak değişmektedir. Şekil 3.27' de ise viskozitenin sıcaklıkla ve sıcaklığın da radyal yönde değişimleri üç boyutlu olarak görülmektedir.



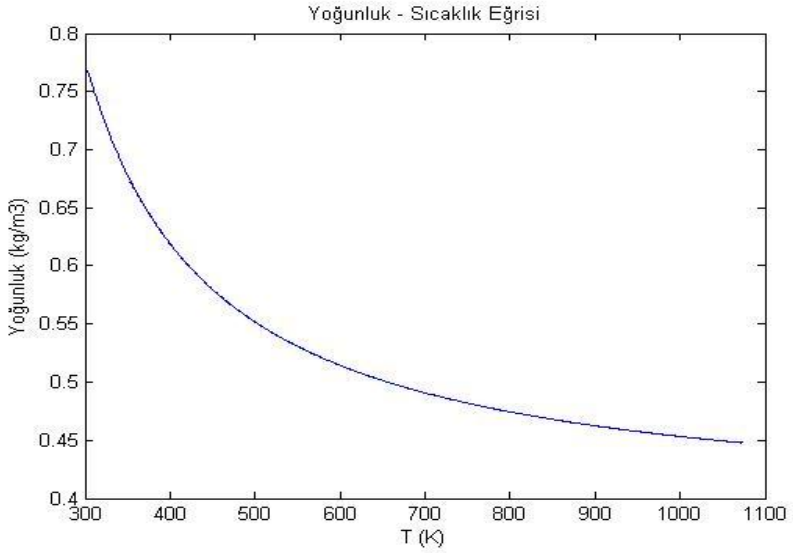
Şekil 3.26. Dinamik viskozitenin sıcaklıkla değişimi (μ,T)



Şekil 3.27. Dinamik viskozitenin sıcaklık ve yarı çapa bağlı olarak değişimin üç boyutlu görünümü (μ_{gaz},T ve r)

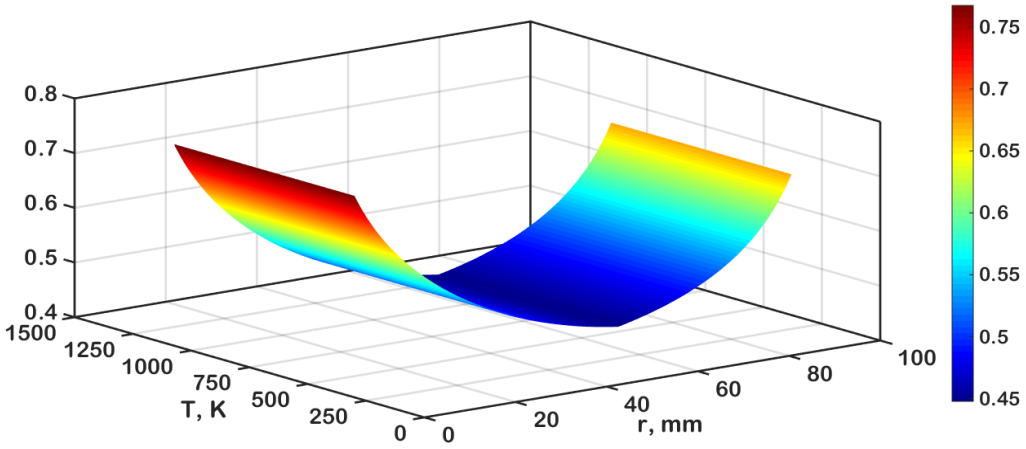
Şekil 3.28 yoğunluğun sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Beklenildiği gibi yoğunluk sıcaklık düşükken daha büyük ve sıcaklık yükseldikçe daha küçük değerler almaktadır. Yoğunluğun sıcaklıkla azalması bilinen bir olaydır. Başlangıçta düşük

sıcaklıkta yoğunluk sıcaklığın artmasıyla daha hızlı düşerken, sıcaklık yükseldikçe yoğunluk daha az düşmektedir. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimi parabolik formdadır. Yüksek sıcaklıklarda parabolik formun eğimi daha yatay bir seyir izlemektedir. Bu durum, giriş sıcaklığı ile konum sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının gittikçe açıldığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.28. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimi (T,ρ)

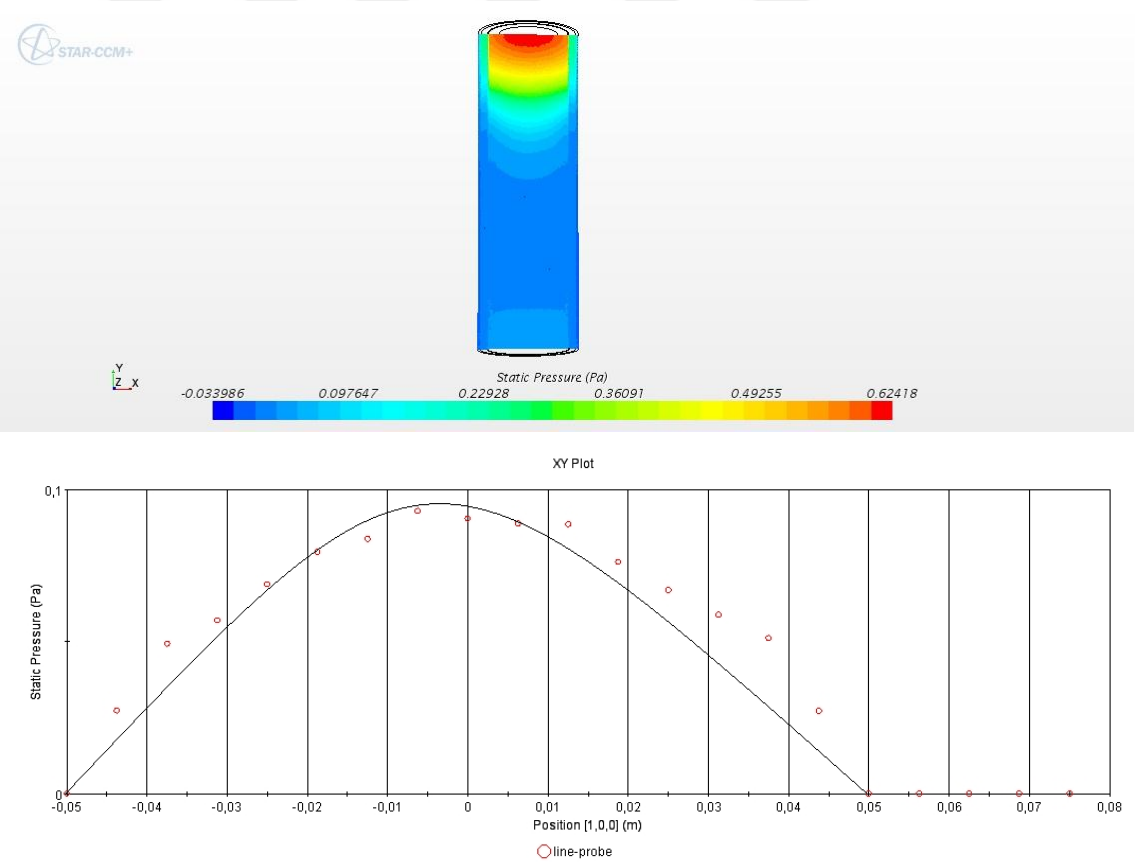
Şekil 3.29' da ise yoğunluğun sıcaklık artışı ile düşmesi net bir şekilde üç boyutlu olarak görülmektedir.



Şekil 3.29. Yoğunluğun sıcaklık ve yarı çapa bağlı olarak değişimin üç boyutlu görünümü (ρ,T ve r)

3.2.7. Star CCM ile yapılan akış analizi ve irdeleme

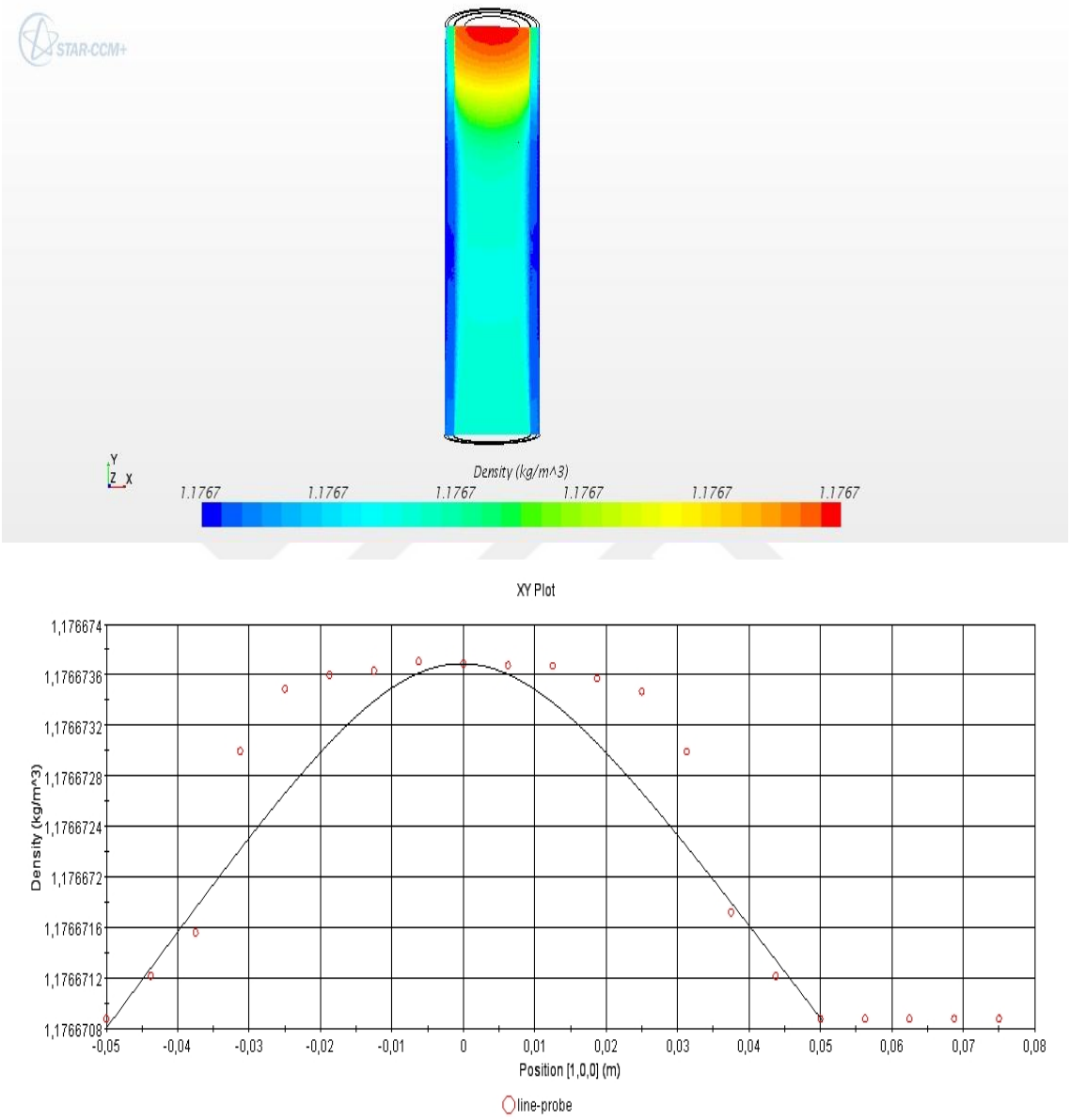
STAR CCM ile yapılan akış analizi ile yarıçapa bağlı olarak statik basıncın, yoğunluğun, entalpinin, hızın, toplam basıncın, kinetik enerjinin ve dinamik viskozitenin değişimi gösterildi. Şekil 3.30'de statik basıncın yarıçapa göre değişimi verildi. Eksenel yüzeyde hacim genişlediği için basınç düşmektedir ve basınç artışı eksenel yönde olmaktadır. En yüksek basınç merkezde oluşmaktadır. Yakıcı üst kısmının kapalı olması nedeniyle, basınç yoğunluğu şekilde görüldüğü gibi eksenel yönde yakıcı üst kısımda artmaktadır.



Şekil 3.30. Yarı çap boyunca statik basınç dağılımı (r,P)

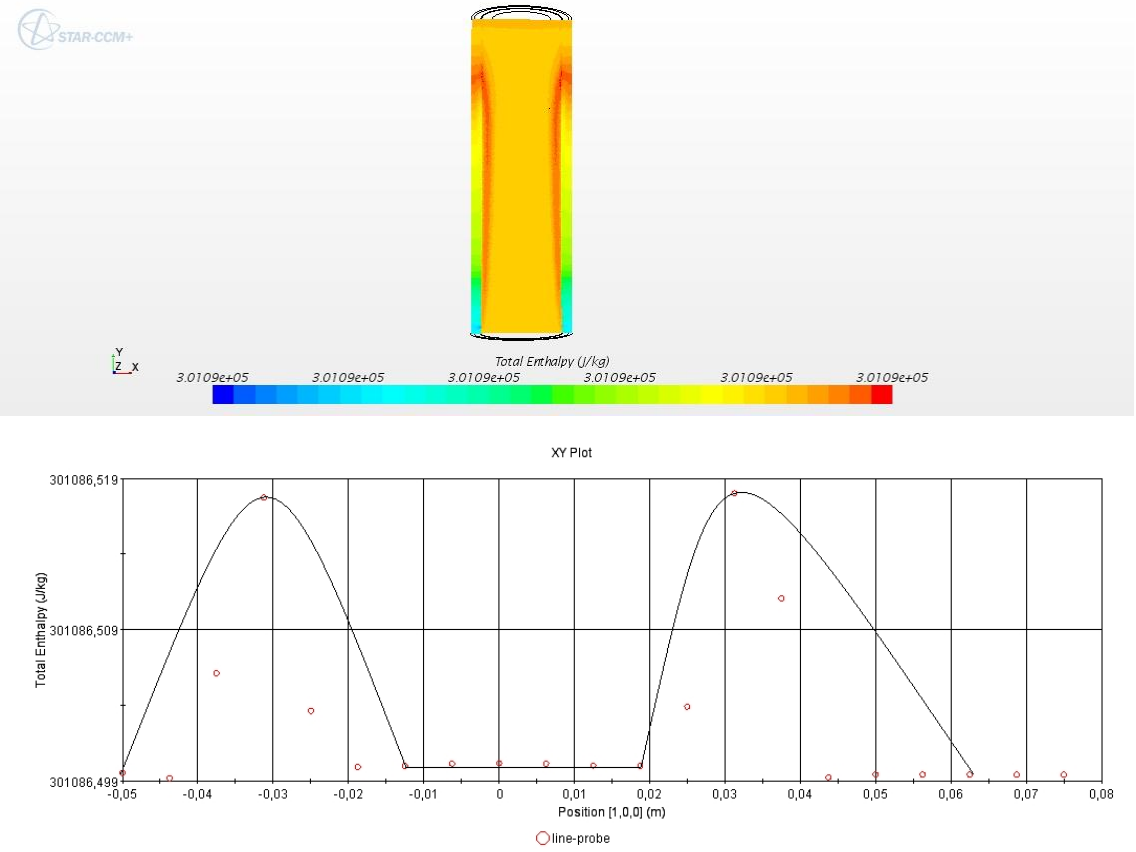
Yoğunluğun yarıçapa göre değişimi Şekil 3.31'de verildi. Hava yakıt karışımı premix olarak karıştırıldıktan sonra iç silindire girer. Bu esnada karışım henüz yanmaya

başlamadığı için ilk kademe içinde yoğunluk oldukça yüksektir. İlk kademeden itibaren yanma (mavi alevli yanma) başlaması nedeniyle yoğunluk düşmeye başlar. Silindirik yüzeyde infrared yanma nedeniyle yoğunluk oldukça düşük değerler alır.



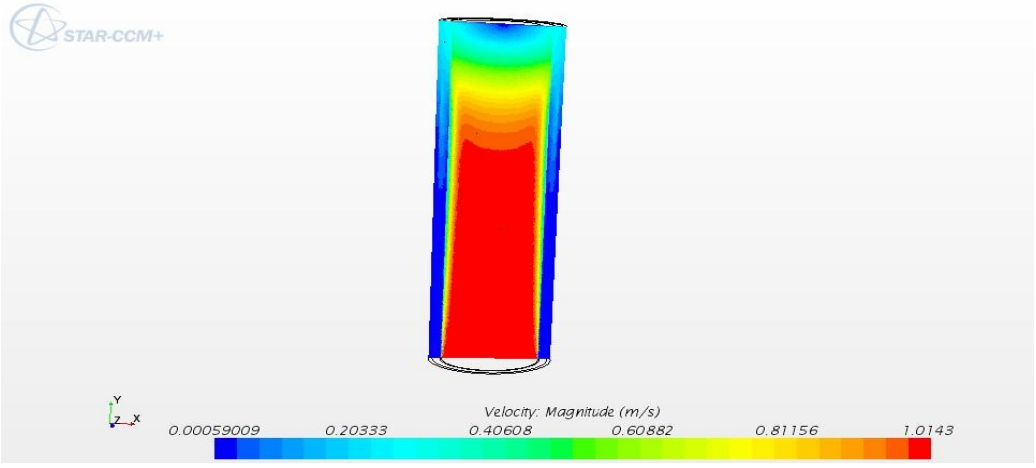
Şekil 3.31. Yoğunluğun yarıçapa bağlı olarak değişimi (r,ρ)

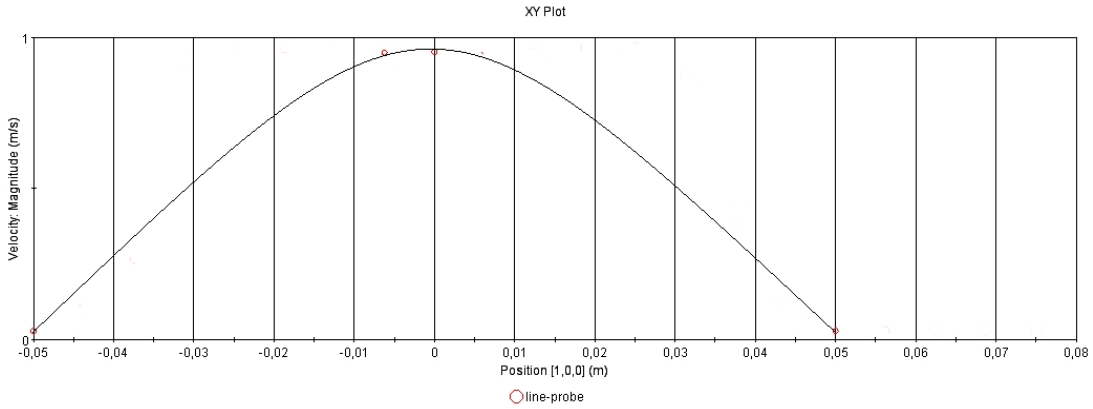
Şekil 3.32'de yarıçapa göre entalpi değişimi verildi. Yakıcı yüzeyinde yanma nedeniyle, entalpi artar. Ancak yüzeyden ışınım ve taşınımla ısı transferi olması nedeniyle, entalpide düşme görülür. İkinci kademe yüzeyinde infrared yanma nedeniyle entalpi daha yüksek seviyededir. Bu değer tel örgü altında oluşur. Tel örgü yüzeyinden ışınım ve taşınımla gerçekleşen ısı transferi nedeniyle entalpide azalma görülür.



Şekil 3.32. Yarıçapa göre entalpi değişimi (r,H)

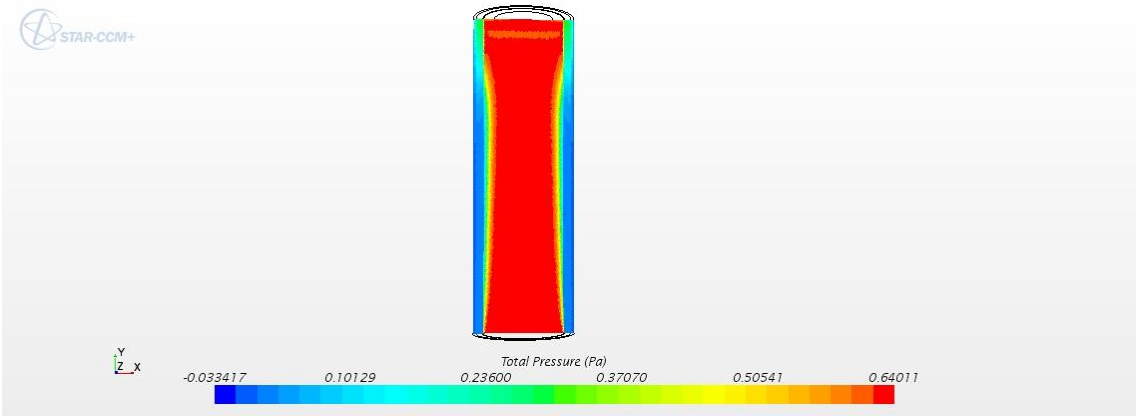
Şekil 3.33**.**'de yarıçapa bağlı olarak yakıcı içinde hız dağılımı gösterildi. Yakıcı ekseninde hız maksimumdur. Yakıcı ekseninden cidara doğru gidildikçe sürtünme nedeniyle hız düşer ve bu değer cidarda sıfır olur.

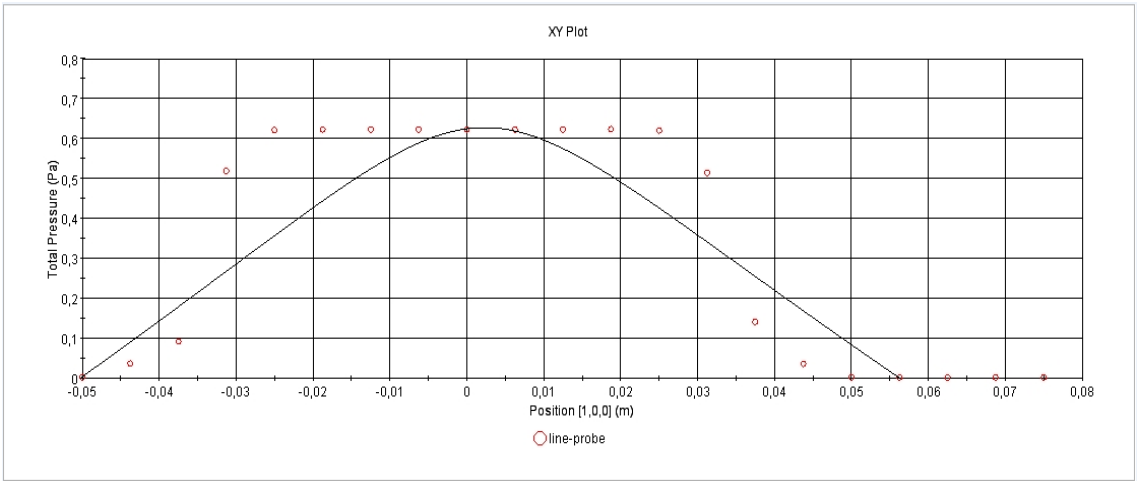




Şekil 3.33. Yarıçapa bağlı olarak yakıcı içinde hız dağılımı (r,v)

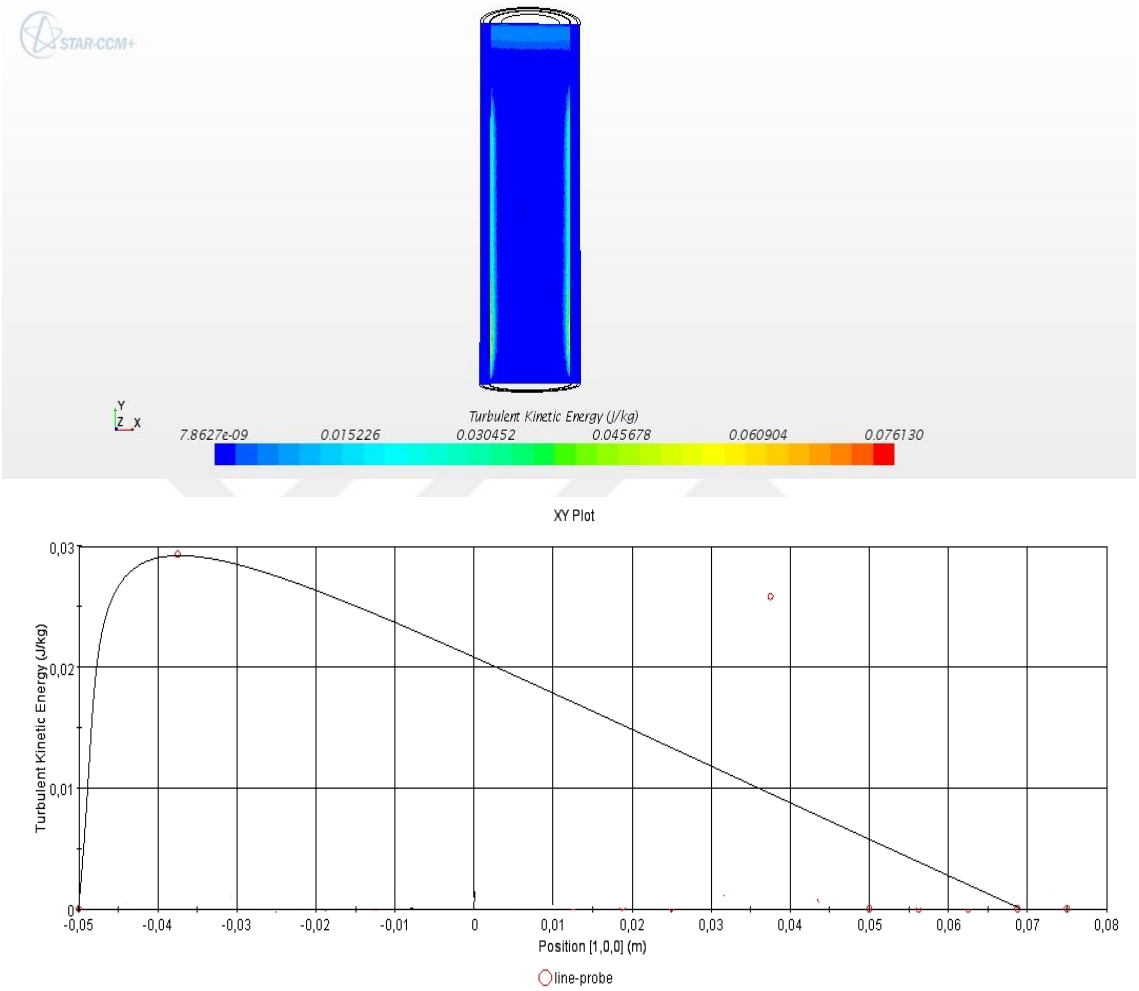
Yarıçapa göre yakıcı içinde total basıncın dağılımı Şekil 3.34'de verildi. Yakıcı merkezinde toplam basınç daha yüksektir. Yüzeyde ani genişleme olduğu için basınç düşüktür.





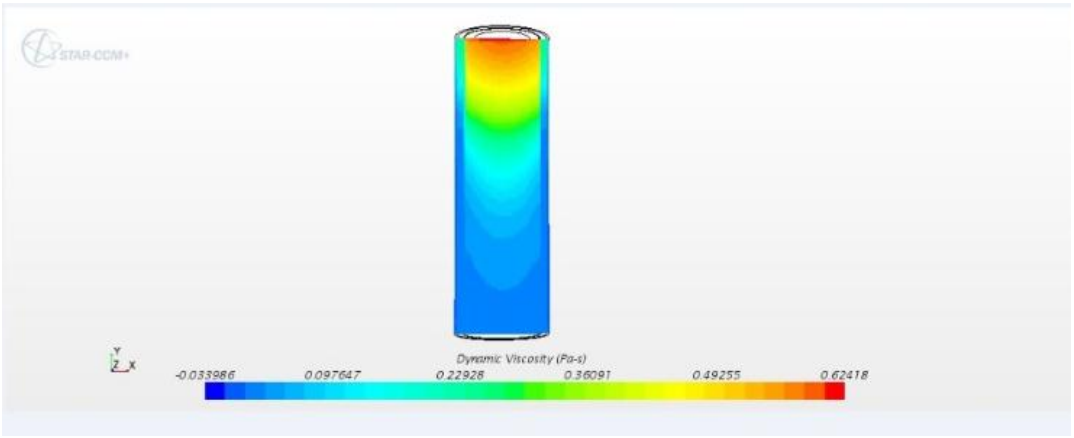
Şekil 3.34. Yarıçapa göre yakıcı içinde toplam basınç değişimi (r,P)

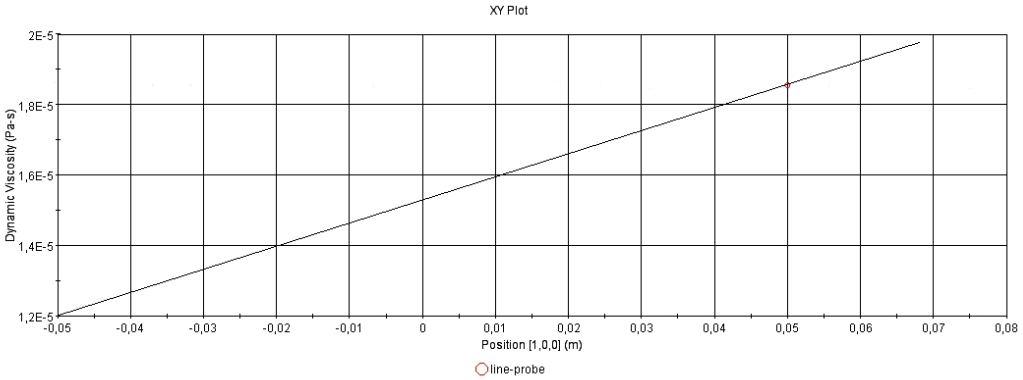
Boru merkezinde kinetik enerji oldukça yüksektir. Cidara doğru gidildikçe türbülans kinetik enerji düşmektedir. İki cidar arasında türbülans enerji minimum değerdedir. İki cidar arasında sürtünme daha yüksektir ve hız sıfıra yakındır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Yakıcı içinde kinetik enerji değişimi (r,E_k)

Şekil 3.36. yarıçapa bağlı olarak viskozite değişimini verir. Yakıcı alt kısmında kinetik enerji minimumdur. Zira bu bölgedeki sıcaklık minimum değerdedir. Silindirin üst yüzeyi kapalı olması nedeniyle, şekilde görüldüğü gibi, burada kinetik enerji artışı söz konusudur. Silindir cidarına doğru gidildikçe yanma nedeniyle sıcaklık artışı olduğu için viskozite yükselir ve maksimum değere ulaşır.





Şekil 3.36. Yarıçapa göre yakıcı içinde dinamik viskozite değişimi (r,μ)

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Esas olarak bu tez çalışmasının konusu, **"Metal Yakıcı Yüzeylerde, Yanma Modellenmesinin Teorik Ve Deneysel Araştırılması"** dır. Ancak yakıcının performansını yüzey sıcaklığını ve birim yüzeyden elde edilen ısı akısı ile emisyon değerlerinin ölçülerek sonuçların bir fikir verebilmesi için kapalı bir ortamda yakılıp test edilmesi gerekirdi. Bu nedenle çalışma çerçevesinde kapalı bir sistem olan yoğuşmalı bir kazan tasarlandı ve üretilerek sisteme adapte edildi. Aşağıda verilen testler tüm sistem üzerinde yapılarak sonuçlar ve bu sonuçların yorumu ayrı ayrı verildi. Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur: Teorik çalışma ile burada verilen deneysel çalışmalar bir birinden kopuk gibi görülmektedir. Yakıcı tek başına açık bir ortamda yakılamaz. Kapalı bir ortamda kullanıldığı için deneysel çalışma, yakıcının amaçlanan sonuçların elde edilebilirliğini sağlayıp sağlamadığını görebilmek için yapılmıştır. Test sonuçları yeterli ölçüde tatmin edici olduğunu göstermiştir.

Bu veriler ışığında yoğuşmalı kazan ısı kapasitesi için aşağıda verilen ifade kullanılabilir.

$$Q_{yoğ} = \dot{m} c_p \Delta T_{yoğ} \qquad (4.1)$$

$$Q_{yoğ} = \dot{m} c_p (T_g - T_ç)_{yoğ} \qquad (4.1a)$$

Yoğuşturucu da taşınım ile gerçekleşen ısı (4.2) bağıntısı ile verilebilir.

$$Q_{taş} = h.A.\Delta T_{yoğ} \qquad (4.2)$$

Isı değiştiricisi (kazan) ısı kapasitesi ise,

$$Q_{kazan} = \dot{m} c_p \Delta T_{kazan} \qquad (4.3)$$

$$Q_{kazan} = \dot{m} c_p (T_ç - T_g)_{kazan} \quad (4.3a)$$

Kazan verimi aşağıdaki ifade ile bulunur,

$$\eta_{kazan} = \frac{Q_{kazan}}{Q_B} x100 \quad (4.4)$$

Burada Q_B yakıttan elde edilen birim zamandaki ısı olup aşağıdaki şekilde verilir(Altınışık, 2004).

Sistemin ısı kapasitesi,

$$Q_{sis} = \dot{m} c_p \Delta T_{sis} \quad (4.5)$$

$$Q_{sis} = \dot{m} c_p (T_ç - T_g)_{sis} \quad (4.6)$$

Sistemin verimi,

$$\eta_{sis} = \frac{Q_{sis}}{Q_B} x100 \quad (4.7)$$

Yanma verimi İngliz standardına göre yanma sonu ürünlerindeki CO_2 veya O_2 yüzdesi kullanılarak bulunur.

$$\eta_{yanma} = 100 - (T_{egz} - T_{hav}) \frac{k_1}{CO_2} \quad (4.8)$$

veya,

$$\eta_{yanma} = 100 - (T_{egz} - T_{hav}) \frac{k_2}{21 - O_2} \quad (4.8a)$$

Yanma için gerekli teorik hava miktarı yakıtın ısıl değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur.

$$TH = \frac{1{,}09 x Hu}{1000} - 0.25 \tag{4.9}$$

Yanma işleminde kullanılan fazla hava oranı yanma sonu gazlarındaki O_2 yüzdesi kullanılarak bulunur.

$$FH = \frac{O_2}{21 - O_2} x100 \tag{4.10}$$

$$FH = \frac{O_2}{21 - O_2} + 1 \tag{4.10.a}$$

4.1. Deneysel Veriler

Çalışmada üç farklı deney yapıldı. Bu deneylerden alınan sonuçlar topluca Ek-1 de ayrı ayrı tablolar halinde verildi. Deney sonuçlarına bağlı olarak elde edilen grafikler ve yorumları alt başlık olarak ele alındı.

4.2. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Her bir deney için su giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi, sisteme su giriş ve çıkış sıcaklıklarının baca sıcaklığı ile değişimi, su giriş ve çıkış basıncının zamanla değişimleri ayrı ayrı gösterildi ve yorumları verildi.

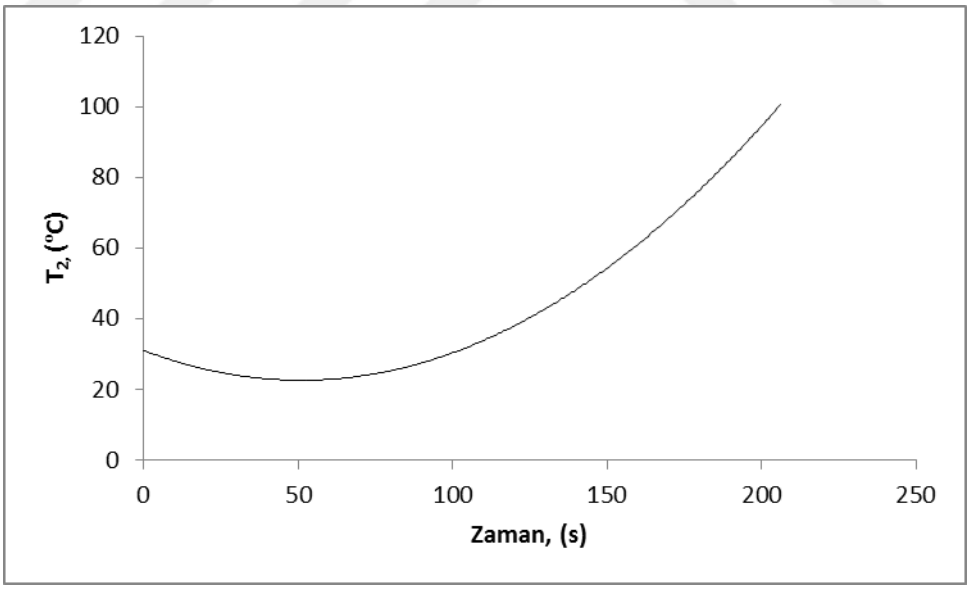
4.2.1. Deney 1, Deney 2 ve Deney 3'e ait yorumlar

Şekil 4.1, 4.4, 4.7, 4.10 ve 4.13' de Deney 1'e ait su giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimleri, su giriş ve çıkış sıcaklıklarının baca sıcaklığına göre değişimi ve su basınç girişinin zamanla değişimi görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi, su çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi lineer olmayıp parabolik bir seyir takip etmektedir. Bu durum şu şekilde yorumlanabilir. Olayın başlangıcında her ne kadar konveksiyon ve ışınım etkisi bulunmakta ise ilk durumda ağırlıklı olarak konveksiyonla ısı transferinin etkisi çok daha fazladır. Ancak ilerleyen zaman içinde ışınımın etkisi

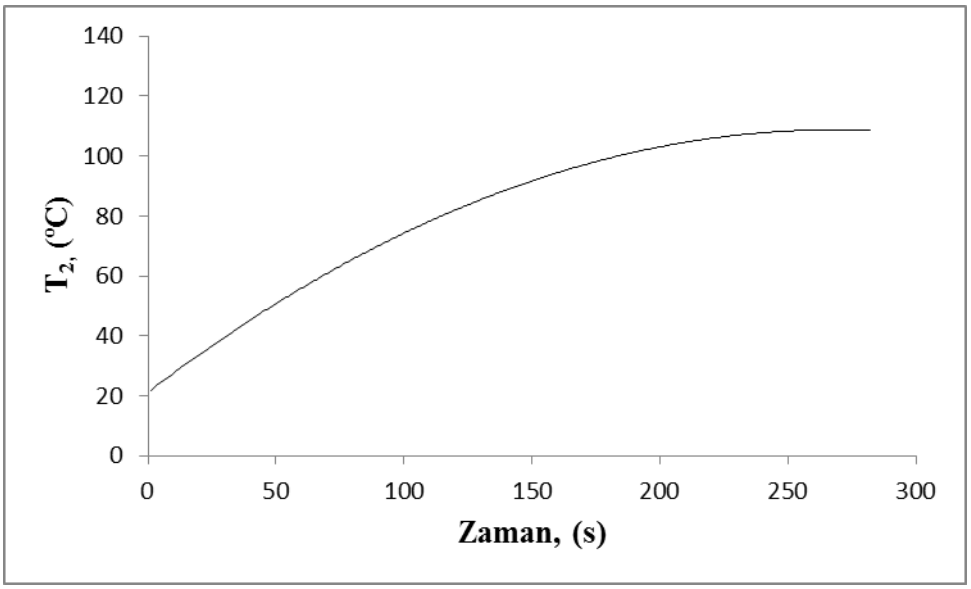
gittikçe daha çok hissedilmekte ve suya transfer edilen duyulur ısının bir sonucu olarak suyun sıcaklığı da daha hızlı artmaktadır. Aynı yorumlar Deney 2 ve Deney 3 için de geçerlidir.



Şekil 4.1. Deney 1' e su çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

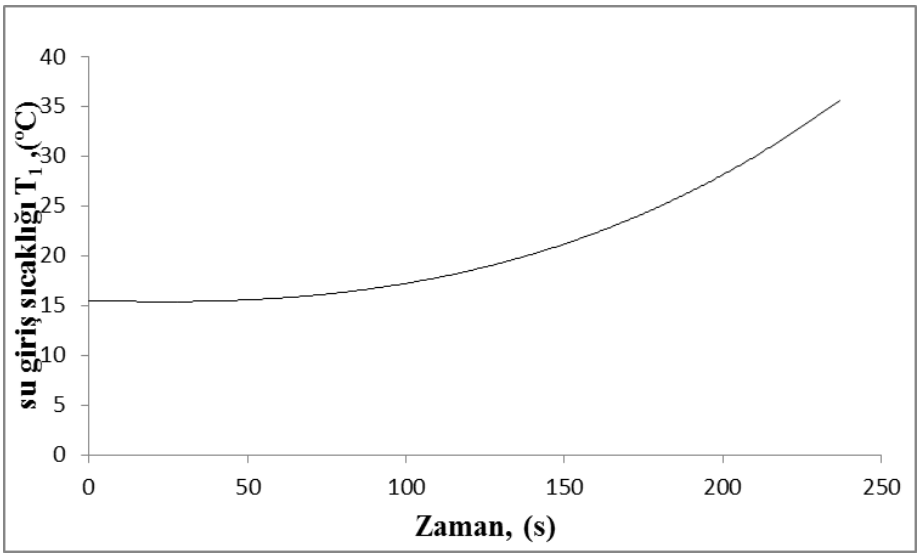


Şekil 4.2. Deney 2'ye ait su çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

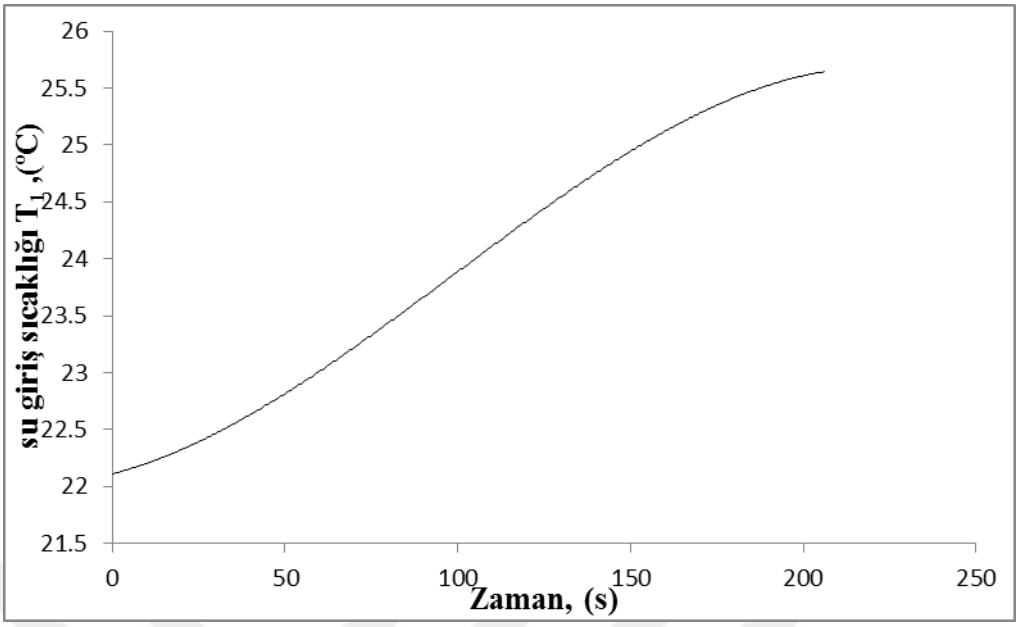


Şekil 4.3. Deney 3'e ait su çıkış sıcaklığının zamanla değişimi

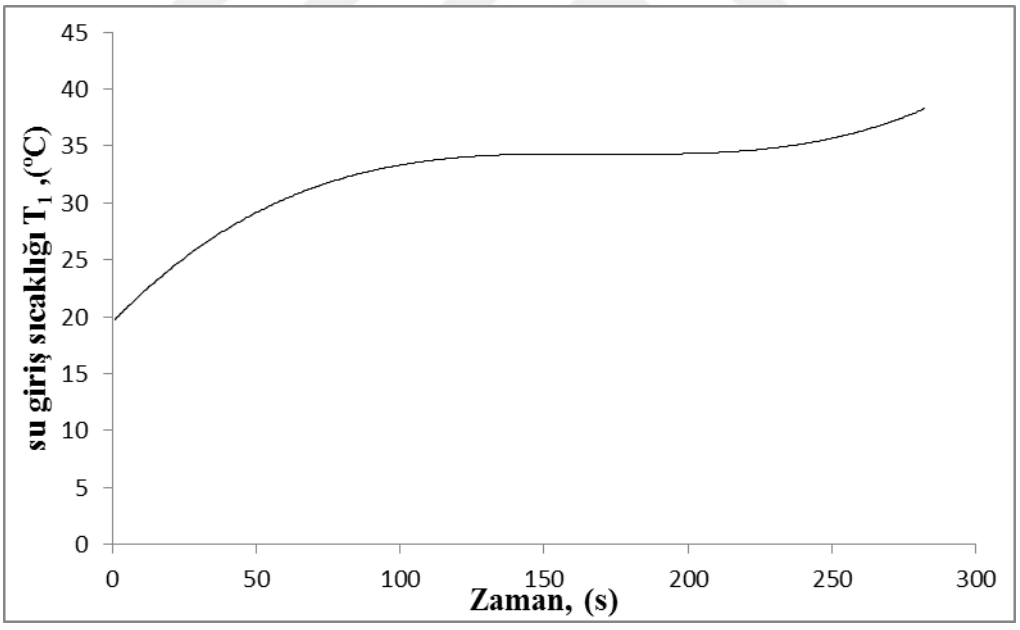
Şekil 4.4' de giriş suyu sıcaklığının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde giriş suyu sıcaklığının başlangıçta çok fazla değişmediği ancak bir müddet sonra parabolik olarak arttığı gözlenmektedir. Başlangıçta şehir şebeke suyu ile beslenen sistemde buna bağlı olarak giriş suyu sıcaklığı sabit kalmaktadır. Ancak bir müddet sonra çevrimi tamamlayarak başlangıç konumuna gelir. Sistemde sirküle eden su, şehir şebeke suyu sıcaklığından daha yüksek olduğu için giriş su sıcaklığı da artar. Bu ifade Deney 2 ve Deney 3 için yazılabilir.



Şekil 4.4. Deney 1' e su giriş sıcaklığının zamanla değişimi



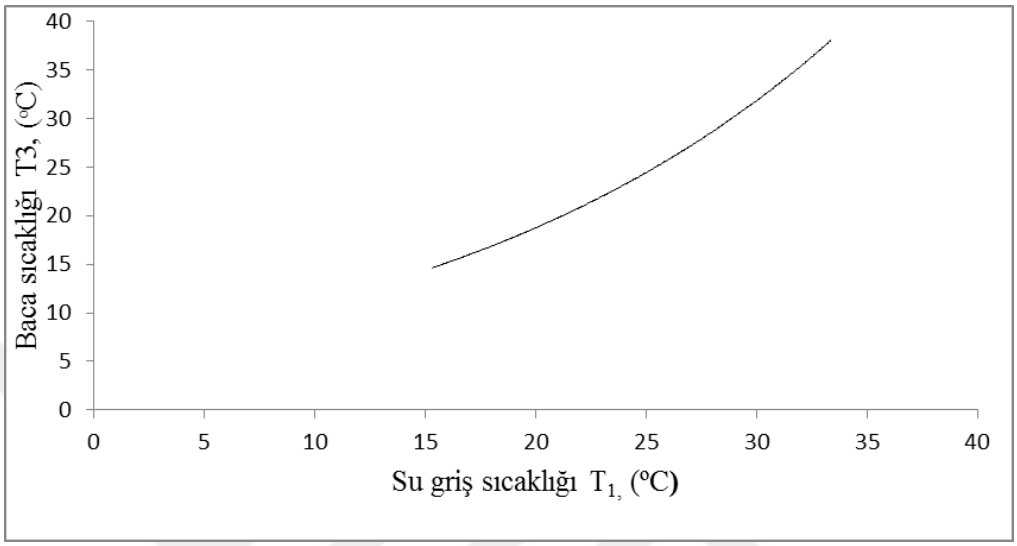
Şekil 4.5. Deney 2' ye ait su giriş sıcaklğının zamanla değişimi



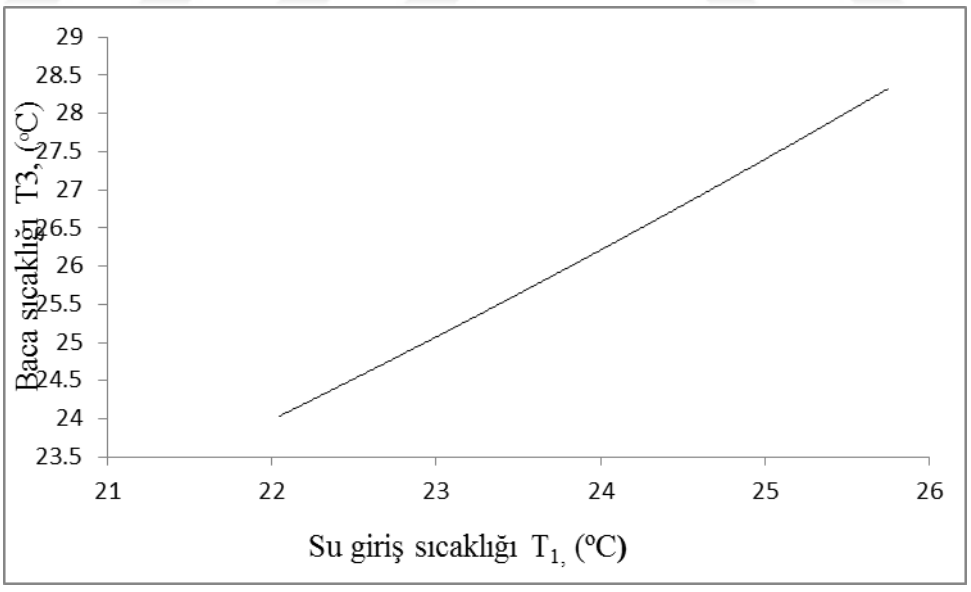
Şekil 4.6. Deney 3' e ait su giriş sıcaklığının zamanla değişimi

Şekil 4.7.' de giriş suyu sıcaklığı ile baca gazı sıcaklığı birbiriyle karşılaştırılmıştır. Şekilden de anlaşılacağı üzere yoğuşmadan dolayı baca sıcaklığı oldukça düşük çıkmaktadır. Giriş suyu sıcaklığındaki artışa bağlı olarak baca sıcaklığının da artmasının nedeni, giriş suyu sıcaklığının yüksek olması çıkış suyu sıcaklığının da yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak başlangıçta

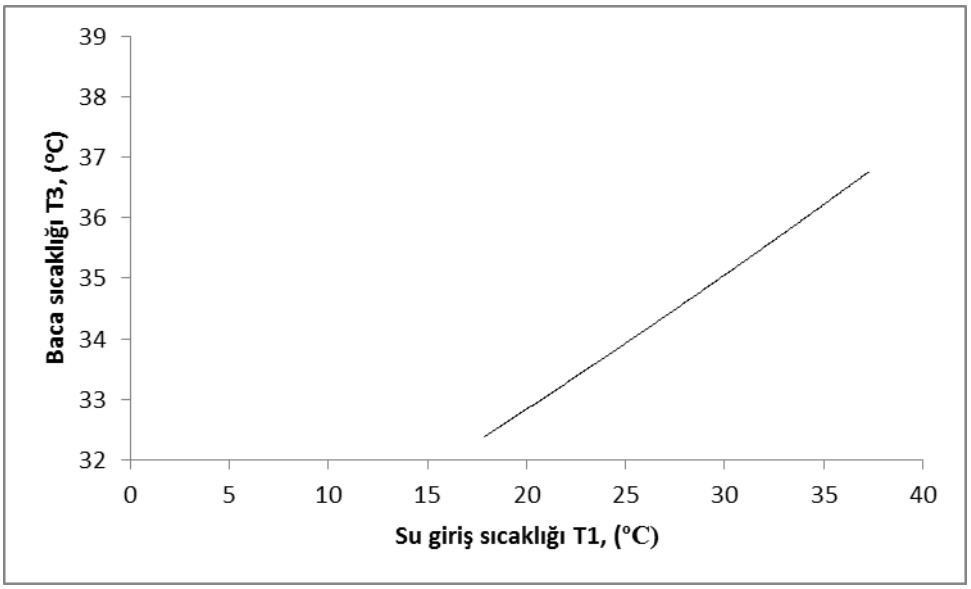
büyük olan ΔT sıcaklık farkları gittikçe küçülmekte ve bu da bacadan dış ortama atılan ısının düşmesine neden olmaktadır. Düşük ısı transferi ise baca gazı sıcaklığının yüksek çıkması anlamına gelir. Burada belirtilen irdelemeler Deney 2 ve Deney 3 için yazılabilir.



Şekil 4.7. Deney 1' e sisteme su girişi ile baca sıcaklığının değişimi

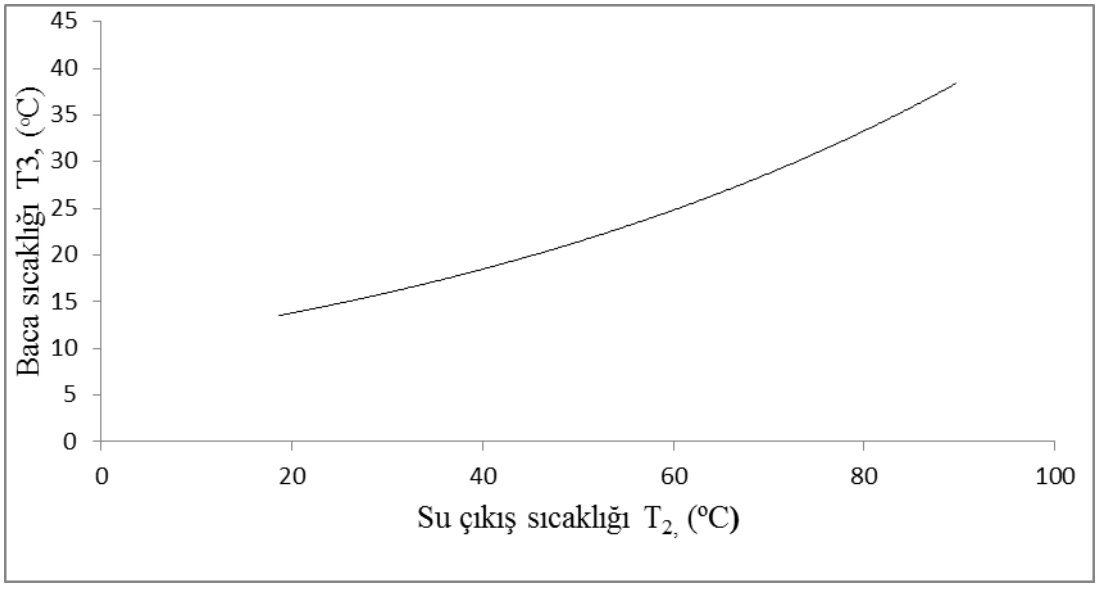


Şekil 4.8. Deney 2' ye ait su giriş ile baca sıcaklığının değişimi

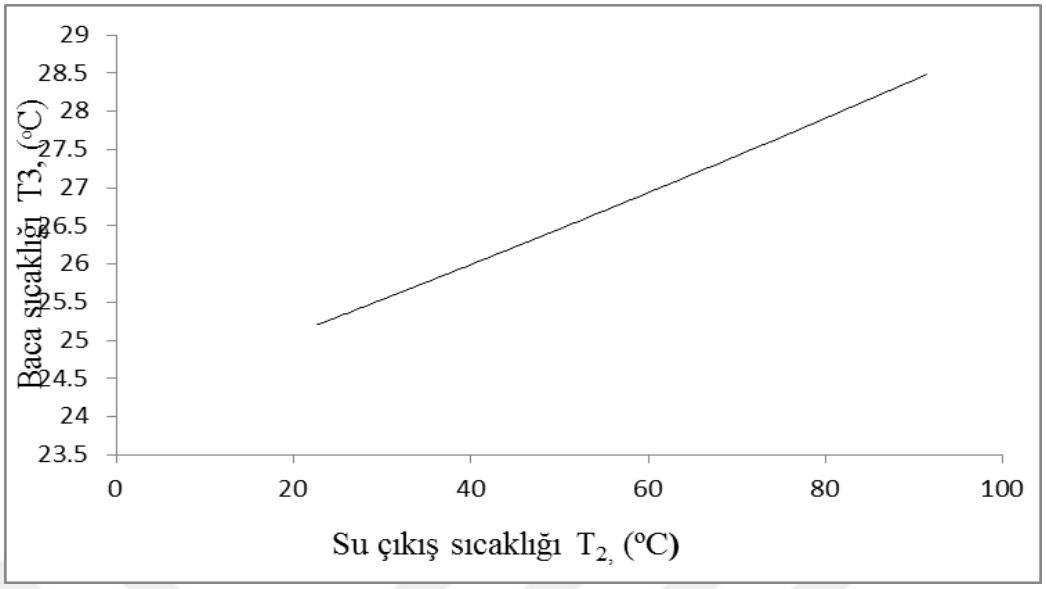


Şekil 4.9 Deney 3'e ait su giriş ile baca sıcaklığının değişimi

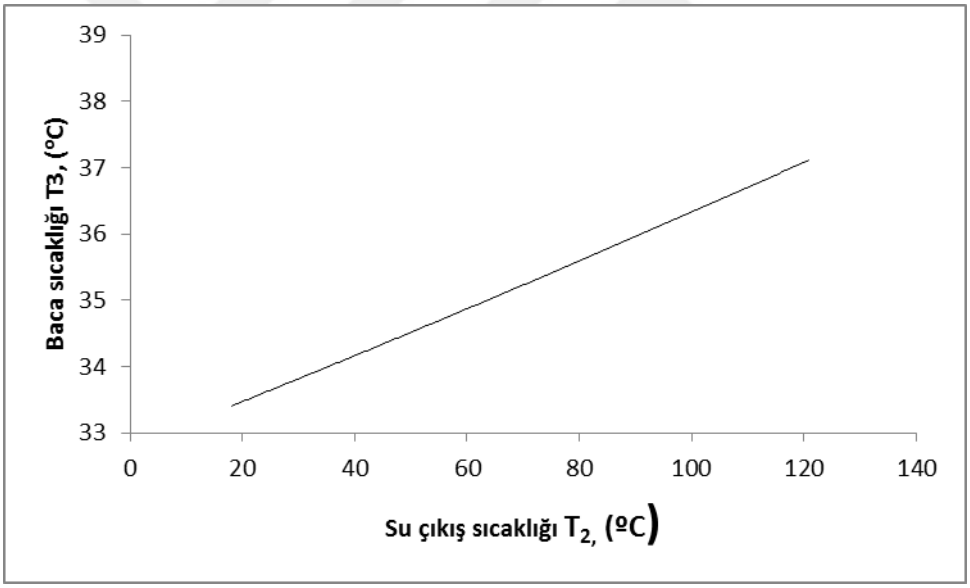
Şekil 4.10. de çıkış suyu sıcaklığı ile baca gazlarının sıcaklığı birbiriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.4 incelendiğinde grafiğin değişimi Şekil 4.3'e benzer. Aynı şekilde, yüksek sıcaklıklarda ΔT sıcaklık farkının daha düşük olmasına bağlı olarak suya transfer edilen ısı miktarı düşmekte ve bu da baca gazları sıcaklıklarının yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Deney 2 ve Deney 3 için durum aynı seyri takip eder.



Şekil 4.10. Deney 1' e sisteme su çıkış ile baca sıcaklığının değişimi

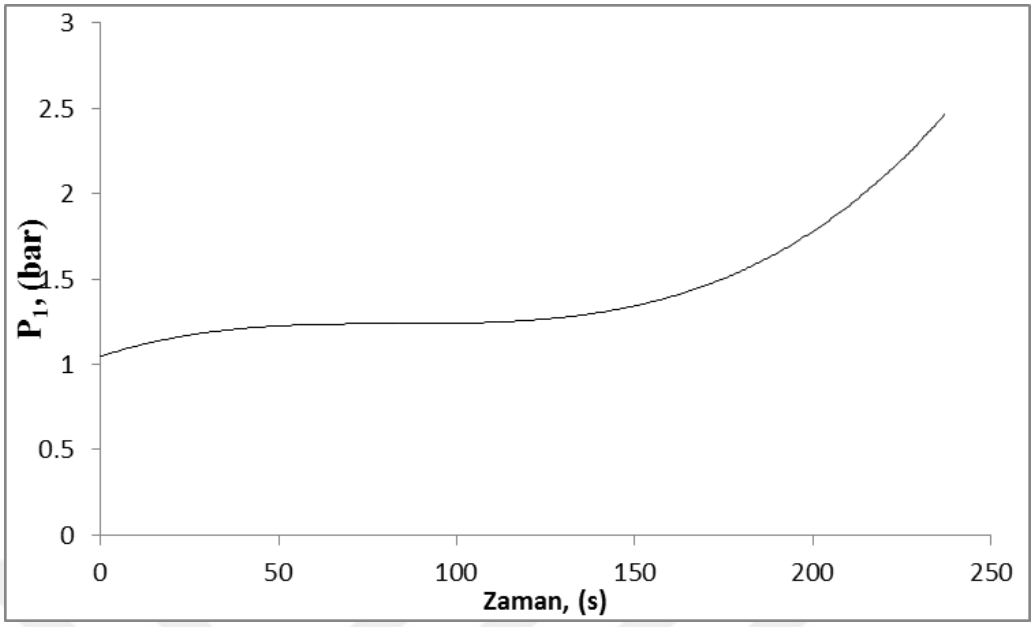


Şekil 4.11. Deney 2' ye ait su çıkış sıcaklığının baca sıcaklığına göre değişimi

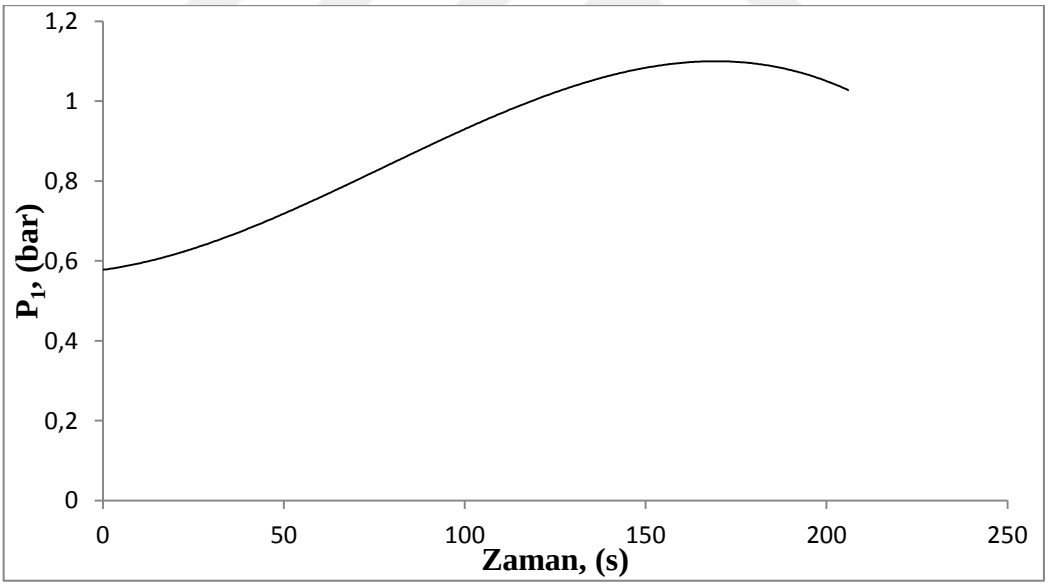


Şekil 4.12. Deney 3'e ait su çıkış ile baca sıcaklığının değişimi

Şekil 4.13. de giriş basıncının zamana göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi başlangıç aşamasında basınçta hafif bir artış söz konusudur. Geçici rejimde böyle bir artış beklenebilir. Çünkü içeri giren yakıt+hava karışımı miktarındaki zamana bağlı artış, basıncın da bir miktar artmasına neden olacaktır. Bir müddet sonra basınçtaki değişim yaklaşık olarak yatay bir seyir izlemektedir. Suyun zamanla ısınmasını ve sıcaklığın buharlaşma sıcaklığına yaklaşması nedeniyle, meydana gelen genleşme basınç artışına neden olmaktadır. Deney 2 ve Deney 3 benzer seyir takip eder.



Şekil 4.13. Deney 1' e su basınç girişinin zamanla değişimi



Şekil 4.14. Deney 2' ye ait su giriş basıncının zamanla değişimi



Şekil 4.15 Deney 3'e ait su giriş basınının zamanla değişimi

4.3. Hata Analizi

Deneysel çalışmaların tümü, çeşitli nedenlerden dolayı hata içerir. Deneysel çalışmalarda yapılan bu hatalar genellikle üç gurupta toplanabilir. Bunlardan birincisi deneyi yapan araştırmacının dikkatsizlik ve tecrübesizliğinden ileri gelen hatalardır. Deney tesisatlarında kullanılan ölçme cihazlarının yanlış seçiminden veya ölçme sistemlerinin yanlış tasarımından kaynaklanan hatalar bu gurup içinde düşünülebilir. İkinci gurup hatalar sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genellikle tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla tespit edilemeyen hatalardır. Üçüncü gurup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise; deneyi yapan kişilerin değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, ölçme aletlerindeki histerezis olaylarından veya cihazların ısınması nedeniyle elektronik ölçme aletlerinde oluşan salınımlardan kaynaklanabilmektedir.

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarında meydana gelebilecek belirsizlikler (sabit hata miktarları), bu cihazların kalibrasyonu yapılmak suretiyle belirlenir. Buna göre; bağımsız değişkenlere (ölçülen parametrelere) ilişkin belirsizlikler bilindiğinden, deneysel belirsizlik bağıntısı kullanılmak suretiyle bağımlı değişkenlere (hesaplanan parametrelere) ilişkin belirsizlikler tespit edilebilir. Yapılan çalışmada ölçülen veriler ve

hesaplanan sonuçlar büyük oranda bu çalışma kapsamında imalatı yapılan deney düzeneğinden elde edilen ölçümlere dayanmaktadır. Bu nedenle deneysel ölçümlerde ve bu ölçümlerden hesaplanan büyüklüklerde ne kadar deneysel belirsizlik bulunduğunun hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle belirsizlik analizi kullanılmıştır. Belirsizlik analizinde ölçüm yapılan sensörlerdeki hatalar kullanılarak ilk ölçümlerden en son hesaplanan sonuçlara kadar bu hataların etkileri hesaplanmaktadır. Dolayısıyla yapılan her hesaplama için bir işlem yapılmakta, bulunan belirsizlik değeri hesaplama sonucunun kullanıldığı bir sonraki hesaplamanın belirsizliğinde kullanılmaktadır.
Belirsizlikleri belirlenen parametreler için formüller aşağıda sunulmuştur:

$$\delta\Delta T = \left[\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial T_{\text{ç}}} \times \delta T_{\text{ç}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial T_g} \times \delta T_g\right)^2\right]^{0,5} \text{ve} \frac{\delta \Delta T}{\Delta T} \times 100 = \pm\%Hata \quad (4.11)$$

$$\delta\Delta P = \left[\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial P_{\text{ç}}} \times \delta P_{\text{ç}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial P_g} \times \delta P_g\right)^2\right]^{0,5} \text{ve} \frac{\delta \Delta P}{\Delta P} \times 100 = \pm\%Hata \quad (4.12)$$

$$\delta\dot{Q} = \left[\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{m}} \times \delta\dot{m}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial c_p} \times \delta c_p\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial T_{\text{ç}}} \times \delta T_{\text{ç}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial T_g} \times \delta T_g\right)^2\right]^{0,5} \quad (4.13)$$

Ve

$$\frac{\delta \dot{Q}}{\dot{Q}} \times 100 = \pm\%Hata \quad (4.14)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{m}} = c_p \times \left(T_{\text{ç}} - T_g\right) \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}}{\partial c_p} = \dot{m} \times \left(T_{\text{ç}} - T_g\right) \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}}{\partial T_g} = \dot{m} \times c_p \quad (4.17)$$

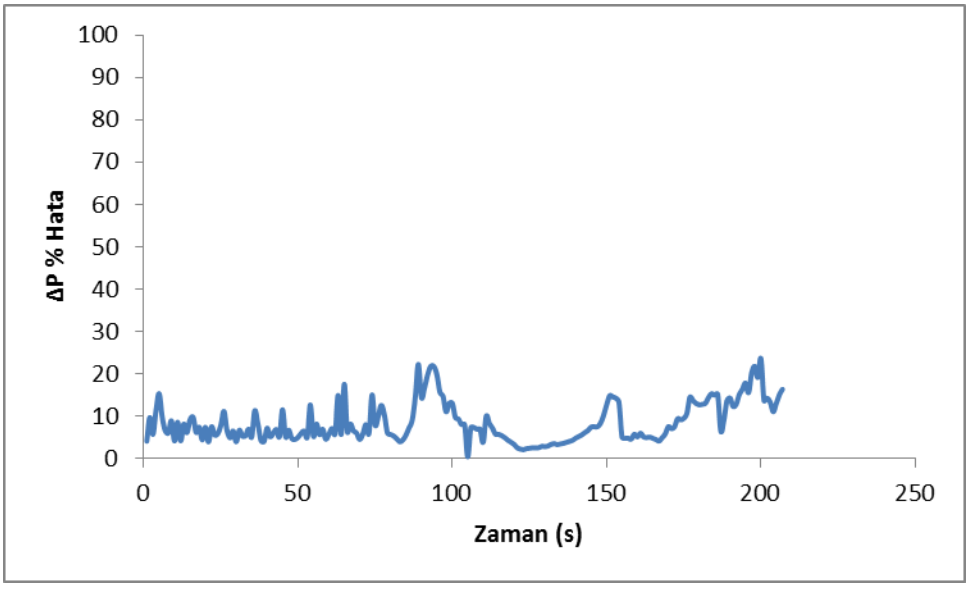
$$\frac{\partial \dot{Q}}{\partial T_{\text{Ç}}} = -\dot{m} \times c_p \quad (4.18)$$

Formüller neticesinde hesaplanan belirsizlikler ile ölçüm sensörlerinin sistematik hataları aşağıda Tablo 4.4'de verildi.

Tablo 4.4. Ölçme belirsizliği % değerleri

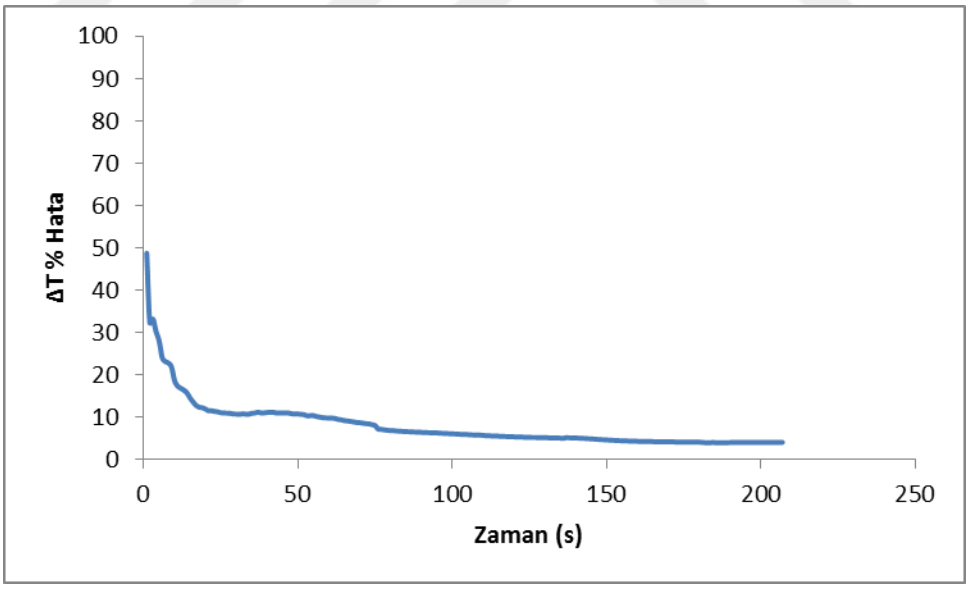
Giriş sıcaklığı	2,5	Suyun kütlesel debisi	0,01
Çıkış sıcaklığı	2,5	Gazın kütlesel debisi	0,1
Giriş basıncı	0,5	Baca sıcaklığı	2,5
Çıkış basıncı	0,5	ΔT	8
Isı transferi	8,3	ΔP	8,4

Şekil 4.16'da basınç farkı hesabının belirsizliği verildi. Sıcaklığın azalması ile akışkan viskozitesi düştüğü için ısı değiştiricisi içinde gerçekleşen basınç düşüşü azalmaktadır. Dolayısıyla basınç farkı düştüğü için basınç ölçümüne bağlı ölçüm belirsizliği de bir miktar artmaktadır. Çünkü belirsizlik hesabında sensörlerin sabit hatalarının etkileri sabit ölçüm değerine oranlanmaktadır. Etki miktarı sabitken ölçüm değeri düşerse belirsizlik artmaktadır. 75. Saniyeye kadar %5 ile %10 bandında seyreden basınç farkı hesabı belirsizliği, sıcaklık farkının artması ile %5 ile %20 arasında değişmektedir. Bunun sebebi ölçülen düşük basınç farkı değerine oranlanan basınç hatasının oran olarak artış göstermesidir. Basınç farkı belirsizliğinin ortalama değeri hesaplanan basınç değerinin %8.4'ünekarşı gelmektedir. Deneysel çalışmalarda bu belirsizlik değeri kabul edilebilir bir aralıktadır. Ayrıca sistemin ısıl kapasitesinin hesaplanmasında basınç düşüşü hesabının belirsizliği çok etkili değildir. Sıcaklık farkı hesabına ait belirsizlik değerleri Şekil 4.17'de verildi.



Şekil 4.16. Basınç değişimin zamana bağlı olarak değişiminin hata analizi

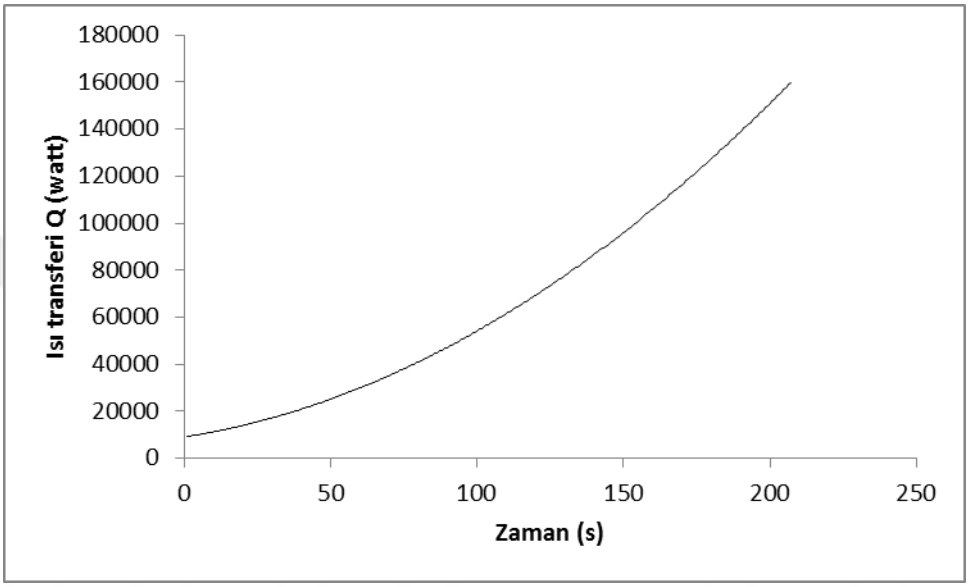
Sıcaklık sensörlerinin belirsizlik değerleri sistemde bulunan sensörler arasındaki en yüksek değerlerdir. Isıl kapasitenin hesabında sıcaklık farkı, ısı transferi potansiyelini oluşturduğu için, sıcaklık farkı hesabının belirsizliği ısı transferi hesabının belirsizliğini büyük ölçüde etkilediği görülmektedir. Zaten belirsizlik analizi yönteminin bir faydası da sistemdeki bileşenlerin hangisinin daha etkili olduğunu göstermesidir. Bu açıdan da yapılan belirsizlik analizi etkinliğini kanıtlamaktadır. Isı transferi belirsizliği ile sıcaklık farkı belirsizliği benzer bir eğilim gösterir. Sıcaklık farkı düşük iken sıcaklık sensörlerinin sabit hatası ile sıcaklık farkının oranı doğal olarak büyük bir değer almaktadır. Gerçekten de deney başlangıcında sıcaklık farkı belirsizliği % 40 civarındadır. Sıcaklık farkının artmasıyla bu belirsizlik değeri logaritmik olarak azalmıştır. 40 saniyeden sonra belirsizlik değeri %10 mertebesinin altında kalmıştır. Ortalama belirsizlik değeri %8 iken, 75. saniye sonrasında yapılan ölçümler dikkate alınırsa, hem ısı transferi hem de sıcaklık farkı açısından belirsizlik değeri ortalaması %5 civarında gerçekleşmektedir.



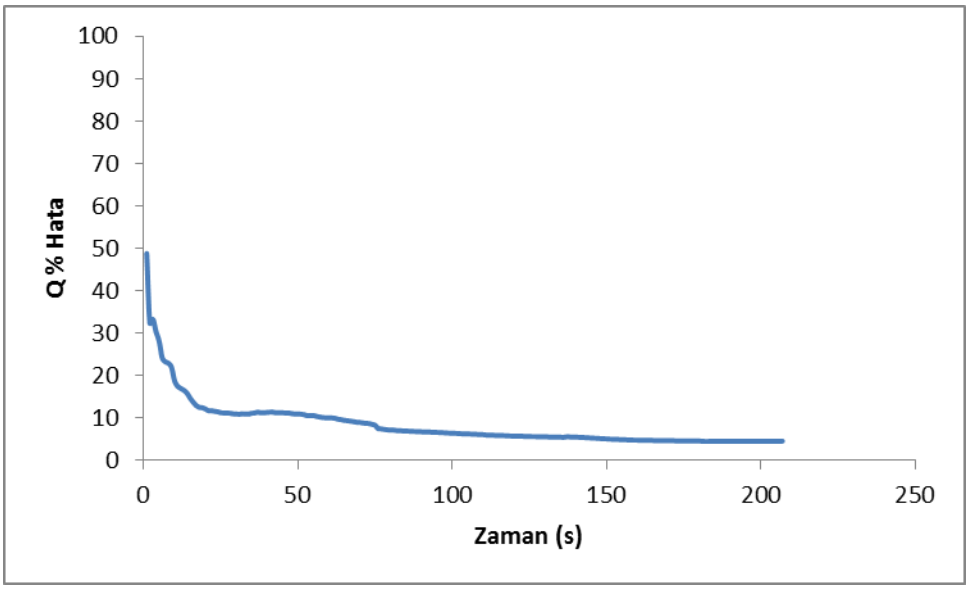
Şekil 4.17 Sıcaklık farkı hata analizinin zamana bağlı olarak değişimi

Ölçülen debi ve sıcaklık farkı kullanılarak ısıtma kapasitesi Watt cinsinden hesaplandı. Isı kapasitenin zamana bağlı değişimi Şekil 4.18'de gösterildi. Şekil 4.19' da ise ısıl kapasitenin zamana bağlı olarak değişimine ait hata analizi gösterildi. Deney sisteminin zamana bağlı olarak çalıştırılması ile ısıtıcı üzerinde biriktirilen ısı sayesinde

ısı değiştirici girişinde ve çıkışında gerçekleşen sıcaklık farkı artmaktadır. Debi sabit tutulduğu için sistemin ısıtma kapasitesi artmaktadır. Dolayısıyla sistemin geçici rejim ısıl performansı elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sistem yaklaşık 10 kW'lık bir ısıl kapasite ile çalışmaya başlamış ve sistemin ısıl kapasitesi yaklaşık exponansiyel şekilde artış göstermiştir. Yaklaşık 3 dakika sonra sistemin ısıl kapasite artışı doğrusal bir hal almaya başlamıştır. Deney sonucunda sistemin ısıl kapasitesi 160 kW'ı aşmıştır.



Şekil 4.18 Isıtma kapasitesinin zamanla değişimi



Şekil 4.19 Isı transferi hata analizinin zamanla değişimi

4.4. Baca Gazı Emisyon Değerlerinin Ölçümü

Şekil 4.20'de baca gazı analiz sonuçları çıktısı görülmektedir ölçüm 06.02.2016 saat 16:26:37'de yapılmıştır. Deneylerde yanma veriminin % 97.3, baca gaz sıcaklığı 48 ^{o}C, ortam sıcaklığı ise 13.7 ^{o}C çığ nokta sıcaklığı da 43.0 ^{o}C okunmuştur. Egzoz gazında O_2 değerleri % 3.0,ve % 12.1, CO_2 için ise de 5.81% maksimum olarak 13.0% okundu. Bu değerlerin normal olarak % 3 mertebesinde olması gerekir. Bunun sebebi baca bağlantısının iyi yapılamamasından kaynaklı, dışardan sisteme O_2 girişi olarak değerlendirilebilir. 100 MW altındaki tesislerde CO değerleri 100 mg/Nm^3 mertebesindedir. Ölçümlerde okunan CO değerlerinin 38 PPM, NO ve NOx değerlerinin de 1PPM olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.20 Emisyon cihazından ölçülen yanma değeri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, metal yakıcı yüzeylerde, yanma modellenmesinin teorik ve deneysel olarak incelendi. Bu tip bir yakıcı başta yoğuşmalı kazan ve kombiler olmak üzere pek çok ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Bu tez çalışmasında özel olarak tasarlanmış yoğuşmalı kazan kullanıldı. Yakma sistemi ve yanma analizi için Matlab ile hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla sayısal analiz yapıldı. Sayısal çözümün grid sayısından bağımsız olduğunu göstermek için Ağ Yakınsama İndeksi (GridConvergence Index-GCI) kullanılarak hata analizi yapıldı. GCI analizi grid noktaları sayısına göre kaba, orta ve iyi olarak üç şekilde değerlendirildi. Kaba grid sayısı 240, orta grid sayısı 480, iyi grid sayısı ise 960 olarak alındı. Yapılan analizde sayısal çözümün grid sayısından bağımsız olduğu görüldü. Bu sayısal çözüme ek olarak ayrıca STAR CCM paket programı kullanılarak akış analizi yapıldı.

Gerek deneysel çalışmalardan, gerekse sayısal çalışmalardan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Yakıcı içerisinde yakıt-hava karışımının hız dağılımı düzgün olup, yakıcının eksenel yöndeki sıcaklık dağılımı üniformdur. Yakıcı içinde yanma sonucu oluşan ısı transferi radyal yönde gerçekleşir ve yakıcı yüzeyini kaplayan ısı değiştiricisine ışınım ve taşınımla ısı geçişi olur.

Yakıcının içerisindeki yanma olayı, silindirik formda poroz yapı ile aynı özelliğe sahip iç poroz yapı arasında bulunan bölgede mavi alevli olarak gerçekleşir. Yakıcı dış yüzeyinde ise üniform olarak infrared yanma nedeniyle; yakıcı dış yüzeyinden ısı değiştiricisinin ısıl yüzeyine ışınımla ve taşınımla gerçekleşmesine karşın, ışınımla ısı transferinin etkisinin daha büyük olduğu görülür. Bu da yakıcının yanma verimini oldukça iyileştirmektedir.

Her ne kadar teorik çalışma ile burada verilen deneysel çalışmalar bir birinden kopuk gibi görülse de esas olarak bu tez çalışmasının konusu,**"Metal Yakıcı Yüzeylerde, Yanma Modellenmesinin Teorik Ve Deneysel Araştırılması"** dır. Ancak yakıcının performansını yüzey sıcaklığını ve birim yüzeyden elde edilen ısı akısı ile emisyon değerlerinin ölçülerek sonuçların bir fikir verebilmesi için kapalı bir ortamda yakılıp test edilmesi gerekirdi. Bu nedenle çalışma çerçevesinde kapalı bir sistem olan yoğuşmalı bir kazan tasarlandı ve üretilerek sisteme adapte edildi. Yakıcı

tek başına açık bir ortamda yakılamaz. Kapalı bir ortamda kullanıldığı için deneysel çalışma, yakıcının amaçlanan sonuçların elde edilebilirliğini sağlayıp sağlamadığını görebilmek için yapılmıştır. Test sonuçları yeterli ölçüde tatmin edici olduğunu göstermiştir.

Karışımın yakıcıya giriş sıcaklığı ve silindir içindeki karşım sıcaklığı önceden tahmin edildi. Matlab ile yapılan çözümlerde tahmin edilen değerlere uygun sonuçların elde edildiği görüldü. Yakıcı yüzeyindeki sıcaklık üniform olup, yapılan ölçümlerde yakmanın kalitesine bağlı olarak sıcaklık değerleri 900-957 ^{o}C arasında değiştiği görüldü (şekil 3.4.). Bu değerler Matlab sonuçları ile son derece uyum içinde olduğu açıkça görülmektedir.

Su giriş sıcaklığı başlangıçta biraz artmaktadır. Çünkü şebeke suyunun belli bir sıcaklığa ulaşması zaman almaktadır. Ancak bundan sonra giriş suyu sıcaklığının çok fazla artmayarak yatay bir seyir izlediği gözlemlenmiştir.

Baca sıcaklığı, sistem sürekli rejim halinde iken oldukça düşük çıkmaktadır. Bu ise yakıtın üst ısıl değerinin de kullanılarak sistemin veriminin yükseldiği anlamına gelir. Çünkü yanma sonucu oluşan sıcak gazların içerisindeki su buharı yoğuşturularak buharlaşma gizli ısısı dönüş suyuna kazandırılır. Deneyde kullanılan özel tasarlanmış kazan sayesinde açığa çıkan ısı suya aktarılarak üst ısıl değer baca yoluyla dışarı atılmayıp sisteme kazandırılmıştır. Bu sayede baca gazı emisyonları çok düşük çıktığı gibi, yakıtın üst ısıl değeri de kullanılarak birim hacimden elde edilen ısı debisi arttırılmıştır.

5.2. Öneriler

Bu tezin başlangıcında poroz yapıda seramik yakıcının geliştirilmesi hedeflendi. Bunun için üç ayrı silindirik formda poroz seramik yakıcı üretildi ve yakma testine tabi tutuldu. Ancak 35 -70 saat yakıldıktan sonra termal şok nedeniyle, kırılmalar oldu. Çift veya tek kademeli poroz yapıda ve silindirik formda yakıcıda oluşan termal şokların önlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Poroz metal matrix yakıcı yerine poroz yapıda seramik yakıcı kullanılmalıdır. Poroz yapıda seramik yakıcının birim yüzeyinden elde edilen ısı akısı daha fazladır.

Deneyler Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Transfer Laboratuvarında yapıldı.

Daha kapsamlı sayısal çözümler için sistem üç boyutlu olarak modellenmelidir. Ancak bunun için daha hızlı ve yüksek kapasiteli bilgisayarlara ve workstation'lara ihtiyaç vardır. Ayrıca sistemin MATLAB'daki SIMULINK paketi yardımıyla ile çeşitli simülasyonları gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Altınışık, K., 2004, Uygulamalarla ısı transferi, Nobel Yayın Dağıtım, p.

Altınışık, K., Şahin, S., Teberoğlu, Ö. ve Tekin, M., 2005, Semi-Spherical Ceramic Foam Yakıcıs and Burning Simulation, 9th International Research, *Expert Conference'Trends In The Development Of Machinery and Associated Technology'TMT*, 1323-1326.

Bidi, M., Hosseini, R. ve Nobari, M. R. H., 2008, Numerical analysis of methane-air combustion considering radiation effect, *Energy Conversion and Management*, 49 (12), 3634-3647.

Borghi, R., 1988, Turbulent Combustion Modeling, *Progress in Energy and Combustion Science*, 14 (4), 245-292.

Chao, B. H. ve Xia, Y. Q., 2000, Diffusional-thermal instability of cylindrical yakıcı-stabilized premixed flames, *Combustion and Flame*, 121 (4), 625-639.

Cumber, P. S., Fairweather, M. ve Ledin, H. S., 1998, Application of wide band radiation models to non-homogeneous combustion systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41 (11), 1573-1584.

Deshmukh, K. V., Haworth, D. C. ve Modest, M. F., 2007, Direct numerical simulation of turbulence-radiation interactions in homogeneous nonpremixed combustion systems, *Proceedings of the Combustion Institute*, 31, 1641-1648.

Filimonov, I., 1998, The effect of radiation on the combustion wave propagation in a heterogeneous system, *Symposium (International) on Combustion*, 2441-2450.

Francisco Jr, R., Rua, F., Costa, M., Catapan, R. ve Oliveira, A., 2009, Combustion characteristics of gaseous fuels with low calorific value in a porous yakıcı, *4th European Combustion Meeting*, 14-17.

Goeckner, B. A., Helmich, D. R., Mccarthy, T. A., Arinez, J. M., Peard, T. E., Peters, J. E., Brewster, M. Q. ve Buckius, R. O., 1992, Radiative Heat-Transfer Augmentation of Natural-Gas Flames in Radiant Tube Yakıcıs with Porous Ceramic Inserts, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 5 (6), 848-860.

Hackert, C. L., Ellzey, J. L. ve Ezekoye, O. A., 1999, Combustion and heat transfer in model two-dimensional porous yakıcıs, *Combustion and Flame*, 116 (1-2), 177-191.

Haussener, S., Coray, P., Lipinski, W., Wyss, P. ve Steinfeld, A., 2010, Tomography-Based Heat and Mass Transfer Characterization of Reticulate Porous Ceramics for High-Temperature Processing, *Journal of Heat Transfer-Transactions of the Asme*, 132 (2).

Hossain, M. A., Nakayama, A. ve Pop, I., 1995, Conjugate Free-Convection of Non-Newtonian Fluids About a Vertical Cylindrical Fin in Porous-Media, *Heat and Mass Transfer*, 30 (3), 149-153.

Hsu, P. F., Evans, W. D. ve Howell, J. R., 1993, Experimental and Numerical Study of Premixed Combustion within Nonhomogeneous Porous Ceramics, *Combustion Science and Technology*, 90 (1-4), 149-172.

Ilbas, M., 2005, The effect of thermal radiation and radiation models on hydrogen-hydrocarbon combustion modelling, *International Journal of Hydrogen Energy*, 30 (10), 1113-1126.

Jones, W. ve McGuirk, J., 1980, Mathematical modelling of gas-turbine combustion chambers, *AGARD Combustor Modelling 11 p(SEE N 80-27371 18-07)*.

Kaya, A., 2011, Effects of buoyancy and conjugate heat transfer on non-Darcy mixed convection about a vertical slender hollow cylinder embedded in a porous medium with high porosity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54 (4), 818-825.

Keshtkar, M. M. ve Nassab, S. A. G., 2009, Theoretical analysis of porous radiant yakıcıs under 2-D radiation field using discrete ordinates method, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 110 (17), 1894-1907.

Khalil, E., Spalding, D. ve Whitelaw, J., 1975, The calculation of local flow properties in two-dimensional furnaces, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 18 (6), 775-791.

Kumar, V., Gakkhar, S., and Gakkhar, R.P., 2013, Finite Volume Modeling for Two Zone Rectangular Porous Media Yakıcı, *Int. J. of Appl. Math. and Mech.*, 9 (4), 1-36.

Markatos, N., 1986, The mathematical modelling of turbulent flows, *Applied Mathematical Modelling*, 10 (3), 190-220.

Martynenko, V. V., Echigo, R. ve Yoshida, H., 1998, Mathematical model of self-sustaining combustion in inert porous medium with phase change under complex heat transfer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41 (1), 117-126.

Mohammadi, A. ve Ziabasharhagh, A. J. M., 2012, Numerical Simulation of Combustion with Porous Medium in IC Engine.

Mujeebu, M. A., Abdullah, M. Z., Abu Bakar, M. Z., Mohamad, A. A. ve Abdullah, M. K., 2009a, Applications of porous media combustion technology - A review, *Applied Energy*, 86 (9), 1365-1375.

Mujeebu, M. A., Abdullah, M. Z., Abu Bakar, M. Z., Mohamad, A. A., Muhad, R. M. N. ve Abdullah, M. K., 2009b, Combustion in porous media and its applications - A comprehensive survey (vol 90, pg 2287, 2009), *Journal of Environmental Management*, 91 (2), 550-550.

Mujeebu, M. A., Abdullah, M. Z., Mohamad, A. A. ve Abu Bakar, M. Z., 2010, Trends in modeling of porous media combustion, *Progress in Energy and Combustion Science*, 36 (6), 627-650.

Mujeebu, M. A., Abdullah, M. Z. ve Mohamad, A. A., 2011, Development of energy efficient porous medium yakıcıs on surface and submerged combustion modes, *Energy*, 36 (8), 5132-5139.

Nikjooy, M., Nikjooy, M., So, R. ve Peck, R., 1988, Modelling of jet-and swirl-stabilized reacting flows in axisymmetric combustors, *Combustion Science and Technology*, 58 (1-3), 135-153.

Patankar, S., 1980, Numerical heat transfer and fluid flow, CRC press, p.

Pop, I. ve Na, T.-Y., 2000, Conjugate free convection over a vertical slender hollow cylinder embedded in a porous medium, *Heat and Mass Transfer*, 36 (5), 375-379.

Rodi, W., 1982, Examples of Turbulence Models for Incompressible Flows, *Aiaa Journal*, 20 (7), 872-879.

Rogachev, A. S., Gachon, J. C., Grigoryan, H. E., Nosyrev, A. N., Tsygankov, P. A., Schuster, J. C. ve Vrel, D., 2005, Phase evolution during gasless combustion of the micro- and nano-heterogeneous systems: Time resolved study by synchrotron radiation diffraction analysis, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section a-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment*, 543 (1), 175-179.

Rosseland, S., 1931, Astrophysik und atom-theoretische Grundlagen, *Berlin*, Springer-Verlag, p. 41-44.

Rumminger, M. D., Dibble, R. W., Heberle, N. H. ve Crosley, D. R., 1996, Gas temperature above a porous radiant yakıcı: comparison of measurements and model predictions, *Symposium (International) on Combustion*, 1755-1762.

Sanitjai, S. ve Goldstein, R. J., 2001, Effect of free stream turbulence on local mass transfer from a circular cylinder, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44 (15), 2863-2875.

Sathe, S., Kulkarni, M., Peck, R. ve Tong, T., 1991, An experimental and theoretical study of porous radiant yakıcı performance, *Symposium (International) on Combustion*, 1011-1018.

Schwaab, M. ve Pinto, J. C., 2007, Optimum reference temperature for reparameterization of the Arrhenius equation. Part 1: Problems involving one kinetic constant, *Chemical Engineering Science*, 62 (10), 2750-2764.

Silva, V. H. C., Aquilanti, V., de Oliveira, H. C. B. ve Mundim, K. C., 2013, Uniform description of non-Arrhenius temperature dependence of reaction rates, and a heuristic criterion for quantum tunneling vs classical non-extensive distribution, *Chemical Physics Letters*, 590, 201-207.

Talukdar, P., Mishra, S. C., Trimis, D. ve Durst, F., 2004, Heat transfer characteristics of a porous radiant yakıcı under the influence of a 2-D radiation field, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 84 (4), 527-537.

Tong, Z. X., He, Y. L., Chen, L. ve Xie, T., 2014, A multi-component lattice Boltzmann method in consistent with Stefan-Maxwell equations: Derivation, validation and application in porous medium, *Computers & Fluids*, 105, 155-165.

Torii, S., Shimizu, A., Hasegawa, S. ve Higasa, M., 1990, Laminarization of Strongly Heated Gas-Flows in a Circular Tube - Numerical-Analysis by Means of a Modified Kappa-Epsilon Model, *Jsme International Journal Series Ii-Fluids Engineering Heat Transfer Power Combustion Thermophysical Properties*, 33 (3), 538-547.

Vaszi, A. Z., Ingham, D. B., Lesnic, D., Munslow, D. ve Pop, I., 2001, Conjugate free convection from a slightly inclined plate embedded in a porous medium, *Zeitschrift Fur Angewandte Mathematik Und Mechanik*, 81 (7), 465-479.

Villasenor, R. ve Escalera, R., 1998, A highly radiative combustion chamber for heavy fuel oil combustion, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41 (20), 3087-3097.

Viskanta, R. ve Menguc, M. P., 1987, Radiation Heat-Transfer in Combustion Systems, *Progress in Energy and Combustion Science*, 13 (2), 97-160.

Wood, S. ve Harris, A. T., 2008, Porous yakıcıs for lean-burn applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (5), 667-684.

Wu, Y., Haworth, D., Modest, M. ve Cuenot, B., 2005, Direct numerical simulation of turbulence/radiation interaction in premixed combustion systems, *Proceedings of the Combustion Institute*, 30 (1), 639-646.

Zhou, L., Xie, M. Z. ve Luo, K. H., 2014, Numerical study of heat transfer and combustion in IC engine with a porous media piston region, *Applied Thermal Engineering*, 65 (1-2), 597-604.

Ziabasharhagh, M. ve Mohammadi, A., 2012, Numerical Simulation of Combustion in Porous Media.

EKLER

EK-1:Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar

Tablo Ek-1.1. Deney 1'e ait veriler

Deney 1 **Gaz debi miktarı $m_g^{\cdot}$ = 0,11 m^3/h** **Su debisi $m_s^{\cdot}$ = 0,66 kg/s**					
Zaman (s)	**T_2 (^{o}C) su çıkış sıcaklığı**	**T_1 (^{o}C) su giriş sıcaklığı**	**T_3 (^{o}C) Baca sıcaklığı**	**P_1(bar) su basınç çıkışı**	**P_2(bar) su basınç girişi**
0	18,635	15,296	15,026	1,025	1,113
1	19,152	15,296	15,026	1,087	1,148
2	19,25	15,296	15,026	1,038	1,104
3	19,287	15,296	15,026	1,079	1,118
4	19,398	15,296	15,038	1,05	1,115
5	19,374	15,296	15,051	1,052	1,079
6	19,497	15,321	15,051	1,063	1,13
7	19,546	15,321	15,026	1,03	1,084
8	19,595	15,296	15,051	1,08	1,157
9	19,645	15,296	15,075	1,038	1,107
10	19,706	15,284	15,063	1,109	1,15
11	19,768	15,321	15,051	1,057	1,123
12	19,805	15,296	15,063	1,101	1,113
13	19,866	15,296	15,051	1,077	1,138
14	19,891	15,296	15,075	1,05	1,094
15	19,916	15,321	15,051	1,091	1,148
16	19,94	15,321	15,051	1,035	1,111
17	20,002	15,296	15,051	1,09	1,134
18	20,064	15,321	15,075	1,069	1,16
19	20,064	15,321	15,088	1,08	1,145
20	20,113	15,321	15,051	1,116	1,139
21	20,125	15,345	15,075	1,074	1,104
22	20,162	15,345	15,075	1,094	1,155
23	20,212	15,345	15,075	1,047	1,104
24	20,236	15,37	15,075	1,101	1,145
25	20,286	15,345	15,124	1,065	1,148
26	20,31	15,345	15,075	1,091	1,135
27	20,36	15,37	15,075	1,113	1,184
28	20,397	15,37	15,1	1,084	1,13
29	20,434	15,419	15,124	1,135	1,174
30	20,496	15,407	15,088	1,087	1,116
31	20,557	15,444	15,1	1,113	1,162

32	20,607	15,444	15,1	1,077	1,145
33	20,656	15,444	15,124	1,111	1,155
34	20,78	15,48	15,124	1,106	1,189
35	20,829	15,493	15,124	1,106	1,146
36	20,904	15,505	15,124	1,143	1,201
37	21,003	15,493	15,124	1,102	1,157
38	21,052	15,53	15,124	1,152	1,174
39	21,139	15,566	15,137	1,121	1,176
40	21,225	15,542	15,124	1,126	1,143
41	21,325	15,566	15,137	1,135	1,187
42	21,424	15,615	15,149	1,094	1,168
43	21,573	15,615	15,161	1,152	1,221
44	21,672	15,64	15,173	1,126	1,17
45	21,796	15,665	15,161	1,179	1,206
46	21,945	15,689	15,173	1,133	1,187
47	22,094	15,726	15,173	1,152	1,157
48	22,218	15,763	15,173	1,154	1,204
49	22,318	15,763	15,173	1,104	1,155
50	22,467	15,763	15,173	1,165	1,201
51	22,617	15,787	15,198	1,121	1,201
52	22,766	15,824	15,21	1,157	1,223
53	22,966	15,836	15,223	1,184	1,204
54	23,128	15,885	15,21	1,165	1,174
55	23,341	15,934	15,223	1,168	1,22
56	23,491	15,898	15,223	1,126	1,172
57	23,691	15,959	15,223	1,182	1,216
58	23,905	15,984	15,247	1,14	1,221
59	24,118	15,984	15,247	1,174	1,209
60	24,269	16,02	15,272	1,201	1,253
61	24,483	16,033	15,272	1,163	1,205
62	24,697	16,057	15,272	1,226	1,243
63	24,949	16,069	15,309	1,174	1,184
64	25,177	16,082	15,272	1,199	1,232
65	25,418	16,119	15,296	1,16	1,221
66	25,659	16,131	15,321	1,194	1,22
67	25,964	16,168	15,321	1,206	1,265
68	26,218	16,18	15,345	1,189	1,215
69	26,499	16,229	15,345	1,238	1,272
70	26,78	16,229	15,37	1,19	1,232
71	26,96	16,254	15,345	1,223	1,231
72	27,229	16,327	15,382	1,207	1,248
73	27,499	16,303	15,394	1,196	1,204
74	27,796	16,327	15,394	1,227	1,26

75	28,093	16,327	15,394	1,182	1,229
76	28,378	16,376	15,419	1,24	1,28
77	28,664	16,401	15,444	1,207	1,233
78	28,99	16,438	15,431	1,262	1,267
79	29,264	16,45	15,444	1,214	1,251
80	29,566	16,487	15,444	1,24	1,223
81	29,895	16,523	15,48	1,231	1,26
82	30,079	16,548	15,468	1,192	1,221
83	30,423	16,573	15,493	1,245	1,264
84	30,768	16,597	15,493	1,194	1,245
85	31,06	16,634	15,517	1,239	1,292
86	31,381	16,622	15,517	1,238	1,255
87	31,702	16,671	15,53	1,265	1,258
88	32,052	16,72	15,542	1,24	1,271
89	32,363	16,732	15,566	1,221	1,226
90	32,701	16,769	15,566	1,255	1,281
91	33,014	16,818	15,591	1,206	1,231
92	33,356	16,867	15,591	1,259	1,275
93	33,575	16,879	15,615	1,216	1,267
94	33,933	16,916	15,615	1,251	1,266
95	34,264	16,941	15,64	1,255	1,306
96	34,597	16,965	15,652	1,243	1,262
97	34,987	17,014	15,689	1,282	1,281
98	35,296	17,039	15,677	1,233	1,238
99	35,661	17,088	15,689	1,264	1,291
100	35,986	17,125	15,689	1,209	1,255
101	36,313	17,162	15,714	1,264	1,28
102	36,669	17,198	15,714	1,236	1,299
103	36,97	17,26	15,75	1,251	1,269
104	37,229	17,309	15,763	1,294	1,321
105	37,518	17,358	15,775	1,24	1,27
106	37,866	17,358	15,763	1,297	1,297
107	38,158	17,432	15,787	1,258	1,258
108	38,451	17,456	15,787	1,245	1,289
109	38,789	17,505	15,824	1,24	1,302
110	39,07	17,554	15,836	1,259	1,278
111	39,397	17,603	15,836	1,294	1,326
112	39,755	17,653	15,861	1,249	1,281
113	40,04	17,702	15,885	1,299	1,309
114	40,357	17,751	15,873	1,259	1,292
115	40,538	17,837	15,885	1,26	1,26
116	40,858	17,849	15,91	1,27	1,306
117	41,117	17,898	15,91	1,228	1,258

118	41,393	17,947	15,947	1,275	1,336
119	41,64	18,021	15,934	1,233	1,281
120	41,918	18,046	15,984	1,302	1,316
121	42,167	18,119	15,984	1,254	1,297
122	42,401	18,168	16,008	1,282	1,272
123	42,667	18,242	16,008	1,272	1,306
124	42,903	18,279	16,008	1,231	1,258
125	43,109	18,365	16,045	1,281	1,305
126	43,236	18,414	16,057	1,223	1,28
127	43,474	18,463	16,082	1,267	1,287
128	43,649	18,512	16,106	1,265	1,316
129	43,841	18,598	16,155	1,255	1,275
130	44,034	18,66	16,18	1,299	1,288
131	44,227	18,721	16,204	1,223	1,236
132	44,389	18,807	16,254	1,262	1,283
133	44,551	18,881	16,303	1,204	1,248
134	44,681	18,93	16,352	1,25	1,262
135	44,828	19,017	16,376	1,238	1,287
136	44,893	21,325	19,115	1,283	1,335
137	45,171	21,325	19,152	1,223	1,309
138	45,385	21,362	19,164	1,278	1,365
139	45,666	21,399	19,201	1,258	1,321
140	45,898	21,411	19,238	1,304	1,343
141	46,165	21,449	19,275	1,258	1,33
142	46,383	21,498	19,3	1,289	1,314
143	46,635	21,523	19,324	1,267	1,341
144	46,855	21,523	19,349	1,248	1,292
145	47,076	21,548	19,361	1,283	1,346
146	47,246	21,61	19,398	1,236	1,297
147	47,485	21,622	19,435	1,289	1,341
148	47,726	21,622	19,472	1,236	1,321
149	47,933	21,659	19,484	1,281	1,365
150	48,175	21,697	19,546	1,265	1,327
151	48,402	21,721	19,558	1,304	1,348
152	48,629	21,771	19,62	1,267	1,337
153	48,822	21,796	19,632	1,284	1,311
154	49,016	21,846	19,694	1,275	1,346
155	49,193	21,87	19,694	1,245	1,299
156	49,406	21,895	19,731	1,288	1,352
157	49,548	21,92	19,792	1,243	1,297
158	49,745	21,97	19,805	1,291	1,363
159	49,942	21,995	19,866	1,255	1,319
160	50,158	22,044	19,891	1,26	1,355

161	50,303	22,069	19,903	1,272	1,324
162	50,412	22,094	19,94	1,24	1,302
163	50,612	22,144	20,002	1,289	1,368
164	50,813	22,193	20,064	1,24	1,322
165	50,922	22,231	20,076	1,311	1,38
166	51,069	22,268	20,113	1,259	1,33
167	51,217	22,293	20,15	1,321	1,358
168	51,365	22,343	20,212	1,266	1,338
169	51,513	22,38	20,212	1,294	1,326
170	51,661	22,442	20,249	1,276	1,352
171	51,773	22,492	20,31	1,26	1,306
172	51,885	22,517	20,348	1,288	1,358
173	51,998	22,542	20,385	1,236	1,306
174	52,11	22,604	20,459	1,287	1,375
175	52,186	22,642	20,508	1,231	1,317
176	52,299	22,704	20,57	1,304	1,358
177	52,374	22,766	20,632	1,244	1,325
178	52,488	22,804	20,706	1,277	1,316
179	52,563	22,866	20,78	1,248	1,326
180	57,985	23,786	33,378	1,396	1,414
181	64,85	23,96	33,603	1,613	1,618
182	65,101	23,946	33,63	1,59	1,646
183	65,302	24,933	33,63	1,619	1,622
184	65,505	24,95	33,63	1,649	1,675
185	65,759	25,01	33,657	1,622	1,634
186	66,015	25,12	33,657	1,685	1,688
187	66,299	25,245	33,671	1,635	1,627
188	66,584	25,547	33,685	1,693	1,689
189	66,95	26,7	33,712	1,624	1,649
190	67,214	26,74	33,712	1,693	1,693
191	67,532	26,851	33,74	1,658	1,693
192	67,799	26,957	33,74	1,702	1,702
193	68,149	27,644	33,795	1,71	1,749
194	68,448	27,75	33,781	1,711	1,715
195	68,721	27,881	33,795	1,756	1,776
196	68,996	27,987	33,795	1,726	1,732
197	69,384	28,021	33,822	1,781	1,79
198	69,72	28,221	33,836	1,743	1,727
199	70,115	29,32	33,878	1,807	1,794
200	70,457	29,456	33,891	1,737	1,756
201	70,859	29,881	33,878	1,809	1,812
202	71,236	29,986	33,919	1,763	1,803
203	71,676	30,235	33,933	1,834	1,829

204	72,18	30,456	33,933	1,815	1,859
205	72,63	30,658	33,96	1,851	1,844
206	72,994	31,201	33,988	1,883	1,905
207	73,515	31,274	34,002	1,871	1,871
208	74,105	31,372	34,043	1,939	1,939
209	74,704	31,533	34,057	1,899	1,876
210	75,248	31,692	34,043	1,971	1,942
211	75,832	32,078	34,071	1,91	1,905
212	76,491	32,192	34,098	1,985	1,974
213	77,127	32,237	34,112	1,959	1,969
214	77,774	32,511	34,126	2,02	2
215	78,466	32,696	34,154	2,04	2,04
216	79,1	32,755	34,154	2,057	2,029
217	79,528	32,755	34,181	2,113	2,108
218	80,107	32,824	34,209	2,103	2,073
219	80,767	32,837	34,237	2,184	2,13
220	81,402	32,837	34,237	2,164	2,108
221	81,97	32,837	34,264	2,233	2,161
222	82,586	32,851	34,25	2,198	2,137
223	83,133	32,865	34,292	2,261	2,217
224	83,687	32,865	34,306	2,242	2,191
225	84,25	32,865	34,292	2,326	2,255
226	84,779	32,892	34,32	2,316	2,282
227	85,316	32,905	34,32	2,374	2,302
228	85,65	32,919	34,347	2,409	2,37
229	86,157	32,933	34,361	2,427	2,343
230	86,756	32,946	34,375	2,504	2,423
231	87,146	32,946	34,389	2,498	2,411
232	87,629	32,973	34,403	2,565	2,44
233	88,117	33,001	34,431	2,55	2,44
234	88,431	33,028	34,431	2,576	2,5
235	88,884	33,028	34,486	2,558	2,46
236	89,25	33,259	34,514	2,624	2,527
237	89,713	33,355	34,514	2,592	2,514

Tablo Ek-1.2. Deney 2' ye ait veriler

Deney 2 **Gaz debi miktarı $m_g^{\cdot}$ = 0,18 m^3/h** **Su debisi $m_s^{\cdot}$ = 0,48 kg/s**					
Zaman (s)	**T_2 (^{o}C) su çıkış sıcaklığı**	**T_1 (^{o}C) su giriş sıcaklığı**	**T_3 (^{o}C) Baca sıcaklığı**	**P_1(bar) su basınç girişi**	**P_2(bar) su basınç çıkışı**
0	22.667	22.044	23.967	0.527	0.463
1	23.378	22.144	24.005	0.5	0.444
2	23.491	22.169	24.018	0.548	0.457
3	23.629	22.144	24.018	0.554	0.498
4	23.742	22.193	24.018	0.55	0.457
5	23.842	22.169	24.018	0.598	0.512
6	23.917	22.169	24.018	0.556	0.466
7	24.018	22.193	24.018	0.61	0.502
8	24.131	22.206	24.043	0.571	0.449
9	24.244	22.218	24.043	0.605	0.494
10	24.332	22.231	24.043	0.559	0.483
11	24.42	22.218	24.093	0.604	0.493
12	24.558	22.243	24.068	0.59	0.524
13	24.621	22.243	24.093	0.601	0.491
14	24.722	22.268	24.093	0.639	0.546
15	24.798	22.268	24.093	0.6	0.499
16	24.848	22.293	24.093	0.654	0.542
17	24.924	22.293	24.118	0.61	0.52
18	24.975	22.293	24.118	0.644	0.51
19	25.013	22.33	24.156	0.637	0.507
20	25.051	22.318	24.193	0.62	0.528
21	25.088	22.33	24.168	0.63	0.549
22	25.101	22.343	24.219	0.648	0.526
23	25.139	22.355	24.193	0.669	0.571
24	25.202	22.393	24.219	0.648	0.526
25	25.202	22.368	24.244	0.708	0.576
26	25.253	22.368	24.244	0.65	0.544
27	25.278	22.405	24.244	0.7	0.561
28	25.329	22.417	24.269	0.663	0.553
29	25.38	22.442	24.344	0.674	0.529
30	25.43	22.43	24.382	0.676	0.544
31	25.481	22.442	24.395	0.654	0.551
32	25.519	22.467	24.432	0.664	0.576
33	25.582	22.467	24.495	0.672	0.545
34	25.608	22.505	24.521	0.693	0.595
35	25.659	22.542	24.571	0.665	0.539

36	25.684	22.542	24.571	0.715	0.588
37	25.76	22.592	24.634	0.66	0.551
38	25.786	22.579	24.647	0.705	0.564
39	25.849	22.617	24.684	0.67	0.565
40	25.913	22.642	24.747	0.674	0.534
41	25.964	22.642	24.747	0.677	0.556
42	26.065	22.691	24.773	0.654	0.556
43	26.116	22.691	24.798	0.669	0.586
44	26.193	22.716	24.823	0.675	0.55
45	26.269	22.741	24.848	0.698	0.603
46	26.346	22.766	24.899	0.663	0.545
47	26.41	22.779	24.874	0.717	0.595
48	26.499	22.791	24.912	0.659	0.561
49	26.55	22.816	24.924	0.705	0.566
50	26.652	22.841	24.949	0.671	0.566
51	26.703	22.866	24.949	0.681	0.544
52	26.831	22.854	24.975	0.686	0.561
53	26.883	22.891	25	0.678	0.565
54	26.985	22.916	25	0.693	0.603
55	27.062	22.941	25.025	0.709	0.577
56	27.152	22.941	25.025	0.744	0.634
57	27.242	22.966	25.051	0.724	0.59
58	27.332	22.978	25.076	0.788	0.644
59	27.396	22.991	25.088	0.739	0.612
60	27.448	23.016	25.101	0.791	0.637
61	27.538	23.066	25.126	0.761	0.631
62	27.628	23.041	25.152	0.788	0.615
63	27.706	23.066	25.164	0.785	0.632
64	27.783	23.066	25.177	0.774	0.643
65	27.86	23.116	25.202	0.791	0.681
66	27.938	23.116	25.228	0.803	0.647
67	28.003	23.128	25.24	0.845	0.703
68	28.093	23.141	25.304	0.807	0.66
69	28.145	23.178	25.304	0.862	0.7
70	28.223	23.191	25.316	0.823	0.683
71	28.249	23.191	25.329	0.849	0.674
72	28.301	23.216	25.354	0.857	0.71
73	28.352	23.241	25.38	0.837	0.671
74	28.443	23.253	25.418	0.873	0.749
75	28.508	23.266	25.43	0.825	0.707
76	28.599	23.303	25.481	0.893	0.754
77	28.69	23.316	25.506	0.843	0.717
78	28.742	23.328	25.557	0.886	0.725
79	28.847	23.366	25.608	0.852	0.726
80	28.912	23.391	25.659	0.84	0.688

81	29.003	23.416	25.697	0.863	0.738
82	29.029	23.428	25.735	0.813	0.696
83	29.147	23.466	25.786	0.873	0.735
84	29.212	23.491	25.836	0.818	0.72
85	29.251	23.503	25.875	0.854	0.754
86	29.343	23.541	25.913	0.862	0.721
87	29.395	23.554	25.938	0.871	0.715
88	29.474	23.591	25.989	0.856	0.737
89	29.527	23.616	26.027	0.847	0.698
90	29.605	23.641	26.04	0.863	0.744
91	29.658	23.679	26.091	0.818	0.696
92	29.71	23.691	26.091	0.867	0.733
93	29.789	23.742	26.116	0.818	0.722
94	29.855	23.767	26.154	0.858	0.724
95	29.947	23.792	26.167	0.862	0.761
96	30.013	23.829	26.205	0.849	0.722
97	30.053	23.842	26.218	0.891	0.741
98	30.132	23.867	26.256	0.847	0.7
99	30.211	23.892	26.269	0.858	0.746
100	30.317	23.917	26.295	0.83	0.693
101	30.343	23.942	26.32	0.885	0.753
102	30.423	23.967	26.32	0.842	0.725
103	30.502	23.992	26.358	0.917	0.76
104	30.555	24.03	26.397	0.893	0.783
105	30.621	24.043	26.41	0.928	0.772
106	30.688	24.043	26.422	0.952	0.827
107	30.741	24.08	26.473	0.935	0.779
108	30.821	24.118	26.499	0.981	0.808
109	30.9	24.131	26.537	0.93	0.774
110	30.954	24.143	26.55	0.974	0.827
111	31.047	24.181	26.601	0.93	0.793
112	31.114	24.193	26.627	0.988	0.83
113	31.22	24.219	26.652	0.964	0.849
114	31.274	24.244	26.678	0.989	0.835
115	31.354	24.269	26.678	1.025	0.889
116	31.461	24.294	26.716	0.992	0.842
117	31.541	24.319	26.729	1.045	0.886
118	31.649	24.332	26.755	1.01	0.83
119	31.729	24.344	26.78	1.033	0.879
120	31.864	24.395	26.806	1.003	0.874
121	31.944	24.395	26.831	1.039	0.878
122	32.052	24.42	26.844	1.038	0.925
123	32.187	24.445	26.883	1.038	0.889
124	32.309	24.47	26.908	1.084	0.94
125	32.484	24.495	26.921	1.036	0.901

126	32.539	24.508	26.908	1.099	0.92
127	32.688	24.546	26.921	1.06	0.923
128	32.81	24.546	26.934	1.069	0.898
129	32.973	24.558	26.96	1.083	0.93
130	33.11	24.571	26.985	1.047	0.931
131	33.315	24.609	26.985	1.094	0.974
132	33.465	24.621	27.011	1.074	0.925
133	33.671	24.647	27.024	1.116	0.981
134	33.878	24.672	27.037	1.076	0.94
135	34.084	24.697	27.037	1.111	0.937
136	34.292	24.697	27.062	1.091	0.961
137	34.431	24.71	27.088	1.065	0.913
138	34.708	24.747	27.075	1.098	0.964
139	35.155	24.747	27.114	1.045	0.937
140	35.831	24.785	27.114	1.087	0.981
141	36.712	24.773	27.139	1.091	0.948
142	37.895	24.798	27.152	1.101	0.94
143	39.307	24.823	27.139	1.087	0.958
144	40.98	24.848	27.178	1.055	0.915
145	42.73	24.874	27.165	1.091	0.966
146	44.6	24.886	27.191	1.043	0.933
147	46.568	24.899	27.191	1.084	0.946
148	47.898	24.912	27.216	1.067	0.974
149	49.78	24.924	27.203	1.076	0.937
150	51.773	24.924	27.216	1.116	0.989
151	53.599	24.949	27.216	1.068	0.918
152	55.457	24.949	27.242	1.128	0.97
153	57.162	24.962	27.242	1.045	0.918
154	58.891	25	27.268	1.102	0.964
155	60.508	25.013	27.268	1.065	0.947
156	62.048	25.025	27.293	1.099	0.955
157	63.571	25.051	27.293	1.089	0.986
158	65.001	25.076	27.306	1.094	0.948
159	65.913	25.088	27.319	1.13	1.003
160	67.267	25.076	27.358	1.083	0.947
161	68.502	25.101	27.345	1.138	0.991
162	69.748	25.114	27.383	1.082	0.923
163	70.859	25.126	27.396	1.118	0.974
164	71.912	25.152	27.422	1.06	0.935
165	72.933	25.152	27.422	1.107	0.963
166	73.918	25.19	27.461	1.069	0.967
167	74.8	25.177	27.474	1.095	0.952
168	75.701	25.202	27.474	1.104	0.994
169	76.557	25.228	27.499	1.084	0.942
170	77.161	25.24	27.499	1.128	0.996

171	77.946	25.278	27.551	1.073	0.947
172	78.677	25.253	27.577	1.126	0.977
173	79.457	25.278	27.589	1.073	0.915
174	80.107	25.278	27.602	1.106	0.968
175	80.693	25.304	27.615	1.043	0.93
176	81.364	25.304	27.654	1.095	0.957
177	81.932	25.329	27.654	1.06	0.959
178	82.509	25.329	27.68	1.082	0.944
179	83.133	25.367	27.706	1.079	0.986
180	83.607	25.38	27.731	1.071	0.936
181	83.927	25.392	27.757	1.116	0.991
182	84.452	25.405	27.77	1.061	0.936
183	84.902	25.405	27.809	1.106	0.977
184	85.316	25.43	27.822	1.061	0.913
185	85.734	25.43	27.835	1.104	0.963
186	86.114	25.456	27.873	1.03	0.92
187	86.498	25.456	27.886	1.084	0.951
188	86.886	25.481	27.912	1.038	0.947
189	87.365	25.506	27.938	1.071	0.942
190	87.629	25.519	27.964	1.067	0.977
191	87.894	25.532	27.977	1.06	0.931
192	88.162	25.544	28.016	1.094	0.984
193	88.431	25.557	28.054	1.045	0.933
194	88.793	25.582	28.041	1.104	0.967
195	89.113	25.582	28.08	1.049	0.906
196	89.343	25.582	28.119	1.072	0.952
197	89.62	25.608	28.132	1.028	0.925
198	89.9	25.633	28.145	1.065	0.941
199	90.181	25.633	28.21	1.04	0.969
200	90.465	25.633	28.223	1.05	0.929
201	90.703	25.659	28.223	1.082	0.979
202	90.943	25.684	28.275	1.038	0.928
203	91.039	25.697	28.275	1.084	0.967
204	91.184	25.709	28.326	1.036	0.934
205	91.329	25.709	28.352	1.069	0.93
206	91.475	25.747	28.378	1.04	0.913

Tablo Ek-1.3. Deney 3' ye ait veriler

Deney 3 **Gaz debi miktarı $m_g^{\cdot}$ = 0,25 m^3/h** **Su debisi $m_s^{\cdot}$ = 0,66 kg/s**					
Zaman (s)	**T_2 (^{o}C) su çıkış sıcaklığı**	**T_1 (^{o}C) su giriş sıcaklığı**	**T_3 (^{o}C) Baca sıcaklığı**	**P_1(bar) su basınç girişi**	**P_2(bar) su basınç çıkışı**
1	18.1	17.9	33.42	0.608	0.51
2	19.9	18.5	33.562	0.595	0.553
3	20.2	19.1	33.95	0.564	0.498
4	21.1	19.5	34.01	0.608	0.571
5	22.1	20	33.63	0.554	0.529
6	23.5	20.1	33.657	0.632	0.588
7	24.2	20.5	33.657	0.586	0.526
8	24.7	20.9	33.671	0.654	0.581
9	25.1	21.01	33.685	0.588	0.543
10	27.4	21.4	33.712	0.644	0.542
11	29.2	22.1	33.712	0.604	0.556
12	30.022	22.5	33.74	0.605	0.51
13	30.91	23	33.795	0.622	0.57
14	32.1	23.5	33.781	0.573	0.51
15	34	23.9	33.795	0.641	0.593
16	35.5	24.02	33.795	0.573	0.533
17	37	24.1	33.822	0.671	0.598
18	37.9	24.25	33.836	0.601	0.546
19	38.2	24.4	33.878	0.671	0.571
20	39	24.54	33.891	0.621	0.564
21	40.01	24.6	33.878	0.632	0.527
22	40.12	24.71	33.919	0.633	0.576
23	40.61	24.82	33.933	0.593	0.522
24	40.96	24.91	33.933	0.654	0.579
25	41.64	24.99	33.96	0.588	0.537
26	41.72	25.02	33.988	0.65	0.61
27	41.9	25.151	34.002	0.617	0.555
28	42.1	25.21	34.043	0.686	0.593
29	42.6	25.31	34.057	0.638	0.572
30	42.97	25.49	34.043	0.649	0.542
31	43.02	25.5	34.071	0.654	0.588
32	43.2	25.9	34.098	0.605	0.529
33	43.5	26.01	34.112	0.671	0.588
34	43.66	26.2	34.126	0.605	0.546
35	43.71	26.7	34.154	0.664	0.577
36	43.94	26.99	34.154	0.642	0.603
37	44.01	27.5	34.181	0.654	0.6

38	44.6	27.69	34.209	0.693	0.587
39	44.71	27.81	34.237	0.664	0.556
40	44.8	28.1	34.237	0.667	0.604
41	44.92	28.42	34.264	0.625	0.544
42	45.1	28.6	34.25	0.68	0.604
43	45.64	28.71	34.292	0.62	0.559
44	45.76	28.95	34.306	0.677	0.59
45	45.8	29.1	34.292	0.654	0.615
46	45.98	29.25	34.32	0.669	0.582
47	46.02	29.37	34.32	0.708	0.637
48	46.45	29.45	34.347	0.658	0.566
49	46.7	29.51	34.361	0.717	0.612
50	46.82	29.72	34.375	0.639	0.554
51	47.08	29.95	34.389	0.692	0.614
52	47.36	29.99	34.403	0.637	0.571
53	48.1	30.01	34.431	0.693	0.601
54	48.99	30.9	34.431	0.661	0.625
55	49.01	31.06	34.486	0.678	0.592
56	49.5	31	34.514	0.708	0.649
57	50.06	31.221	34.514	0.667	0.588
58	50.6	31.35	34.569	0.717	0.647
59	50.75	31.471	34.597	0.664	0.568
60	50.81	31.541	34.667	0.715	0.631
61	50.9	31.68	34.708	0.642	0.581
62	51.05	31.71	34.75	0.697	0.616
63	51.77	31.75	34.792	0.647	0.617
64	52.01	31.78	34.834	0.696	0.614
65	52.6	31.815	34.876	0.683	0.656
66	52.88	31.856	34.904	0.687	0.614
67	53.21	31.891	34.96	0.732	0.671
68	53.5	31.912	34.96	0.682	0.612
69	53.95	31.92	35.001	0.744	0.661
70	54.03	31.941	35.015	0.683	0.583
71	54.45	31.96	35.057	0.732	0.647
72	54.99	31.971	35.099	0.661	0.605
73	55.05	31.975	35.127	0.725	0.643
74	56.055	31.981	35.127	0.696	0.664
75	57.25	31.99	35.155	0.7	0.64
76	63.82	32.02	35.183	0.72	0.67
77	64.507	32.22	35.211	0.73	0.69
78	65.54	32.247	35.267	0.75	0.7
79	66.4	32.298	35.267	0.81	0.72
80	66.998	32.321	35.296	0.85	0.75
81	67.051	32.457	35.338	0.88	0.77
82	67.83	32.459	35.38	0.92	0.79

83	68.01	32.501	35.38	0.97	0.81
84	68.53	32.511	35.38	1	0.85
85	68.625	32.528	35.436	1.011	0.89
86	68.891	32.548	35.478	1.015	0.92
87	69.101	32.581	35.661	1.017	0.94
88	69.26	32.571	35.675	1.019	0.97
89	69.87	32.612	35.689	1.022	0.99
90	69.978	32.623	35.689	1.025	1.01
91	70.005	32.641	35.689	1.027	1.014
92	70.35	32.721	35.689	1.029	1.018
93	70.582	32.75	35.689	1.03	1.02
94	70.78	32.782	35.689	1.032	1.022
95	70.96	32.81	35.704	1.035	1.024
96	71.35	32.83	35.704	1.041	1.027
97	71.695	32.838	35.704	1.044	1.029
98	72.24	32.884	35.718	1.05	1.03
99	72.61	32.891	35.718	1.052	1.035
100	72.947	32.921	35.718	1.055	1.038
101	73.25	32.939	35.718	1.062	1.039
102	73.64	32.947	35.718	1.065	1.041
103	74.59	32.973	35.718	1.071	1.043
104	74.86	33.001	35.718	1.074	1.046
105	75.31	33.11	35.718	1.8	1.048
106	75.947	33.16	35.718	1.082	1.051
107	76.72	33.194	35.718	1.084	1.053
108	76.98	33.221	35.718	1.088	1.055
109	77.32	33.295	35.718	1.09	1.057
110	78.01	33.41	35.718	1.12	1.059
111	79.91	33.48	35.718	1.14	1.062
112	80.06	33.48	35.732	1.16	1.065
113	80.55	33.508	35.732	1.18	1.069
114	81.548	33.51	35.746	1.21	1.07
115	81.88	33.58	35.746	1.22	1.077
116	82.048	33.6	35.746	1.23	1.079
117	83.015	33.67	35.746	1.25	1.082
118	83.51	33.689	35.746	1.28	1.086
119	84.67	33.714	35.746	1.31	1.089
120	84.92	33.721	35.746	1.35	1.091
121	85.501	33.73	35.76	1.45	1.094
122	85.82	33.752	35.76	1.52	1.099
123	86.27	33.796	35.774	1.601	1.13
124	86.92	33.81	35.774	1.625	1.19
125	87.138	33.815	35.774	1.632	1.21
126	87.947	33.827	35.774	1.675	1.26
127	88.121	33.838	35.774	1.71	1.29

128	88.811	33.84	35.774	1.752	1.32
129	88.984	33.846	35.774	1.763	1.37
130	89.34	33.849	35.774	1.79	1.39
131	89.847	33.852	35.774	1.812	1.42
132	90.087	33.855	35.774	1.82	1.47
133	90.37	33.863	35.774	1.826	1.49
134	90.799	33.877	35.774	1.864	1.5
135	91.329	33.81	35.774	1.87	1.52
136	91.621	33.424	35.774	1.881	1.54
137	91.916	33.438	35.774	1.892	1.57
138	92.362	33.479	35.774	1.896	1.59
139	92.712	33.52	35.774	1.899	1.61
140	92.914	33.506	35.774	1.901	1.64
141	93.218	33.52	35.774	1.915	1.67
142	93.525	33.52	35.774	1.919	1.69
143	93.886	33.548	35.774	1.92	1.71
144	94.25	33.575	35.774	1.925	1.73
145	94.46	33.575	35.774	1.928	1.752
146	94.671	33.603	35.774	1.93	1.756
147	94.99	33.616	35.774	1.935	1.76
148	95.419	33.603	35.774	1.939	1.78
149	95.581	33.644	35.774	1.941	1.81
150	95.852	33.685	35.774	1.946	1.84
151	96.126	33.671	35.774	1.952	1.861
152	96.734	33.685	35.788	1.958	1.865
153	96.846	33.74	35.788	1.962	1.867
154	97.07	33.74	35.788	1.971	1.869
155	97.353	33.767	35.802	1.98	1.721
156	97.523	33.795	35.802	2.01	1.73
157	97.808	33.809	35.802	2.03	1.75
158	98.096	33.795	35.802	2.102	1.8
159	98.561	33.809	35.802	2.139	1.89
160	98.795	33.85	35.802	2.195	1.91
161	99.031	33.89	35.802	2.23	1.98
162	99.15	34.071	35.802	2.288	1.99
163	99.268	34.098	35.831	2.32	2.01
164	99.388	34.098	35.831	2.36	2.05
165	99.447	34.098	35.831	2.45	2.11
166	99.507	34.112	35.831	2.52	2.15
167	99.687	34.126	35.831	2.591	2.18
168	99.747	34.167	35.831	2.601	2.25
169	99.808	34.171	35.831	2.611	2.31
170	99.868	34.175	35.831	2.615	2.38
171	98.913	34.181	35.831	2.621	2.37
172	99.989	34.209	35.859	2.639	2.4

173	100.232	34.237	35.859	2.642	2.45
174	100.354	34.239	35.859	2.68	2.48
175	100.477	34.25	35.887	2.705	2.51
176	100.538	34.264	35.887	2.715	2.54
177	100.6	34.278	35.887	2.72	2.59
178	100.723	34.32	35.887	2.739	2.601
179	100.847	34.333	35.887	2.751	2.605
180	100.909	34.34	35.887	2.76	2.61
181	100.971	34.347	35.901	2.79	2.64
182	101.158	34.347	35.901	2.819	2.67
183	101.096	34.375	35.915	2.826	2.69
184	101.221	34.389	35.915	2.829	2.701
185	101.346	34.403	35.915	2.837	2.706
186	101.346	34.431	35.915	2.839	2.71
187	101.409	34.431	35.944	2.842	2.75
188	101.472	34.472	35.944	2.846	2.78
189	101.598	34.479	35.944	2.848	2.804
190	101.598	34.486	35.944	2.851	2.809
191	101.598	34.514	35.972	2.859	2.81
192	101.724	34.542	35.972	2.862	2.815
193	101.788	34.551	35.972	2.865	2.825
194	101.724	34.569	35.972	2.869	2.832
195	101.724	34.569	35.986	2.871	2.837
196	101.915	34.597	35.986	2.879	2.84
197	101.851	34.611	36	2.881	2.851
198	101.851	34.625	36.015	2.89	2.862
199	101.851	34.653	36.029	2.901	2.869
202	101.788	34.699	36.085	2.911	2.902
203	101.979	34.736	36.114	2.916	2.905
204	101.915	34.738	36.114	2.92	2.907
205	101.724	34.764	36.085	2.925	2.909
206	101.724	34.778	36.114	2.928	2.91
207	101.724	34.792	36.128	2.931	2.915
208	101.724	34.82	36.114	2.935	2.918
209	101.724	34.848	36.142	2.939	2.92
210	101.724	34.862	36.171	2.94	2.922
211	101.724	34.876	36.142	2.946	2.924
212	101.598	34.904	36.199	2.951	2.927
213	101.724	34.932	36.185	2.954	2.931
214	101.598	34.932	36.199	2.96	2.934
215	101.661	34.96	36.227	2.968	2.938
216	101.598	34.987	36.199	2.971	2.941
217	101.598	35.015	36.199	2.982	2.945
218	101.661	35.015	36.227	2.985	2.947

219	101.472	35.02	36.227	2.991	2.951
220	101.472	35.024	36.227	2.998	2.955
221	101.472	35.031	36.227	3.001	2.96
222	101.535	35.04	36.242	3.008	2.965
223	101.472	35.049	36.256	3.011	2.97
224	101.409	35.051	36.256	3.016	2.975
225	101.472	35.055	36.284	3.019	2.978
226	101.346	35.059	36.284	3.022	2.98
227	101.346	35.061	36.313	3.026	2.984
228	101.221	35.067	36.313	3.029	2.988
229	101.221	35.075	36.313	3.031	2.99
230	101.221	35.077	36.313	3.034	3.011
231	101.096	35.081	36.313	3.037	3.015
232	101.096	35.087	36.341	3.038	3.018
233	101.033	35.099	36.355	3.041	3.021
234	100.971	35.16	36.341	3.042	3.024
235	100.971	35.19	36.341	3.046	3.027
236	100.847	35.21	36.37	3.049	3.029
237	100.971	35.25	36.37	3.051	3.03
238	100.538	35.82	36.37	3.054	3.033
239	100.723	35.79	36.398	3.056	3.037
240	100.354	35.7	36.398	3.058	3.039
241	100.6	35.72	36.427	3.061	3.041
242	100.538	35.61	36.441	3.064	3.044
243	100.354	35.59	36.455	3.067	3.047
244	100.354	35.41	36.469	3.068	3.048
245	100.232	35.38	36.455	3.072	3.05
246	100.354	35.35	36.484	3.073	3.054
247	100.11	35.96	36.498	3.075	3.057
248	100.11	35.29	36.512	3.078	3.059
249	100.354	36.041	36.97	3.08	3.061
250	100.847	36.056	36.999	3.081	3.065
251	101.409	36.08	37.028	3.083	3.068
252	102.106	36.085	37.056	3.085	3.069
253	102.752	36.11	37.085	3.087	3.07
254	103.673	36.18	37.114	3.089	3.072
255	104.21	36.2	37.114	3.092	3.073
256	105.166	36.408	37.172	3.093	3.076
257	105.584	36.436	37.172	3.095	3.079
258	106.575	36.464	37.244	3.097	3.081
259	107.299	36.48	37.229	3.099	3.084
260	108.036	36.492	37.272	3.11	3.087
261	108.94	36.534	37.287	3.15	3.089
262	109.631	36.548	37.33	3.18	3.091
263	110.493	36.591	37.345	3.21	3.094

264	111.212	36.615	37.373	3.24	3.097
265	111.944	36.65	37.402	3.28	3.099
266	112.44	36.67	37.46	3.31	3.1
267	113.196	36.689	37.446	3.34	3.12
268	114.14	36.718	37.518	3.37	3.16
269	114.576	36.774	37.518	3.38	3.19
270	115.195	36.774	37.547	3.41	3.22
271	115.824	36.802	37.576	3.43	3.25
272	116.279	36.816	37.605	3.47	3.27
273	116.647	36.859	37.648	3.49	3.29
274	117.206	36.887	37.663	3.51	3.31
275	117.488	37.03	37.692	3.52	3.34
276	117.963	37.038	37.706	3.55	3.37
277	118.154	37.047	37.75	3.57	3.39
278	118.734	37.08	37.852	3.59	3.41
279	119.125	37.098	37.692	3.6	3.44
280	119.719	37.06	37.866	3.64	3.46
281	120.322	37.18	37.75	3.67	3.49
282	120.832	37.26	37.954	3.69	3.5

EK-2: Silindirik formda ve düşük emisyonlu poroz seramik radyant premix gaz yakıcınıngeliştirilmesi adlı projenin Bilgisayar programı

```
clearall
clc
holdon
% clg
% Başlangıçdeğerlerinin girilmesi
formatlong
load degisken;
ric=double(0.048);            % gömleğinyarıçapı
rort=double(0.058);
rdis=double(0.096);
Tin=double(303);              % girişsıcaklığı
Tinf=double(1200);            % yakıcınındış yüzey sıcaklığı
Tout=double(353);
Tyzyic=Tin+30;
Tyzy=Tinf+100;
ks=19;                % Cr-Niçeliğininısı iletkenlik katsayısı
fi=0.89;              % porozite
v0=1.5;               % Yakıcı içerisindeki hava hızı
dp=1.0;               % hidrolik çap
L=20;                 % Yakıcının yüksekliği
a=19.89;              %  Metan için katsayı
b=5.024^(-2);         %  Metan için
c=1.269^(-5);         %  Metan için
d=-11.01^(-9);        %  Metan için katsayı
sigma=5.683*10^(-8);  %  Stephan - Boltzman sabiti...
BetaR=0.8;            % Rosselanddistinctioncoefficient
delHc=0.5;                % Birim hacımdakiyakıtınyanmasındandolayı meydana gelen entalpifarkı. Gaz fazı için yazılan denklemin en son ifadesi
%% sfg=0.001;               % Birim hacımdakiyakıt tüketimi. Gaz fazý için yazýlan denklemin en son ifadesi
hic=30;
hdis=300;
cpair=1.007;          % Havanın normal şartlardaki özgül ısısı
roair303=1.164;       % Havanın 30 derecedeki yoğunluğu
roair1223=0.377;      % Havanın 1223 K deki yoğunluğu
kair303=0.0263;       % 303 K sıcaklıktaki hava için ısı iletkenlik katsayısı
kair1223=0.07677;     % 1223 K sıcaklıktaki hava için ısı iletkenlik katsayısı
muair303=0.00001872;  % Havanýn 30 derecedeki dinamik viskozitesi
muair1223=0.000047;   % Havanın 1223 K deki dinamik viskozitesi
mair=0.3;             %
mCH4=0.7;
cpCH4=5.7;
```

```
roCH4=0.6;
kfCH4=0.31857;
muCH4=0.00004434;
PrCH4=0.7936;
kfCH42=(1.52*10^(-11)*Tinf*Tinf*Tinf)-(4.86*10^(-8)*Tinf*Tinf)+(1.02*10^(-
4)*Tinf)-(3.93*10^(-3));
romix303=((mair*roair303)+(mCH4*roCH4))/(mair+mCH4);
romix1223=((mair*roair1223)+(mCH4*roCH4))/(mair+mCH4);
kmix303=((mair*kair303)+(mCH4*kfCH4))/(mair+mCH4);
kmix1223=((mair*kair1223)+(mCH4*kfCH4))/(mair+mCH4);
romix=romix303;
beta=1/Tin;
cpmix=((mair*cpair)+(mCH4*cpCH4))/(mair+mCH4);


muf=2.41*10^(-5)*Tinf/700+0.747*10^(-5);
 Re303=roair303*v0*2*rort/muair303;
 Re1223=roair1223*v0*2*rort/muair1223;
fsf303=0.079*Re303^(-0.25);
fsf1223=0.079*Re1223^(-0.25);
 Nud303=(fsf303/8)*(Re303-1000)*PrCH4/(1+12.7*(fsf303/8)^(0.5)*(PrCH4^(2/3)-
1));
Nud1223=(fsf1223/8)*(Re1223-
1000)*PrCH4/(1+12.7*(fsf1223/8)^(0.5)*(PrCH4^(2/3)-1));
%   Trend in modeling of porousmedia... isimli makaleden..
Re=Re303;
Nu=0.819*(1-7.33*(dp/L))*Re^(0.36*(1+(15.5*(dp/L))));
hv=Nu*kfCH42/((2*rort)^2);
Nuv=2+(1.1*Re^0.6*PrCH4^0.33);
Nudv1=0.0395*Re^(3/4)*PrCH4^(1/3);
Nudv2=0.023*Re^0.8*PrCH4^0.4;
% Kuwahara at al.(2001) 'e göre arayüzeyde konveksiyon katsayısı(Türbülanslı bir
% akiş ve porozif bir ortamda) [ hi  veyahsf diyebiliriz ]
hsfk=((1+(4*(1-fi)/fi))+((1/2)*(1-fi)^(1/2)*Re*PrCH4^(1/3)))*(kfCH42/(2*rort));      %
validfor0.2<fi<0.9
% Saitoand le Lemos(2006) 'a göre arayüzeyde konveksiyon katsayısı(Türbülanslı bir
% akiş ve porozif bir ortamda) [ hi  veyahsf diyebiliriz ]
hsfs=(0.08*(Re/fi)^(0.8)*PrCH4^(1/3))*(kfCH42/(2*rort));        % validfor 0.2<fi<0.9
and 1.10^4<Re<2.10^7
hsf2=(kfCH4/(2*rort))*(2+1.1*PrCH4^(1/3)*Re^0.6);
alfasf=6*(1-fi)*2*rort;
hv1=hsfs*alfasf;
hv2=(6*cpCH4/(2*rort)^2)*kfCH42*Nu;

kfef=fi*kfCH4;
kfef=(1-fi)*kfCH4;
% Mesafelerin hesaplanması...
adm=double(0.0001);
ri=double(0:adm:ric);
ro=double(0:adm:rort);
```

```
%  rd=rort:0.0001:rdis;
r=0:adm:rdis;
n=length(r);
ni=length(ri);
no=length(ro);
%nd=length(rd);
r(1)=adm;
r(n+1)=rdis;
delr=double(ri(3)-ri(2));
deltar=double((ri(3)-ri(2)+ri(4)-ri(3))/2);

% Başlangýçdeğerleri...
for i=1:no
  T(i)=double(Tin);
end
T(1)=Tin;
T(no)=double(Tinf);
for i=no+1:n
  T(i)=Tout;
end
T(n)=Tout;
T(n+1)=Tout;
%  Iterasyon döngüsü..
hlim=0.005;
frk=99.9;
tis=0;
while (frk>hlim) && (tis<99999)
%   Katsayılarınhesaplanması...
for i=1:n+1
ds(i)=double(0.0);
bs(i)=double(0.0);
aN(i)=double(0.0);
aS(i)=double(0.0);
aP(i)=double(0.0);
kgaz(i)=double(0.0);
mugaz(i)=double(0.0);
cpkar(i)=double(0.0);
rokar(i)=double(0.0);
end
for i=no-1:-1:ni
beta=1/T(i);
rokar(i)=(romix)/(1+beta*(T(i)-Tin));
cpkar(i)=a+b*T(i)+c*T(i)^2+d*T(i)^3;
     kgaz(i)=1.52*10^(-11)*T(i)^3-4.86*10^(-8)*T(i)^2+1.02*10^(-4)*T(i)-3.93*10^(-
3);
mugaz(i)=(2.14*10^(-5)*T(i)/700)+0.747*10^(-5);
pisg=6*(1-fi)*dp*10^(-3);
Red=romix1223*v0*dp*10^(-3)/mugaz(i);
hsg=(kgaz(i)/(dp^(-3)))*(2+1.1*PrCH4^(1/3)*Red^(0.6));
hv=hsg*pisg;
```

```
%                                                                   aN(i)=(fi*kmix1223)+(1-
fi)*(ks+((16*sigma*T(i)^3)/(3*BetaR)))*((r(i)+deltar/2)/delr)-
(0.5*fi*romix1223*cpmix*v0*deltar);
%                 aS(i)=(fi*kmix1223)+(1-fi)*(ks+((16*sigma*T(i)^3)/(3*BetaR)))*((r(i)-
deltar/2)/delr)+(0.5*fi*romix1223*cpmix*v0*deltar);
%    ds(i)=-((deltar*hv*(T(i)-Tinf))+(fi*r(i)*delHc*sfg*deltar));
   aN(i)=(fi*kmix1223+(1-
fi)*ks+((16*sigma*T(i)^3)/(3*BetaR)))*((r(i)+deltar/2)/delr)-
(0.5*fi*romix1223*cpmix*v0*deltar);
   aS(i)=(fi*kmix1223+(1-fi)*ks+((16*sigma*T(i)^3)/(3*BetaR)))*((r(i)-
deltar/2)/delr)+(0.5*fi*romix1223*cpmix*v0*deltar);
ds(i)=-(hv*Tinf+fi*delHc*sfg)*r(i)*deltar;
bs(i)=hv*r(i)*deltar;
aP(i)=aN(i)+aS(i)-bs(i);
%    if i>479 && i<488
%       fprintf('1. Kısım  i=%4d T(i)=%9.3f  aN(i)=%9.4f  aS(i)=%9.4f  ds(i)=%9.4f\n
bs(i)=%9.4f                aP(i)=%9.4f\n       R.Kat.=%9.4f                Kat1.=%9.4f
Kat2.=%9.4f\n',i,T(i),aN(i),aS(i),ds(i),bs(i),aP(i),(fi*kmix1223+(1-
fi)*ks+((16*sigma*T(i)^3)/(3*BetaR))),((r(i)+deltar/2)/delr),(0.5*fi*romix1223*cpmix
*v0*deltar));
%    fprintf('i=%4d T(ni)=%9.3f  T(i)=%9.3f  aN(i)=%9.4f  aS(i)=%9.4f  ds(i)=%9.4f
bs(i)=%9.4f  aP(i)=%9.6f\n',i,T(ni),T(i),aN(i),aS(i),ds(i),bs(i),aP(i));

%    end
%       fprintf('i=%4d  T(i)=%9.3f      aN(i)=%9.4f     aS(i)=%9.4f     ds(i)=%9.4f\n
bs(i)=%9.4f                aP(i)=%9.4f\n       R.Kat.=%9.4f                Kat1.=%9.4f
Kat2.=%9.4f\n',i,T(i),aN(i),aS(i),ds(i),bs(i),aP(i),(fi*kmix1223+(1-
fi)*ks+((16*sigma*T(i)^3)/(3*BetaR))),((r(i)+deltar/2)/delr),(0.5*fi*romix1223*cpmix
*v0*deltar));
end
%  break
for i=ni-1:-1:2
beta=1/T(i);
rokar(i)=(romix)/(1+beta*(T(i)-Tin));
cpkar(i)=a+b*T(i)+c*T(i)^2+d*T(i)^3;
   kgaz(i)=1.52*10^(-11)*T(i)^3-4.86*10^(-8)*T(i)^2+1.02*10^(-4)*T(i)-3.93*10^(-
3);
mugaz(i)=(2.14*10^(-5)*T(i)/700)+0.747*10^(-5);
pisg=6*(1-fi)*dp*10^(-3);
if T(i)<500
Red=romix303*v0*dp*10^(-3)/mugaz(i);
else
Red=romix1223*v0*dp*10^(-3)/mugaz(i);
end
hsg=(kgaz(i)/(dp^(-3)))*(2+1.1*PrCH4^(1/3)*Red^(0.6));
hv=hsg*pisg;

aN(i)=-(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar);
aS(i)=-(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar);
ds(i)=-hv*r(i)*T(ni)*deltar;
```

```
bs(i)=hv*ri(i)*deltar;
aP(i)=aN(i)+aS(i)-bs(i);
end
cpkar(no)=kgaz(no-1);
kgaz(no)=kgaz(no-1);
mugaz(no)=mugaz(no-1);
rokar(no)=rokar(no-1);
cpkar(1)=kgaz(2);
kgaz(1)=kgaz(2);
mugaz(1)=mugaz(2);
rokar(1)=rokar(2);
%break
for i=no+1:n-1
beta=1/T(i);
rokar(i)=(romix)/(1+beta*(T(i)-Tin));
cpkar(i)=a+b*T(i)+c*T(i)^2+d*T(i)^3;
    kgaz(i)=1.52*10^(-11)*T(i)^3-4.86*10^(-8)*T(i)^2+1.02*10^(-4)*T(i)-3.93*10^(-
3);
mugaz(i)=(2.14*10^(-5)*T(i)/700)+0.747*10^(-5);
pisg=6*(1-fi)*dp*10^(-3);
Red=romix1223*v0*dp*10^(-3)/mugaz(i);
hsg=(kgaz(i)/(dp^(-3)))*(2+1.1*PrCH4^(1/3)*Red^(0.6));
hv=hsg*pisg;
% fprintf('i=%5d aN(i)=%12.5f aS(i)=%12.5f r(i)=%12.5f
hv=%12.5f\n',i,aN(i),aS(i),r(i),hv);
    aN(i)=((16*sigma*Tinf^3)/(3*BetaR))*((r(i)+deltar/2)/delr)-
(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar); %%%% -
(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar);
    aS(i)=((16*sigma*Tinf^3)/(3*BetaR))*((r(i)-deltar/2)/delr)-
(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar); %%%
+(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar);
ds(i)=-hv*Tinf*r(i)*deltar;
%%% -deltar*hdis*(T(ni+i)-Tinf);
bs(i)=hv*r(i)*deltar;
aP(i)=aN(i)+aS(i)-bs(i);
% fprintf('i=%5d aN(i)=%12.5f T(i)=%12.5f aS(i)=%12.5f r(i)=%12.5f
hv=%12.5f\n',i,T(i),aN(i),aS(i),r(i),hv);
%fprintf('i=%4d T(i)=%9.3f aN(i)=%9.4f aS(i)=%9.4f ds(i)=%9.4f\n bs(i)=%9.4f
aP(i)=%9.4f\n R.Kat.=%9.4f Kat1.=%9.4f
Kat2.=%9.4f\n',i,T(i),aN(i),aS(i),ds(i),bs(i),aP(i),((16*sigma*Tinf^3)/(3*BetaR)),((r(i)+
deltar/2)/delr),(0.5*romix1223*cpmix*v0*deltar));
end
rokar(no)=rokar(no+1);
cpkar(no)=cpkar(no+1);
kgaz(no)=kgaz(no+1);
mugaz(no)=mugaz(no+1);
rokar(1)=rokar(2);
cpkar(1)=cpkar(2);
kgaz(1)=kgaz(2);
mugaz(1)=mugaz(2);
```

```
cpkar(n)=cpkar(n-1);
rokar(n)=rokar(n-1);
kgaz(n)=kgaz(n-1);
mugaz(n)=mugaz(n-1);
rokar(n+1)=rokar(n-1);
cpkar(n+1)=cpkar(n-1);
kgaz(n+1)=kgaz(n-1);
mugaz(n+1)=mugaz(n-1);

ebf=0.0;
for j=2:no-1
if (aP(j)==0.0)
aP(j)=0.0001;
end
f=((aN(j)*T(j+1)+aS(j)*T(j-1)+ds(j))/(1.0*aP(j)))-T(j);
ifabs(f)>ebf
ebf=abs(f);
end
      T(j)=T(j)+f;
% fprintf('j=%4d T(j)=%8.3f f=%9.6f T(j+1)=%8.3f T(j-1)=%8.3f aN(j)=%9.6f
aS(j)=%9.6f\n ds(j)=%9.6f bs(j)=%9.6f aP(j)=%9.6f\n',j,T(j),f,T(j+1),T(j-
1),aN(j),aS(j),ds(j),bs(j),aP(j));
%   pause

iftis>666
fprintf('Birinci Kısımtis=%5.1f\t f=%9.5f    T(%3d)=%9.5f\n',tis,f,j,T(j));
end
end
for j=no+1:n-1
if (aP(j)==0.0)
aP(j)=0.0001;
end
f=((aN(j)*T(j+1)+aS(j)*T(j-1)+ds(j))/(1.0*aP(j)))-T(j);
ifabs(f)>ebf
ebf=abs(f);
end
      T(j)=T(j)+f;
end
tis=tis+1;
frk=ebf;
end
%   rt=r0+ro;
%  r=0:0.0001:rdis+0.0002;
% figure
plot(r,T)
xlabel('r');
ylabel('T');
title('Sıcaklık - YarıçapEğrisi');
figure
holdon
```

```
plot(T,kgaz)
xlabel('T');
ylabel('kgaz');
title('Isı iletkenlikatsayısı - SıcaklıkEğrisi');
holdoff
figure
plot(T,mugaz)
xlabel('T');
ylabel('mugaz');
title('Viskozite - SıcaklıkEğrisi');
figure
plot(T,cpkar)
xlabel('T');
ylabel('Cp');
title('Cp - SıcaklıkEğrisi');
figure
plot(T,rokar)
xlabel('T');
ylabel('Yoğunluk');
title('Yoğunluk - SıcaklıkEğrisi');
```

Ek - 3: İterasyon sayısına göre yarıçapa bağlı olarak; sıcaklık,özgül ısı, dinamik viskozite, ısı iletim katsayısı ve yoğunluğun değişimi

İterasyon No	Yarıçap, mm	Radyal yöndeki sıcaklık,K	Özgül Isı, Cp kJ/kgK	Dinamik Viskozite, kg/ms	Isı İletim Katsayısı, k W/mK	Yoğunluk, kg/m^3
1	0.1	303	28062.83529	1.68E-05	0.022992116	0.767381949
2	0.1	303.719586	28062.83529	1.68E-05	0.022992116	0.767381949
3	0.2	304.4392151	28195.84858	1.68E-05	0.02304728	0.765580897
4	0.3	305.1589051	28329.18787	1.68E-05	0.023102414	0.763796565
5	0.4	305.8786737	28462.85653	1.68E-05	0.023157517	0.762028676
6	0.5	306.5985385	28596.85795	1.68E-05	0.023212592	0.760276962
7	0.6	307.3185172	28731.19557	1.69E-05	0.02326764	0.75854116
8	0.7	308.0386275	28865.87285	1.69E-05	0.023322662	0.756821011
9	0.8	308.758887	29000.89326	1.69E-05	0.023377659	0.755116264
10	0.9	309.4793134	29136.26033	1.69E-05	0.023432634	0.753426672
11	1	310.1999243	29271.9776	1.70E-05	0.023487587	0.751751992
12	1.1	310.9207373	29408.04864	1.70E-05	0.023542519	0.750091988
13	1.2	311.6417701	29544.47705	1.70E-05	0.023597432	0.748446428
14	1.3	312.3630402	29681.26647	1.70E-05	0.023652328	0.746815084
15	1.4	313.0845653	29818.42054	1.70E-05	0.023707207	0.745197735
16	1.5	313.8063627	29955.94296	1.71E-05	0.023762072	0.743594163
17	1.6	314.5284503	30093.83744	1.71E-05	0.023816922	0.742004154
18	1.7	315.2508453	30232.10771	1.71E-05	0.02387176	0.740427498
19	1.8	315.9735654	30370.75756	1.71E-05	0.023926587	0.738863992
20	1.9	316.6966281	30509.79078	1.72E-05	0.023981405	0.737313435
21	2	317.4200509	30649.2112	1.72E-05	0.024036214	0.735775629
22	2.1	318.1438512	30789.02266	1.72E-05	0.024091015	0.734250383
23	2.2	318.8680465	30929.22905	1.72E-05	0.024145811	0.732737507
24	2.3	319.5926542	31069.83428	1.72E-05	0.024200603	0.731236815
25	2.4	320.3176917	31210.84228	1.73E-05	0.024255391	0.729748127
26	2.5	321.0431765	31352.25702	1.73E-05	0.024310177	0.728271265
27	2.6	321.7691259	31494.08249	1.73E-05	0.024364962	0.726806054
28	2.7	322.4955573	31636.32271	1.73E-05	0.024419748	0.725352322
29	2.8	323.2224879	31778.98172	1.74E-05	0.024474536	0.723909904
30	2.9	323.9499353	31922.0636	1.74E-05	0.024529327	0.722478633
31	3	324.6779165	32065.57244	1.74E-05	0.024584123	0.721058348
32	3.1	325.406449	32209.51237	1.74E-05	0.024638924	0.719648892
33	3.2	326.1355499	32353.88755	1.74E-05	0.024693732	0.71825011
34	3.3	326.8652365	32498.70215	1.75E-05	0.024748548	0.716861848
35	3.4	327.595526	32643.96038	1.75E-05	0.024803373	0.715483959
36	3.5	328.3264357	32789.66648	1.75E-05	0.024858209	0.714116294

37	3.6	329.0579826	32935.8247	1.75E-05	0.024913057	0.712758712
38	3.7	329.7901839	33082.43934	1.76E-05	0.024967918	0.71141107
39	3.8	330.5230568	33229.5147	1.76E-05	0.025022793	0.710073231
40	3.9	331.2566182	33377.05512	1.76E-05	0.025077684	0.708745058
41	4	331.9908854	33525.06497	1.76E-05	0.025132591	0.707426419
42	4.1	332.7258753	33673.54864	1.76E-05	0.025187516	0.706117183
43	4.2	333.461605	33822.51055	1.77E-05	0.025242461	0.704817222
44	4.3	334.1980913	33971.95515	1.77E-05	0.025297426	0.703526409
45	4.4	334.9353514	34121.88689	1.77E-05	0.025352412	0.702244621
46	4.5	335.6734022	34272.31029	1.77E-05	0.025407421	0.700971737
47	4.6	336.4122604	34423.22985	1.78E-05	0.025462454	0.699707637
48	4.7	337.1519431	34574.65013	1.78E-05	0.025517511	0.698452205
49	4.8	337.8924671	34726.5757	1.78E-05	0.025572596	0.697205326
50	4.9	338.6338492	34879.01116	1.78E-05	0.025627707	0.695966888
51	5	339.3761061	35031.96113	1.78E-05	0.025682847	0.694736779
52	5.1	340.1192547	35185.43027	1.79E-05	0.025738017	0.693514891
53	5.2	340.8633117	35339.42324	1.79E-05	0.025793217	0.692301117
54	5.3	341.6082938	35493.94475	1.79E-05	0.025848449	0.691095352
55	5.4	342.3542177	35648.99952	1.79E-05	0.025903715	0.689897494
56	5.5	343.1010999	35804.59231	1.80E-05	0.025959015	0.688707441
57	5.6	343.8489571	35960.72789	1.80E-05	0.02601435	0.687525094
58	5.7	344.5978059	36117.41106	1.80E-05	0.026069721	0.686350356
59	5.8	345.3476629	36274.64665	1.80E-05	0.026125131	0.68518313
60	5.9	346.0985444	36432.4395	1.81E-05	0.026180579	0.684023324
61	6	346.850467	36590.7945	1.81E-05	0.026236066	0.682870843
62	6.1	347.6034472	36749.71655	1.81E-05	0.026291595	0.681725598
63	6.2	348.3575012	36909.21056	1.81E-05	0.026347165	0.680587499
64	6.3	349.1126456	37069.28149	1.81E-05	0.026402779	0.679456459
65	6.4	349.8688966	37229.93432	1.82E-05	0.026458437	0.67833239
66	6.5	350.6262705	37391.17404	1.82E-05	0.02651414	0.67721521
67	6.6	351.3847836	37553.00567	1.82E-05	0.026569889	0.676104834
68	6.7	352.1444521	37715.43427	1.82E-05	0.026625686	0.675001181
69	6.8	352.9052922	37878.46491	1.83E-05	0.026681531	0.67390417
70	6.9	353.66732	38042.10267	1.83E-05	0.026737426	0.672813723
71	7	354.4305516	38206.35269	1.83E-05	0.026793371	0.671729762
72	7.1	355.1950032	38371.22011	1.83E-05	0.026849367	0.670652211
73	7.2	355.9606907	38536.71009	1.84E-05	0.026905416	0.669580994
74	7.3	356.7276301	38702.82782	1.84E-05	0.026961519	0.668516039
75	7.4	357.4958373	38869.57854	1.84E-05	0.027017677	0.667457272
76	7.5	358.2653284	39036.96746	1.84E-05	0.02707389	0.666404623
77	7.6	359.0361191	39204.99986	1.84E-05	0.027130159	0.665358021
78	7.7	359.8082252	39373.68103	1.85E-05	0.027186487	0.664317398
79	7.8	360.5816626	39543.01628	1.85E-05	0.027242873	0.663282686
80	7.9	361.356447	39713.01093	1.85E-05	0.027299318	0.662253819
81	8	362.132594	39883.67036	1.85E-05	0.027355825	0.66123073
82	8.1	362.9101194	40054.99993	1.86E-05	0.027412393	0.660213357

83	8.2	363.6890388	40227.00506	1.86E-05	0.027469023	0.659201636
84	8.3	364.4693676	40399.69118	1.86E-05	0.027525717	0.658195504
85	8.4	365.2511215	40573.06372	1.86E-05	0.027582475	0.657194901
86	8.5	366.0343159	40747.12818	1.87E-05	0.027639299	0.656199766
87	8.6	366.8189662	40921.89004	1.87E-05	0.027696189	0.655210041
88	8.7	367.6050878	41097.35483	1.87E-05	0.027753147	0.654225667
89	8.8	368.3926961	41273.52809	1.87E-05	0.027810173	0.653246587
90	8.9	369.1818064	41450.41539	1.88E-05	0.027867268	0.652272745
91	9	369.9724338	41628.02231	1.88E-05	0.027924433	0.651304085
92	9.1	370.7645936	41806.35446	1.88E-05	0.027981669	0.650340554
93	9.2	371.5583009	41985.41749	1.88E-05	0.028038977	0.649382098
94	9.3	372.3535708	42165.21704	1.89E-05	0.028096358	0.648428663
95	9.4	373.1504185	42345.7588	1.89E-05	0.028153813	0.647480199
96	9.5	373.9488588	42527.04847	1.89E-05	0.028211342	0.646536655
97	9.6	374.7489067	42709.09177	1.89E-05	0.028268947	0.64559798
98	9.7	375.5505771	42891.89444	1.90E-05	0.028326628	0.644664125
99	9.8	376.3538849	43075.46226	1.90E-05	0.028384386	0.643735042
100	9.9	377.1588448	43259.80102	1.90E-05	0.028442223	0.642810684
101	10	377.9654717	43444.91652	1.90E-05	0.028500138	0.641891002
102	10.1	378.7737801	43630.81461	1.90E-05	0.028558134	0.640975951
103	10.2	379.5837848	43817.50114	1.91E-05	0.02861621	0.640065487
104	10.3	380.3955003	44004.98198	1.91E-05	0.028674367	0.639159563
105	10.4	381.2089411	44193.26304	1.91E-05	0.028732607	0.638258136
106	10.5	382.0241218	44382.35023	1.91E-05	0.028790929	0.637361163
107	10.6	382.8410568	44572.24951	1.92E-05	0.028849336	0.636468601
108	10.7	383.6597603	44762.96682	1.92E-05	0.028907828	0.635580409
109	10.8	384.4802468	44954.50817	1.92E-05	0.028966405	0.634696545
110	10.9	385.3025306	45146.87956	1.92E-05	0.029025068	0.633816969
111	11	386.1266257	45340.087	1.93E-05	0.029083819	0.63294164
112	11.1	386.9525463	45534.13657	1.93E-05	0.029142657	0.63207052
113	11.2	387.7803066	45729.03431	1.93E-05	0.029201584	0.63120357
114	11.3	388.6099206	45924.78634	1.94E-05	0.029260601	0.630340752
115	11.4	389.4414022	46121.39875	1.94E-05	0.029319708	0.629482028
116	11.5	390.2747654	46318.87768	1.94E-05	0.029378906	0.628627361
117	11.6	391.110024	46517.22928	1.94E-05	0.029438195	0.627776716
118	11.7	391.9471919	46716.45973	1.95E-05	0.029497577	0.626930056
119	11.8	392.7862827	46916.57523	1.95E-05	0.029557053	0.626087347
120	11.9	393.6273101	47117.58199	1.95E-05	0.029616622	0.625248554
121	12	394.4702878	47319.48624	1.95E-05	0.029676285	0.624413642
122	12.1	395.3152294	47522.29424	1.96E-05	0.029736045	0.623582579
123	12.2	396.1621482	47726.01226	1.96E-05	0.0297959	0.622755331
124	12.3	397.0110579	47930.64661	1.96E-05	0.029855852	0.621931866
125	12.4	397.8619716	48136.2036	1.96E-05	0.029915901	0.621112151
126	12.5	398.7149028	48342.68956	1.97E-05	0.029976048	0.620296156
127	12.6	399.5698648	48550.11086	1.97E-05	0.030036295	0.61948385
128	12.7	400.4268706	48758.47386	1.97E-05	0.03009664	0.618675201

129	12.8	401.2859334	48967.78497	1.97E-05	0.030157086	0.61787018
130	12.9	402.1470663	49178.05059	1.98E-05	0.030217633	0.617068756
131	13	403.0102823	49389.27716	1.98E-05	0.030278281	0.616270902
132	13.1	403.8755943	49601.47114	1.98E-05	0.030339031	0.615476589
133	13.2	404.7430152	49814.639	1.98E-05	0.030399884	0.614685787
134	13.3	405.6125577	50028.78723	1.99E-05	0.03046084	0.61389847
135	13.4	406.4842347	50243.92234	1.99E-05	0.0305219	0.613114609
136	13.5	407.3580588	50460.05086	1.99E-05	0.030583065	0.612334178
137	13.6	408.2340426	50677.17934	2.00E-05	0.030644335	0.611557151
138	13.7	409.1121986	50895.31434	2.00E-05	0.03070571	0.6107835
139	13.8	409.9925393	51114.46247	2.00E-05	0.030767192	0.610013201
140	13.9	410.8750772	51334.63031	2.00E-05	0.030828781	0.609246228
141	14	411.7598245	51555.82449	2.01E-05	0.030890477	0.608482555
142	14.1	412.6467935	51778.05166	2.01E-05	0.030952282	0.607722159
143	14.2	413.5359964	52001.31847	2.01E-05	0.031014195	0.606965015
144	14.3	414.4274454	52225.6316	2.01E-05	0.031076217	0.606211098
145	14.4	415.3211525	52450.99775	2.02E-05	0.031138349	0.605460386
146	14.5	416.2171296	52677.42362	2.02E-05	0.031200591	0.604712856
147	14.6	417.1153889	52904.91596	2.02E-05	0.031262944	0.603968483
148	14.7	418.015942	53133.48151	2.02E-05	0.031325409	0.603227247
149	14.8	418.9188007	53363.12704	2.03E-05	0.031387985	0.602489124
150	14.9	419.8239768	53593.85932	2.03E-05	0.031450673	0.601754092
151	15	420.731482	53825.68517	2.03E-05	0.031513475	0.601022131
152	15.1	421.6413277	54058.6114	2.04E-05	0.03157639	0.600293219
153	15.2	422.5535254	54292.64484	2.04E-05	0.031639418	0.599567335
154	15.3	423.4680867	54527.79235	2.04E-05	0.031702561	0.598844458
155	15.4	424.3850228	54764.0608	2.04E-05	0.031765819	0.598124569
156	15.5	425.304345	55001.45707	2.05E-05	0.031829192	0.597407646
157	15.6	426.2260646	55239.98807	2.05E-05	0.03189268	0.59669367
158	15.7	427.1501926	55479.6607	2.05E-05	0.031956285	0.595982623
159	15.8	428.0767401	55720.48192	2.06E-05	0.032020007	0.595274483
160	15.9	429.005718	55962.45866	2.06E-05	0.032083845	0.594569234
161	16	429.9371374	56205.5979	2.06E-05	0.032147801	0.593866855
162	16.1	430.8710091	56449.90662	2.06E-05	0.032211875	0.593167329
163	16.2	431.8073437	56695.39182	2.07E-05	0.032276067	0.592470638
164	16.3	432.7461519	56942.06051	2.07E-05	0.032340378	0.591776763
165	16.4	433.6874445	57189.91973	2.07E-05	0.032404808	0.591085687
166	16.5	434.6312318	57438.97651	2.08E-05	0.032469357	0.590397393
167	16.6	435.5775244	57689.23792	2.08E-05	0.032534026	0.589711863
168	16.7	436.5263326	57940.71104	2.08E-05	0.032598816	0.589029081
169	16.8	437.4776667	58193.40295	2.08E-05	0.032663726	0.588349029
170	16.9	438.431537	58447.32076	2.09E-05	0.032728757	0.587671692
171	17	439.3879536	58702.47159	2.09E-05	0.03279391	0.586997054
172	17.1	440.3469266	58958.86258	2.09E-05	0.032859184	0.586325097
173	17.2	441.3084659	59216.50087	2.10E-05	0.03292458	0.585655808
174	17.3	442.2725815	59475.39364	2.10E-05	0.032990099	0.584989169

175	17.4	443.2392831	59735.54805	2.10E-05	0.03305574	0.584325165
176	17.5	444.2085807	59996.97129	2.10E-05	0.033121504	0.583663782
177	17.6	445.1804837	60259.67059	2.11E-05	0.033187392	0.583005005
178	17.7	446.1550019	60523.65314	2.11E-05	0.033253403	0.582348818
179	17.8	447.1321446	60788.9262	2.11E-05	0.033319538	0.581695207
180	17.9	448.1119215	61055.49699	2.12E-05	0.033385798	0.581044159
181	18	449.0943418	61323.37279	2.12E-05	0.033452181	0.580395658
182	18.1	450.0794148	61592.56087	2.12E-05	0.03351869	0.57974969
183	18.2	451.0671497	61863.0685	2.13E-05	0.033585324	0.579106243
184	18.3	452.0575556	62134.90299	2.13E-05	0.033652082	0.578465301
185	18.4	453.0506415	62408.07165	2.13E-05	0.033718967	0.577826853
186	18.5	454.0464164	62682.58181	2.14E-05	0.033785977	0.577190884
187	18.6	455.0448892	62958.44078	2.14E-05	0.033853113	0.576557381
188	18.7	456.0460685	63235.65593	2.14E-05	0.033920376	0.575926332
189	18.8	457.0499633	63514.23461	2.14E-05	0.033987765	0.575297724
190	18.9	458.056582	63794.18419	2.15E-05	0.03405528	0.574671544
191	19	459.0659331	64075.51204	2.15E-05	0.034122923	0.574047779
192	19.1	460.0780252	64358.22556	2.15E-05	0.034190692	0.573426418
193	19.2	461.0928665	64642.33215	2.16E-05	0.034258589	0.572807447
194	19.3	462.1104654	64927.83922	2.16E-05	0.034326613	0.572190856
195	19.4	463.1308301	65214.75419	2.16E-05	0.034394765	0.571576633
196	19.5	464.1539686	65503.08449	2.17E-05	0.034463045	0.570964765
197	19.6	465.1798889	65792.83756	2.17E-05	0.034531453	0.570355241
198	19.7	466.208599	66084.02085	2.17E-05	0.034599989	0.569748049
199	19.8	467.2401067	66376.64182	2.18E-05	0.034668653	0.569143179
200	19.9	468.2744197	66670.70793	2.18E-05	0.034737446	0.56854062
201	20	469.3115458	66966.22666	2.18E-05	0.034806367	0.567940359
202	20.1	470.3514924	67263.20549	2.18E-05	0.034875417	0.567342387
203	20.2	471.3942671	67561.65192	2.19E-05	0.034944596	0.566746692
204	20.3	472.4398773	67861.57344	2.19E-05	0.035013904	0.566153264
205	20.4	473.4883302	68162.97757	2.19E-05	0.03508334	0.565562093
206	20.5	474.5396331	68465.87182	2.20E-05	0.035152906	0.564973167
207	20.6	475.5937932	68770.26372	2.20E-05	0.035222601	0.564386478
208	20.7	476.6508174	69076.16081	2.20E-05	0.035292426	0.563802014
209	20.8	477.7107129	69383.57063	2.21E-05	0.03536238	0.563219765
210	20.9	478.7734864	69692.50074	2.21E-05	0.035432463	0.562639722
211	21	479.8391448	70002.95871	2.21E-05	0.035502676	0.562061874
212	21.1	480.9076948	70314.95211	2.22E-05	0.035573018	0.561486213
213	21.2	481.9791432	70628.48853	2.22E-05	0.03564349	0.560912728
214	21.3	483.0534965	70943.57557	2.22E-05	0.035714092	0.560341409
215	21.4	484.1307613	71260.22085	2.23E-05	0.035784824	0.559772248
216	21.5	485.2109439	71578.43199	2.23E-05	0.035855685	0.559205235
217	21.6	486.294051	71898.21663	2.23E-05	0.035926676	0.55864036
218	21.7	487.3800887	72219.58242	2.24E-05	0.035997797	0.558077615
219	21.8	488.4690633	72542.53704	2.24E-05	0.036069048	0.55751699
220	21.9	489.5609812	72867.08816	2.24E-05	0.036140429	0.556958476

221	22	490.6558484	73193.2435	2.25E-05	0.036211939	0.556402064
222	22.1	491.7536712	73521.01076	2.25E-05	0.03628358	0.555847746
223	22.2	492.8544555	73850.39769	2.25E-05	0.036355351	0.555295512
224	22.3	493.9582074	74181.41204	2.26E-05	0.036427251	0.554745354
225	22.4	495.064933	74514.06157	2.26E-05	0.036499281	0.554197263
226	22.5	496.174638	74848.35408	2.26E-05	0.036571442	0.55365123
227	22.6	497.2873284	75184.29738	2.27E-05	0.036643732	0.553107247
228	22.7	498.4030101	75521.89929	2.27E-05	0.036716152	0.552565305
229	22.8	499.5216889	75861.16766	2.27E-05	0.036788702	0.552025396
230	22.9	500.6433705	76202.11036	2.28E-05	0.036861382	0.551487512
231	23	501.7683279	76544.81679	2.28E-05	0.036934208	0.550951517
232	23.1	502.8965675	76889.29562	2.28E-05	0.037007183	0.550417405
233	23.2	504.0280956	77235.55552	2.29E-05	0.037080304	0.549885169
234	23.3	505.1629184	77583.6052	2.29E-05	0.037153572	0.549354805
235	23.4	506.3010421	77933.45337	2.29E-05	0.037226987	0.548826305
236	23.5	507.4424728	78285.10878	2.30E-05	0.037300549	0.548299665
237	23.6	508.5872166	78638.58017	2.30E-05	0.037374258	0.547774877
238	23.7	509.7352795	78993.87634	2.31E-05	0.037448114	0.547251935
239	23.8	510.8866675	79351.00606	2.31E-05	0.037522116	0.546730835
240	23.9	512.0413863	79709.97815	2.31E-05	0.037596266	0.546211571
241	24	513.1994419	80070.80144	2.32E-05	0.037670562	0.545694135
242	24.1	514.3608399	80433.48476	2.32E-05	0.037745004	0.545178523
243	24.2	515.525586	80798.03698	2.32E-05	0.037819593	0.544664729
244	24.3	516.6936859	81164.46695	2.33E-05	0.037894329	0.544152747
245	24.4	517.865145	81532.78356	2.33E-05	0.03796921	0.543642571
246	24.5	519.0399688	81902.99571	2.33E-05	0.038044238	0.543134196
247	24.6	520.2181626	82275.11229	2.34E-05	0.038119413	0.542627617
248	24.7	521.3997318	82649.14223	2.34E-05	0.038194733	0.542122827
249	24.8	522.5846815	83025.09444	2.34E-05	0.038270199	0.541619821
250	24.9	523.7730168	83402.97785	2.35E-05	0.03834581	0.541118594
251	25	524.9647428	83782.80142	2.35E-05	0.038421568	0.54061914
252	25.1	526.1598644	84164.57408	2.36E-05	0.038497471	0.540121454
253	25.2	527.3583865	84548.30479	2.36E-05	0.038573519	0.53962553
254	25.3	528.5603138	84934.00252	2.36E-05	0.038649712	0.539131363
255	25.4	529.765651	85321.67622	2.37E-05	0.038726051	0.538638948
256	25.5	530.9744027	85711.33488	2.37E-05	0.038802535	0.53814828
257	25.6	532.1865734	86102.98747	2.37E-05	0.038879163	0.537659353
258	25.7	533.4021674	86496.64297	2.38E-05	0.038955936	0.537172162
259	25.8	534.621189	86892.31036	2.38E-05	0.039032853	0.536686701
260	25.9	535.8436426	87289.99863	2.39E-05	0.039109915	0.536202967
261	26	537.0695321	87689.71678	2.39E-05	0.039187121	0.535720953
262	26.1	538.2988616	88091.4738	2.39E-05	0.03926447	0.535240655
263	26.2	539.531635	88495.27869	2.40E-05	0.039341964	0.534762067
264	26.3	540.7678561	88901.14043	2.40E-05	0.0394196	0.534285185
265	26.4	542.0075287	89309.06805	2.40E-05	0.039497381	0.533810003
266	26.5	543.2506564	89719.07053	2.41E-05	0.039575304	0.533336517

267	26.6	544.4972428	90131.15687	2.41E-05	0.03965337	0.532864721
268	26.7	545.7472912	90545.33609	2.42E-05	0.039731578	0.532394611
269	26.8	547.0008051	90961.61719	2.42E-05	0.039809929	0.531926182
270	26.9	548.2577877	91380.00917	2.42E-05	0.039888423	0.531459428
271	27	549.5182421	91800.52104	2.43E-05	0.039967058	0.530994346
272	27.1	550.7821714	92223.1618	2.43E-05	0.040045835	0.53053093
273	27.2	552.0495786	92647.94046	2.43E-05	0.040124753	0.530069176
274	27.3	553.3204666	93074.86602	2.44E-05	0.040203812	0.529609078
275	27.4	554.5948381	93503.94749	2.44E-05	0.040283013	0.529150633
276	27.5	555.8726959	93935.19387	2.45E-05	0.040362354	0.528693834
277	27.6	557.1540425	94368.61416	2.45E-05	0.040441835	0.528238679
278	27.7	558.4388804	94804.21735	2.45E-05	0.040521457	0.527785161
279	27.8	559.7272121	95242.01246	2.46E-05	0.040601218	0.527333276
280	27.9	561.0190398	95682.00847	2.46E-05	0.040681119	0.52688302
281	28	562.3143658	96124.21439	2.47E-05	0.040761159	0.526434387
282	28.1	563.6131922	96568.63919	2.47E-05	0.040841338	0.525987374
283	28.2	564.9155211	97015.29187	2.47E-05	0.040921656	0.525541976
284	28.3	566.2213543	97464.18142	2.48E-05	0.041002112	0.525098187
285	28.4	567.5306938	97915.31682	2.48E-05	0.041082706	0.524656004
286	28.5	568.8435412	98368.70704	2.49E-05	0.041163438	0.524215423
287	28.6	570.1598984	98824.36107	2.49E-05	0.041244307	0.523776437
288	28.7	571.4797668	99282.28787	2.49E-05	0.041325313	0.523339044
289	28.8	572.8031479	99742.49642	2.50E-05	0.041406456	0.522903238
290	28.9	574.1300431	100204.9957	2.50E-05	0.041487736	0.522469014
291	29	575.4604538	100669.7946	2.51E-05	0.041569151	0.52203637
292	29.1	576.7943811	101136.9021	2.51E-05	0.041650702	0.521605299
293	29.2	578.1318261	101606.3272	2.51E-05	0.041732389	0.521175797
294	29.3	579.47279	102078.0788	2.52E-05	0.041814211	0.520747861
295	29.4	580.8172736	102552.1658	2.52E-05	0.041896167	0.520321485
296	29.5	582.1652777	103028.5972	2.53E-05	0.041978258	0.519896665
297	29.6	583.5168032	103507.3818	2.53E-05	0.042060483	0.519473397
298	29.7	584.8718507	103988.5287	2.54E-05	0.042142841	0.519051677
299	29.8	586.2304208	104472.0467	2.54E-05	0.042225333	0.518631499
300	29.9	587.5925139	104957.9447	2.54E-05	0.042307958	0.51821286
301	30	588.9581305	105446.2316	2.55E-05	0.042390715	0.517795755
302	30.1	590.3272709	105936.9163	2.55E-05	0.042473604	0.51738018
303	30.2	591.6999353	106430.0077	2.56E-05	0.042556625	0.51696613
304	30.3	593.0761239	106925.5146	2.56E-05	0.042639777	0.516553601
305	30.4	594.4558366	107423.4459	2.56E-05	0.042723061	0.516142589
306	30.5	595.8390735	107923.8104	2.57E-05	0.042806475	0.51573309
307	30.6	597.2258344	108426.6171	2.57E-05	0.042890019	0.515325098
308	30.7	598.6161191	108931.8746	2.58E-05	0.042973693	0.51491861
309	30.8	600.0099273	109439.5919	2.58E-05	0.043057496	0.514513622
310	30.9	601.4072586	109949.7777	2.59E-05	0.043141429	0.514110129
311	31	602.8081125	110462.4409	2.59E-05	0.04322549	0.513708127
312	31.1	604.2124884	110977.5902	2.59E-05	0.043309679	0.513307611

313	31.2	605.6203858	111495.2344	2.60E-05	0.043393996	0.512908577
314	31.3	607.0318038	112015.3823	2.60E-05	0.04347844	0.512511022
315	31.4	608.4467416	112538.0427	2.61E-05	0.043563011	0.51211494
316	31.5	609.8651983	113063.2242	2.61E-05	0.043647709	0.511720327
317	31.6	611.287173	113590.9357	2.62E-05	0.043732533	0.51132718
318	31.7	612.7126645	114121.1857	2.62E-05	0.043817482	0.510935493
319	31.8	614.1416717	114653.9831	2.62E-05	0.043902557	0.510545264
320	31.9	615.5741933	115189.3366	2.63E-05	0.043987756	0.510156486
321	32	617.010228	115727.2547	2.63E-05	0.04407308	0.509769157
322	32.1	618.4497744	116267.7462	2.64E-05	0.044158528	0.509383271
323	32.2	619.8928309	116810.8198	2.64E-05	0.0442441	0.508998826
324	32.3	621.3393961	117356.484	2.65E-05	0.044329794	0.508615816
325	32.4	622.7894681	117904.7475	2.65E-05	0.044415611	0.508234237
326	32.5	624.2430453	118455.6188	2.66E-05	0.04450155	0.507854084
327	32.6	625.7001259	119009.1067	2.66E-05	0.044587611	0.507475355
328	32.7	627.1607079	119565.2196	2.66E-05	0.044673794	0.507098045
329	32.8	628.6247893	120123.9662	2.67E-05	0.044760097	0.506722148
330	32.9	630.0923681	120685.3549	2.67E-05	0.04484652	0.506347662
331	33	631.5634421	121249.3944	2.68E-05	0.044933064	0.505974582
332	33.1	633.038009	121816.093	2.68E-05	0.045019727	0.505602903
333	33.2	634.5160666	122385.4594	2.69E-05	0.045106509	0.505232622
334	33.3	635.9976125	122957.502	2.69E-05	0.045193409	0.504863735
335	33.4	637.4826441	123532.2292	2.70E-05	0.045280428	0.504496236
336	33.5	638.9711589	124109.6495	2.70E-05	0.045367565	0.504130123
337	33.6	640.4631544	124689.7714	2.70E-05	0.045454818	0.50376539
338	33.7	641.9586277	125272.6033	2.71E-05	0.045542189	0.503402034
339	33.8	643.4575761	125858.1535	2.71E-05	0.045629675	0.503040051
340	33.9	644.9599968	126446.4304	2.72E-05	0.045717278	0.502679435
341	34	646.4658868	127037.4423	2.72E-05	0.045804995	0.502320184
342	34.1	647.9752431	127631.1977	2.73E-05	0.045892828	0.501962293
343	34.2	649.4880625	128227.7049	2.73E-05	0.045980775	0.501605757
344	34.3	651.004342	128826.972	2.74E-05	0.046068836	0.501250574
345	34.4	652.5240782	129429.0075	2.74E-05	0.046157011	0.500896737
346	34.5	654.047268	130033.8196	2.75E-05	0.046245299	0.500544244
347	34.6	655.5739078	130641.4164	2.75E-05	0.046333699	0.50019309
348	34.7	657.1039942	131251.8063	2.76E-05	0.046422211	0.499843271
349	34.8	658.6375237	131864.9975	2.76E-05	0.046510835	0.499494783
350	34.9	660.1744927	132480.998	2.77E-05	0.04659957	0.499147621
351	35	661.7148975	133099.8162	2.77E-05	0.046688416	0.498801782
352	35.1	663.2587343	133721.46	2.77E-05	0.046777372	0.498457261
353	35.2	664.8059994	134345.9377	2.78E-05	0.046866438	0.498114055
354	35.3	666.3566888	134973.2573	2.78E-05	0.046955613	0.497772159
355	35.4	667.9107985	135603.4269	2.79E-05	0.047044897	0.497431568
356	35.5	669.4683246	136236.4546	2.79E-05	0.047134289	0.49709228
357	35.6	671.0292629	136872.3483	2.80E-05	0.047223789	0.496754289
358	35.7	672.5936093	137511.1162	2.80E-05	0.047313396	0.496417592

359	35.8	674.1613596	138152.766	2.81E-05	0.047403111	0.496082184
360	35.9	675.7325093	138797.306	2.81E-05	0.047492932	0.495748062
361	36	677.3070543	139444.7439	2.82E-05	0.047582859	0.495415221
362	36.1	678.8849899	140095.0877	2.82E-05	0.047672891	0.495083657
363	36.2	680.4663118	140748.3453	2.83E-05	0.047763029	0.494753366
364	36.3	682.0510153	141404.5245	2.83E-05	0.047853271	0.494424344
365	36.4	683.6390958	142063.6333	2.84E-05	0.047943617	0.494096587
366	36.5	685.2305487	142725.6793	2.84E-05	0.048034067	0.49377009
367	36.6	686.8253691	143390.6705	2.85E-05	0.04812462	0.49344485
368	36.7	688.4235523	144058.6146	2.85E-05	0.048215276	0.493120862
369	36.8	690.0250933	144729.5193	2.86E-05	0.048306034	0.492798123
370	36.9	691.6299873	145403.3924	2.86E-05	0.048396894	0.492476628
371	37	693.2382291	146080.2416	2.87E-05	0.048487856	0.492156373
372	37.1	694.8498138	146760.0745	2.87E-05	0.048578918	0.491837354
373	37.2	696.4647362	147442.8988	2.88E-05	0.048670081	0.491519567
374	37.3	698.0829912	148128.7222	2.88E-05	0.048761344	0.491203008
375	37.4	699.7045734	148817.5522	2.89E-05	0.048852706	0.490887673
376	37.5	701.3294775	149509.3964	2.89E-05	0.048944168	0.490573557
377	37.6	702.9576983	150204.2624	2.90E-05	0.049035728	0.490260658
378	37.7	704.5892303	150902.1576	2.90E-05	0.049127386	0.489948969
379	37.8	706.224068	151603.0897	2.91E-05	0.049219142	0.489638489
380	37.9	707.8622059	152307.066	2.91E-05	0.049310996	0.489329211
381	38	709.5036384	153014.094	2.92E-05	0.049402946	0.489021133
382	38.1	711.1483599	153724.1811	2.92E-05	0.049494993	0.488714251
383	38.2	712.7963647	154437.3348	2.93E-05	0.049587136	0.488408559
384	38.3	714.447647	155153.5624	2.93E-05	0.049679374	0.488104055
385	38.4	716.102201	155872.8712	2.94E-05	0.049771707	0.487800734
386	38.5	717.7600209	156595.2686	2.94E-05	0.049864136	0.487498592
387	38.6	719.4211008	157320.7619	2.95E-05	0.049956658	0.487197625
388	38.7	721.0854348	158049.3583	2.95E-05	0.050049274	0.486897829
389	38.8	722.7530167	158781.065	2.96E-05	0.050141984	0.4865992
390	38.9	724.4238407	159515.8893	2.96E-05	0.050234787	0.486301734
391	39	726.0979006	160253.8384	2.97E-05	0.050327682	0.486005427
392	39.1	727.7751902	160994.9194	2.97E-05	0.050420669	0.485710275
393	39.2	729.4557033	161739.1395	2.98E-05	0.050513748	0.485416273
394	39.3	731.1394338	162486.5057	2.98E-05	0.050606919	0.485123419
395	39.4	732.8263753	163237.0252	2.99E-05	0.05070018	0.484831707
396	39.5	734.5165216	163990.7049	2.99E-05	0.050793532	0.484541134
397	39.6	736.2098661	164747.5519	3.00E-05	0.050886974	0.484251695
398	39.7	737.9064026	165507.5733	3.00E-05	0.050980506	0.483963388
399	39.8	739.6061246	166270.776	3.01E-05	0.051074127	0.483676207
400	39.9	741.3090255	167037.1668	3.01E-05	0.051167837	0.483390149
401	40	743.0150989	167806.7528	3.02E-05	0.051261635	0.483105209
402	40.1	744.7243381	168579.5409	3.02E-05	0.051355522	0.482821385
403	40.2	746.4367365	169355.5379	3.03E-05	0.051449496	0.482538671
404	40.3	748.1522875	170134.7505	3.03E-05	0.051543558	0.482257064

405	40.4	749.8709844	170917.1858	3.04E-05	0.051637707	0.48197656
406	40.5	751.5928205	171702.8503	3.04E-05	0.051731942	0.481697154
407	40.6	753.3177889	172491.7509	3.05E-05	0.051826264	0.481418844
408	40.7	755.0458828	173283.8944	3.06E-05	0.051920671	0.481141624
409	40.8	756.7770955	174079.2873	3.06E-05	0.052015164	0.480865491
410	40.9	758.5114201	174877.9365	3.07E-05	0.052109743	0.480590442
411	41	760.2488496	175679.8485	3.07E-05	0.052204406	0.480316471
412	41.1	761.9893771	176485.0299	3.08E-05	0.052299153	0.480043575
413	41.2	763.7329956	177293.4874	3.08E-05	0.052393985	0.479771751
414	41.3	765.4796982	178105.2275	3.09E-05	0.0524889	0.479500994
415	41.4	767.2294778	178920.2567	3.09E-05	0.052583899	0.4792313
416	41.5	768.9823272	179738.5817	3.10E-05	0.05267898	0.478962665
417	41.6	770.7382396	180560.2088	3.10E-05	0.052774145	0.478695086
418	41.7	772.4972076	181385.1445	3.11E-05	0.052869392	0.478428558
419	41.8	774.2592243	182213.3953	3.11E-05	0.052964721	0.478163078
420	41.9	776.0242823	183044.9676	3.12E-05	0.053060132	0.477898642
421	42	777.7923746	183879.8677	3.12E-05	0.053155625	0.477635245
422	42.1	779.5634938	184718.1021	3.13E-05	0.053251198	0.477372884
423	42.2	781.3376328	185559.677	3.14E-05	0.053346853	0.477111555
424	42.3	783.1147842	186404.5988	3.14E-05	0.053442588	0.476851255
425	42.4	784.8949409	187252.8738	3.15E-05	0.053538403	0.476591978
426	42.5	786.6780954	188104.5081	3.15E-05	0.053634298	0.476333722
427	42.6	788.4642404	188959.5081	3.16E-05	0.053730273	0.476076483
428	42.7	790.2533687	189817.88	3.16E-05	0.053826327	0.475820256
429	42.8	792.0454727	190679.6299	3.17E-05	0.053922461	0.475565037
430	42.9	793.8405452	191544.764	3.17E-05	0.054018673	0.475310824
431	43	795.6385788	192413.2884	3.18E-05	0.054114964	0.475057612
432	43.1	797.4395659	193285.2092	3.18E-05	0.054211333	0.474805397
433	43.2	799.2434993	194160.5326	3.19E-05	0.05430778	0.474554175
434	43.3	801.0503714	195039.2646	3.20E-05	0.054404306	0.474303943
435	43.4	802.8601747	195921.4112	3.20E-05	0.054500908	0.474054696
436	43.5	804.6729018	196806.9785	3.21E-05	0.054597588	0.473806432
437	43.6	806.4885453	197695.9724	3.21E-05	0.054694346	0.473559146
438	43.7	808.3070976	198588.399	3.22E-05	0.05479118	0.473312833
439	43.8	810.1285512	199484.2641	3.22E-05	0.05488809	0.473067492
440	43.9	811.9528986	200383.5737	3.23E-05	0.054985077	0.472823117
441	44	813.7801323	201286.3337	3.23E-05	0.055082141	0.472579705
442	44.1	815.6102447	202192.55	3.24E-05	0.05517928	0.472337252
443	44.2	817.4432284	203102.2284	3.25E-05	0.055276495	0.472095755
444	44.3	819.2790757	204015.3749	3.25E-05	0.055373786	0.471855209
445	44.4	821.1177792	204931.9951	3.26E-05	0.055471152	0.471615611
446	44.5	822.9593313	205852.095	3.26E-05	0.055568593	0.471376957
447	44.6	824.8037244	206775.6803	3.27E-05	0.05566611	0.471139243
448	44.7	826.650951	207702.7567	3.27E-05	0.055763701	0.470902466
449	44.8	828.5010036	208633.33	3.28E-05	0.055861367	0.470666622
450	44.9	830.3538745	209567.4059	3.29E-05	0.055959108	0.470431707

451	45	832.2095563	210504.9902	3.29E-05	0.056056923	0.470197717
452	45.1	834.0680415	211446.0884	3.30E-05	0.056154812	0.469964649
453	45.2	835.9293224	212390.7064	3.30E-05	0.056252775	0.469732499
454	45.3	837.7933915	213338.8497	3.31E-05	0.056350812	0.469501263
455	45.4	839.6602413	214290.5239	3.31E-05	0.056448923	0.469270938
456	45.5	841.5298643	215245.7347	3.32E-05	0.056547108	0.46904152
457	45.6	843.4022529	216204.4877	3.33E-05	0.056645367	0.468813005
458	45.7	845.2773997	217166.7884	3.33E-05	0.056743698	0.46858539
459	45.8	847.1552971	218132.6425	3.34E-05	0.056842104	0.468358671
460	45.9	849.0359377	219102.0554	3.34E-05	0.056940582	0.468132843
461	46	850.9193139	220075.0328	3.35E-05	0.057039134	0.467907905
462	46.1	852.8054184	221051.5801	3.35E-05	0.057137759	0.467683851
463	46.2	854.6942437	222031.7029	3.36E-05	0.057236457	0.467460679
464	46.3	856.5857822	223015.4066	3.37E-05	0.057335227	0.467238384
465	46.4	858.4800267	224002.6967	3.37E-05	0.057434071	0.467016964
466	46.5	860.3769696	224993.5788	3.38E-05	0.057532988	0.466796414
467	46.6	862.2766037	225988.0582	3.38E-05	0.057631977	0.46657673
468	46.7	864.1789215	226986.1405	3.39E-05	0.057731039	0.46635791
469	46.8	866.0839156	227987.831	3.39E-05	0.057830174	0.46613995
470	46.9	867.9915788	228993.1352	3.40E-05	0.057929381	0.465922846
471	47	869.9019038	230002.0585	3.41E-05	0.058028661	0.465706594
472	47.1	871.8148832	231014.6063	3.41E-05	0.058128014	0.465491191
473	47.2	873.7305098	232030.784	3.42E-05	0.058227439	0.465276634
474	47.3	875.6487764	233050.597	3.42E-05	0.058326937	0.465062918
475	47.4	877.5696756	234074.0507	3.43E-05	0.058426507	0.464850041
476	47.5	879.4932005	235101.1505	3.44E-05	0.05852615	0.464637999
477	47.6	881.4193437	236131.9017	3.44E-05	0.058625866	0.464426787
478	47.7	883.3480982	237166.3098	3.45E-05	0.058725654	0.464216404
479	47.8	885.2794568	238204.38	3.45E-05	0.058825516	0.464006844
480	47.9	887.2134125	239246.1177	3.46E-05	0.05892545	0.463798106
481	48	889.1499583	240291.5283	3.47E-05	0.059025456	0.463590184
482	48.1	891.0850568	241338.4344	3.47E-05	0.059125328	0.463383506
483	48.2	893.0186943	242386.8233	3.48E-05	0.059225064	0.463178061
484	48.3	894.9508566	243436.6822	3.48E-05	0.059324666	0.46297384
485	48.4	896.8815298	244487.9983	3.49E-05	0.059424133	0.462770834
486	48.5	898.8106997	245540.7586	3.49E-05	0.059523465	0.462569034
487	48.6	900.7383522	246594.9501	3.50E-05	0.059622662	0.462368431
488	48.7	902.6644729	247650.5597	3.51E-05	0.059721725	0.462169015
489	48.8	904.5890477	248707.5741	3.51E-05	0.059820653	0.461970779
490	48.9	906.5120622	249765.9799	3.52E-05	0.059919446	0.461773712
491	49	908.433502	250825.7638	3.52E-05	0.060018105	0.461577807
492	49.1	910.3533525	251886.9121	3.53E-05	0.060116629	0.461383055
493	49.2	912.2715993	252949.4114	3.54E-05	0.060215019	0.461189447
494	49.3	914.1882279	254013.248	3.54E-05	0.060313274	0.460996976
495	49.4	916.1032235	255078.4079	3.55E-05	0.060411395	0.460805632
496	49.5	918.0165715	256144.8773	3.55E-05	0.060509382	0.460615407

497	49.6	919.9282572	257212.6422	3.56E-05	0.060607234	0.460426294
498	49.7	921.8382658	258281.6887	3.57E-05	0.060704952	0.460238284
499	49.8	923.7465825	259352.0024	3.57E-05	0.060802535	0.460051369
500	49.9	925.6531925	260423.5691	3.58E-05	0.060899984	0.459865542
501	50	927.5580807	261496.3746	3.58E-05	0.060997298	0.459680795
502	50.1	929.4612322	262570.4043	3.59E-05	0.061094478	0.459497119
503	50.2	931.3626321	263645.6438	3.59E-05	0.061191524	0.459314508
504	50.3	933.2622653	264722.0784	3.60E-05	0.061288435	0.459132953
505	50.4	935.1601167	265799.6935	3.61E-05	0.061385212	0.458952448
506	50.5	937.0561712	266878.4742	3.61E-05	0.061481855	0.458772985
507	50.6	938.9504136	267958.4058	3.62E-05	0.061578362	0.458594556
508	50.7	940.8428287	269039.4732	3.62E-05	0.061674736	0.458417154
509	50.8	942.7334013	270121.6614	3.63E-05	0.061770974	0.458240773
510	50.9	944.6221161	271204.9554	3.63E-05	0.061867079	0.458065404
511	51	946.5089578	272289.3398	3.64E-05	0.061963048	0.457891041
512	51.1	948.393911	273374.7994	3.65E-05	0.062058883	0.457717678
513	51.2	950.2769605	274461.3188	3.65E-05	0.062154583	0.457545306
514	51.3	952.1580907	275548.8827	3.66E-05	0.062250148	0.45737392
515	51.4	954.0372862	276637.4754	3.66E-05	0.062345578	0.457203512
516	51.5	955.9145317	277727.0813	3.67E-05	0.062440873	0.457034076
517	51.6	957.7898115	278817.6848	3.68E-05	0.062536033	0.456865605
518	51.7	959.6631102	279909.27	3.68E-05	0.062631058	0.456698093
519	51.8	961.5344122	281001.8212	3.69E-05	0.062725948	0.456531533
520	51.9	963.403702	282095.3223	3.69E-05	0.062820703	0.456365918
521	52	965.2709639	283189.7575	3.70E-05	0.062915322	0.456201243
522	52.1	967.1361824	284285.1105	3.70E-05	0.063009806	0.456037501
523	52.2	968.9993419	285381.3653	3.71E-05	0.063104154	0.455874685
524	52.3	970.8604265	286478.5056	3.72E-05	0.063198367	0.45571279
525	52.4	972.7194208	287576.5151	3.72E-05	0.063292443	0.45555181
526	52.5	974.576309	288675.3775	3.73E-05	0.063386384	0.455391737
527	52.6	976.4310753	289775.0762	3.73E-05	0.063480189	0.455232567
528	52.7	978.2837041	290875.5947	3.74E-05	0.063573858	0.455074294
529	52.8	980.1341796	291976.9165	3.74E-05	0.063667391	0.454916911
530	52.9	981.9824861	293079.0249	3.75E-05	0.063760787	0.454760412
531	53	983.8286078	294181.9031	3.75E-05	0.063854047	0.454604792
532	53.1	985.6725289	295285.5343	3.76E-05	0.06394717	0.454450046
533	53.2	987.5142336	296389.9017	3.77E-05	0.064040157	0.454296167
534	53.3	989.3537061	297494.9883	3.77E-05	0.064133007	0.454143149
535	53.4	991.1909307	298600.7771	3.78E-05	0.064225719	0.453990988
536	53.5	993.0258914	299707.251	3.78E-05	0.064318295	0.453839677
537	53.6	994.8585725	300814.3929	3.79E-05	0.064410733	0.453689212
538	53.7	996.6889582	301922.1856	3.79E-05	0.064503034	0.453539586
539	53.8	998.5170325	303030.6118	3.80E-05	0.064595197	0.453390795
540	53.9	1000.34278	304139.6541	3.81E-05	0.064687222	0.453242833
541	54	1002.166184	305249.2952	3.81E-05	0.064779109	0.453095695
542	54.1	1003.987229	306359.5176	3.82E-05	0.064870859	0.452949375

543	54.2	1005.8059	307470.3038	3.82E-05	0.064962469	0.452803869
544	54.3	1007.622181	308581.6363	3.83E-05	0.065053942	0.452659171
545	54.4	1009.436054	309693.4973	3.83E-05	0.065145276	0.452515276
546	54.5	1011.247506	310805.8692	3.84E-05	0.065236471	0.452372179
547	54.6	1013.05652	311918.7342	3.84E-05	0.065327527	0.452229875
548	54.7	1014.86308	313032.0746	3.85E-05	0.065418443	0.452088359
549	54.8	1016.66717	314145.8724	3.86E-05	0.065509221	0.451947627
550	54.9	1018.468775	315260.1098	3.86E-05	0.065599858	0.451807673
551	55	1020.267878	316374.7688	3.87E-05	0.065690356	0.451668493
552	55.1	1022.064464	317489.8313	3.87E-05	0.065780714	0.451530081
553	55.2	1023.858518	318605.2793	3.88E-05	0.065870932	0.451392434
554	55.3	1025.650022	319721.0947	3.88E-05	0.065961009	0.451255545
555	55.4	1027.438963	320837.2592	3.89E-05	0.066050945	0.451119412
556	55.5	1029.225323	321953.7547	3.89E-05	0.066140741	0.450984029
557	55.6	1031.009087	323070.5629	3.90E-05	0.066230395	0.450849391
558	55.7	1032.790239	324187.6655	3.90E-05	0.066319909	0.450715494
559	55.8	1034.568764	325305.044	3.91E-05	0.06640928	0.450582333
560	55.9	1036.344645	326422.6801	3.92E-05	0.06649851	0.450449905
561	56	1038.117868	327540.5553	3.92E-05	0.066587598	0.450318204
562	56.1	1039.888417	328658.6512	3.93E-05	0.066676543	0.450187226
563	56.2	1041.656275	329776.9491	3.93E-05	0.066765346	0.450056967
564	56.3	1043.421427	330895.4306	3.94E-05	0.066854006	0.449927423
565	56.4	1045.183858	332014.0769	3.94E-05	0.066942523	0.449798589
566	56.5	1046.943552	333132.8694	3.95E-05	0.067030897	0.449670461
567	56.6	1048.700494	334251.7894	3.95E-05	0.067119127	0.449543035
568	56.7	1050.454667	335370.8181	3.96E-05	0.067207214	0.449416307
569	56.8	1052.206057	336489.9369	3.96E-05	0.067295156	0.449290272
570	56.9	1053.954648	337609.1268	3.97E-05	0.067382954	0.449164927
571	57	1055.700424	338728.369	3.97E-05	0.067470608	0.449040267
572	57.1	1057.44337	339847.6446	3.98E-05	0.067558116	0.448916288
573	57.2	1059.183471	340966.9347	3.99E-05	0.06764548	0.448792987
574	57.3	1060.92071	342086.2204	3.99E-05	0.067732698	0.448670359
575	57.4	1062.655074	343205.4827	4.00E-05	0.06781977	0.448548401
576	57.5	1064.386546	344324.7026	4.00E-05	0.067906696	0.448427108
577	57.6	1066.115111	345443.861	4.01E-05	0.067993476	0.448306477
578	57.7	1067.840755	346562.9388	4.01E-05	0.068080109	0.448186504
579	57.8	1069.563461	347681.917	4.02E-05	0.068166595	0.448067185
580	57.9	1071.283214	348800.7765	4.02E-05	0.068252934	0.447948516
581	58	1073	348147.553	4.02E-05	0.068202544	0.448017721
582	58.1	1070.279484	348147.553	4.02E-05	0.068202544	0.448017721
583	58.2	1067.563681	346383.1644	4.01E-05	0.068066201	0.448205733
584	58.3	1064.852594	344626.31	4.00E-05	0.067930096	0.448394534
585	58.4	1062.146223	342876.9673	3.99E-05	0.067794228	0.448584128
586	58.5	1059.44457	341135.114	3.99E-05	0.067658594	0.448774519
587	58.6	1056.747637	339400.7278	3.98E-05	0.067523192	0.44896571
588	58.7	1054.055424	337673.7864	3.97E-05	0.067388022	0.449157706

589	58.8	1051.367934	335954.2678	3.96E-05	0.067253081	0.449350512
590	58.9	1048.685168	334242.1496	3.95E-05	0.067118368	0.44954413
591	59	1046.007127	332537.4097	3.94E-05	0.066983881	0.449738566
592	59.1	1043.333813	330840.0261	3.94E-05	0.066849618	0.449933823
593	59.2	1040.665228	329149.9766	3.93E-05	0.066715578	0.450129906
594	59.3	1038.001373	327467.2393	3.92E-05	0.06658176	0.450326819
595	59.4	1035.34225	325791.7921	3.91E-05	0.066448161	0.450524565
596	59.5	1032.687859	324123.613	3.90E-05	0.06631478	0.45072315
597	59.6	1030.038204	322462.6802	3.90E-05	0.066181617	0.450922578
598	59.7	1027.393285	320808.9718	3.89E-05	0.066048668	0.451122852
599	59.8	1024.753103	319162.4658	3.88E-05	0.065915933	0.451323978
600	59.9	1022.117661	317523.1404	3.87E-05	0.065783411	0.451525959
601	60	1019.48696	315890.9738	3.86E-05	0.065651099	0.4517288
602	60.1	1016.861001	314265.9442	3.86E-05	0.065518996	0.451932505
603	60.2	1014.239787	312648.0299	3.85E-05	0.065387102	0.452137079
604	60.3	1011.623318	311037.2092	3.84E-05	0.065255414	0.452342527
605	60.4	1009.011596	309433.4602	3.83E-05	0.065123931	0.452548851
606	60.5	1006.404622	307836.7614	3.82E-05	0.064992652	0.452756058
607	60.6	1003.802399	306247.0911	3.82E-05	0.064861576	0.452964152
608	60.7	1001.204927	304664.4277	3.81E-05	0.064730701	0.453173136
609	60.8	998.6122088	303088.7496	3.80E-05	0.064600025	0.453383016
610	60.9	996.0242446	301520.0351	3.79E-05	0.064469549	0.453593797
611	61	993.4410365	299958.2627	3.78E-05	0.064339269	0.453805482
612	61.1	990.8625857	298403.4109	3.78E-05	0.064209186	0.454018077
613	61.2	988.2888938	296855.4582	3.77E-05	0.064079297	0.454231586
614	61.3	985.7199621	295314.3831	3.76E-05	0.063949602	0.454446014
615	61.4	983.155792	293780.1641	3.75E-05	0.063820099	0.454661365
616	61.5	980.5963848	292252.7797	3.74E-05	0.063690787	0.454877645
617	61.6	978.041742	290732.2086	3.74E-05	0.063561666	0.455094858
618	61.7	975.4918647	289218.4292	3.73E-05	0.063432733	0.455313009
619	61.8	972.9467543	287711.4203	3.72E-05	0.063303988	0.455532102
620	61.9	970.4064121	286211.1604	3.71E-05	0.063175429	0.455752143
621	62	967.8708392	284717.6282	3.71E-05	0.063047055	0.455973137
622	62.1	965.3400369	283230.8024	3.70E-05	0.062918866	0.456195088
623	62.2	962.8140064	281750.6615	3.69E-05	0.06279086	0.456418001
624	62.3	960.2927489	280277.1844	3.68E-05	0.062663037	0.456641882
625	62.4	957.7762653	278810.3497	3.68E-05	0.062535394	0.456866734
626	62.5	955.2645569	277350.1361	3.67E-05	0.062407931	0.457092565
627	62.6	952.7576246	275896.5224	3.66E-05	0.062280647	0.457319377
628	62.7	950.2554696	274449.4874	3.65E-05	0.062153542	0.457547177
629	62.8	947.7580927	273009.0098	3.64E-05	0.062026613	0.457775969
630	62.9	945.265495	271575.0684	3.64E-05	0.06189986	0.45800576
631	63	942.7776773	270147.6421	3.63E-05	0.061773282	0.458236553
632	63.1	940.2946405	268726.7095	3.62E-05	0.061646878	0.458468354
633	63.2	937.8163855	267312.2497	3.61E-05	0.061520647	0.458701168
634	63.3	935.342913	265904.2413	3.61E-05	0.061394589	0.458935002

635	63.4	932.8742239	264502.6634	3.60E-05	0.061268701	0.459169859
636	63.5	930.4103187	263107.4947	3.59E-05	0.061142984	0.459405745
637	63.6	927.9511983	261718.7141	3.58E-05	0.061017436	0.459642666
638	63.7	925.4968632	260336.3006	3.58E-05	0.060892057	0.459880627
639	63.8	923.047314	258960.233	3.57E-05	0.060766845	0.460119634
640	63.9	920.6025513	257590.4903	3.56E-05	0.0606418	0.460359691
641	64	918.1625755	256227.0515	3.55E-05	0.060516921	0.460600805
642	64.1	915.727387	254869.8954	3.55E-05	0.060392207	0.460842982
643	64.2	913.2969864	253519.0011	3.54E-05	0.060267658	0.461086225
644	64.3	910.8713739	252174.3474	3.53E-05	0.060143272	0.461330542
645	64.4	908.4505498	250835.9135	3.52E-05	0.060019048	0.461575938
646	64.5	906.0345144	249503.6783	3.52E-05	0.059894987	0.461822418
647	64.6	903.6232679	248177.6208	3.51E-05	0.059771087	0.462069989
648	64.7	901.2168104	246857.7201	3.50E-05	0.059647347	0.462318655
649	64.8	898.8151421	245543.9552	3.49E-05	0.059523766	0.462568424
650	64.9	896.4182628	244236.3051	3.49E-05	0.059400345	0.4628193
651	65	894.0261727	242934.7489	3.48E-05	0.059277081	0.463071289
652	65.1	891.6388717	241639.2656	3.47E-05	0.059153975	0.463324399
653	65.2	889.2563596	240349.8345	3.47E-05	0.059031026	0.463578633
654	65.3	886.8786363	239066.4344	3.46E-05	0.058908232	0.463833999
655	65.4	884.5057014	237789.0447	3.45E-05	0.058785594	0.464090502
656	65.5	882.1375548	236517.6443	3.44E-05	0.058663111	0.464348149
657	65.6	879.7741959	235252.2124	3.44E-05	0.058540782	0.464606946
658	65.7	877.4156245	233992.7283	3.43E-05	0.058418606	0.464866898
659	65.8	875.06184	232739.1709	3.42E-05	0.058296582	0.465128012
660	65.9	872.712842	231491.5195	3.42E-05	0.058174711	0.465390295
661	66	870.3686296	230249.7532	3.41E-05	0.058052991	0.465653751
662	66.1	868.0292024	229013.8514	3.40E-05	0.057931422	0.465918389
663	66.2	865.6945596	227783.793	3.39E-05	0.057810004	0.466184214
664	66.3	863.3647003	226559.5575	3.39E-05	0.057688734	0.466451233
665	66.4	861.0396237	225341.1239	3.38E-05	0.057567614	0.466719451
666	66.5	858.7193289	224128.4716	3.37E-05	0.057446643	0.466988876
667	66.6	856.4038149	222921.5798	3.37E-05	0.057325819	0.467259514
668	66.7	854.0930806	221720.4277	3.36E-05	0.057205143	0.467531372
669	66.8	851.7871249	220524.9947	3.35E-05	0.057084613	0.467804456
670	66.9	849.4859465	219335.26	3.34E-05	0.05696423	0.468078774
671	67	847.1895443	218151.2029	3.34E-05	0.056843992	0.468354331
672	67.1	844.8979168	216972.8027	3.33E-05	0.056723899	0.468631134
673	67.2	842.6110627	215800.0388	3.32E-05	0.056603952	0.468909191
674	67.3	840.3289805	214632.8905	3.32E-05	0.056484148	0.469188508
675	67.4	838.0516686	213471.3372	3.31E-05	0.056364488	0.469469093
676	67.5	835.7791254	212315.3582	3.30E-05	0.056244972	0.469750951
677	67.6	833.5113492	211164.9329	3.30E-05	0.056125598	0.470034091
678	67.7	831.2483382	210020.0407	3.29E-05	0.056006366	0.470318519
679	67.8	828.9900906	208880.661	3.28E-05	0.055887276	0.470604243
680	67.9	826.7366045	207746.7733	3.27E-05	0.055768327	0.470891269

681	68	824.4878779	206618.3569	3.27E-05	0.055649519	0.471179605
682	68.1	822.2439086	205495.3914	3.26E-05	0.055530852	0.471469259
683	68.2	820.0046947	204377.8561	3.25E-05	0.055412325	0.471760237
684	68.3	817.7702337	203265.7306	3.25E-05	0.055293937	0.472052547
685	68.4	815.5405235	202158.9944	3.24E-05	0.055175688	0.472346196
686	68.5	813.3155616	201057.627	3.23E-05	0.055057578	0.472641193
687	68.6	811.0953456	199961.6078	3.23E-05	0.054939607	0.472937543
688	68.7	808.879873	198870.9166	3.22E-05	0.054821773	0.473235257
689	68.8	806.6691412	197785.5327	3.21E-05	0.054704077	0.47353434
690	68.9	804.4631474	196705.4358	3.21E-05	0.054586518	0.473834801
691	69	802.2618889	195630.6054	3.20E-05	0.054469095	0.474136647
692	69.1	800.0653628	194561.0213	3.19E-05	0.054351809	0.474439887
693	69.2	797.8735662	193496.6629	3.19E-05	0.054234659	0.474744528
694	69.3	795.6864961	192437.51	3.18E-05	0.054117645	0.475050578
695	69.4	793.5041494	191383.5422	3.17E-05	0.054000766	0.475358047
696	69.5	791.3265229	190334.7392	3.17E-05	0.053884022	0.47566694
697	69.6	789.1536133	189291.0807	3.16E-05	0.053767412	0.475977268
698	69.7	786.9854174	188252.5463	3.15E-05	0.053650937	0.476289037
699	69.8	784.8219316	187219.1159	3.15E-05	0.053534595	0.476602257
700	69.9	782.6631524	186190.7691	3.14E-05	0.053418388	0.476916936
701	70	780.5090764	185167.4858	3.13E-05	0.053302313	0.477233083
702	70.1	778.3596997	184149.2457	3.13E-05	0.053186371	0.477550705
703	70.2	776.2150186	183136.0286	3.12E-05	0.053070562	0.477869812
704	70.3	774.0750294	182127.8144	3.11E-05	0.052954885	0.478190412
705	70.4	771.9397279	181124.5829	3.11E-05	0.05283934	0.478512514
706	70.5	769.8091103	180126.3139	3.10E-05	0.052723927	0.478836127
707	70.6	767.6831724	179132.9875	3.09E-05	0.052608645	0.47916126
708	70.7	765.56191	178144.5834	3.09E-05	0.052493494	0.479487921
709	70.8	763.4453188	177161.0816	3.08E-05	0.052378474	0.479816121
710	70.9	761.3333945	176182.4621	3.07E-05	0.052263584	0.480145867
711	71	759.2261326	175208.7048	3.07E-05	0.052148825	0.48047717
712	71.1	757.1235287	174239.7898	3.06E-05	0.052034196	0.480810038
713	71.2	755.0255779	173275.6969	3.06E-05	0.051919696	0.481144481
714	71.3	752.9322757	172316.4064	3.05E-05	0.051805326	0.481480509
715	71.4	750.8436172	171361.8983	3.04E-05	0.051691084	0.481818131
716	71.5	748.7595976	170412.1526	3.04E-05	0.051576972	0.482157356
717	71.6	746.6802118	169467.1494	3.03E-05	0.051462988	0.482498195
718	71.7	744.6054548	168526.869	3.02E-05	0.051349132	0.482840657
719	71.8	742.5353215	167591.2914	3.02E-05	0.051235405	0.483184752
720	71.9	740.4698065	166660.3969	3.01E-05	0.051121805	0.483530491
721	72	738.4089045	165734.1656	3.00E-05	0.051008333	0.483877882
722	72.1	736.3526102	164812.5778	3.00E-05	0.050894988	0.484226937
723	72.2	734.300918	163895.6138	2.99E-05	0.050781771	0.484577665
724	72.3	732.2538222	162983.2538	2.99E-05	0.05066868	0.484930078
725	72.4	730.2113173	162075.4782	2.98E-05	0.050555715	0.485284185
726	72.5	728.1733973	161172.2672	2.97E-05	0.050442877	0.485639997

727	72.6	726.1400565	160273.6014	2.97E-05	0.050330166	0.485997525
728	72.7	724.1112889	159379.461	2.96E-05	0.05021758	0.486356779
729	72.8	722.0870883	158489.8266	2.95E-05	0.050105119	0.486717771
730	72.9	720.0674488	157604.6784	2.95E-05	0.049992784	0.487080511
731	73	718.0523639	156723.9971	2.94E-05	0.049880574	0.48744501
732	73.1	716.0418274	155847.7632	2.94E-05	0.04976849	0.48781128
733	73.2	714.0358329	154975.9571	2.93E-05	0.049656529	0.488179332
734	73.3	712.0343738	154108.5595	2.92E-05	0.049544694	0.488549177
735	73.4	710.0374436	153245.5509	2.92E-05	0.049432982	0.488920827
736	73.5	708.0450355	152386.912	2.91E-05	0.049321395	0.489294293
737	73.6	706.0571428	151532.6235	2.91E-05	0.049209931	0.489669587
738	73.7	704.0737586	150682.666	2.90E-05	0.049098591	0.490046721
739	73.8	702.0948759	149837.0202	2.89E-05	0.048987375	0.490425707
740	73.9	700.1204876	148995.667	2.89E-05	0.048876282	0.490806556
741	74	698.1505867	148158.587	2.88E-05	0.048765311	0.491189282
742	74.1	696.1851659	147325.7612	2.88E-05	0.048654463	0.491573897
743	74.2	694.2242177	146497.1703	2.87E-05	0.048543738	0.491960412
744	74.3	692.2677349	145672.7953	2.86E-05	0.048433135	0.492348841
745	74.4	690.3157099	144852.617	2.86E-05	0.048322654	0.492739196
746	74.5	688.3681351	144036.6164	2.85E-05	0.048212295	0.49313149
747	74.6	686.4250027	143224.7746	2.85E-05	0.048102058	0.493525735
748	74.7	684.4863051	142417.0725	2.84E-05	0.047991942	0.493921946
749	74.8	682.5520343	141613.4911	2.83E-05	0.047881947	0.494320135
750	74.9	680.6221823	140814.0116	2.83E-05	0.047772073	0.494720316
751	75	678.6967411	140018.6152	2.82E-05	0.04766232	0.495122502
752	75.1	676.7757026	139227.2828	2.82E-05	0.047552687	0.495526707
753	75.2	674.8590584	138439.9959	2.81E-05	0.047443175	0.495932944
754	75.3	672.9468003	137656.7355	2.80E-05	0.047333783	0.496341227
755	75.4	671.0389198	136877.4829	2.80E-05	0.04722451	0.496751572
756	75.5	669.1354084	136102.2196	2.79E-05	0.047115358	0.49716399
757	75.6	667.2362575	135330.9267	2.79E-05	0.047006325	0.497578498
758	75.7	665.3414585	134563.5858	2.78E-05	0.046897411	0.49799511
759	75.8	663.4510024	133800.1781	2.78E-05	0.046788615	0.49841384
760	75.9	661.5648805	133040.6853	2.77E-05	0.046679939	0.498834704
761	76	659.6830838	132285.0887	2.76E-05	0.046571381	0.499257715
762	76.1	657.8056031	131533.3699	2.76E-05	0.046462942	0.49968289
763	76.2	655.9324295	130785.5105	2.75E-05	0.04635462	0.500110243
764	76.3	654.0635536	130041.4922	2.75E-05	0.046246417	0.500539791
765	76.4	652.1989661	129301.2965	2.74E-05	0.046138331	0.500971549
766	76.5	650.3386575	128564.9052	2.74E-05	0.046030362	0.501405532
767	76.6	648.4826185	127832.3	2.73E-05	0.045922511	0.501841758
768	76.7	646.6308394	127103.4627	2.72E-05	0.045814776	0.502280241
769	76.8	644.7833105	126378.3751	2.72E-05	0.045707158	0.502720998
770	76.9	642.9400221	125657.0191	2.71E-05	0.045599657	0.503164047
771	77	641.1009642	124939.3766	2.71E-05	0.045492271	0.503609403
772	77.1	639.266127	124225.4296	2.70E-05	0.045385002	0.504057084

773	77.2	637.4355005	123515.16	2.70E-05	0.045277848	0.504507106
774	77.3	635.6090744	122808.5498	2.69E-05	0.045170809	0.504959488
775	77.4	633.7868386	122105.5812	2.68E-05	0.045063886	0.505414246
776	77.5	631.9687829	121406.2363	2.68E-05	0.044957078	0.505871399
777	77.6	630.1548967	120710.4972	2.67E-05	0.044850384	0.506330964
778	77.7	628.3451698	120018.3462	2.67E-05	0.044743805	0.50679296
779	77.8	626.5395914	119329.7655	2.66E-05	0.04463734	0.507257405
780	77.9	624.738151	118644.7374	2.66E-05	0.044530988	0.507724317
781	78	622.9408379	117963.2443	2.65E-05	0.04442475	0.508193715
782	78.1	621.1476412	117285.2686	2.65E-05	0.044318626	0.508665618
783	78.2	619.35855	116610.7927	2.64E-05	0.044212615	0.509140046
784	78.3	617.5735535	115939.799	2.64E-05	0.044106716	0.509617018
785	78.4	615.7926404	115272.2702	2.63E-05	0.04400093	0.510096554
786	78.5	614.0157998	114608.1888	2.62E-05	0.043895256	0.510578674
787	78.6	612.2430202	113947.5375	2.62E-05	0.043789694	0.511063397
788	78.7	610.4742905	113290.2988	2.61E-05	0.043684243	0.511550745
789	78.8	608.7095993	112636.4556	2.61E-05	0.043578904	0.512040737
790	78.9	606.948935	111985.9906	2.60E-05	0.043473676	0.512533396
791	79	605.1922861	111338.8866	2.60E-05	0.043368558	0.513028741
792	79.1	603.4396409	110695.1266	2.59E-05	0.043263551	0.513526796
793	79.2	601.6909879	110054.6933	2.59E-05	0.043158654	0.51402758
794	79.3	599.946315	109417.5699	2.58E-05	0.043053867	0.514531117
795	79.4	598.2056105	108783.7392	2.58E-05	0.042949189	0.515037428
796	79.5	596.4688625	108153.1844	2.57E-05	0.042844621	0.515546536
797	79.6	594.7360588	107525.8887	2.57E-05	0.042740161	0.516058464
798	79.7	593.0071873	106901.835	2.56E-05	0.04263581	0.516573235
799	79.8	591.2822358	106281.0068	2.55E-05	0.042531567	0.517090873
800	79.9	589.5611921	105663.3872	2.55E-05	0.042427432	0.5176114
801	80	587.8440438	105048.9596	2.54E-05	0.042323404	0.518134841
802	80.1	586.1307785	104437.7074	2.54E-05	0.042219484	0.518661221
803	80.2	584.4213836	103829.6139	2.53E-05	0.04211567	0.519190564
804	80.3	582.7158466	103224.6627	2.53E-05	0.042011963	0.519722895
805	80.4	581.0141548	102622.8372	2.52E-05	0.041908361	0.520258239
806	80.5	579.3162955	102024.1212	2.52E-05	0.041804866	0.520796621
807	80.6	577.6222558	101428.4981	2.51E-05	0.041701476	0.521338068
808	80.7	575.9320229	100835.9517	2.51E-05	0.041598191	0.521882606
809	80.8	574.2455837	100246.4658	2.50E-05	0.041495011	0.522430262
810	80.9	572.5629253	99660.02413	2.50E-05	0.041391934	0.522981061
811	81	570.8840346	99076.61053	2.49E-05	0.041288962	0.523535033
812	81.1	569.2088983	98496.20892	2.49E-05	0.041186093	0.524092204
813	81.2	567.5375032	97918.80327	2.48E-05	0.041083328	0.524652602
814	81.3	565.869836	97344.37758	2.48E-05	0.040980665	0.525216256
815	81.4	564.2058832	96772.91593	2.47E-05	0.040878104	0.525783195
816	81.5	562.5456315	96204.40244	2.47E-05	0.040775645	0.526353447
817	81.6	560.8890672	95638.82129	2.46E-05	0.040673288	0.526927042
818	81.7	559.2361768	95076.15671	2.46E-05	0.040571032	0.527504011

819	81.8	557.5869465	94516.39301	2.45E-05	0.040468876	0.528084383
820	81.9	555.9413626	93959.51452	2.45E-05	0.040366821	0.52866819
821	82	554.2994114	93405.50565	2.44E-05	0.040264865	0.529255462
822	82.1	552.6610789	92854.35086	2.44E-05	0.040163009	0.529846232
823	82.2	551.0263511	92306.03466	2.43E-05	0.040061252	0.53044053
824	82.3	549.395214	91760.54164	2.43E-05	0.039959593	0.531038391
825	82.4	547.7676537	91217.85643	2.42E-05	0.039858032	0.531639846
826	82.5	546.1436558	90677.96371	2.42E-05	0.039756569	0.532244929
827	82.6	544.5232063	90140.84822	2.41E-05	0.039655203	0.532853674
828	82.7	542.9062907	89606.49478	2.41E-05	0.039553933	0.533466116
829	82.8	541.2928949	89074.88825	2.40E-05	0.03945276	0.534082289
830	82.9	539.6830043	88546.01354	2.40E-05	0.039351682	0.534702228
831	83	538.0766045	88019.85564	2.39E-05	0.0392507	0.53532597
832	83.1	536.4736809	87496.39959	2.39E-05	0.039149812	0.53595355
833	83.2	534.8742191	86975.63048	2.38E-05	0.039049019	0.536585006
834	83.3	533.2782043	86457.53346	2.38E-05	0.03894832	0.537220375
835	83.4	531.6856218	85942.09375	2.37E-05	0.038847713	0.537859695
836	83.5	530.0964569	85429.29663	2.37E-05	0.0387472	0.538503005
837	83.6	528.5106947	84919.12743	2.36E-05	0.038646778	0.539150342
838	83.7	526.9283203	84411.57155	2.36E-05	0.038546449	0.539801748
839	83.8	525.3493188	83906.61443	2.35E-05	0.03844621	0.540457262
840	83.9	523.7736752	83404.24158	2.35E-05	0.038346063	0.541116925
841	84	522.2013744	82904.4386	2.34E-05	0.038246005	0.541780778
842	84.1	520.6324013	82407.1911	2.34E-05	0.038146037	0.542448863
843	84.2	519.0667408	81912.48478	2.33E-05	0.038046158	0.543121224
844	84.3	517.5043776	81420.3054	2.33E-05	0.037946368	0.543797902
845	84.4	515.9452965	80930.63878	2.32E-05	0.037846666	0.544478942
846	84.5	514.3894821	80443.47079	2.32E-05	0.037747051	0.545164389
847	84.6	512.836919	79958.78737	2.31E-05	0.037647522	0.545854288
848	84.7	511.2875918	79476.57452	2.31E-05	0.037548081	0.546548684
849	84.8	509.7414851	78996.8183	2.31E-05	0.037448724	0.547247624
850	84.9	508.1985832	78519.50484	2.30E-05	0.037349453	0.547951156
851	85	506.6588707	78044.62032	2.30E-05	0.037250267	0.548659327
852	85.1	505.1223318	77572.15099	2.29E-05	0.037151164	0.549372186
853	85.2	503.5889509	77102.08315	2.29E-05	0.037052145	0.550089783
854	85.3	502.0587123	76634.40319	2.28E-05	0.036953208	0.550812167
855	85.4	500.5316002	76169.09752	2.28E-05	0.036854354	0.551539391
856	85.5	499.0075987	75706.15266	2.27E-05	0.036755581	0.552271505
857	85.6	497.4866921	75245.55515	2.27E-05	0.036656889	0.553008562
858	85.7	495.9688644	74787.29162	2.26E-05	0.036558277	0.553750616
859	85.8	494.4540996	74331.34876	2.26E-05	0.036459745	0.55449772
860	85.9	492.9423817	73877.7133	2.25E-05	0.036361292	0.555249931
861	86	491.4336948	73426.37207	2.25E-05	0.036262918	0.556007304
862	86.1	489.9280227	72977.31194	2.24E-05	0.036164621	0.556769895
863	86.2	488.4253493	72530.51983	2.24E-05	0.036066401	0.557537763
864	86.3	486.9256585	72085.98276	2.24E-05	0.035968257	0.558310967

865	86.4	485.428934	71643.68779	2.23E-05	0.03587019	0.559089565
866	86.5	483.9351595	71203.62204	2.23E-05	0.035772197	0.559873619
867	86.6	482.444319	70765.77271	2.22E-05	0.035674279	0.56066319
868	86.7	480.9563959	70330.12705	2.22E-05	0.035576434	0.561458341
869	86.8	479.471374	69896.67238	2.21E-05	0.035478663	0.562259135
870	86.9	477.9892368	69465.39609	2.21E-05	0.035380964	0.563065637
871	87	476.509968	69036.28561	2.20E-05	0.035283336	0.563877913
872	87.1	475.0335511	68609.32847	2.20E-05	0.03518578	0.564696028
873	87.2	473.5599696	68184.51225	2.19E-05	0.035088293	0.565520052
874	87.3	472.0892069	67761.82457	2.19E-05	0.034990877	0.566350053
875	87.4	470.6212466	67341.25314	2.19E-05	0.034893529	0.567186101
876	87.5	469.156072	66922.78574	2.18E-05	0.034796249	0.568028268
877	87.6	467.6936665	66506.4102	2.18E-05	0.034699037	0.568876626
878	87.7	466.2340135	66092.11442	2.17E-05	0.034601891	0.569731248
879	87.8	464.7770962	65679.88636	2.17E-05	0.034504811	0.57059221
880	87.9	463.3228981	65269.71404	2.16E-05	0.034407797	0.571459588
881	88	461.8714023	64861.58557	2.16E-05	0.034310846	0.572333459
882	88.1	460.4225921	64455.4891	2.15E-05	0.03421396	0.573213902
883	88.2	458.9764507	64051.41285	2.15E-05	0.034117136	0.574100998
884	88.3	457.5329613	63649.34512	2.15E-05	0.034020375	0.574994828
885	88.4	456.0921071	63249.27425	2.14E-05	0.033923675	0.575895474
886	88.5	454.6538712	62851.18866	2.14E-05	0.033827035	0.576803022
887	88.6	453.2182368	62455.07685	2.13E-05	0.033730456	0.577717557
888	88.7	451.7851868	62060.92735	2.13E-05	0.033633935	0.578639166
889	88.8	450.3547045	61668.72878	2.12E-05	0.033537473	0.579567939
890	88.9	448.9267729	61278.46983	2.12E-05	0.033441068	0.580503966
891	89	447.5013749	60890.13923	2.12E-05	0.033344719	0.581447338
892	89.1	446.0784937	60503.7258	2.11E-05	0.033248427	0.58239815
893	89.2	444.6581122	60119.21842	2.11E-05	0.03315219	0.583356498
894	89.3	443.2402134	59736.60602	2.10E-05	0.033056007	0.584322477
895	89.4	441.8247803	59355.87762	2.10E-05	0.032959877	0.585296187
896	89.5	440.4117959	58977.02228	2.09E-05	0.0328638	0.586277728
897	89.6	439.001243	58600.02915	2.09E-05	0.032767775	0.587267204
898	89.7	437.5931046	58224.88743	2.08E-05	0.0326718	0.588264717
899	89.8	436.1873636	57851.58639	2.08E-05	0.032575876	0.589270375
900	89.9	434.7840029	57480.11537	2.08E-05	0.032480001	0.590284286
901	90	433.3830054	57110.46377	2.07E-05	0.032384174	0.591306559
902	90.1	431.984354	56742.62105	2.07E-05	0.032288395	0.592337306
903	90.2	430.5880315	56376.57674	2.06E-05	0.032192663	0.593376643
904	90.3	429.1940208	56012.32046	2.06E-05	0.032096976	0.594424685
905	90.4	427.8023047	55649.84185	2.05E-05	0.032001335	0.595481551
906	90.5	426.4128662	55289.13065	2.05E-05	0.031905737	0.596547361
907	90.6	425.0256879	54930.17667	2.05E-05	0.031810183	0.59762224
908	90.7	423.6407528	54572.96974	2.04E-05	0.031714671	0.598706311
909	90.8	422.2580437	54217.49982	2.04E-05	0.031619201	0.599799703
910	90.9	420.8775434	53863.75688	2.03E-05	0.031523771	0.600902546

911	91	419.4992347	53511.731	2.03E-05	0.031428381	0.602014973
912	91.1	418.1231004	53161.41228	2.03E-05	0.031333029	0.60313712
913	91.2	416.7491233	52812.79093	2.02E-05	0.031237716	0.604269123
914	91.3	415.3772864	52465.8572	2.02E-05	0.031142439	0.605411123
915	91.4	414.0075723	52120.6014	2.01E-05	0.031047199	0.606563265
916	91.5	412.6399638	51777.01394	2.01E-05	0.030951993	0.607725694
917	91.6	411.2744439	51435.08526	2.00E-05	0.030856822	0.608898559
918	91.7	409.9109953	51094.80588	2.00E-05	0.030761685	0.610082012
919	91.8	408.5496008	50756.16638	2.00E-05	0.030666579	0.611276208
920	91.9	407.1902433	50419.15742	1.99E-05	0.030571505	0.612481305
921	92	405.8329055	50083.76972	1.99E-05	0.030476462	0.613697465
922	92.1	404.4775704	49749.99404	1.98E-05	0.030381448	0.614924853
923	92.2	403.1242208	49417.82124	1.98E-05	0.030286463	0.616163635
924	92.3	401.7728394	49087.24224	1.98E-05	0.030191506	0.617413983
925	92.4	400.4234093	48758.248	1.97E-05	0.030096575	0.618676073
926	92.5	399.0759132	48430.82958	1.97E-05	0.03000167	0.619950083
927	92.6	397.730334	48104.97808	1.96E-05	0.02990679	0.621236194
928	92.7	396.3866546	47780.68467	1.96E-05	0.029811934	0.622534593
929	92.8	395.0448579	47457.94059	1.95E-05	0.029717101	0.623845469
930	92.9	393.7049268	47136.73715	1.95E-05	0.029622289	0.625169017
931	93	392.3668443	46817.06572	1.95E-05	0.029527499	0.626505434
932	93.1	391.0305932	46498.91774	1.94E-05	0.029432729	0.627854922
933	93.2	389.6961566	46182.28469	1.94E-05	0.029337978	0.629217687
934	93.3	388.3635173	45867.15815	1.93E-05	0.029243244	0.630593941
935	93.4	387.0326584	45553.52974	1.93E-05	0.029148528	0.631983899
936	93.5	385.7035629	45241.39117	1.93E-05	0.029053828	0.63338778
937	93.6	384.3762139	44930.73418	1.92E-05	0.028959143	0.634805809
938	93.7	383.0505942	44621.55061	1.92E-05	0.028864472	0.636238216
939	93.8	381.726687	44313.83234	1.91E-05	0.028769815	0.637685237
940	93.9	380.4044754	44007.57132	1.91E-05	0.028675169	0.639147109
941	94	379.0839425	43702.75958	1.91E-05	0.028580534	0.64062408
942	94.1	377.7650714	43399.38919	1.90E-05	0.02848591	0.642116399
943	94.2	376.4478452	43097.45231	1.90E-05	0.028391295	0.643624323
944	94.3	375.1322471	42796.94114	1.89E-05	0.028296687	0.645148113
945	94.4	373.8182603	42497.84796	1.89E-05	0.028202087	0.646688039
946	94.5	372.5058681	42200.16511	1.89E-05	0.028107493	0.648244373
947	94.6	371.1950536	41903.88499	1.88E-05	0.028012903	0.649817397
948	94.7	369.8858001	41609.00007	1.88E-05	0.027918318	0.651407398
949	94.8	368.5780909	41315.50288	1.87E-05	0.027823736	0.653014668
950	94.9	367.2719094	41023.38602	1.87E-05	0.027729156	0.654639508
951	95	365.9672389	40732.64215	1.87E-05	0.027634576	0.656282226
952	95.1	364.6640628	40443.26398	1.86E-05	0.027539997	0.657943135
953	95.2	363.3623645	40155.24432	1.86E-05	0.027445416	0.65962256
954	95.3	362.0621275	39868.57599	1.85E-05	0.027350833	0.661320828
955	95.4	360.7633352	39583.25193	1.85E-05	0.027256247	0.663038277
956	95.5	359.4659711	39299.2651	1.85E-05	0.027161657	0.664775255

957	95.6	358.1700189	39016.60854	1.84E-05	0.027067061	0.666532114
958	95.7	356.875462	38735.27536	1.84E-05	0.026972459	0.668309217
959	95.8	355.5822841	38455.25872	1.83E-05	0.02687785	0.670106936
960	95.9	354.2904689	38176.55185	1.83E-05	0.026783232	0.671925653
961	96	353	38176.55185	1.83E-05	0.026783232	0.671925653
962	96	353	38176.55185	1.83E-05	0.026783232	0.671925653

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Ali H. ABDULKARİM
Uyruğu	**:**	IRAK
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	KERKÜK- 01.01.1981
Telefon	**:**	05377306748
Faks	**:**	
e-mail	**:**	alihuseyin81@yahoo.com, alihuseyin81@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**KERKÜK-IRAK**	**1998**
Üniversite	:	**KERKUK-IRAK**	**2003**
Yüksek Lisans	:	**Gazi-TÜRKİYE**	**2008**
Doktora	:	**Selçuk-TÜRKİYE**	**2016**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2009	**Kerkük üniversite**	**Öğretim üyesi (devam ediyor)**

UZMANLIK ALANI

Makine mühendisliği

YABANCI DİLLER

Arapça-İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR*

Dergiler

Kemal Altinisik, **Ali H.Abdulkarim,** Dilek N.Ozen, I.Aslan Resitoglu, NUMERICAL MODELING OF THERMAL PERFORMANCE OF A COMPACT HEAT EXCHANGER FOR LATENT HEAT RECOVERY FROM EXHAUST FLUE GASES, Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Vol. 16, No. 1, 2012, ISSN 2303-4009 (online), p.p. 139-142.

Conferencetwo publications in conference)

1. Kemal Altınışık,**Ali H.Abdukarim,**Dilek N. Ozen, Aslan Reşitoğlu , Numerical Modeling Of Thermal Performance Of A Compact Heat Exchanger For Latent Heat Recovery From Exhaust Flue Gases, 16th International Research/Expert Conference"Trends in the Development of Machinery and Associated Technology"TMT 2012, Dubai, UAE, 10-12 September 2012.

2. Kemal Altınışık,Dilek N. Ozen, **Ali H.Abdukarim,** Baca Gazındaki Gizli Isıyı Kullanan Kanatlı-Plakalı Kompakt Isı Değiştiricisinin Tasarımı ve Prototip İmalatı. II. İLERİ TEKNOLOJİLER ÇALIŞTAYI (İTÇ 2011)(09.12.2011)., p.(157-162). ISTANBUL-TURKEY.