



**DOĞALGAZ YANMA VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI İÇİN KATALİTİK BRÜLÖR
KAPLAMA MALZEMESİ GELİŞTİRİLMESİ**

Doktora Tezi

AYTAÇ BİÇER

Eskişehir 2024

**DOĞALGAZ YANMA VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN KATALİTİK
BRÜLÖR KAPLAMA MALZEMESİ GELİŞTİRİLMESİ**

Aytaç BİÇER

Doktora Tezi

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erhan AYAS

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Aytaç BİÇER'in DOĞALGAZ YANMA VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN KATALİTİK BRÜLÖR KAPLAMA MALZEMESİ GELİŞTİRİLMESİ başlıklı çalışması 31/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Doç. Dr. Erhan AYAS

Üye

: Prof. Dr. Hilmi YURDAKUL

Üye

: Prof. Dr. Hakan GAŞAN

Üye

: Prof. Dr. Rasim CEYLANTEKİN

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Boğaç POYRAZ

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

31/01/2024

DANIŞMAN ONAYI

DaniŐmanlıđını yuruttuğum Doktora oğrencisi Aytaç BİÇER, DOĞALGAZ YANMA VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN KATALİTİK BRÜLÖR KAPLAMA MALZEMESİ GELİŞTİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıŐtır. HazırlamıŐ olduğu tez tarafımca incelenmiş ve oğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun gürülmüŐtür.

Tez DaniŐmanı

Doç. Dr. Erhan AYAS

ÖZET

DOĞALGAZ YANMA VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI İÇİN KATALİTİK BRÜLÖR KAPLAMA MALZEMESİ GELİŞTİRİLMESİ

Aytaç BİÇER

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2024

Danışman: Doç. Dr. Erhan AYAS

Son yıllarda enerji verimliliği ve çevre dostu teknolojileri her zamankinden daha fazla önem kazanmıştır. Fosil yakıtların kullanımı azaltılması ve yenilebilir enerjiye olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Evlerimizde sıcak su ve ısınma ihtiyacımızı gidermek için çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Avrupa’da ve Türkiye’de yaygın olarak doğalgaz ile çalışan kombi ürünleri tercih edilmektedir. Kombi brülör tasarımları hem enerji verimliliği hem de çevresel etkiler açısından önemli bir araştırma konusu olmuştur. Kombi ürünlerinde enerji verimliliği bakımından çeşitli kategorilere ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında ön karışımli kombi ürününün yanma odasındaki brülör tasarımını ve kaplama malzemesi üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Mevcut brülör malzemesi paslanmaz 304 çeliğinden imal edilmektedir. Brülör tasarımının ve farklı tasarımlardaki metal fiber kaplamasının yanma verimliliği üzerindeki etkisini inceler. Yanma verimliliğinin artırılması ve brülörün deforme olmaması için yüzeyine farklı tasarımlarda metal fiber kaplama malzemesi yapılmıştır. Bu metal fiber malzemeleri daha sonra mikroskopta incelenerek gözenekleri çıkarılmış ve 3D data olarak modellenmiştir. Modeli çıkarılan metal fiber kaplı brülörlerin modellenen metal fiber kaplamaların CFD analizleri Ansys programı kullanılarak yapılmıştır. Her bir tasarım görsel olarak yanma testine tabi tutulmuş ve CO, NOx değerleri ölçülmüştür. Test sonuçları CFD analiz sonuçları ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Brülör, Metal Fiber, Kombi, CFD

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF CATALYTIC BURNER COATING MATERIAL FOR INCREASING GAS COMBUSTION EFFICIENCY

Aytaç BİÇER

Department of Material Science and Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erhan AYAS

Energy efficiency and environmentally friendly technologies have gained more significance than ever before in recent years. The use of fossil fuels and the need for renewable energy has emerged. Various products are used in our homes to meet our need for hot water and heating. In Europe and Turkey, natural gas-fired combi boiler products are widely preferred. Boiler burner designs have been an important research topic in terms of both energy efficiency and environmental impacts. Boiler products are categorized into various categories in terms of energy efficiency.

In this thesis study, experimental studies on the burner design and coating material in the combustion chamber of the premixed Boiler product were carried out. The existing burner material is made of stainless steel 304. It examines the effect of burner design and metal fiber coating in different designs on thermal efficiency. In order to increase energy efficiency and to prevent the burner from deformation, metal fiber coating material of different designs was applied on its surface. These metal fiber materials were then examined under a microscope and their pores were removed and modeled as 3D data. CFD analysis of the modeled metal fiber coated burners was performed using Ansys program. Each design was visually subjected to combustion test and CO, NO_x values were measured. Test results were compared with CFD analysis results and interpreted accordingly.

Keywords: Burner, Metal Fiber, Boiler, CFD

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Erhan AYAS'a, çalışmalarımda büyük emekleri geçen Prof. Dr. Hakan GAŞAN ve Prof. Dr. Hilmi YURDAKUL'a, çalışma arkadaşlarımdan Araş. Gör. Dr. Kübra GÜRCAN BAYRAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım için bana izin veren ve desteklerini üzerimden çekmeyen Arçelik A.Ş.'ye, yöneticilerimizden Ömer ZİYALI'ya, malzeme desteğinde bulunan Polidoro firması ve çalışanlarından Elio REGELIN'e, test laboratuvarlarını kullanmama izin veren Hanatech firması kurucusu sayın Sait KORKMAZ'a, makine yüksek mühendisi Gökan AKIN'a ve teknisyen Uğurcan SAYIN'a, doktora tezi boyunca bana destek olan çalışma arkadaşım Utku Can VAROL, İlker ÇEKİÇ ve Onur HAVAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca doktora eğitimim sırasında bana sonsuz destek olan aileme ve eşim Sema BİÇER'e, oğullarım Özgür BİÇER ve Uzay BİÇER'e teşekkür ederim.

Aytaç BİÇER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Aytaç BİÇER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI.....	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI.....	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
GÖRSELLER DİZİNİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVII
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMBİLERİN TÜRLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	3
2.1. Kombi Türleri	3
2.1.1. Bacalı kombi	3
2.1.2. Hermetik kombi.....	4
2.1.2.1. Yoğuşmasız hermetik kombi.....	4
2.1.2.2. Yarı yoğuşmalı hermetik kombi.....	5
2.1.2.3. Ön karışumlu yoğuşmalı hermetik kombi.....	7
2.2. Kombi Çalışma Prensibi	8
2.2.1. Hidroblok grubu ve parçaları	9
2.2.2. Yanma odası ve parçaları.....	13
2.2.2.1. Brülör.....	15
2.3. Yanma Odası İle İlgili Yapılan Simülasyon Çalışmaları.....	20
3. METAL FİBER TEKNOLOJİSİ.....	23

3.1. Metal Fiber Üretim Metodları.....	24
3.1.1. Demet çekme.....	24
3.1.2. Folyo tıraşlama	24
3.1.3. Taşlama.....	25
3.1.4. Eriyik eğirme yöntemi.....	25
3.2. Metal Fiber İle Yapılan Çalışmalar.....	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	29
4.1. Tezin Amacı ve Genel Yapısı.....	29
4.2. Metal Fiber Tasarımı Oluşturulması	29
4.3. Metal Fiber Parçalarının Ölçümü	33
4.3.1. A tipi metal fiber parçasının ölçümü	33
4.3.2. B tipi metal fiber parçasının ölçümü.....	34
4.3.3. C tipi metal fiber parçasının ölçümü	35
4.4. Yanma Odası Ve Parçalarının Tasarımının Oluşturulması.....	37
4.5. Simülasyon Çalışmaları	40
4.6. Metal Fiber Brülör Üretimi.....	42
4.7. Yoğuşmalı Kombi Test Düzeneği	45
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
5.1. Simülasyon Bulguları Ve Tartışma	49
5.1.1. Akış analizi.....	49
5.1.1.1. 304 paslanmaz çelik brülör.....	49
5.1.1.2. A tipi metal fiber kaplı brülör.....	51
5.1.1.3. B tipi metal fiber kaplı brülör.....	54
5.1.1.4. C tipi metal fiber kaplı brülör.....	55
5.1.2. Sıcaklık analizi.....	58
5.1.2.1. 304 paslanmaz çelik brülör.....	59
5.1.2.2. A tipi metal fiber kaplı brülör.....	60
5.1.2.3. B tipi metal fiber kaplı brülör.....	60
5.1.2.4. C tipi metal fiber kaplı brülör.....	61
5.2. Görsel Yanma Bulguları Ve Tartışma	64
5.3. Kombi Üzerinde Deneysel Çalışmalar.....	69
6. GENEL SONUÇ	72

KAYNAKÇA.....74

ÖZGEÇMİŞ



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Yanma odası simülasyon çalışmaları için sayısal giriş verileri.....	20
Tablo 3.1. Brülörün geometrik ölçüleri	27
Tablo 4.1. FeCr metal fiber alaşımının % malzeme bileşeni	30
Tablo 4.2. A Tipi demet kalınlığı ölçüm sonucu.....	34
Tablo 4.3. B Tipi demet kalınlığı ölçüm sonucu	35
Tablo 4.4. C Tipi demet kalınlığı ölçüm sonucu	37
Tablo 4.5. Brülör tasarımını oluşturan kriterler	37
Tablo 4.6. Paslanmaz brülör ve metal fiber ölçüleri.....	39
Tablo 4.7. Simülasyon sınır koşulları	41
Tablo 4.8. Simülasyon çözüm işlemleri.....	42
Tablo 4.9. Türkiye doğalgaz içeriği.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kombi Türleri.....	3
Şekil 2.2. Farklı delik çaplarında brülör tasarımı: a) tip-1, b) tip-2, c) tip-3, d) tip-4 (Lee, Kum, & Lee, 2011).....	15
Şekil 2.3. Eşdeğerlik oranının CO'e etkisi (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).....	17
Şekil 2.4. Farklı yüklerde eşdeğerlik oranının NOx'e etkisi (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).....	19
Şekil 3.1. Hava akış oranının CO etkisi	28
Şekil 3.2. Hava akış oranının NOx emisyon etkisi	28
Şekil 4.1. A Tipi demet kalınlığı boxplot analizi.....	34
Şekil 4.2. B Tipi demet kalınlığı boxplot analizi.....	35
Şekil 4.3. C Tipi demet kalınlığı boxplot analizi.....	36
Şekil 5.1. Isıl yükün fan hızına etkisi.....	70
Şekil 5.2. Isıl yükün CO 'e etkisi.....	70
Şekil 5.3. Isıl yükün NOx e etkisi.....	71

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1.	Bacalı Kombi.....	3
Görsel 2.2.	Yoğuşmasız hermetik kombinin çalışma prensibi (Demirdöküm, 2023).....	4
Görsel 2.3.	Geleneksel "Maior Eolo" kombinin ana bileşenleri Immergas S.p.A 1 - Gaz vanası; 2-Kullanım suyu probu; 3 - Kullanım suyu akış anahtarı; 4 -Plakalı eşanjör; 5 - Brülör; 6 - Yanma odası; 7 Atık gaz sızdırmaz oda; 8 - Fan; 9 - Girişler (hava A) - (bacalar F); 10 - Pozitif sinyal basınç noktası; 11 - Negatif sinyal basınç noktası; 12 - Presostat; 13 - Çıkış sondası; 14 - Emniyet termostatu; 15 - Çekiş yönü değiştirici; 16 – Ana eşanjör; 17 - Sistem genişleme tankı; 18 - Ateşleme ve algılama elektrotları; 19 e "Aqua celeris" sistemi; 20 - Hava tahliye vanası; 21 – Sirkülasyon pompası; 22 - Sistem basınç anahtarı; 23 - Emniyet vanası; 24 - Üç yollu vana (tahrikli); 25 - Sistem boşaltma musluğu; 26 - Sistem doldurma musluğu (Vignali, 2017).....	5
Görsel 2.4.	Yarı Yoğuşmalı Kombin Çalışma Prensibi (Demirdöküm, 2023)	6
Görsel 2.5.	Ön Karışımlı Yoğuşmalı Kombi Çalışma Prensibi (Demirdöküm, 2023).....	7
Görsel 2.6.	"Victrix" yoğuşmalı kazanın ana bileşenleri Immergas S.p.A. 1- Elektrik bağlantı terminal kartı; 2- Kondens tahliye kapağı; 3 - Kullanım suyu ısı eşanjörü; 4- Gaz vanası; 5- Kullanım sıcak suyu akış anahtarı; 6- Kullanım sıcak suyu probu; 7- Hava tahliye vanası; 8-Akış probu; 9- Emniyet termostatu; 10-Gaz nozulu; 11- Brülör; 12-Algılama elektrodu; 13-Yoğuşma modülü; 14-Baca sondası; 15-Isı eşanjörü emniyet termof sigortası; 16- Manuel hava tahliye vanası; 17- Numune noktaları (hava A) ve (baca gazları F); 18-Negatif sinyal basınç noktası; 19-Pozitif sinyal basınç noktası; 20-Ateşleyici; 21- Ateşleme Elektrodu; 22-Venturi; 23-Fan; 24- Hava Giriş Borusu; 25-Sistem genişleme kabı;26 - Sistem basınç anahtarı; 27-Kazan pompası; 28-3 Bar emniyet valfi; 29-By-pass; 30-3 yollu valf (motorlu); 31- Sistem boşaltma valfi; 32- Sistem doldurma valfi (Vignali, 2017).....	8
Görsel 2.7.	Kombinin içerisinde yer alan parçalar 1) Ana Eşanjör, 2) Plakalı Eşanjör, 3)Sirkülasyon pompası, 4)Üç Yollu Vana bloğu (Demirdöküm, 2023)	9
Görsel 2.8.	Hidroblok Grubu.....	9
Görsel 2.9.	Plakalı eşanjöre çalışma prensibi.....	10
Görsel 2.10.	Plakalı Eşanjör	10
Görsel 2.11.	3 Yollu Vana Grubu.....	11
Görsel 2.12.	Üç yollu vana Motoru	12

Görsel 2.13.	Soğuk Su Bloğu	12
Görsel 2.14.	Genleşme Tankı	12
Görsel 2.15.	Sirkülasyon Pompası (Grundfos, 2023)	13
Görsel 2.16.	Ön karışimli yoğuşmalı ana eşanjörler a) alüminyum eşanjör, b) çelik eşanjör	13
Görsel 2.17.	Ön karışimli yoğuşmalı kombinin yanma odası çalışma prensibi (Riello, 2023)	14
Görsel 2.18.	Çelik eşanjör içerisinde yanmanın meydana gelmesi (Vaillant, 2023)	14
Görsel 2.19.	Farklı tiplerde silindirik brülör tasarımları (Polidoro, 2023)	15
Görsel 2.20.	Farklı çaplardaki brülör tasarımının karışım akışına etkisi: a) tip 1-2, b) tip 3-4 (Lee, Kum, & Lee, 2011).....	16
Görsel 2.21.	Isı yükünün yanmaya etkisi: a)13,96 kW, b) 23,26 kW, c) 30,24 kW (Lee, Kum, & Lee, 2011)	16
Görsel 2.22.	Test düzeneğinde kullanılan brülör (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021)	17
Görsel 2.23.	11.74-17.14kW’de farklı eşdeğerlilik oranlarındaki alev görüntüleri (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).....	18
Görsel 2.24.	Eşdeğerlik katsayısının alev boyuna etkisi (Najarnikoo, Targhi, & Pasharshahi, 2019)	19
Görsel 2.25.	3D data olarak oluşturulan yanma odası ve mesh yapısı	20
Görsel 2.26.	Yanma odasındaki sıcaklık dağılımı	21
Görsel 2.27.	Yanma odası içerisindeki akış dağılımı	21
Görsel 2.28.	Yanma odası içerisindeki CO dağılımı	22
Görsel 3.1.	Metal fiber ip makarası (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)	23
Görsel 3.2.	Demet çekme metodu (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)	24
Görsel 3.3.	Folyo traşlama yöntemi (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).....	25
Görsel 3.4.	Taşlama yöntemi ile üretim (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).....	25
Görsel 3.5.	Eriyik eğirme yöntemi (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)	26
Görsel 3.6.	Metal Fiber (MF), Paslanmaz çelik(PÇ) brülör.....	26
Görsel 3.7.	Yanma da meydana gelen iki mod.....	27
Görsel 4.1.	Metal fiber tasarımları: a) A-tipi, b) B-tipi c) C-tipi.....	30
Görsel 4.2.	Metal fiber kalınlığı	31
Görsel 4.3.	A-B-C Tipi tasarımlarına göre örülmüş metal fiberler	31
Görsel 4.4.	A-B-C Tipi örgü tipi ile tasarımının görsel olarak karşılaştırılması	32
Görsel 4.5.	A Tipi metal fiber demet kalınlığı ve boşluk mesafesi	33

Görsel 4.6.	B Tipi metal fiber demet kalınlığı ve boşluk mesafesi	34
Görsel 4.7.	C Tipi metal fiber demet kalınlığı ve boşluk mesafesi	36
Görsel 4.8.	3D modeli çıkarılmış 304 paslanmaz brülör tasarımı ile gerçek brülör tasarımı kıyaslaması	37
Görsel 4.9.	A tipi metal fiber giydirilmiş brülör tasarımı	38
Görsel 4.10.	B tipi metal fiber giydirilmiş brülör tasarımı	38
Görsel 4.11.	C tipi metal fiber giydirilmiş brülör tasarımı	39
Görsel 4.12.	Yanma odası katı modeli ve kesit görüntüsü.....	39
Görsel 4.13.	Yanma odası mesh yapısı a)isometrik görüntüsü b)kesit görüntüsü	41
Görsel 4.14.	Dremel 4250	42
Görsel 4.15.	Otekso marka lazer kaynak cihazı	43
Görsel 4.16.	A Tipi metal fiber kaplamalı brülör.....	43
Görsel 4.17.	B Tipi metal fiber kaplamalı brülör	44
Görsel 4.18.	C Tipi metal fiber kaplamalı brülör	44
Görsel 4.19.	Irex Era 25kW ön karışimli yoğuşmalı kombi	45
Görsel 4.20.	Yanma odası kapağına montajlanmış brülörler.....	45
Görsel 4.21.	FLIR E5 termal kamera.....	46
Görsel 4.22.	Yoğuşmalı kombi test standı	46
Görsel 4.23.	Termal kamera görüntüleri için hazırlanmış test düzeneği	47
Görsel 4.24.	Testo 350 gaz analiz cihazı	47
Görsel 4.25.	SIT marka 848 Sigma gaz valfi	48
Görsel 4.26.	Shinagawa W-NK-10-ST Yaş Gaz ölçüm cihazı	48
Görsel 5.1.	304 Paslanmaz çelik brülörünün yanma odasındaki dağılımı	49
Görsel 5.2.	304 Paslanmaz çelik brülörünün öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi	50
Görsel 5.3.	304 paslanmaz çelik brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu.....	51
Görsel 5.4.	304 Paslanmaz çelik üzerine A tipi metal fiber kaplı brülörünün yanma odasındaki dağılımı	52
Görsel 5.5.	304 Paslanmaz çelik brülörünün üzerine A tipi metal fiber kaplı öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi	52
Görsel 5.6.	304 paslanmaz çelik brülör üzerine A tipi metal fiber kaplı brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu.....	53
Görsel 5.7.	304 Paslanmaz çelik üzerine B tipi metal fiber kaplı brülörünün yanma odasındaki dağılımı	54
Görsel 5.8.	304 Paslanmaz çelik brülörünün üzerine B tipi metal fiber kaplı öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi	54

Görsel 5.9.	304 paslanmaz çelik brülör üzerine B tipi metal fiber kaplı brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu.....	55
Görsel 5.10.	304 Paslanmaz çelik üzerine C tipi metal fiber kaplı brülörünün yanma odasındaki dağılımı	56
Görsel 5.11.	304 Paslanmaz çelik brülörünün üzerine C tipi metal fiber kaplı öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi	56
Görsel 5.12.	304 paslanmaz çelik brülör üzerine C tipi metal fiber kaplı brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu.....	57
Görsel 5.13.	Brülör tiplerinin akış analiz karşılaştırması	58
Görsel 5.14.	Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör yanma odası sıcaklık dağılımı	59
Görsel 5.15.	Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine A tipi metal fiber kaplı brülör yanma odası sıcaklık dağılımı.....	60
Görsel 5.16.	Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine B tipi metal fiber kaplı brülör yanma odası sıcaklık dağılımı.....	61
Görsel 5.17.	Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine C tipi metal fiber kaplı brülör yanma odası sıcaklık dağılımı.....	62
Görsel 5.18.	Bütün brülör tiplerinin yanma odasında sıcaklık dağılımı kıyaslaması	63
Görsel 5.19.	304 Paslanmaz çelik brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b)Gerçek görüntüsü	64
Görsel 5.20.	A Tipi metal brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b)Gerçek görüntüsü	65
Görsel 5.21.	B Tipi metal brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b)Gerçek görüntüsü	66
Görsel 5.22.	C Tipi metal brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b)Gerçek görüntüsü)	67
Görsel 5.23.	Tüm brülörlerin termal kamera görüntülerinin kıyaslanması:a)304 paslanmaz çelik brülör, b)A-tipi metal fiber, c) B-tipi metal fiber, d)C-tipi metal fiber	68
Görsel 5.24.	24kw'da tüm brülörlerin yanma görüntüleri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	:	Celcius
kW	:	KiloWatt
MF	:	Metal Fiber
PÇ	:	Paslanmaz Çelik
%	:	Yüzde
CH ₄	:	Metan
C ₂ H ₆	:	Etan
C ₃ H ₈	:	Propan
CO ₂	:	Karbonidoksit
N ₂	:	Azot

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışıyla birlikte enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Kullandığımız enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan elde edilmektedir. Son yüzyıl içerisinde teknolojinin gelişmesiyle birlikte fosil yakıt kullanımı artmıştır. Fosil kaynakların sınırlı olması ve çevreye verdiği zarardan dolayı enerji verimliliği konusunda bir çok çalışmalar yapılmaktadır. Ulaşım alanında ve ısıtma sektöründe benzin, doğalgaz kullanılmaktadır.

Doğalgaz metan (CH_4), etan(C_2H_6) ve propan (C_3H_8) gibi hafif molekül ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan bir karışımdır. Doğal gaz, yüzeyde ayrıştırılarak içerisinde bulunan ağır hidrokarbonlar (bütan, pentan vb.) uzaklaştırılır. Doğal gaz, evlerimizde kullandığımız en temiz fosil yakıttır. Doğal gazın yanması durumunda karbondioksit, su buharı ve azot oksitler oluşur. Kombi kelimesi İngilizce Combi Boiler (birleşik ısıtıcı) anlamına gelmektedir. Kombilerin asıl görevi ortamı ısıtmaktır. Üzerinde bulunan ana eşanjör yardımıyla binayı ısıtmak için gerekli olan suyu ısıtır. Ancak kombilere plaka eşanjör eklenerek kullanım suyunu ısıtması da sağlanmıştır. Yani bir kombinin görevi hem ortamı ısıtmak hem de kullanım suyunu ısıtmaktır. Kombiler konutların, ısınma ve sıcak su ihtiyacını karşılayabilmek için yakıt olarak LPG veya doğalgaz kullanabilir (Koca & Aksungur, 2018).

Isıtma için kullanılan kombiler güç değerine göre tercih edilmektedir. Yaygın olarak 20-24-28 ve 35 kw güce sahip kombiler tercih edilir. Kombinün güç değeri ısıtmanın yapılacağı evin metrekaresine göre doğru orantılı olarak seçilir. Bu güç değerlerinin yeterli olmadığı bölgelerde kombiler seri bağlanarak çoklu kombi olarak ısıtmaktadır. Bu tip uygulamaların yapıldığı kombi biçimine kaskat sistemi denilmektedir. Genel olarak kombiler bacalı ve hermetik kombi olarak sınıflandırılır. Bacalı kombiler temiz havayı ortamdan alarak atık gazı baca sistemiyle dışarıya atmaktadır. Hermetik kombi, temiz havayı bacanın içerisindeki kanal aracılığı ile dış ortamdan alarak atık gazı dış ortama çıkarmaktadır. Hermetik kombilerde kendi içerisinde yoğuşmalı ve yoğuşmasız olmak üzere ikiye ayrılır. Yoğuşmasız kombiler atık gaz enerjisini kullanmamaktadır. Bacalı ve yoğuşmasız kombilerin dış ortama bıraktığı yüksek NO_x değerinden dolayı ülkemizde ve Avrupa'da 2016 yılından itibaren üretimi yasaklanmıştır. 2016 yılından itibaren Türkiye ve Avrupa'da yoğuşmalı kombilerin üretimine ağırlık verilmiştir. Yoğuşmalı kombilerde atık gaz sıcaklığı ile ısıtma suyunu ön bir ısıtma yaparak enerji verimliliği sağlayarak, düşük NO_x değerine sahiptir.

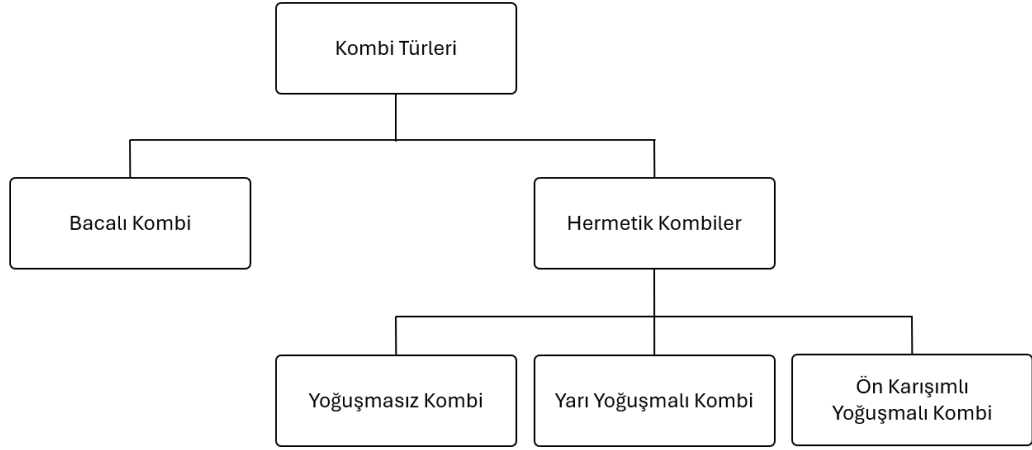
Yoğuşmalı kombilerin temel teknolojilerinden bir tanesi de brülördür (Felsmann, Hinrichs, Schweitzer-De Bortoli, Tomczak, & Pitsch, 2018). Kombi brülör tasarımlarının enerji verimliliği üzerine birçok çalışmalar yapılmaktadır. Brülörün gözenekli yapısının sıcaklık dağılımı, basınç kaybı, ısı verim ve NO_x konsantrasyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır (Shafiey Dehaj, Ebrahimi, Shams, & Farzaneh, 2017). Kademeli bir şekilde doğalgaz brülörüne katlanmış alev modeli incelenmiş ve alev şeklinin yanma reaksiyonunu hafifletmeye, sıcaklık alanındaki yerel sıcaklık noktalarını iyileştirmeye ve NO_x emisyonunu azalttığı gözlemlenmiştir (Shang, Li, Chen, Wang, & Shi, 2017). Brülör üzerindeki farklı gözenek yapılarının ateşleme hızına, alevin kararlılığına etkisi olduğu tespit edilmiştir (Omid & Emami, 2019). İki boyutlu bir model kullanılarak ön karışımli hava yanma odasının çift gözenekli bir brülör kararlılığına etkisi olduğu görülmüştür (Hashemi & Hashemi, 2017). Özellikle metal fiber kaplı radyatör brülörünün en düşük NO_x emisyonuna sahip olduğu kanıtlanmıştır (Yu, Kum, Lee, & Lee, 2013). Eksenel ve radyal kademeli olarak brülör tasarımının gazın yanma hızının, sıcaklık dağılımı, alev kararlılığı ve CO emisyonu üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir (Song, Wen, Dong, Wang, & Liu, 2017). Silindirik brülörün geometrik parametrelerini değiştirerek NO_x ve CO emisyonlarını azalttığı görülmüştür (Zhao, ve diğerleri, 2015). Özellikle işletme parametrelerinin NO emisyonu üzerinde büyük bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır (Wei, Li, Xu, & Tan, 2012).

2. KOMBİLERİN TÜRLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bireysel kullanıcıların yaşadıkları ortamın ısınma ve sıcak su ihtiyacını karşılayan cihazlara kombi denilmektedir. Kombi cihazları genellikle 20-24-28 ve 35 kw güç ile belli bir metrekare alanı ısıtabilirler. Kombinin kullanılacağı bölgenin metrekare kombinin gücünü belirlemektedir.

2.1. Kombi Türleri

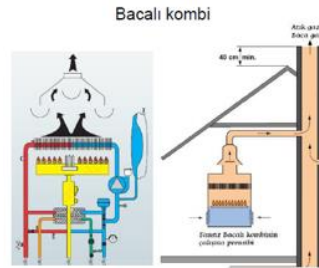
Kombi tipleri kendi içerisinde atık gaz bacası, kullanım suyu ısıtma sistemine, yakıt cinsine ve NOx cinsine göre sınıflara ayrılır. Fakat genel olarak bacalı ve hermetik kombi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kombi Türleri

2.1.1. Bacalı kombi

Yanma sırasında ihtiyaç duyduğu oksijeni bulunduğu ortamdan alıyor ve atık gazı doğal yanma yöntemi ile dışarıya atan kombi türüne bacalı kombi denilmektedir. Bacalı kombi içerisinde fan bulunmamaktadır. Yanma gerçekleştikten sonra atık gaz sac yönlendirme parçaları ile dışarıya atılmaktadır (Görsel 2.1).



Görsel 2.1. Bacalı Kombi

2.1.2. Hermetik kombi

Hermetik kombi yanma işleminde kullanılacak havayı atmosferden alıp, yine atık gazı da dışarıya verir. Hermetik kombilerin baca sistemin iki katmanlıdır. Dış katmandan temiz hava kombinin yanma ünitesine fan yardımıyla iletilir ve atık gaz bacanın iç katmanından atmosfere atılır. Hermetik kombiler kendi içerisinde yoğuşmasız, reküperatörlü yoğuşmalı ve ön karışimli yoğuşmalı kombi olarak üçe ayrılır.

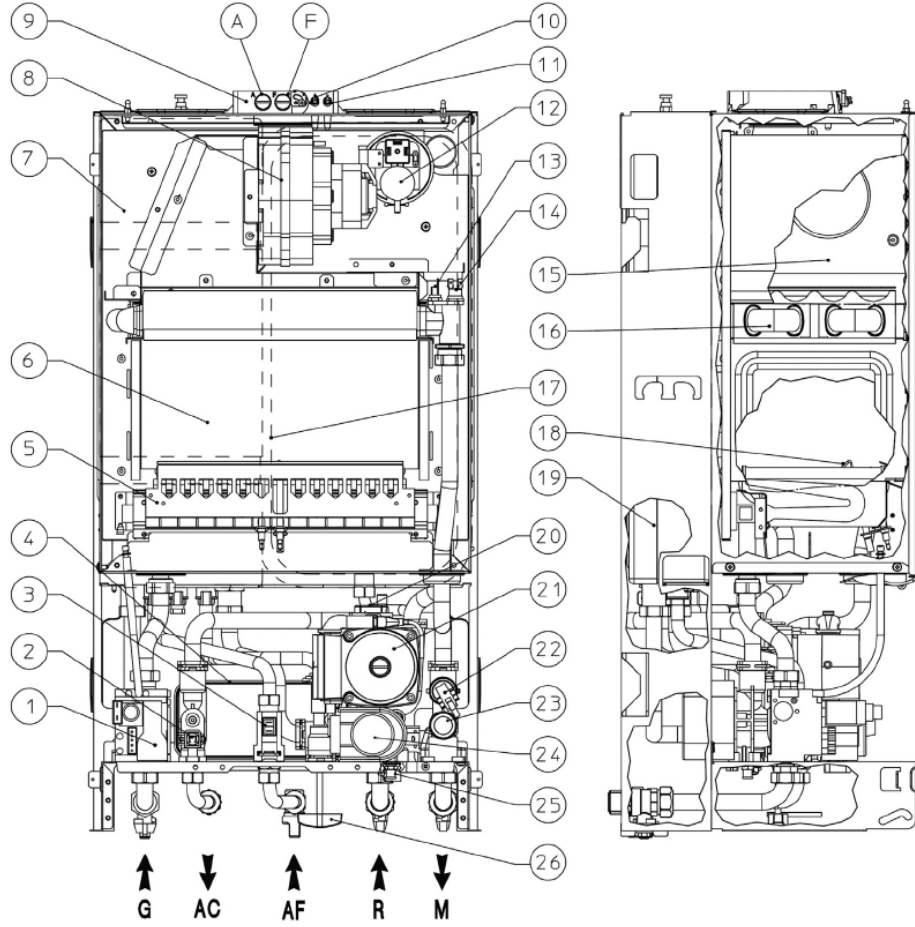
2.1.2.1. Yoğuşmasız hermetik kombi

Sirkülasyon pompası yardımıyla tesisat bölgesinden gelen soğuk suya herhangi bir ön ısıtma yapmadan direk olarak ana eşanjöre yönlendiren kombi türüne yoğuşmasız hermetik kombi denilmektedir (Görsel 2.2). Yanma odasının ihtiyacı olan temiz havayı dış ortamdan alarak, yanma esnasında meydana gelen atık gazı fan yardımı ile atmosfere göndermektedir.



Görsel 2.2. Yoğuşmasız hermetik kombinin çalışma prensibi (Demirdöküm, 2023)

Tesisattan cihaza dönen su, pompa vasıtasıyla bakır lamelli eşanjöre iletilir. Su, eşanjörün lamellerinin bağlandığı bakır borulardan geçirilerek kontrol panosunda kullanıcı tarafından set edilen sıcaklık değerine ısıtılır. Görsel 2.2’de bakır lamelli eşanjöre gösterilmektedir.



Görsel 2.3. Geleneksel "Maior Eolo" kombinin ana bileşenleri Immergas S.p.A 1 - Gaz vanası; 2- Kullanım suyu probu; 3 - Kullanım suyu akış anahtarı; 4 -Plakalı eşanjör; 5 - Brülör; 6 - Yanma odası; 7 Atık gaz sızdırmaz oda; 8 - Fan; 9 - Girişler (hava A) - (bacalar F); 10 - Pozitif sinyal basınç noktası; 11 - Negatif sinyal basınç noktası; 12 - Presostat; 13 - Çıkış sondası; 14 - Emniyet termostatu; 15 - Çekiş yönü değiştirici; 16 - Ana eşanjör; 17 - Sistem genleşme tankı; 18 - Ateşleme ve algılama elektrotları; 19 e "Aqua celeris" sistemi; 20 - Hava tahliye vanası; 21 - Sirkülasyon pompası; 22 - Sistem basınç anahtarı; 23 - Emniyet vanası; 24 - Üç yollu vana (tahrikli); 25 -Sistem boşaltma musluğu; 26 - Sistem doldurma musluğu (Vignali, 2017)

2.1.2.2. Yarı yoğuşmalı hermetik kombi

Yarı yoğuşmalı kombilerde reküperattör yardımıyla tesisat devresinden dönen su pompa vasıtasıyla reküperatöre iletilir. 130°C'lerdeki atık gazdan alüminyum döküm eşanjör vasıtasıyla tesisat dönüş suyuna ısı transferi gerçekleştirilir. Atık gaz enerjisiyle ısıtılan su, ana eşanjörden geçirilerek kontrol panosunda kullanıcı tarafından set edilen sıcaklık değerine ısıtılır. Ana eşanjörde fin yapılarının ısıtma performan etkisi

bulunmaktadır (Arshi Banu, N. S. Ramesh Lohith, Praveen Kalyan, Vempati, & Hemanth Sai, 2022). Görsel 2.4’de reküpertörlü kombinin çalışması gösterilmiştir.



Görsel 2.4. Yarı Yoğuşmalı Kombin Çalışma Prensibi (Demirdöküm, 2023)

Atmosferik brülörlerde, gaz valfinden kollektöre giden gaz enjektörler aracılığı ile brülör kanatları içerisine yönlendirilir. Cihazın içerisine fan aracılığı ile çekilen temiz hava ile brülör kanatları içerisinde karışan gaz ateşleme elektrotu vasıtasıyla tutuşur. İyonizasyon elektrodu alevi algılar ve bu sayede iyonizasyon elektrodu yüzeyinde elektrik akımı oluşur. İyonizasyon elektrodunun yüzeyinde elektrik akımı olduğu sürece gaz yolu açık kalır ve brülör yanma başlar. Brülör enjektör çapları yakıt türüne ve gaz giriş basıncına göre değişkenlik gösterebilir. Üzerinde bulunan selonoid valf ile ana karttan aldığı sinyal ile doğalgaz şebeke hattında kombiye gelen gaz yolunu açar, set edilen sıcaklık değerlerine göre de cihazı min./max. kapasite aralığında modülasyon yapmasını sağlar.

Hermetik cihazlarda atık gazın, cihazın dışına atılmasını ve temiz havanın aynı oranda cihaz içerisine alınmasını sağlayan ekipman fan’dır.

Elektronik karttan gelen enerji ile fan çalışarak tayin edilen basıncı üretir, basınç ile pressostatın kontakları kapanarak fanın çalıştığını ve taze hava-atık gaz sirkülasyonun olduğunu doğrulayarak cihazın ateşleme fonksiyonuna geçmesini sağlar.

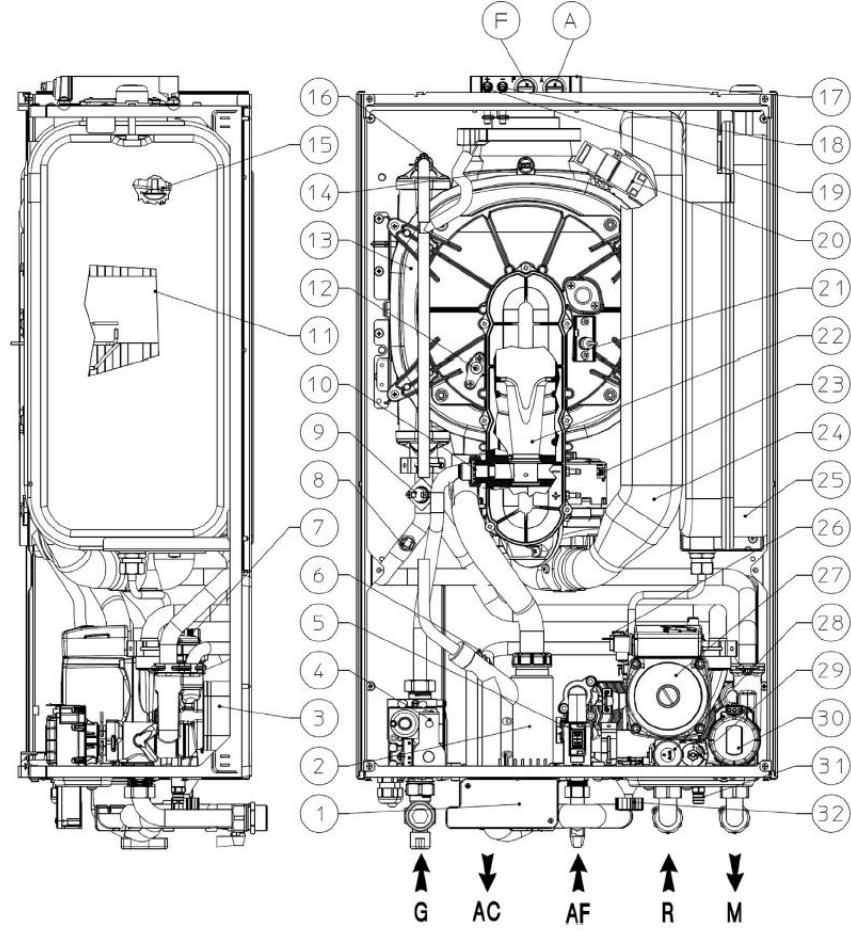
2.1.2.3. Ön karışımli yoğuşmalı hermetik kombi

Ön karışımli hermetik kombilere İngilizce terimden gelen Premix yoğuşmalı kombi denilmektedir. Premix cihazlarda taze havanın brülör içerisine alınmasında radyal (santrifuj) fanlar kullanılmaktadır. Radyal fan yardımı ile doğalgaz ile hava yanma odasındaki yanma oluşmadan önce karıştırılır ve yanma odasına gönderilir (Görsel 2.5).



Görsel 2.5. Ön Karışımli Yoğuşmalı Kombi Çalışma Prensibi (Demirdöküm, 2023)

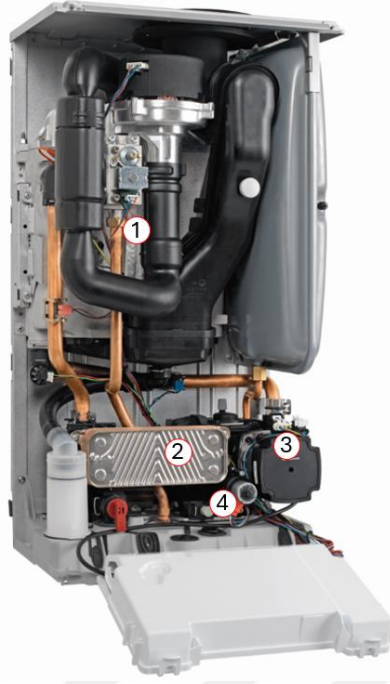
Cihazın içerisine fan aracılığı ile çekilen temiz hava ile gaz karışarak brülörden yanma odasına gönderilir ve ateşleme elektrotu vasıtasıyla tutuşur. İyonizasyon elektrodu alevi algılar ve bu sayede iyonizasyon elektrodu yüzeyinde elektrik akımı oluşur. İyonizasyon elektrodunun yüzeyinde elektrik akımı olduğu sürece gaz yolu açık kalır ve brülör yanma başlar.



Görsel 2.6. "Victrix" yoğuşmalı kazanın ana bileşenleri Immergas S.p.A. 1-Elektrik bağlantı terminal kartı; 2- Kondens tahliye kapanı; 3 - Kullanım suyu ısı eşanjörü; 4- Gaz vanası; 5- Kullanım sıcak suyu akış anahtarı; 6- Kullanım sıcak suyu probu; 7- Hava tahliye vanası; 8-Akış probu; 9- Emniyet termostatu; 10-Gaz nozulu; 11-Brülör; 12-Algılama elektrodu; 13-Yoğuşma modülü; 14-Baca sondası; 15-Isı eşanjörü emniyet termof sigortası; 16- Manuel hava tahliye vanası; 17- Numune noktaları (hava A) ve (baca gazları F); 18-Negatif sinyal basınç noktası; 19-Pozitif sinyal basınç noktası; 20-Ateşleyici; 21- Ateşleme Elektrodu; 22-Venturi; 23-Fan; 24-Hava Giriş Borusu; 25-Sistem genişleme kabı; 26 - Sistem basınç anahtarı; 27-Kazan pompası; 28-3 Bar emniyet valfi; 29-By-pass; 30-3 yollu valf (motorlu); 31- Sistem boşaltma valfi; 32- Sistem doldurma valfi (Vignali, 2017)

2.2. Kombi Çalışma Prensibi

Son yıllarda artan nüfus ile birlikte çevre kirliliği artmıştır. Bununla birlikte 2018 yılında Avrupa ve Türkiye’de yayınlanan regülasyon sonucunda ön karışimli yoğuşmalı kombi dışındaki kombilerin üretimi yasaklanmıştır. Şu an itibariyle sadece ön karışimli yoğuşmalı kombiler üretilmektedir (Görsel 2.7).

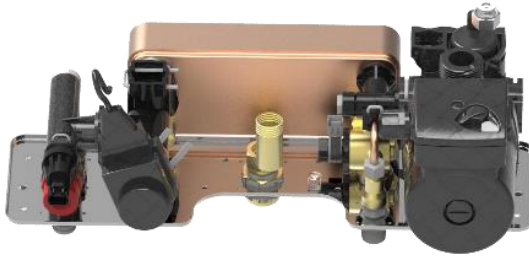


Görsel 2.7. *Kombinin içerisinde yer alan parçalar 1) Ana Eşanjör, 2) Plakalı Eşanjör, 3)Sirkülasyon pompası, 4)Üç Yollu Vana bloğu (Demirdöküm, 2023)*

Ön karışimli yoğuşmalı kombiler genel olarak hidroblok, elektronik kart ve yanma odası olmak üzere 3 ana gruptan oluşmaktadır.

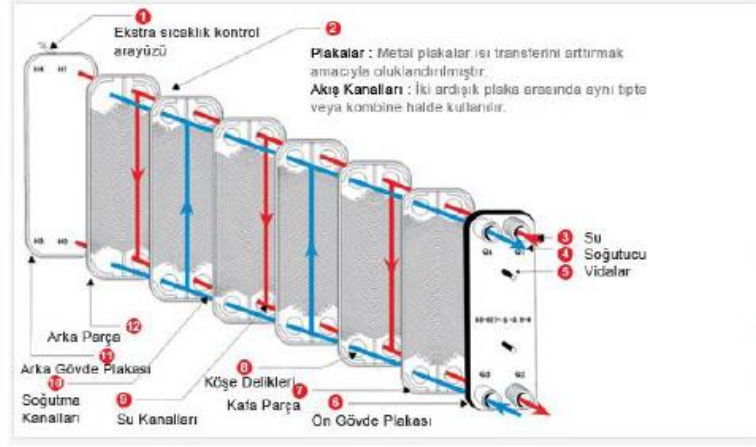
2.2.1. Hidroblok grubu ve parçaları

Pompa, tesisat ve kombide bulunan suyun elektronik karttan aldığı talimatla tesisatta ve kombinin içinde dolaşmasını sağlayan parçadır. Kombinin gücüne göre pompa güçleri de değişmektedir. Kombilerin içerisinde bulunan hidroblok grubu içerisinde sirkülasyon pompası, 3 yollu vana motoru, soğuk su bloğu ve plakalı eşanjör bulunmaktadır.



Görsel 2.8. *Hidroblok Grubu*

Plakalı eşanjörlerde, normal eşanjörlerdeki boruların yerine, bakır plakalar vardır. Yüksek kapasiteli olanların plakaları arasında contalar vardır, kombilerde kullanılanlar da ise birbirine kaynakla birleştirilerek oluşturulan akış kanalları vasıtasıyla, ısı transferi gerçekleştirilir (Görsel 2.9).



Görsel 2.9. Plakalı eşanjöre çalışma prensibi



Görsel 2.10. Plakalı Eşanjör

Üç yollu vana grubu, tesisat konumunda eşanjör çıkışındaki ısıyı arttırılmış tesisat suyunun radyatörlere vs. yönlendirilmesini sağlayan, kullanım suyu ihtiyacı algılandığında ise ana eşanjör çıkışındaki sıcak suyun plakalı eşanjöre yönlendirilmesini sağlayan, üzerinde emniyet ventili, üç yollu vana motoru, su basınç sensörü ve otomatik by-pass' ın bulunduğu gruptur (Görsel 2.11).



Görsel 2.11. 3 Yollu Vana Grubu

Emniyet ventili, kombiyi ve tesisatı yüksek basınçlardan korumak için üç yollu vana grubu çıkışında 3 bar emniyet ventili kullanılır.

Su basınç sensörü, kombi içindeki su basıncını anlamaya yarayan sensördür. Cihazın çalışabilmesi için su basıncı minimum 0,8 bar olmalıdır. Bu değer 0,3 Bar ve altına düştüğünde ise cihazın çalışmasını durdurur ve kullanıcı ekranında düşük basınç hatası belirir.

Otomatik by-pass grubu, kombi üzerindeki pompanın çalışması ile pompa giriş/çıkışı arasında basınç farkı oluşmaktadır. Bu basınç farkı tesisatta herhangi bir sebepten dolayı tıkanıklık yada blokaj olduğunda 0,4 bar. ve üzerine çıktığında otomatik by-pass grubu içindeki yay kuvvetini yenerek, eşanjör çıkışındaki tesisat suyunu pompa girişine yönlendirir. Dolayısıyla tesisat tarafındaki tıkanıklık yada blokaj sebebi ile eşanjör üzerindeki sirkülasyon durmadan ve herhangi bir aşırı ısınma meydana gelmeden devam eder.

Üç yollu vana motoru, üç yollu vana grubu üzerindeki mili, ana karttan gelen enerji ile kullanıcı talebine göre tesisat ya da kullanım suyu konumunda olmasını sağlayan motor grubudur. Tesisat konumunda motor üzerindeki mil içe doğru olan pozisyonudur. Kullanım suyu konumunda ise mil 10 mm dışarı doğru hareket ederek ana eşanjörde ısınan suyun plakalı eşanjöre yönlendirilmesini sağlar (Görsel 2.12).



Görsel 2.12. Üç yollu vana Motoru

Soğuk su bloğu, kombi üzerine şebeke suyu bağlantısının yapıldığı gruptur. Üzerinde doldurma musluğu, debi limitörü, filtre ve su akış sensörü yer almaktadır (Görsel 2.13).



Görsel 2.13. Soğuk Su Bloğu

Genleşme tankı, 80/60°C çalışan kombi ısıtma sistemlerinde 15-20°C'deki şebeke suyu sisteme doldurularak 80°C'lere ısıtıldığında ilk hacminin %3,5'u kadar genişir. Tesisattaki bu genişmeyi alabilmek için genleşme tankları kullanılır. Genleşme tankının içerisinde bulunan membranın bir tarafı azot diğer tarafı ise tesisat suyu ile doludur (Görsel 2.14).



Görsel 2.14. Genleşme Tankı

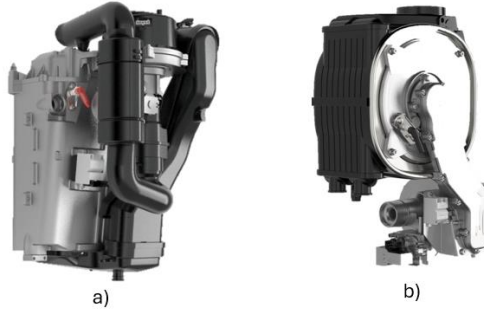
Sirkülasyon pompası, tesisattan gelen suyu ana eşanjöre belli bir basınçta göndermeye yaramaktadır (Görsel 2.15). Soğuk su bloğu, üzerinde bulunan debi limitörü ile (genellikle 8-10 lt/dk, fakat kombi tasarımına göre değişiklik gösterir) kullanım suyundan gelen suyu plakalı eşanjöre göndermeye yaramaktadır.



Görsel 2.15. Sirkülasyon Pompası (Grundfos, 2023)

2.2.2. Yanma odası ve parçaları

Yoğuşmalı kombilerin temel teknolojisi de ısı eşanjörüdür. Ön karışımli kombilerde iki tip eşanjör mevcuttur. Ana eşanjörlerin tasarımları üretici firmaların tasarımına göre değişiklik göstermektedir. Farklı tasarımların yoğuşmalı kombi eşanjörünün performansına etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Lee, Kim, Lee, & Lee, 2011). Fakat malzeme açısından çelik ve alüminyum döküm olmak üzere ikiye ayrılırlar (Görsel 2.16). Ana eşanjörlerin çalışma prensipleri benzerlik göstermektedir. Yoğuşmalı kombi eşanjörü üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yoğuşmalı eşanjörlerinin CO ve NOx emisyonunun korozyon direncine etkisi olduğu tespit edilmiştir (Cao, Liu, & You, 2018).



Görsel 2.16. Ön karışımli yoğuşmalı ana eşanjörler a) alüminyum eşanjör, b) çelik eşanjör

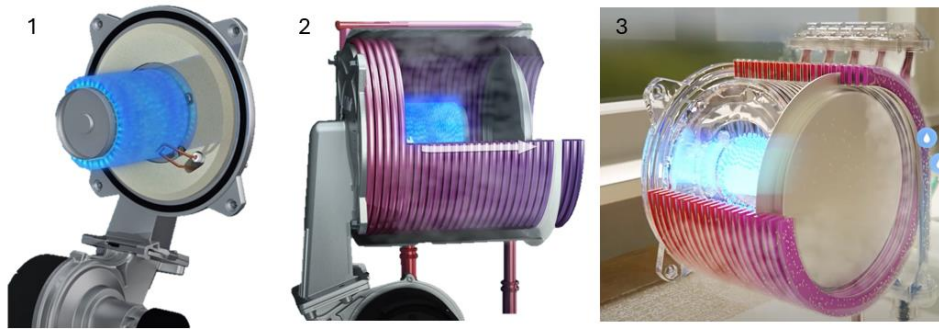
Ön karışimli brülörlerde, fan aracılığı ile dış ortamdan çekilen temiz hava ve gaz valfinden iletilen gaz karıştırılarak “mixing arm” üzerinden brülöre gönderilir. Ön karışimli ürünlerde hava gaz karışımı monotermik ürünlere göre daha idealdir (Görsel 2.17).

Ateşleme ünitesinden gelen enerji ile ateşleme elektrotu hava gaz karışımının tutuşmasını sağlar. Brülörün tutuşması ile iyonizasyon elektrotu ısınır ve yüzeyinde elektrik akımı oluşur. İyonizasyon elektrotunun yüzeyinde elektrik akımı olduğu sürece gaz yolu açık kalır. İyonizasyon elektrotu alevi algılamadığında ise gaz yolu kapanır.



Görsel 2.17. Ön karışimli yağışmalı kombinin yanma odası çalışma prensibi (Riello, 2023)

Çelik eşanjör içerisinde brülör bulunmaktadır. Brülör üzerinde farklı tasarımlarda gaz çıkışının olduğu delikler mevcuttur ve bu delikler sayesinde ateşleme meydana gelmektedir (Görsel 2.18).



Görsel 2.18. Çelik eşanjör içerisinde yanmanın meydana gelmesi (Vaillant, 2023)

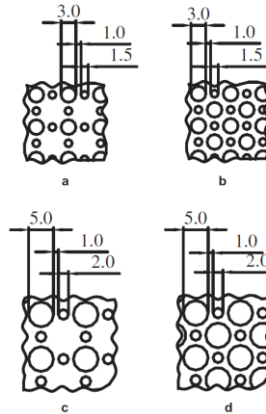
2.2.2.1. Brülör

Kombinin kapasitesi ana eşanjörün yanma odasının hacmine bağlıdır. Yanma odasının hacmine doğru orantılı bir şekilde brülör tasarımı da değişmektedir. Görsel 2.19’de farklı tiplerde brülörler görülmektedir.



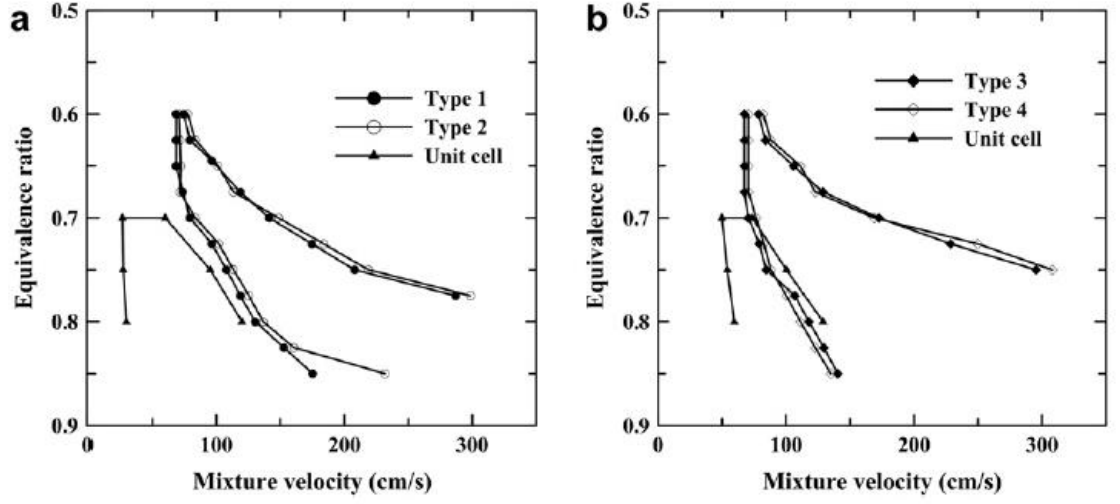
Görsel 2.19. Farklı tiplerde silindirik brülör tasarımları (Polidoro, 2023)

Brülör üzerindeki gaz çıkış delikleri üzerine bir çok çalışmalar yapılmıştır. Özellikle Lee Seungro ve arkadaşlar farklı deliklerin yanmaya olan etkisini incelemiştir. Silindirik çok delikli bir brülörler, ön karıştırmalı daha az NO_x emisyonu üreten ve daha iyi performans gösteren bir yoğuşmalı gaz kazanı kullanımını açısından deneysel olarak incelemişlerdir. Delik çapları ve çok delikli bir brülörün düzenlenmesi düz bir brülör modeli kullanılarak incelenmiştir. Silindirik bir brülör kullanarak alev kararlılığının yanı sıra NO_x ve CO emisyonları için yanma özellikleri incelemişlerdir (Lee, Kum, & Lee, 2011).



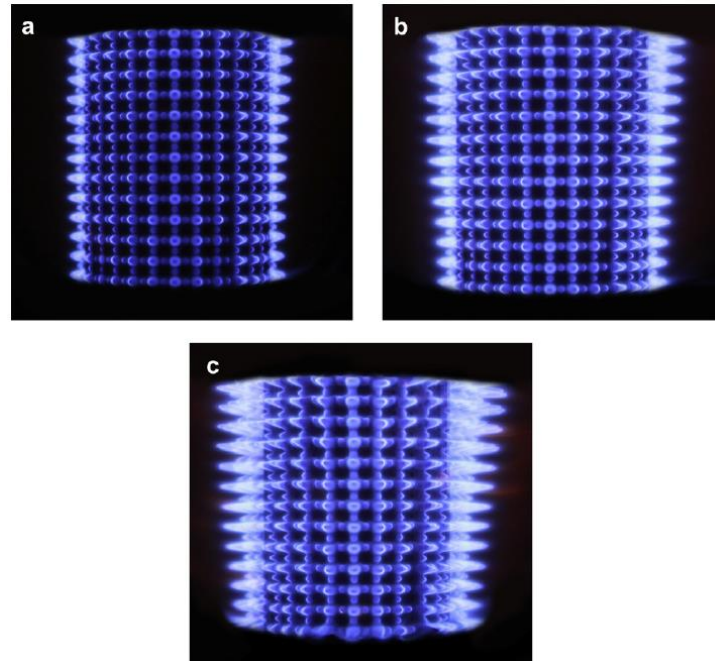
Şekil 2.2. Farklı delik çaplarında brülör tasarımı: a) tip-1, b) tip-2, c) tip-3, d) tip-4 (Lee, Kum, & Lee, 2011)

Lee ve arkadaşlarının Şekil 2.2’de gösterildiği gibi farklı çaplarda yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda farklı çaplardaki tasarımın karışım akışına etkisi olduğu gözlenmiştir.



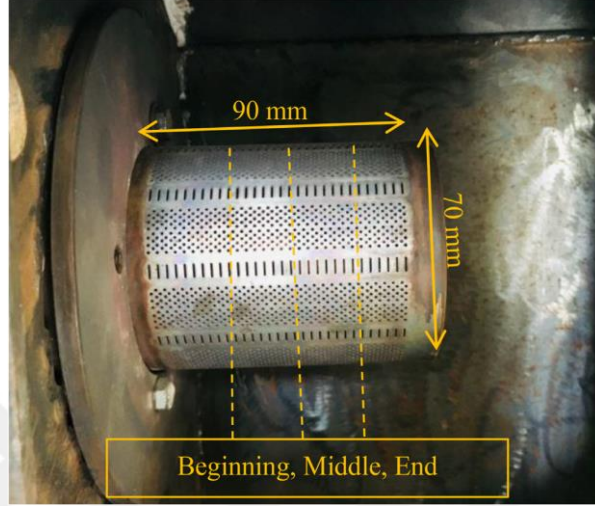
Görsel 2.20. Farklı çaplardaki brülör tasarımının karışım akışına etkisi: a) tip 1-2, b) tip 3-4 (Lee, Kum, & Lee, 2011)

Tip-1 tasarımı ile farklı güçlerde alev dağılımı deneysel olarak incelenmiş ve tasarımın alev dağılımına etkisi görsel olarak görülmüştür (Görsel 2.21).



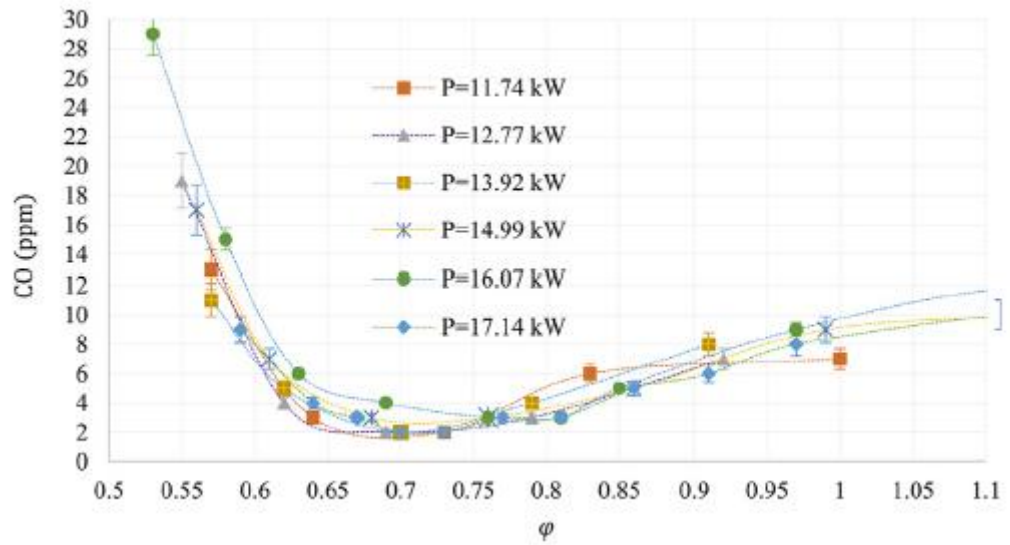
Görsel 2.21. Isı yükünün yanmaya etkisi: a) 13,96 kW, b) 23,26 kW, c) 30,24 kW (Lee, Kum, & Lee, 2011)

Ahmadi ve arkadaşları eşdeğerlilik oranı(gaz/hava karışım oranı) ile yükün yanmaya olan etkisini araştırmıştır. Araştırmalarında eşdeğerlilik oranı 0.4-1.3 ve ısıtma kapasitesi 11.74-17.14kW aralığında kurdukları test düzeneği ile alev boyunu, emisyonu gözlemlemişlerdir (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).



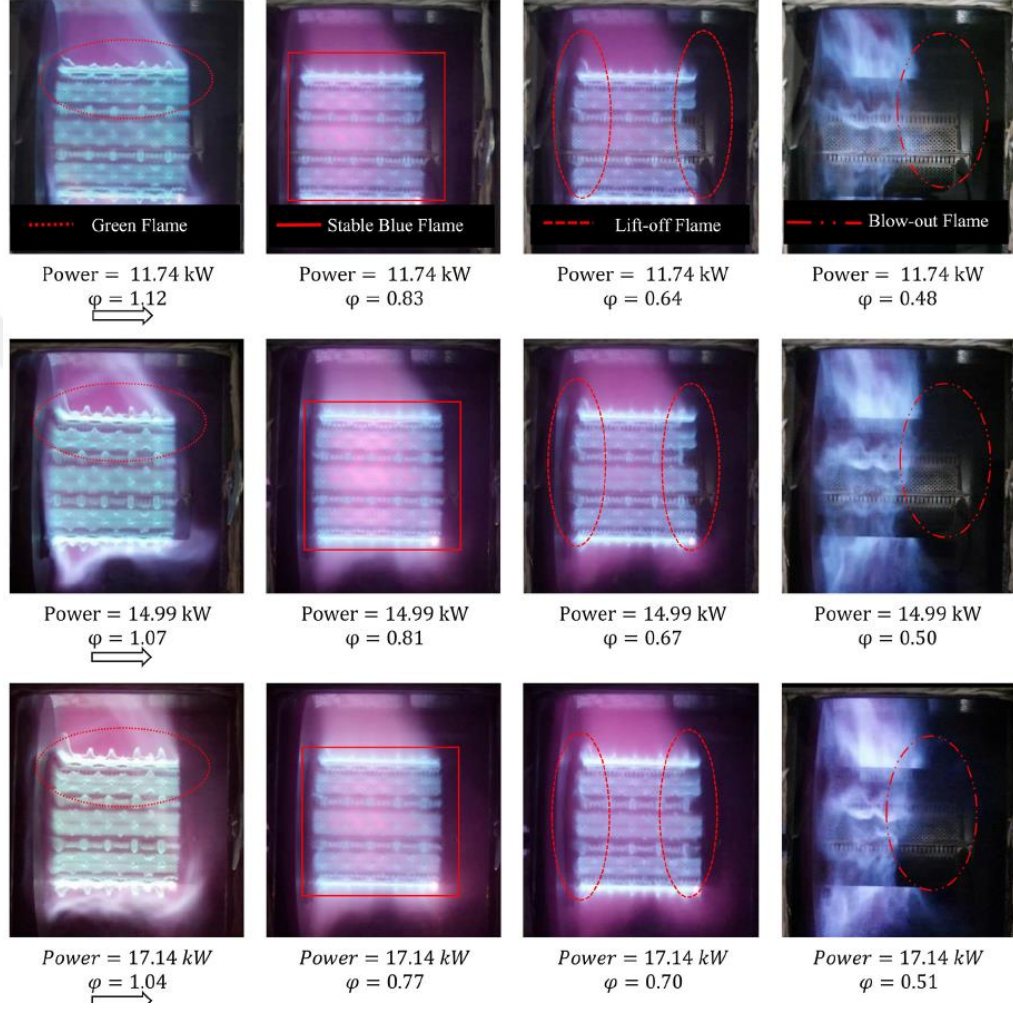
Görsel 2.22. Test düzeneğinde kullanılan brülör (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021)

Gaz ve hava karışımının ana özelliklerinden biriside brülör üzerinde gerçekleşmektedir. Eşdeğerlilik oranı 0,77-0,83 aralığında CO 10 ppm ölçülmüştür (Şekil 2.3) (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).



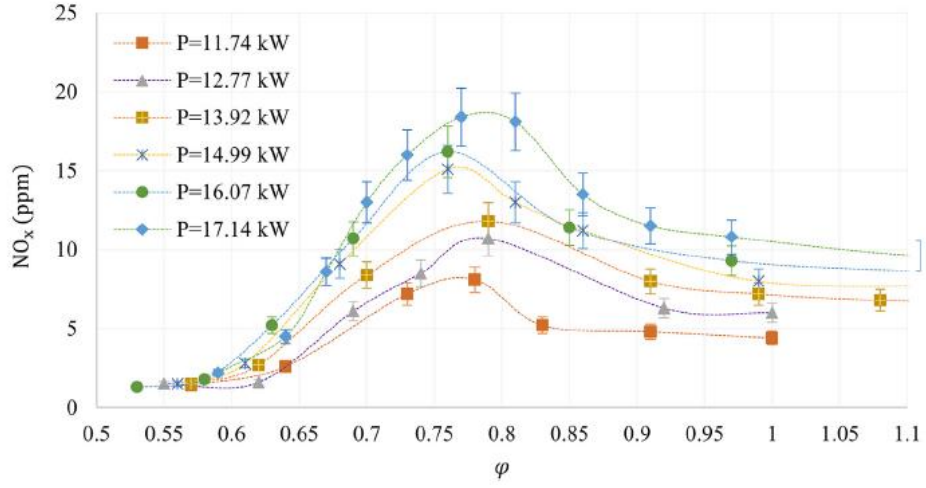
Şekil 2.3. Eşdeğerlilik oranının CO'e etkisi (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021)

Görsel 2.23’de görüldüğü gibi yanmanın görsel olarak eşdeğerlilik oranı 0.4-1.3 ve ısıtma kapasitesi 11.74-17.14 kW aralığında alev boyunu incelediklerinde düşük eşdeğerlilik oranında kararsız bir yanma meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).



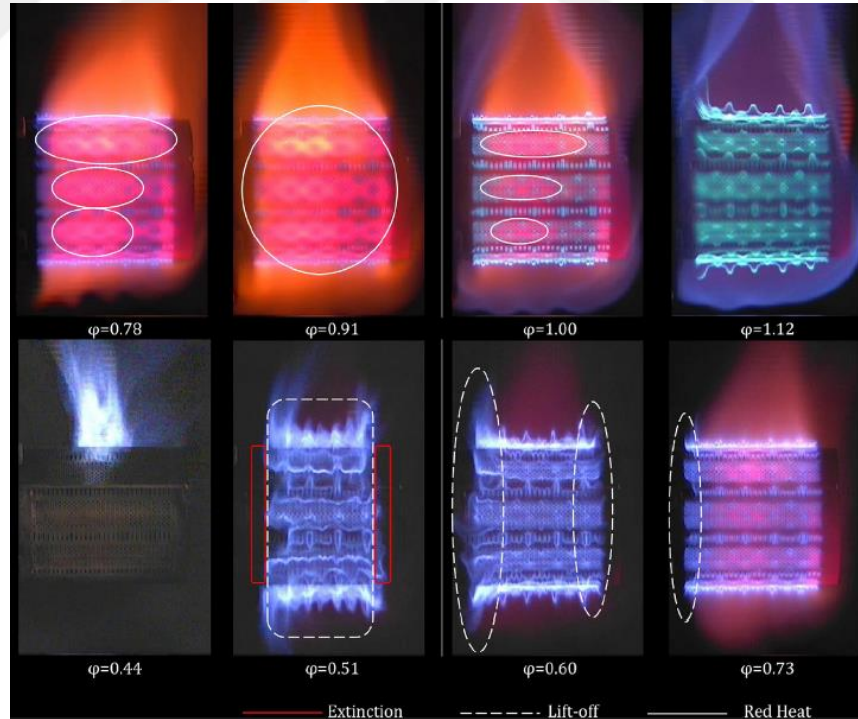
Görsel 2.23. 11.74-17.14kW’de farklı eşdeğerlilik oranlarındaki alev görüntüleri (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021)

Maksimum NO_x değeri 0,76-0,81 eşdeğerlilik oranında ve yüksek güçte ölçülmüştür (Şekil 2.4). Ancak şu an regülasyonun izin verdiği değerden bu rakam çok uzaktır. Bu sebeple brülörün en kararlı çalışacağı aralık 0,77-0,83 eşdeğerlilik oranıdır (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021).



Şekil 2.4. Farklı yüklerde eşdeğerlik oranının NOx'e etkisi (Ahmadi & Zabetian Targhi, 2021)

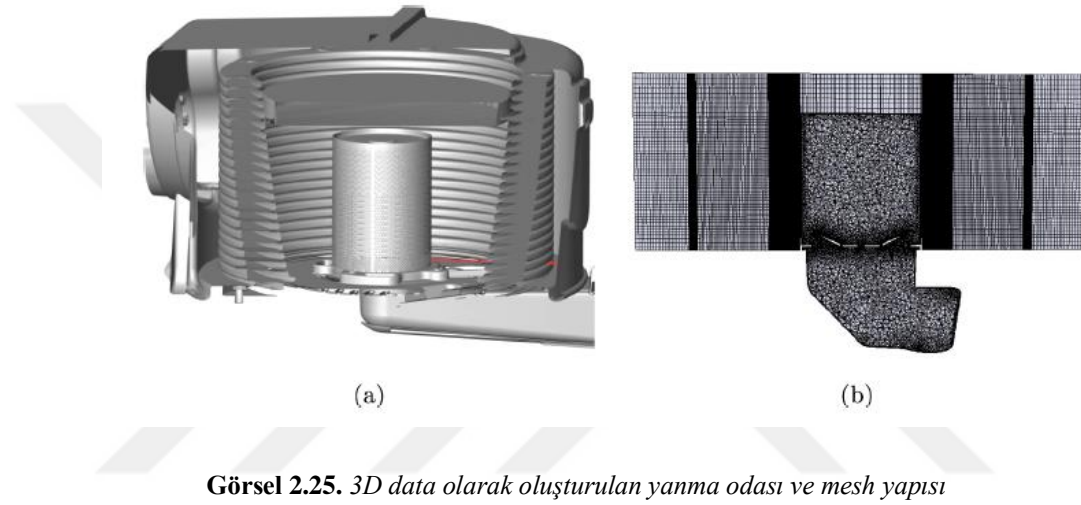
Najarnikoo ve arkadaşlarının yaptığı çalışma da Ahmadi'nin yaptığı çalışmada elde ettiği sonucu desteklemektedir. Görsel 2.24'de görüldüğü gibi farklı eşdeğerlik katsayısında yaptıkları ölçümlerde düşük eşdeğerlik katsayılarında alev kararlılığı bozulmaktadır (Najarnikoo, Targhi, & Pasharshahi, 2019).



Görsel 2.24. Eşdeğerlik katsayısının alev boyuna etkisi (Najarnikoo, Targhi, & Pasharshahi, 2019)

2.3. Yanma Odası İle İlgili Yapılan Simülasyon Çalışmaları

Kombilerin verimliliğini arttırmak için yanma odasında bir çok deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Fakat simülasyon çalışmaları çok fazla ilerlememektedir. Yoğuşmalı gaz kazanları, yanmış gaz sıcaklık dağılımında ve yanma odasındaki yerel kirletici oluşum seviyelerinde kayda değer homojenliklere yol açan karmaşık küresel akış alanı modelleri sergiler. Hinrichs ve arkadaşları silindirik brülör yapısının yanma modelini çıkarmış ve sayısal çalışmalarını yapmıştır.

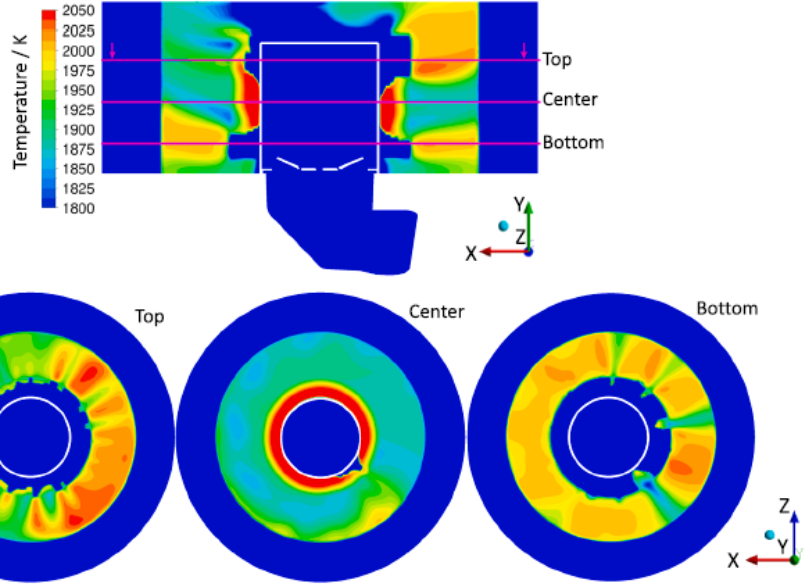


Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda gerçekçi ısıtma sistemlerinin sayısal simülasyonlarını mümkün kılmak için bir modelleme çerçevesi geliştirilmiştir. Yüksek hesaplama süreleri ve oldukça karmaşık geometrilere ortaya çıkan birleşik çoklu fizik yönleri gibi zorluklar ele alınmıştır (Hinrichs, Schweitzer-De Bortoli, & Pitsch, 2021).

Tablo 2.1. Yanma odası simülasyon çalışmaları için sayısal giriş verileri

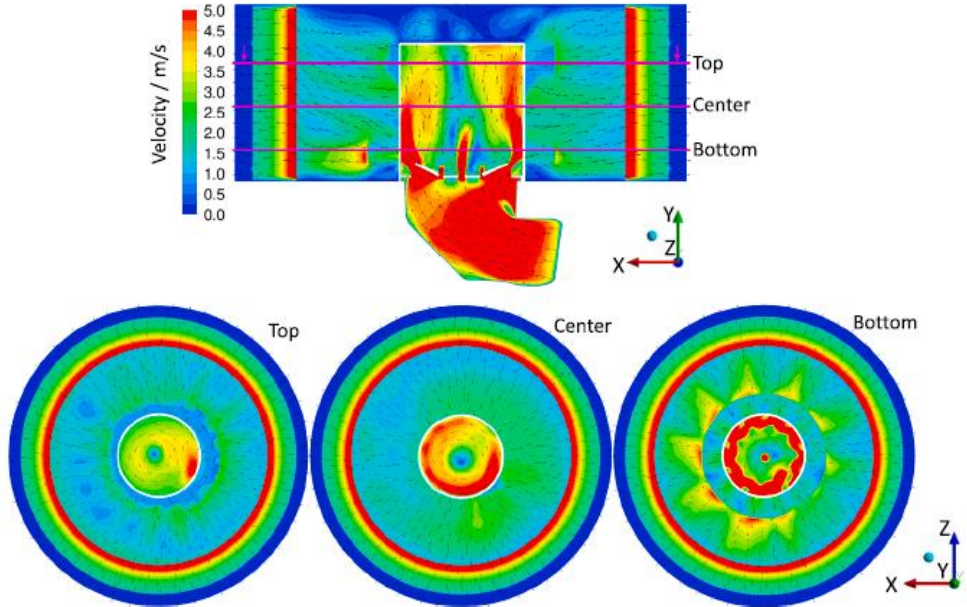
Hücre sayısı	4.4 milyon
Çok delikli brülör çapı	50 μm
Brülör positesi	0.31
Yük	25.2 kW
Eşdeğerlik Katsayısı	0.8
Yakıt	Metan (CH_4)
Ortam Basıncı	1.013 bar

Tablo 2.1’de verilen giriş verileri ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır.



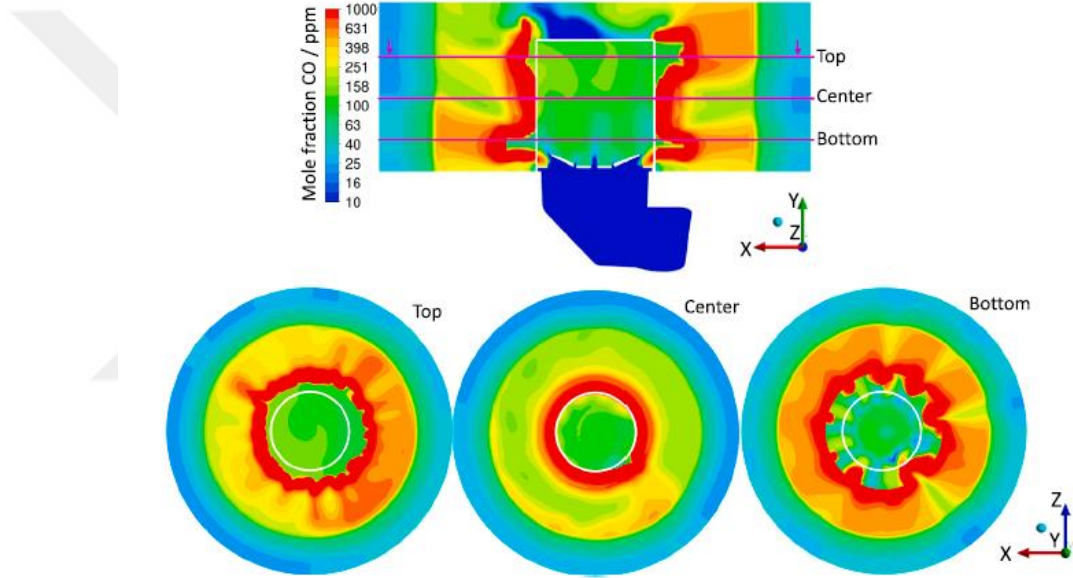
Görsel 2.26. Yanma odasındaki sıcaklık dağılımı

Yanma odasında yapılan sayısal çalışmalarda brülör üzerindeki gaz çıkış deliklerinin mesh sayısını arttırmasından dolayı ısı transfer yüzeyi olarak alınmıştır. Sıcaklık dağılımı ise orta bölgelerde 2000 K'e ulaşmaktadır (Görsel 2.26).



Görsel 2.27. Yanma odası içerisindeki akış dağılımı

CO oluşumunun daha büyük zaman ölçekleri, yerel CO kütle fraksiyonlarının kimya tablosundan doğrudan aranmasını engellediğinden, CO için bir yeniden ölçeklendirme modeli uygulanmışlardır. Tüm modeller, çözümlenmiş simülasyon sonuçlarına ve deneysel ölçümlere göre doğrulanmıştır. Çok delikli brülör gözenekli bir ortam olarak modellenmiştir. Yerel gaz hızlandırma ve ön ısıtma dikkate alınırken tam alev yapısının yanı sıra alev cephesinin arkasındaki devridaim bölgesi de temsil edilememiştir. Hala yanmış gaz sıcaklığını yakalamak için, devridaim bölgesinden kayıp ısı kayıpları modellenmiş ve birleştirilmiştir eşlenik ısı transferi (CHT) modeline dönüştürülmüştür (Hinrichs, Schweitzer-De Bortoli, & Pitsch, 2021).



Görsel 2.28. Yanma odası içerisindeki CO dağılımı

Modelleme çerçevesi ticari bir yoğuşmalı gaz kazanı cihazı nominal yükte yağsız metan-hava karışımı kullanarak. Simülasyon makul göstermektedir deneysel olarak ölçülen emisyon seviyeleri ve CO ve NO_x emisyonlarının iki katına çıktığı kritik bölgeler ile uyum diğer bölgelerdeki kadar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Baca gazı boyunca baca gazında 200 K'lık sıcaklık değişimleri yanma odasında ve çok delikli brülörün katı bölgesinde 450 K bulunmuştur. Bu sonuçlara dayanarak, tasarım unsurları CO ve NO oluşumu ile ilişkilendirilmekte ve olası tasarım değişikliklerine ilişkin öneriler sunulmaktadır. bu tür yoğuşmalı gaz kazanlarının kirletici emisyonlarını daha da azaltmaktadır (Hinrichs, Schweitzer-De Bortoli, & Pitsch, 2021).

3. METAL FİBER TEKNOLOJİSİ

3000 yıldan fazla bir süredir metalik filamentler ve iplikler kullanılmıştır. Altın ve gümüş son derece ince tabakalar halinde dövülerek kesilir ve kurdelelere, kumaşlara işlenir. Bunun için en iyi örnekler İran halıları ve Hint halılarıdır. Yüzyıllar boyunca, krallar ve kraliçeler altın ve gümüş liflerle parıldayan bükülmüş veya pamuk ya da başka bir ipliğin etrafına sarılmış kıyafetler giymişlerdir. 20. yüzyılın ortalarında, daha sanayileşmiş metal fiberlerin çeşitli uygulamalarda kullanımı başladı. Dobeckmum Şirketi'nin ürettiği ilk modern metal elyafı 1946 yılında üretildi. 1960'ların başında Brunswick şirketi bir metal elyaf geliştirmek için bir araştırma programı yürüttü ve ardından laboratuvar ölçekli pilot tesislerde metalik filamentler üretmeye başladılar. 1964 yılına gelindiğinde Brunswick firması 304 tipi paslanmaz çelikten 1 µm kadar küçük ince metal lifler ürettiyordu. Metal lifler artık yaygın olarak üretilmekte ve her türlü teknolojiye geniş bir yelpazeye sahip olgun bir sektör uygulamalarının başında geliyordu (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).



Görsel 3.1. Metal fiber ip makarası (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)

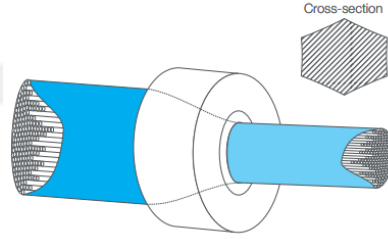
Metal fiber yapıları ve ürünler yüksek porozite gibi belirli uygulamalarda fonksiyona fayda sağlayan mükemmel özellikler sergiler. Düşük elektrik direnci gerektiren uygulamalar için uygundur. Şok direnci ve korozyon direnci yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)

3.1. Metal Fiber Üretim Metodları

Metal fiber üretiminin birkaç yolu vardır. Örgülü, dokuma veya dokuma olmayan ürünler daha sonra örme haline dönüştürülebilir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı veya elektrostatik korumaya sahiptirler.

3.1.1. Demet çekme

Üçüncü düzey başlıklar sola dayalı ve kalın (bold) olmalı, ilk sözcüğün baş harfi büyük yazılmalıdır. Paket çizimi En yaygın teknoloji demet çekme olarak bilinir. Binlerce filament, kompozit tel olarak adlandırılan ve çapını daha da küçültmek için bir kalıptan çekilen bir tüp içinde bir araya getirilir. Kaplama tüpü daha sonra asit içinde çözülerek tek tek sürekli metal lifler elde edilir. Bu kompozit tel, istenen bireysel çapa ulaşılan kadar çekilmeye devam edilir ve demet içindeki filamentler elde edilir (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).



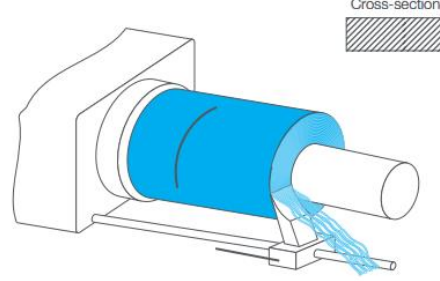
Görsel 3.2. Demet çekme metodu (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)

Demet çekme teknolojisi, sürekli metal elyaf üretimi birkaç uzunluğa kadar olan demetler kilometrelerce uzun olmasına olanak sağlar. Sürecin doğası gereği liflerin kesiti sekizgen şeklindedir. Yüksek kaliteli lifler elde etmek için bu teknolojisine ince ayar yapılabilir, bu da çok dar bir aralıkta tek tip, çok ince lifler elde edilmesini sağlar. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda elyaf üretimi için kullanılacak teknoloji çapları 200 nm ve altı kadar küçülmüştür (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).

3.1.2. Folyo tıraşlama

Folyo tıraşlama teknolojisi ile çapları 14 μm 'ye kadar ve daha dikdörtgen bir kesit mümkündür. Bu, yarı sürekli lif demetleri veya kesikli lifler üretilir. Görsel 3.3'deki gibi

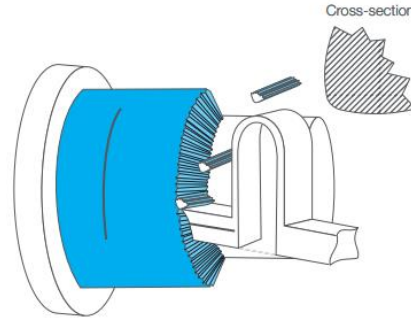
kesici uç yardımı ile metal fiber bloğu tranlaşanarak lif haline getirilmektedir (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).



Görsel 3.3. Folyo traşlama yöntemi (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)

3.1.3. Taşlama

Talaşlı İmalat Kesikli liflerin işlenmesi, 10 μm 'ye kadar yarı sürekli lif demetleri üretebilir. Kesikli elyaf üretiminin iyileştirilmesi, bu tür elyaflarda dar bir çap yayılımının yanı sıra elyafın geometrisinin ayarlanmasına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, ulaşılabilen küçük çaplar ve nispeten küçük çap yayılımı nedeniyle folyo traşlama veya eriyik eğirmeden elde edilen elyaflara kıyasla benzersizdir (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).

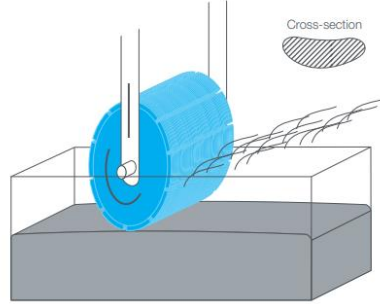


Görsel 3.4. Taşlama yöntemi ile üretim (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)

3.1.4. Eriyik eğirme yöntemi

Eriyik eğirme ile yarı devamlı elyaf üretimi sıvı metalin dönen bir soğutmalı çark metal üzerinde hızlı katılaşması ile elde edilen liflerdir. Bu lifler kabadır ve tipik olarak

40 μ m'nin üzerinde 250 μ m'ye kadar fiber çapı ve böbrek şeklinde bir enine kesite sahiptir (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017).



Görsel 3.5. Eriyik eğirme yöntemi (Vleurinck & De Baerdemaeker, 2017)

3.2. Metal Fiber İle Yapılan Çalışmalar

Metal fiber özellikle yüksek sıcaklık mukavemetinden dolayı otomotiv, havacılık, ısıtma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Metal fiberler, yüksek ısıl ve elektriksel iletkenlikleri, korozyon direnci ve mükemmel mekanik dayanıklılıkları nedeniyle son derece yaygındır. Kombi yanma odasında yapılan çalışmalarda metal fiber malzemesinin paslanmaz çelik brülöre göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Liu, Zheng, & Zhang, 2020).

Liu ve arkadaşları metal fiber kaplı brülör ile 304 paslanmaz çelikten üretilmiş brülör tasarımını deneysel olarak kıyaslamıştır. Yaptıkları çalışmada metal fiber ve paslanmaz çelik malzemesinin ölçümlerini yapmıştır (Tablo 3.1).



Görsel 3.6. Metal Fiber (MF), Paslanmaz çelik(PÇ) brülör

Tablo 3.1. Brülörün geometrik ölçüleri

Brülör Tipi	Metal Fiber (MF)	Paslanmaz Çelik (PÇ)
Brülör Ebatı	Çap 63 mm ve boy 94 mm	Çap 63 mm ve boy 94 mm
Delik alanı	2250 mm ²	2260 mm ²
Delik alanı Yüzdesi	12%	10%
Hava katsayısı	1.05, 1.1, 1.15, 1.2, 1.25, 1.3, 1.35, 1.4	
Yük	9 – 24 kW	

Metal fiber brülör içerisinde genellikle infared yanma modu ve mavi alev yanma modeli olmak üzere iki yanma modu bulunmaktadır. Görsel 3.7 de iki moda ait görseller gösterilmektedir. Metal fiber kumaş kırmızı şekilde yanmaktadır ve enerjiyi infared şeklinde iletmektedir. Sıcaklık değişimi ile birlikte yanma yüzeyi turuncudan sarıya dönmektedir. Ayrıca düşük yanma sıcaklığından dolayı NO_x emisyonu çok düşüktür. Yanma şiddeti 1000 kW/m²'nin üzerine çıktığında mavi yanma moduna dönüşmektedir. Mavi yanma modu altında yanma metal fiber kumaşı üzerinde meydana gelmektedir. Bu sırada, metal fiber kumaş sıcaklığı çok düşüktür ve metal fiber kumaş yüzeyindeki mavi alev enerjiyi hava yardımıyla transfer etmektedir. Mavi alev yanması yüksek yanma şiddeti içermektedir (Fengguo, Longfeng, & Rui, 2020).



Kızarmış alev yanma modeli

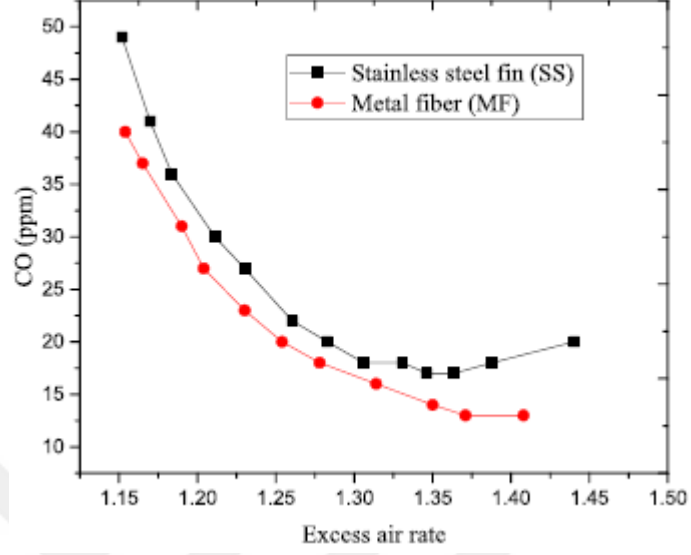


Mavi alev yanma modeli

Görsel 3.7. Yanma da meydana gelen iki mod

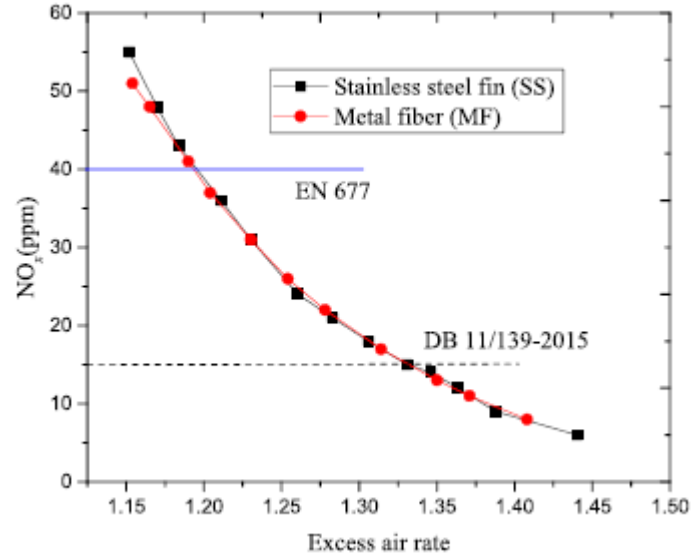
Yapılan çalışmalarda izin verilen hava akışına göre 1.15-1.4 ve yük 24kW olduğunda paslanmaz çeliğin CO emisyon metal fiber kaplı brülöre daha yüksektir.

Paslanmaz çelik brülöre CO emisyonu ilk önce yükselmektedir daha sonra düşmektedir. Metal fiber de aynı zamanda düşmektedir (Şekil 3.1). (Liu, Zheng, & Zhang, 2020)



Şekil 3.1. Hava akış oranının CO etkisi

Şekil 3.2'e göre 1.15 ile 1.4 hava akış oranı değişikliğine göre NOx değişkenliği gösterilmektedir. İki brülöre ait NOx emisyonu benzer değişiklik göstermektedir (Liu, Zheng, & Zhang, 2020).



Şekil 3.2. Hava akış oranının NOx emisyon etkisi

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Tezin Amacı ve Genel Yapısı

Bu tezde ön karışimli yoğuşmalı kombilerin yanma odasında kullanılan paslanmaz çelik brülör tasarımı ve yeni geliştirilmiş farklı tasarımlarda metal fiber kaplamasının kombinin yanma verimine olan etkisi araştırılmış ve iyileştirme hedeflenmiştir. Tez çalışmaları üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada uygun brülör tasarımı ve yanma odası cihazı seçilmiştir. Birçok markaya ait kombi ve yanma odası mevcuttur. Yanma odası içerisinde meydana gelebilecek mekanik özellik sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlar çerçevesinde en uygun şekil alabilir malzeme olarak brülöre montajı yapılabilecek metal fiber malzemesi, farklı tasarımlar üzerinde 3 adet üretilebilir tasarım oluşturulmuştur. Özellikle metal fiber kaplı brülörün yanmaya olan etkisi Bölüm 3.2’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Tasarımları tamamlanan metal fiberler, tasarıma uygun bir şekilde FeCr alaşımından oluşan iplik şeklinde üretilerek brülör üzerine lazer kaynak yapılmıştır.

İkinci aşamada tasarımı oluşturulan ve üretilen metal fiber malzemeler ile paslanmaz çelik brülörün geometrik ölçümleri yapılarak tekrardan 3D data olarak brülör üzerine tasarımı Siemens NX programıyla yapılmıştır. Tasarımı yapılan 304 paslanmaz çelik brülör ile 3 farklı tasarıma ait metal fiber malzemesinin Ansys programı kullanılarak akış ve sıcaklık dağılımları çıkarılmıştır.

Üçüncü aşamada mevcut 304 paslanmaz çelik brülör ile 3 farklı tasarıma ait metal fiber kaplamalı brülör kombiye montajı yapılarak yanma testleri yapılmıştır. Ayrıca FLIR marka termal kamera yardımıyla açık hava atmosferde brülörlerin aley boyları, dağılımları ve sıcaklıkları incelenmiştir.

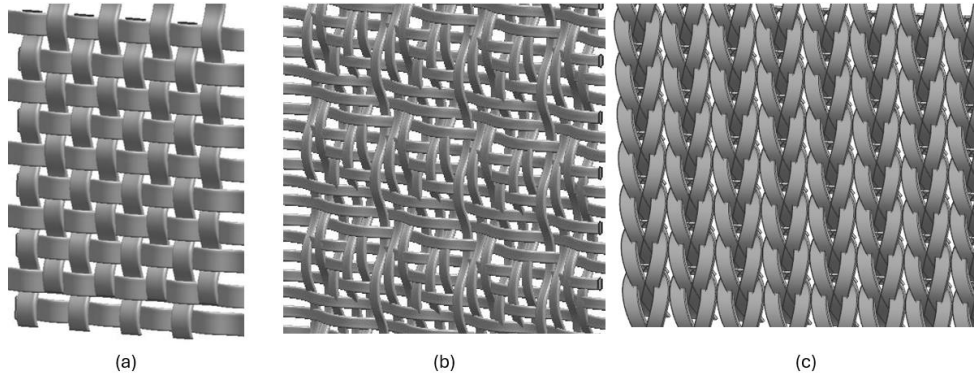
4.2. Metal Fiber Tasarımı Oluşturulması

Yapılan literatür araştırmasına göre şekil verilebilmesi için FeCr alaşımından oluşan metal fiber malzemesi kaplama olarak seçilmiştir. Tablo 4.1’de FeCr alaşımının içeriği gösterilmektedir. Kumaş şeklinde metal fiber yapılacağı için örme cihazının izin verdiği ölçüde 3 adet farklı tasarım yapılmıştır. Bu tasarımların arasındaki fark yüzlerinde porozite miktarı ve boşluk çapıdır.

Tablo 4.1. FeCr metal fiber alaşımının % malzeme bileşeni

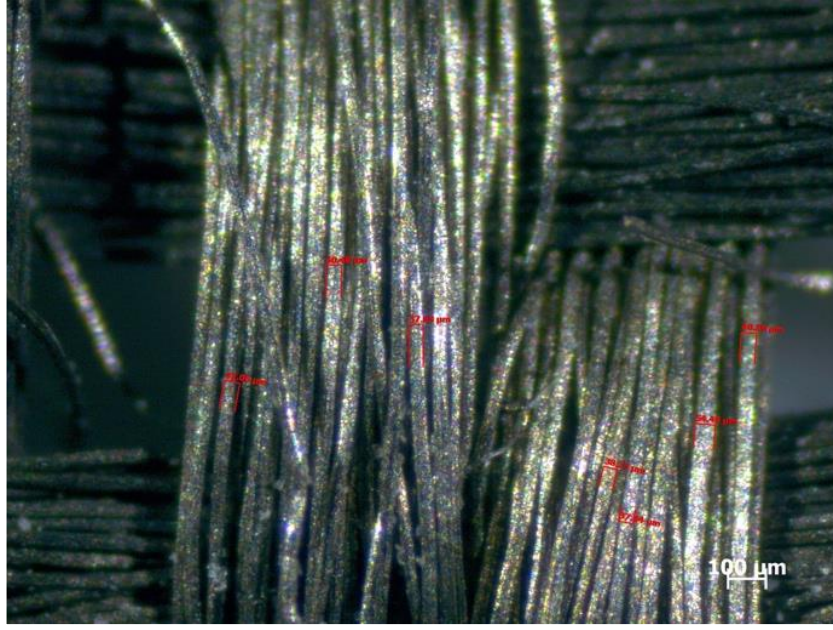
Malzeme Bileşeni	%
C	0.024
Mn	0.2
Si	0.001
Al	5.87
Cr	20.34
Ti	0.037
S	0.001
P	0.012
Fe	73.515

Siemens NX programı kullanılarak kk ölçeklerde örme teknikleri üzerinde çalışılmış ve en son 3 adet tasarımda karar kılınmıştır.



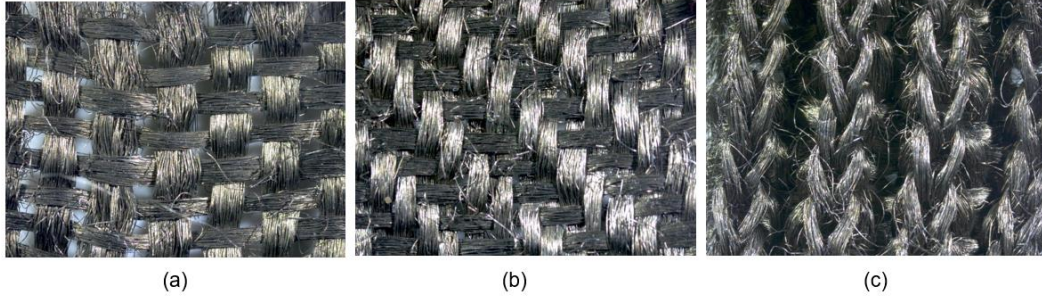
Görsel 4.1. Metal fiber tasarımları: a) A-tipi, b) B-tipi c) C-tipi

Tasarımı oluşturulan metal fiber parçalarının örme tekniklerine göre farklılık gösterilmektedir. Temin edilen FeCr alaşım metal fiber ipliği 27-42 μm kalınlığında gelmektedir (Görsel 4.2).



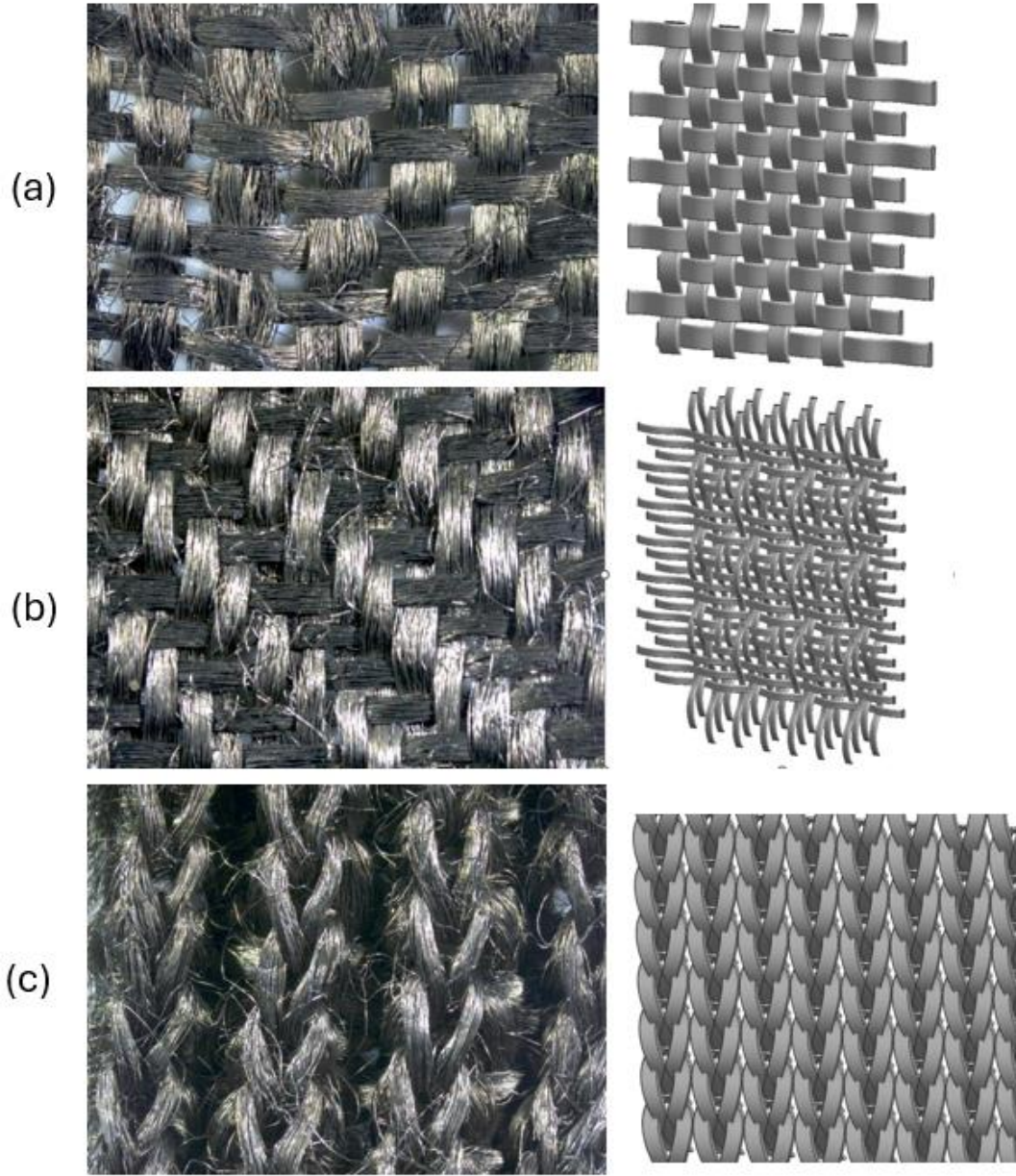
Görsel 4.2. Metal fiber kalınlığı

Tasarımına karar verdiğimiz şekilde 27-42 27-42 µm aralığındaki metal fiberler demet haline getirilerek Polidoro firması içerisinde özel bir cihaz yardımıyla tasarımlar testlerde kullanılmak üzere 300 x 300 mm ebatlarında örülmüştür (Görsel 4.3).



Görsel 4.3. A-B-C Tipi tasarımlarına göre örülmüş metal fiberler

Siemens NX programında tasarımı yapılan örgü tiplerinin karşılaştırılmaları yapılmış ve örgü üretim teknolojisinden dolayı farklılıklar tespit edilmiştir. Genel olarak boşluklar, demet kalınlıkları arasında farklılıklar göstermektedir (Görsel 4.4).



Görsel 4.4. *A-B-C Tipi örgü tipi ile tasarımının görsel olarak karşılaştırılması*

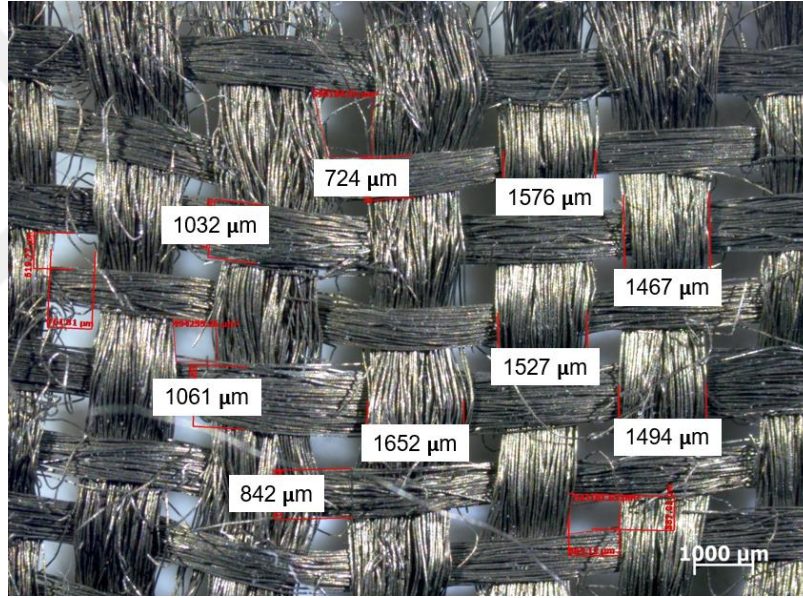
Bunun sonucunda yapılacak simülasyon analizlerin gerçeğe yakın değerler verebilmesi için örülen fiber parçaların ölçümleri yapılarak brülör üzerine tasarım yapılmıştır.

4.3. Metal Fiber Parçalarının Ölçümü

A-B ve C tipi metal fiber parçalarından 10x10 mm ebatlarında dremel metal kesici uç ile kesilerek Olympus marka optik mikroskop kullanılarak belli alandaki demet kalınlıkları ve boşlukları ölçülmüştür.

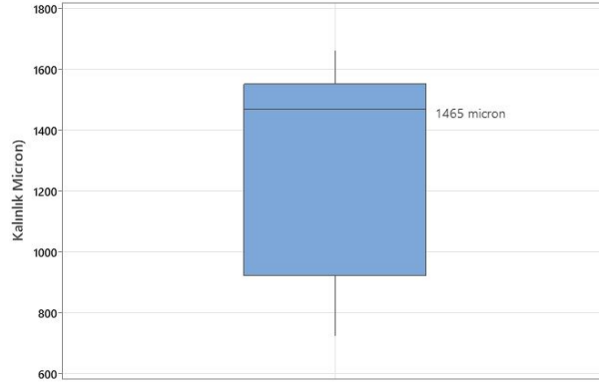
4.3.1. A tipi metal fiber parçasının ölçümü

Optik mikroskopta 1x büyütmede belli bir alanda örnekleme olarak ölçümler alınmıştır. Ölçümlerin sonucunda A tipi metal fiber parçasının demet kalınlıklarının ölçümleri 727 μ m ile 1652 μ m aralığında gelmektedir. Boşluk miktarı da 500 μ m kenar uzunluğu ve kare şeklinde gelmektedir (Görsel 4.5).



Görsel 4.5. A Tipi metal fiber demet kalınlığı ve boşluk mesafesi

Özellikle demet kalınlıklarının göstermiş olduğu değişkenlikten dolayı oluşturulacak tasarımdaki değer Minitab programında boxplot analizi yardımıyla tespit edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. A Tipi demet kalınlığı boxplot analizi

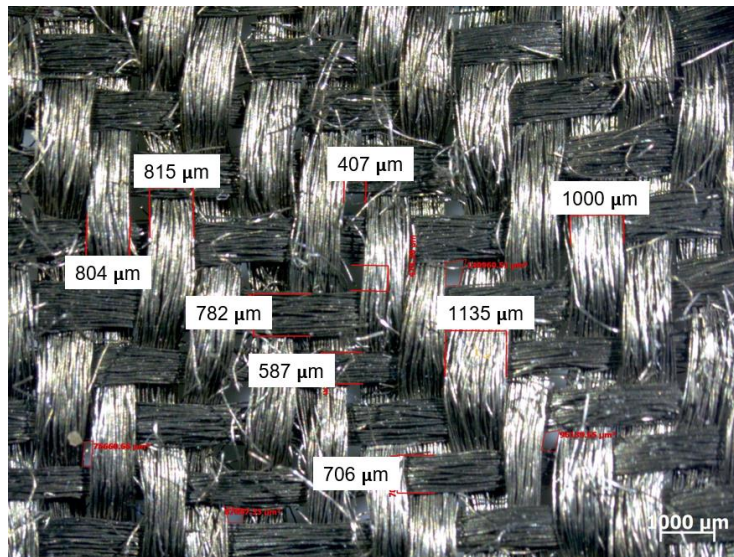
Minitab programında yapılan ölçümler sonunda ağırlıklı ortalama değer 1467 μm çıkmıştır (Tablo 4.2). Tasarımda demet kalınlığının 1467 μm ve boşluğun 500 μm olması gerekmektedir.

Tablo 4.2. A Tipi demet kalınlığı ölçüm sonucu

	Minimum	Maksimum	Ağırlıklı Ortalama
Kalınlık μm	724	1662	1467

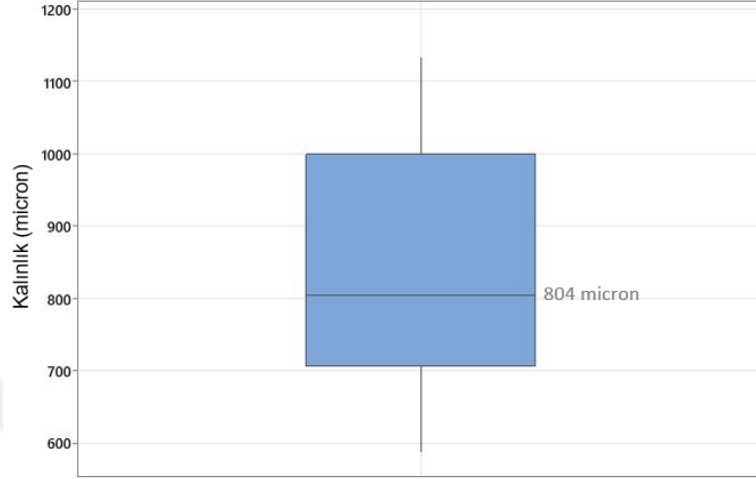
4.3.2. B tipi metal fiber parçasının ölçümü

Yapılan ölçümlerin sonucunda B tipi metal fiber parçasının demet kalınlıklarının ölçümleri 407 μm ile 1135 μm aralığında gelmektedir. Boşluk miktarı da 300 μm kenar uzunluğu ve kare şeklinde gelmektedir (Görsel 4.6).



Görsel 4.6. B Tipi metal fiber demet kalınlığı ve boşluk mesafesi

Özellikle demet kalınlıklarının göstermiş olduğu değişkenlikten dolayı oluşturulacak tasarımdaki değer Minitab programında boxplot analizi yardımıyla tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. B Tipi demet kalınlığı boxplot analizi

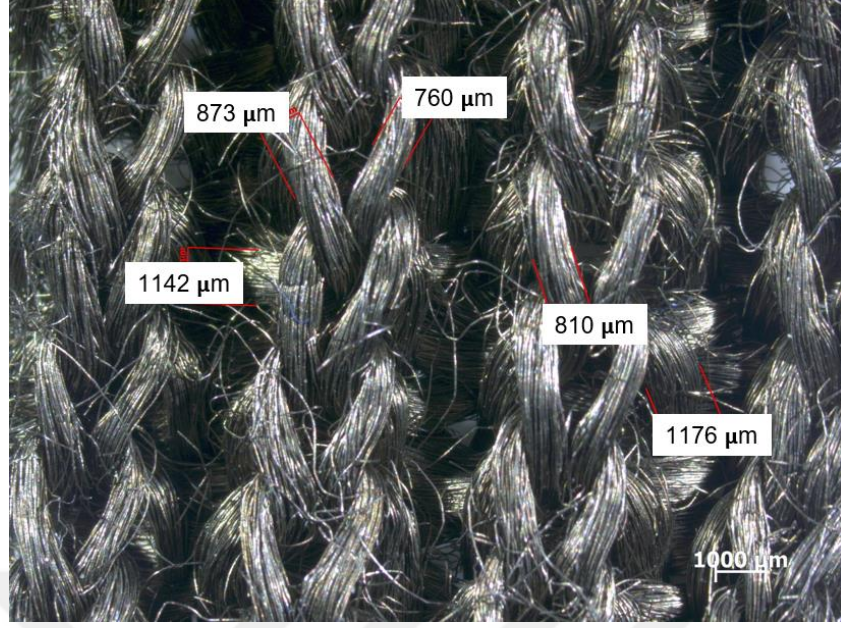
Minitab programında yapılan ölçümler sonunda ağırlıklı ortalama değer 804 μm çıkmıştır (Tablo 4.3). Tasarımda demet kalınlığının 804 μm ve boşluğun 500 μm olması gerekmektedir.

Tablo 4.3. B Tipi demet kalınlığı ölçüm sonucu

	Minimum	Maksimum	Ağırlıklı Ortalama
Kalınlık μm	407	1135	804

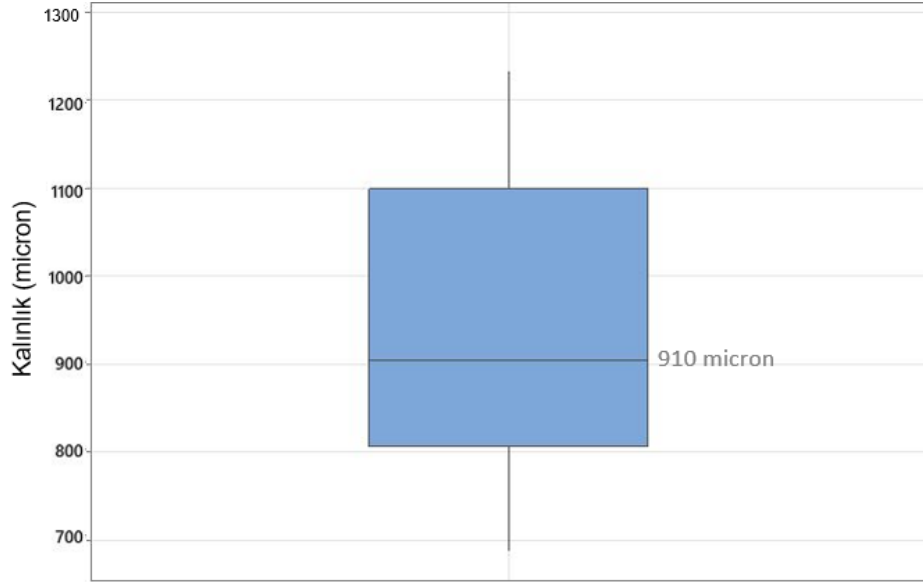
4.3.3. C tipi metal fiber parçasının ölçümü

Yapılan ölçümlerin sonucunda C tipi metal fiber parçasının demet kalınlıklarının ölçümleri 760 μm ile 1176 μm aralığında gelmektedir. Boşluk miktarı 250 μm kenar uzunluğu ve üçgen şeklinde gelmektedir (Görsel 4.7).



Görsel 4.7. C Tipi metal fiber demet kalınlığı ve boşluk mesafesi

Demet kalınlıklarının göstermiş olduğu değişkenlikten dolayı oluşturulacak tasarımdaki değer Minitab programında boxplot analizi yardımıyla tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. C Tipi demet kalınlığı boxplot analizi

Minitab programında yapılan ölçümler sonunda ağırlıklı ortalama değer 910 μm çıkmıştır (Tablo 4.4). Tasarımda demet kalınlığının 910 μm ve boşluğunun 250 μm olması gerekmektedir.

Tablo 4.4. C Tipi demet kalınlığı ölçüm sonucu

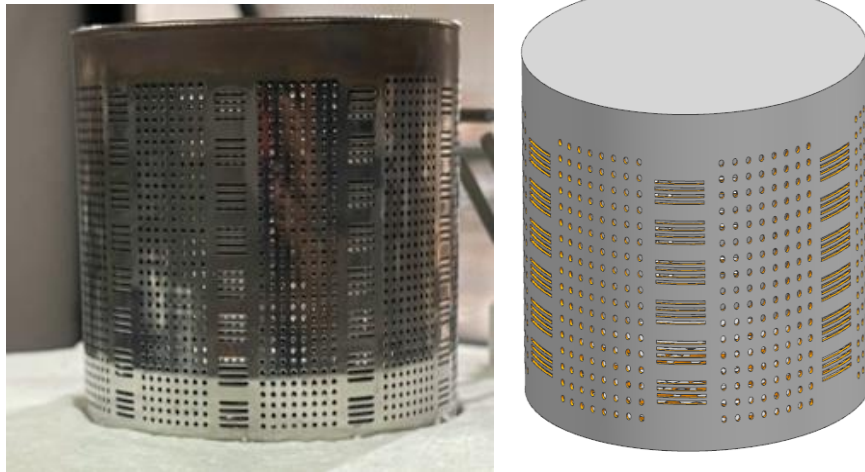
	Minimum	Maksimum	Ağırlıklı Ortalama
Kalınlık μm	760	1176	910

4.4. Yanma Odası Ve Parçalarının Tasarımının Oluşturulması

Simülasyon çalışmaları için yanma odası ve içerisindeki parçaların tasarımları Siemens NX programı ile yapılmıştır. Mevcut brülör tasarımı 3D olarak çizilerek sayısal ortama aktarılmıştır. 304 Paslanmaz çelik brülör tasarımı Tablo 4.5’deki verilere göre çizilmiştir (Şekil 4.8).

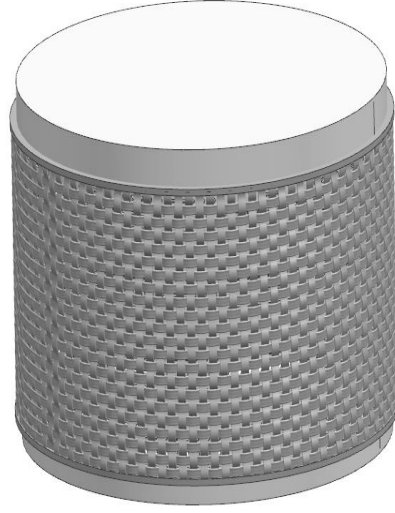
Tablo 4.5. Brülör tasarımını oluşturan kriterler

Brülör Tipi	Paslanmaz Çelik (PÇ)
Brülör Ebatı	Çap 70 mm ve boy 54 mm
Delik alanı	1361 mm ²
Delik alanı yüzdesi	% 11,46
Delik çapı (mm)	1.00



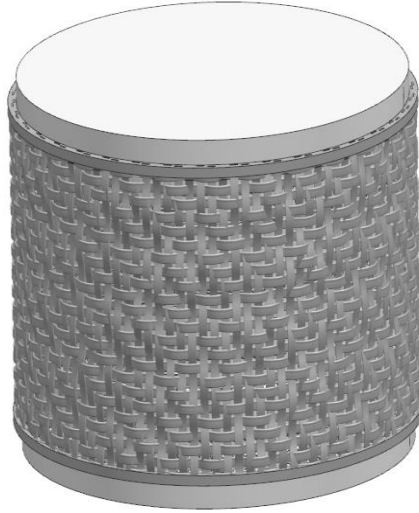
Görsel 4.8. 3D modeli çıkarılmış 304 paslanmaz brülör tasarımı ile gerçek brülör tasarımı kıyaslaması

Bölüm 4.3.1’e göre A tipi metal fiber 3D tasarımı oluşturulmuş ve paslanmaz çelik brülör üzerine tasarımda yerleştirilmiştir (Görsel 4.9). Metal fiber kaplaması bütün brülör üzerindeki deliklerin üzerine gelecek şekilde çizilmiştir.



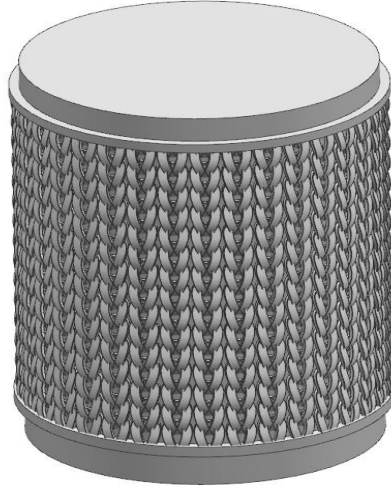
Görsel 4.9. *A tipi metal fiber giydirilmiş brülör tasarımı*

Bölüm 4.3.2'e göre B tipi metal fiber 3D tasarımı oluşturulmuş ve paslanmaz çelik brülör üzerine tasarımda yerleştirilmiştir (Görsel 4.10). Metal fiber kaplaması bütün brülör üzerindeki deliklerin üzerine gelecek şekilde çizilmiştir.



Görsel 4.10. *B tipi metal fiber giydirilmiş brülör tasarımı*

Bölüm 4.3.3'e göre C tipi metal fiber 3D tasarımı oluşturulmuş ve paslanmaz çelik brülör üzerine tasarımda yerleştirilmiştir (Görsel 4.11). Metal fiber kaplaması bütün brülör üzerindeki deliklerin üzerine gelecek şekilde çizilmiştir.



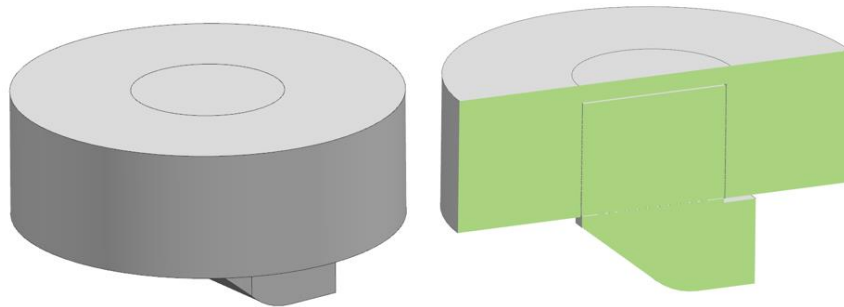
Görsel 4.11. C tipi metal fiber giydirilmiş brülör tasarımı

Paslanmaz çelik ve bütün metal fiber tasarımlarına ait kritik çizim ölçümleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Paslanmaz brülör ve metal fiber ölçüleri

Brülör Tipi	Paslanmaz Çelik (PÇ)	A tipi Metal Fiber	B tipi Metal Fiber	C tipi Metal Fiber
Brülör Ebatı	Çap 70 mm ve boy 54 mm			
Delik alanı	1361 mm ²	599 mm ²	582 mm ²	485 mm ²
Delik alanı yüzdesi	% 11,46	% 5	% 5	% 4
Delik çapı (mm)	1.00			

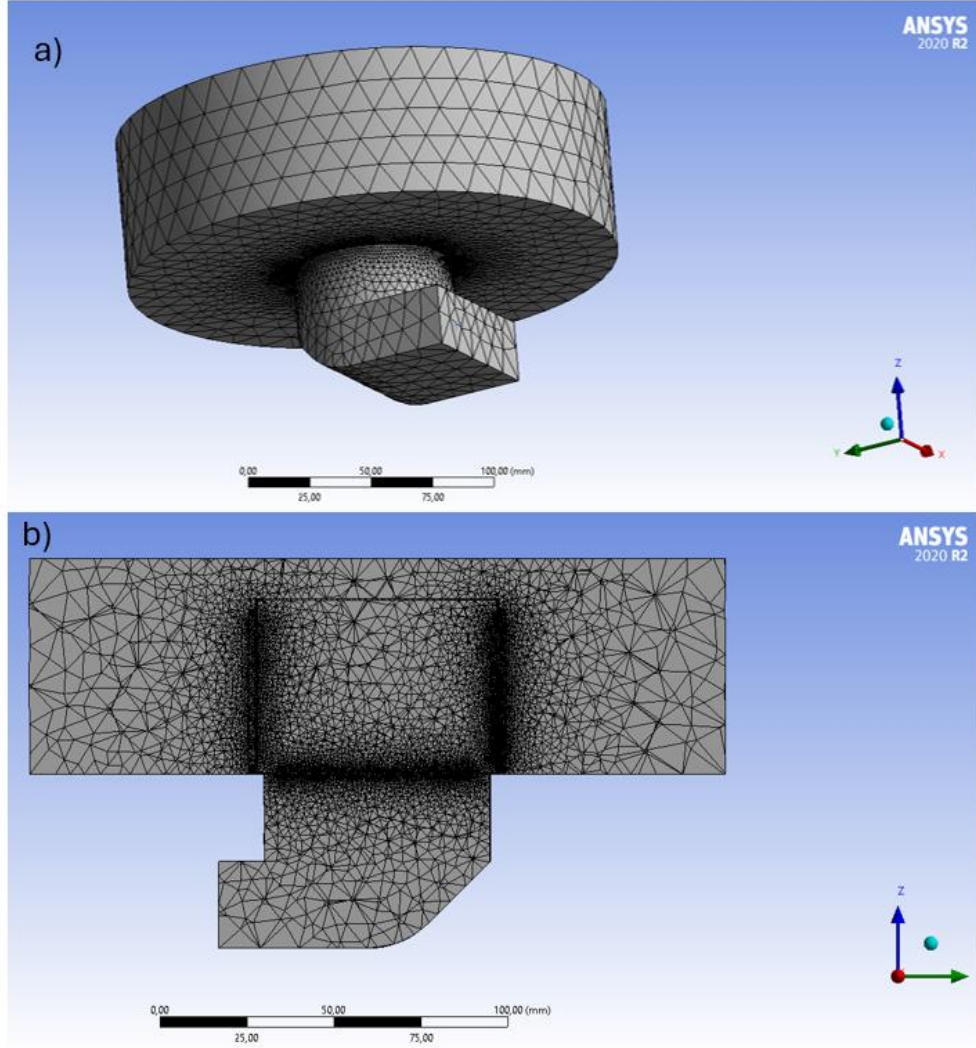
Yanma odası katı modeli iç alanı 200 mm çapında ve 80 mm yüksekliğinde dairesel olarak tasarlanmıştır. Gaz giriş bölgesi ve hava karışım kolu da tasarıma eklenmiştir (Görsel 4.12)



Görsel 4.12. Yanma odası katı modeli ve kesit görüntüsü

4.5. Simülasyon Çalışmaları

Tasarımı oluşturulan yanma odası, brülör, hava karıştırıcı kolu ve metal fiberler sonucunda Ansys Fluent 21 kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Ticari ürün olduğu için ve literatürde çok faz yanma odasına ait analiz çalışmaları bulunmamaktadır. Bunun sebeplerinin bir tanesi brülör üzerindeki delikleri 1 mm veya altında olması, yanma odasının büyük hacimde olmasından dolayı çözümlenmesi program tarafından zordur. Çalışmamızda seçtiğimiz brülör tasarımı ve delikler simülasyon çalışması için azaltılmıştır. Silindirik çok delikli brülör iseyanma odası ve ticari soğutma bobinleriyoğuşmalı gaz kazanı 200 mm'lik bir çap boyunca uzanır, uzunluk brülör deliklerinin ve soğutma bobini boşluklarının ölçekleri 1 mm alınmıştır. Tüm bu uzunluk ölçeklerinin sayısal ızgara tarafından çözülmesi dikkate alınması mümkün olmayan çok sayıda ızgara hücresi vardır. Simülasyon çalışmasında ısı transferi hesaplamaları dikkate alınmamıştır. Çalışma da brülör ve dış kaplama malzemesi tasarımının etkileri incelenmiştir. Yanma odası içerisinde bulunan ateşleme elektrodu ve iyonizer dataları karmaşıklığı azaltmak için ihmal edilmiştir. Yanma odası ve brülör delikleri ile birlikte her tasarım denemesi toplam 9.5 milyon hibrit ağdan oluşmaktadır (Görsel 4.13). Karmaşık geometriyi hesaba katmak için kol ve çok delikli brülörün içindeinde bulunan karıştırma kolunun ve swirlerin brülörün alt kısmına montajlanarak giriş bölümü oluşturulmuştur. Giriş, çıkış ve duvar bölgesi olarak üç bölgeye ayrılmıştır. En küçük hücre boyutu 0,6 mm'lik brülör kalınlığı seçilmiştir. Böyle ince bir grid çözünürlüğü güçlü ivmelenmeyi yakalamak için gereklidir. Çok delikli brülörün gözenekli bölgesindeki yön çok daha kabaydı, çünkü bu yönlerde yerel eğimler çok daha küçüktür.



Görsel 4.13. Yanma odası mesh yapısı a)isometrik görüntüsü b)kesit görüntüsü

Tablo 4.7. Simülasyon sınır koşulları

Tanım	Değer
Hücre Sayısı	9,5 milyon
Brülör kalınlığı	0,6 mm
Eşdeğerlilik katsayısı	0,8
Yakıt	Metan (CH ₄)
Giriş Sıcaklığı	300 K
Brülör Sıcaklığı	600 K
Ortam Basıncı	1,013 bar

Oluşturulan mesh yapısı ile birlikte Ansys Fluent simülasyon çözücü sınır koşulları programa tanımlanmıştır (Tablo 4.7). Yapılan literatür araştırmaları sonucunda çözüm işlemlerinde Tablo 4.8’de yer alan sınır kriterleri seçilmiştir.

Tablo 4.8. Simülasyon çözüm işlemleri

Düzyey	Biçim
Şema	Coupled
Gradient	Least square cell based
Basınç	Second order
Momentum	Third order MUSCL
Turb. Diss. Rate	Third order MUSCL
Scalars	Third order MUSCL
Transient	First order implicit

Yakıt olarak metan gazı (CH_4) ve hava kullanılmıştır. Literatür araştırmasına göre simülasyon işlemlerinde gaz giriş akış hızı 1 m/s olarak sabit alınmıştır. Yaptığımız çalışmada brülör ve kaplama malzemesinin kıyaslamasını yaptığımız için literatür araştırmasında en iyi sonucu veren eşdeğerlilik katsayısını 0.8 ve 18 kw yanma gücü üzerinden dağılım incelenmiştir.

4.6. Metal Fiber Brülör Üretimi

Farklı tasarımlarda Polidoro firmasında ürettiğimiz metal fiber malzemeleri 50 mm genişliğinde dremel 4250 (Görsel 4.14) cihazı ile metal kesici uç ile kesilmiştir.

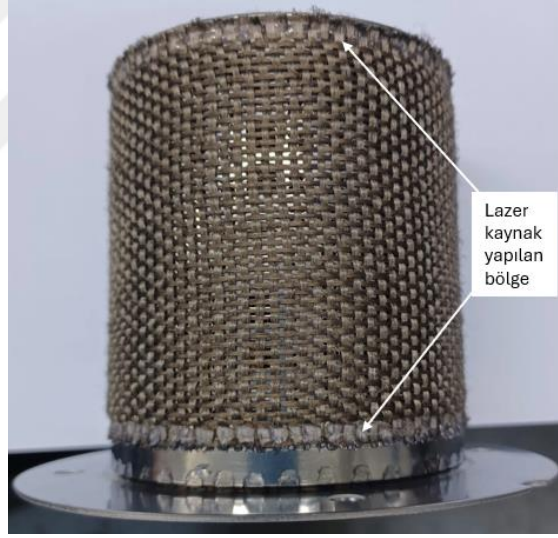


Görsel 4.14. Dremel 4250

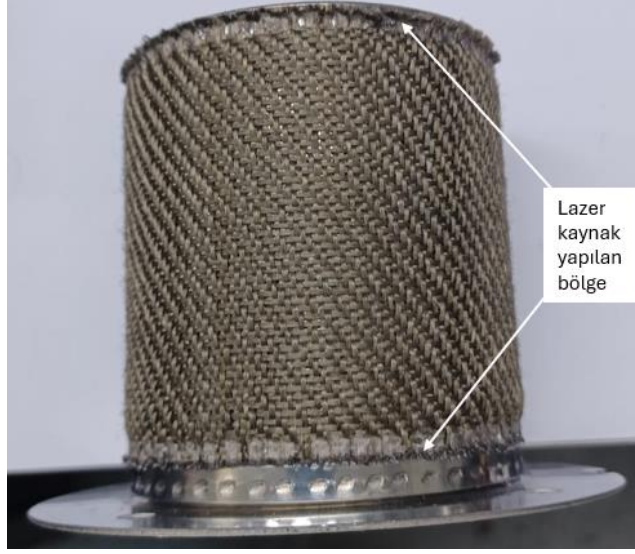
Otekso marka lazer kaynak 3KW (Görsel 4.15) ile paslanmaz brülörün deliklerini kapatacak şekilde üst ve alt bölgelerine kaynak yapılarak 3 tip metal fiber malzemesi brülör üzerine kaplanmıştır.



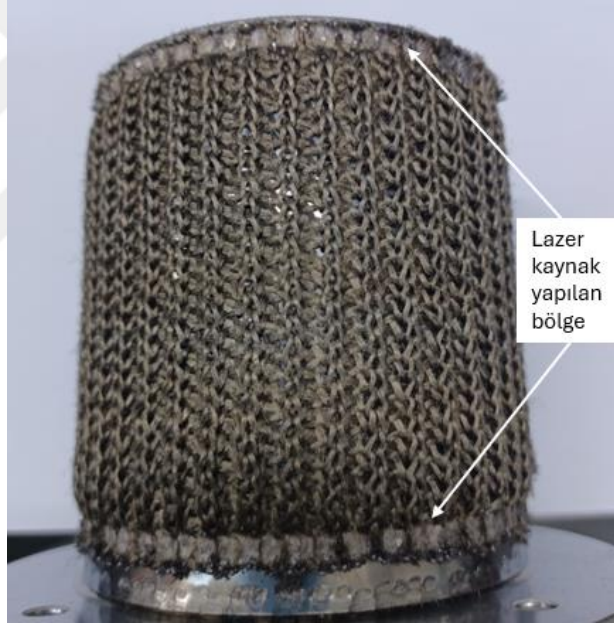
Görsel 4.15. Otekso marka lazer kaynak cihazı



Görsel 4.16. A Tipi metal fiber kaplamalı brülör



Görsel 4.17. *B Tipi metal fiber kaplamalı brülör*



Görsel 4.18. *C Tipi metal fiber kaplamalı brülör*

Metal fiber kaplı brülörlerin deneysel testleri yapılması için Hanatech firmasının ürettiği Irex Era 25kW ön karışimli yoğuşmalı kombi (Görsel 4.19) seçilmiştir.



Görsel 4.19. *Irex Era 25kW ön karışumlu yoğuşmalı kombi*

Yanma odası montajı için bütün brülörler T25 torq vidası ile yanma odası kapağına montajlanmıştır (Görsel 4.20).



Görsel 4.20. *Yanma odası kapağına montajlanmış brülörler*

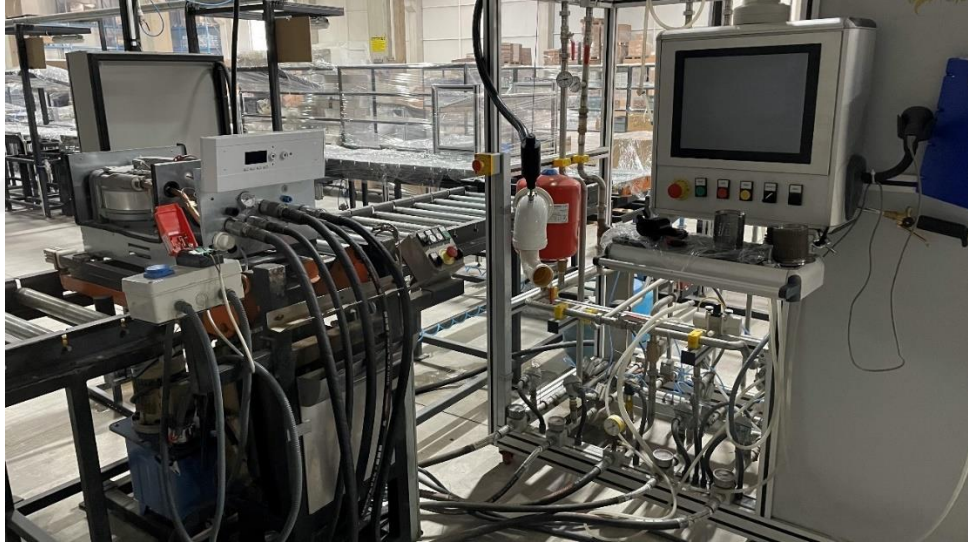
4.7. Yoğuşmalı Kombi Test Düzeneği

Brülör kıyaslamasının görsel ve sıcaklık ölçümünün yapılabilmesi için açık hava ortamında yanma testleri yapılmıştır. Bu testler yapılırken FLIR E5 termal kamera kullanılmıştır.



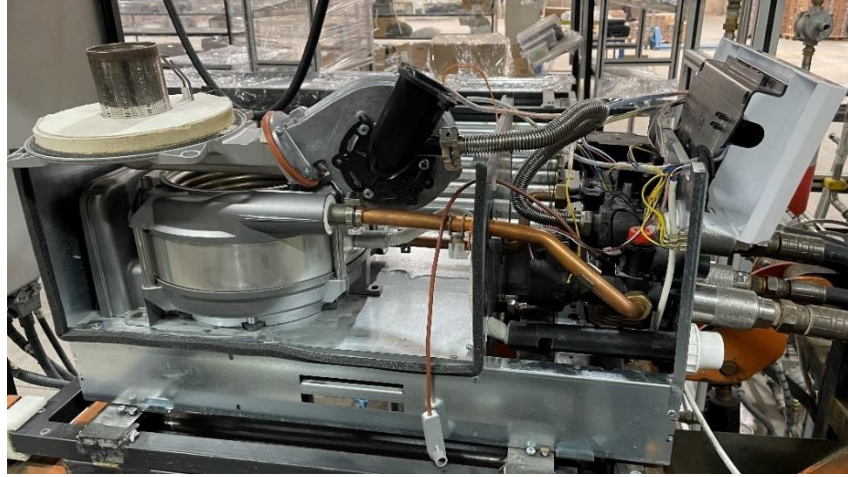
Görsel 4.21. FLIR E5 termal kamera

Ülkemiz test standları üretici firmalarda yer almaktadır. Özellikle kombi test standlarının oluşturulması yüksek fiyatlardadır. Bu sebeple bütün testler Hanatech firmasının içerisinde yer alan kombi test standında yapılmıştır (Görsel 4.22).



Görsel 4.22. Yoğuşmalı kombi test standı

Sistemin hata vermemesi için açık hava ortamında termal kamera ile alınacak alev boyu ölçümleri için kombinin ön paneli açık ve yanma odası kapağı montajlanmamıştır. Gaz ve hava karışımını gönderebilmke için fan ürüne ters bağlanmıştır (Görsel 4.23).



Görsel 4.23. Termal kamera görüntüleri için hazırlanmış test düzeniği

Deneysel testler için kullanılan test standında gaz ölçümleri için Testo 350 (Görsel 4.24) kullanılmıştır.



Görsel 4.24. Testo 350 gaz analiz cihazı

Cihaz üzerinde gaz hava karışımı için Sit marka 848 Sigma kullanılmıştır (Görsel 4.25).



Görsel 4.25. SIT marka 848 Sigma gaz valfi

Yaş gaz ölçümü için shinagawa W-NK-10-St modeli kullanılmıştır (Görsel 4.26).



Görsel 4.26. Shinagawa W-NK-10-ST Yaş Gaz ölçüm cihazı

Yapılan deneysel testler Türkiye’de bulunan doğalgaz kullanılmıştır. Türkiye’deki doğalgaz içeriği Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Türkiye doğalgaz içeriği

Kimyasal	Yüzdece Miktarı (%)
CH ₄	94
C ₂ H ₆	3
C ₃ H ₈	1
CO ₂	1
N ₂	1

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Simülasyon Bulguları Ve Tartışma

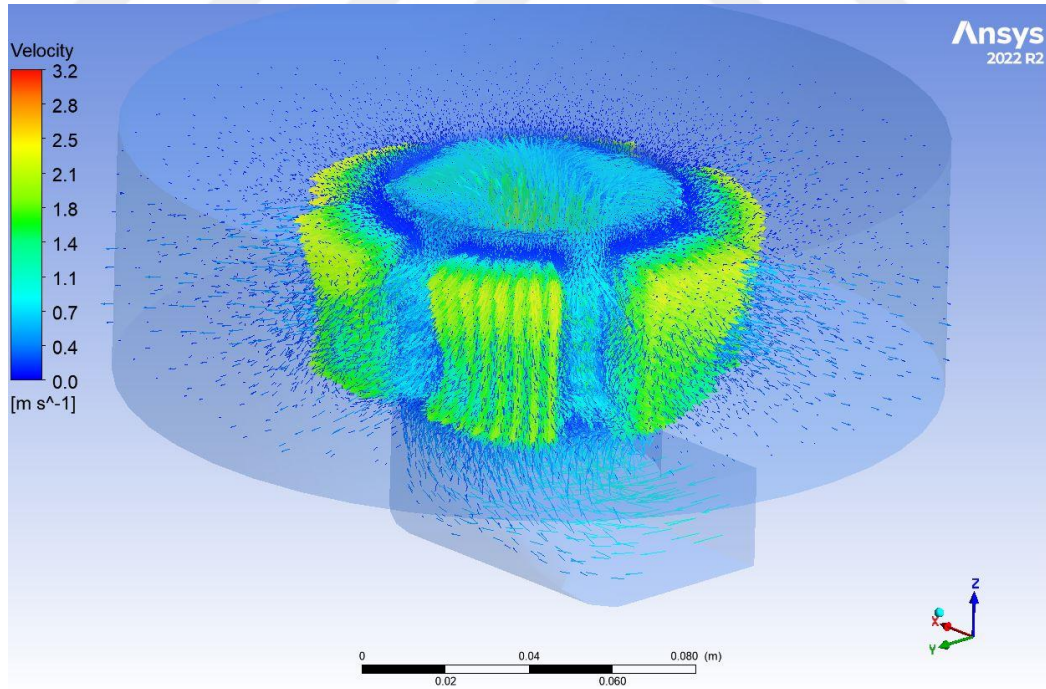
Ansyst Fluent 2022 R2 versiyonunda yapılan çalışmalarda mevcut 304 paslanmaz çelik brülörün ve 3 farklı tipte metal fiber kaplamalı brülörün akış ve sıcaklık değerleri incelenmiştir.

5.1.1. Akış analizi

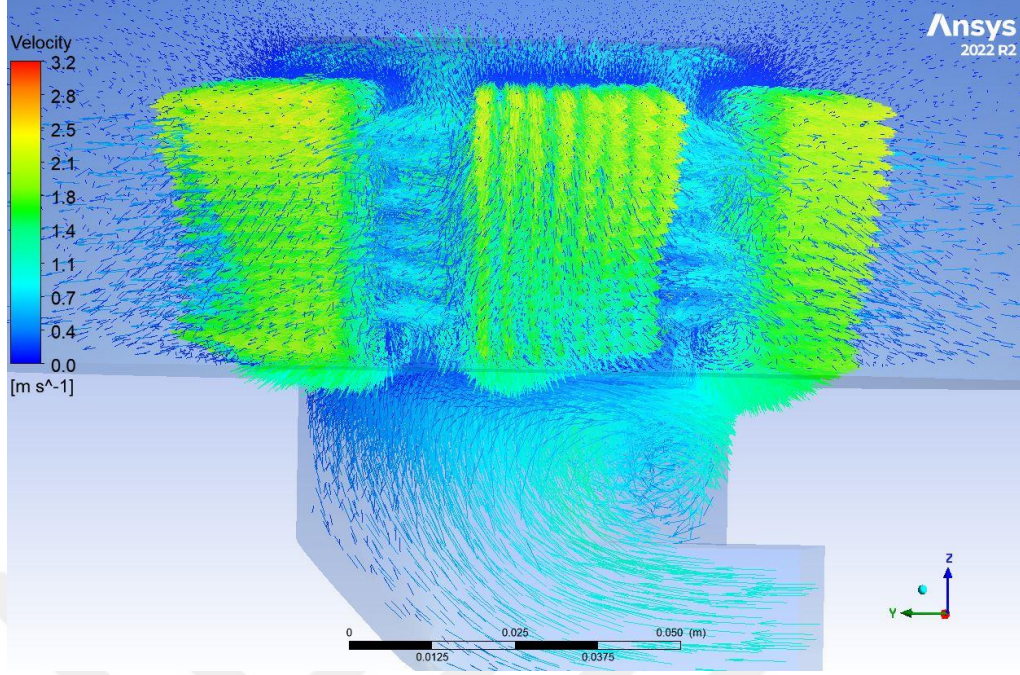
Mevcut brülör ve 3 farklı tipte metal fiber brülörün, hava/gaz karışım giriş 1 m/s akış hızının yanma odası içerisinde metan (CH_4) ve hava karışımının ilerleme şekli, brülör içerisindeki hareketleri incelenmiştir.

5.1.1.1. 304 paslanmaz çelik brülör

Mevcut 304 paslanmaz çelik brülörü özellikle brülör deliklerinde 2-2.5 m/s hıza ulaşırken uzun deliklerde bu değer 1.1-1.4 m/s hızındadır (Görsel 5.1).



Görsel 5.1. 304 Paslanmaz çelik brülörünün yanma odasındaki dağılımı

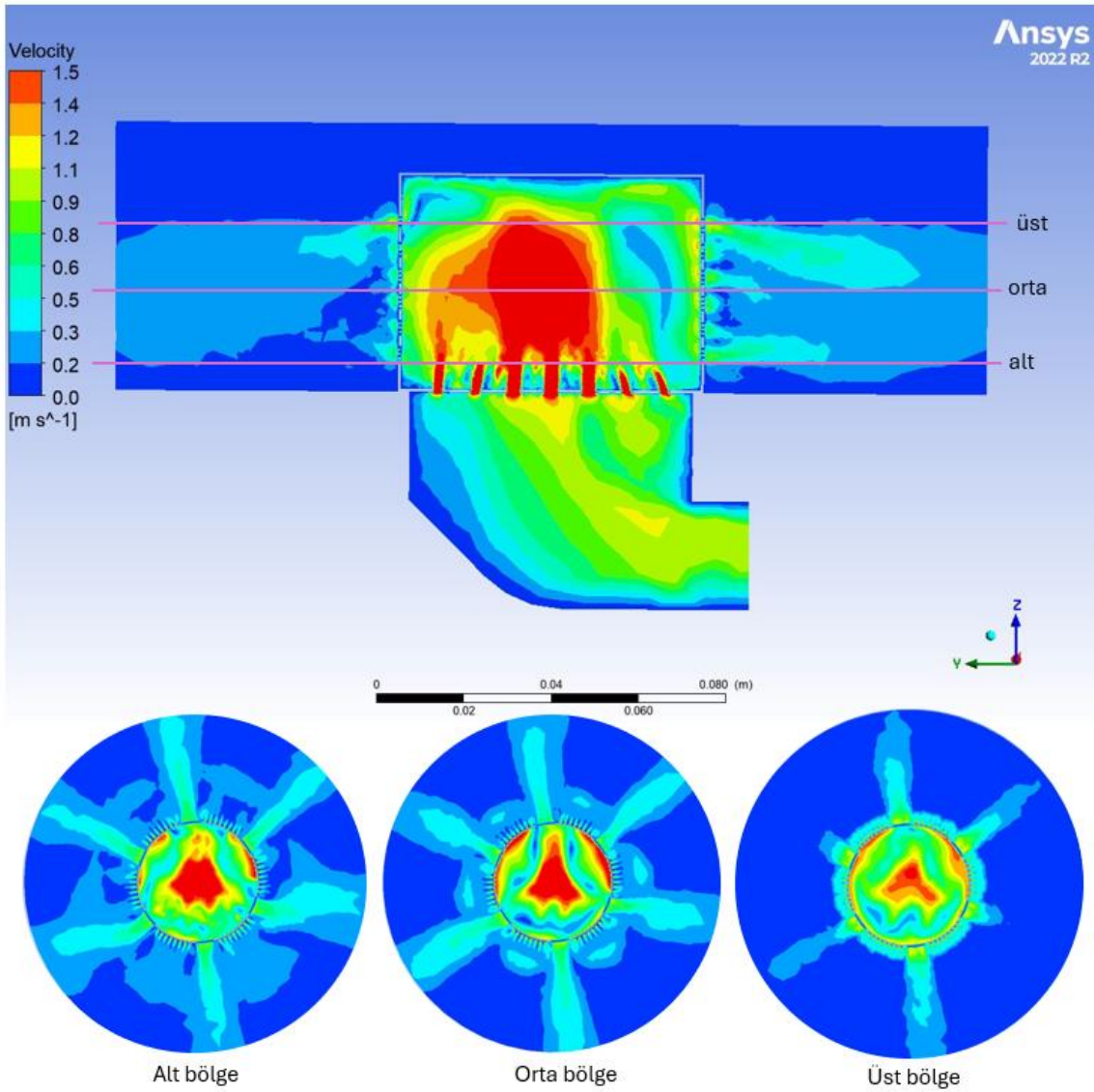


Görsel 5.2. 304 Paslanmaz çelik brülörünün öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi

Görsel 5.2’de görüldüğü gibi 1 m/s akış hızıyla -y yönünde gelen akış, gaz/hava karışım kolunun duvar cephesine çarparak bir ön karışım yapıp ardından brülör içerisine z eksenini doğrultusunda gitmektedir. Brülörün üst kapağına çarpan akış en üst bölgeden şiddetli bir şekilde çıkarak aşağı bölgeye ulaşmaktadır.

Yapılan akış analizi sonucunda akışın yanma odası içerisindeki dağılımını daha net görülebilmesi için bar derecesi 0-1,5 m/s ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca 3 bölümden kesit alınmıştır. Z eksenini üzerinde 10 mm’den alınan kesit alt bölgeyi, 25 mm’den alınan kesit orta bölgeyi ve 40 mm’den alınan kesit üst bölgeyi temsil ederek Görsel 5.3’de gösterilmiştir.

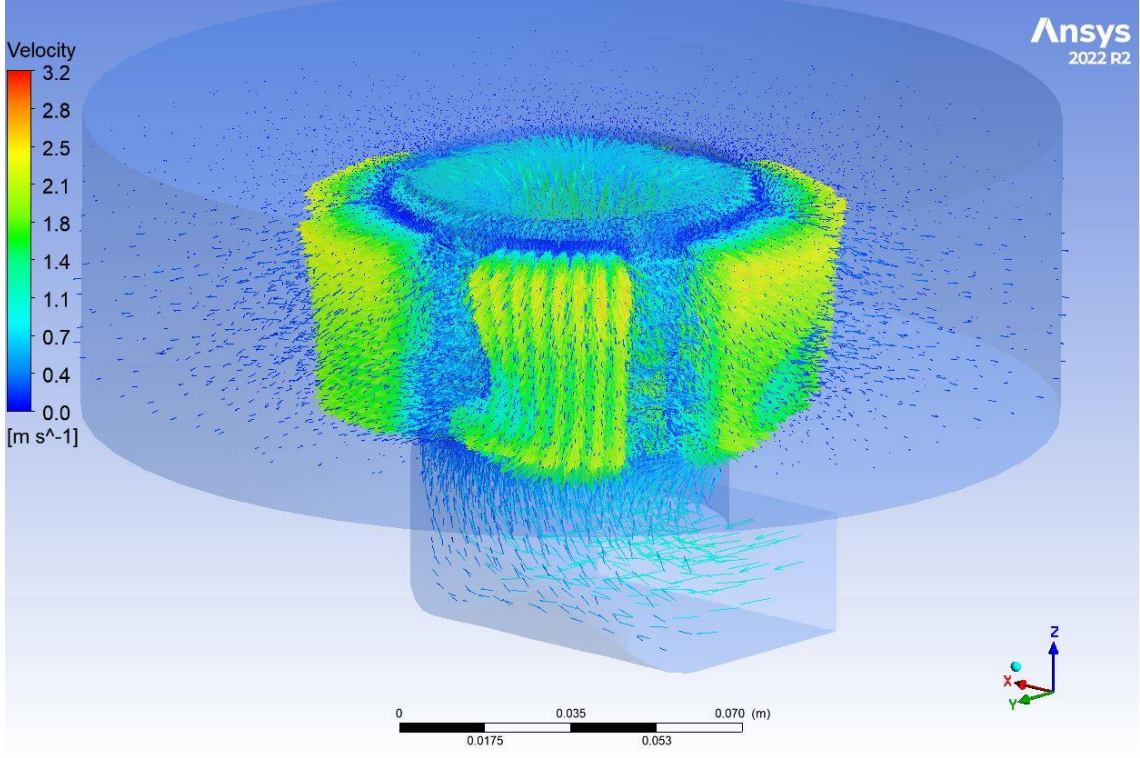
Gaz akışının mevcut paslanmaz çelik brülörde, brülörün etrafında bütün kesitlerde homojen bir şekilde çıktığı görülmüştür. Üst bölgelerdeki akış hızı alt bölgelere daha fazladır. Fakat brülör üzerindeki deliklerden çıkan akış duvara ulaşmamıştır, bunun aksine yatay açık bölgelerden açılan alanlardan çıkan akış yan duvarlara varmıştır. Bunun etkisi alt bölgelerde daha fazladır. İdeal yanmada istenen homojen bir şekilde brülör üzerindeki akıştır.



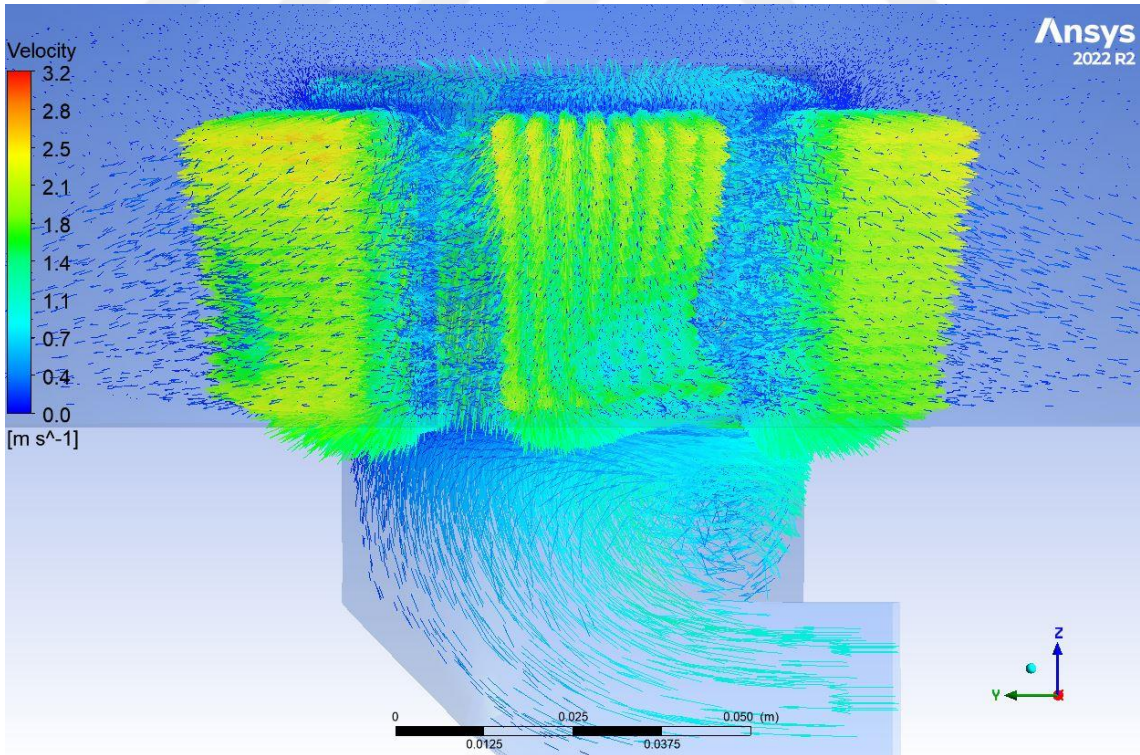
Görsel 5.3. 304 paslanmaz çelik brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu

5.1.1.2. A tipi metal fiber kaplı brülör

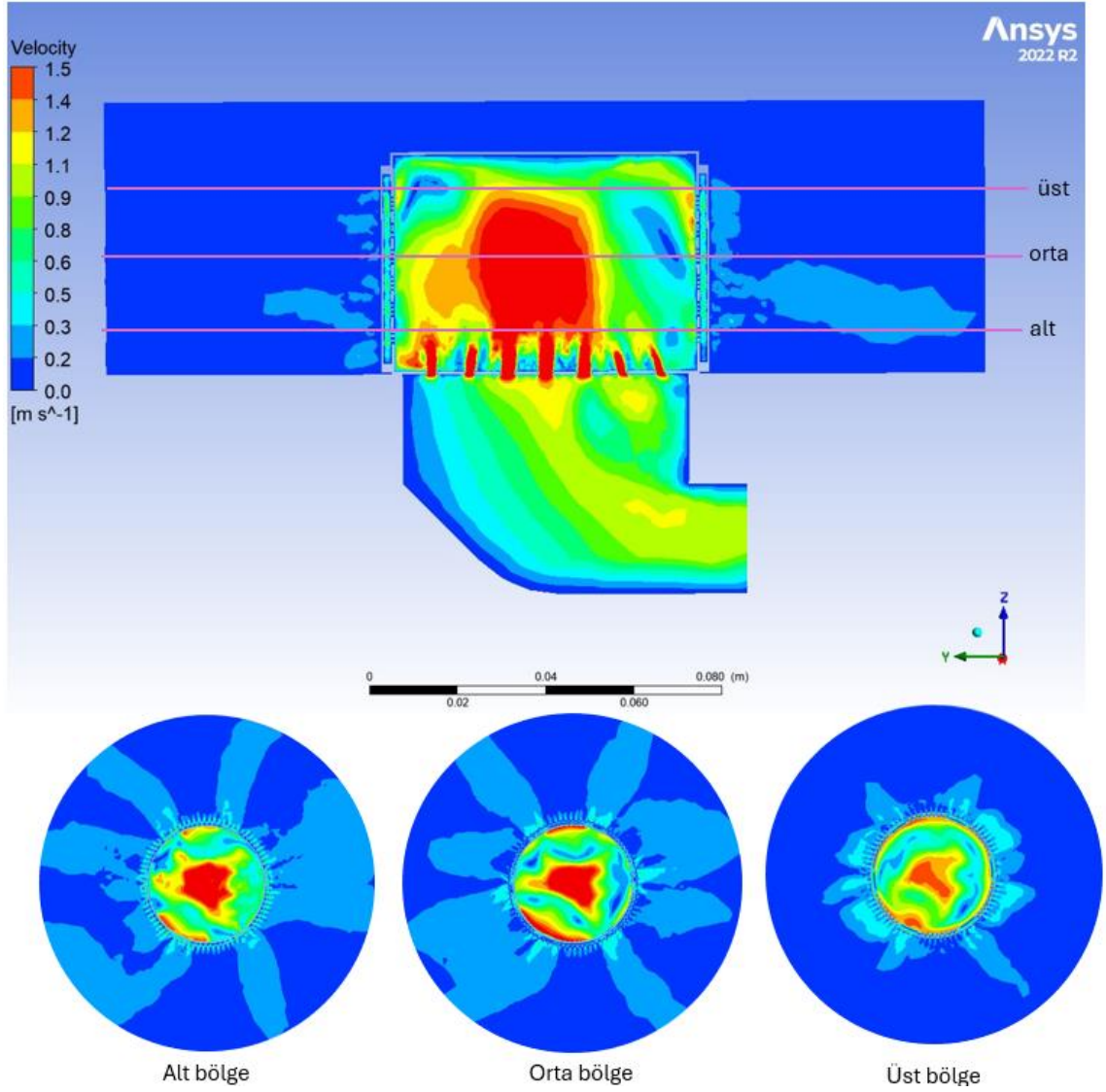
Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine A tipi metal fiber eklenerak yapılan analiz sonucunda metal fiberde oluşan boşluklardan 2.2-2.5 m/s hıza ulaşırken uzun deliklerde bu değer 1.4-1.8 m/s hızındadır (Görsel 5.4).



Görsel 5.4. 304 Paslanmaz çelik üzerine A tipi metal fiber kaplı brülörünün yanma odasındaki dağılımı



Görsel 5.5. 304 Paslanmaz çelik brülörünün üzerine A tipi metal fiber kaplı öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi

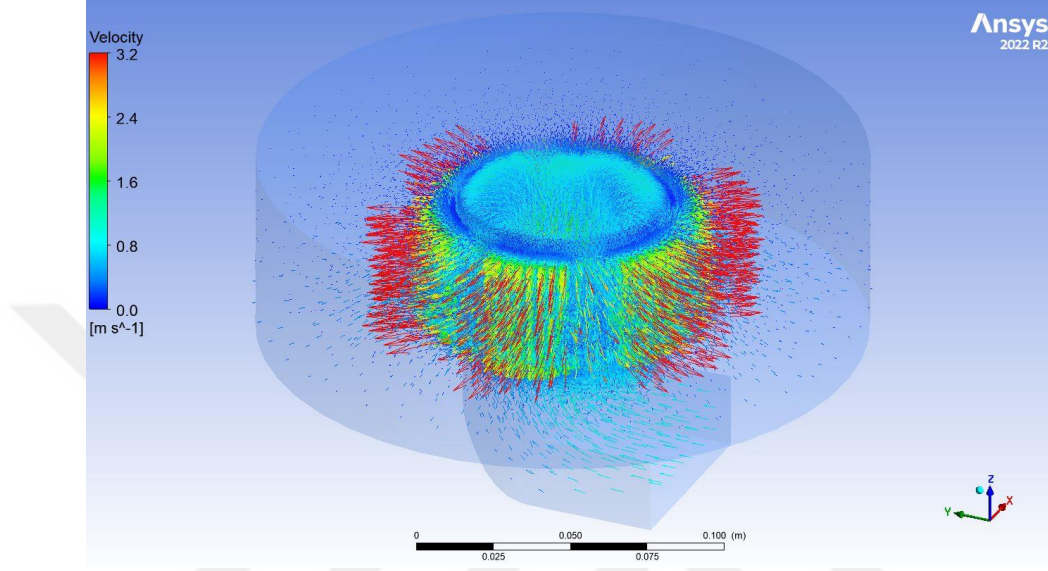


Görsel 5.6. 304 paslanmaz çelik brülör üzerine A tipi metal fiber kaplı brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu

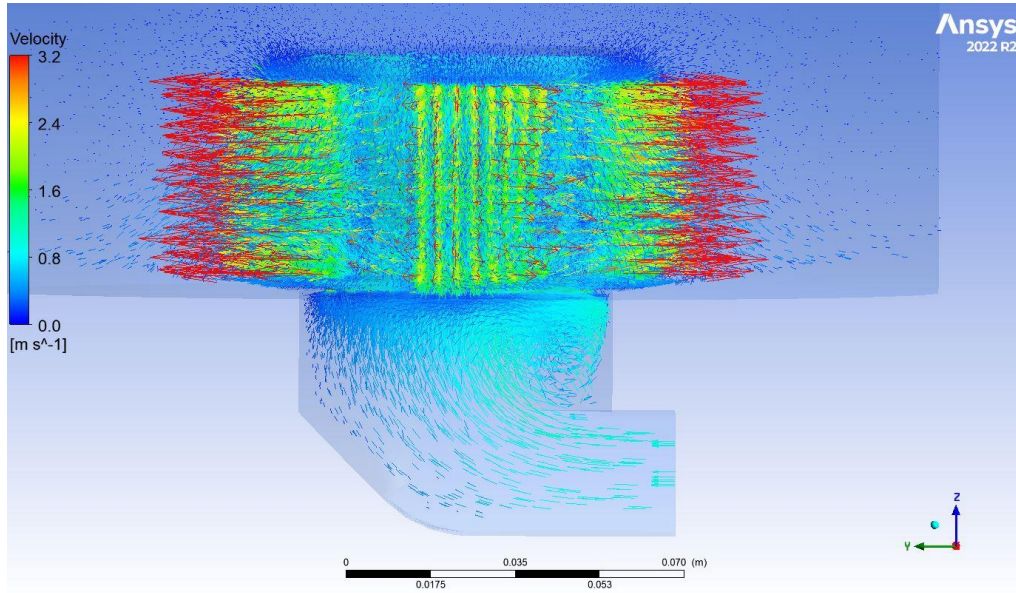
Brülör yüzeyinde metal fiber kaplı olmasından dolayı akış içeride kalarak uzun bölümlerden yüksek bir çıkışa engel olup daha homojen bir şekilde dağılım yapmasına izin vermiştir. Alt ve orta bölgelerde keskin bir gaz akışı yerine daha homojen bir yapı meydana gelmiştir. Homojen dağılım üst bölgede daha verimli bir yanma olarak gözükmektedir.

5.1.1.3. B tipi metal fiber kaplı brülör

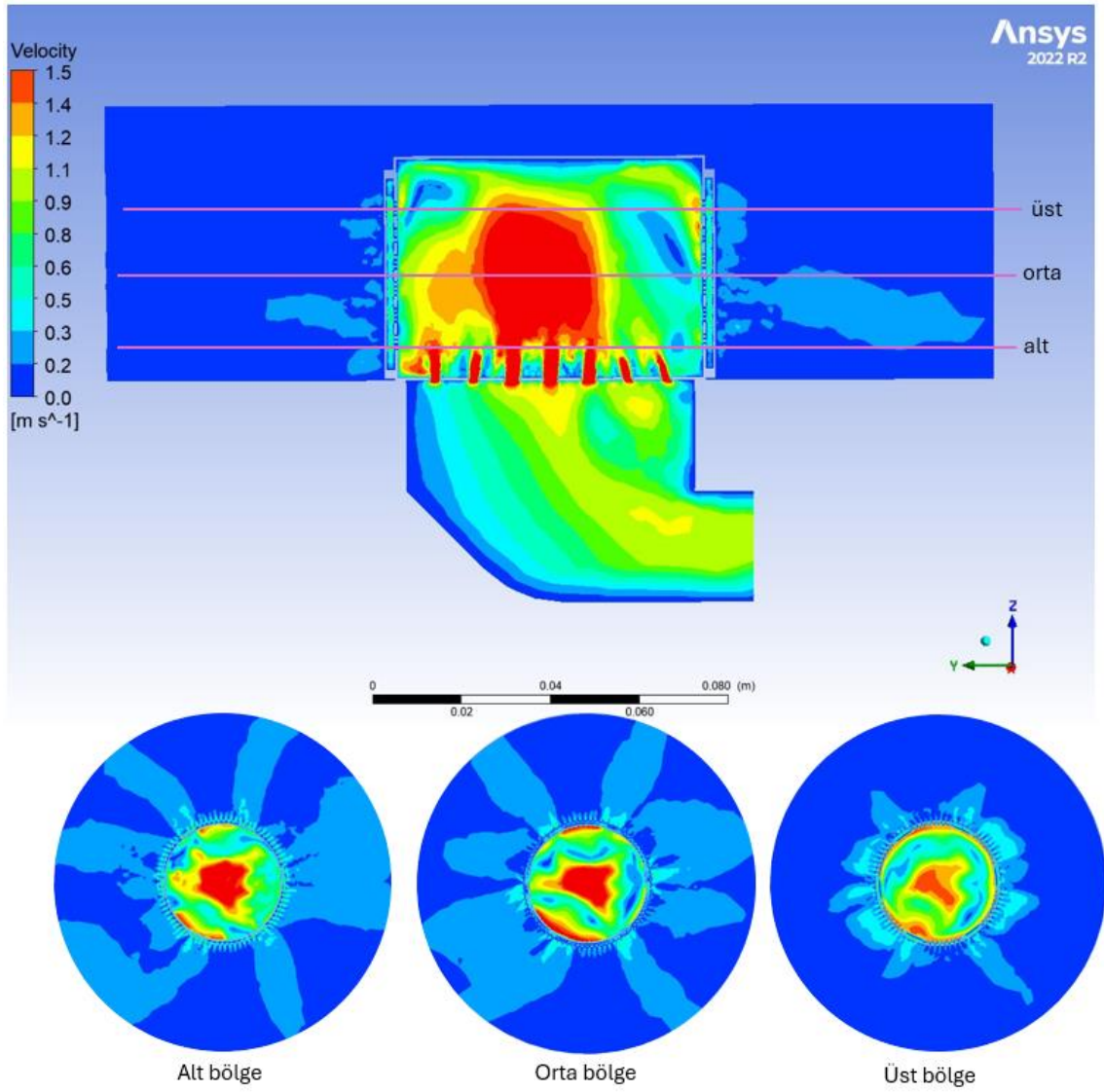
Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine B tipi metal fiber eklenerak yapılan analiz sonucunda metal fiberde oluşan boşluklardan 2.4-3.2 m/s hıza ulaşırken uzun deliklerde bu değer 0.8-1.6 m/s hızındadır (Görsel 5.7).



Görsel 5.7. 304 Paslanmaz çelik üzerine B tipi metal fiber kaplı brülörünün yanma odasındaki dağılımı



Görsel 5.8. 304 Paslanmaz çelik brülörünün üzerine B tipi metal fiber kaplı öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi

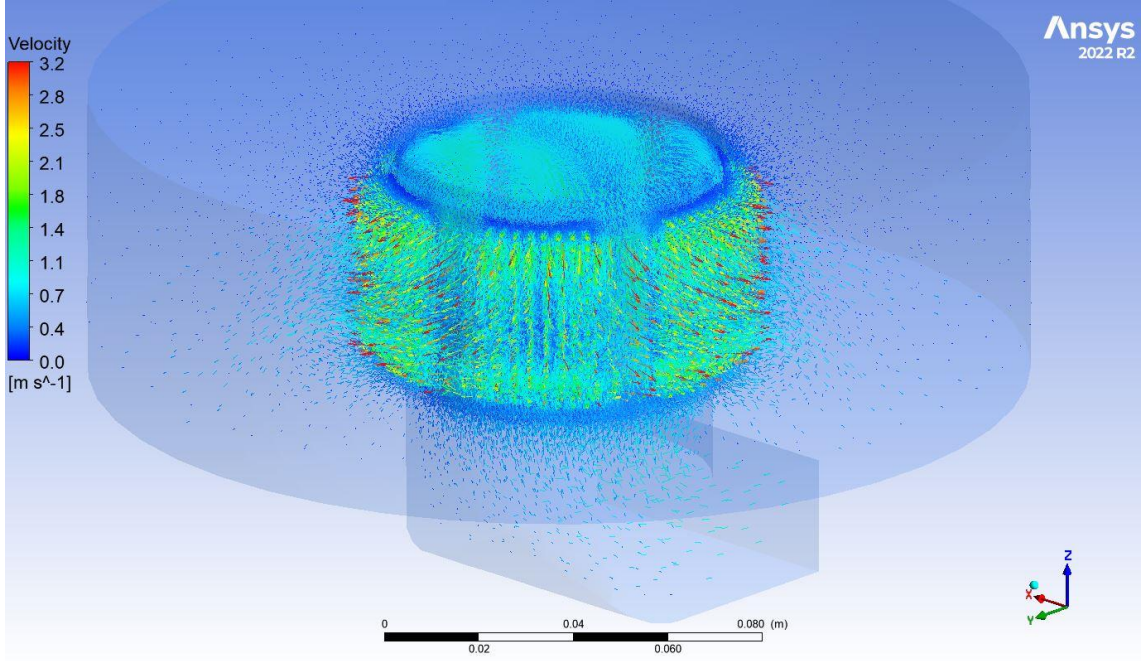


Görsel 5.9. 304 paslanmaz çelik brülör üzerine B tipi metal fiber kaplı brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu

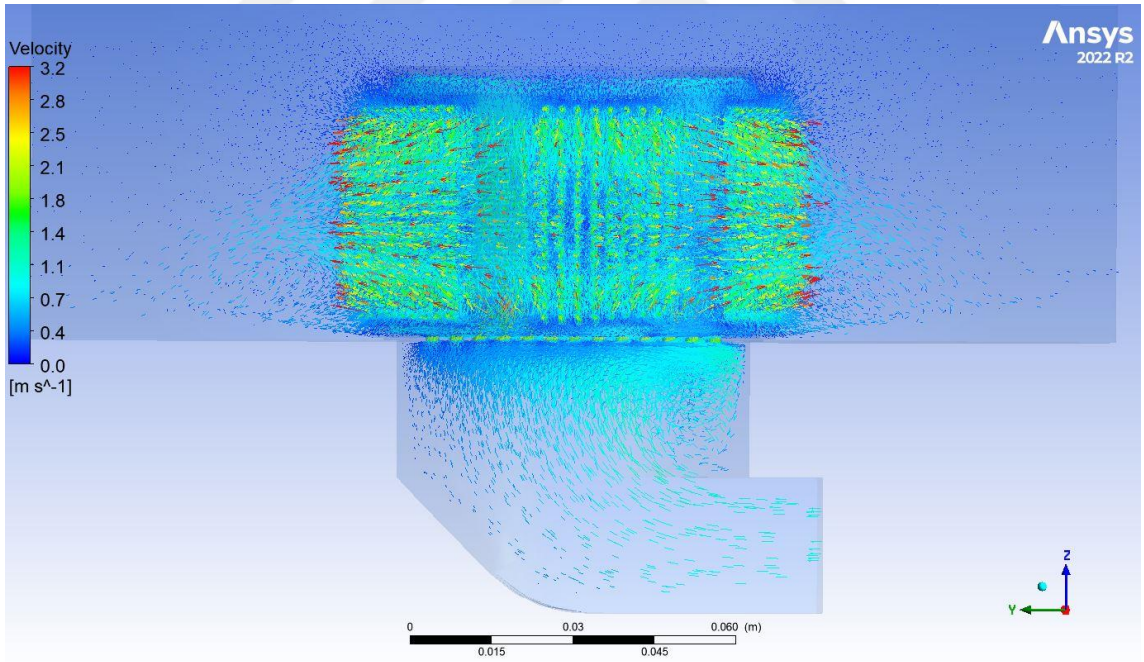
B tipi metal fiber akış hız dağılımı A tipi metal fiber ile benzerlik göstermiştir.

5.1.1.4. C tipi metal fiber kaplı brülör

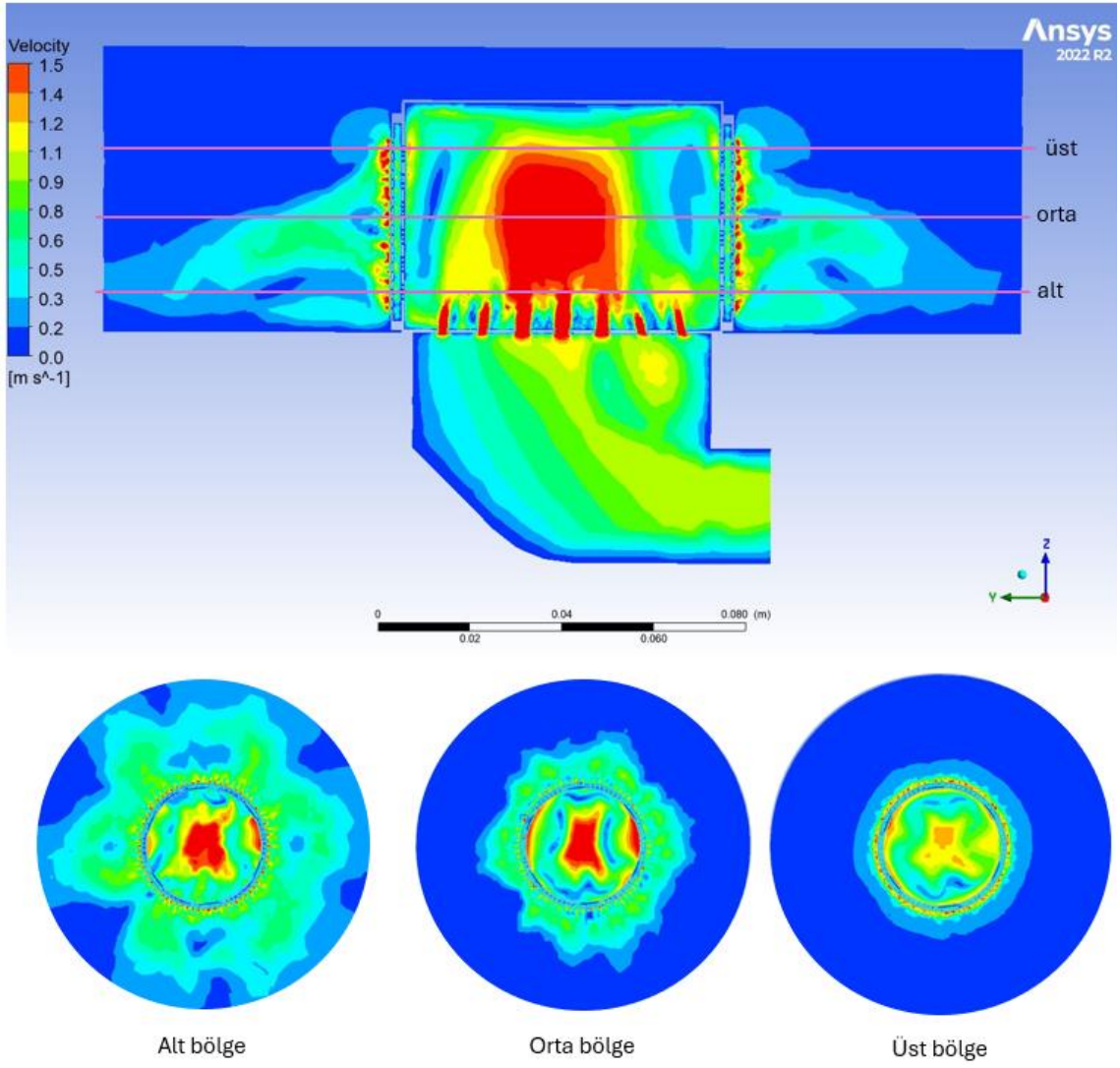
Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine C tipi metal fiber eklenerek yapılan analiz sonucunda metal fiberde oluşan boşluklardan 1.4-2.1 m/s hıza ulaşırken uzun deliklerde bu değer 0.7-1.1 m/s hızındadır (Görsel 5.10).



Görsel 5.10. 304 Paslanmaz çelik üzerine C tipi metal fiber kaplı brülörünün yanma odasındaki dağılımı

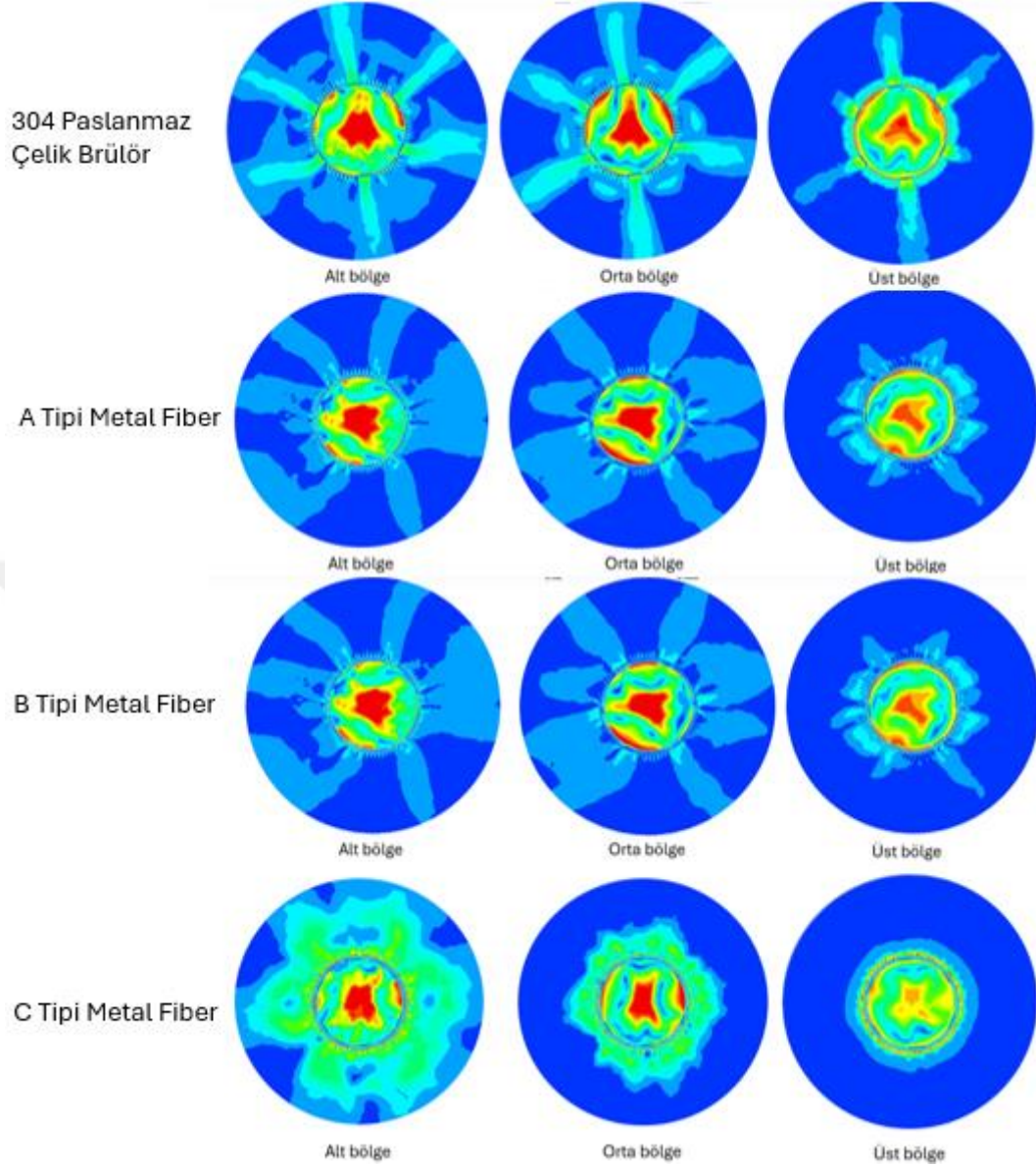


Görsel 5.11. 304 Paslanmaz çelik brülörünün üzerine C tipi metal fiber kaplı öncesi gaz/hava karışım kolunun gösterimi



Görsel 5.12. 304 paslanmaz çelik brülör üzerine C tipi metal fiber kaplı brülöre ait yanma odası akış analiz sonucu

Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine C tipi metal fiber diğer metal fiber ve mevcut brülöre göre alt, orta ve üst bölgelerde homojen bir dağılım göstermiştir.



Görsel 5.13. Brülör tiplerinin akış analiz karşılaştırması

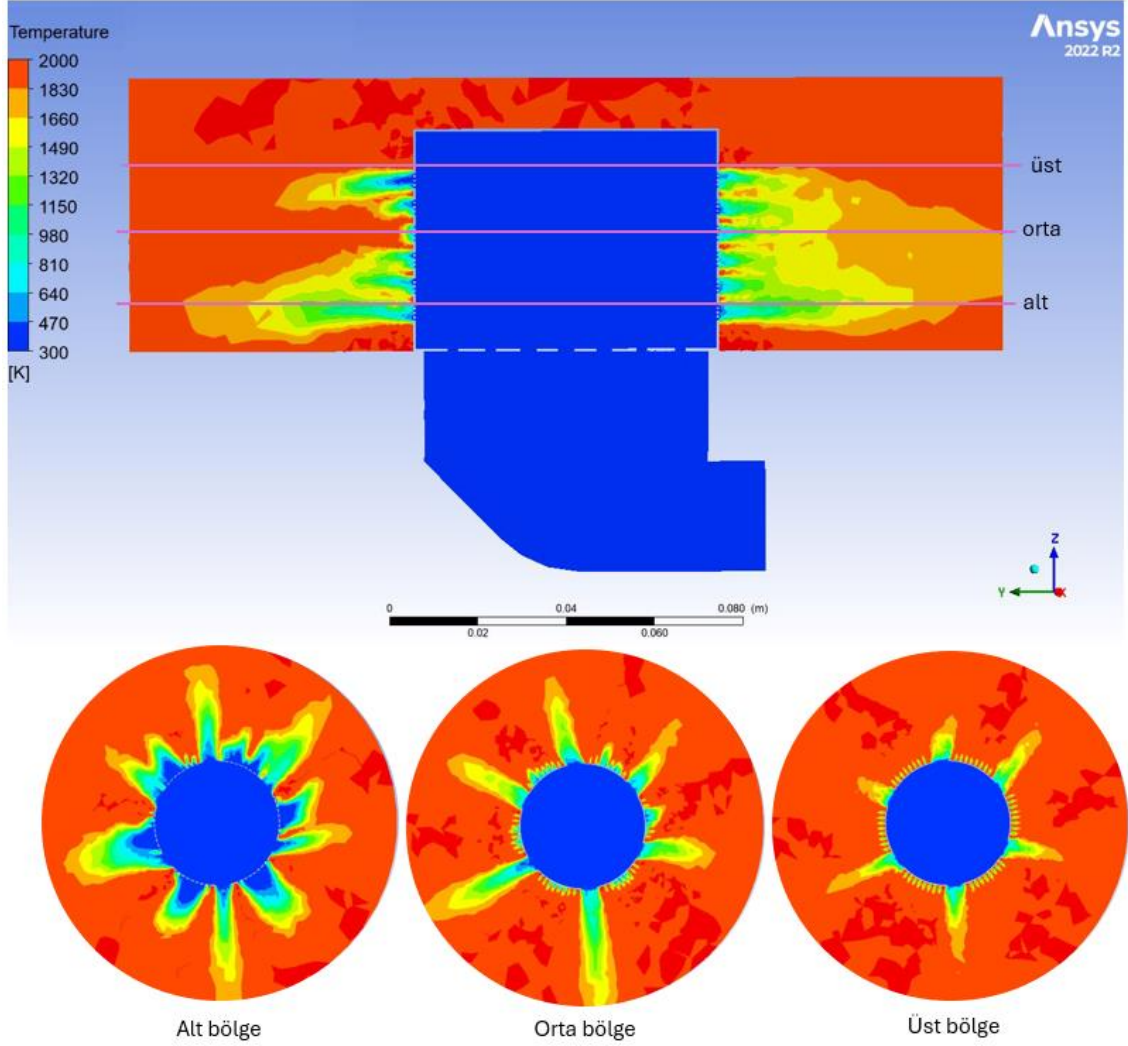
Görsel 5.13’de görüldüğü gibi alt-orta ve üst bölgede homojen olarak dağılım C tipi metal fiber kaplı brülör en iyi performansı göstermiştir.

5.1.2. Sıcaklık analizi

Mevcut brülör ve 3 farklı tipte metal fiber brülörün, hava/gaz karışım girişi 1 m/s giriş sıcaklığı 300 K ve brülör sıcaklığı 600 K olarak ayarlanmıştır. Yanma odası sıcaklık simülasyonu için ortam basınç değeri 1 bar olarak girilmiştir. Yanma modeli ön karışımli olarak seçilmiştir. Yanma odası içerisinde metan (CH_4) ve hava karışımını sonucu oluşan sıcaklık dağılımı incelenmiştir.

5.1.2.1. 304 paslanmaz çelik brülör

Mevcut 304 paslanmaz çelik brülörü yapılan sıcaklık analizinde brülörün özellikle alt bölgelerindeki akıştan dolayı homojen bir sıcaklık dağılımı gözlenmemiştir. (Görsel 5.14).

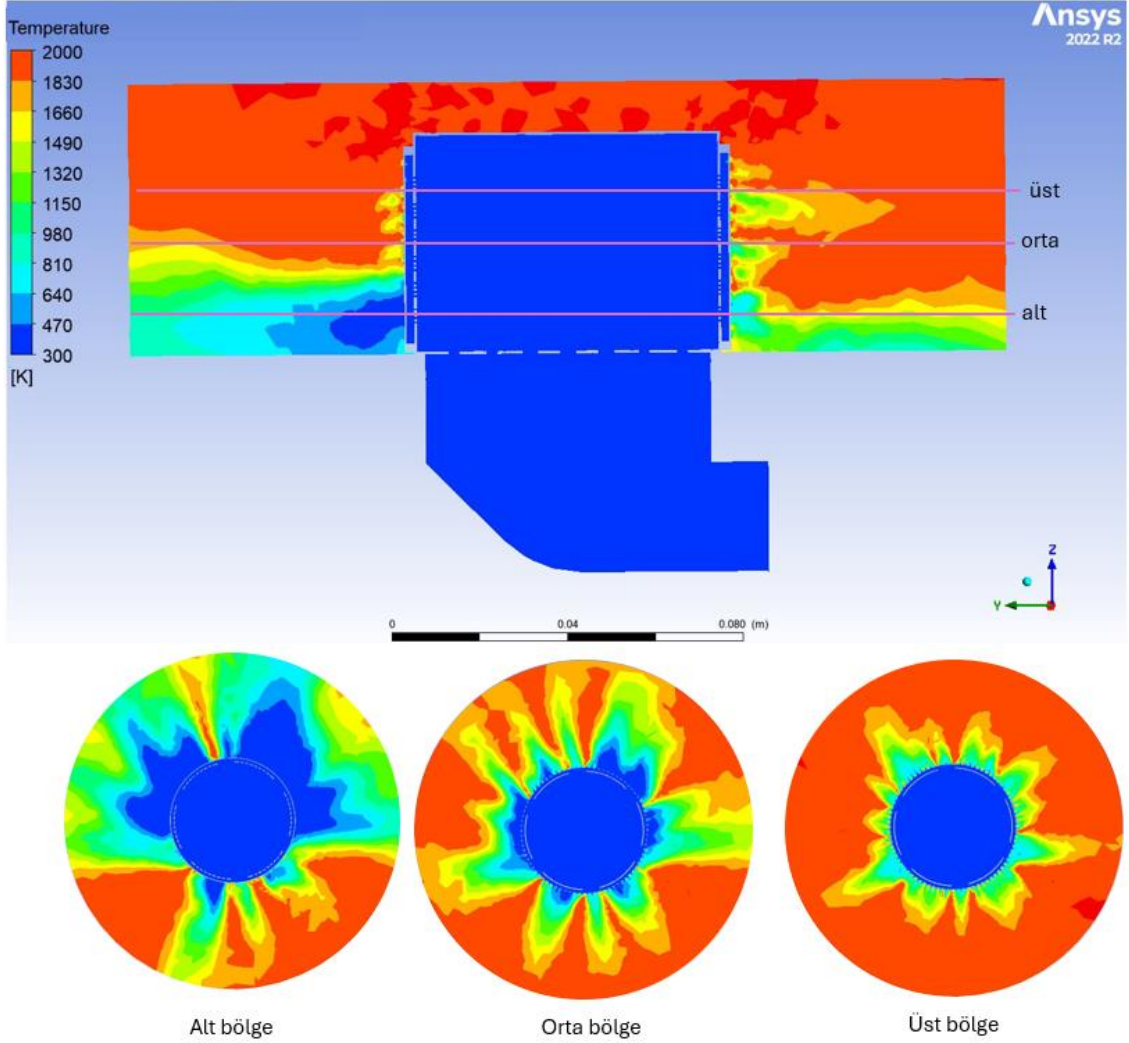


Görsel 5.14. Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör yanma odası sıcaklık dağılımı

Yanma odasının Z ekseninde 10 mm'deki kesiti alt bölge, 25 mm'deki kesiti orta bölge ve 40 mm'deki bölge ise üst bölge olarak tanımlanmıştır. Alt bölgede her bölgede homojen bir sıcaklık dağılımı gözlemlenirken, orta ve üst bölgede sıcaklık daha homojendir. Burada kararlı bir yanma meydana gelmemektedir.

5.1.2.2. A tipi metal fiber kaplı brülör

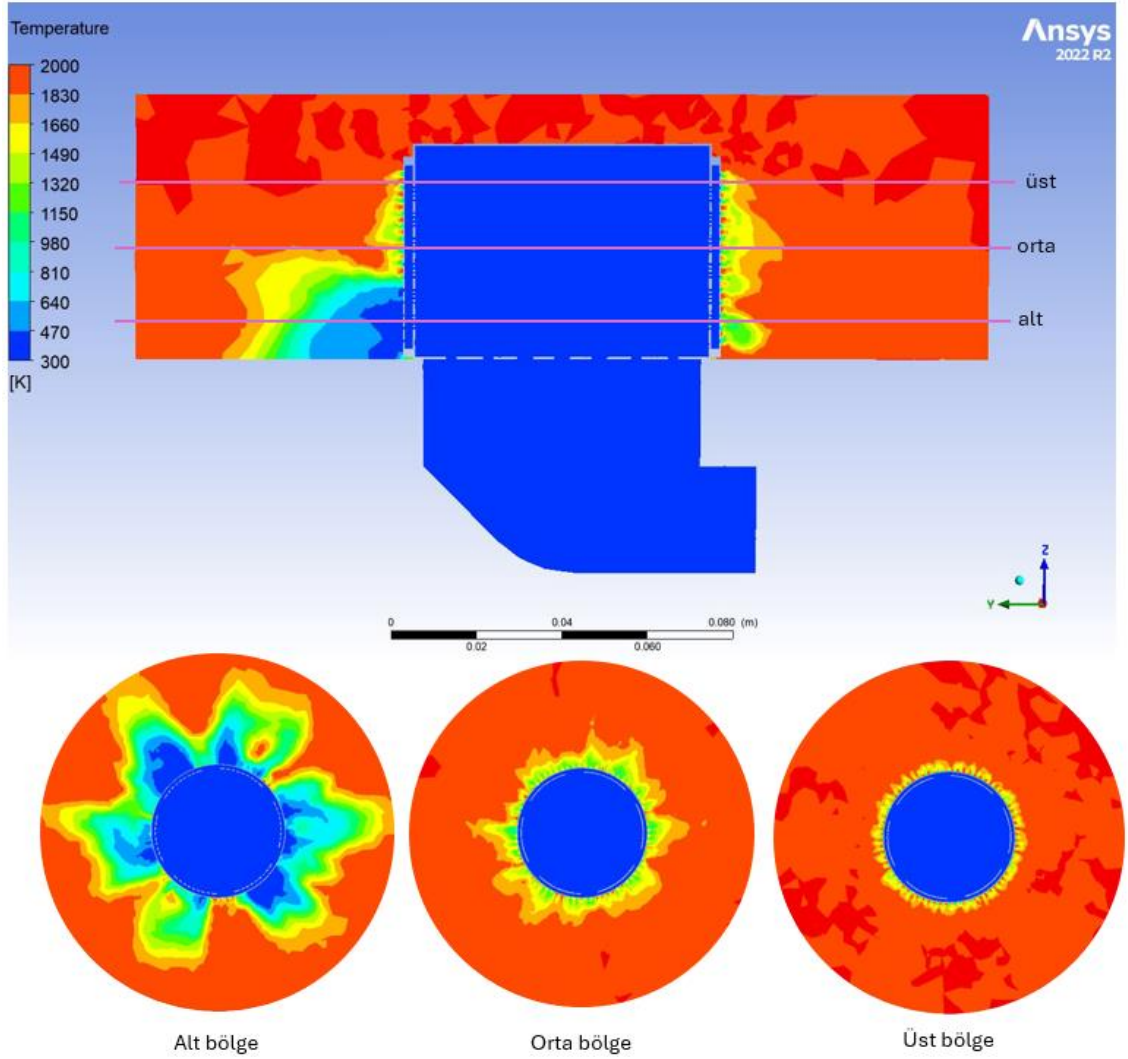
Mevcut 304 paslanmaz çelik brülörü üzerine A tipi metal fiber kaplı brülör ile yapılan sıcaklık analizinde brülörün üst bölgesinde homojen bir sıcaklık dağılımı fakat alt ve orta bölgede homojen bir sıcaklık dağılımının olmadığı gözlenmiştir. (Görsel 5.15).



Görsel 5.15. Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine A tipi metal fiber kaplı brülör yanma odası sıcaklık dağılımı

5.1.2.3. B tipi metal fiber kaplı brülör

Mevcut 304 paslanmaz çelik brülörü üzerine B tipi metal fiber kaplı brülör ile yapılan sıcaklık analizinde brülörün orta ve üst bölgelerinde homojen bir sıcaklık dağılımı gösterirken alt bölgede ise sıcaklığı dağılımının homojen olmadığı görülmüştür (Görsel 5.16).

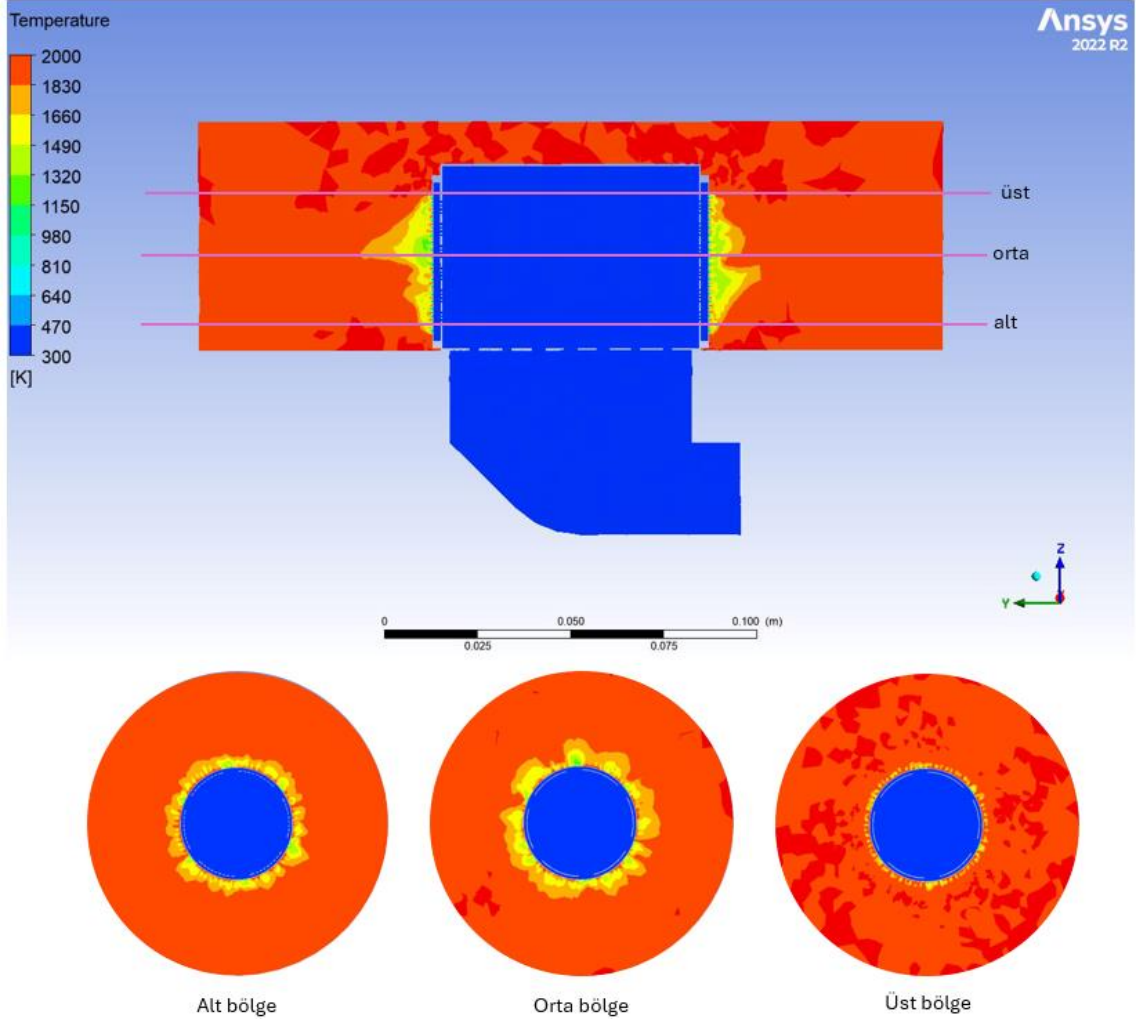


Görsel 5.16. Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine B tipi metal fiber kaplı brülör yanma odası sıcaklık dağılımı

Yanmanın alt bölgede homojen bir şekilde dağılmaması sonucu yanma performansını etkilemektedir. Bu sebeple B tipi metal fiber brülörde her bölgede homojen bir yanma görülmemiştir.

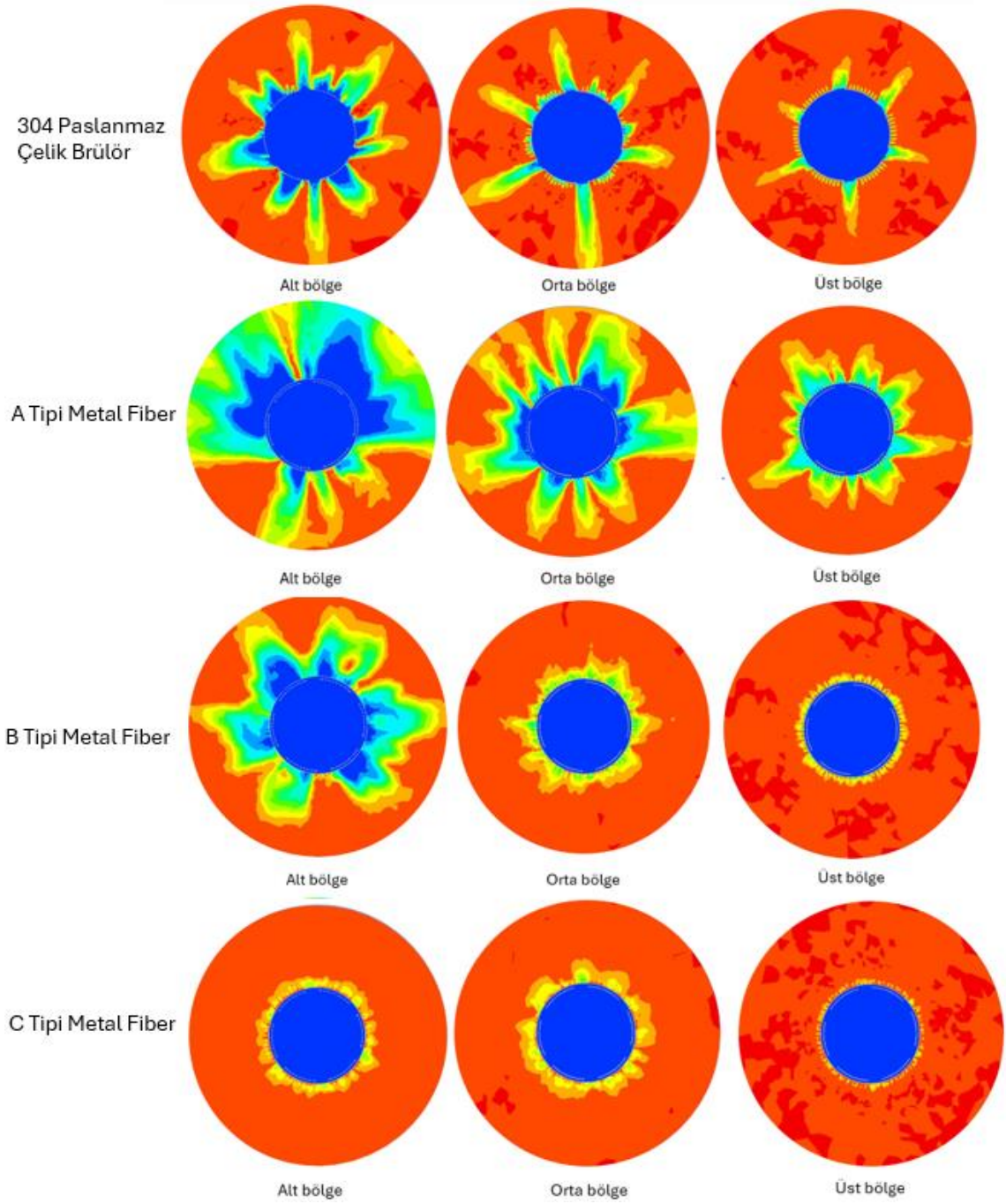
5.1.2.4. C tipi metal fiber kaplı brülör

Mevcut 304 paslanmaz çelik brülörü üzerine C tipi metal fiber kaplı brülör ile yapılan sıcaklık analizinde brülörün bütün bölgelerinde homojen bir sıcaklık dağılımı gözlenmiştir. (Görsel 5.16).



Görsel 5.17. Mevcut 304 paslanmaz çelik brülör üzerine C tipi metal fiber kaplı brülör yanma odası sıcaklık dağılımı

Yanma odasının alt bölgelerinde akışın yoğun olmasından dolayı sıcaklık ceperlere yakınlaşmış ve mavi alev burada oluştuğundan verimli bir yanma görülmüştür. Paslanmaz brülöre göre daha homojen bir yanma görülmüştür. Diğer metal fiber brülörler içerisinde en ideal yanma C tipi metal fiberde görülmüştür.

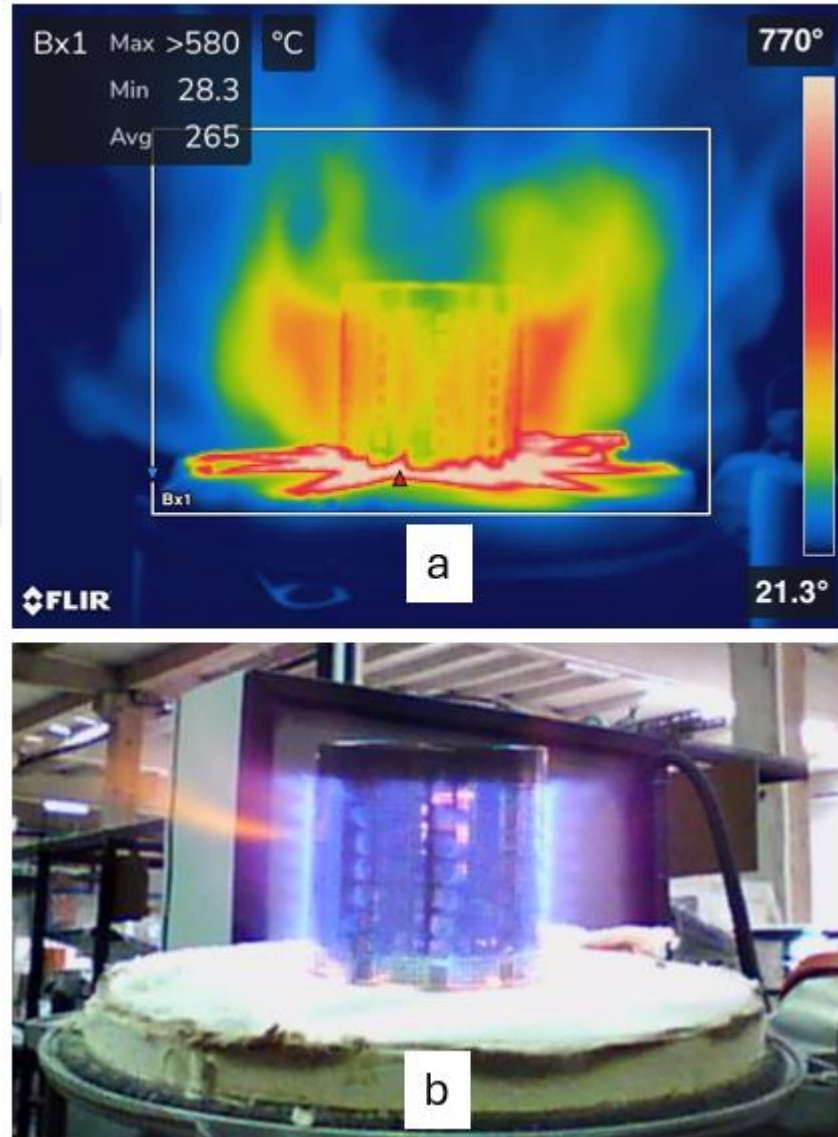


Görsel 5.18. *Bütün brülör tiplerinin yanma odasında sıcaklık dağılımı kıyaslaması*

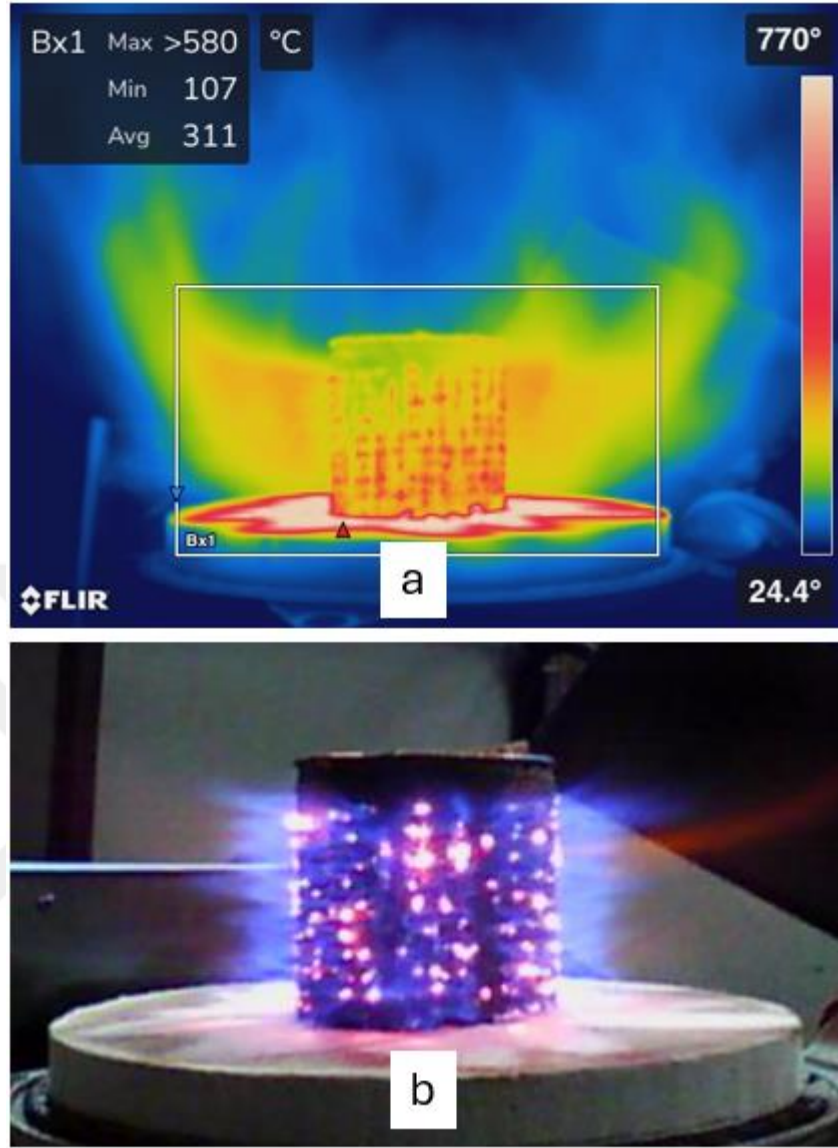
Görsel 5.18’de görüldüğü metal fiber kaplı brülörün sıcaklık dağılımı mevcut paslanmaz brülöre göre daha iyidir. Metal fiber içerisinde C kaplı metal fiber daha iyi bir yanma göstermiştir.

5.2. Görsel Yanma Bulguları Ve Tartışma

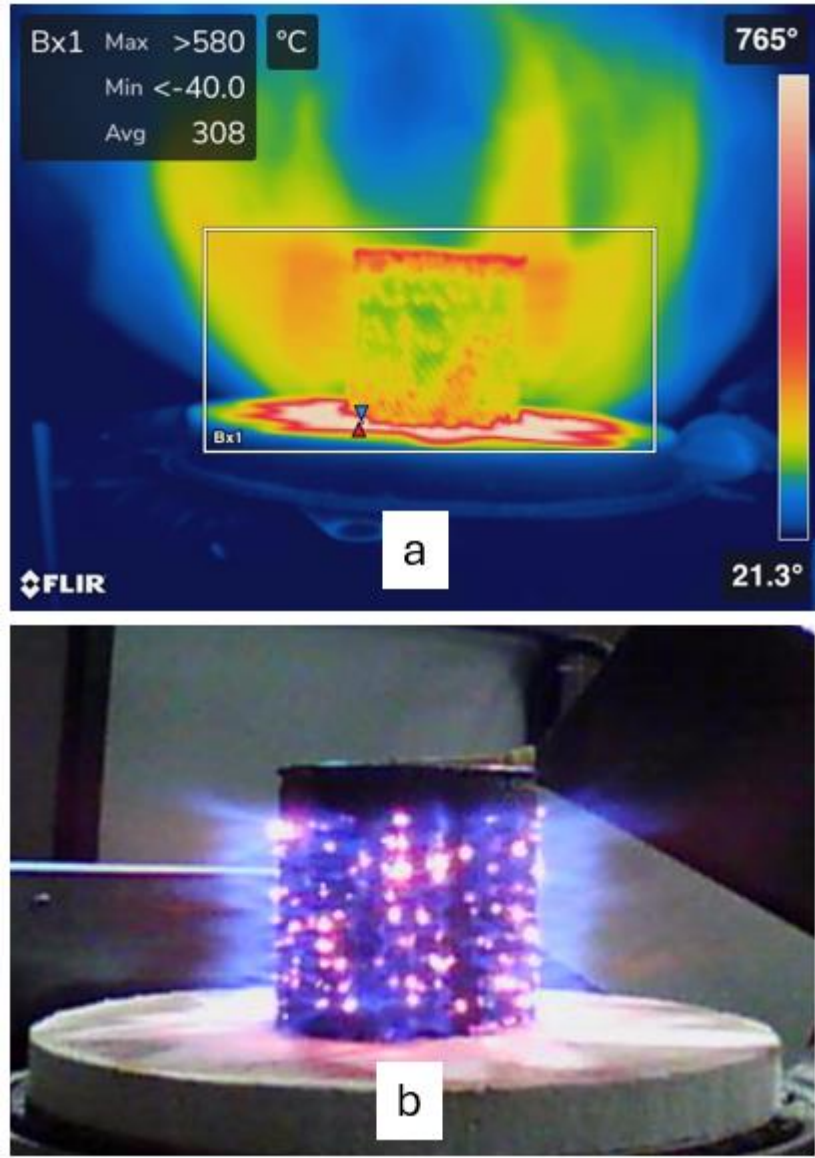
Hazırlanan test düzeneğinde fan ters bağlanarak açık hava ortamında bütün brülörlerin yanma performansı görsel olarak ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Açık hava ortamındaki yanma testleri 18 kw yük altında yapılmıştır. FLIR e5 cihazı kullanılarak yapılan işlemde 304 paslanmaz çelik brülörün özellikle üst bölgelerde yanmasında daha az olduğu fakat akış hızı ile yukarı doğru yönlendiği tespit edilmiştir (Görsel 5.19).



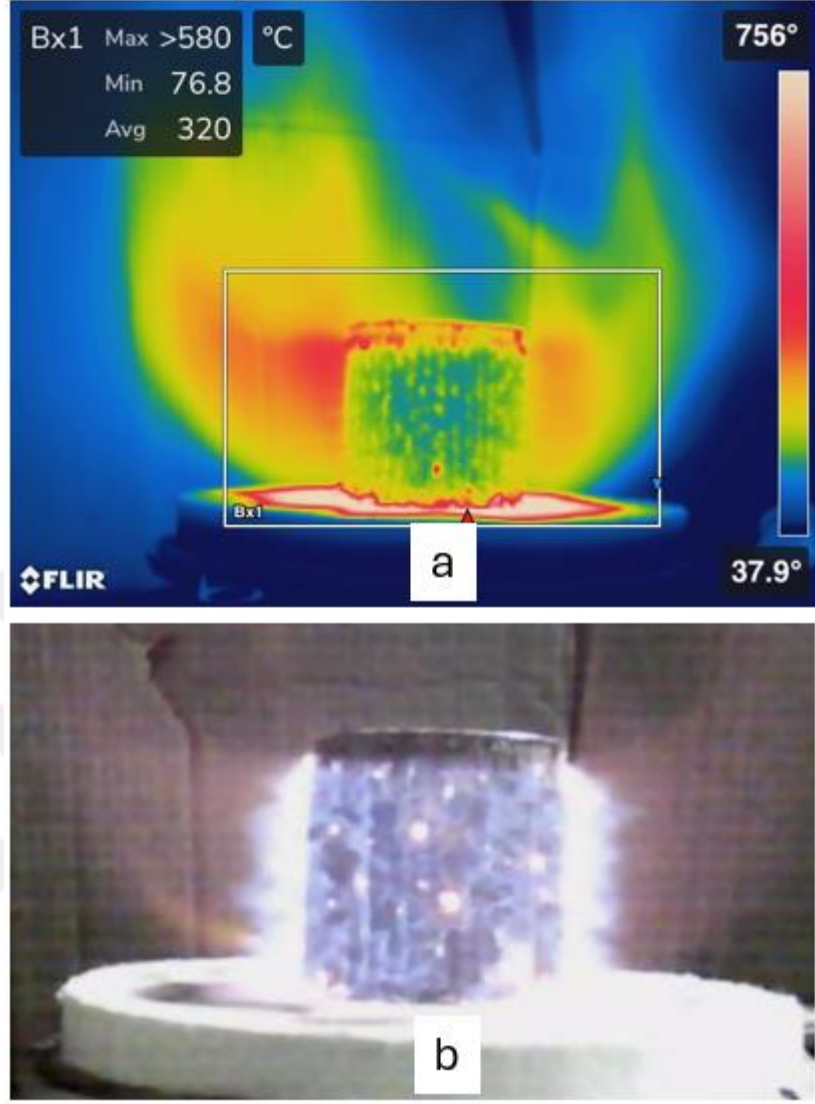
Görsel 5.19. 304 Paslanmaz çelik brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b) Gerçek görüntüsü



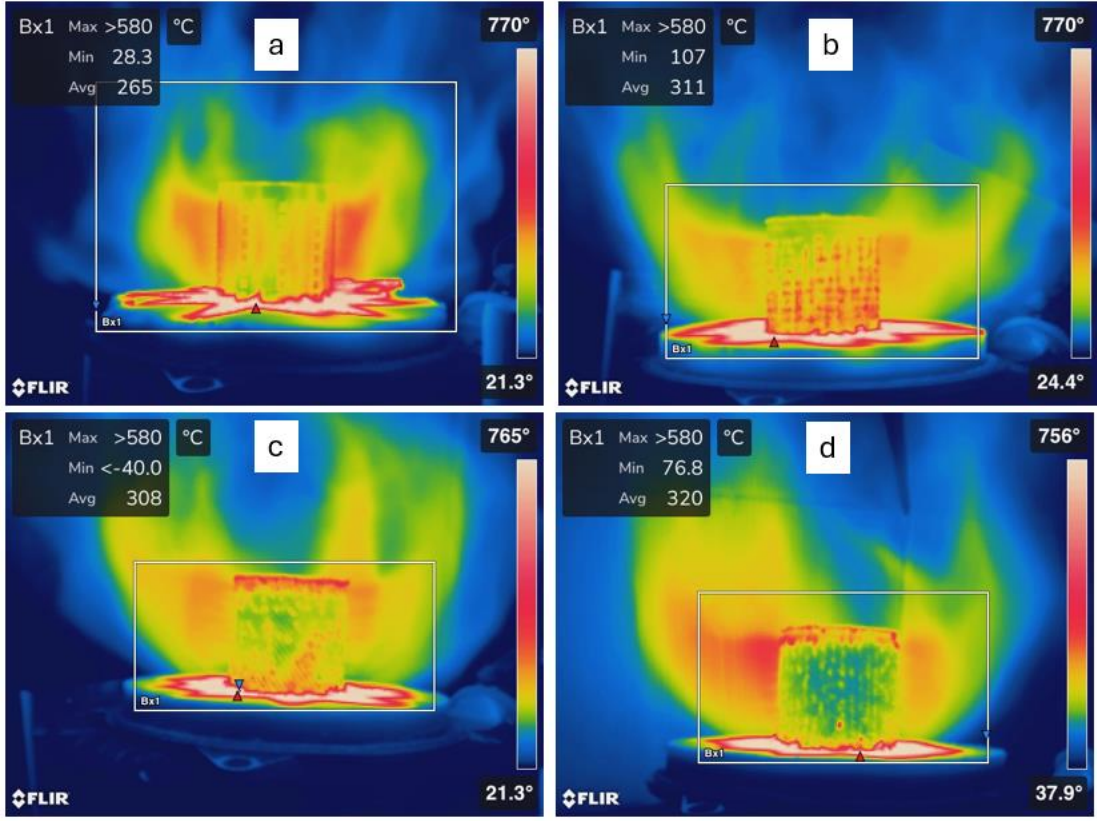
Görsel 5.20. A Tipi metal brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b) Gerçek görüntüsü



Görsel 5.21. B Tipi metal brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b) Gerçek görüntüsü



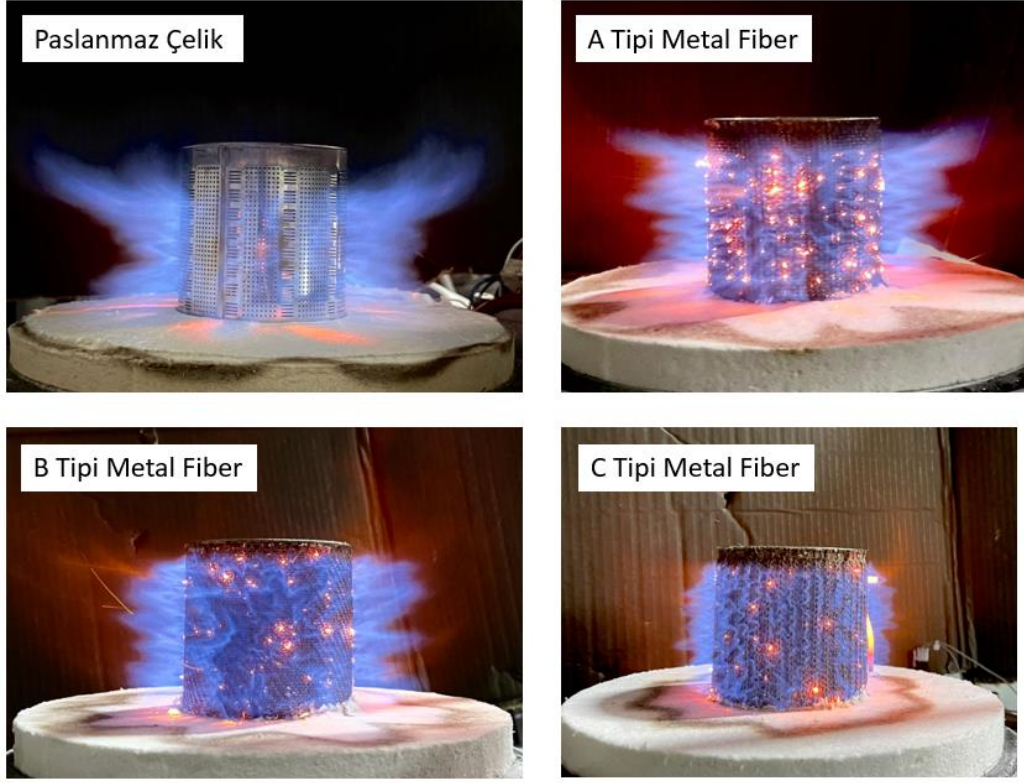
Görsel 5.22. C Tipi metal brülör yanma görseli a) Termal kamera görüntüsü b) Gerçek görüntüsü)



Görsel 5.23. Tüm brülörlerin termal kamera görüntülerinin kıyaslanması: a)304 paslanmaz çelik brülör, b)A-tipi metal fiber, c) B-tipi metal fiber, d)C-tipi metal fiber

Termal kamera sonucunda metal fiber kaplı brülörde daha kararlı bir yanma meydana geldiği ve yanmısa miktarı mevcut 304 paslanmaz çelik brülöre göre daha homojen olduğu görsel olarak görülmüştür. Metal fiber içerisinde özellikle alev boyu C-tipi metal fiber kaplı brülörün daha yüksektir. B tipi metal fiber homojen ve alev boyu yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Akış hızlandırmak için ürün 24 kw olarak çalıştırılmış ve fan hızı ürünün maksimum haline getirelerek brülör üzerinde alev dağılımı incelenmiştir (Görsel 5.24). Yüksek güçte paslanmaz çelik brülörün üst bölgelerinde alevin oluşmadığı ve özellikle kararlı olmayan bir yanmanın meydana geldiği görülmüştür. C tipi metal fiber ise diğer metal fiber brülöre göre daha homojen ve kararlı bir yanma meydana geldiği, tüm yüzeyin alev aldığı tespit edilmiştir.

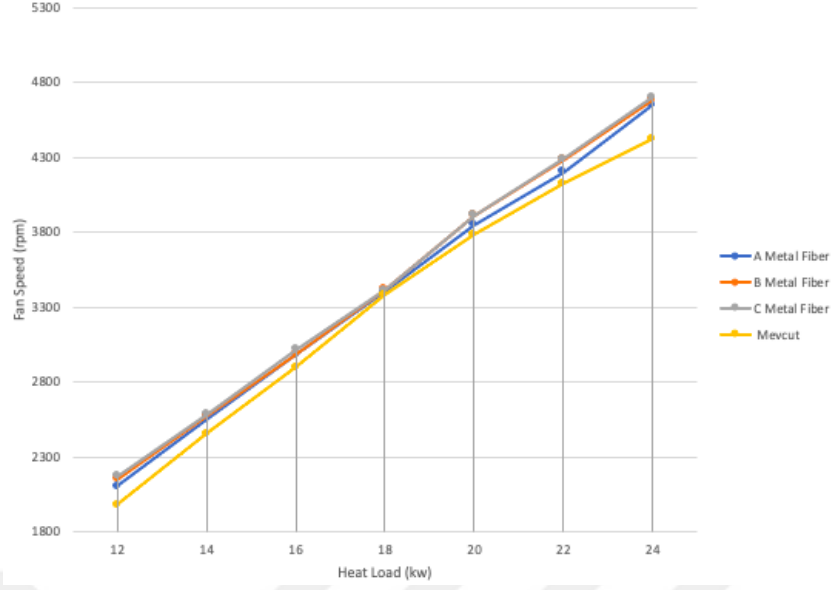


Görsel 5.24. 24kw'da tüm brülörlerin yanma görüntüleri

5.3. Kombi Üzerinde Deneysel Çalışmalar

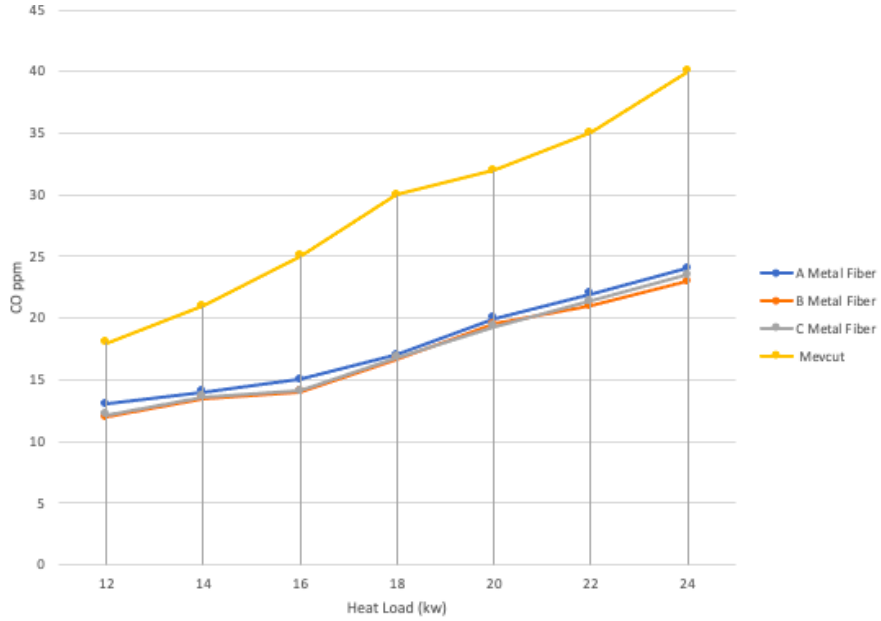
Kombiye montajlanan brülörler 12 kw ile 24 kw aralığında ısıl güc değerleri değiştirilerek kombinin CO ve NO_x değerleri ölçülmüştür. Ölçümler alınmadan önce -40 dakika arasında çalıştırılarak kombinin rejime girmesi için bekletilmiştir.

Şekil 5.1 da görüldüğü gibi Metal fiber kaplamalı olan brülör tasarımı mevcut tasarıma göre fan hızı yüksek çıkmıştır.



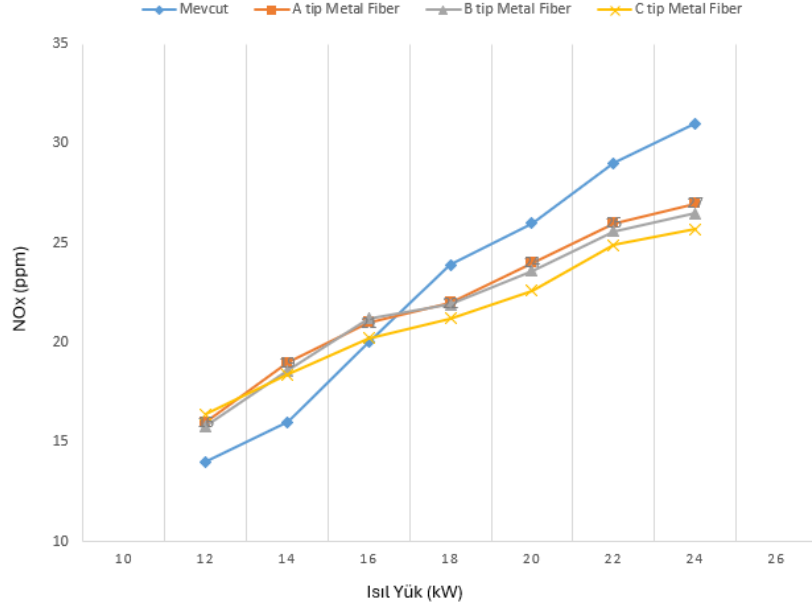
Şekil 5.1. Isıl yükün fan hızına etkisi

Alınan test sonuçlarını göre mevcut tasarım ile metal fiber kaplamalı brülörler 18 kw değerinde yakın fan hızına ulaşmıştır ve tekrardan ısıl yük arttıkça doğru orantılı olarak fan hızında artış göstermektedir. Metal fiber kaplamalı olarak B ve C tasarımı 18 kw ısıl yük değerinden sonra artış göstermiştir. Fakat A metal fiber ve mevcut parça B ve C tasarımına göre daha az fan hızına ulaşmıştır.



Şekil 5.2. Isıl yükün CO 'e etkisi

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi metal fiber kaplamalı olan brülör tasarımı mevcut tasarıma göre CO oranı düşük çıkmıştır. Özellikle fan hızının artmasıyla beraber homojen bir yanma gösteren metal fiber kaplamalı brülör CO değeri kaplamasız brülöre göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 5.3. Isıl yükün NOx e etkisi

Isıl yükün NOx e olan etkisi bütün brülörlerde incelendiğinde 16 kw ve altında mevcut 304 paslanmaz çelik brülörün NOx değeri düşük çıkmıştır. Fakat 16 kw’dan sonra paslanmaz çelik NOx değeri artarken, metal fiber kaplı brülörlerin NOx değeri azalmıştır. C tipi metal fiber diğerlerine göre biraz daha iyi sonuç vermiştir.

6. GENEL SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında mevcut brülör ile 3 farklı tipteki metal fiber brülörünün performansını deneysel ve simülasyonlarla inceledik. Test sonuçların daha uygun çıkması için paslanmaz çelik yoğunmalı ısı eşanjör kazanı kullanılmıştır. Mevcut ve 3 farklı tipteki metal fiber malzemelerinin simülasyon çalışmalarında gazın akış hızı ve sıcaklık dağılımını, sabit ısı yük altında termal kamera ile alev dağılımı ve görünümü, test standında çeşitli ısı yük altında NO_x ve CO değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmanın ana sonuçları aşağıda yer almıştır.

Simülasyon çalışmalarına göre belirlenen sınır diyagramı testler ve termal kamera ile doğrulanmıştır. Yapılan ölçümler simülasyon çalışması ile benzerlik göstermektedir. Simülasyon çalışmalarında CH₄ metan gazı ile hava karışımı ile ilerlenilmiştir. Deneysel çalışmalarda yerel doğalgaz kullanılmıştır. Simülasyon çalışmasındaki sıcaklık değer farklılığı mevcut doğalgaz içeriğindeki diğer gazların simülasyon çalışmalarında göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. Yerel doğalgaz içeriği yoğunlukla CH₄ metan gazı bulunmaktadır ve simülasyon çalışmalarında CH₄ metan gazı tercih edilmiştir. Akış analizi ile termal kamera görüntüleri bir biri ile uyumaktadır. Metal fiber kaplı brülörlerin yanma kararlılığı ve homojen dağılımı mevcut 304 paslanmaz çelik brülöre göre daha iyidir. Metal fiber içerisinde C tipi metal fiber kaplı brülörün homojenliği diğerlerine göre iyidir. Mahdi ver arkadaşlarının yaptığı alev boyu çalışması ile bizim yaptığımız çalışmalarda da 0.8 eşdeğerlilik ve 16-18 kw değerlerinde daha kararlı bir yanma oluştuğu gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda 304 paslanmaz çelik brülör CO olarak sürekli artış göstermiş ve 18-40 ppm aralığında olduğu görülmüştür. En yüksek değer 24 kw iken 40 ppm gelmiştir. Mevcut brülörün CO değeri bütün ısı yük altında metal fibere göre daha yüksektir. Simülasyon çalışmalarının akış analizde görüldüğü gibi metal fiber brülörü gazı içerisinde hapsederek kendi üzerindeki oluşan porozite deliklerinde daha homojen bir şekilde dağıttığı için daha düşük CO değerine sahiptir. NO_x değerinde göre 16 kw değerine kadar mevcut paslanmaz çelik brülör diğer metal fiber brülörlere göre daha az bir NO_x değerine sahiptir. Fakat 16 kW ısı güç değerinden sonra termal kamera görüntülerinde gördüğü üzere mevcut brülörde yanma kararsızlaştığından dolayı daha NO_x değeri metal fiber brülörlere göre artmaktadır. Metal fiber kaplı brülörler bütün ısı güç değerleri altında 15-26 ppm NO_x üretirken, mevcut paslanmaz çelik brülör 14-30

ppm aralığında NO_x üretmektedir. Metal fiber içerisinde C tipi metal fiber diğer metal fiber kaplamalarına göre daha düşük emisyon değerine sahiptir. Simülasyon ver termal kamera görüntüleri de test sonucu ile örtüşmektedir. A ve B tipi metal fiber üzerindeki boşluklar brülör üzerinde delikler ile aynı hizaya gelmesiyle etkisini belli bölgelerde yitirmektedir. Fakat C tipi brülör iki katlı bir yapıya sahip olduğundan gazı tamamen hapsederek hpöjen bir şekilde dağılım göstermesine sebebiye vermektedir. Lee ve arkadaşlarının yaptığı brülör üzerindeki delik çaplarına ait çalışmada bu tezi desteklemektedir.

En son yayınlanan regülasyona göre kombilerin NO_x değeri 1000 ppm ile sınırlandırılmıştır. Bu sebeple yoğunlaşmalı kombiler dışında kombilerin üretimi Avrupa ve Türkiye’de yasaklanmıştır. Deneysel test sonuçlarına göre ölçülen değerler bu sınırın çok altındadır. Küresel ısınma ve çevre kirlenmeleri ile ilerleyen zamanlarda emisyon değeri 50-100 ppm çivarına düşürülmesi durumunda yapılan bu çalışma katkı sağlayacaktır. Ayrıca metal fiber malzemesinin termal şok özelliği paslanmaz çelik brülöre göre daha iyidir. Yanma odasında gün içerisinde brülör en az 20 kere 1400 C sıcaklığa ulağı tekrar oda sıcaklığına ulaşmaktadır ve termal şok maruz kalmaktadır. Bu sebeple metal fiber brülör mevcut brülör malzemesini koruyacaktır.

KAYNAKÇA

- Ahmadi, Z., & Zabetian Targhi, M. (2021). *Thermal performance investigation of a premixed surface flame burner used in the domestic heating boilers* (Cilt 236).
- Arshi Banu, P., N. S. Ramesh Lohith, D., Praveen Kalyan, M., Vempati, D., & Hemanth Sai, B. (2022). Simulation of fin and tube heat exchanger and validation with CFD analysis. *Materials Today: Proceedings*, 66, 1471-1476.
- Cao, W., Liu, F., & You, X. (2018). Performance of casting aluminum-silicon alloy condensing heating exchanger for gas-fired boiler. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 54(7).
- Demirdöküm. (2023). Demirdöküm: <http://www.demirdöküm.com.tr> adresinden alındı
- Felsmann, D., Hinrichs, J., Schweitzer-De Bortoli, S., Tomczak, H.-J., & Pitsch, H. (2018). Numerical and experimental investigation of pollutant formation and emissions in a full-scale cylindrical heating unit of a condensing gas boiler. *Applied Energy*, 229, 977-989.
- Fengguo, L., Longfeng, Z., & Rui, Z. (2020). Emissions and thermal efficiency for premixed burners in a condensing gas boiler. *Energy*, 1-8.
- Grundfos. (2023). www.grundfos.com: www.grundfos.com adresinden alındı
- Hashemi, S., & Hashemi, S. (2017). Flame stability analysis of the premixed methane-air combustion in a two-layer porous media burner by numerical simulation. *Fuel*, 202.
- Hinrichs, J., Schweitzer-De Bortoli, S., & Pitsch, H. (2021). *3D modeling framework and investigation of pollutant formation in a condensing gas boiler* (Cilt 300).
- Koca, T., & Aksungur, S. (2018). *Hermetik Yoğuşmalı Kombi Cihazlarının Performanslarının Deneysel Olarak Karşılaştırılması*.
- Lee, J., Kim, J., Lee, S., & Lee, C. (2011). *A study on the effects of CO-tubes insertion on the emission characteristics of a compact heat exchanger* (Cilt 36).
- Lee, S., Kum, S.-M., & Lee, C.-E. (2011). An experimental study of a cylindrical multi-hole premixed burner for the development of a condensing gas boiler. *Energy*, 36(7), 4150-4157.
- Liu, F., Zheng, L., & Zhang, R. (2020). *Emissions and thermal efficiency for premixed burners in a condensing gas boiler* (Cilt 202).
- Najarnikoo, M., Targhi, M., & Pasharshahri, H. (2019). *Experimental study on the flame stability and color characterization of cylindrical premixed perforated burner of condensing boiler by image processing method* (Cilt 189).
- Omidi, M., & Emami, M. (2019). *An experimental study of stable and unstable operation range in a two-layer porous burner* (Cilt 55).
- Polidoro. (2023). [polidoro](http://www.polidoro.com). www.polidoro.com: www.polidoro.com adresinden alındı
- Riello. (2023). www.riello.com: www.riello.com adresinden alındı

- Shafiey Dehaj, M., Ebrahimi, R., Shams, M., & Farzaneh, M. (2017). *Experimental analysis of natural gas combustion in a porous burner* (Cilt 84).
- Shang, S., Li, X., Chen, W., Wang, B., & Shi, W. (2017). *A total heat recovery system between the flue gas and oxidizing air of a gas-fired boiler using a non-contact total heat exchanger* (Cilt 207).
- Song, F., Wen, Z., Dong, Z., Wang, E., & Liu, X. (2017). *Ultra-low calorific gas combustion in a gradually-varied porous burner with annular heat recirculation* (Cilt 119).
- Vaillant. (2023). *Vaillant*. www.vaillant.com.tr: www.vaillant.com.tr adresinden alındı
- Vignali, G. (2017). *Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology* (Cilt 142).
- Vleurinck, J., & De Baerdemaeker, J. (2017). *An introduction to Metal Fiber Technolog. Bekaert*.
- Wei, Z., Li, X., Xu, L., & Tan, C. (2012). *Optimization of operating parameters for low NO_x emission in high-temperature air combustion* (Cilt 26).
- Yu, B., Kum, S.-M., Lee, C.-E., & Lee, S. (2013). *Combustion characteristics and thermal efficiency for premixed porous-media types of burners* (Cilt 53).
- Zhao, D., Liu, F., You, X., Zhang, R., Zhang, B., & He, G. (2015). *Optimization of a premixed cylindrical burner for low pollutant emission* (Cilt 99).

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0003-2285-8385

Ad Soyad : Aytaç Biçer

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2015, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- 2009, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü
- 2021, Arçelik A.Ş, Araştırma Geliştirme Bölümü
- 2012, Türk Demirdöküm A.Ş., Araştırma Geliştirme Bölümü
- 2011, Kütahya Yapı Kimyasalları Ltd. Şti, Araştırma Geliştirme Bölümü
- 2010, Seramdent Diş Seramikleri Ltd. Şti., Araştırma Geliştirme Bölümü

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- The Effect of Inlet Pipe on Performance of Vertical Electrical Storage Water Heater (Journal of Scientific Reports-B) - 2021
- The Effect Of Polymer Matrix Ceramic Composite Thermal Insulation Material On Electrical Water Heater (International Conference on Advanced Materials Science & Engineering and High Tech Devices Applications; Exhibition (ICMATSE 2020))
- Analyze of Corrosion in AlSi12(Fe), Exposed to Acidic Water (pH=3) in Condensing Boiler with Recuperator Technology (19th Metallurgy Congress) - 2019
- Dry Sliding Friction and Wear Behaviours of Bronze Matrix Composites Reinforced with Ni3Al Particles (International Journal of Material Research)-2016
- TR201720917A2 Patent: Graphite heater element for electrical storage water heater 2019-07-22
- TR201512138A2 Patent: Improvement of energy saving for electrical storage water heater 2017-04-21