



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDİREKT YAKMALI PROSES HAVA ISITICILARININ TERMAL
DİZAYNI**

Serhat KEMERÖZ

Prof.Dr.Recep YAMANKARADENİZ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA- 2012

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Serhat Kemeröz tarafından hazırlanan “Endirekt Yakmalı Proses Hava Isıtıcılarının Termal Dizaynı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr.Recep YAMANKARADENİZ

Başkan : Prof.Dr.Recep YAMANKARADENİZ

İmza

Uludağ Üni. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doc.Dr.Ömer KAYNAKLI

İmza

Uludağ Üni. Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd.Doç.Dr Salih COŞKUN

İmza

Uludağ Üni. Meslek Yüksek Okulu,
Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN

Enstitü Müdürü

../../....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././.....

İmza

Ad ve Soyadı

Serhat Kemeröz

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDİREKT YAKMALI PROSES HAVA ISITICILARININ TERMAL DİZAYNI

Serhat KEMERÖZ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr.Recep YAMANKARADENİZ

Ülkemiz endüstrisi hızla büyümekte ve bunun paralelinde de endüstrinin ihtiyacı olan ileri teknoloji ürünlerine gereksinimi günden güne artmaktadır. Gıda endüstrisinde kurutma ve proses amaçlı kullanılan yüksek sıcaklık ve kapasiteli sıcak hava ısıtıcıları (Sıcak hava Jeneratörleri) bu bağlamda yurt dışından ithal edilmekte ya da verimsiz çözümler kullanılmaktadır. Ülkemizde gıda sektöründe yüksek kapasite ve yüksek sıcaklıkta, hijyenik ve indirekt sıcak hava ısıtıcılarına süt tozu, baharat gibi uzun ömürlü yarı mamullerin üretilmesi için ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstrimizin Dışa bağımlılığını azaltmak, ülke kaynaklarının ve enerjinin verimli ve etkin bir şekilde kullanılması sağlamak çok önem arz etmektedir. Tez araştırma konusunun ana hedefi gıda sektöründe ihtiyaç duyulan yüksek verimli hava ısıtıcılarının termal dizaynının yapılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yerli kaynaklar, hava ısıtıcı, Gıda teknolojisi

ABSTRACT

MSc Thesis

THERMAL DESIGN OF INDIRECT FIRED PROCESS AIR HEATERS

Serhat KEMERÖZ

Uludağ University

Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof.Dr.Recep YAMANKARADENİZ

The industry of our country is growing rapidly, and in parallel with this growth, its need for high-tech products is increasing with each passing day. In this context, the hot air heaters (hot air generators) with high temperature and capacity, which are used in the food industry for drying and process purposes, are imported from abroad or some inefficient solutions are utilized. In our country, hygienic and indirect hot air heaters with high temperature and capacity are needed in the food sector, for the production of long life semi-finished products such as milk powder and spices. Decreasing our country's foreign-source dependency and ensuring the efficient and effective use of the country's resources and energy are very important. The main objective of the research topic of the thesis is to make the thermal design of the high efficiency air heaters, which are needed in the in the food sector.

Key words: Energy, Country's resources, Air heater, Food industry

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimize başlamam ve tamamlamam konusunda büyük destek veren Eralp Makine Kazan Şirketi Genel Müdürü Sayın Recep Eralp'e,

Eralp kazan bünyesinde test standartlarının kurulumu ve testlerin yapımında yardımlarını esirgemeyen tüm Eralp Makine çalışanlarına,

Çalışmam esnasında değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Nihat TEKİN hocama,

Bu tez çalışmam boyunca bana daima zaman ayırmayı ihmal etmeyen danışman hocam Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ'e,

Ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Serhat Kemeröz

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ	1
2. HAVA ISITICILARIN GENEL TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI	2
2.1. Direkt Tip Hava Isıtıcıları:	2
2.2. Endirekt Tip Hava Isıtıcıları:	2
2.3. Hijyenik Olmayan Tip Hava Isıtıcıları:	2
2.4. Hijyenik Tip Hava Isıtıcıları:	2
2.5. Düşük Sıcaklıklı Tip Hava Isıtıcıları:	3
2.6. Yüksek Sıcaklıklı Tip Hava Isıtıcıları:.....	3
3. SÜT TOZU ÜRETİM PROSESİ TANITIMI.....	4
3.1. Süt Tozu üretmenin Önemi:	4
3.2. Prensipleri:	4
3.3. Yöntemleri:	4
3.3.1. Silindir (valsli) Yöntemiyle Kurutma ve Süt tozu üretimi:.....	4
3.3.2. Püskürtme (Spray-Dryer) Yöntemiyle Kurutma ve süt tozu üretimi:.....	5
3.3.2.1. Tek Aşamalı Kurutma ve süttozu üretimi:	10
3.3.2.2. İki Aşamalı Kurutma ve süttozu üretimi:.....	11

3.3.2.3. Üç Aşamalı Kurutma:	13
4. Kaynak özetleri	14
5. TERMİK HESAPLAR:	18
5.1. Ön Prototip Termik Hesabı:	18
6. ÖN PROTOTİP DİZAYNI ve HESAPLAMALI AKIŞ ANALİZİ	29
6.1. Ön Prototip Dizaynı:	29
6.2.Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Analizi (CFD).....	30
6.2.1.Hesaplama akışkanlar dinamiği teorik alt yapısı:	30
6.2.1.1.Korunum denklemleri:	31
6.2.2.Modelin Mesh Yapısı:.....	32
6.2.3.Sınır Şartları	33
6.2.3.1.Yanma Havası Giriş (Burning Air İnlet).....	33
6.2.3.2.Yakıt Girişi (Burning Gas İnlet)	34
6.2.3.3.Yanmış Gazlar Tarafı Isı Transfer Yüzeyi.....	35
6.2.3.4.Yanmış Gazlar Çıkışı Sınır Şartı (Burning Gas Outlet).....	36
6.2.3.5.Proses Havası Giriş Sınır Şartı (Process Air İnlet)	36
6.2.3.6.Proses Havası Tarafı Isı Transfer Yüzeyi	37
6.2.3.7.Proses Havası Çıkışı Sınır Şartı (Process Air Outlet).....	38
6.2.4.Analiz Ve Sonuçlar	38
6.2.4.1. Birinci Analiz Sonuçları:.....	38
6.2.4.1.1. Birinci Analiz Sonuçları Değerlendirme:.....	41
6.2.4.2. İkinci Analiz Sonuçları:	42
6.2.4.2.1. İkinci Analiz Sonuçları Değerlendirme:	46
7. ÖN PROTOTİP ÜZERİNDE YAPILAN DENEY VE SONUÇLARI	47
8. NİHAİ PROTOTİP TERMİK HESAPLAR:	49

8.1. Termodinamik Benzerlik:	49
8.2. Termik Hesap	52
9. NİHAİ PROTOTİP DİZAYNI VE HESAPLAMALI AKIŞ ANALİZİ	60
9.1. Nihai Prototip Dizaynı:	60
9.2. Nihai Prototip Hesaplamalı Akış Analizi-1 / ANSYS CFX:	60
9.2.1. Modelin Mesh Yapısı:	60
9.2.2. Sınır Şartları:	62
9.2.2.1. Duman Gazları Giriş Sınır Şartı (Burning Gas İnlet).....	62
9.2.2.2. Duman Gazları Çıkış Sınır Şartı (Burning Gas Outlet):	63
9.2.2.3. Duman Gazları Tarafı Isı Transfer Yüzeyi:	64
9.2.2.4. Proses Havası Giriş Sınır Şartı (Process Air İnlet):	64
9.2.2.5. Proses Havası Çıkışı Sınır Şartı (Process Air Outlet)	65
9.2.2.6. Proses Havası Tarafı Isı Transfer Yüzeyi	66
9.2.3. Analiz Ve Sonuçlar:	66
9.2.3.1. Analiz Sonuçları:	66
9.3. Nihai Prototip Hesaplamalı Akış Analizi-2 / ANSYS CFX:	70
9.3.1. Model ve Modelin Mesh Yapısı:	70
9.3.2. Simülasyon Sonuçları:	72
9.2.3.2. Analiz Sonuçları Değerlendirme:	76
10. NİHAİ PROTOTİP ÜZERİNDE YAPILAN DENEY VE SONUÇLARI :	77
10.2. Sonuçlar:	81
KAYNAKLAR	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
h_{abg}	Baca kaybı
f	Işıma faktörü
t_{abg}	Baca gazı sıcaklığı
t_u	Çevre sıcaklığı
A_{tv}	Teorik hava miktarı
H_n	Yakıt alt ısı değeri
G_{tv}	Duman gazı miktarı
Ω	Omega değeri
ε	Doğalgaz alevi değeri
S	Yanma hücresi radyasyon alanı
M_f	Yakılan yakıt kütle akısı
G	Kütlesel Hız
T_e	Yanma hücresi çıkışındaki sıcaklık °K
t_e	Yanma hücresi çıkışındaki sıcaklık °C
T_w	Yanma hücresi ortalama sıcaklığı
h_g	Yanma ürünü gazları entalpi değeri
c_{pg}	Duman gazı ortalama özgül ısı değeri
Δ_{tm}	Logaritmik sıcaklık farkı
α	Isı iletim katsayısı
d_i	Boru çapı veya hidrolik çap
c_p	Hava ortalama özgül ısı değeri
k	Proses havası iletkenlik değeri
μ	Proses havası dinamik viskozitesi
U	Toplam ısı transfer katsayısı
α'	Proses havası tarafı ısı geçiş katsayısı
α''	Duman gazı tarafı ısı geçiş katsayısı
X_w	Duman boruları et kalınlığı
h_R	Duman gazı entalpi değeri
t_R	Duman gazı sıcaklığı

Kısaltmalar

CFD

CO₂

HTV

MTV

ANSYS

CFX

Açıklama

Hesaplamaalı akışkanlar analizi

Karbon di oksit

High temperature version hava ısıtıcısı tipi

Middle temperature version hava ısıtıcısı tipi

Analiz programı adı

Hesaplamaalı Akışkanlar analizi tipi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Atomizer	7
Şekil 3.2. Resimde Kurutma kulesinin bir bölümü görülmektedir. Alt katta konik kısmı görülmektedir.....	8
Şekil 3.3. Siklon tipi separatör.....	8
Şekil 3.4. Akışkan yatak kurutucu	9
Şekil 3.5. Tek aşamalı püskürtmeli kurutucu proses (1.Kurutma kulesi, 2.hava ısıtıcı, 3.konsantre süt tankı, 4.Yüksek basınç pompası, 5.Atomizer, 6.ve7.siklon seperatörler, 8.Hava emici fanlar).....	10
Şekil: 3.6. iki aşamalı püskürtmeli kurutucu proses (1.İndirekt hava ısıtıcı, 2.Kurutma kulesi, 3.Akışkan yatak kurutucu, 4.Akışkan yatak havası için ısıtıcı, 5.Akışkan yatak için soğutma havası, 6.Akışkan yatak için nemsiz soğutma havası)	12
Şekil 4.1. HTV tip hava ısıtıcısı şematik görünümü.....	15
Şekil 4.2. MTV tip hava ısıtıcısı.....	15
Şekil 4.3. Bu resimde aynı firmanın direkt tip bir hava ısıtıcısının şematik resmi gösterilmiştir. Direkt tip hava ısıtıcılarında yanma sonu ortaya çıkan gazlar ile temiz hava karıştırılarak kullanılmaktadır. Bu tipteki cihazlar steril prosesler için uygun değildir.....	16
Şekil 4.4. Babcock-Wanson üretimi 2 milyon kcal/h kapasiteli, gaz yakmalı, hava ısıtıcısı fotoğrafı görülmektedir. Şekilde sıcak hava çıkış tarafı görülmektedir.....	17
Şekil 5.1. Yanma odası içindeki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı.....	23
Şekil 5.2. Duman Boruları tarafındaki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı	25
Şekil 5.3. Rosin&Fehling diagramı: Duman gazı entalpisine göre sıcaklık tayini.....	28
Şekil 6.1. Ön prototip ölçüleri (mm).....	29
Şekil 6.2. Ön prototipde hava ve duman gazlarının izlediği yol.....	29

Şekil 6.3. Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği probleminin çözümündeki işlem adımları görülmektedir.	30
Şekil 6.4. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan hacim elemanı tipleri.....	30
Şekil 6.5. Ön prototip model mesh yapısı görülmektedir.	32
Şekil 6.6. Ön prototip model mesh yapısı görülmektedir.	32
Şekil 6.7. Ön prototipde yanma havası giriş sınır şartı.....	33
Şekil 6.8. Gerçeğine uygun olarak modellenen brülör nozulu	34
Şekil 6.9. Ön prototipde yakıt giriş sınır şartı.....	35
Şekil 6.10. Yanmış gazların yaladığı ısı transfer yüzeyi sınır şartı	35
Şekil 6.11. Yanmış gazların çıkış sınır şartı	36
Şekil 6.12. Proses Havası Giriş sınır şartı.....	37
Şekil 6.13. Proses havasının yaladığı ısı transfer yüzeyi sınır şartı.....	37
Şekil 6.14. Proses havası Çıkış sınır şartı	38
Şekil 6.15. Proses havası akış iplikçikleri ve hız dağılımı.....	39
Şekil 6.16. Yanma sonu gazları akış iplikçikleri ve hız dağılımı	40
Şekil 6.17. Yanma sonu gazları ve Proses havası sıcaklık dağılımı	40
Şekil 6.18. yanma sonu gazları ve proses havası çıkışında ortalama sıcaklık değerleri	41
Şekil 6.19. Son hali ile ön prototip ölçüleri (mm) (iç yönlendirici sac 300 mm uzatıldı).....	42
Şekil 6.20. Proses havası akış iplikçikleri ve hız dağılımı.....	43
Şekil 6.21. Yanma sonu gazları akış iplikçikleri ve hız dağılımı	43
Şekil 6.22. Yanma sonu gazları ve Proses havası sıcaklık dağılımı	44
Şekil 6.23. Yanma sonu gazları ve proses havası çıkışında ortalama sıcaklık değerleri	44

Şekil 6.24. Proses havası için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği.	45
Şekil 6.25. Yanma sonu gazları için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği.....	46
Şekil 7.1. Sistem şeması	47
Şekil 7.2. Baca gazı emisyon ve verim değerleri.....	48
Şekil 7.3. Deneyleerin yapıldığı Ön prototip.....	48
Şekil 8.1. Yanma odası içindeki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı.....	56
Şekil 8.2. Duman Boruları tarafındaki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı	59
Şekil 9.1. Son prototip ölçüleri (mm)	60
Şekil 9.2. Nihai prototip proses havası geçiş bölgesi mesh yapısı	61
Şekil 9.3. Nihai prototip duman gazı geçiş bölgesi mesh yapısı	61
Şekil 9.4. Nihai prototip mesh yapısı.....	62
Şekil 9.5. Duman Gazları Giriş Sınır Şartı	63
Şekil 9.6. Duman Gazları Çıkış Sınır Şartı.....	63
Şekil 9.7. Duman Gazlarının yaladığı ısı transfer Yüzeyi Sınır Şartı.....	64
Şekil 9.8. Proses Havası Giriş Sınır Şartı	65
Şekil.9.9. Proses Havası Çıkış Sınır Şartı.....	65
Şekil 9.10. Proses havasının yaladığı ısı transfer yüzeyi sınır şartı.....	66
Şekil 9.11. Proses havası akış iplikçikleri ve hız dağılımı.....	67
Şekil 9.12. Duman gazları akış iplikçikleri ve hız dağılımı.....	67
Şekil 9.13. Yanma sonu (Duman) gazları ve Proses havası sıcaklık dağılımı.....	68
Şekil 9.14. Yanma sonu gazları ve proses havası çıkışında ortalama sıcaklık değerleri	68
Şekil 9.15. Proses havası için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği.	69

Şekil 9.16. Proses havası için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği	70
Şekil 9.17. Nihai prototip modeli.....	71
Şekil 9.18. Nihai prototip Boru demeti – Dumangazı tarafı modeli.....	72
Şekil 9.19. Nihai prototip Mesh Yapısı	73
Şekil 9.20. Düşey ekseninde yapılan kesitte sıcaklık dağılımı ve akım çizgileri	74
Şekil 9.21. Düşey ekseninde yapılan kesitte sıcaklık dağılımı ve duman gazı akım çizgileri. Yanma olayı yok. Enerji girişi eşdeğer hava ile yapılmış ve hatasız sonuçlanmıştır.....	75
Şekil 9.22. Düşey ekseninde yapılan kesitte sıcaklık dağılımı. Bu simülasyonda yanma da birlikte kullanılmış ve hatalar ile sonuçlanmıştır.....	76
Şekil 10.1.Sütaş süttozu Prosesi hava ısıtıcısı görünüm1	77
Şekil 10.2.Sütaş süttozu Prosesi hava ısıtıcısı görünüm2.....	77
Şekil 10.3:Sütaş süttozu Prosesi otomasyon kontrolü PLC ekran görüntüsü	80
Şekil 10.4.Sütaş süttozu Prosesi hava ısıtıcısı otomasyon kontrolü PLC ekran görüntüsü.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Babcock-Wanson firmasının iki ayrı tip hava ısıtıcının karakteristik özellikleri.....	16
Çizelge 4.2. Babcock-Wanson firmasının hava ısıtıcılarının kapasitelerine göre dış ölçüleri verilmiştir.....	17
Çizelge 6.1. Ön prototip modeli tanımlı alanlara göre eleman sayıları verilmiştir.	33
Çizelge 7.1. Ön prototip üzerinde yapılan deneyler sonucu ön prototipin farklı yerlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	47
Çizelge 9-1: Nihai prototip tanımlı alanlara göre eleman sayıları verilmiştir.	62
Çizelge 10.1. Nihai prototip üzerinde yapılan deneyler sonucu ön prototipin farklı yerlerinden ölçülen sıcaklık değerleri.....	78
Çizelge 10-2.: Brülör firması Saacke tarafından Düşük yükte ölçülen Baca gazı emisyon, sıcaklık ve verim değerleri	79
Çizelge 10.3. Brülör firması Saacke tarafından Tam yükte ölçülen Baca gazı emisyon, sıcaklık ve verim değerleri.....	79

1.GİRİŞ

Endüstrideki sıcak hava ısıtıcıları direk-endirekt, hijyenik-hijyenik olmayan, düşük-yüksek sıcaklık ve düşük-yüksek kapasite olmak üzere çeşitli kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Firmalar bu ihtiyaçlarını, yurt dışından ithal ederek ya da yüksek basınçlı buhar ile ısınan hava ısıtıcıları ile dolaylı olarak üreterek karşılamaktadırlar. Her iki çözüm de firma ve ülke ekonomisi için verimsiz ve pahalı sistemlerdir. Bu nedenle; Projemizde, bu ihtiyacı gidermek ve dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla, yüksek verimli, endirekt ısıtmalı hijyenik sıcak hava ısıtıcısı dizayn edilecektir. Sistemde, enerji kayıpları minimum seviyede olacak şekilde doğalgazın yakılarak, yanma sonucu çıkan gazlar ile temiz hava karışmadan sıcak hava ihtiyacını karşılayacak bir endirekt hava ısıtıcısı olacaktır. Sistemin bir benzersiz yanı da sıcak hava ısıtıcısının çıkan duman gazının enerji verimliliğini artırmak amacıyla tasarlanmış ekonomizerden geçirilerek, kazana giren taze havanın bir miktar ön ısıtılmasıyla verim artışı sağlamasıdır. Ayrıca projemizde yüksek sıcaklık farkı gerektiren bu sistemlerdeki termal olayları simüle etmek amacıyla CFD analiz yöntemini kullanarak, akış dağılımını tespit edip, yapılacak özel tasarımla ısıtıcının ömrünün uzun olması ve optimum verim değerinin elde edilmesi sağlanacaktır. Ayrıca ithal edilen ürünlere karşı ülkemizde rekabetçi bir üretim yapılması hedeflenmektedir.

2. HAVA ISITICILARIN GENEL TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Hava ısıtıcıları veya bazı literatürlerde Sıcak hava jeneratörleri sıcak hava elde etmek amacıyla üretilen cihazlardır. Bu cihazlar klasik ısı değıştiricilerin prensibine göre çalışmaktadır. Endüstride kullanılan hava ısıtıcıları direkt-endirekt, hijyenik-hijyenik olmayan, düşük-yüksek sıcaklıklarda olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Buna göre;

2.1. Direkt Tip Hava Isıtıcıları:

Yanmış gazlar ile ısıtılacak olan taze havanın birbirine yanma hücrelerinden sonra karıştırılarak, sıcak hava duman gazı karışımı şeklinde sıcak hava üretimi yapılmaktadır. Bu tip cihazlar genellikle, asfalt hazırlama proseslerinde, çimento fabrikalarındaki kurutma proseslerinde, ateş tuğlası yapımında kullanılan kurutma fırınlarında gerekli olan sıcak havanın temininde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, proses itibari ile hava ve duman gazı karışımı prosesdeki kullanım amaçlarına uygun olduklarından tercih edilmektedirler.

2.2. Endirekt Tip Hava Isıtıcıları:

Yanmış duman gazları ile taze havanın birbirine karışmadan, bir ısı transfer yüzeyi aracılığı ile ısıtılmasına yarayan cihazlardır. Sıcak hava ısıtılmış vaziyette kullanılacağı ilgili prosese gönderilmektedir. Bu tip hava ısıtıcılar temiz havanın istendiği ve zararlı gaz karışımlarının istenmediği proseslerde tercih edilmektedir.

2.3. Hijyenik Olmayan Tip Hava Isıtıcıları:

Bu tip ısıtıcılar, endirekt tip hava ısıtıcılarının bir alt türü olarak sınıflandırılabilir. Bu cihazlar genellikle sera, tavuk çiftlikleri gibi proseslerde kullanılmaktadır. Hijyenik olmayan diye sınıflandırmamızın nedeni bu cihazların, normal olarak, üretilen siyah sac malzeme diye tabir ettiğimiz demir-karbon alaşımı sac ürünler kullanılarak üretilmesinden kaynaklanmaktadır.

2.4. Hijyenik Tip Hava Isıtıcıları:

Bu tip ısıtıcılar, genellikle gıda sektöründe kullanılan, gıda sağlığı prosedürlerine uygun ve paslanmaz özellikli saclardan imal edilen cihazlardır.

2.5. Düşük Sıcaklıklı Tip Hava Isıtıcıları:

Bu tip ısıtıcılar 70-120 °C sıcaklıkları geçmeyen sıcak hava üretimi amaçlanan cihazlardır. Bu tip ısıtıcılar genellikle aşırı hava sıcaklığı istenmeyen sera, tavuk çiftlikleri ve spor salonları gibi ısıtma proseslerinde tercih edilmektedir.

2.6. Yüksek Sıcaklıklı Tip Hava Isıtıcıları:

Bu tip hava ısıtıcıları 240- 280 °C yüksek sıcaklıkta sıcak hava üretimi amaçlanan cihazlardır. Kullanıldığı prosesler, genellikle kurutma ve süttozu üretimi gibi proseslerdir.

Dizayn edilecek endirekt hava ısıtıcısı, süttozu üretim proseslerinde kullanılan endirekt-hijyenik-yüksek sıcaklıklı tip hava ısıtıcısı olacaktır. Talep edilen kapasiteye bağlı olarak, 35000 Nm³/h taze havanın, 15 °C dan 240 °C ye ısıtılacak bir kapasitede yapılacaktır. Buna göre, ısıtma kapasite:

$$Q = m.c.\Delta T = 35000 \times 0,311 \times (240 - 15) = 2.449.125 \text{ kcal/h}$$

Olacaktır.

3. SÜT TOZU ÜRETİM PROSESİ TANITIMI

Dizayn edilecek hava ısıtıcısının kullanılacağı süt tozu üretim prosesi genel tanıtımı aşağıda yapılacaktır. (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2012.)

3.1. Süt Tozu üretmenin Önemi:

Süt pek çok nedenlerle kısa sürede bozulan bir gıda maddesidir. Onun uzun süre dayanıklı ve daha sonra tüketilebilecek şekle getirmenin yolu kurutmadır. Günümüzde kullanılan modern kurutma teknikleri ile süt, besin değerinde herhangi bir kayıp olmaksızın toz haline dönüştürülebilmektedir. Yani tozdan tekrar yapılan süt aynı besin değerine sahiptir. Ancak enerji tüketiminin ve dolayısıyla enerji maliyetinin yüksek olması kurutmanın bir dezavantajıdır.

3.2. Prensibi:

Kurutma, bir maddenin veya karışımın bünyesinde bulunan suyun buharlaştırılması veya uçurulmasıdır. Süt tozunun veya diğer toz süt ürünlerinin üretiminde, buharlaştırmayla (evaporasyonla) veya membran teknolojisi yardımıyla, sütün içerisindeki suyun bir bölümü buharlaştırılarak veya ayrıştırılarak süt yoğun hale getirilmekte ve nihayetinde, kurutma ile de suyun tamamı buhar halinde uzaklaştırılarak süt tozu veya diğer ürünlerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Kurutulmuş süt ve süt ürünlerinin su içeriği %4'ten fazla olmamalıdır.

Gıda maddelerinde farklı miktarlarda bulunan su, erimiş birçok madde içeren bir çözeltilidir. Kurutma anında en önemli olay, suyun kurutulan yüzeyin üstüne çıkması ve buharlaşmasıdır. Süt zerrecilerinin iç yüzeyindeki suyun yüzeye çıkması ve yüzeyde buhar fazına geçmesi, yalnızca bu suyun buhar basıncının çevredeki kurutucu sıcak havanın nispi buhar basıncından büyük olması ile mümkündür. Süt ürünlerinin kurutulmasında sütteki suyun tamamına yakını uzaklaştırılır.

3.3. Yöntemleri:

Süttozu ve benzeri ürünlerin üretiminde kurutma işlemi silindir (valsli) ve püskürtmeli (spray-dryer) kurutucularda yapılmaktadır.

3.3.1. Silindir (valsli) Yöntemiyle Kurutma ve Süt tozu üretimi:

Eski bir yöntem olmasına rağmen, günümüzde de ,özellikle çikolata sektörüne yönelik üretilen yağlı süttozu üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemde kurutma

kısmen düşük yatırım ve işletme masrafları ile yapılabilmektedir. Kurutma sistemlerinin çoğu “konveksiyon kurutma” yöntemine girdiği halde, valsli kurutucular “kontakt kurutma – kondüksiyon kurutma – temas kurutma” yöntemine girer. Bu nedenle kurutmada yüksek bir ısı iletim katsayısı ve buna bağlı olarak güçlü bir ısı transferi söz konusudur.

Vals genellikle paslanmaz malzemedir veya dış yüzeyi paslanmaz çelikle kaplanmıştır. Kurutma silindiri, içten buhar, sıcak su yada ısı iletimi yüksek bir sıvı ile ısıtılan ve eksenine etrafında belirli bir hızda dönen silindirlerdir. Çalışma prensibi, sütün sıcak vals yüzeyine ince bir katman halinde yayılması, silindirin yaklaşık 300 derecelik dönüşü sırasında yüzeyde kurumması ve buradan kazınıp alınmasıdır.

Silindir (valsli) kurutma metodunda sütün kurutulma işlemi şöyle yapılır: süt kurutulmadan önce çoğu kez üretimi hızlandırmak için 70° C’ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklığa ısıtılması kalite kayıplarına neden olur. Silindir yüzeyinin sıcaklığı çoğunlukla 115-130° C dolaylarında tutulur. Yüzeye 0,5 mm kadar kalınlıkta yayılan süt, birkaç saniye gibi kısa süre içinde kurur. Silindirin yukarı kısmında yüzeye yakın bulunan kazıyıcı bıçaklar, kuru ince süt tabakasını kazır. Silindirin üst yüzeyi ve kazıyıcı bıçaklar çok düzgün olmalıdır. Bu şekilde kuruyan tabaka tam olarak kazınmış olur. Aksi takdirde süttozunda yanık parçalar artar. Kurutulmuş süt alt kısımda bulunan bir taşıyıcıda ince tabakalar halinde toplanır. Öğütülür ve elekten geçirilerek sert ve yanmış partiküllerinden ayırt edilir.

Silindir metodunun avantajları: yatırım maliyeti ve çalıştırma masrafı azdır. Kurutma işleminden önce sütün koyulaştırılması zorunlu değildir. Az miktarda sütü işlemek mümkündür. Kurutma aygıtı az yer işgal eder. İşlemde sütteki bakterilerin çoğu tahrip olur.

3.3.2. Püskürtme (Spray-Dryer) Yöntemiyle Kurutma ve süt tozu üretimi:

Püskürtmeli kurutma (spray-dryer) yöntemi, sütün dehidrasyonunda uygulanan en gelişmiş yöntemlerden biridir. Buradaki prensip, ürünün bir kurutma hücresindeki sıcak hava içerisine atomize (pulverize) edilerek son derece geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece sıcak hava içinde hızlı bir kuruma sağlanmasıdır.

Püskürtmeli kurutucular beş ana bölümden oluşan düzenlerdir. Bunlar:

- a) sıcak hava üreticileri
- b) ürünün ince damlacıklar haline getirildiği sistem (atomizer nozul)
- c) sıcak hava ile atomize edilmiş olan ürünün karşılaştığı kurutma hücresi
- d) kurutma hücresinden ve siklon seperatörlerden gelen toz ürünün (dehidre) paketlenme sıcaklığına kademeli olarak soğutulması ve elenmesi için akışkan yatak kurutuculardır.

Ayrıca, borulu sızdırmaz iletim sistemi, pompalar, çeşitli yardımcı ekipmanlar ve kontrol aygıtları da sistemin tamamlayıcı birimleridir.

Püskürtmeli kurutucularda ürün atomize edilerek çok küçük damlacıklara dönüştürüldüğü ve dolayısıyla çok geniş bir yüzey kazandırıldığı için dehidrasyon hızı çok yükselmektedir. Kuruma çoğunlukla 3-10 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmekte ve kullanılan kurutma havasının sıcaklığı 180-230°C dir. Ürün sıcaklığı ise 50-70°C dolaylarında bulunmaktadır.

a)Sıcak hava (kurutma havası) üreticileri:

Püskürtmeli kurutucuların ana bölümlerinden birisidir. Gıda sanayisinde kullanılan tiplerinde buharlı, elektrikli ısıtıcılar, sıcak hava jeneratörleri gibi sistemler tercih edilir.

b)Atomizer:

Püskürtmeli kurutucunun en önemli bölümü atomizerdir. Atomizer, kurutulacak sıvıyı çeşitli faktörlere bağlı olarak basınç altında 5-100 mikron arasında küçük zerreciklere parçalayan düzendir. Yardımcı parçalama ortamı ve dönел tarzda çalışan tipleri mevcuttur.



Şekil 3.. Atomizer (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2012)

c)Kurutma (Kulesi) Hücresi:

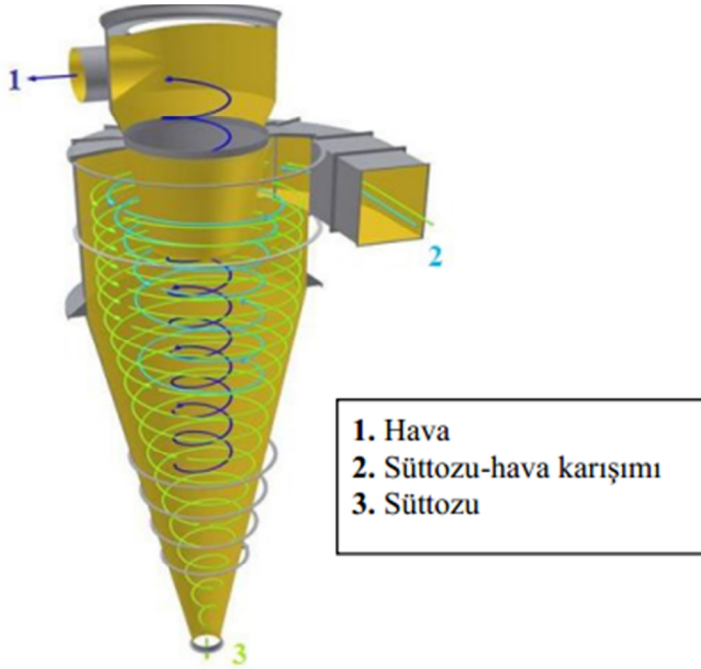
Püskürtmeli kurutucuların üçüncü ana bölümü kurutma hücresidir. Paslanmaz çelikten yapılmış ve dış yüzeyi çok iyi yalıtılmıştır. Yalıtım malzemesinin üzerine koruyucu metal sac kaplanmıştır. Kurutma kulelerinin çapları ve yükseklikleri kurutma kapasitesine göre değişmektedir. Kulenin üst kısmı silindirik alt kısmı konikleştirilmiştir. (Bakınız Resim 3-2)

Kurutulmuş ürünün sıcak havadan ayrılması amacıyla değişik tipte ayırıcılar – separatörler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygını siklon tipi olanıdır. Siklon seperatörler dip tarafı konik biçimde olan dikey bir silindirik gövdeden oluşmuştur.

(Bakınız Resim 3-3)



Şekil 3.2. Resimde Kurutma kulesinin bir bölümü görülmektedir. Alt katta konik kısım görülmektedir. (GEA Niro Vagn Westergaard, 2010)



Şekil 3.3. Siklon tipi separatör (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2012)

d)Akışkan Yatak Kurutucu:

Kurutma kulesinden çıkan süttezinun nem oranı, son üründe istenilen nem içeriğinden %2-3 oranında daha yüksektir. Bu sistemde yer alan akışkan yatak kurutucunun işlevi, fazla nemi uzaklaştırarak ürünü istenilen son nem değerine ulaştırmak ve aynı zamanda soğutmaktır.



Şekil 3.4. Akışkan yatak kurutucu (GEA Niro Vagn Westergaard, 2010)

Püskürtmeli kurutucularda süttezu üretimi genelde koyulaştırma ve kurutma olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada ön işlemleri tamamlanmış olan süt, evaporatörlerde % 48-52 kuru madde içerecek şekilde koyulaştırılır. İkinci aşamada ise konsantre, püskürtmeli kurutucuya verilerek kurutulur. Kurutma işlemi de aşağıdaki şekilde birkaç aşamada yapılır:

- Koyulaştırma aşaması

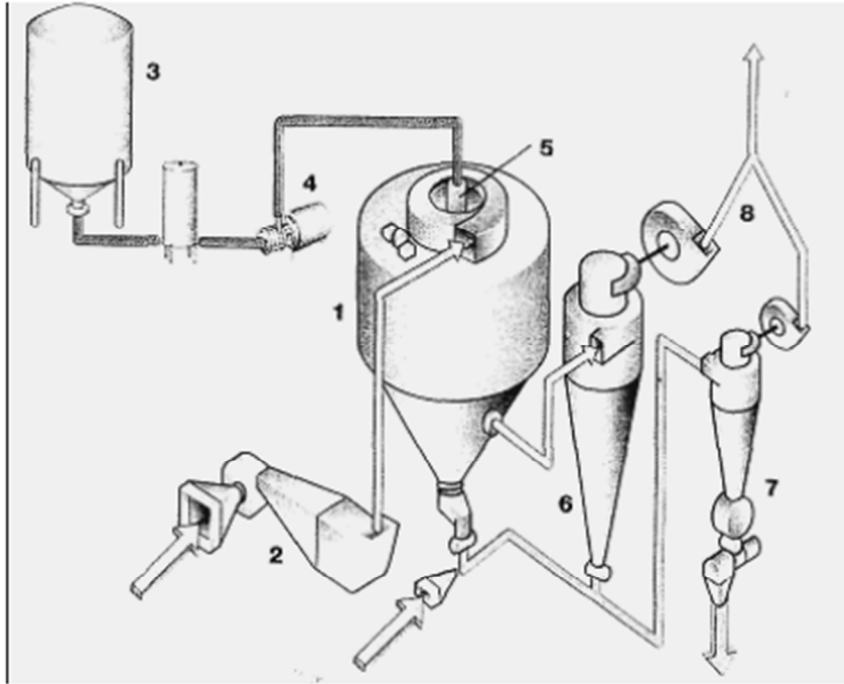
- Kurutma aşaması: önce konsantre, içinde kurutma havası bulunan kurutma kulesine çok ince damlacıklar halinde püskürtülür. Sonra suyu buharlaştırılır. Oluşan sütün suyu kurutma havasından ayrılır.

Günümüzde bu tür kurutucularda kurutma tek aşamalı, iki aşamalı, ve üç aşamalı olmak üzere 3 şekilde yapılmaktadır.

3.3.2.1. Tek Aşamalı Kurutma ve sütün suyu üretimi:

Tüm kurutma işlemi sadece bir aygıtta yani kurutma (kulesi) hücresinde gerçekleştirildiği için sistem “tek aşamalı kurutma” olarak tanımlanır. Bu sistemle küçük daneli sütün suyu elde edilebilir ve fazla miktarda kırıntı toz ortaya çıkar. Tek aşamalı kurutma yapan sistemler genelde;

- Atomizör ünitesini içeren bir kurutma kulesi,
- Sıcak hava üreticisi,
- Sütün suyu kurutma havasından ayıran siklon seperatör,
- Aspirasyon düzeni ve filtreden oluşur.

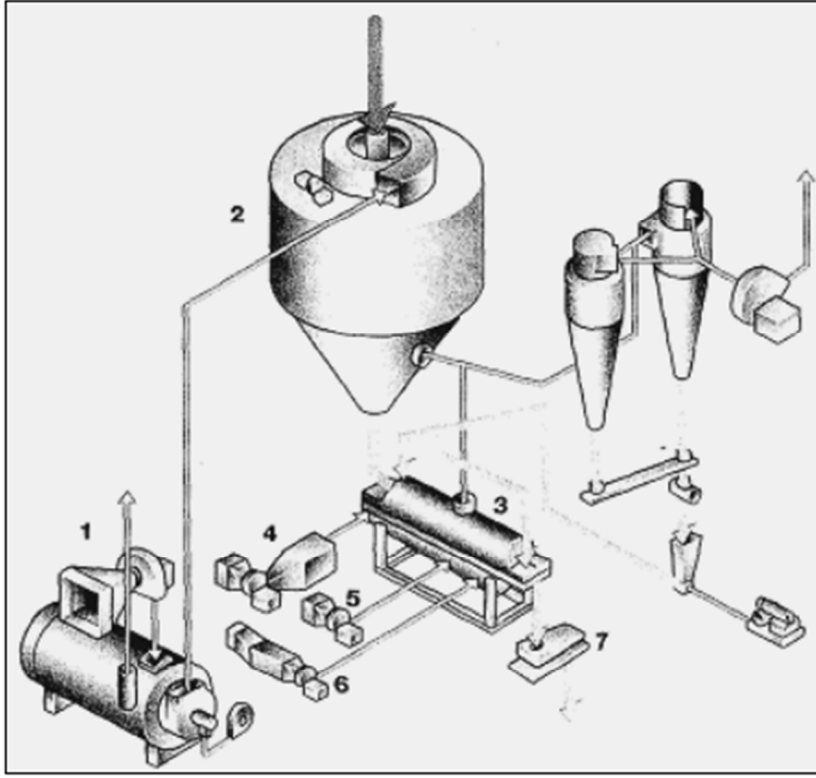


Şekil 3.5. Tek aşamalı püskürtmeli kurutucu proses (1.Kurutma kulesi, 2.hava ısıtıcı, 3.konsantre süt tankı, 4.Yüksek basınç pompası, 5.Atomizer, 6.ve7.siklon seperatörler, 8.Hava emici fanlar) (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2012)

Tek aşamalı kurutma yapan bir püskürtmeli kurutma tesisinin genel yapısı Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Bu şekilden de izlenebileceği üzere; %48-52 kuru maddeli konsantre, bir yüksek basınç pompası (4) aracılığıyla atomizöre (5) iletilir. Ortalama irilikleri 40µm ile 125µm arasında değişen küçük damlacıklar hâlinde kurutma hücresine püskürtülür. Kurutma havası, aspiratörle emilen ve bir filtre ünitesinden geçirilen havanın, hava ısıtıcıda ısıtılmasıyla hazırlanır. Kurutma havasının sıcaklığı 190-200 °C kadardır. Kurutulacak ürünün atomize edilmesiyle son derece geniş bir yüzey kazanan damlacıklar, tabana ulaşana kadar geçen sürede hızla kurur. Kurumada, önce damlacıkların yüzey suyu buharlaşır, sonra kapiler (kılcal) güçle damlacıkların yüzeyine ulaşan nem uzaklaşır ve daha sonra da bağlı su buharlaşır. Damlacıklardan suyun buharlaşması hem çok hızlı gerçekleştiğinden, hem de kurutma havasının sıcaklığı sürekli olarak suyun buharlaşmasında kullanıldığı için süttozunun sıcaklığı, kurutma kulesinden dışarı çıkan havanın çıkış sıcaklığının en çok 15-20 °C altına ulaşır ki bu değer, yani kuruyan ürünün sıcaklığı, normal koşullarda 60-80 °C dolaylarındadır. Oluşan süttozu kurutma kulesinin konik kısmına iner. Henüz sıcak olan süttozunu soğutmak amacıyla soğuk hava ile çalışan bir pnömatik götürücü sistem aracılığıyla siloya veya doğrudan ambalajlama ünitesine taşınır. Transport havasından süttozunun ayrılması bir siklon ayırıcıda gerçekleştirilir. Bir veya birkaç siklonda (6 ve 7) ayrılır ve siloya giden süttozu hattına verilir.

3.3.2.2. İki Aşamalı Kurutma ve süttozu üretimi:

İki aşamalı kurutma sisteminde, püskürtmeli kurutucu ile bir akışkan yatak kurutucu birlikte kullanılır. Sistemin birinci aşamasını püskürtmeli kurutma, ikinci aşamasını ise akışkan yatak kurutma işlemi oluşturur.



Şekil: 3.6. iki aşamalı püskürtmeli kurutucu proses (1.İndirekt hava ısıtıcı, 2.Kurutma kulesi, 3.Akışkan yatak kurutucu, 4.Akışkan yatak havası için ısıtıcı, 5.Akışkan yatak için soğutma havası, 6.Akışkan yatak için nemsiz soğutma havası) (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2012)

Aglomerasyon, küçük parçacıkların (partikül) özelliklerini kaybetmeden birbirleri ile birleşmesi yoluyla daha büyük boyutta sert ve katı parçacıkların oluşturulması işlemidir. Sonuç ürünler şekillerine ve işlem farklılıklarına göre granül, tablet gibi isimler alırlar. Aglomerasyon işlemi, deterjan, meyve tozu, toz gübreler, süttozu, instant kahve gibi işlem sonucunda elde edilen ince partiküllerin atmosferi kirletme ve depolanmaları sırasında topaklanma tehlikelerine karşı gerekli olduğu gibi son ürünün kullanımı sırasında akıcılık vb. işlem kolaylığı sağlamaktadır. Aglomerasyon süt tozlarının ıslana bilirlik, bata bilirlik ve dağıla bilirlik özelliklerini iyileştirmektedir.

İki aşamalı kurutma sistemi, partiküllerin yığılmasıyla (agglomeration) süngerimsi bir yapı ve görünüm kazanmalarının istendiği instant süttozunun üretilmesi için dizayn edilmiştir. Instant süttozu soğuk suda bile topaklanmaksızın çözünebilir kullanıma hazırdır. Ancak daha kaliteli üretime olanak sağladığı ve üretim

maliyeti açısından daha avantajlı olduğu için sonraki yıllarda normal sütte üretimine de uyarlanmıştır. Enerji tüketimi, tek aşamalı yöntemle göre % 10-15 daha azdır.

Söz konusu yöntemle elde edilen süt tozlarının büyük çoğunluğu tek taneciklerden oluşurlar ama tek aşamalı kurutma yöntemiyle elde edilenlere göre daha az miktarda kırıntı toz içerirler ve rekonstitüe edilmeleri yani suda çözündürülmeleri daha kolaydır.

3.3.2.3. Üç Aşamalı Kurutma:

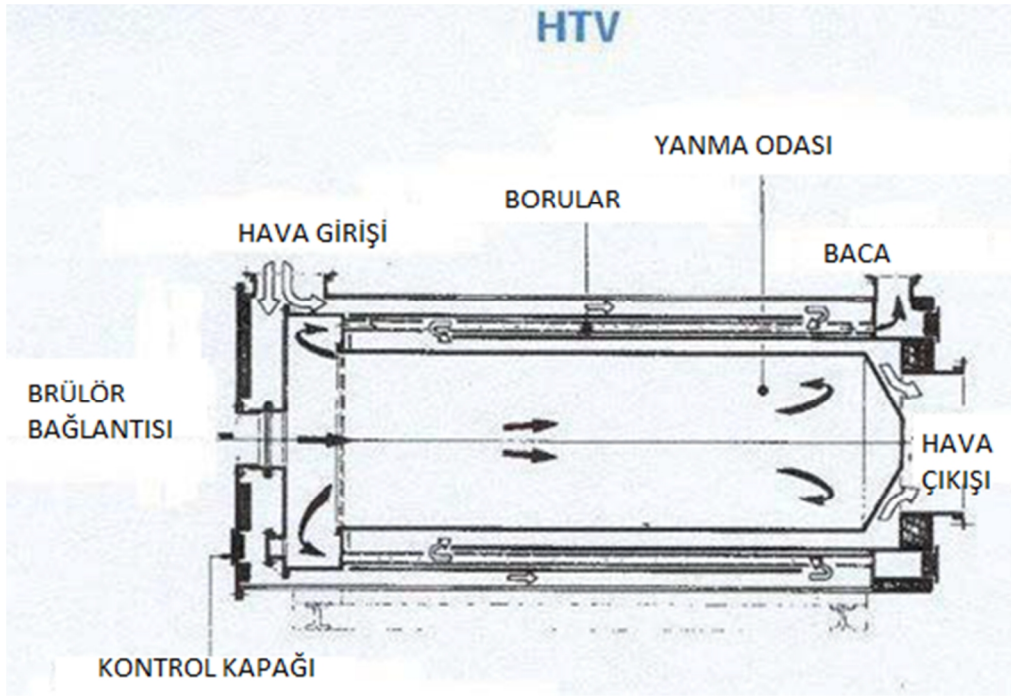
Bu yöntemle aglomere edilmiş veya edilmemiş özellikte birçok süt ürünü ve diğer gıda ürünleri elde edilebilmektedir. Kurutma sisteminde yapılan düzenleme ile özgül enerji ihtiyacı, iki aşamalı kurutuculara göre % 10-15 dolaylarında azalmaktadır.

Üç aşamalı kurutucularda ikinci kurutma aşaması kurutma kulesinin taban kısmına alınmıştır, son kurutma ve soğutma işlemleri kule dışında yapılmaktadır.

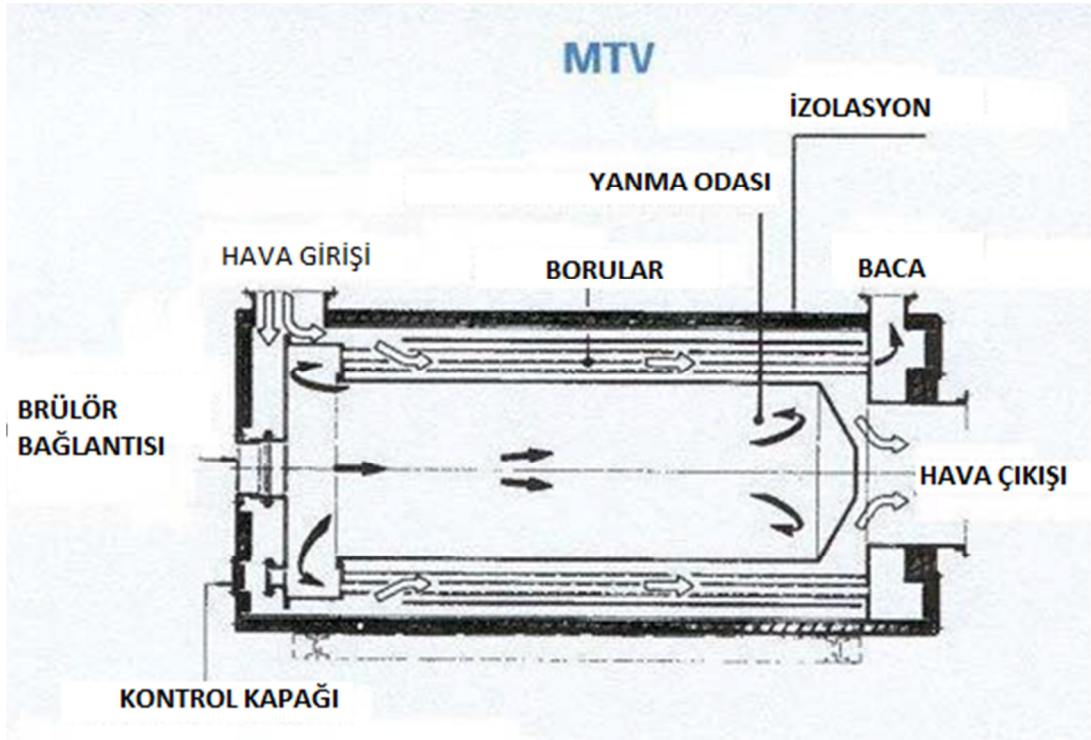
Akışkan yatak ve toz filtresi ile entegre edilmiş püskürtmeli kurutucularda kurutma havası, diğerlerinden farklı olarak kurutma hücresinin tavan kısmından dışarı çıkış yapar. Bu durum ince tozların direkt püskürtme bölgesine geri yönelmesine olanak sağlar ve böylece iyi bir aglomerasyonunun (yığınlaşma) gerçekleştirilebilmesi için büyük miktarlarda ince tozun hücreye geri verilmesine gerek kalmaz.

4. KAYNAK ÖZETLERİ

Öncelikle yabancı firmaların bu konuda geliştirdiği cihazlar incelenecektir. Bu konuda buhar kazanları, ısı değiştiriciler gibi ısı cihazlarının üretiminde uluslararası deneyime sahip olan Babcock-Wanson firmasının tasarımları incelenecektir. Aşağıdaki resimlerde babcock firmasının ürettiği endirekt ve direkt tip hava ısıtıcıları gösterilmiştir. Bu firma maksimum 2 milyon kcal/h kapasitelere kadar üretim yapmaktadır. En direkt hava ısıtıcılarının iki tipte üretimi yapılmaktadır. Bunlardan ilki Şekil 4-1 de, HTV (High Temperature Version) tipinde; hava ilk önce 1. hava yönlendirme plakası sayesinde duman borularına temas etmeden boruların sonuna kadar gitmekte daha sonra ters yönde boruların arasından geçerek 2. Hava yönlendirme plakasının açık kısmından yine ters yönde dönüş yaparak ocak yüzeyini yalayarak ısıtıcının arka kısmından ısınarak çıkmaktadır. Böylece hava tarafında üç geçişli bir tasarım yapılmıştır. Şekil 4-2 de MTV (Middle Temperature Version) tipinde hava direk duman borularının arasından ve ocak yüzeyini yalayarak geçmektedir. Hava yönlendirme plakaları yoktur basınç düşümü daha azdır. Projemizde HTV modelinin benzeri üzerinden hareketle endirekt hava ısıtıcısı dizayn yapılacaktır. Termik hesaplar ve CFD analizleri yapılarak boyut olarak daha küçük ön prototip dizayn edilecek daha sonra Ön prototip üzerinde yapılacak deneylerin sonuçları karşılaştırılacak ve dizayn doğrulanacaktır. Yine aynı şekilde son prototip termik ve CFD analizleri yapılarak dizayn ve üretimi yapılacaktır. Ön prototip kapasitesi 400 000 kcal/h, son prototip Hava ısıtıcımız yaklaşık 2 500 000kcal/h ısıtılma güce sahip olacaktır.



Şekil 4.1. HTV tip hava ısıtıcısı şematik görünümü

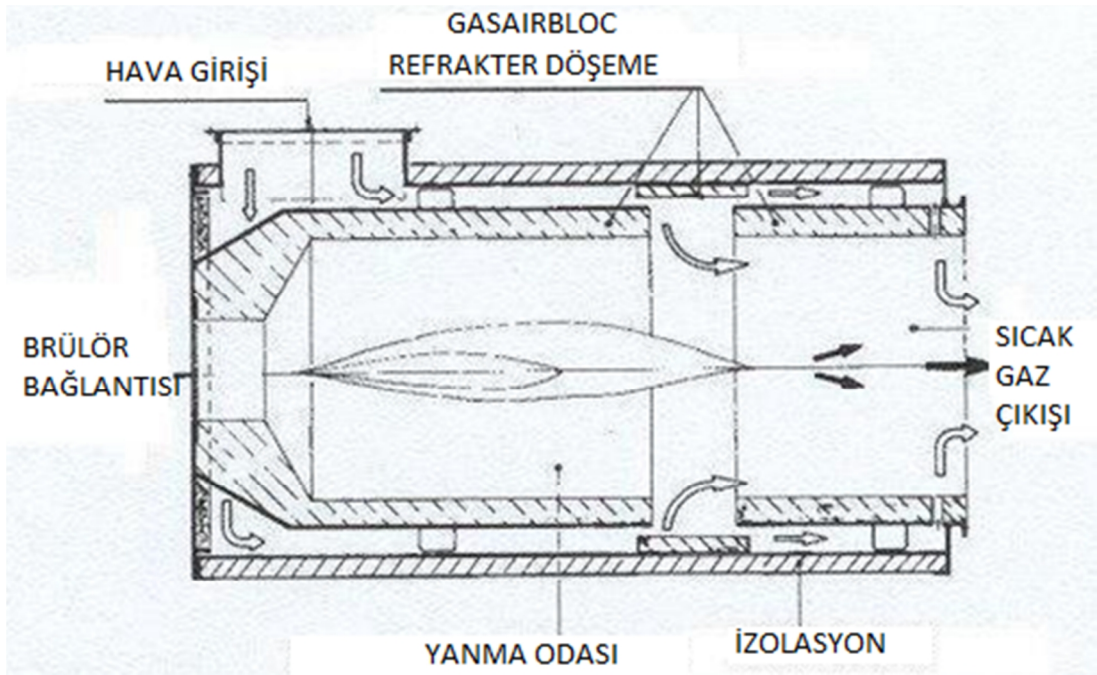


Şekil 4.2. MTV tip hava ısıtıcısı

Aşağıda her iki tip hava ısıtıcısı teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Babcock-Wanson firmasının iki ayrı tip hava ısıtıcısının karakteristik özellikleri.

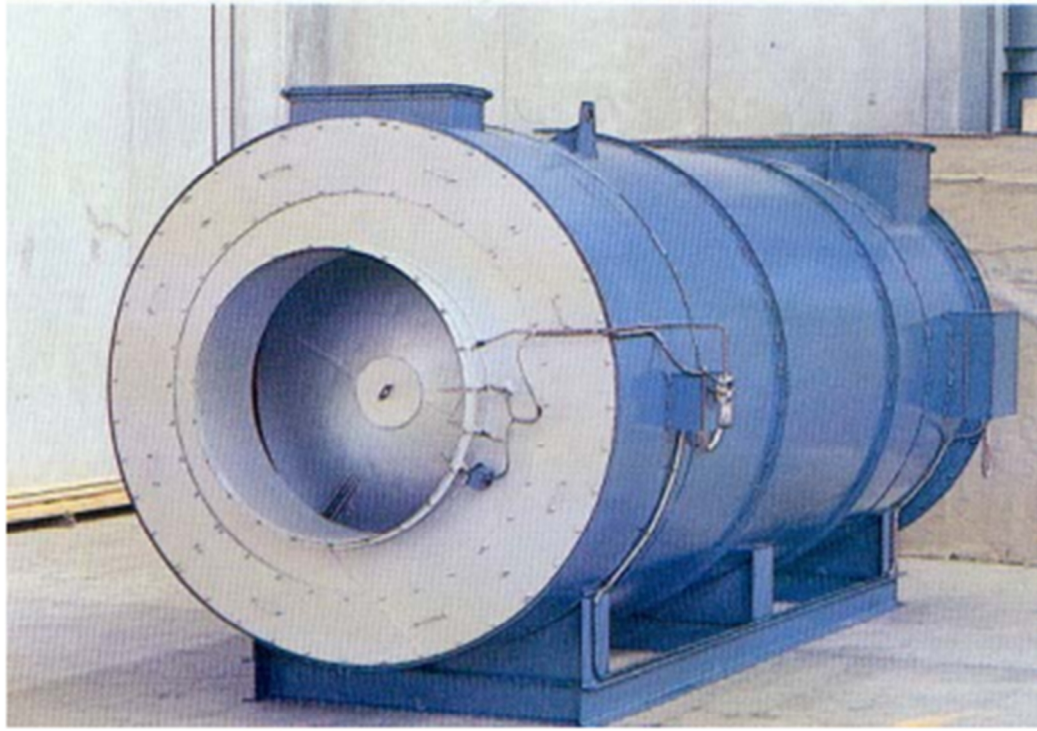
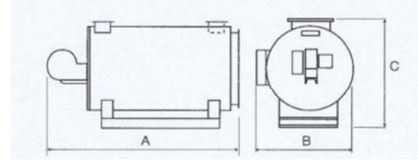
TİP	HTV	MTV
Termal Kapasite Mcal/h (kW)	500-2.000(581-2326)	150-2.000(175-2326)
Hava Akış Oranı Nm ³ /h	6.800-28.000	3.600-48.000
Sıcaklık Oranı C	20-300	20-300
Maksimum ΔT C	230	130
Verim	87%	87%
Basınç Düşümü ΔP mmSS	90	45
Yönlendirme	Yatay	Yatay
Yanma Odası Malzemesi	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik
Modulasyon	1/4	1/4
Yakıt	Tüm gaz ve sıvı yakıtlar	Tüm gaz ve sıvı yakıtlar



Şekil 4.3. Bu resimde aynı firmanın direkt tip bir hava ısıtıcısının şematik resmi gösterilmiştir. Direkt tip hava ısıtıcılarında yanma sonucu ortaya çıkan gazlar ile temiz hava karıştırılarak kullanılmaktadır. Bu tipteki cihazlar steril prosesler için uygundur.

Çizelge 4.2. Babcock-Wanson firmasının hava ısıtıcılarının kapasitelerine göre dış ölçüleri verilmiştir.

MOD	kcal/h	kW	GASAIRBLOC - GAB			MTV			HTV		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
150	150,000	175	2110	1020	1000	3230	1275	1225			
300	300,000	349	2315	1045	1025	3600	1723	1700			
400	400,000	465	2285	1200	1180	3870	1723	1730			
500	500,000	581	2480	1210	1190	4290	1947	1780	4800	1900	2020
750	750,000	872	2845	1330	1410	4490	2182	2123	5260	2075	2095
1000	1,000,000	1163	3240	1460	1440	5225	2218	2230	5715	2280	2350
1500	1,500,000	1744	3685	1700	1720	6085	2508	2600	6153	2620	2710
2000	2,000,000	2326	4180	1840	1860	6604	2842	2812	6835	2800	2900
2500	2,500,000	2907	4200	1970	1990						
3000	3,000,000	3489	4690	2020	2040						
4000	4,000,000	4652	5300	2265	2285						
5000	5,000,000	5815	5870	2425	2445						
6000	6,000,000	6978	6110	2570	2590						
8000	8,000,000	9304	6820	2855	2870						
10000	10,000,000	11630	7650	3125	3145						



HTV tipi Model 2000, süt Kurutma için, hava çıkış sıcaklığı 250 C

Şekil 4.4. Babcock-Wanson üretimi 2 milyon kcal/h kapasiteli, gaz yakmalı, hava ısıtıcısı fotoğrafı görülmektedir. Şekilde sıcak hava çıkış tarafı görülmektedir.

5. TERMİK HESAPLAR:

Ön prototip, HTV tip hava ısıtıcısı modelinde 400 000 kcal/h kapasiteli olacak şekilde dizayn edilecektir. Isıtılacak havanın sıcaklık farkları iki sistem içinde aynı olduğundan ön prototip için ısıtılacak hava debisi orantılı olarak alınmıştır. Bu kapasite daha sonra sadece deneyler için üretilecek ön prototipin maliyetinin düşük olması için rastgele seçilmiştir.

Nihai prototip Hesap Değerleri:

Isıl kapasitesi	: 2 500 000 kcal/h
Isıtılacak hava miktarı	: 34 600 Nm ³ /h
Giriş-çıkış hava sıcaklık farkı	: 240 -15=225 °C

Ön prototip Hesap Değerleri:

Isıl kapasitesi	: 400 000 kcal/h
Isıtılacak hava miktarı	: 6 000 Nm ³ /h
Giriş çıkış hava sıcaklık farkı	: 240-15=225 °C

5.1. Ön Prototip Termik Hesabı:

Ana Değerler:

Isıtılacak Hava Miktarı	6 000	Nm ³ /h
Isıtılacak Hava Miktarı	7 740	kg/h
Hava Giriş Sıcaklığı	15	°C
Hava çıkış sıcaklığı	240	°C
Hava özgül ağırlığı	1,29	kg/Nm ³
Doğalgaz özgül ağırlığı	0,8	kg/Nm ³
Yakıt Alt Isıl Değeri	8 250	kcal/Nm ³
Yakıt Alt Isıl Değeri	34 485	kJ/Nm ³
Yakıt Alt Isıl Değeri	43 106	kJ/kg
Yakıt Alt Isıl Değeri	10 313	kcal/kg

Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı (Kabul)	300	°C
Hava ortalama özgül ısı değeri	1,042	kJ/kg.° C
Hava ortalama özgül ısı değeri	1,344	kJ/Nm ³ . °C
Hava ortalama özgül ısı değeri	0,322	kcal/Nm ³ .°C
Toplam Isıtma Kapasitesi	504	kW
Toplam Isıtma Kapasitesi	434 125	kcal/h

Kayıplar ve Verimler:

Faktör f	0,46	
Baca gazı çıkış sıcaklığı	300	°C
Çevre Sıcaklığı	15	°C
Yanmada CO ₂ Yüzdesi	10,5	%
Baca Kaybı (Formül 5.1)	12,5	%
Işınım ve yanmamış gaz kayıpları	1,1	%
Hava Isıtıcısı Verimi	86,4	%

$$h_{Abg} = fx \frac{t_{Abg} - tu}{CO_2} = 0,46x \frac{300 - 15}{10,5} = 12,5\% \quad (5.1)$$

Hava Isıtıcısı Hesapları:

Isıtıcıya verilmesi gereken ısı miktarı	583	kW
Isıtıcıya verilmesi gereken ısı miktarı	501 651	kcal/h
Isıtıcıda yakılması gereken Doğalgaz Miktarı	60,9	Nm ³ /h
Isıtıcıda yakılması gereken Doğalgaz Miktarı	48,7	kg/h

Yanma ve Yakma Hesaplamaları:

Teorik Hava miktarı A_{tv} (Formül 5.2)	10,96	Nm ³ /kg yakıt
Hava Fazlalık sayısı – λ (Lamda)	1,10	
Gerçek hava miktarı	12,05	Nm ³ Hava/kg
Brülör Fan Kapasitesi	587	Nm ³ /h
Duman Gazı miktarı G_{tv} (Formül 5.3)	12,07	Nm ³ /kg yakıt
Toplam Duman Gazı miktarı	588,23	Nm ³ /h

$$A_{tv} = \frac{0,26H_n}{1000} - 0,25 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (5.2)$$

$$G_{tv} = \frac{0,272H_n}{1000} + 0,25 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (5.3)$$

(Donatello Annaratone 2008.)

Hava Isıtıcısı Yanma Hücresi hesaplamaları:

Yanma ürünü Gazların Entalpi Değeri	3 570	kJ/Nm ³
Yanma ürünü Gazların Entalpi Değeri	854	kcal/Nm ³
Duman gazı ortalama özgül ısı değeri	1,242	kJ/kg.°C
Duman gazı ortalama özgül ısı değeri	1,59	kJ/Nm ³ °C
Teorik Alev Sıcaklığı - Hesapla	2 246	
Teorik Alev Sıcaklığı - Rosin/Fehling diyagramdan okunacak.	2 000	°C
Teorik Alev Sıcaklığı - Rosin/Fehling	2 273	K
Yanma hücresi Boyutları: Çap	0,915	m
Yanma hücresi Boyutları: Boy	2,4	m
Yanma Hücresi radyasyon alanı	7,6	m ²

Doğalgaz alevi ϵ (Epsilon) değeri	0,75	
Yakılan yakıt kütle akısı	0,0135	kg/s
Dumangazı miktarı (Formül 5.4)	12,07	Nm ³ /kg Yakıt
Omega değeri	34,68	
Yanma hücresi yüzeyi ortalama sıcaklığı	590	°C (kabul)
Yanma hücresi ortalama sıcaklığı	863	K
Yanma Hücresi çıkışında sıcaklık te	862	°C (kabul)
Yanma Hücresi çıkışında sıcaklık Te	1 135	K
Formül 5.5 Sol taraf değeri	2 211 017,62	
Formül 5.5 Sağ taraf değeri	2 199 532,22	
Not: Eşitliğin her iki tarafı birbirine eşit olmalıdır. Çözüm sonucu: KONTROL 1	OK	
Hücre çıkışı gaz sıcaklığı	862	°C
Yanma Hücresinde Radyasyonla geçen ısı miktarı	295,61	kW
Yanma Hücresinde Radyasyonla geçen ısı miktarı	254 225	kcal/h
Radyasyonla geçen ısı miktarı % olarak	58,56	%

$$\Omega = \frac{\varepsilon S}{M_f G} \quad (5.4)$$

$$5.77 \frac{\varepsilon S}{M_f G} \left[\left(\frac{T_e}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] = h_g - c_{pg} (t_e - t_0) \quad (5.5)$$

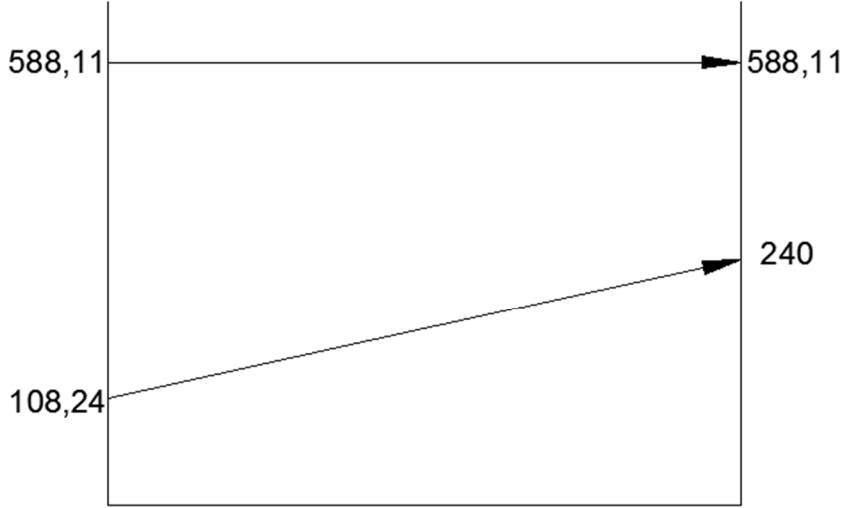
(Donatello Annaratone 2008.)

Hava Isıtıcısı Radyasyon ve Konveksiyon yüzeyleri hesaplamaları:

Yanma hücresi metal kalınlığı	0,003	m.
Yanma hücresi malzeme iletme katsayısı	44	W/m °C
Yanma hücresi radyasyon alanı	7,56	m ²
Yanma hücresi yüzey dış sıcaklığı	588,11	°C
Yanma hücresi dış yüzey emisyon katsayısı	0,735	
Proses havası - kazanılan sıcaklık farkı.	131,76	°C
Proses havası iç ringe giriş sıcaklığı	108,24	°C
Proses havası ortalama sıcaklık değeri	174,12	°C
Yanma hücresinden geçen ısı miktarı (Radyas.)	163,39	kW (1)
İç ring çapı	1,07	m
İç ring - Yanma hücresi arası alan değeri	0,24	m ²
Geçiş hidrolik çapı	0,155	m
Proses havası iletkenlik değeri (Ortalama sıcaklık)	0,034000	W/m °C
Proses havası dinamik viskozite değeri	0,000024	kg/m.s
Hava Kütle hızının hesabı "G"	14,6	kg/m ² .s
Isı iletim katsayısı (Formül 5.8)	42,5	W/m ² °C
Büyük sıcaklık farkı	480	°C
Küçük sıcaklık farkı	348	°C
Logaritmik sıcaklık farkı (Formül 5.6)	410	°C

Konveksiyonla geçen ısı miktarı

131,8 kW (2)



Şekil 5.1. Yanma odası içindeki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı

$$\Delta tm = \frac{(588,11-108,24)-(588,11-240)}{\ln\left(\frac{588,11-108,24}{588,11-240}\right)} = 410 \quad (5.6)$$

$$\alpha = 0,023 \frac{G^{0,8}}{d_i^{0,2}} \left(\frac{c_p k^{1,5}}{\mu} \right) \quad (5.7)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'} + \frac{x_w}{k} + \frac{1}{\alpha''}} \quad (5.8)$$

(Donatello Annaratone 2008.)

KONTROL 2

Her iki değer birbirine eşit olmalıdır.

295,61

kW

163,39+131,8=295,22

kW (1 + 2) OK

Radyasyon ve Konveksiyonla geçen ısı

miktarı

179 899,84

kcal/h

Radyasyon ve Konveksiyonla geçen ısı

miktarı

209,1858625

kW

Proses havası ortalama sıcaklık

61,6

°C

Proses havası iletkenlik değeri (Ortalama

Sıcaklık)

0,026000

W/m °C

Proses havası dinamik viskozite değeri

0,000020

kg/m.s

Dış ring ęapı

1,325

m

Konveksiyon boruları ęapı

0,076

m

Konveksiyon boruları et kalınlığı

0,003

m

Konveksiyon boruları adedi

32

ad.

İç - dış ring arası hava geğiş alanı

0,33

m²

Hava Kütle hızının hesabı

7,88

kg/m².s

Hava geğiş hidrolik ęapı

0,09

m

Proses havası tarafı ısı geğiş katsayısı

27,91

W/m² °C

Duman gazları ortalama sıcaklığı

581

°C

Duman gazı iletkenlik değeri (Ortalama

Sıcaklıkda)

0,058000

W/m °C

Duman gazı dinamik viskozite değeri

0,000036

kg/m.s

Duman gazı boruları iç (Hidrolik) ęapı

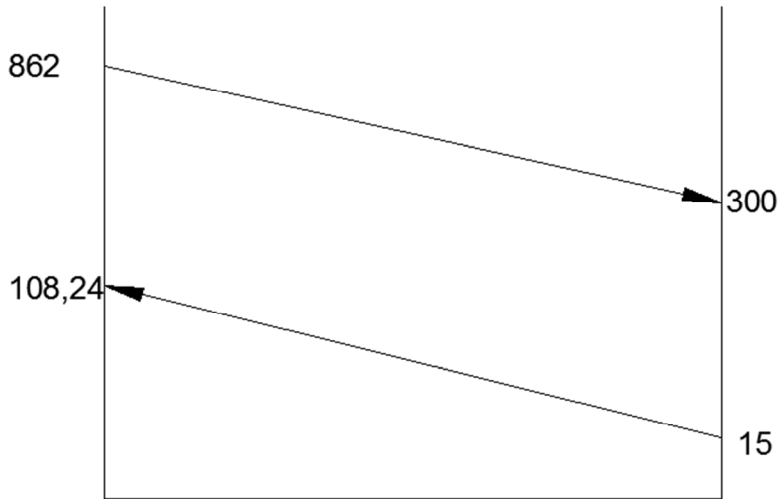
0,07

m

Duman gazı kütle hızının hesabı	5,40	kg/m ² .s
Duman gazı tarafı ısı geçiş katsayısı	28,29	W/m ² °C
Konveksiyon genel ısı transfer katsayısı U	14,04	W/m ² °C
Büyük sıcaklık farkı	753,76	°C
Küçük sıcaklık farkı	285	°C
Logaritmik sıcaklık farkı	481,97	°C
Konveksiyon boruları boyu	2,270	m
Radyasyon emisyon katsayısı	0,193	
Boru yüzeyleri miktarı	16,66	m ²
Konveksiyonla geçen ısı miktarı	112,705	kW (1)
Radyasyonla geçen ısı miktarı	96,350	kW (2)
Toplam Kapasite	504	kW

KONTROL 3 Her iki değer birbirine eşit olmalıdır.

Radyasyonla geçen ısı miktarı: 209,18=(112,705+96,350=209,05) OK



Şekil 5.2. Duman Boruları tarafındaki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı

$$\Delta t_m = \frac{(862-108,24)-(300-15)}{\ln\left(\frac{862-108,24}{300-15}\right)} = 481,97 \quad (5.9)$$

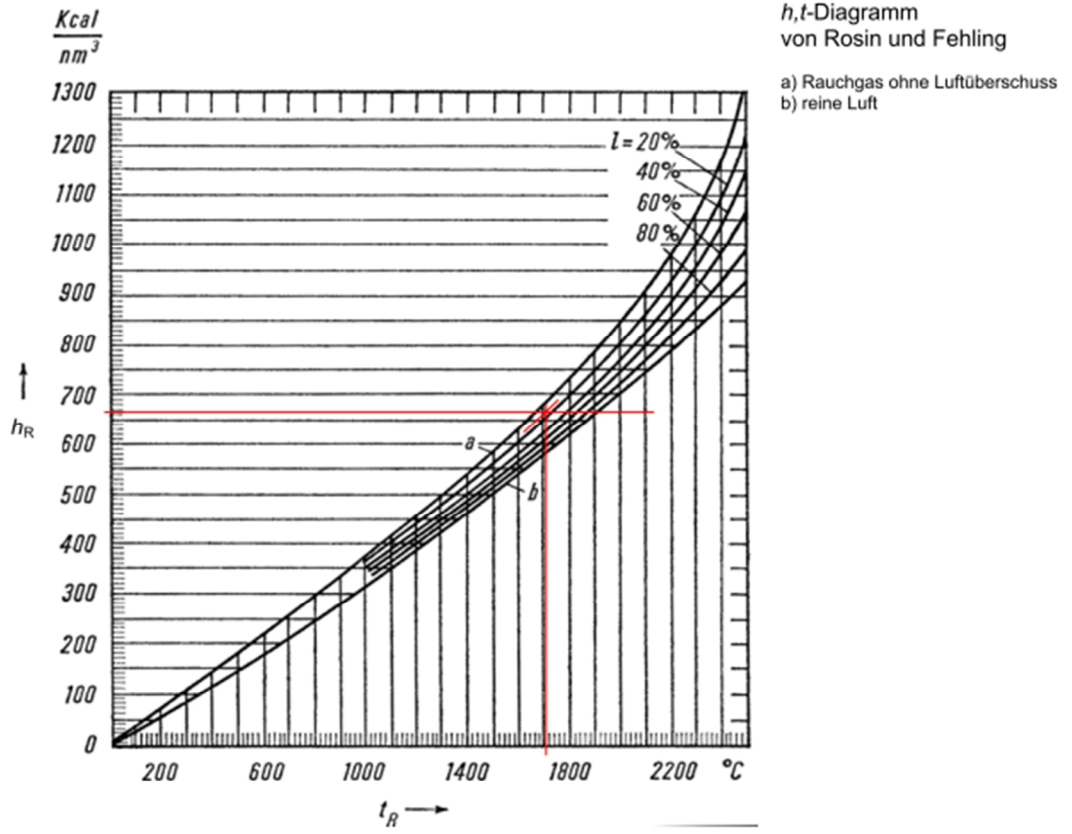
Isıtıcı içindeki hava hızları:

Proses havası miktarı	6 000	Nm ³
Giriş kanalı genişliği	0,7	m
Giriş kanalı derinliği	0,25	m
Giriş kanalı alanı	0,175	m ²
Giriş kanalında hava hızı	9,52	m/s
Hava birinci geçişi dış çember çapı	1,49	m
Hava birinci geçişi iç çember çapı	1,325	m
Birinci hava geçiş alanı	0,36	m ²
Birinci hava geçiş kanalında hız	4,57	m/s
Hava ikinci geçişi dış çember çapı	1,32	m
Hava ikinci geçişi iç çember çapı	1,07	m
Boru kesitleri toplamı(Dış çap)	0,15	m ²
İkinci hava geçiş alanı	0,32	m ²
İkinci hava geçişinde ortalama sıcaklık	62,5	°C
İkinci hava geçiş kanalında hız (ısı tr. Var)	5,99	m/s
Hava üçüncü geçişi dış çember çapı	1,065	m
Hava üçüncü geçişi iç çember çapı	0,915	m

Üçüncü hava geçiş alanı	0,23	m ²
Üçüncü hava geçişinde ortalama sıcaklık	175	°C
Üçüncü hava geçiş kanalında ortalama hız	11,11	m/s

Isıtıcı içindeki duman gazı hızları:

Boru kesitleri toplamı (İç Çap)	0,12	m ²
Boru içerisinde duman gazı ortalama sıcaklığı	575	°C
Boru içinde duman gazı ortalama hızı	4,37	m/s
Boru içinde duman gazı normal hızı (W _o)	1,48	m/s
Borular içerisinde duman gazı ısı iletim sayısı	10,11	kcal/m ² .h.°C

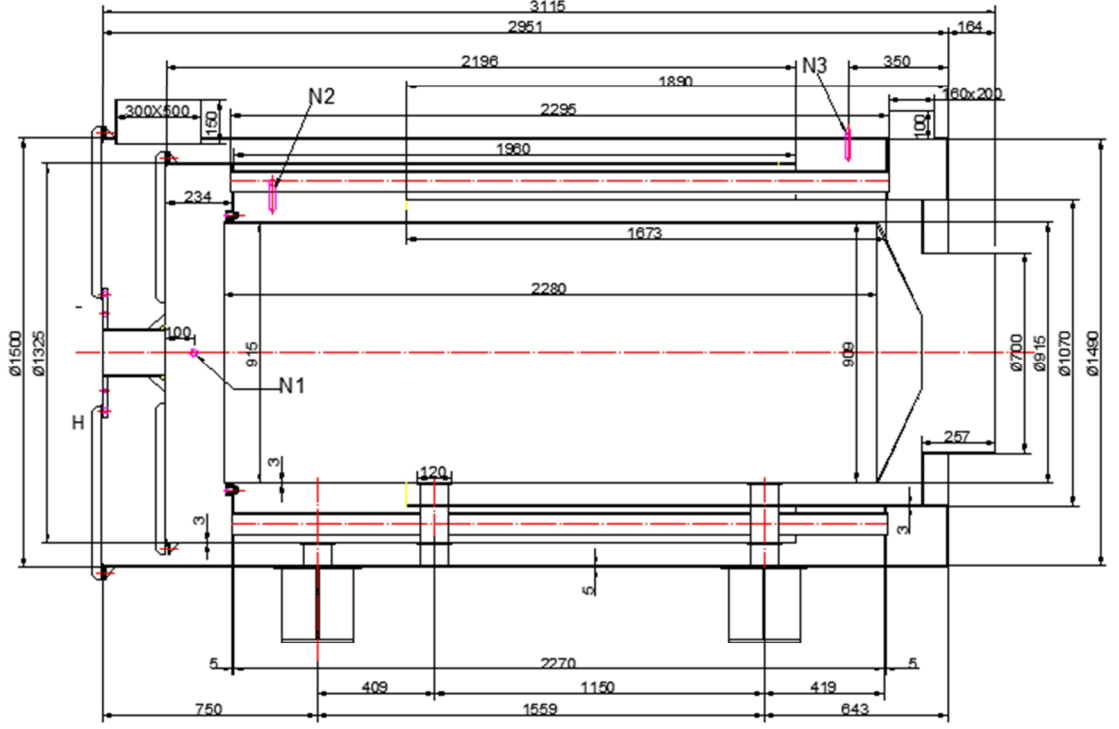


Şekil 5.3. Rosin&Fehling diagramı: Duman gazı entalpisine göre sıcaklık tayini (Sadık Kakaç 1991.)

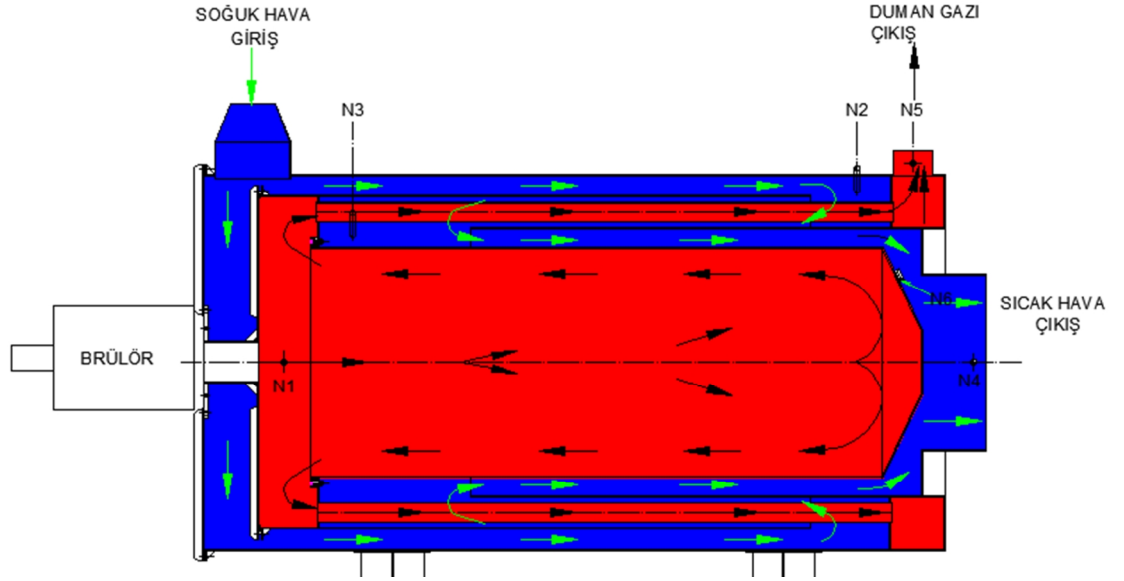
6. ÖN PROTOTİP DİZAYNI VE HESAPLAMALI AKIŞ ANALİZİ

6.1. Ön Prototip Dizaynı:

Teorik hesabı yapılan ön prototipin ölçüleri aşağıda verilmiştir. Buna göre prototipin katı modelleri hazırlanarak hesaplamalı akış analizlerine (CFD) geçilecektir.



Şekil 6.1. Ön prototip ölçüleri (mm)



Şekil 6.2. Ön prototipde hava ve duman gazlarının izlediği yol

6.2.Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği Analizi (CFD)

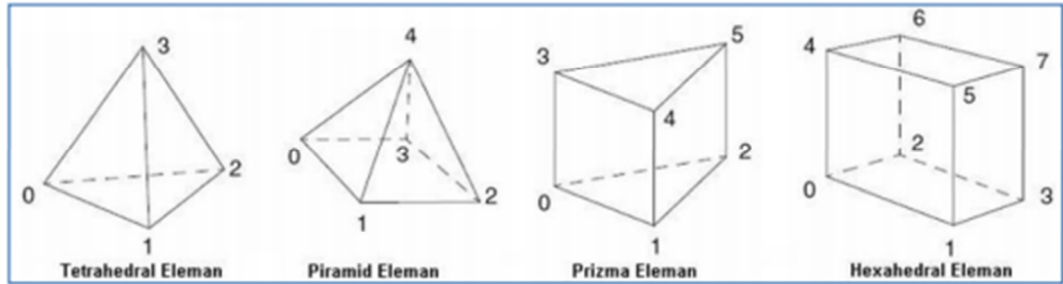
6.2.1.Hesaplmalı akışkanlar dinamiği teorik alt yapısı:

Hesaplmalı akışkanlar dinamiği simülasyonu aşağıdaki şekilde (şekil-6.3) gösterildiği gibi dört temel adımın tamamlanması ile yapılmaktadır.



Şekil 6.3. Bir hesaplmalı akışkanlar dinamiği probleminin çözümündeki işlem adımları görülmektedir.

Ağ üretiminde kullanılabilen dört temel hacim ağ tipi vardır. (Madenci,E. Ve Güven,İ. 2006)



Şekil 6.4. Hesaplmalı akışkanlar dinamiği analizlerinde kullanılan hacim elemanı tipleri.

Bu eleman tiplerinden kullanımı en yaygın ve üretilmesi en basit olan tetrahedral elemandır. Özellikle karmaşık şekillerde hexahedral başta olmak üzere diğer elemanlardan üretilmesi çok zaman alıcı ve zor olduğundan tetrahedral elemanı kullanılmaktadır. Bu projede geçiş bölgeleri çok fazla olduğundan ve birden fazla akışkan analizin içinde olduğundan tetrahedral elemanı tercih edilmiştir. Ayrıca tetrahedral elemanların kullanılmasıyla farklı katmalardaki (domain) elemanların düğüm noktalarının birbirleriyle kesişmeleri daha kolay ve doğru bir biçimde olduğundan analizde daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanmaktadır.

6.2.1.1.Korunum denklemleri:

Bu bölümde anlatılan denklemler ve yaklaşımlar kullanılan ticari kodun (ANSYS) çözdüğü denklemler ve kullanıldığı yaklaşımları anlatmaktadır. Öncelikle her hesaplamalı akışkanlar dinamiği kodunda ortak olduğu gibi çözülen korunum denklemlerinin genel halleri kısaca; (Madenci,E. Ve Güven,İ. 2006)

4.2.1.1.1.Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (6.1)$$

4.2.1.1.2.Momentum denklemi;

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U x U) = \nabla \cdot (-p \delta + \mu (\nabla U + (\nabla U)^T)) + S_M \quad (6.2)$$

4.2.1.1.3.Enerji denklemi;

$$\frac{\partial \rho h_{top}}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{top}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_E \quad (6.3)$$

Şeklinde yazılabilir. Eğer viskoz iş fazlaysa bu durumda enerji denkleminde viskoz kaymaların etkisini hesaba katabilmek için sağ tarafa ek bir terim eklenmesiyle denklem,

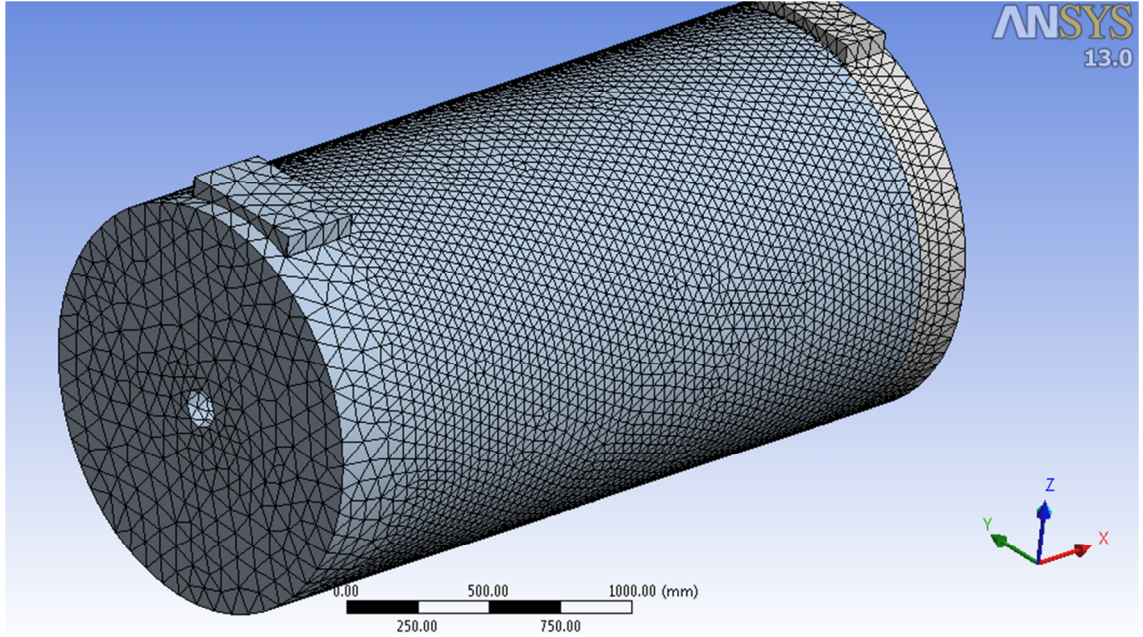
$$\frac{\partial \rho h_{top}}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{top}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot \left(\mu \nabla U + \nabla U^T - \frac{2}{3} \nabla \cdot U \delta U \right) + S_E \quad (6.4)$$

Halini almaktadır. Eğer kinetik enerjinin toplam enerjiye etkisi ihmal edilebiliyorsa bu durumda denklem aşağıdaki gibi olur,

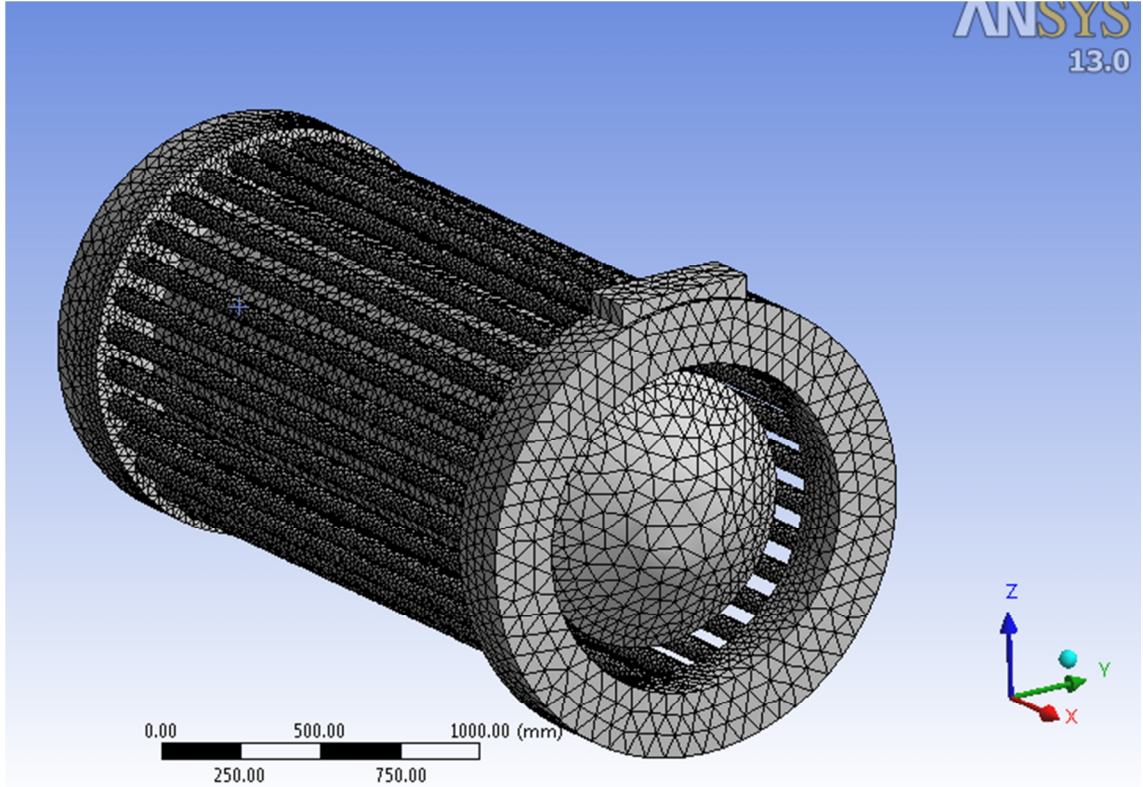
$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_E \quad (6.5)$$

Bu denklemlerde S kaynak terimlerini ifade etmektedir.

6.2.2.Modelin Mesh Yapısı:



Şekil 6.5. Ön prototip model mesh yapısı görülmektedir.



Şekil 6.6. Ön prototip model mesh yapısı görülmektedir.

Çizelge 6.1. Ön prototip modeli tanımlı alanlara göre eleman sayıları verilmiştir.

Katman(Domain)	(Nodes)Düğüm nok.	Eleman say.
Yanmış gazlar(Burning gas)	60 079	239 292
Proses havası (Process air)	129 075	572 760
Tüm Katmanlar(all Domains)	189 154	812 052

6.2.3.Sınır Şartları

6.2.3.1.Yanma Havası Giriş (Burning Air Inlet)

Sınır şartı tipi : Giriş (inlet)

Akış Rejimi : Sesaltı (subsonic)

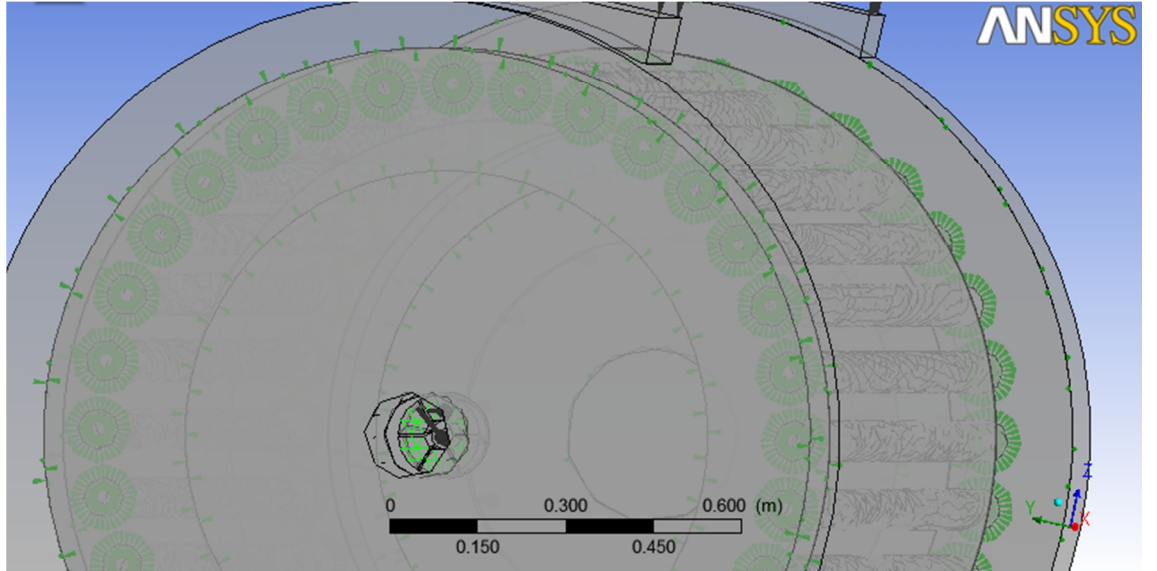
Giriş Hızı : 10 m/s

Giriş Kesiti : 0,015 m²

Giriş Sıcaklığı : 300 K (27°C)

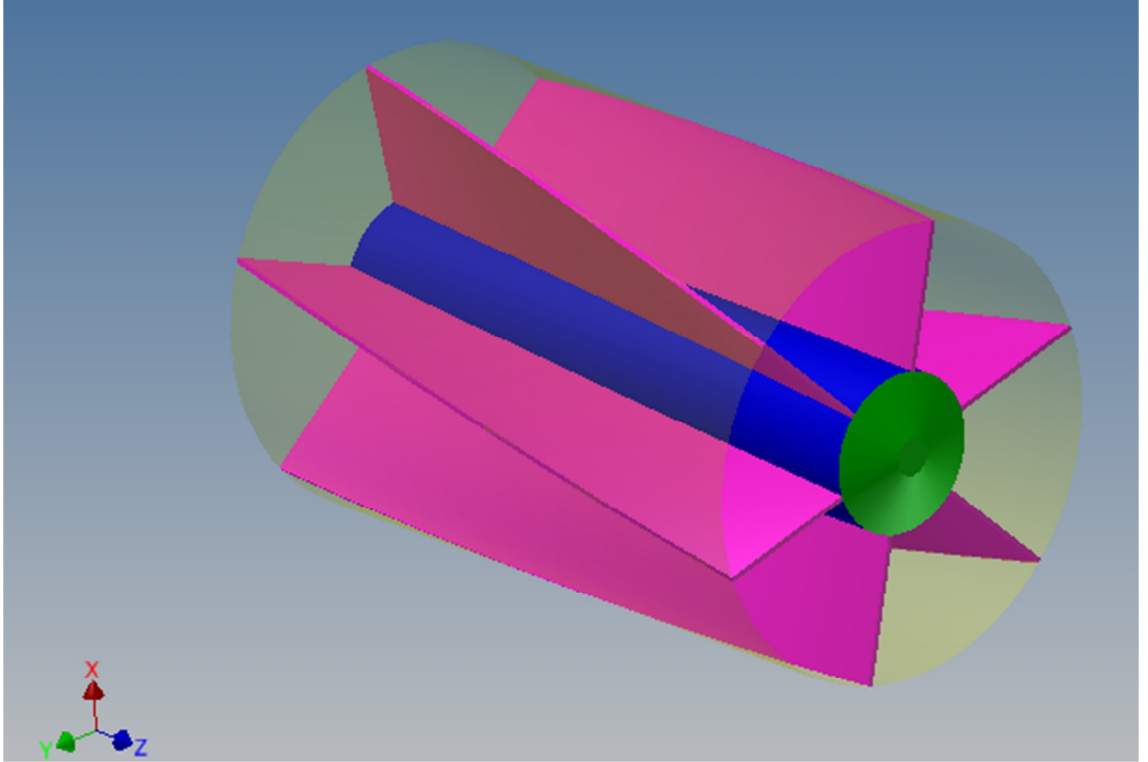
Yakma havası debisi : 644 Nm³/h

Yakma Havası Sıcaklığı : 300 K (27° C)



Şekil 6.7. Ön prototipde yanma havası giriş sınır şartı

Bu sınır şartında yanma için gerekli yanma havası şekil-6-7 ve şekil6-8 de görüldüğü gibi yönlendirici kanatlar arasından girmektedir. Yanıcı gaz ise orta göbek kısmından girerek brülör nozulunun uç kısmından açılı bir şekilde çıkarak yanma odası içerisinde hava ile bir yakıt hava karışımı oluşturmaktadır. Yanma için gerekli hava uygun debiyi sağlayacak şekilde 6 ayrı yönlendirme kanatlarının arasından geçmektedir.

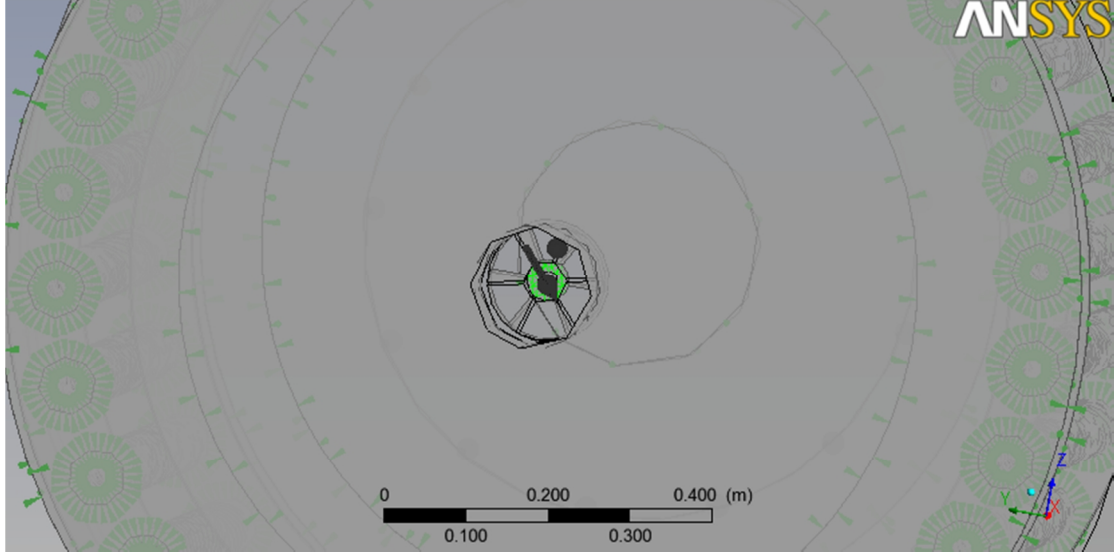


Şekil 6.8. Gerçeğine uygun olarak modellenen brülör nozulu

6.2.3.2. Yakıt Girişi (Burning Gas İnlet)

Sınır şartı tipi	: Giriş (inlet)
Akış Rejimi	: Sesaltı (subsonic)
Giriş Hızı	: 8 m/s
Giriş Kesiti	: 0,002 m ²
Giriş Sıcaklığı	: 300 K (27°C)
Yakıt debisi (Doğalgaz)	: 59 Nm ³ /h
Yakıt Sıcaklığı	: 300 K (27° C)

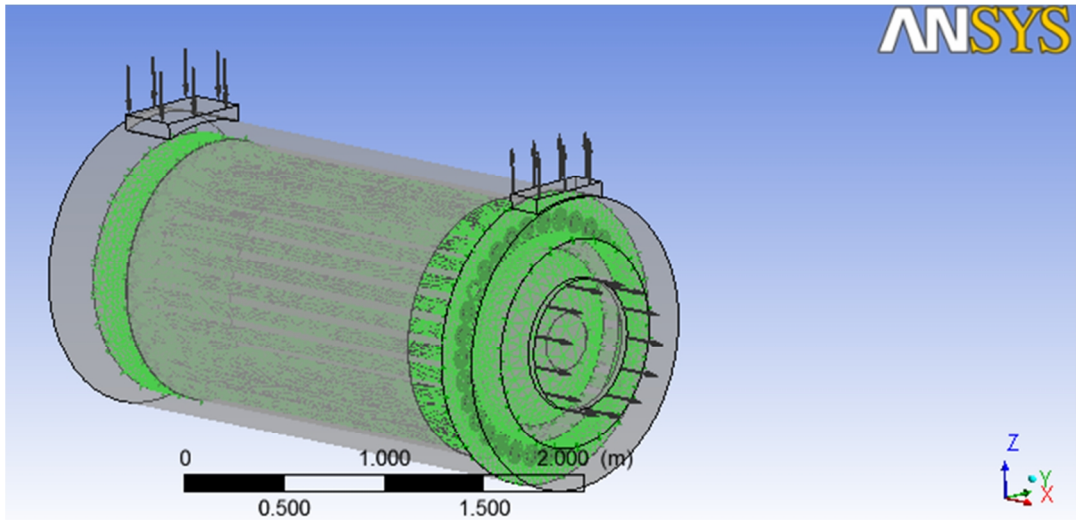
Şekil 6-8 de görüldüğü gibi yakıt brülör nozulunun uç kısmından çıkarak hava ile birlikte yakıt hava karışımın oluşturmaktadır.



Şekil 6.9. Ön prototipde yakıt giriş sınır şartı

6.2.3.3.Yanmış Gazlar Tarafı Isı Transfer Yüzeyi

Sınır şartı tipi	: Arayüzey (interface)
Cidar pürüzlülüğü	: Pürüzsüz duvar (smooth wall)
Isı transferi	: Conservative interface flux
Duvar Fonksiyonu	: Türbülanslı

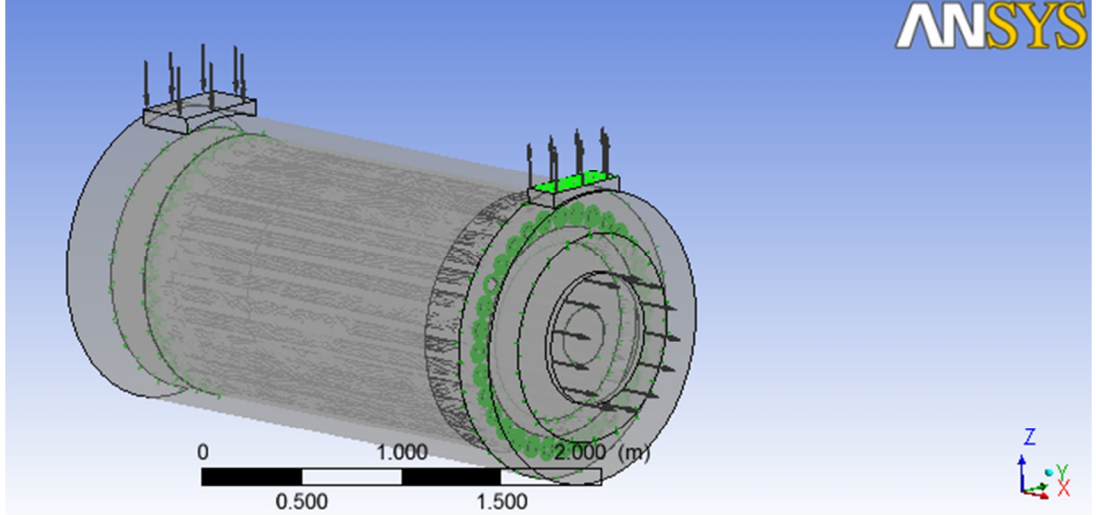


Şekil 6.10. Yanmış gazların yaladığı ısı transfer yüzeyi sınır şartı

6.2.3.4. Yanmış Gazlar Çıkışı Sınır Şartı (Burning Gas Outlet)

Sınır şartı tipi : Çıkış (outlet)

Bağıl çıkış basıncı : 0 Pa



Şekil 6.11. Yanmış gazların çıkış sınır şartı

6.2.3.5. Proses Hava Giriş Sınır Şartı (Process Air Inlet)

Sınır şartı tipi : Giriş (inlet)

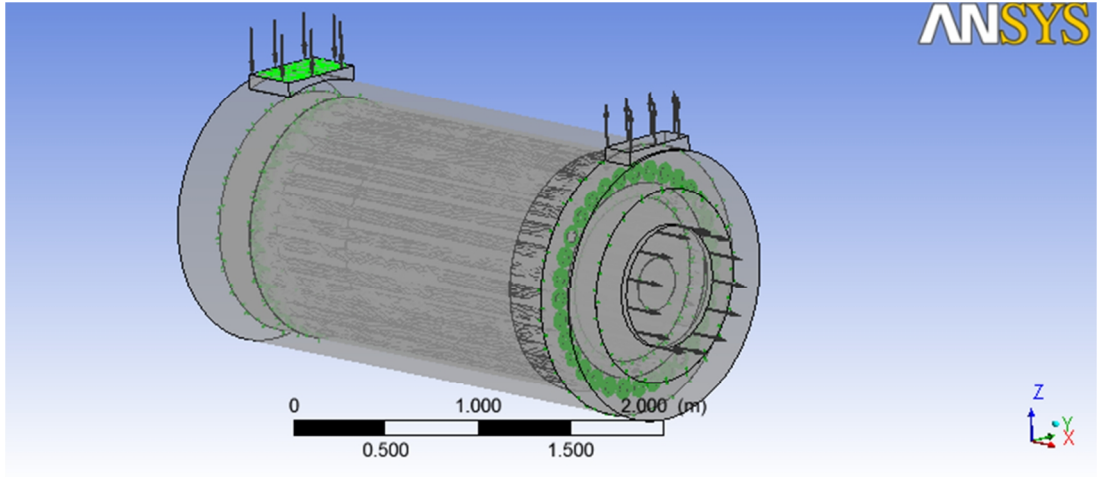
Akış Rejimi : Sesaltı (subsonic)

Giriş Hızı : 11,11 m/s

Giriş Kesiti : 0,15 m²

Hava debisi (Doğalgaz) : 6 000 m³/h

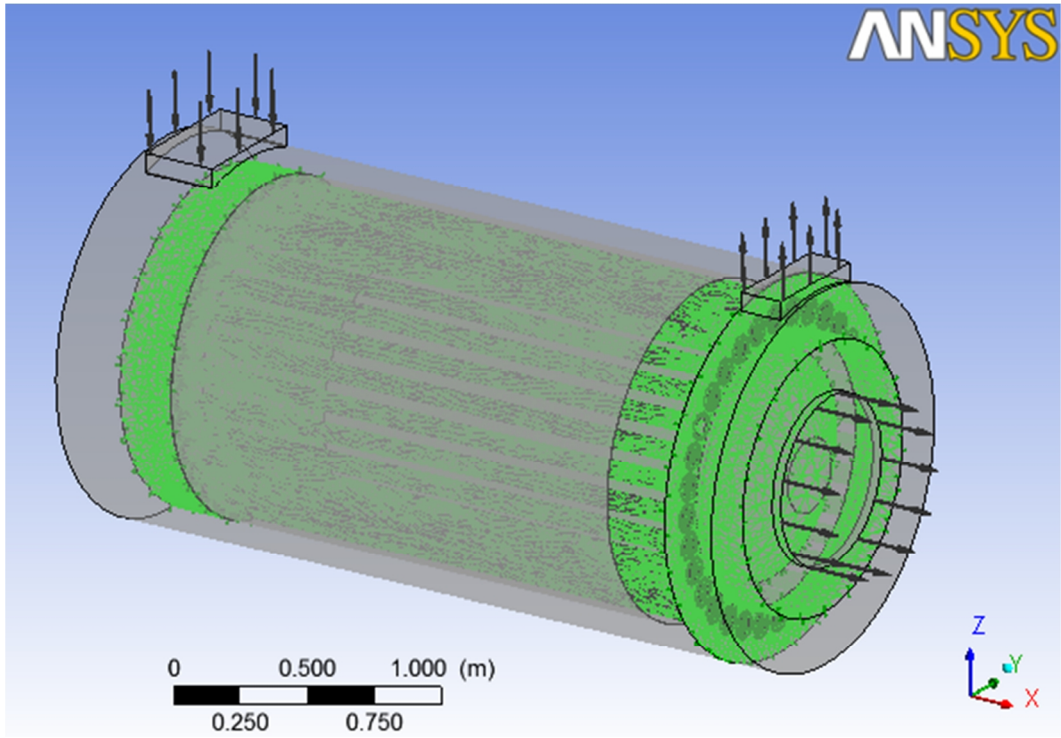
Hava Giriş Sıcaklığı : 300 K (27° C)



Şekil 6.12. Proses Havası Giriş sınır şartı

6.2.3.6. Proses Havası Tarafı Isı Transfer Yüzeyi

Sınır şartı tipi	: Ara yüzey (interface)
Cidar pürüzlülüğü	: Pürüzsüz duvar (smooth wall)
Isı transferi	: Conservative interface flux
Duvar Fonksiyonu	: Türbülanslı

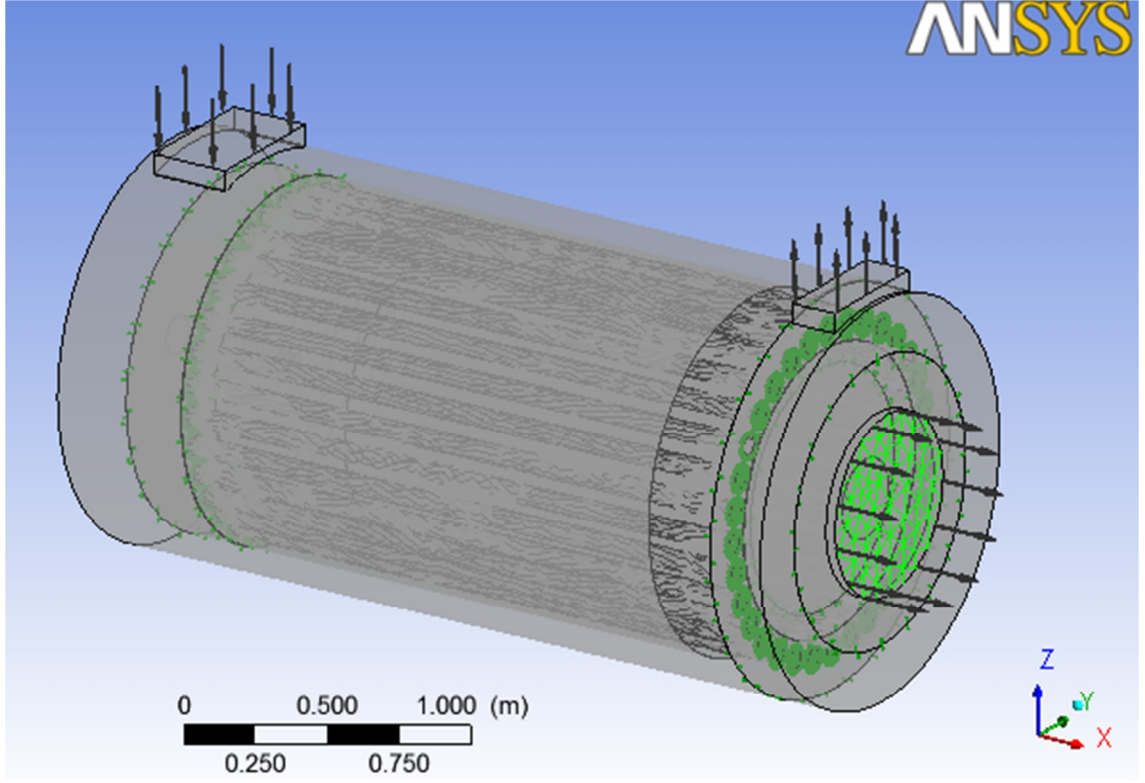


Şekil 6.13. Proses havasının yaladığı ısı transfer yüzeyi sınır şartı

6.2.3.7. Proses Havası Çıkışı Sınır Şartı (Process Air Outlet)

Sınır şartı tipi : Çıkış (outlet)

Bağıl çıkış basıncı : 0 Pa



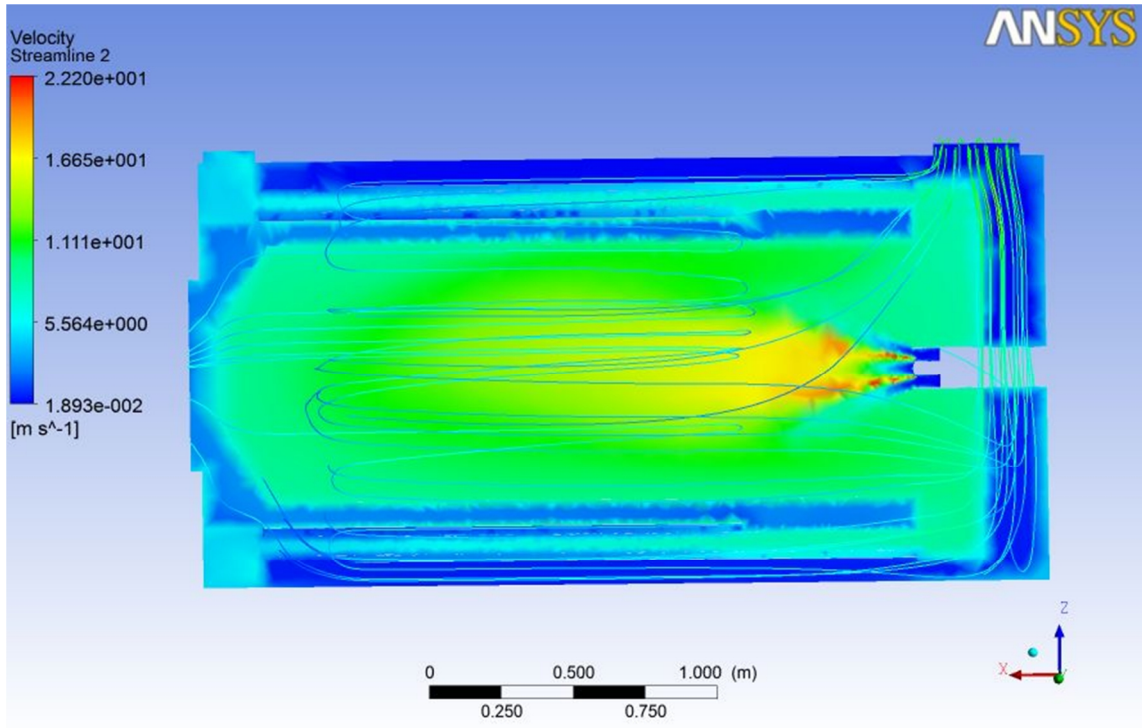
Şekil 6.14. Proses havası Çıkış sınır şartı

6.2.4. Analiz Ve Sonuçlar

Analizler Ansys Release 13.0 programı CFX modulunde yapıldı.

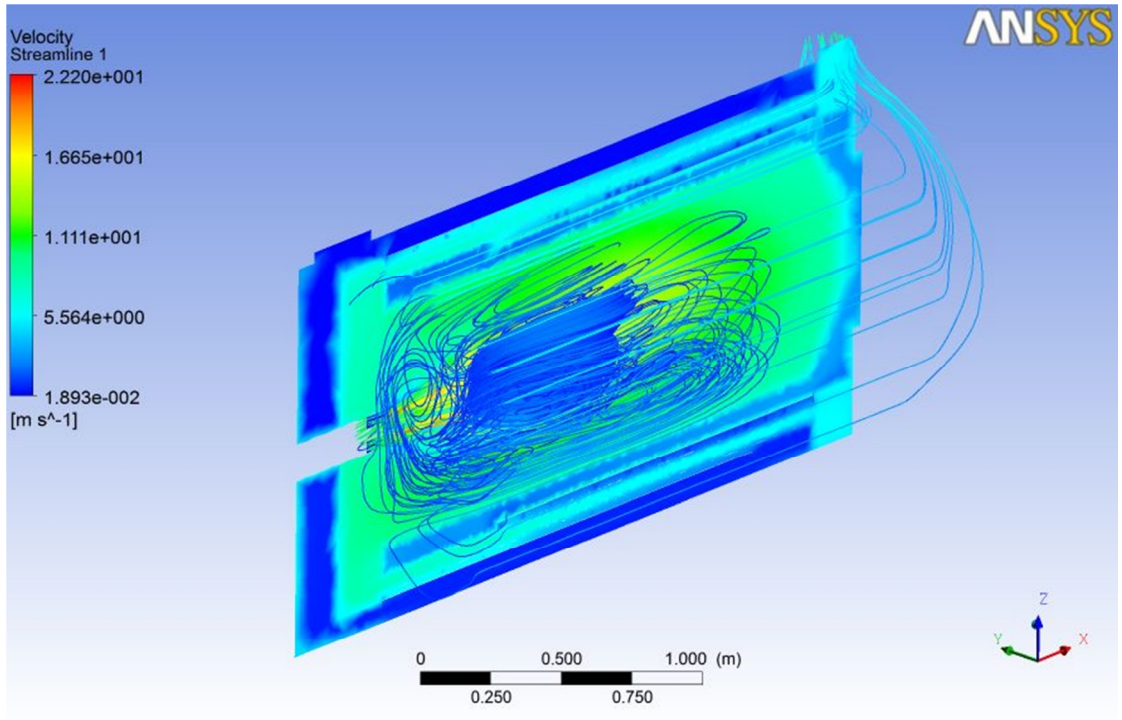
6.2.4.1. Birinci Analiz Sonuçları:

Şekil 6-15 de yapılan analizin sonucu olarak hız dağılımları ve hava ısıtıcısı içinde proses havasının giriş noktasından çıkış noktasına kadar takip ettiği yol akış iplikçikleri şeklinde görülmektedir.

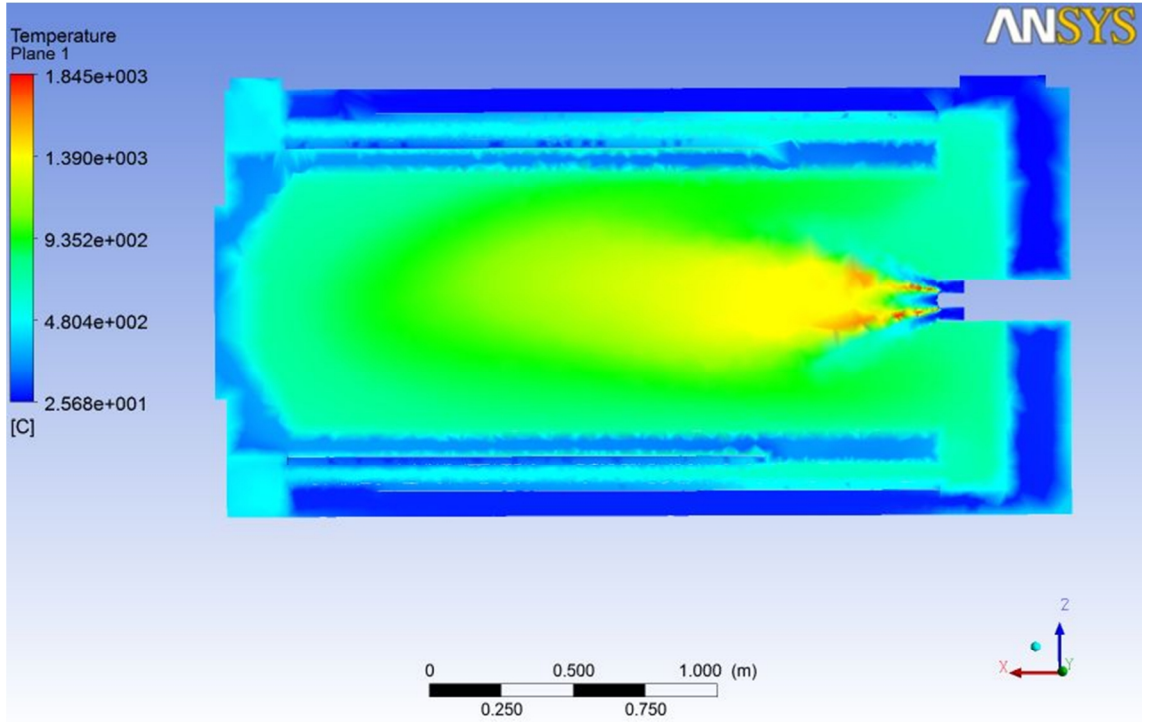


Şekil 6.15. Proses havası akış iplikçikleri ve hız dağılımı

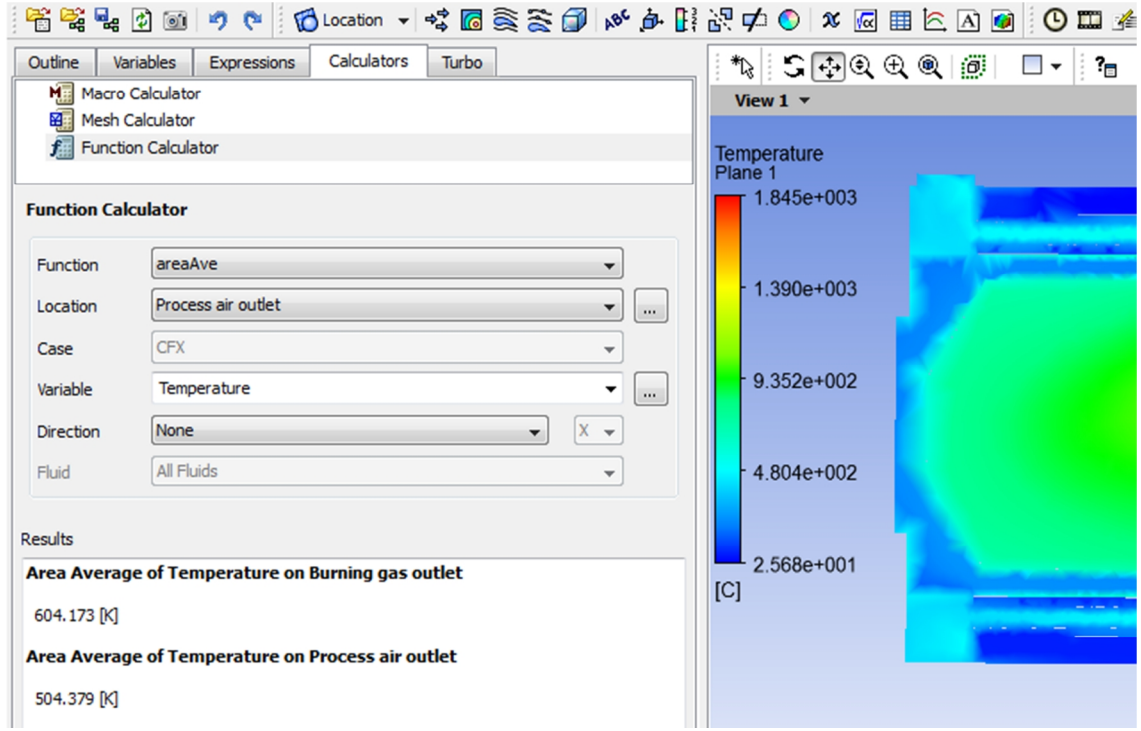
Şekil 6.16. de yapılan analizin sonucu olarak hız dağılımları ve hava ısıtıcısı içinde yanma sonucu oluşan gazların giriş noktasından çıkış noktasına kadar takip ettiği yol akış iplikçikleri şeklinde görülmektedir.



Şekil 6.16. Yanma sonu gazları akış iplikçikleri ve hız dağılımı



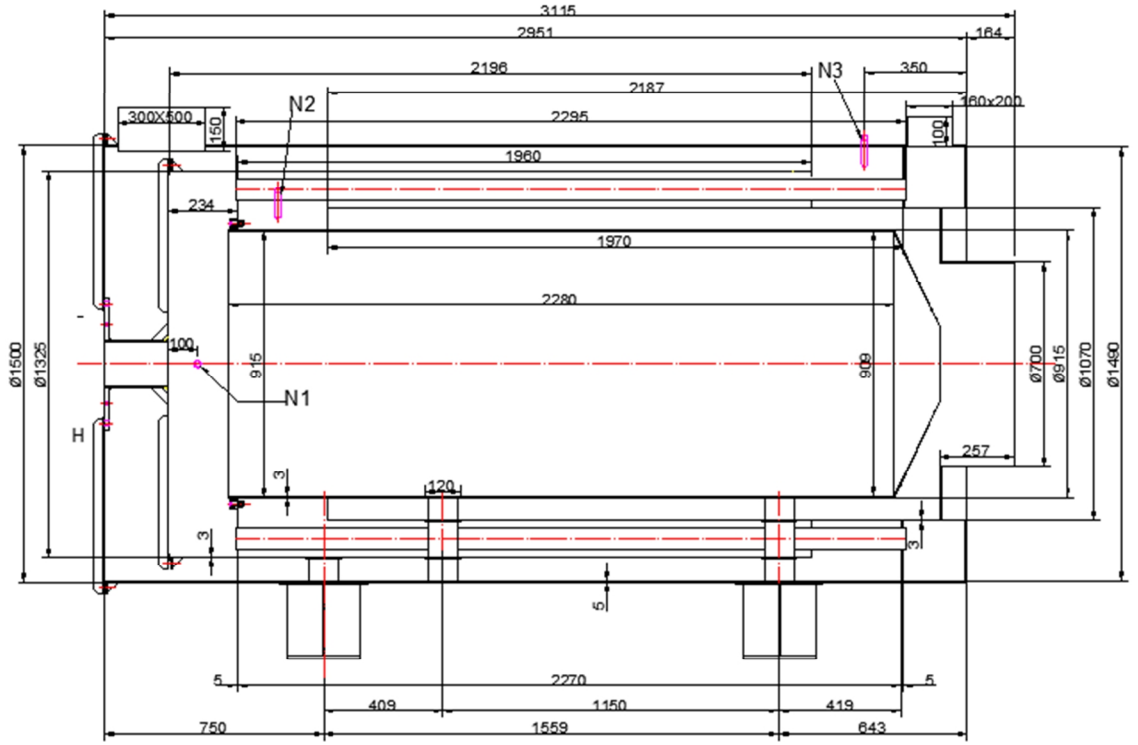
Şekil 6.17. Yanma sonu gazları ve Proses havası sıcaklık dağılımı



Şekil 6.18. yanma sonu gazları ve proses havası çıkışında ortalama sıcaklık değerleri

6.2.4.1.1. Birinci Analiz Sonuçları Değerlendirme:

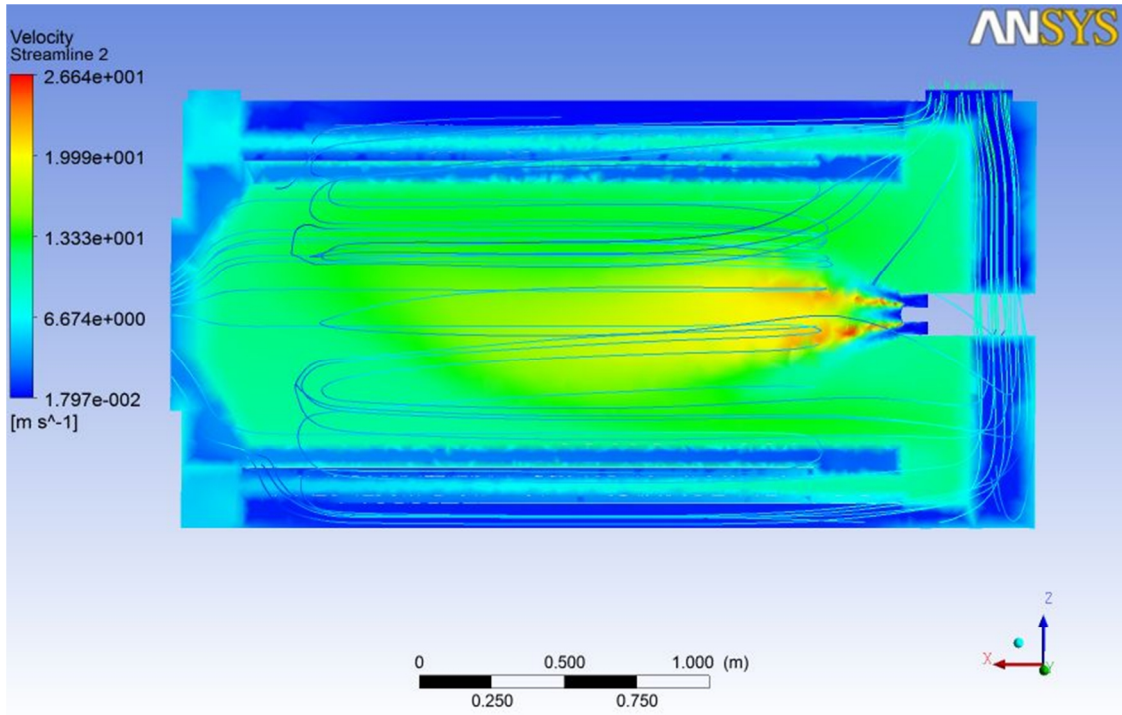
Analiz sonucuna göre baca gazı çıkış sıcaklığı (Burning gas outlet) 604 K (331°C), proses havası çıkış sıcaklığı (Process air outlet) 504 K (231°C) olarak bulunmuştur. Bu sıcaklık değerleri istenen sıcaklık değerlerinde değildir. Şekil 6-15 de proses havası akış iplikçikleri incelendiğinde hava yönlendirici sac bitiminden dönüş yapmakta ve duman borularının tamamına temas etmediği görülmektedir. Buna göre yönlendirici iç sac duman borularının ucuna doğru uzatılarak analiz tekrarlanacaktır. Beklenen sonuç havanın temas ettiği yüzey artırılarak ısı transferi ve dolayısıyla hava çıkış sıcaklığının artması, aynı zamanda baca gazlarının sıcaklıklarının düşmesi beklenmektedir.



Şekil 6.19. Son hali ile ön prototip ölçüleri (mm) (iç yönlendirici sac 300 mm uzatıldı)

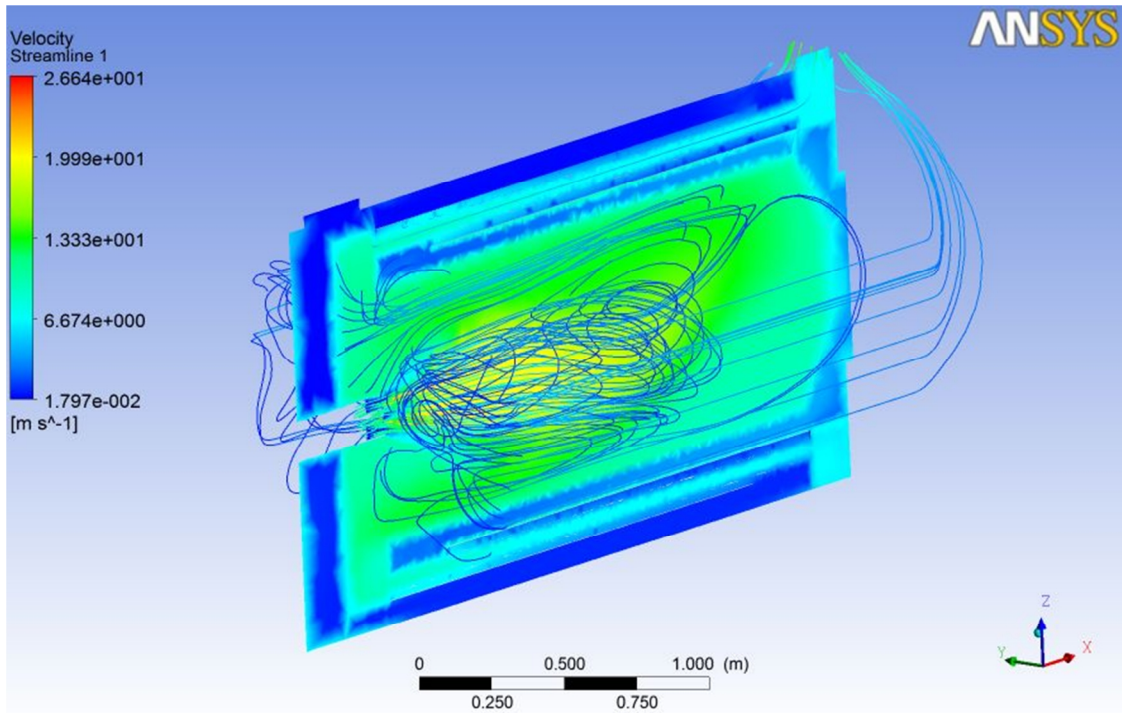
6.2.4.2. İkinci Analiz Sonuçları:

Şekil-6-20 de yapılan analizin sonucu olarak hız dağılımları ve hava ısıtıcısı içinde proses havasının giriş noktasından çıkış noktasına kadar takip ettiği yol akış iplikçikleri şeklinde görülmektedir.

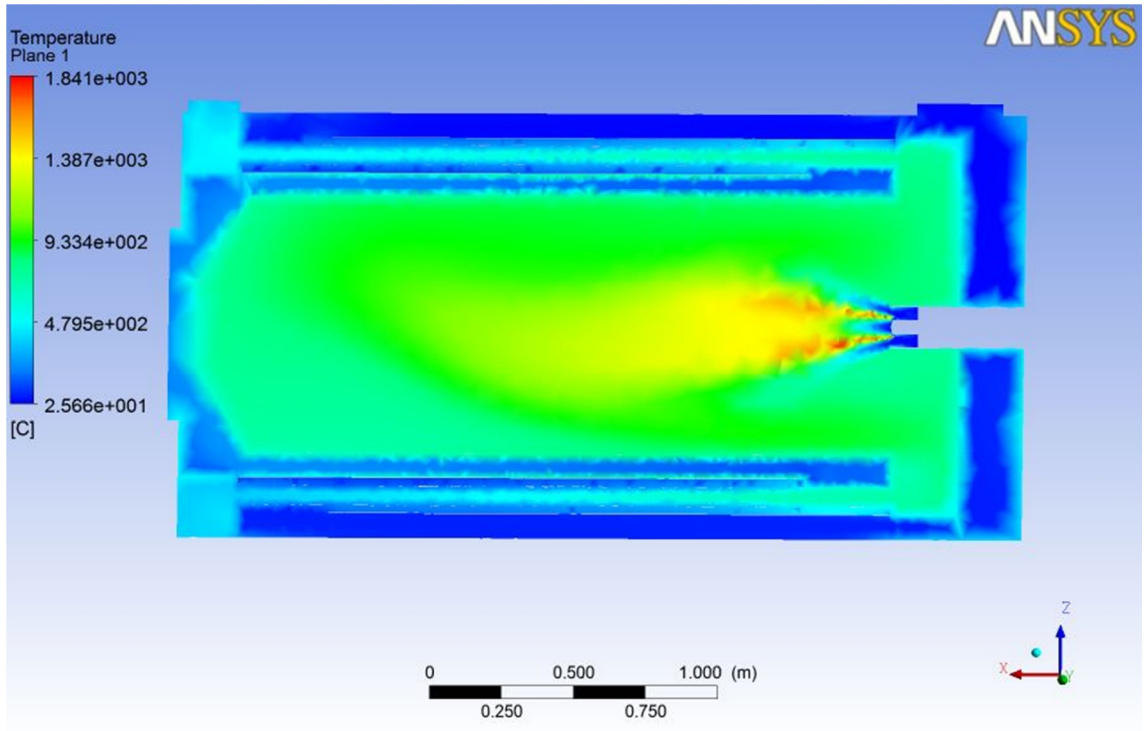


Şekil 6.20. Proses havası akış iplikçikleri ve hız dağılımı

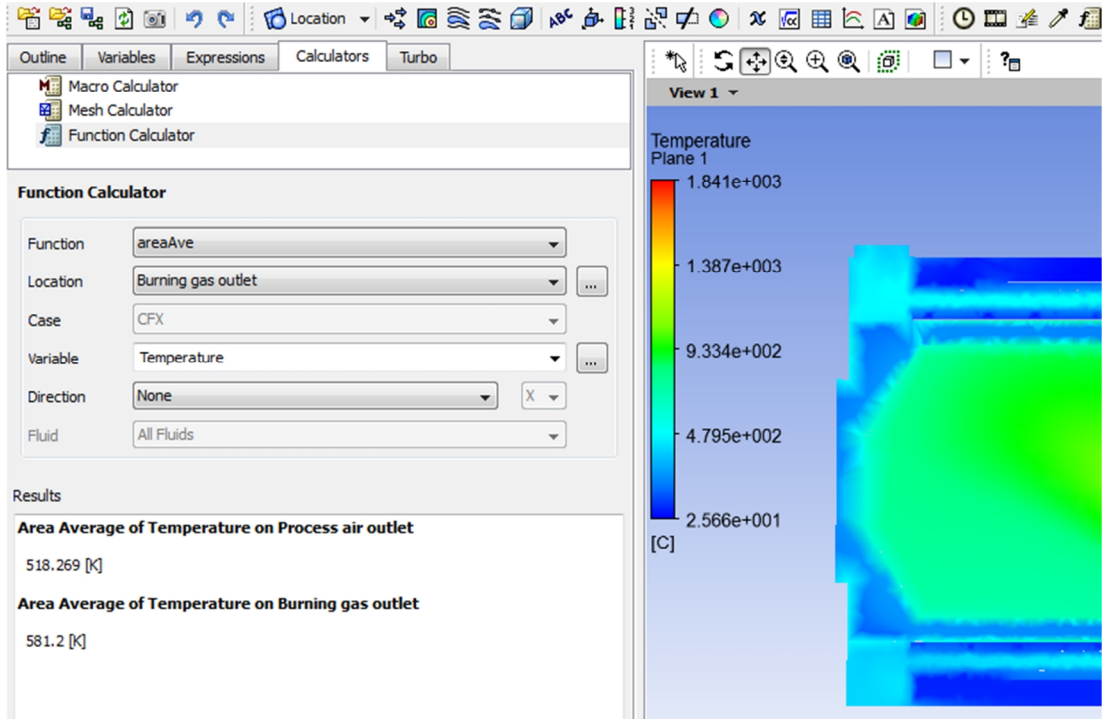
Şekil 6-21 de yapılan analizin sonucu olarak hız dağılımları ve hava ısıtıcısı içinde yanma sonucu oluşan gazların giriş noktasından çıkış noktasına kadar takip ettiği yol akış iplikçikleri şeklinde görülmektedir.



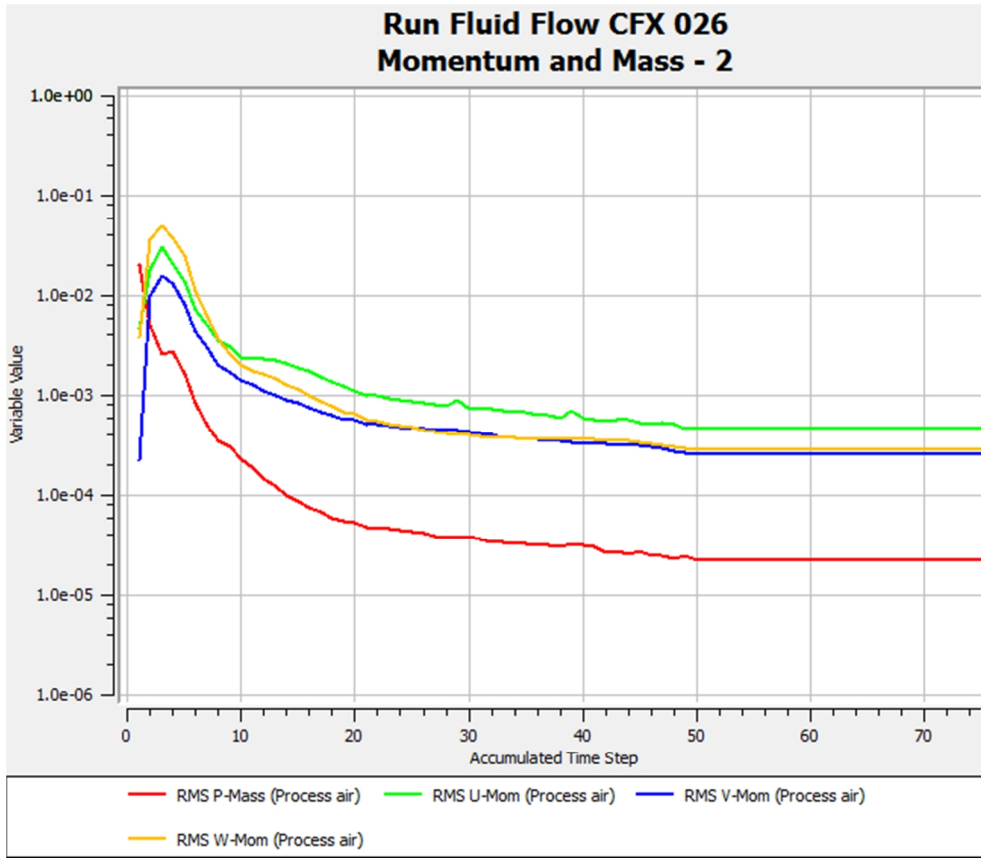
Şekil 6.21. Yanma sonu gazları akış iplikçikleri ve hız dağılımı



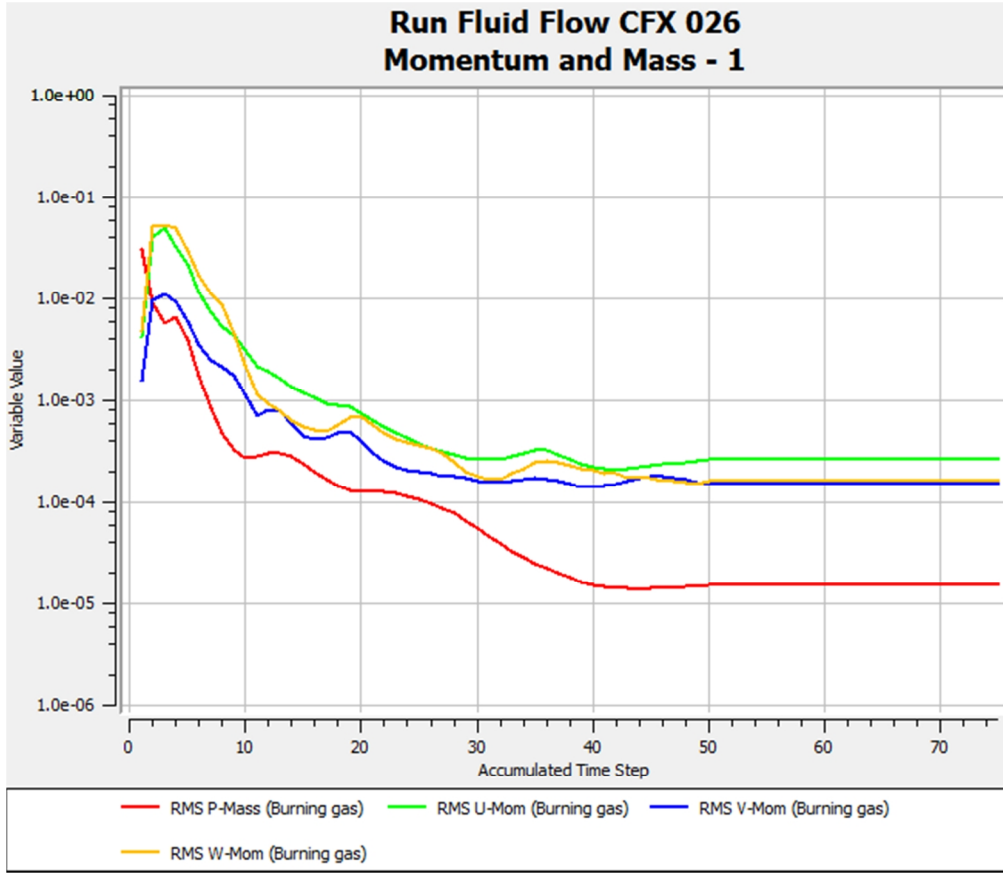
Şekil 6.22. Yanma sonu gazları ve Proses havası sıcaklık dağılımı



Şekil 6.23. Yanma sonu gazları ve proses havası çıkışında ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 6.24. Proses havası için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği

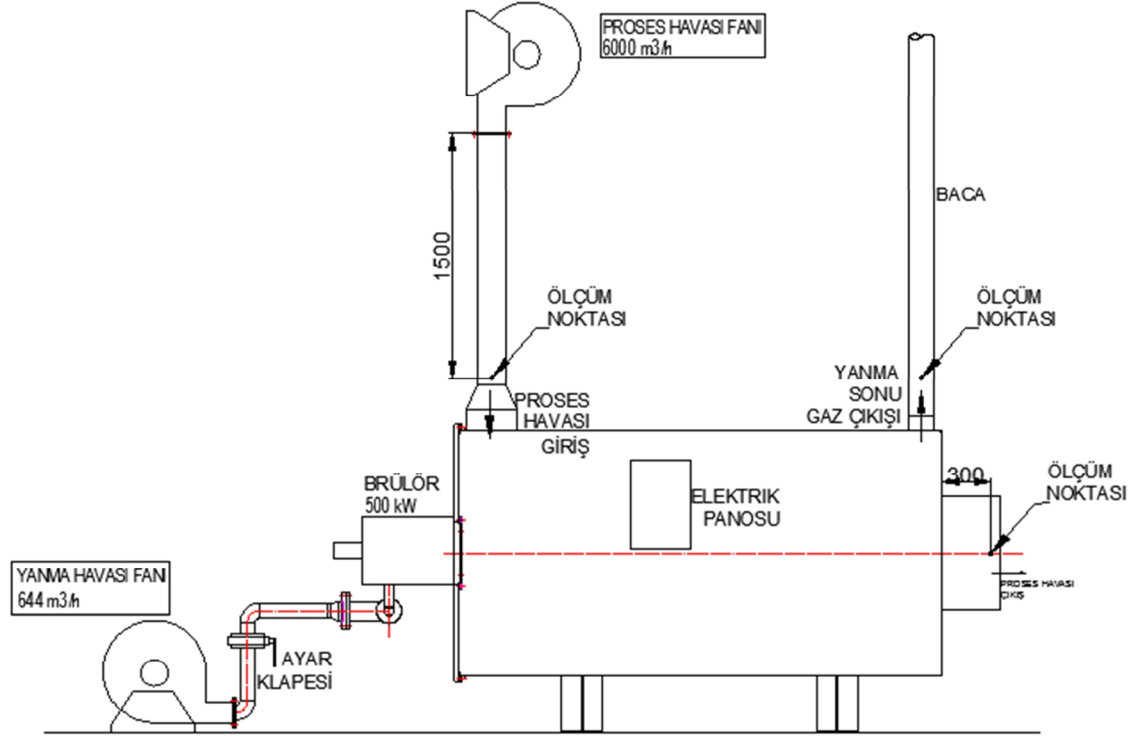


Şekil 6.25. Yanma sonu gazları için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği

6.2.4.2.1. İkinci Analiz Sonuçları Değerlendirme:

Analiz sonucuna göre baca gazı çıkış sıcaklığı (Burning gas outlet) 581,2 K (308°C), proses havası çıkış sıcaklığı (Process air outlet) 518 K (245°C) olarak bulunmuştur. İç yönlendirici sacın uzatılmasıyla Şekil 6-20 de görüldüğü gibi proses havası akış iplikçikleri duman borularının daha büyük bir kısmıyla temas etmektedir. Sonuçlara göre bu sıcaklık değerleri tasarlanan sıcaklık değerlerine çok yakındır. Elde edilen değerler uygundur. Bundan sonra üretilen ön prototip üzerinde yapılacak deneyler ile görülen sıcaklık değerleri karşılaştırılacaktır.

7. ÖN PROTOTİP ÜZERİNDE YAPILAN DENEY VE SONUÇLARI



Şekil 7.1. Sistem şeması

Çizelge 7.1. Ön prototip üzerinde yapılan deneyler sonucu ön prototipin farklı yerlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

DENEY ŞARTLARI						
Hava Debisi	6 000	m ³ /h	Tarih:	03.10.2011		
Ortam Sıcaklığı	28	°C				
Yakılan doğalgaz debisi	57,6	Nm ³ /h				
HAVA ISITICISI DENEY SONUÇLARI						
SAAT	Yük Durumu	GAZ SICAKLIĞI N1	HAVA SICAKLIĞI N2	HAVA SICAKLIĞI N3	HAVA SICAKLIĞI N4	BACA ÇIKIŞ SICAKLIĞI N5
14:00	80%	634	109	74	238	302
14:05	90%	638	112	75	240	304
14:12	100%	640	117	79	245	308


```

*****
* E G O M - J 2 K N *
*****
Tarih      zaman
03.10.11   14:12:29
-----
Analyse nach BImSchV
-----
Yakittürü
Natural gas
-----
S.Hava      28 °C
S.Gaz       312 °C
O2           4.1 %
CO 0%02     4 ppm
NO 0%02     61 ppm
NO2 0%02    0 ppm
NOx 0%02    61 ppm
SO2 0%02    1 ppm
CO2          9.5 %
Eta          86.4 %
Kayıplar    13.6 %
Lambda      1.24
Erimenok    55 °C
-----
rbr-Messtechnik GmbH
Am Großen Teich 2
58640 Iserlohn
-----
Tel. : 02371/945-5
Fax  : 02371/40305

```

Şekil 7.2. Baca gazı emisyon ve verim değerleri



Şekil 7.3. Deneilerin yapıldığı Ön prototip

8. NİHAİ PROTOTİP TERMİK HESAPLAR:

Nihai prototip HTV tip hava ısıtıcısı modelinde 2.500.000 kcal/h kapasiteli olacak şekilde dizayn edilecektir. Buna göre ön prototip üzerinden termodinamik benzerlikler kurularak nihai prototip ön tasarım özellikleri çıkartılarak termik hesaplar yapılacak. Termik hesapların ardından CFD analizine geçilecektir.

8.1. Termodinamik Benzerlik:

1 indisi ön prototip değerlerini, 2 indisi nihai prototip değerlerini göstermektedir.

Termodinamik benzerlik oranı:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{m_{a2} \cdot \Delta h_2}{m_{a1} \cdot \Delta h_1} = \frac{m_{y2} \cdot H_u}{m_{y1} \cdot H_u} = \frac{k_2 \cdot F_2 \cdot \Delta t_2}{k_1 \cdot F_1 \cdot \Delta t_1} = \frac{2.500.000 \text{ kcal/h}}{400.000 \text{ kcal/h}} = \mathbf{6,25} \quad (8.1)$$

Formül 8.1 den görüldüğü üzere ısı transferinde yüzey oranlarının etkili olduğu görülmektedir. Fakat bu husus hava ısıtıcının bütün kısımlarında geçerli değildir. Radyasyon yüzeylerindeki durum biraz daha farklıdır. Bu nedenle yüzeysel orandan farklı hacimsel orana doğru kayılması gerekmektedir. Babcock – Wanson firmasının boyutları analiz edildiğinde bu husus rahatla görülmektedir.

İki ısı transfer sistemin benzer olması için “Re” ve “Pe” boyutsuz sayılarının eşit olması gerekir. Fakat daha önce de belirtildiği gibi radyasyon bu yasanın dışında kalmaktadır. Bu eşitliğe göre dizayn yapıldığında yüzeyler daha da büyük çıkmakta ve buda endüstriyel üretim için yararlı olmamaktadır, Burada reynolds benzerliğini gösterecek, ama dikkate alınmayacaktır.

$$\mathbf{Re}_1 = \frac{U_1 \cdot d_1}{v_1} = \mathbf{Re}_2 = \frac{U_2 \cdot d_2}{v_2} \quad (8.2)$$

$$\mathbf{Re}_2 = \mathbf{Re}_1$$

Yüzey oranını esas aldığımızda;

Yüzeysel oran

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{F_2}{F_1} = \mathbf{6,25} \quad (8.3)$$

Alınır. Buna göre boyutsal oran $\sqrt{6,25} = 2,5$

Külhan(yanma Odası)

$$d_1=0,915 \text{ mm}, L_1=2.280 \text{ mm}, B_{y1}=600 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$d_2=2.287 \text{ mm}, L_2=5.700 \text{ mm}, B_{y2}=3.750 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$U_1 = \frac{600/3600}{\pi/4 \times 0,915^2} = \frac{3750/3600}{\pi/4 \times 2,287^2} = \mathbf{0,254 \text{ m/s}} \quad (8.4)$$

$$Re_1 = U_1 \times d_1 = \mathbf{0,254 \times 0,915 = 0,232} \quad (8.5)$$

$$Re_2 = U_2 \times d_2 = \mathbf{0,254 \times 2287 = 0,581} \quad (8.6)$$

Külhan içerisinde ısı transferi daha çok radyasyon ile gerçekleştiğinden Re benzerliği ihmal edilecektir. Yüzeysel oran;

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\pi d_2 L_2}{\pi d_1 L_1} = \frac{40,953}{6,554} = \mathbf{6,25} \quad (8.7)$$

Borular 1. Yaklaşım:

$$d_1=0,076 \text{ mm}, L_1=2.450 \text{ mm}, n_1=32 \text{ adet } F_1=18,72 \text{ m}^2$$

$$d_2=0,190 \text{ mm}, L_2=6125 \text{ mm}, n_2=32 \text{ adet } F_2=116,99 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\pi d_2 L_2}{\pi d_1 L_1} = \frac{116,99}{18,72} = \mathbf{6,25} \quad (8.8)$$

$$U_1 = \frac{600/3600}{32\pi/4 \times 0,076^2} = \frac{3750/3600}{32\pi/4 \times 0,19^2} = \mathbf{1,1487 \text{ m/s}} \quad (8.9)$$

$$Re_1 = U_1 \times d_1 = \mathbf{1,1487 \times 0,076 = 0,087} \quad (8.10)$$

$$Re_2 = U_2 \times d_2 = \mathbf{1,1487 \times 0,19 = 0,218} \quad (8.11)$$

Daha önce de belirtildiği üzere $Re_2 > Re_1$ olup, termodinamik benzer değil fakat ısı transferi daha iyidir. Çünkü:

$$\left[\frac{k_2}{k_1} = \left(\frac{Re_2}{Re_1} \right)^{0,3} \right] \quad (8.12)$$

Borular 2. Yaklaşım:

$d_1=0,076$ mm, $L_1=2.450$ mm, $n_1=32$ adet

$d_2=0,076$ mm, $L_2=6125$ mm, (* $L_2=6000$ mm), $n_2=?$ Adet

$$U_1 = \frac{600/3600}{32\pi/4 \times 0,076^2} = \mathbf{1,1487} \text{ m/s} \quad (8.13)$$

$$U_2 = \frac{U_1 d_1}{d_2} = \mathbf{1,1487} \quad (8.14)$$

$$Re_1 = U_1 d_1 = Re_2 = U_2 d_2 \quad (8.15)$$

Boru adedi:

$$n_2 = \frac{3750/3600}{1,1487\pi/4 \times 0,076^2} = \mathbf{229} \text{ adet} \quad (8.16)$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{n_2 \pi d_2 L_2}{n_1 \pi d_1 L_1} = \frac{229 \cdot \pi \cdot 0,076 \times 6}{32 \cdot \pi \cdot 0,076 \times 2,45} = \mathbf{17,52} > \mathbf{6,25} \quad (8.17)$$

Formül 8.12 den görüldüğü üzere: yüzey oranı yüksek çıkmaktadır. Bu değer kabulüyle dizaynın yapılması, mühendislikte garanti tarafında kalmak şeklinde tanımlanır. Nihai prototipteki hesaplarımız yüzey benzerliği şeklinde yapılacak olup, modelde kullanılan hesap yöntemi, aynen kullanılacak ve yalnızca geometrik boyutlar değiştirilecektir.

8.2. Termik Hesap

Nihai prototip:

Isıl kapasitesi	: 2.500.000 kcal/h
Isıtılacak hava miktarı	: 34.600 Nm ³ /h
Giriş çıkış hava sıcaklık farkı	: 240-15=225 °C

Ana Değerler:

Isıtılacak Hava Miktarı	34 600	Nm ³ /h
Hava Giriş Sıcaklığı	15	°C
Hava çıkış sıcaklığı	240	°C
Hava özgül ağırlığı	1,29	kg/Nm ³
Doğalgaz özgül ağırlığı	0,8	kg/Nm ³
Yakıt Alt Isıl Değeri	8 250	kcal/Nm ³
Yakıt Alt Isıl Değeri	34 485	kJ/Nm ³
Yakıt Alt Isıl Değeri	43 106,25	kJ/kg
Yakıt Alt Isıl Değeri	10 312,5	kcal/kg
Baca Gazı Sıcaklığı (Kabul)	300	°C
Hava ortalama özgül ısı değeri	1,042	kJ/kg.°C
Hava ortalama özgül ısı değeri	1,34418	kJ/Nm ³ .°C
Hava ortalama özgül ısı değeri	0,321574163	kCal/Nm ³ .°C
Toplam Isıtma Kapasitesi	2 906,78925	kW
Toplam Isıtma Kapasitesi	2 503 455	kcal/h

Kayıplar ve Verimler:

Faktör f	0,46	
Baca gazı çıkış sıcaklığı	300	°C

Çevre Sıcaklığı	15	°C
Yanmada CO2 Yüzdesi	10,5	%
Baca Kaybı	12,5	%
Işınım ve yanmamış gaz kayıpları	1,1	%
Hava Isıtıcısı Verimi	86,4	%

$$h_{Abg} = f x \frac{t_{Abg} - t_u}{c_{O_2}} = 0,46 x \frac{300 - 15}{10,5} = 12,5\% \quad (8.18)$$

Hava Isıtıcısı Hesapları:

Isıtıcıya verilmesi gereken ısı miktarı	3 364	kW
Isıtıcıya verilmesi gereken ısı miktarı	2 892 854	kcal/h
Isıtıcıda yakılması gereken Doğalgaz Miktarı	351	Nm ³ /h
Isıtıcıda yakılması gereken Doğalgaz Miktarı	281	kg/h

Yanma ve Yakma Hesaplamaları:

Teorik Hava miktarı	11,0	Nm ³ /kgB
Hava Fazlalık sayısı - Lamda	1,1	
Gerçek hava miktarı	12,05	Nm ³ L/kg
Brülör Fan Kapasitesi	3 386	Nm ³ L/h
Duman Gazı miktarı	12,07	Nm ³ RG/kgB
Toplam Duman Gazı miktarı	3 392,14	Nm ³ /h

$$A_{tv} = \frac{0,26H_n}{1000} - 0,25 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (8.19)$$

$$G_{tv} = \frac{0,272H_n}{1000} + 0,25 \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (8.20)$$

(Donatello Annaratone 2008.)

Hava Isıtıcısı Yanma Hücresi hesaplamaları:

Yanma ürünü Gazların Entalpi Değeri	3 570	kJ/Nm ³ RG
Yanma ürünü Gazların Entalpi Değeri	854	kcal/Nm ³ RG
Duman gazı ortalama özgül ısı değeri	1,242	kJ/kg.°C
Duman gazı ortalama özgül ısı değeri	1,59	kJ/Nm ³ °C
Teorik Alev Sıcaklığı - Hesapla	2 246	
Teorik Alev Sıcaklığı - Rosin/Fehling	2 000	°C
Teorik Alev Sıcaklığı - Rosin/Fehling	2 273	°K
Yanma hücresi Boyutları: Çap	2,2	m
Yanma hücresi Boyutları: Boy	5,78	m
Yanma Hücresi radyasyon alanı	43,7	m ²
Doğalgaz alevi Epsilon değeri	0,74	
Yakılan yakıt kütle akısı	0,078	kg/s
Duman gazı miktarı	12,07	Nm ³ /kg Yakıt
Omega değeri	34,36	
Yanma hücresi yüzeyi ortalama sıcaklığı	600	°C Kabul*
Yanma hücresi ortalama sıcaklığı	873	°K
Yanma Hücresi çıkışında sıcaklık te	868	Kabul**
Yanma Hücresi çıkışında sıcaklık Te	1 141	°K

Formül 8.23 Sol taraf değeri	2 208 510,26	
Formül 8.23 Sağ taraf değeri	2 189 993,66	
Çözüm sonucu	OK	KONTROL 1

Not: 8.22 Eşitliğinin her iki tarafı birbirine eşit olmalıdır.

*- bu değer kabul edilip eşitlik sağlanıncaya kadar değiştirilecek.

** - bu değer kabul edilip eşitlik sağlanıncaya kadar değiştirilecek

$$\Omega = \frac{\varepsilon S}{M_{fG}} \quad (8.21)$$

$$5.77 \frac{\varepsilon S}{M_{fG}} \left[\left(\frac{T_e}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] = h_g - c_{pg} (t_e - t_0) \quad (8.22)$$

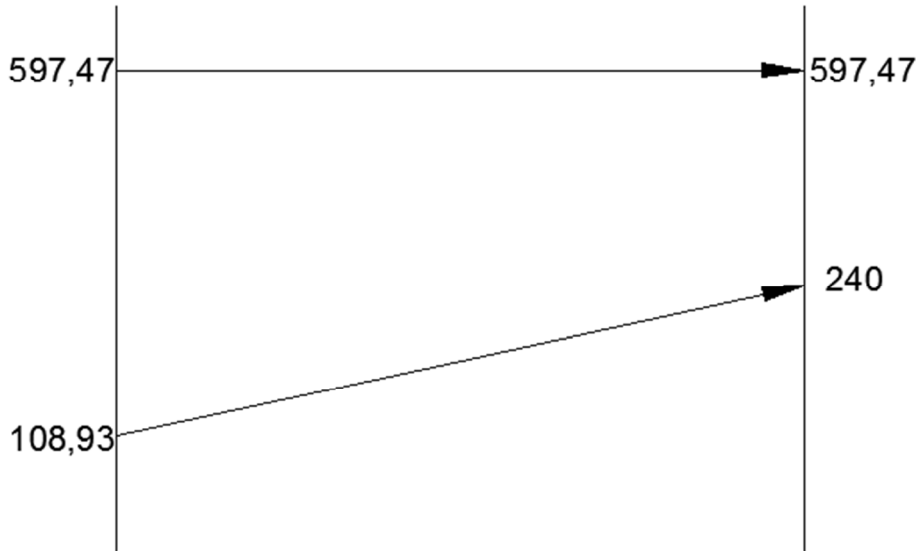
(Donatello Annaratone 2008.)

Hücre çıkışı gaz sıcaklığı	868	°C
Yanma Hücresinde Radyasyonla geçen ısı mik.	1 696	kW
Yanma Hücresinde Radyasyonla geçen ısı mik.	1 458 303	kcal/h
Radyasyonla geçen ısı miktarı % olarak	58,25	%

Hava Isıtıcısı Radyasyon ve Konveksiyon yüzeyleri hesaplamaları:

Yanma hücresi metal kalınlığı	0,004	m.
Yanma hücresi malzeme iletme katsayısı	44	W/m °C
Yanma hücresi radyasyon alanı	43,75	m ²
Yanma hücresi yüzey dış sıcaklığı	597,47	°C
Yanma hücresi dış yüzey emisyon katsayısı	0,75	
Proses havası - kazanılan sıcaklık farkı.	131,07	°C

Proses havası iç ringe giriş sıcaklığı	108,93	°C
Proses havası ortalama sıcaklık değeri	174,5	°C
Yanma hücresinden geçen ısı miktarı (Radyas.)	1 011	kW (1)
İç ring çapı	2,55	m
İç ring - Yanma hücresi arası alan değeri	1,31	m ²
Geçiş hidrolik çapı	0,35	m
Proses havası iletkenlik değeri (Ortal. sıcaklık)	0,034000	W/m °C
Proses havası dinamik viskozite değeri	0,000024	kg/m.s
Hava Kütle hızının hesabı	15,56	kg/m ² .s
Isı iletim katsayısı (Formül 8.25)	38,07	W/m ² °C
Büyük sıcaklık farkı	488,5	°C
Küçük sıcaklık farkı	357,5	°C
Logaritmik sıcaklık farkı (Formül 8.23)	419,6	°C
Konveksiyonla geçen ısı miktarı	698,8	kW (2)



Şekil 8.1. Yanma odası içindeki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı

$$\Delta tm = \frac{(597,47-108,93)-(597,47-240)}{\ln\left(\frac{597,47-108,93}{597,47-240}\right)} = 419,6 \quad (8.23)$$

$$\alpha = 0,023 \frac{G^{0,8}}{d_i^{0,2}} \left(\frac{c_p k^{1,5}}{\mu} \right) \quad (8.24)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'} + \frac{x_w}{k} + \frac{1}{\alpha''}} \quad (8.25)$$

(Donatello Annaratone 2008.)

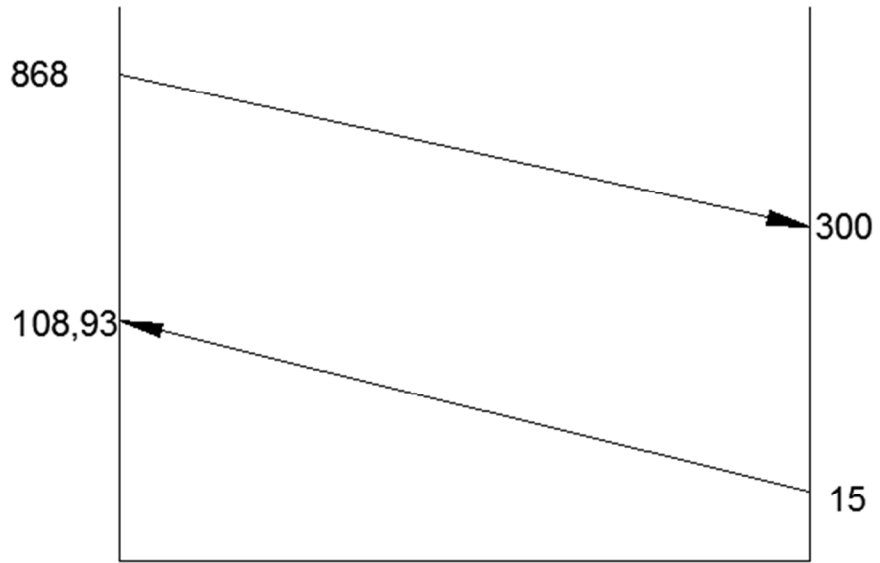
Radyasyon ve Konveksiyonla geçen ısı miktarı	1 045 152	kcal/h
Radyasyon ve Konveksiyonla geçen ısı miktarı	1 215,29	kW
Proses havası ortalama sıcaklık	62	
Proses havası iletkenlik değeri (Ortal. Sıcaklık)	0,026000	W/m °C
Proses havası dinamik viskozite değeri	0,000020	kg/m.s
Dış ring çapı	3,19	m
Konveksiyon boruları çapı	0,183	m
Konveksiyon boruları et kalınlığı	0,004	m
Konveksiyon boruları adedi	32	ad.
İç - dış ring arası hava geçiş alanı	2,04	m ²
Hava Kütle hızının hesabı	7,45	kg/m ² .s
Hava geçiş hidrolik çapı	0,22	m
Proses havası tarafı ısı geçiş katsayısı	22,21	W/m ² °C
Duman gazları ortalama sıcaklığı	584	°C
Duman gazı iletkenlik değeri (Ortal. Sıcaklık)	0,058000	W/m °C

Duman gazı dinamik viskozite değeri	0,000036	kg/m.s
Duman gazı boruları iç ve hidrolik çapı	0,175	m
Duman gazı kütle hızının hesabı	5.00	kg/m ² .s
Duman gazı tarafı ısı geçiş katsayısı	22,15	W/m ² °C
Konveksiyon genel ısı transfer katsayısı U	11,08	W/m ² °C
Büyük sıcaklık farkı	759,07	°C
Küçük sıcaklık farkı	285	°C
Logaritmik sıcaklık farkı (Formül 8.26)	483,94	°C
Konveksiyon boruları boyu	5,490	m
Gaz Radyasyon Katsayısı	0,228	
Boru yüzeyleri miktarı	98,79	m ²
Konveksiyonla geçen ısı miktarı	529,62	kW (1)
Radyasyonla geçen ısı miktarı	684,70	kW (2)
Toplam Kapasite	2 924,19	kW

KONTROL 3 Her iki değer birbirine eşit olmalıdır.

Radyasyonla geçen ısı miktarı: 1 215,29=(529,62+684,70=1 214,32) OK

Görüldüğü üzere; yüzey benzerliği özelliğinde boyutlandırılan hava ısıtıcısında hesaplama sonucunda arzulan ısı değer elde edilebilmektedir.



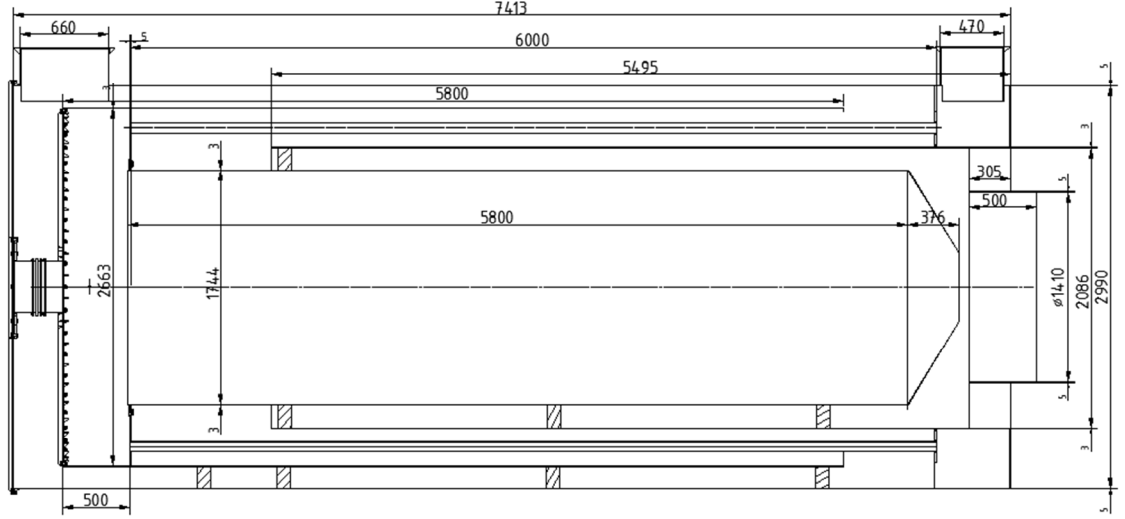
Şekil 8.2. Duman Boruları tarafındaki sıcaklıklar arasındaki logaritmik sıcaklık farkı

$$\Delta tm = \frac{(868-108,93)-(300-15)}{\ln\left(\frac{868-108,93}{300-15}\right)} = 483,94 \quad (8.26)$$

9. NİHAİ PROTOTİP DİZAYNI VE HESAPLAMALI AKIŞ ANALİZİ

9.1. Nihai Prototip Dizaynı:

Ön prototipten elde edilen sonuçlara göre yapılan termik hesaplar ve termodinamik benzerlikler dikkate alınarak nihai prototip boyutsal dizaynı ve ölçüleri aşağıdaki şekil 9-1 de gösterildiği gibidir. Buna göre CFD analizine geçilecektir.

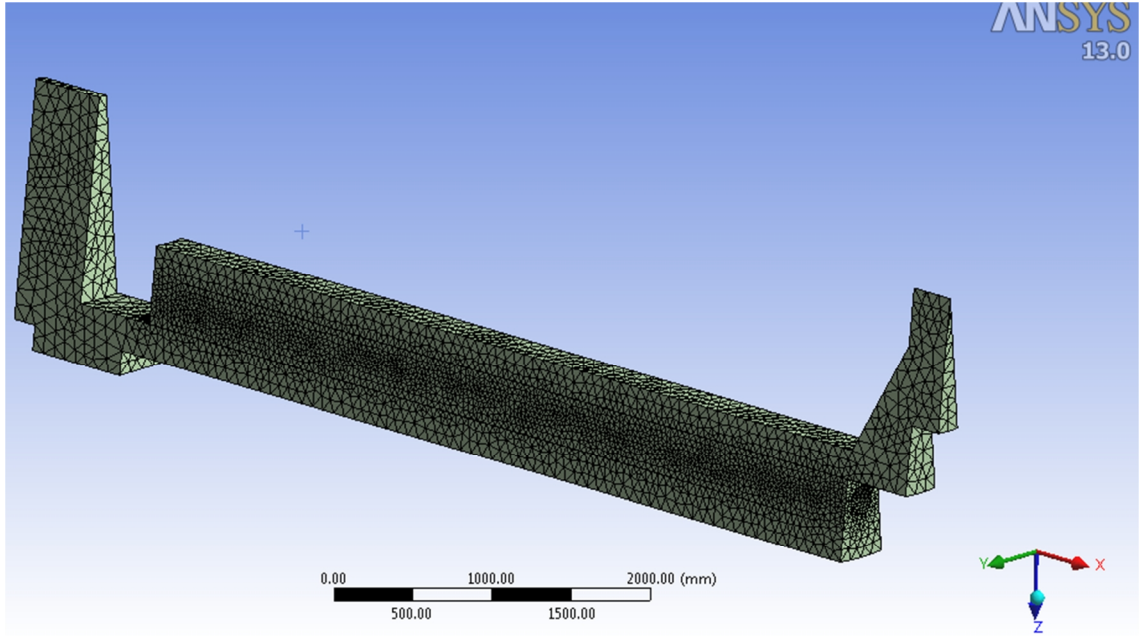


Şekil 9.1. Son prototip ölçüleri (mm)

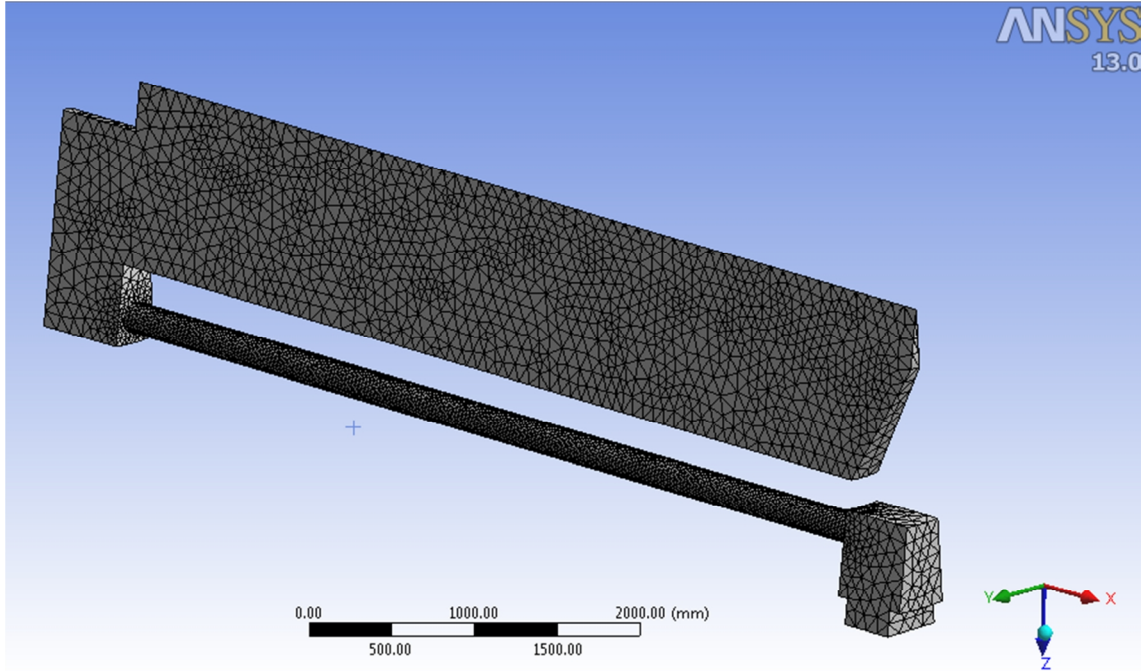
9.2. Nihai Prototip Hesaplamalı Akış Analizi-1 / ANSYS CFX:

9.2.1. Modelin Mesh Yapısı:

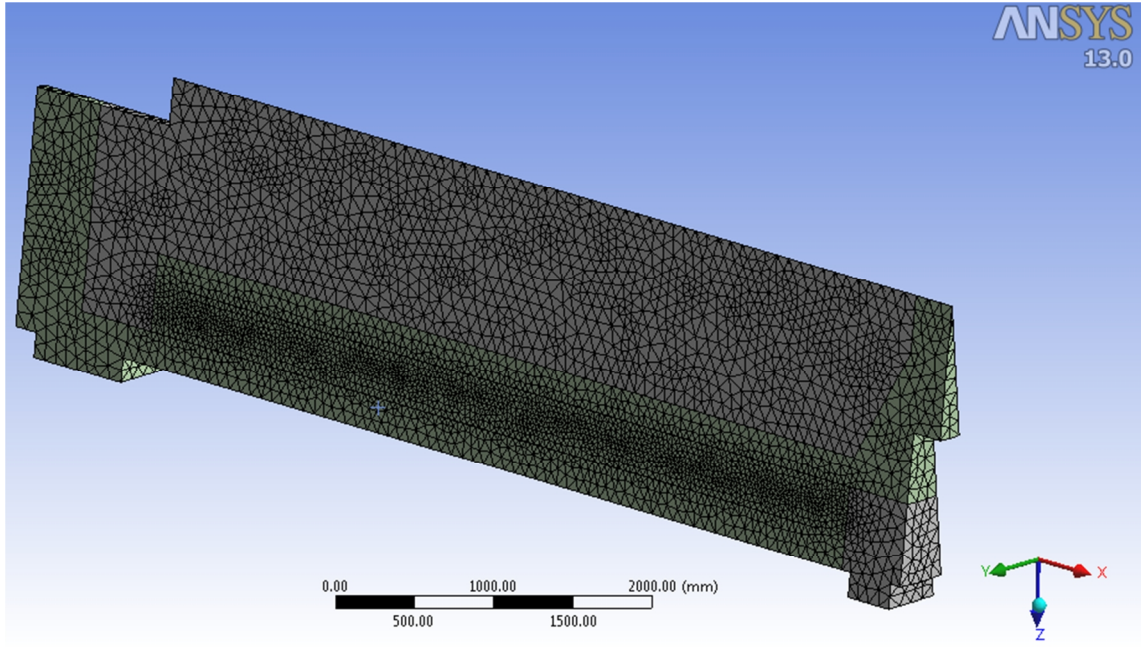
Modelin boyutlarının çok büyük olması dolayısıyla eleman sayılarının çok fazla olması nedeniyle sonuca ulaşabilmek için prototipin 32 de 1'i modellenerek çözüm aranacaktır. Bu modelleme tarzında yanma olayını gerçekleştirmek mümkün olmadığından, teorik ocak sıcaklığında hava model olarak kabul edilmiştir.



Şekil 9.2. Nihai prototip proses havası geçiş bölgesi mesh yapısı



Şekil 9.3. Nihai prototip duman gazı geçiş bölgesi mesh yapısı



Şekil 9.4. Nihai prototip mesh yapısı

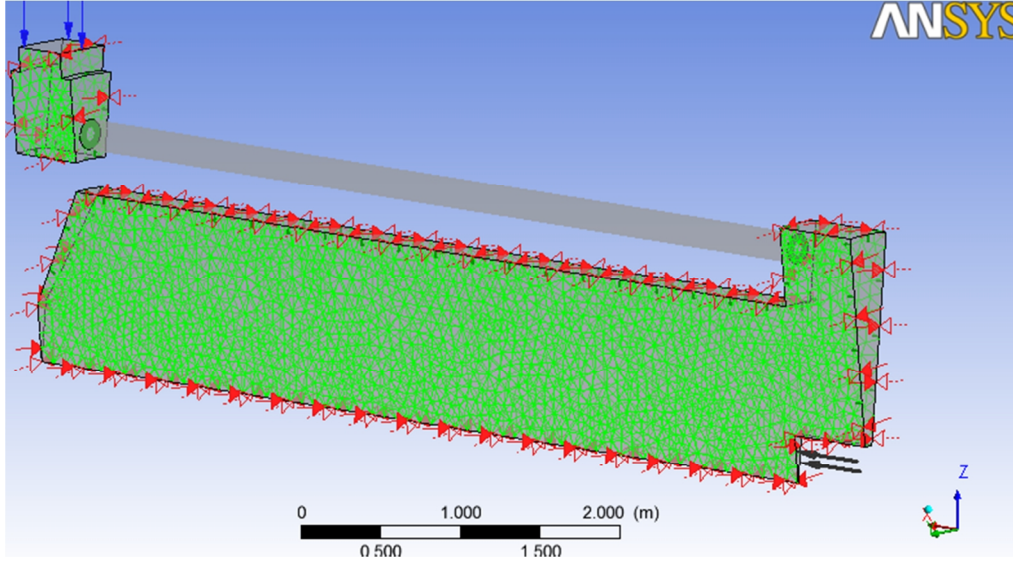
Çizelge 9-1: Nihai prototip tanımlı alanlara göre eleman sayıları verilmiştir.

Katman (Domain)	Düğüm nokt. (Nodes)	Eleman say.
Yanmış gazlar (Heating gas)	14 888	64 828
Proses Havası (Process gas)	28 471	126 263
Tüm Katmanlar (All Domains)	43 359	191 091

9.2.2. Sınır Şartları:

9.2.2.1. Duman Gazları Giriş Sınır Şartı (Burning Gas İnlet)

Sınır şartı tipi	: Giriş (inlet)
Akış Rejimi	: Sesaltı (subsonic)
Giriş Hızı	: 20 m/s
Hava debisi (Doğalgaz)	: 3 392 Nm ³ /h
Hava Giriş Sıcaklığı	: 1 800 K (1527° C)

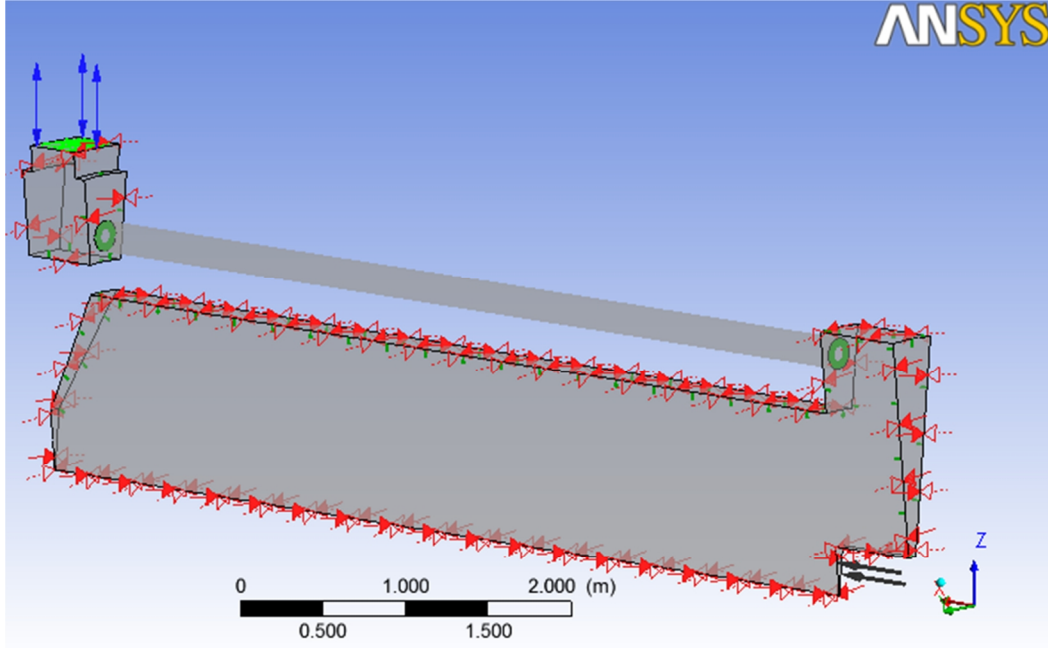


Şekil 9.5. Duman Gazları Giriş Sınır Şartı

9.2.2.2.Duman Gazları Çıkış Sınır Şartı (Burning Gas Outlet):

Sınır şartı tipi : Çıkış (outlet)

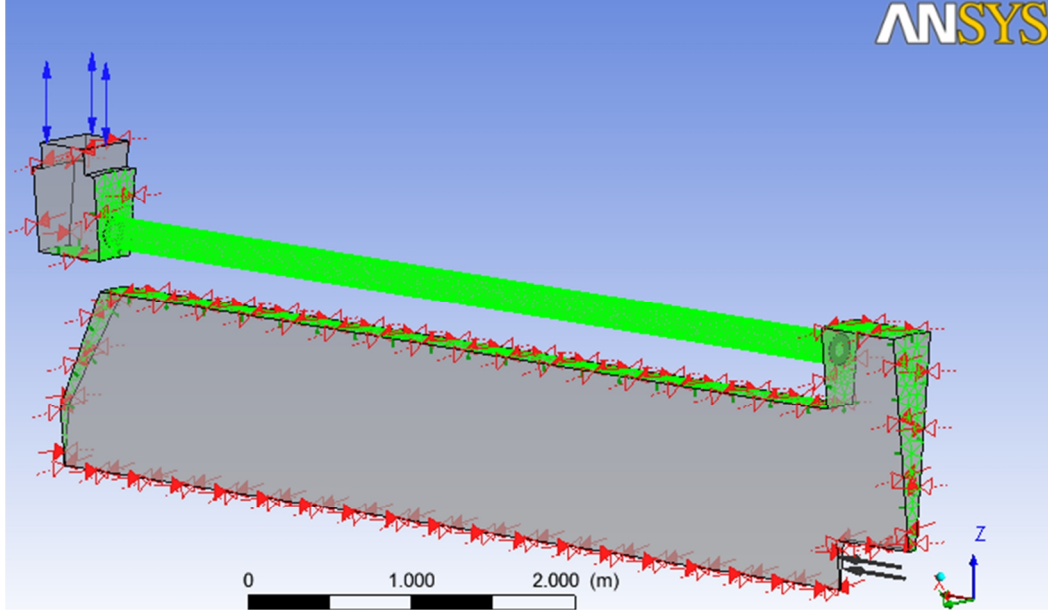
Bağıl çıkış basıncı : 0 Pa



Şekil 9.6. Duman Gazları Çıkış Sınır Şartı

9.2.2.3.Duman Gazları Tarafı Isı Transfer Yüzeyi:

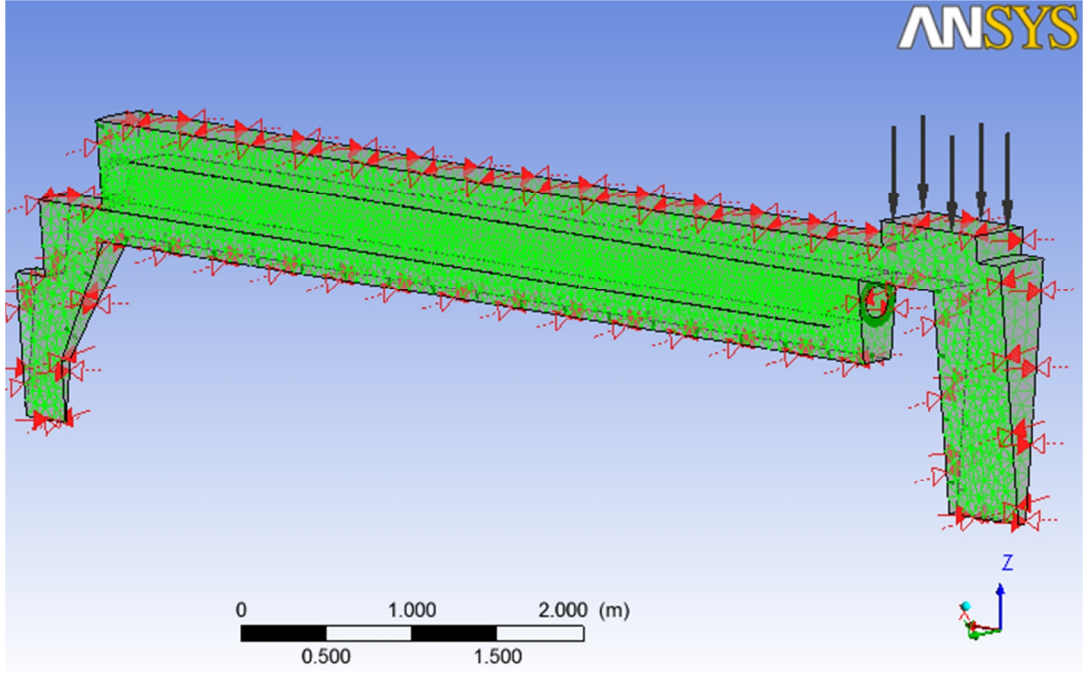
Sınır şartı tipi	: Arayüzey (interface)
Cidar pürüzlülüğü	: Pürüzsüz duvar (smooth wall)
Isı transferi	: Conservative interface flux
Duvar Fonksiyonu	: Türbülanslı



Şekil 9.7. Duman Gazlarının yaladığı ısı transfer Yüzeyi Sınır Şartı

9.2.2.4.Proses Havaası Giriş Sınır Şartı (Process Air İnet):

Sınır şartı tipi	: Giriş (inlet)
Akış Rejimi	: Sesaltı (subsonic)
Giriş Hızı	: 1,284 m/s
Giriş Kesiti	: 0,546 m ²
Hava debisi (Doğalgaz)	: 34 600 m ³ /h
Hava Giriş Sıcaklığı	: 300 K (27° C)

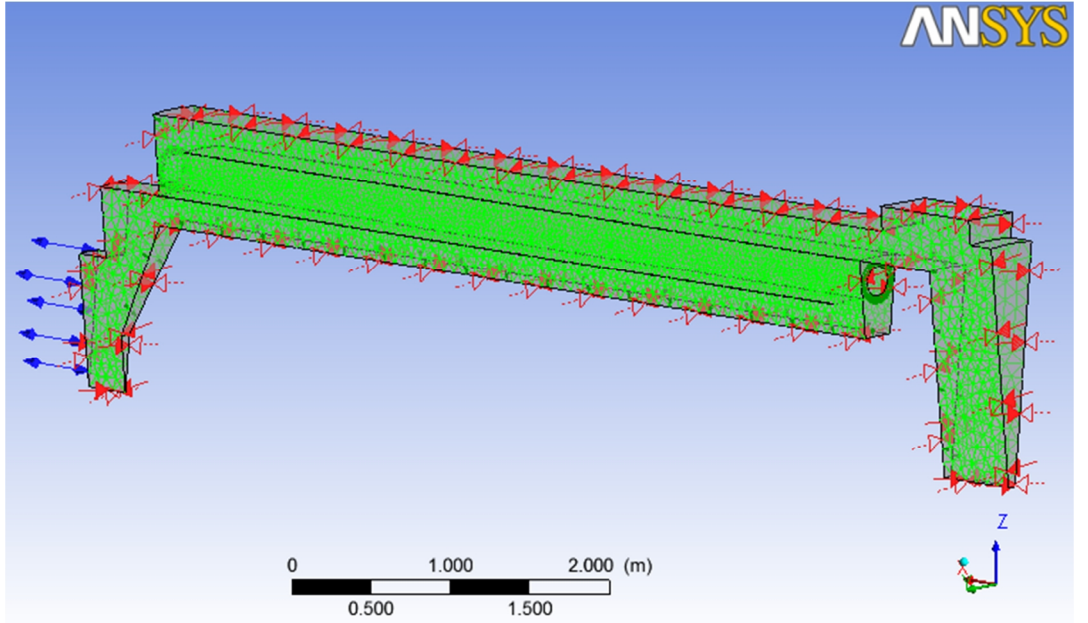


Şekil 9.8. Proses Havası Giriş Sınır Şartı

9.2.2.5. Proses Havası Çıkışı Sınır Şartı (Process Air Outlet)

Sınır şartı tipi : Çıkış (outlet)

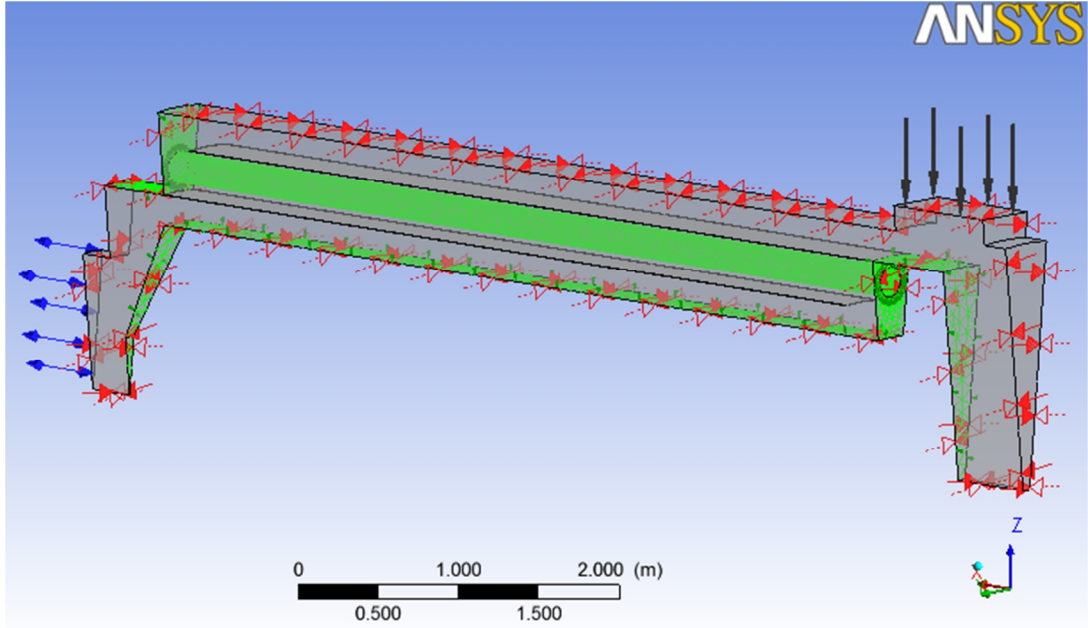
Bağıl çıkış basıncı : 0 Pa



Şekil.9.9. Proses Havası Çıkış Sınır Şartı

9.2.2.6. Proses Havası Tarafı Isı Transfer Yüzeyi

Sınır şartı tipi	: Arayüzey (interface)
Cidar pürüzlülüğü	: Pürüzsüz duvar (smooth wall)
Isı transferi	: Conservative interface flux
Duvar Fonksiyonu	: Türbülanslı



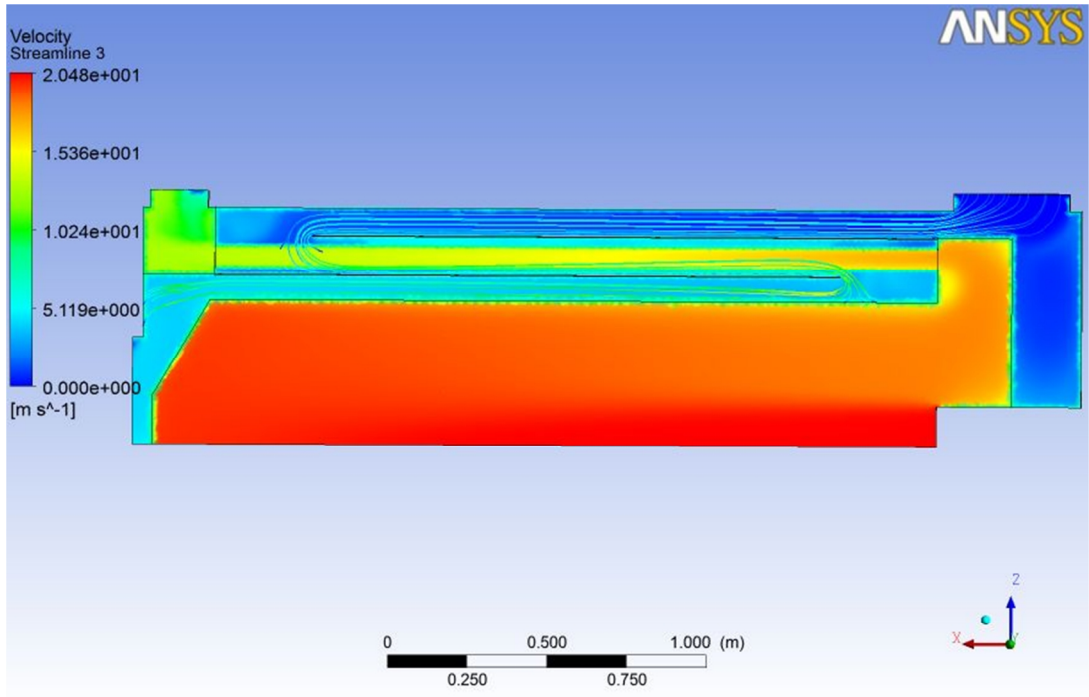
Şekil 9.10. Proses havasının yaladığı ısı transfer yüzeyi sınır şartı

9.2.3. Analiz Ve Sonuçlar:

Analizler Ansys Release 13.0 programı CFX modülünde yapıldı.

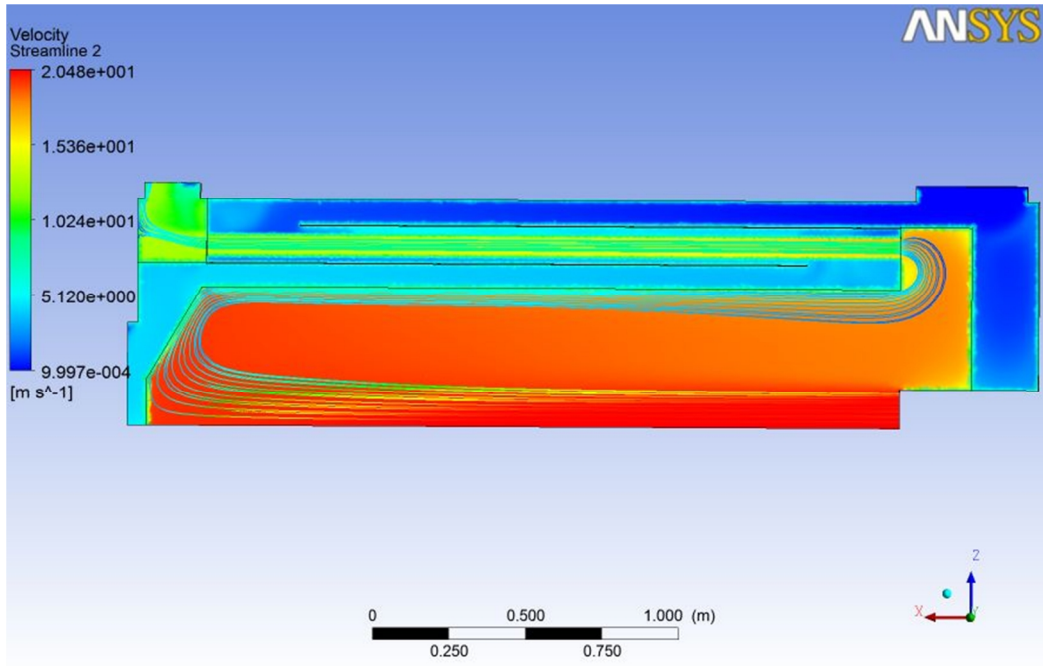
9.2.3.1. Analiz Sonuçları:

Şekil-9-11 de yapılan analizin sonucu olarak hız dağılımları ve hava ısıtıcısı içinde proses havasının giriş noktasından çıkış noktasına kadar takip ettiği yol akış iplikçikleri şeklinde görülmektedir.

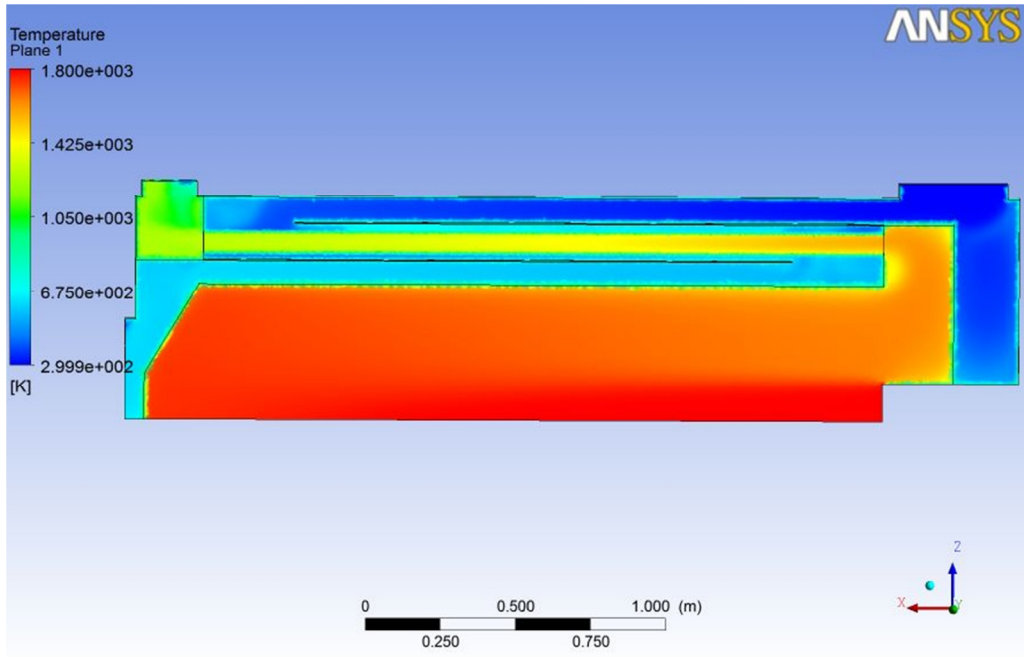


Şekil 9.11. Proses havası akış iplikçikleri ve hız dağılımı

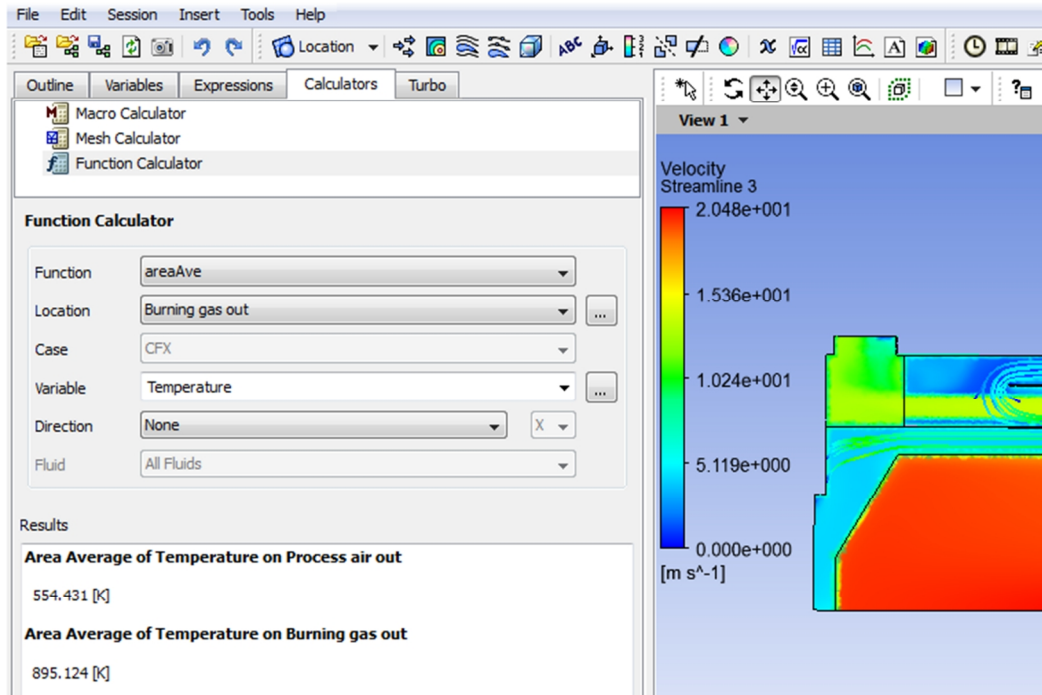
Şekil 9.12. de yapılan analizin sonucu olarak hız dağılımları ve hava ısıtıcısı içinde yanma sonucu oluşan gazların giriş noktasından çıkış noktasına kadar takip ettiği yol akış iplikçikleri şeklinde görülmektedir.



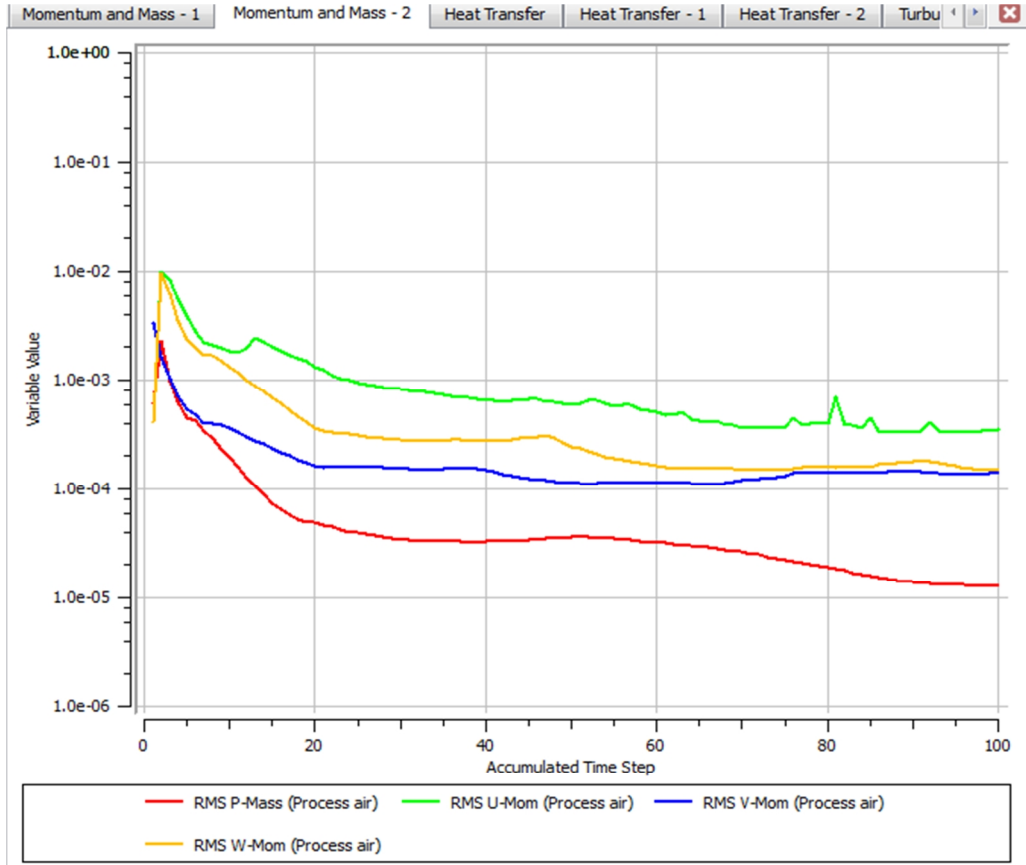
Şekil 9.12. Duman gazları akış iplikçikleri ve hız dağılımı



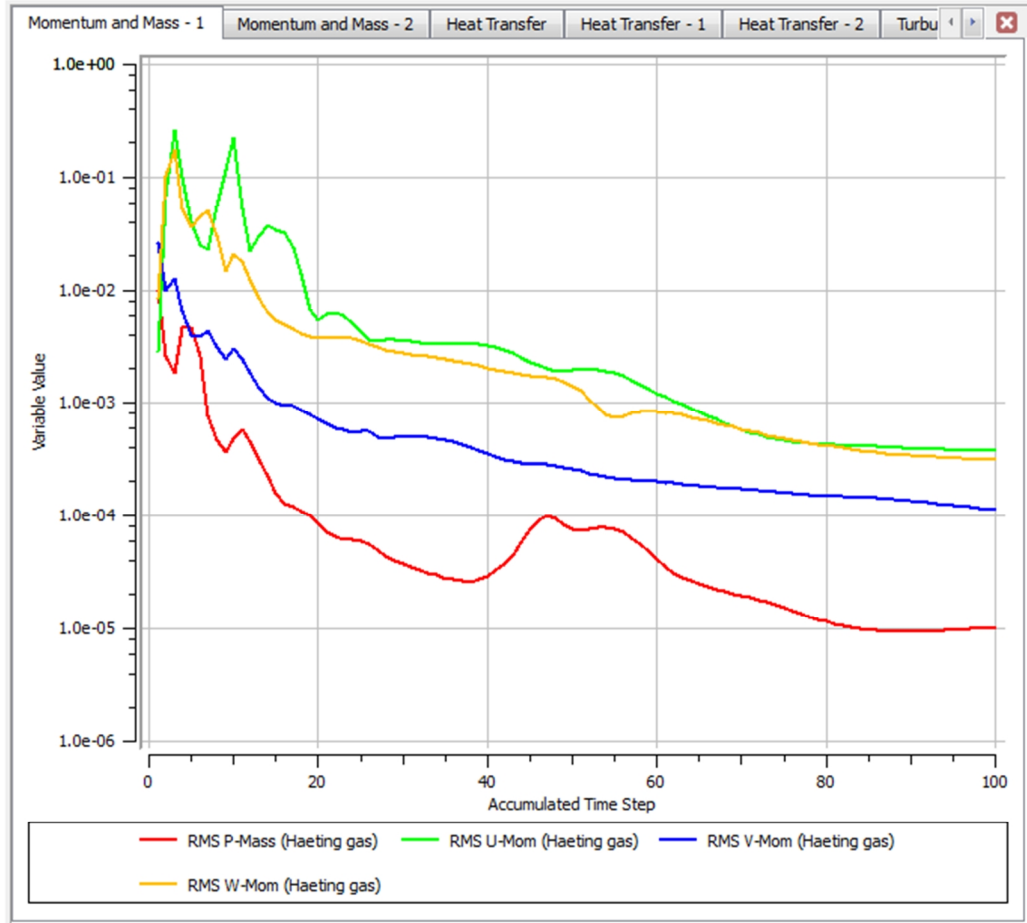
Şekil 9.13. Yanma sonu (Duman) gazları ve Proses havası sıcaklık dağılımı



Şekil 9.14. Yanma sonu gazları ve proses havası çıkışında ortalama sıcaklık değerleri



Şekil 9.15. Proses havası için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği



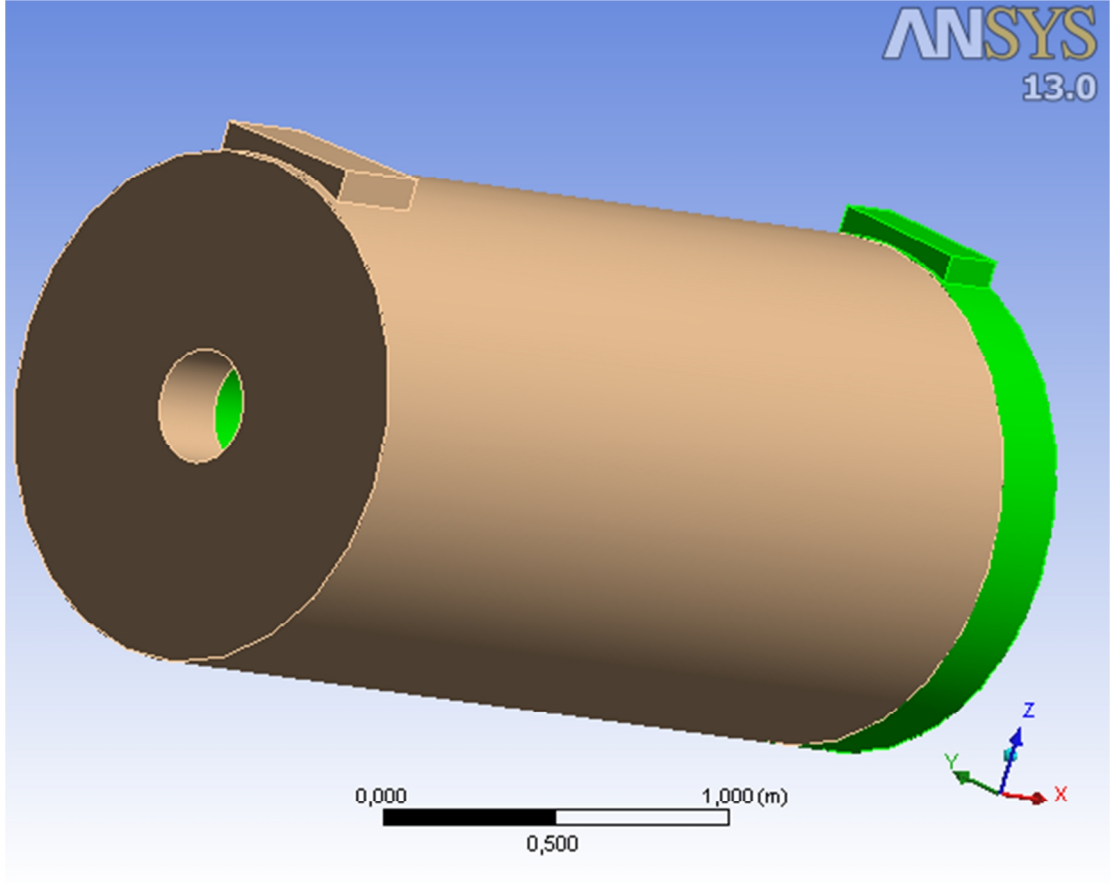
Şekil 9.16. Proses havası için analiz sırasında iterasyon-yakınsama değerleri grafiği

9.3. Nihai Prototip Hesaplamalı Akış Analizi-2 / ANSYS CFX:

9.3.1. Model ve Modelin Mesh Yapısı:

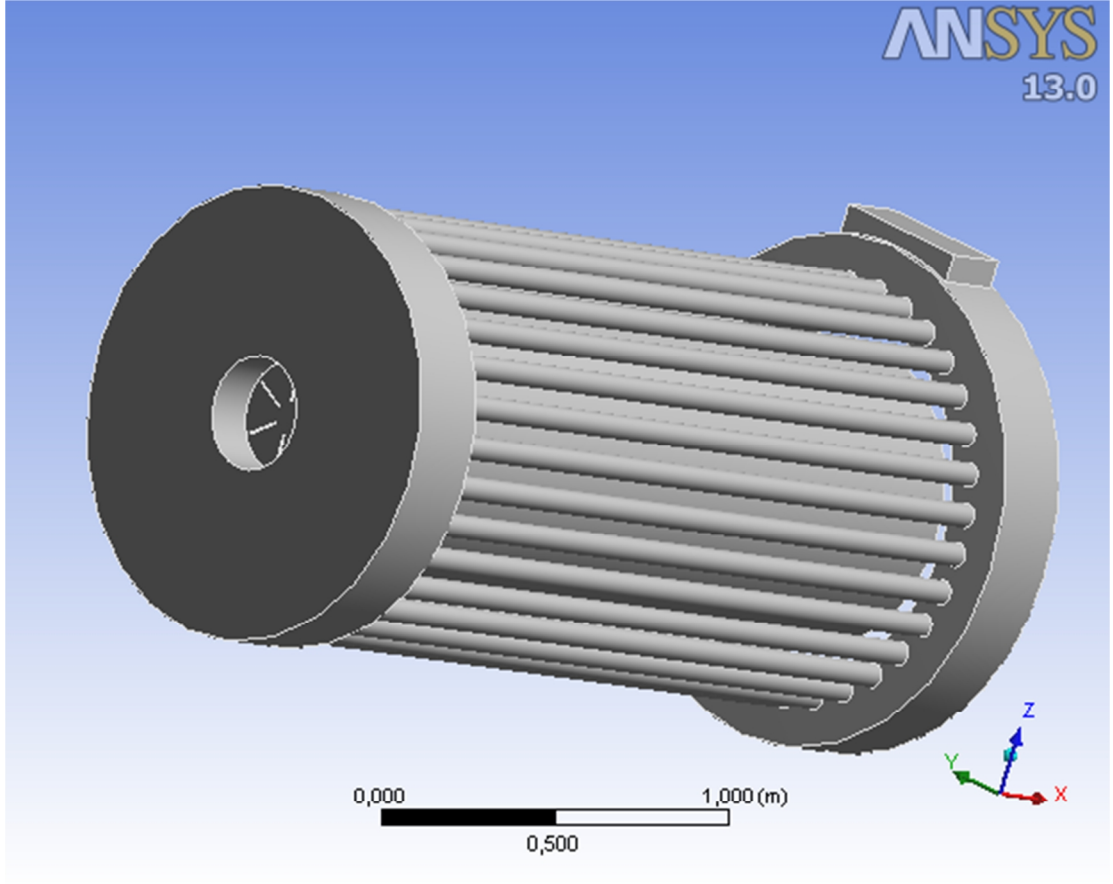
Modelin boyutlarının çok büyük olması nedeniyle önceki bölümde modelin 32 de biri incelenmişti. Temin edilen yüksek kapasiteli bilgisayar yardımıyla modelin tümü ve yanma da dahil olmak üzere simülasyon yapılmıştır.

Model ANSYS Design Modeler altında gerçekleştirilmiş ve CFX e aktarılmıştır.



Şekil 9.17. Nihai prototip modeli.

Aşağıda ve Şekil 9.18 de ise duman gazlarının ve yanmanın modellenmesi görülmektedir. Modelin ön kısmında brülör yakma havasına dönme hareketi verecek kanatlar görülmektedir.



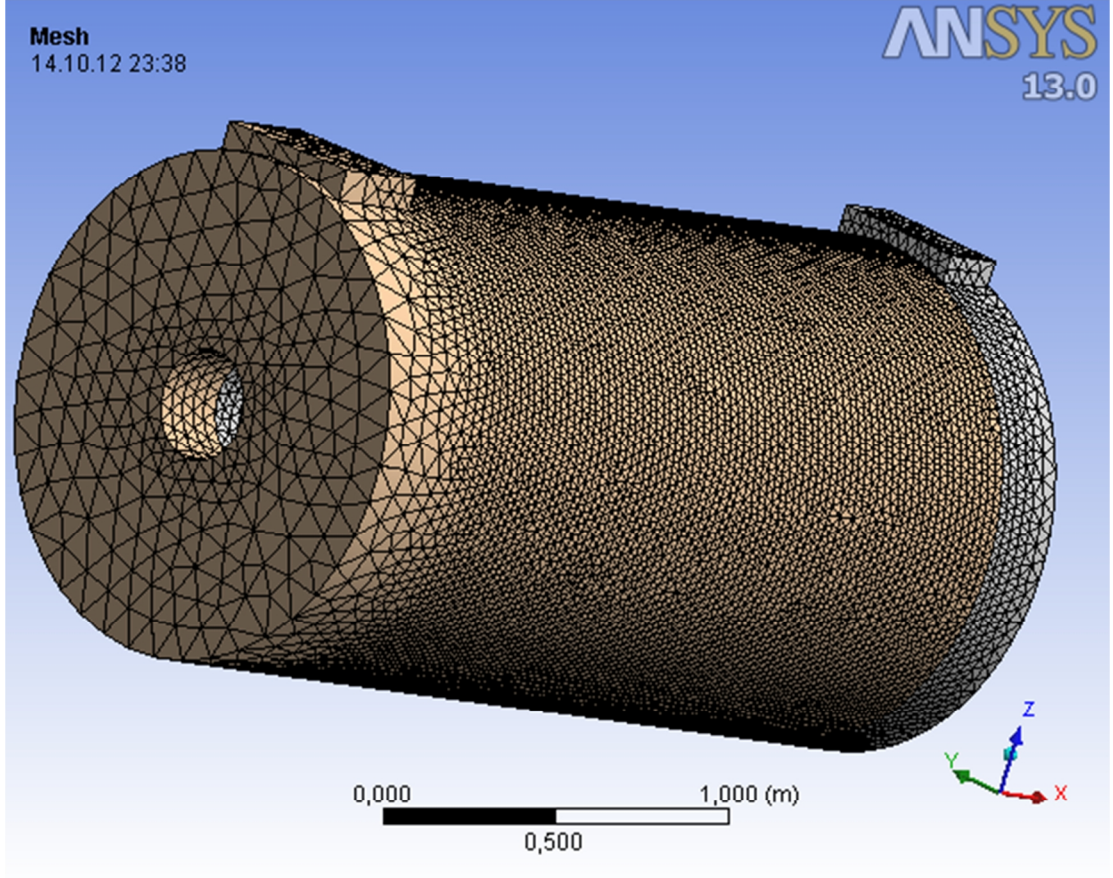
Şekil 9.18. Nihai prototip Boru demeti – Dumangazı tarafı modeli.

9.3.2. Simülasyon Sonuçları:

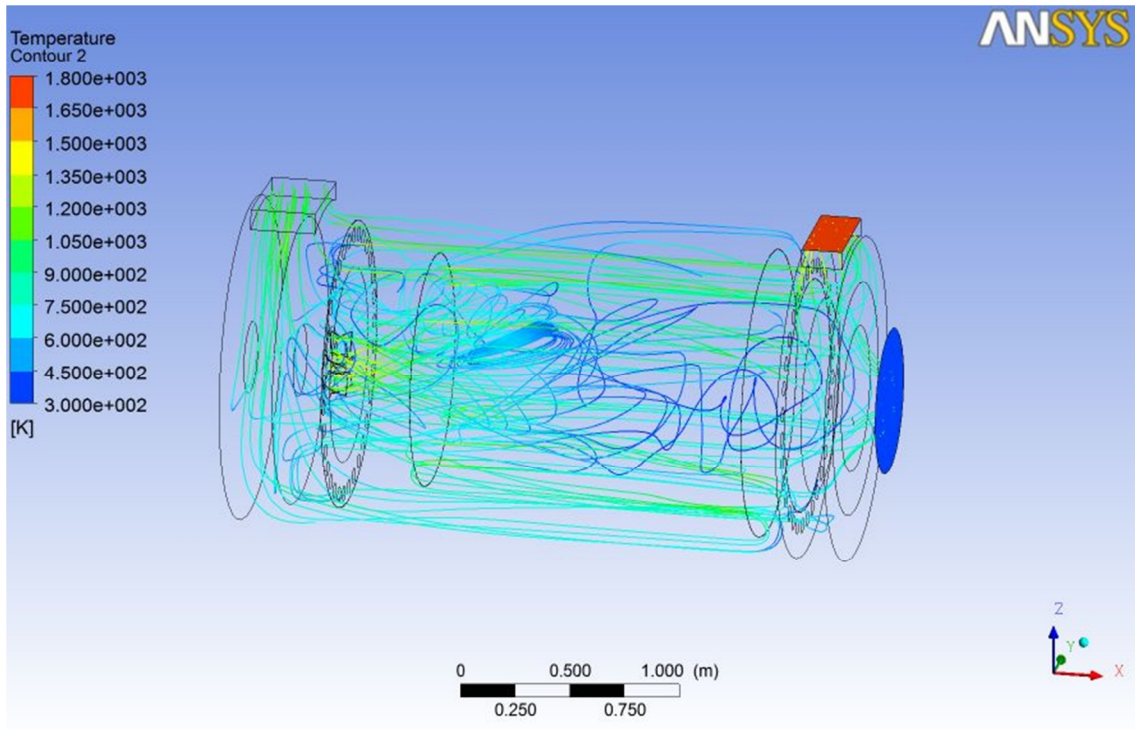
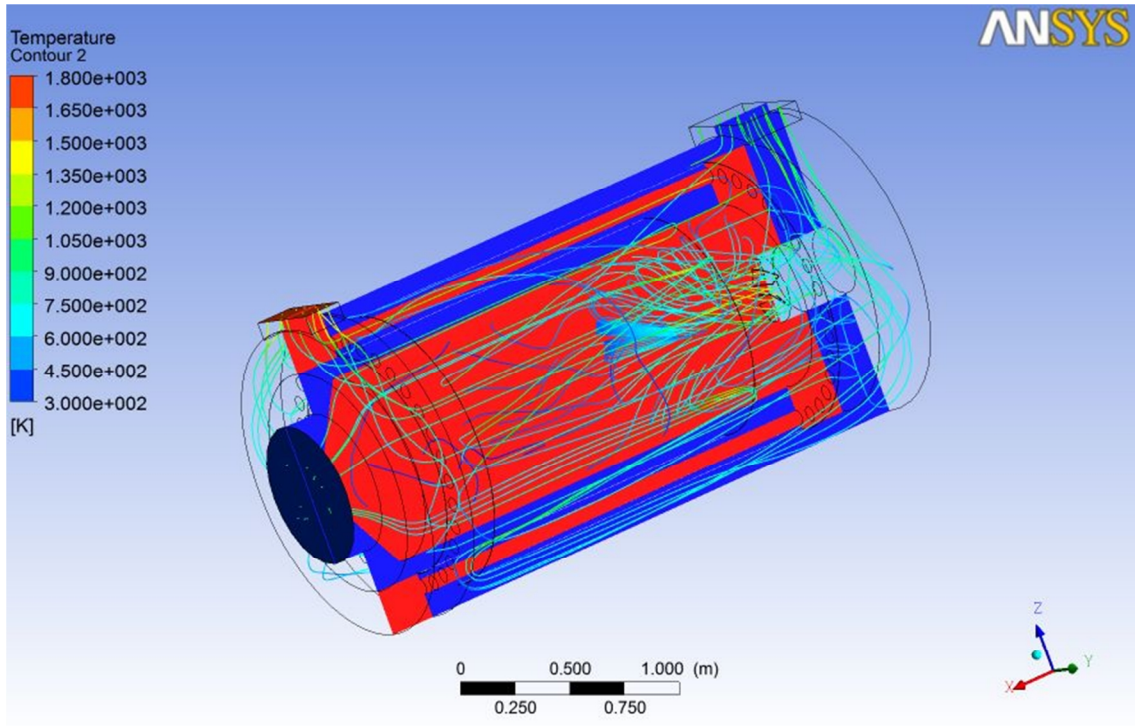
100 hesaplamadan oluşan bir çözüm 6 saatten fazla sürmekte ve bu çözümler defalarca yapılma mecburiyeti nedeniyle haftalarca devam etmektedir.

Bu analizde kullanılan sınır değerler aynen 1. Analiz değerleri kullanılarak yapıldığından burada tekrarlanmamıştır.

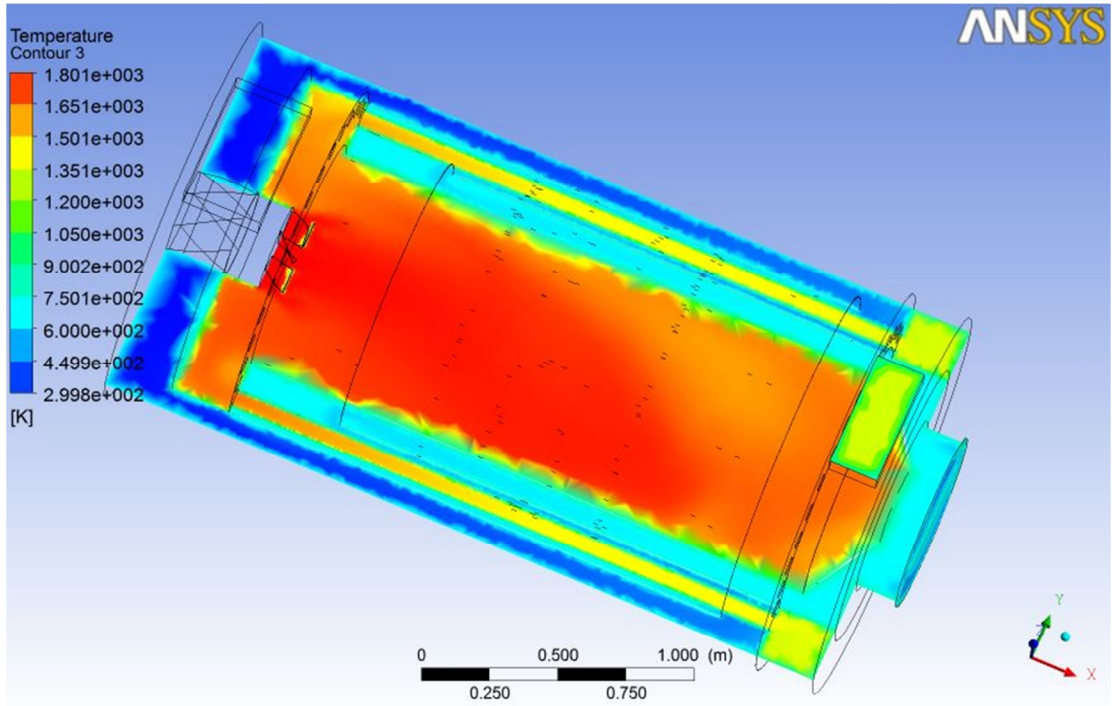
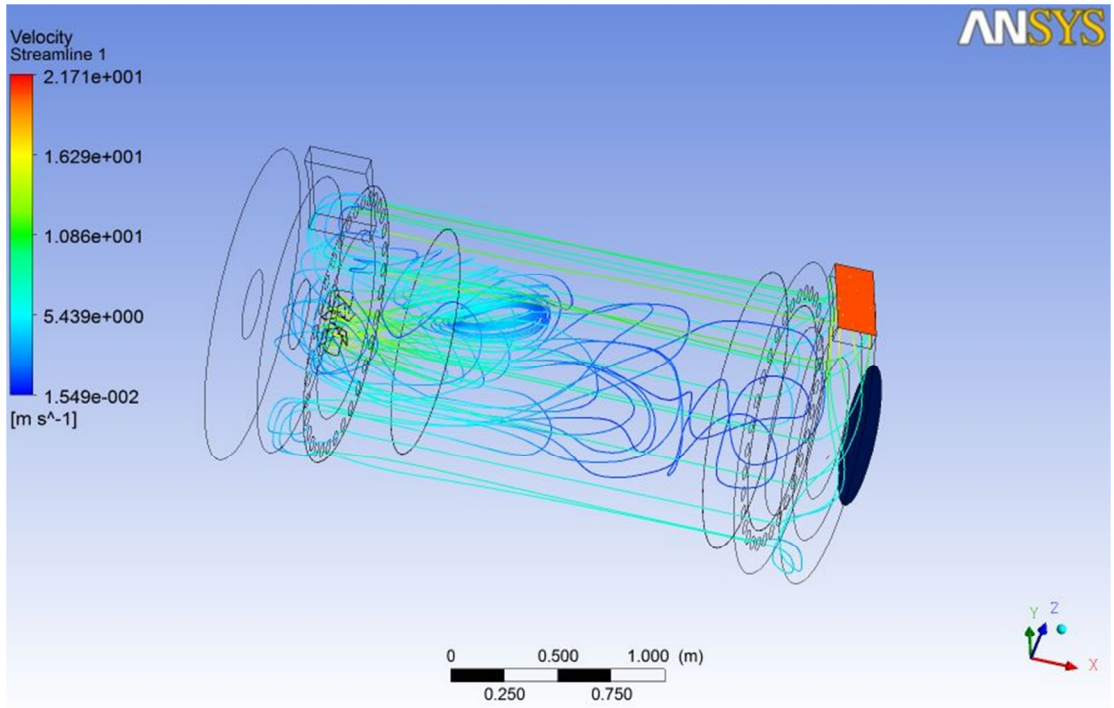
Bu çözümler sırasında karşılaşılan en büyük zorluk yanma hücresinde alevin kendi üzerinden dönmesi nedeniyle girdaba girerek simülasyonun hatayla sonlanmasıdır. Bu olayı bertaraf etmek için yine 1. Analizde olduğu gibi, eşdeğer enerjili hava kullanılmış ve sonuç hata vermeden elde edilebilmiştir. Çıkan sonuçlar ise beklenen değerlerden farklı olmuştur.



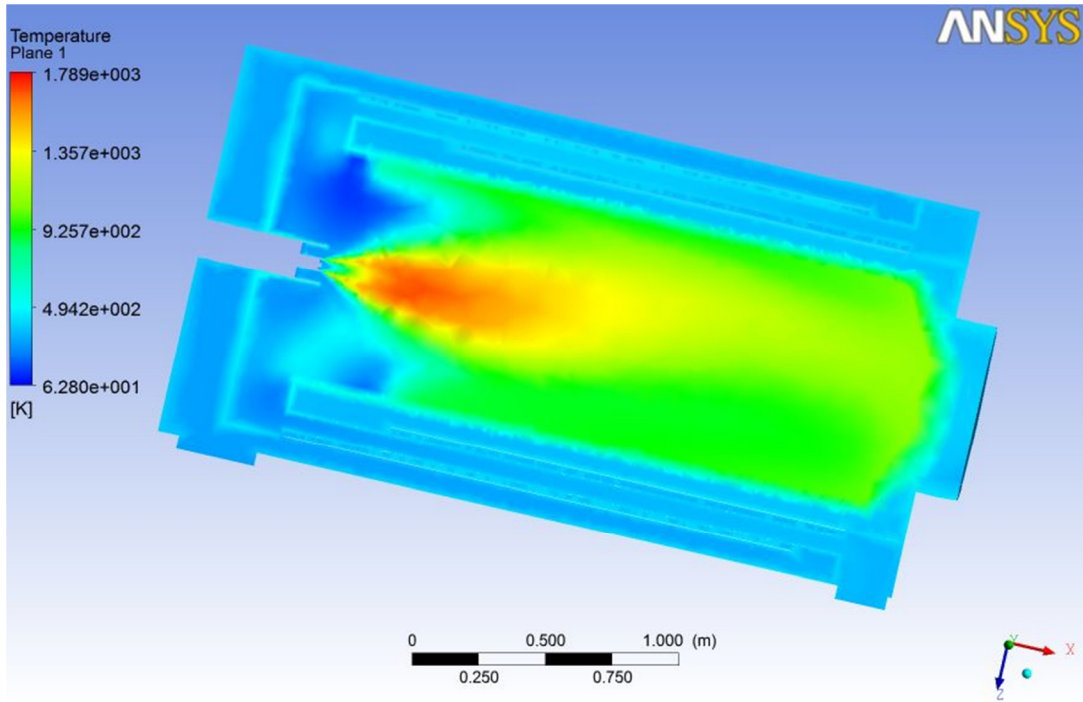
Şekil 9.19. Nihai prototip Mesh Yapısı



Şekil 9.20. Düşey ekseninde yapılan kesitte sıcaklık dağılımı ve akım çizgileri



Şekil 9.21. Düşey ekseninde yapılan kesitte sıcaklık dağılımı ve duman gazı akım çizgileri. Yanma olayı yok. Enerji girişi eşdeğer hava ile yapılmış ve hatasız sonuçlanmıştır.

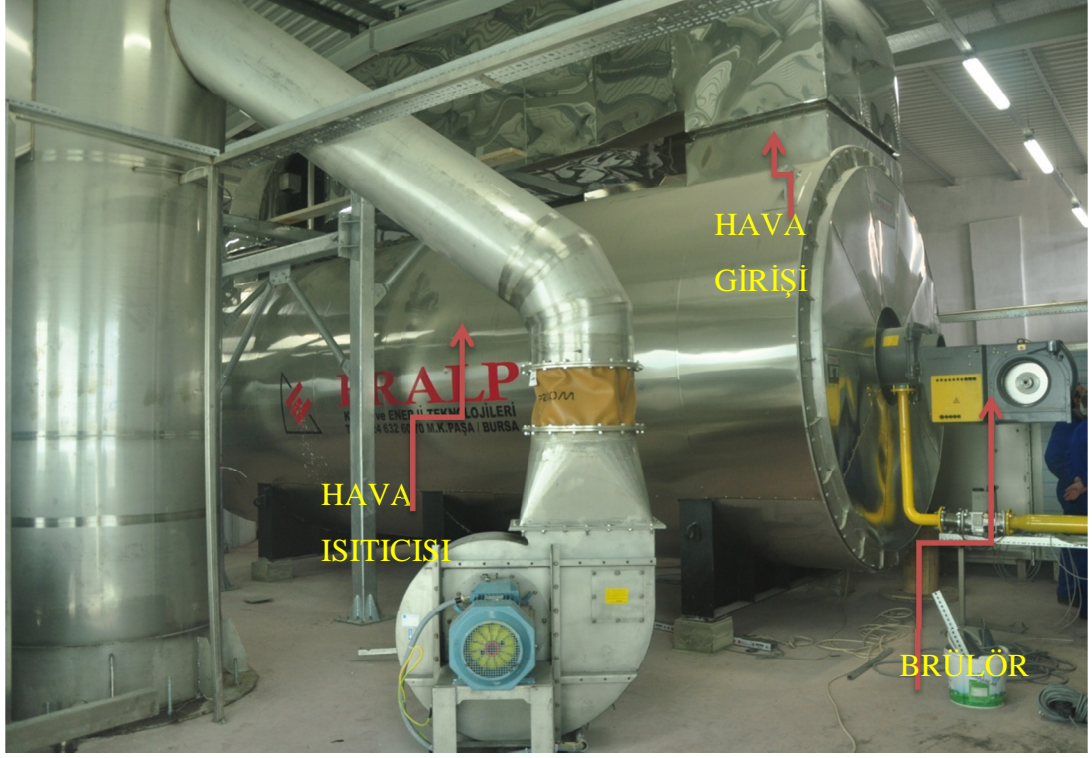


Şekil 9.22. Düşey ekseninde yapılan kesitte sıcaklık dağılımı. Bu simulasyonda yanma da birlikte kullanılmış ve hatalar ile sonuçlanmıştır.

9.2.3.2. Analiz Sonuçları Değerlendirme:

Analiz-1 ve Analiz-2 sonuçlarına göre baca gazı çıkış sıcaklığı (Burning gas outlet) Analiz-1 de 895,124 K (622°C) Analiz-2 de 1188.86 K (915,86 °C) , proses havası çıkış sıcaklığı (Process air outlet) Analiz-1 de 554,431 K (281 °C) Analiz-2 de 630,729 K (357,729 °C) olarak bulunmuştur. Analiz-2 deki değerler, yanma olmaksızın ve yerine eşdeğer enerjili hava kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlara göre proses havası sıcaklık değeri Analiz-1 de istenilen sıcaklığa yakındır. Analiz-2 de ise oldukça uzaktır. Duman gazları sıcaklıkları ise beklenen değerlerde değildir. Ancak analizlere devam edildikçe sıcaklık değerleri 1. Analizde değişmemiş olup 2. Analizde yanma olayı ile birlikte, girdap olayı nedeniyle, sonuca tam ulaşılamamıştır. Çıkarılacak sonuçlar açısından hesaplamalı akışkanlar analizi termodinamik problemlerin çözümünde bir yol göstermesi bakımından oldukça yararlıdır. Sonuç olarak sanal bir yaklaşım yapıldığından gerçekte meydana gelen olayların birebir ve tamamıyla doğrulaması - sağlanması beklenmemektedir. İleride teknolojiye gelişmeler ile bu tür problemlerin çözümde gerçeğe yakınlığı daha da artacağı ön görülebilir. Bu aşamadan sonra nihai prototip öngörülen boyutlarda üretilerek deneysel çalışmalar yapılacaktır. Elde edilen sıcaklık değerleri karşılaştırılacaktır.

10. NİHAİ PROTOTİP ÜZERİNDE YAPILAN DENEY VE SONUÇLARI :



Şekil 10.1.Süttaş süttozu Prosesi hava ısıtıcısı görünüm1



Şekil 10.2.Süttaş süttozu Prosesi hava ısıtıcısı görünüm2

Nihai prototip hava ısıtıcısı SÜTAŞ Aksaray tesislerinde çalıştırılarak devreye alınmış aşağıdaki deney sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 10.1. Nihai prototip üzerinde yapılan deneyler sonucu ön prototipin farklı yerlerinden ölçülen sıcaklık değerleri

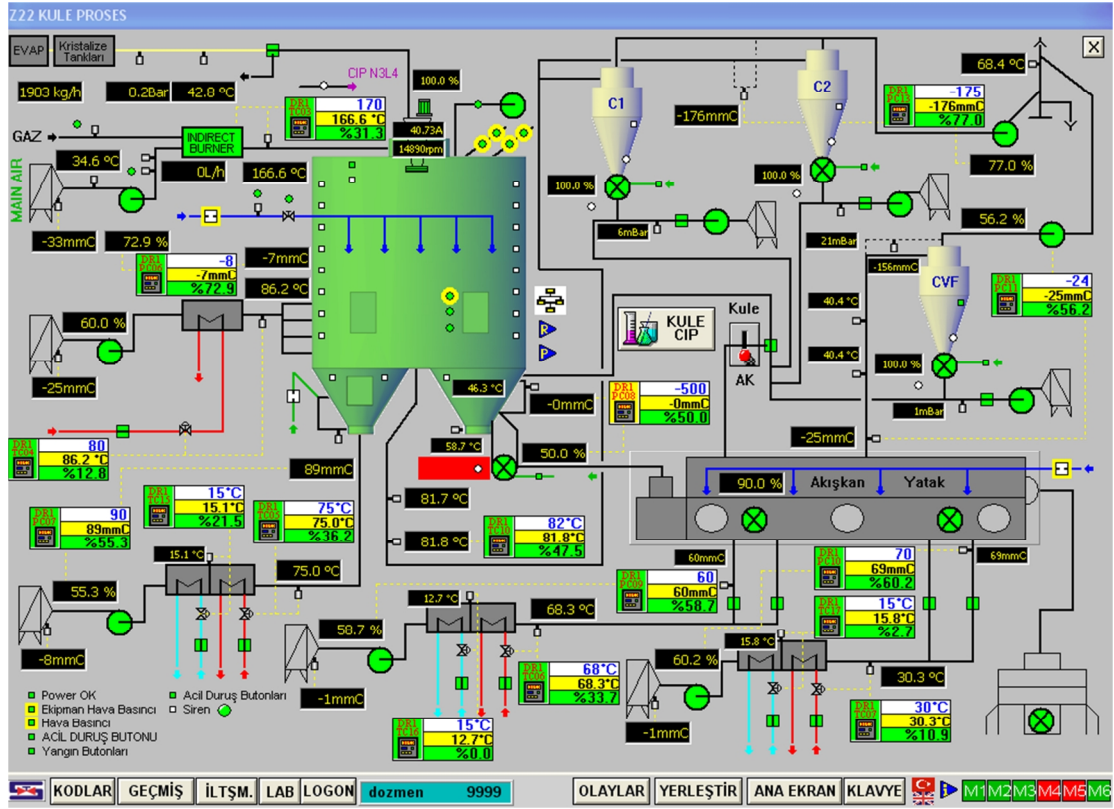
DENEY ŞARTLARI					
Hava Debisi	34 600	m ³ /h	Tarih:	17.02.2012	
Ortam Sıcaklığı	17	°C			
Yakılan doğalgaz debisi	351	Nm ³ /h			
Hava fazlalık katsayısı	1,13				
HAVA ISITICISI DENEY SONUÇLARI					
Yük Durumu	DUMAN GAZLARI SICAKLIĞI (°C)		HAVA SICAKLIĞI (°C)		
	KAZAN ÇIKIŞI	EKONOMİZER ÇIKIŞI	EKONOMİZER GİRİŞİ	EKONOMİZER ÇIKIŞI	KAZAN ÇIKIŞI
60%	200	110	35	45	210
70%	209	117	35	45,5	222
90%	240	145	36,6	53	245
100%	243	141	37	53	265

Çizelge 10-2.: Brülör firması Saacke tarafından Düşük yükte ölçülen Baca gazı emisyon, sıcaklık ve verim değerleri

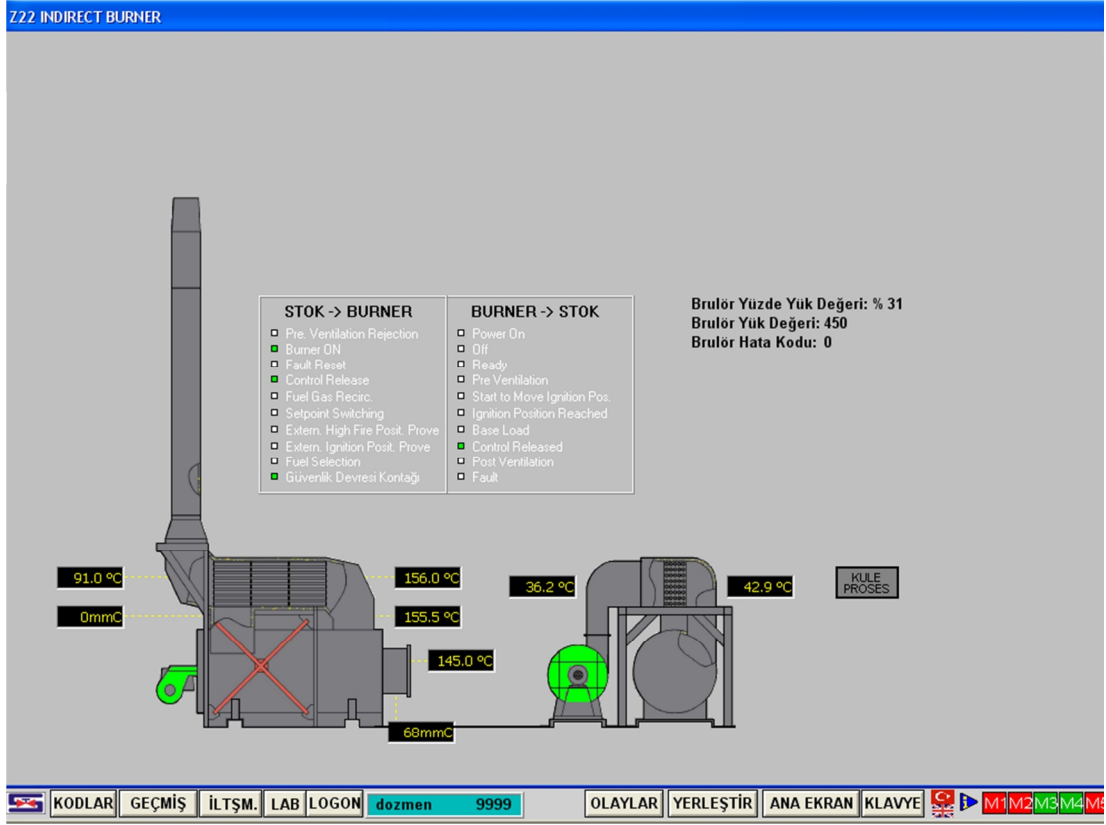
DÜŞÜK YÜKDE BACA GAZI ÖLÇÜMÜ	
Yer	SÜTAŞ
Tarih	2/17/2012
Ortam sıcaklığı C°	17,1
Baca gazı çıkış C°	146
O2 %	7,0
CO ppm	0
CO2 %	7,84
oran	0,007
Verim %	91,6
Hava fazlalık %	1,54
Gaz Giriş Basıncı	320 mbar
Yakıt miktarı	72 m3/h

Çizelge 10.3. Brülör firması Saacke tarafından Tam yükte ölçülen Baca gazı emisyon, sıcaklık ve verim değerleri

TAM YÜKDE BACA GAZI ÖLÇÜMÜ	
Yer	SÜTAŞ
Tarih	2/17/2012
Ortam sıcaklığı C°	17,1
Baca Gazı çıkış sıcaklığı C°	228,1
O2 %	2,4
CO ppm	0
CO2 %	10,63
Oran	0,007
Verim %	90,6
Hava fazlalık %	1,13
Gaz Giriş Basıncı	320 mbar
Yakıt miktarı	500 m3/h



Şekil 10.3:Süttaş süttozu Prosesi otomasyon kontrolü PLC ekran görüntüsü



Şekil 10.4.Sütaş süttozu Prosesi hava ısıtıcısı otomasyon kontrolü PLC ekran görüntüsü.

10.2.Sonuçlar:

Hesaplama ve analiz yöntemiyle boyutlandırılan sıcak hava ısıtıcısının yapılan deney sonuçlarına göre, proses de istenilen sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Buna göre tezimizin amacı olan 2 500 000 kcal/h kapasitede bir hava ısıtıcısı elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında bir indirekt hava ısıtıcısı termal dizaynı yapılmış olup belirlenen formül ve hesaplamalar ile çeşitli kapasitelerde hava ısıtıcısı dizaynları elde edilmiş olmaktadır. İleriki aşamalarda belirli kapasite aralıklarında hava ısıtıcısı termal dizaynları yapıлып bir katalog çalışması yapılarak ticari bir ürün oluşturulması olacaktır.

KAYNAKLAR

- Donatello Annaratone 2008.** Steam Generators Description and Design 434 s.
- Sadık Kakaç 1991.** Boiler Evaporators and Condensers 851 s.
- S.Kakaç, A.E.Bergles, F.Mayingir, H.Yüncü 1998.** Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers 684 s.
- Sadık Kakaç, Hongtan Liu 2002.** Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design Second edition 522 s.
- Robert Siegel, Jhon R. Howell 1992.** Thermal Radiation Heat Transfer Third Edition 1088 s.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2012.** Gıda Teknolojisi Süt tozu Prosesi Eğitim Modülü
- GEA Niro Vagn Westergaard, 2010.** Process Technology for Dairy and Dairy-Like Products
- GEA Niro Vagn Westergaard, 2010.** Milk Powder Technology Evaporation and Spray Drying
- Madenci,E. Ve Güven,İ. 2006.** The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS. Springer Science + Business Media, LLC, New York USA, 696s.
- V.Ganapathy 1992.** Waste Heat Boiler Deskbook 399 s.
- Dipl.-Ing.Georg Rehoncz 1939.** Druckabfall und Wärmeübergang bei turbulenter Strömung in glatten Rohren mit Berücksichtigung der nichtisothermen Strömung 59s.
- Professor Dr.-Ing. R. Knee 2007.** Feuerungstechnik
- Dipl.-Ing.Karl-Christian Rauch 1996.** Mathematische Modellierung eines Flammrohr-Rauchrohr-Kessels und Untersuchung des Betriebsverhaltens einer Mehrkesselanlage zur Fernwärmeversorgung einer Wohnsiedlung. 232 s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serhat Kemeröz
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya 07.05.1979
Yabancı Dili : İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Ödemiş lisesi 1996
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi 2001
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi 2012
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :
1- Mimsan Isı Teknolojisi-Malatya 2001-2005
2- Günser Mak. –Malatya 2005-2007
3- Eralp Kazan ve Enerji Teknolojisi.-Bursa 2007-2012
4- İmfa Arge Teknoloji – Bursa 2012-
İletişim (e-posta) : kemeroz@hotmail.com