

HİDROKARBON GAZLAR İLE KARBÜR TOZU ÜRETİM FIRINI TASARIM VE
KARAKTERİZASYONU

Mehmet KADIOĞLU

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa AYDIN

Ekim - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet KADIOĞLU tarafından hazırlanan “HİDROKARBON GAZLAR İLE KARBÜR TOZU ÜRETİM FIRINI TASARIM ve KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

04/10/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Muammer GAVAS
Anabilim Dalı Başkanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mustafa AYDIN
Danışman, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa AYDIN
Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa TUNCER
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

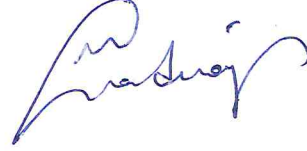
Dr. Öğr. Üyesi Agah AYGAHOĞLU
Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Program ile tarandığını ve benzerlik oranının %24 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.


Prof. Dr. Mustafa AYDIN

Mehmet KADIOĞLU



HİDROKARBON GAZLAR İLE KARBÜR TOZU ÜRETİM FIRIN TASARIM VE KARAKTERİZASYONU

Mehmet KADIOĞLU

Makine Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa AYDIN

ÖZET

Bu tez çalışmasında iç sıcaklığı maksimum 1200°C, 400x780x236mm boyutlarına sahip önkaplama fırını tasarımı, imalatı ve bu fırının sıcaklık değerleri karakterize edilmiştir.

İmalat aşamasında üç unsur üzerinde durulmuştur. Birincisi rezistans telinin seçimi, ikincisi fırının iç sıcaklığının maksimum 1200°C'ye çıkarılması için gerekli olan gücün tespiti ve üçüncüsü fırın izolasyonunun belirlenmesidir. Bu prosesler yürütülürken minimum yatırım maliyeti ve minimum işletme masrafları göz önüne alınarak uygun bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen tasarımlar kullanılarak 304L paslanmaz çelik malzemeden fırının imalatı gerçekleştirilmiştir. Fırın üç fazlı ve 60 amper gücünde PID kontrol ünitesi olarak gerçekleştirilmiştir. Fırın iç haznesi de yine 1.5mm kalınlıkta paslanmaz çelikten kaynaklı olarak imal edilmiştir. Yalıtım olarak Alümina tuğla ve battaniye kullanılmıştır. PID kontrol için K tipi termokupl tercih edilmiştir. Aynı zamanda atmosfer kontrolü için argon ve reaksiyon içinde propilen gazı ve manometreleri hortum ve gaz vanalarından oluşan bir fırın seti kullanılmıştır. Bu sayede sıcaklık, basınç atmosfer ve sürenin kontrol edilebildiği bir fırının tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

Tasarım ve imalatı gerçekleştirilen fırının sıcaklıklarının kontrolü, iç dış sıcaklık farkının belirlenmesi, reaksiyon sıcaklığına ulaşma süresi ve reaksiyon sıcaklıklarının belirlenmesi ve dolayısıyla toplam deney süresinin belirlenmesi için ön kalibrasyon deneyleri yapılmıştır. Sıcaklıkların eş zamanlı olarak alınması, karşılaştırılması ve rejime ulaşma sürelerinin belirlenmesi amacıyla üç farklı ölçüm sistemi kullanılarak sıcaklıklar ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Ölçümler sonunda fırının ayarlanan sıcaklığa (550°C) yaklaşık olarak 30 dakikada ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sıcaklığa ulaşıldığında reaksiyonun gerçekleşeceği iç haznenin ise yaklaşık 1.5 saat sonra ve 20°C farkla (530°C) ulaşabildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle belirlenen reaksiyon sıcaklıkları için fırının yaklaşık 20°C daha üst sıcaklıkların ayarlanarak

deneilerin yapılması gerektiği yapılan kalibrasyon çalışmaları ile belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hidrokarbon, Karbür tozu, Üretim fırını.



DESIGN AND CHARACTERIZATION OF CARBIDE POWDER PRODUCTION FURNACE WITH HYDROCARBON GASES

Mehmet KADIOĞLU

Mechanical Education, M. Sc. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Mustafa AYDIN

SUMMARY

In this thesis, preheating furnace design with maximum internal temperature of 1200°C, 400x780x236mm dimensions and the temperature calibration of this furnace are characterized.

Three elements are emphasized during the manufacturing process. The first is the selection of the resistance wire, the second is the determination of the power required to increase the internal temperature of the furnace to a maximum of 1200°C and the third is the determination of the furnace insulation. While carrying out these processes, a suitable design has been realized considering the minimum investment cost and minimum operating costs. The designs were made by using Solidworks program. 304L stainless steel furnace was produced by using the obtained designs. The furnace is made up of three phase and 60 ampere PID control unit. The inner chamber of the oven is also made of 1.5mm thick stainless steel. Alumina bricks and blankets were used as insulation. K type thermocouple is preferred for PID control. At the same time, an oven set consisting of hoses and gas valves for propylene gas and monometers were used in argon and reaction for atmosphere control. In this way, design and manufacture of a furnace where temperature, pressure, atmosphere and time can be controlled.

Pre-calibration tests were performed to determine the temperature of the furnace, to determine the internal temperature difference, to reach the reaction temperature and to determine the reaction temperatures and thus to determine the total duration of the experiment. The temperatures were measured and recorded using three different measurement systems in order to obtain simultaneous acquisition, comparison and time to reach the regimes.

At the end of the measurements, it was determined that the furnace had reached the set temperature (550°C) in approximately 30 minutes. When this temperature is reached, it is determined that the inner chamber where the reaction will take place can be reached after approximately 1.5 hours and with a difference of 20 ° C (530 ° C). For this reason, it is determined by the calibration studies that the experiments should be done by adjusting the upper temperatures of the oven about 20°C for the determined reaction temperatures.

Keywords: Hydrocarbon, Carbide powder, Production furnace.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlamamda emeği geçen başta danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa AYDIN' a, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Özgür SOLMAZ' a, Sayın Arş. Gör. Hamza TAŞ'a, Arş. Gör. Muhammed Enes DOKUZ'a, tüm Makine Mühendisliği ve Makine Eğitimi Bölümü akademik personeline ve tez çalışmam sürecim boyunca yardımcı dokunan tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca fırının imalatı için gerekli olan maddi desteğin sağlandığı Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Başkanlığına teşekkür ederim.

Eğitim sürecim boyunca desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aile fertlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	2
2.1. Fırın ve Fırınların Türleri	2
2.2. Özel Fırınlar	10
2.3. Fırınların Kullanım Alanları.....	14
2.4. Fırın İmalatında Kullanılan Elemanlar.....	15
2.4.1. Termokupl	15
2.4.2. Dış koruyucu kılıflar	20
2.4.3. Bağlantı kafası	22
2.4.5. Eleman tellerinin izole edilmesi.....	23
2.4.6. Koruyucu kılıflar.....	23
2.4.7. Metal kılıflar	24
2.4.8. Termokupl çeşitleri	25
2.5. Fırın Kontrol Cihazları.....	26
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
3.1. Fırın İmalatında Kullanılan Materyaller	29
3.1.1. K tipi harici termokupl (Ø 1mm)	29
3.1.2. PID göstergesi (kontrol ünitesi)	29
3.1.3. Hız kontrolcü (Driver)	29
3.1.4. İkili manometre.....	29
3.1.5. Argon ve tüpü.....	29
3.1.6. Rezistans 1200°C için K tipi Cr-Ni.....	30
3.2. Fırının Tasarım ve İmalatı	30
4. DENEY SONUÇLARI	39



İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1. Fırının Tasarım ve İmalatı	39
4.2. Fırın Kalibrasyonu	42
4.3. Pilot Toz Önkaplama Deneyi	53
4.4. Fırının Ansys Programı ile Teorik Basınç Testi	53
5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	60
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Döner fırının ters akış prensibi	8
2.2. Döner fırının genel görüntüsü	9
2.3. Seramik mikro/nano SiO ₂ tozlarından ön kaplama tekniği ile SiC toz üretim sistemi	14
2.4. Sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı	16
2.5. Projede kullanılan tür K tipi harici termokupl	17
2.6. Termokupl kablo kodları	26
2.7. Örnek bir PID kontrol iletişim modülü	27
3.1. Fırının rezistanslarının konulacağı dış fırın haznesi ve parçaları tasarımı	31
3.2. Dış fırın haznelere yerleştirilen rezistans yerleri ve pozisyonları tasarımı	32
3.3. Tozların karbotermal reaksiyonla kaplamasının yapıldığı paslanmaz çelik tüp hazne tasarımı	33
3.4. Fırının a) İç tüp hazne kısmının yerleştirilme tasarımı ve b) montaj yapılmış fırının solid katı modeli	34
3.5. a) Alüminyum battaniyenin yerleşimi, b) Rotary gaz elemanı ve c) Rezistansların yerleştirilmiş hali	36
3.6. Fırının ve diğer tüm parçaların yerleştirileceği masa tipi platform	36
3.7. İmalatı gerçekleştirilen ön kaplama fırını ve kullanılacak argon ve propilen gazı	36
3.8. Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, makine mühendisliği bölümü 402 nolu laboratuvarına yerleştirilen proje seti	37
3.9. Tasarım ve imalatı yapılan ön kaplama fırının son hali	38
4.1. Tasarımı ve imalatı yapılan fırının son hali ve bölümleri	40
4.2. Infrared ölçüm cihazı	43
4.3. Infrared ölçüm cihazı ile hem yüzey ve hem de içten sıcaklık ölçümlerinin alınması	44
4.4. Infrared termometre ile yapılan farklı bölgelerin sıcaklıkları ve ölçüm bölgeleri	45
4.5. Harici K tipi termokuplun fırın içerisine yerleştirilmesi	46
4.6. Hioki marka data logger- sıcaklık ölçüm anında	46
4.7. Hioki marka data logger üzerinde ortam ölçüm değerleri ekranı	47
4.8. Termal kamera ile ölçüm için fırın ve duruş şekli karşıdan olacak şekilde pozisyonlanma	48
4.9. Fırın iç sıcaklığını ölçebilmek için fırına verilen 20 mm açıklık	49
4.10. Farklı anlarda ve farklı sıcaklıklarda alınan termal kamera görüntüleri ve ölçümleri	49
4.11. Fırın sıcaklığının 500°C ye set edildiği anda ve 45 dakika sonra alınan ölçüm sıcaklık değeri 498°C	50
4.12. FLIR T420 termal kamera ölçüm sonuç bilgisi	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.13. Fırın sıcaklıklarının ölçümü için kurulan termokupların konumları ve data loger dan elde edilen sıcaklık değerleri.	52
4.14. Fırın içi reaksiyon tüpü iç sıcaklığının termokupl ile sıcaklık ölçüm değerindeki değişim.	52
4.15. Fırın tasarımının solidworks ve Ansys programındaki görüntüsü.	53
4.16. Ansys programında kullanılan tambur ölçüleri.	54
4.17. Parçaları birbirine bağlamak için 4 ayrı bonded contact ataması.	54
4.18. Mesh atımı sonucunda oluşan 112606 node, 27722 element.	55
4.19. 350kPa tanımlanarak yapılan sınır şartları.	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Uygulanacak işleme bağlı olarak koruyucu tüp seçimi.....	17
2.2. Farklı sanayilerde kullanılan malzemeler için koruyucu tüp seçimi.....	17
2.3. Termokupl malzemeleri ve sembollerle gösterilmesi.....	19
2.4. Eleman çap uzunluklarına göre termokupl kodları	20
2.5. Dış koruyucu metal kılıfların kodları	20
2.6. Dış koruyucu seramik kılıfların kodları	21
2.7. Dış koruyucu kılıfların standart çap ve boylarına göre tetcis kodları	21
2.8. DIN ve IEC standartlarında termokupl renk kodları	22
2.9. Eleman tellerinin çaplarına bağlı olarak çalışabilecekleri sıcaklık değerleri	23
2.10. Metal koruyucu kılıfların DIN ve AISI standart kodları	24
2.11. Şekillerine göre termokupl türleri	25
2.12. PID kontrol iletişim modülü (OC990) teknik özellikleri	27
4.1. Tüp içi ve fırın sıcaklığının K-tipi termokupl ve data loger kullanılarak ölçülen sıcaklık değerleri	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
%	Yüzde işaret
°C	Celsius ölçeği
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
B ₄ C	Bor karbür
C ₂ H ₂	Asetilen
C ₃ H ₆	Propen, propilen veya metiletilen, kimyasal formülü
CO	Karbonmonoksit
Cr-Ni	Paslanmaz Çelik
MgO ₂	Magnezyum peroksit
MoSi ₂	Molibden disilisiti
SiC	Silisyum karbür
SiO ₂	Silisyum dioksit
TiC	Titanyum karbür
TiO ₂	Titanyumdioksit
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AC	Alternatif akım
Bar	Basınç birimi
Dv	Devir
kW	Kilowatt
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı, İngilizce: LiquefiedPetroleumGas
Mm	Milimetre
MPa	Megapascal
PID	Denetleyici kontrol döngüsü, : İngilizce: ProportionalIntegralDerivative
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici, İngilizce: ProgrammableLogic Controller
V	Volt
YY	Yüzyıl

1.GİRİŞ

Günümüzde malzeme biliminin gelişmesi ile birlikte, yeni malzemelerin geliştirilmesine hızla devam edilmektedir. Malzemeler doğada genellikle bileşik halde bulduklarından çıkartılması ve zenginleştirilmesi gerekir. Mesela demir doğada magnetit hematit, siderit ve pirit gibi farklı bileşik halde bulunmakta ve bu hali kullanılmamaktadır. Cevherin içerisinde bulunan değerli ve değersiz olan kısımların ayrılması gerekir. Bunun içerisinde özellikle manyetik ayırıştırma ve zenginleştirme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Elde edilen demir metali alaşımlandırılarak daha özellikli hale getirilmektedir. Bunun gibi üstün özelliklere sahip bir malzeme türü olan seramiklerde aslında doğada bulunurlar. Ancak demirin cevherinde olduğu gibi çıkartıldıkları gibi kullanımları çoğu durumda ekonomik bir değer taşımaz. Bunun içinde bazı işlemlerden kimyasal reaksiyonlardan geçirilerek yapısı veya formu değiştirilerek daha değerli daha üstün özellikli seramikler haline dönüştürülürler.

Bu tez çalışmasında da doğadan elde edilen seramik SiO_2 bileşiği ekonomik bir değer taşımazken veya düşük bir değere sahip iken daha değerli ve daha ekonomik değeri yüksek bir forma dönüştürülmesinde kullanılacak bir fırının tasarım ve imalatı amaçlanmıştır. Bunun için SiO_2 den SiC e dönüştürmede kullanılan yöntemler incelenmiş ve bunlardan katı+gaz reaksiyonu yöntemiyle SiC tozlarının üretilmesinin birçok avantaja sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle öncelikle bu reaksiyonların gerçekleştirileceği bir fırın tasarlanması ve bu fırının sıcaklık, basınç, süre ve atmosfer kontrolünün sağlanması durumunda en iyi değerlerin elde edilebileceği bir fırın olmasına çalışılmıştır.

Fırının özellikle istenen sıcaklığa çıkabilmesi, bu sıcaklıkta belirlenen süre kadar stabil kalabilmesi hedeflenmiştir. Fırın her türlü korozyona karşı tam dirençli olacak şekilde paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Fırın içi reaksiyon tüpü içerisindeki SiO_2 tozları dönme hareketi sayesinde sürekli olarak karbon (C_3H_6) propilen gazından gelen C ile reaksiyona girerek kaplamanın oluşmasının sağlanması hedeflenmiştir. Bunun içinde bir elektrik motorundan hareket alarak dönme hareketi ve dolayısıyla tozların sürekli akışkan gaz ile temas etmesi sağlanmıştır. Fırının ayarlanan sıcaklık ile fırın içi reaksiyon tüpünün sıcaklığının aynı veya yakın olması için farklı yöntemlerle kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan tasarım ve imalat çalışmaları ile yukarıda belirtilen istenen sıcaklıklara ayarlanabilen bu sıcaklıklarda istenilen süre kadar tutulabilen dönme hareketine sahip sızdırmaz bir reaksiyon sağlayan ön kaplama fırını imal edilmiştir.

2. LİTERATÜR

Metal veya seramiklerin ergitilmesinde, ısı işleminde veya özel uygulamalarda kullanılan birçok fırın türleri vardır. Özellikle laboratuvar uygulamalarında kurutma, sinterleme, kimyasal reaksiyon ve dönüşüm amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Fırınlara kullanım amacına, kullanım yerine, çalışma sıcaklıklarına veya çalışma atmosferine bağlı olarak aşağıda türleri verilmiştir.

2.1. Fırın ve Fırınlara Türleri

İlk fırınlar, 5000-6000 yıldan uzun süre önce, İran'da ve Suriye'de, çanak çömlek pişirmek için yapıldığı düşünülmektedir (Mullinger ve Jenkins, 2008). Bu ilk fırınlar, içine odun kömürü doldurulan, toprağa oyulmuş koni biçiminde bir delikten oluşmaktaydı. Yanma için gereken hava ise ortama yandan bir körükle sağlanır ve malzeme odun kömürü içine yerleştirilerek pişirilmekteydi. Daha sonraları ilk fırınların duvarlarının tuğlalarla kaplanması, sonra da bacaların yapılması, ısının daha iyi korunmasını ve çekmenin etkinleştirilmesini sağlamıştır. İ.Ö. II. yy.'da, Çinlilerin 1200°C'a yükselebilen fırınlardan yararlandığı bilinmektedir (<http://www.yardimcikaynaklar.com/firin-nedir-tarihi-ve-cesitleri/>).

Genellikle kurutma, pişirme, tavlama ve ergitme gibi işlemlerin yapıldığı, ısı kaybını önlemek için duvarları izole edilmiş, bir yükleme boşaltma kapısı bulunan kapalı sistemlere fırın denilir (<https://birlikcati.com.tr/blog/firin-isi-ses-yangin-guvenlik-yalitimi>). Fırınlara kullanılan yakıtın cinsine göre: katı yakıtlı, sıvı yakıtlı, gaz yakıtlı, elektrik ile ısıtılan fırınlar şeklinde sınıflandırılabilir. Aşağıda yakıt türlerine fırınların çeşitleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Katı yakıtlı fırınlar: Bu fırınlarda, yakıt olarak genellikle kömür ve odun kullanılmaktadır. Bu fırınların tavanları kubbe şeklinde olmaktadır(<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>). Bunlardan kömür ile ısıtılan fırınlar, cevherden demir elde etmek için kullanılan yüksek fırınlar ve pik ergitmeye yarayan kapalı fırınlar bu türdendir. Bunlarda kullanılan katı yakıtlar, metalürjik kok tabir edilen, kül ve kükürt oranı düşük, iyi kalite kok kömürleridir. Yüksek fırınlarda kok ve demir cevheri ile kireçtaşı beraber fırına yüklenirler. Daha sonra fırın yakıldığında ortaya çıkan sıcaklığın tesiri ile içerde meydana gelen CO gazı ile oksit halindeki demir cevherleri redüklenerek demir, serbest hale gelir. Erimiş halde bulunan demir, yüksek fırının tabanında toplanır. Bunun üzerinde de cüruf tabir edilen erimiş halde çeşitli oksitler bulunur. İşlem tamamlandıktan sonra cüruf, cüruf kapısından, elde edilen sıvı demir ise maden ağzından dışarı alınır. Hem yüksek

fırında hem de birçok kapalı fırınlarda fırının içerisi ateşe dayanıklı tuğlalarla örülmüştür (Gavas, Aydın, 2015).

Sıvı yakıtlı fırınlar: Yakıt olarak genellikle fueloil kullanılmaktadır. Bunda da fırının içi ateşe dayanıklı tuğlalarla örülmektedir. Bunlarda fueloil, fırının yan duvarlarından tabana yakın yerlere yerleştirilmiş brülör vasıtasıyla içeri üflenir. Baca gazları fırının üst kısmından alınır. Devamlı çalışan fırınlarda yükleme ve boşaltma işlemi özel olarak yapılmış arabalar yardımıyla olmaktadır. Isıl işleme tabi tutulacak malzemeler, raylarla hareket ettirilen arabalar üzerine istif edilerek fırına sürülür. Kapak kapatılarak fırın yakılır. İşlem bittikten sonra kapak açılarak araba dışarı alınır(<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>).

Gaz yakıtlı fırınlar: Bu fırınlarda genellikle yakıt olarak LPG (sıvı petrol gazı) kullanılmaktadır. Bunlarda, yüksek ısıya gerek duyulmadığı için, fırının içi ısıya dayanıklı tuğlalarla kaplanmaz. Sanayide birçok kurutma ve pişirme işlemlerinin yapıldığı fırınlar, LPG ile ısıtılmaktadır. Bunlardan bir kısmı ateşe dayanıklı tuğlalarla kaplanmaktadır(<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>).

Elektrikli fırınlar: Elektrikli fırınlar, ark fırınları, endüksiyon fırınları, rezistanslı fırınlar diye üçe ayrılır;

1. *Ark fırınları:* Ark fırınlarında, elektrik enerjisi fırın içine grafit elektrotlarla iletilmektedir. Üç adet elektrot, fırının üst kısmından içine sarkıtılır. Fırına yükleme (şarj etme) üstten yapılır. Sisteme akım verilince elektrotlarla şarj malzemesi arasında ark meydana gelir. Arkten dolayı hâsıl olan ısı demirin erimesini sağlar. Bu fırınlar trifaze elektrikle çalışırlar. Endirekt ark fırınlarında, ark iki elektrot arasında meydana gelir. Oluşan ısı metali eritir. Ocağın çalışması esnasında astar ve tuğlalarda aşınma meydana gelir. Aşınan kısımlar maden alındıktan sonra tamir edilir. Bu ocaklar mekanik olarak devrilebilir karakterde yapıldıklarından, sıvı metali potalara almak ve maden üzerindeki curufu çekmek son derece kolaydır. Bu ocaklarda fırın sıcaklığını 1800°C ye kadar çıkarmak mümkündür. Fırın içinde sıvı metali istenilen süre tutmak mümkün olduğu için, alaşım ayarlamak ve istenmeyen maddeleri tasfiye etmek için tercih edilmektedir (<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>).
2. *İndüksiyon fırınları:* Ocağın etrafına sarılan iletken akım geçtiği zaman, ocak içinde bir magnetik alan meydana gelmektedir. Ocağın içine sıvı veya katı herhangi

bir metalik iletken konduğu zaman bunların üzerinde indüksiyon akımları meydana gelmekte ve dirençten dolayı oluşan ısı sayesinde katı haldeki metalleri eritmekte sıvı haldekilerin sıcaklığı artmaktadır. İndüksiyon ocakları frekansa göre de sınıflandırılır (<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>).

3. *Rezistanslı fırınlar:* Bu fırınlar, fırın içerisinde döşenen rezistansların üzerinden elektrik akımının geçmesiyle elde edilen ısıyla istenen sıcaklıklara kadar sıcaklık artışını sağlamaktadırlar. Bu fırınlar daha ziyade tav ve ısıl işlem fırınları olarak kullanılırlar. Tuğla ve seramik fırınları, mutfaklarda ve laboratuvarlarda kullanılan fırınların birçoğu bu gruba girer (<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>).

Bunlardan farklı olarak kullanıldıkları yere göre adlandırılan diğer fırın türleri de vardır. Bunlarda aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Fırın ifadesi pişmesi ya da erimesi gereken materyalleri pişirmek ya da eritmek için kullanılan, her yandan aynı derece ısı alacak şekilde düzenlenmiş ocaklara verilen isimdir (<http://firinvecesitleri.blogspot.com/2014/12/frn-cesitleri-nelerdir.html>). Günümüzde, fırınların kullanıldığı birçok alan vardır. Ev donanımı, besin sanayisi, çimento üretimi, demir-çelik sanayisi, alüminyum hazırlanması vb. Isı enerjisi, katı, sıvı ya da gaz haldeki kömür, akaryakıt ya da doğal gaz gibi yakıtlardan, elektrikten ya da güneş ısısından yararlanılarak üretilebilir. Sanayideyse, birçok fırın modeli kullanılmaktadır. Fırınlar, ısıyı içinde tutacak şekilde kapalı yapılmıştır (<http://www.yardimcikaynaklar.com/firin-nedir-tarihi-ve-cesitleri/>). Fırınlar kullanıldıkları işlere göre aşağıdaki gibi çeşitlere ayrılırlar.

Atmosfer kontrollü fırınlar: Argon, azot, vakum, hidrojen ve benzeri atmosfer koşullarında ısıl işlem yapmak amacıyla tasarlanmışlardır (<https://www.labor.com.tr/kategori/atmosfer-kontrollu-firinlar#labels=927-2>). Isıtma ve tavlama süresince azot veya er soy gazlar ile oksidasyon ve dekarbürizasyon önlenirken, Propan, Metan, Etan, Bütan gibi gazlar ile karbonca zengin bir ortam elde edilebilir. Çelik parçaların tavlama işlemi operasyonunda en önemli parametreler olan Sıcaklık, Zaman ve % C potansiyeli parametreleri, Atmosfer Kontrollü Fırınlarda bilgisayar kontrollü bir mikroişlemci tarafından sağlanmaktadır. Dolayısı ile gerek dış ortamdan (O₂) korunaklı bir ortam sağlaması, gerekse proses parametrelerinin insan faktöründen uzak kontrol edilmesi ile Atmosfer Kontrollü Fırınlar eski yöntemlere göre daha avantajlı hale gelmiştir(<http://www.marmaraisilislem.com/>).

Yürüyen tabanlı fırınlar: Köşegen veya dairesel millerin şekil verilmeden önce ısıtılması için tasarlanmıştır. Kontinü tipte olan bu fırın ısı işlem görece malzemeyi özel tasarım hareketli taban sayesinde eşit aralıklarda taşıyarak ısı işlem görmesini sağlamaktadır (<https://www.sistemteknik.com/ferrous/#>).

Cıvata ve somun kontinü fırınlar: Kontinü ısı işlem fırınları, cıvata, somun, saplama gibi bağlantı parçaları, küçük boyutlu döküm parçaları, pullar, rondelâlar, ince sac parçalar için karbürizasyon (sementasyon), karbonitasyon, tavlama, sertleşme, temperleme işlemleri yapmaya uygun endüstriyel seri ısı işlem fırınlarıdır. Kontinü ısı işlem fırınları, ön yağ giderme-yıkama, ısıtma, soğutma-su verme tankı, çıkış yağ giderme-yıkama, temperleme gibi üniteleriyle tek başına bir tesis sayılabilecek detaylara sahiptir(<https://makinecim.com/>).

Çelik döküm tavlama fırınları: Döküm, dövme ve haddeleme işlemleri görmüş malzemeleri, yumuşatmak, malzeme içinde bulunan gerilimleri azaltmak, işlenebilirliği arttırmak ve kırılabilirliği azaltmak gibi özellikleri malzemeye katmaktadır. Böylelikle malzeme üretim aşamasında veya üretim sonunda istenen mekanik özelliklere sahip olur. Tavlama işlemleri çeliklere uygulanabileceği gibi demir dışı alaşımlara da uygulanabilmektedir (<https://www.onerler.net/tavlama>).

Hassas döküm fırınlar: Hassas döküm metodu ile çok karmaşık dökümler, yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi ile yapılmaktadırlar. Bu özelliği ile hassas döküm, birçok talaşlı imalat işleminin gereğini ortadan kaldırmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için ergitmede kullanılan fırınlardır(<http://idealmodel.com.tr/tr/hassas-dokum-sistemleri>).

Kalıp ısıtma fırınları: Ekstrüzyon prosesi öncesi ekstrüzyon kalıplarının ön ısıtılmasında kullanılan fırınlardır. Kalıp ısıtma fırınları indirekt gaz ısıtım olup, radyan tüp içerisinde yanma sağlanmakta ve sirkülasyon fanları ile fırın içerisinde homojen bir şekilde sıcak havanın dağılımı sağlanmaktadır (<https://www.sistemteknik.com/ferrous/#>).

Kuyu tipi fırınlar: Yaygın olarak bakır tel, bakır bant, bakır boru, alüminyum tel ve bantların parlak tavlama için kullanılmaktadır. Tavlama, Sertleştirme, Normalizasyon, Ön ısıtma, Yaşlandırma, Temperleme, Gerilim giderme işlemleri için de kullanılabilir (http://ecotherm.com.tr/v2/kuyu-tipi-firinlar/; http://www.enderisi.com/kuyu-tipi-ve-can-tipi-isil-islem-firinlari.html).

Çan tipi fırınlar: Bunlar iki kısımdan oluşan fırınlardır. İlk kısımda, malzemelerin istif edileceği sabit bir platform bulunmaktadır. İkincisi ise, bu malzemelerin üzerine kapanan çan

şeklindeki asıl fırın olmaktadır. Bu kısım, raylar üzerinde hareket edebilmektedir. Zaman kazandıran bir fırın olup, pişirme işlemi biter bitmez bir sonraki malzemelerin pişmeye hazır hale gelmesi en önemli özelliğidir (<http://www.glasstechrefractory.com/blog/endustriyel-firin-cesitleri-nelerdir>).

Alüminyum tavlama fırınları: Ekstrüzyon öncesi alüminyum biletleri/kütükleri 450° C' ye kadar ısıtılabilen fırınlardır. Yükleme sehpasından fırın içerisine yüklenen biyetler önce ön ısıtma bölümünde baca gazlarının sirkülasyon fanları yardımı ile tekrar kullanılması sonucu yaklaşık 250°C ye kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra ana ısıtma bölümünde PLC kontrollü oransal premixnozzle yakıcılar ile 450°C ye ısıtılır. Fırın sıcaklığı fırın kapasitesine göre 3-4 bölgede, biyet yüzeyine doğrudan temas eden termokuplar ile ölçülmektedir. Fırın çıkışında biyet istenilen sıcaklığa ulaşmışsa fırın kapısı açılır ve sıcak biyet prese transfer edilir (<http://www.acarteknolojik.com/urunler/aluminyum-endustrisi-firinlari/aluminyum-folyolevhatav-firinlari>).

Kaynak gerilim giderme fırınları: Bu işlemde çelik ötektoid altı sıcaklıklara ısıtılarak, kesit kalınlığına bağlı olmak üzere, belirli süre bu sıcaklıkta bekletilerek işlem gerçekleştirilmektedir. Kaynak, talaşlı imalat ve plastik şekillendirme gibi kalıntı gerilmelerin oluşabileceği prosesler sonrasında uygulanarak, malzemede ki kalıntı gerilmeler azaltılır veya giderilmektedir (<https://www.onerler.net/tavlama>).

Meneviş fırınları: Seramik bisküvi kurutma pişirme, seramik sır ve dekor pişirme, cam dekor ve şekil verme çelik ısıtma işlemlerinde ve birçok endüstriyel ısıtma işlemlerinde kullanılmakta olan fırınlardır. Çeliğin alt kritik sıcaklığının altında 700°C sıcaklığa kadar tavlama, istenilen belirli bir sıcaklığa kadar soğutulması işlemidir (<https://www.termobilim.com.tr/sanayi-firinlari/>).

Kamara fırınları: Dikdörtgen biçimli ve baca çekişinin zeminde olduğu fırınlardır. Yan duvarları son derece kalın örülmüştür ve kemerin yükünü taşımaktadır. Dış duvarlar, demir konstrüksiyonlar ile desteklenmektedir. Kömür, gaz veya petrol ile çalışmaktadır. Alev hareketlidir ve malzeme içerisinde dolaşmaktadır (<http://www.glasstechrefractory.com/blog/endustriyel-firin-cesitleri-nelerdir>).

Tüp fırınlar: Tüp Fırınlar homojen sıcaklık dağılımı, geniş sıcaklık aralığında yüksek hassasiyetli ölçüm, uygun çalışma sıcaklıklarına göre tasarlanan ve fırının hızlı ısınmasına olanak sağlayan özelliklere sahip olmak ile beraber güvenilir koruyucu atmosfer koşullarında

çalışma ihtiyacında en doğru seçenekler olmaktadır. Cam, MgO₂ veya Al₂O₃ malzemeden yapılmış boru şeklinde olan bir fırın türüdür (<http://magmatherm.com/urunlerimiz/tup-firinlar/>).

SiC ısıtma elemanlı kamara fırınlar (1400°C- 1550°C): Standart MoS serisi fırınlar 1400°C - 1550°C'ye kadar ki sıcaklıklarda çalışabilmektedir. MoS serisi fırınlar düşük dış ısıdan korunmak ve yüksek iç ısı stabilizasyonu için çift kat kaplama kullanılarak üretilmiştir (<http://magmatherm.com/urunlerimiz/tup-firinlar/>).

MoSi₂ Isıtma Elemanlı Kamara fırınlar (1500°C- 1750°C): Yüksek sıcaklık endüstriyel fırın ısıtma elemanları Mosi2 den üretilen dirençli ısıtma elemanının bir çeşidi olmaktadır. Hava ve çeşitli gaz ortamlarında kullanılabilir. MoSi₂ ısıtma elemanının çalışma sıcaklığı 1500°C ila 1750°C arasında olmaktadır. Yüksek sıcaklık direnci, oksidasyon direnci, korozyon direnci, hızlı ısıtma, uzun servis ömrü, yüksek sıcaklıkta düşük bozulma, mükemmel ısı stabilitesi gibi yüksek sıcaklık fırınlarında yaygın olarak kullanılan stabilite özelliklerine sahip fırın türüdür(<http://magmatherm.com/urunlerimiz/tup-firinlar/>).

Kül Fırını: Laboratuarlarda kullanılmaları nedeniyle hassas bir tür olup 1300°C sıcaklıklara ulaşabilmektedir(<http://www.mikroteklab.com/ud/656-kul-firini>).

Mufla fırını: Çeşitli amaçlarla laboratuarlarda kullanılan Yüksek Sıcaklık Fırınlarının diğer adlarıdır. Mufla Fırını genel olarak dış hekimliği ve dış laboratuvarlarında kullanılan tiplere verilen isimlerdir (<http://kulfirini.com/mufla-firini-manset-firini-nedir/>).

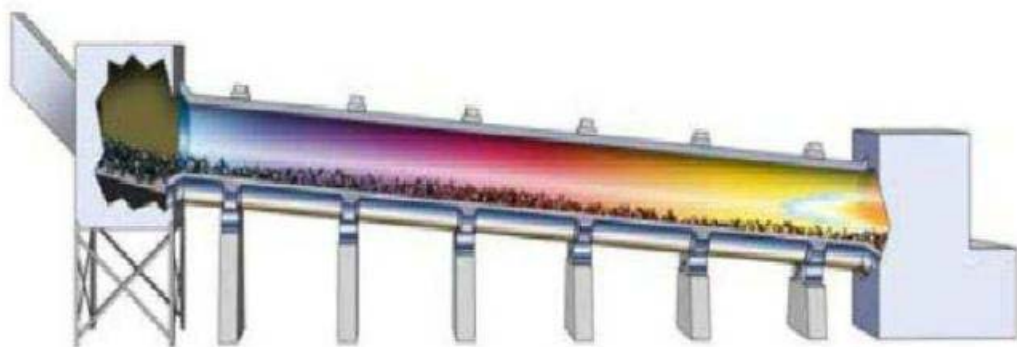
Laboratuar fırını: Çalışma prensibi, ısıtıcı rezistanların yardımıyla fırın içindeki havanın ısıtılmasına dayanmaktadır. Sıcaklık kontrolü, sıcaklığın hassas olarak ayarlanmasının önemli olduğu fırınlarda, PID kontrollü elektronik kontrol ünitesi yardımıyla yapılmaktadır. Bu tip fırınlarda soğutma sistemi bulunmazken, soğutma çok güçlü olmayan fan sistemi ile yapılabilmektedir. Aynı zamanda, fırın içinde oluşan çeşitli gaz, duman ve buharın bacaya verilmesi için, fan sistemi bir baca sistemine bağlanılabilmektedir. Laboratuar Tipi Fırınlar, maksimum çalışma sıcaklıkları 900°C ile 1800°C arasında olacak şekilde tasarlanabilirler. Çoğunlukla 900°C ile 1200°C arası olanlar kullanılmaktadır. Maksimum çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak uygulanan izolasyon nedeniyle, fırınların iç hacmi küçük, dış hacmi ise iç hazneye oranla geniş olmaktadır. Laboratuar Tipi Fırınların iç haznesi kullanım amacına göre 1 litre ile 100 litre arasında değişebilmektedir (<http://magmatherm.com/urunlerimiz/tup-firinlar/>).

Konveksiyonlu fırınlar: Ürettiği ısıyı bir ya da birkaç fan ile fırının içerisinde döndürerek pişirme yapan fırınlardır. Bazı özel ürünler dışında neredeyse tüm pişirimlerde

konveksiyonlu fırınlar kullanılmaktadır. Konveksiyonlu fırının teknik özelliklerine göre fan hızının kontrol edilebildiği modeller bulunmaktadır (<https://www.cmteknik.com.tr/blog/4-tepsili-elektirik-isitmal-konveksiyonlu-firin/>).

Konveyör fırınlar: Pek çok farklı yemeğin, çok hızlı bir şekilde pişirilmesi gereken restoranlar da tercih edilen fırın şeklidir. Basıncılı hava kullanarak pişirme işlemi yapılır ve aynı zamanda ısı da düzgün dağılmaktadır. Bu yüzden konveyör fırınlar sadece yüksek verimlilikle çalışan, lezzetin ikinci planda olduğu işletmeler için tavsiye edilmektedir (https://www.fiyatimbu.com/blog/endustriyel-firin-satin-almadan-once--_192).

Döner fırınlar: Dünyada endüstri tesislerinde yer alan en büyük üretim kapasiteli fırınlar olarak döner fırınlar gösterilmektedir. Döner fırın sisteminde; kurutma, ön ısıtma, ön kalsinasyon ve sinterleme işlemleri yapılabilmektedir (Çoban, Özkan 2012). Döner fırınlar yatay olarak %3 - 4 eğime sahiptirler. Bu eğimden dolayı içerisinde yer alan şarjın aşağıya doğru akması sağlanır. Çevre hızları yaklaşık olarak 0,15 - 0,30 m/s arasındadır. İç kısımları ateşe dayanıklı malzeme olan refrakterle örülüdür (Savaş, 2004). Döner fırının üst kısmında ön ısıtıcı, alt kısmında ise klinker soğutma bölgeleri yer alır. Döner fırına ön ısıtıcı bölgesinden giren şarj klinker soğutma bölgesinde yani alt kısmında yer alan alev borusundan da kömür, doğalgaz veya fueloil yakılmasıyla ters akış prensibine göre pişirilerek klinker oluşturulur. Daha sonra oluşan klinker alt kısımdan soğutmaya dökülür. Döner fırının ters akış prensibini gösteren Şekil 2.1’de görülmektedir (Altınkaynak, 2013).



Şekil 2.1. Döner fırının ters akış prensibi (Altınkaynak, 2013).

Çimento talep miktarının artması ile birlikte son yıllarda en çok kullanılan hacmi yüksek olan döner fırın yani ön kalsinatörlü ve ön ısıtıcılı döner fırın kullanımı artmıştır. Döner

fırınların sistem tasarımlarının gelişmesi ile birlikte, kapasite ve yanma verimliliği artarken, ısı tüketimi azalmıştır (Söğüt, 2009).

Şekil 2.2’de çimento üretiminde kullanılan bir döner fırın görülmektedir.



Şekil 2.2. Döner fırının genel görüntüsü (Şahin, 2017).

Literatürde refrakter fırınlar için çok sayıda ısı aktarım modelleri mevcuttur. Döner fırında ısı aktarım mekanizması; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile ısı aktarım mekanizmalarını içerdiği ve fırın açısız yönde döner durumda olduğu için karmaşıktır. Bu modeller çok boyutlu doğası gereği sayısal yöntemler ile çözülmüştür. Bu ısı aktarım modellerini sayısal yöntemlerle çözmek için radyal ve açısız yönde termal ısı iletimi dikkate alınmaktadır. Döner fırın duvarında ısı aktarımının sayısal analizi için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Isı aktarım sürecini daha iyi anlamak için duvarın iç yüzeyinde sıcaklık dağılımını içeren bir sayısal benzetim programı tasarlanmış olduğu belirtilmektedir (Uğur, 2018).

Özel fırınlar: Üretilecek malzemelere göre ihtiyaç duyulduğu sistemlerde özel malzemeler kullanılarak standart dışı yapılan işe göre üretilen fırınlardır.

Döner fırınların özellikle çimento üretimi alanında yaygın olmasına rağmen bu yöntem kullanılarak daha küçük ve özel fırınlar tasarlanmış ve teknolojik ürün üretim alanlarında da tercih edilmeye başlanmıştır.

2.2. Özel Fırımlar

Yukarıda birçok yöntem ve kullanım alanları açıklanan fırınların bir diğer türü de özel amaçlar için tasarlanıp imal edilen fırınlardır. Bir amaca yönelik imal edildikleri için belirli bir ölçü –boyut ve özellikle sınırlamak veya tanımlamak mümkün olmamaktadır.

Son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak ihtiyaçlara uygun geliştirilen ve özellikle oksit (SiO_2 , TiO_2) ve karbür (SiC , TiC , B_4C) tozlarının sentezlenmesinde kullanılan fırınlar yaygınlaşmaya başlamıştır. Aşağıda oksit tozlarından karbür tozlarının sentezlenerek elde edilmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Bugüne kadar SiC ün üretimi hakkında birçok üretim yöntemi rapor edilmiştir. Bunlardan 1892 yılında Acheson tarafından ilk kez uygulanan SiC ün sentezi daha sonraları geliştirilerek farklı yöntemler ortaya çıkmıştır. Fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), Sol-gel metodu, Sıvı faz sinterleme (LPS) ve mekanik alaşımlama (MA) bunlardan bazılarıdır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır (Şimşek, Şimşek ve Altunok, 2012). Günümüzde genel olarak SiC tozları üç temel yöntem ile üretilebilmektedir. Bunlar;

1. Yöntem; (Katı+katı reaksiyon yöntemi)

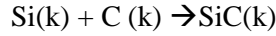


Bu reaksiyon 1800-2500°C de gerçekleşir. Bu yöntem Acheson yöntemi olarak ta bilinir. İlk olarak 1892 de elektrik ark fırınlarında elde edilmiştir. 1800°C de silika buharlaşmakta, böylece silisyum ile karbonun reaksiyonu gerçekleşmektedir (Zheng, vd., 2001; Arcosoy, 1983).

Avantaj ve dezavantajları;

- ✓ Bu yöntemde yüksek sıcaklık gerekir.
- ✓ Uzun bir reaksiyon süresi gerekir.
- ✓ Reaksiyon esnasındaki parçacık büyümesi nedeniyle büyük boyutlu tozlar üretilir,
- ✓ Reaksiyon sonrası tozların kırılması, ufalanması gerekir,
- ✓ Sinterlemeye uygun değildir (kırılma-ufalama işleminden sonra sinterlenebilir),
- ✓ Üretim esnasında merkezden dışa doğru saflık da farklılıklar görülmektedir,
- ✓ Yüksek miktarda ancak homojen olmayan (her yerde eşit özelliklerin olmaması) bir üretime uygundur,
- ✓ Seri üretime uygun değildir.

2. Yöntem; (Katı+katı reaksiyon yöntemi)

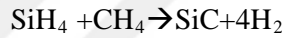


Elementel Si ile katı karbon (C) parçacıklarının 1100°C de gerçekleştirdiği bir kimyasal reaksiyondur.

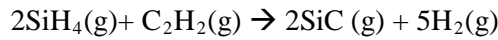
Avantaj ve dezavantajları;

- ✓ Bu yöntemde Acheson a göre daha düşük sıcaklıklarda reaksiyon gerçekleşmektedir,
- ✓ Yine Acheson yöntemine göre daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir,
- ✓ Daha küçük boyutlu (1 mikrondan küçük) SiC tozlar üretilebilmektedir.
- ✓ Üretilen SiC ürün sinterlenebilmektedir,
- ✓ Başlangıç girdi Si, Acheson yönteminde kullanılan SiO₂ e göre daha pahalıdır,
- ✓ Yüksek miktarda üretime uygundur,
- ✓ Seri üretime uygun değildir.

3. Yöntem; (Gaz+gaz reaksiyon yöntemi)



Silanes (SiH₄) ile hidrokarbon (CH₄) ve (C₂H₂) gazlar arasında gerçekleşen karbotermal reaksiyonla elde edilen bir yöntemdir. Kimyasal buhar biriktirme yönteminde ayrıca C₂H₂ hidrokarbon gazı da kullanılmaktadır. Bu reaksiyonda aşağıda verilmiştir. Reaksiyon sıcaklığı yaklaşık 1100°C olup üretilen toz boyut yaklaşık 0.1-0.5 mikron civarındadır.



Avantaj ve dezavantajları;

- ✓ Bu yöntemde yine Acheson'a göre daha düşük sıcaklıklarda reaksiyon gerçekleşmektedir,
- ✓ Acheson yöntemine göre daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir,
- ✓ Daha küçük boyutlu (1 mikrondan küçük) SiC tozlar üretilebilmektedir.
- ✓ Üretilen SiC tozlar sinterlenebilmektedir,
- ✓ Başlangıç girdi SiH₄, Acheson yönteminde kullanılan SiO₂ e göre daha pahalıdır,
- ✓ Yüksek miktarda üretime uygun değildir,
- ✓ Seri üretime uygun değildir.

Sol-Gel yöntemi de kullanılan diğer bir SiC üretim yöntemidir. Düşük sıcaklıklarda silica, zirkonya alümina ve titania dan elde edilebilmesi önemli bir avantajı olup, yüksek saflıkta elde edilebilmektedir. Düşük miktarlarda üretilmesi ise ticari olarak bir dezavantaj oluşturmaktadır (Duddukuri vd., 2011).

Yukarıda belirtilen bu üç yöntemden farklı olarak son yıllarda üzerinde çok çalışmalar yapılan bir diğer yöntem ise katı gaz reaksiyonu olup, oksit tozlarından karbür, nitrür ve borür tozlarının elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem de 4. Yöntem olarak aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

2. Yöntem; (Katı+gaz reaksiyon yöntemi)

İki aşamalı bir yöntemdir; Birinci aşamada hidrokarbon gazı 400°C -1000°C sıcaklık aralığında bozundurulmuş SiO₂ yüzeylerinin karbon ile kaplanması sağlanmaktadır. İkinci aşamada ön kaplamalı bu tozlar atmosfer kontrollü fırınlarda 1200°C-1600°C gibi bir sıcaklıkta karbotermal indirgeme reaksiyonu ile SiC tozları üretilmektedir. Üretilen tozların boyutları girdi SiO₂'nin boyutları ve saflığı ile yakından alakalıdır. Bu yöntem ile yüksek saflıkta ve istenilen mikro/nano boyutta tozlar üretilmektedir (Aydın ve Koç, 2010).

Amerika patentli bu yöntem hidrokarbon gaz ile ön kaplamalı karbotermal reaksiyonla SiC toz üretimidir. Bu yöntemde öncelikle SiO₂ tozları Şekil 2.3' de görülen döner hareketli fırının ilk bölgesinde (400°C -1000°C) hidrokarbon gazlar (C₃H₆-propilen veya C₆H₆-Bütadin) ile temas ederek SiO₂ toz yüzeyleri karbon ile kaplanmaktadır. Hidrokarbon gazın karbon ve hidrojenin ayrışmasıyla (cracking) H₂ gazı atılmaktadır. Karbon ise SiO₂ yüzeyine kaplanmaktadır. Daha sonra buradan elde edilen ön kaplamalı SiO₂+C tozu fırının ikinci bölgesinde (1200°C -2000°C) reaksiyona girerek SiC elde edilmektedir. Burada elde edilen SiC herhangi bir metal veya metal dışı bir element ile reaksiyona girmediğinden yüksek saflıkta olmaktadır. Ayrıca ilk girdi SiO₂'nin boyutlarına bağlı olarak nano veya mikron boyutta SiC tozlar üretilmektedir.

Avantaj ve dezavantajları;

- ✓ Diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda üretilmektedir,
- ✓ Acheson yöntemine göre daha kısa sürelerde gerçekleşmektedir,
- ✓ Daha küçük boyutlu (<1 mikrondan küçük) SiC tozlar üretilmektedir.

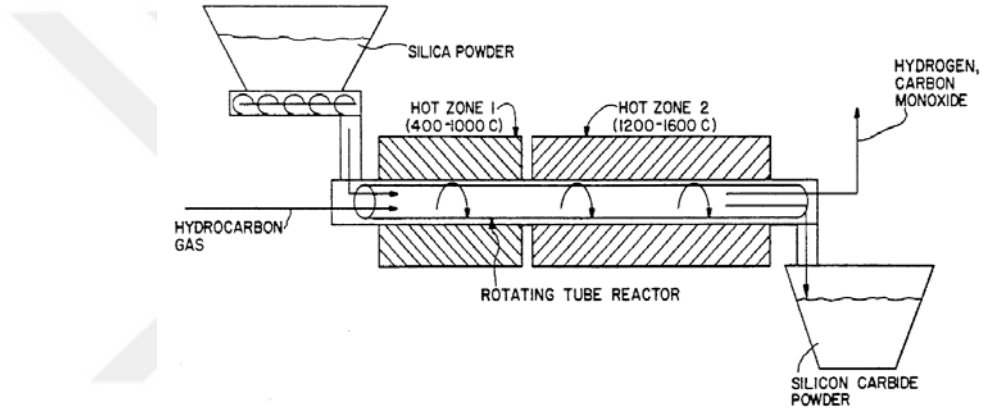
- ✓ Üretilen SiC tozlar daha düşük sıcaklıklarda sinterlenebilmektedir,
 - ✓ Başlangıç girdi malzemesi (SiO₂) daha düşük maliyetlidir,
- Dezavantajları;
- ✓ Yüksek miktarda üretime uygun değildir (<300 g),
 - ✓ Seri üretime uygun değildir (Toz yükleme ve temizleme için sistem durdurulmalı ve sökülmalıdır),
 - ✓ Her üretimden sonra fırın soğutulup paslanmaz çelik tüp sökülüp temizlenmesi gerekmektedir,
 - ✓ Farklı tür toz üretimleri (TiC, B₄C, WC, vb.) için her defasında yüksek işçilik gerektirmektedir,
 - ✓ Dönen parçaları olduğundan hem saflığı hem de üretim hızını olumsuz etkilemektedir.

Bilinen Acheson yöntemi ile yüksek sıcaklık ve elde edilen toz boyutunun büyük olması (1 micron dan büyük) nedeniyle üretilen SiC ün sinterlenmesi zor olmaktadır. Ayrıca saflığı reaksiyon bölgesinden uzaklaştıkça değişmektedir. Diğer iki yöntemde ise Acheson yöntemine göre hem reaksiyon sıcaklıklarının düşük olması, hem sürenin kısa olması ve hem de elde edilen daha küçük boyutlu tozlar nedeniyle ve ayrıca tozların sinterlene biliyor olması bu yöntemleri Acheson yöntemine göre üstün kılmaktadır. Ancak girdi tozlar olan Si ve SiH₄, SiO₂ ye göre daha pahalıdır. Bu nedenle yöntemden elde edilecek olan son ürün SiC daha yüksek maliyetli olmaktadır.

Yüksek miktarlardaki elektrik sarfiyatı, küçük boyutlara düşürmek için yapılacak olan kırma işlemlerinin maliyeti, girdi malzemelerin maliyetlerinin yüksek olması, geleneksel yöntemlerle SiC üretim maliyetlerini artırmaktadır. Şimdiye kadar yüksek verimli, saf ve küçük parçacık boyutlu SiC tozlarının üretimi tam olarak sağlanamamıştır. Diğer yandan son yıllarda geliştirilen hidrokarbon gazlar kullanılarak önkaplama tozlardan elde edilen SiC ün saflığı hem daha yüksek hem de küçük boyutlu elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntemde ise endüstriyel ihtiyaçları karşılayacak boyutta ve yüksek miktarlarda toz SiC ün sürekli üretimi yapılamamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında ise yukarıda açıklana yöntemlerin avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak, en avantajlı yönlerinin ön plana çıkartıldığı bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu yöntem en yakın literatür uygulaması, Amerika patentli hidrokarbon gaz ile ön kaplamalı hidrokarbotermal reaksiyonla SiC toz üretimidir (USA patent No: 5, 324, 494) (Aydın ve Koç, 2010). Bu yöntemde öncelikle SiO₂ tozlar Şekil 2.3' de

görülen döner hareketli fırının ilk bölgesinde (400°C - 1000°C) sıcaklıklarda hidrokarbon gazlar ile temas ederek SiO_2 toz yüzeyleri karbon ile kaplanmaktadır. Hidrokarbon gazın belirtilen sıcaklıkta karbon ve hidrojene bozunmasıyla (cracking) H_2 gazı atılmaktadır. Fırın içerisindeki önkaplama işlemi 10-30 dakika gibi kısa sürelerde gerçekleşmektedir. Bu işlem sonucunda karbon ise SiO_2 yüzeyine kaplanmaktadır. Daha sonra buradan elde edilen karbon ön kaplamalı SiO_2 tozu fırının ikinci bölgesinde (1200°C - 2000°C) sıcaklıklarda karbotermal reaksiyon sayesinde SiC elde edilmiş olmaktadır. Burada elde edilen SiC herhangi bir metal veya metal dışı bir element ile reaksiyona girmediğinden yüksek saflıkta üretilebilmektedir. Ayrıca ilk girdi SiO_2 'nin boyutlarına bağlı olarak nano veya mikron boyutta SiC tozlar üretilebilmektedir.



Şekil 2.3. Seramik mikro/nano SiO_2 tozlarından ön kaplama tekniği ile SiC toz üretim sistemi (Aydın ve Koç, 2010).

Bu tez çalışmasında yukarıda 4. yöntem olarak açıklanan katı+gaz reaksiyonunun gerçekleştirildiği fırının tasarım ve imalatı yapılarak karakterize edilmesi amaçlanmıştır.

2.3. Fırımların Kullanım Alanları

- Seramik sektörü
- Sert lehimleme işlemi
- Isıl işlem
- Otomotiv sektörü
- Havacılık sektörü
- Kömür ve maden sektörü
- Petrokimya sektörü
- Plastik sektörü
- Elektronik sektörü
- Cam sektörü

- İlaç sektörü
- Gıda sektörü
- Tıp sektörü
- Dişçilik sektörü
- Nükleer sektörü
- Eğitim sektörü
- Üniversitelerde
- Malzeme testi ve kalite kontrol işlemleri
- Özel amaçlar için kullanım alanları vardır.

Özel amaçlı fırınlar genellikle yeni teknolojik ve gelişmeye açık çalışmalar için laboratuvar çalışmalarında kullanılan özel tasarım ve imalatlar veya mevcut olan fırınların revize edilmiş ve geliştirilmiş türleri olarak kullanılmaktadırlar.

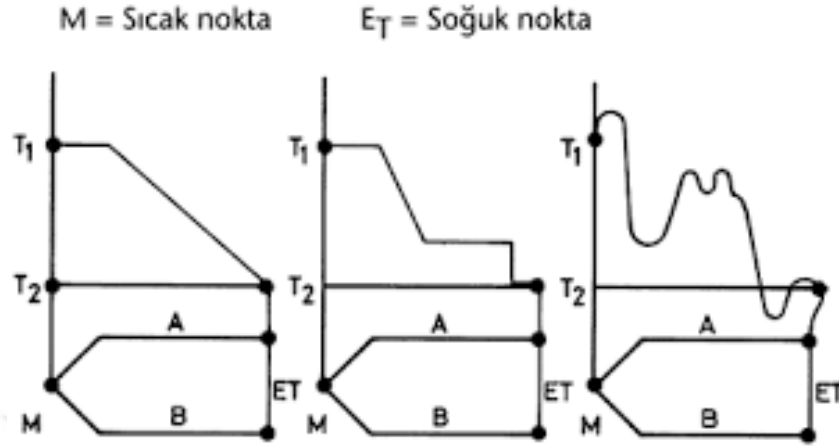
2.4. Fırın İmalatında Kullanılan Elemanlar

2.4.1. Termokupl

Termokupl iki farklı alaşımdan üretilmiş ince tellerin ucunun kaynaklanması ile oluşturan basit bir sıcaklık ölçüm elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer uç iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak ifade edilir. Termokupl ile ölçme mantığı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır. Bu durum aşağıdaki Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Glatzmaier ve Koc, 1995).

Termokupl cinslerine göre genellikle aşağıda belirtilen sıcaklık aralıkları kullanılır:

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1)Cu-CuNi / Tip T | : -200 ile +300 °C |
| 2)Fe-CuNi / TİP J | : -200 ile +800 °C |
| 3)NiCr-Ni / TİP K | : 0 ile +1200 °C |
| 4)Pt10Rh-Pt / TİP S | : 0 ile +1600 °C |
| 5)Pt13Rh-Pt / TİP R | : 0 ile +1700 °C |
| 6) Pt6Rh-Pt 30 Rh / TİP B | : 0 ile +1800 °C |



Şekil 2.4. Sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı (Glatzmaier ve Koc, 1995).

Termokupl yapısı

Sıcak noktada birleştirilen termokupl telleri birbirinden izole edilerek koruyucu bir tüp içine yerleştirilirler. Bu tüpler özel bir uygulama değilse genellikle 1200 °C üstünde ise seramik malzemelerden oluşur. Koruyucu tüplerin tespit edildiği alüminyum dökümden mamul bağlantı kafasında termokupl telleri arasında kompanzasyon kablosunun bağlantılarının yapıldığı terminaller bulunur. Koruyucu tüpler sıcaklığın ölçüleceği ortamla doğrudan temas halinde olduklarından sıcak ve kimyasal tepkimeler nedeniyle çatlama, aşınma ve kırılmaya uğrarlar. Bu nedenle ortam şartlarından en az etkilenecek malzemeden yapılmış koruyucular seçilmekte tüplerin ve termo elemanların ekonomik ömürleri uzatılmaya çalışılmaktadır. Termokuplaların ekonomik ömrü devamlı maruz kaldıkları sıcaklık bandı ortamdaki aşındırıcı etmenler montaj ve tatbikat çeşitleri mekanik darbeler kullanım alışkanlıkları gibi hususlara bağlı olarak değişmektedir. Aşağıda Şekil 2.5’de bir K tipi termokupl görülmektedir (Bulut, 2010).



Şekil 2.5. Projede kullanılan tür K tipi harici termokupl (Bulut, 2010).

Koruyucu tüp seçimi

Termokuplar sıcak ortamda çalıştıklarından dolayı ortamdan etkilenerek korozyon ve ani ısı değişimlerinden etkilenmemeleri ve daha uzun ömürlü olmaları açısından bir koruyucu kılıf içerisine yerleştirilirler. Bu koruyucu tüpler özellikle 1200°C üzerindeki sıcaklıklarda seramik malzemeden yapılmış olanlar kullanılmaktadır. Aşağıda termokuplar için uygulanacak işleme bağlı olarak koruyucu tüp seçimi Çizelge 2.1’de verilmiştir. Ayrıca yine farklı sanayi alanlarında kullanılan malzemeler için koruyucu tüp seçimi Çizelge2.2’de görülmektedir. Buna göre kullanılacak alan ve malzemeye göre termokupl ve termokupl koruyucu tüpleri belirlenmektedir (<http://www.tetcis.com.tr/>). Aşağıda örnek bir Çizelge verilmiştir (Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2).

Çizelge 2.1. Uygulanacak işleme bağlı olarak koruyucu tüp seçimi (<http://www.elimko.com.tr/tr/>).

ISIL İŞLEM	550 °C	St 35,8
	800 °C	1,4571, St 316
TAVLAMA	1000 °C	1,4762
	1200 °C	1,4841, INCONEL, TİP 799
ASİT BANYOLARI	1400 °C	TİP 530, TİP 610, TİP 799
	350 °C	1,4571, St 316
	550 °C	EMAYELİ St 35,8
TUZ BANYOLARI	SİYANÜR	C-2, INCONEL
	NÖTR	1,4871, INCONEL, 1,4762
	KLORÜR	AL-25, C-2

Çizelge 2.2. Farklı sanayilerde kullanılan malzemeler için koruyucu tüp seçimi (<http://www.elimko.com.tr/tr/>).

METAL SANAYİ	
ERGİMİŞ Pb, Sn, Zn, Mg	C-2, PİK DÖKÜM, 1,4571, 1,4762
ERGİMİŞ Pirinç, Cu	SİLİKON KARBÜR, 1,4762
ERGİMİŞ Alüminyum	PIK DÖKÜM, KARBÜR
1500 °C	TİP 530, TİP 610
1600 °C	TİP 710
SERAMİK	
Pişirme	TİP 530, TİP 610, TİP 799

Kurutma	St 35,8, 1,4571, St 316
Emayeleme	INCONEL, TİP 610, TİP 799
CAM	
650 °C	1,4871

Çizelge 2.2. (devamı) Farklı sanayilerde kullanılan malzemeler için koruyucu tüp seçimi (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

1500 °C	TİP 710
KİREÇ ve TÜREVLERİ	
800 °C	1,4841
RAFİNERİ ve PETROKİMYA	
Rafineriler	1,4571, St 316 C-2, 1,4762, INCONEL
Petrokimya	1,4571, St 316
ISI SANTRALLERİ	
Boyer ve buhar hatlarında	1,4571, St 316
Baca gazı ve ön ısıtıcılarda	1,4841, 1,4762
Su hatlarında	C-2
GIDA SANAYİ	
Şeker	St 35,8, 1,4571

Termokupl ölçü sistemi

Termokupl üzerinde meydana gelen gerilim sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına bağlı olduğundan doğru bir ölçüm yapılabilmesi için soğuk nokta sıcaklığının sabit tutulması önemlidir. Ancak sanayideki uygulamalarda (fırın, ısı işlem vb.) soğuk noktanın termokuplun yapısı nedeniyle daima sıcaklığın değişmekte olduğu bir yerde bulunduğu bir gerçektir. Çalışma sistemi açısından termokupl eleman telinin ölçümün yapılacağı cihaza kadar tek parça halinde olması gerekir. Ancak bu durum pratik ve ekonomik bir çözüm olarak görülmediğinden soğuk noktanın bulunduğu termokupl bağlantı terminalleri ölçüm yapılan cihaza termoelektrik özelliği açısından aynı sonucu veren özel kompanzasyon kabloları ile iletilmek sureti ile değişken ortamdan sıcaklığın sabit olduğu bölgeye aktarılmış olur. Böylece termokupl ile ölçü cihazları arasında kullanılan kabloların termokupl kompanzasyon kabloları olmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık termoelektrik gerilim Çizelgelerinde verilen değerler soğuk noktanın 0°C’de bir fiil tutulması ile ölçülen değerlerdir. Oysa termokupl ölçü sistemlerinin buldukları ortamlarda soğuk noktanın 0°C’de tutulabilmesi pratik olmayan bir durumdur. Soğuk noktanın maruz kaldığı hakiki sıcaklık ölçüm yapan cihazda ortam sıcaklığı

kompensatörü sayesinde sabit tutulabilir. Böylece istenen sıcaklık değerlerinde ölçüm yapılmış olur.

Termokupl özellikleri

Termokuplar -200°C 'den 2320°C 'ye kadar değişik sıcaklık aralıklarında ölçüm yapabilen sıcaklık ölçüm elemanlarıdır. Termokuplar iki farklı metal alaşımın uçlarının kaynaklanması ile elde edilen sıcaklık ölçüm elemanlarıdır (Çizelge 2.3). Yapmış oldukları ölçüm aralığı ve malzemelerine göre farklı kısaltma ve semboller kullanılarak ifade edilmiş termokuplar görülmektedir (Çoban, Özkan, 2012).

Çizelge 2.3. Termokupl malzemeleri ve sembollerle gösterilmesi (Çoban, Özkan, 2012).

Standart Kodu*	
Cu- Konst	U
Cu- Konst	T
Fe- Konst	L
Fe- Konst	J
NiCr- Ni	K
Nikrosil- Nisil	N
Cr- Konst	E
Pt% 10Rh- Pt	S
Pt% 13Rh- Pt	R
Pt% 18Rh- Pt	B

Termokupl teli çapları

Termokuplar da kullanılan tel malzemeleri ve bu tellerin çapları da farklılıklar göstermektedir. Buna göre aşağıda farklı malzeme, kısa gösterim ve çapları gösteren bilgiler Çizelge 2.4'de görülmektedir

Çizelge 2.4. Eleman çap uzunluklarına göre termokupl kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

	Standart Çaplar
Cu- Konst (U ve T)	0,5 mm
Cu- Konst (U ve T)	1 mm
Fe- Konst (L ve J)	0,5 mm
Fe- Konst (L ve J)	1 mm
Fe- Konst (L ve J)	2 mm
NiCr- Ni	1 mm
NiCr- Ni	1,5 mm
NiCr- Ni	2 mm
NiCr- Ni	3 mm
Nicrosil- Nisil	3 mm
Pt% 10Rh- Pt	0,35 mm
Pt% 10Rh- Pt	0,5 mm
Pt% 13Rh- Pt	0,35 mm
Pt% 13Rh- Pt	0,5 mm
Pt% 18Rh- Pt	0,35 mm
Pt% 18Rh- Pt	0,5 mm

2.4.2. Dış koruyucu kılıflar

Sıcaklık ölçümünde kullanılan termokupların buldukları ortamdan daha az etkilenmeleri ve uzun ömürlü olmaları için dış yüzeylerine koruyucu kılıflar takılırlar. Bunlarda metal veya seramik malzemeden olabilmektedirler. Çizelge 2.5 ve 2.6'da termokuplar için kullanılan metal ve seramik kılıfların standart kod gösterimleri verilmiştir. Bu termokuplarda dış koruyucu tüp, DIN ve AISI standartlarında metal DIN 40685 seramik ve Kafa, DIN 43729 Alüminyum (Döküm kafa IP67 korumalı) olarak genellikle bulunmaktadır (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Çizelge 2.5. Dış koruyucu metal kılıfların kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

	Standart Kodu
Metal Kılıflar	1,4301
	1,4541
	1,4571
	1,4749
	1,4841
	INCONEL- 600
	C- 2
	ALLOY- 25

Çizelge 2.6. Dış koruyucu seramik kılıfların kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Seramik Kılıflar	Standart Kodu
	KER- 610
	KER- 799
	KER- 530
	Quartz
	Silikon- Karbayt
	Refrax
	Grafit

Termokupların dış yüzeylerinde kullanılan kılıfların standart çap ve boyları da aşağıda Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Dış koruyucu kılıfların standart çap ve boylarına göre tectis kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Standart Çaplar	Standart Boylar
6 mm	100 mm
8 mm	160 mm
9 mm	200 mm
11 mm	230 mm
14 mm	250 mm
15 mm	300 mm
22 mm	400 mm
24 mm	500 mm
26 mm	710 mm
30 mm	1000 mm
45 mm	1200 mm

Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı termokupl üzerinde gerilim (EMF) yaratır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu nedenle mV çizelgelerindeki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C’de tutulması ile elde edilmiştir. Örneğin 200°C’ye karşılık gelen mV değeri, termokuplun sıcak noktası 200°C’de, soğuk nokta 0°C’de iken uç noktada mV değeridir. Termokuplar (Isıl çift) iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen endüstride genelde çıplak olarak kullanılmazlar. Prosesin şartları (mekanik darbeler,

fiziksel ve kimyasal özellikler) göz önüne alınarak özel koruyucu kılıflar içinde kullanılır. Eleman telleri iki farklı kutuplarda olduğundan birbirlerinden seramik izolatörler ile izole edilirler (<http://www.elimko.com.tr/tr/>).

Termokupl yapısal olarak incelendiğinde;

- Bağlantı kafası
- Bağlantı klemensi
- Koruyucu tüp
- Eleman teli
- İzolatör
- Primer (iç koruyucu)
- Flanş veya rekor gibi malzemelerden oluşmaktadır.

2.4.3. Bağlantı kafası

Termokupl koruyucu kılıflarının bağlandığı alüminyum döküm kafa içinde seramik bağlantı klemensine eleman telleri ve kompanzasyon kabloları (+) ve (-) uçları doğru bir şekilde bağlanır. Kafalar DIN 43729 standartlarına uygundur. Standartlarda A tipi büyük, B tipi küçük kafa kullanılır. Alüminyum döküm kafalar maksimum 200°C'ye kadar kullanılırlar. Bağlantı kafası sıcaklığı 200°C'yi geçmemelidir (<http://www.elimko.com.tr/tr/>).

Termokupl eleman telleri (+) ve (-) olmak üzere iki bacaklıdır. Bu nedenle cihaza bağlanırken (+) ve (-) uçları dikkate alınarak bağlanmalıdır. Uluslararası standartlarda (+) ve (-) uçları belli renk kodları ile işaretlenmiştir. Bu işaretlemeler Çizelge 2.8. görülmektedir.

Çizelge 2.8. DIN ve IEC standartlarında termokupl renk kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr/>).

	DIN 43710	IEC-584		DIN 43710	IEC-584
	RENK	RENK		RENK	RENK
Cu	Kırmızı	Kahve	Const	Kahve	Beyaz
Fe	Kırmızı	Siyah	Const	Mavi	Beyaz
NiCr	Kırmızı	Yeşil	Ni	Yeşil	Beyaz
PtRh	Kırmızı	Portakal	Pt	Beyaz	Beyaz

2.4.5. Eleman tellerinin izole edilmesi

Termokupl eleman telleri ucu kaynatıldıktan sonra herhangi bir dış koruyucu içine yerleştirilsin veya yerleştirilmesin (+) ve (-) bacaklar birbirinden izole edilir. Termokupl eleman tellerinin sürekli ve maksimum çalışabileceği sıcaklık limitleri eleman teli çapına göre değişir. Eleman tel çapı kalınlaştıkça maksimum çalışma sıcaklık değeri artar. Kalın çaplı tel ince tele göre daha uzun ömürlü olur. Ancak seçilecek tel çapı sürekli ve maksimum sıcaklığa bağlı olarak algılama hassasiyeti ve dış koruyucu boru çapları göz önüne alınarak seçilmelidir. Bu durumu açıklayan eleman, tel çapı, sürekli çalışma sıcaklığı ve maksimum çalışma sıcaklığını gösteren değerler Çizelge 2.9'da verilmiştir (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Çizelge 2.9. Eleman tellerinin çaplarına bağlı olarak çalışabilecekleri sıcaklık değerleri (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Eleman	Eleman Tel Çapı	Sürekli Çalışma Sıcaklığı	Maksimum Çalışma Sıcaklığı
Cu- Konst	0,5 mm	300 °C	600 °C
Cu- Konst	1 mm	300 °C	600 °C
Fe- Konst	0,5 mm	400 °C	600 °C
Fe- Konst	1 mm	600 °C	800 °C
Fe- Konst	1,5 mm	600 °C	800 °C
Fe- Konst	2 mm	700 °C	900 °C
Fe- Konst	3 mm	700 °C	900 °C
NiCr- Ni	0,5 mm	600 °C	800 °C
NiCr- Ni	1 mm	800 °C	1000 °C
NiCr- Ni	1,5 mm	900 °C	1100 °C
NiCr- Ni	2 mm	1000 °C	1200 °C
NiCr- Ni	3 mm	1000 °C	1200 °C
PtRh- Pt	0,35 mm	1300 °C	1600 °C
PtRh- Pt	0,5 mm	1300 °C	1600 °C

2.4.6. Koruyucu kılıflar

Termokupl koruyucu kılıfları proses şartlarına uygun seçilmelidir. Gerek termokupl eleman telinin gerekse de koruyucu kılıfın proses içindeki kimyasal ve fiziksel aşınmalara ve mekanik darbelere karşı dayanıklı olması ve uzun ömürlü olması açısından ortam koşullarına göre dış koruyucu kılıf seçilir. Uçları kaynaklı ve izolatörlü eleman teli bu kılıflar içine

yerleştirilir. Termokupl uygulamalarında genelde 1200°C'ye kadar metal, 1200°C'nin üzerinde ise seramik kılıflar kullanılır (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

2.4.7. Metal kılıflar

Metal kılıflar kullanılacağı prosesin korozif şartlarına, mekanik aşınmalarına, kimyasal ve fiziksel aşındırıcı özelliklerine göre çeşitli alaşımlarda üretilmektedir. DIN standartlarındaki metal kılıfların birçoğu ortak proseslerde kullanılabilir. Buna göre metal kılıf ve standart gösterimleri Çizelge 2.10'da gösterilmiştir (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Termokupl uygulamalarında en çok kullanılan metal kılıflardan bazıları şunlardır:

- ✓ 1.4301 DIN Paslanmaz (304 Kalite)
- ✓ 1.4541 DIN Paslanmaz (321 Kalite)
- ✓ 1.4571 DIN Paslanmaz (316 Kalite)
- ✓ 1.4749 DIN Paslanmaz (446 Kalite)
- ✓ 1.4841 DIN Paslanmaz (314 Kalite)
- ✓ 2.4816 DIN Paslanmaz (INCONEL-600)
- ✓ C-2 Saf demir
- ✓ Alloy-25

Çizelge 2.10. Metal koruyucu kılıfların DIN ve AISI standart kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Metal Kılıf Cinsi	DIN	AISI
1,4301	X5CrNi 18 10	304
1,4541	X6CrNiTi 18 11	321
1,4571	X6CrNiMoTi 17 12 2	316 Ti
1,4749	X18CrN 28	446- 1
1,4841	X15CrNiSi 25 20	314
INCONEL- 600	2,4816	B 166






2.4.8. Termokupl çeşitleri

Termokuplların kullanılacağı proses sıcaklığı 1200°C ve üzeri ise dış koruyucu kılıf olarak genelde seramik tüpler kullanılır. Termokupl uygulamalarında en çok kullanılan seramik kılıflar şunlardır(<http://www.elimko.com.tr/tr>):

- ✓ KER- 530
- ✓ KER- 610
- ✓ KER- 799

Fırınların sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde kullanılan birçok termokupl vardır. Bunlarda tiplerine göre sıralanmıştır (Çizelge 2.11).

Çizelge 2.11. Şekillerine göre termokupl türleri(<http://www.elimko.com.tr/tr>).

Düz tip termokupl örnekleri	L tipi termokupllar
	
Portatif tip termokupllar	Bayonet tip termokupllar
	
Mineral izoleli termokupllar	
	

Termokuplar malzemesi ve kılıfına göre farklı sıcaklık aralıklarında ölçüm yapabildikleri yukarıda açıklanmıştır. Buna göre aşağıda Şekil 2.6'da verildiği gibi farklı tür termokuplar için farklı renk ve kodlarda gösterim bulunmaktadır (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

TİP	İLETKEN CİNSİ		RENK KODLARI					
	(+)	(-)	ULUSLARARASI RENK KODU IEC-584-3	İNGİLİZ BS-1843	AMERİKAN ANSI/MC96.1	ALMAN DIN 43714	FRANSIZ NFC 42324	JAPON JIS C 1610-1981
K	Nikel Krom veya Kromel	Nikel veya Alüminel						
	Demir	Constantan veya Bakır Nikel W						
	Bakır	Constantan veya Bakır Nikel V						
T	Bakır	Constantan veya Bakır Nikel T						
J	Demir	Constantan veya Bakır Nikel J						
N	Silisyum Nikel veya Nikrosil	Magnezyum Nikel-Silisyum veya Nikrosil						
E	Nikel Krom veya Kromel	Constantan veya Bakır Nikel E						
R	Platin %13 Rodyum	Platin						
S	Platin %10 Rodyum	Platin						
B	Platin %30 Rodyum	Platin %30 Rodyum						

Şekil 2.6. Termokuplar kablo kodları (<http://www.elimko.com.tr/tr>).

2.5. Fırın Kontrol Cihazları

Seramik fırınlarında pişirilecek olan malzemenin en iyi şekilde pişmesi ve teknolojinin gerektirdiği özellikleri kazanması ancak fırın sıcaklık kontrolünün düzenli yapılması ve sıcaklığın belirli bir düzeyde tutulması ile olur. Buna göre fırın türü nasıl olursa olsun, fırının yanmasını kontrol eden ve sıcaklığı ölçen sistemler kullanılır. Çoğu zaman iyi bir sıcaklık kontrolü için, çeşitli türdeki araçlar aynı fırında bir arada kullanılır (Glatzmaier ve Koc, 1995).

Fırın sıcaklık kontrolünde kullanılan gelişmiş (PID, ON/OFF) kontrol, yüksek hassasiyet ve kararlılık, geniş alternatifli donanım seçenekleri, çok amacı programlanabilme ve kolay kullanım özelliklerini sahip olması kontrol açısından önemlidir. Universal Güç- Kaynağı ve RS485 iletişim modülü veya benzeri özelliklere sahip olmalı ki böylece standart bir MODBUS iletişim ağına bağlanabilmeli ve bu ağ üzerinden, veri aktarılabilir ve kontrol

edilebilir olması üstün özellik kazandırır. Aşağıda örnek bir PID kontrol ünitesi (Şekil 2.7). Ve buna ait teknik özellikler Çizelge 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Örnek bir PID kontrol iletişim modülü (Glatzmaier ve Koc, 1995).

Çizelge 2.12. PID kontrol iletişim modülü (OC990) teknik özellikleri (Glatzmaier ve Koc, 1995).

TEKNİK ÖZELLİKLER			
Besleme Gerilimi	100- 240 V _{ac/dc} : %10- %15	24 V _{ac/dc} : +%10- %20	
Güç Tüketimi	5W, 8V		
Analog Giriş (AI)	Termokupl (B, E, J, K, L, N, R, S, T, U), Rezistans Termometre (Pt100)		
Analog Giriş Empedansı	Termokupl: 10 MW		
Analog Çıkış (OU)	Akım: 0/4- 20mA, 20- 4/0mA (Yük empedansı ≤ 500W)	Gerilim: 0/2- 10V, 20- 2/0V (Yük empedansı ≥ 1 MW)	
Dijital Çıkışlar (DO1, DO2)	NO Kontak: 250 V _{ac} 3A	NO Kontak: 250 V _{ac} 3A	Pulse: 24 V _{dc} 20mA
Kontak Ömrü	Yüksüz: 10 000 anahtarlama, 250V 3A Rezistif yükte: 100 000 anahtarlama		
Hafıza	100 yıl, 100 000 yenileme		
Doğruluk	± %0,2		
Örnekleme Zamanı	100 ms		
Ortam Sıcaklığı	Çalışma: -10...+55°C, Depolama: -20...+65°C		
Koruma Sınıfı	IP20		
Ölçüler	Genişlik: 96mm, Yükseklik:96 mm, Derinlik: 110mm		
Pano Kesim Ölçüleri	92 ±0,5mm x 92 ±0,5mm		
Ağırlık	430 g		

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında özellikle gelecekte yapılması planlanan oksit tozlarından karbür tozlarının üretilmesinde ilk adım olan ön kaplama işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlayacak bir fırın tasarlamak ve fırının imalatını yapmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için yapılmış olan çalışmalar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Fırın tasarımı için önce bazı temel kriterler tespit edilmiştir. Bunlar:

1. Fırın içi maksimum sıcaklığının 1200°C ye çıkabilmesi,
2. Fırının yaklaşık 168 cm³ bir hacme sahip olması,
3. Fırın 600-700°C sıcaklık aralığında uzun süreli çalışabilmeli
4. Fırın dış yüzey sıcaklığının 90°C sıcaklığı geçmemesi,
5. Vakum atmosferi ve gaz koruma atmosferinin sağlanabilmesi,
6. Dönme hareketinin sürekliliğinin sağlanması,
7. Tüm parçalarının paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş olmasıdır.

Tez çalışması planında fırın imalatı ve yapılacak deneysel çalışmalar için gerekli olan malzemeler aşağıda sıralanmıştır.

- Hassas terazi ve Archimed seti
- Ön kapama fırını dış kasa ve iç fırın için paslanmaz çelik sac
- Argon gazı ve manometreleri
- Propilen(C₃H₆) gazı ve manometreleri
- K tipi harici termokupl (3 adet)
- PID göstergesi (Kontrol ünitesi)
- Elektrik motoru (redüktörlü)
- Hız kontrolcü (Driver)
- Avometre
- Azot gazı ve Azot tüpü

- K tipi Cr-Ni rezistans
- SiO₂, Kolloidal silika

3.1. Fırın İmalatında Kullanılan Materyaller

3.1.1. K tipi harici termokupl (Ø 1mm)

Termokuplar basit, sağlam ve düşük maliyetli oldukları için endüstride en sık kullanılan sıcaklık ölçüm sensörleridir. Bir termokupl 2 farklı iletken telin birlikte uç kısmında kaynatılmasıyla oluşur. Kaynatılan nokta sıcak nokta, açık kalan 2 uç ise soğuk nokta (veya referans noktası) olarak adlandırılır.

3.1.2. PID göstergesi (kontrol ünitesi)

PID kontrolcüler proportional, integral ve derivative kontrol işlevlerini gerçekleştirmektedir. Bugün endüstride çok geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. PID kontrolcülerini akış, sıcaklık, seviye, basınç ve diğer proses değişkenlerini düzenlemek ve regüle etmek için kullanılır. Kontrolcülerin uygulamalarını P, I ve D modları tanımlar.

3.1.3. Hız kontrolcü (Driver)

Hız kontrolcü ile 50-220V arasındaki AC motorun hızı rahatlıkla kontrol edilebilir. Yüksek verim, yüksek tork, düşük ısı üreten bir karttır. Ters polarite koruması, yüksek akım korumasına sahiptir.

3.1.4. İkili manometre

Pnömatik yani hava basıncı ile çalışan sistemlerde kullanılan havanın basıncını ölçmek için kullanılır. İçinde dolaşan havanın basıncına göre uzayıp kısalabilen bir boru, bağlı bulunduğu mafsal sistemiyle ibreyi hareket ettirmektedir. Boru yay gibi esnemekte ve böylece farklı basınç değerlerini, göstermeye yardımcı olmaktadır. Mafsalın boru şeklindeki yayın esnemesi sonucu aşağı yukarı hareket bir dişli sistemiyle dairesel harekete dönüştürülür ve ibrede sapmalar görülür. Basıncın değeri, skaladan ibrenin gösterdiği değer olarak okunur.

3.1.5. Argon ve tüpü

Argon, bir soygaz olup, atmosferde kimyasal tepkisizlik gösteren özelliği sayesinde yüzeylerde oksitlenmeyi önler. Bütün istenmeyen gazların veya buharın süpürülmesi veya yastıklanması ile korunması uygulamalarında kullanılır. Zehirli değildir. Yanma proseslerini

desteklemez. Koruyucu atmosfer veya ortam temizleyici olarak bu çalışmada kullanımı gerçekleştirilecektir.

3.1.6. Rezistans 1200°C için K tipi Cr-Ni

Rezistans, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren direnç tellerine verilen genel isimdir. Rezistans oldukça yüksek ısılara karşı direnç gösteren bir üründür. Rezistansların içerisinde nikel, demir, krom ve alüminyum alaşımları bulunmaktadır. Rezistans, başta ısınma teknolojisi olmak üzere ağır sanayi, tekstil, elektrikli ev aletleri, termostatlar gibi alanlarda oldukça önemli bir yere sahiptir. Rezistans seçiminde belirli bir güçte çalışmakta olan rezistans elemanında gücün rezistans yüzeyine yayıldığını düşünülürse, birim yüzeye isabet eden bir güç miktarı vardır. W/cm^2 elemanın radyasyon yolu ile ısı vermesinde temel faktördür. Verilen bir çalışma gücünde birim yüzeye yüklenen gücün büyüklüğü doğrudan aşağıdaki noktalara bağlıdır.

1. Rezistans elemanının çapına ve uzunluğuna bağlıdır (W/cm^2 büyüdükçe tel çapı küçülür, metraj azalır).

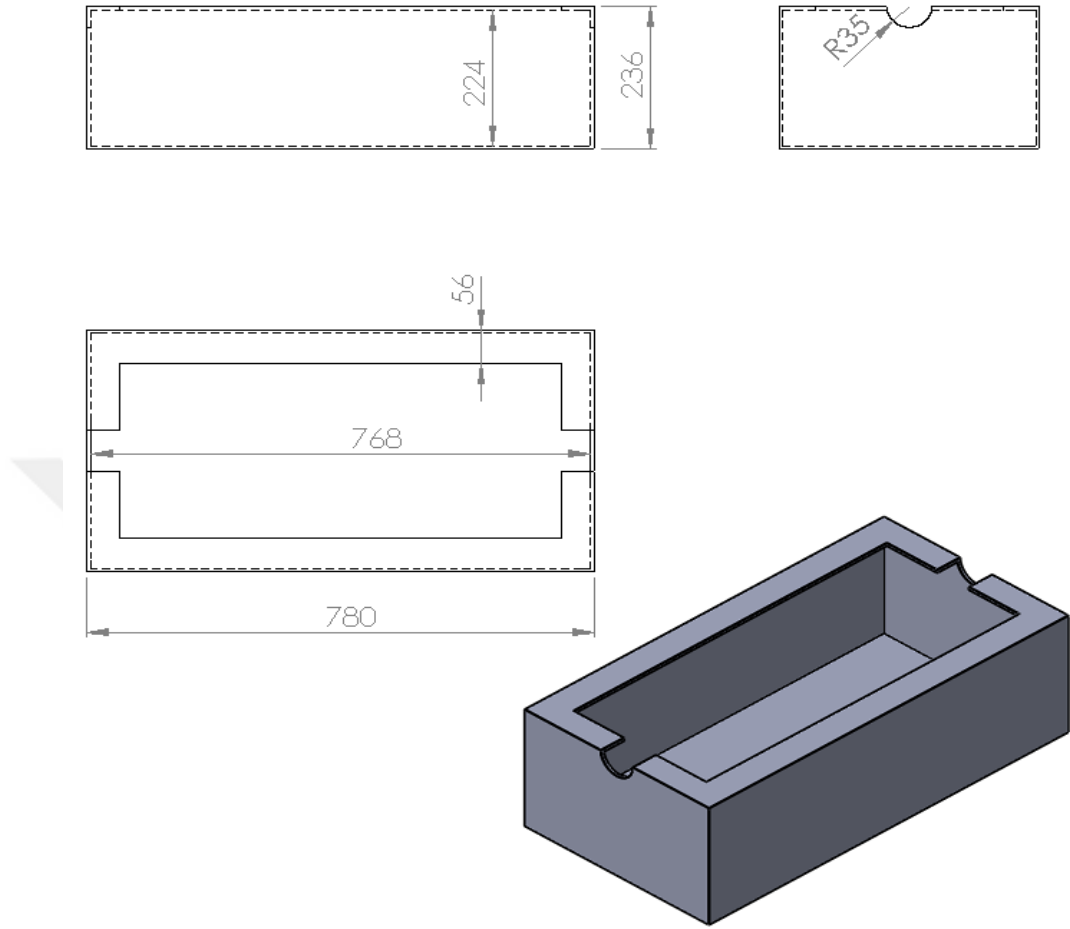
2. W/cm^2 büyüdükçe tel sıcaklığı yükselir. Fakat çekilen güç sabit kaldığından W/cm^2 'nin her büyüklüğü için çevreye verilen kalori sabittir.

3. W/cm^2 büyüklüğü yükseldikçe telin ömrü azalır. Yüksek sıcaklıklara çıkabilmek için özel rezistanslar kullanılır. Bunun en önemli nedeni ise; zamanla rezistans da yığılma ve kopmaların gerçekleşmesidir(<http://www.tetcis.com.tr/>).

Tasarlanan fırından istenilen sıcaklığa göre birim yüzeye yüklenen gücü seçmek gerekmektedir. Tasarlanan fırında K tipi Cr-Ni tipi rezistans telleri 3.2 mm çapında kullanılmıştır.

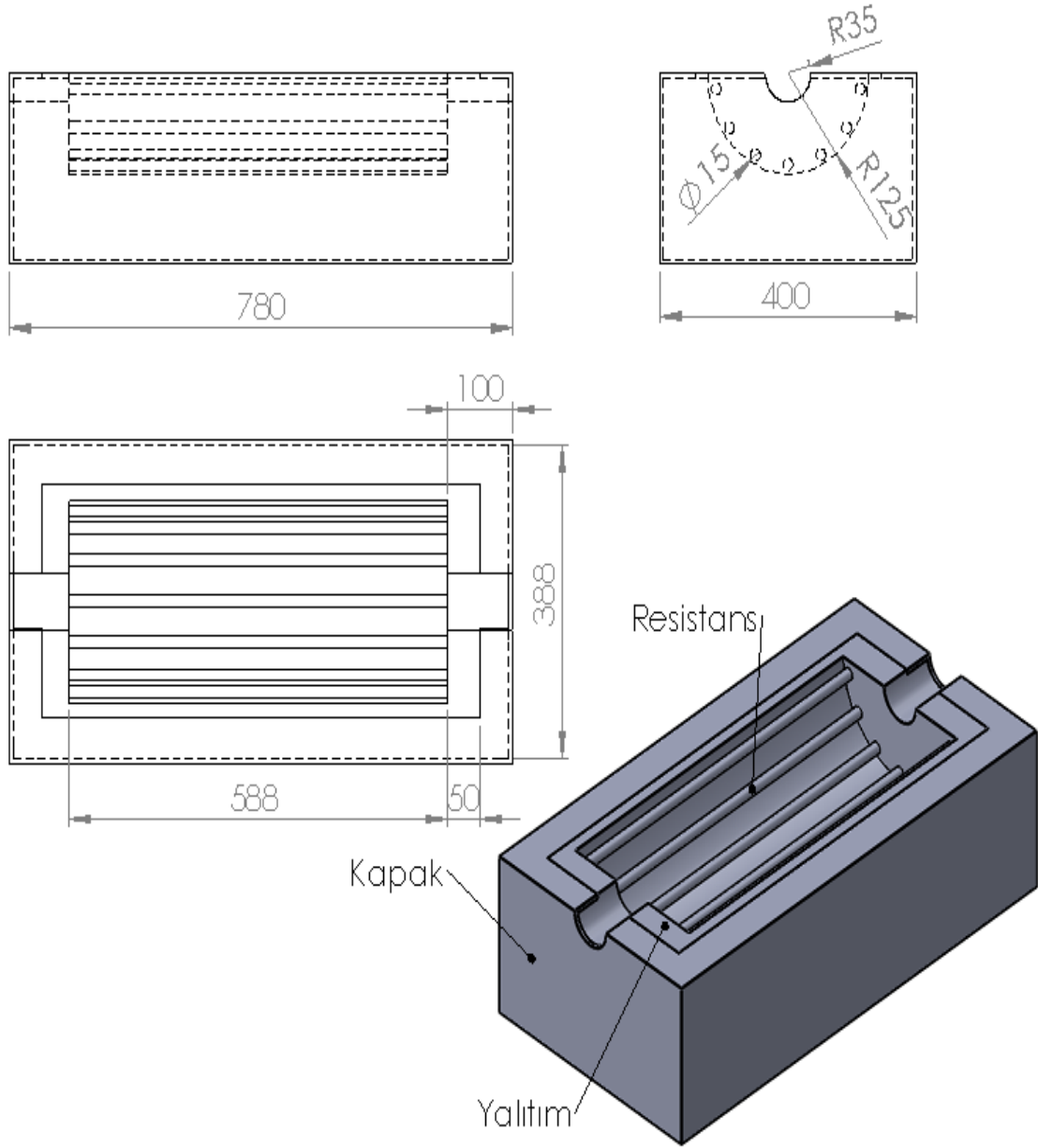
3.2. Fırının Tasarım ve İmalatı

Fırının tasarım aşamaları ve tamamlanmış fırın üzerinde çalışma prensibi aşağıda Solidworks ile çizilen katı model üzerinde kısaca açıklanmaya çalışılmıştır. Tasarımlar Solidworks 2012 programı kullanılarak iki boyutlu ve daha sonra üç boyutlu çizimleri yapılarak tasarlanmıştır. Yapılan tasarım aşamaları aşağıda sırası ile verilmiştir. Şekil 3.1'de fırının rezistanslarının konulacağı ve iç fırının dönme hareketinin sağlanacağı dış fırın haznesi alt ve üst parçaları görülmektedir. İki parça halinde olan bu dış fırın haznesi menteşe ile birbirine bağlanacak ve açılır kapanır olacaktır. Tasarım ve imalatta kullanılan tüm parçalar 316 paslanmaz çelik malzemeden yapılmıştır.



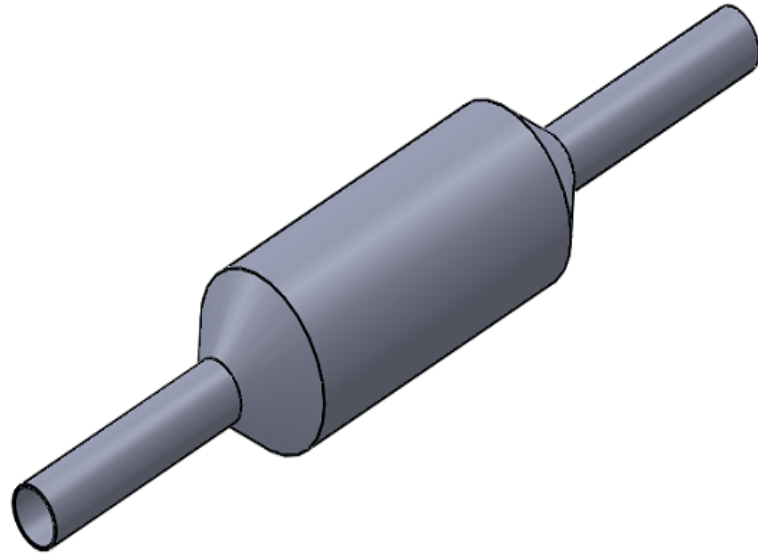
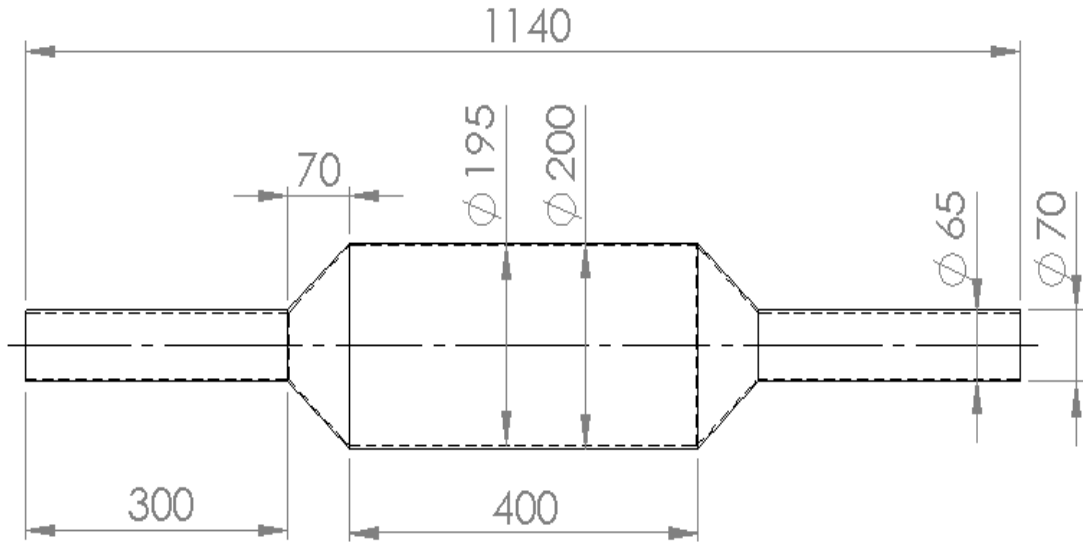
Şekil 3.1. Fırının rezistanslarının konulacağı dış fırın haznesi ve parçaları tasarımı.

Dış fırın hazneleri yapıldıktan sonra bunlar içerisine yerleştirilecek olan rezistans yerleri solidworks tasarımı ile projelendirilmiştir. Yine bağlantı rezistans yerleri ve pozisyonları iki adet olacak şekilde tasarım tamamlanmış ve katı modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.2).



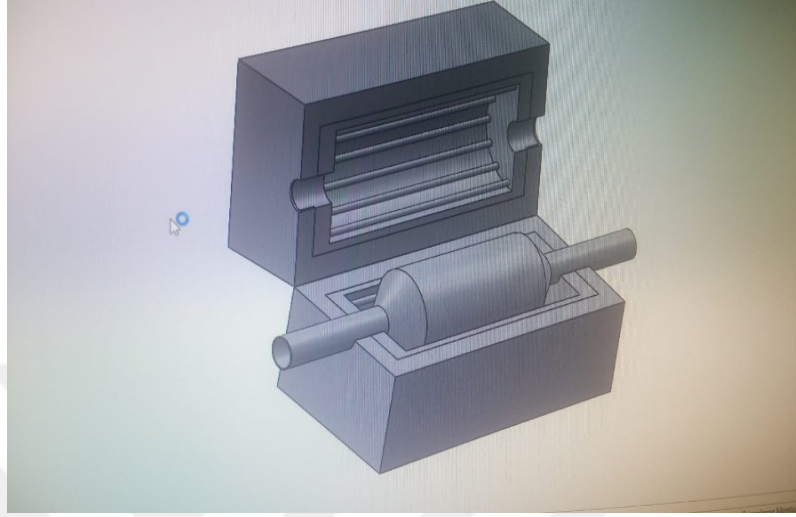
Şekil 3.2. Dış fırın haznelere yerleştirilen rezistans yerleri ve pozisyonları tasarımı.

Fırın dış haznelерinin tasarımından sonra tozların içine yerleştirileceği ve tozların hidrokarbotermal reaksiyonla ön kaplamasının yapıldığı paslanmaz çelik tüp hazne tasarlanmıştır. Fırın tüpü ortasında daha büyük çaplı bir karın kısmı oluşturulmuştur. Tasarlanan paslanmaz çelik tüp hazne resim ve solidworks katı modeli de aşağıda Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

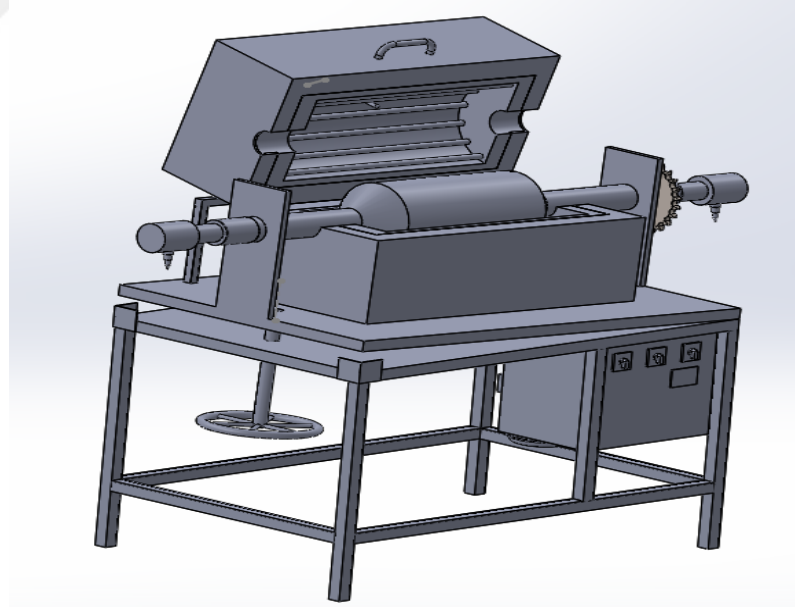


Şekil 3.3. Tozların karbotermal reaksiyonla kaplanmasının yapıldığı paslanmaz çelik tüp hazne tasarımı.

İç tüp hazne kısmının yerleştirileceği bir sehpa ve tozların dönme hareketini ve boşaltma kısmına doğru hareketini sağlayacak bir eğim aparatı yerleştirilerek tasarım tamamlanmıştır (Şekil 3.4a). Bu tasarımlar ve montajlanmış halleri solidworks katı modeli olarak Şekil 3.4b’de verilmiştir.



(a)



Şekil 3.4. Fırının a) İç tüp hazne kısmının yerleştirilme tasarımı ve b) montaj yapılmış fırının solid katı modeli.

Tasarımı tamamlanan fırın aşağıda gösterilen imalat aşamalarında geçirilmiş ve imalata yapacak firma ile sürekli görüşmeler yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Fırın tamamen paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Isı yalıtımı için refrakter tuğla ve 1450°C ısı dirençli 4 cm kalınlığında Alümina battaniye kullanılmıştır. Rezistanslar 3.2 mm çapında Cr-Ni alaşımı K tipi rezistans kullanılmıştır. Fırın üzerine 1200°C ye kadar ayarlanabilen kontrol özellikli PID kontrol ünitesi yerleştirilmiştir. İç tüp haznenin dönme hareketini gerçekleştirmek için 1.75 kW gücünde redüktörlü elektrik motoru kullanılmış ve 30dv/dak hız ile sabit dönme hareketi kazandırılmıştır. Ayrıca gaz girişlerinde dönme hareketi olacağı için rotary gaz giriş elemanı ve çıkış elemanı kullanılmıştır. Bunların sızdırmaz özellikte olması büyük önem arz etmektedir.

Tozların hem dönme ile serbest düşme hareketi yaparak propilen gazı ile teması sağlanmış olacak ve hem de tablaya verilen eğim ile de tozların 3 boyutlu olarak hareketine katkı sağlanmış olacaktır. Böylece tozlar kaplama süreci sonunda iç tüp haznesinin sonuna biriktirilmiş olacaktır.

Aşağıdaki Şekil 3.5'de fırın imalatında kullanılan malzemeler ve aşamaları gösterilmektedir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3.5. a) Alüminyum battaniyenin yerleşimi, b) Rotary gaz elemanı ve c) Rezistansların yerleştirilmiş hali.

Fırının yerleştirileceği platform olarak bir masa tipi altlık tasarlanmıştır. Bunun üzerine fırın yerleştirilecek olup, dönme hareketi ve tablaya eğim verilecek mekanizma bunun üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.6). Esas olarak fırın üç ana kısımdan oluşturulmuştur. Bunlar ana dış fırın, ikincisi reaksiyonun gerçekleşeceği paslanmaz çelik tüp hazne ve bunları taşıyacak ve kontrol ve hareketini sağlayacak olan alt platformdur. İmalatı gerçekleştirilen ön kaplama fırını komple tamamlanmış halde aşağıda görülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Fırının ve diğer tüm parçaların yerleştirileceği masa tipi platform.



Şekil 3.7. İmalatı gerçekleştirilen ön kaplama fırını ve kullanılacak argon ve propilen gazı.

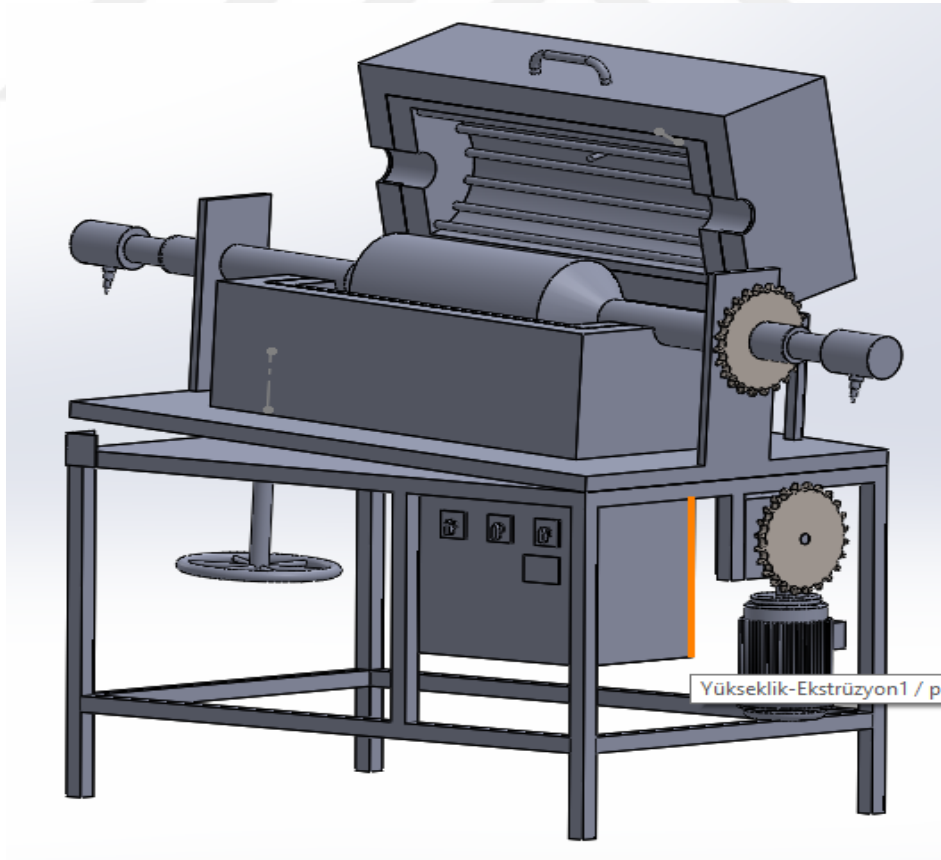
Bu tez çalışmasının yürütülebilmesi için gerekli olan tüm malzemeler ve tasarım ve imalatı yapılan ön kaplama fırını Şekil 15'de birlikte verilmiştir. Bunlar; hassas terazi, archemed seti, pilot çalışmada kullanılmak üzere alınan koloidal Silika (nano SiO₂) tozları, Argon gazı ve monometreleri, Propilen gazı tüpü ve monometreleri ile tasarım ve imalatı yapılan ön kaplama fırını seti komple set olarak laboratuara yerleştirilmiş halde görülmektedir. Bu set Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 402 nolu Laboratuvarına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, makine mühendisliği bölümü 402 nolu laboratuvarına yerleştirilen proje seti.

Tez çalışması kapsamında tasarım ve imalatı gerçekleştirilen ön kaplama fırının çalışma prensibi aşağıda solidworks katı modeli üzerinde açıklanmaya çalışılmıştır (Şekil 3.9). Fırın içerisine deneme amaçlı yerleştirilecek olan SiO₂ tozları stekiometrik oranda hesaplanarak hassas terazide tartılacak ve iç tüp hazne içerisine tam orta karın kısmına gelecek şekilde taşıma kepeci kullanılarak (Paslanmaz çelikten fırın içerisine girecek şekilde imal edilmiştir) dolun yapılacaktır. Daha sonra iç tüp haznenin sağ tarafındaki rotary gaz giriş elemanı yerine bağlanacak, dönme hareketi için redüktör zinciri yerine takılacaktır. Bundan sonra sol başta bulunan rotary gaz giriş elemanı üzerine montajlanan iki adet vananın birisinden Argon gazı verilerek tüp içi ortamı tamamen havadan arındırılacaktır. Bu esnada fırın rezistansları çalıştırılarak fırın sıcaklığı istenen (500°C-700°C) sıcaklığa ve süreye ayarlanacaktır. Fırın

sıcaklığı set edilen değere ulaştıktan sonra motor ve redüktör sayesinde dönme hareketi başlayacak, bu esnada da sol başta bulunan rotary gaz giriş başlığından Argon gazı üç kez 2 dakika açılıp kapatılarak fırın ortamı havadan arındırılıp, süpürülecektir. Böylece tam oksijensiz bir atmosfer elde edilmiş olacaktır. Bu temizleme işleminden sonra propilen gazı vanası açılıp içerisinde 5 dakika süre ile C_3H_6 gazı ile tam dolumu sağlanmış olacaktır. Bu esnada fırın PID kontrolden istenen ($500^{\circ}C-700^{\circ}C$) sıcaklığa ayarlanacak ve bu sıcaklıkta ortam basıncının 3.5 bar 1 geçmeden SiO_2 tozları ile C_3H_6 gazlarının reaksiyonu sağlanmış olacaktır. Parçalanmış propilen gazı SiO_2 yüzeyini kaplamış olacak ve böylece ön kaplama gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu işlemler esnasında taşıyıcı tablaya verilen 15 derecelik açı, propilen gazı ve ayarlanan sıcaklıkta yine belirlenen sürede (30 dak-1 saat) aralığında reaksiyon gerçekleştirilecek ve süre sonunda tekrar ortam argon gazı ile süpürülerek tehlike ortadan kaldırıldıktan sonra fırının içerisinde yine taşıyıcı kepçe ile tozların boşaltılması sağlanacaktır. Böylece SiO_2 tozlarının ön kaplama işlemi tamamlanmış olacaktır. Bu aşamadan sonra kaplamanın gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek amacıyla diğer XRD, SEM-EDS analizleri gerçekleştirilecektir.



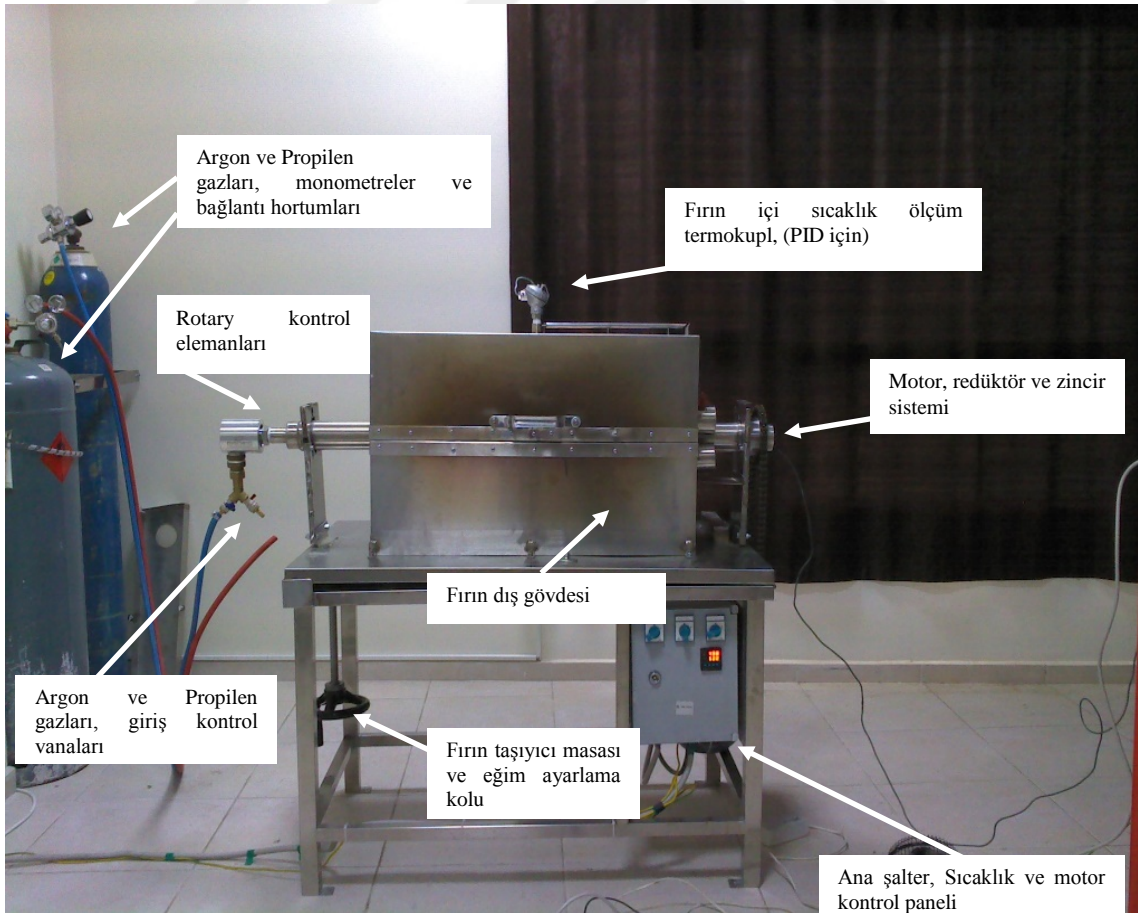
Şekil 3.9. Tasarım ve imalatı yapılan ön kaplama fırının son hali.

4. DENEY SONUÇLARI

Tez çalışmasının amaçlarından en önemlisi bir ön kaplama fırınının tasarımı ve imalatıdır. Diğer amaçları ise fırının kalibrasyonu ve bir oksit tozundan karbür tozu üretmek için pilot bir toz ön kaplaması yapmaktır. Bu kapsamda yapılmış olan çalışmaların sonuçları aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1. Fırının Tasarım ve İmalatı

Deneysel çalışmalar kısmında da ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, tezin amaçlarına uygun olarak geliştirilen ön kaplama fırınının (Pre-coatingfurnace) tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarım ve imalatı yapılan fırının son hali Şekil 4.1'de görülmektedir. Fırının bölümleri de üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarımı ve imalatı yapılan fırının son hali ve bölümleri.

Fırını oluşturan bölümler:

- Fırın dış ana gövdesi,
- Fırın iç reaksiyon tüpü,
- Fırın taşıyıcı masası,
- Fırın açma ayar kolu ve tabla bölümü,
- Rotary gaz geçiş vanaları,
- Motor, redüktör ve dişli zincir seti,
- Termokuplar,
- Kontrol paneli,
- Argon tüpü, monometre, hortum ve vana seti,
- Propilen gazı, monometre, hortum ve vana setidir.

Bu bölümlerin kısaca açıklamaları:

- ✓ Fırın dış ana gövdesi

Bu ana gövde 780x448x400 mm boyutlarında ve 1.5mm kalınlıkta 316 paslanmaz çelik sacdan plastik şekil verme ve kaynaklı ve perçinle birleştirmeler kullanılarak imalatı yapılmış bir fırın dış kasasıdır. Bu bölüm içerisine 1450°C ısı dayanım özelliği olan MgOrefrakter tuğla ve Alümina (Al_2O_3) battaniye kullanılarak ısı yalıtımı sağlanacak şekilde imal edilmiştir. Daha sonra içerisine seramik tüpler kullanılmış ve bunların üzerine de her biri 20 Amper kapasiteli 3.2 mm kalınlıkta K tipi rezistans teller kullanılarak 380 volt ve 60 amper kapasiteli güçlü bir fırın elde edilmiştir. Bu kısım alt ve üst olmak üzere iki parçadan meydana gelmiştir. Buda gerekli olduğu durumlarda fırın iç reaksiyon tüpünün rahatlıkla yerine konulup dönmesi ve çıkartılıp numunenin rahatlıkla alınması amacıyla bu şekilde tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

- ✓ Fırın iç reaksiyon tüpü

Bu kısım ise asıl reaksiyonun gerçekleştirileceği kısım olup, yine 316 paslanmaz çelik malzemeden plastik şekil verme ve kaynak yöntemleri kullanılarak imal edilmiştir. Bu tüp 1140

mm uzunluğunda, 70 mm çap ve 200mm karın kısmından oluştuğunda dönme esnasında stabil bir dönme hareketi için iki ucundan bilyeli olarak yataklanmıştır. Ayrıca iki ucuna da dönme esnasında hem gaz geçişi ve hem de sızdırmazlık sağlama özelliğine sahip rotary elemanları montaj edilmiştir. Dönme hareketinin sağlanması amacıyla motordan alınan hareketin aktarılması için sağ uç kısmına ayrıca dişli kaynak edilmiştir.

✓ Fırın taşıyıcı masası

Fırın gövde ve tüm elemanların taşıyıcısı rolüne olan masada yine 316 paslanmaz çelik malzemede boru profil ve 2 mm paslanmaz çelik saç levha kullanılarak imal edilmiştir. Üzerine fırının dönme hareketi esnasında daha homojen bir karışım ve reaksiyon oluşması için montaj edilen bir tabla daha bulunmaktadır. Bu tabla da bir taraftan menteşeli ve diğer taraftan da istenilen açıda eğim vermek için bir vidalı kaldırma kolundan oluşmaktadır. Bu sayede istenen açıda eğim verilerek toz karışım ve reaksiyonların gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

✓ Fırın açma ayar kolu ve tabla bölümü

Bu parçada yine paslanmaz çelik malzemeden üretilmiştir. Parçanın amacı, fırın iç reaksiyon tüpünün dönme hareketi esnasında daha homojen bir karışım ve reaksiyon oluşması için montaj edilen bir tabladır. Tabla ve bu tablayı istenilen açıda yukarıya kaldırmaya yarayan vidalı bir koldan ibarettir.

✓ Rotary gaz geçiş vanaları

Bu vanalar dönme esnasında fırın dönerken, kendileri sabit kalarak hem gaz geçişi ve hem de dönme hareketini sağlamaktadırlar. 200°C ye kadar sıcaklıklarda gaz sızdırmama özelliği taşıyan bu önemli parçalar, kullanım esnasında sıcaklık yükselme basınç artışı ve alev ile temastan korunması gerekmektedir.

✓ Motor, redüktör ve dişli zincir seti

Dönem hareketinin sağlanması için gerekli olan elektrik motoru 1.75 kW gücünde tek fazlı 220 V bir motordur. Redüktörlü olan bu motor 30 dev/dak değerinde bir dönme hareketi vermektedir. Dönme hareketinin fırın iç reaksiyon tüpüne aktarılması için bir dişli ve zincir mekanizması da ilave edilerek imalatı gerçekleştirilmiştir.

✓ Termokuplar

Fırının istenilen sıcaklığa ayarlanabilmesi ve o sıcaklıkta kalabilmesinin sıcaklık değerlerini PID kontrol cihazına gönderen K tipi bir termokupldur. Ayrıca aşağıdaki bölümde

de açıklanacağı gibi fırın dış yüzey sıcaklığı, fırın iç reaksiyon tüpü sıcaklığı ve ortam sıcaklıklarını da ölçmek amacıyla farklı üç adet daha k tipi termokupl kullanılmıştır. Termokuplarda metal paslanmaz çelik kılıflar kullanılmıştır.

✓ Kontrol paneli

Fırına elektriğin bağlantısı ana şalter, motor kontrol ve fırın rezistanslarının kontrolünün sağlanması amacıyla fırın taşıyıcı masasına montaj edilmiştir bir kontrol dolabıdır. Üzerinde PID kontrol paneli ve üç adet de şalterden oluşan bir dış panel yüzeyinden oluşmaktadır.

✓ Argon tüpü, monometre, hortum ve vana seti

Prototip deneyleri yapmak amacıyla sisteme dahil edilen argon gazı sanayi tipi yüksek saflıkta bir gazdır. Özellikle deneylerde fırın iç reaksiyon tüpünün havadan arındırılması ve temiz ve kuru bir fırın iç atmosferinin oluşturulması için çok önemli bir parçadır. Ayrıca üzerinde iki çıkışlı bir monometre bulunmaktadır. Bunlardan tüpe yakın olan tüp içi basıncını ve hortumlara yakın olanda fırına gönderilen gazın kullanma basıncını göstermektedir. Bu ise monometre üzerinde bulunan bir vana sayesinde sağlanmaktadır. Tüpten çıkan gaz hortumlar sayesinde önce giriş vanalarına ve oradan da rotary gaz geçiş elemanlarına ve oradan da fırın iç reaksiyon tüpüne ulaştırılmaktadır.

✓ Propilen gazı, monometre, hortum ve vana seti

C_3H_6 olarak gösterilen ve yanıcı ve patlayıcı özelliğe sahip olan bu gaz tüp içerisinden sıvı ve gaz çıkışına imkân sağlayan iki vana ile kullanıma gönderilmektedir. Biz çalışmamızda gaz olarak kullanmak durumunda bulunduğumuzdan buna uygun monometreler ve hortumlar kullanılmıştır. Yine yukarıda argonun kullanımında açıklandığı gibi yine aynı yolu ve aşamaları geçerek fırın iç reaksiyon tüpünde kullanılmaktadır.

4.2. Fırın Kalibrasyonu

Tez çalışmasının amaçlarına uygun olarak imalatı gerçekleştirilen ön kaplama fırını çalıştırıldı ve fırının iç ve dış sıcaklıkları farklı sıcaklık ve sürelerle bağlı olarak $500^{\circ}C$ 'ye kadar ölçüldü. Kalibrasyon aşamasında, harici sıcaklık ölçümleri yapılabilmesi için infrared, k-J tipi harici termokupl ve termal kamera temin edilerek gerekli ölçümler yapılmaya çalışılmıştır.

Fırının sıcaklıklarının kalibre edilebilmesi amacıyla öncelikle fırın üzerinde bulunan PID kontrol ünitesi üzerinde $500^{\circ}C$ sıcaklık set edilmiş ve fırının $500^{\circ}C$ 'ye ulaşması beklenilmiştir. $10^{\circ}C$ /dak hızla ısıtılmış ve fırın set değerine geldiğinde öncelikle $514^{\circ}C$ 'ye kadar yükselmiştir. Ayarlanan sıcaklığa inmeye başladığında önce $499^{\circ}C$ 'yi görmüş daha sonra

500°C-5003°C aralığında sabit kalmış fırın sıcaklığı rejime girmiştir. Bu sıcaklıkta $\pm 2^\circ\text{C}$ ile fırın stabil çalışmıştır. Bu ise fırının bu proje için hedeflenen sıcaklık aralıklarında kararlı ve yeterli olduğu anlamında gelmekte, başarıya ulaşıldığı da söylenilebilir. Daha sonra fırın set edilen değer ile fırın iç atmosferinin aynı olup olmadığını belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için harici farklı sıcaklık ölçüm deneylerinin yapılması gerektiği belirlenmiştir.

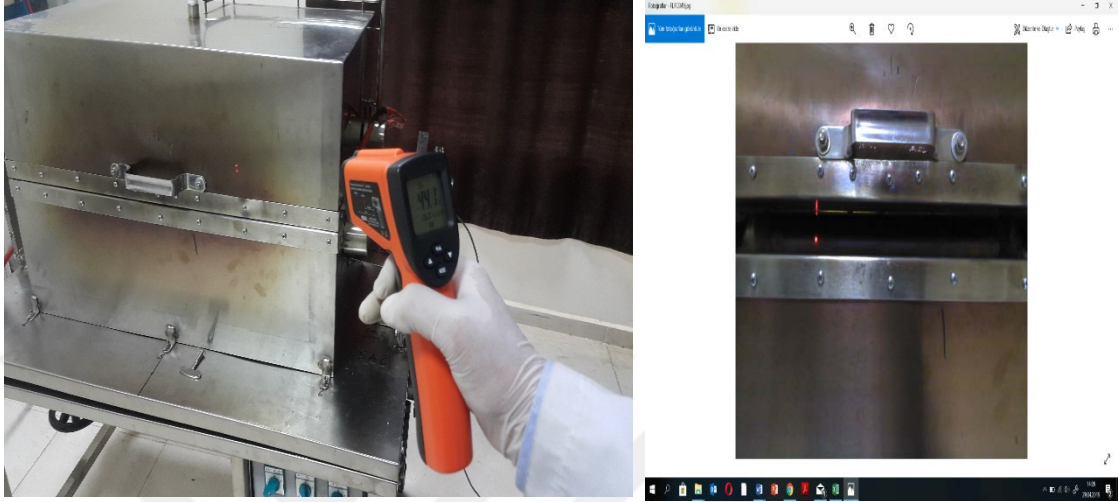
Harici sıcaklık ölçümleri farklı birçok yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında üç farklı ölçüm tekniği kullanılmıştır.

1. Infrared sıcaklık ölçüm cihazı

Infrared ölçüm cihazı DT8016H serisi bir cihaz olup -50°C ile $+1600^\circ\text{C}$ aralığında ölçüm yapabilecek kapasitede portatif bir cihazdır. Cihaz Şekil 4.2’de görülmektedir. Termometre ile sürekli olarak hem fırın üzerinden ve hem de fırın içerisinden ölçümler almaya çalışılmıştır. Bu durumlarda Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

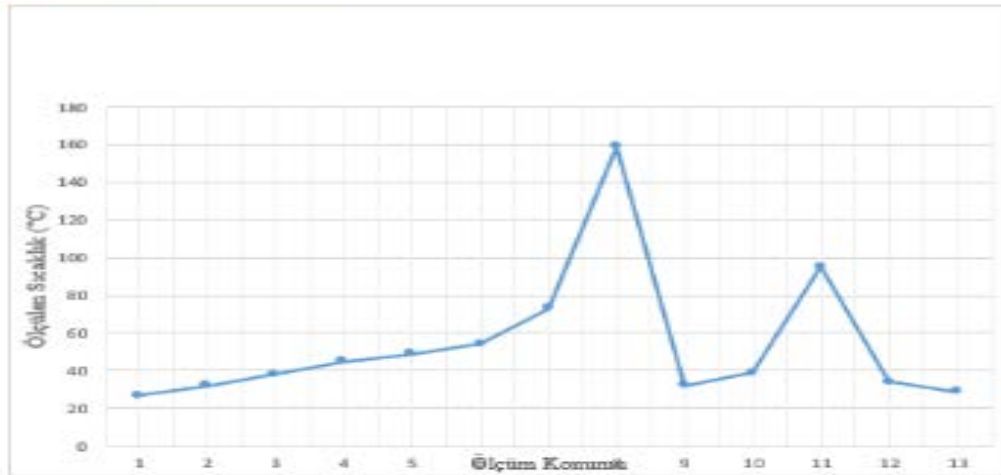
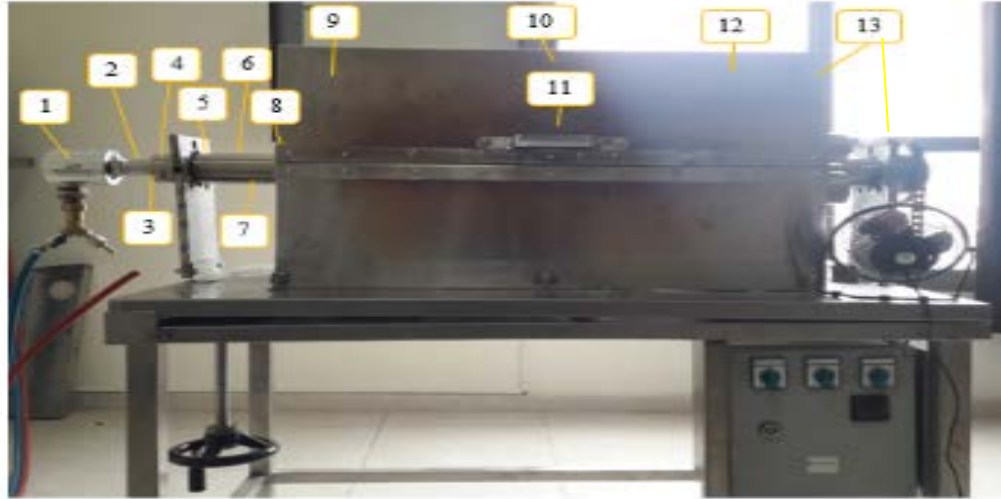


Şekil 4.2. Infrared ölçüm cihazı.



Şekil 4.3. Infrared ölçüm cihazı ile hem yüzey ve hem de içten sıcaklık ölçümlerinin alınması.

Burada fırın set edilen değere yani 500°C 'ye ulaşmış olmasına rağmen, iç kazanın 490°C 'ye ulaşması yaklaşık 40 dakikayı bulmuştur. Bu ise bizim deney sıcaklığına başlamamız için set edilen değere ulaşır, 40 dakika daha bekledikten sonra deney yapma sıcaklığını başlatmamız gerektiğini göstermektedir. Aşağıda Şekil 4.4'de infrared termometre ile yapılan farklı bölgelerin sıcaklıkları ve ölçüm bölgeleri görülmektedir. Bu değerler fırın kapağı kapalı iken alınan fırın dış yüzey sıcaklıklarıdır. Burada 8 nolu bölgeden alınan sıcaklık değeri fırın yaz boşluğundan alınan değerdir. Bu değerlerde bize fırın iç sıcaklığının 500°C olmasına rağmen yüzeyde yaklaşık 1.5 saat sonra ölçülen değerlerin 100°C 'nin altında olduğunu göstermektedir. Bu da çalışma açısından bir olumsuzluk oluşturmayacaktır.



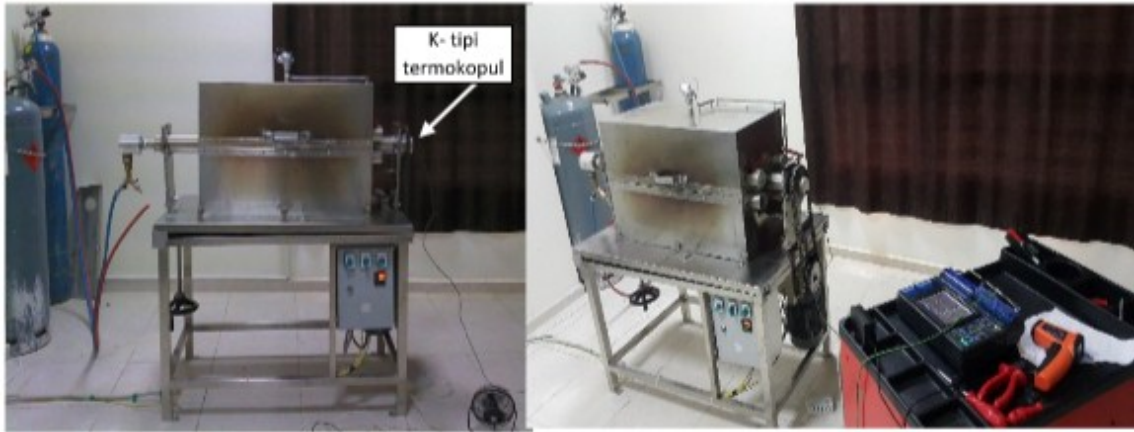
Şekil 4.4. Infrared termometre ile yapılan farklı bölgelerin sıcaklıkları ve ölçüm bölgeleri.

2. K tipi termokupl harici sıcaklık ölçüm cihazı;

Bu ölçüm yönteminde ise, Fırının yan tarafından rotary gaz giriş elemanı sökülmüş ve içeriye kazanın tam ortasına gelecek şekilde termokupl uzatılmıştır (Şekil 4.5). Termokuplun diğer ucu ise ölçüm verilerini alabilmek amacıyla aşağıda Şekil 4.6' de görülen Hioki marka data logger a bağlanmış ve veriler anlık olarak alınmıştır. Hioki data logger üzerinde alınan anlık sıcaklık değerlerinde ölçüm esnasında 405.4°C sıcaklık değeri görülmektedir (Şekil 4.6). Data loger üzerinde 2-4 olarak görülen bu değer fırın sıcaklığının 500°C olduğu anda alınır ve sürekli artış gösterdiği bir sıcaklıktır. Bu değerın ayarlanan fırın sıcaklığı değerine ulaşamadığı

ve 485°C -490 °C kadar ulaşabildiği diğer ölçüm yapılan infrared termometre ve termal kamera ölçümlerinden de teyit edilmiştir.

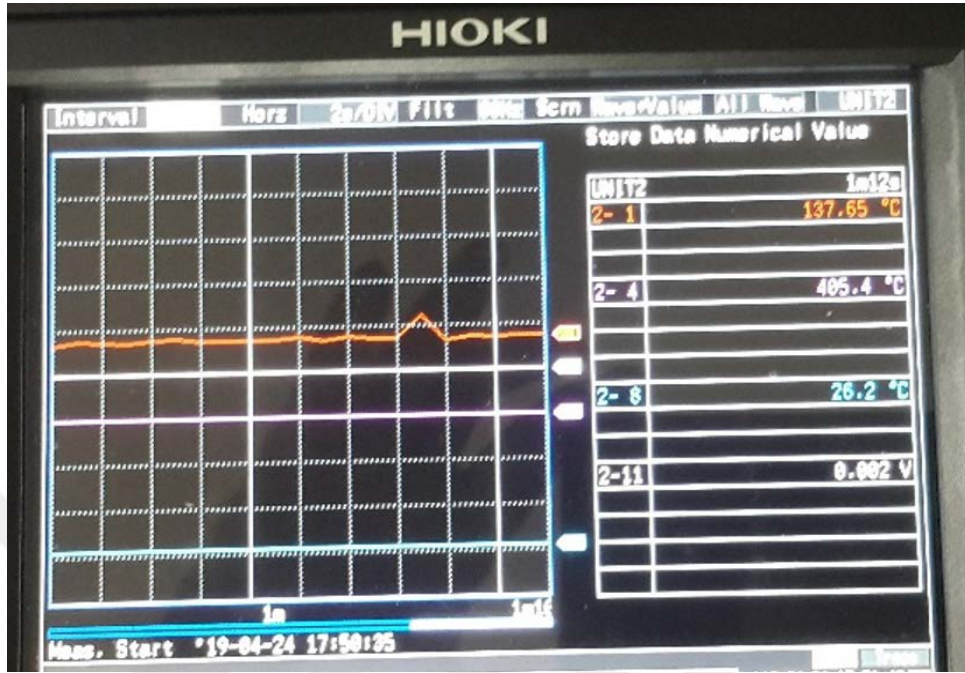
K-tipi termokupl ile ölçümde Hioki data loger üzerinde farklı değerler görülmektedir. Bunlardan 2-8 değeri 26.2°C olup o anki ortam-oda sıcaklığını veya ölçüm anı ortam sıcaklığının değerini göstermektedir. Data loger üzerindeki 2-4 değeri ise ölçüm yaptığımız fırın iç reaksiyon kabının sıcaklığını göstermektedir ve ölçüm anında 405.4°C olarak görünmektedir.



Şekil 4.5. Harici K tipi termokuplun fırın içerisine yerleştirilmesi.



Şekil 4.6. Hioki marka data loger- sıcaklık ölçüm anında.



Şekil 4.7. Hioki marka data logger üzerinde ortam ölçüm değerleri ekranı.

Fırın sıcaklığı ayarlanan P.I.D. kontrol cihazı ile döner iç tambur önündeki ısı değişimi aşağıdaki gibi ölçülmüştür. Tüp içi sıcaklığı harici termokupl ile alınan değerler aşağıda Çizelge halinde verilmiştir. Daha sonraki süreçte bu değerler Excel olarak alınacak ve grafik haline dönüştürülüp Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Tüp içi ve fırın sıcaklığının K-tipi termokupl ve data logger kullanılarak ölçülen sıcaklık değerleri.

Zaman (Dk)	Fırın Sıcaklığı (°C)	Tüp İçi Sıcaklığı (°C)
11.38	500	349
11.43	501	405
12.15	502	453
12.23	501	478
12.33	500	484
12.45	499	487
12.54	500	489
11.43	501	491
12.15	502	490

3. Termal kamera ölçüm cihazı

Bu ölçümde FLIR T420 kodlu termal kamera cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile 660°C ye kadar ölçümler alınabilmektedir. Ölçüm esnasında kameranın sabitlenmesi gerekmiş ancak yapılan bu ilk ölçümlerde bu sağlanamamıştır. Daha sonraki ölçümlerde bu düzenekte sağlanarak ölçümler yapılmıştır. İlk ölçümlerin yapılışı elde edilen değerler aşağıda Şekil 4.8'de görülmektedir.



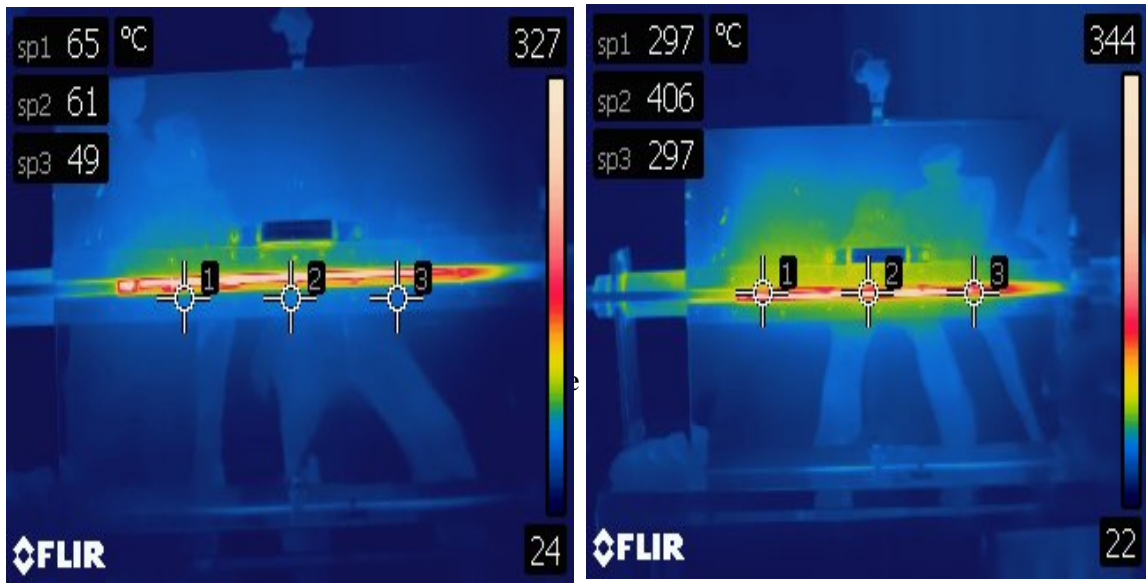
Şekil 8.8. Termal kamera ile ölçüm için fırın ve duruş şekli karşıdan olacak şekilde pozisyonlanma.

Daha sonra fırının iç sıcaklığını ölçebilmek için fırına 20 mm'lik bir aralık verilmiş ve termal kameranın bu aralıktan ölçüm alması sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 4.9). Bu aralıktan yapılan ölçümler ise aşağıda renkli olarak verilmiştir (Şekil 4.10).

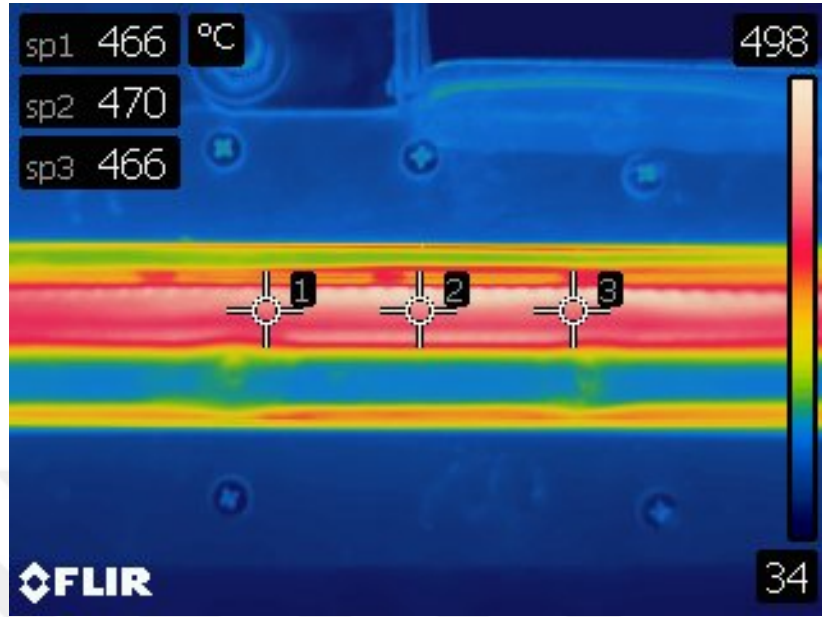


Şekil 4.9. Fırın iç sıcaklığını ölçebilmek için fırına verilen 20 mm açıklık.

Farklı anlarda ve farklı sıcaklıklarda alınan termal kamera görüntüleri ve ölçümleri aşağıda görsel olarak verilmiştir (Şekil 4.10). Ölçümlerde fırın sıcaklığının 500°C ye set edildiği anda ve 45 dakika sonra alınan ölçümlerde en yüksek sıcaklık değeri olarak Şekil 4.11’de görüldüğü gibi 498°C ölçülmüştür.

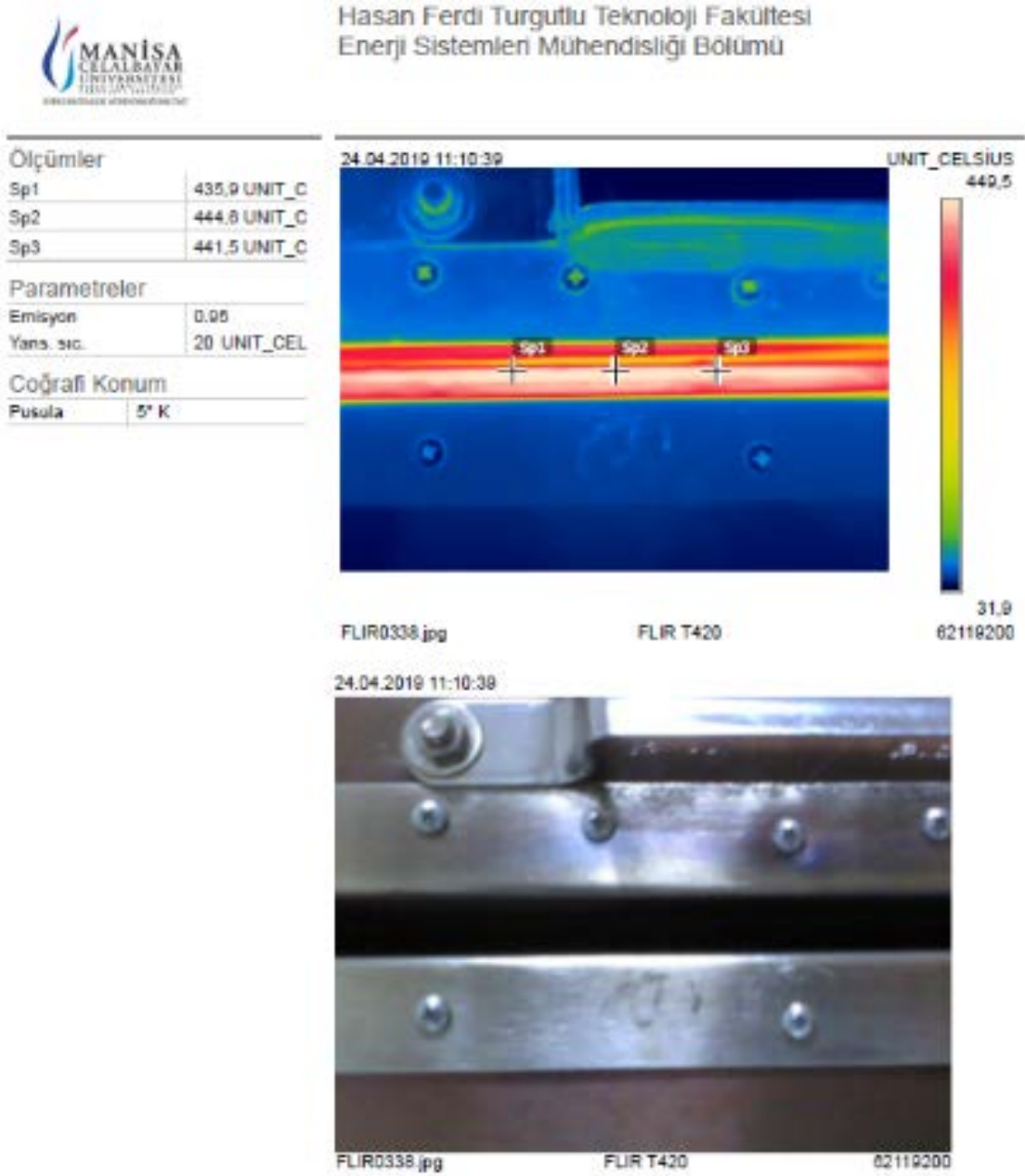


Şekil 4.10. Farklı anlarda ve farklı sıcaklıklarda alınan termal kamera görüntüleri ve ölçümleri.



Şekil 4.11. Fırın sıcaklığının 500°C ye set edildiği anda ve 45 dakika sonra alınan ölçüm sıcaklık değeri 498°C.

FLIR T420 Termal kamera ile yapılan ölçüm ve analizleri de aşağıda Şekil 4.12'de görsel olarak verilmiştir.



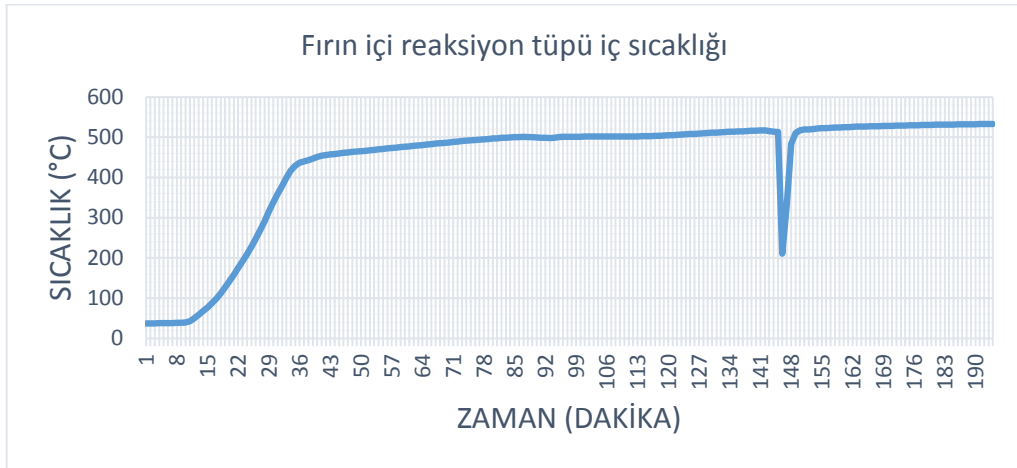
Şekil 4.12. FLIR T420 termal kamera ölçüm sonuç bilgisi.

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi deney seti sıcaklık ölçümü için hazırlanmasında 4 adet termokupl ve bir adet termal kamera kurulumu yapılmıştır (Şekil 4.13). Termokupl; tambur içi sıcaklık, tambur dış sıcaklık, tambur dış yüzeyi sıcaklığı ve ortam sıcaklığını ölçecek şekilde konumlandırılmıştır. Tambur içi ısıtıcı rezistanslarımız PID kontrolörle 550°C ayarlanmıştır. Tambur dışında bulunan ısıtıcı rezistansların oluşturduğu ısı ile tambur içine 550°C ulaşmasını hedeflenmiştir. 128. saniyede tambur iç ve tambur dış sıcaklıkları arasındaki farkın 12,5°C'lere kadar azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Fırın sıcaklıklarının ölçümü için kurulan termokupların konumları ve data loger dan elde edilen sıcaklık değerleri.

Tambur içi sıcaklığı için yaptığımız ölçümde 193. saniyede 533°C'ye kadar ulaşmıştır (Şekil 4.14). 550°C 'ye ulaşmasını hedeflediğimiz tambur içi sıcaklığının, PID kontrolör ile sıcaklığın yavaş bir şekilde artmasından dolayı 17°C fark halen daha mevcuttur. Bu durumu elemine edebilmek için ileriki denemelerimizde PID kontrolörün sıcaklık değerini 650°C'ye ayarlamamız, sıcaklığın daha kısa sürede hedeflenen sıcaklığa ulaşmamızı sağlayacaktır.



Şekil 4.14. Fırın içi reaksiyon tüpü iç sıcaklığının termokupl ile sıcaklık ölçüm değerindeki değişim.

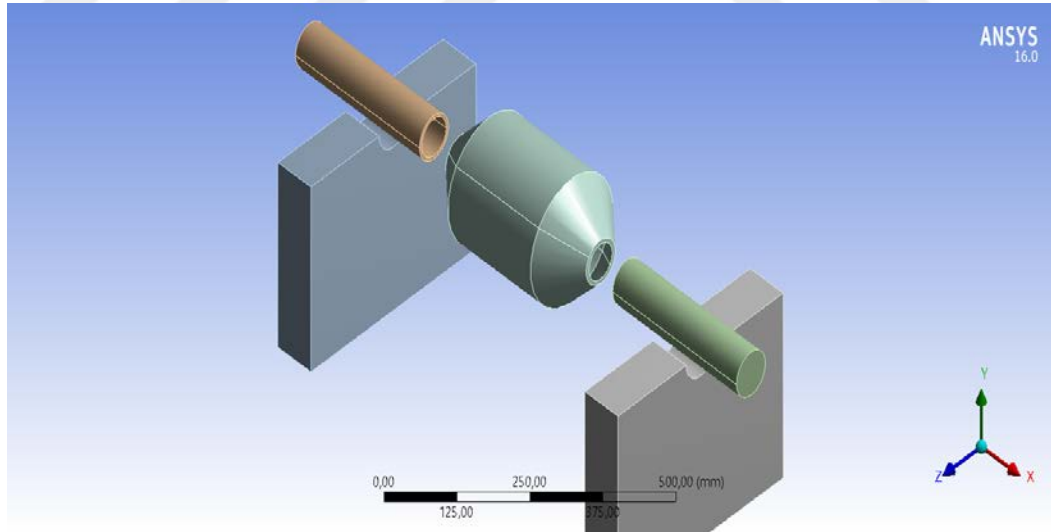
4.3. Pilot Toz Önkaplama Deneyi

Tasarım ve imalatı gerçekleştirilen ön kaplama fırınının sıcaklık, atmosfer, basınç, sızdırmazlık gibi testleri yapıp fırın dış ve iç sıcaklıklarının kalibrasyonu yapıldıktan sonra bir pilot çalışma planlanmıştır.

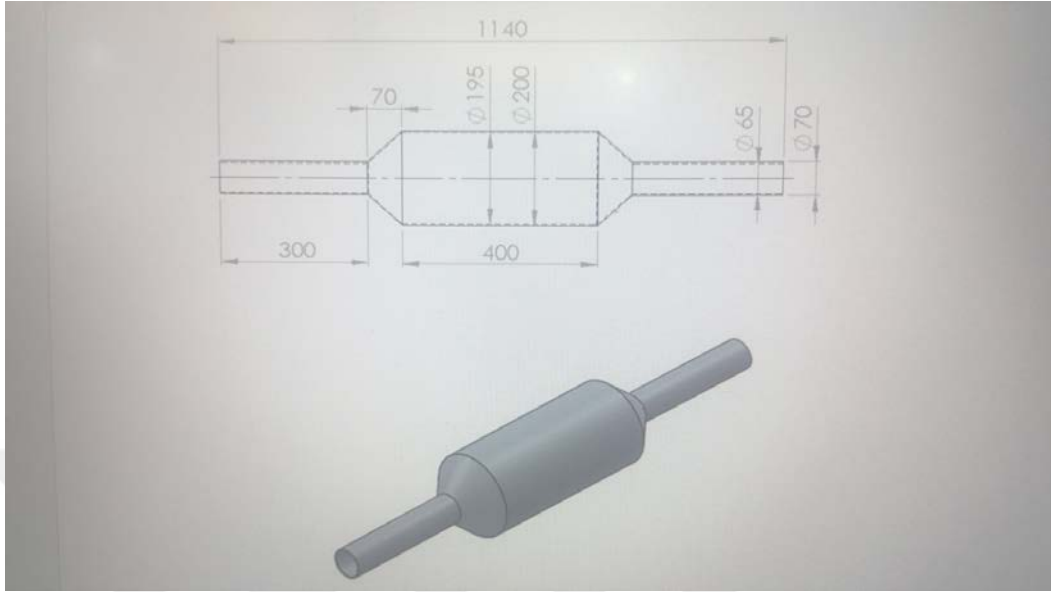
SiO₂ tozları hassas terazide tartıldıktan sonra fırın içerisine taşıma kepçesi kullanılarak reaksiyon tüpünün tam ortasına gelecek şekilde boşaltılmıştır. Burada fırın tablasına 15°C kadar açılı verilerek fırın içi reaksiyon tüpü döndürülmeye başlanmıştır. Bu esnada fırının set değeri 620°C olarak ayarlanmıştır. Buna göre reaksiyon tüpünün sıcaklığının da yaklaşık olarak 600°C olması yapılan kalibrasyon deneylerinden tespit edildiği gibi ayarlanmıştır. Yapılan çalışmada herhangi bir deneysel sonuç elde edilmeyip sadece cihazın çalışması kontrol edilmiştir.

4.4. Fırının Ansys Programı ile Teorik Basınç Testi

İçinden gazın geçeceği ve kimyasal tepkimelerin gerçekleşeceği tambur ölçüleri resimdeki gibi milimetre cinsinden verilmiştir (Şekil 4.15). Şekilde tasarımın Ansys programındaki görüntüsü de verilmiştir (Şekil 4.16).

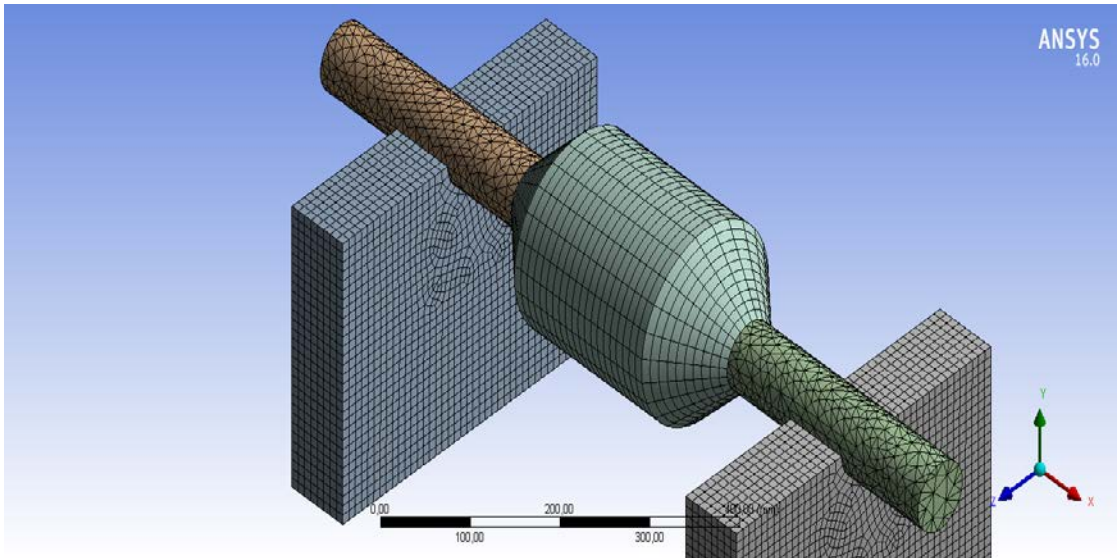


Şekil 4.15. Fırın tasarımının solidworks ve Ansys programındaki görüntüsü.



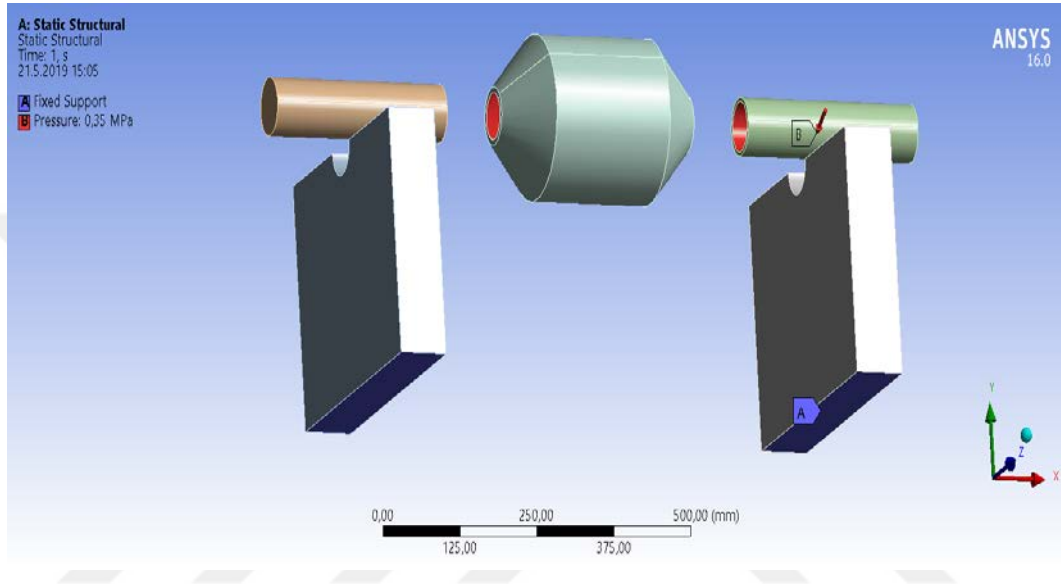
Şekil 4.16. Ansys programında kullanılan tambur ölçüleri.

Montaj dosyası resimdeki gibi 5 ayrı parçadan oluşmaktadır. Parçaları birbirine bağlamak için 4 ayrı bonded contact ataması yapılmıştır (Şekil 4.17).



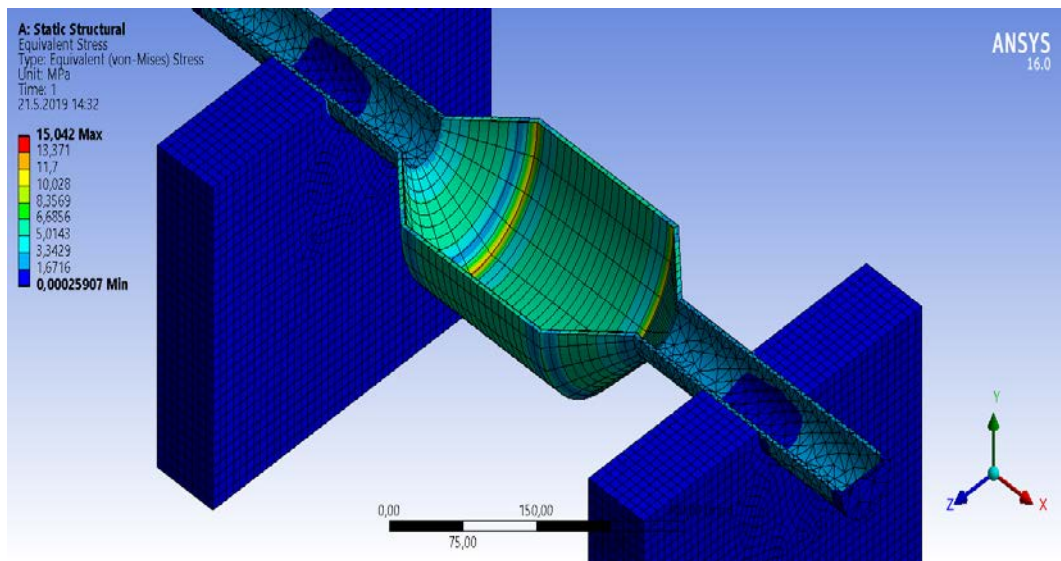
Şekil 4.17. Parçaları birbirine bağlamak için 4 ayrı bonded contact ataması.

Montaj dosyamızın mesh özellikleri Relevance Center “Medium”, SpanAngle Center “Medium”, Element Size “10mm” olarak ayarlanmıştır. Mesh atımı sonucunda 112606 node, 27722 element oluşturulmuştur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Mesh atımı sonucunda oluşan 112606 node, 27722 element.

Analiz öncesinde ayakların alt kısmından sabit mesnet (fixedsupport) ve tambur içi yüzeyi yüzeye dik şekilde 350kPa tanımlanarak sınır şartları belirlenmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. 350kPa tanımlanarak yapılan sınır şartları.

Ansys programı üzerinden gerçekleştirdiğimiz basınçlı kap analizi, deney esnasında gönderilen gazın tambur içinde oluşturduğu iç basıncın tambura etkilerini görmemiz açısından gerçekleştirilmiştir. Tambur imalatında kullandığımız paslanmaz çelik malzemenin sahip olduğu akma mukavemeti 207MPa'dır. Bu değere yakın veya daha fazla oluşan basınç değeri tamburda oluşabilecek deformenin plastik deformasyon bölgesine geçip geri dönülemeyecek kalıcı hatalara sebep vermesi tahmin edilir. Deneyin gerçeğe yakın bir simülasyonunu gerçekleştirmek için iç yüzeye basınç değerinin 350KPa ve her iki ayak tabanından ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Analiz programında alınan sonuca göre en fazla gerilmenin tambur iç yüzeyinde ve en geniş yüzeyin daralmaya başladığı bölgede olduğu gözlemlenmiştir. Bu basınç değerinin 15,042 MPa olması malzeme akma dayanımından çok düşük olmasından dolayı tambur içinde meydana gelmesi öngörülen kalıcı deformasyonun gerçekleşmeyeceğini ve malzemede oluşan gerilmeyi rahatlıkla kaldırabileceğini gösteriyor.

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

- Bu tez çalışmasında hedeflenen seramik tozlarının ön kaplama fırınının tasarım çalışmaları Solidworks programı ile yapılmıştır.
- Fırının imalatında paslanmaz çelik malzeme kullanılmış ve plastik şekil verme ve kaynak yöntemleri kullanılarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Böylece hedeflenen sıcaklıkta paslanmazlık olayı gerçekleştirilmiştir.
- Dönen kısımlarında sızdırmazlık sağlanması amacıyla rotary sızdırmaz vanaları her iki ucada kullanılarak sağlanmıştır. Deneyler esnasında argon gazı ile yapılan pilot çalışmalarda sızdırma problemi ile karşılaşılmamıştır.
- Dönme hareketi 1.75 kW gücünde ve redüktörlü bir motor ile zincir dişli sistemi kullanılarak 30 dv/dak olacak şekilde hareketi sağlanmıştır. Dönme hareketinde deney esnasında bir olumsuz durum ile karşılaşılmamıştır.
- Fırının aktif olmayan bir ortam sağlanabilmesi için Argon gazı ile dolumu sağlanmış ve ortam temizlenmiştir. Bu durum deneylerde ortamı temizleme aşamasında önemli olup, uygulanabilirliği görülmüştür.
- Pilot çalışmalar için fırın içerisine oksit tozu olarak SiO₂ tozları doldurulmuş ve 600°C de reaksiyona uğratılmışlardır. Kurulan fırın sisteminin uygun şekilde çalıştığı görülmüştür.
- Tez çalışmasında hedeflenen ön kaplama fırının imalatının gerçekleştirildiği, istenen sıcaklıkta uzun sürelerde tutulabildiği yapılan sıcaklık kalibrasyonları esnasında test edilmiş ve dış yüzey sıcaklıklarının çalışmayı engelleyecek sıcaklık değerlerine yükselmediği görülmüştür.
- Fırının iç sıcaklığının 550°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde dış sıcaklığının 90°C yi geçmediği görülmüştür. Bu da çalışma esnasında ani tehlikeler oluşturmayacağını göstermiştir. Böylece dış yalıtımının da yeterli olduğu bir fırın imal edildiği söylenebilir.
- Tambur içi sıcaklığı için yaptığımız ölçümde 193. saniyede 533°C'ye kadar ulaşmıştır. 550°C 'ye ulaşmasını hedeflediğimiz tambur içi sıcaklığının, PID kontrolör ile sıcaklığın yavaş bir şekilde artmasından dolayı 17°C fark halen daha mevcuttur.
- Ansys Analiz programında alınan sonuca göre en fazla gerilmenin tambur iç yüzeyinde ve en geniş yüzeyin daralmaya başladığı bölgede olduğu gözlemlenmiştir.
- Hesaplanan bu basınç değerinin 15,042 MPa olması malzemenin akma dayanımından çok düşük olmasından dolayı tambur içinde meydana gelmesi öngörülen kalıcı

deformasyonun gerçekleşmeyeceğini ve malzemede oluşan gerilmeyi rahatlıkla kaldırabileceğini göstermiştir.

- Fırında deney çalışma sıcaklığı olarak 600°C istendiğinde set değerinin ise 620oC ayarlanması gerektiği tespit edilmiştir. Buna göre reaksiyon tüpünün sıcaklığının da yaklaşık olarak 600°C ye ulaştığı kalibrasyon deneylerinden tespit edilmiştir.

ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında tasarım, imalat ve karakterizasyonu yapılan fırın ile sadece SiO₂ den SiC tozunun üretimi değil diğer tüm oksit tozlarından karbür tozlarının üretiminin çalışabileceği görülmüştür.

Ayrıca fırının tüm aşamaları solid programında tasarlanmalı ve ansys programı kullanılarak her aşaması analiz edilmelidir. Bu fırın ile bir pilot çalışma yapılarak fırının oluşabilecek aksaklıkları giderilmelidir.

Yapılan bu çalışma ile yeni yapılacak birçok yüksek lisans ve doktora çalışmasına altyapı oluşturulmuştur.

Literatürde bilinen ön kaplama fırınlarının aksine yüksek saflık, yüksek miktarda üretim, istenen mikro/nano boyutta toz üretiminin yapılabildiği bir fırın olduğu görülmüştür. Bu ve benzeri tasarımlarla farklı oksit, karbür ve borür tozlarının da ön kaplama işlemlerinin yapılabileceği ön görüşmüştür.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Altınkaynak, M. (2013), "Çimento fabrikalarında kullanılan döner fırının termodinamik analizi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Arcasoy A. (1983), *Seramik teknolojisi*, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Aydin, M. ve Koc, R. (2009), "Properties of Nano-Metal Carbide Contained Mg-TiC(SiC) Composites", presented in the 33rd International Conference & Exposition on Advanced Ceramics&Composites, Daytona Beach, FL, January 25 and published in Nanostructured Materials and Nanotechnology IV: Ceramic Engineering and Science Proceedings, Edited by S. Mathur and S. S. Ray, C.32, s.147-156.

Bulut, S. (2010), *Seramik Pişirme Fırınının Tasarımı ve Denetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Eğitimi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Temmuz, Ankara.

Çoban, D., Özkan, Ö. (2012), *Konveyörlü Seramik Fırını Tasarımı*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi.

Duddukuri, R., Koc, R., Mawdsley, J. ve Carter, D. (2011), "Synthesis of Nano-sized TiB₂ Powders Using Carbon Coated Precursors", presented at the 35th International Conference & Exposition on Advanced Ceramics&Composites (ICACC), January 23-28, 2011, Daytona Beach, Florida, and published in Nanostructured Materials and Nanotechnology V: Ceramic Engineering and Science Proceedings, Edited by S. Mathur and S. S. Ray, C.32, s.165-176.

Gavas, M., Aydın, M. (2015), *Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri*.

Glatzmaier, G. C. ve Koc, R. (1995), "Process for the sizing of titanium carbide, titanium nitride, and titanium carbonitride," May 23.

<http://ecotherm.com.tr/v2/kuyu-tipi-firinlar/>

<http://firinvecesitleri.blogspot.com/2014/12/frn-cesitleri-nelerdir.html>

<http://idealmode.com.tr/tr/hassas-dokum-sistemleri>

<http://kulfirini.com/mufla-firini-manset-firini-nedir/>

<http://magmatherm.com/urunlerimiz/tup-firinlar/>

<http://www.acarteknolojik.com/urunler/aluminyum-endustrisi-firinlari/aluminyum-folyolevha-tav-firinlari>

<http://www.elimko.com.tr/tr>

<http://www.enderisi.com/kuyu-tipi-ve-can-tipi-isil-islem-firinlari.html>

<http://www.glasstechrefractory.com/blog/endustriyel-firin-cesitleri-nelerdir>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

<http://www.marmaraisilislem.com/>

<http://www.mikroteklab.com/ud/656-kul-firini>

<http://www.tetcis.com.tr/>

<http://www.yardimcikaynaklar.com/firin-nedir-tarihi-ve-cesitleri/>

<https://birlikcati.com.tr/blog/firin-isi-ses-yangin-guvenlik-yalitimi>

<https://makinecim.com/>

<https://www.cmteknik.com.tr/blog/4-tepsili-elektirik-isitmal-konveksiyonlu-firin/>

https://www.fiyatimbu.com/blog/endustriyel-firin-satin-almadan-once--_192

<https://www.labor.com.tr/kategori/atmosfer-kontrollu-firinlar#labels=927-2>

<https://www.nedir-tr.com/nedir-2401-anlam%C4%B1-f%C4%B1r%C4%B1n>

<https://www.onerler.net/tavlama>

<https://www.sistemteknik.com/ferrous/#>

<https://www.termobilim.com.tr/sanayi-firinlari/>

Mullinger, P., Jenkins, B. (2008), Industrial and Process Furnaces Principles, Design and Operation, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK, 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA.

Onurhan, U. (2018), Ön Isıtıcı ve Kalsinatörlü Çimento Fabrikasına Ait Döner Fırın Prosesi Üzerinde Enerji ve Ekserji Analizlerinin Uygulanması, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Savaş, A. F. (2004), "Paralel akışlı ön kalsinasyonlu çimento fabrikasında enerji ve ekserji analizi modellemesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Söğüt, M. Z. (2009), "Çimento sektöründe döner fırın prosesinin eksergoekonomik optimizasyonu", Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Şahin, H. (2017), "Çimento üretiminde döner fırın prosesinin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizi", Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Şimşek, B., Şimşek, E. H., Altunok, T. (2012), Bir Çimento Döner Fırın Sistemi Yüzeyinden Isı Kayıplarının Ampirik ve İstatistikî Modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. Cilt 28, No 1, 59-66.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zheng, S., Min, G., Zou, Z., Yu, H. ve Han, J. (2001), "Synthesis of calcium hexaboride powder via the reaction of calcium carbonate with boron carbide and carbon," *J. Am. Ceram. Soc.*, 84 [11] 2725-27.



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet KADIOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : TRABZON / Köprübaşı 25.07.1966

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi: Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi'nde Makine Resim ve
Konsrüksiyon Öğretmenliği Bölümü
: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi'nde İktisat Bölümü

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : - Ermetal A.Ş.,1993,BURSA - Konstrukteur
- Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 1995 - Öğretim Görevlisi
- İnoksanA.Ş.1995, BURSA - Atölye Şefi
- Alpinoks LTD. ŞTİ., 1996 -Halen, BURSA - Şirket Müdürü

İletişim

Adres : Çamlıca Mah. Harmanlı Sok. Hasan Tinç Sitesi C Blok No:6
Nilüfer/BURSA

E -Posta Adresi : mkadioglu@alpinoks.com.tr

Cep Telefonu : 532 698 39 88