



**MİKRO SOĞUTMA VE BUZDOLAPLARI İÇİN KÜÇÜK DÖNGÜSEL
KOMPRESÖRÜN TOZ METALURJİSİ İLE TASARIMI VE İMALATI**

Salih TERYAKİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Salih TERYAKİ tarafından hazırlanan “MİKRO SOĞUTMA VE BUZDOLAPLARI İÇİN KÜÇÜK DÖNGÜSEL KOMPRESÖRÜN TOZ METALURJİSİ İLE TASARIMI VE İMALATI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Melih OKUR

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 13/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Salih TERYAKİ

13/06/2019

MİKRO SOĞUTMA VE BUZDOLAPLARI İÇİN KÜÇÜK DÖNGÜSEL KOMPRESÖRÜN TOZ METALURJİSİ İLE TASARIMI VE İMALATI

(Yüksek Lisans Tezi)

Salih TERYAKİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Kompresörler endüstride oldukça yaygın olarak kullanılan ve maliyetleri genellikle göz ardı edilen makinelerdir. Maliyetlerinin %78 gibi büyük bir bölümünü enerji maliyeti oluşturduğu için yapılan çalışmalarda bu maliyeti azaltmak amacıyla daha verimli kompresörlerin üretimi üzerine odaklanılmıştır. Gelişen teknoloji ve yeni üretim teknikleriyle daha verimli çalışan kompresörler yapmak mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş kompresörün performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. 1,6 cc hacmindeki menteşe paletli mini döngüsel kompresörün tasarımı yapılmış ve plaka ekleme çıkarma ile değişken hacimlere sahip kompresörler elde edebilmeyi sağlayan özgün bir üretim yöntemi benimsenmiştir. Palet mekanizması önce AISI H13 çeliğinden tel erezyon kesim yöntemiyle daha sonra Al 5083 alaşımından toz metalürjisiyle üretilmiş ve 500-2000 rpm gibi düşük devirlerde performans testleri yapılmıştır. Paleti Al 5083 ile üretilmiş kompresörün AISI H13 ile üretilen kompresöre göre %10 daha yüksek basınç değerlerine ulaştığı ve %40 daha verimli çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca seri üretim için bir maliyet araştırması da yapılmış ve 100 parçalık bir üretimde T/M yöntemiyle üretimin geleneksel üretime göre 2,8 kat daha ucuz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 93001

Anahtar Kelimeler : Mikro kompresörler, paletli kompresörler, toz metalürjisi

Sayfa Adedi : 75

Danışman : Doç. Dr. Melih OKUR

DESIGN AND MANUFACTURE WITH POWDER METALLURGY OF TINY
ROTARY COMPRESSOR FOR MICRO COOLING & REFRIGERATION

(M. Sc. Thesis)

Salih TERYAKI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Compressors are machines that are widely used in the industry and whose costs are often overlooked. As much as 78% of their costs are energy costs, studies have focused on the production of more efficient compressors to reduce this cost. With the developing technology and new production techniques, it has become possible to make compressors that work more efficiently. In this study, the effect of powder metallurgy on the compressor performance was investigated. 1.6 cc volume hinge vane mini rotary compressor designed and a unique manufacturing method has been adopted which enables to obtain compressors with variable volumes by plate insert and extract. The vane mechanism was first produced by the wire EDM cutting of AISI H13 steel and then by the powder metallurgy of Al 5083 alloy and performance tests were performed at low speeds, such as 500-2000 rpm. The compressor produced with vane Al 5083 has reached 10% higher pressure values than the compressor produced with AISI H13 and 40% more efficient than the compressor produced with AISI H13. A cost research was also carried out for mass production, in a 100-part production, it was found that production by T/M method was 2,8 times cheaper than traditional production.

Science Code : 93001

Key Words : Micro compressors, vane compressors, powder metallurgy

Page Number : 75

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Melih OKUR

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Melih OKUR'a teşekkür ederim.

Malzeme seçimi ve toz metalürjisi ile üretim yöntemi hakkında desteğini esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Hanifi ÇİNİCİ'ye, tüm laboratuvar imkanlarını sunan Gazi Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim.

Tel erezyon yöntemi ile malzeme kesimini gerçekleştirmemize imkan sağlayan Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. İhsan KORKUT'a ve kesim boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ömer BAYRAKTAR'a teşekkürü borç bilirim. Deneysel çalışma boyunca her türlü test ekipmanı ve imkanı sağlayan Prof. Dr. İbrahim Sinan AKMANDOR'a ve tüm Pars Makina çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Her anımda yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Furkan YALÇINKAYA, Muhammed ARSLAN, Serkan EGE ve Mehmet Ali ARSLAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde çok büyük emeği olan aileme sabır ve anlayışlarından dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPRESÖRLER.....	5
2.1. Pistonlu Kompresörler	6
2.2. Döngüsel Kompresörler	8
2.2.1. Vidalı kompresörler	8
2.2.2. Scroll kompresörler	10
2.2.3. Kayan paletli döngüsel kompresörler	11
2.2.4. Paletli döngüsel kompresörler	12
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	15
3.1. Paletli Kompresörler Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	15
3.2. Toz Metalürjisi ile Parça Üretimi Yapılan Çalışmalar.....	22
4. TOZ METALURJİSİ.....	25
4.1. Metal Tozların Üretimi	26
4.1.1. Mekanik yöntemlerle toz üretimi	27
4.1.2. Kimyasal yöntemle toz üretimi.....	27
4.1.3. Elektroliz yöntemi ile toz üretimi.....	28

	Sayfa
4.1.4. Atomizasyon yöntemiyle toz üretimi	28
4.2. Toz Partiküllerin Özellikleri	30
4.2.1. Fiziksel özellikler	30
4.2.2. Kimyasal özellikler.....	32
4.3. T/M Üretim Safhaları	33
4.3.1. Tozların karıştırılması	33
4.3.2. Sıkıştırma (Presleme)	34
4.3.3. Alternatif presleme teknikleri.....	36
4.3.4. Sinterleme.....	40
5. MATERYAL VE METOT	45
5.1. Mentşe Palet ve Rulman Uygulaması	45
5.2. Özgün Plaka Ekleme Yöntemi Ve Toz Metalürjisi Uygulaması	46
5.2.1. Özgün plaka ekleme yöntemi	47
5.2.2. Toz metalürjisi ile üretim	52
5.3. Deney Düzenegi	59
6. DENEYSEL VERİLER VE HESAPLAMALAR.....	63
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bazı sektörlerde farklı uygulamalarda kullanılan toz malzemeler	25
Çizelge 4.2. Bazı malzemeler için sıcak izostatik preste basınç ve sıcaklık değerleri ..	39
Çizelge 5.1. AISI H13 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	49
Çizelge 5.2. AISI H13 çeliğinden üretilen 8 plaka set için gerekli kompresör parçalarının üretim maliyeti	52
Çizelge 5.3. Al 5083'ün kimyasal kompozisyonu	53
Çizelge 5.4. Al 5083'ün mekanik özellikleri	53
Çizelge 5.5. Kalıp malzemeleri ve yoğunlukları	58
Çizelge 5.6. 8 plaka (0,4x8=3,2cc) set için kompresör parçalarının üretim maliyetleri	59
Çizelge 5.7. Üretimi yapılan 3.2 cc kompresörün 1, 10 ve 100 adet için maliyeti.....	59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji maliyetleri	2
Şekil 1.2. Basınçlı hava sistemlerinin ömür döngüsünde maliyet dağılımı.....	3
Şekil 2.1. Kompresörlerin sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.2. Pistonlu kompresörün çalışma prensibi	7
Şekil 2.3. Çift etkili pistonlu kompresör	7
Şekil 2.4. Çift rotorlu vidalı kompresörün sıkıştırma kademeleri	8
Şekil 2.5. Vidalı bir kompresörün yapısı	9
Şekil 2.6. Scroll kompresörün çalışma prensibi.....	11
Şekil 2.7. Kayan kanatlı döngüsel kompresörün parçaları	12
Şekil 2.8. a) Kompresöre havanın emilmesi, b) Havanın taşınması	12
Şekil 2.9. Paletli döngüsel kompresörün parçaları ve çalışma prensibi.....	13
Şekil 2.10. Paletli döngüsel kompresörün kesit görünümü.....	14
Şekil 3.1. Stenzel'in kilitli palet sistemine sahip kompresörü	15
Şekil 3.2. Hattori'nin farklı palet mekanizması tasarımı	16
Şekil 3.3. SVC'nin dönme hızına göre sürtünme kayıplarının oranı.....	17
Şekil 3.4. Sabit kanatlı döngüsel kompresör.....	18
Şekil 3.5. Paletli döngüsel kompresörde meydana gelen kaçaklar ve bölgeleri	19
Şekil 3.6. DSVC'nin çalışma prensibi	20
Şekil 4.1. Öğütme ile metal tozu üretimi	27
Şekil 4.2. Elektroliz yöntemiyle metal tozu üretim safhaları.....	28
Şekil 4.3. Su atomizasyonu tekniği ile toz metal üretimi	29
Şekil 4.4. Gaz atomizasyon tekniği ile toz metal üretimi	30
Şekil 4.5. Çeşitli üretim teknikleri ile üretilmiş toz şekilleri	31

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Hall hunisi.....	31
Şekil 4.7. Toz metalurjisi üretim tekniğinin işlem safhaları	33
Şekil 4.8. Karıştırıcı çeşitleri.....	34
Şekil 4.9. Tek yönlü sıkıştırma	35
Şekil 4.10. Tek yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı	35
Şekil 4.11. Çift yönlü presleme işlem safhaları	36
Şekil 4.12. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı	36
Şekil 4.13. Haddeleme ve işlem basamakları	37
Şekil 4.14. Soğuk izostatik presleme	38
Şekil 4.15. Sıcak izostatik presleme	39
Şekil 4.16. Sıcak kalıp presleme	40
Şekil 4.17. Katı hal sinterleme kademeleri	41
Şekil 4.18. Sıvı faz sinterleme kademeleri.....	42
Şekil 4.19. Çözelti tekrar çökelme aşamasında tane büyümesi	43
Şekil 5.1. Kompresörün bir setini oluşturan parçalar	48
Şekil 5.2. Çift kademeli tam balanslı kompresörüm montajı.....	48
Şekil 5.3. Plakaların tel erezyon kesimleri için yerleşim planları.....	49
Şekil 5.4. Kalıp ve kalıp parçaları (a-Kalıp, b-İtici zımba, c-Alt zımba, d-Üst zımba)...	55
Şekil 5.5. Preslemeye hazır kalıp ve diğer elemanların konumu	55
Şekil 5.6. T/M ile üretim için tasarımı yapılan kalıbın ana parçaları	58
Şekil 5.7. T/M ile üretim için tasarlanan kalıbın montaj hali	58
Şekil 5.8. Deney düzeneğinin şematik hali.....	61
Şekil 6.1. AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörler	65
Şekil 6.2. AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Güç.....	66
Şekil 6.3. AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Verim .	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Klasik gövdeden paletli kompresörün yapısı.....	45
Resim 5.2. Klasik palet sistemi ve menteşe palet sistemi üzerine etki eden kuvvetler ..	46
Resim 5.3. Farklı kalınlıklarda kompresör setleri.....	47
Resim 5.4. Tel erezyon CNC tezgahı.....	50
Resim 5.5. AISI H13 çeliğinden üretilen kompresör parçaları.....	51
Resim 5.6. İmalatı yapılan kompresör üniteleri a) Tek hacimli b) 4 hacimli kompresör	51
Resim 5.7. Üniteler arası kaçakları engellemek amaçlı yapıştırma işlemi	52
Resim 5.8. Hassas terazi	54
Resim 5.9. Tek yönlü eksenel hidrolik pres.....	56
Resim 5.10. Zımpara makinası	57
Resim 5.11. Al 5083 toz metalürjisi ve AISI H13 çeliğinden üretilmiş paletler	57
Resim 5.12. Kompresör ünitesi ile deney düzeneği parçaları.....	60
Resim 5.13. Deney düzeneğinin montaj hali	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

kPa	Kilo paskal
psi	Pound/inç ²
kW	KiloWatt
bar	Bar
cfm	Feed ³ /dakika
km	Kilometre
rpm	Devir/Dakika
Mpa	Megapaskal
g	Gram
mm	Milimetre
kg	Kilogram
cc	Santimetreküp

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	Amerikan Test Malzemeleri Standartları
CIP	Soğuk İzostatik Pres
DSVC	Çift Salınım Paletli Kompresör
EDM	Tel Erezyon Tezgahı
HIP	Sıcak İzostatik Pres
M.Ö	Milattan önce
SVC	Kayan Paletli Kompresör
T/M	Toz metalürjisi

1. GİRİŞ

Atmosferik hava, moleküler kuvvet ile birbirine bağlanan moleküllerden oluşur ve bu moleküller hareket halindedir. Belirli miktardaki bir gazın toplam moleküler kütesinin düşük olması gazın sahip olduğu hacminden daha küçük hacimlere sıkıştırılabilmesini sağlar.

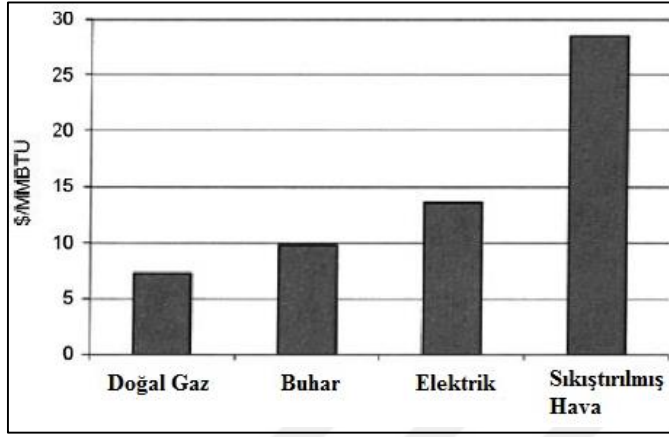
Kapalı bir hacimde bulunan gazın içerisindeki moleküller hareket halinde olduğu için kabın duvarlarına çarparak bir kuvvet oluşturur. Basınç bir alana uygulanan kuvvet olarak tanımlanır. Basınçlı hava sistemlerinde bu kuvvetin ölçü birimi olarak bar, kPa veya psi kullanılır.

Basınç, sıcaklık ve hacme göre değişkenlik göstermektedir. Kapalı ortamda tutulan bir gazın sıcaklığı artırılırsa moleküllerin enerjisi ve hızı artar. Dolayısıyla kabın duvarına çarpan molekül sayısı da artar. Bu durum basınç değerinde artışa neden olur. Sabit sıcaklıkta bir gazın hacmi azaltılırsa yine basınç değerinde bir artış görülür. Basınçlı hava sistemlerinde temel olarak bu fizik kuralları kullanılmaktadır. Basınçlı hava sistemlerinin ana elemanı kompresörlerdir. Bir kompresör havanın hacmini azaltarak ya da hızını artırarak basıncının artmasını sağlar. Basıncı arttırılan hava da dağıtım sistemleri vasıtasıyla kullanılacak noktalara ulaştırılır.

Basınçlı hava endüstride güç kaynağı olarak, bir prosesin parçası olarak veya kontrol mekanizması olarak kullanılabilir. Sıkıştırılmış hava, boya tabancasının nozulundan boya püskürtülürken güç kaynağı, yanma tepkimelerinde yanmayı kolaylaştırarak bir prosesin parçası, bir makineyi ya da prosesi başlatıp durdurmayı sağlarken de kontrol uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır [1].

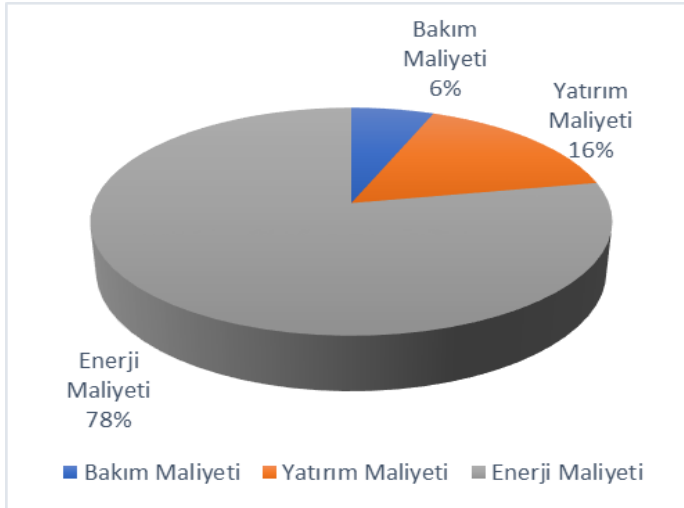
Endüstride ve hizmet sektöründe sıkıştırılmış hava, kolay ve güvenli olarak elde edilebildiği için kullanımı yaygındır. Endüstriyel tesisler genellikle üretim için sıkıştırılmış havaya ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden kompresörler yiyecek, tekstil, otomotiv, imalat, mobilya ve metalürji gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır.

Sıkıştırılmış hava sanılanın aksine pahalı bir enerji şeklidir (Şekil 1.1). Hatta muhtemelen bir tesiste en pahalı enerji şeklidir. Çünkü gücünün yalnızca %19'u kullanılabilir. Basınçlı hava, Avrupa Birliği'nde endüstriyel elektrik tüketiminin %10'unu oluşturmaktadır. Çin'deki sıkıştırılmış hava sistemleri, Çin'in elektriğinin %9,4'ünü kullanmaktadır. ABD'de ise sıkıştırılmış hava sistemleri toplam endüstriyel enerji kullanımının yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır [2].



Şekil 1.1. Enerji maliyetleri [2]

Bununla birlikte sıkıştırılmış hava ekipmanlarının başlangıçtaki yatırım ve bakım maliyetleri, genel maliyetinin yalnızca küçük bir bölümünü temsil etmektedir. Şekil 1.2'de basınçlı hava sistemlerinin ömür döngüsünde maliyet dağılımı görülmektedir. Kompresörü çalıştırmak için gereken güç genellikle yıllık maliyetin %75'i veya daha fazlasını oluşturmaktadır. Basınçlı hava sistemlerinde yapılacak iyileştirmeler %20-50 enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. [2]. Bu yüzden üretim kabiliyetlerinin artması ve verimliliğin ön plana çıkmasıyla birlikte kompresörler üzerine yapılan araştırmaların sayısı artmıştır [3].



Şekil 1.2. Basınçlı hava sistemlerinin ömür döngüsünde maliyet dağılımı [2]

Kompresör parçalarının üretiminde genellikle dökme demir ve paslanmaz çelik kullanılmaktadır [4]. Geleneksel üretim yöntemleriyle üretilen bu parçalarda üretim safhaları ve maliyetleri fazladır [5]. Bu gibi dezavantajların ortadan kaldırılması için geleneksel üretim yöntemlerine bir alternatif olarak toz metalürjisi yöntemleri kullanılabilir.

Toz metalürjisi (T/M), toz halindeki metalleri basınç ve sıcaklık yardımıyla şekillendirilip ürün elde etme yöntemidir. Geleneksel üretim yöntemlerinde yaşanan yüksek yoğunluk farkı, gaz absorpsiyonu ve oksidasyon gibi bazı problemler toz metalürjisi üretim tekniği ile aşılabilmektedir. Kısa imalat çevrim süresi, yüksek hassasiyet, nihai parçaya yakın üretim ve uygulanan işlem adımlarının esnek oluşu T/M'nin avantajlı tarafıdır. T/M bilinen eski üretim tekniklerinden biri olmasına rağmen endüstriyel gelişimle birlikte günümüzde ileri üretim teknikleri arasında yer almaktadır. Diğer üretim yöntemleriyle üretilmeyen malzemelerin üretilmesi ve karmaşık şekilli parçaların daha kolay üretilmesi nedeniyle en iyi üretim sonuçlarını isteyen savunma sanayiinde kullanımı oldukça yaygındır [6,7].

Bu tez çalışmasında toz metalürjisi ile üretim tekniğine uygun ve özgün bir yapıya sahip döngüsel menteşe paletli bir mikro kompresörün tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Kompresörün plakalar şeklinde üniteler halinde tasarımı ile palet gibi bazı parçalarının toz metalürjisi ile üretimi yapılarak geleneksel yöntemlerle üretilmiş parçalar ile deneysel olarak karşılaştırması yapılmıştır. Deneyler sonucunda paleti toz metalürjisi ile üretilmiş kompresörün çelik ile üretilen kompresöre göre %10 daha yüksek basınç değerlerine

ulaştığı ve %40 daha verimli çalıştığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca seri üretim için bir maliyet araştırması da yapılmış olup, 100 parçalık bir üretimde T/M yöntemiyle üretimin geleneksel üretime göre 2,8 kat daha ucuz olduğu görülmüştür.

Daha sonraki çalışmalarda özgün menteşe paletli kompresör üzerinde yapılacak geliştirmeler ile otomotiv soğutma sistemlerinde kullanılması amaçlanmaktadır.



2. KOMPRESÖRLER

Kompresör sıkıştırılabilir akışkanların basıncını artırmak için kullanılan bir cihazdır [8]. Çeşitli endüstri alanlarında ve birçok uygulamada basınçlı hava sağlamak için kullanılırlar. Bu cihazlar inşaat ve imalat ekipmanlarına güç sağlamak ve kontrol sistemlerini çalıştırmak için bile kullanılmaktadır. Hava kompresörlerinin gelişimi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır.

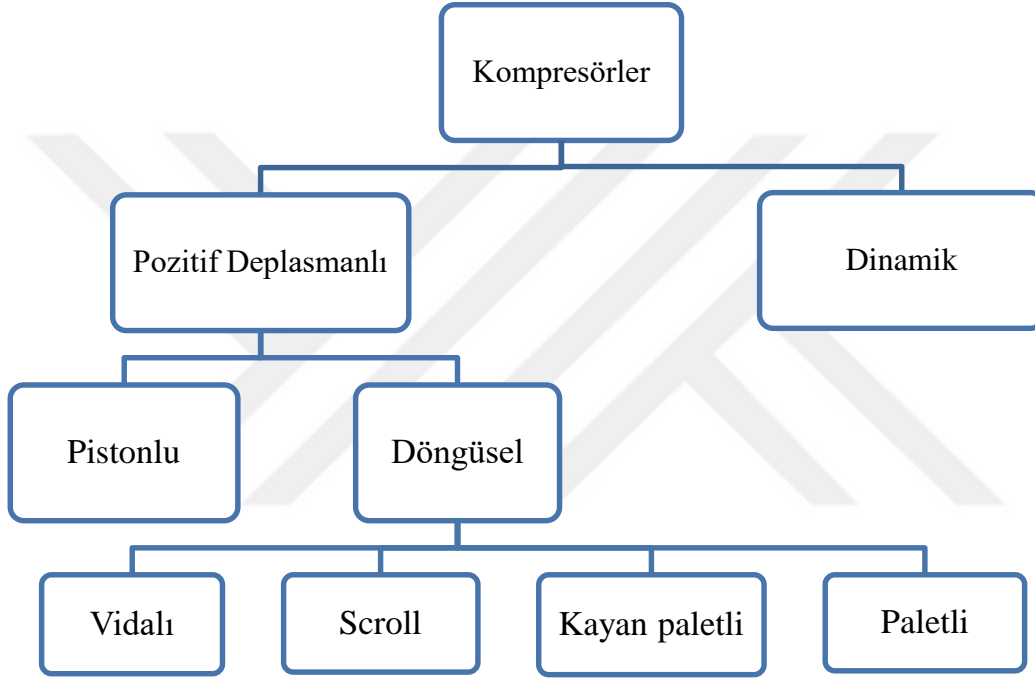
En eski hava kompresörü aslında insan akciğeridir. İnsanlar bir zamanlar nefes alıp üfleme yöntemiyle ateş yakmışlardır. Ancak bu yetersizdi. M.Ö 3000 civarında metalürji uygulamalarının gelişmesiyle altın, bakır gibi çeşitli malzemeleri eritmek için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulduğu fark edilmiştir. Sağlıklı akciğerler yalnızca 0,02 – 0,08 bar basınçlı hava üretebilmektedir.

M.Ö 1500'de körük adı verilen bir hava kompresörü icat edilmiştir. Bu cihaz daha yüksek sıcaklıklardaki ateşi sağlamak için hava üreten, ayakları tarafından elle tutulan esnek bir torbadır. Basınçlı havaya olan talebin gün geçtikçe artmasıyla 1762 yılında profesyonel bir mühendis olan John Smeaton körüklerin yerini alan su tahrikli bir üfleme silindiri tasarlamıştır. Smeaton'un cihazı etkin olsa da 1776 yılında John Wilkinson tarafından icat edilen patlama makinesi yerini almıştır. Wilkinson'un patlatma makinesi daha sonra mekanik hava kompresörlerinin temelini oluşturmuştur.

Hava kompresörü o dönemlerde yalnızca metal işleme için kullanılsa da zamanla kullanım alanları artmış ve metal madenciliği, imalatı ve yer altı alanlarına hava sağlanması için de kullanılmıştır. İtalya – Fransa demiryolu sisteminin 1857'de yapımı sırasında kompresörler büyük hava hacimlerini yaklaşık 13 km inşaat tüneline taşımak için sık sık kullanılmıştır. Kısa süre sonra insanlar bu teknolojiden daha farklı alanlarda faydalanmanın yolunu kavramışlardır. 1800'lü yıllarda insanlar enerji iletmek için hava kompresörlerinin kullanmaya başlamışlardır. Avusturyalı mühendis Victor Popp 1888'de Paris'te ilk kompresör tesisini kurmuştur. Sadece üç yıl içinde Popp' un 1.500 kW gücündeki kompresör tesisi 18.000 kW' lık kapasiteye ulaşmıştır. Hava sıkıştırmada daha fazla yenilik süreci iyileştirmeye devam etmiş ve elektrik ile pnömatik enerjiyi de dahil etmeye başlamıştır.

Bugün göz önüne alınması gereken oldukça fazla çeşitte modern hava kompresörleri bulunmaktadır. Sıkıştırılmış hava sistemleri özel gereksinimlere bağlı olarak geniş bir ürün yelpazesi sunabilmektedir [9].

Kompresörler temelde pozitif deplasmanlı ve dinamik kompresörler olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 2.1). Pozitif deplasmanlı kompresörler, düşük basınçlı akışkanın hacmini azaltarak basınç artışı sağlarken dinamik kompresörler düşük basıncın hızını artırarak basınç artışı sağlarlar [10].

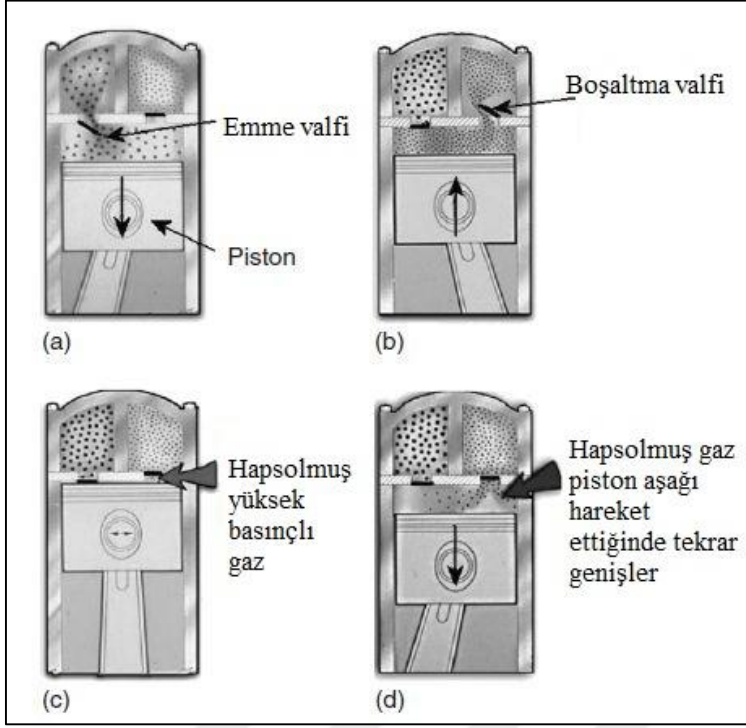


Şekil 2.1. Kompresörlerin sınıflandırılması [10]

2.1. Pistonlu Kompresörler

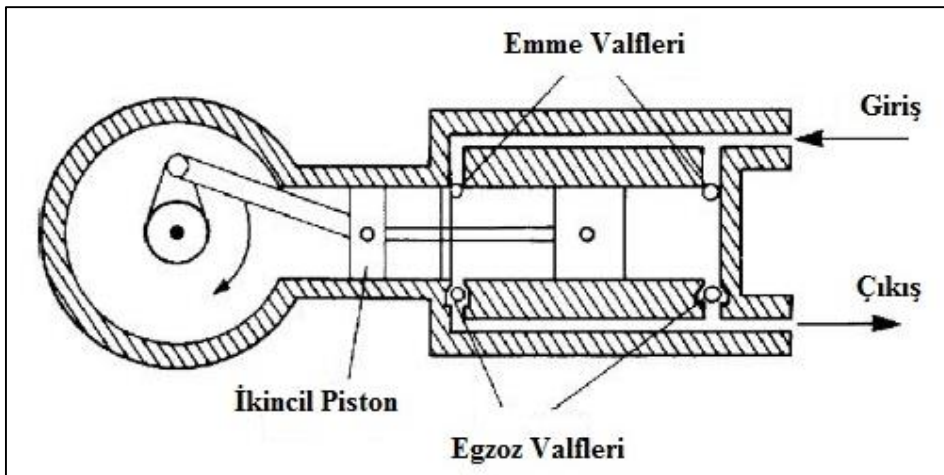
Pistonlu (reciprocating) kompresörler boyutları, silindir sayıları ve hızları değiştirilebildiği için endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Temel olarak silindir, piston, biyel ve valf kısımlarından oluşur. Pistonlu kompresörler basınçlı havayı iki çevrimde oluşturur. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi piston aşağı doğru hareket ederken emme kanalından düşük basınçlı hava silindir içine alınır. Silindir içindeki hava pistonun yukarı doğru hareketiyle sıkıştırılmaya başlar ve belirli bir basınç değerine ulaştığında otomatik olarak açılan boşaltım valfinden dışarı atılır. Emme valfi, silindir basıncı emme basıncından düşük olana kadar açılmamaktadır. Daha geniş genleşme veya boşluk hacmi, basınç emme basıncının

altına düşmeden önce pistonun silindirin altına gitmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Pistonun daha fazla gitmesi durumunda, vana açılmadan kayıplar artmaktadır [10].



Şekil 2.2. Pistonlu kompresörün çalışma prensibi [10]

Bu kompresörler pistonun sadece yukarı yönde hareketinde sıkıştırma yapıyorsa tek etkili hem yukarı hem aşağı yönde hareketinde sıkıştırma yapıyorsa çift etkili olarak adlandırılırlar. Şekil 2.3'te çift etkili pistonlu bir kompresör görülmektedir.



Şekil 2.3. Çift etkili pistonlu kompresör [11]

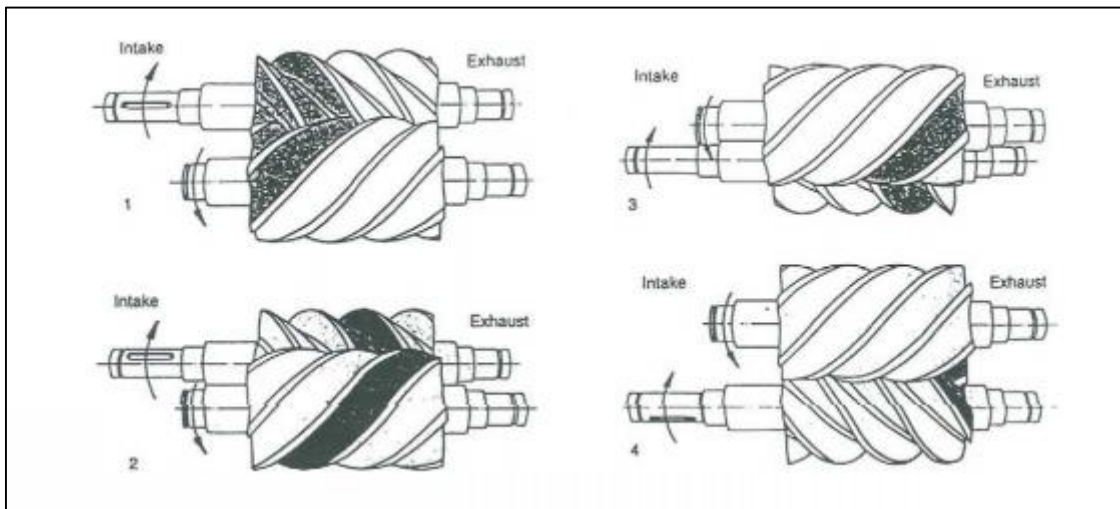
Pistonlu kompresörler yüksek basınç gerekli olan alanlarda daha çok kullanılmaktadır. En yüksek basınç uygulamalarından birinde deşarj basıncı yaklaşık 40 000 psi' dir. Silindir içine alınan akışkan miktarı silindir başına 100-10 000 cfm'dir. Sıkıştırma oranı 1-1,5'den fazladır [8].

2.2. Döngüsel Kompresörler

Döngüsel kompresörlerin pek çok çeşidi vardır. Şekil 2.1 de sınıflandırılmış olan vidalı, scroll, paletli ve döner pistonlu kompresörler endüstride yaygın olarak kullanılan döngüsel kompresör çeşitleridir.

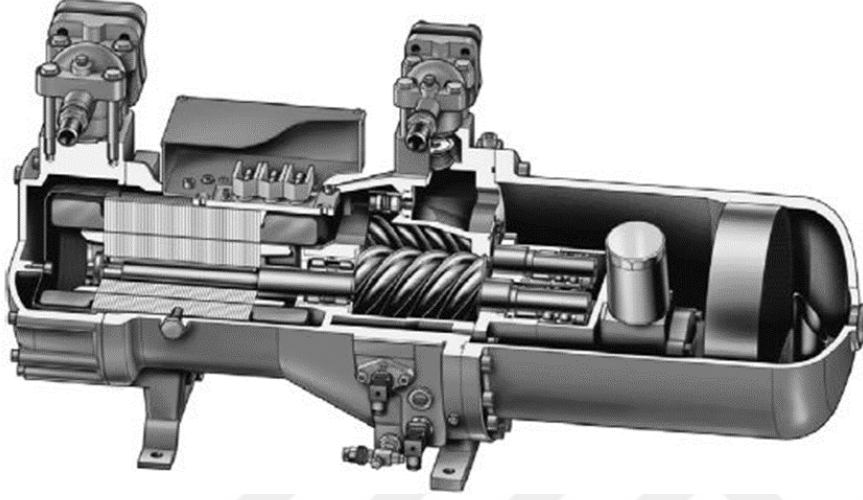
2.2.1. Vidalı kompresörler

Vidalı kompresörler dişli pompaların bir çeşidi olarak görülebilmektedir. Akışkanı sıkıştırmak için rotor profilleri maksimum süpürme hacmine sahip olacak ve rotorların birbirine temas ettiği bölgede boşluk hacmi vermeyecek şekilde tasarlanmıştır. Helisel vida adımı, giriş ve çıkış kanallarına ihtiyaç olmaksızın akışkan giriş çıkışını uç kısımlardan sağlamaktadır. Paralel şaft üzerinde birbirine yapışık çift rotora sahip olan vidalı kompresörler en çok görülen çeşididir (Şekil 2.4). Bu çift rotor çok küçük boşluklara sahip olan kasanın içinde döndüğünden, iki oluk arasındaki boşluk giriş deliğinin karşısına gelmekte ve akışkan içeri girmektedir. Rotorlar döndükçe hacim azaltılarak sıkıştırma yapmakta ve çıkış kanalından basınçlı hava tahliye edilmektedir [10].



Şekil 2.4. Çift rotorlu vidalı kompresörün sıkıştırma kademeleri [12]

Diğer tüm döngüsel kompresörlerde akışkan çevresel olarak sıkıştırılmaya çalışılırken vidalı kompresörlerde akışkan vida yolunu izlemektedir [13]. Bu kompresörler çeşitli rotor boyutları ve lob sayısı kombinasyonları ile başarıyla kullanılmıştır. Bu kompresör tipinde yağlama çok önemlidir. Yağlama, dişler boyunca olmakta ve çalışan parçaların soğumasını sağlamaktadır (Şekil 2.5) [10].



Şekil 2.5. Vidalı bir kompresörün yapısı [10]

Vidalı kompresörler donanma, deniz ve kamu uygulamaları, akaryakıt servisleri, endüstriyel brülörler ve takım tezgâhları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Geniş viskozite aralığında akışkanları sıkıştırabilirler. Sentetik akışkanları 3,5-345 bar basınca kadar sıkıştırabilmektedirler. Vidalı kompresörlerde dönen parçaların nispeten düşük eylemsizliği diğer döner kompresörler ya da pistonlu kompresörlerden daha hızlı çalışabilmesini sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda 10 000 rpm ve üstü hızlarda çalışabilmektedir. Vidalı kompresörler tıpkı diğer döner yer değiştirmeli kompresörler gibi kendinden emişli olup basınçtan bağımsız bir dağıtım akış özelliğine sahiptirler.

Amerika Hidrolik Standartlar Enstitüsüne göre vidalı kompresörler tek veya çoklu rotor tip olarak iki gruba ayrılmaktadır. Tek rotorlu kompresörlerin kullanım alanları daha dardır ve rotor dişleri dönme eksenine eksantriktir.

Avantajları

- Geniş akış ve basınç aralığına sahiptirler.
- Geniş viskozite aralığında çalışabilirler.

- Yüksek hız kapasitesine sahiptirler.
- Kendinden emişli ve yüksek emiş özelliğine sahiptirler.
- Minimum çalkalama ve köpürme gösterirler.
- Sessiz çalışırlar.
- Kompakt tasarıma sahiptirler ve kurulumları kolaydır.
- Diğer kompresörlere kıyasla kirlenmeye karşı yüksek toleransa sahiptirler.

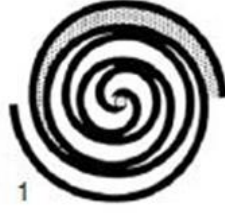
Dezavantajları

- Viskozite değişimlerine karşı duyarlı performans gösterirler.
- Yüksek basınç kapasitesi kompresör elemanlarının uzunluğunu gerektirir.
- Dönme boşlukları ve düşük tolerans değerlerinden yüksek maliyete sahiptirler [13].

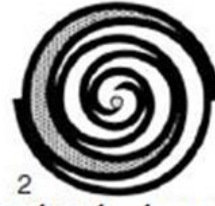
2.2.2. Scroll kompresörler

Scroll kompresör mekanizması çok eski yıllardan beri bilinmesine rağmen patenti 1950 yılında Fransa'da alınmıştır. Ancak o yıllarda başta ticari olarak erişilebilir bir kompresör olarak görülmemiştir. İmalat teknolojisinin hassas spiral formların üretilmesini sağlayacak kadar gelişmesiyle onun daha fazla kullanılması sağlanmıştır. Scroll kompresörler, soğutucu akışkanları Şekil 2.6'da gösterildiği gibi birbirine geçen spiral şeklindeki kaydırma elemanları ile sıkıştıran pozitif deplasmanlı makinelerdir [10].

Bir yörüngede dönen spiral ile durağan bir spiral arasındaki etkileşim, sıkıştırma işlemi üretir. Gaz dış cebe giriyor



1



2

Cep kapalı, sıkıştırma başlar.



3

Cep boyutu daralıyor.



4

Cep merkeze ulaştığında boşaltma kanalı ortaya çıkar.



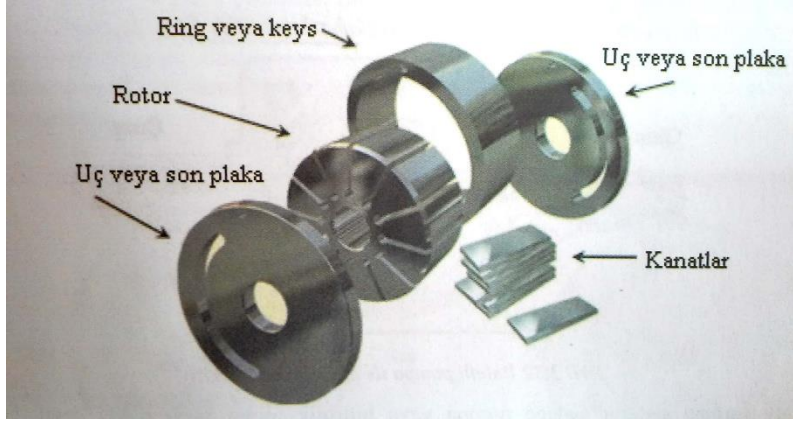
İşlem boyunca tüm cepler çeşitli sıkıştırma aşamaları içerisinde

Şekil 2.6. Scroll kompresörün çalışma prensibi [10]

Scroll kompresörler vidalı kompresörlerle bazı ortak özellikler gösterir. Her iki tip kompresörde gövdesinde hacim oranı oluşturur ve çizdikleri basınç oranı-etkinlik eğrileri benzerdir. Ancak sıkıştırma bölümlerinin sızdırmazlığı konusunda önemli farklılıklar gösterirler. Vidalı kompresörlerde rotor ile hazne arasındaki açıklığa dayanırken scroll kompresörlerde sızdırmazlık elemanlarına bağlıdır. Buna ek olarak scroll kompresörlerde emme açıklığı ve sarmalın merkezi olan boşaltma açıklığı arasında doğrudan bir yol yoktur. Bu yüzden kaçak ve ısı transferi miktarı çok azdır. Ayrıca hacimsel verimi diğer çoğu kompresör türlerinden daha yüksektir. Bu özellik vidalı kompresörlerden çok daha küçük yer değiştirmelerde daha verimli bir çalışma sağlar [10].

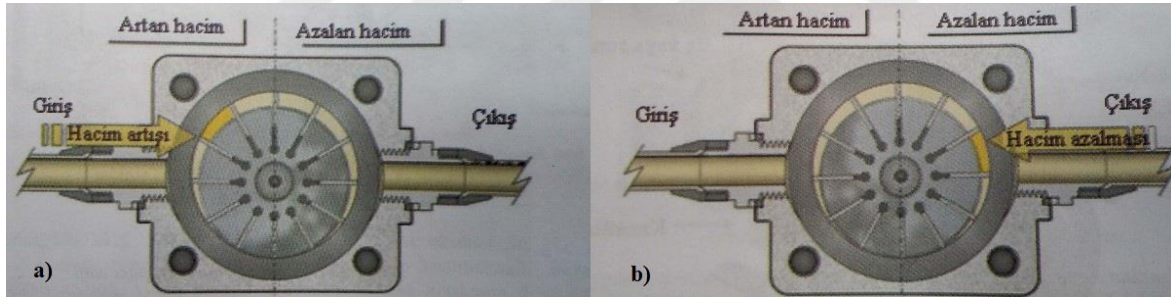
2.2.3. Kayan paletli döngüsel kompresörler

Bu sistemlerde birden fazla sayıda palet rotor üzerindeki kanallar içinde radyal olarak hareket etmektedir. Sistem rotor, palet (kanat), ring ve son plaka adı verilen elemanlardan oluşur (Şekil 2.7). Uç veya son plaka denilen parçalar üzerinde akışkan giriş ve çıkış yuvaları bulunur.



Şekil 2.7. Kayan kanatlı döngüsel kompresörün parçaları [14]

Saat yönünde dönen bir kompresörde rotorun dönmesiyle kanatlar arasında oluşan hacim artışı vakum etkisi oluşturur. Sistem içine alınan hava rotor döndükçe çıkış kanalına doğru hacmi azaltılarak taşınır ve hava basıncı artırılmış olarak çıkış kanalından tahliye edilir (Şekil 2.8).

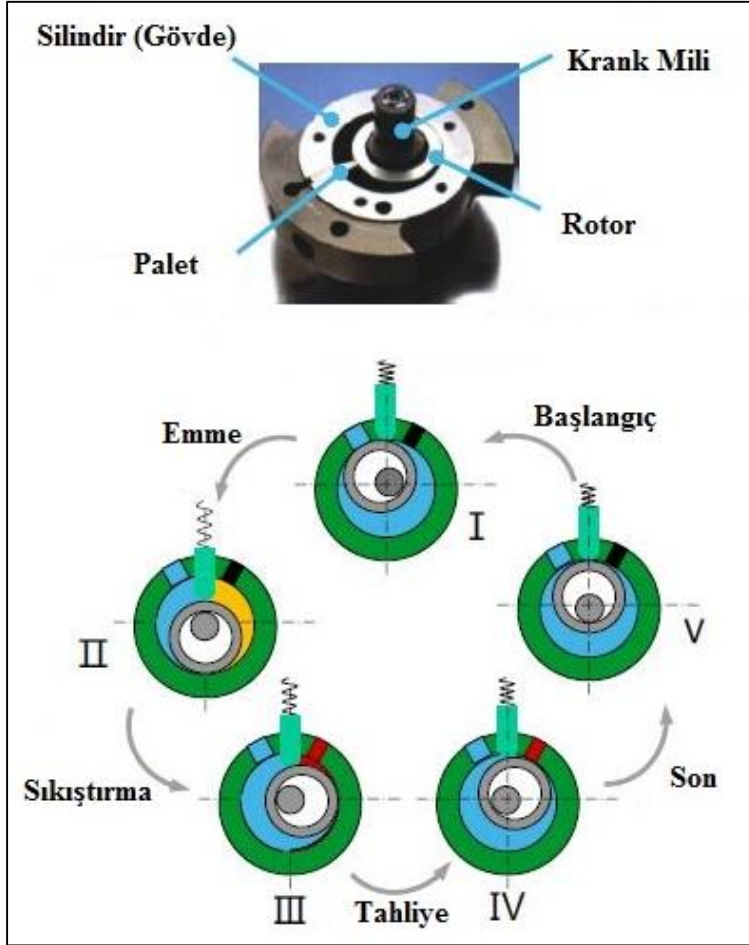


Şekil 2.8. a) Kompresöre havanın emilmesi, b) Havanın taşınması [14]

Bu sistem hava kompresörü veya hidrolik motor olarak kullanılmaktadır. Ayrıca gemi hidrolik sistemlerinde de yaygın olarak görülmektedir [14].

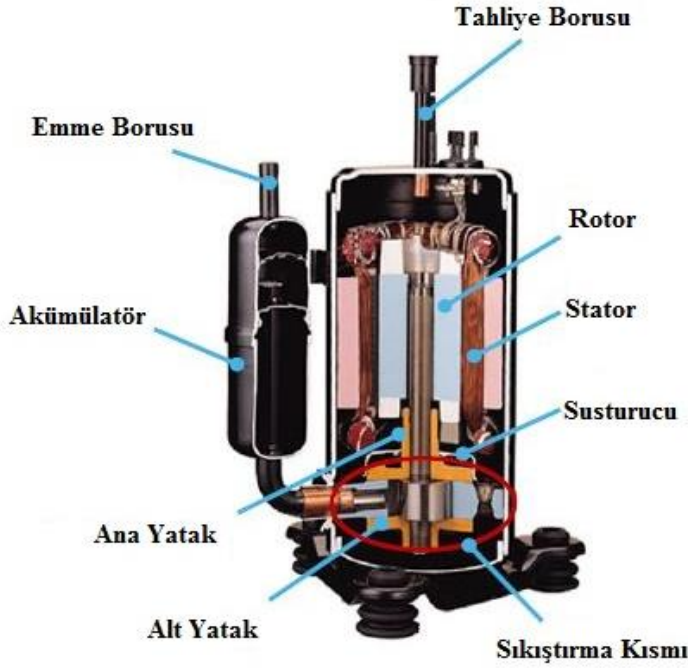
2.2.4. Paletli döngüsel kompresörler

Paletli döngüsel kompresörler ilk kez 1929 yılında İngiltere'de kullanılmıştır. Zamanla farklı tasarıma sahip uygulamaları endüstride sık sık kullanılır hale gelmiştir. Temelde gövde, rotor, palet ve yay olmak üzere dört elemandan oluşur [15]. Şekil 2.9'da paletli döngüsel kompresörün parçaları ve çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 2.9. Paletli döngesel kompresörün parçaları ve çalışma prensibi [16]

Gövde merkezinde bulunan mil, döner piston ya da da rotor denilen kompresör elemanı ile bağlıdır. Şekil 2.9’da görüldüğü gibi mil dönerken rotoru döndürür ve gövde üzerindeki yuvasında yay baskısı altında bulunan palet rotor döndükçe git-gel hareketi yapar. Rotor dönme hareketini yaparken palet, gövde ile rotor arasında ki hacmi iki kısma böler. Giriş kanalının bulunduğu tarafta palet-gövde-rotor arasında oluşan bölüm emme odası olarak çıkış kanalının bulunduğu taraftaki palet-gövde-rotor arasında oluşan bölüm ise basma odası olarak adlandırılır. Döner pistonlu kompresörlerde emme ve basma olayı aynı anda gerçekleşir. Pistonlu kompresörlerdeki gibi birbirini takip eden kademeli olaylar değildir [15].



Şekil 2.10. Paletli döngüsel kompresörün kesit görünümü [16]

Bu sistemler temiz sıvı pompası, pnömatik motor, hidrolik motor ve vakum pompası olarak da çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sistemin en önemli problemi basma odasındaki yüksek basınç nedeniyle dönme hareketi yapan rotor ile palet arasında ani temas kayıplarının oluşması ve sürekli yay baskısı altında kaldığı için palet ile rotor arasında aşınmanın görülmesidir [15].

Avantajları

- Emme ve basma kabiliyetleri yüksektir.
- Debileri devir sayısına göre değişir.
- Her devirde emer ve istenilen yüksekliğe basarlar.
- Kompakt tasarıma sahiptirler.

Dezavantajları

- İç kaçaklar nedeniyle hacimsel verim biraz azalır.
- Kirlenmeye karşı hassastırlar. (Emiş borusuna filtre takılması gerekir.)
- Hassas boyutlarda üretimi gerçekleştirilmelidir aksi takdirde verimi düşer [15].

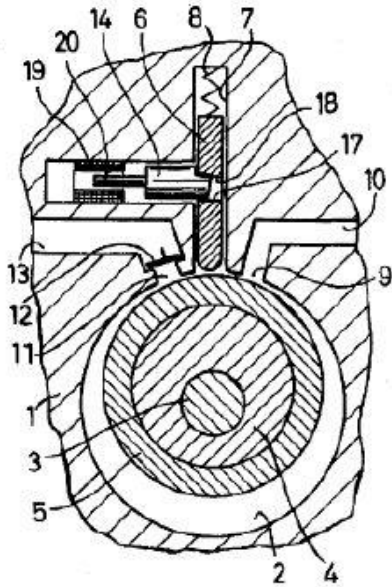
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması iki ana başlıkta yapılmıştır. Birincisi paletli kompresörler üzerine yapılmış çalışmaları içermektedir. İkincisi ise toz metalürji ile üretilen ve endüstride kullanılan sistem parçaları ile ilgili literatür araştırmasını içermektedir.

3.1. Paletli Kompresörler Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin çalışma performansı üzerine yapılan araştırmalar büyük önem kazanmış ve bu alanda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Enerji tüketimini azaltmak hala araştırmacıların odak noktasını oluşturmaktadır. Daha yüksek verimliliğe sahip kompresörler geliştirmek için çalışmalar sürdürülmektedir [17].

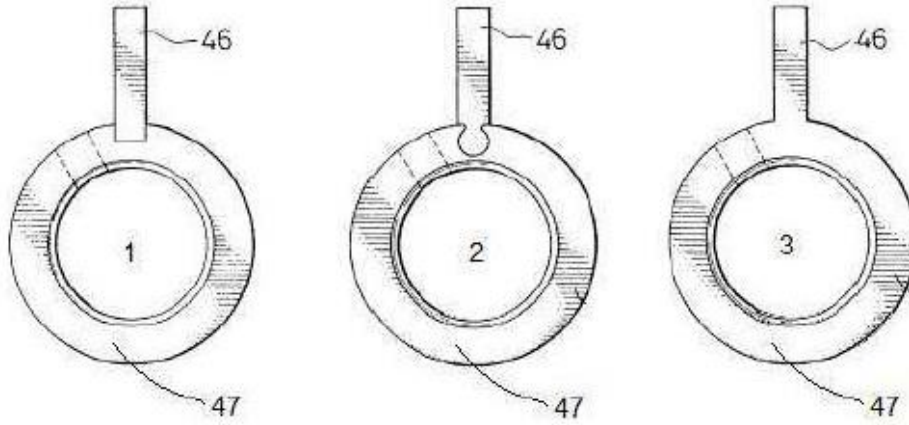
Stenzel, döngüsel kompresörlerin performansını geliştirmek için palet ile rotor arasındaki aşınmayı azaltmayı düşünmüş ve kilitli palet sistemine sahip bir kompresör tasarlamıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Stenzel'in kilitli palet sistemine sahip kompresörü [18]

Şekil 3.1'de 14 numara ile gösterilen pim yüksüz durumlarda palet üzerindeki yuvasına geçerek rotor ile palet arasındaki teması ortadan kaldırmaktadır [18].

Hattori, farklı palet tasarımları yaparak sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir (Şekil 3.2).



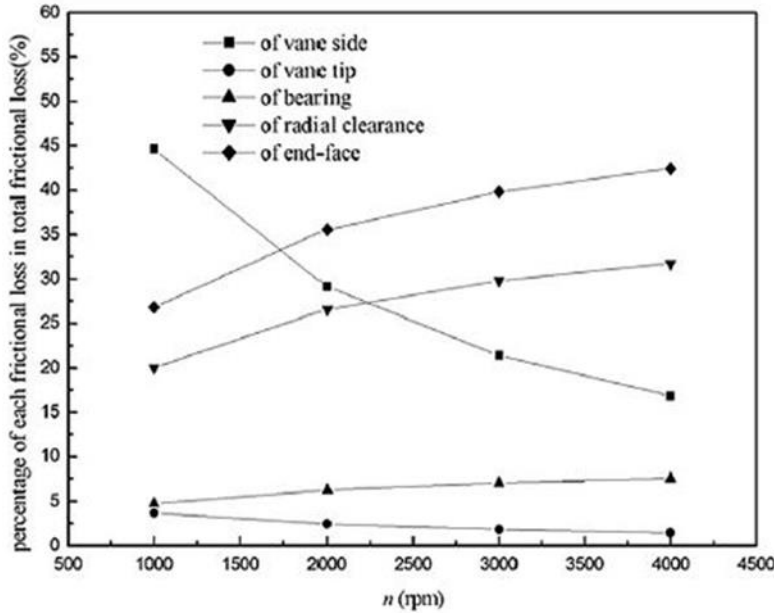
Şekil 3.2. Hattori'nin farklı palet mekanizması tasarımı [19]

Şekil 3.2'de görülen 1 numaralı tasarımda palet yay baskısı altındayken diğer tasarımlarda yay kuvvetine gerek yoktur. Rotor ve paletin bütünleşik olduğu 3 numaralı tasarımda hareket kısıtlıyken 2 numaralı tasarımda hareket kabiliyeti yüksektir ve sızdırmazlık daha iyi sağlanmıştır. [19].

Ooi 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada soğutucular için kullanılan döngüsel paletli kompresörün tasarım optimizasyonunu araştırmıştır. Bu çalışmada döner pistonlu kompresörün performansı, önceden belirlenmiş çalışma koşulları altında ve tasarım kısıtlamalarında çoklu değişken, doğrudan arama, sınırlı optimizasyon tekniği kullanılarak optimize edilmiştir. Kompresör için geometrik yapı, termodinamik etkiler, valf dinamiği, akış ve mekanik prensipten sorumlu bir matematik modeli formüle edilmiştir. Model, en az mekanik kayıplar ve en iyi kompresör performansı için tasarım ölçülerinin kombinasyonuna bağlıdır. Çalışmanın sonucunda uygun kompresör tasarım ölçülerinin kompresörün performansına önemli oranda etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Teorik çalışmalarda mekanik kayıplarda %50 azalmanın mümkün olduğu görülmüş ve bu kompresörün performans katsayısında %14'ün üzerinde bir iyileşme getireceği sonucuna ulaşılmıştır [20].

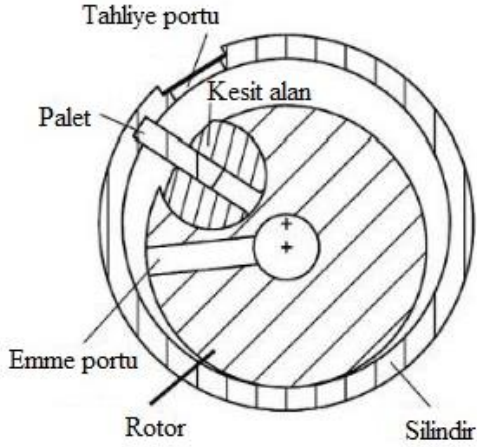
Tan ve Ooi paletli dönel kompresörlerin sürtünme kayıplarını azaltmaya yönelik bir tasarım yapılmıştır. Bu çalışmada paleti rotor ya da silindir üzerine sabitleyerek sürtünme kayıplarını azaltmaya yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bu yeni tasarım ile sürtünme kayıpları %18 ve %41 azaltılmış, mekanik verim %93 ten %94 ve %96 ya artırılmıştır [21].

Hu ve arkadaşları otomotiv klima sistemleri için kullanılan ve Swing Vane Compressor (SVC) olarak adlandırılan yeni bir dönel kompresör tasarlamışlardır. Valf yapısı basit destekli bir kirişe benzeyen SVC, paletli döngüsel kompresöre göre daha yüksek gaz basınçlarında ve daha yüksek dönme hızlarında çalışabilmektedir. Kompresör 1 000 rpm’den 4 000 rpm’e kadar test edilerek sürtünme analizi yapılmıştır. Yüzey sürtünmeleri ve valf yanlarında oluşan sürtünme SVC’nin sürtünme kayıplarını oluşturan ana kısımlardır. Dönme hızı 4 000 rpm’den daha az olduğu zaman SVC’nin sürtünme kayıpları paletli döngüsel kompresöre göre daha azdır. SVC otomotiv klima sistemleri için önemli bir alternatif oluşturmaktadır [22].



Şekil 3.3. SVC’nin dönme hızına göre sürtünme kayıplarının oranı [22]

Tan ve Ooi, 2013 yılında sabit kanatlı dönel kompresör olarak adlandırılan yeni bir kompresör tasarımı yapmış, üretimini gerçekleştirmiş ve test etmişlerdir (Şekil 3.4).



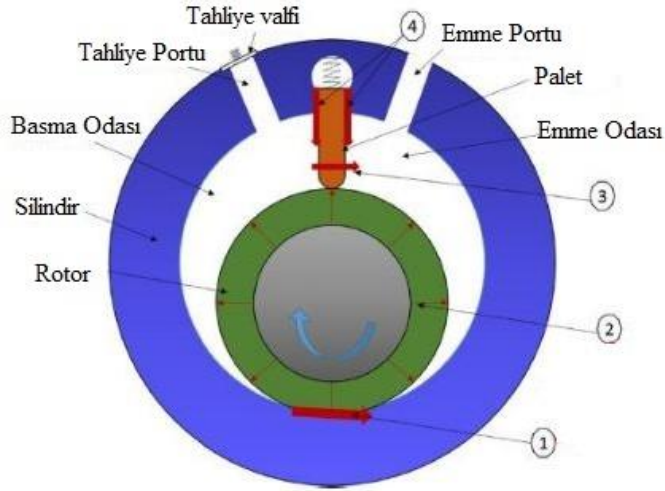
Şekil 3.4. Sabit kanatlı döngüsel kompresör [23]

Bu kompresör tasarımı, kanat yanlarındaki sürtünmenin basınç farkı bağımlılığını ortadan kaldırmıştır. Prototip kompresör, hava kullanılarak test edilmiştir. 1,5 bar tahliye basıncından başlayıp 0,3 bar artışla 2,4 bar basınca kadar 2 350-3 800 dev/dak ile çalıştırılmıştır. Test edilen basınç oranları aralığında tahmini ve ölçülen mekanik güç arasındaki tutarsızlık %10'un altındadır. Ölçülen hava akış hızı, tahliye basıncı 1,8 bar'dan düşük olduğunda tahmin edilenden daha büyük bulunmuştur [23].

Chen ve Wu, yağsız modellere sahip diğer kompresör tipleri ile karşılaştırıldığında, paletli döngüsel kompresörlerin daha fazla kaçak yolu ve daha büyük kaçak kaybına sahip olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle kaçak, yağsız bir döngüsel kompresörün geliştirilmesi için çözülmesi gereken önemli bir sorundur. Yapmış oldukları çalışmada düşük basınç kabuğunu, piston içindeki boşlukları, emme basıncında kanatçık arkasındaki boşluğu benimseyen ve radyal uyum mekanizmasını kullanan yeni bir döngüsel kompresör yapısı öne sürmüşlerdir. Daha sonra hem mevcut dönele kompresörün hem de yeni kompresör yapısının yağsız testleri yapılarak kütle akış oranını hesaplamak için kaçak modeli geliştirmişlerdir. Yeni yapıya sahip kompresör tarafından, kaçakların yağsız çalıştırılan bir döngüsel kompresörün performansına olan etkilerinin büyük ölçüde azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır [24].

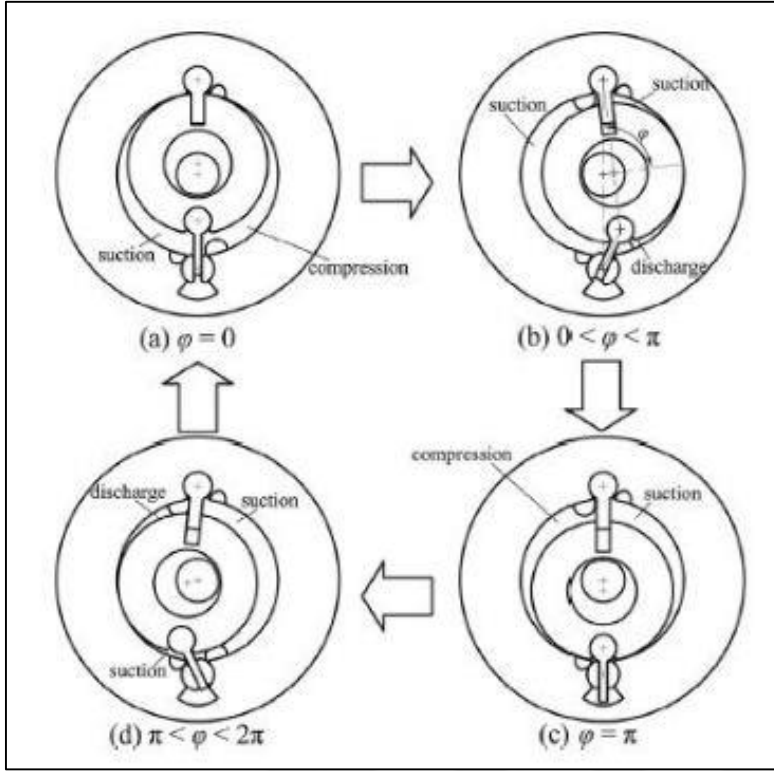
Cai ve arkadaşları 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada paletli döngüsel bir kompresörün iç kaçaklarını araştırmışlardır. İç kaçaklar paletli döngüsel kompresörün enerji tüketimini etkileyen en önemli faktördür. Bu yüzden bir matematik modeli oluşturularak iç kaçak kayıpları üzerinde kaçak kanalının geometrisi, uzunluğu, basınç farkı

ve minimum boşlukların etkisi analiz edilmiştir. Şekil 3.5'te kaçak bölgeleri gösterilmiştir [25].



Şekil 3.5. Paletli döngüsel kompresörde meydana gelen kaçaklar ve bölgeleri [25]

Yang ve arkadaşları ise elektrikli araç klima sistemlerinde kullanılmak üzere çift salımlı paletli kompresör (DSVC) adını verdikleri yeni bir tasarım geliştirmişlerdir (Şekil 3.6). Mekanizmanın dinamiği ve mekanik etkinliği teorik olarak formüle edilip analizi yapılmıştır.



Şekil 3.6. DSVC'nin çalışma prensibi [26]

Aynı çalışma koşulları ve boyutları altında DSVC'nin teorik hacimsel akış miktarı, salınlı tek kanat kompresörünün (SVC) yaklaşık 1,6 katıdır ve DSVC'nin mekanik verimi de SVC'den daha fazladır. Çift salınlı paletlerin tasarımı, eksantrik ve mil yatakları üzerindeki yük dalgalanmalarını geliştirir ve kompresörün daha yumuşak çalışmasını sağlar. DSVC'nin yapısının ve dinamiklerinin değerlendirilmesi sonucunda, yüksek verimlilik, hafiflik ve basit bileşen geometrileri gibi avantajlara sahip olduğunu görülmüştür. Bu onu elektrikli araçların klima sistemlerinin gereksinimlerine çok uygun hale getirmektedir [26].

Yang ve arkadaşları çift kademli bir kompresörün performansını artırabilmek için boyut parametreleri üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin güvenilirliğini doğrulamak için aynı kompresörün simülasyonunu yapıp elde edilen veriler ile kıyaslamışlardır. Silindir yüksekliğinin çapına oranı, emme portunun çapı, boşaltım portunun çapı, valf yüksekliği ve silindir iç yüzeyi ile rotor arasındaki tolerans bu çalışmada araştırılan boyut parametreleridir. Yapılan çalışma sonucunda çift kademli döngüsel kompresörün performansına etki eden en önemli parametrelerin sırasıyla valf

yüksekliği ve emme portunun çapı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca referans alınan çalışma şartlarına kıyasla %2,6 daha fazla enerji verimliliği sağlanmıştır [27].

Molinaroli ve arkadaşları pistonlu, vidalı ve scroll kompresörlerde kompresörü simule etmek için sayısal modeller mevcutken döngüsel kompresörlerde sayısal modelin bulunmadığını belirtirler. Bunun için yaptıkları çalışmada döngüsel kompresör için sayısal model oluşturmayı amaçlamışlardır. İyi bir genellik derecesi elde etmek amacıyla, farklı uygulamalar için tasarlanmış, farklı soğutucularla çalışan dört farklı kompresörü dikkate alarak doğrulama yapmışlardır. Toplamda, 240 performans verisi dikkate alınmış ve hesaplanan soğutucu akışkan kütle akış oranlarının %96'sından fazlası ve hesaplanan kompresör elektrik güçlerinin %97'sinden fazlası için ± 5 oranında bir doğruluk elde etmişlerdir [28].

Shuxue ve Guoyuan buhar enjeksiyonlu iki kademeli sıkıştırmaya sahip soğutma/ısı pompaları için termodinamik bir model oluşturmuştur. Bu termodinamik modele dayanarak bir prototip oluşturmuş ve test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, tek kademeli sıkıştırmaya sahip ısı pompası sistemi ile karşılaştırıldığında soğutma kapasitesinin %5-%15 verim değerinin ise %10-%12 artabileceğini göstermiştir [29].

Ma ve arkadaşları, ASPEN firması tarafından düzenlemeler yapılan küçük döngüsel kompresörün, uzay çalışmalarında kullanılabilmesi amacıyla yer çekimli ve yerçekimsiz ortamda çalışabilme kabiliyeti test etmek için düz ve ters konumda çalıştırmıştır. Elde edilen veriler kıyaslandığında kompresörün çoğunlukla düz konumdaki performansı daha yüksek olsa da ters konumdayken de uzun süre stabil olarak çalışabildiği sonucuna ulaşmışlardır [30].

Lee ve arkadaşları çift kademeli döngüsel kompresörün kapasitesini ve kapasite verimini geliştirmek için deneysel çalışma yapmışlardır. Elde edilen veriler daha önceki çalışmalarında bulunan sayısal modelin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonuçlardaki en büyük hata oranı %3 olarak hesaplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre güç durumunda; çift kademeli kompresörün tek kademeli kompresöre göre soğutma kapasitesi %1 daha fazla, enerji tüketimi %3 daha az tasarruf durumunda ise soğutma kapasitesi %10 daha fazla, enerji tüketimi %8 daha az olarak bulunmuştur [31].

3.2. Toz Metalürjisi ile Parça Üretimi Yapılan Çalışmalar

Ahmad ve arkadaşları alümina ile güçlendirilmiş alüminyum matrisli kompozit malzemedan fren diski üretmişlerdir. Hacimce %30 alümina içeren bu disk malzemesinin aşınma davranışını incelemiş ve disk üretiminde standart olarak kullanılan malzeme ile karşılaştırmıştır. 25, 50, 75 ve 100 rpm dönme hızında yapılan testlerde alüminyum matrisli kompozit malzemelerin ağırlık kaybının standart malzemeye göre daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır [32].

Qiu ve arkadaşları toz metalürjisini kullanarak Ti alaşımından biyel kolu üretmişlerdir. Ti-1,5 Fe-2,25 Mo alaşımı kullanılarak üretilen bu biyel kolunun mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemişlerdir. Yapılan testler sonucunda Ti alaşımından yapılan biyel kolunun gerilme ve uzama mukavemeti, biyel kolu yapımında yaygın olarak kullanılan PF-11C50/60 çeliğinden daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır [33].

Karlsson, Höganäs firması ile bir ralli aracına toz metalürjisi yöntemi ile vites kutusu dişlisi üretmiştir. Dişinin üretiminde sıcak izostatik presleme tekniği kullanılmıştır. Üretilen dişlinin hafif oluşu atalet direncinin azalmasını sağlamış ve performansı artırmıştır. Ayrıca %15 daha fazla darbe direnci sağlamıştır. Toz metalürjisinin hafif parça üretimi, düşük maliyet ve sessiz çalışma gibi avantajlara sahip olması elektrikli araç üreticileri için cazibe noktası olacağı belirtilmiştir [34].

Ranganathan ve arkadaşları yağ pompasının mil yatağı ve rotor kısmını toz metalürjisi yöntemiyle üretmiş ve bu parçaların aşınma davranışını incelemiş, pompanın parçaları arasındaki toleransın pompanın volümetrik verimine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma ile tolerans değerinin verime önemli etkisinin olduğu ve optimal bir tolerans değerinin verimi artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [35].

Langhof ve arkadaşları toz metalürjisi tekniği ile seramik matrisli kompozit malzemedan iki balata üretmiş ve bunların aşınma davranışlarını incelemiştir. Balatalardan birinde C/SiC diğesinde dolgu malzemesi olarak hacimce %11 oranında kömür içeren C/SiC malzemesi kullanılmıştır. Testleri hem laboratuvar ortamında hem de gerçek boyutlu dinamometrede yapılmış ve kömür içeren balatanın aşınma oranının daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır [36].

Xiao ve arkadaşları yüksek hızlı trenler için bakır metal matrisli kompozit malzemeden balata üretmiş, mekanik ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Balatanın testlerini tam ölçekli dinamometrede yapmışlardır. Testlerde, 300-380 km/h hızlar için frenleme mesafesi, frenleme zamanı, ortalama sürtünme katsayısı ve disk yüzeyinin en büyük sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda bakır metal matrisli kompozit malzemenin teknik gereklilikleri yerine getirebildiği ve yüksek hızlı tren uygulamaları için büyük öneme sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [37].





4. TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi (T/M), toz halindeki malzemelerin basınç ve sıcaklık yardımıyla şekillendirilip ürün elde edilmesidir [7]. T/M çok eski zamanlardan beri bilinen ve çeşitli alanlarda üretim için kullanılan önemli bir üretim yöntemidir. T/M tekniğinin ilk uygulamalarından biri sünger demir tozu elde etmek için demir tozunun kömür ile indirgenmesi olmuştur. Daha sonra demir tozları dövülerek şekillendirilmiştir. Delhi'nin Ashoka sütunları da T/M tekniğinin tipik bir örneğidir. Ancak T/M tekniği, 19. yüzyılın başında tungsten tozlarının toryum ile güçlendirilerek elektrik lambası filamanı üretilmesiyle önem kazanmıştır. Tungsten karbür takımların geliştirilmesi T/M endüstrisi için diğer bir dönüm noktası olmuştur. Gözenekli yatakların üretilmesi ile T/M tekniğinin gelişimi daha da hız kazanmıştır. 20. yüzyılın son çeyreğinde atomizasyon yöntemi ile toz eldesi, mekanik alaşımlama, soğuk izostatik pres, sıcak izostatik pres yöntemlerinin geliştirilmesi ve bunlarla parça üretilmesiyle T/M gittikçe önemi artan bir üretim yöntemi olmuştur.

T/M tekniği, metal tozlarından mamul ve yarı mamul üretimi için kullanılabilir. Teknik özellikler bakımından eşsiz, ekonomik, çevre dostu ve enerji verimi yüksektir [38].

Çizelge 4.1. Bazı sektörlerde farklı uygulamalarda kullanılan toz malzemeler [38]

Sektör	Uygulama	Toz Malzeme
Otomotiv	Klima	Demir, çelik
	Alternatör	Platinyum alaşımları, demir
	Filtreler	Paslanmaz çelik, bronz
	Vites kutusu parçaları	Demir, bakır, çelik
Havacılık	Fren balataları	Bakır, kurşun, kalay, grafit, demir
	Isı kalkanları	Berilyum, tungsten
	Jet motor parçaları	Süper alaşımlar, ODS alaşımlar
	Roket yakıtları	Molibden, bakır nikel alaşımları, kobalt alaşımları
Elektrik-Elektronik	Bataryalar	Nikel, gümüş, demir, grafit, çinko, kurşun
	Katot ışını tüpleri	Grafit, nikel
	Seloidler	Demir
	Telefon bileşenleri	Demir, pirinç, paladyum, paslanmaz çelik
	Yarı iletkenler	Kurşun

Tungsten lamba teli yapımı, katı roket yakıtları, otomobil vites kutusu dişlileri, nükleer güç

yakıt elemanları, dişçilik amalgamları, zırh delici mermiler, boya ve piller gibi farklı endüstriyel dallarda birçok ürünün üretilmesinde kullanılmaktadır [39].

Toz Metalürjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Toz metalürjisi diğer üretim teknikleriyle kıyaslandığında ekonomi ve kısa üretim safhalarıyla ön plana çıkmaktadır.

T/M'nin avantajları

- Üretim hızı yüksektir.
- Karmaşık şekilli parçaların üretimi kolaydır.
- İki farklı toz karıştırılarak alaşım elde edilmesi kolaydır.
- Üretilen ürün nihai ürüne yakın olduğu için ek işlem gerektirmez.
- Yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir.
- TM ile üretilen ürünün işlenebilirliği kolaydır.
- Diğer üretim yöntemlerine kıyasla malzeme tasarrufu sağlar.
- Üretim hızı yüksek, işçilik az ve talaşlı imalat gibi malzeme kaybı olmadığı için ekonomiktir.

T/M'nin dezavantajları

- Kalıp maliyetleri yüksektir.
- Presleme safhasında eşit olmayan basınç dağılımı, parça yoğunluğu ve özelliklerinde farklılıklara neden olur.
- Sahip olduğu gözenekli yapıdan dolayı bazen düşük mekanik özelliklere sahip ürün üretimine neden olur.
- Kalınlık/çap oranı çok yüksek olan parçaların üretimi zordur [40].

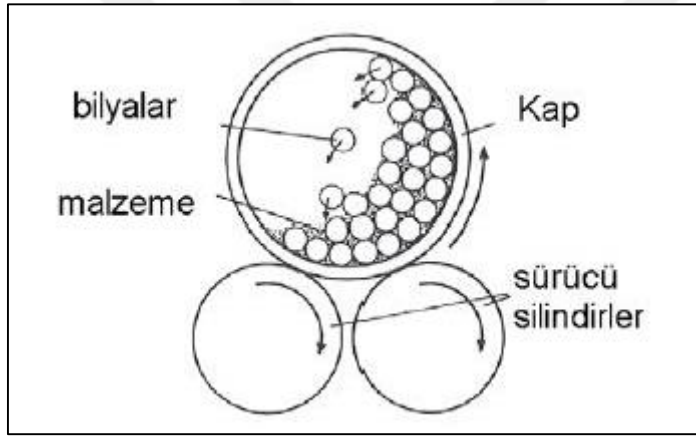
4.1. Metal Tozların Üretimi

Metal tozları, toz metalürjisi yöntemiyle yapılan üretimin ana malzemesidir. Doğada kullanıma hazır halde bulunmayan bu tozların üretim şekli nihai ürünün özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Her zaman üretilecek ürünün en iyi özelliklere sahip olması istenir. Bu nedenle arzu edinilen nihai ürünü üretmek için gerekli olan ilk şey proses

şartlarına uygun metal tozu üretimidir. Metal toz üretim yöntemleri yeni toz karışımı, maliyet, yüksek performans ve kalite gibi gereksinimlere cevap verebilmek için sürekli gelişmektedir. Ancak temelde mekanik, kimyasal, elektrolitik ve atomizasyon olmak üzere dört üretim yönteminden oluşur [5].

4.1.1. Mekanik yöntemlerle toz üretimi

Mekanik yöntemlerle toz üretimi öğütme, mekanik alaşımlama ya da talaşlı işleme gibi farklı uygulamalarla yapılabilmektedir. Ancak en çok kullanılan yöntem silindirik bir kap içinde bulunan aşınmaya karşı dirençli bilyalar ile yapılan öğütmedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Öğütme ile metal tozu üretimi [5]

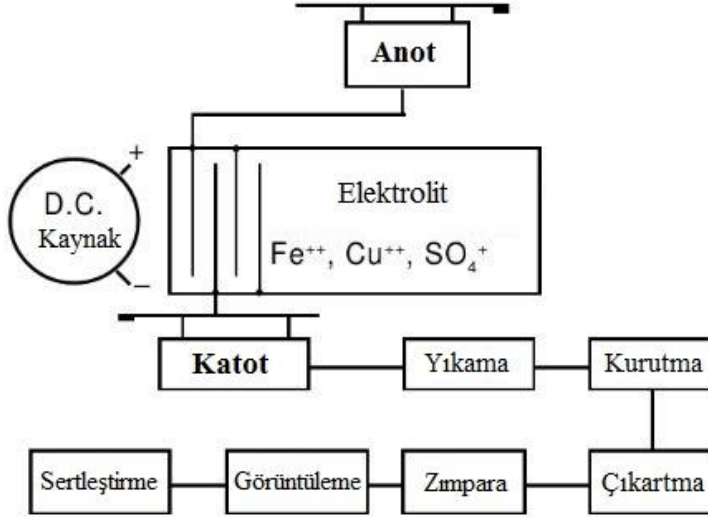
Bilyalı değirmenler ile öğütme kırılğan malzemeler için uygundur. Ancak sünek malzemeler kolay kırılmadığı için bu yöntemle öğütmeye uygun değildir. Sünek tanecikler kırılma yerine soğuk kaynaklama ile birbirine yapışır ve daha büyük tanecik oluşumuna neden olurlar. Sünek malzemelerde bu durumu engellemek için yağlayıcı kullanılır [5].

4.1.2. Kimyasal yöntemle toz üretimi

Oksitlerin indirgenmesi, hibrit çökelme, bir gaz veya çözeltiliden çökelme, termal ayrışma gibi kimyasal yöntemler kullanılarak pek çok metal tozu elde edilebilmektedir. Proses ve üretim değişkenleri çeşitliliğine sahip olduğu için parçacık boyutu ve şeklinin kontrol edilebilmesine izin verir [5].

4.1.3. Elektroliz yöntemi ile toz üretimi

Elektroliz yöntemiyle demir, bakır, titanyum, berilyum ve paladyum üretilmektedir [5]. Ancak bu yöntem demir tozu üretiminde yüksek maliyete sebep olduğu için daha çok bakır tozu üretiminde kullanılır [5]. Üretilen tozlar dentritik şekle sahip saf element tozlarıdır. Ayrıca alaşım tozları elektroliz yöntemiyle üretilemez [41].

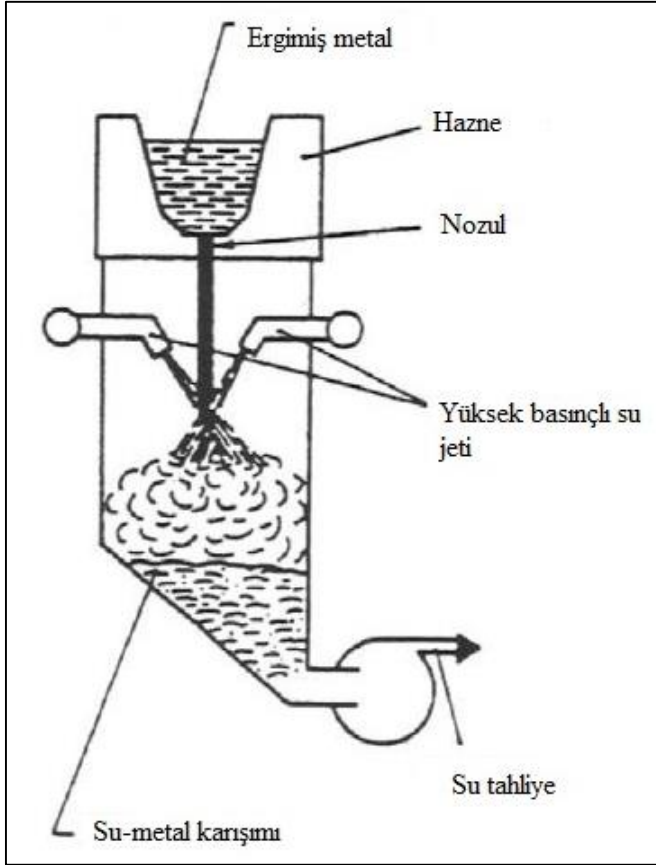


Şekil 4.2. Elektroliz yöntemiyle metal tozu üretim safhaları [42]

4.1.4. Atomizasyon yöntemiyle toz üretimi

Metal tozlarının üretimi için pek çok alternatif yöntem mevcuttur. Atomizasyon yöntemi ile metal tozu üretimi de bunlardan biridir ve toz üretim hacminde oldukça büyük bir paya sahiptir. Atomizasyon yöntemiyle toz üretimi, ergimiş metale su veya gaz püskürtülerek ince damlacıklara bölünmesiyle gerçekleşir.

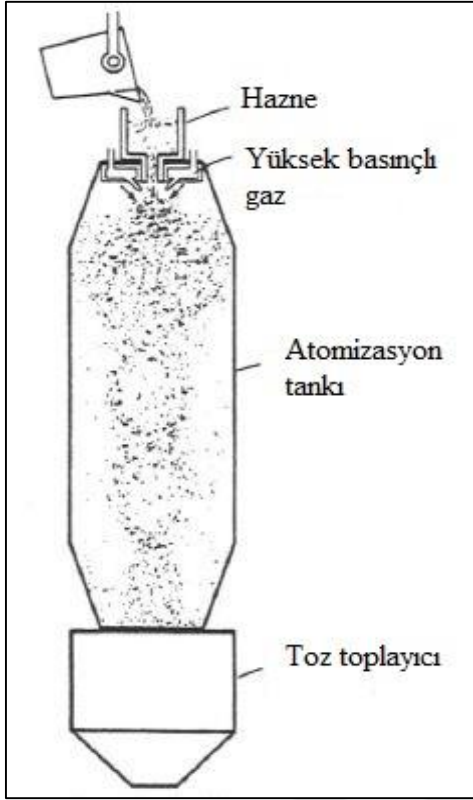
Şekil 4.3'te su atomizasyonu tekniği ile metal tozu üretimi gösterilmiştir. Su atomizasyonu ile toz metal üretiminde, ergimiş metal bulunduğu haznedeki yerçekimi etkisi ile sıcaklığa dayanıklı bir nozuldan akar. Akan bu metal eriyiğine yüksek basınçta su püskürtülür ve ince damlacıklara ayrılan eriyik ani soğumaya uğrayarak toz haline gelir.



Şekil 4.3. Su atomizasyonu tekniği ile toz metal üretimi [43]

Su atomizasyonunda su jetlerinden püskürtülen su basıncı genellikle 5-20 MPa'dır. Bu yöntem ile 150 μm 'dan daha küçük boyutlu toz tanecikleri elde edilir. Tozlar oldukça düzensiz şekle sahiptir ve indirgeme reaksiyonundan dolayı toz yüzeylerinde oksitlenme görülebilir.

Şekil 4.4'te gaz atomizasyon tekniği ile toz metal üretimi gösterilmiştir. Gaz atomizasyon yöntemiyle üretilen tozlar su atomizasyonuna göre daha düzenli şekle sahip ve daha temizdir. Gaz atomizasyonu sistemindeki temel fark su yerine uygun bir gaz kullanılmasıdır ve genellikle Argon gazı kullanılır. Metal eriğinin gaz ile soğutulması, su ile soğutulmasına göre daha yavaş gerçekleştiği için gaz atomizasyonunda tank boyutu daha büyük olmalıdır. Toz parçacık boyutu, gaz püskürtme hızının karesiyle ters orantılıdır. Bu nedenle ince tozların üretimi 100 m/s den daha yüksek gaz hızları gerektirir [43].



Şekil 4.4. Gaz atomizasyon tekniği ile toz metal üretimi [43]

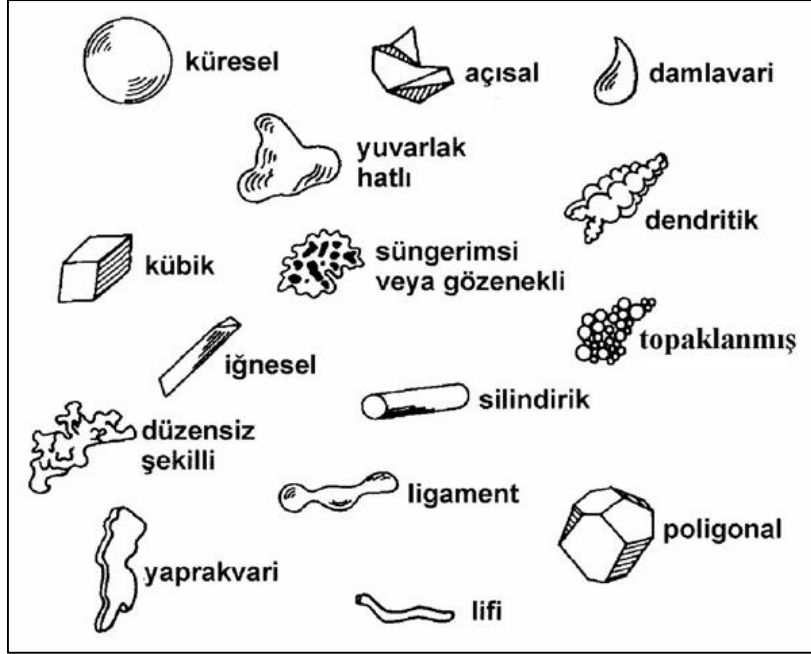
4.2. Toz Partiküllerin Özellikleri

Endüstride birçok farklı alanda kullandığı için T/M yöntemiyle üretilen parçalarda farklı özellikler aranmaktadır. Bu yüzden toz partiküllerin özellikleri kullanım alanının gereksinimlerine göre belirlenmelidir. Tozların özelliklerinin büyük bir kısmı üretim yöntemiyle ilişkilidir. Tozların özelliklerin belirlenmesinde tozun tane boyutu, şekli, yüzey alanı, kimyasal yapısı gibi değişkenler dikkate alınmaktadır. Tozların özelliklerinin belirlenmesi için ASTM standartlarında belirtilen numune alma yöntemleri kullanılır. Genellikle deneyler için 100 g toz yeterlidir. Ancak az miktarda alınan bu tozlar tüm tozu temsil edecek nitelikte olmalıdır. T/M de kullanılan tozların özellikleri fiziksel özellikler ve kimyasal özellikler adı altında iki ana grupta incelenir [40].

4.2.1. Fiziksel özellikler

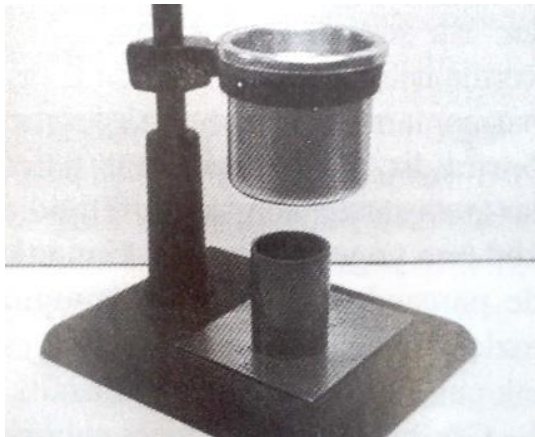
Tane boyutu, tane şekli, yoğunluk, akıcılık, sıkıştırılabilirlik tozların fiziksel özelliklerindendir. Bu özelliklerden tane boyutunu tam olarak belirlemek oldukça güçtür.

Mikroskop, eleme, ışığın kırınımı gibi yöntemlerle ölçülse de bu yöntemlerin birçoğu parçacık ölçümünü sınırlı bir aralıkta yapar. Diğer bir özellik olan toz tanecik şekli paketlemeyi, akıcılığı ve sıkıştırılabilirliği etkileyen önemli bir faktördür. Tane şeklini sayısal olarak ifade etmek zor olduğu için toz taneleri Şekil 4.5'te niteliksel olarak tanımlanmıştır [44].



Şekil 4.5. Çeşitli üretim teknikleri ile üretilmiş toz şekilleri [44]

Görünür yoğunluk bir toz kütleinin sıkıştırılmamış halde kapladığı hacme oranıdır. Hall hunisi (Şekil 4.6) yardımıyla ölçülür ve kalıp boşluklarının ölçülerini belirleyen en önemli faktördür. Toz tane şekli, tane boyutu ve yüzey alanına bağlı olarak değişir [45].



Şekil 4.6. Hall hunisi [44]

Yapılan çalışmalar görünür yoğunluğun artmasıyla sıkıştırılabilirliğin arttığını göstermektedir. Görünür yoğunluk yüksekken uygulanan düşük basınçlarda bile oldukça yüksek yoğunlaşma sağlanabilmektedir. Ancak yüksek görünür yoğunluğa sahip olan tozlar genellikle iyi sinterlenme özelliğine sahip değildir [40].

Akıcılık belirli miktardaki bir toz kütesinin yerçekimi etkisi altında küçük bir boşluktan akma süresini ifade eder. Akış süresi, tozların kütesel debisi ile ters orantılıdır. İri taneli tozların akıcılığı yüksek ve akma süresi düşüktür. Küçük boyutlu tozlarda ise yüzey alanı fazla olduğu için tozlar arası sürtünme daha yüksektir. Bu nedenle akıcılığı düşüktür.

Tozların şekillendirilmesinde sıkıştırma yaygın kullanılan bir yöntemdir. Sıkıştırılabilirlik uygulanan belirli bir basınç altında tozun yoğunlaşmasını ölçer. Kalıp, toz ile görünür yoğunlukta doldurulur ve toz kütesi basınç uygulanarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonrasında ölçülen yoğunluğa ham yoğunluk adı verilir ve ham yoğunluk sıkıştırılabilirliğin ifade edilmesinde temel oluşturur [44].

Sıkıştırılabilirliğe etki eden faktörler:

Toz sertliği: Presleme ile tozlar deformasyona uğradığı için sertlik, sıkıştırılabilirlik için önemli bir faktördür.

Toz şekli: Karmaşık şekilli tozların sıkıştırılması daha zordur.

Toz tane boyutu: Geniş boyut dağılımına sahip tozların sıkıştırılabilirliği daha yüksektir.

İç gözeneklilik: Toz içinde bulunan gözenekler hava hapsederek sıkıştırılabilirliği azaltır.

Yağlayıcılar: Toz taneleri arasındaki sürtünmeyi azalttığı için sıkıştırılabilirliği artırır [40].

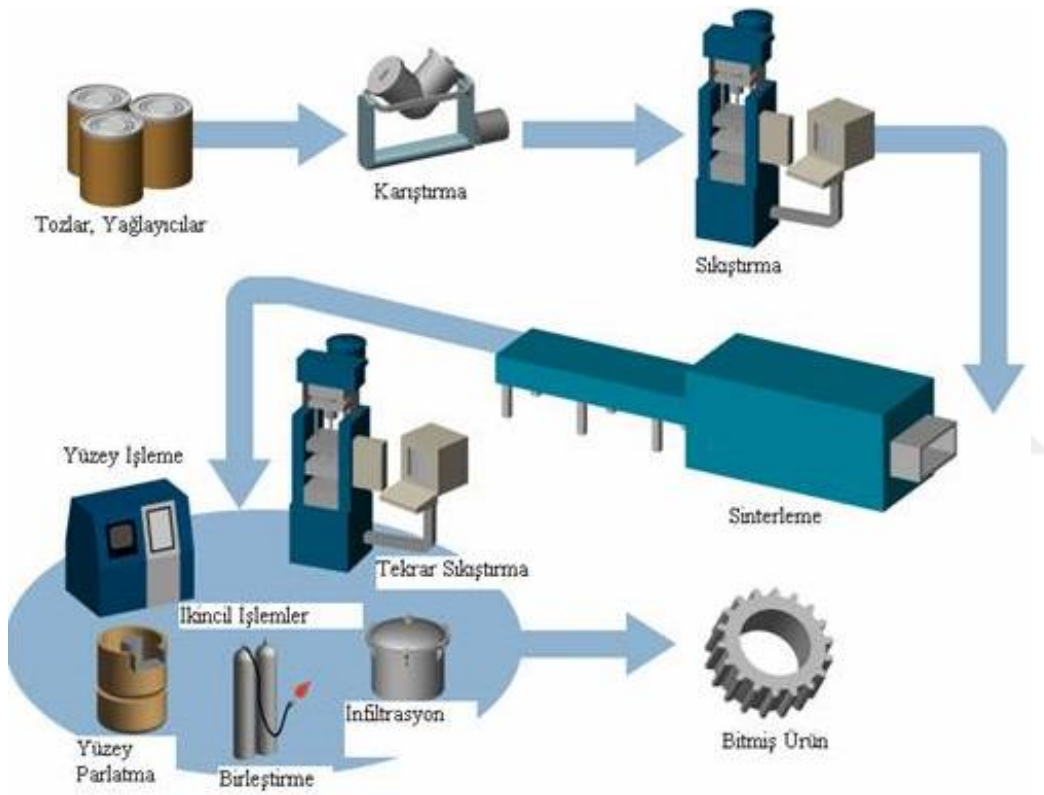
4.2.2. Kimyasal özellikler

Saflık ve bileşen durumu malzemelerin kimyasal özelliklerindedir. Toz malzemenin kimyasal özellikleri, sıkıştırma ve yoğunlaşma seviyesini etkiler. Sıkıştırma ve sinterleme safhalarında malzemeler kimyasal reaksiyona uğrar. Bu reaksiyonların türü ve gelişimi tozların bileşenleri ile yakından ilişkilidir. Ayrıca malzemenin bileşen yapısı sinterleme sıcaklığını, sinterlenmiş malzemenin özelliklerini ve sinterleme atmosferinin türünü de etkiler. Tozların saflığı ya da safsızlığı ise üretim yöntemleri ile ilgilidir. Saf olmayan bazı tozlar oksijen ve hidrojen gibi gazlar içinde çözündürülür. Bir malzeme az miktarda

oksijen içeriyorsa ya da oksijenle çözdürülürse o malzemenin sertleştirilmesi zorlaşır. Bu etkiler presleme safhasında sıkıştırma boyunca tozun yoğunluk kapasitesini azaltır [38].

4.3. T/M Üretim Safhaları

T/M ile üretim; tozların karıştırılması, sıkıştırma ve sinterleme olmak üzere üç temel adımda gerçekleştirilir. Üründe hedeflenen özelliklere göre ilave olarak ikincil işlemler uygulanabilir. Şekil 4.7’de toz metalurjisi üretim tekniğinin işlem safhaları gösterilmiştir.



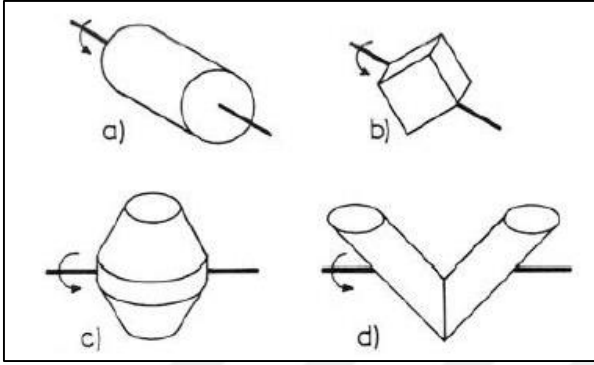
Şekil 4.7. Toz metalurjisi üretim tekniğinin işlem safhaları [46]

4.3.1. Tozların karıştırılması

Tozların üretilmesinden sonra en önemli safhalardan biri olan bu safhada metal tozları, yağlayıcı maddeler ile karıştırılır. Yağlayıcılar hem metal tozların birbirini üzerinden kayması sağlar hem de takım yüzeyleri ve kalıp duvarları da yağlanarak sürtünmeyi azaltılmış olur. Karışımlar genellikle %0,5 – 1,5 arası yağlayıcı içerir. Çinko stearat, stearik asit, metalik stearatlar ve parafin T/M yöntemiyle yapılan üretimlerde en çok kullanılan yağlayıcılarıdır. Alaşım elde edebilmek için farklı tozların da ilave edilebildiği

bu adımda temel hedef homojen bir karışım elde etmektir [5].

İdeal süreli bir karıştırma işlemi toz taneleri arasındaki sürtünmeyi azaltır, tozların kalıp duvarlarını aşındırmasını önler ve sıkıştırma işlemi sonrası parçanın kalıptan daha kolay çıkartılmasını sağlar. Uzun karıştırma süreleri, düşük ergime sıcaklığına sahip yağlayıcıların ısınma sonucu yapışkan bir özellik göstermesine sebep olurken kısa karıştırma süreleri yağlayıcıdan beklenen özelliğin karışıma aktarılamamasına sebep olur. Bu yüzden karıştırma işlemi optimum bir sürede yapılmalıdır [41]. Şekil 4.8’de tozların karıştırılmasında kullanılan karıştırıcı çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Karıştırıcı çeşitleri a) silindirik, b) döner küp, c) çift taraflı konik, d) V tipi [5]

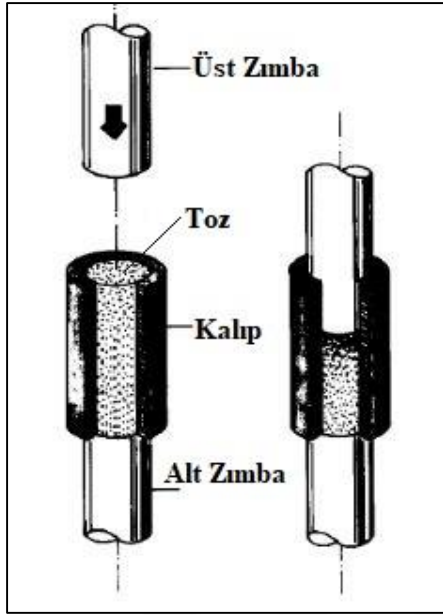
4.3.2. Sıkıştırma (Presleme)

Sıkıştırma, metal tozlarının üretilmek istenilen ürünün şeklindeki kalıplara doldurularak basınç altında şekillendirildiği adımdır. Bu adımın temel amacı toz taneciklerine şekil vermek ve sıkıştırılmış parçaya kendi ağırlığını taşıyabilecek kadar yoğunluk kazandırmaktır [5]. Preslenmiş parçanın sahip olduğu mukavemete ham mukavemet denir. Preslenmiş parça, belirli bir mukavemete sahip olsa da istenilen yüksek mukavemet değerlerine sinterleme safhası sonrasında ulaşılır [47].

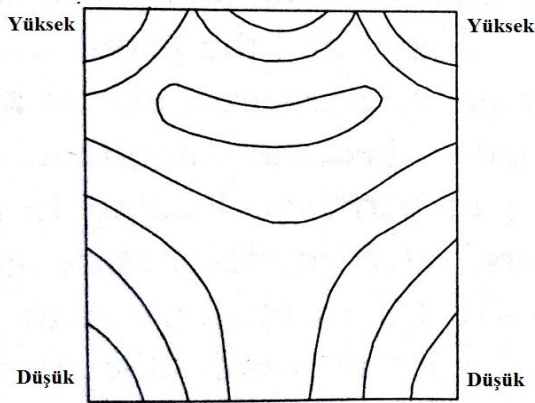
Toz malzeme, sıkıştırma işlemi için hazır hale getirildikten sonra kalıba doldurulur ve şekil vermek için istenilen seviyede basınç uygulanır. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra basınç kaldırılır ve sıkıştırılmış toz kütlesi kalıptan çıkarılır [38].

Parçaların karmaşıklık durumuna göre farklı presleme teknikleri kullanılır. Genellikle presleme teknikleri tek yönlü presleme ve çift yönlü presleme olarak sınıflandırılır. Tek

yönlü presleme tekniğinde, sabit bir alt zımba ve yukardan basınç uygulayan hareketli bir üst zımba bulunur (Şekil 4.9). Bu yöntemde hareketli üst zımbanın etrafında basınç yoğunluğu fazla iken alt zımbaya doğru basınç yoğunluğu azalır (Şekil 4.10). Bu yüzden sıkıştırma sonrasında homojen yoğunluğa sahip olmayan bir parça elde edilmesi sistemin dezavantajıdır [45].

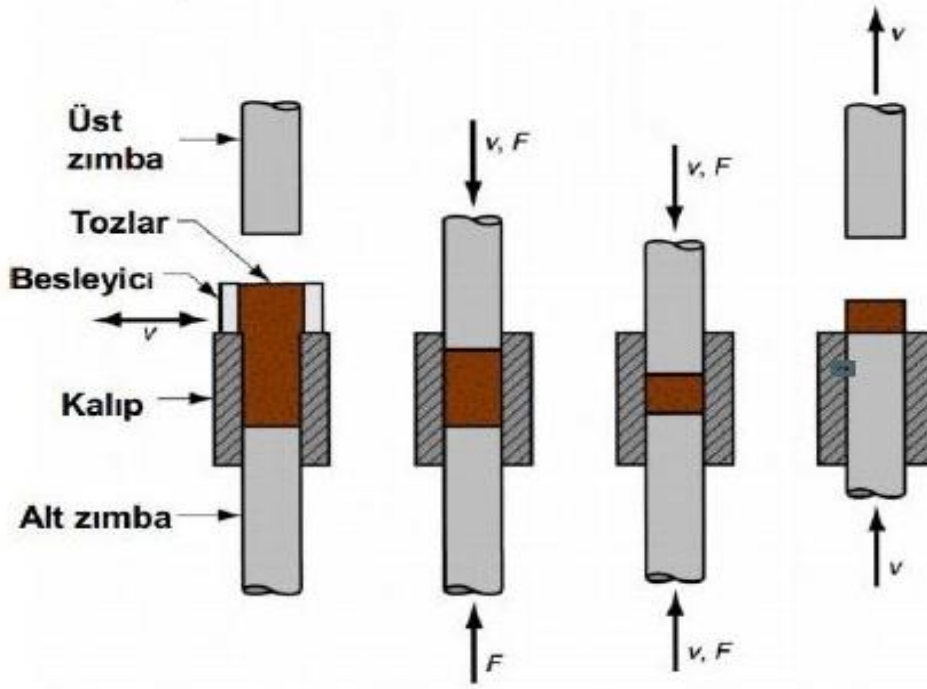


Şekil 4.9. Tek yönlü sıkıştırma [42]



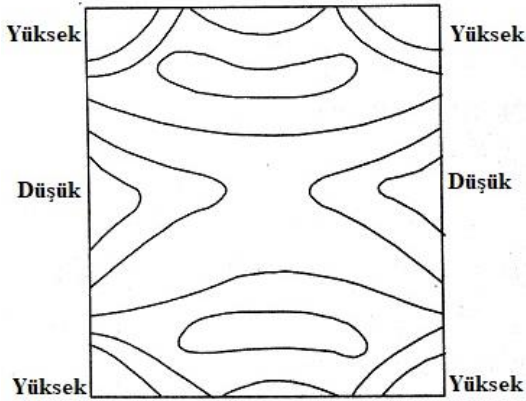
Şekil 4.10. Tek yönlü sıkırtmada yoğunluk dağılımı [38]

Çift yönlü presleme tekniğinde ise sabit kalıp ile hareketli alt ve üst zımba bulunur. Şekil 4.11'de çift yönlü presleme ve işlem safhaları gösterilmiştir. Bu sistemde toz kütlesi, alt ve üst zımbanın kalıbın merkezine doğru karşılıklı hareketi ile sıkıştırılır. Sıkıştırma sonrası üst zımba yukarı çekilirken alt zımba da yukarı doğru hareket ederek parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlar [44].



Şekil 4.11. Çift yönlü presleme işlem safhaları [39]

Çift yönlü presleme tekniğinde yoğunluk dağılımı tek yönlü preslemeye göre daha homojendir [45]. Şekil 4.12’de çift yönlü sıkıştırırmada yoğunluk dağılımı gösterilmiştir.



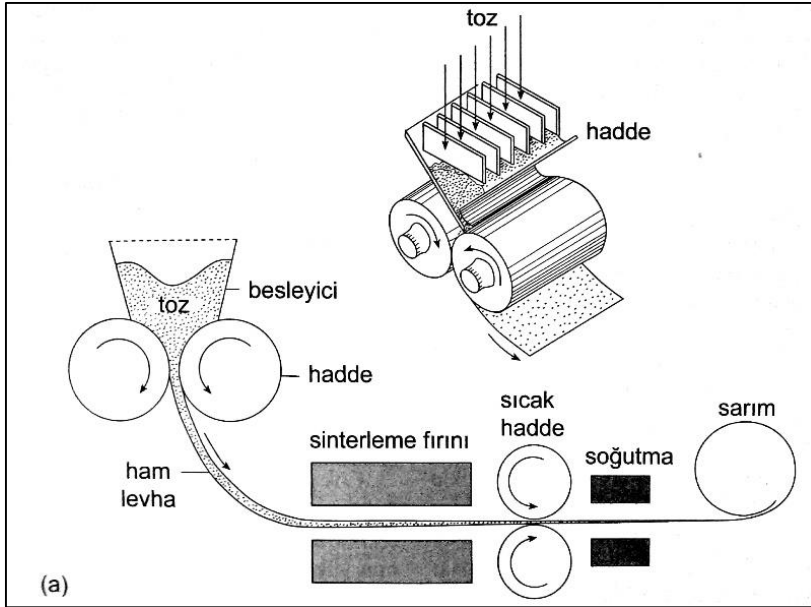
Şekil 4.12. Çift yönlü sıkıştırırmada yoğunluk dağılımı [38]

4.3.3. Alternatif presleme teknikleri

Kalıp presleme, T/M ile parça üretiminde seri üretime uygun olduğu için en çok kullanılan yöntemdir. Ancak farklı ve gelişmiş presleme teknikleri de kullanılmaktadır. İzostatik presleme, haddeleme ve sıcak presleme önemli alternatif presleme tekniklerinden bazılarıdır.

Haddeleme

Toz haddeleme ilk olarak 1840 yılında Henry Bessemer tarafından denenmiştir. Bessemer'in sistemi tozların depolandığı bir hazne ve iki rulodan oluşuyordu. Tozlar rulolar arasından geçirilerek devamlı bir şerit ürün elde ediliyordu. 1950'li yıllarda demir tozlarının haddelenmesi ile bu yöntem önem kazanmıştır. Ruloların yatay, dikey hatta eğimli olarak konumlandırıldığı farklı uygulamaları mevcuttur. Nihai ürüne yakın ölçülerde ve şerit halinde ürün elde edilebilmesi haddelemenin avantajlarından [38]. Şekil 4.13'te haddeleme ve işlem basamakları gösterilmiştir.

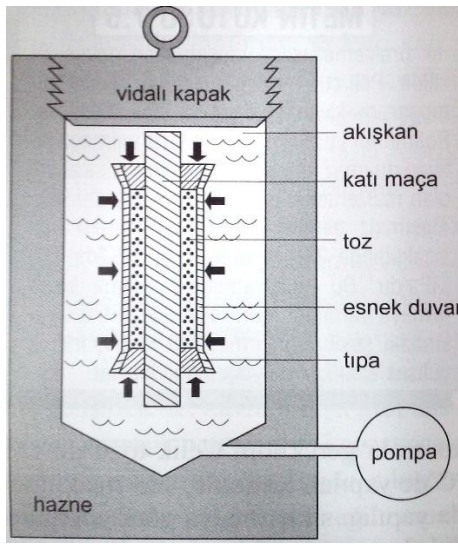


Şekil 4.13. Haddeleme ve işlem basamakları [44]

İzostatik presleme

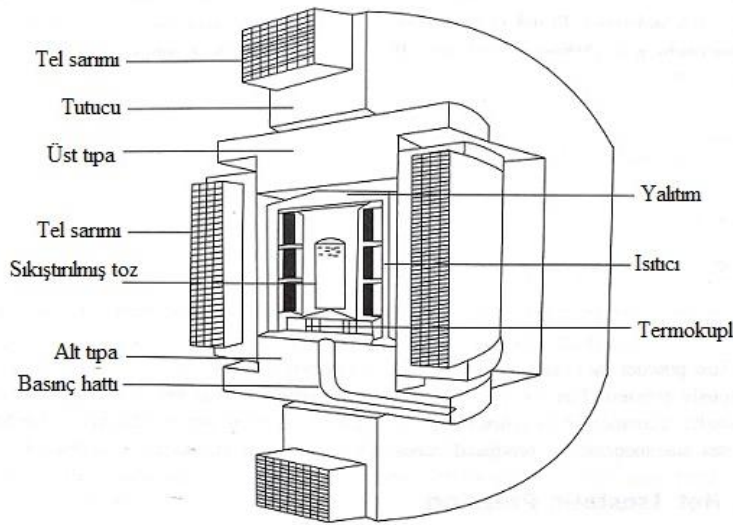
İzostatik presleme metal ve seramik tozlarının sıkıştırılması için kullanılan bir yöntemdir. Kalıp presleme parça şekli ve boyutu, pres kapasitesi gibi kısıtlamalara sahiptir. Ayrıca karmaşık şekilli parçaların üretimi için uygun değildir. Çünkü toz besleme ve sıkıştırılmış parçanın kalıptan çıkarılması zordur. Bu kısıtlamalar izostatik presleme ile aşılabilmektedir. Yüksek yoğunluğa sahip parçaların üretimi için ekonomik bir presleme tekniğidir. Soğuk izostatik pres (CIP) ve sıcak izostatik pres (HIP) olmak üzere iki farklı uygulama yapılabilmektedir.

Soğuk izostatik preste, oda sıcaklığında toz kütlesine bir akışkan tarafından basınç uygulanarak parça şekillendirilir (Şekil 4.14). Bu yöntem ile %80-90 teorik yoğunluk elde edilebilmektedir. Orta basınç değerlerinde akışkan olarak genellikle su ya da yağ kullanılmaktadır. Toz materyale bağlı olmakla birlikte soğuk izostatik presleme tekniği ile kalıpta preslemeden daha düşük basınç değerlerinde parça şekillendirilebilir. Metal tozları için genellikle 100-400 MPa basınç yeterli olmaktadır. Ancak bu yöntem ile 800 MPa basınç uygulamak da mümkündür. Çoğu uygulamada preslenmiş parçanın yoğunluğu ve mukavemeti yine kalıpta preslemeye nispeten soğuk izostatik preslemede daha yüksektir.



Şekil 4.14. Soğuk izostatik presleme [44]

Sıcak izostatik pres ise metal, seramik ve sermet tozlarına şekil verebilmek için yüksek sıcaklıklarda uygulanan basınç ile parça şekillendirme yöntemidir (Şekil 4.15). Bu teknik ilk olarak nükleer reaktör parçalarını yoğunlaştırmak için kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Sıcak izostatik presleme [38]

Bugün ise nikel ve kobalt bazlı süper alaşımlar, takım çelikleri, titanyum alaşımlar, refraktör metal tozları, seramik tozları ve sermet tozlarını yoğunlaştırmak için kullanılan ideal bir yöntem haline gelmiştir. Sıcak izostatik pres ünitesi basınç hattı, yüksek sıcaklık fırını, basınçlandırma sistemi, kontrol sistemi ve yardımcı sistemlerden oluşur. Ünitenin temel amacı tüm yüzeylerde eşit gaz basıncı uygulanırken metal tozlarını ısıtmaktır. Gaz olarak yüksek saflıkta argon, nitrojen, helyum hatta hava bile kullanılabilir [38]. Çizelge 4.2’de bazı malzemeler için sıcak izostatik preste basınç ve sıcaklık değerleri verilmiştir.

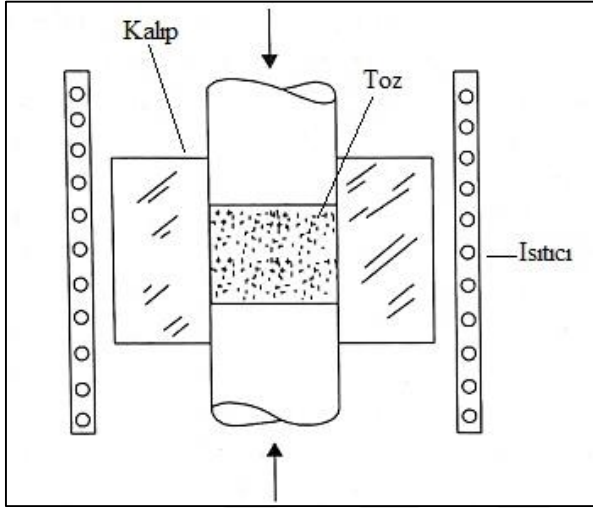
Çizelge 4.2. Bazı malzemeler için sıcak izostatik preste basınç ve sıcaklık değerleri [38]

Malzeme	HIP Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)
Al alaşım	350-500	100
Cu alaşım	500-900	100
Yüksek hız çeliği	1000-1200	100
Ni bazlı süper alaşım	1170-1280	100-150
Ti alaşım (Ti-6Al-4V)	880-960	100
Al_2O_3	1350-1450	100
Ba Ti O_3	100-1200	100
SiAlON	1700-1800	100
WC-Co	1300-1350	30-100

Sıcak presleme

Sıcak pres, kalıba doldurulmuş metal tozlarının yüksek sıcaklıkta dışardan basınç

uygulanarak şekillendirilmesidir (Şekil 4.16). Endüstride çeşitli amaçlar için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde aslında ayrı iki aşama olan sıkıştırma ve sinterleme işlemi aynı adımda uygulanmış olur.



Şekil 4.16. Sıcak kalıp presleme [38]

Sıcak pres, üretilecek parça şeklindeki kalıplara toz malzemenin doldurulması, belirli sıcaklık değerine kadar ısıtılması, sıcaklık altında basıncın uygulanması ve soğuma kademelerinden oluşmaktadır.

Sıcak pres uygulamalarında kalıp seçimi çok önemlidir. Kalıp plastik deformasyona uğramaksızın uygulanan basınç ve sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca kalıp ile toz malzemenin tepkimeye girmemesi gerekir. Bu yüzden sıcak pres kalıpları genellikle molibden, tungsten, kalıp çeliği, sementit karbürler ya da grafitten yapılır. Ancak alümina ve titanyum boridten yapılan kalıplar da mevcuttur.

Bu yöntem ile üretilen parçalar mükemmel fiziksel özelliklere ve yüksek yoğunluğa sahiptir. Ancak pahalı bir üretim yöntemidir. İdeal zamanlama, ısınma hızı ve soğuma süresi ile sınırlı sayıdaki özel parçaların üretiminde kullanılması daha uygundur [38].

4.3.4. Sinterleme

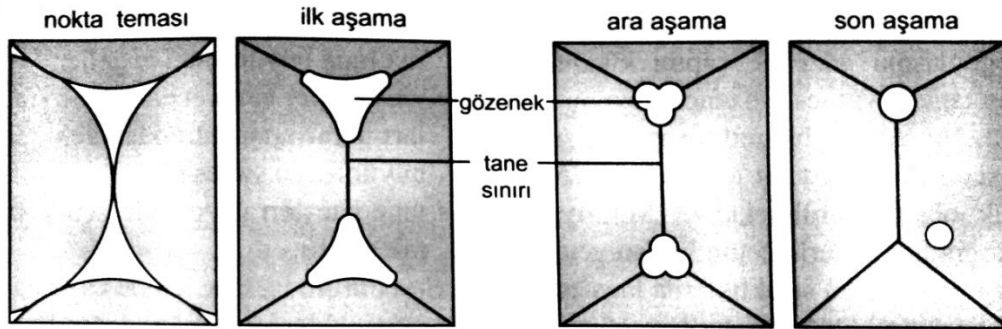
Sinterleme, preslenmiş toz kütlesine içindeki ana malzemenin ergime sıcaklığı altında ve kontrollü bir atmosferde uygulanan ısıl işlemdir. Presleme ile toz tanecikleri arasında

oluşan mekanik bağlar, sinterleme sayesinde metalik bağlara dönüşür ve gözenek yapısındaki değişim parçanın mukavemetinin artmasını sağlar. Sinterleme sonrası oluşan bu mukavemet, ham mukavemetin 100 katı kadardır [40].

Groover 'e göre sinterleme işleminde bağ oluşumunu sağlayan en önemli güç yüzey enerjisini azaltmaktır. Preslenmiş üründe yüzey alanı fazla olduğu için yüzey enerjileri de çok yüksektir. Sinterleme safhasında ısı etkisiyle parçacıklar arasında bağ oluşumu artar ve yüzey enerjisi azalır. Toz tanecik boyutunun başlangıçta küçük olması yüzey enerjisini yükseltir ve sinterleme işlemindeki itici gücün artmasını sağlar [48].

Toz karışımları içerisinde tek tip malzeme ya da birden farklı tip malzeme içerebilir. Tek tip malzeme içeren toz kütlelerinin sinterlenmesinde sinterleme sıcaklığı malzemenin ergime sıcaklığının altındır. Farklı tip malzeme içeren toz karışımlarında ise sinterleme sıcaklığı karışımın içinde ergime sıcaklığı en düşük olan malzemenin ergime sıcaklığı üstündedir [47].

Sinterleme temel olarak katı hal sinterleme ve sıvı faz sinterleme olmak üzere iki başlıkta incelenir. Katı hal sinterleme ilk aşama, ara aşama ve son aşama adı verilen kısımlardan oluşur (Şekil 4.17).

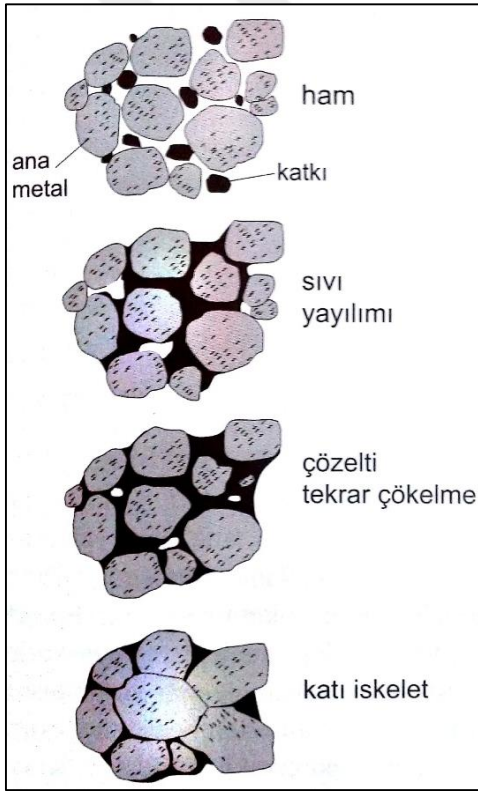


Şekil 4.17. Katı hal sinterleme kademeleri [44]

Sıkıştırma sonrası parçanın toz tanecikleri arasında temaslar oluşur. Her bir parçacığın birçok komşusu vardır ve sinterleme ilerledikçe bu temas noktaları güçlü bir bağa dönüşür. Sinterlemenin ilk aşamasında iki taneciğin arasında oluşan iç bükeyliği gösteren boyun oluşumu gerçekleşir. Boyun, sinterleme devam ettikçe dışbükey bölgedeki atomlar tarafından doldurulur ve bu boyun büyümesi olarak adlandırılır. Boyun büyümesi arttıkça

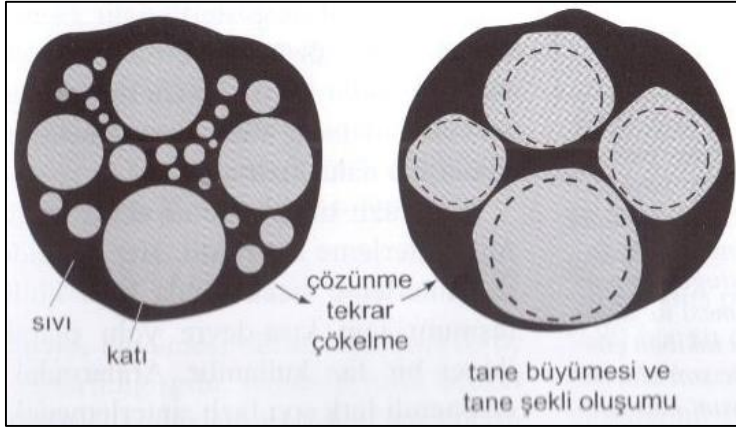
içbükey kavis azalır ve bunun sonucu olarak işlem yavaşlar. Sinterlemenin ara aşamasında boyun büyümesi devam ederken tane büyümesi, gözenek azalması ve gözenek yuvarlaklaşması görülür. Bu değişimler parçanın yoğunluğunun artmasını sağlar. Sinterlemenin son aşamasında ise küresel olma eğilimli kapalı gözenekler oluşur ve yüzey enerjisi azaldığı için bu aşama yavaştır [44].

Sıvı faz sinterleme, düşük ergime sıcaklığına sahip toz malzemenin sıvı faz oluşturmasıyla gerçekleşen sinterleme türüdür. Oluşan sıvının katı tanecikler üzerine yayılımı ıslatma olarak adlandırılır. İyi bir ıslatma sinterleme hızını artırır. Sıvı faz sinterleme; yeniden düzenlenme, çözelti tekrar çökme ve katı iskelet aşamalarından oluşur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Sıvı faz sinterleme kademeleri [44]

Isıtma sırasında katı hal sinterleme ile bağlanan taneler sıvının oluşmasıyla tekrar düzenlenir. Bu aşama yeniden düzenlenme olarak bilinir ve hızlı bir yoğunluk artışına neden olur. Sıvı faz sinterlemede sıvının katıyı ıslatmasının yanında katının da sıvı içerisinde çözünmesi istenir. Çözelti tekrar çökme aşamasında küçük katı taneler sıvı içinde çözünür ve yayılır. Daha sonra iri katı taneler üzerine çökerek tane büyümesine neden olur (Şekil 4.19). Katı iskelet aşamasında ise son yoğunlaşma gerçekleşir [44].



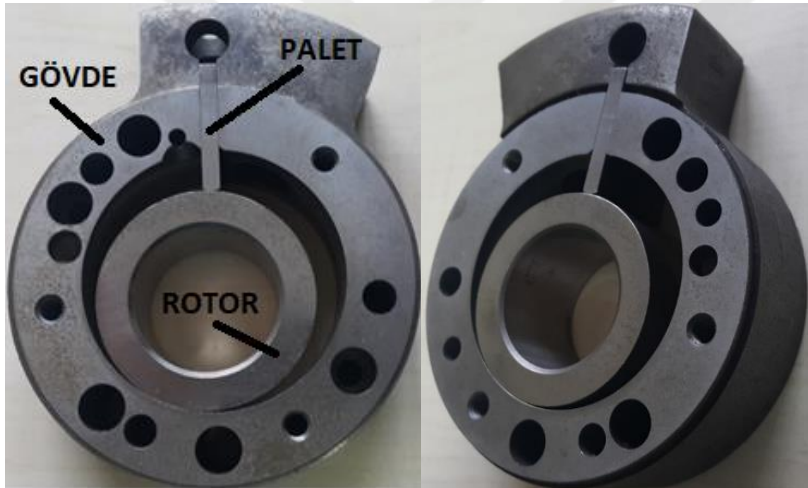
Şekil 4.19. Çözelti tekrar çökme aşamasında tane büyümesi [44]





5. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada toplam 1,7 cc süpürme hacmine sahip mikro kompresörün verimini arttırmak ve seri üretim maliyetlerini azaltmak için iki yeni yöntem uygulanmıştır. İlkinde palet-gövde arasındaki sürtünmeleri azaltmak için özgün bir palet tasarımı ve rotor-şaft arasındaki sürtünmeleri azaltmak için de yüksek devirli rulman kullanılmıştır. İkinci olarak seri üretim maliyetlerinin azaltılması için plaka ekleme yöntemi ve toz metalürjisi yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan bu iki yöntem de klasik gövdeden paletli kompresörlerden farklı birer özellik olup, farklı hacimlerde daha verimli kompresör tasarımlarına olanak sağlamaktadır. Resim 5.1’de klasik gövdeden paletli kompresörün yapısı görülmektedir.



Resim 5.1. Klasik gövdeden paletli kompresörün yapısı

Klasik gövdeden paletli kompresörlerde palet basınçlı ve basınçsız bölgeyi birbirinden ayırmakta olup, bir yay ile sürülmektedir. Yay tahrikli kompresörlerde, özellikle yüksek devirlerde ve yüksek basınçlarda yay paleti tam olarak süremediği için performans kayıpları oluşmaktadır. Araştırmacıların bu konu üzerine çalışmaları halen devam etmektedir. Son yapılan çalışmalar genellikle palet sürtünmelerinin azaltılması üzerine yapılan yeni tasarımlardır [5-15].

5.1. Menteşe Palet ve Rulman Uygulaması

Uygulanan ilk yöntemde, palet sistemindeki yay ortadan kaldırılarak menteşeli palet tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım sayesinde yüksek basınç ve yüksek devirlerde çalışan

palet, kendi yuvasında daha düşük sürtünmeye maruz kalmaktadır [49,50]. Ayrıca rotor ile eksantrik mil arasına yüksek devirli rulman yerleştirilerek sürtünmelerin azaltılması amaçlanmıştır. Resim 5.2’de klasik palet sistemi ile menteşe palet sistemi üzerine gelen kuvvetler görülmektedir.



Resim 5.2. Klasik palet sistemi ve menteşe palet sistemi üzerine etki eden kuvvetler

Resim 5.2 incelendiğinde klasik palet sistemli kompresörde yüksek basınç bölgesinde oluşan F_{hp} kuvveti palet üzerine etkiyen F_1 ve F_2 kuvvetinin oluşmasına neden olmaktadır. Palet yuvasında sürtünmeye neden olan bu kuvvetler, gövde ve palet üzerinde aşınmalara ve dolayısıyla performans kayıplarına neden olmaktadır. Özgün bir tasarım olan menteşeli palet sistemi ile paletin bir ucu gövde üzerine diğer ucu da rotor üzerine menteşelenmiştir. Yüksek basınç bölgesinde oluşan F_{hp} kuvveti paletin eğri yüzeyine gelmekte olup, gövdedeki menteşenin merkezinden geçmektedir. Böylelikle palet ve gövde üzerinde sürtünmelere neden olan F_1 ve F_2 kuvvetleri ortadan kaldırılmış olmaktadır.

5.2. Özgün Plaka Ekleme Yöntemi ve Toz Metalürjisi Uygulaması

Uygulanan ikinci yöntemde özgün plaka ekleme yöntemi ve toz metalürjisi yöntemleri kullanılarak farklı kompresör tasarımları ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

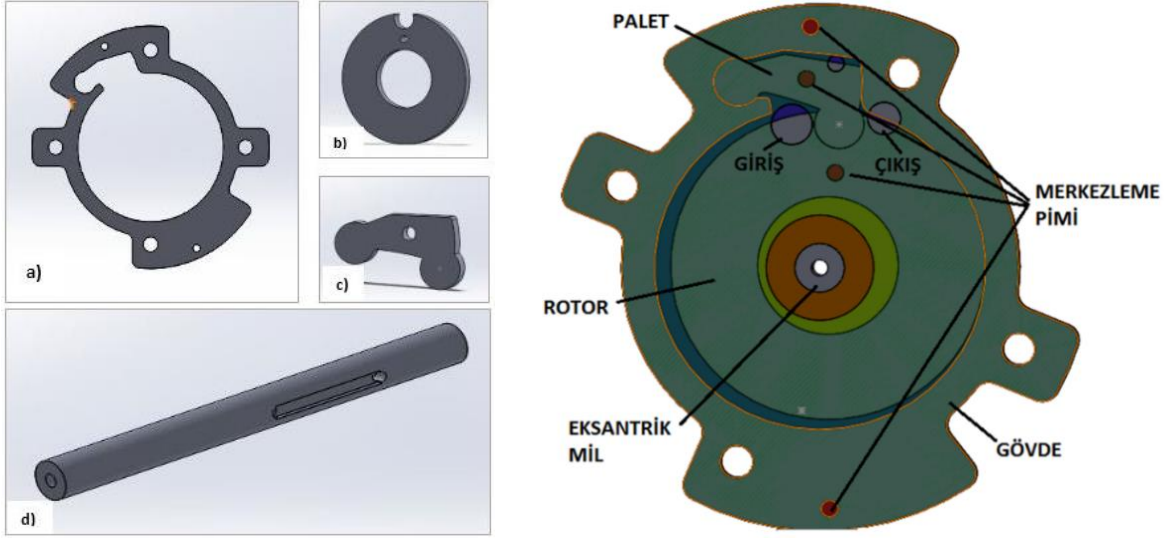
5.2.1. Özgün plaka ekleme yöntemi

Endüstride kullanılan klasik gövdeden paletli kompresörler genellikle sabit gövde hacmine sahip olarak döküm yoluyla imal edilmektedirler. Bu tip kompresörlerde tasarım çalışmalarının yapılmasında ilk kalıp maliyetlerinin yüksek olması dezavantaj olarak görülmektedir. Ayrıca bir kalıp ile sadece sabit hacme sahip tek bir kompresör imal etmek mümkün olmaktadır. Yapılan yeni plaka ekleme yöntemi ile üretilen özdeş kompresör setlerinin art arda eklenmesi ile istenilen hacimlerde farklı kompresörler üretmek mümkün olmaktadır. Ayrıca plaka kalınlıklarının farklı olmasından dolayı farklı tolerans çalışmaları yapmak mümkün olmaktadır. Resim 5.3'te farklı kalınlıklarda kompresör setleri görülmektedir.



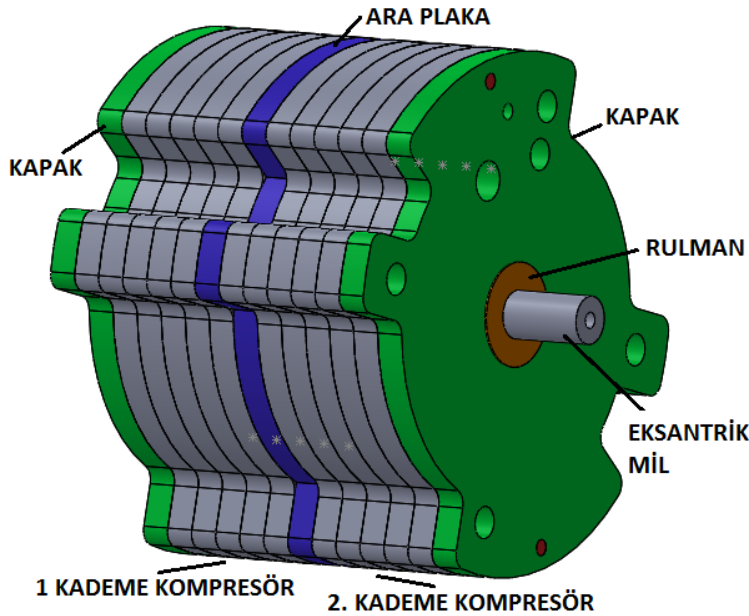
Resim 5.3. Farklı kalınlıklarda kompresör setleri

Resim 5.3'te görülen bu setlerin üretimine geçmeden önce bir seti oluşturan parçalar öncelikle bilgisayar programında modellenerek montaj işlemi yapılmıştır. Şekil 5.1'de kompresörün bir setini oluşturan parçalar (a-gövde, b-rotor, c-palet, d-eksantrik mil) ve montaj hali görülmektedir.



Şekil 5.1. Kompresörün bir setini oluşturan parçalar (a-gövde, b-rotor, c-palet, d-eksantrik mil) ve montaj hali

Üretilen bu setler ile farklı hacimlerde kompresörler üretilebileceği gibi kompresörün performansını arttırmak amaçlı tam balanslı, çek valfsiz, toleranslı gibi farklı kompresör tasarımları da yapmak mümkün olmaktadır. Şekil 5.2’de Çift kademeli tam balanslı kompresörün montajı görülmektedir.



Şekil 5.2. Çift kademeli tam balanslı kompresörün montajı

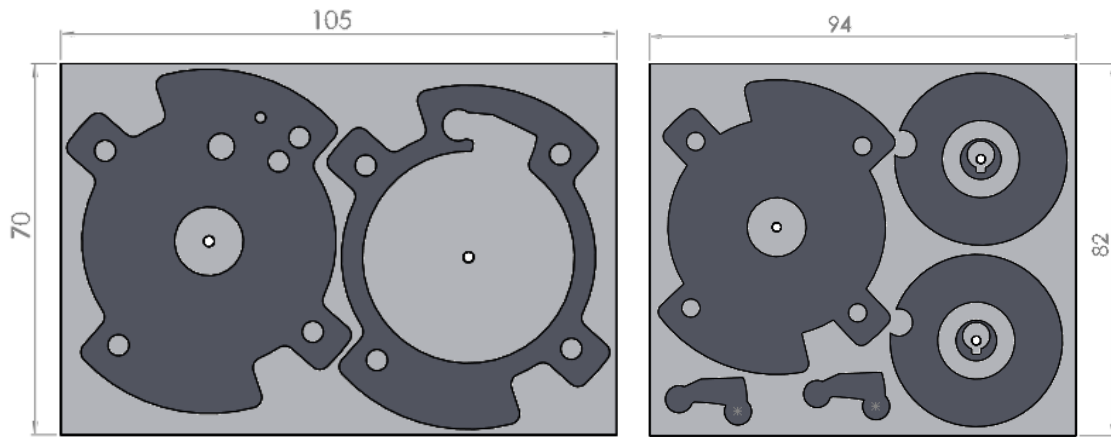
Malzeme ve üretim yöntemi

Tasarımı yapılan döngüsel kompresörün parçaları 3,65 mm kalınlığındaki AISI H13 çelik plakalardan tel erezyon ile kesilerek üretilmiştir. AISI H13 çeliğinin kimyasal bileşeni Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI H13 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Element	Yüzde
Karbon (C)	%0,35-0,42
Silisyum (Si)	%0,80-1,20
Mangan (Mn)	%0,25-0,50
Krom (Cr)	%4,80-5,50
Molibden (Mo)	%1,20-1,50
Vanadyum (V)	%0,85-1,15

Kompresörün setlerinin sorunsuz çalışabilmesi için uygun toleranslarda ve hassas yüzey kalitesinde işlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden plakalar üst üste konularak tel erezyon tezgahında kesimleri yapılmıştır. Şekil 5.3'te plakaların tel erezyon kesimleri için yerleşim planları görülmektedir.



Şekil 5.3. Plakaların tel erezyon kesimleri için yerleşim planları

Tel erezyon tezgahında delik delme işlemi olmadığı için malzemeler öncelikle Ankara Ostim sanayide dalma erezyon adı verilen yöntemle telin gireceği noktalardan 1mm çapında delinmiştir. Kesimler Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında, Mitsubishi MV 1200S marka tel erezyon tezgahında yapılmıştır (Resim

5.4). Tezgah en fazla 500 kg ağırlığında 810x700x215 mm (GxDxY) ölçülerinde iş parçası işleyebilme kapasitesine sahiptir. Kullanılabilir tel çapı 0,1-0,3 mm'dir. En küçük eksen hareketi 0,05 μm 'dir.



Resim 5.4. Tel erezyon CNC tezgahı

Kesim 0,25 mm çapında pirinç tel ile yapılmıştır. Tel erezyon diğer imalat yöntemlerine göre nispeten hızlı olsa da karmaşık şekilli parçaların işlenmesi uzun zaman almaktadır.

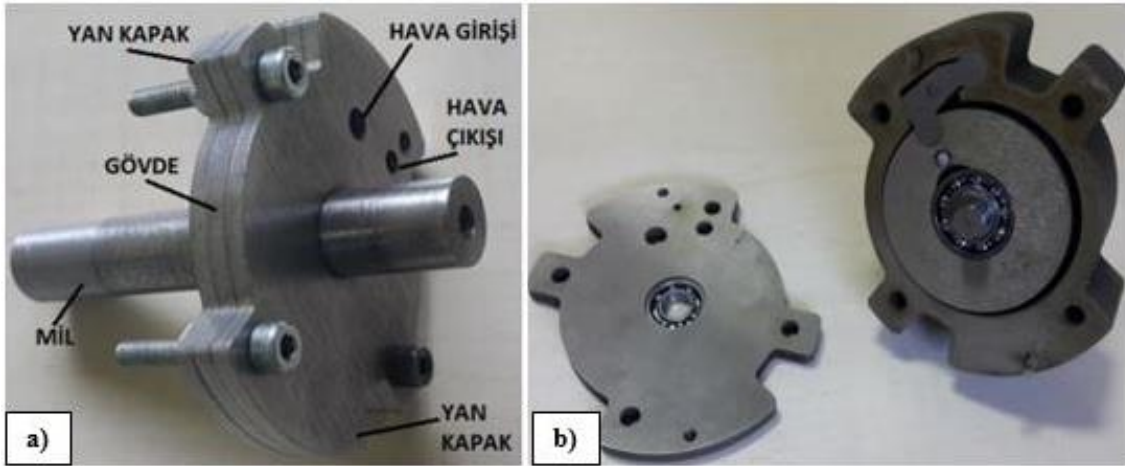
Yaklaşık 3,65 mm kalınlığındaki plakalar işleme süresini kısaltmak için üst üste sabitlenerek tezgaha bağlanmıştır. AISI H13 çelik plakalar kenarlarından kaynaklanarak işlenmeye hazır hale getirilmiş ve parçaların çizimleri Solidworks ile .dxf dosya formatına getirilerek tel erezyon tezgahına uygun hale dönüştürülmüştür. Küçük çaplı deliklerin işlenmesinin zor olması ve makinanın sık sık tel koparması işlem sürecinin uzamasına neden olan bir dezavantaj olarak görülmüştür.

Kompresör elemanlarının imalatında tel erezyon tezgahı ile ilk olarak AISI H13 çelik plakalarının kesimi gerçekleştirilmiştir. Üniteler halinde gövde, rotor ve palet parçaları üretilmiştir (Resim 5.5).



Resim 5.5. AISI H13 çeliğinden üretilen kompresör parçaları

Alternatif olarak farklı hacimlere sahip mikro kompresörler üretmek amacıyla parçaların üniteler halinde montajı yapılmıştır (Resim 5.6).



Resim 5.6. İmalatı yapılan kompresör üniteleri a) Tek hacimli b) 4 hacimli kompresör

Resim 5.6 b'de görülen 4 hacimli kompresör parçalarının montaj işlemlerinde parçalar arasından hava kaçaklarının önlenmesi için özel bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Resim 5.7'de Üniteler arası kaçakları engellemek amacıyla yapıştırma işlemi görülmektedir.



Resim 5.7. Üniteler arası kaçakları engellemek amaçlı yapıştırma işlemi

AISI H13 çeliğinden üretilen ve 8 plaka ($0,4\text{cc} \times 8 = 3,2\text{cc}$) set için gerekli kompresör parçalarının üretim maliyetleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.2. AISI H13 çeliğinden üretilen 8 plaka set için gerekli kompresör parçalarının üretim maliyeti

İşlem	Maliyet (TL)
AISI H13 Plaka (10 Adet)	250
Sertleştirme (kg x 8 x 10)	160
Taşlama (10 adet)	150
Tel erezyon (22 Saat)	1760
TOPLAM	2320

5.2.2. Toz metalürjisi ile üretim

Kompresör tasarımının endüstriyel hale gelebilmesi için farklı hacimlerde kompresör tasarımlarının ucuz yöntemlerle ve hassas olarak üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca farklı hacimlerde kompresörler üretebilmek için de çok fazla kompresör setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Seri üretim için tel erezyon yöntemi pahalı bir yöntem olup, 8 plaka set kompresör için üretim maliyeti 2320 tl olarak hesaplanmıştı. Bu çalışmada kompresör parçalarının tamamının toz metalürjisi yöntemi ile üretilmesi amaçlanmaktadır. Ancak toz metalürjisinde tüm parçalar için ayrı ayrı kalıp tasarlanması gerektiğinden ilk üretim maliyeti oldukça fazla olmaktadır. Bu yüzden öncelikle küçük ebatlı ve en kritik parçalardan biri olan paletin toz metalürjisi ile üretilip, üretilmeyeceği test edilmiştir. İlk üretim maliyetlerinden olan kalıp maliyetini düşürmek amacıyla $150\mu\text{m}$ toz boyutuna

sahip Al 5083 malzemesi, öncelikle dikdörtgen plakalar halinde üretilerek tel erezyonda kesilmiş ve kompresör setine monte edilerek başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Deneyler AISI H13 çeliği palet ile Al 5083 malzemeli palet monte edilerek yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Al 5083 ün kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.3'te verilmiştir. Ayrıca malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Al 5083'ün kimyasal kompozisyonu

Element	Yüzde
Alüminyum (Al)	%92,4-95,6
Magnezyum (Mg)	%4-4,9
Mangan (Mn)	%0,4-1
Silisyum (Si)	%0-0,4
Demir (Fe)	%0-0,4
Krom (Cr)	%0,050-0,25
Çinko (Zn)	%0-0,25
Titanyum (Ti)	%0-0,15
Bakır (Cu)	%0-0,1
Diğer	%0-0,15

Çizelge 5.4. Al 5083'ün mekanik özellikleri

Mekanik Özellik	Değer
Sertlik (Brinell)	75-110
Elastik Modülü	68 GPa
Yorulma Mukavemeti	93-190 MPa
Poisson Oranı	0,33
Kayma Modülü	26 GPa
Kayma Gerilmesi	170-220 MPa
Kopma	%1,1-17
Çekme Mukavemeti	110-340 MPa

Toz metalürjisi çalışmalarının, toz metal malzeme hazırlama ve presleme aşamaları Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Toz Metalurjisi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tel erezyon (EDM) tezgâhı ile kesim aşaması İmalat Mühendisliği Bölümünde, deneyler ise Ostim Pars Makine Ltd. Şti. de yapılmıştır.

Toz metalürjisi ile üretim, tozun hazırlanması ve presleme olmak üzere iki adımda tamamlanmıştır. Üretilen parçanın daha düzgün bir yüzeye sahip olması için ayrıca zımpara da yapılmıştır.

Tozun hazırlanması

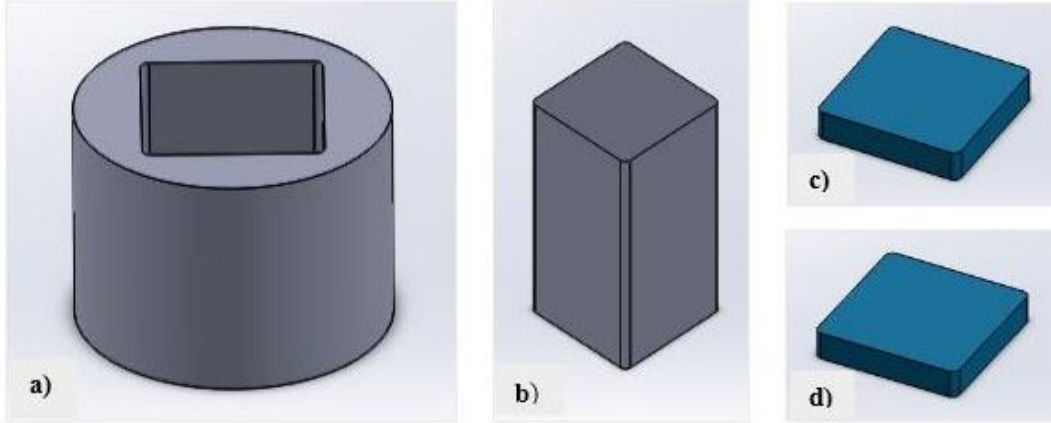
Al 5083 tozundan yapılan tasarımlara uygun palet üretebilmek için Gazi Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümündeki mevcut kalıplar kullanılmıştır. Kalıp boşluğu 6 cm kenar uzunluğuna sahip kare, Al 5083' ün yoğunluğu $2,66 \text{ g/cm}^3$ tür. İstenilen parça kalınlığı 0,38 cm olarak alınmış ve gerekli toz malzeme miktarı bulunmuştur. Parça kalınlığı yüzeyin işlenmesine pay bırakılarak 0,02 cm daha fazla hesaplanmıştır. Daha sonra Precisa marka hassas terazi (Resim 5.8) kullanılarak hesaplanan toz miktarı kadar toz malzeme kalıba doldurulmak için hazırlanmıştır.



Resim 5.8. Hassas terazi

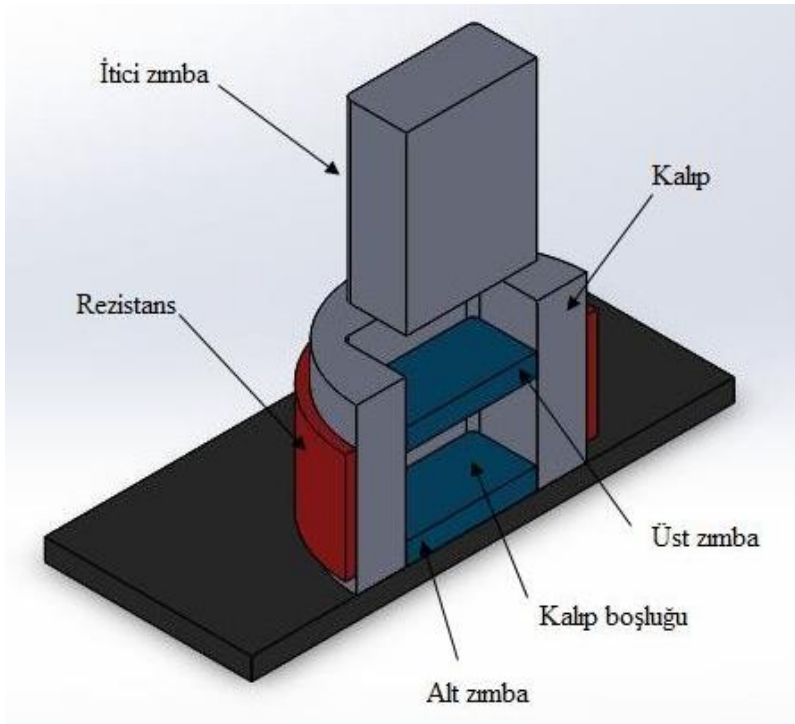
Presleme

Toz malzemenin miktarının ayarlanmasından sonra kalıp duvarları ve zımbaları yağlanmış, toz kalıp boşluğuna doldurulmuştur. Kullanılan kalıp detayları Şekil 5.4'te verilmiştir. Kalıp duvarları ve zımbalar MOLYKOTE G-n Plus Paste marka sıcak yağlayıcı ile yağlanmıştır.



Şekil 5.4. Kalıp ve kalıp parçaları (a-Kalıp, b-İtici zımba, c-Alt zımba, d-Üst zımba)

Hazırlık aşamaları tamamlandıktan sonra presleme öncesi kalıp, rezistans ve zımbaların yerleşimi Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Preslemeye hazır kalıp ve diğer elemanların konumu

Presleme işlemi için Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarındaki 250 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır (Resim 5.9). Al 5083 malzemesi ile yapılmış önceki çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edildiği için ön preslemede 10 ton, deney sıcaklığı için 450 °C ve deney sıcaklığına ulaşıldığında presleme için 120 ton yük uygulanmıştır. Basıncın kaldırılması ve soğuma aşamalarından sonra ürün kalıptan çıkartılmıştır.



Resim 5.9. Tek yönlü aksel hidrolik pres

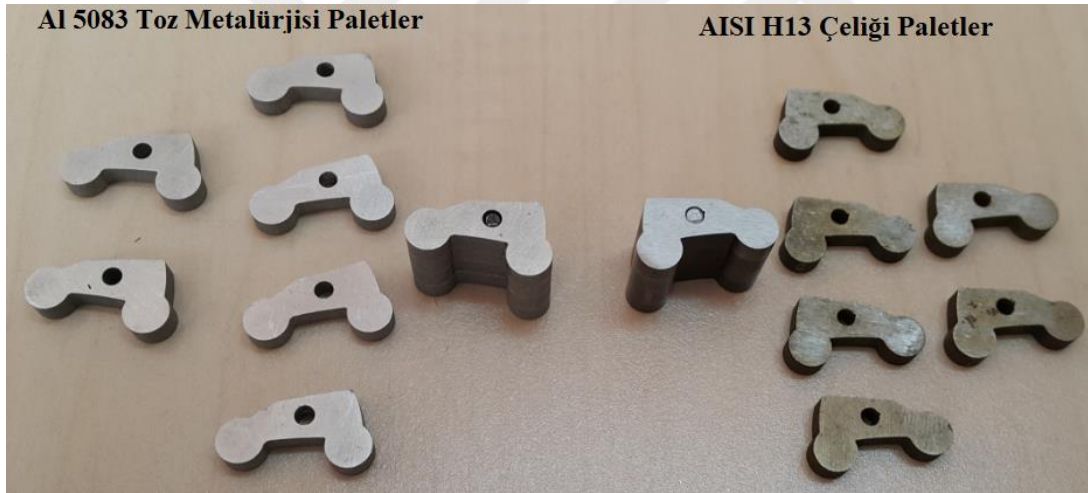
Zımparalama

Sıcak pres sonrası elde edilen parçalar, yüzeyinin temizlenmesi ve yağlayıcının giderilmesi için ATM Saphir 330 marka zımpara makinasında (Resim 5.10) sırasıyla 120, 180 ve 220 numara zımpara ile zımparalanmıştır.



Resim 5.10. Zımpara makinası

Çelik malzemeden imalat işlemi tamamlandıktan sonra yine tel erezyon tezgahı ile Al 5083 tozundan üretilen metalin kesim işlemleri yapılmıştır. Resim 5.11’ de Al 5083 toz metalürjisi ve AISI H13 çeliğinden üretilmiş paletler ve montaj halleri görülmektedir.

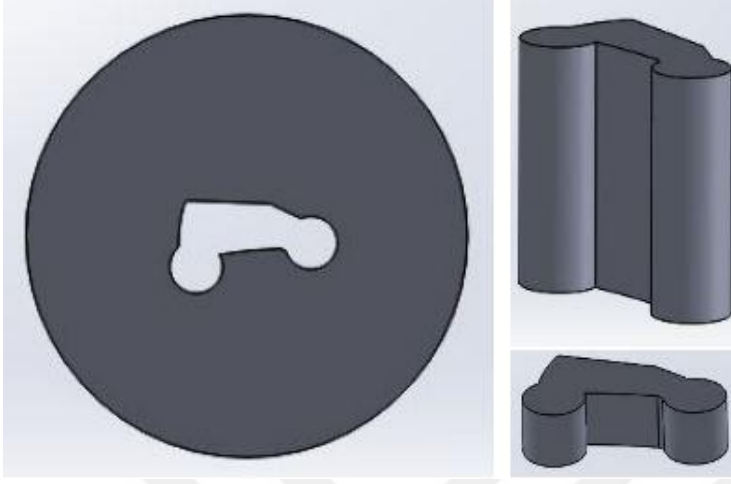


Resim 5.11. Al 5083 toz metalürjisi ve AISI H13 çeliğinden üretilmiş paletler

Resim 5.11 de görülen Al 5083 alüminyum ve AISI H13 çeliğinden üretilen paletlerin ağırlıkları Al 5083 malzemeden üretilen palet için 1,3 gr, AISI H13 çelik malzemeden üretilen palet için 10 gr olarak ölçülmüştür.

Çalışmanın ekonomik açıdan değerlendirmesini yapabilmek için tek bir kompresör plaka setinin toz metalürjisi ile üretimin maliyetleri çıkarılmıştır. Üretim maliyetleri içerisinde kalıp maliyetinin yüksek olmasından dolayı ve kalıp üretimi için tel erezyon tezgahı kullanılacağı için sadece palet için kalıp tasarımı yapılmış olup, diğer parçalar için kalıp

maliyetleri piyasadaki işletmelerden alınmıştır. Şekil 5.6 ve Çizelge 5.5 de palet için kalıp parçaları ve malzeme özellikleri görülmektedir.

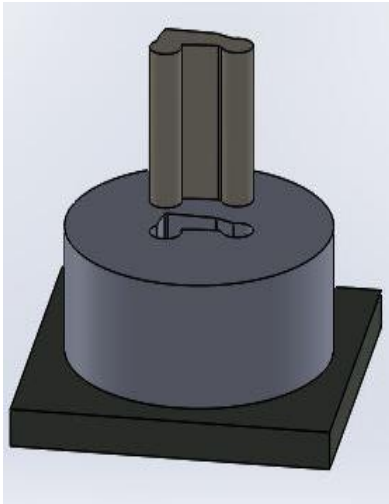


Şekil 5.6. T/M ile üretim için tasarımı yapılan kalıbın ana parçaları

Çizelge 5.5. Kalıp malzemeleri ve yoğunlukları

Parça	Malzeme	Yoğunluk
Zimba	Soğuk iş takım çeliği (1.2080)	7.8 g/cm ³
Dişi Kalıp	Soğuk iş takım çeliği (1.2080)	7.8 g/cm ³
Pul	Soğuk iş takım çeliği (1.2080)	7.8 g/cm ³
İtici	İmalat çeliği	7.8 g/cm ³
Alt Destek	İmalat çeliği	7.8 g/cm ³

Şekil 5.7’de montaj hali görülen kalıbın maliyeti istenilen yüzey kalitesi ve ince işçiliklerden dolayı 3000 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. T/M ile üretim için tasarlanan kalıbın montaj hali

T/M tekniği ile yapılan üretimde 150 µm boyutunda küresel Al 5083 tozları kullanılmıştır. Homojen olarak hazır halde gelen metal tozları tek yönlü hidrolik pres kullanılarak sıkıştırmış ve daha sonra yüksek ısılı sinterleme fırınlarında sinterlenmiştir. Çizelge 5.6'da 8 plaka (0,4x8=3,2cc) set için gerekli kompresör parçalarının üretim maliyetleri görölmektedir.

Çizelge 5.6. 8 plaka (0,4x8=3,2cc) set için kompresör parçalarının üretim maliyetleri

	Özellik	Maliyet (TL)
Kalıp Maliyeti	Palet	3000
	Rotor	5000
	Gövde	20000
	Kapak	10000
	Ara parça	10000
	Eksantrik	3000
	Metal Toz (Al 5083)	150 µm (220gr)
Presleme	Tek yönlü hidrolik pres masa tipi	15000
Sinterleme fırını	Yüksek sıcaklıklı seramik tüp fırın	5000
Toplam		71100

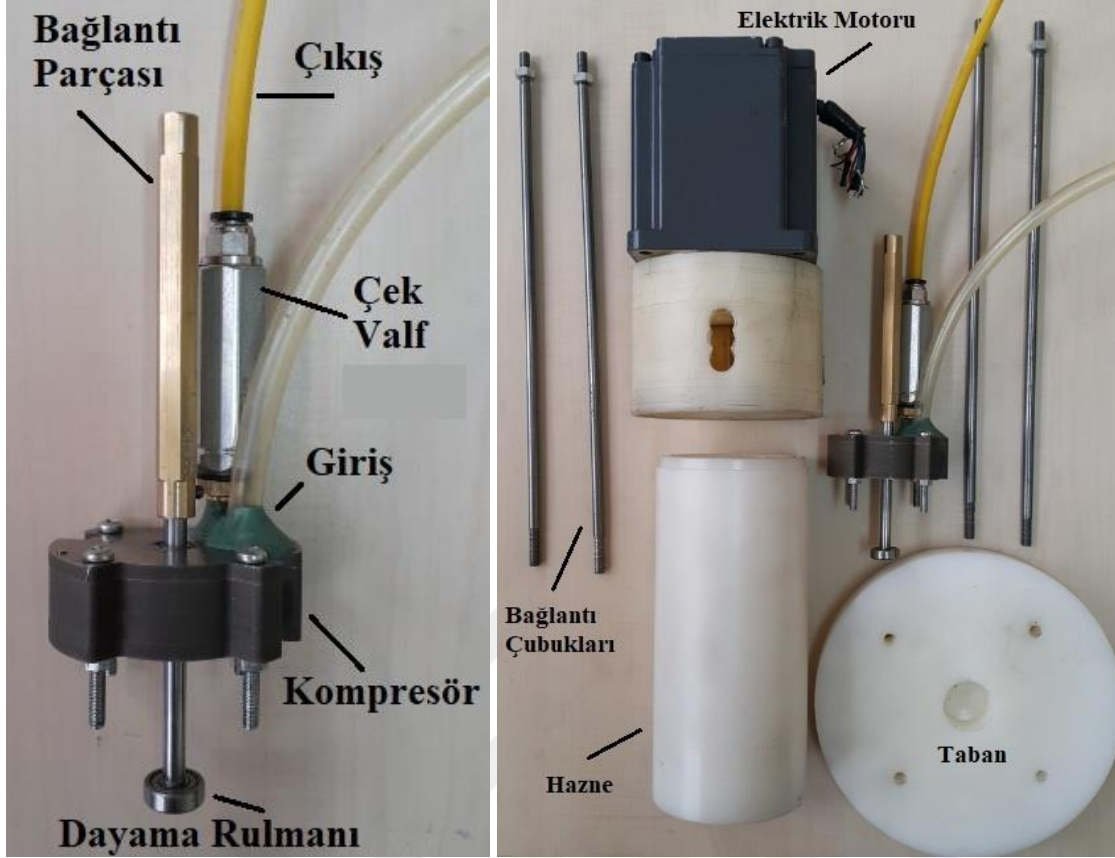
Çizelge 5.7. Üretimi yapılan 3.2 cc kompresörün 1, 10 ve 100 adet için maliyeti

	1 Adet (TL)	10 Adet (TL)	100 Adet (TL)
Tel Erezyon ile Üretim Maliyeti	2320	23200	232000
Toz Metalürjisi ile Üretim Maliyeti	71100	72000	81000

Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.6'dan alınan verilere göre 3.2 cc kompresörün tel erezyon ve toz metalürjisi yöntemiyle 1, 10 ve 100 adet üretimi için maliyet hesaplamaları karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.7'de gösterilmektedir.

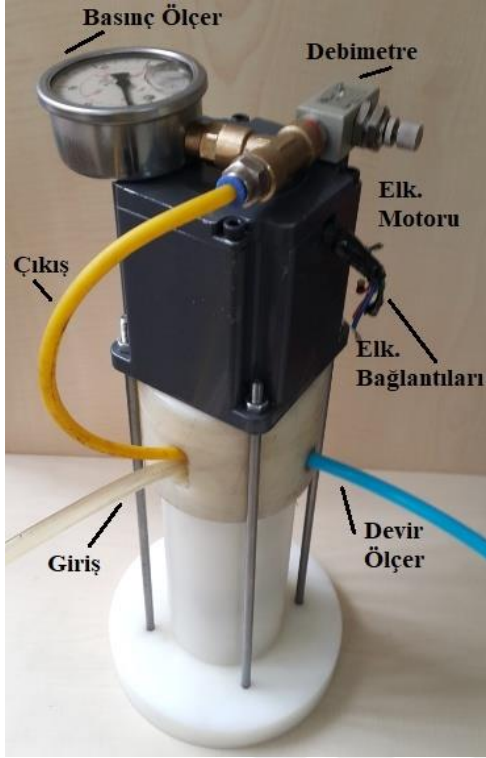
5.3. Deney Düzenegi

Plaka ünite sistemi ile üretilen kompresörlerin test edilebilmesi ve devir, volt, akım, sıcaklık, debi ve basınç gibi değerlerin ölçülmesi için bir deney düzenegi tasarlanmıştır. Resim 5.12'de kompresör ünitesi ile deney düzenegi parçaları görölmektedir.

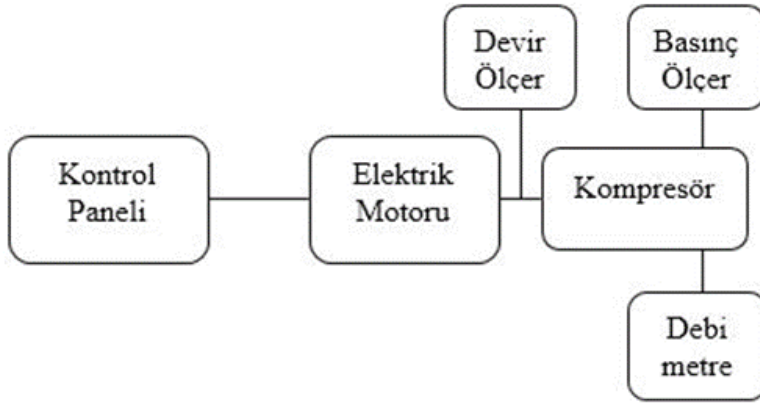


Resim 5.12. Kompresör ünitesi ile deney düzeneği parçaları

Elektrik motoru sürücü vasıtasıyla harekete geçirilerek bağlantı parçası yardımıyla hareket kompresöre iletilmektedir. Elektrik motorunun devrinin ölçmek için haznenin buraya denk gelen kısmına yuva açılarak devir ölçer yerleştirilmiştir. Kompresörün çıkış bağlantısına ise basınç ölçer ve debimetre konularak değerlerin buradan okunması sağlanmıştır. Resim 5.13'te kompresörün montaj hali, Şekil 5.8'de ise deney düzeneğinin şematik hali görülmektedir.



Resim 5.13. Deney düzeneğinin montaj hali



Şekil 5.8. Deney düzeneğinin şematik hali

Deneyle literatürde yapılmış çalışmalar göz önünde bulundurularak 2 dakika çalışma ve 5 dakika dinlendirme uygulanarak yapılmıştır. Her devir için testler 5 kez tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.



6. DENEYSEL VERİLER VE HESAPLAMALAR

AISI H13 malzemesi ile yapılan deneylerden elde edilen veriler (Çizelge 6.1) ve Al 5083 malzemesi ile yapılan deneylerden elde edilen veriler (Çizelge 6.2) görülmektedir.

Çizelge 6.1. AISI H13 paletli kompresörün deney sonuçları

Devir (rpm)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (V)	Akım (A)	Güç (W)	Verim
500	0,9	18,2	30	1,7	48,45	0,041968
750	2	19,2	39	1,9	70,395	0,125328
1000	2,2	19,6	35	2,2	73,15	0,183381
1250	2,3	19,5	35	2,3	76,475	0,233174
1500	2,5	19,8	39	2,4	88,92	0,270203
1750	2,5	19,8	46	2,5	109,25	0,256575

Çizelge 6.2. Al 5083 paletli kompresörün deney sonuçları

Devir (rpm)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Gerilim (V)	Akım (A)	Güç (W)	Verim
500	1,2	18,2	30	1,8	51,3	0,057612
750	2,2	19,2	33	1,9	59,565	0,168904
1000	2,3	19,6	35	2	66,5	0,21452
1250	2,5	19,5	37	2,1	73,815	0,271246
1500	2,7	19,8	39	2,2	81,51	0,328185
1750	3	19,8	43	2,4	98,04	0,368991

Elde edilen bu veriler kompresör veriminin hesaplanmasında kullanılmıştır. Kompresör verimi Eş.6.1’de verilen formül ile kompresörün teorik gücü üzerinden hesaplanmış ve her iki malzeme için sonuçların kıyaslanmasını sağlamıştır.

$$\dot{m}_A = \frac{P_c}{c_p T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte \dot{m}_A debi, P_c kompresöre giriş gücünü (kW), P_2 çıkış basıncını, P_1 giriş basıncını, T_1 ortam sıcaklığını (K) ve c_p sabit basınç altında özgül ısıyı göstermektedir. Eşitlikte görülen γ ’nın hesabı için ise aşağıda verilen Eş. 6.2’den yararlanılmıştır.

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad (6.2)$$

Ana formülde debi bilinmediği için önce yoğunluk hesabı yapılmıştır Eş.6.3 ve bulunan yoğunluk değerinden debi hesabı yapılmıştır Eş.6.4.

$$d = \frac{P.P_0}{R.T} \quad (6.3)$$

d : Yoğunluk

P : Basınç

P_0 : Atmosfer basıncı

R : Sabit

T : Sıcaklık

$$\dot{m}_A = d \cdot \dot{m}_c / 1000000 \quad (6.4)$$

\dot{m}_A : Debi

\dot{m}_c : Kompresörün hacimsel debisi

d : Yoğunluk

Örnek olarak paleti Al 5083 malzemesinden üretilmiş olan kompresörün 500 rpm devrindeki verim değerinin bulunması için yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$d = \frac{2,2 \times 101,325}{287 \times (18,2 + 273,15)}$$

$$d = 2,665890912 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_A = \frac{2,665890912 \times 15}{1000000}$$

$$\dot{m}_A = 3,998836368 \times 10^{-5}$$

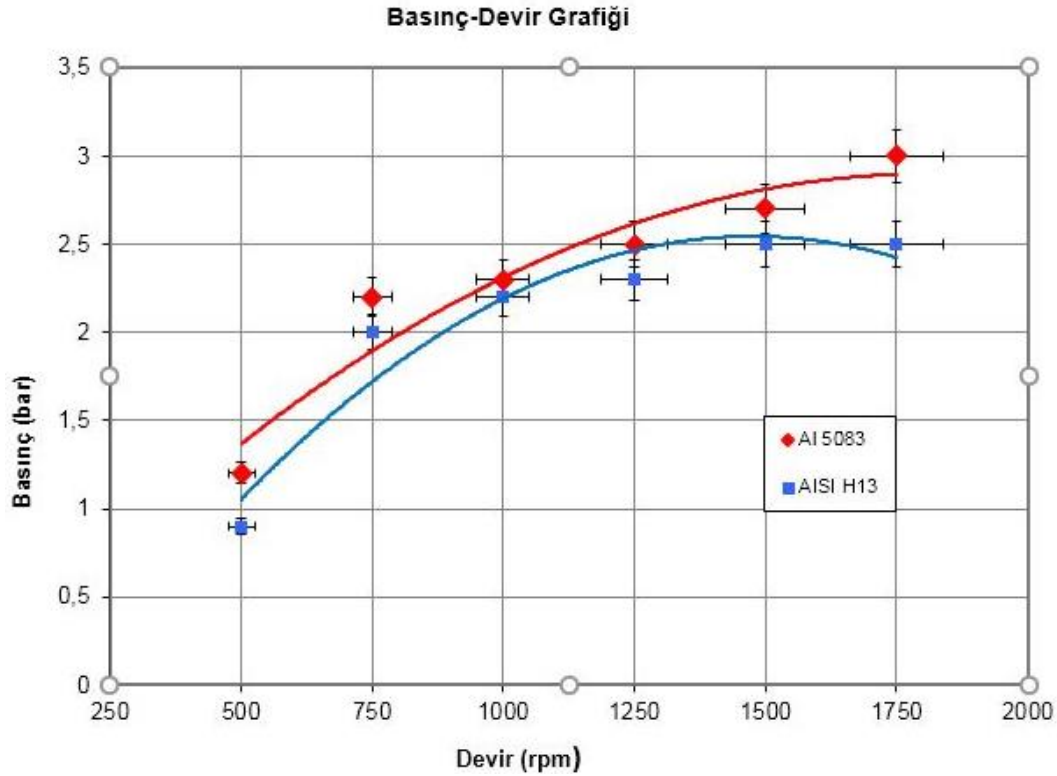
$$\dot{m}_A = \frac{P_c}{1004 \times (18,2 + 273,15) \times ((1,2 + 1)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1)}$$

$$P_c = 2,95548 \text{ W}$$

$$\mu = \frac{P_c}{P}$$

$$\mu = \frac{2,95548}{51,3} = 0,57612$$

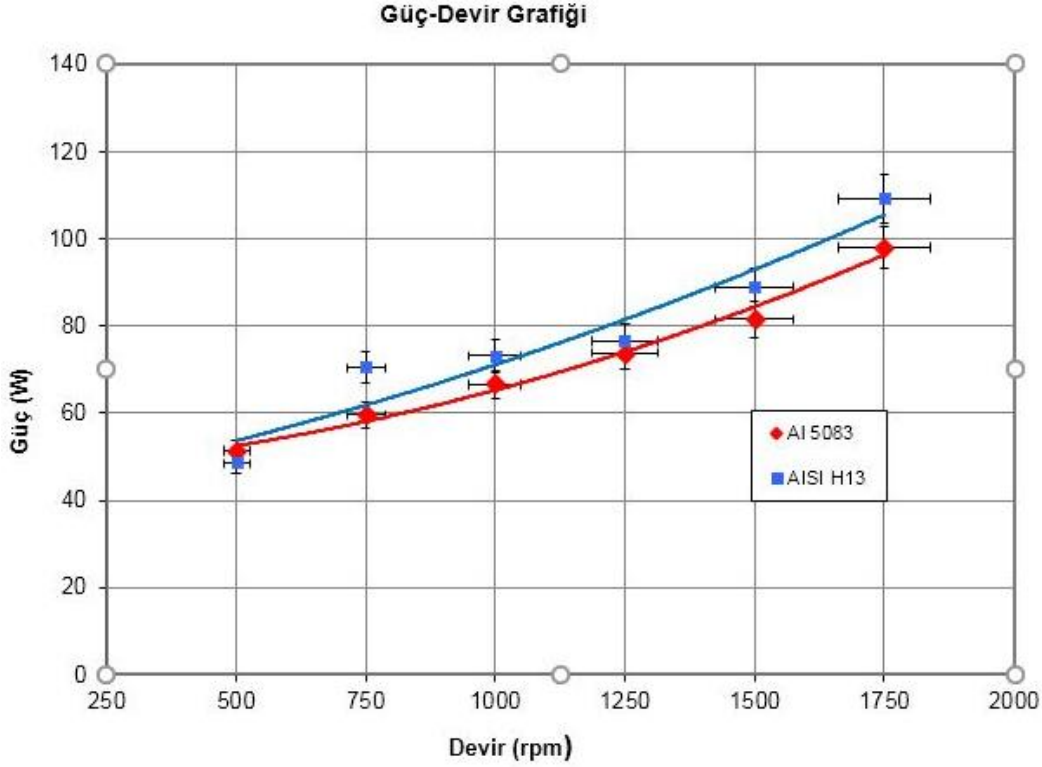
AISI H13 çeliğinden ve Al 5083 toz metalürjisi yöntemi ile üretilen paletli kompresörlerin deney sonuçlarına göre Devir-Basınç, Devir-Güç ve Devir-Verim grafikleri elde edilmiştir. Şekil 7.1'de AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Basınç grafiği görülmektedir.



Şekil 6.1. AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Basınç grafiği

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi her iki palet için devir arttıkça basınç değerleri artmaktadır. Paleti Al 5083'ten yapılmış kompresörün basınç değerleri, paleti AISI H13 çeliğinden yapılmış kompresörün basınç değerlerinden yaklaşık %10 daha fazla olduğu görülmektedir. Al 5083 paletli kompresörün palet ağırlığı AISI H13 paletli kompresörün palet ağırlığından yaklaşık 5 kat daha hafif olduğu için yüksek devirlere çıkıldıkça daha performanslı çalıştığı görülmektedir.

Şekil 6.2’de AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Güç grafiği görülmektedir.

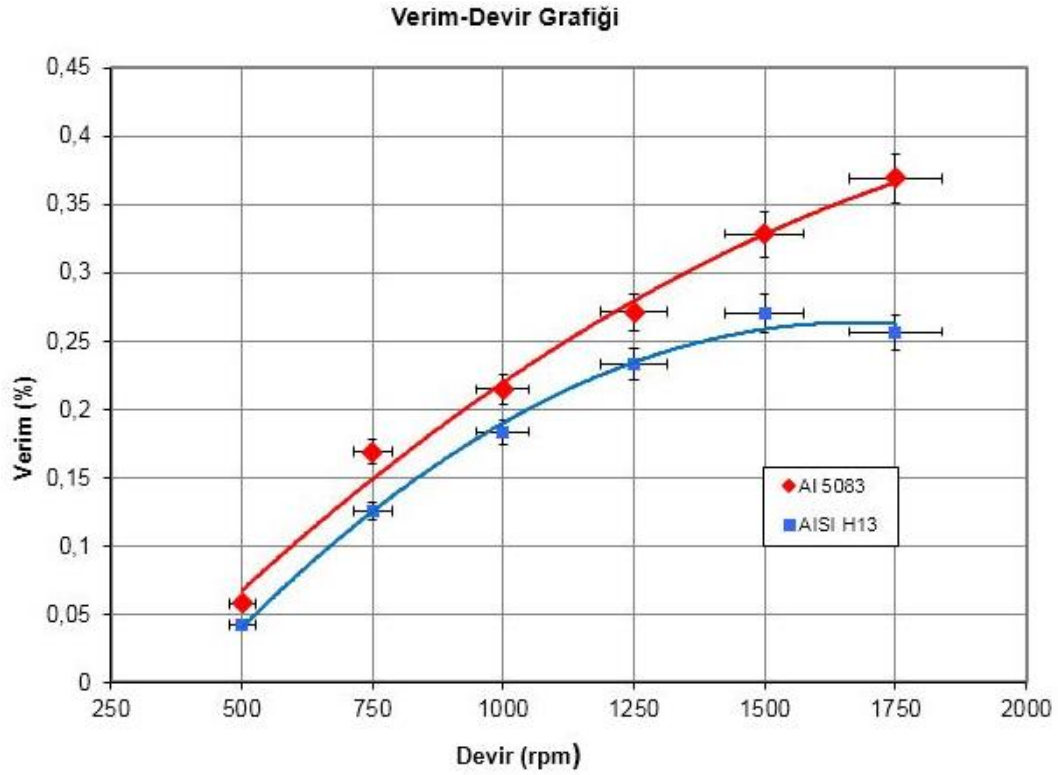


Şekil 6.2. AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Güç grafiği

Şekil 6.2 incelendiğine her iki kompresörde de devir arttıkça kompresörün çektiği güçlerinin de arttığı görülmektedir. Alüminyum paletlin ağırlığını çelik paletin ağırlığından 5 kat daha hafif olmasına rağmen Al 5083 malzemeden yapılan paletli kompresörün çektiği güç, AISI H13 çeliği malzemeden yapılan paletli kompresörün çektiği güçten daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi kompresörlerin üretmiş oldukları basınçlarla ilgilidir. Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi kompresörlerin ürettikleri basınçlar kompresörlerin çektiği güçler ile benzerlik göstermektedir.

Şekil 6.3’te AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Verim grafiği görülmektedir. Alüminyum palete sahip kompresörün çelik palete sahip kompresöre göre daha verimli olduğu açıkça görülmekle birlikte yüksek devirlerde alınan verimin daha da arttığı görülmektedir. Düşük devirlerde Alüminyum palete sahip kompresör yaklaşık %34 daha verimli iken yüksek devirlerde bu oran %43 seviyelerine

ulaşmaktadır. Bunun sebebi ise devrin artmasıyla kompresördeki kaçakların daha da azalmasıdır.



Şekil 6.3. AISI H13 çeliği ve Al 5083 malzemeli paletli kompresörlerin Devir-Verim grafiği



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında mini soğutma ünitelerinde kullanılmak üzere 1,6 cc hacme sahip paletli mikro kompresörün farklı üretim yöntemi ve farklı malzemelerden üretilerek maliyet ve performans değerleri karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasının sonucunda aşağıdaki sonuçlar maddeler halinde verilmiştir.

- Geleneksel paletli kompresörde oluşan sürtünmelerin azaltılması için bu tez çalışmasında palet bölgesi menteşeli hale getirilmiş olup, kapak ve rotor yatakları da rulmanlı hale getirilmiştir.
- Tez çalışmasında yeni bir yöntem olan plaka ekleme yöntemi kullanılması ile tek bir tasarım ile bir den fazla kompresör hacimleri ve farklı avantajlara sahip farklı tasarımlar oluşturmak mümkün olmaktadır.
 - Tam balanslı kompresörler oluşturulabilmektedir.
 - Yüksek basınçlı kompresör kademeleri oluşturulabilmektedir.
 - Taşlama işlemi gerektirmeden farklı toleranslarda kompresör çalışmaları yapılabilmektedir.
- Tez çalışmasında mikro kompresörün endüstriyel hale getirilmesi için toz metalürjisi yöntemi ile daha hafif ve daha ucuz kompresörler üretmek amaçlanmıştır. Kompresörün bütün parçalarının toz metalürjisi ile üretilmesinin maliyeti çok yüksek olduğu için öncelikle en fazla sürtünen parça olan palet Al 5083 alüminyum malzemeden üretilmiştir. Al 5083 malzemesi AISI H13 çeliği malzemesinden 5 kat daha hafif olup, aşağıda her iki kompresör için sonuçlar verilmiştir.
 - Deney sonuçlarına göre Al 5083 malzemeden üretilen kompresörün AISI H13 çeliği kompresöründen yaklaşık %10 daha fazla basınç ürettiği görülmüştür. Özellikle yüksek devirlerde paletin daha hafif olmasından dolayı bu oran %20 lere kadar çıkmaktadır.
 - Kompresörlerin çektiği güçler karşılaştırıldığında basınçla paralel olarak Al 5083 malzemeden üretilen kompresörün daha fazla güç çektiği görülmektedir.
 - Kompresör verimleri karşılaştırıldığında düşük devirlerde Alüminyum paletli kompresör yaklaşık %34 daha verimli iken yüksek devirlerde bu oran %43 seviyelerine ulaşmaktadır.
 - Her iki kompresör maliyet açısından karşılaştırıldığında 3,2 cc hacme sahip bir mikro kompresör için AISI H13 çeliğinden üretilen kompresör tel erezyon yöntemi ile üretildiğinden 2320 TL üretim maliyeti hesaplanmıştır. Al 5083 malzemeden üretilen kompresörün için ise Çizelge 5.5'te de görüldüğü gibi 71100 TL gibi daha yüksek bir üretim maliyeti hesaplanmaktadır. Bunun sebebi ise kompresör parçalarının üretim kalıplarının, sinterleme fırınının ve pres makinesinin ilk yatırım maliyetinin 71000TL gibi yüksek bir değerde olmasıdır. Çizelge 5.5 incelendiğinde 3.2 cc bir kompresör için

220 gr toz maliyetinin 100TL gibi çok az bir değerde olduğu görülmektedir. Eęer kompresör seri imalata geçildiğinde 100 adet kompresör maliyeti hesaplandığında tel erezyonla üretilen AISI H13 elięi kompresör için $2320 \times 100 = 232000$ TL hesaplanırken; Al 5083 alüminyum toz metalürjisi kompresörü için $71000 + (100 \times 100) = 81000$ TL retim maliyeti hesaplanmaktadır. Yani 100 adet 3.2 cc kompresör için bile toz metalürjisi ile üretim maliyeti tel erezyon yöntemine göre yaklaşık 2,8 kat daha ucuz imal edilebilmektedir.

Yapılan bu tez çalışması ile endüstride yaygın bir şekilde kullanılan mikro paletli kompresörün performansını arttırmak ve üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla farklı tasarım ve üretim yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar gösteriyor ki menteşe palet, plaka ekleme ve toz metalürjisi yöntemlerinin birçok avantajının olduğu görülmektedir. Bir sonraki çalışmada palet ile birlikte rotorun da toz metalürjisi ile üretimi yapılarak kompresör performansı incelenebilir. Bu tez çalışmasının bundan sonra bu konuda yapılacak olan çalışmalara bir örnek oluşturacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2016). *Endüstriyel sistemlerde optimizasyon basınçlı hava sistemleri*. Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 1-47.
2. Saidur, R., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M. (2009, Nov). A review on compressed-air energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1135–1153.
3. Çetin, M., E. (2015). *Paletli Pompalarda Kanat Sayısı Ve Dönme Hızı Değişimlerinin Pompa Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-30.
4. Çalışkan, H.Ç., Ekmekçi, İ. (2003). Pozitif deplasmanlı pompalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 216-212.
5. Alev, E. (2011). *Otomobil Endüstrisinde Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Parça Kullanımı Ve Performansının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-36.
6. Baksan, B., Gürler, R. (2003). *Toz Metalürjinin Savunma Sanayinde Uygulanması*, Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü, Eskişehir.
7. Günebakmaz, S. (2007). *Toz Metalurjisi Yöntemi ile Inconel 718 Süperalaşımının Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-34.
8. Brown, R., N. (2005). *Compressor Selection and Sizing*. (3. Baskı). Boston: Elsevier.
9. İnternet: A History of Air Compressors. <https://www.compressedairsystems.com>. <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.compressedairsystems.com%2Fblog%2Fhistory-air-compressors%2F&date=2019-04-28>. Son Erişim Tarihi:28.04.2019
10. Hundy, G. F., Trott, A. R. ve Welch, T. C. (2008). *Refrigeration and air-conditioning*. Boston: Butterwoth Heinemann/Elsevier, 10-200.
11. Parr, E. (2011). *Hydraulics and pneumatics a technician's and engineer's guide. (Third Edition)*. London: Elsevier, 51-60.
12. Forsthoffer, W. E. (2005). *Forsthoffer's rotating equipment handbooks. (Third edition)*. Washington: Elsevier Science, 371-392.
13. Karassık, I. J., Krutzsch, W. C., Fraser, W. H and Messine, J. P. (Editörler). (1976). *Pump Handbook*.
14. Demirel, K. ve Er, D. İ. (2007). *Gemi Mühendisleri için Pompa Uygulamaları* (Birinci Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi, 15-70.

15. Yalçın, K. (1998). *Hacimsel ve Santrifüj Pompalar*, İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 105-225.
16. Schneider Electric. (2017). *The different types of cooling compressors*. Data center science center: Schneider Electric, 1-12.
17. Geng, W., Liu, C. H., Wang, Y. Z. (2004, July). *The performance optimization of rolling piston compressors based on CFD simulation*. International Compressor Engineering Conference. Indiana, USA.
18. Stenzel, A., Rolling Piston Compressor with Locking Device for The Separating Slide” *USPTO 4397618*, Stuttgart, 1-6 (1983).
19. Hattori, H., “Rolling Piston Type Expansion Machine”, *USPTO 5616019*, Kanagawa-Ken, 1-30 (1997).
20. Ooi, K. T. (2005). Design optimization of a rolling piston compressor for refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 25 (5-6), 813-829.
21. Tan, K. M. and Ooi, K. T. (2011). A novel revolving vane compressor with a fixed-vane. *International Journal of Refrigeration*, 34 (8), 1980-1988.
22. Hu, X., Qu, Z., Yang, X., and Sun, J. (2013, May). Theoretical study on frictional losses of a novel automotive swing vane compressor. *International Journal of Refrigeration*, 36 (3), 758-767.
23. Tan, K. M., and Ooi, K. T. (2014). Experimental study of fixed-vane revolving vane compressor. *Applied Thermal Engineering*, 62 (1), 207-214.
24. Chen, A., and Wu, J. (2015). A new structure and theoretical analysis on leakage and performance of an oil-free R290 rolling piston compressor. *International Journal of Refrigeration*, 49, 110-118.
25. Cai, D., Qiu, C., Pan, J., Yang, X., He, G., Tetsuhide, Y., Chen, X., and Li, H. (2017). Leakage characteristics and an updated volumetric efficiency prediction model of rolling piston type rotary compressor for small capacity air-conditioner and heat pump applications. *Applied Thermal Engineering*, 121, 1080-1094.
26. Yang, X., Dong, C., and Qu, Z. (2017). Design and dynamic analysis of a novel double-swing vane compressor for electric vehicle air conditioning systems. *International Journal of Refrigeration*, 76, 52-62.
27. Yang, J. S., Mei, L., Noh, K. Y., Moon, S. H., Sa, B. D., Choi, G. M., and Kim, D. J. (2013). A sensitivity study of size parameters in a twin-type rolling piston compressor. *International Journal of Refrigeration*, 3 (36), 786-794.
28. Molinaroli, L., Joppolo, C. M., and Antonellis, S. D. (2017). A semi-empirical model for hermetic rolling piston compressors. *International Journal of Refrigeration*, (79), 226-237.

29. Shuxue, X., and Guoyuan, M. (2014). Experimental study on two-stage compression refrigeration/heat pump system with dual-cylinder rolling piston compressor. *Applied Thermal Engineering*, 2 (62), 803-808.
30. Ma, R., Wu, Y., Du, C., Chen, X., Zhang, D., and Ma, C. (2016). The performance test of a modified miniature rotary compressor in upright and inverted modes subjected to microgravity. *Applied Thermal Engineering*, (92), 81-92.
31. Lee, S., and Shim, J., and Kim, K. C. (2016). Development of capacity modulation compressor based on a two-stage rotary compressor - Part II: Performance experiments and P-V analysis. *International Journal of Refrigeration*, (54), 82-99.
32. Ahmad, F., Lo, S. H. J., Aslam, M., and Haziq, A. (2013). Tribology behaviour of alumina particles reinforced aluminium matrix composites and brake disc materials. *Procedia Engineering*, (68), 674-680.
33. Qiu, J. W., Liu, Y., Liu, Y. B., Liu, B., Wang, B., Ryba, W., and Tang, H. P. (2012). Microstructures and mechanical properties of titanium alloy connecting rod made by powder forging process. *Materials and Design*, (33), 2013-2019.
34. Karlsson, R. (2013). Race is on for lightweight PM transmission gears. *Metal Powder Report*, 68(3), 23-25.
35. Ranganathan, G., Raj, T. H. S., and Ram, P. V. M. (2004). Wear characterisation of small PM rotors and oil pump bearings. *Tribology International*, 1 (37), 1-9.
36. Langhof, N., Rabenstein, M., Rosenlöcher, J., Hackenschmidt, R., Krenkel, W., and Rieg, F. (2016). Full-ceramic brake systems for high performance friction applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 15 (36), 3823-3832.
37. Xiao, Y., Zhang, Z., Yao, P., Fan, K., Zhou, H., Gong, T., Zhao, L., and Deng, M. (2018). Mechanical and tribological behaviors of copper metal matrix composites for brake pads used in high-speed trains. *Tribology International*, (119), 585-592.
38. Angelo, P. C. and Subramanian, R. (2008). *Powder Metallurgy Science, Technology and Applications*. New Delhi: Prentice Hall of India, 1-172.
39. Işık, E. (2014). *SiC Takviyeli Al-12Si Matrisli Kompozitin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23-34.
40. Özgün Ö. (2007). *Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 3-40.
41. Ekinci, V. Ş. (2007). *Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-28.

42. Upadhyaya, G. S. (2002). *Powder Metallurgy Technology*. (First edition). Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 1-95.
43. Beddoes, J. and Bibby, M. J. (1999). *Principles of Metal Manufacturing Processes*. (First Edition). Canada: Butterworth-Heineman, 173-189.
44. German, R. M. *Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri* (çev. S. Sarıtaş., M. Türker ve N. Duru). Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları (Eserin Orjinali X yayımlandı), 41-43.
45. Gülüzade, R. (2011). *Alüminyum Ve Çelik Testere Talaşlarından Sinterleme İle Üretilen Metal Matris Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Ve Kırılma Davranışları*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-40.
46. Söyler, M. (2007). *Toz Metalurjisi ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 1-33.
47. Babayev, Y. (2007). *Bir Kompresör Gövdesi İmalatının Toz Metalurjisi ve Difüzyon Kaynağı Yöntemleri Uygulanarak Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-25.
48. Groover, M. P. *Modern İmalatın Prensipleri* (çev. M. Yurdakul, Y.T. İç). Nobel Yayınları No 1150. (Eserin orijinali 2011'de yayımlandı), 347.
49. Akmandor, I. S. U.S., Patent No. 8,579,615. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2013.
50. Seymen, K. (2012). *Turbo Döngüsel Bir Türbinde Hilal Palettekteki Sürtünme Ve Basınç Kaçakları İle Güç İlişkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-32.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TERYAKİ, Salih
Uyruđu : T.C.
Dođum tarihi ve yeri : 25.03.1991, Güzelyurt
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 544 318 82 47
e-mail : salihteryaki@outlook.com



Eđitim

Derece	Eđitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Otomotiv Mühendisliği	2019
Lisans	Afyon Kocatepe Üni. / Otomotiv Müh.	2014
Lise	Keçiören Kanuni Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Okur M., Tiryaki, S and Akmandor, İ. S. (2017, 19-22 Ekim) *Design and manufacture of tiny rotary compressor for micro coling and refrigeration*, 8. International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.

Hobiler

Yüzme, Fotoğrafçılık, Futbol



GAZİ GELECEKTİR..