



**DÖNGÜSEL PALETLİ MİKRO KOMPRESÖRÜN PERFORMANSININ
ARTIRILMASI**

İsmet KARAKAŞ

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

İsmet KARAKAŞ tarafından hazırlanan “DÖNGÜSEL PALETLİ MİKRO KOMPRESÖRÜN PERFORMANSININ ARTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim 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. Suat SARIDEMİR

Makine ve İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Düzce Üniversitesi

.....

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

Üye: Doç. Dr. Tolga TOPGÜL

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

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

Tez Savunma Tarihi: 20/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın 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.

.....
İsmet KARAKAŞ
20/07/2020

DÖNGÜSEL PALETLİ MİKRO KOMPRESÖRÜN PERFORMANSININ ARTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

İsmet KARAKAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2020

ÖZET

Sıkıştırılmış hava ihtiyacını karşılayan kompresörlerin endüstride ve ev tipi soğutucularda kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Kompresörlerin verimlerini artırmak için bu alanda birçok çalışma yapılmakta ve halen yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmada gövde, rotor ve palet olmak üzere üç ana kısımdan oluşan, özgün bir yapıya sahip döngüsel paletli mikro kompresörün paletinde yapılan değişikliklerle performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda malzemesi çelik olan hilal paletler, toz metalürjisi (alüminyum Al 5083) ile üretilmiş ve sert eloksal ile kaplanmıştır. Kaplanan paletler kaplama öncesi ve sonrası sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca kompresör basınç performans testleri öncesi ve sonrası da palet yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Kaplama yapılan paletlerin kaplama yapılmayanlara oranla yüzey pürüzlülüğü 5-6 kat daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Mikro kompresörün performans testleri için 5 set deney yapılmış olup, basınç, akım ve volt değerleri ölçülmüştür. Yapılan deney sonuçlarına göre çelik paletin, alüminyum paletlere göre % 10 daha yüksek güç harcadığı görülmektedir. Ayrıca referans olarak değerlendirilen çelik palette ulaşılan 5 bar basınca, eloksal kaplı AL5083 hilal palet ile de ulaşılmıştır. Çelik ile aynı basınç değerine ulaşılan ve kaplama uygulanmamış alüminyuma göre yüzey aşınma direnci daha yüksek olan eloksal kaplı AL5083 hilal palet mikro kompresörün performansının artırılmasında katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 93001

Anahtar Kelimeler : Mikro kompresör, döngüsel paletli kompresörler, eloksal kaplama

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Doç. Dr. Melih OKUR

IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE ROTARY VANE MICRO COMPRESSOR

(M. Sc. Thesis)

İsmet KARAKAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

The use of compressors that supply with the need for compressed air is becoming more common in industry and domestic refrigerators. Many studies have been done in this field to increase the efficiency of compressors and it is still ongoing. In this study, it is aimed to increase the performance of the novel vane micro compressor, which consists of three main parts: body, rotor and vane, with the changes made in the vane. In this context, crescent vane made of steel are produced with powder metallurgy (aluminum Al 5083) and covered with hard anodized. Surface hardness measurements were made before and after the coated vanes. And vane surface roughness measurements were done before and after compressor pressure performance tests. It is seen that the surface roughness gives 5-6 times better results compared the coated vanes to the uncoated vanes. 5 sets of experiments were made for the performance tests of the micro compressor, and pressure, ampere and volt values were measured. According to the results of the experiment, it is seen that the steel vane consumes 10% higher power than aluminum vanes. In addition, the pressure of 5 bar reached on the steel vane, which is considered as a reference, was achieved with an anodized coated AL5083 crescent vane. It has been determined that the anodic coated AL5083 crescent vane, which has the same pressure value as steel and has higher surface abrasion resistance than non-coated aluminum, contributes to the performance of the crescent vane micro compressor.

Science Code : 93001

Key Words : Micro compressor, rotary vane compressors anodized coating

Page Number : 77

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Melih OKUR

TEŞEKKÜR

Çalışmamın başlangıcından sonuna kadar hiçbir desteğini esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Melih OKUR hocama teşekkür ederim.

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.

Eğitim hayatım boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen anne ve babama teşekkürü borç bilirim. Her zaman yanımda olan ve beni hep destekleyen eşim Fatma KARAKAŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPRESÖRLER.....	5
2. 1. Pozitif Deplasmanlı Kompresörler.....	6
2. 1. 1. Pistonlu kompresörler.....	6
2. 1. 2. Diyaframalı kompresörler.....	8
2. 2. Döngüsel Kompresörler.....	9
2. 2. 1. Sıvı halkalı (akışkanlı) kompresörler.....	9
2. 2. 2. Sarmal (scroll) kompresörler.....	10
2. 2. 3. Vidalı kompresörler.....	11
2. 2. 4. Dişli kompresörler.....	12
2. 2. 5. Paletli kompresörler.....	13
2. 3. Dinamik Kompresörler.....	15
2. 3. 1. Eksenel kompresörler.....	15
2. 3. 2. Santrifüj kompresörler.....	16

3. TOZ METARULÜJİRSİ.....	17
3.1. Tozların Üretilmesi.....	17
3.2. Toz Karıştırma ve Harmanlama.....	18
3. 3. Tozların Sıkıştırılması.....	19
3. 4. Sinterleme yöntemi.....	22
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	25
4. 1. Kompresörler Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	25
4.2. Alüminyum kaplama yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalar.....	28
5. METARYAL METHOT.....	31
5. 1. Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen Hilal Paletin Eloksal ile Kaplanması.....	32
5. 1. 1. Temizleme – Yağ alma işlemi.....	35
5. 1. 2. Aşındırma işlemi.....	36
5. 1. 3. Sumut alma (Nötralizasyon)	36
5. 1. 4. Anodik oksidasyon (eloksal kaplama) işlemi.....	37
5. 1. 5. Mühürleme.....	39
6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
6. 1. Sertlik Testleri.....	43
6. 2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	45
6. 3. Mikro Kompresör Basınç Performans Testleri.....	47
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5. 1. Al 5083'ün kimyasal kompozisyonu.....	34
Çizelge 5. 2. Al 5083'ün mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 5. 3. Proses rota şeması.....	41
Çizelge 6. 1. Al 5083 alüminyumun kimyasal ve mekanik özellikleri.....	42
Çizelge 6. 2. Sertlik test sonuçları.....	43
Çizelge 6. 3. Performans testleri öncesi ve sonrası yüzey testi sonuçları.....	45
Çizelge 6.4. Yapılan 5 set deneyler için palet malzemesi ve çalışma boşlukları.....	49
Çizelge 6. 5. 1.Set Deney Parça Ölçüleri.....	50
Çizelge 6. 6. 2. Set Deney Parça Ölçüleri.....	51
Çizelge 6. 7. 3. Set Deney Parça Ölçüleri.....	53
Çizelge 6. 8. 4. Set Deney Parça Ölçüleri.....	54
Çizelge 6. 9. 5. Set Deney Parça Ölçüleri.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. 1. Basınçlı hava sistemlerinin 1 yıllık maliyet dağılımı.....	2
Şekil 2. 1. Kompresörlerin Tipleri.....	6
Şekil 2. 2. Pistonlu kompresör.....	7
Şekil 2. 3. Tek kademeli pistonlu kompresör.....	7
Şekil 2. 4. Çift kademeli pistonlu kompresör.....	8
Şekil 2. 5. Diyaframalı kompresörün çalışma prensibi.....	8
Şekil 2. 6. Sıvı halkalı kompresör.....	10
Şekil 2. 7. Scroll kompresörlerinin sıkıştırma döngüsü ve yörünge hareketleri.....	11
Şekil 2. 8. Çift rotorlu vidalı kompresörün çalışma kesit görüntüsü.....	12
Şekil 2. 9. Dişli kompresörün ayrılmış görünümü.....	13
Şekil 2. 10. a) menteşe paletli kompresör b) yaylı paletli kompresör.....	14
Şekil 2. 11. Eksenel tip kompresör.....	15
Şekil 2.12. Ara soğutuculu üç kademeli santrifüj kompresör.....	16
Şekil 3.1. Toz parçacıklarının presleme aşamaları.....	20
Şekil 3. 2. Soğuk izostatik preslemenin kesit görünümü.....	21
Şekil 3. 3. Haddeleme işlemi.....	22
Şekil 3. 4. Katı faz sinterleme aşamalarının şematik gösterimi.....	23
Şekil 3. 5. Sıvı faz sinterleme aşamaları.....	24
Şekil 4. 1. Parsey’ in geliştirdiği pnömatik motor.....	25
Şekil 5. 1. Kompresörün bir setini oluşturan parçalar (a-gövde, b-rotor, c-palet, d-eksantrik mil) ve montaj hali.....	31
Şekil 5. 2. Çift kademeli tam balanslı kompresör.....	32
Şekil 5. 3. Eloksal kaplama proses şeması.....	33
Şekil 5. 4. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen plakaların pres ve telerezyon aşamaları.....	35
Şekil 5. 5. Eloksal kaplama şematik gösterimi.....	37

Şekil	Sayfa
Şekil 5. 6. Eloksoal kaplama hücre yapısı.....	37
Şekil 6. 1. Kompresör test düzeneğinin şematik görünümü.....	47
Şekil 6. 2. Çift Kademe Balanslı kompresör parçaları.....	49
Şekil 6.3. 1.Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği.....	51
Şekil 6. 4. 2.Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği.....	52
Şekil 6. 5. 3. Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği.....	53
Şekil 6. 6. 4. Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği.....	54
Şekil 6. 7. 5. Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği.....	55
Şekil 6. 8. Tüm Set Deneyler için Basınç-Süre Grafiği.....	56
Şekil 6. 9. Tüm Set Deneyler için Akım-Süre Grafiği.....	57
Şekil 6. 10. Tüm Set Deneyler için Güç - Süre Grafiği.....	57

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1 Üç eksenli kuru karıştırıcı.....	19
Resim 5. 1. Temizleme banyosu.....	35
Resim 5. 2. Eloksal kaplama havuzunun görünümü.....	38
Resim 5. 3. Farklı anodizyak süresine tabi tutulmuş AL5083 hilal paletler.....	39
Resim 5. 4. Eloksal ile kaplanmamış ve kaplanmış AL5083 hilal paletler.....	40
Resim 6.1. Tek kat eloksallı kaplı hilal palet, çift kat eloksallı kaplı hilal palet sertlik ölçümleri ve ölçüm düzeneği.....	43
Resim 6. 2. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Mitutoyo SJ-410).....	44
Resim 6. 3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm test düzeneği.....	45
Resim 6. 4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Mitutoyo SJ-410) sonuçları ve grafiği...	46
Resim 6. 5. Kompresörün test düzeneği.....	47
Resim 6. 6. Test kontrol paneli.....	48
Resim 6. 7. Sonuçların okunduğu gösterge panosu.....	48
Resim 6. 8. Performans testleri sonunda alüminyum hilal paletler.....	58
Resim 6. 9. Performans testleri sonunda eloksallı kaplı alüminyum paletler.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

mm

Milimetre

A

Akım

R_a

Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

MPa

Megapaskal

D_k

Dakika

V

Gerilim

°C

Santigrat Derece

A/dm²

Akım Yoğunluğu

W

Watt

Kısaltmalar

Açıklamalar

USPTO

Amerika Patent ve Marka Ofisi

1. GİRİŞ

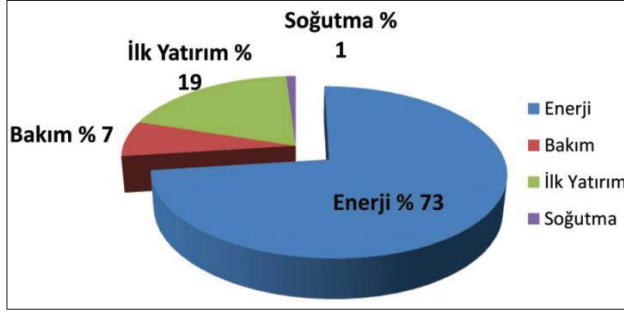
Günümüz dünyasında tüketilen enerjinin neredeyse tamamına yakını petrol kökenli kaynaklardan karşılanmaktadır. Fosil kökenli enerji hammaddelerinin giderek azalması, yaşanan enerji krizleri, küresel ısınma, çevre kirliliği gibi insan yaşamını yakından ilgilendiren sorunlar, insanoğluna alternatif temiz ve ucuz enerji kaynakları arayışını zorunlu kılmıştır. Bir yandan alternatif enerji kaynakları aranırken diğer yandan mevcut kaynakların daha verimli ve etkin kullanılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmaktadır.

Hava; atmosferde bolca bulunan, iletimi basit, çeşitli yöntemlerle basınç kazandırılarak depolanabilen ve kullanıldıktan sonra tekrar atmosfere bırakıla bilinen bir akışkandır. Atık bırakmaması, kullanılan basınç sistemlerinin hatlarında meydana gelebilecek kaçak ve sızıntıların çevreyi kirletmemesi açısından alternatif temiz bir enerji kaynağıdır.

Basınçlı hava maliyetinin düşük, güvenli ve emniyetli olmasından dolayı, enerji kaynağı olarak hava motorlarında ve kontrol vanalarında; temizleme amaçlı olarak hava tabancalarında ve daha birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Basınçlı hava sistemlerinin güç yoğunluğu yüksektir ve güç/ağırlık oranı düşüktür. Aşırı yüke ve patlamalara karşı dayanıklı olmaları, nem, sıcaklık, elektromanyetik gürültü ve toz gibi unsurlardan etkilenmemeleri, uzak mesafelere taşınabilir olmaları, bakımlarının kolay olması bu sistemlerin tercih edilmesindeki önemli sebeplerdir.

Birçok avantajının olmasının yanında basınçlı hava sistemlerinin yüksek maliyetli güç kaynağı olduğu bilinen bir gerçektir. Şekil 1.1’de basınçlı hava sistemlerinin 1 yıllık maliyet dağılımı görülmektedir. Sistemin çalışması için gereken enerji, yıllık maliyetin yaklaşık %75’ini oluşturmaktadır [1]. Bunun yanında sistemin yıllık bakım maliyeti ilk yatırım maliyetlerinin yaklaşık % 10’na yaklaşabilmektedir [2].



Şekil 1. 1. Basınçlı hava sistemlerinin 1 yıllık maliyet dağılımı [1]

Kompresörler ortamdan emilen havayı sıkıştırarak basınçlandıran ve elektrik enerjisini gaz akışına yükleyen basınçlı hava sistemi elemanlarıdır [3]. Kullanım amaçları doğrultusunda çalışma basıncı ve istenilen hava miktarına göre farklı tiplerde kompresör çeşitleri bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan kompresörler sıkıştırma şekline göre iki tipte incelenmektedir. Hız enerjisini basınç enerjisine çeviren kompresörler dinamik tip olup, kapalı bir hacmin küçültülmesiyle basınçlandırılan kompresörler ise deplasmanlı (hacimsel) tip olarak gruplandırılmaktadır [4].

Deplasmanlı kompresörler diğer tiplere göre daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bunların en yaygın olanları; vidalı, dişli, pistonlu ve paletli kompresörlerdir. Pistonlu kompresörlerin basınçlandırma yetenekleri yüksek olmasına karşın krank, biyel ve supap mekanizmalarının üretim ve bakım onarım süreçleri zor olmaktadır. Dişli tip kompresörler fazla bileşen içermemesine karşın düşük toleranslara sahip dişlileri, üretimi zor ve arızaya yatkın yapıya sahip olmaktadır. Vidalı kompresörler dönme ataletinin düşük olduğu kompresörler olup, yoğun sıvıların pompalandığı sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Ancak yüksek basınç gerektiren durumlarda daha uzun boyutlarda üretilmesi dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

Döngüsel paletli kompresörler sabit gövde, merkezden kaçık dönen bir rotor ve rotor ile gövde arasında oluşan hacimdeki basınçlı ve basınçsız bölgeyi birbirinden ayıran paletten oluşmaktadır. Rotor döndükçe temas ettiği gövde iç yüzeyi ile palet arasındaki hacim artar ya da azalır bu esnada da akışkan emilmekte ya da basınçlanmaktadır. Palet sayısına ve paletin sabit veya hareketli oluşuna göre döngüsel paletli kompresörler sınıflandırılmaktadır. Gövdeden sabit paletli mikro kompresörler soğutma sistemlerinde yaygın şekilde

kullanılmaktadır. Aynı basma yüksekliği için diğer kompresörlere göre daha küçük hacme sahip ve ekonomik olmalarından dolayı büyük avantajlara sahiptirler.

Turbo döngüsel motorlar, döngüsel paletli kompresörlerle aynı çalışma sistemine sahip olmakla birlikte uzun yıllardır birçok farklı tasarımlar ile geliştirilmektedir. Bu çalışmalardan bir tanesi olan ve özgün bir tasarıma sahip Pars motorunun patenti 2006 yılında Türk Patent Enstitüsü'nden ve 2013 yılında Amerika Patent ve Marka Ofisi'nden (USPTO) Prof. Dr. İbrahim Sinan AKMANDOR tarafından alınmıştır. Pars motoru yanma odası, türbin ve kompresör olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır Pars motorunun en önemli avantajları, parça sayısının az olması, atalet kuvvetinin düşük olması, aerodinamik rotor yapısı ve tasarımının basit olmasıdır [6,7].

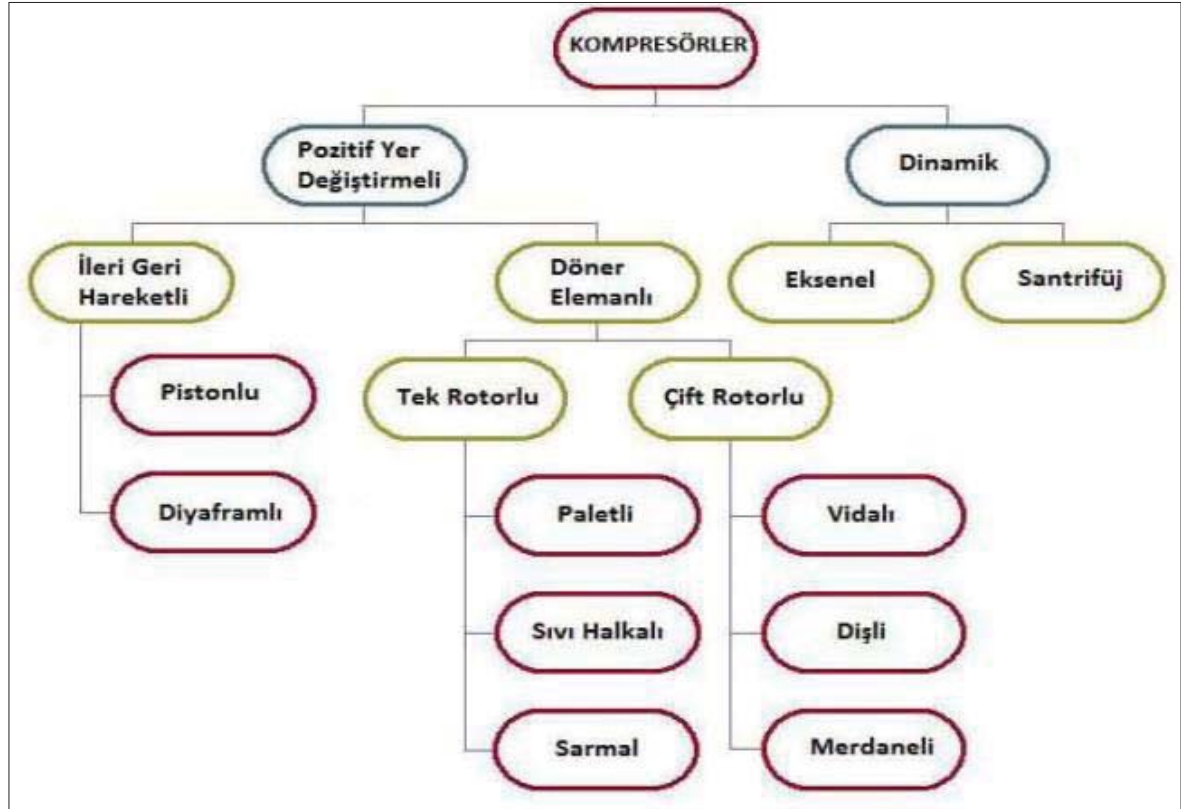
Enerji tüketiminin çok yoğun olduğu kompresörlerde, sağlanan en uygun koşullarda bile verilen enerjinin büyük bir kısmı basınç ve sürtünme kayıplarına gitmektedir. Bu çalışmada Pars motorunun bir bölümü olan hilal paletli mikro kompresörün performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda kompresörün en fazla sürtünen ve aşınarak performans kaybına sebep olan hilal paletler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş AL5083 hilal paletlerin, sert eloksal ile kaplanması sonucunda aşınma karakteristiğinin incelenmesi amaçlı malzeme üzerinde sertlik ve sürtünme testleri yapılarak deneysel olarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen bulgular çeşitli grafikler ile yorumlanmış ve mikro kompresörde kullanılan hilal paletin eloksal ile kaplanmasının performans üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. KOMPRESÖRLER

Sıkıştırılmış akışkanların davranışlarını, mekanik özelliklerini, hareket ve kontrolünü inceleyen bilim hidrolik ya da pnömatik bilimdir. Hidrolikte kullanılan akışkan türünü yağ ve su gibi maddeler oluştururken, pnömatikte akışkan olarak hava kullanılmaktadır.

Çeşitli endüstri alanlarında ve diğer birçok uygulamada kullanılan sıkıştırılmış havanın kullanımı binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. İlkel insanlar hava körüğü aracıyla sıkıştırdığı havayı enerjiye dönüştürmüşlerdir. Endüstriyel anlamda ise ilk ciddi uygulamalara 19. yüzyılın ortalarında rastlanılmaktadır. Bu tarihlerde içten yanmalı motorlardan önce sıkıştırılmış hava enerjisi ile çalışan araçlar üretilmiş ve kullanılmıştır. Bu sistemlerde sıkıştırılan hava kütlesi hava tankları içinde depolanmaktadır. İlk zamanlarda depolamak için kullanılan tankların malzemelerinin yüksek basınçlarda depolamaya elverişsiz oluşu bu araçların gidebildiği mesafeyi düşürmüştür. Bu sorunu ortadan kaldırmak için tanktan çıkan havanın ısıtılarak motora ulaştırılmış ve daha yüksek verim elde edilmiştir. Bu teknoloji 19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında madenlerde yük taşımacılığı ve şehirlerde toplu taşımada yaygın olarak kullanılmıştır [8].

Kompresörler ortamdan emdiği havayı hacimsel olarak küçülterek ivme kazandıran, basınçlı havanın oluşturulmasında kullanılan temel ekipmanlardır [3]. Endüstride birçok farklı tipte kompresör çeşidi kullanılmaktadır. Hava kompresörleri dinamik ve pozitif deplasmanlı olarak iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Pozitif deplasmanlı kompresörler sabit bir hacimde emilen havanın, hacmi azaltılarak basıncı artırılmaktadır. Dinamik kompresör tiplerinde ise akan gaza hız kazandırılarak bu hız ile difüzer ya da statorda akışkan gaz basınç enerjisine dönüştürülmektedir [9]. Şekil 2. 1’de kompresörlerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2. 1. Kompresörlerin Tipleri [10]

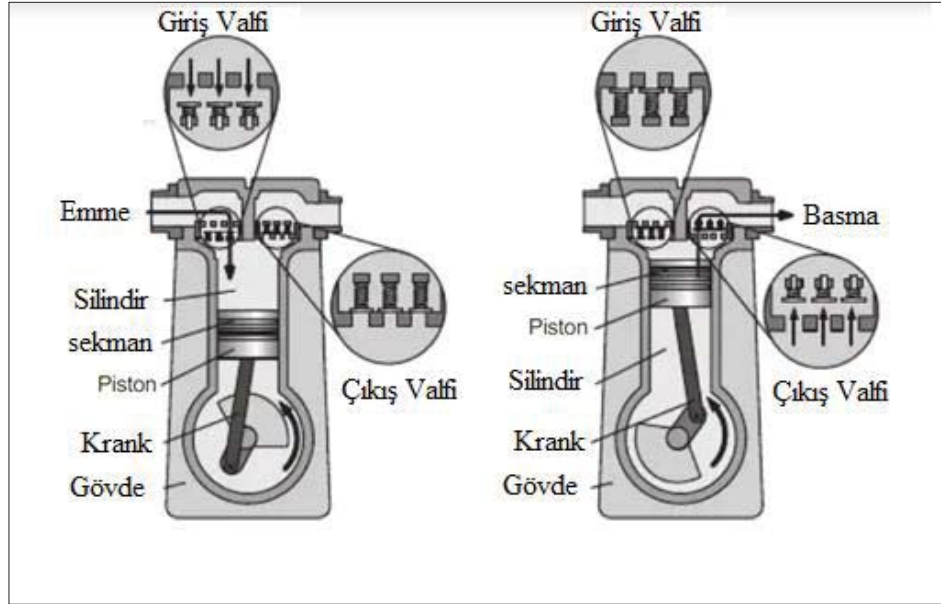
2. 1. Pozitif Deplasmanlı Kompresörler

Pozitif deplasmanlı kompresörlerin çalışma prensibi, silindir yer değiştirmesinin hızının ve hacminin bir fonksiyonu olduğu için yer değiştirmeli kompresör olarak ta adlandırılmaktadır. Piston hızı sabit olduğu için basınç kazandırılan gazın hacmi ve ağırlığı silindirlerin dakikadaki basma stroklarıyla doğru orantılıdır.

2. 1. 1. Pistonlu kompresörler

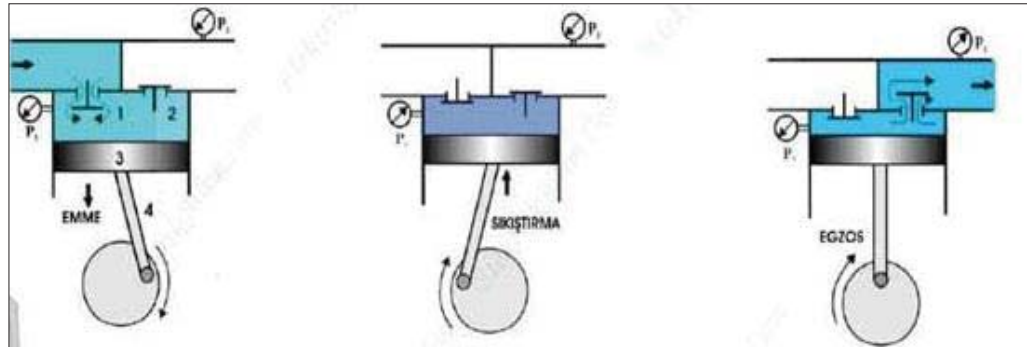
Pistonlu kompresörler; silindir sayıları, boyutları ve hızları değiştirilebildiği için en çok kullanılan ve değişken basınç aralıklarına sahip kompresörlerdir. Bu kompresörler çok az otomasyona sahiptirler ve tasarım açısından da basittirler. Bu kompresörler genellikle elektrik motorları veya dizel motorlar tarafından doğrudan tahrik edilmektedirler. Temel olarak piston, silindir, biyel ve valf gibi parçalarından oluşmaktadırlar. Pistonlu kompresörlerde, kullanılan güç krank mili yardımıyla pistonlara iletilmektedir. Bu sayede döner hareket piston yönünde dikey harekete çevrilerek piston önündeki havanın silindir

içerisinde süpürülerek sıkıştırılmasını sağlamaktadır. Boşaltma hattı ve tahliye üzerindeki kontrol valfleri (sıkıştırma valfleri) gazın sadece bir yönde akışına izin vermektedir. Şekil 2. 2’de pistonlu tip kompresör görülmektedir [11].

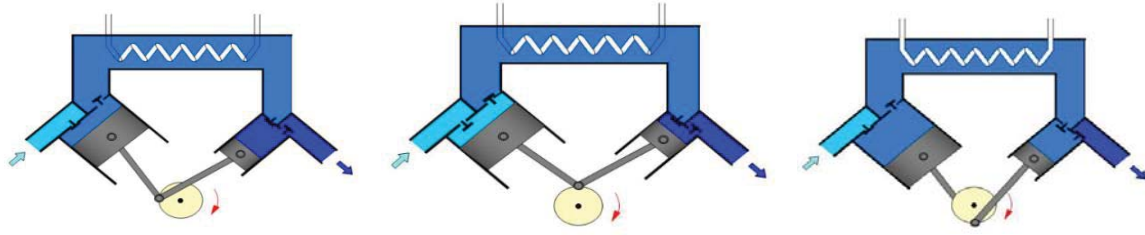


Şekil 2. 2. Pistonlu kompresör [11]

Pistonlu tip kompresörler tek veya çift etkili olmaktadır. Piston hareketi sadece aşağı yönde ise tek etkili, hem aşağı hem yukarı yöne etkili ise çift etkili olarak adlandırılmaktadırlar. Bu “çift” sıkıştırma çevrimi, bu tip hava kompresörünü daha verimli hale getirmektedir. Şekil 2.3’de Tek kademeli pistonlu kompresör, Şekil 2.4’de Çift kademeli pistonlu kompresör görülmektedir.



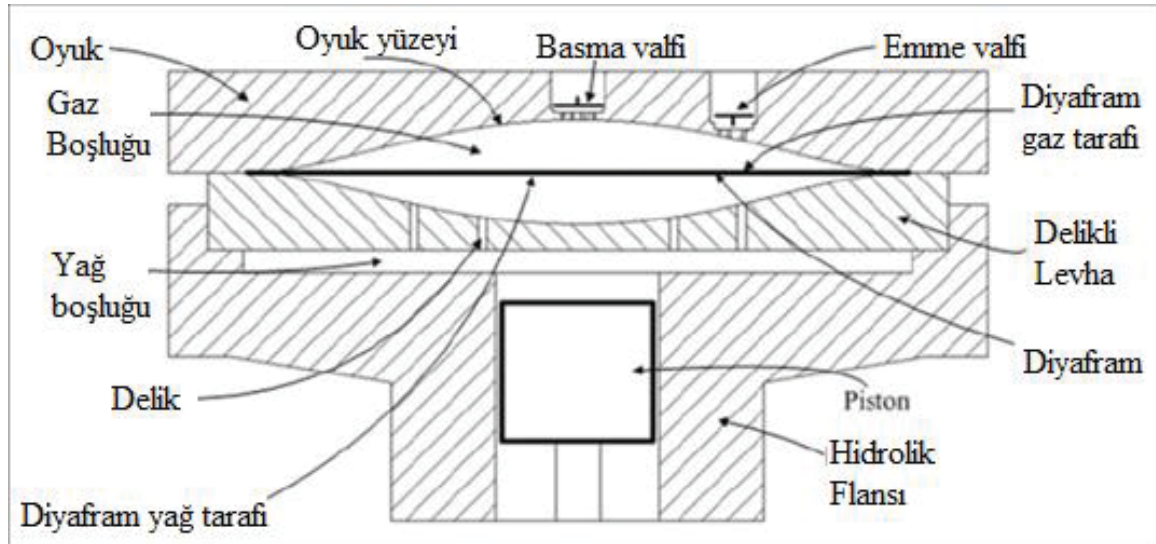
Şekil 2. 3. Tek kademeli pistonlu kompresör [11]



Şekil 2. 4. Çift kademeli pistonlu kompresör [11]

2. 1. 2. Diyaframalı kompresörler

Bu tip kompresörlerde yer değiştirme tekniği kullanılarak yağ veya sıvı karışmadan gaz temiz bir şekilde basınçlandırabilmektedir. Piston üst ölü noktaya ilerlerken süpürdüğü hidrolik yağ diyaframı iterek gazın sıkışmasını sağlamaktadır. Gaz boşluğundaki basınç maksimum seviyeye geldiğinde valf açılarak sıkışan gaz tahliye edilmektedir. Piston aşağı inerken üzerindeki hidrolik sıvıyı geriye doğru çeker ve bu da diyaframın serbest kalmasını aynı zamanda da gazın açılan emme valfinden tekrar emilerek sürecin başa dönmesini sağlamaktadır. Diyaframalı kompresörün çalışma prensibi Şekil 2. 5' te görülmektedir [12].



Şekil 2. 5. Diyaframalı kompresörün çalışma prensibi [12]

Bu tip kompresörlerde hareketli elemanlarla, emilen ve basılan havanın teması önlendiği için temiz ve yağsız basınçlı hava üretmek mümkün olmaktadır. Diyaframalı kompresörler ile gıda, ecza, kimya endüstrisi ve solunum havası sağlanması gibi temiz hava ihtiyacı duyulan

uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Bu kompresörler diğerlerine göre küçük boyutlu olup, hava verimleri oldukça düşüktür [2].

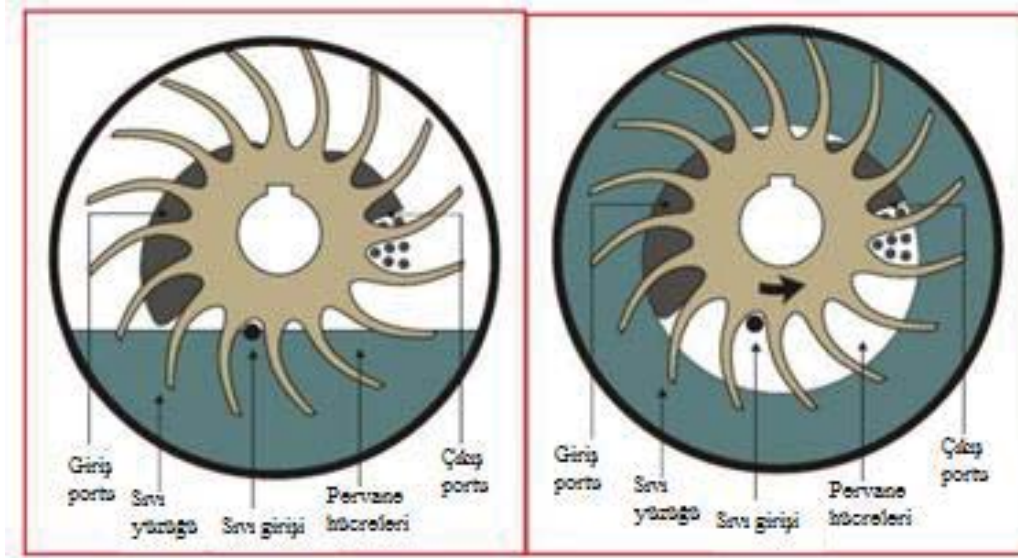
2. 2. Döngüsel Kompresörler

Döngüsel kompresörlerde, pistonlu tip kompresörlerin gidip gelme hareketi yerine rotor gibi döner elemanlar dönme hareketi yaparak havayı basınçlandırma işlemini gerçekleştirilmektedir. Birçok çeşidi bulunan döngüsel kompresörlerin, vidalı, paletli, sıvı akışkanlı, dişli ve sarmal tipli kompresörler endüstride en çok kullanılan türlerdir. Çoğunlukla elektrik motoru ile tahrik edilmekte olup, pistonlu kompresörlere göre boyutları küçüktür [13].

2. 2. 1. Sıvı halkalı (akışkanlı) kompresörler

Aynı anda buhar ve sıvı emişi yapılabilmesi, bu tür kompresörlerin kullanım alanlarını oldukça genişletmektedir. Mekanik pompalar arasında sadece sıvı halkalı kompresörler yoğunlaşma etkilerini kullandıkları için, kimya endüstrisinde kuru ve özellikle nemli buharın emilmesi ve sıkıştırılmasında kullanılmaktadırlar. Esas olarak düşük maliyetli ve çok düşük basınçlara inmeyen vakum işleri için sıvı halkalı kompresörlerden yararlanılmaktadır. Vakum işlemlerinde kullanılması nedeniyle vakum pompası olarak da adlandırılmaktadırlar [14].

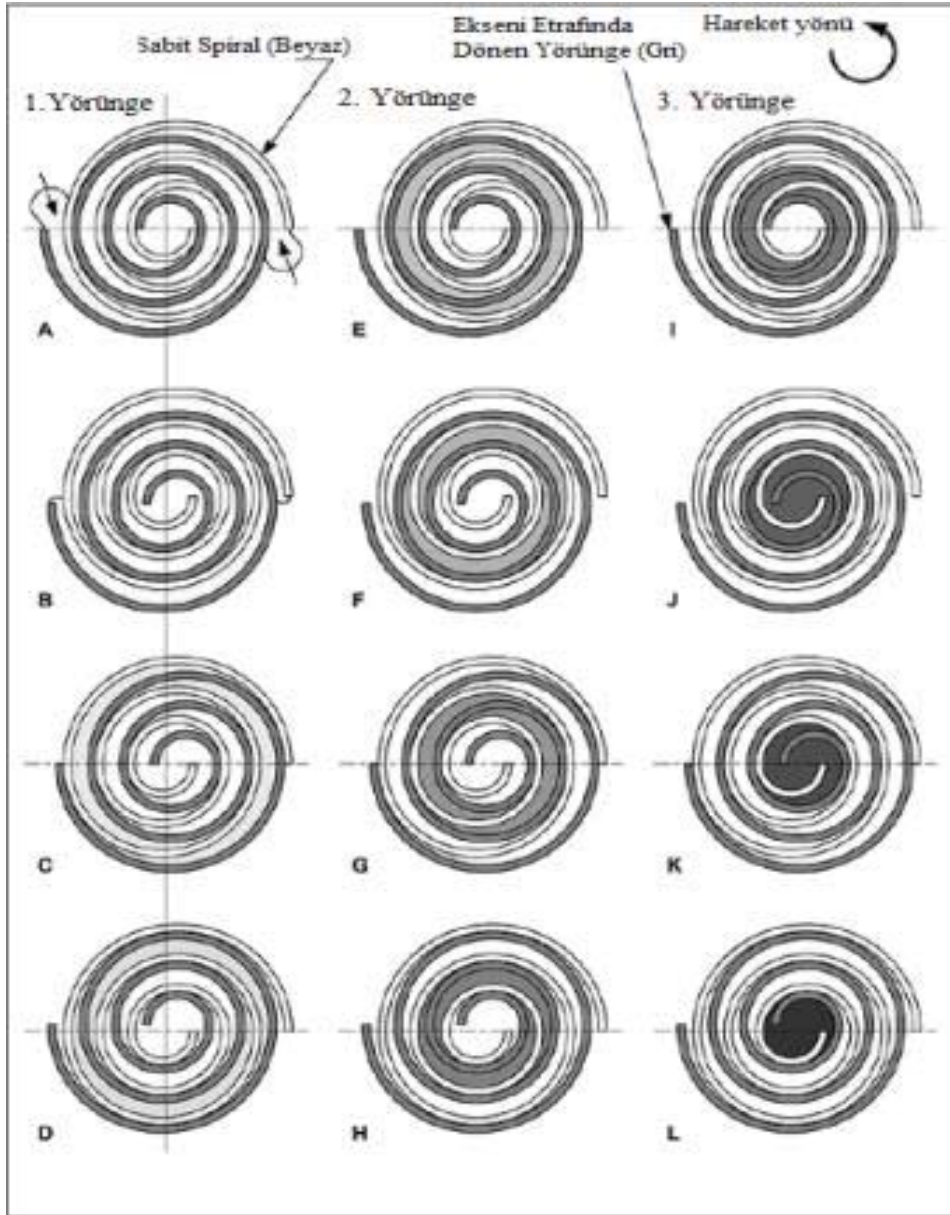
Sıvı halkalı kompresörün parçaları dairesel bir dış gövde, merkezden kaçık bağlanmış bir pervane ve içerisinde bulunan sıvıdan oluşmaktadır. Kompresör çalışma sırasında dönen pervanenin kanatları sıvıyı döndürerek merkez kaç kuvveti oluşmasını sağlamaktadır. Gövdenin iç cephesinde dairesel bir halka şeklinde yayılan sıvı ve merkezden kaçık dönen pervane arasında hilal şeklinde bir boşluk oluşturmaktadır. Sıvı ve pervane arasındaki boşluk bir tarafta büyük hacme sahipken diğer tarafa doğru ilerlediğinde hacim küçülmektedir. Hacmin büyük olduğu esnada emme portundan emilen gaz sıvı ve pervane kanatları arasında küçük hacme doğru dönerken sıkıştırılarak basınç ve sıcaklık artmaktadır. Basıncın maksimum olduğu noktada çıkış portundan sıkıştırılmış hava tahliye edilmektedir [15]. Şekil 2. 6'da sıvı halkalı kompresör görülmektedir.



Şekil 2. 6. Sıvı halkalı kompresör [15]

2. 2. 2. Sarmal (scroll) kompresörler

Scroll kompresör mekanizması çok eski yıllardan beri bilinmesine rağmen patenti 1950 yılında Fransa’da alınmıştır. Scroll kompresörler, spiral şeklinde iç içe geçmiş iki eleman ile sıkıştırma yapan, yörüngesel hareketli, pozitif yer değiştirme kompresörleridir [16]. Scroll tip kompresörlerde sıkıştırma işlemini yapan iki parça olmasından dolayı enerjinin çok azı bu parçalar için harcanır, büyük kısmı ise sıkıştırma için kullanılmaktadır. Bu durum enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Verimi etkileyen diğer bir önemli husus; pistonlu kompresörlerdeki pistonların ölü zamanlarında yani çalışmadıkları anlarda meydana gelen genleşme kayıpları ve buna ilave olarak emiş valflerinde meydana gelen genleşme kayıplarıdır. Scroll tip kompresörlerde piston ve valf bulunmadığı için bu kayıplardan söz edilemeyeceği gibi %100 hacimsel verime ulaşılabilmekte ve kullanılan enerji miktarı azalmaktadır [15]. Şekil 2. 7’de Scroll kompresörlerinin sıkıştırma döngüsünün tamamı, soğutucu gazı alçak basınç emiş durumundan (A konumunda) yüksek basınçlı tahliye durumuna (L konumunda) taşınması, yörünge hareketleri görülmektedir.

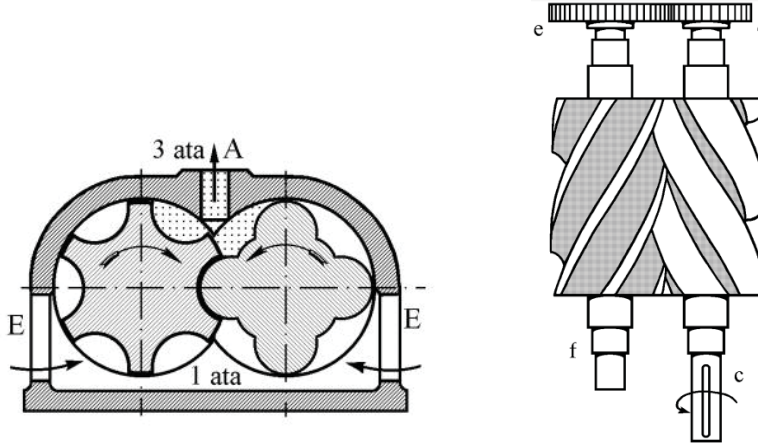


Şekil 2. 7. Scroll kompresörlerinin sıkıştırma döngüsü ve yörünge hareketleri [16]

2. 2. 3. Vidalı kompresörler

Vidalı kompresörler döner pozitif deplasmanlı, dört ya da altı yataklı iki rotardan oluşan basit tasarımlı kompresörlerdir. Kompresör dişleri Şekil 2. 8'de görüldüğü gibi döndürüldüğünde; emilen hava, dişler ile silindir iç yüzeyi arasında hapsedilerek basınç bölmesine götürülmekte ve burada basınçlı ortama doğru itilerek sıkıştırılmaktadır. Kompresörün iki mili bulunmakta ve üzerinde dişlilerin bulunduğu mili motor tahrik etmektedir. Tahrik milinin hareketi dişliler aracılığıyla yatakların bulunduğu diğer mile

iletilmektedir. Vidalar hareket ederken ne silindir iç yüzüne ne de kendi aralarında sürtünmemektedirler [17].

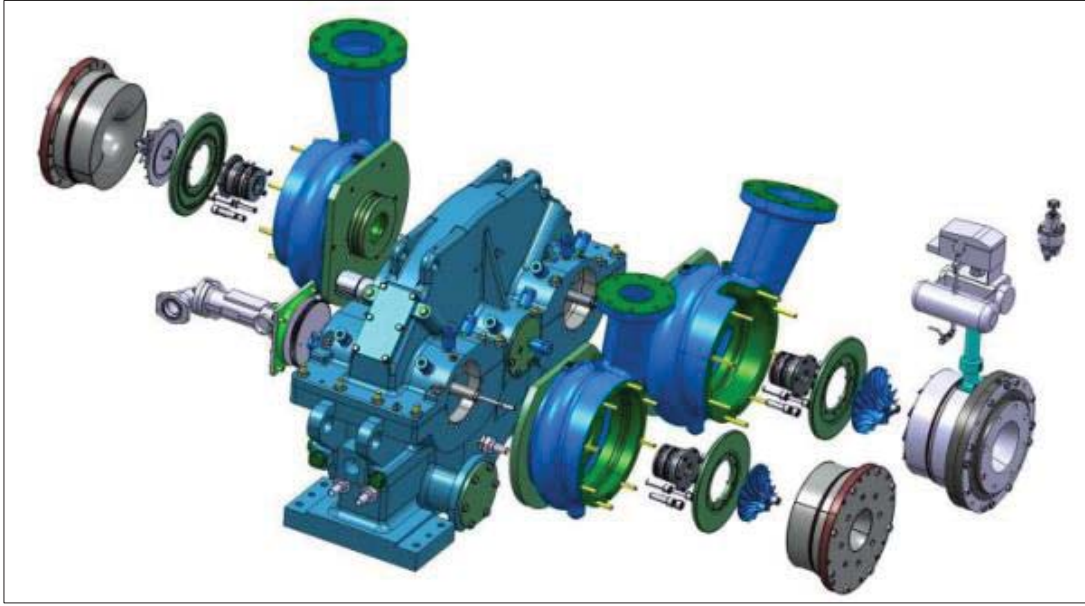


Şekil 2. 8. Çift rotorlu vidalı kompresörün çalışma kesit görüntüsü

Vidalı kompresörlerin yağlı ve yağsız vidalı olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Yağlı vidalı kompresörler endüstriyel alanlarda kullanıma daha uygundur. Sızdırmazlık için gerekli önlemlerin alınması maliyeti artırıyor olması yağsız vidalı kompresörlerin yağlı kompresörlere oranla daha pahalı olmasını beraberinde getirmektedir [18]. Buna rağmen temiz ve kaliteli hava ihtiyacı için yağsız vidalı hava kompresörlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kompresör içerisinde meydana gelen sızıntılar kompresör veriminin azalmasına neden olmaktadır. Bu verim düşüşü nedeniyle kompresör vidalarının belirli aralıklarla değiştirilmesi gerekmektedir. Yağsız vidalı kompresörler tercih edilirken vida değişim maliyeti dikkate alınmalıdır. Diğer tip kompresörlere göre ise daha az yatırım maliyeti, düzgün hava dağıtımı ve daha küçük alan ihtiyaçları gibi avantajları vardır [9].

2. 2. 4. Dişli kompresörler

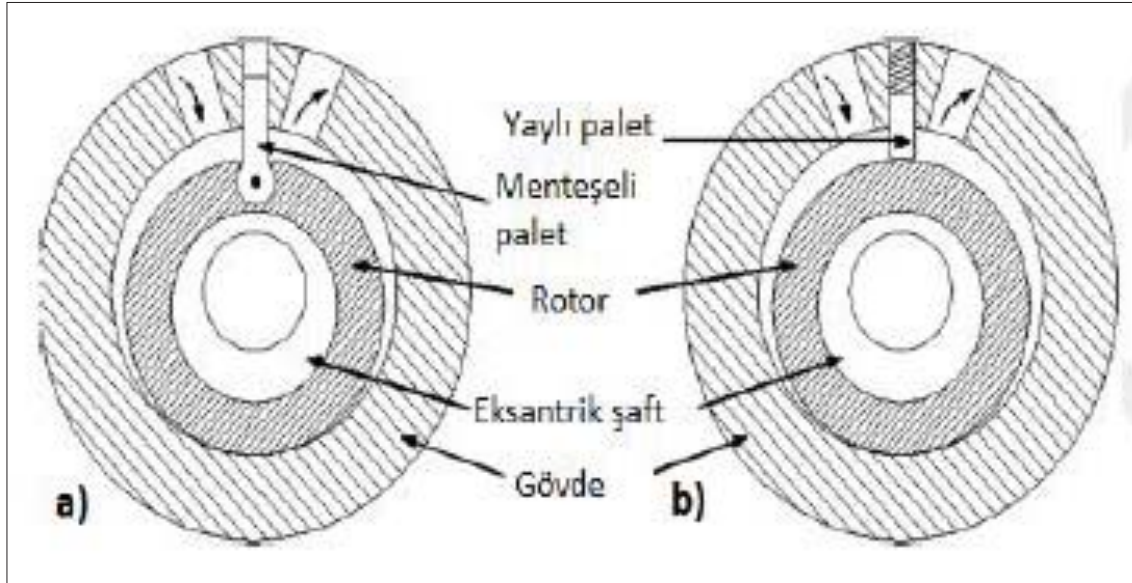
Başlangıçta hava tesis uygulamalarında kullanılan dişli kompresörler zaman içerisinde dünya çapında 1950'lerden sonra endüstride kullanımı yaygınlaşmıştır. Pinyon milleri kullanılarak harici bir şanzımana gerek olmadan yüksek dönme hızlarına ulaşılabilir bilinmektedir. Kullanımının güvenilirliği dışında, verimliliği ve çok yönlü yapılandırılabilirliği öne çıkan önemli avantajlarıdır. Dişliler birbiri ile temas etmediği için aşınma problemleri ile karşılaşmamaktadır. Şekil 2.9'da dişli kompresörün demontaj hali görülmektedir [19].



Şekil 2. 9. Dişli kompresörün ayrılmış görünümü [19]

2. 2. 5. Paletli kompresörler

Bir boşluk içinde dönen bir rotara monte edilmiş kanatlardan oluşan pozitif deplasmanlı bu kompresörün 1874 tarihinde patenti alınmıştır. Pervane tipi bu kompresörün radyal kayan kanatların yerleştirildiği uzunlamasına yarıklara sahip silindirik bir rotor, gövde, palet ve yay olmak üzere 4 elemandan oluşmaktadır. Rotor eksantrik olarak silindirik mahfaza içerisine yerleştirilmiştir. Döner kanatlı tip kompresörlerde düşük kütle, kolay yer değiştirme kompakt boyutla kombinasyon ve taşıma uygulamaları için ideal görülmektedirler [20]. Şekil 2. 10'da Paletli kompresörün parçaları görülmektedir.



Şekil 2. 10. a) menteşe paletli kompresör b) yaylı paletli kompresör [20]

Döngüsel paletli kompresörler merkezdeki milin dönmesi ile tahrik edilmektedirler. Mile merkezden kaçık şekilde bağlı olan rotor dönmekte ve rotor palet ile gövdeye bağlanmaktadır. Paletin görevi rotor ile gövde arasında oluşan hilal şeklindeki hacmi iki parçaya bölmektir. Dönüş yönünde paletten sonra ilk karşılaşılan port emme portudur ve rotorun tam turu tamamlaması süresince emiş gerçekleşmektedir. Bir tur bittikten sonra rotor önüne aldığı gazı süpürerek sıkıştırmaya başlamakta ve çıkış portu açılana kadar sıkıştırma işlemi devam etmektedir. Paletli kompresörler her turda basma ve emme işlemini aynı anda yaptığı için iş kaybı olmamaktadır ve diğer tip kompresörlere göre verimi yüksektir [21].

Paletli kompresörlerin avantaj ve dezavantajları;

Avantajları

- Her devirde iş yapar ve basma gerçekleşir, basit tasarıma sahiptir.
- Devir sayılarına doğru orantılı basma debileri artar
- Basma ve emme yetenekleri yüksektir.
- Tersine çalışabilir basınçlı hava verildiğinde dönme hareketi olarak çıkış alınabilir.

Dezavantajları

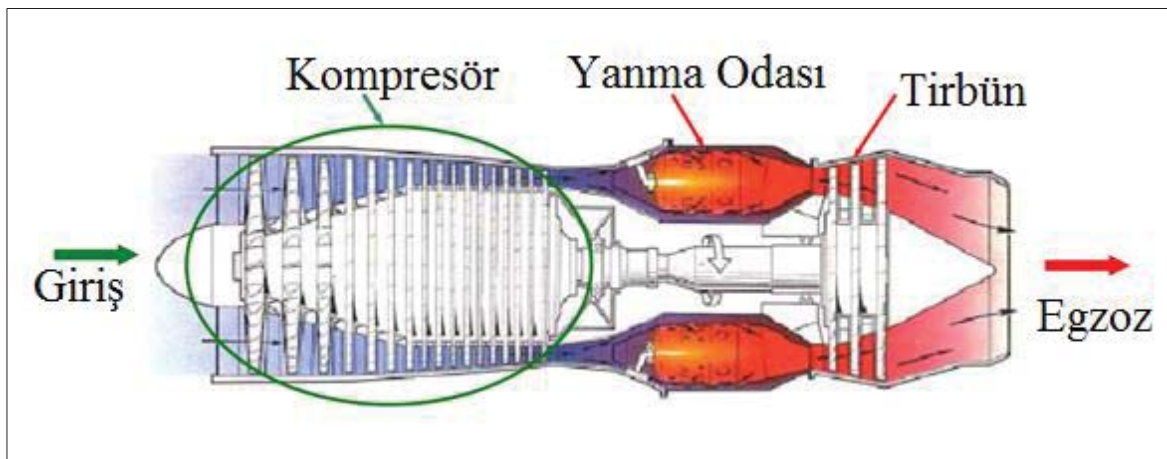
- Kirliliğe karşı hassastır, parçalar düşük toleransta üretilmediği takdirde verimi düşer
- İç kaçaklar hacimsel verimi azaltır [22].

2. 3. Dinamik Kompresörler

Dinamik kompresörler yüksek güç ihtiyacının olduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Genelde turbo kompresör olarak adlandırılırlar. Eksenel ve santrifüj olmak üzere iki ana gruba ayrılan dinamik kompresörler deplasmanlı kompresörlerin aksine sabit akış ile değil sabit basınç ile çalışmaktadırlar.

2. 3. 1. Eksenel Kompresörler

Eksenel turbo kompresörler, gaz akışkanını süreklilik dahilinde sıkıştırarak basınç kazandırılan kompresör tipleridir. Bu tür kompresörler gazı, dönme eksenine paralel ya da dönme ekseninde aktarmaktadır. Diğer dinamik kompresörlerden farkı kompresör boyunca akışkan üzerinde bulunan açısal vektörlerdir. Eksenel akışlı kompresör, çalışma akışında ilk önce havayı sıkıştırarak akışkanın hızlandırılması ve daha sonra bir basınç artışı elde edilerek yayılması sağlanmaktadır. Eksenel akış kompresöründe hava bir kademeden bir kademeye geçerken yavaş yavaş basıncı ve sıcaklığı artırmaktadır. Bu tip kompresörlerde en çok enerji kayıpları rotorda ve stotorda oluşmaktadır. Şekil 2.11’de eksenel tip kompresör görülmektedir [23].

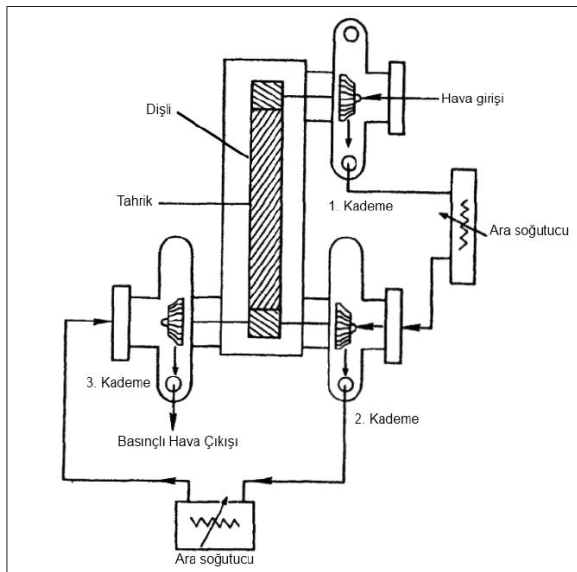


Şekil 2. 11. Eksenel tip kompresör [23]

Genellikle bir eksenel kompresör, her birinin takip ettiği değişken sayıda kademe ile oluşturulur. Tek bir aşamada bir rotor ve bir stator bıçağı bulunmaktadır. Bıçak kavisli bir şekle sahiptir, emme tarafına dışbükey, basınç tarafı içbükey olarak adlandırılan bıçağın simetrik çizgisi kamber çizgisidir ve art arda sıralı yerleştirilmektedir. Kamber çizgisinin dönüş açısına kamber açısı, θ ve akor çizgisi ve eksenel yön kademesi olarak değişik şekillerde ifade edilmektedir [24].

2. 3. 2. Santrifüj kompresörler

Santrifüj kompresörlerde hava, radyal kanatlı dönen bir türbinin içine çekilmektedir ve santrifüj kuvvetiyle türbinin çevresine doğru itilmektedir. Havanın radyal hareketi sonucunda aynı anda basınç artmakta ve kinetik enerji üretilmektedir. Hava, bir sonraki kompresör kademesinin türbininin merkezine yönlendirilmeden önce bir difüzörden ve kinetik enerjinin basınca dönüştürüldüğü bir sarmaldan geçmektedir. Her kademe kompresör ünitesinin toplam basınç artışına katkıda bulunmaktadır. Türbinin mil devri diğer kompresör türlerine göre çok yüksektir. Basınç farklarının yarattığı eksenel yükleri dengelemek için aynı milin her iki ucuna iki türbin monte edilmektedir. Standart basınçlı hava uygulamalarında tipik olarak ara soğutuculu 2 veya 3 kademe kullanılmaktadır [25].



Şekil 2.12. Ara soğutuculu üç kademeli santrifüj kompresör [9]

3. TOZ METALÜRJİSİ

Toz metalürjisi, sıkıştırma etkisiyle çok küçük partiküllerin aralarında bağ kurarak parça boyutuna geçmesi işlemidir. Günümüzde düşük maliyet ve kaliteli ürün üretimi tüm sektörlerin birinci gayesi haline gelmiştir. Toz metalürjisi yöntemi de metal üretim yöntemlerinde düşük maliyet ve kaliteli malzeme elde edilebilen bir teknik haline gelmiştir. Döküm yöntemleri, plastik deformasyon şekillendirmesi ve talaşlı imalat yöntemlerinde üretimi zor ve ya imkânsız olan parçaların üretimi toz metalürjisi ile oldukça kolay ve ekonomik şekilde üretilebilmektedir [26].

Toz metalürjisi, ergitme işlemi yapmaksızın sıcaklık ve basınç kullanarak metal alaşımları ve metallerin tozlarından sağlam parçalar üretme tekniğidir. Bu tekniğin temel adımları tozu sıkıştırmak ya da şekil vermek ve ısı birleşme aşaması olan sinterleme işlemidir [27].

3.1. Tozların Üretilmesi

Toz metalürjisi tekniği ile oluşturulan parçaların karakteristikleri, kullanılan tozların şekil, boyut ve yüzey alanı gibi etkenlerine bağlı olarak meydana gelmektedir. Tozların yüzey şekilleri (küresel, eliptik, levha) işlem sırasında malzemenin akışını etkilemektedir. Bu da malzemenin istenilen özelliklere getirilebilmek için ne kadar basınç ve sıcaklık verilmesi gerektiğini değiştirmektedir. Küresel tozlar levha gibi düz yüzey yapıdaki tozlara göre presleme esnasında daha akışkan ve basıncı daha etkili iletebilmektedirler [28].

Metalin yapısına göre farklılık gösteren toz üretim yöntemleri vardır. Bunlar dört ana başlıkta incelenmektedir.

Atomizasyon tekniği

- Su atomizasyonu
- Santrifüj atomizasyonu
- Gaz atomizasyonu

Mekanik yöntemler

- Mekanik alaşımlama
- Değirmende öğütme
- Darbe yöntemleri
- Talaş kaldırma

Kimyasal yöntemler

- Gaz fazı ile ayrıştırma
- Gaz fazdan çökeltme
- Sıvı fazdan çökeltme

Elektroliz yöntem ile üretim

Tozların üretimi bu yöntemlerin sadece birini kullanarak yapıldığı gibi art arda yapılan birkaç yöntem ile de yapılabilmektedir. Örneğin talaş kaldırma işlemiyle büyük parçacıklar oluşturulan bu parçalar keskin köşeli ve düzensiz yapıdadır. Talaş kaldırma ile üretilen parçalar öğütme yöntemindeki değirmenlere alınarak değirmendeki bilyalar arasında daha küçük ve keskin köşeleri giderilmiş yapılara dönmektedir. Daha sonra darbe yöntemi ile parçacıklar bir zemine hızla çarptırılarak daha da küçük toz parçaları elde edilmektedir [27].

3.2. Toz Karıştırma ve Harmanlama

Tozların heterojen yapılarını homojen hale getirme işlemine harmanlama işlemi olarak adlandırılırken, farklı kimyasal bileşimlerdeki tozların birbirleri içerisinde homojen dağılması işlemine ise karıştırma işlemi olarak adlandırılmaktadır. Harmanlama işleminde amaç nakliye ve depomla sırasında dibe çöken büyük parçacıkların homojen şekilde yayılmasını sağlamaktır.

Toz karıştırma aşaması harmanlama sürecine benzer olarak fiziksel boyutta homojen yapı sağlamak olsa da asıl amaç malzemenin her noktasında aynı kimyasal yapıda olan malzemenin eşit olarak dağılmasıdır. Resim 3.1’de Üç eksenli kuru karıştırıcı görülmektedir.

Toz metalürjisi yönteminde genelde birden farklı yapıdaki metal tozu birleştirilmektedir. Karışımın düzgün bir şekilde yapıldığının ve bazı noktalarda topaklanma olmadığını anlamak için farklı yöntemler ile test yapılmaktadır. Farklı noktalara uygulanan elektriksel iletkenlik, ısı kapasitesi ve yoğunluk gibi testler ile karışımın ne kadar homojen olduğu incelenmektedir [29].



Resim 3.1 Üç eksenli kuru karıştırıcı [27].

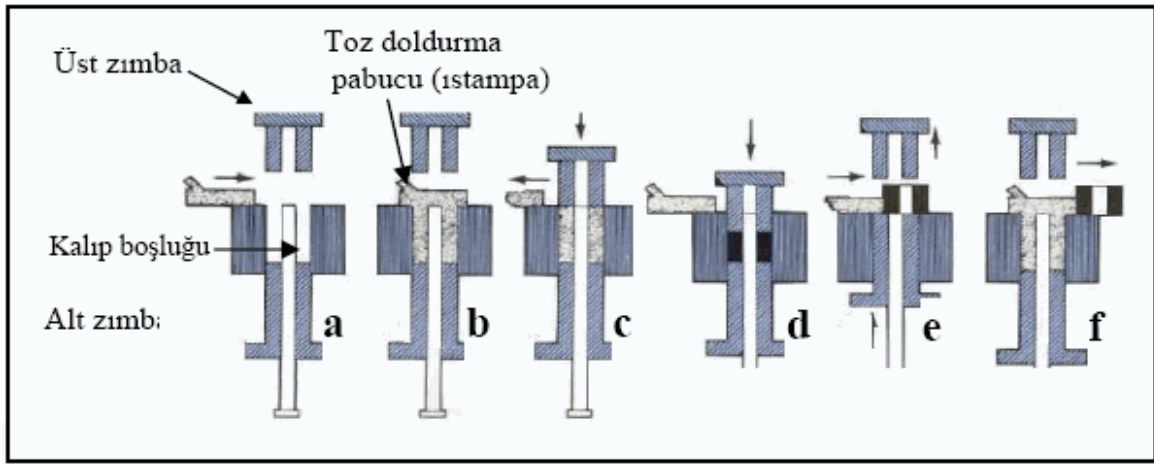
3. 3. Tozların Sıkıştırılması

Sıkıştırma işlemi, hazırlanmış metal toz parçacıklarının tasarlanan şekle getirilmesi için basınç altında yoğun bir yapıya dönmesi sürecidir. Bu süreçteki asıl amaç mukavemetli ve ham yoğunlukta malzeme elde etmektir. Sıkıştırma işleminde genelde mekanik, hidrolik ya da pnömomatik presler kullanılmaktadır [27].

En çok tercih edilen sıkıştırma tekniği tek eksenli çift veya tek yönden etkili preslemedir. Bunun yanı sıra enjeksiyon kalıplama, haddeleme, izostatik presleme, dövme gibi farklı toz presleme teknikleri de uygulanmaktadır. Sıkıştırma işleminde amaç bir sonraki süreç olan sinterleme öncesi malzemenin şekil bakımından istenilen forma getirilmesidir. Sıkıştırma, malzemeye sinterleme sürecine girmeden önce kesme şekillendirme gibi işlemlere dayanmasını da sağlamaktır [30].

İki yönlü preste her iki tarafta da zımba bulunmaktadır. İki yönlü preslemenin çalışma yöntemi Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Birinci aşamada (a) kalıp zimbalar arasına

konulmaktadır. İkinci aşamada (b) hazırlanmış tozlar doldurma pabucu ile kalıba doğru itilmektedir. Üçüncü aşamada (c) kalıba doldurulan parçacıklar titreştirilerek yoğunluk sağlanmakta ve ıstampa ile fazla parçacıklar başka bir toz haznesine itilmektedir. Daha sonra üst zımba kalıp boşluğuna konulmaktadır. Dördüncü aşamada (d) bu aşamada presleme yapılmaktadır. Basıncın etkisiyle parçacıklar yoğunluk ve mukavemet kazanmakta ve ilk şekillendirme işlemini görmüş olmaktadır. Beşinci sırada (e) alt zımba ile sıkıştırılan parça yukarı doğru itilmektedir. Son aşamada (f) ıstampa kalıba yeni toz parçacıkları doldururken aynı zamanda üretilen parça dışarı doğru itilmektedir [28].



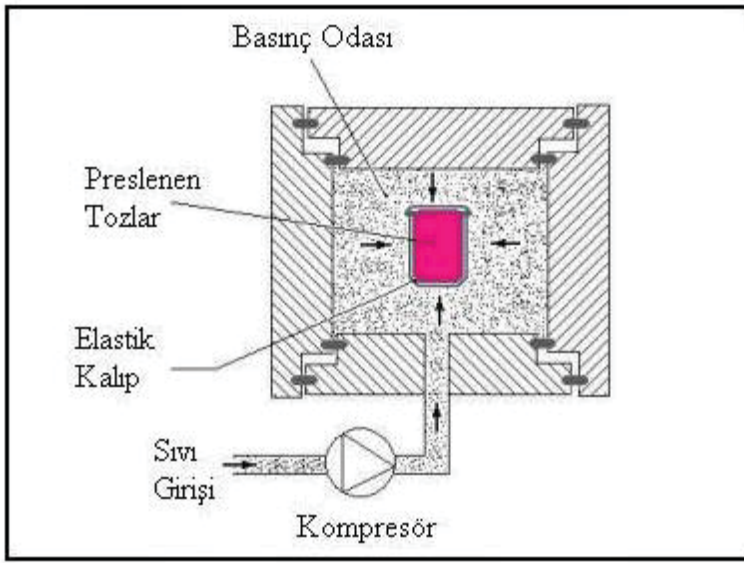
Şekil 3.1. Toz parçacıklarının presleme aşamaları [28]

Toz metalurjisinde kullanılan bir diğer presleme yöntemi de izostatik preslemedir. Şekil 3. 2’de Soğuk izostatik presleme yöntemi görülmektedir. Bu yöntem tek eksenli preslemenin üretime imkan sağlamadığı kompleks yapılar içindir. Soğuk izostatik ve sıcak izostatik presleme olmak üzere iki farklı şekli bulunmaktadır.

Soğuk izostatik preslemede esnek yapılarıdaki kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp içerisine metal tozları alınırken su veya yağ gibi her noktada aynı basıncı iletebilen akışkanlar kullanılmaktadır. Bu yöntemde sistem 1400 MPa basınca çıkabilse de genelde kullanılan uygulamalarda 350 MPa’ın altındaki değerlerde basınç tatbik edilmektedir. Sıcak izostatik preslemede ise soğuk preslen farklı olarak basınç gaz yardımı ile iletilmektedir. Bu uygulamanın avantajı yüksek sıcaklık ile verilen gaz sayesinde toz parçacıklarının aralarında oluşan boşlukların daha az oluşması sağlanmaktadır.

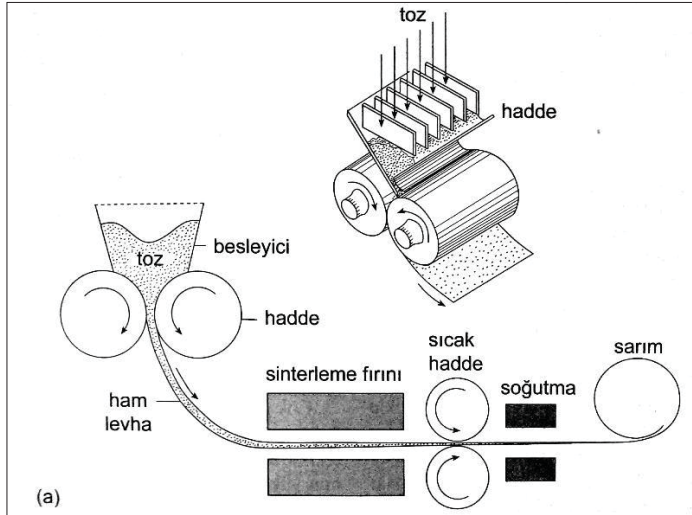
İzostatik preslemenin avantajları;

- Daha yüksek ham yoğunluk,
- Yüksek mukavemet,
- Düşük iç gerilim,
- Bağlayıcı ve yağlayıcı gerektirmeden üretim,
- Kalıplardaki plastik ve kauçuk kullanıldığından düşük kalıp maliyeti,
- Proses sonrası daha az işleme gereksinimi,
- Yüzeyinin daha hassas olmasıdır [30].



Şekil 3. 2. Soğuk izostatik preslemenin kesit görünümü [28]

Toz Haddeme yöntemi bir diğer presleme tekniğidir. Kökeni 1840'lı yıllara dayanmaktadır. Toz bir hazneden ilk haddeme için silindirler arasında sıkıştırılmaktadır. Buradan çıkan ham levha sinterleme fırınından geçirilerek ikinci sıcak haddeme işlemine tabi tutularak son ölçüsüne yakın bir değer kazanmaktadır. Malzeme soğutma işlemi ve sonrasında rulo şeklinde sarılarak kullanılmaktadır. Şekil 3.3'te haddeme tekniği görülmektedir [22].



Şekil 3. 3. Haddeleme işlemi

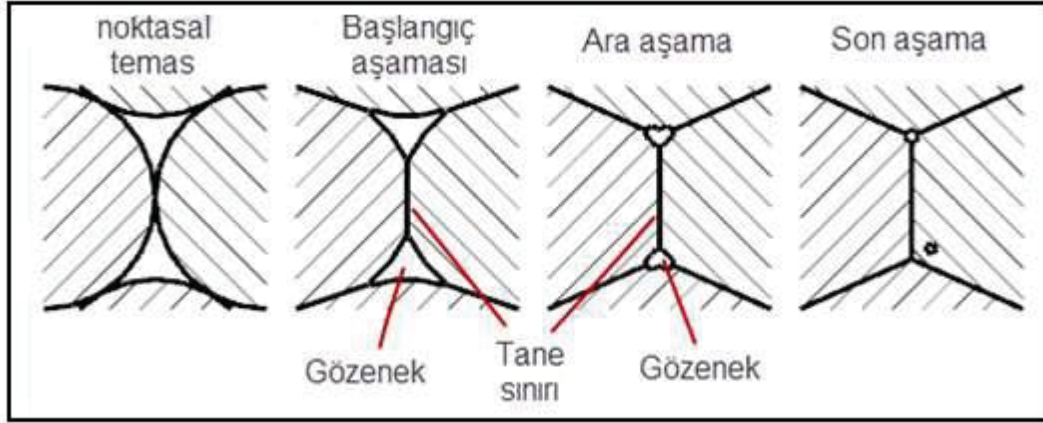
3. 4. Sinterleme yöntemi

Presleme sonrasında malzemenin iç yapısı toz parçacıkları mekanik ve elektriksel bağlar ile bağlı olmasına rağmen herhangi bir kimyasal bağ kurmamıştır ve henüz yapısı dayanıklı değildir. Sinterleme işlemi ile malzemeye ısı uygulanarak ergime sıcaklığı altına getirilmektedir. Bu işlem malzeme içerisindeki partiküllerin kimyasal bağ kurarak birleşmesini ve tek bir yapı haline gelmesini sağlamaktadır. Malzeme içerisindeki toz metaller eğer farklı metaller içeriyor ise ergime sıcaklığı en düşük olan metalin ergime sıcaklığının %60-%90'ı kadar sıcaklık verilmektedir [31].

Sinterleme sürecini etkileyen bazı faktörler bulunmaktadır. Bunlar toz boyutları, ham yoğunluk, kullanılan sıcaklık miktarı ve süresi, alaşım elementleri, sinterleme atmosferi ve malzeme yüzeyindeki oksitlenme miktarıdır. Özellikle oksitlenme yüzeyde fazla miktarda gerçekleşmiş ise parçacıkların birbiri arasında bağ kurması engellenmekte ve istenilen özellikte malzeme üretilmemektedir [29].

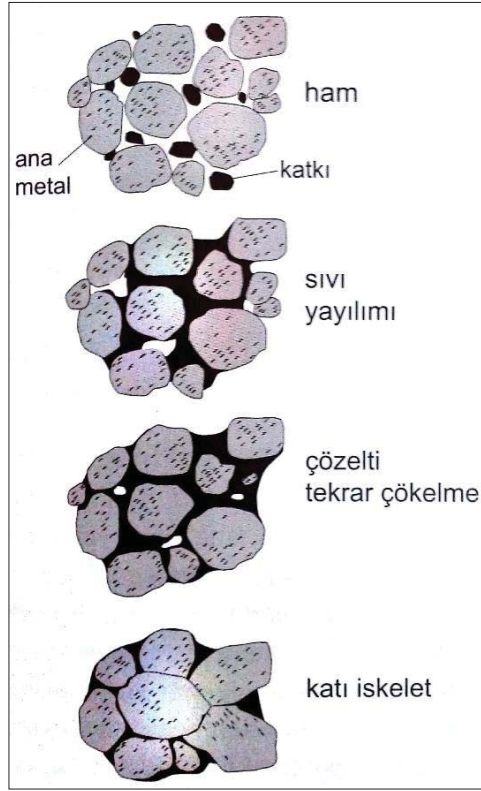
Sinterleme işlemi katı faz ve sıvı faz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Katı faz sinterleme işlemi genelde tek tip toz kullanılan malzemelerde gerçekleştirilmektedir. Katı faz sinterlemede malzeme hep katı fazdadır. Isı arttıkça toz parçacıkları arasındaki noktasal temas yüzeysel temasa döner ve bu temas yüzeyi boyun olarak adlandırılmaktadır. Parçalar arasındaki boşluklar küçülmekte ve gazlar malzemedan ayrılmaktadır. Küresel yapıdaki

parçaların şekilleri bozularak komşu olduğu parçacıkla maksimum temas sağlayacak şekilde değişmektedir [28]. Şekil 3.4'te Katı faz sinterleme işleminin aşamaları görülmektedir.



Şekil 3. 4. Katı faz sinterleme aşamalarının şematik gösterimi [28]

Sıvı faz sinterleme işlemi katı fazdan farklı olarak ergime sıcaklığının düşük olduğu metallerin sıvı faza geçerek katı parçalar arasında yayılarak bir yapı oluşturmasıdır. Bu işlem sırasında sıvı içerisinde küçük taneler çözülürken daha sonra çökelme işlemi gerçekleştirilerek çözülen küçük taneler büyük tanelerin yüzeylerine yapışmaktadır. Sıvı ve büyük taneler homojen bir şekilde yayılarak homojen yapıya geldiğinde tekrar katı hale geçirilmektedir. Son aşama olan bu süreç katı iskelet aşaması olarak adlandırılmaktadır [22]. Şekil 3. 5'te Sıvı faz sinterleme işleminin aşamaları görülmektedir.



Şekil 3. 5. Sıvı faz sinterleme aşamaları [22]

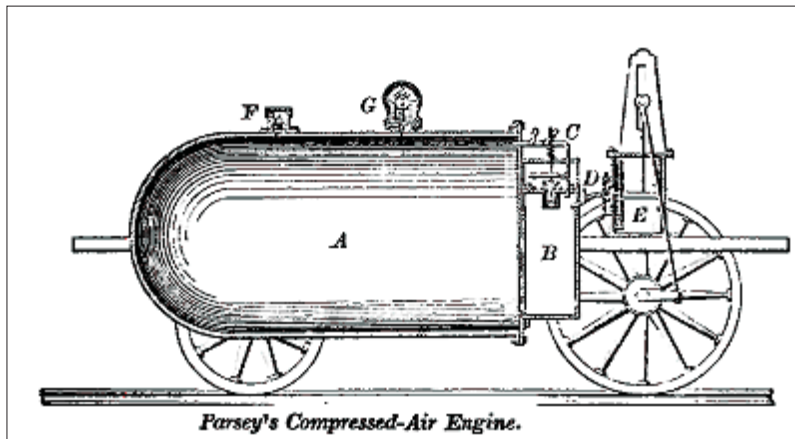
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışma konusu gereği araştırma literatürü iki ana başlık altında verilmiştir. Kompresörler ve alüminyum kaplama yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalardan bu kısımda bahsedilmiştir.

4. 1. Kompresörler Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Basınçlı havanın sistematik olarak güç uygulamalarında kullanılmaya başlaması 19. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. Ancak basınçlı havanın tahrik mekanizmalarında kullanımı fikri ilk olarak 1687 yılında Dennis Papin tarafından ortaya atılmış olup ilk olarak basınçlı havayı pnömatik lokomotiflerde uygulamıştır.

Arthur Parsey 1847 yılında tek silindirle çalışan basınçlı hava motorunun patentini almıştır (US patent No 5,205). Bu pnömatik motorun tek silindirli olması motorun ölü noktaları atlama problemleri meydana getirmiştir. Parsey'in pnömatik motoru basınçlı hava deposu (A), besleme odası (B), basınç düşürme valfi (C), basınçlı hava boruları (D), çift etkili silindir (E), hava supapları (F) ve emniyet valfinden (G) oluşmaktadır. Tasarlanan bu motor lokomotiflerde kömür ocaklarında kullanılmak üzere düşünülmüş bir icattır. Pnömatik motor Şekil 4. 1'de görülmektedir [32].



Şekil 4. 1. Parsey' in geliştirdiği pnömatik motor

Basınçlı hava sistemi ile çalışan ilk taşıt 1838-1840 yıllarında Andraud and Tessié du Motay tarafından Paris'te üretilmiştir. Hoadley ve Knight 1898 yılında ilk şehir içi taşımacılık için geliştirdikleri basınçlı hava ile çalışan lokomotifini tanıtmışlardır. İki pistonlu olarak geliştirilen bu lokomotif motorları silindir içerisine daha fazla ısıyı taşıyabilmiş ve daha uzun mesafe kat etmiştir. Bu tarihten günümüze kadar pnömatik motorlar ile ilgili pek çok çalışma yapılmasına rağmen sıkıştırılmış havanın enerji taşıyabilme kapasitesinin düşük olması sebebiyle yakın geçmişe kadar otomobil üreticileri tarafından gereken ilgiyi görememiştir [33].

Charles B. Hodges basınçlı havanın taşıtlarda kullanımının gerçek mucidi olarak bilinmektedir. Charles B. Hodges basınçlı havayı taşıtlarda uygulamakla birlikte büyük ticari başarılar elde etmiştir. H. K. Porter of Pittsburg şirketi Amerika'nın doğu bölgelerindeki madenlerde güvenli taşıma için bu taşıtlardan satın almıştır. 1912 yılında Amerikan orjinli teknoloji Avrupalı araştırmacılar tarafından daha da geliştirilerek 3 pistonlu motorlar yapılmıştır [32].

Ma ve arkadaşlarının 2016'da yaptığı çalışmada uzay çalışmalarında kullanılmak üzere ısı pompaları ve soğutmada kullanılmak üzere mikro kompresör tasarımları ile değişik konumlarda çalışabilen kompresör tasarımlarının performans testlerini yapmışlardır [34].

Kompresörlerde palet basınçlı ve basınçsız bölgeyi birbirinden ayırmakta olup, bir yay ile sürülmektedir. Yay tahrikli klasik paletli kompresörlerde özellikle yüksek devirlerde ve yüksek basınçlarda yay paleti tam olarak itemediği için performans kayıpları oluşmaktadır. Paletin tasarımı ve sürtünme kaynaklı aşınmasını engellemek amaçlı birçok çalışma yapılmıştır [35].

B. Yang ve arkadaşları 2009 yılında yaptığı çalışmalarda kompresörün performansını, palet ile gövde arasındaki boşluklarda oluşan kaçakların etkilediğini ve buna çözüm olarak paletlerin arkasına yaylar yerleştirerek gövdeye devamlı temas etmesini sağlamışlardır. Yapılan testler sonucunda bu yöntemin hacimsel verimliliği %17'den %30'a, İzentropik verimin %9'dan %23'e yükseldiğini belirtmektedirler [36].

Xiaohan Jia ve arkadaşları 2011 yılında kompresörün performansını artırmak amaçlı palet ile gövde arasında oluşan kaçakların önlenmesi için palet yuvalarına basınçlı gaz

koymuşlardır. Bu sayede paletler piston gibi hep ileri itilmekte ve gövde ile arasında oluşan kaçaklar azaltılabilmektedir. Bu sayede hacimsel verimin %17'den %35'e çıktığı belirtilmektedir [37].

Tan ve Ooi 2011 yılında yaptıkları çalışmada paletli kompresörde basınç kaçaklarının dezavantajı ortadan kaldırmak amaçlı paletin gövde üzerinde veya rotor üzerinde menteşe şeklinde bağlanarak sabit kalması ve gövde iç yüzeyinde sürtünerek çalışan klasik tipteki kompresörlere göre paletin gövde arasındaki kaçakların ortadan kalkmasını sağlamıştır. Bu yöntem ile mekanik ve hacimsel verim artmıştır [38].

Seymen 2012' de yaptığı çalışmada klasik yaylı palet yerine hilal tipte menteşeli palet tasarımı yapıp ürettiği çalışmasında palet kaynaklı kaçakların azaltıldığını deneysel olarak incelemiştir [39].

Okur ve Arabacı 2015'te yaptıkları çalışmada palet kalınlığının kompresör performansına etkisini incelemişlerdir. Kalın, standart ve ince palet kullanılan deneyler sonucunda ince paletin diğer paletlere göre kompresörden elde edilen gücün %75 daha yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır [40].

Shawn Le ve Hisham Hegab 2017'de yaptıkları çalışmada mikro kompresörün tek kademe yerine çift kademe ve her iki kademeyi zıt yönlerde bakacak şekilde tasarlamışlardır. Bu sayede mikro kompresörün daha balanslı çalıştığı ve daha verimli olduğunu belirtmektedirler [41].

Okur ve diğerlerinin 2017 yılında yaptığı çalışmada döngüsel mikro kompresör tasarımı yapmışlardır. Bu çalışmada özgün palet tasarımı ile klasik paletlerin yüksek hızda itilememesi sorunu ortadan kaldırılmış, sürtünme ve basınç kaçakları azaltılmıştır. Aynı zamanda toz metalürjisi yöntemi ile üretilen modüler hücreler ile istenilen hacimde kompresör üretilebilmekte ve üretim maliyetleri azaltılmıştır [5].

Eray 2009 yılında yaptığı çalışmada turbo döngüsel motorun palet mekanizmasını kompozit ve seramik malzemelerden üreterek çalışma performansını artırmaya çalışmıştır. Denediği malzemelerin tribolojik deneylerini yapmış ve aralarında karşılaştırma yaparak en uygun malzemeyi araştırmıştır [42].

4.2. Alüminyum kaplama yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalar

Gökşahin 2007 yılında alüminyum AA6061 ve AA6082 alaşımları üzerine yaptığı çalışmada sert eloksal kaplamanın yüzey aşınma direncine katkısını araştırmıştır. Elokshal kaplama sürecini farklı tutarak 3 farklı grup oluşturarak yüzeylerdeki aşınma dirençlerini karşılaştırmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda kaplamanın sertliğini ve alüminyuma sağladığı aşınmaya karşı kabiliyeti kaplama sürecindeki süre sıcaklık gibi etmenlerle değiştiğini tespit etmiştir [43].

Atasoy 2009 yılında yaptığı çalışmada alüminyum alaşım yüzeylere sert eloksal ve akımsız nikel kaplama uygulayarak aşınma direncine olan katkılarını incelemiştir. Yapılan testler sonucunda her iki yönteminde yüzey aşınma direncini artırdığı görülmekte fakat sert eloksal kaplamanın akımsız nikel kaplamaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir [44].

Yue ve Cao'nun 2015 tarihinde alüminyum alaşımlarının aşındırıcı ortamlarda korozyonlarını önlemeye yönelik uygulanan kaplamalar konulu çalışmalarında, alüminyum alaşımlar kromat ve seramik malzemeler ile kaplanmış ve kaplanan parçalar ile kaplanmamış parçalar asitli çözeltiler içerisinde korozyona tabi tutularak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda sürdürülebilir kaplama yöntemi olan seramik kaplamanın korozyon direnci üzerinde olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [45].

Yavuz 2018'de yaptığı çalışmada silah gövdelerinde kullanılan AA7075 alaşımına eloksal kaplama yaparak yüzeyin aşınma dayanımına ve korozyon direncine etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bu malzemeye için 22V gerilim, 1,3A/dm² akım yoğunluğu, 2°C sıcaklık ve 140 dk işlem süresinin en ideal kaplama miktarını oluşturduğu sonucuna varılmaktadır [46].

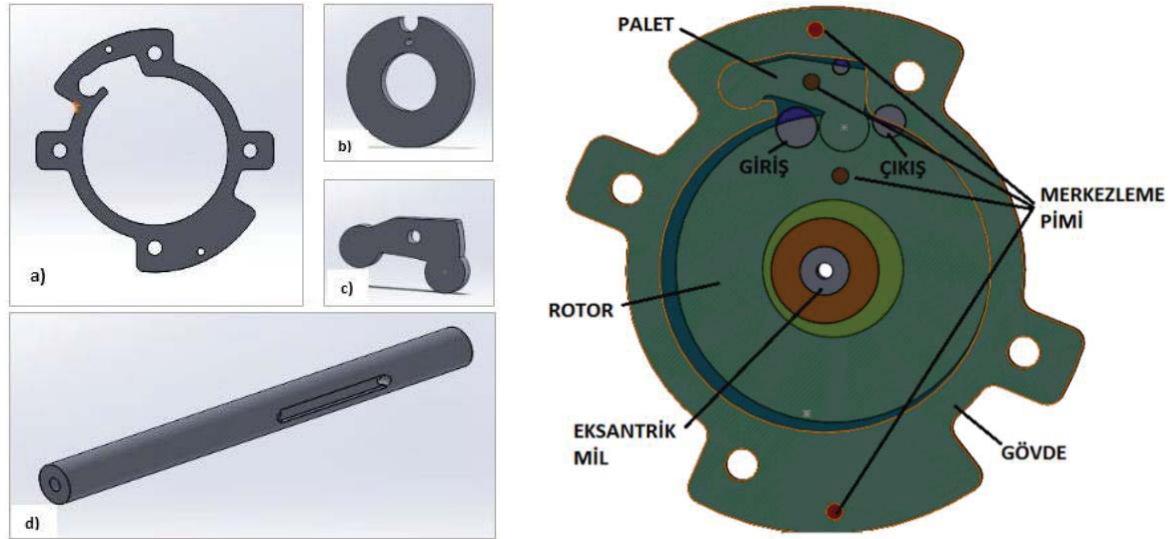
Remesova ve arkadaşları 2020'de yaptıkları çalışmada AA1050 alaşımı üzerinde farklı eloksal koşullarını sistematik olarak incelemişlerdir. Elokshal kaplamayı farklı sıcaklıklarda, farklı akım yoğunluklarında uygulamış ve yüzey morfolojisi (sertlik, kalınlık) üzerindeki

etkilerini test etmişlerdir. Akım yoğunluğunun sertlik ve aşınma direncine üzerinde olumlu etki ettiği görülmüştür [47].

Zhang ve diğerlerinin (2020) NaCl çözeltisinde AA5052 alüminyum alaşımının korozyona karşı korunması için kendiliğinden sertleşen bir konjac glucomannan / CaCO_3 ile kaplanması üzerine yaptıkları çalışmada CaCO_3 içeren kompozit bir kaplama, kendi kendine sertleşen bir işlemle AA5052 alaşımı üzerine kaplama yapılmış ve yüzey morfolojisi bileşeni, çeşitli yüzey testlerine tabi tutulmuştur. Metalin oyuk korozyonu üzerindeki kaplamanın önleyici performansı, potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve atomik kuvvet mikroskopisi ile incelenmiştir. Koruyucu tabaka ile kaplanmış alüminyum alaşımlı numunenin direncinin çıplak metale kıyasla altı kat arttırdığı sonuçlarına ulaşılmış ve kaplamanın bariyer özelliği nedeniyle AA5052 yüzeyinde oluşan oyuk korozyonunu önlediği tespit edilmiştir [48].

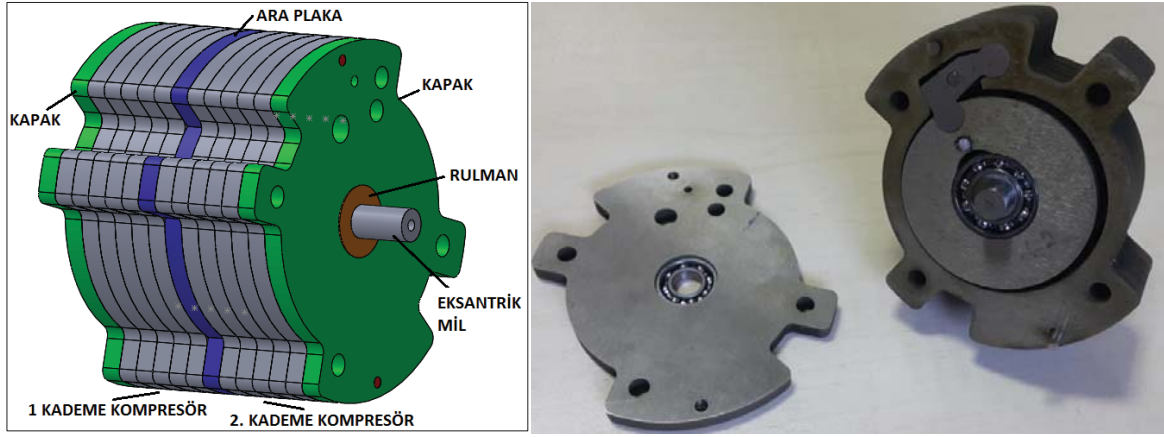
5. METARYAL METHOT

Bu çalışmada toplam 1,7 cc süpürme hacmine sahip, mikro kompresörün çelik hilal paletinin Al5083 malzemeden üretilmesi ile kompresör basınç performanslarının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Al5083 malzemelerin yüzeyleri iki farklı kaplama kalınlığında Sert Eloksal ile kaplanarak yüzey aşınma dirençleri artırılmıştır. Deneylerde kullanılan kompresör plakalar şeklinde üretilmiş olup, kompresörün bir setini oluşturan parçalar Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5. 1. Kompresörün bir setini oluşturan parçalar (a-gövde, b-rotor, c-palet, d-eksantrik mil) ve montaj hali [22]

Şekil 5.1’de görülen kompresör seti plaka ekleme yöntemi kullanarak kompresörün iki kademeli olacak şekilde kullanılması sağlanmıştır. 1. Kademe Kompresörüm emiş tarafını, 2. Kademe ise kompresörün basma kısmını oluşturmaktadır. Şekil 5.2’de Çift kademeli tam balanslı kompresör görülmektedir.



Şekil 5. 2. Çift kademeli tam balanslı kompresör [22]

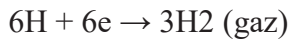
5. 1. Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen Hilal Paletin Eloksal ile Kaplanması

Birçok metal havayla temas ettiğinde yüzeyinde oksit tabakası oluşmaktadır. Bu etki paslanmaz çelikte minimal boyutta olduğu gibi demirin yüzeyinin paslanmasında olduğu gibi birkaç milimetrede oluşabilmektedir.

Eloksal (anodik oksidasyon veya anodizasyon) alüminyum metal yüzeyine elektrokimyasal tepkime ile oksitleme işlemidir. Eloksal kaplama sürecinde iki farklı reaksiyon gerçekleşmektedir. Bunlar anot ve katot reaksiyonlarıdır. Anot reaksiyonu; kaplanacak malzeme olan alüminyum anot görevi görmekte ve yüzeyine oksidasyon işlemi uygulanmaktadır [49].



Katot reaksiyonu; reaksiyon süresince katot yüzeyinde toplanan hidrojen gazı baloncuklar şeklinde çıkmaktadır.



Eloksal kaplama temel olarak üç amaç için yapılmaktadır;

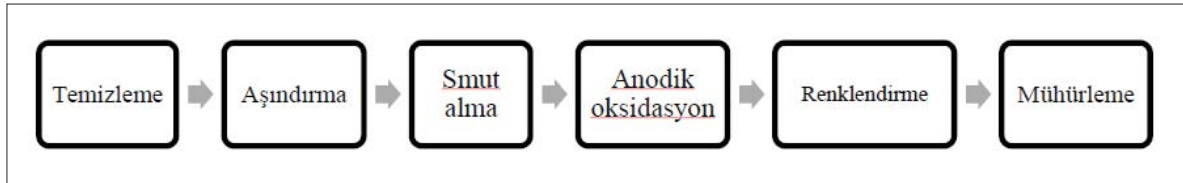
Koruma: Korozyon direnci ve aşınma direnci sağlamak amacı ile metal üzerine yapılan eloksallı kaplama atmosferik şartlarda, denizcilik ve havacılık sektöründe kullanılan

malzemelerde yüzey korozyonun oluşumunu engellemektedir. Ayrıca yumuşak olan alüminyum yüzeyi eloksal kaplama sonucu sertlik ve aşınma direnci kazanmaktadır.

Yalıtkanlık: Eloksal kaplama sonucu metal yüzeyinde oluşan oksit tabaka metalin iletkenliğini ortadan kaldırmaktadır. Özellikle dayanıklı ve yalıtkan malzeme ihtiyacında önemli rol oynamaktadır.

Dekoratiflik: Metal yüzeyler kaplama ile mat parlak ya da boya tutma özellikte üretilebilmekte ve bu sayede dekoratif amaçlı farklı alanlarda kullanılabilmektedirler [50].

Eloksal kaplama işlemi çok sayıda sürecin peş peşe yapılması ile oluşmaktadır. Bu süreçlerin hepsi kaplamanın kalitesini setlik derecesini ve kaplama kalınlığını etkilemektedir. Süreçler sırası ile temizleme işlemi, aşındırma banyosu, smut alma işlemi, anodik oksidasyon işlemi, gerek duyulursa renklendirme işlemi ve ardından mühürleme işlemi ile son bulmaktadır. Bütün aşamalar arasında metal yüzey su ile durulama işlemine tabi tutulmaktadır [51]. Şekil 5. 3'te Eloksal kaplama proses şeması görülmektedir.



Şekil 5. 3. Eloksal kaplama proses şeması

Özgün bir tasarıma sahip döngüsel paletli mikro kompresörün performansını artırmak için alüminyum AL5083 malzeme ile üretilmiş hilal paletler bu çalışmanın temel materyalini oluşturmaktadır. Teryaki (2009) çalışmasında toz metalürjisi yöntemiyle Al5083 malzeme kullanarak ürettiği kare plakalardan tel erezyon yöntemiyle keserek hilal paletleri elde etmiştir. Çizelge 5.1'de Al 5083'ün kimyasal kompozisyonu, Çizelge 5.2'de de Al 5083'ün mekanik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 5. 1. Al 5083'ün kimyasal kompozisyonu

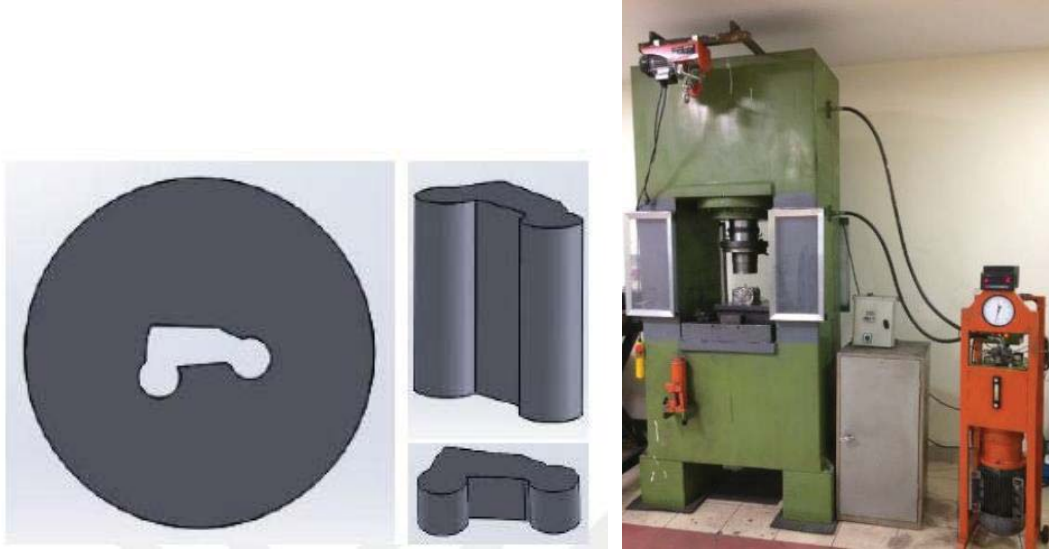
Element	Yüzde
Alüminyum (Al)	%92,4-95,6
Magnezyum (Mg)	%4-4,9
Mangan (Mn)	%0,4-1
Silisyum (Si)	%0-0,4
Demir (Fe)	%0-0,4
Krom (Cr)	%0,050-0,25
Çinko (Zn)	%0-0,25
Titanyum (Ti)	%0-0,15
Bakır (Cu)	%0-0,1
Diğer	%0-0,15

Çizelge 5. 2. 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

Malzemenin üretimi için 6 cm kenar uzunluğuna sahip kare kalıp kullanılmıştır. Hesaplanan toz miktarı hassas terazi ile tartılmıştır. Kalıba konan toz parçaları ön presleme için 10 ton yük kalıba uygulanmıştır. Daha sonra 450 °C sıcaklığa getirilen malzeme üzerine 120 tonluk yük uygulanmıştır. Malzeme soğuduktan sonra kalıptan çıkarılarak plaka üretimi tamamlanmıştır [19]. Şekil 5.4'te pres yöntemi ile üretilen plakalar ve telerezyon yöntemi ile kesilme aşamaları gösterilmiştir.

Tel erezyon yöntemi ile plakalardan kesilmiş hilal paletler eloksallama işlemine tabi tutularak yüzeyinin sertliğini ve aşınma direncini artırmak amaçlanmıştır.



Şekil 5. 4. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen plakaların pres ve tel erezyon aşamaları [22]

5. 1. 1. Temizleme – Yağ alma işlemi

Temizleme, metalin yüzeyinde ki üretim safhasında ya da depolama gibi dış etkenler ile oluşan yağ, kir ve pas gibi safsızlıkların giderilmesi işlemidir. Yağ alma banyosu da denilen bu süreçte AL5083 malzeme ile üretilmiş hilal paletler kaplanmak üzere ilk olarak, 60-65 °C sıcaklıkta 5-7 dakika bu suda bekletilmektedir. Çoğunlukla temizleme suyundaki yağ giderici eriyikler karbonat, fosfat ve bazen de bazik eriyiklerdir. Daha önce kullanılan su, içerisinde hidrokarbon içerebileceğinden tekrar kullanılmak için tercih edilmemektedir. Resim 5.1’de bu aşamada kullanılan Temizleme banyosu görülmektedir.



Resim 5. 1. Temizleme banyosu

5. 1. 2. Aşındırma işlemi

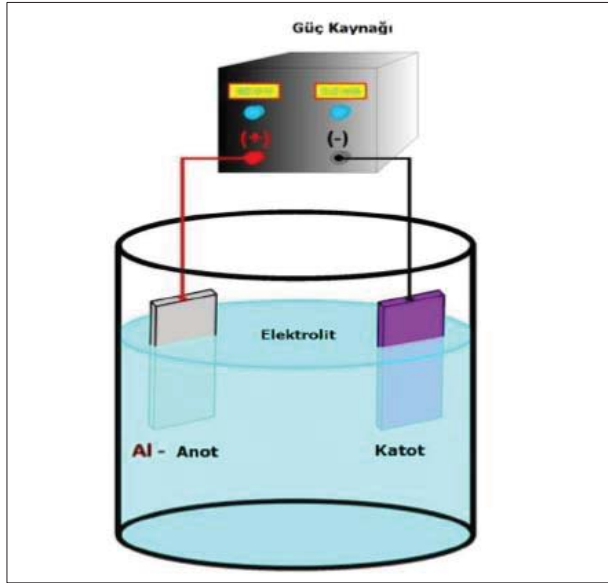
Aşındırma işlemi malzemenin nihai yüzey görünümünü etkilemektedir. Örneğin üretim sırasında oluşan yüzey çizikleri, çapaklar, matlık gibi yüzey kalitesini etkileyebilecek etmenler bu aşamada düzeltilmekte ve istenilen düzeye getirilmektedir. Aşındırma işlemi genelde içerisinde NaOH çözeltisi bulunan sıcaklığı ortalama 60 – 65 °C olan suda yapılmaktadır. Dağlama miktarı, çözelti içerisindeki sodyum hidroksit yoğunluğuna sıcaklığa ve tabi tutulan süreye bağlı olarak değişmektedir.

5. 1. 3. Sumut alma (Nötralizasyon)

Dağlama işleminin yapıldığı sodyum hidroksit çözeltisi içerisinde çözünmeyen ve alüminyum yüzeyinde kalan yüzey tortuları bu aşamada giderilmektedir. %30-50 konsantrasyondaki nitrik asit içeren nötralizasyon havuzunda yüzeydeki bakır, demir, mangan, silisyum gibi metal tortuları yüzeyden arındırılmaktadır. Bu aşama yapılmadan önce anodik oksidasyon aşamasına geçilirse bu metaller oksidasyon sıvısını kirletmekte ve alüminyum yüzeyinde kararma ve film tabakası gibi lekeler oluşturmaktadır. Bu aşamada nitrik asit çözeltisine düşük yoğunlukta oksitleyici asit eklenmesi ile alüminyum yüzeyinin korozyon direnci artırılmaktadır.

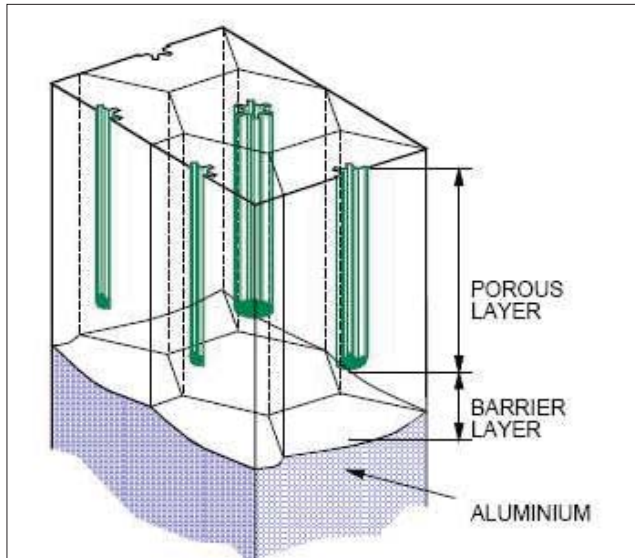
5. 1. 4. Anodik oksidasyon (eloksal kaplama) işlemi

Anodik oksidasyon asıl sürecin yapıldığı ve kaplamanın gerçekleştiği aşamadır. Bir elektroliz işlemi olan anodik oksidasyon işlemi sırasında kaplama yapılacak alüminyum AL5083 hilal paletler anoda bağlanmakta olup, negatif uç tarafına ise süreç içerisinde herhangi bir tepkimeye girmeyecek kurşun, platin, paslanmaz çelik, nikel gibi metaller bağlanmaktadır. Şekil 5. 5'te Eloksal kaplama işleminin şematiği görülmektedir



Şekil 5. 5. Eloksal kaplama şematik gösterimi [50]

Kaplama banyosu içerisinde alüminyum sülfat tuzu ve sülfirik asit çözeltisi bulunmaktadır. İşlem süresince çözelti içerisinde elektrik akımı iletilmekte ve anottan katoda doğru elektronlar geçmeye başlamaktadır. Çeşitli tepkimeler gerçekleşirken alüminyum yüzeyine ince bir oksit tabakası ve onun üzerine de kalın ve gözenekli oksit tabakası oluşmaktadır. Şekil 5. 6'da Eloksal kaplama hücrenin yapısı görülmektedir.



Şekil 5. 6. Eloksal kaplama hücre yapısı [50]

Kaplama sürecini etkileyen elektrolit türü, voltaj ve akım yoğunluğu gibi bazı parametreler bulunmaktadır. Elektrolit türü malzemenin istenilen yüzey özelliğine göre çeşitlilik göstermektedir. Kromik asidin kullanıldığı kaplamalar deniz ve havacılık sektöründe tercih edilmekte olup, korozyona dayanıklı malzemeler ortaya çıkmaktadır. Fosforik asitin elektrolit olarak kullanıldığı kaplamalarda ise por çapları geniştir. İnce gözeneksiz kaplama istendiğinde ise borik asit tercih edilmektedir. Voltaj alüminyum yüzey üzerine oluşan oksidasyondaki por çapını direk olarak etkileyen etmendir. Voltaj arttıkça oluşan hücre çapları büyürken porotize azalmaktadır. Akım yoğunluğu oksit tabakasının oluşum hızını etkilemektedir. Düşük akım yoğunluğu film tabakasının daha çok tepkimeye maruz bırakmakta olup, yüksek yoğunluk ise tabakanın oluşum hızını artırarak yüzey üzerinde düzensiz ve farklı kalınlıklardaki kaplamanın oluşmasına sebep olmaktadır. Resim 5. 2’de Eloksal kaplama havuzu görülmektedir.



Resim 5. 2. Eloksal kaplama havuzunun görünümü

5. 1. 5. Mühürleme

Kaplama sonrası yüzeyde oluşan porların açık kısımları zamanla kir toz gibi etkenler ile zarar görebilmektedir. Mühürleme işlemi malzemenin kullanım ömrünü artırmaktadır. Saf sıcak su veya nikel asetat gibi çözeltiler içerisinde daldırılarak yapılan mühürleme işlemi yüzeydeki alüminyum oksidin hidrata dönüşmesidir. Oksitin hidrat hali hacimce daha büyük olduğu için kaplama yüzeyindeki boşluklar kapanmaktadır.

Mühürleme işleminde gerçekleşen reaksiyon;



Mikro kompresörde kullanılmak üzere toz metalürjisi ile üretilmiş paletlerin eloksal kaplama işlemi yukarıda belirtilen aşamalar uygulanarak paletlerde herhangi bir zarar oluşmadan ilk parçanın kaplanması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi iki farklı zamanlama ile yapılarak tek kat kaplı ve iki kat kaplı olmak üzere iki farklı kaplama kalınlığı olan paletler elde edilmiştir. Resim 5. 3'te farklı sürelerde uygulanan anodizasyon işlem sonucu elde edilen paletler görülmektedir. Sağ taraftaki açık renkli palet tek kat kaplı paleti göstermekte olup, sol taraftaki koyu renkli palet iki kat kaplı paleti göstermektedir.



Resim 5. 3. Farklı anodizasyon süresine tabi tutulmuş AL5083 hilal paletler

Mikro kompresör deneylerinde iki farklı kaplama kalınlığı olan palet ve kapsız palet olmak üzere üç farklı palet kullanılmıştır. Resim 5.4'te kaplı ve kapsız paletler görülmektedir. Sol taraftaki açık renkli paletler kapsız paletleri göstermekte olup, sağ taraftaki koyu renkli paletler ise kaplamalı paletleri göstermektedir.



Resim 5. 4. Eloksal ile kaplanmamış ve kaplanmış AL5083 hilal paletler

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş alüminyum AL5083 hilal paletler 15 aşamalı bir proseste kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Aşamaların her birinin süresi kaplamanın kalınlığını ve yüzeyin niteliğini etkilemektedir. Çizelge 5.3'te bu süreçler detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5. 3. Proses rota şeması

Proses	MILA-8625 Tip3 Sınıfı'na göre Sert Anodize (Naturel)-Sıcak Su Tespitli				
Sıra No	İşlem	Banyo No	Sıcaklık(°C)	Zaman(dk)	Akım(A/dm ²)
1	Kumlama	----	----	----	----
2	Alkali Temizleme	440	60	10	
3	Durulama	442	----	2	----
4	Dağlama	444	45	2	----
5	Durulama	446	----	2	----
6	Durulama	448	----	2	----
7	Nötralizasyon	450	----	2	----
8	Durulama	452	----	2	----
9	Deiyonize Su ile Durulama	454	----	2	----
10	Anodize Rampası	462	8	8	3,15
11	Anodize Çalışma	462	8	30	3,15
12	Durulama	464	----	2	----
13	Deiyonize Su ile Durulama	466	----	3	----
14	Sıcak Tespit	484	98	30	----
15	Kurutma	516/Kuru Hava	50	7	----

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Mikro kompresörün performansının artırılması için yapılan işlemleri test edebilmek ve hali hazırda kullanılan çelik malzemeli hilal paletin referans aldığımız değerlerini öğrenebilmek için üç farklı yöntemde test yapılmıştır. Öncelikle kullanılacak olan eloksal kaplama uygulanmış ve uygulanmamış alüminyum AL5083 hilal paletlerin sertlik değerleri ölçülmüştür. İkinci test olarak paletlerin yüzey pürüzlülük testleri yapılmış ve hilal paletlerin üçüncü test olan basınç performans testleri yapılmadan ve test sonrasındaki yüzey pürüzlülükleri ölçülerek yüzeydeki aşınmalar incelenmiştir. Son test olarak 5 set basınç performans testleri yapılarak hilal paletlerin performans değerleri incelenmiştir.

6. 1. Sertlik Testleri

Eloksal kaplanan hilal paletlerin aşınma karakteristiğini incelemek için ilk olarak paletlerin yüzey sertlikleri ölçülmüştür. Genellikle metallere uygulanan sertlik testleri Vickers, Brinell ve Rockwell olmak üzere 3 farklı yöntemle yapılmaktadır. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş AL5083 alüminyumun kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 6. 1 de verilmiştir. Çizelge 6.1’de AL5083 malzemenin minimum 65 Brinell sertlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. 1. Al 5083 alüminyumun kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşen Oranları	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Si	Fe	Ti	Al
	≤0.10	0.40	7.00	0.25	0.25	≤0.10	≤0.40	0.15	Kalanı
		1.00	4.90						
Mekanik Özellikleri	Çekme Dayanımı		Ksi		34.8–43.5 (2.399–2.299 bar)				
	Akma Dayanımı		Ksi		18.85 (1.299-66 bar)				
	Uzama		%		6				
	Sertlik		HB		En az 65 HB				
	Young Modülü		mPa		Ort. 70000 2.66 kg/dm ³				

Yüzey sertliğini arttırmak amaçlı eloksal kaplanan hilal paletler Rockwell sertlik cihazı ile yüzey sertlikleri ölçülmüştür. Ölçümler sonrasında kullanılan Rockwell cihazından alınan sonuç değerleri karşılaştırma yapabilmek için Brinell değerlere çevrilmiştir. Test numunesi olarak 2 farklı hilal palet kullanılmıştır. Bunlardan biri diğerine göre daha fazla miktarda

eloksallı ile kaplanmıştır. Bu sayede hiç kaplanmamış palet ile eloksallı kaplı paletin sertlikleri karşılaştırılabilirken aynı zamanda farklı miktardaki kaplama yoğunluğuna sahip paletlerin sertlik değerleri karşılaştırılması da yapılmıştır. Resim 6.1’de Tek kat eloksallı kaplı hilal palet ile çift kat eloksallı kaplı hilal paletlerin sertlik ölçümleri ve ölçüm düzenekleri görülmektedir.



Resim 6.1. Tek kat eloksallı kaplı hilal palet, çift kat eloksallı kaplı hilal palet sertlik ölçümleri ve ölçüm düzenekleri

Sonuçların daha doğru olması için numunelerin aynı yüzeylerinden ölçüm yapılmıştır. Tek kat eloksallı kaplı hilal paletin yüzey sertliği 16,6 Rockwell ölçülürken, çift kat eloksallı kaplı hilal paletin yüzey sertliği 32 Rockwell ölçülmüştür. Malzemenin kaplanmadan önceki halinin mekanik özelliklerinde belirtilen değer Brinell olduğu için ölçülen Rockwell değerleri sertlik karşılaştırma Çizelgesinden yararlanılarak Brinell değerlere çevrilmiştir. Çizelge 6.2’de sertlik değerleri verilmiştir. Kaplama firmalarının belirttiği eloksallı kaplamanın yüzey sertliğini 2-5 kat artırdığı bilgisine, yapılan bu test sonuçlarında da ulaşılmıştır.

Çizelge 6. 2. Sertlik test sonuçları

Numuneler	Sertlik Değeri (Brinell)
A15083	65
1 kat eloksallı kaplı A15083	204,36
2 kat eloksallı kaplı A15083	302,72

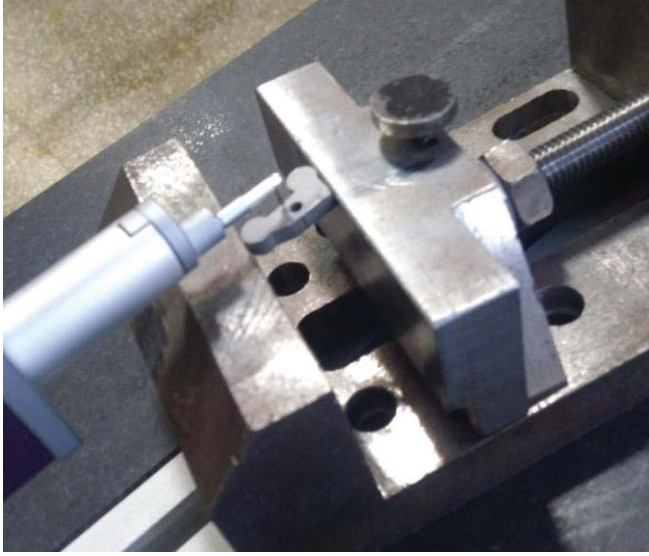
6. 2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Eloksal kaplanmış ve kaplanmamış hilal paletler döngüsel paletli mikro kompresörün performans testlerinde kullanılmadan önce yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinin yapılmasındaki amaç hilal paletin çalışma esnasında yüzey aşınmalarının miktarını ve aşınma formlarını incelemektir. Ölçümler için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ve Resim 6.2’de görülen Mitutoyo SJ-410 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Resim 6. 2. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Mitutoyo SJ-410)

Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı hilal palet numune yüzeylerine bir uç ile dokundurularak dikey ekseninde belirli bir mesafede ilerleyerek yüzey formunu ölçmektedir (Resim 6.3). Ortalama yüzey pürüzlülüğünü (Ra) yüzeydeki aşağı yukarı sapma miktarlarının ortalamasını alarak hesaplamaktadır.



Resim 6. 3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm test düzeneği

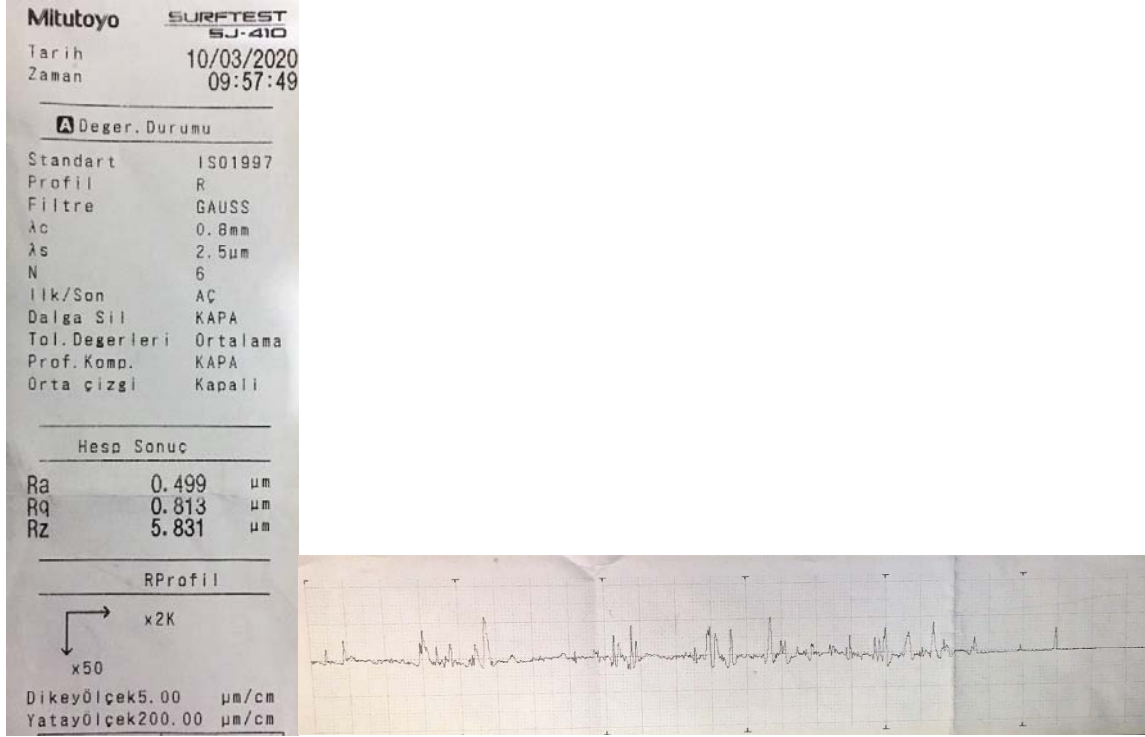
Döngüsel paletli mikro kompresör basınç performans testleri yapıldıktan sonra numunelerin aynı yüzeylerine yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılarak aralarındaki farklar incelenmiştir. Çizelge 6.3'te Basınç performans testleri öncesi ve sonrası yüzey testi sonuçları görülmektedir.

Çizelge 6. 3. Performans testleri öncesi ve sonrası yüzey testi sonuçları

Parçalar	1. ölçüm (μm)			2. ölçüm (μm)			3. ölçüm (μm)		
	Test Öncesi	Test Sonrası	Fark	Test Öncesi	Test Sonrası	Fark	Test Öncesi	Test Sonrası	Fark
Eloksal kaplı 1. yüzey	0,541	0,593	0,052	0,669	0,730	0,061	0,499	0,567	0,068
Eloksal kaplı 2. Yüzey	0,606	0,678	0,072	0,513	0,557	0,044	0,526	0,624	0,098
Alüminyum 1. Yüzey	1,226	4,271	3,045	2,210	5,257	3,047	0,427	2,329	1,902
Alüminyum 2. Yüzey	0,385	1,623	1,238	0,474	2,082	1,608	0,623	1,781	1,158

Çizelge 6.3 incelendiğinde basınç testleri öncesi ve sonrası paletin aynı yüzeylerden yapılan pürüzlülük ölçüm değerlerinin Eloksal kaplı yüzeylerde yaklaşık % 5 ile %15 civarı değiştiği görülmektedir. Ancak Eloksal kapsız Alüminyum yüzeyler için bu değişiklik ise % 140 ile % 450 gibi çok yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu değerler sonucunda Eloksal kaplı yüzeylerin aşınma dirençleri kapsız yüzeylere oranla 5-6 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

Resim 6.4’de Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Mitutoyo SJ-410) sonuçları ve grafiği görülmektedir.



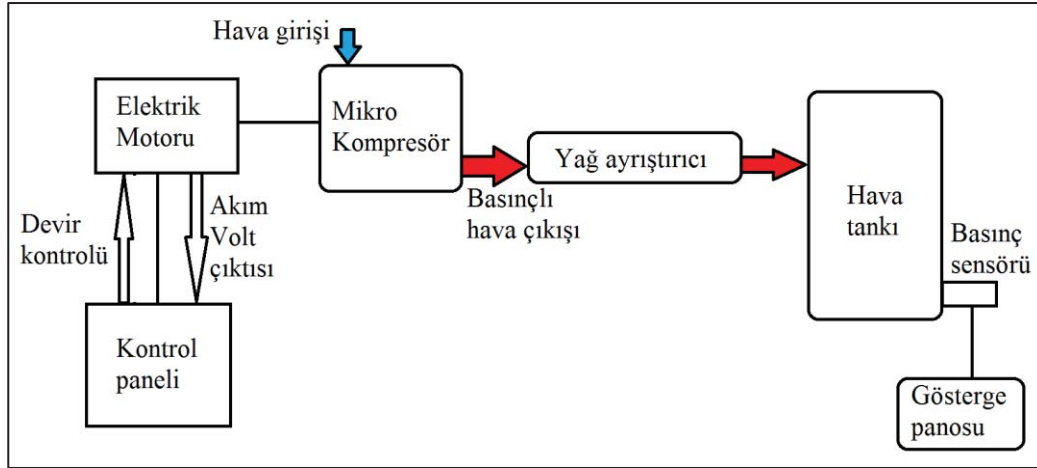
Resim 6. 4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Mitutoyo SJ-410) sonuçları ve grafiği

6. 3. Mikro Kompresör Basınç Performans Testleri

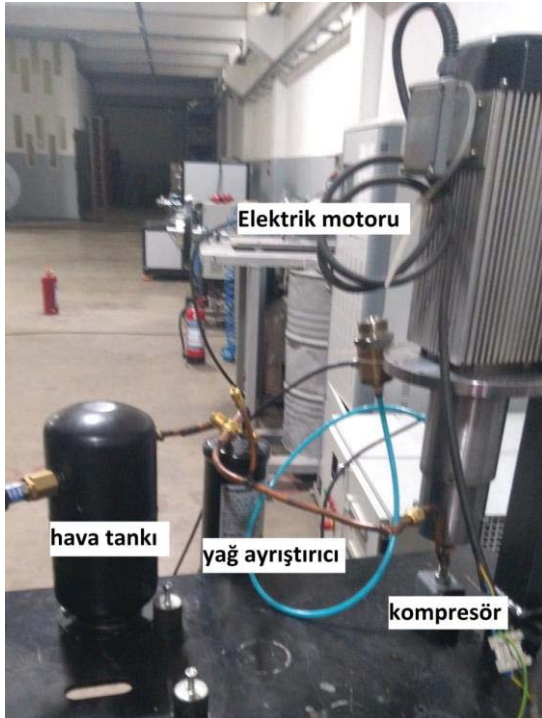
Mikro kompresörün basınç performans testleri Bölüm 5 te ve Şekil 5.2’de görünen kompresör setinin emme (1.Kademe) ve basma (2. Kademe) paletlerinin değiştirilmesi ile 5 set deney yapılmıştır. Deneylerde palet malzemesi olarak çelik ve Al5083 malzeme seçilmiş olup, alüminyum paletler ise iki farklı kaplama kalınlığı belirlenerek basınç performans deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Döngüsel paletli mikro kompresörün basınç performans testlerinin yapılabilmesi için bir test düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzende kompresörün oluşturduğu basınç değeri, bağlı olduğu elektrik motorunun çektiği akım ve voltaj değerleri anlık ölçülebilmektedir. Kompresörü bir elektrikli motor tahrik etmekte ve kompresörün ana miline bağlanmaktadır. Milin dönmesiyle kompresörün rotoru merkezden kaçık dönerek basınç oluşturmaktadır. Kompresör içi boş bir kovanla sabitlenmiştir. Milin diğer ucu ise dayanma rulmanı ile serbest dönebilmektedir. Emme kanalı bir yağ basma ekipmanı ile sürekli yağlanmaktadır.

Kompresör içeri hava emdiği zaman aynı zamanda yağ da çekmekte bu sayede kompresör parçaları yağlanmaktadır. Kompresörün çıkış portu bir yağ ayrıştırıcıya bağlı olup, bu bölümde basınçlandırılan hava yağdan ayrıştırılarak bir hava tüpüne basılmaktadır. Tüp içinde oluşturulan basınç anlık ölçülmektedir. Şekil 6.1’de Kompresör test düzeneğinin şematik görünümü, Resim 6. 5’te de kompresörün test düzeneği görünmektedir.



Şekil 6. 1. Kompresör test düzeneğinin şematik görünümü



Resim 6. 5. Kompresörün test düzeneği

Test düzeneği, elektrik motorunun devrini açılıp kapanmasını kontrol eden test kontrol paneli üzerinden motora devir verilmesi ile başlamaktadır. 1200 rpm sabit devirle döndürülen elektrik motorunun çektiği akım ve voltaj değeri Resim 6.6'te görülen kontrol panelinden okunmaktadır. Kompresörün oluşturduğu basınç hava tüpü üzerinden ölçülmekte ve Resim 6.7'te görülen gösterge panosundan okunmaktadır. Kompresör testinin başlamasıyla kronometre zamanı sıfırlanarak her dakika basınç artışları not edilerek kompresörün oluşturduğu basınç, elektrik motorunun çektiği akım ve voltaj değerleri kaydedilmiştir.



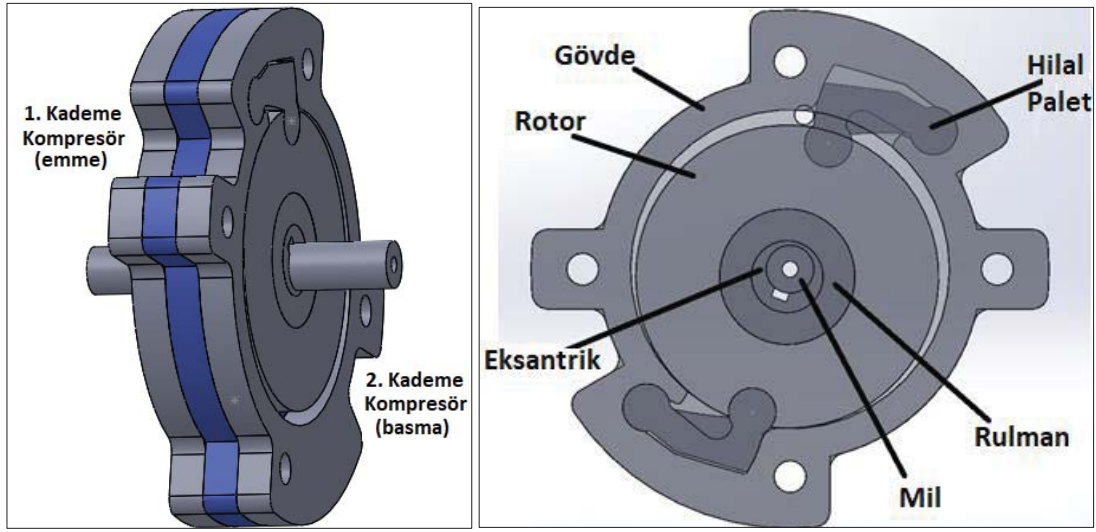
Resim 6. 6. Test kontrol paneli



Resim 6. 7. Sonuçların okunduğu gösterge panosu

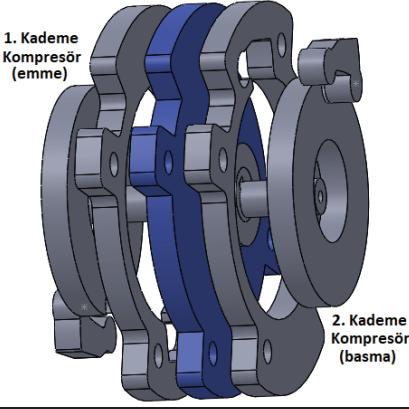
Kompresör 5 set deneyleri:

Kompresör performans testleri kapsamında 5 set deney yapılmıştır. Bu deneylerde kompresörün hareketli parçaları olan rotor ve hilal paletin gövde ile arasındaki çalışma boşluklarının ve palet malzemesinin değiştirilmesinin performansa olan etkileri incelenmiştir. Şekil 6.2’de balanslı kompresörün 1. Kademe (emme) ve 2. Kademe (basma) parçaları ve montaj hali, Çizelge 6.4’te de yapılan 5 set deneyler için palet malzemesi ve çalışma boşlukları görülmektedir.



Şekil 6. 2. Çift Kademe Balanslı kompresör parçaları

Çizelge 6.4. Yapılan 5 set deneyler için palet malzemesi ve çalışma boşlukları

		
	1.Kademe (emme) Palet Malzemesi	2.Kademe (basma) Paleti Malzemesi
1.Set Deney	Çelik (0,02 mm boşluk tolerans)	Çelik (0,1 mm boşluk tolerans)

2.Set Deney	Çelik (0,01 mm boşluk tolerans)	Çelik (0,04 mm boşluk tolerans)
3.Set Deney	Alüminyum (0,03 mm boşluk tolerans)	Eloksal Kaplı (0,08 mm boşluk tolerans)
4.Set Deney	Eloksal Kaplı (0,03 mm boşluk tolerans)	Çelik (0,05 mm boşluk tolerans)
5.Set Deney	Alüminyum (0,03 mm boşluk tolerans)	Çelik (0,05 mm boşluk tolerans)

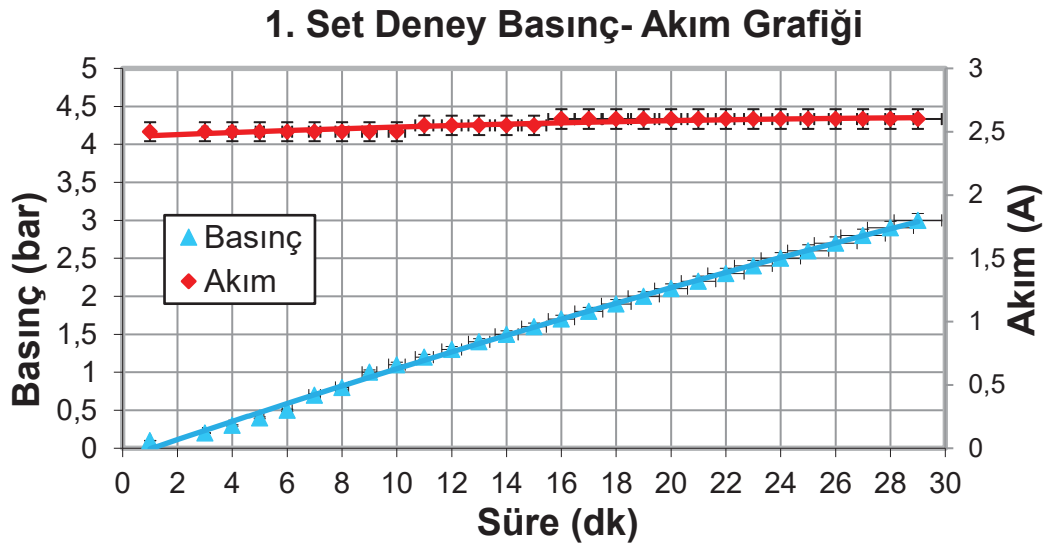
1. Set Deney:

1.Set deneyde karşılaştırma yapacağımız ve referans değer olarak kullanacağımız çelik hilal paletler mikro kompresöre bağlanarak performans testi yapılmıştır. Çelik hilal paletin verdiği performans değerlerine göre kullanılan alüminyum ve eloksal kaplı alüminyum hilal paletlerin yeterli seviyede performans gösterip gösteremediği değerlendirilebilecektir.

Mikro kompresörün 3 ana parçasının kalınlık ölçüleri alınmıştır. Gövde, Rotor ve Hilal Palet kalınlıkları ölçülmüş ve parçalar arasındaki tolerans değerleri belirlenmiştir. Çizelge 6. 5'te 1.Set Deney parça ölçüleri görülmektedir. Mikro kompresör performans test düzeneğine bağlanarak çalıştırılmıştır. Deney sırasında basınç akım ve voltaj değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.3. da 1.Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği görülmektedir. Test sonlarına doğru çekilen gücün arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 6. 5. 1.Set Deney Parça Ölçüleri

1. Set Deney			
		Çelik (mm)	Tolerans (mm)
1.Kademe (Emme)	Gövde	14,6	
	Rotor	14,47	0,13
	Hilal Palet	14,58	0,02
2.Kademe (Basma)	Gövde	14,65	
	Rotor	14,5	0,15
	Hilal Palet	14,55	0,1



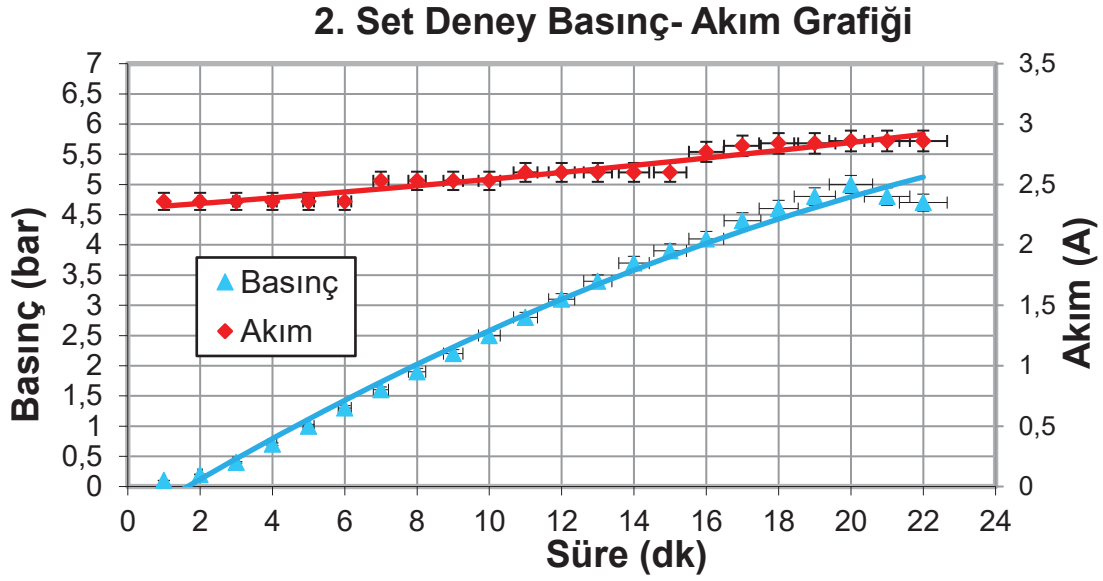
Şekil 6.3. 1.Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği

2. Set Deney:

Mikro kompresörün 1. set deneyi sonucunda çelik parçaların arasındaki tolerans değerinin yüksek olduğu ve parçalar arasından kaçakların oluştuğu tespit edilmiştir. Parçalar teker teker tekrar ölçülerek tolerans değerleri daha uygun parçalar seçilmiştir. Çizelge 6.6'da parça ölçüleri görülmektedir. Parçalar arasındaki tolerans değerlerinin azalmasının basınç kaçaklarını azaltıp azaltmadığı ve kompresörün performansına etkisi görülebilmek için mikro kompresör performans test düzeneğine bağlanarak 2. set deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.4'de de görüldüğü gibi basınç değeri 5 bara kadar çıkmıştır. Bu sayede parçaların arasındaki tolerans değerlerinin düşük olması daha yüksek basınçlara ulaşılmasında fayda sağladığı tespit edilmiştir. 5 bar değeri çelik hilal palet için referans değer olarak kabul edilmiş ve alüminyum paletlerin test sonuçları bu değere göre kıyaslanmıştır.

Çizelge 6. 6. 2. Set Deney Parça Ölçüleri

2. Set Deney			
		Çelik (mm)	Tolerans (mm)
1.Kademe (Emme)	Gövde	14,6	
	Rotor	14,57	0,03
	Hilal Palet	14,61	0,01
2.Kademe (Basma)	Gövde	14,65	
	Rotor	14,61	0,04
	Hilal Palet	14,61	0,04



Şekil 6. 4. 2.Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği

3. Set Deney:

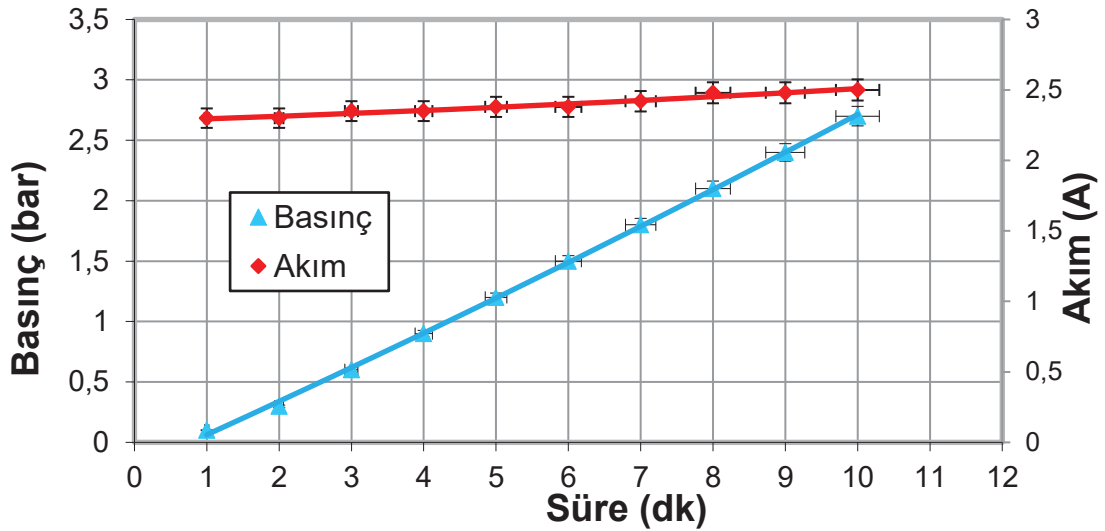
3. Set deneyde mikro kompresör performans testleri kapsamında emme ve basma kademelerine alüminyum hilal paletler takılarak performans testi gerçekleştirilmiştir. Emme kademesine alüminyum, basma kademesine eloksallı alüminyum hilal paletler takılmıştır. Yapılan performans testi sonucu Şekil 6.5'te de görüldüğü gibi kompresör sadece 10 dakika çalıştırılabilmiş ve kompresör durmuştur. Bunun sebebi kompresörün yüksek basınçlı olan basma tarafında alüminyum palet kullanıldığı için kompresör kasmış ve ancak 2.7 bar seviyesine çıkabilmiştir.

Kullanılan hilal paletler incelendiğinde Çizelge 6.7'de parça aralarında toleransın düşük olmasına rağmen hilal paletlerin birbirleri arasında kısmi boşlukların olduğu görülmüştür. Boşlukların ortadan kaldırılabilmesi için hilal paletler Loctite 243 ile birbirlerine yapıştırılmıştır. Ayrıca eloksallı alüminyum hilal palet ile kapsız alüminyum hilal paletin mikro kompresörün performansına etkisi daha doğru değerlendirilebilmesi için kompresörün basma kademesinde çelik hilal palet sabit tutularak emme kademesinde eloksallı kaplı ve kaplama yapılmamış hilal paletler kullanılarak 4. ve 5. set deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6. 7. 3. Set Deney Parça Ölçüleri

3. Set Deney					
		Çelik (mm)	Alüminyum (mm)	Eloksal kaplı alüminyum (mm)	Tolerans (mm)
1.Kademe (Emme)	Gövde	14,6			
	Rotor	14,57			0,03
	Hilal Palet		14,57		0,03
2.Kademe (Basma)	Gövde	14,65			
	Rotor	14,61			0,04
	Hilal Palet			14,57	0,08

3. Set Deney Basınç- Akım Grafiği



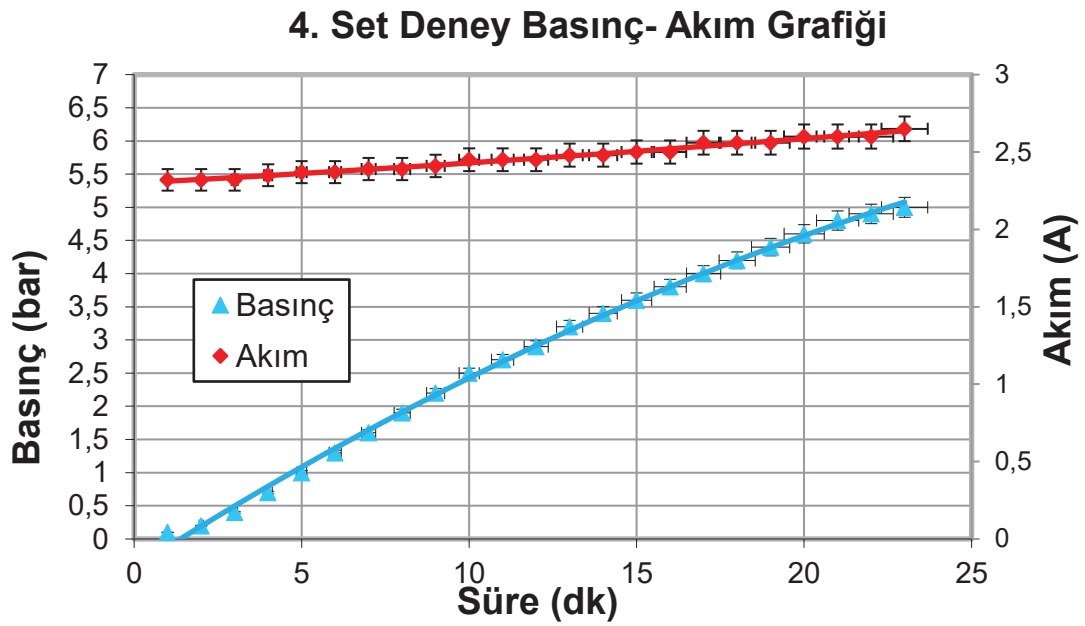
Şekil 6. 5. 3. Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği

4. Set Deney:

Mikro kompresör basınç performans testi 4. set deney aşamasında eloksal ile kaplanmış alüminyum AL5083 hilal paletler emme kademesine bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan performans testinde şekil 6.6'da da görüldüğü gibi 5 bar basınca ulaşıldığı görülmüştür. Referans değer olarak kabul edilen ve her iki kademe de çelik hilal palet kullanılan 2. set deney sonuçları ile karşılaştırıldığında yaklaşık aynı sürede 5 bar basınca ulaştığı görülmüştür. Çelik paletle göre daha düşük akım değerine çıkıldığı görülmüştür. Bu sonuç ise kompresörü tahrik eden elektrik motorunun daha düşük güç çektiğini göstermektedir. Çizelge 6.8'de 4. Set deney parça ölçüleri ve toleransları görülmektedir.

Çizelge 6. 8. 4. Set Deney Parça Ölçüleri

4.Set Deney				
		Çelik (mm)	Eloksal kaplı alüminyum (mm)	Tolerans (mm)
1.Kademe (Emme)	Gövde	14,6		
	Rotor	14,57		0,03
	Hilal Palet		14,57	0,03
2.Kademe (Basma)	Gövde	14,65		
	Rotor	14,61		0,04
	Hilal Palet	14,6		0,05



Şekil 6. 6. 4. Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği

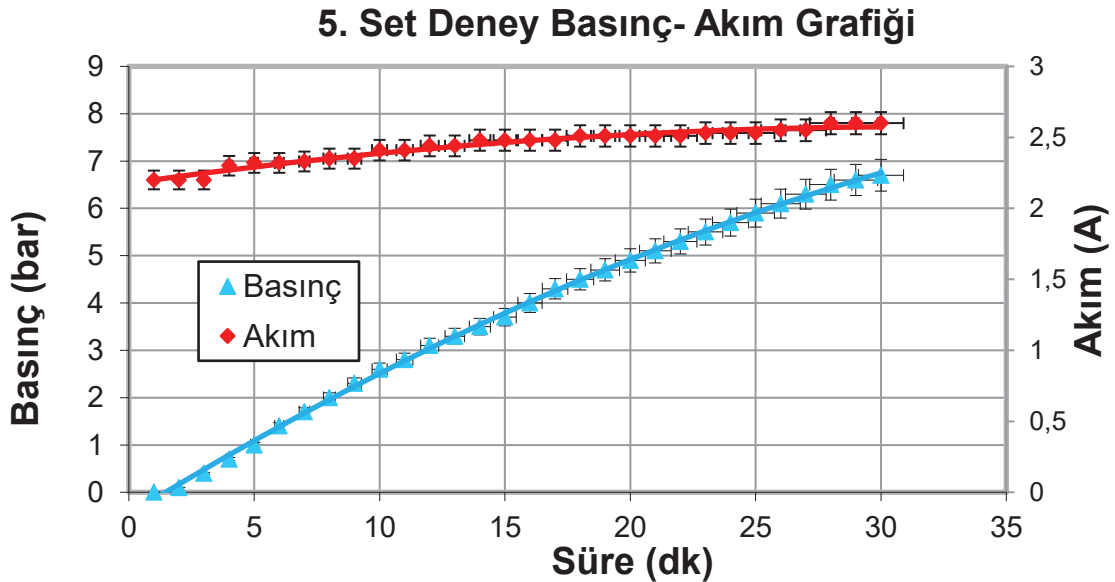
5. Set Deney:

Hilal paletli mikro kompresörün son performans testi kaplama yapılmamış alüminyum paletler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.9’da görülen malzeme ve toleranslara sahip parçaların kullanıldığı deneyde Şekil 6.7’de görüldüğü gibi basıncın 6.7 bara ulaştığı görülmektedir. Çelik ve eloksallı hilal paletten daha yüksek sonuca ulaşılan deney sonrasında kompresörün parçaları sökülerek detaylı incelenmiştir. Resim 6.8’de de görüldüğü üzere alüminyum parçaların çalışma yüzeylerinde önemli ölçüde aşınmanın

gerçekleştiği ve bu aşınmaların sürtünmeden dolayı kaynaklandığı, çalışma sırasında yüksek ısı açığa çıkmasına sebep olduğu görülmektedir. Diğer parçaların çelik ve sadece hilal paletin alüminyum olduğu deneyde alüminyum paletin sürtünmelerden dolayı ısınması sonucu çeliğe göre daha fazla genişerek parçalar arasındaki tolerans değerlerinin azalmasına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Bu sayede daha yüksek basınçlara çıkmasını sağlayan alüminyum paletler daha iyi performanslı olduğu sanılsa da aşınmalardan dolayı kullanışlı olmadığı ve birkaç denemenin ardından kullanılmaz duruma geleceği görülmüştür.

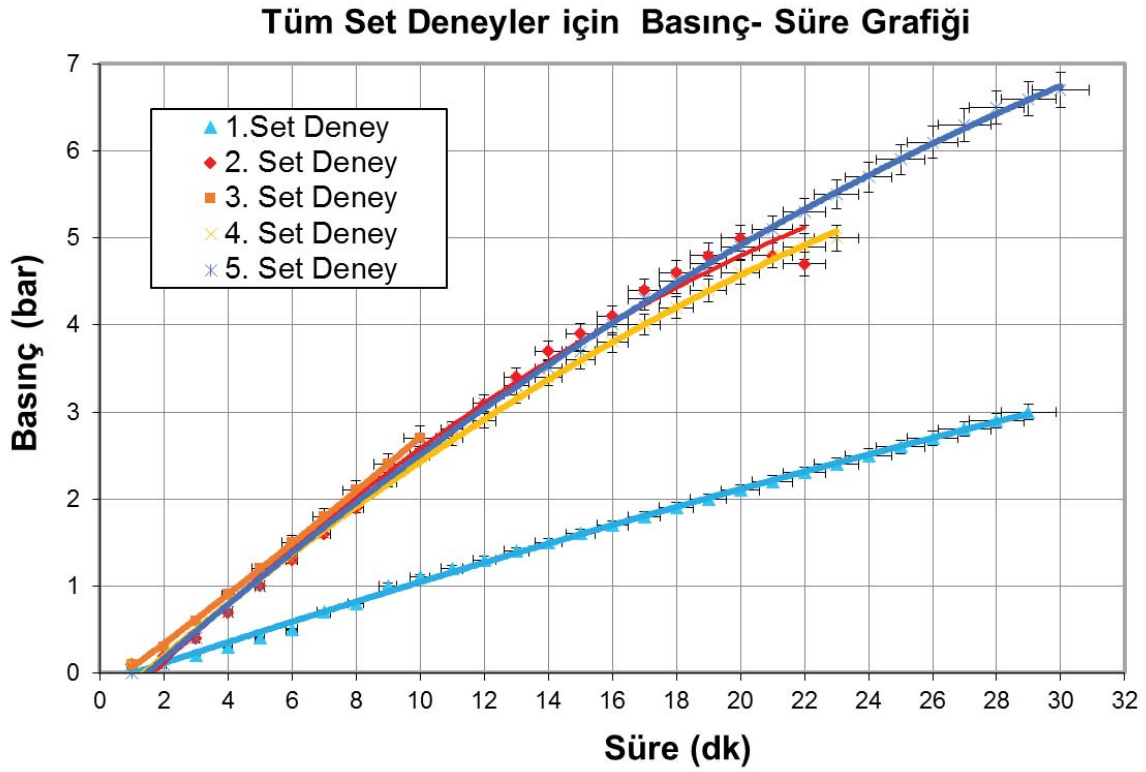
Çizelge 6. 9. 5. Set Deney Parça Ölçüleri

5. Deney				
		Çelik (mm)	Alüminyum (mm)	Tolerans (mm)
1.Kademe (Emme)	Gövde	14,6		
	Rotor	14,57		0,03
	Hilal Palet		14,57	0,03
2.Kademe (Basma)	Gövde	14,65		
	Rotor	14,61		0,04
	Hilal Palet	14,6		0,05



Şekil 6. 7. 5. Set Deney ölçüm değerlerinin grafiği

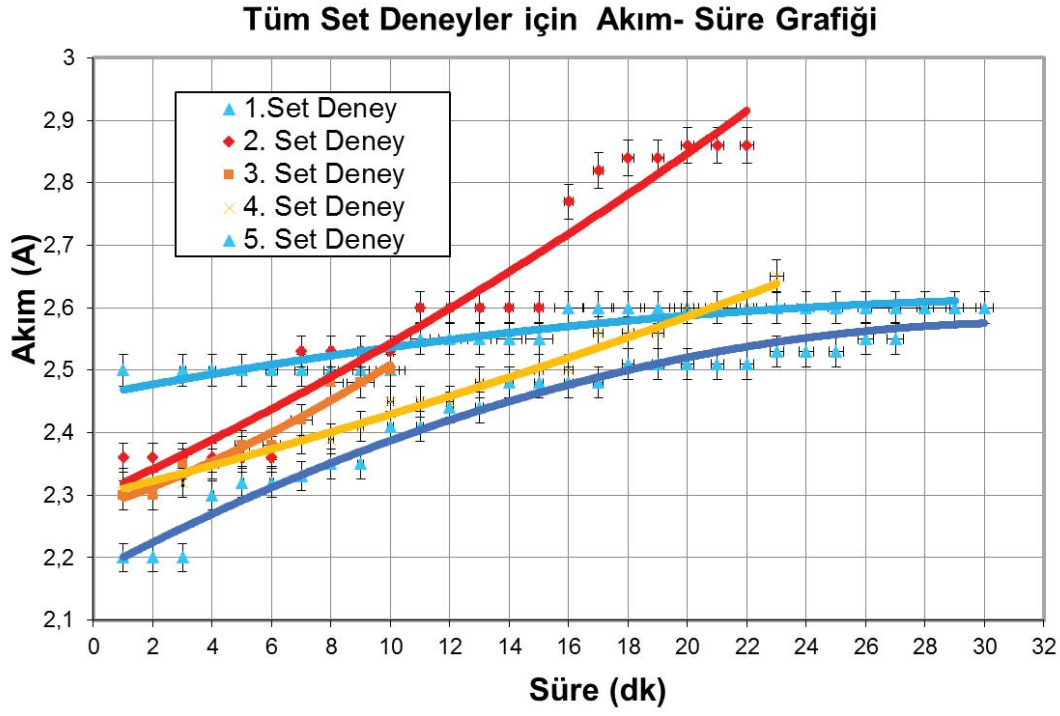
Mikro kompresörün test edildiği 5 set deneyin sonuçları Şekil 6.8’de basınç, Şekil 6.9’da akım ve Şekil 6.10’da güç değerleri aynı grafikte verilmiştir.



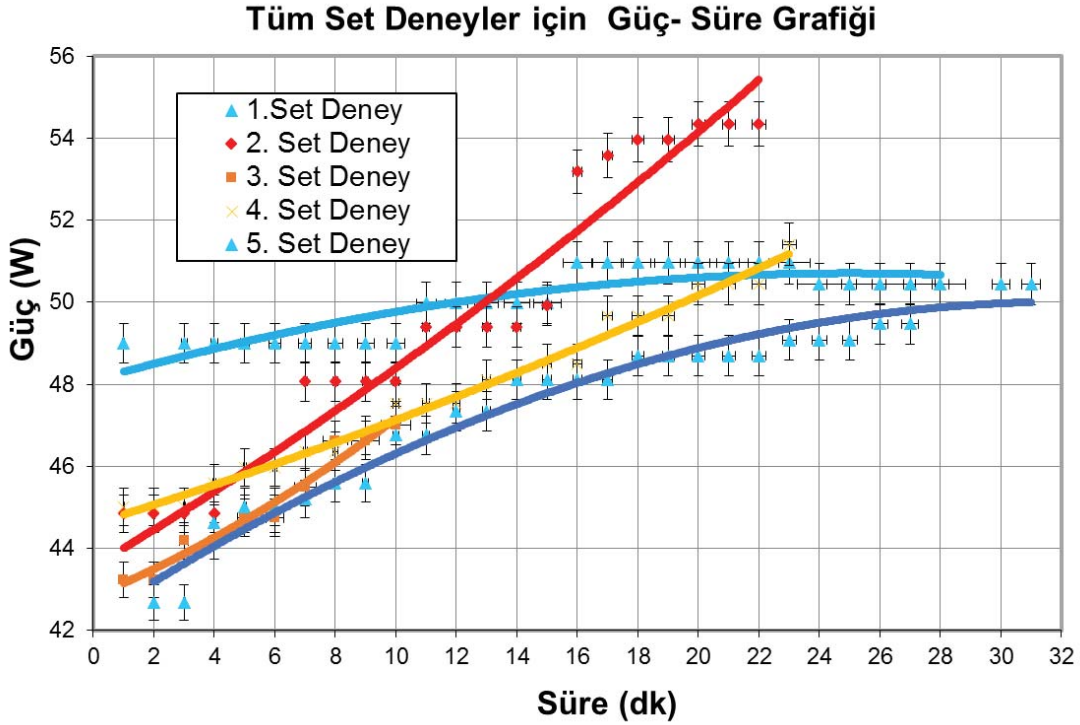
Şekil 6. 8. Tüm Set Deneyler için Basınç-Süre Grafiği

Şekil 6.8 incelendiğinde sadece 1. Set deneylerde elde edilen basınç eğrisinin diğer set deneylerin basınç eğrilerinden yaklaşık iki kat daha az basınç elde edildiği görülmektedir. Bunun sebebi Çizelge 6.5 incelendiğinde sadece 1. Set deneyde palet çalışma boşluğunun diğer setlerdeki palet çalışma boşluklarından fazla olmasından kaynaklanmaktadır. 1. set deneyde parçalar arası toleransın yüksek olması basınç kaçaklarına sebebiyet vererek yüksek basınçlara çıkılamadığı görülmektedir. Diğer set deneylerde parçalar arasındaki toleransların birbirine yakın olmasından dolayı süreye göre basınç yükselmelerinin aynı eğimle olduğu görülmüştür.

Her set deneyler için elde edilen basınçların yanında kompresörün çektiği akım ve güç değerleri de incelenmesi gerekmektedir. Şekil 6. 9'da Tüm Set Deneyler için Akım-Süre Grafiği, Şekil 6. 10'da da Tüm Set Deneyler için Güç-Süre Grafiği görülmektedir.



Şekil 6. 9. Tüm Set Deneyler için Akım-Süre Grafiği

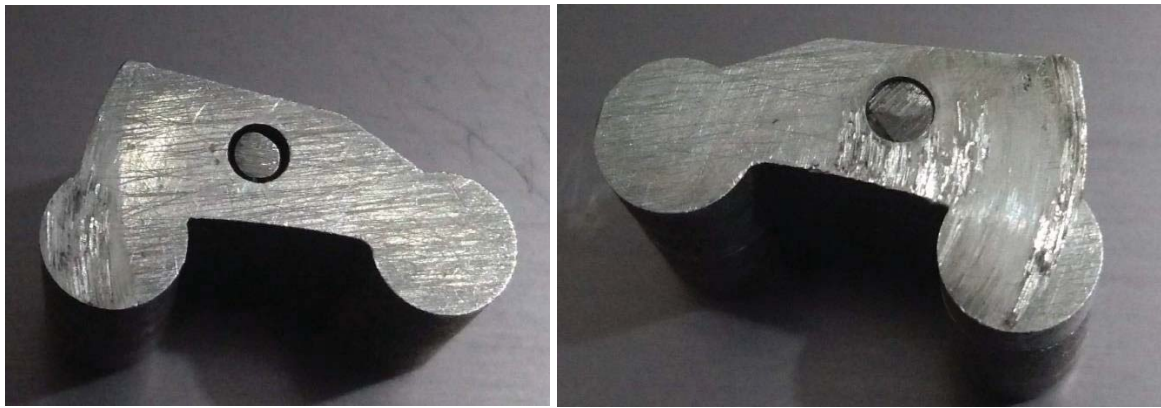


Şekil 6. 10. Tüm Set Deneyler için Güç - Süre Grafiği

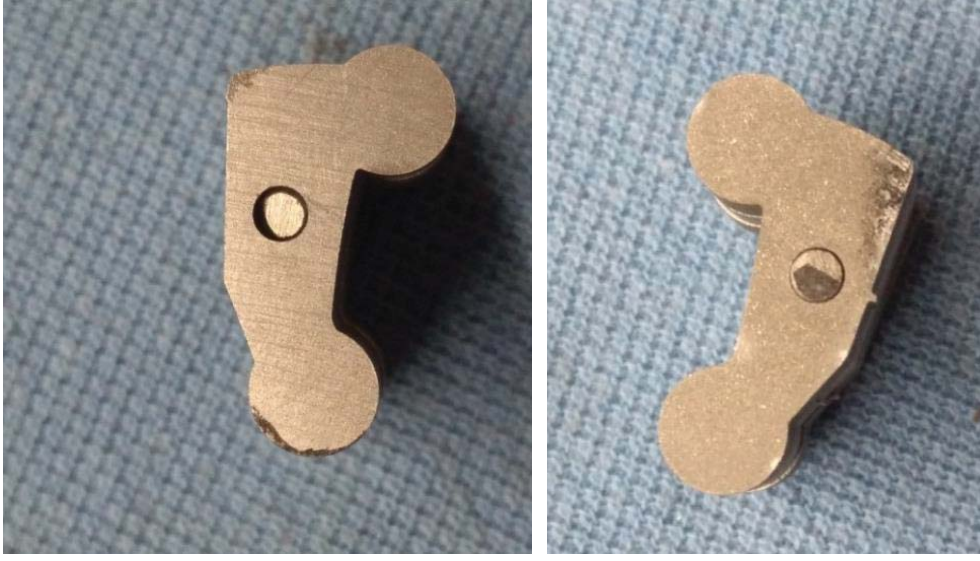
Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 incelendiğinde kompresörün her iki kademesi için (emme ve basma) kullanılan çelik paletli deneyler olan 1. ve 2.set deneylerde elde edilen akım ve güç

değerlerinin, diğer set deneylerde kullanılan sert eloksallı kaplı ve kapsız alüminyum paletli deneylerde elde edilen akım ve güç değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise çelik malzemenin alüminyum malzemeye oranla üç kat daha fazla yoğunlukta olmasından kaynaklanmaktadır. 1.ve 2. Set deneylerde aynı çelik malzeme kullanılmasına rağmen 2. Set deneylerin tolerans değerleri 1. Set deneylerden daha düşük olmasından dolayı yaklaşık %10 daha fazla güç çektiği görülmektedir. Alüminyum paletlerin kullanıldığı 3. 4. ve 5. Set deneylerde ise çelik paletlere göre daha az güç çektiği görülmektedir. En fazla basınç üreten ve en az güç çeken deneyin 5. Set deney olduğu görülmekte olup, 4. Set deneylere göre aynı süreler göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık % 10 daha fazla basınç üretirken % 3 daha az güç çektiği görülmektedir.

5. Set deneylerde yüksek basınçlara çıkılmasının yanı sıra deneyler sonucunda eloksallı kaplamasız paletlerin yüzey incelenmesi yapılarak sonucunda eloksallı kaplamalı paletlere oranla 5-6 kat daha fazla yüzey aşınmalarının olduğu görülmüştür. Bu da uzun süreli kompresör testleri için eloksallı kaplamasız paletlerin uygun olmayacağı sonucu oluşturmaktadır. Resim 6.8 ve 6.9’ da da görüldüğü gibi alüminyum paletlerin yüzeylerinin aşındığı fakat eloksallı kaplı yüzeylerde aşınmanın olmadığı görülmektedir. Aynı şartlarda çalıştırılan eloksallı kaplı ve kaplama gerçekleştirilmemiş alüminyum AL 5083 paletlerin eloksallı kaplama uygulamasının yüzeysel aşınma direncini önemli şekilde artırdığı ve çalışma performansını artırdığı görülmektedir.



Resim 6. 8. Performans testleri sonunda alüminyum hilal paletler



Resim 6. 9. Performans testleri sonunda eloksal kaplı alüminyum paletler

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Okur ve diğerleri (2017) tarafından geliştirilen kompresör tasarımında palet malzemesinde çelik alaşımlar yerine palet ağırlıklarında azalma sağlamak için Al5083 alaşımlı alüminyum malzeme tercih edilmiştir. Sonuç olarak ağırlıkta 5 kat hafifleme sağlanmıştır. Bu çalışmada, alüminyumun en büyük dezavantajı olan aşınma sorununa sert anodik oksidasyon (sert eloksal) kaplama işlemi ile çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Hilal paletler üzerine uygulanan eloksal kaplama işleminin yüzey sertliğine ve yüzeysel aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sert eloksal kaplama uygulanan AL5083 hilal paletlerin Rockwell sertlik test cihazı ile yüzey sertlikleri ölçülmüş ve değerler Brinell değerlere dönüştürülmüştür. Kaplama yapılmamış Al5083 alüminyumun sertlik değeri yaklaşık 65 Brinell iken, tek kat eloksal kaplama uygulanan hilal paleti 204,36 Brinnell ve iki kat eloksal kaplama uygulanan hilal paletin sertlik değeri 302,72 Brinell olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan eloksal kaplamanın alüminyum yüzeylerin sertlik değerini 3–5 kat arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Sertliğin yanı sıra yüzey aşınmasında eloksal kaplamanın etkilerini görmek için eloksal kaplı ve kaplama yapılmamış hilal paletler önce yüzey test cihazı ile yüzey durumları ölçülmüş daha sonra mikro kompresöre bağlanarak performans deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda 5 set deney yapılmıştır.
- 1. ve 2. set deneylerde çelik paletler kullanılarak testler yapılmıştır. 1. set deneyde kompresörün basma kademesindeki 0,1 mm olan tolerans değeri, basınç kaçaklarına sebebiyet verdiği ve istenilen basınca ulaşamayarak 2,7 bar seviyelerinde kalmıştır. 2. set deneyde hilal paletler değiştirilerek daha uygun ölçüde paletler seçilerek parçalar arasındaki tolerans 0,1 mm'den 0,04 mm'ye getirilmiştir. Bunun sonucunda kompresör 5 bar basınç üretmiş, ancak çelik parçaların daha yoğun olması sebebiyle kompresörün %10 daha fazla güç çekmesine sebep olmuştur.
- 3. set deneyde kompresörün basma kademesine eloksal kaplı hilal palet ve emme kademesine kaplama yapılmamış hilal paletler kullanılmıştır. Ancak 10. dk'dan

sonra basıncın 2.7 barda kaldığı ve kompresörün kasmaya başlaması sebebiyle deneye bu noktada son verilmiştir. Daha uygun ve karşılaştırılabilir sonuçlar almak için kompresörün basma kademesinde çelik palet sabit tutularak emme kademesinde sert eloksallı kaplı AL5083 hilal palet ve kaplama yapılmamış AL5083 hilal palet kullanılarak deneylere devam edilmiştir.

- 4. set deneyde kompresörün emme kademesine sert eloksallı kaplama uygulanmış hilal paletler kullanılmıştır. İdeal parça toleranslarına sahip test düzeneğinde 5 bar basınç değerine ulaşılmıştır. Aynı zamanda çelik paletlerin kullanıldığı deneylere göre kompresör daha düşük güç çekmiştir.
- 5. set deneyde kullanılan eloksallı kaplama yapılmamış hilal palet ile yapılan performans testi sonucunda; çelik ve eloksallı kaplı hilal palet kullanılan deneylere göre %10 daha yüksek basınç değerine ulaşılmıştır.
- Performans testleri ardından hilal paletler tekrar yüzey testine tabi tutularak yüzey aşınma miktarları kontrol edilmiştir. “Mitutoyo SJ-410” isimli yüzey test cihazı ile parçaların ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda sert eloksallı kaplı AL5083 hilal paletin yüzeyinde %5 - %15 civarında değişen Ra değerine karşılık kaplama uygulanmamış AL5083 hilal palet yüzeyinde %140 - %450 arasında değişen sonuçlar alınmıştır. Bu da kaplama yapılmamış AL5083 hilal paletin yüzeyinde çok yüksek oranda aşınmanın gerçekleştiğini aşınma sonucu sürtünmeler ile parça ısılarının artması ile birlikte parçanın genleştiğini göstermektedir. 5. set deneyde basınç değerinin daha yüksek çıkmasının sebebi aşınma ile genleşen hilal paletin toleransının daha fazla düşerek pozitif fayda sağlamasıdır. Ancak bu miktarda aşınma hilal palete çalışma ömrü sağlamazken kullanılabilirliğini de yitirmesine sebebiyet vermektedir.

Sert eloksallı kaplı AL5083 hilal palet, referans olarak kabul edilen çelik palet ile aynı basınç değerlerine daha düşük güç harcayarak ulaşmıştır. Bunun yanı sıra çelik hilal paletler gibi çok az miktarda yüzey aşınması gerçekleşmiştir. Çelik paletlere oranla daha hafif olması kompresörün daha balanslı çalışmasını sağlamıştır. Sonuç olarak sert eloksallı kaplı AL5083 hilal paletin kullanımı ile mikro kompresörün performansı artmıştır. Bu çalışma ile bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması açısından mikro

kompresörün rotor, kapak ve ara parça gibi diğer sürtünen parçaların da alüminyum malzeme ile yapılarak ve parçaların sert eloksal kaplanması ile kompresörün performansının artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. 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.
2. Kaya, M. (2012). *Sanayide Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Basınçlı Hava Sistemlerinde Verimlilik*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
3. Aykaç, S., E. (2011). *Pnömatik –Hidrolik*. Genç Ofset Baskı, Ankara.
4. Robison, D.H., and Beaty, P.J. (1992). *Compressor Types, Classifications and Applications*, Proceedings Of The Twenty-First Turbomachinery Symposium, Texas.
5. Okur, M., Teryaki, S., ve Akmandor, İ. S. (2017). Mikro Soğutma ve Buzdolapları İçin Küçük Döngüsel Kompresörün Tasarımı ve İmalatı, *8th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ.
6. Akmandor, İ. S. U.S., Patent No. 8,579,615. Washington, DC: U.S. Patent and Traemark Office, 2013.
7. Akmandor, İ. S., Ersöz, N., Patent No. TR 2006 03859 B. Türk Patent Enstitüsü, 2007
8. Küçük, B., ve Atacak, İ. (2015). Sıkıştırılmış Hava İle Çalışan Araçlar, 3. *Anadolu Enerji Sempozyumu*, Muğla.
9. Sapmaz, S. (2014). *Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
10. Saidur, R., Rahim, and N. A., Hasanuzzaman, M. (2009). A review on compressedair energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1135–1153.

11. Lee, Y.Z., and Oh, S.D., (2003) *Friction And Wear Of The Rotary Compressor Vane-roller Surfaces For Several Sliding Conditions*. *Wear* 255, 1168-1173.
12. Li, J., Jia, X., Liang, L., and Peng, X. (2013). A New Generatrix Of The Cavity Profile Of A Diaphragm Compressor, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science*, 228 (10):1754-1766.
13. Dmitrieva, O., Tabotaa, E., and Euring, I., A. (2015). A Miniature Rotary Compressor With A 1:10 Compression Ratio, *9th International Conference on Compressors and Their Systems, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Edinburgh. 10.
14. Akgül, U., ve Küçüka, S., (2013). Sıvı Halkalı Kompresörde Su Buharı Sıkıştırılmasının Deneysel İncelenmesi, *19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Samsun.
15. Bannwart, H. (1994). *Liquid Ring Vacuum Pumps, Compressors and Systems*. (C. Ahner, Trans.) Weinheim.
16. Hundy, G. F., Trott, A. R. and Welch, T. C. (2008). *Refrigeration and air-conditioning*. Boston: Butterworth Heinemann/Elsevier, 10-200.
17. Kovacevic, A., Stosic, N., and Smith, K., I. (2006). Advanced Methods And Tools For Screw Compressor Design, *The 6th International Conference TMCE*, Ljubljana, Slovenia.
18. Stosic N, Smith I.K., and Kovacevic A. (2003). Optimisation of screw compressors, *Applied Thermal Engineering*, 23, 1177-1195.
19. Wygant, K., Pelton, R., Bygrave, J., and Bosen, W. (2016). Tutorial On The Application And Design Of Integrally Geared Kompressor, *Asia Turbo Machinery And Pump Symposium*, Singapore.
20. 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.

21. Kawamura, R., Sekiya, S., Sasaki, T., Maeyama, H., Takahashi, S., and Sugiura, K. (2016). A Study on High Efficiency Wing- vane Compressor, *Jraia International Symposium*, Japan.
22. Teryaki, S. (2019). *Mikro Soğutma ve Buzdolapları İçin Küçük Döngüsel Kompresörün Toz Metalurjisi İle Tasarımı Ve İmalatı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
23. Boyce, M. P. (2003). *Gas Turbine Engineering Handbook*, Second Edition, Butterword-hienemann.
24. Perrotti, D. (2013). *Two Dimensional Design Of Axial Compressor An Enhanced Version Of LUAX-C*, Master thesis, Division Of Thermal Power Engineering Department Of Energy Sciences Faculty Of Engineering, LTH Lund Universty, Sweden.
25. Kurz, R. (2004). *The Physics Of Centrifudal Compressor Performance*, PSIG Annual Meeting Held In Palm Springs, California.
26. Mutlu, Y. (2019). *AA2024 Matrisli B4C-SiC ve B4C-Y2O3 Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
27. Sipahi, M., L. (2016). *Toz Metalurjisi Yöntemi İle A1Si12-CuAl2 Metal Matrisli Kompozit Üretimi ve Cual2 Oranının Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
28. Osman, P. (2014). *Toz Metalurjisi ile Üretilen Inconel Süper Alaşımlarda Yaşlanma Parametrelerinin Aşınma Davranışlarına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
29. Tomruk, S. (2010). *Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilmiş Aa2014 Alüminyum Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

30. Gökçe, A. (2007). *Yapısal Uygulamalar İçin Alüminyum Esaslı Malzemelerin Toz Metalurjisi Kullanılarak Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
31. Gün, T.(2019). *Ni/Mo/B İlavesinin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Dişli Üretiminde Kullanılacak Fe Esaslı Malzelere Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
32. Kunt, M., A., ve Güneş, H. (2015).İçten Yanmalı Motorlarda Pnömatik Tahrik Sistemlerinin Uygulanabilirliği Üzerine Bir Çalışma, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2 (2), 41-59.
33. Koca, A., ve Sağır, T. (2007). Pnömatik Motor Tasarımı ve Prototipinin İmalatı, *Politeknik Dergisi*, 10 (1), 53-58.
34. 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.
35. Yang, H., Qu, Z., Zhou, H., and Yu, B., (2011). Study on leakage via the radial clearance in a novel synchronal rotary refrigeration compressor. *Int. J. Refrigeration*, 34, 84-93.
36. Yang, B., Peng, X., He, Z., Guo, B., and Xing, Z. (2009). Experimental Investigation On The Internal Working Process Of A CO₂ Rotary Vane Expander. *Applied Thermal Engineering*, 29 2289-2296.
37. Jia, X., Zhang, B., Pu, L., Guo, B., and Peng, X. (2011). Improved Rotary Vane Expander For Trans-Critical CO₂ Cycle By Introducing High-Pressure Gas Into The Vane Slots. *Refrigeration*, 34 732-741.
38. Tan, K. M., and Ooi, K. T. (2011). A Novel Revolving Vane Compressor With A Fixed Vane, Refrigerated. 34 1980-1988

39. Seymen, K. (2012). *Turbo döngüsel bir türbinde hilal palettteki sürtünme ve basınç kaçakları ile güç ilişkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
40. Okur, M., ve Arabacı, E. (2015). Experimental Study Of A Novel Hinged Vane Rotary Turbine – Part I: The Effect Of Different Vane Thickness And Vane Weight On Turbine Performance, *Refrigerated*, 51 70-76.
41. Le, S., and Hegab, H. (2017). Investigation Of A Multistage Micro Gas Compressor Cascaded In Series For Increase Pressure Rise. *Sensors And Actuators A: Physical*, 256 66-76.
42. Eray, M., E., (2009). *Turbo Döngüsel Bir Motorun Türbin Palet Mekanizmasının Kompozit ve Seramik Malzemelerle Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
43. Gökşahin, E. (2007). *Sert Eloksal İle Kaplanmış 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
44. Atasoy, S. (2009). *Sert Eloksal Ve Akımsız Nikel Kaplanmış Alüminyum Alaşımının Sürtünmeli Temas (Fretting) Yorulma Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
45. Yeu, J., and Cao Y. (2015). Corrosion Prevention by Applied Coatings on Aluminum Alloys in Corrosive Environments, *International Journal of Electrochemical Science*, 10 (2015) 5222 – 5237.
46. Yavuz, S. (2018). *Silah Gövde Malzemesi AA7075-T6 Alaşımının Anodik Oksidasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
47. Remesova, M., Tkachenko, S., Kvarda, D., Rocnakova, I., Gollas, B., Menelaou, M., Celko, L., and Kaiser, J. (2020). Effects Of Anodizing Conditions And The Addition Of Al₂O₃/Ptfе Particles On The Microstructure And The Mechanical Properties Of

Porous Anodic Coatings On The AA1050 Aluminium Alloy, *Applied Surface Science* Volume, 513.

48. Zhang, K., Yang, W., Ge, F., Xu, B., Chen Y., Yin, X., Liu, Y., and Zuo, H. (2020). A Self-Curing Konjac Glucomannan/Caco3 Coating For Corrosion Protection Of Aa5052 Aluminum Alloy In NaCl Solution, *International Journal of Biological Macromolecules*, 151 691-701.
49. Kendirli, E. (2019). *Eloksal Banyolarında Kullanılan Asit Çözeltisi Derişiminin Kaplamaya Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
50. Demiral, F. (2015). *İkiz Merdane Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen Aa 1050 Alüminyum Alaşımına Anodik Oksidasyon (Eloksal) İşleminin Uygulanabilme Kabiliyetinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
51. Yeşilbağ, B. (2014). *İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Eloksal Kalite Aa5005 Alüminyum Alaşımı Levha Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

EK-1

1.Set Deney ölçüm değerleri

Dakika	Bar	Akım	Volt
0	0	0	0
1	0,1	2,5	19,6
3	0,2	2,5	19,6
4	0,3	2,5	19,6
5	0,4	2,5	19,6
6	0,5	2,5	19,6
6	0,6	2,5	19,6
7	0,7	2,5	19,6
8	0,8	2,5	19,6
8	0,9	2,5	19,6
9	1	2,5	19,6
10	1,1	2,5	19,6
11	1,2	2,55	19,6
12	1,3	2,55	19,6
13	1,4	2,55	19,6
14	1,5	2,55	19,6
15	1,6	2,55	19,6
16	1,7	2,6	19,6
17	1,8	2,6	19,6
18	1,9	2,6	19,6

Dakika	Bar	Akım	Volt
19	2	2,6	19,6
20	2,1	2,6	19,6
21	2,2	2,6	19,6
22	2,3	2,6	19,6
23	2,4	2,6	19,6
24	2,5	2,6	19,4
25	2,6	2,6	19,4
26	2,7	2,6	19,4
27	2,8	2,6	19,4
28	2,9	2,6	19,4
29	3	2,6	19,4
31	3,1	2,6	19,4
32	3,2	2,6	19,4
33	3,3	2,6	19,4
35	3,4	2,6	19,4
36	3,5	2,6	19,4
38	3,6	2,6	19,4
39	3,7	2,6	19,4
41	3,8	2,6	19,4
43	3,8	2,6	19,4

EK-2

2. Set deney ölçüm değerleri

Dakika	Bar	Akım	Volt
0	0	0	0
1	0,1	2,36	19
2	0,2	2,36	19
2	0,3	2,36	19
3	0,4	2,36	19
3	0,5	2,36	19
3	0,6	2,36	19
4	0,7	2,36	19
4	0,8	2,36	19
4	0,9	2,36	19
5	1	2,36	19
5	1,1	2,36	19
5	1,2	2,36	19
6	1,3	2,36	19
6	1,4	2,36	19
6	1,5	2,36	19
7	1,6	2,53	19
7	1,7	2,53	19
7	1,8	2,53	19
8	1,9	2,53	19
8	2	2,53	19
8	2,1	2,53	19
9	2,2	2,53	19
9	2,3	2,53	19
9	2,4	2,53	19
10	2,5	2,53	19
10	2,6	2,53	19

Dakika	Bar	Akım	Volt
10	2,7	2,6	19
11	2,8	2,6	19
11	2,9	2,6	19
11	3	2,6	19
12	3,1	2,6	19
12	3,2	2,6	19
12	3,3	2,6	19
13	3,4	2,6	19
13	3,5	2,6	19
13	3,6	2,6	19
14	3,7	2,6	19
14	3,8	2,6	19
15	3,9	2,6	19,2
15	4	2,77	19,2
16	4,1	2,77	19,2
16	4,2	2,77	19
16	4,3	2,82	19
17	4,4	2,82	19
17	4,5	2,84	19
18	4,6	2,84	19
18	4,7	2,84	19
19	4,8	2,84	19
19	4,9	2,86	19
20	5	2,86	19
20	4,9	2,86	19
21	4,8	2,86	19
22	4,7	2,86	19

EK-3

3. Set deney ölçüm değerleri

Dakika	Bar	Akım	Volt
0	0	0	0
1	0,1	2,3	18,8
1	0,2	2,3	18,8
2	0,3	2,3	18,8
2	0,4	2,35	18,8
2	0,5	2,35	18,8
3	0,6	2,35	18,8
3	0,7	2,35	18,8
3	0,8	2,35	18,8
4	0,9	2,35	18,8
4	1	2,38	18,8
4	1,1	2,38	18,8
5	1,2	2,38	18,8
5	1,3	2,38	18,8
5	1,4	2,38	18,8
6	1,5	2,38	18,8
6	1,6	2,42	18,8
6	1,7	2,42	18,8
7	1,8	2,42	18,8
7	1,9	2,42	18,8
7	2	2,42	18,8
8	2,1	2,48	18,8
8	2,2	2,48	18,8
8	2,3	2,48	18,8
9	2,4	2,48	18,8
9	2,5	2,5	18,8
9	2,6	2,5	18,8
10	2,7	2,5	18,8

EK-4

4. Set deney ölçüm değerleri

Dakika	Bar	Akım	Volt
0	0	0	0
1	0,1	2,32	19,4
2	0,2	2,32	19,4
2	0,3	2,32	19,4
3	0,4	2,32	19,4
3	0,5	2,35	19,4
3	0,6	2,35	19,4
4	0,7	2,35	19,4
4	0,8	2,35	19,4
4	0,9	2,35	19,4
5	1	2,37	19,4
5	1,1	2,37	19,4
5	1,2	2,37	19,4
6	1,3	2,37	19,4
6	1,4	2,37	19,4
6	1,5	2,39	19,4
7	1,6	2,39	19,4
7	1,7	2,39	19,4
7	1,8	2,39	19,4
8	1,9	2,39	19,4
8	2	2,41	19,4
8	2,1	2,41	19,4
9	2,2	2,41	19,4
9	2,3	2,41	19,4
9	2,4	2,41	19,4

Dakika	Bar	Akım	Volt
10	2,5	2,45	19,4
10	2,6	2,45	19,4
11	2,7	2,45	19,4
11	2,8	2,45	19,4
12	2,9	2,45	19,4
12	3	2,48	19,4
12	3,1	2,48	19,4
13	3,2	2,48	19,4
13	3,3	2,48	19,4
14	3,4	2,48	19,4
14	3,5	2,5	19,4
15	3,6	2,5	19,4
15	3,7	2,5	19,4
16	3,8	2,5	19,4
16	3,9	2,5	19,4
17	4	2,56	19,4
17	4,1	2,56	19,4
18	4,2	2,56	19,4
18	4,3	2,56	19,4
19	4,4	2,56	19,4
19	4,5	2,6	19,4
20	4,6	2,6	19,4
20	4,7	2,6	19,4
21	4,8	2,6	19,4
22	4,9	2,6	19,4
23	5	2,65	19,4

EK-5

5. Set deney ölçüm değerleri

Dakika	Bar	Akım	Volt
1	0	2,2	0
2	0,1	2,2	19,4
2	0,2	2,2	19,4
2	0,3	2,2	19,4
3	0,4	2,2	19,4
3	0,5	2,3	19,4
3	0,6	2,3	19,4
4	0,7	2,3	19,4
4	0,8	2,3	19,4
4	0,9	2,3	19,4
5	1	2,32	19,4
5	1,1	2,32	19,4
5	1,2	2,32	19,4
5	1,3	2,32	19,4
6	1,4	2,32	19,4
6	1,5	2,33	19,4
6	1,6	2,33	19,4
7	1,7	2,33	19,4
7	1,8	2,33	19,4
7	1,9	2,33	19,4
8	2	2,35	19,4
8	2,1	2,35	19,4
8	2,2	2,35	19,4
9	2,3	2,35	19,4
9	2,4	2,35	19,4
9	2,5	2,41	19,4
10	2,6	2,41	19,4
10	2,7	2,41	19,4
11	2,8	2,41	19,4
11	2,9	2,41	19,4
11	3	2,44	19,4
12	3,1	2,44	19,4
12	3,2	2,44	19,4
13	3,3	2,44	19,4

Dakika	Bar	Akım	Volt
13	3,4	2,44	19,4
14	3,5	2,48	19,4
14	3,6	2,48	19,4
15	3,7	2,48	19,4
15	3,8	2,48	19,4
15	3,9	2,48	19,4
16	4	2,48	19,4
16	4,1	2,48	19,4
16	4,2	2,48	19,4
17	4,3	2,48	19,4
17	4,4	2,48	19,4
18	4,5	2,51	19,4
18	4,6	2,51	19,4
19	4,7	2,51	19,4
19	4,8	2,51	19,4
20	4,9	2,51	19,4
20	5	2,51	19,4
21	5,1	2,51	19,4
21	5,2	2,51	19,4
22	5,3	2,51	19,4
22	5,4	2,51	19,4
23	5,5	2,53	19,4
23	5,6	2,53	19,4
24	5,7	2,53	19,4
24	5,8	2,53	19,4
25	5,9	2,53	19,4
25	6	2,55	19,4
26	6,1	2,55	19,4
26	6,2	2,55	19,4
27	6,3	2,55	19,4
27	6,4	2,55	19,4
28	6,5	2,6	19,4
30	6,6	2,6	19,4
31	6,7	2,6	19,4

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAKAŞ, İsmet
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.06.1990 - ANKARA
 Medeni hali : Evli
 Telefon :
 E-mail : ismetkarakass@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Otomotiv Mühendisliği	2020
Lisans	Gazi Üniversitesi / Otomotiv Mühendisliği	2015
Lise	Milli Piyango Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Türk Standartları Enstitüsü	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Karakaş, İ., Okur, M., (2019). *Döngüsel Paletli Bir Mikro Kompresörün Sert Eloksal Kaplı Al5083 Paletinin Aşınma Karakteristiğinin İncelenmesi*, International Symposium On Automotive Science And Technology, Ankara.



GAZİ GELECEKTİR..