

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇ GAZ KOMPRESÖRÜ TASARIMI VE İMALATI

İrfan ÜNAL

AĞUSTOS 2015

ÖZET

YÜKSEK BASINÇ GAZ KOMPRESÖRÜ TASARIMI VE İMALATI

ÜNAL, İrfan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Battal DOĞAN

Ağustos 2015, 59 sayfa

Bu çalışmada sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) dolum tesislerinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere yüksek basınçlı gaz kompresörü tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ülkemizde motorin ve benzin fiyatlarının yüksek olması sebebiyle LPG ve CNG alternatif ucuz yakıt olarak tercih edilmektedir. Şehir içi şebeke hattından 0.022 bar basınçla alınan doğal gazın 200-250 bar basınçlara sıkıştırılarak depolanması ve araçlara doldurulması için gerekli olan yüksek basınç kompresörleri yurt dışından ithal edilmektedir. Bu kompresörlerin yedek parça ve bakım hizmetleri de yurt dışı firmalardan yüksek bedellerle karşılanmaktadır. San-tez projesi olarak Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen bu çalışma ile 200-250 bar basınçta ve 180 lt/h. debide CNG dolum işleminin gerçekleştirilmesine yönelik hizmet verecek bir kompresörün yurt içi imkanlarla üretilmesi ve yedek parçalarının iç pazardan temin edilebilmesi sağlanmıştır.

Doğalgazı dağıtım hatlarından alarak yüksek basınçlara çıkarma işlemi yapacak kompresörün sıkıştırma işlemi 4 kademe olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kompresörlerde sıkıştırma işlemi sırasında sıcaklık artışı kullanılan gazın cinsine göre değişmektedir. Doğalgazın içerisinde metan gazı olduğu için sıkıştırma sırasında hava ile kıyaslandığında metan daha fazla ısınır. Bu nedenle kompresör tasarlanırken soğutma büyük öneme sahiptir.

Ülkemizde araçlarda CNG kullanılmaya başlanmasından sonra bu kompresörler yurt dışından; başta İtalya, Arjantin, Çin gibi ülkelerden temin edilmeye başlanmıştır. Ülkemizde yeni yeni yaygınlaşan CNG li araçlara doğalgaz yakıt ihtiyacını karşılamak için kullanılan kompresörler bu proje sayesinde yurt içerisinde yerli imkanlarla üretilmesine olanak sağlanarak yurt dışına bağılılığın ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Bu proje CNG kompresör imalatı için ilk adım özelliği taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: CNG, Yüksek Basınç, Doğalgaz, Kompresör

ABSTRACT

HIGH PRESSURE NATURAL GAS DESIGN AND MANUFACTURING

ÜNAL, İrfan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical, Master Thesis

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Battal DOĞAN

August 2015, 59 pages

In this work, design and fabrication of high pressurized gas compressor was performed to carry the requirements of compressed natural gas (CNG) filling plants. In our country, because of the high rates of petrol and diesel fuels, LPG and CNG are widely preferred as the alternative low-cost fuel. High pressure compressors which are used to compress natural gas that is taken from local distribution lines in 0.022 bar to 200-250 bar pressure, import from foreign countries. Auxiliary equipments and maintenance of those high pressure compressors cost high rates as well. With this work which support by Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı as a San-tez project, 200-250 bar and 180 lt/h flow rate CNG filling station compressors' auxiliary equipments provided in domestic market in case of fabricating them inside the country.

Compression operation is planned in 4 steps from taking natural gas from distribution lines. During the compression operation, temperature increment differs by the type of gas. Temperature increment in methane gas is more than the increment of air and natural gas contains methane. For this reason, cooling process plays an important role during the design phase of compressor.

In our country, after starting use of CNG in vehicles, this compressor has started to be supplied from countries such as Italy, Argentina and China. This compressors which is being common recently in our country, that aims, through this project with

indigenous capabilities in homeland and eliminating the duality abroad. This project is the first step for the production of CNG compressors.

Keyword: CNG, High Pressure, Natural Gas, Compressor

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, her konuda yardımını esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Battal DOĞAN'a, imalatı yapılan kompresörün tasarımında kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK'e, verdiği Santez desteği sayesinde tez çalışmamın uygulamaya geçmesine ve imalatının gerçekleşmesine vesile olan Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına, ayrıca her zaman maddi manevi desteği ile hep yanımda olan anneme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1.GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	3
1.2. Kompresör Tipleri ve Çalışma Prensipleri.....	6
2. CNG KOMPRESÖRLERİ	8
2.1. Kompresör Kademe Sayısının Belirlenmesi	9
3. SİSTEM TASARIMI	12
3.1. Krank Biyel Mekanizma Grubu	13
3.1.1. Krank	13
3.1.2. Biyel Kolları	16
3.1.2.1. Biyel Kolu Kuvvet Analizi.....	17
3.1.3.Karter Bloğu.....	20
3.1.4.Rulmanlar	23
3.2. Piston ve Silindir Grupları	24
3.2.1. Piston Grupları	24
3.2.2. Silindir Grupları	26
3.3. Emme ve Basma Grupları	27
3.3.1 Klapeler	28
3.4. Kompresör Soğutma Grubu	31
3.5. Kompresör Elektrik Aksamı	32
4. MATERYAL VE METOD	34
5. DENEYSEL ÖLÇÜMLER VE KARŞILAŞTIRMALAR	38
5.1. Deney 1	38

5.2. Deney 2	39
5.3. Deney 3	39
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	46
KAYNAKLAR	49
EKLER	51
Ek 1. İmalat Resimleri.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Farklı Kademedeki Kompresörlerin Karşılaştırılması	10
5.1. Deney Basınç ve Süre ölçümleri	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. CNG Kompresör Kesit Görüntüsü	8
3.1. Krank 3D Görünümü	14
3.2. Krank Ahşap Modellemesi.....	15
3.3. Krank Çelik Döküm	15
3.4. Hassas İşleme Yapılmış Krank	16
3.5. Biyel Kolu Kuvvet Analizi.....	17
3.6. Biyel Kolu 3D Montaj Resmi	19
3.7. Karter.....	20
3.8. Karter Kapak Delikleri.....	21
3.9. Karter 3D Tasarım.....	22
3.10. Karter Üst Görünüş	23
3.11. Konik Makaralı Rulman.....	24
3.12. Kompresör 1.Kademe Pistonu	26
3.13. Kompresör 1. ve 2. Kademe Silindir Bloğu.....	27
3.14. Klape -1.....	28
3.15. Klape -2.....	29
3.16. Klape Montaj Resmi	30
3.17. Kompresör Soğutma Sistemi.....	31
3.18. Kompresör Elektrik Panosu	33
4.1. İmalatı Yapılan Kompresör Gövdesi	35
4.2. Kompresör Şasesi.....	36
4.3. Kompresör Şasesi Montaj Resmi.....	37
5.1. Deney 2 Esnasında Basınç Göstergeleri	40
5.2. Deney 3 basınç-zaman grafiği	42
5.3. Deney Süresince Basınç Değişimi... ..	43
5.4. Deney 3 Enerji Tüketim Miktarı... ..	44
5.5. Deney 3 Ortalama Elektrik Enerji Miktarı.....	45
6.1. Kompresör Debi-Basınç İlişkisi.....	48
6.2. İmalat Kompresörü Debi-Basınç İlişkisi	48

SİMGELER DİZİNİ

I	Atalet Momenti
F	Kuvvet
M	Moment
L	Uzunluk
G	Biyel Kolu Ağırlığı
g	Yer Çekimi İvmesi
M_k	Krank Mili Burulma Momenti

KISALTMALAR DİZİNİ

CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
SAN-TEZ	Sanayi Tezleri Programı

1.GİRİŞ

Artan enerji ve yakıt maliyetleri alternatif yakıt kullanımını beraberinde gerektirmektedir. Enerjinin çok önemli ve değerli olduğu gerçeğini göz önünde bulundurarak bununla beraber insan sağlığı ve yaşam kalitesini de iyileştirecek yeni enerji kaynakları kullanımına yönelim olmuştur. Günümüzde yapılan birçok çalışmanın amacı az miktarda enerji ve yakıt harcayarak yüksek verim oranı elde etmektir.

Enerji arzında fosil kaynakların önemli yer tutması nedeniyle çevresel sorunlar daha ciddi bir boyut kazanmaktadır. Ülkemiz gibi sanayileşme sürecini henüz tamamlayamamış kalkınmakta olan ülkelerde, enerji talebi, hızlı bir artış göstermektedir. 1997’de yaklaşık 71 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) olan birincil enerji tüketimimizin, 2020 yılında 307 milyon TEP’e ulaşması beklenmektedir. Artan enerji talebini karşılayabilecek enerji arzını yaratabilme çabası içerisinde olan ülkemizin enerji politikasının temel hedefi; yerli enerji kaynaklarımızı mümkün olduğu kadar kullanmak, ekonomik kriterleri de göz önünde bulundurarak, sürekli, güvenilir ve çevre dostu enerji üretimi olmalıdır[1].

Ülkemizde motorlu taşıtlar genel olarak fosil kaynaklı yakıtlarla çalışmaktadır. Benzin ve dizel gibi yakıtların hem pahalı hem de çevreye verdikleri zararlı gazlardan dolayı ülkemiz temiz ve ekonomik yakıt arayışındadır. Bu noktada dünyada kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan Compressed Natural Gas (CNG) ülkemiz içinde temiz ve maliyetinin diğer yakıt türlerine oranla daha uygun olması sebebi ile tercih sebebi olacağı bilinmektedir.

Son istatistiklere göre Dünyada yaklaşık 7 milyonun üstünde araç CNG ile çalışmaktadır. Bu sayı giderek artmakta olup, 2020 yılında Avrupa’da 35-40 milyon arası taşıt olması beklenmektedir. CNG’ li araçlarla ilgili tahminler 2020 yılında Avrupa’da CNG’ li araç sayısı 23,5 milyon olacağı yönünde olup, bu durumda yıllık doğalgaz tüketimi 47 milyon m³’e ulaşacaktır. Avrupa da yaygınlaşacak olan bu sistem ülkemizde de gelecekte araçlarda CNG kullanımının yaygınlaşacağı anlamına

gelmektedir. Özellikle büyükşehirlerde nüfusun yoğun olduğu bölgelerde toplu taşıma araçlarında CNG kullanılması egzoz emisyonları açısından son derece önemlidir.

CNG yakıtı kullanan araçların çevreye zararı daha azdır. Dizel araçlardan 22 kat daha az karbonmonoksit atmosfere salmaktadır. CNG kullanılan motorlar daha sessiz çalışıp gürültü kirliliğini azaltmaktadır.

CNG Türkiye’de ilk kez 1990 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi otobüslerinde doğalgaz kullanımına başlanmıştır. 1994 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi kullanmaya başlamıştır. Şu anda Bursa ve Kayseri Büyükşehir Belediye otobüslerinde kullanılmaktadır. CNG hem ekonomik, hem verimli hem de çevre dostu olması sebebi birçok ilimiz de toplu taşıma araçları olarak CNG’ li araçlar tercih edilmeye başlanmıştır. Fakat ülkemizde imal edilmeyen bu yüksek basınç gaz kompresörlerinin yurt dışından yüksek maliyetlerle tedarik edilmesi, doğalgazın araçlarda kullanımının yaygınlaşmasını engellemektedir.

Ülkemizde özel CNG istasyonları sadece birkaç büyük ilimizde mevcuttur. CNG’ li özel araç sayısı ise yok denilecek kadar azdır. İstasyonların yetersizliği CNG lı araç kullanımının önündeki en büyük engeldir.

Ülkemizde eksikliği gün geçtikçe daha çok hissedilmeye başlayan CNG kompresörlerinin yerli kaynaklarla üretimi 2012 yılına kadar sağlanamamıştır. Kompresör sektörünün ülkemizde CNG üzerine yoğunlaşmamasının temel sebepleri; teşviklerin yetersizliği, CNG li araç sayısının az olması, ilk imalat maliyetinin yüksek olması şeklinde sıralayabiliriz. Fakat 2012 yılına gelindiğinde bu eksikliğin giderilmesi ve ülkemizin CNG kompresörleri konusunda yurtdışına bağımlılığını azaltmak ayrıca ülkemizde CNG kullanımının yaygınlaşmasını sağlamak üzere bazı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bunlardan en önemlisi sanayi-üniversite iş birliği kapsamında çalışmaları yapılmış olan CNG kompresör projesi ile Bilim Sanayi ve Teknoloji bakanlığına San-Tez teşvikleri kapsamında başvuruda bulunulmuştur. Başvuru sonucunda ülkemiz için büyük katkı sağlayacak olan bu proje Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından uygun bulunmuş ve 01394.STZ-2012-1 proje numarası ile San-Tez teşviği almaya hak kazanmıştır.

Proje 01.10.2012 tarihinde başlamıştır. Projenin tasarım ve analiz işleri tez öğrencisi ve proje yürütücüsü tarafından üniversitede yapılmıştır. Kompresörün imalat aşamaları ise Ostim ile Başkent Organize Sanayi Bölgelerinde proje ortağı firmanın tesislerinde gerçekleştirilmiştir.

Projenin başlaması ile birlikte San-tez projeleri dahilinde, proje maliyeti 273.550 TL olan bu projenin %75 lik mali destek kısmı Bilim Sanayi ve Teknoloji bakanlığı tarafından karşılanmıştır. Bu projenin hayata geçirilmesinde bu desteğin çok büyük bir katkısı olmuştur.

CNG kompresörü tasarımı ve imalatı projemiz 01.10.2014 tarihinde başarı ile tamamlanmıştır. Bu sayede ülkemizin ilk CNG kompresörü imalatı yapılmıştır. Şu an prototip olan bu kompresörün ilerleyen zamanlarda seri üretime geçmesi bununla da yetinilmeyip daha üst düzey modellerinin tasarım ve imalatlarının yapılması ülkemiz için çok daha yararlı olacağı kesindir.

Ülkemiz açısından düşünüldüğünde başta toplu taşıma olmak üzere, iş makinelerinde, yük taşımacılığında, özel ve ticari birçok araçta CNG rahatlıkla kullanılabilir ve enerjide dışa bağımlı olan ülkemizin enerji maliyetini azaltarak ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.

Proje sonunda oluşan bilgi birikimi, ülkemizdeki kompresör sektörümüzün de gelişmesine dolaylı olarak katkıda bulunulacaktır. Projenin gerçekleşmesi ve geliştirilmesine paralel olarak, ürün çeşidi ve üretim miktarında beklenen artış, yeni işgücü ihtiyacını doğuracaktır. Bunun sonucu olarak da, işletmede daha fazla nitelikli işgücü istihdam etme olanağını ortaya çıkacaktır.

1.1. Literatür Araştırması

CNG uygulamaları ve yüksek basınçlı kompresörlerle ilgili literatürde bazı çalışmalar yapılmıştır. Doğalgaz için ekipman ve cihazların detaylı incelemeleri ve bu cihazların çalışma prensipleri araştırılmıştır. Özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan

doğalgaz cihazları belirlenmiş verimli gaz kompresörleri incelenmiştir [2]. Yüksek kapasitede (basınç ve debi) doğal gaz kompresörü dizaynı ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmıştır. Kompresör parçaları ve özelliklerin iyileştirilmesi konuları ele alınmıştır [3]. CNG kullanılan istasyonlar için yüksek basınçlı gaz kompresörü dizayn ve geliştirmesi çalışması yapılmıştır. Yakıt olarak CNG kullanan araç sayısının artması ile önemi artan CNG dolum istasyonlarının dizaynları ve kurulum yöntemleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. CNG istasyonlarının geliştirilmesi ve hizmet kalitesinin artırılmasını sağlayacak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. CNG istasyonu dizayn ve geliştirilmesinin ekonomiye katkısı incelenmiştir [4].

Hava ve doğal gaz kullanılarak kompresörlerdeki gaz dinamiği testleri yapılmıştır. Bu çalışmada kompresörde hava ve gaz sıkıştırılarak başta debi olmak üzere birçok değişimi analitik ve deneysel olarak belirlenmiştir [5]. Yüksek basınçlı vidalı gaz kompresörleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Vidalı kompresörlerin tarihçesi ve teknolojik imkanlarla birlikte gelişimi konusu anlatılmıştır. Vidalı kompresörlerin bileşenleri ve çalışma sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada vidalı kompresördeki basınç değerleri çeşitli durumlarda grafiklerle gösterilmiştir. Vidalı kompresörlerin tercih edilme sebepleri ve kullanım alanları konusunda bilgiler verilmiştir [6].

Yüksek basınç kompresörlerin çalışma sırasındaki basınç dağılımıyla ilgili deneysel bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sırasında 5 kademeli bir yüksek basınç kompresörünün değişik şartlarda basınç dağılımları tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen basınç dağılımları karşılaştırılarak yüksek basınçlarda kompresörün ve gazın davranışları hakkında bilgiler elde edilmiştir [7]. İçten yanmalı motorlar için yüksek basınç kompresörü geliştirmesi çalışmaları yapılmıştır. Yüksek basınç oranı ses üstü akışlara neden olmakta ve kompresör dizaynını değiştirmektedir [8]. Çok kademeli yüksek basınç kompresörlerinin performansı araştırılmıştır. Kademeler arasında akışkanın soğutulması ve yüksek basınçlarda akışkanın davranışları incelenmiştir. Kademeler arasında meydana gelen kayıplar incelenmiş ve bu kayıpları en aza indirecek yöntemler konusunda fikirler ortaya koyulmuştur [9]. Yüksek basınç kompresörlerinde yüksek yoğunluk seviyesindeki akışkanın sıkıştırılması durumunda kompresör ekipmanlarının davranışları ve basınç

karakteristikleri sonlu eleman analizleri ile sayısal olarak belirlenmiştir. Yüksek basınç gaz kompresörü dizayn şartları olarak 425 bar basınç, gaz sıcaklık aralığı -50,160 °C alınarak dizayn yapılmış 16 gün boyunca yapılan çeşitli testlerin sonuçları verilmiştir [10]. Gaz enjeksiyonu için aşırı yüksek basınçlarda kullanılan santrifüj kompresörlerin kuru gaz sızdırmazlık çözüm yöntemleri incelenmiştir. Yüksek basınçlı doğalgaz kompresörlerinin sızdırmazlık elemanları bilgisayar ortamında tasarlanmış ve bilgisayar programları ile analizleri yapılmıştır. Yüksek basınçlarda optimum güvenlik ve verimi sağlayacak sızdırmazlık elemanları konusunda Ar-Ge çalışmaları yapılmıştır [11]. Bu çalışmada, bir santrifüj kompresör içerisindeki 3-boyutlu akış incelenmesi, akışın kararlı, sıkıştırılmaz ve viskoz akış kabulüyle nümerik olarak incelenmesi yapılmıştır. Bir kompresör içerisindeki akışın fiziğinin anlaşılmasının yanında, bu kayıplardan kurtulmanın yolları incelenmiştir. 3-boyutlu ölçümler yapılmış olup, kararsız akış yapısına sahip olan kompresör ve difüzördeki türbülans modellemesinin yapılmasının önemi vurgulanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, mevcut deneysel verilerle karşılaştırılarak aralarındaki paralellik araştırılmış ve aralarındaki uyum gözlemlenmiştir [12]. Bir kompresör gövdesi imalatının toz metalurjisi ve difüzyon kaynağı yöntemleri uygulanarak optimizasyonu çalışmalarına yapılmıştır. Sıcaklığın yükselmesinin kaynak dikişinin kesme dayanımı ve sertlik değerleri üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir [13].

CNG kompresörleri ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde bu konuda sınırlı sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Bunun sebebi CNG kompresörlerinin güncelliği ve öneminin son zamanlarda anlaşılmaya başlanmasıdır. Dünyanın birçok ülkesinde CNG kullanılmasına karşın bu konuda akademik çalışma ve bilgi akışı çok düşüktür.

CNG kompresörlerini oluşturan hemen hemen bütün bileşenler hakkında literatür çalışmaları olmasına karşın bu çalışmaların kompresör için bir bütün oluşturacak kısımları sınırlıdır.

San-Tez projesi kapsamında hazırlanmış bu tez ile literatürde bulunan CNG kompresörleri konusundaki eksikliğin de giderilmesi amaçlanmıştır. Zira CNG kompresörleri artan enerji maliyetleri ve çevre kirliliği sorununun önüne geçecek temiz ve tasarruflu enerji olmasından dolayı güncelliğini koruyan bir konudur.

Bu çalışmada literatürde bulunan diğer çalışmalardan farklı olarak bir CNG kompresörünün tasarımı ve imalat aşamalarının tamamına yer verilmiş, CNG kompresörleri bileşenleri ve imalat aşamaları detaylı olarak anlatılmıştır. Kompresörün imalatı gerçekleştirilerek bu kompresörün CNG tankına gaz dolumu deney çalışmaları yapılmıştır.

Tez çalışması yapılan kompresör ev tipi kompresör olması sebebi ile yüksek basınç ve düşük debi ile çalışan bir kompresörün çalışma parametrelerinin incelenmesi sağlanmıştır.

1.2 Kompresör Tipleri ve Çalışma Prensipleri

Kompresörler görevleri itibari ile çalışma prensiplerine, basınçlarına, debilerine, kullanılan gaz türlerine göre sınıflandırılabilir. Örneğin çalışma prensiplerine göre sınıflandıracak olursak pozitif yer değiştirmeli ve rotadinamik kompresörler olarak iki ana grupta toplayabiliriz. Burada pozitif yer değiştirmeli kompresörler hareketli elemanları vasıtası ile hacimsel değişimler meydana getirerek gazın emilmesi ve sıkıştırarak basıncının yükseltilmesi sağlayan kompresörlerdir. Bu tip kompresörlere pistonlu, vidalı kompresörler örnek olarak verilebilir. Rotadinamik kompresörler ise bir çark yardımı ile gazın hızlandırılması ve bu sayede hızlanan gazın basıncının da artması sağlanmış olur. Çark çıkışında havanın bir salyangoz bünyesinde toplanarak oluşan kinetik enerjinin, basınç enerjisine dönüşmesi durumunda kompresör görevi yapmış olur ve türbo kompresör adını alır. Bu tür kompresörler yüksek debi değerlerine ve alçak basınçlara sahip olan yüksek devir sayıları ile çalışan gaz türbinlerinde kullanılır.

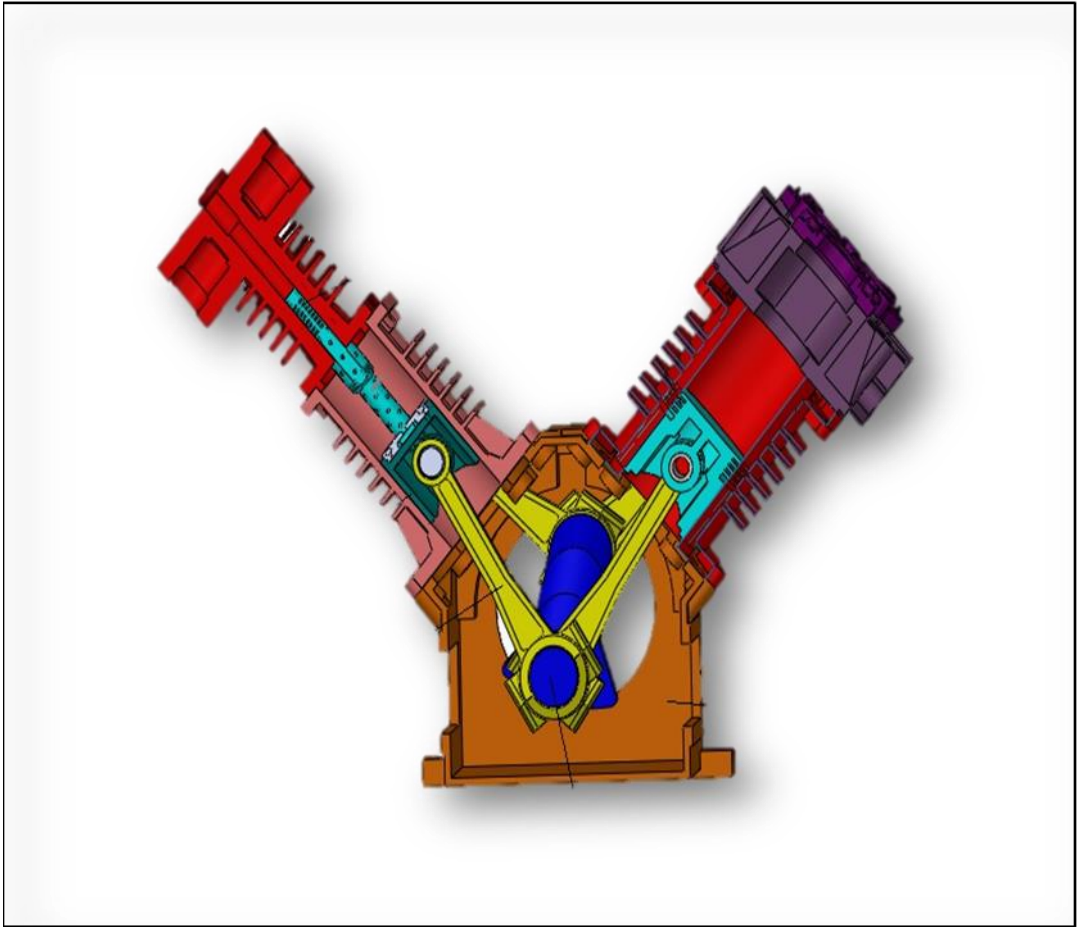
Kompresörler sağladıkları basınçlara göre; alçak basınç (3-25 bar), orta basınç (25-100 bar), yüksek basınç (100-500 bar), hiper basınç (500 bar üstü) olarak sınırlandırılabilirken; debilerine göre de alçak debili (160 m³/h altı), orta debili (160-4000 m³/h arası), yüksek debili (4000 m³/h üstü) olarak sınırlandırılabilir [14].

Kompresörler sıkıştırılan gaz türüne göre de sınırlandırılabilir. Kompresörler farklı tip ve özellikteki gazları sıkıştırmak için kullanılabilirken; çoğunlukla hava, azot, doğalgaz, hidrojen gibi kullanımı yaygın olan gazlar tercih edilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında tasarımı ve imalatı yapılan kompresör pozitif yer değiştirmeli sınıfından olan pistonlu kompresördür. Basınç değeri yönünden yüksek basınçlı, debi değeri yönünden ise alçak debili doğalgaz kompresördür.

2. CNG KOMPRESÖRLERİ

CNG (sıkıştırılmış doğalgaz) yüksek basınç değerlerinde sıkıştırıldığı için pistonlu kompresörler daha verimli çalışmaktadır. CNG sıkıştırılırken doğalgazın kompresöre giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı yüksektir. Bu yüksek basınç farkını pistonlu tip kompresörlerle sağlamak soğutma açısından da önem arz etmektedir. Bu çalışmada tasarımı yapılan kompresörün üç boyutlu kesiti Şekil 1.1 verilmiştir.



Şekil 1.1. CNG Kompresör kesit görüntüsü

Şekil 1.1'deki kompresör elektrik motorundan hareket enerjisini alarak krankın dönmesini sağlamaktadır. Biyel kollarını vasıtasıyla pistonların emme ve basma

işlemlerini yapmasını sağlayarak gazı sıkıştırmaktadır. Sıkıştırılmış olan bu gaz ise tanka iletilerek depolanır.

Bütün pistonlu kompresörler çalışma prensibi olarak benzer özellikler göstermelerine karşın, yapı olarak bazı temel farklılıklara da sahip olabilirler. Örneğin kademe sayısı, soğutma sistemi, elektrik motorunun gövdeye bağlantı şekli gibi farklılıklar olabilir. Özellikle CNG gibi yüksek basınç gerektiren kompresörlerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç, yüksek devir gibi durumlara karşı özel önlemler almak gerekmektedir. Bu önlemler alınırken hem makinanın özellik, dayanım ve kalitesinden ödün vermemek hem de en uygun maliyetle imalatını gerçekleştirmek gerekmektedir.

2.1.Kompresör Kademe Sayısının Belirlenmesi

Pistonlu CNG kompresörleri genellikle gazın sıkıştırılması prensibine dayanılarak, üç ve dört kademeli olarak imal edilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus kompresörde bulunan silindir sayısı her zaman kademe sayısı ile aynı olmayabilir. Örneğin üç silindirli olup dört kademeli kompresör olduğu gibi; dört silindirli üç kademeli kompresörler de mevcuttur. Buradaki temel amaç gazın basıncının kaç farklı kademe de artırıldığı ya da debinin ne kadar artırılmak istendiğidir. Kademe sayısı belirlenirken elde etmek istenen özellikler ve gerekli ihtiyaçlar önemlidir. Çizelge (2.1) de üç ve dört kademeli CNG kompresörlerin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması verilmiştir. Görüleceği üzere iki farklı tip kompresörün de birbirlerine üstün oldukları kısımlar vardır. Bu sebeple üretim şekli, kullanılacak yer, istenen debi, bütçe göz önüne alınarak imal edilecek kompresör kademesi seçilmektedir.

Çizelge 2.1 Farklı kademedeki kompresörlerin karşılaştırılması [16]

3 Kademeli CNG Kompresörü Avantajları	3 Kademeli CNG Kompresörü Dezavantajları	4 Kademeli CNG Kompresörü Avantajları	4 Kademeli CNG Kompresörü Dezavantajları
Daha az kademedeki yüksek basınçlara çıkabilmektedir.	Silindir Yüzeyleri daha çok ısınır ve soğutma yükü artar.	Kademeler arası soğutma sayısı fazla olduğu için gaz sıcaklığı düşürülerek basınç artırma işleminden daha fazla verim elde edilir.	Kademeler arası gaz soğutması kademe sayısından dolayı 1 adet fazladır. Bu durum maliyeti bir miktar artırmaktadır.
4 kademeli kompresöre oranla ilave silindir ve piston gerekmez.	Ülkemiz gibi sıcaklık değerleri yüksek olan ülkeler için 3 kademeli kompresör soğutma sorununu beraberinde getirmektedir	Ülkemiz gibi sıcaklık değerleri yüksek olan ülkeler için 4 kademeli kompresör kullanımı daha uygundur.	3 kademeli kompresöre oranla ilave silindir ve piston gerekir.
İstenilen debi ve yüksek basınçlara ulaşılmasını sağlar.	Kademeler arası soğutma sayısı düşüktür.	Silindir Yüzeyleri daha az ısınır ve daha az deforme olur.	3. ve 4. Kademe sıkıştırma işlemleri birbirine bağlı iki piston ile sağlanmaktadır.

Kademe sayısının belirlenmesinde soğutma yöntemi de önemli rol oynamaktadır. Zira soğutma sisteminin çok iyi ve etkili olması daha az kademedeki, daha yüksek devir elde edilmiştir. Kompresörlerin çalışacağı ortamların sıcaklığı da oldukça önemlidir. Sıcak ortamlarda çalışacak olan kompresörlerin dört kademeli olması daha uygun olacaktır. Bu sayede ara soğutma sayısı artar ve sıkıştırma oranının da düşük olması sayesinde kompresörde aşırı ısınmanın önüne geçilmiş olur.

Debinin ayarlanmasındaki en önemli etmenlerden biri olan devir sayısının artması yüksek sıcaklık değerlerini beraberinde getirmekte, soğutma ihtiyacı artmaktadır. Ticari amaçlı olarak kullanılan kompresörlerde devir sayıları yüksek tutulur ve artan sıcaklığa karşı su ve soğutucu akışkan kullanılarak soğutma sağlanır. Ancak ticari

amaçlı olmayan kompresörler için zaman sıkıntısı olmadığı için düşük devir sayılarında dolayısı ile düşük debide gaz sıkıştırma işlemi yapılabilir.

Proje kapsamında imal edilecek kompresör 4 kademeli olarak belirlenmiştir. Bu seçim yapılırken soğutma yükünün az olması durumu göz önüne alınmıştır. Her kademe farklı bir silindir içerisinde olacak şekilde imal edilmiştir.

3. SİSTEM TASARIMI

Çalışmada tasarımı ve imalatı yapılan kompresöre elektrik motoruyla hareket verilir, bu hareket kayış kasnak sistemi ile karter içerisinde bulunan kranka aktarılır. Kranka bağlı olan biyel kolları krankın dönme hareketinden yararlanarak, kafa kısımlarında bağlı olan pistonu silindir içerisinde emme ve basma işlemlerini yapacak şekilde hareket ettirir. Bu işlem kademeler arasında devam eder. Gaz kademeler arasında radyatör ve fan vasıtası ile soğutulur. Kompresörün çalışma prensibinden de anlaşılacağı üzere kompresör, elektrik motoru, piston, krank mili, biyel kolu, rulman, kayış, kasnak, klape, radyatör, fan ve silindir gövdelerinden oluşmaktadır.

Tasarımı yapılan kompresörde 18.5 kW güçte elektrik motoru kullanılmıştır. 4 kademeli olan bu yüksek basınç kompresöründe 1. ve 2. kademelerin bulunduğu silindir gövdesi ile 3. ve 4. kademelerin buldukları silindir gövdeleri arasındaki açı 90° olacak şekilde ayarlanmıştır.

Kompresörü sistemini oluşturan parçaları gruplandırılmak istenirse; krank-biyel mekanizma grubu, piston ve silindir grupları, gaz emme ve basma grupları, soğutma grubu, elektrik aksamı olarak gruplandırılabilir. Kompresör mekanizmalar bütünü bir makine olduğu için yapılan işler bakımından ana gruplar halinde incelemek daha uygun olacaktır. Krank biyel mekanizması elektrik motorundan aldığı hareket enerjisini kullanan elemanlar grubudur. Piston ve silindirler asıl sıkıştırma ve basınçlandırma işlemlerinin yapıldığı gruptur. Emme ve basma grupları ise gazın kompresöre girme çıkma işlemlerinin yapıldığı gruplardır. Soğutma grubu silindir piston grubunda sıkıştırılan gazın sıcaklığını azaltmak ve kompresör parçalarının aşırı ısınmasını önleyen sistemlerdir. Elektrik aksamı ise başta elektrik motoru olmak üzere, cihaz kontrol ünitelerinin bulunduğu elektrik panosundan oluşur.

3.1. Krank Biyel Mekanizma Grubu

Krank biyel mekanizma grubu içerisinde; krank, biyel kolları, karter bloğu, rulmanlar bulunmaktadır. Krank-biyel mekanizması yüksek basınç gaz kompresörleri açısından çok önemli bir yere sahiptir. Motordan kayış-kasnak mekanizması ile alınan hareket enerjini pistonların doğalgazı sıkıştırması arasında görev yapan mekanizmadır.

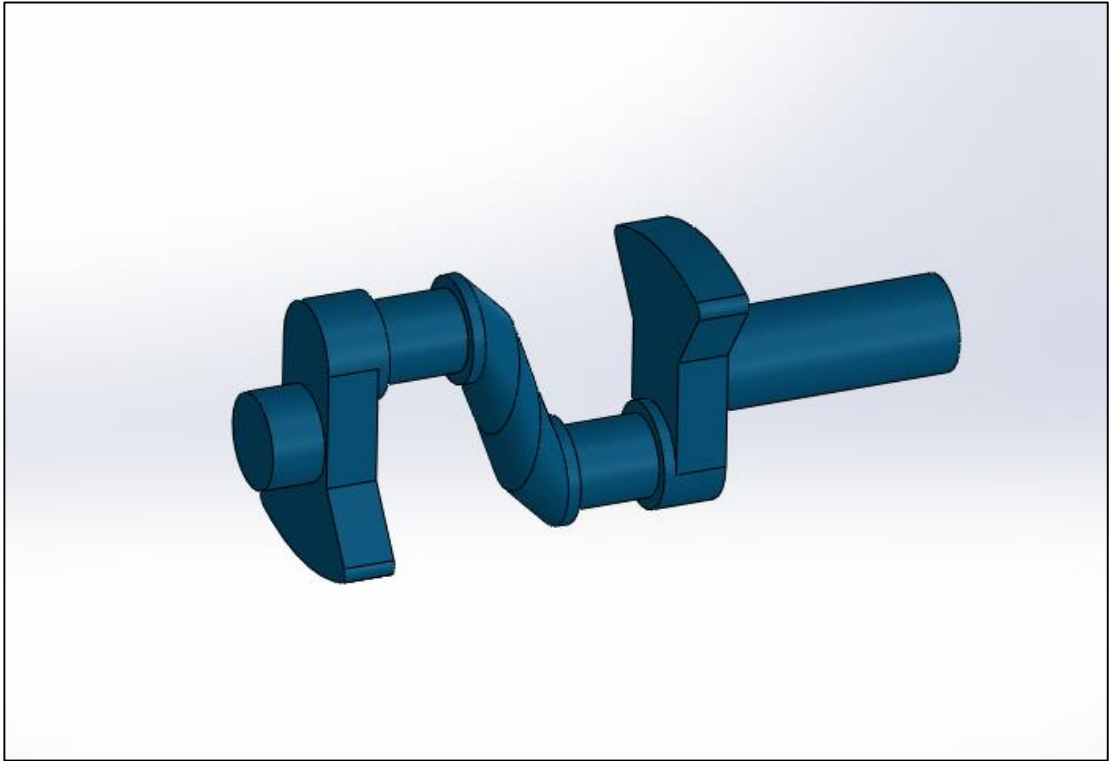
3.1.1. Krank

Krank tahrik motordan kayış kasnak sistemi vasıtasıyla aldığı hareket ile dairesel dönme hareketi yapar. Kranka bağlı olan biyel kolları aracılığıyla pistonların da silindir içerisinde doğrusal hareket yaparak gazı sıkıştırmalarına yardımcı olan parçadır. Krank özellikle silindir gruplarının çok sayıda ve karter üzerinde belirli bir açı ile bulunduğu kompresörlerde ciddi ve kritik bir öneme sahiptir. İmalatı yapılmış olan kompresör de 4 kademelidir ve 1. ve 2. kademe karter gövdesinin 45° lik açı ile bir tarafında yer alırken 3. ve 4. kademe de 45° lik açı ile karterin diğer tarafında yer almaktadır. Krankın dönmesi ile beraber bu durum krank üzerinde zamana bağlı olarak farklı gerilme ve burulma değerlerine sebep olmaktadır. Krankın bu deformasyonlara karşı koyabilmesi için malzemesinin dayanıklı olması gerekir. Ayrıca tasarım ahşap modelleri ve dökümünün de kaliteli olması gerekmektedir. İmalatı yapılmış olan bu kompresörde krank ilk önce dökme demirden imal edilmiştir. Ancak malzeme dayanımının daha yüksek olması gerektiği düşünülerek döküm işlemi ikinci kez ve yüksek dayanama sahip çelik kullanılarak yapılmıştır.

Döküm işleminden sonra krank tornalama başta olmak üzere bir dizi biçimlendirme işleminden geçirilerek istenilen boyutlara getirilmiştir. Isıl işleminin de yapılması eğilme, burulma gibi deformasyona sebep olacak etmenlerin de önüne geçilmesi açısından önemlidir. Biyele bağlı olan yataklar sertleştirilir. Sertleştirme sonrası muylular taşlanarak parlatılır. Böylece sertleştirilmiş ve parlatılmış yüzeyler sürtünmeye karşı dayanıklılık kazanmış olur. Krank iç kısımlarının da yumuşak olarak kalması burulma ve darbelere karşı esneklik sağlar.

Krank mekanizmasının imalat aşamaları; Krankın boyutlandırılması, 2D ve 3D imalat resimlerinin çıkartılması, döküm öncesi imalat resimleri yardımıyla ahşap modellerinin çıkartılması, döküm işleminin yapılması, krank üzerinde hassas işlemlerin yapılması şeklinde sıralayabilir. Şekil (3.1) de boyutlandırması yapılmış olan krankın 3D görüntüsü verilmiştir. Krank tek parça olarak ağırlıkları kendi üzerinde olacak şekilde tasarlanmıştır.

Krank mili, her iki ucundan sıkı geçme olarak geçirilen rulmanlar ile kompresör bloğunun iç kısmına krank mili merkezlenecek şekilde rulman yatakları yapılmıştır. Bu şekilde krank milinden dışarıya hareket alırken ortaya çıkan sızdırmazlık problemi birbirine ters 2 adet keçe konularak ortadan kaldırılmıştır [14].



Şekil 3.1. Krank 3D Görünümü

İmalat resimleri hazırlanan krankın döküm işleminin gerçekleştirilebilmesi için önce Şekil 3.2 de görüldüğü üzere ahşap modellemesi yapılmıştır. Ahşap modeller bilgisayar kontrollü tezgahlarda yapılmıştır.



Şekil 3.2. Krank ahşap modellemesi

Ahşap model oluşturulduktan sonra krank döküm işlemine hazır bulunmaktadır. Krank döküm işlemi çelik malzemedan yapılmıştır ve döküm sonrasında Şekil 3.3 deki halini almıştır.



Şekil 3.3. Krank çelik döküm

Krank kompresörün çok önemli ve hassas parçasıdır. Döküm işleminden sonra krankın özellikle biyel kollarının bağlandığı kısımlar ile dönme hareketine maruz kalan kısımları hassas olarak işlenerek Şekil 3.4 deki gibi montaja hazır hale gelmektedir.



Şekil 3.4. Hassas İşleme Yapılmış Krank

3.1.2. Biyel Kolları

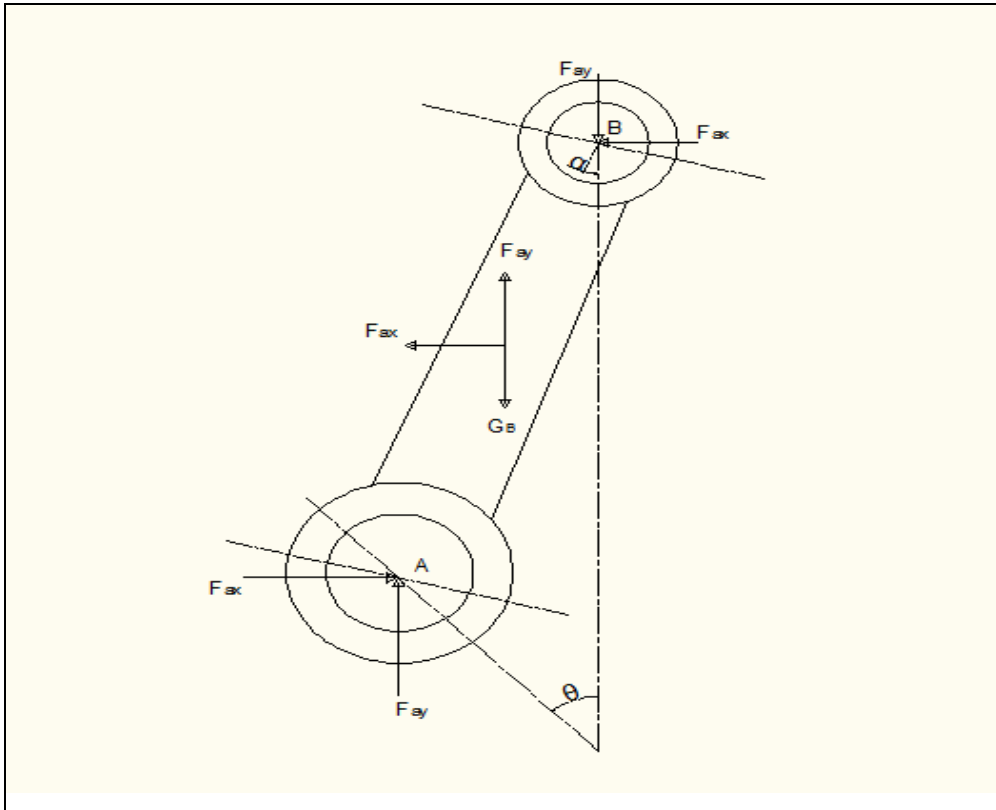
Biyel kolları otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Pistonu kompresörler de bu sektörlerden birisidir. Biyel kollarının kullanım alanları farklı olmasına rağmen, çalışma mekanizmaları benzerlik göstermektedir. Farklılıkları oluşturan etmenler ise malzeme seçimi, boyutlandırılması ve bağlantı biçimleridir. Örneğin biyel kolu tek parçadan oluşabileceği gibi, imalatı yapılan kompresörde olduğu gibi montaj yapılacak yere uygun olacak şekilde krank bağlantı bölgesi iki parçalı olarak da yapılabilir.

Biyel kolları kompresörün çalışması esnasında basınçlı gazın piston yüzeyine etki ettiği basınç kuvvetini taşıması gerektiği gibi oluşacak atalet ve momentlere, eğilme

ve burulmalara karşı mukavemet gösterecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu durum sağlanırken biyel kolunun krank üzerindeki atalet kuvvetlerinin payını en aza indirmek için hafif olması gerekmektedir.

3.1.2.1. Biyel Kolu Kuvvet Analizi

Biyel kolları kompresör içerisinde yüksek ve değişken kuvvet değerlerine maruz kalan parçalardan birisidir. Biyel kolları basma sırasında pistonun gazı yüksek basınçlara çıkarması neticesinde F_{ax} ve F_{ay} bileşenlerine sahip bir kuvvete maruz kalmaktadır. Kompresörün emme işlemi sırasında da piston üzerinden gelen yük azalırken krank tarafından bir kuvvet uygulanmaktadır. Biyel kolunun kendi ağırlığı da göz önüne alınarak yapılan hesaplamada Şekil 3.5 te belirtilen kuvvetlere karşı biyel kollarının mukavemetli olması istenir.



Şekil 3.5. Biyel kolu kuvvet analizi

Biyel kütlelerinin tamamının kendi ağırlık merkezinde toplandığı kabul edilerek,

Biyel kütleli atalet momenti;

$$I_{AB} = \frac{m.L^2}{12} + m.d^2 \quad (\text{kg/m}^2) \quad (3.1)$$

$$M_0 = I_{AB} \cdot \alpha_{AB} \quad (\text{Nm}) \quad (3.2)$$

$$F_{Gx} = m_B \cdot a_{0x} \quad (\text{N}) \quad (3.3)$$

$$F_{Gy} = m_B \cdot a_{0y} \quad (\text{N}) \quad (3.4)$$

$$G_B = m_B \cdot g \quad (\text{N}) \quad (3.5)$$

$$\sum M_{B=0} \quad (3.6)$$

$$L(F_{Gy} - G_B) \sin \alpha + L \cdot F_{Gx} \cdot \cos \alpha - M_0 - L \cdot F_{Bx} \cdot \sin \alpha + L \cdot F_{Bx} \cdot \cos \alpha = 0 \quad (3.7)$$

$$\sum F_x = 0 \quad (3.8)$$

$$F_{Ax} - F_{Bx} - F_{Gx} = 0 \quad (3.9)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (3.10)$$

$$F_{Ay} - F_{Gy} - F_B - F_{By} = 0 \quad (3.11)$$

Krank mili burulma momenti

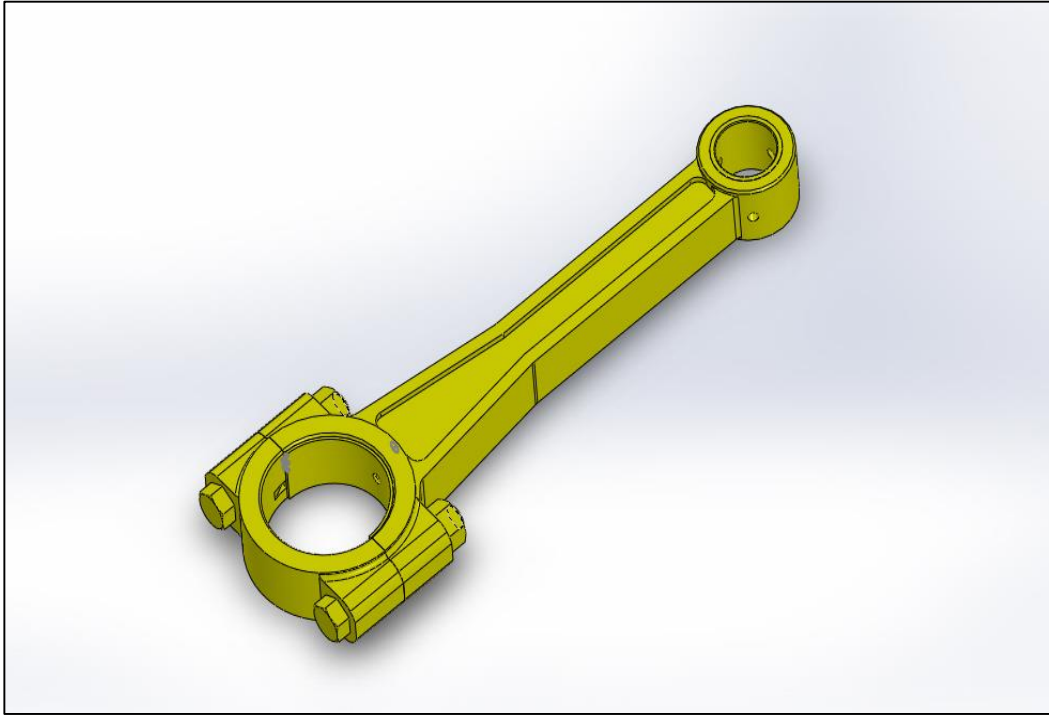
$$M_k = R \cdot (F_{Ay} \cdot \sin \theta + F_{Ax} \cdot \cos \theta) \quad (\text{Nm}) \quad (3.12)$$

Biyel çalışma esnasında basma, çekme, eğilme kuvvetlerine maruz kalır ve bu kuvvetlere karşı emniyetli bölgede kalacak özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Yüksek basınç kompresöründe biyel kolları 1. ve 2. kademe pistonlarına direkt olarak bağlanırken, 3. ve 4. kademe yüksek basınç pistonlarına direkt bağlanmamakta, yataklamayı sağlayan pistonlara bağlanmaktadır.

Biyel kollarının piston perno pimleri ile bağlantısını sağlayan kısımlarında bronz burç kullanılmaktadır. Bu sayede piston perno pimleri yataklanması sağlanmış olmaktadır. Ayrıca biyel kolundaki bozulma ve hasar görme ihtimalinin de önüne geçilmiş olur.

İmalatı yapılan kompresördeki bütün kademelere ait biyel kolları aynı boyutlarda ayarlanmış fakat piyasadaki biyel kollarından farklılık gösteren ölçülerde olması sebebi ile imalatı özel olarak yapılmıştır. Ölçüleri ve imalat resimleri çıkarılmış olan biyel kolları iki parçalı olarak ahşap modellemesi ve dökümü yapılmıştır. Dökümden gelen biyel kolları gerekli kısımları işlenmiş ve montaja hazır hale gelmiştir. Şekil 3.6 te biyel kollarına ait 3D çizimin görüntüsü verilmiştir.

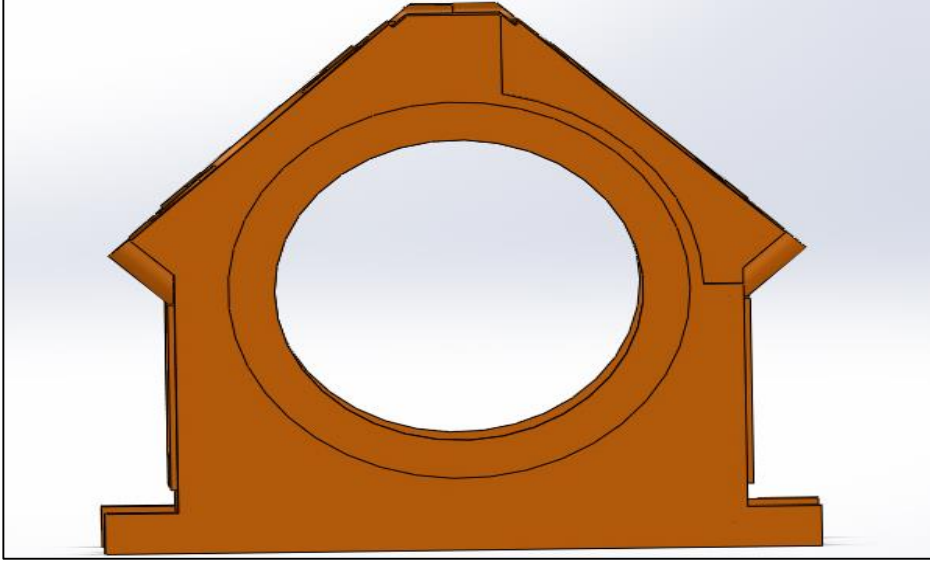


Şekil 3.6. Biyel Kolu 3D Montaj Resmi

Şekil 3.6 te görüldüğü üzere imalatı yapılan kompresöre ait biyel kollarının iki parçalı olarak üretilmesi sonrasında montajı civata ve somun ile yapılmıştır. Ayrıca biyel kollarına yapılacak ek bir aparat civataların bağlanma yerlerine takılarak, karter içerisine doldurulacak olan yağın çarpma ile yağlama etkinliğinin artırılması sağlanabilir.

3.1.3 Karter Bloğu

Karter bloğunu kompresörün birçok önemli parçasının montajının yapıldığı ana blok olarak tarif edilebilir. Karter bloğu içerisine; krank, biyel, rulmanlar gibi önemli parçalar montaj edilirken; karter bloğunun üstüne ve yanlarına da karter kapakları, üst kısımlara da silindir bloklarının montajı yapılır. Karter dizaynı yapılırken dikkat edilecek önemli konular; silindir gruplarının hangi açı değerinde karter gövdesine yerleştirileceği, sağ ve sol tarafa ait eksen kaçıklıklarının belirlenmesidir. İmalatı gerçekleştirilmiş kompresörün silindir grupları arasındaki açı 90° olarak belirlenmiş ve şekil 3.7 deki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 3.7 Karter

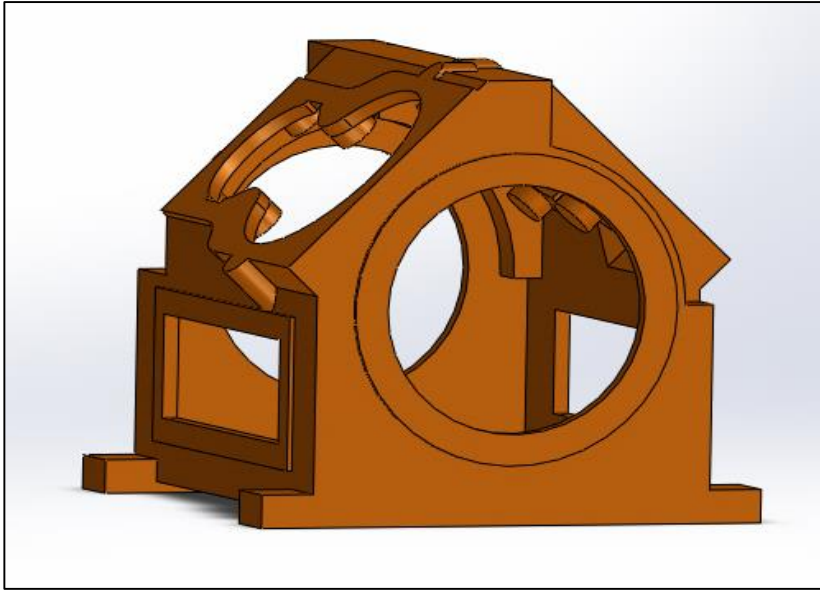
Karter bloğunun krank-biyel mekanizmasında, yüksek güç ve hareket içerisindeki parçaların montajlarının buraya yapılıyor olmasından dolayı, titreşim başta olmak üzere mekanik zedelenmelere yol açabilecek durumlar göz önüne alınarak, malzemenin kaliteli bir döküm ile imal edilmesi gerekmektedir.

Krank biyel mekanizmasının çalışması sırasında karter bloğu iç kısmına temas etmeden çalışmasını sağlanacak şekilde tasarlanmalı ve bu şekilde imal edilmelidir.

Yüksek devirlerde çalışan kompresörlerde; kompresörün sistematik olarak çalışması sebebi ile herhangi bir temas olması durumunda kompresör çalışmasında aksama ve arızalara sebep olabilmektedir. Ayrıca bu durum kompresörün deforme olmasını ve daha yüksek ses seviyelerine çıkmasına sebep olabilmektedir.

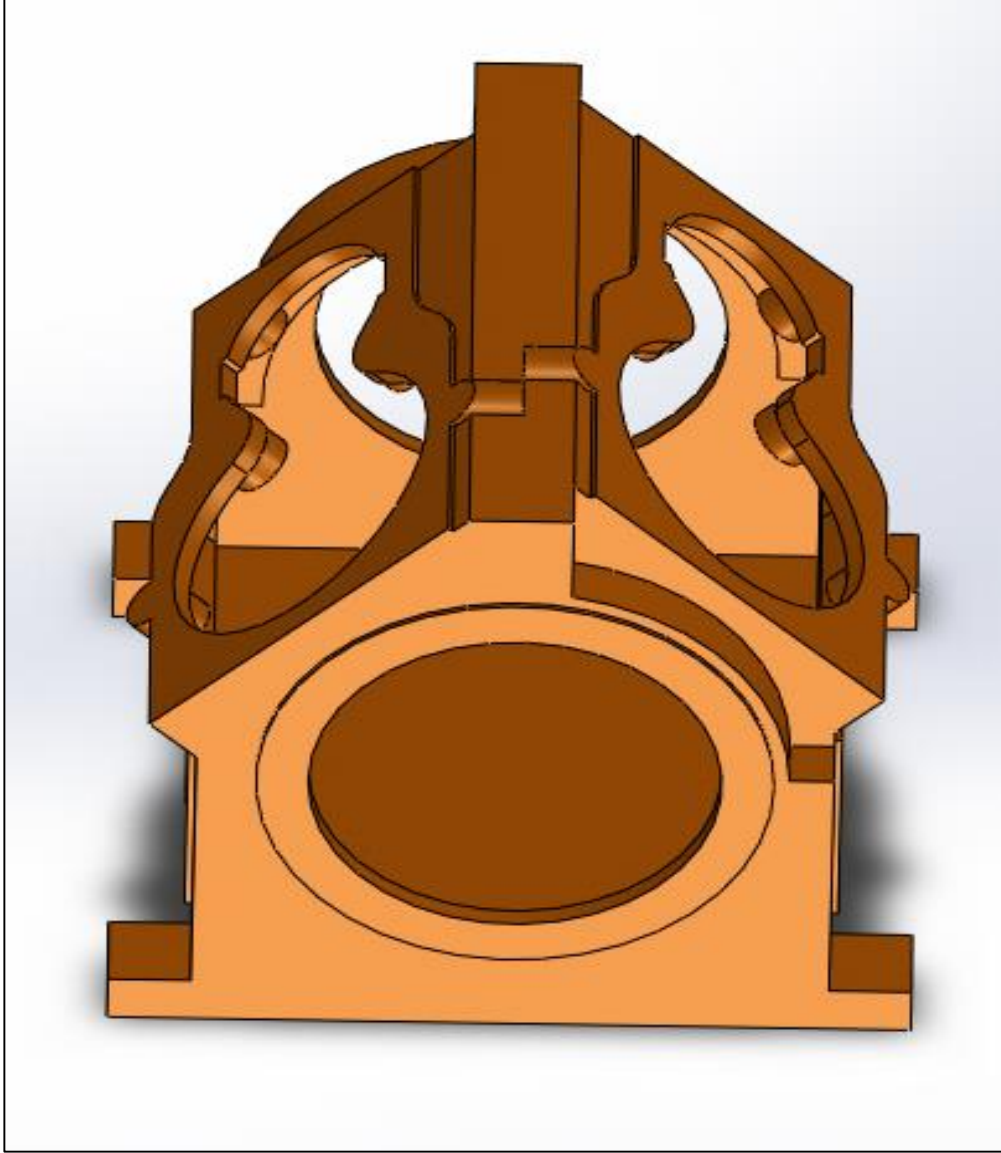
Karter içerisine doldurulacak olan yağın, çarpma ile en uygun yağlamayı sağlayacak geometriye sahip olmasını sağlamak önemlidir. Kompresör içerisinde yağ seviyesinin önemi çok büyüktür. Yağın eksik olması durumunda krank, biyel ve pistonlar yeterince yağlanamaz. Bu durum aşınmalara yol açtığı gibi sıcaklığın artması sorununu da oluşturur. Ayrıca yağlama sayesinde kompresör parçalarının temizlenmesini de sağladığı için önemlidir.

Karter kapaklarının yeri belirlenirken krank-biyel mekanizmalarının montajının kolay ve rahatlıkla yapılabileceği alanlara takılması ve ölçülerinin de uygun boyutlarda olması gerekir. İmalatı gerçekleşen kompresörde yan kapaklar krank ve biyel kollarının montajı açısından önemli yere sahiptir. Bu amaçla kartere iki adet dikdörtgen yan kapak yeri, krankın ön ve arka kısımlarına da iki adet silindirik kapak yeri olmak üzere karter imal edilirken Şekil 3.8 deki gibi toplamda dört adet kapak yeri açılmıştır.



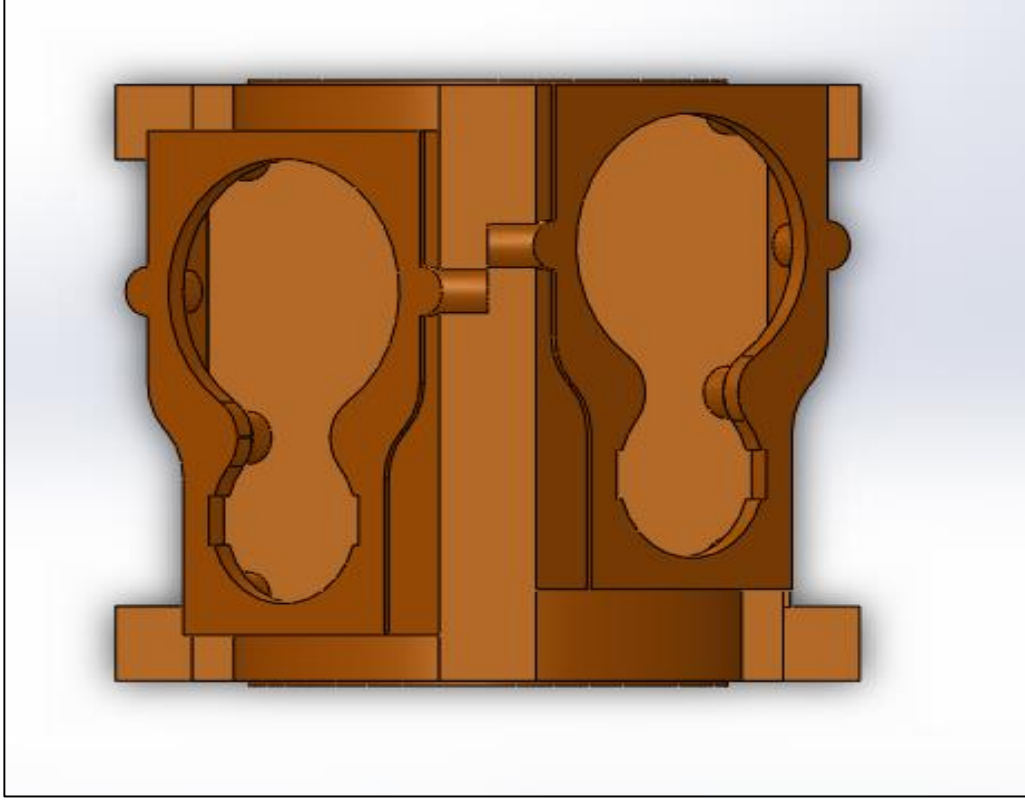
Şekil 3.8 Karter kapak delikleri

Bu önemli durumlar göz önüne alınarak yapılmış olan karter bloğu 3D dizaynı Şekil 3.9 te verilmiştir.



Şekil 3.9. Karter 3D tasarım

Karterde Şekil 3.10 de görüleceği üzere silindir bloklarının montajında cıvata bağlantılarının yapılacağı kısımlarda cıvatanın daha mukavemetli olarak bağlanmasını ve bağlantı yerlerindeki riskin azaltılması için düğme yerleri ilavesi yapılmıştır.



Şekil 3.10. Karter üst görünüş

3.1.4 . Rulmanlar

Rulmanlar güçten en az kayıp ile verilmesi gereken hareketin mümkün olan en az sürtünmeyle verilererek iletimini sağlayan ekipmanlardır. Rulmanlar kullanım yerlerine ve ihtiyaçlara göre çeşitlilik göstermektedir.

Konik makaralı rulmanlar, konik yuvarlanma yolları olan iç ve dış bileziklerden ve kafesli konik makaralardan oluşurlar. Bu rulmanlar parçalarına ayrılabilir Şekil 3.11 da görüleceği üzere iç bilezik masuralar ve kafesle birlikte dış bilezikten ayrı olarak monte edilebilir. Konik makaralı rulmanlar, yüksek radyal yüklerin yanında tek bir yönden gelen aksenal yükleri de karşılayabilirler. Karşı yönden gelen aksenal kuvvetlerin karşılanması için ise normalde ikinci bir rulmanın simetrik olarak yataklamada yer alması gerekmektedir. İmalatı yapılan kompresörde de yüksek yük kapasitesine sahip olan 2 adet konik rulman kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Konik makaralı rulman

3.2. Piston ve Silindir Grupları

Kompresörlerde silindir ve pistonlar basınçlandırmanın asıl olarak yapıldığı kısımları oluştururlar. Kompresörün kademeli olmasından dolayı dört silindir piston grubu farklı boyuttadır. Silindir piston çapları küçüldükçe basınç artmaktadır. Fakat çaplardaki küçülme beraberinde sıcaklık artışı, daha fazla güç sarfiyatı, malzeme deformasyon gibi sorunları da beraberinde getireceğine, basınç artırılmak istenirken bu durumların da göz önüne alınarak tasarımının yapılması gerekmektedir.

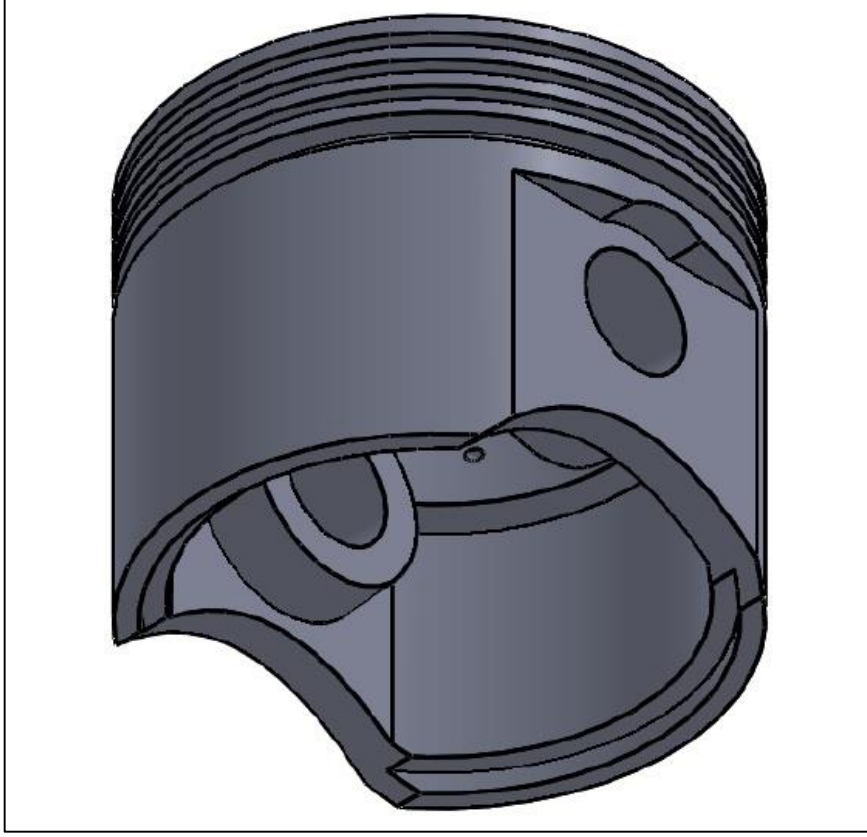
3.2.1 Piston Grupları

Pistonlar sıkıştırma işlemi yaparak gazın basıncını artıran elemanlardır. Sıkıştırma esnasında artan basınç ile pistonların üst yüzey sıcaklıkları yüksek değerlere ulaşır. Pistonun malzeme seçimi yapılırken bu durum göz önünde bulundurularak sıcaklık ile

fazla genleşmeyecek olan malzemeden imal edilmelidir. Malzeme seçiminde ayrıca atalet kuvvetleri ve moment değerlerinin de düşük olabilmesi için malzeme hafif olmalıdır. Bu birbirine zıt durumlar göz önünde bulundurularak en uygun malzeme seçilmelidir. Genel olarak piston malzemesi kır dökme demir, yumuşak dökme demir, alüminyum alaşımları ve bazı özel kullanım hallerinde de “krom-nikelli çelik” seçilir. Gri dökme demirden yapılan pistonlar aşınmaya dayanıklıdır; pistonun aşınma direnci ve dayanımının artırılması için gri dökme demire az miktarda çelik katıldığında yumuşak dökme çelik elde edilir. Dökme demirli veya dökme çelik pistonlar oldukça verimlidirler. Alüminyum alaşımlı pistonlar ise yüksek ısı iletkenliğine sahip olup, yüksek basınçlı kompresörlerde tercih edilirler. Ayrıca hafif olmalarından dolayı atalet kuvvet ve moment değerleri zayıf değerler alır. Değişik özelliklere sahip alüminyum alaşımlı malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat alüminyum alaşımlarının genişleme katsayıları yüksektir bu sebeple piston-silindir arasına dökme demirde olduğundan daha fazla boşluk bırakmak gerekmektedir.

Proje kapsamında imalatı yapılan kompresörde birinci ve ikinci kademe pistonları dökme demirden imal edilmiş olup, üçüncü ve dördüncü kademe pistonları daha yüksek basınç ve sıcaklık değerlerine dayanabilmesi için alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmişlerdir.

Pistonların çevresinde iki veya üç kompresyon ve bir veya iki yağ segmanı kullanılır. İmalatı yapılan kompresörde birinci kademe pistonunda 3 adet kompresyon, 1 adet yağ segmanı, ikinci kademe pistonunda 4 adet kompresyon, 1 adet yağ segmanı kullanılmış; piston boylarını uzun ve çaplarını küçük olan üçüncü kademe pistonunda sekiz adet segman kanalı ve sekiz adet segman, dördüncü kademe pistonunda da 9 adet segman kanalı vardır ve 18 adet segman kullanılmıştır. Kompresörün birinci kademesine Şekil 3.12 de görülen piston biyel kolu ile direkt olarak pim ile bağlanarak çalışan pistondur. Birinci ve ikinci kademe bu çalışma sistemine sahipken; üçüncü ve dördüncü kademelerde basınçlandırmayı sağlayan piston ile biyel kolu arasında yataklanmayı sağlayan ara bağlantı parçası mevcuttur. Şekil 1.1 de kesit alınmış olan kompresör gövde montajında rahatlıkla bu iki tip pistonu da bağlantı şekilleri görülebilmektedir.



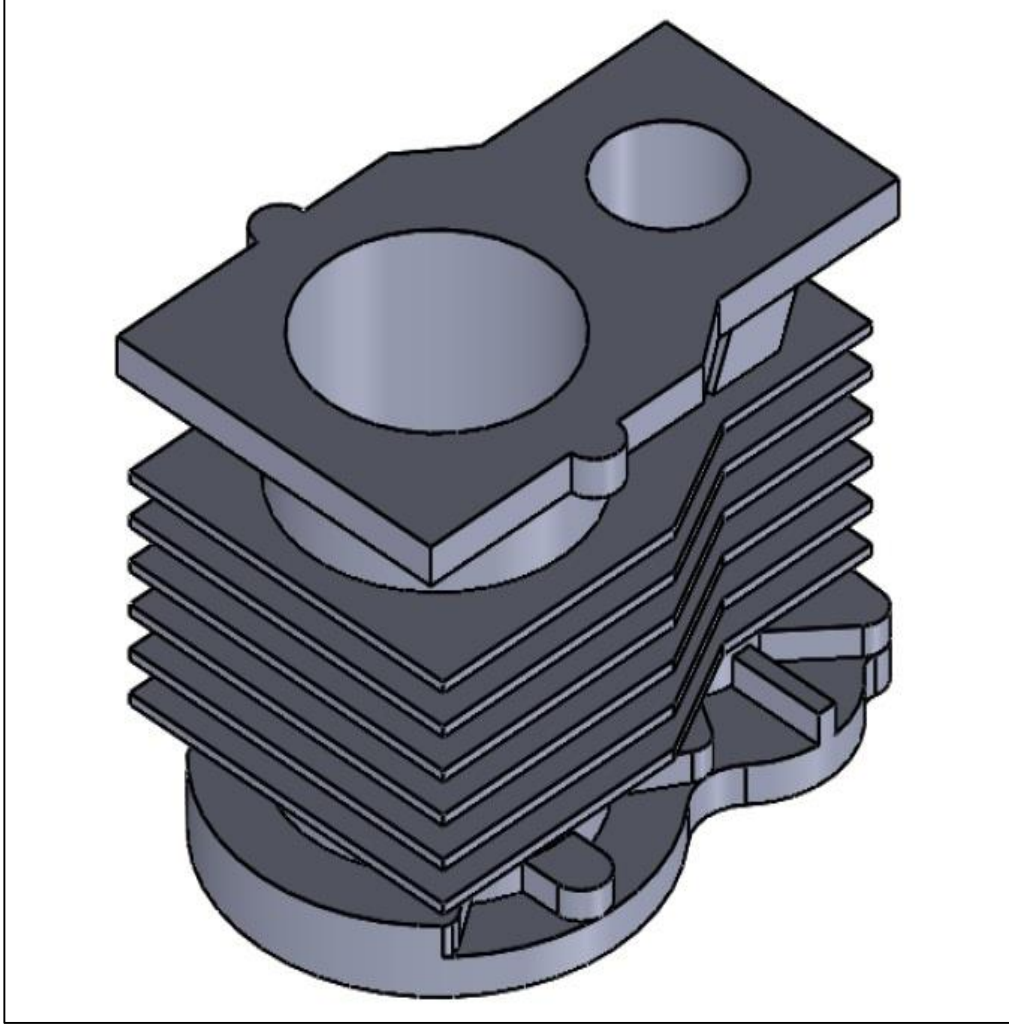
Şekil 3.12. Kompresör 1. kademe pistonu

3.2.2. Silindir Grupları

İçerisinde pistonun sıkıştırma ve genişleme olmak üzere her iki yönde doğrusal hareket yaptığı ayrıca pistonların yataklanmasını sağlayan temel elemandır. Silindir iç yüzeyleri imal edilen kompresör gibi yüksek basınç ve sızdırmazlığın önemli olduğu kompresörlerde özel alaşımlı malzemelerden iç yüzeyi taşlanarak hazırlanan gömlekler silindir içerisine yerleştirilir. Silindir iç yüzeyinin taşlanması sızdırmazlık açısından çok önemlidir.

Kompresöre ait bazı silindirler tek gövde içerisinde yan yana Şekil 3.13 de olduğu gibi imal edilirken; bazı silindirler de her kademe için ayrı birer parça olarak da imal edilebilir. Kompresörün 1.ve 2. kademe pistonları Şekil 3.13 deki silindir gövdesi içerisinde çalışmaktadırlar.

Silindirlerin dış düzeylerinde Şekil 3.13 de görüldüğü üzere kanatçıklar mevcuttur. Bu kanatçıkların asıl görevi silindir yüzeyinde meydana gelen sıcaklığı azaltmaktır.



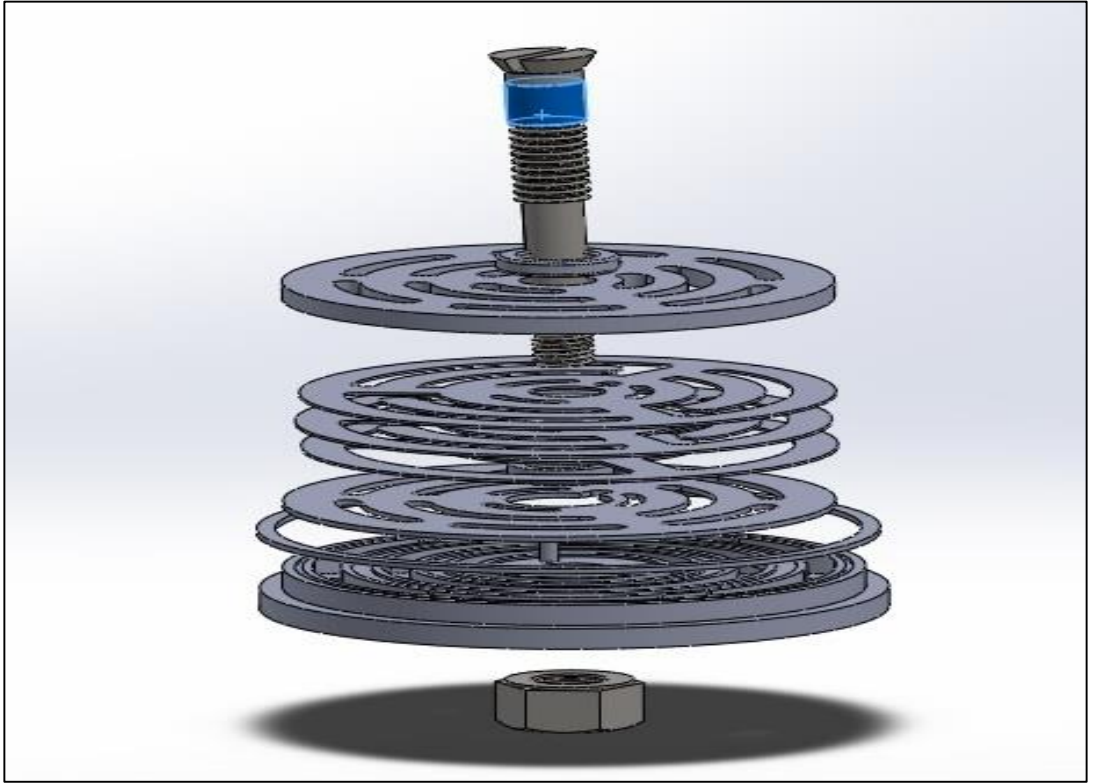
Şekil 3.13. Kompresör 1. ve 2. kademe silindir bloğu

3.3. Emme ve Basma Grupları

Kompresörde gazın belirlenmiş basınç değerlerinde silindir içerisine alan ve istenilen basınç sağlandıktan sonra gazın silindirden tahliyesini yapan klape adı verilen mekanizmaları içeren gruptur.

3.3.1. Klapeler

Klapeler kompresörlerde gazın silindir içerisine giriş ve çıkış yaptığı kısımlarda bulunan ve gazın silindir içerisine düşük basınçta alınmasını ve silindirde basıncı artmış olan gazın tahliyesini sağlayan parçalarıdır. Klapeler özellikleri itibari ile emme ve basma olmak üzere iki çeşittir. Her kademe için bir adet emme bir adet basma klapesi mevcuttur. Klapeler yapı ve boyutları itibari ile imalatı yapılan kompresörde birbirinden farklıdır. Bunun temel nedeni kompresörün kademeli olması ve her kademenin farklı basınç değerleri arasında çalışıyor olmasıdır. Boyutları aynı olan fakat biri emme biri basma işlemini yapan klapeler mevcut olabilir. Kompresör montajında bu durum göz önüne alınarak montaj yapılmaktadır. Aksi halde klape açılmaz veya kapanmaz. Bu durum kompresörde büyük arızalara ve yüksek basınçlarda ciddi tehlikelere sebep olabilmektedir. Bir klapeye ait bileşenler incelendiğinde Şekil 3.14 klapelerin içerisinde 3 adet yay özelliği olan ara parça bulunmaktadır.

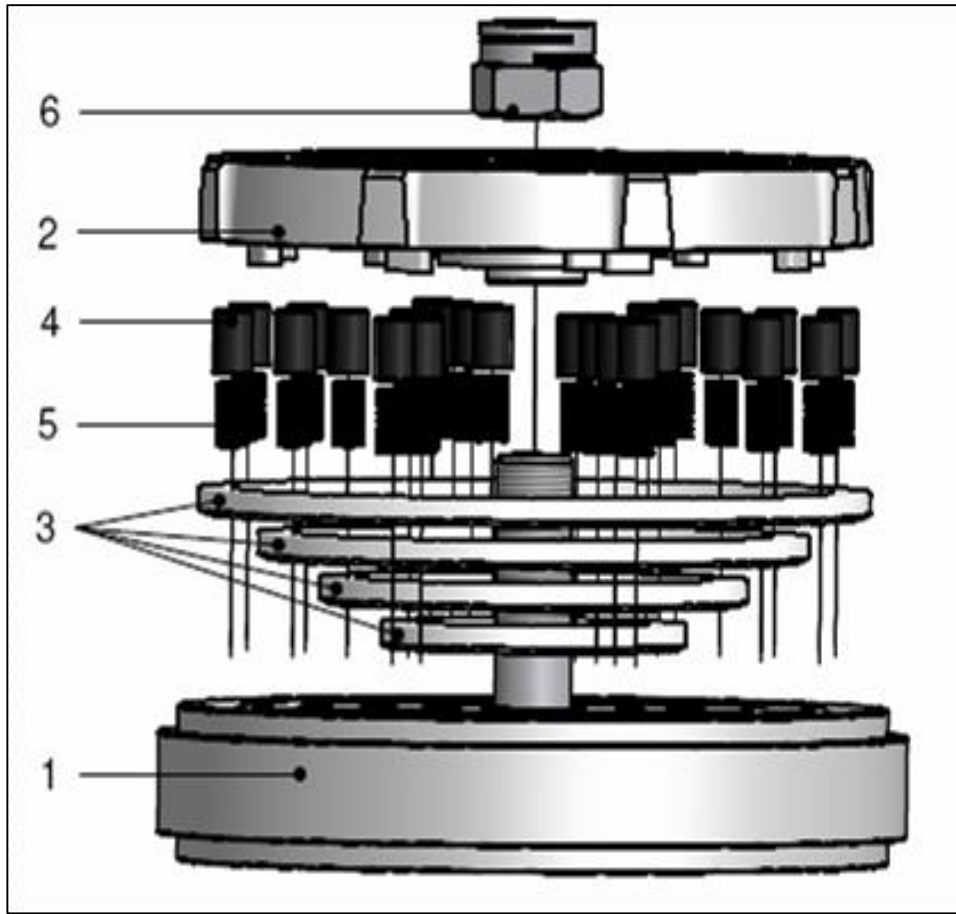


Şekil 3.14. Klape – 1

Bazı klapelerde ise bu yay özelliği gören parçalar yerine direkt olarak Şekil 3.15 deki gibi yay da bulundurulabilir. Yayların yay sabitine bağlı olarak klapenin çalışma basınç aralığına ayarlanır.

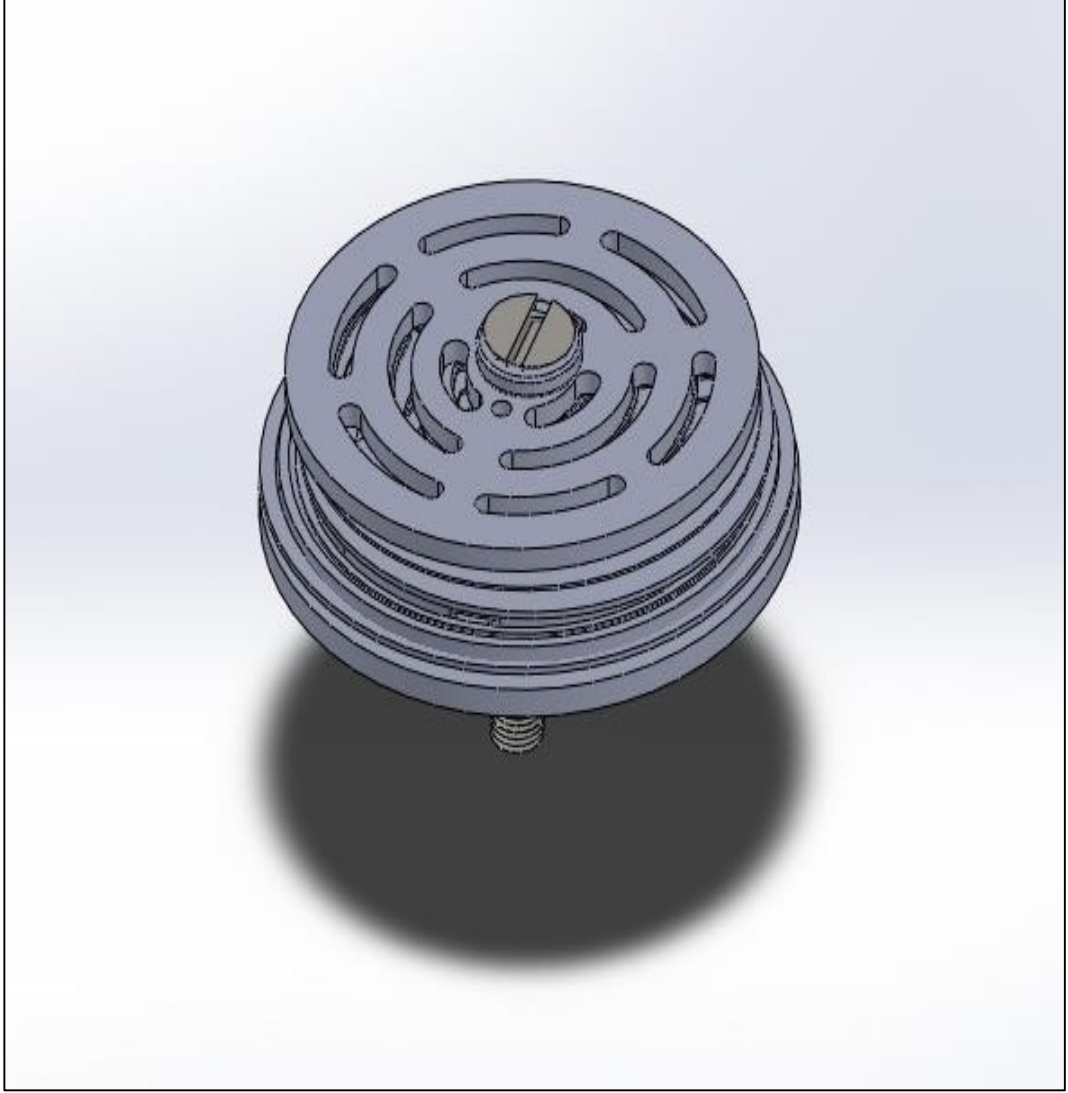
Bu tip klapelerde başta yaylar olmak üzere, bütün parçaları yüksek kaliteli malzeme kullanılarak imal edilmektedir.

Klapelerin bakımları düzenli olarak yapılmalıdır. Yağlanmalarına karşın bileşenleri belirli dönemlerde temizlenmeli ve bakımı düzenli yapılmalıdır. Klapenin iş göremez hale gelmesi beklenmeden gerekli müdahale yapılmalı ya da klapenin yenisi ile değiştirilmelidir.



Şekil 3.15. Klapenin parçaları -2

Kompresöre ait 1. Kademedeki bulunan klape nin montajının yapılmış hali Şekil 3.16 deki gibidir. İmalatı yapılan kompresörde 4 emme, 4 basma klapesi mevcuttur. Kademe sayısı arttıkça silindir boyutları, piston çapları küçüldüğü gibi kullanılan klape lerin de boyutları küçülmüştür.

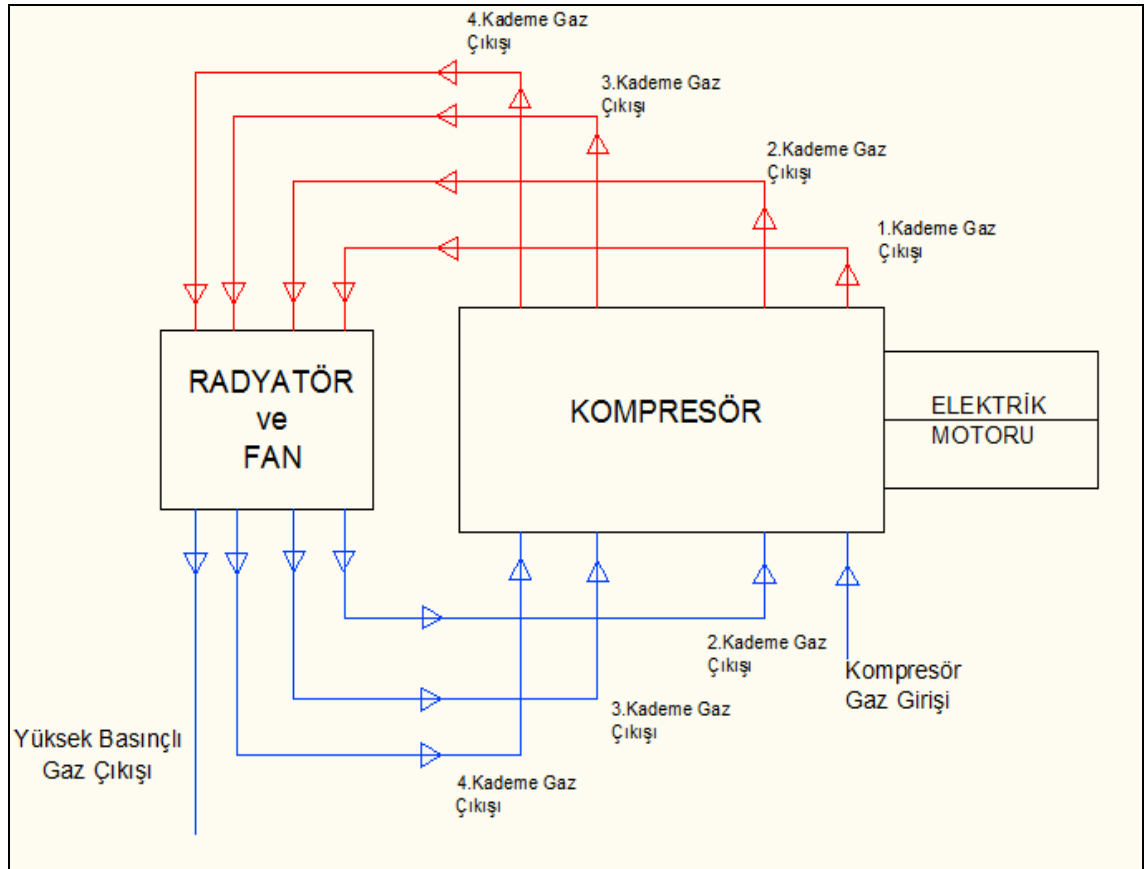


Şekil 3.16. Klape montaj resmi

3.4.Kompresör Soğutma Grubu

Kompresörde sıkıştırma işlemlerinde yüksek basınç ve sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Bu yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kompresörlerin çalışma mekanizmaları için birer tehlikedir. Bu sebeple sıkıştırılan gazın ve sistemin soğutulması gerekmektedir.

Dört kademedan oluşan kompresörümüzde kademe çıkışlarındaki sıcaklık değerlerinin artışı bir sonraki kademeye düşürülmüş olarak giriş yapması istenmektedir. Bunun için şekilde şematik gösterimi Şekil 3.17 da belirtildiği üzere radyatör vasıtası ile soğutma işlemi uygulanmaktadır.



Şekil 3.17. Kompresör soğutma sistemi

Kompresör içerisine giren gaz her kademe sonrası sıcaklık değeri yükselerek çıkmaktadır. Bu sıcaklığı etkileyen en önemli faktörler sıkıştırma basıncının ne kadar yüksek olduğu ve kompresörün çalışma hızı yani devir sayısıdır. Devir sayısı ne kadar artarsa soğutma ihtiyacı o kadar artmaktadır. Ayrıca soğutma için gerekli süre de kısalmadığından soğutmanın hızlı ve etkili olması gerekir. İmalatı yapılmış olan kompresör ev tipi olarak tabir ettiğimiz kompresör tipi olması sebebi ile debisi ve devir sayısı bakımından ekstra olarak su ile soğutmaya ihtiyaç duymamakta mevcut soğutma kafi gelmektedir.

Soğutma sistemini oluşturan en önemli kısımlar radyatör ve fanlardır. Şekilde belirtildiği üzere radyatör üzerine yerleştirilmiş olan elektrik motorlu bir fan yardımı ile soğutma işlemi yapılmaktadır.

3.5.Kompresör Elektrik Aksamı

Kompresörün gazı sıkıştırması için gerekli olan hareket enerjisi elektrik motoru vasıtası ile sağlanmaktadır. Elektrik motoru kompresörün elektrik aksamını oluşturan temel elemandır. Kompresörde elektrik motorunun kumanda edilebildiği elektrik panoları da elektrik aksamının önemli parçalarıdır. Elektrik panosu üzerinde start, stop düğmesi, acil durum butonu ve kompresörün çalışmasını enerji durumunu, çalışma durumunu ve arıza durumlarını kontrol eden göstergeleri bulundurur. İmalatı gerçekleşen elektrik panosu resmi Şekil (3.18) de verilmiştir. Kompresör çalışmasının kontrolü bu elektrik panosu sayesinde kolaylıkla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.18. Kompresör elektrik panosu

4. MATERYAL VE METOD

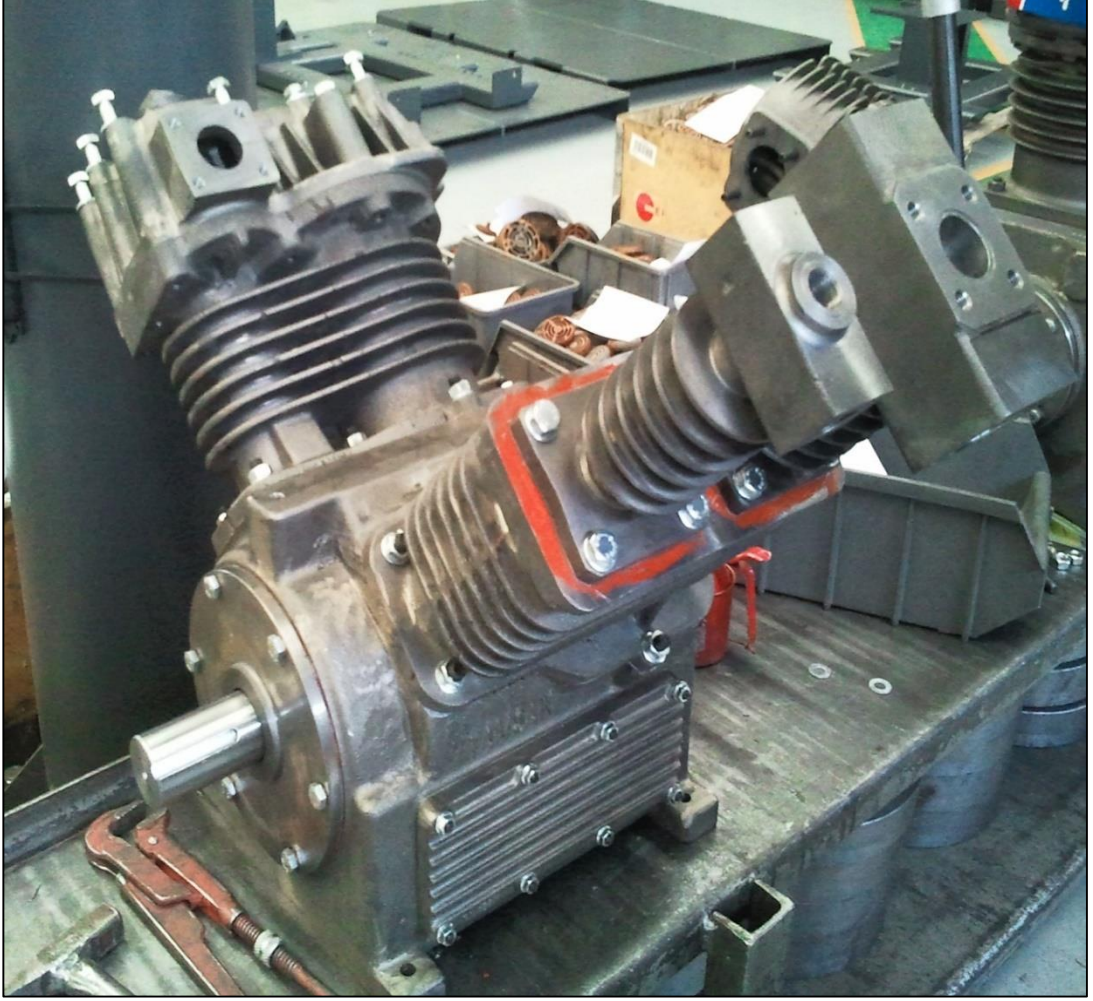
Kompresörün gövdesi imalatı ve montajı proje ortağı firmanın Başkent Organize Sanayinde bulunan fabrikasında, Ostim Organize Sanayinde ve Sincan Organize Sanayinde yapılmıştır. Bazı parça ve üretimi piyasada bulunan ya da proje ortağı firmanın fabrika ortamında imalatı gerçekleştirme olanağı bulunmayan parça ve cihazlar ekonomiklik ve kalite bakımından değerlendirildikten sonra çeşitli firmalardan temin edilmiştir.

Kompresörün imalatında kompresöre ait birçok bileşenin döküm olması sebebi ile, bu parçalara ait ahşap modelleme ve döküm işlemleri yapılmış. Ahşap modellerin büyük bir çoğunluğu bilgisayar kontrollü tezgahlarda yapılmıştır. Fakat bazı basit parçaların modelleri otomatik olmayan cihazlar ya da el ile yapılmıştır.

Kompresör imalatı yapılırken ilk olarak ana gruplar ve bu gruplara ait parçaların tasarımı ve imalatı üzerinde durulmuştur. Örneğin piston çapları, krank biyel mekanizması ve karterin yapısı ve karter eksen kaçıklıkları kompresör imalatında öncelik arz etmiştir.

Dökümü yapılan ya da ham haldeki kalıp malzemedен parçaların işlenmesi ve montaja uygun hale gelmeleri için de torna, freze, matkap gibi temel talaş kaldırma makinelerinin yanında silindirik taşlama ve burç honlama gibi özel makineler de kullanılmıştır. Krank, biyel kolu, pistonlar, silindirler gibi önemli parçalara hassas işleme yapılmıştır.

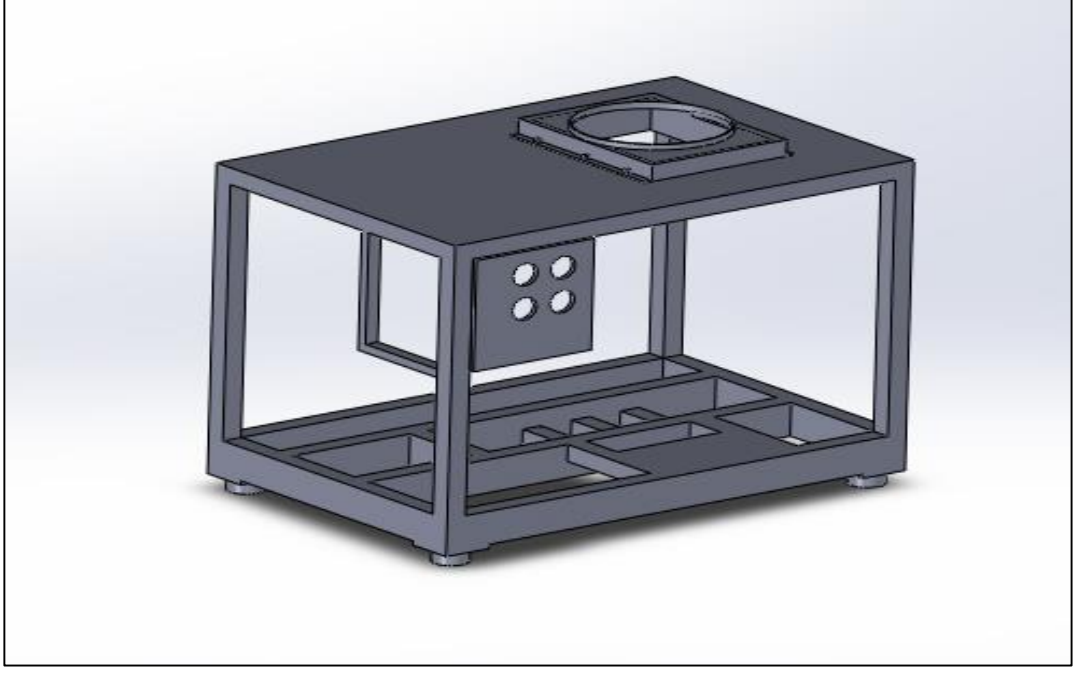
Kompresöre ait parçalar tek tek imalatı yapıldıktan sonra montaja hazır hale gelir gelmez ilk olarak kompresör gövdesinin montajı yapılmış ve kompresör gövdesi Şekil 4.1 deki görünümünü almıştır.



Şekil 4.1. İmalatı yapılan kompresör gövdesi

İmalatı yapılan bu kompresör için özel bir şase üretilmiş ve kompresör ekipmanları, elektrik motoru, elektrik panosu, radyatör, fan ve basınç göstergeleri bu şase üzerine yerleştirilmiştir.

Kompresör şasesi kompresörün gövdesi ve elektrik motoru başta olmak üzere radyatör, elektrik panosu, basınç göstergeleri filtreler gibi birçok önemli kısmının montajının yapıldığı kısımdır. Kompresörün montajı Şekil 4.2 'de bulunan şase üzerine yapılmıştır.



Şekil 4.2. Kompresör şasesi

Şasenin sağlam bir yapıda olması büyük önem taşımaktadır. Kompresör gövdesi ve elektrik motorunda oluşacak olan titreşimlere karşı dayanımının iyi olması gerekmektedir.

Şase imalatı yapılırken ilk olarak projedeki çizimlerine uygun olarak ana iskeleti oluşturulmuştur. Gerekli bağlantı kısımlarının kaynakları yapılarak sağlamlaştırılmıştır. Sonrasında radyatör soğutma fanı, elektrik panosu ve basınç göstergeleri için imal edilmiş olan parçalar şaseye kaynak ve vidalama yöntemleri ile monte edilmiştir. Bu şekilde şasenin genel hali oluşturulmuş olmaktadır.

Daha sonra şaseye elektrik motoru ve kompresör gövdesi, gerekli cihaz ve ekipmanlar şasenin üzerine Şekil 4.3 deki gibi montajları yapılmıştır.



Şekil 4.3. Kompresör şasesi montaj resmi

Ayrıca Şekil 4.3 de görüldüğü üzere kompresörün şase içerisine montajı en uygun şekilde yapılmıştır. Kompresörün tasarımından meydana gelen bu durum ileride yapılacak olan bakım işlemleri için de kolaylık sağlamış olacaktır.

Cihaz üzerine yerleştirilen göstergeler yardımı ile her bir kademenin çalışma sırasındaki mevcut basınç değeri çok net görülebilmektedir. Elektrik panosu da karmaşıklıktan uzak ve kullanıcının rahatlık ile kompresörü çalıştırma işlemini yapabileceği şekilde yapılmıştır.

Şekil 4.3 de kırmızı renge boyanmış olarak görülen filtre ve gaz giriş-çıkış boruları kabin içerisinde kompresör ve radyatörün konumuna uygun olarak imalatları yapılmış ve bu sayede montajları rahatlıkla gerçekleştirilmiştir.

5. DENEYSEL ÖLÇÜMLER VE KARŞILAŞTIRMALAR

İmalatı gerçekleştirilen kompresörün montajının tamamlanması sonrası test aşamasına gelmiştir. Kompresör testi birkaç aşamadan oluşmuştur; bunlardan birincisi kompresörün yapısal ve mekanik testidir. Bu testin başarılı olmasından sonra basınç ve debi değerleri testleri de gerçekleştirilmiştir.

İmal edilen kompresöre ait 3 ana deney gerçekleştirilmiştir.

5.1. Deney 1

İlk deneyde kompresörün atmosfer basıncındaki serbest havayı emmesi ve makinenin boşta çalıştırılması yöntemidir. Bu deney ile kompresörün genel çalışma mekanizmasında bir problem olup olmadığının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu aşamada emilen hava tüm sistemi dolaşmakta herhangi bir tanka basılmamaktadır. Gazın yine atmosfer ortamına bırakılması sebebi ile herhangi bir basınç artışı durumu söz konusu olmamaktadır. Bu durumda makina basınç artışı olmadığı için fazla bir zorlanma ile karşılaşmamıştır.

İlk deneyde kompresör farklı sürelerde çalıştırılıp durdurularak makinenin mekanik çalışması gözlemlenmiştir. Deney sırasında sistemde herhangi bir tıkanma, sıkışma vs. durumlarını anlamak için basınç göstergeleri de sürekli olarak gözlemlenmiştir. Nitekim deney esnasında makinenin tanka gaz basmamasına rağmen üçüncü kademedeki basıncın normal değerinin üstüne çıktığı gözlemlenmiştir. Basıncın yalnızca üçüncü kademedeki yükselmesi, gazın üçüncü kademe çıkışı sırasında bir zorlukla karşılaşmış olabileceği ya da klapanin görevini yapmadığı durumları üzerine odaklanılmasına sebep olmuştur. Makinenin ilgili kısmının açılarak incelenmesi yapıldığında klapanin iş göremez hale geldiği görülmüş ve klapanin değiştirilmesi ile sorun giderilmiştir. Bu durum yapılan deneyin ne kadar gerekli olduğunu göstermektedir. Kompresör deney 1 esnasında başka bir sorun ile karşılaşmamıştır.

5.2. Deney 2

İkinci deneyde kompresörün atmosfer basıncındaki serbest havayı emmesi sağlanmış fakat bu sefer kompresörün gaz tahliye vanası kapatılarak kompresörün kademeler arasındaki basınç değerlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu işlemde sırasında kompresörün dördüncü kademe basıncının 160 bar değerini aşmayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Gaz basıncı aşamalı olarak arttırılmıştır. İlk olarak tahliye vanası kısa süreli olarak açılıp kapatılmış ve basıncın düşük seviyelerde kalması sağlanmış. Sonrasında dördüncü kademe basıncını 150-160 bar değerlerine çıkartılıp, kompresörde biriken gaz tahliye edildikten sonra bu işlem tekrarlanmıştır.

Bu işlemler sırasında kompresörün her bir kademesine ait basınç değerleri Şekil 5.1 dan anlaşılacağı üzere tahliye vanasının kapalı olduğu durumlarda her kademe için basıncı artmıştır.

Kompresörün deney 2 aşamasında çekilmiş olan resimde (Şekil 5.1) her bir kademeye ait gaz çıkış basınçları görülmektedir. Buradaki basınç göstergeleri kademeler hakkında bize çok önemli bilgiler vermektedir. Görüldüğü üzere her kademe kendisine ait olan sıkıştırma aralıklarında çalışmaktadır.

5.3. Deney 3

Bu deneyde bir adet 60 lt CNG tankına doğalgaz dolumu işlemi yapılmıştır. Bu deneyde imalatı yapılmış olan yüksek basınç gaz kompresörünün proje başlangıcında hedeflenen değerleri sağlayıp yağlamadığını test etmek amacı ile yapılmıştır.

Projede yer alan ve imalatı yapılmış olan yüksek basınç gaz kompresörünün temel amacı doğalgazı 200-250 bar aralığında yüksek basınç değerlerine kadar sıkıştırmaktır. Bu kompresör daha önce yapılan boşta çalıştırma ve hava sıkıştırma işlemlerinden başarı ile geçmiş, doğalgaz sıkıştırma testine alınmıştır. 3.Deney ile 1 adet prototipi

üretmiş olan bu cihazın gerçek çalışma şartlarında değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır.



Şekil 5.1. Deney 2 esnasında basınç göstergeleri

Kompresör 21 mbar değerinde bulunan şebeke hattından doğalgazı alıp sıkıştırma işlemi yapılmasına uygun olarak imal edilmiş olduğu için, kompresör direkt olarak belirtilen basınçtaki şebeke hattından gelen gaz kompresöre bağlanabilmektedir. Kompresör çıkışına da basınçlı gazın depolanması için gerekli olan CNG tankının montajı yapılmıştır. Kompresörün elektrik bağlantıları da yapılarak kompresör deney için gerekli hazırlıklar yapılmıştır.

Deney esnasında değerlendirme kolaylığı sağlaması adına tanktaki her 10 ar bar gaz basınçları artımları arasında geçen süreler ölçülerek değerlendirilmiştir. Bu sayede hem 10 barlık artışlar arasında geçen süreler değerlendirilmiş, hem de ölçme ve değerlendirme işlemi kolaylığı sağlanmıştır.

Kompresörün sıkıştırılan gazı tanka basması ile birlikte her bir ölçüm için geçen süreler çizelge 5.1 de detaylı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 Deney Basınç ve Süre ölçümleri

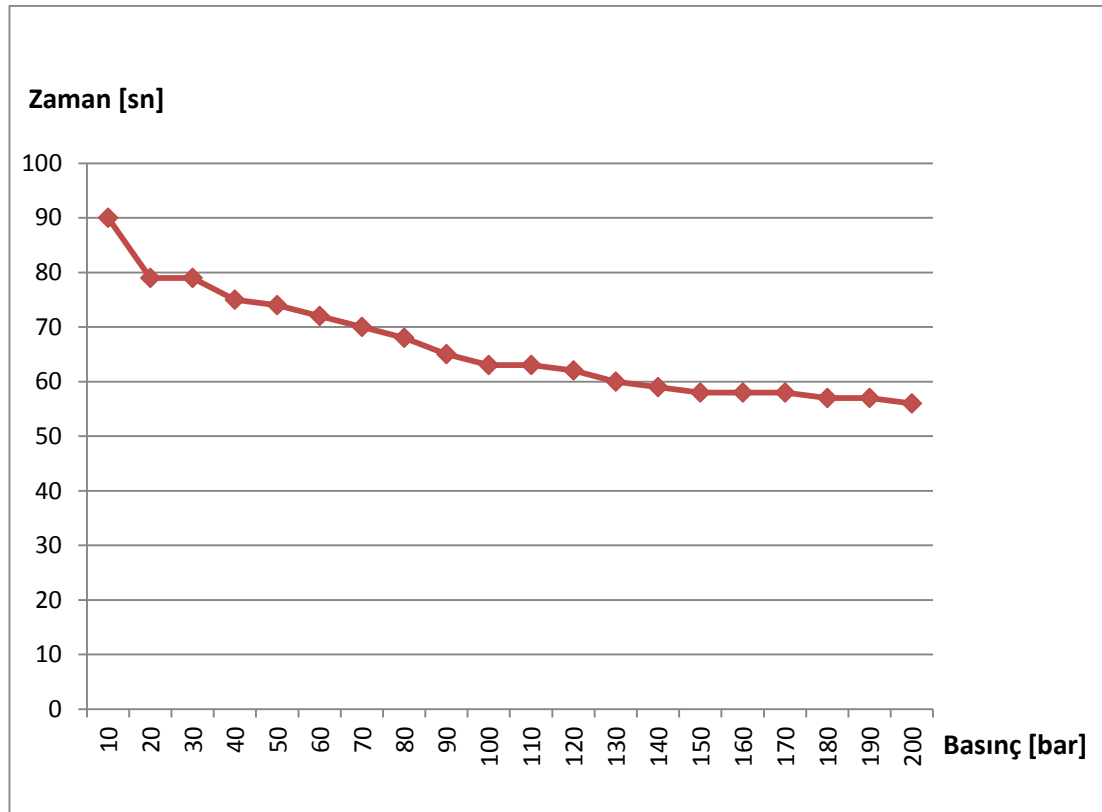
	Gaz Stok Basıncı [bar]	Geçen Süre [sn]
1.Ölçüm	10	90
2.Ölçüm	20	79
3.Ölçüm	30	79
4.Ölçüm	40	75
5.Ölçüm	50	74
6.Ölçüm	60	72
7.Ölçüm	70	70
8.Ölçüm	80	68
9.Ölçüm	90	65
10.Ölçüm	100	63
11.Ölçüm	110	63
12.Ölçüm	120	62
13.Ölçüm	130	60
14.Ölçüm	140	59
15.Ölçüm	150	58
16.Ölçüm	160	58
17.Ölçüm	170	58
18.Ölçüm	180	57
19.Ölçüm	190	57
20.Ölçüm	200	56

Deney kompresörün tanka bastığı gaz basıncı 200 bar seviyesine gelince durdurulmuştur. Kompresörün ilk numune olması dolayısıyla 200 bar amacına basınç değerine ulaşılmıştır.

Deney esnasında her 10 bar lık artışlar arasında geçen süreler incelendiğinde şekil 5.2 den anlaşılacağı gibi 0 bar başlangıç değerinden 10 bar ilk değerine kadar geçen süre 90 sn iken 190 bar dan 200 bar değerine ulaşması için geçen süre 56-57 saniye olarak

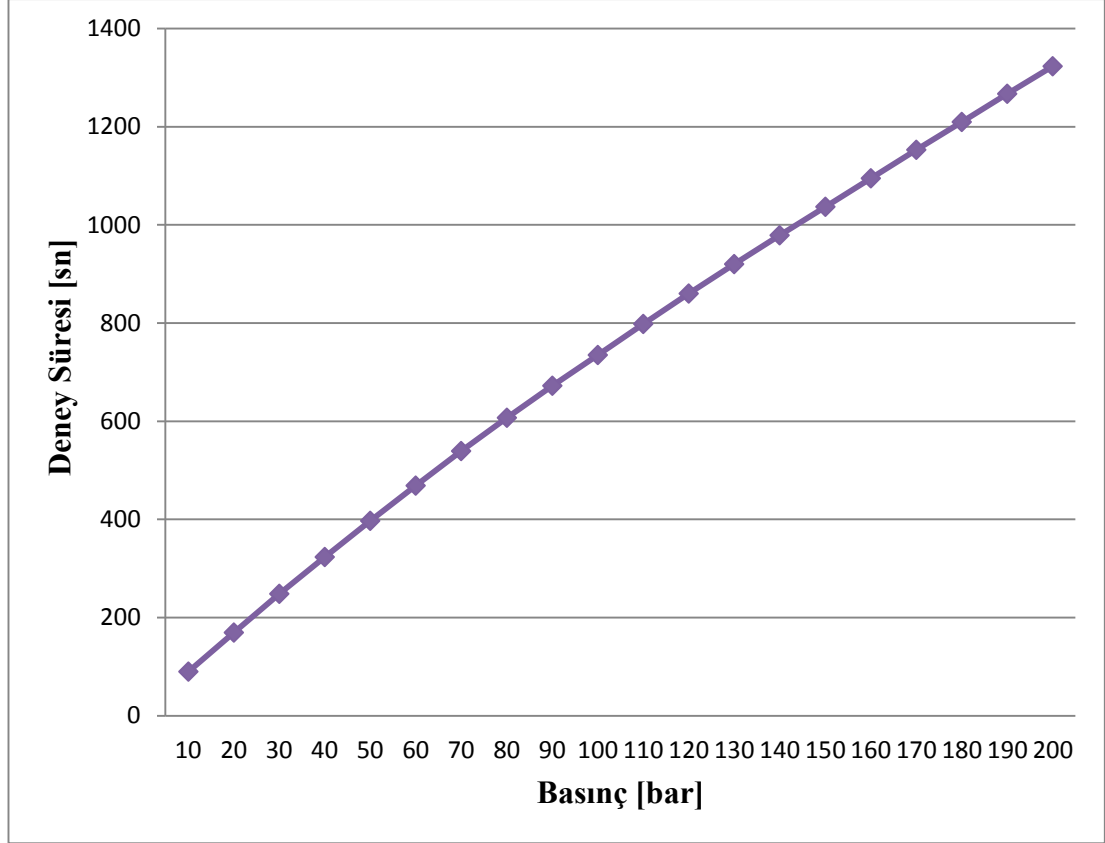
ölçülmüştür. Bu durum kompresörün tankın basıncının yükseltmesi ile birlikte daha kısa sürede 10 barlık bir basınç artışı sağladığını göstermiştir. Kompresörün ilk çalışmaya başlamasından itibaren ölçülen değerler incelendiğinde 80 barlık basınca kadar kompresörün tanka bastığı gaz basıncı yüksek oranlarda azalmıştır. 80-120 bar arası ise bir geçiş aşaması niteliğinde olduğu görülmektedir. 80-120 bar aralığında her 10 bar değeri için geçen süreler birbirlerine yaklaşımaktadır. 120 bar seviyesine ulaştıktan sonra 10 barlık artışlar arasında geçen ortalama süreler birbirlerine yakın değerler çıkmıştır.

120-200 bar değerlerinde kompresörün 10 bar değer artışlarında süreler azalmaya devam etmiş fakat oranı azalmıştır. Kompresörün 120 bar sonrası dengeli bir şekilde tanka dolum yaptığı görülmektedir.



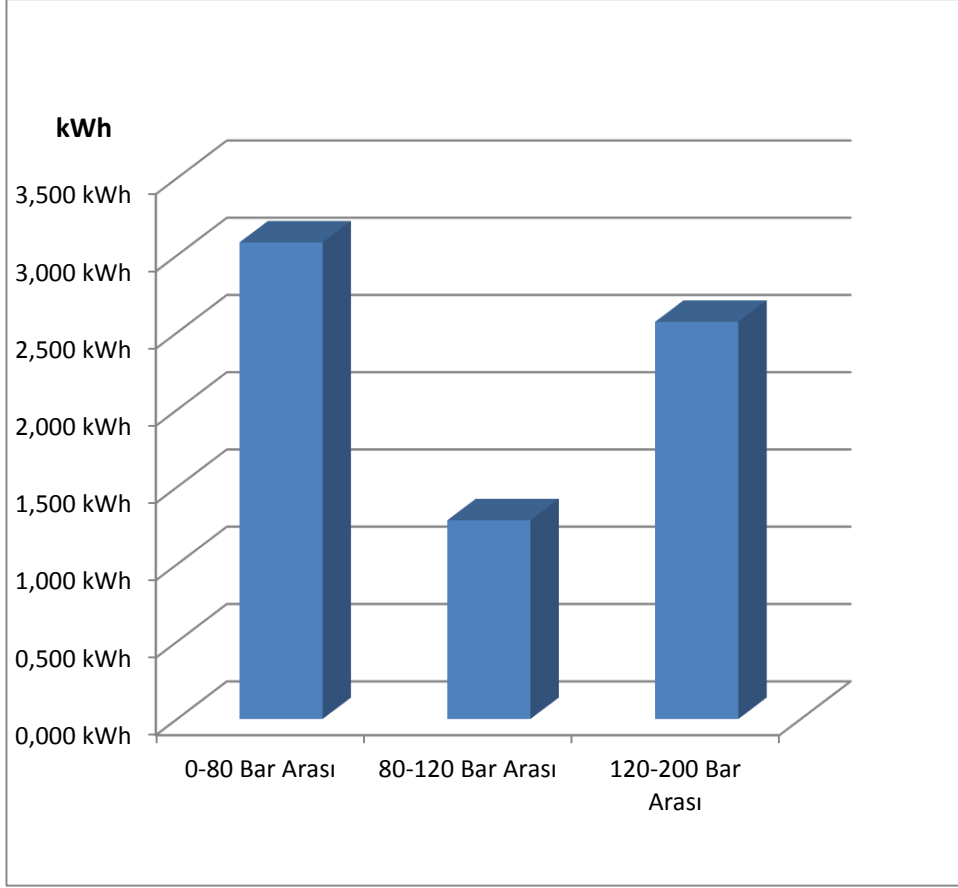
Şekil 5.2.Deney 3 basınç-zaman grafiği

Kompresör deney sonuçları incelendiğinde Şekil 5.3 den de rahatlıkla anlaşılacağı gibi kompresörün 60 L lik CNG tankını 20-25 dk süre aralığında sürede 200 bar basınç değerine çıkardığı görülmektedir.



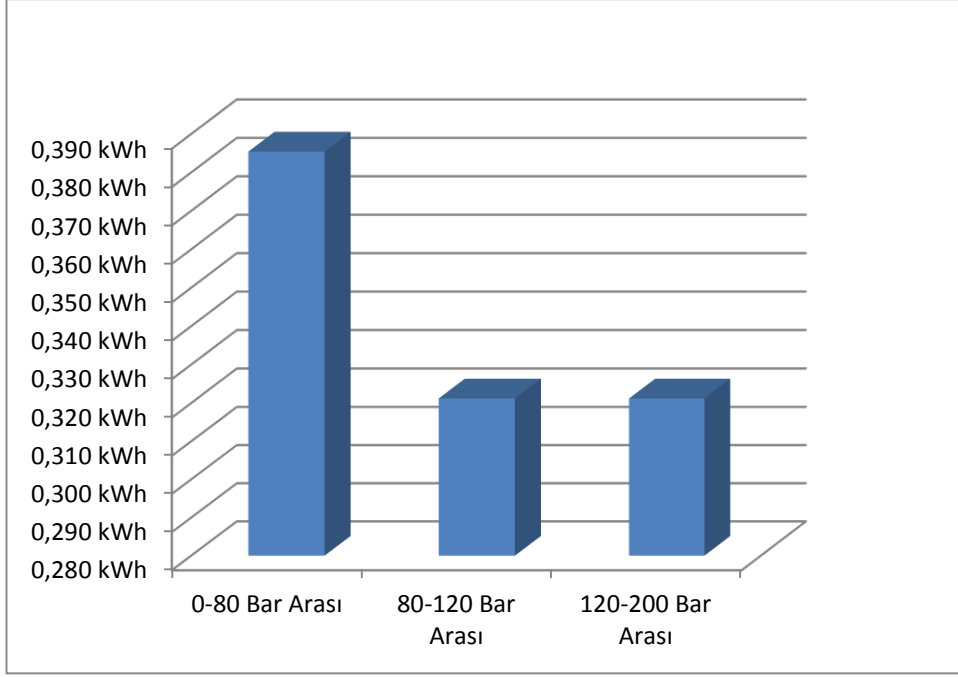
Şekil 5.3. Deney süresince basınç değişimi

Kompresör deney süresi içerisinde meydana gelen enerji miktarları değerlendirilecek olursa şekil 5.4 de görüleceği üzere, en çok enerji tüketimi 3,083 kWh ile 0-80 bar değerleri arasında gerçekleşmiştir. Kompresör 80-120 bar değerleri arasında yaklaşık 1,285 kWh lik bir enerji harcarken; 120-200 bar değerleri arasında da 2,569 kWh enerji maliyeti bulunmaktadır.



Şekil 5.4. Deney 3 Enerji tüketim miktarı

Toplam enerji maliyetleri yerine, 0-80, 80-120, 120-200 bar değerleri arasındaki geçişlerdeki enerji tüketim ortalamalarının değerlendirilmesi karşılaştırma işleminin daha kolay yapılmasını sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda Şekil 5.5 incelendiğinde yine en çok enerji tüketimi 0,385 kWh olan ortalama değer ile 0-80 bar değerleri arasında olduğu görülmektedir. Fakat ortalama değerler alındığında 80-120 bar değerleri arasındaki ortalama değerler ile 120-200 bar arasındaki ortalama değerler 0,321 kWh olarak birbirlerine çok yakın değerler çıkmıştır.



Şekil 5.5. Deney 3 Ortalama elektrik enerji miktarı

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

İmalatı yapılmış olan yüksek basınç doğalgaz kompresörü, ülkemizde ilk kez San-tez projesi dahilinde üretimi yapılmış bir kompresör türüdür. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı destekli, üniversite-sanayi işbirliği ile imal edilmiş bu kompresör, yeni ve daha üstün özellikli cihazların yapılmasına fırsat sağlayacak bir prototip oluşmasına zemin oluşturmuştur.

İmalatı yapılmış CNG kompresörümüzün imalat aşamasında ve sonrasında meydana gelen durumları değerlendirsek; Prototip CNG kompresörümüz 20 ile 25 dk değerleri arasında 60L kapasiteli bir CNG tankını 200 bar basınçta doldurmaktadır. Bu sayede proje başlangıcında koymuş olduğumuz hedef olan 200 bar değeri sağlanmış ve kompresörümüz başarılı bir şekilde imal edilmiştir. Bu dolum işleminde harcanan süre kompresörün ev tipi kompresör olması dolayısı ile çok iyi sayılabilecek bir süredir. Fakat ticari amaçlı kompresörler imalatlarında bu süreler olabildiğince kısaltılacak şekilde tasarımı yapılması daha uygun olacaktır.

Kompresör deney esnasında basınç, debi açısından incelenebilmiştir. Enerji maliyetleri analiz edilmiştir. Kompresörde bulunan basınç göstergeleri sayesinde her bir kademeye ait gaz basıncı anlık olarak görülebilmektedir. Bu sayede hem bir arıza durumunda problemin hangi kademede olduğunu anlamak adına hem de kompresörün kademelerinin istenilen basınç aralıklarında çalışıp çalışmadığını kontrol etmek adına da önemli bir yer tutmaktadır.

Kompresörün şasesi içerisine ve üzerine yerleştirilmiş olan ekipmanlar sayesinde kompresör hem çok fazla yer kaplamamakta hem de montaj ve tamir, revizyon gibi işlemlerin kolaylıkla yapılmasına elverişli bir yapıya sahiptir.

Radyatör üzerine yerleştirilmiş olan fanlı elektrik motoru sayesinde sıkıştırılmış gazın sıcaklığı azaltılmaktadır. Bu sayede kompresörde kademelere düşük sıcaklıkta gaz girmesi sağlanmakta dolayısı ile hem malzeme ömürleri uzamakta, hem de tanka daha fazla gaz sıkıştırma imkanı oluşmaktadır. Fakat fanın etkinliğini ve soğutma konusunda daha fazla verim alabilmek için elektrikli fan baca kanalı içerisine alınıp yapılması soğutmanın daha verimli olmasını sağlayacaktır. Ayrıca kompresörün şase

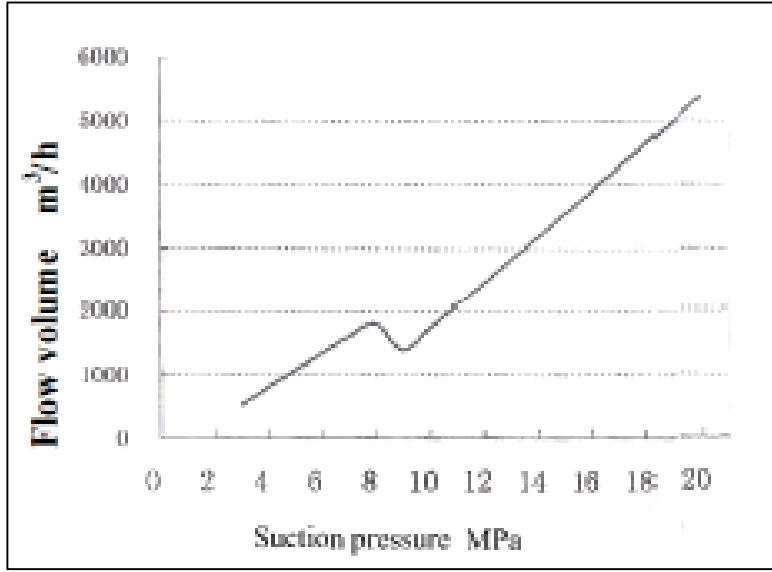
ve iskeletinin kabin ve kapaklarla kapatılması durumunda kompresör kabini içerisindeki sıcaklığın daha kolay absorbe edilmesini sağlayacaktır. Kompresörde silindir yüzeyleri için, debinin düşük olması sebebi ile su soğutma cepleri yapılmasına gerek duyulmamıştır. Fakat yapılmasında da bir mahsur bulunmamaktadır.

Kompresöre ait önemli kısımlardan kayış kasnak mekanizması da kompresör şase ve gövdesine montaj kolaylığı sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Kasnağın kanatçıklı yapıda imal edilmiş olmasından dolayı kompresöre ait bilindir bloklarını ve karterin de dönme hareketi sırasında soğumasına katkı sağlamaktadır. Bu sayede asıl görevi hareket vermek olan kasnağın ilaveten soğutmaya da faydasının olması sağlanmıştır.

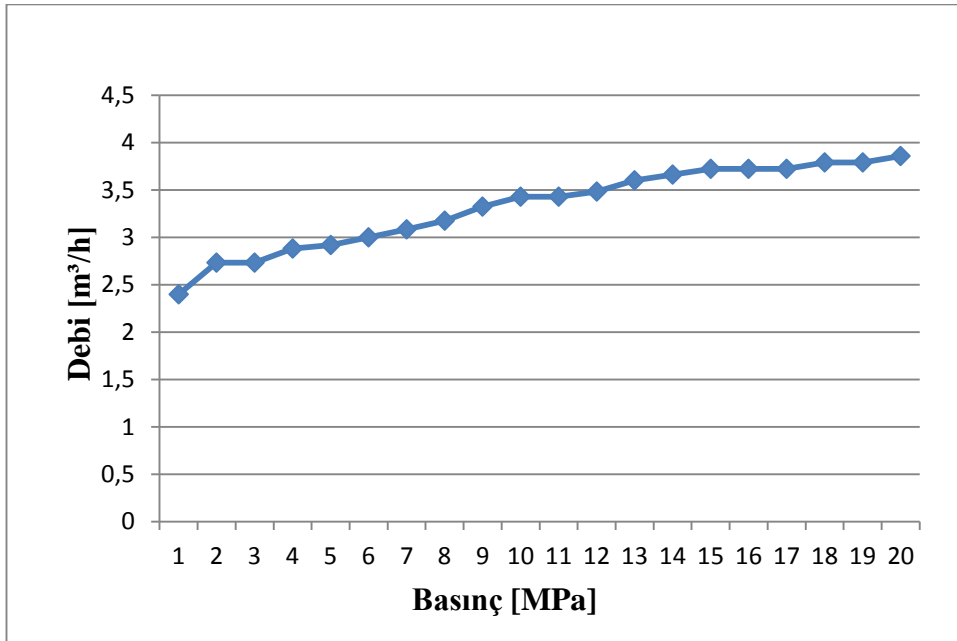
Elektrik panosunda ise enerjinin olup olmadığını, çalışma ve arıza durumlarını gösteren gösterge, açma-kapama anahtarı ve acil durum start-stop düğmelerinden oluşan; gayet sade ve kullanım kolaylığı olan bir pano mevcuttur.

Literatürde yapılmış yapılmış olan bazı çalışmalar incelenmiş ve imalatı gerçekleştirilen kompresörün deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6.1 de verilen “Uluslararası Kompresör Mühendisliği Konferansında” yayınlanmış olan deney sonuçları ile San-tez projesi kapsamında imalatı gerçekleştirilmiş olan kompresörün Şekil 6.2 verilen deney sonuçlar karşılaştırıldığında her iki çalışmada da belirli basınç değerleri arasında dengelenme ve grafik değerlerinde dalgalanma olduğu görülmektedir. Özellikle Şekil 6.1 de verilen sonuçlar incelendiğinde kompresörün 8 MPa (80bar) değerine geldikten sonra debinin 10 MPa (100 bar) değerine kadar geçen sürede bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu durum imalatı yapılan kompresörün Şekil 6.2 de bulunan grafik incelendiğinde Şekil 6.1’den farklı olarak 80 bar sonrasında 100-120 bar değerlerin kadar debide keskin bir düşüş meydana gelmemiştir. Buna karşın 80-120 bar değerleri arasında bu kompresör için de bir dengelenme süreci meydana gelmiştir. Bu iki deney sonucundan da anlaşılacağı üzere doğalgaz sıkıştırma işleminde 80 bar noktası bir anlamda dengelenmenin başladığı ve debide artış ve azalmaların meydana gelmeye başladığı kritik bir basınç değeri olarak değerlendirilebiliriz.

İmalatı gerçekleştirilmiş olan CNG kompresöründe 80 bar değerinde şekil 6.1 deki gibi keskin bir düşüşün olamamasının nedeni, kompresörün debisinin daha düşük değerlerde olmasıdır.



Şekil 6.1. Kompresör Basınç - Debi ilişkisi [17]



Şekil 6.2.- İmalat kompresörü Debi-Basınç ilişkisi

KAYNAKLAR

- [1] Anonim, APK Kurulu, Türkiye 1. Enerji Şurası Alt Komisyon Raporları, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İstanbul, 2: 1-9 1998.
- [2] Anonim, What's New in Natural Gas Vehicles & Equipment, Pipeline & Gas Journal, Vol 220, Issue 12, P53, Dec 1993.
- [3] Brezonick, M., New High Capacity Natural Gas Compressor Package From Hurricane, Diesel Progress Engines & Drives, Vol 61, Issue 10, P46, Oct 1995.
- [4] Lochmann, K., Ziehe, G., High-Pressure Compressor for CNG Filling Station: Development, Design, Application, Gaswarme International, 47(4/5):267-271, 1998.
- [5] Vlasov, E. N., Mamaev, K., Shatalov, I. K., and Dedikov, E. V., Improving Centrifugal Superchargers in Compressor Stations Ways of Acoustically, Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 40, Nos. 1-2, 2004.
- [6] Koga, T., High Pressure, High Standards: High Pressure Screw Gas Compressors, Hydrocarbon Engineering, 14(2):73-78, 2009.
- [7] Reuss, N., Mundt, C., Experimental Investigations of Pressure Distortions on the High Pressure Compressor Operating Behavior, Journal of Propulsion and Power, 25 ,P653-667, May, Jun 2009.
- [8] Zheng, X.Q., Zhang Y.J., Yang. M.Y., Research and Development on Transonic Compressor of High Pressure Ratio Turbocharger for Vehicle Internal Combustion Engines, Science China-Technological Sciences, 53,P1817-1823, Jul 2010.
- [9] Kern, M., Horn, W., Hiller, S.J., Staudacher, S., Effect of Tip Injection on the Performance of a Multi-Stage High-Pressure Compressor, Ceas Aeronautical, 2(1-4),99-110, 2011.
- [10] Bidant, Y., Baumann, U., Improving the Design of a High Pressure Casing with the Help of Finite Element Analysis to Ensure the Rotor Dynamic Stability of High Pressure Centrifugal Compressor Equipped with a Hole Pattern Seal ,Journal of Engineering For Gas Turbines and Power-Transactions of The Asme ,133, July 2011.
- [11] Droscher, P., Sattler M., Laxander, A., Dry Gas Seals For High-Pressure gas Injection Compressors Used in High-Pressure Service for Gas Injection, Pipeline and Gas Journal, 238,61-63, 2011.

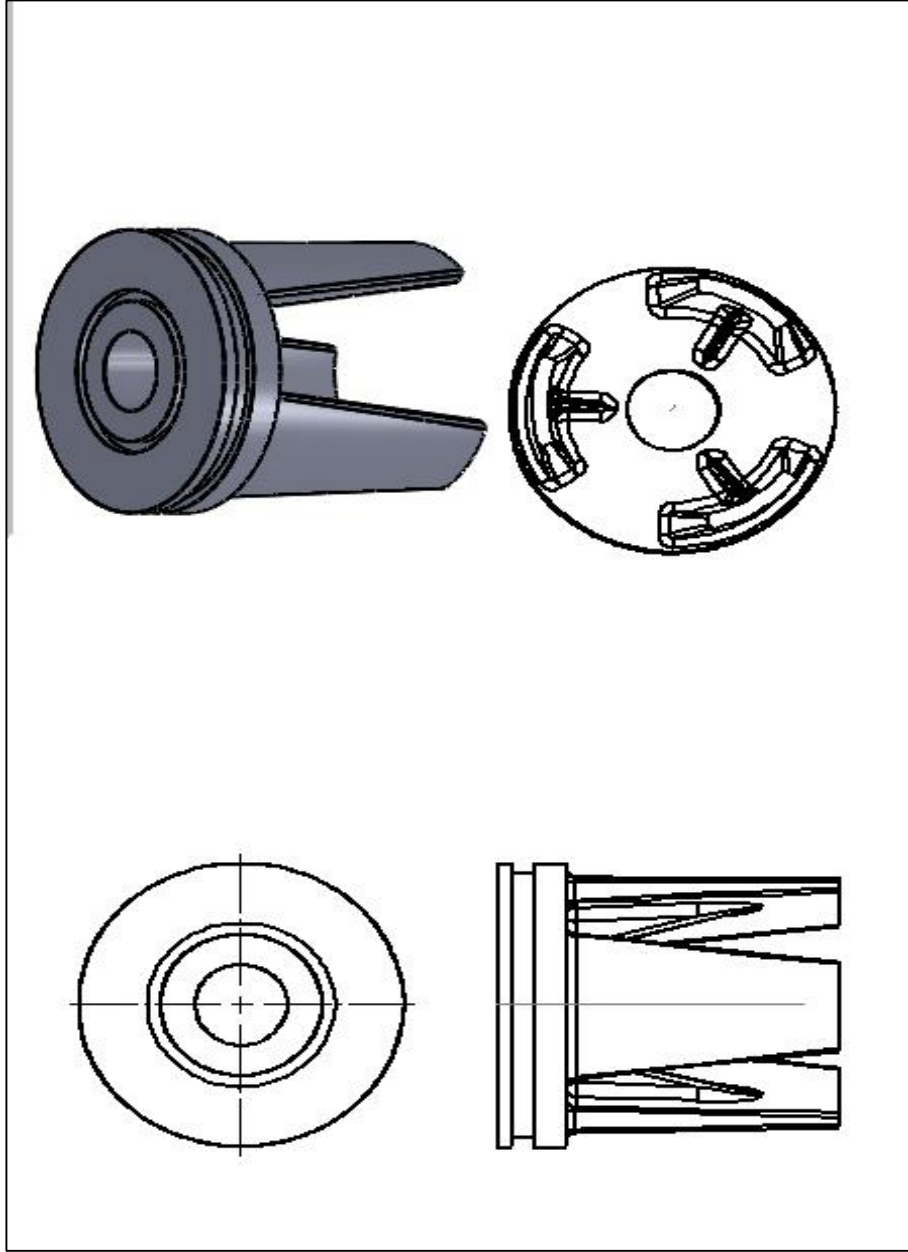
- [12] Ö. Tatar., Düşük Hızlı Santrifüj Kompresörlerde Üç Boyutlu Sayısal İnceleme Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [13] Y. Babayev., Bir Kompresör Gövdesi İmalatının Toz Metalurjisi ve Difüzyon Kaynağı Yöntemleri Uygulanarak Optimizasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [14] Hanlon, P., Compressor Handbook, McGraw-Hill, 2001.
- [15] Yalçın, K., Kompresörler. TMMOB Yayınları, 2010.
- [16] Ünal İ., Doğan B. Yüksek Basıncılı Gaz Kompresörlerinin Çalışma Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi , Mühendis Makine Dergisi, 2014.
- [17] Xueqiang F., Liangsheng G., Xiancai F., Yongzhang Yu, A New Type Of CNG Refueling System and Equipment, International Compressor Engineering Conference at Purdue, 14-17 July, 2008.

EKLER

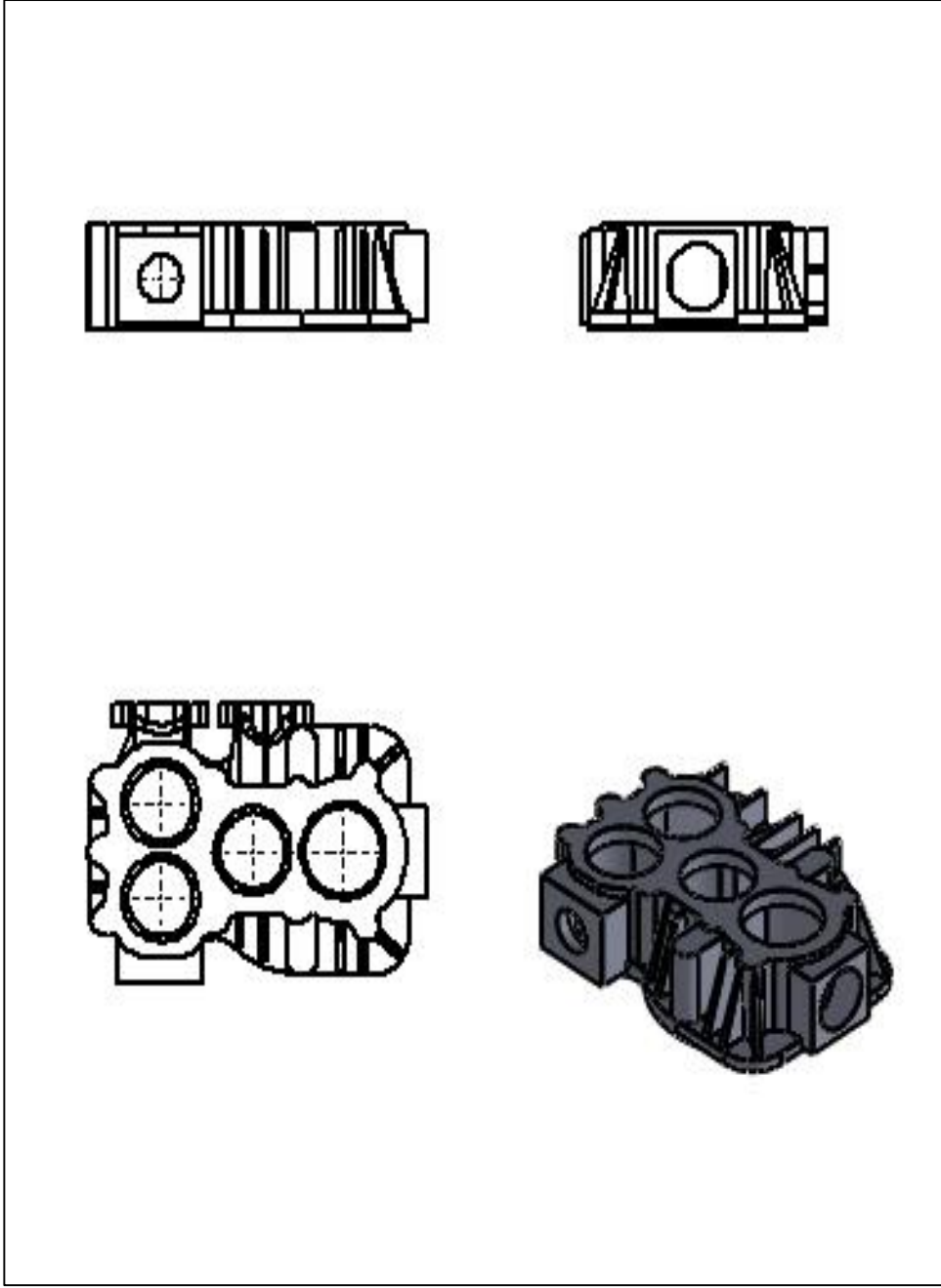
İmalat Resimleri



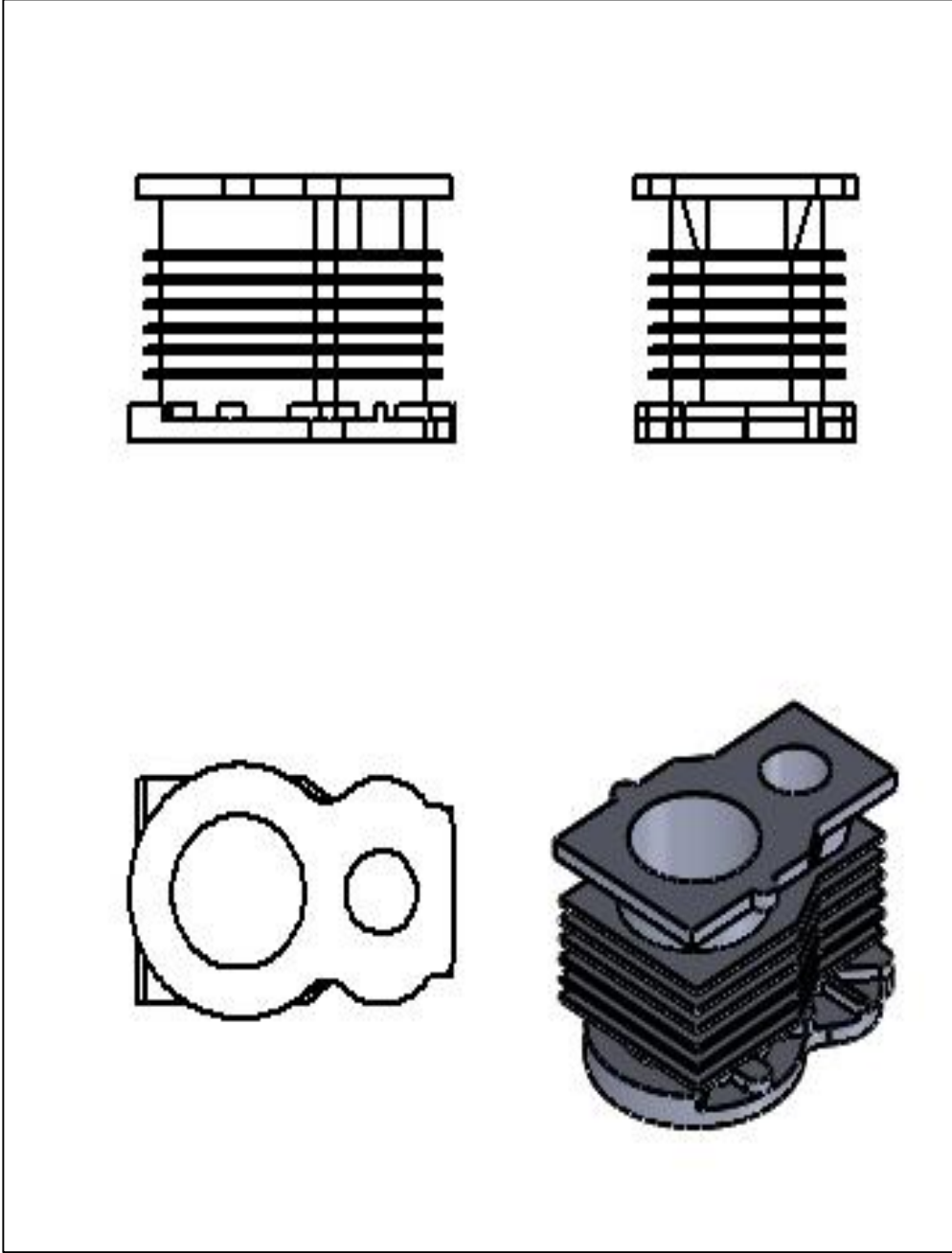
Şekil Ek 1.1. Elektrik Motorlu Soğutma Fanı



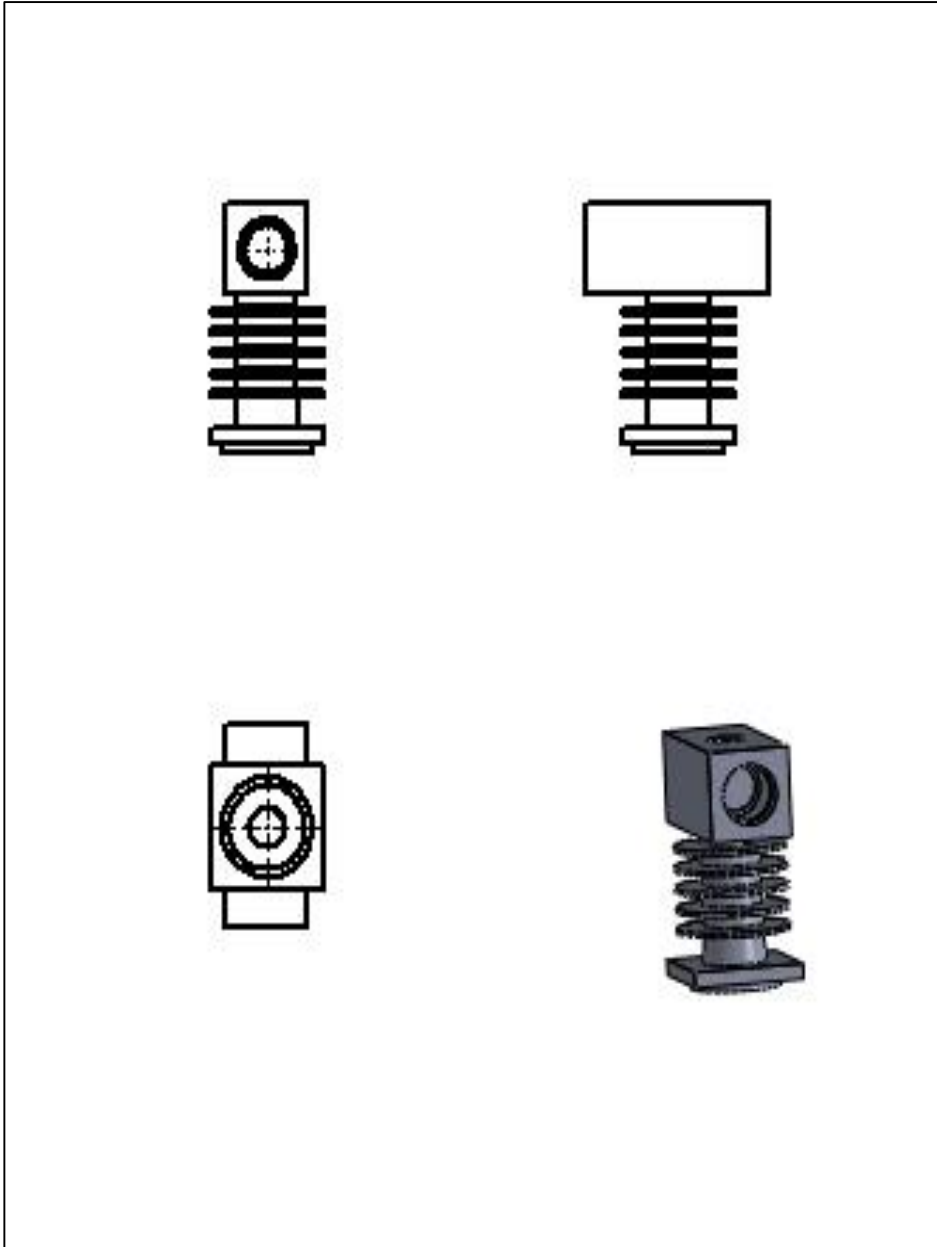
Şekil Ek 1.2. 3 Ayaklı Kafes İmalat Resmi



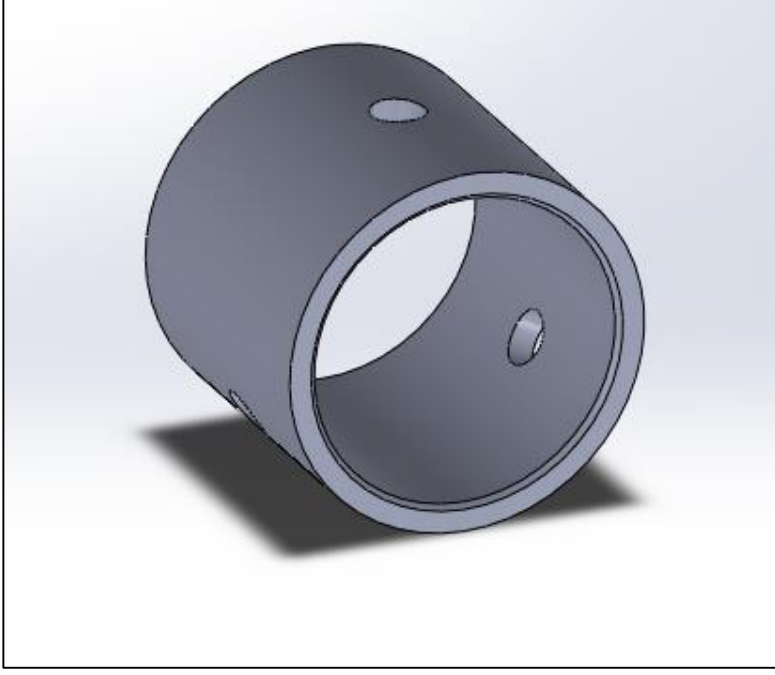
Şekil Ek 1.3. 1.ve 2. Kademe Gaz Giriş ve Çıkış Bloğu



Şekil Ek 1.4. 1.ve 2. Kademe Silindir Gövdesi İmalat Resmi



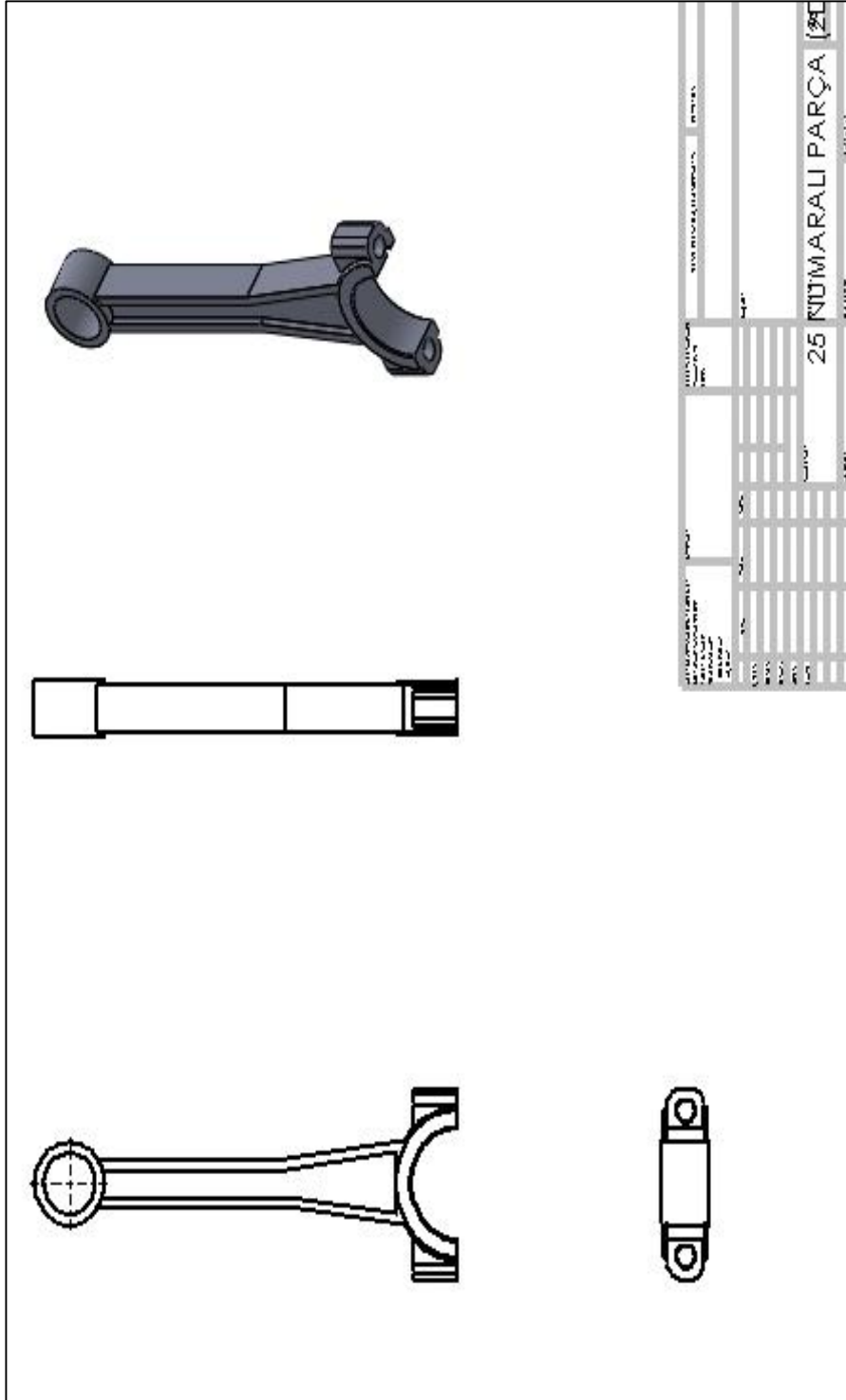
Şekil Ek 1.5. 3 Kademe Silindir Bloğu İmalat Resimleri



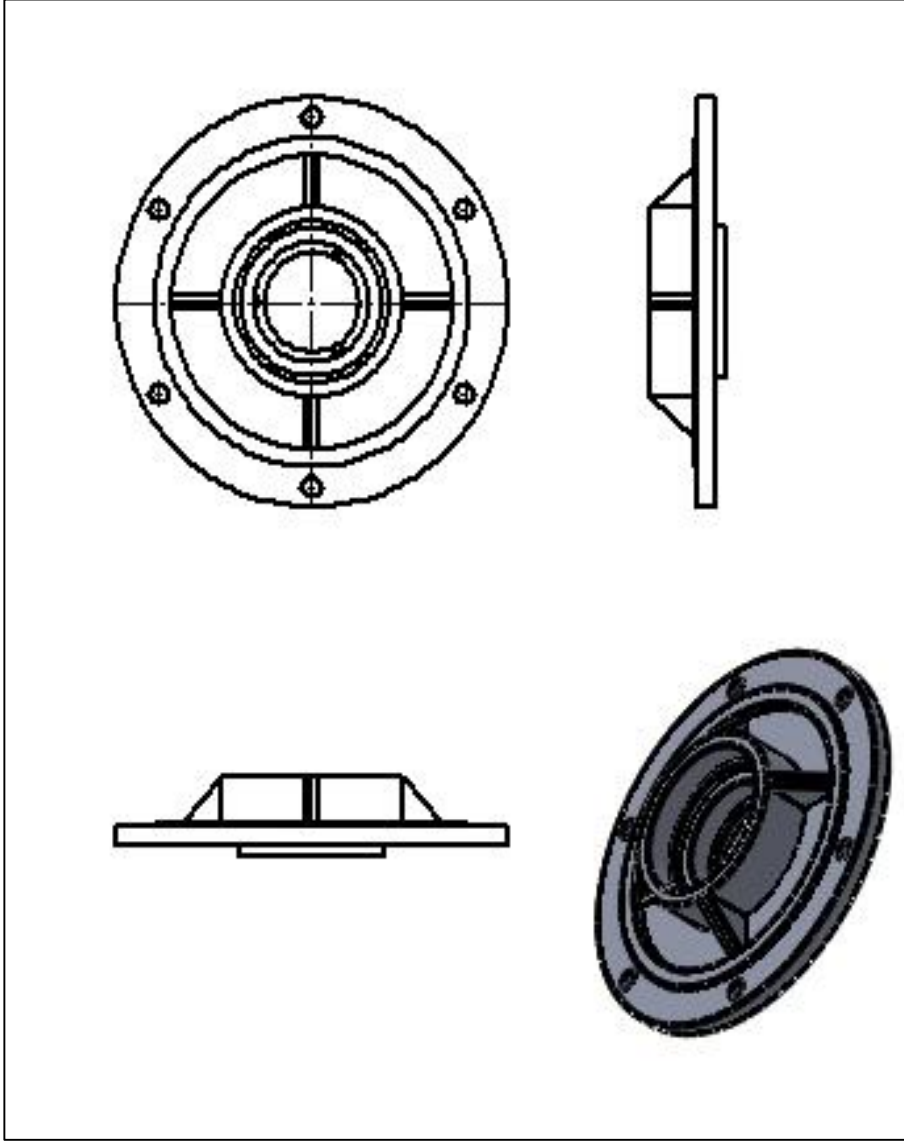
Şekil Ek 1.6. Bronz Buru



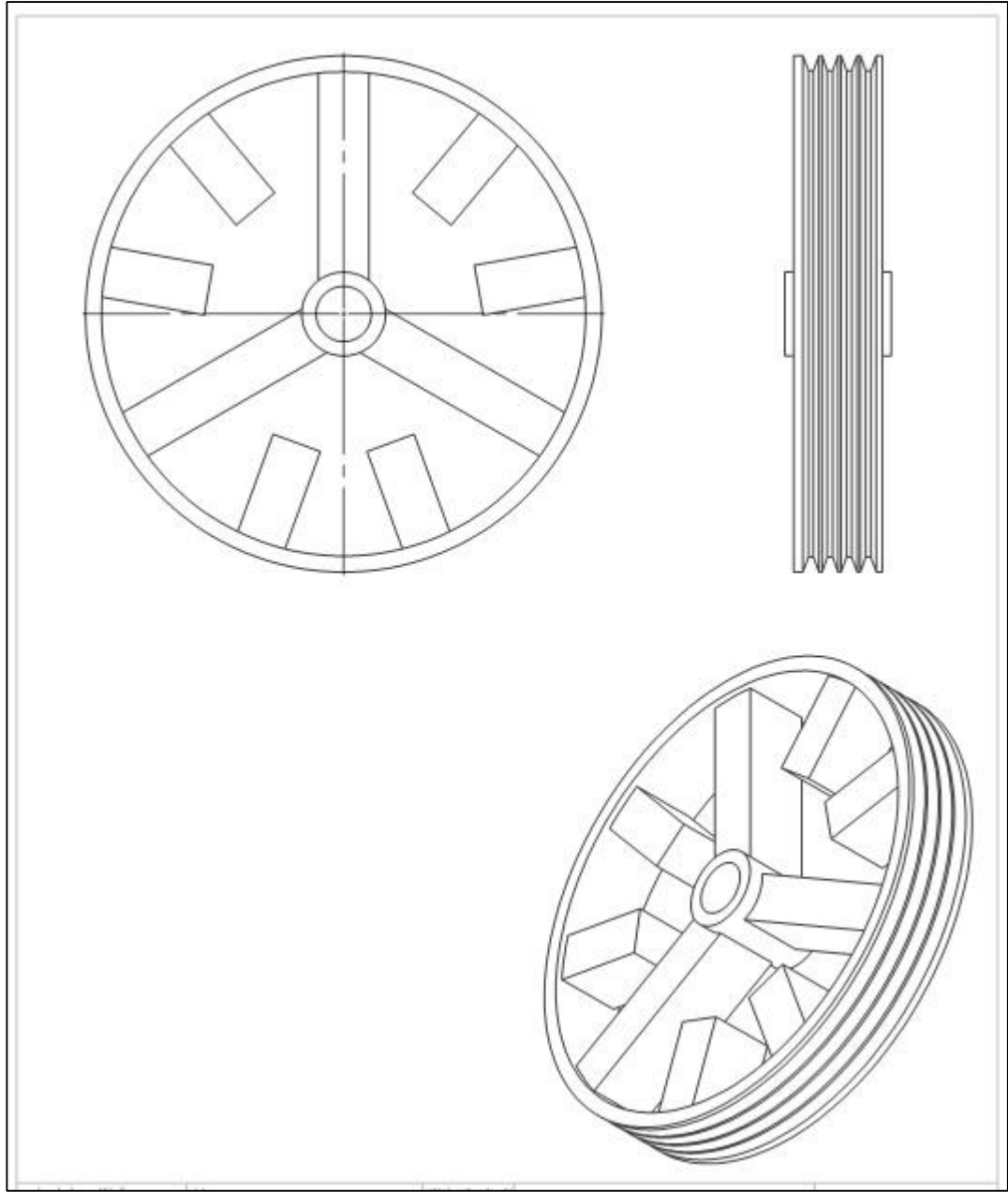
Şekil Ek 1.7. Piston Segmanları



Şekil Ek 1.8. Biyel Kolu İmalat Resmi



Şekil Ek 1.9. Karter Ön Kapağı İmalat Resmi



Şekil Ek 1.10. Karter Kasnağı İmalat Resmi