

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİR MOTOPOMPUN HAFİFLEŞTİRİLMİŞ VE ÜRETİM
KOLAYLIĞI SAĞLAYAN TASARIM MODİFİKASYONU**

MEHMET BAYRAKTUTAR

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

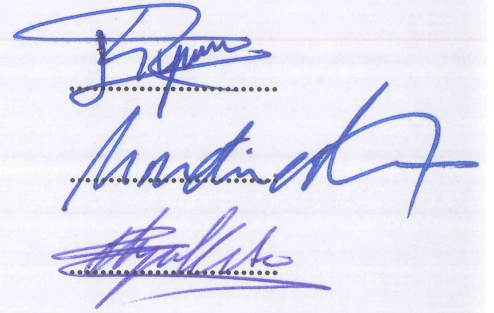
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR MOTOPOMPUN HAFİFLEŞTİRİLMİŞ VE ÜRETİM
KOLAYLIĞI SAĞLAYAN TASARIM MODİFİKASYONU

MEHMET BAYRAKTUTAR

Prof.Dr. K.Süleyman YİĞİT
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof.Dr. H.Metin ERTUNÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Doç.Dr. İlyas KANDEMİR
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 26.02.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Gemi pervaneleri ve santrifüj pompalar üzerinde çalışmaları olan ve Kocaeli’de motopomp üretimi yapan bir pompa firması, santrifüj pompalarda emme hattındaki sorunları gidermek ve statik emme derinliğini artırmak üzerine çalışmalar da yapmaktadır. Uluslararası patentler ile koruma altına aldıkları emme sistemi sayesinde motopompa teknik anlamda ciddi bir değer ve farklılık katmışlardır.

Turkuaz Elektromekanik firmasında yapılan mühendislik tasarım yenileme çalışmasıyla motopompların; hafifleştirilmesi, fonksiyonlarının iyileştirilmesi, maliyetinin düşürülmesi, üretiminin kolaylaştırılması, satışa sunulduğu pazarlarda ürünün hak ettiği değeri tam olarak bulabilmesi amacıyla estetik ve görselliğinin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Pompa firmasının ürettiği kendinden emişli motopomplarının geliştirilmesi sırasında firmaya destek olan hocam Prof. Dr. Süleyman Kadri YİĞİT, yüksek lisans öğrenimim ve bu tez çalışmam sırasında yardımcı olmuş ve her türlü desteği sağlamıştır. Hocama, göstermiş olduğu ilgi ve bütün emekleri için çok teşekkür ederim.

Mensubu olduğum Turkuaz Elektromekanik firması tarafından Kube pompa firması için yapılan aynı zamanda benim tez çalışmama konu olan “motopompların seri üretim için hafifleştirilerek modellenmesi, kalıplarının yapılması ve parçaların üretilmesi” isimli projenin gerçekleştirilmesi sırasında her iki firmadaki ismini saymadığım çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Daima yanımda olan aileme, öğrenimim ve tez çalışmam süresince gösterdikleri sabır ve hoşgöründen dolayı sonsuz sevgilerimi sunarım.

Şubat – 2019

Mehmet BAYRAKTUTAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	5
1.1. Mühendislik Tasarımının İlkeleri	5
1.2. Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar	8
2. POMPA VE BAĞLANTI PARÇALARI.....	16
2.1. Malzeme ve Üretim Yöntemi Değerlendirmeleri	16
2.1.1. Mevcut parçaların incelenmesi	16
2.1.2. Basınçlı döküm yönteminin incelenmesi.....	17
2.1.3. Alüminyum parçalara uygulanan eloksal işlemi.....	19
2.1.4. Pompa parçalarının basınçlı döküm yöntemi ile üretilmesi.....	20
2.1.5. Basınçlı döküm kalıplarının tasarımı ve imalatı	21
2.2. Santrifüj Pompa Çarkı ve Ana Mil	24
2.2.1. Pompa çarkı hesabı	26
2.2.2. Pompa ana milinin boyutlandırılması	27
2.3. Pompa Gövdesinin Tasarımı.....	28
2.4. Vanaların Tasarımı	31
2.5. Ön Kapak Tasarımı	33
2.6. Ana Mil Yatağı ve Motor Flanşı Tasarımı.....	35
2.7. Pompa ve Parçalarında Elde Edilen Ağırlık Kazancı	37
3. MOTOPOMP TAŞIYICI KAİDE	38
3.1. Metal Kaide İncelemesi	38
3.2. Plastik Taşıyıcı Tasarımı	40
3.3. Plastik Taşıyıcının İlk Örnek Üretimi.....	49
4. MOTOPOMP KAPORTASI.....	52
4.1. Metal Kaporta İncelemesi	52
4.2. Plastik Kaporta Tasarımı	56
4.3. Bakıma Uygun Tasarım Uygulaması.....	59
4.4. Kaporta Parçalarının Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi.....	60
5. O-RİNG YUVALARINDA OPTİMİZASYON	62
5.1. Genel O-ring Uygulamaları	62
5.2. Üçgen Kesitli O-ring Kanalı Tasarımı.....	63
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
7.1. Motopompun Geneli Üzerinde Değerlendirmeler	70
7.2. Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilen Parçalar	71
7.3. Plastik Kaporta Uygulaması	72

7.4. Taşıyıcı Kaidenin Yakıt Deposu Olarak Kullanılması	72
7.5. Üçgen Kesitli O-ring Kanalı Uygulaması.....	73
7.6. Öneriler	73
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	777
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	833
ÖZGEÇMİŞ	844



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Pnömatik bir pistonun çatal ucunun üretim şekline göre tasarlanmasının parça ve kalıp maliyetlerine etkisi.	6
Şekil 2.1. Mevcut motopompun kuma döküm yöntemi ile alüminyumdan üretilmiş parçaları	16
Şekil 2.2. Sıcak hazneli basınçlı döküm makinasında; (a) piston yukarıda iken erimiş metalin hazneye dolması, (b) pistonun erimiş metali kalıp boşluğuna basması	18
Şekil 2.3. Soğuk hazneli basınçlı döküm makinasında; (a) piston geride iken erimiş metalin hazneye doldurulması, (b) pistonun erimiş metali kalıp boşluğuna basması	18
Şekil 2.4. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçalarda elde edilen mükemmel yüzeyler.....	20
Şekil 2.5. Pompa gövdesinin basınçlı dökümünde kullanılmak üzere eritmeyi bekleyen alüminyum külçeleri	21
Şekil 2.6. Basınçlı döküm makinasının sağ tarafı enjeksiyon tarafı, sol tarafı ise itici tarafı olarak adlandırılır.	22
Şekil 2.7. Ana mil yatağı parçasının kalıbının itici tarafı ve kalıptan çıkan P1 ve P2 model ana mil yatağı parçaları.....	23
Şekil 2.8. Vana kurtağzı, vana küresi, vana gövdesi ve gönderici pervanesinin kalıbının bir parçası ve kalıptan çıkmış parçalar	23
Şekil 2.9. Pompa gövdesinin bir yarısının kalıbı ve kalıptan çıkmış parça	24
Şekil 2.10. Santrifüj pompa çarkının ilk ürününü talaşlı imalat ile üretimi ve denenmesi	25
Şekil 2.11. Pompa çarkı ve çark kapağı kalıbının bir yarısı ve kalıptan çıkmış haldeki çark ve kapağı	25
Şekil 2.12. İki parçalı olarak üretildikten sonra birleştirilmiş haldeki santrifüj pompa çarkları	26
Şekil 2.13. Kama ve rulmanları takılı halde pompa ana mili.....	27
Şekil 2.14. Kum kalıba dökülerek üretilmiş mevcut pompa gövdesi	28
Şekil 2.15. İki parça halinde üretilen pompa gövdelerine montaj öncesinde sıvı conta uygulanması	29
Şekil 2.16. Sıvı conta uygulanan pompa gövdesinin birleştirilmiş hali ve geçme bölgesinde uygulanan geçmeli yapı	29
Şekil 2.17. Pompa gövdesinin birleştirme öncesinde yolluk çapaklarının işlenmesi (solda), birleştirme sonrasında ise vana bağlantı bölgelerinin işlenmesi (sağda)	30
Şekil 2.18. X-ray cihazında pompa gövdelerinin iç yapısının incelenmesi	30
Şekil 2.19. Mevcut motopompta pompa çıkışındaki harici vanaların ve kurtağzı kaplinlerin bağlantı şekli	31
Şekil 2.20. Vana gövdesinin pompa gövdesi ve kurtağzı kaplinler ile bütünleşik tasarımı.....	32
Şekil 2.21. Mevcut motopompun pompasının ön kapağı ve üzerine sonradan takılan emme hortumunun kurtağzı kaplini	33

Şekil 2.22. Emme hortumu kurtağzı kaplininin ön kapak ile bütünleşik tasarımı	34
Şekil 2.23. Mevcut uygulamada pompa gövdesine arka kapak ve ana mil yatağının bağlanma şekli	35
Şekil 2.24. Ana mil yatağının arka kapak ile bütünleşik tasarımı ve motor flanşı ile eksenel bağlantısı.....	36
Şekil 2.25. Ana mil yataklama sisteminin 3D modelde alınan kesitte görünümü.....	36
Şekil 3.1. Mevcut motopompun metal taşıyıcı kaideli ve harici yakıt bidonu ile genel görünüşü.....	38
Şekil 3.2. Plastik taşıyıcının bilgisayar ortamındaki üç boyutlu tasarımı	41
Şekil 3.3. Birleştirme öncesi parçalara yapılan sıvı conta uygulamaları	41
Şekil 3.4. 500 kg yük altındaki taşıyıcının yapısal analizi.....	43
Şekil 3.5. Taşıyıcının üst parçasında yapılan duvar kalınlığı analizi.....	43
Şekil 3.6. Vida yuvalarının çevresinde yapılan kalınlık boşaltmaları.....	44
Şekil 3.7. Taşıyıcının üst parçasında boşaltmalar sonrasında yapılan kalınlık analizi.....	45
Şekil 3.8. İki perçinli taşıyıcıya uygulanan 0,25 bar basıncın yaptığı deformasyon	46
Şekil 3.9. Motopomp taşıyıcı kaidesinin kesitinde perçinlerin görünüşü	46
Şekil 3.10. Üçüncü perçin eklendikten sonra taşıyıcıya uygulanan 0,25 bar basıncın yaptığı deformasyon	47
Şekil 3.11. Tekerleklerin gövdeye montajında ve taşıma kollarının takılması amacıyla kullanılan sac çamurluklar	47
Şekil 3.12. Plastik kaide parçalarının CNC dik işleme merkezinde işlenmesi	49
Şekil 3.13. Çamurlukların frezede işlenmesi ve sonrasında kaynaklı hali.....	50
Şekil 3.14. Motopomp taşıyıcı kaidenin üzerine motor bağlanarak denenmesi	50
Şekil 3.15. Yakıt seviye şamandırası ve tasarımda model üzerinde yerleşimi	51
Şekil 4.1. Kullanıma hazır alüminyum kaporta sacları	52
Şekil 4.2. Alüminyum kaporta sacı bağlantıları ve kumanda panelinin yerleşimi	53
Şekil 4.3. Vakum ile şekillendirilmiş kaporta üst parçasının kenar kesiminden önce ve sonra görünümü	57
Şekil 4.4. Kumanda ve göstergeleri bağlantılarını sökmeden çıkarılıp takılabilen kaporta bağlantısı tasarımı	58
Şekil 4.5. Plastik kaporta parçalarının braketlere bağlantısı	59
Şekil 4.6. Termoform kalıplarında malzeme tasarrufu için uygulanan parça yerleşimi	60
Şekil 4.7. Alüminyumdan imal edilen termoform kalıbının görüntüleri	61
Şekil 4.8. Vakum ve ısı ile şekillendirilmiş üst kaporta kapağının iç ve dış görünüşü	61
Şekil 5.1. O-ring tanımlama ölçüleri ve üçgen kesitli O-ring yuva tasarımı	64
Şekil 5.2. Pompa gövdesi, ön kapak, ana mil yatağı ve motor flanşı arasındaki üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamaları	65
Şekil 5.3. Pompa gövdesi üzerindeki O-ring yuvası ve buraya takılacak O-ringin karşı parça üzerindeki topuk çıkıntısına yerleştirilmesi.....	65
Şekil 5.4. Vana gövdesinin her iki tarafındaki üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamaları	66

Şekil 5.5. Rulman ile eş merkezlenen parçaların birleşim yerinde üçgen kesitli O-ring kanalı uygulaması.....	67
--	----



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Pompa ve bağlantı parçalarındaki ağırlık değişimi.....	37
Tablo 3.1. Metal kaideli ve plastik taşıyıcılı motopomplarda ağırlık değişimleri.....	48
Tablo 4.1. Motopomp kaporta ağırlıklarındaki değişim	57
Tablo 5.1. Statik çalışmada O-ringin kesit çapına göre üçgen kesitli yuva ölçüleri.....	64
Tablo 5.2. Üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamasının pompa ebatlarına etkisi.....	67
Tablo 7.1. Motopompların bütünü üzerinde elde edilen ağırlık kazanımları.....	70



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
Al-Si	: Alüminyum - Silisyum
BG	: Beygir gücü
CO_2	: Karbondioksit
d_1	: O-ring iç çapı [mm]
d_2	: O-ring kesit çapı [mm]
ETIAL	: ETİ Alüminyum
Fe-Cr	: Demir - Krom
Hm	: Basma yüksekliği [m]
n	: Pompanın devir sayısı [d/dk]
Q	: Akışkanın debisi [m^3/s]
T	: Üçgen kesitli O-ring kanalı kenar uzunluğu [mm]
tg	: Camsı geçiş sıcaklığı

Kısaltmalar

3D	: Three Dimensions (Üç Boyutlu)
ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril bütadien stiren)
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ARGE	: Araştırma Geliştirme
ASTM	: American Society for Testing Materials
BUT	: Bakıma Uygun Tasarım
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
FKM	: Fluorocarbon (Viton)
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
MUT	: Montaja Uygun Tasarım
NBR	: Nitrile Butadiene Rubber
PA	: Polyamid
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil Klorür
TS	: Türk Standartları
UV	: Ultraviyole (Morötesi)

BİR MOTOPOMPUN HAFİFLEŞTİRİLMİŞ VE ÜRETİM KOLAYLIĞI SAĞLAYAN TASARIM MODİFİKASYONU

ÖZET

Özel bir pompa firması tarafından tasarlanıp ticari olarak üretilmekte olan motopompların, pompa karakteristikleri ile oynamadan yapılacak değişiklikler ile santrifüj pompasının hafifleştirilmesi bu çalışmanın asıl amacıdır.

İmalat, montaj ve demontaj kolaylığı da esas alınarak yapılan bir tasarımla, toplamda %20 oranında bir hafifletmeyi sağlamak ve bilhassa yurtdışı pazarlarda kalitesi ve görüntüsü ile rekabet edebilen estetik ve görselliği yüksek bir motopomp modellemeye çalışılmıştır. Arzu edilen hafifletirme oranını sağlayabilmek için motopompun, kaportası, taşıyıcı kasesi ve yakıt deposu da yeniden tasarlanmıştır.

Motopompların sıklıkla kullanıldığı arazi şartlarında, yaygın olarak içten yanmalı motorlar tercih edilmektedir. Pompa olarak ise üretim kolaylığı, ucuzluk ve debi/devir oranının yüksekliği nedeni ile santrifüj pompalar tercih sebebidir. Tasarıma konu olan motopomplarda, Pompa firması tarafından hâlihazırda kullanılan, P1 ve P2 olarak isimlendirilen santrifüj pompaların hidrolik karakteristiği belirleyen iç kısımlarına müdahale etmeden bir tasarım değişikliği yapılmıştır. Pompaların bağlantıları 23 BG ve 37 BG benzinli motorlarla birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak pompayı motora bağlayan parçalar, daha farklı motor seçenekleri ile çalışmak gerektiğinde kolaylıkla birlikte de kolaylıkla çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Motopompun motor hariç bütün parçaları CAD ortamında 3D modellenmiş ve yine bu ortamda parçaların montajı aslına uygun olarak yapılmıştır. Pompanın bütün parçalarının imalatı ve sonrasında kalite kontrolünün sağlıklı yapılabilmesi için imalat resimleri hazırlanmıştır. Bazı parçaların, ilk örnekleri talaşlı imalat yöntemi ile yapılmıştır. Daha sonra parçaların üretim sürecinin gereğine uygun olarak seri imalat kalıpları da tasarlanıp üretilmiştir.

Tasarım, optimizasyon ve imalatın birlikte uygulandığı bu çalışmada, benzer türde çalışmalara ışık tutması amacıyla mühendislik tasarımının nasıl olması gerektiği konusunda detaylı bilgilere de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Acil Durum Pompası, Motopomp, Plastik Kaporta, Plastik Taşıyıcı, Seyyar Santrifüj Pompa.

LIGHTWEIGHTING OF A MOTOPUMP AND DESIGN MODIFICATION FOR EASE OF PRODUCTION

ABSTRACT

The main purpose for this study is, designed and manufactured motopumps by a private pump company reduce the weight of the centrifugal pumps without changing the pump characteristics.

It has been tried to make a total of 20% reduce the weight with a design based on the ease of manufacturing assembly and disassembly and to try to model a motopump with a high aesthetics and visibility which can compete with quality and appearance especially in overseas markets. The motopump bodywork, carrier base and fuel tank have also been redesigned to provide the desired lightness ratio.

Internal combustion engines are widely preferred in the field conditions where motopumps are frequently used. As a pump, centrifugal pumps are preferred because of their ease of production, cheapness and high flow/rate ratio. Motopumps, which is the subject of design; it is desired that the centrifugal pumps, named P1 and P2, which are already used by pump company, are to be used together with gasoline engines in 23 HP and 37 HP without design modification in the inner parts which determine the hydraulic characteristics. However, parts that connect the pump to the motor are required to be able to easily respond to different engine options.

All components except the motor of the motopump are modeled in 3D in CAD environment and in this environment the assembly of the parts are done in accordance with originally. Manufacturing drawings for all parts of the pump are prepared. Thus, it is aimed to make manufacturing easier and quality control better afterwards. Prototypes of some parts have been made by machining method. Serial production molds are then designed and manufactured in accordance with the production process of the parts.

In this study, where design, optimization and manufacturing are applied together, detailed information is given on how engineering design should be in order to shed light on similar types of studies.

Keywords: Emergency Pump, Motopump, Plastic Bodywork, Plastic Carrier, Mobile Centrifugal Pump.

GİRİŞ

Su baskınlarında suların tahliyesinde, bilhassa orman yangınlarında yangınla mücadelede, deniz, göl, havuz ve akarsu gibi su kaynaklarından su temininde, gemi güvertelerine denizden su çekmek gerektiğinde veya şantiye sahalarında geçici su temininde taşınabilir acil durum pompalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Genellikle itfaiye teşkilatları, afet ve acil durum birimleri, su ve kanalizasyon idareleri tarafından kullanılan taşınabilir pompalara motopomp adı verilmektedir. Motopomp, dizel veya benzinli motorlarla çalışan kolay taşınabilir bir santrifüj pompadır.

Motopomp sistemleri; her ne kadar kolay taşınabilir olarak tanımlanıyor olsalar da kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında boyut ve taşınabilirlik önem kazandığından, en az insan ile nakliyeleri gerçekleştirebilmek için daha az yer kaplayan ve oldukça hafif motopomplara ihtiyaç duyulmaktadır.

Motopompların sıklıkla kullanıldığı arazi şartlarında, yaygın olarak içten yanmalı motorlar tercih edilmektedir. Pompa olarak ise üretim kolaylığı, ucuzluk ve debi/devir oranının yüksekliği nedeni ile santrifüj pompalar tercih sebebidir. Acil durumlarda veya arazi şartlarında elektrik enerjisinin temininin zor olduğu durumlarda kullanılan motopompların harici yakıt depoları, boyutları artırmakta ve yakıt deposu hacmi ağırlık bakımından taşınabilirlik dezavantajları oluşturmaktadır.

Bunun yanında, motopomp sistemleri, genellikle kullanılacakları alanlara ait kullanıcı talepleri veya ilgili mevzuatlarda belirtilen debi, basınç (emme ve basma yüksekliği) gibi pompa karakteristik değerlerini sağlayacak şekilde üretilmeleri hedeflenmektedir.

Gemi pervaneleri ve santrifüj pompalar üzerinde çalışmaları olan ve motopomp üretimi yapan özel bir firma, santrifüj pompalarda emme hattındaki sorunları gidermek ve statik emme derinliğini artırmak üzerine çalışmalar da yapmaktadır.

Firmanın patentini de aldığı buluşunda özgün nokta olan, pompanın emiş borusu ucuna yerleştirdiği eksenel çark (gönderici pervane); ana pompa milinden esnek bir şaft ile

tahrik edilmekte ve suyu santrifüj pompa girişine kadar göndermektedir. Böylece pompanın maksimum emme derinliği 10 metrelerin üzerine kadar çıkabilmektedir. İlk çalışmada emme hattının su ile dolu olmasına gerek kalmadan pompa birkaç saniye içerisinde su basmaya başlayabilmektedir [1].

Pompanın emme hattının başında kullanılan yüksek verimli ve titreşim yapmayan yapıdaki pervanenin kanatlarının aerodinamik hücum açıları, suyu kanadın tüm yüzeyine dengeli bir şekilde oturtmaktadır. Bu sayede pervaneden yüksek verim elde edilmekte ve pervane oldukça sessiz çalışmaktadır [2].

Üniversite ile sanayinin işbirliği çerçevesinde gerçekleştirilen bu tez çalışması aynı zamanda, pompa firmasının üretmekte olduğu motopompların yeniden tasarımının, optimizasyonun ve imalatının birlikte uygulandığı ticari bir projedir.

Pompa firması motopompların seri üretim için; düşük maliyetle ve kolay üretim teknikleri ile üretilmek üzere hafifleştirilerek yeniden modellenmesi, üretim ve kalite kontrole yönelik teknik resimlerinin hazırlanması, alüminyum ve plastik parçalarının kalıplarının yapılması, kalıplanan parçaların bitirme talaşlı imalatlarının yapılması işlerini tez yazarının mensubu olduğu firmadan talep etmiştir.

Motopompun motor hariç bütün parçaları CAD ortamında 3D modellenmiş ve yine bu ortamda parçaların montajı aslına uygun olarak yapılmıştır. Parçaların imalatı ve sonrasında kalite kontrolünün sağlıklı yapılabilmesi için imalat resimleri hazırlanmıştır. Kalıp maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle olası hataları önceden tespit edebilmek amacıyla bazı parçaların ilk örneklerinin talaşlı imalat yöntemi ile üretimi de yapılmıştır.

Motopomp projesi tamamlandıktan sonra; suyun emildiği yerin uzaklığına göre birbirine takılarak emiş hattını oluşturan ala hortumlarının, hortumların içerisinde yataklanan esnek şaftın, hortumun ucundaki eksenel çarkın ve gönderici gövdenin, en uca takılan süzgecin yeniden tasarımı da pompa firması tarafından daha sonradan projeye dâhil edilmiştir. Motopompun diğer parçalarında olduğu gibi emiş hattının da bütün parçalarının tasarım değişiklikleri tasarım firması tarafından yapılmış ve uygulanmıştır. Ancak bu çalışmalar pompanın özgünlüğünü sağlayan ticari sır niteliğinde olduğu için tez içeriğine dâhil edilmemiştir.

Proje kapsamında yapılan çalışmalar tez içerisinde bölümler halinde açıklanmıştır.

Bölüm 1’de; Bir ürün tasarlarırken uyulması gereken tasarımın temel ilkelerine yer verilmiş, mühendislik tasarım kavramının nasıl olması gerektiği üzerinde durulmuştur. Önceki başlığı altında ise, tasarımı yapılan bölümlerin temel teknolojisi hakkında yapılan kaynak araştırmasına yer verilmiştir.

Bölüm 2’de; ilk olarak alüminyumun kuma döküm ve basınçlı döküm teknolojisi, sonrasında ise pompa gövdelerinin tek parçalı ve iki parçalı döküm tekniği incelenmiştir. Alüminyum basınçlı döküm kalıp tasarım ve imalat süreci değerlendirilmiştir. Bu bölümde ayrı başlıklar halinde çark, vana, ana mil yatağı, motor flanşı ve pompa ön kapağı gibi yine alüminyum basınçlı döküm tekniği ile üretilen parçaların tasarımında dikkat edilen noktalar açıklanmıştır.

Bölüm 3’de; Motopompun, metalden yapılmakta olan taşıyıcı kaidesinin üretim sürecinin incelenmesi ve plastik enjeksiyon tekniği ile aynı zamanda yakıt tankı olarak da kullanılabilen plastik taşıyıcı tasarımının safhaları anlatılmıştır. Metal kaideli modelden plastik taşıyıcılı motopomp tasarımına geçişteki ağırlık değişimleri incelendikten sonra bölümün sonunda deneme amacıyla üretilen ilk örneğe de yer verilmiştir.

Bölüm 4’de; Motopompun, alüminyum malzemeden sac işçiliği ile yapılmakta olan kaportasının üretim sürecinin incelenmesi ve plastik malzemeden vakum ve ısı ile şekil verme tekniğine (termoform) uygun tasarımının safhaları anlatılmıştır. Motopomp kaporta ağırlıklarındaki değişim incelendikten sonra bölümün sonunda termoform kalıplarının tasarım ve üretim sürecine de yer verilmiştir.

Bölüm 5’de; Sızdırmazlık amacıyla kullanılan O-ringlerin genellikle dikdörtgen kesitli olarak uygulanan kanalları, boyut optimizasyonu, işleme ve montaj kolaylığı sağlama amacıyla parçaların birleşme yüzeylerindeki mevcut pahlar uygun ölçülere getirilerek üçgen kesitli O-ring kanalları olarak uygulanması incelenmiştir. Üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamasının pompanın ebatlarında yaptığı değişiklikler de karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bölüm 6’de; Bulgular ve Tartışma ana başlığı altında motopompun tasarımı sırasında yapılan araştırmalar ve üretim süreçleri değerlendirilirken elde edilen bilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 7’de; Sonuçlar ve Öneriler ana başlığı altında motopompun bütün bölümlerinin tasarımı ayrı başlıklar halinde özet sonuçlar olarak incelenmiş ve elde edilen ağırlık kazanımları açıklanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, pompa firması tarafından tasarlanıp üretilmiş P1 ve P2 olarak isimlendirilen iki farklı boyutta santrifüj pompanın, pompa karakteristikleri ile oynamadan yapılacak değişiklikler ile hafifleştirilmesi ve halihazırda kullanılan 23 BG ve 37 BG gücündeki iki farklı benzinli motora bağlantısının yapılması asıl amaçtır. Tasarım çalışması sonunda, pompa ve motorun birbirine bağlantısında kullanılan parçalarının, farklı motor seçeneklerine de kolaylıkla cevap verebilmesi istenmektedir.

Mevcut motopompa bir değer katmak amacıyla yapılan bu tasarım çalışmasında, değer artışını sağlamanın yolunun motopompun fonksiyonlarının iyileştirilmesi veya maliyetinin düşürülmesi olduğu değerlendirilmiştir. İmalat kolaylığı da esas alınarak yapılacak bir tasarımla, %20 oranında hafifleştirme hedeflenmiştir. Yurtdışı pazarlarda rekabet edebilecek kalite, estetik ve görselliğe sahip bir motopomp modellemeye çalışılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

Pompa firması tarafından motopompun, minimum maliyetle, kolay üretilebilen, toplamda ve parça bazında maksimum güvenliği sağlayan bir yapıda olması talep edilmiştir. Projeye başlangıç aşamasında müşteri talepleri, nasıl yerine getirilebileceklerine karar vermek amacıyla uzun soluklu sorgulanmıştır;

Firmanın talep ettiği kolay üretilebilirliğin, “geçmişte yaptığı motopomplara kıyasla mı?” yoksa “en son yaptıklarına göre mi?” veya “rakip firmaların yaptığı gibi mi?” olacağı üzerinde beyin fırtınası yapılmıştır. Eğer, parçalar öncekinin aynı üretim tekniği ile üretilecekse “öncekinden daha kolay nasıl olabilir?” sorusuna cevap aranmıştır.

Firmanın talep ettiği minimum maliyet gerçekten düşük maliyet mi? Öyleyse “minimum” nasıl ölçülebilir?. Ölçülemeyen bir talep olduğuna göre müşteri “minimum maliyet ile neyi ifade etmektedir?” soruları ile birlikte yine firmanın talebi olan maksimum güvenlik, “hangi teknolojiler ve üretim teknikleri ile elde edilebilir?” sorusuna da cevap aranmıştır.

“Kolaylık”, “minimum maliyet”, “maksimum güvenlik” gibi kavramlar, kime ve neye göre olduğu belli olmayan belirsiz kavramlar olduğundan müşteri memnuniyetini karşılayacak bir tasarıma ulaşabilmek için mühendislik tasarım kavramının nasıl olması gerektiği ve tasarım ilkeleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Literatür bu konularda zengin çalışmalar ve dolu bir içerik sunmaktadır.

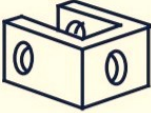
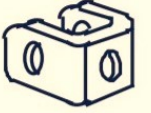
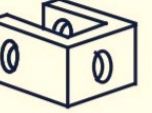
1.1. Mühendislik Tasarımının İlkeleri

Bir ürün için tasarım aşaması son derece önemlidir. Tasarım aşamasında verilen kararların genellikle bir ürünün nihai maliyetinin %70'ini, malzeme, işçilik ve diğer genel giderlerin ise %30'unu oluşturduğu kabul edilir. Tasarım sırasında yapılan bir dikkatsizlik veya bir hata, üretim, işletme, bakım veya onarım için daha sonraki tüm maliyetleri etkiler ve hatta nihai elden çıkarma yapılması durumunda geri dönüşüm maliyetlerine neden olur [3].

Mühendislik tasarımlarının temel amacı işlevsellik olmalıdır, amaçlanan işi yapmayan bir tasarımın, üretiminin kolay olması, iyi görünmesi ya da ekonomik olması önemli değildir. Örneğin maliyet, tasarımda bazı ödünler verilecek kadar önemli olmasına rağmen, olması gereken ve istenen işlevsellik seviyesinden daha önemli değildir. İşlevsellik ve performansın türüne ve seviyesine karar verildikten sonra tasarımın en önemli faktörü üretilebilir olmasıdır [3].

Bir ürünün tasarımı, sadece işlev veya amaca uygunluk ile de sınırlandırılmaz, aynı zamanda üretimi kolaylaştırması da gerekir. Tasarım mühendisi, tasarımın incelenmesi ve geri bildirim sağlanabilmesi için ön tasarım çıktısı ve/veya fiziksel model (prototip) hazırlamalıdır. Bu yapılmazsa tasarlanan bir ürün imalat sırasında başarısız olabilir. Bir ürünün üretim yöntemini tasarımın başında tespit edebilmek oldukça önemlidir. Üretim yöntemini seçmenin, parçanın üretim sayısı önceden bilmekle doğrudan bağlantısı vardır.

Örnek olarak pnömatik bir pistonun çatal ucu için Şekil 1.1'de farklı üretim yöntemlerine göre tasarım değişimleri incelendiğinde; döküm ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri arasında, her baskıda tekrarlanan parça başı maliyet ve tekrarlanmayan takım maliyeti açısından önemli bir fark olduğu görülmektedir.

					
Dolu Malzemeden İşleme	Kaynaklı Birleştirme	Döküm	Profilden Kesme	Sac İşçiliği	Enjeksiyon Kalıplama
	 x3				
Parça Başı Maliyeti					
\$95	\$75	\$55	\$25	\$1.20	\$0.30
Takım/Kalıp Maliyeti					
\$10	\$100	\$400	\$8	\$5,000	\$60,000

Şekil 1.1. Pnömatik bir pistonun çatal ucunun üretim şekline göre tasarlanmasının parça ve kalıp maliyetlerine etkisi [3].

Üretim yönteminin seçiminde kuşkusuz yapılacak üretimin sayısını bilmek en önemli parametredir. Bu nedenle maliyet ve satış fizibilitesinin doğru yapılmış olması gerekmektedir. Kalıp yatırımlarının, hedeflenen “yatırımın geri dönüşü” süresince üretilecek parçaların maliyetini artıracak da değerlendirilmiştir.

Bir mühendislik tasarımına başlamak için, mühendisin önünde çözülmesi zorunlu somut bir sorun bulunmalıdır. Tasarım mühendisinin ilk adımı, kendisine aktarılan sorunun tanımlanmasıdır. Sorun ve gereksinim ortaya konduktan sonra tasarımcı, tasarım sürecinde belli başlı üç etkinlikte bulunur. Bunlar aşağıda ayrıntılı ele alınacak olan tasarım kabiliyeti, karar verme ve modellemedir [4].

Bunlardan tasarım kabiliyeti daha çok zihinsel bir etkinliktir. Tasarım işleminin büyük bir kısmı sezinleme yolu ile yapılır, analitik teknikler işlemin kendisi değil yardımcıdır. Tasarım kabiliyeti yetenek ile ilgili olsa da büyük ölçüde mühendisin bilgi birikimine bağlıdır. Ayrıca bu kabiliyeti geliştiren ve artıran yöntemler de vardır.

Kara verme, tasarım sürecinde çeşitli aşamalarda ortaya çıkan seçenekler ve yöntemler arasından en uygun olanını seçmektir. Tasarım mühendisi her kararını matematiksel olarak ispatlamaya veya bir matematiksel temele dayandırmaya çalışmamalıdır. Bu durum gerçekçi bir tasarım mühendisliği için hiçbir zaman pratik olmaz. Ancak yaklaşık hesaplamalar ile yetinilmeli, hatta bazen mühendislik sezisinin verdiği genel eğilim ile seçeneklerden biri tercih edilmelidir. Tasarım mühendisi elindeki bilgiler ve kendi mühendislik sezgisi ile yetinmek zorundadır. Çünkü her şeyden önce mühendislikte zaman kısıtlıdır.

Tasarım sürecinin son önemli adımı modellemedir. Modelleme, mühendislik bilgi birikiminin, hesaplama yöntemleri ile tasarıma uyarlanmasıdır. Yani tasarımı yapılan ürünün bilinen yöntemlerle hesaplanması ve analitik çözümün gerçekleşmesi aşamasıdır. Bu konu başlığına, mühendislik öğrenimi süresince edinilen tüm temel bilimler ve mühendislik konuları girmektedir.

Tasarım sürecinin sonunda bir “tasarım ürünü” ortaya çıkar. Bu “ürün” tasarım süreci başında tanımlanan ve açıkça belirlenen sorun veya gereksinmeye yanıt olarak önerilen çözümdür. Bu demektir ki, amaç, başlangıçtaki hedefe ulaşmaktır. Bu hedefleri saptayan kişi ile tasarım ve çözüm önerisini getiren kişi aynı tasarım

mühendisi olduğuna göre, tasarım mühendisinin çalışma süreci boyunca ne denli dikkatli olması gerektiği bir kez daha ortaya çıkar [4].

Tasarım mühendisliğinin ürünü genellikle teknik resim, şekil ve bazen model veya prototip yapılar şeklindeki fikirlerdir. Tasarım tamamlandıktan sonra üretim mühendisi, bu verilerle ürünün fiziksel olarak gerçekleştirilmesini sağlar. Ancak, genel olarak üretim mühendisinin tasarım müdahalesi olmayacağı veya bunun çok sınırlı kalacağı göz önünde bulundurulduğunda, tasarımda yapılmış en küçük bir hata dahi yapım sırasında ürün üzerinde aynen tekrarlanır. Tasarlanan ürün seri olarak çok sayıda yapılacaksa, tasarımdaki küçük hataların çok büyük zararlara yol açması olasıdır. Bu nedenle tasarım mühendisi çok dikkatli çalışmak ve hesaplarında hassas olmak zorundadır. Ancak çalışmalar genellikle zamanla sınırlı olduğu için, hiçbir tasarım mühendisi, istediği gibi analiz ve sentezler yaparak optimizasyona ve bunun sonucu olarak da mükemmel bir tasarıma ulaşamaz.

Tasarım mühendisinin bir görevi de, bilimsel hassasiyet ile mühendislik yaklaşık hesabı arasında ortak bir denge kurmaktır. Bunun için, tasarım mühendisinin uygulayabileceği tek yöntem, kendi sezgisidir. Tasarım kavrayışı da diyebileceğimiz bu sezi, kuşkusuz tasarım mühendisinin bilgi, deneyim ve uygulama birikiminin kendisinde bıraktığı bir yetenektir. Bu yeteneğini sürekli geliştiren ve iyi kullanan kişi, iyi tasarım mühendisi olarak tanımlanır [4].

1.2. Konu ile İlgili Önceki Çalışmalar

Bu çalışmaya konu olan motopomp hakkında yapılan kaynak araştırmasında konu ile doğrudan ilgili bir bilimsel çalışma ya da kaynak bulunmamaktadır. Akademik değerde olabilecek iki çalışma ise; İlgili pompa firmasının isteği üzerine motopompun iki ayrı üniversite tarafından yapılan inceleme ve fonksiyon testlerinin raporlarıdır.

Süleyman Kadri Yiğit, 2014 yılında hazırladığı Kube Pompa Firmasının Ürettiği Ön Beslemeli Su Pompasının Mevcut Su Pompalarından Farkının Belirlenmesi konulu raporunda [5]; Pompa firmasının ürettiği pompa üzerinde yapılan gerekli inceleme ve testler sonucunda elde ettiği bulguları anlatmıştır. Pompanın en önemli farkının emiş borusu ucuna ilave edilen aksenal çark olduğunu, bu sayede de girişteki suya enerji verilerek, santrifüj pompa girişine kadar sevk edildiğini ve emme borusunun tamamen

su ile dolu hale gelmesinin sağlandığını ifade etmiştir. Böylece emme yüksekliğini belirleyen atmosfer basıncının etkinin ortadan kaldırılarak pompanın 8 metreyi aşan derinliklerden emiş yapar hale getirildiğini tespit etmiştir.

Mete Şen, 2014 yılında hazırladığı Kube Pompa Firması Tarafından Dizayn ve İmal Edilen Seyyar Motopompun İncelenmesi ve Fonksiyon Testlerinin Yapılması konulu raporunda [6]; Patenti alınmış olan seyyar motopompun özgünlüğünün, pompanın ana miline çelik tel örgülü spiral şaft ile bağlanarak tahrik edilen eksenel bir çarkın emişi sağlaması olduğunu ifade etmiştir. İBB Şehir Hatları Haliç Tersanesinde inceleyip test ettiği pompanın; emme hortumunun ucuna eksenel bir pompa çarkının yerleştirilmiş olduğunu ifade etmiştir. Bu sayede pompanın, emme borusunda harici bir kaynak ile vakum oluşturmaya veya emme borusunun girişine dip klapesi koyup ilk emiş öncesinde hortumu su ile doldurmaya gerek kalmadan emiş yapabildiğini ve daha yüksek statik emme derinliği sağlayabildiğini belirtmiştir.

Robert Messler'in 2014 yılında yayınlanan Reverse Engineering adlı kitabının bu çalışmada faydalanılan 14. bölümünde [3]; Mühendislik tasarımlarının temel amacının işlevsellik olduğu ifade edilmektedir. Amaçlanan işi yapmayan bir tasarımın, üretilmesinin kolay, görünümünün iyi ya da ekonomik olmasının hiçbir şey ifade etmeyeceği vurgulanmaktadır.

İsmail Cürgül ve arkadaşları tarafından yazılan, 2012 baskılı Makina Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği adlı kitapta [4]; Tasarım mühendisliğinin ürününün, genellikle teknik resim, model veya prototip yapılar olduğu, üretim mühendisliğinin ise bu verilerle ürünü fiziksel olarak gerçekleştirdiği ifade edilmektedir. Üretim mühendisinin tasarıma müdahalesinin çok sınırlı olacağı değerlendirilmekte, tasarımda yapılan en küçük bir hatanın ürün üzerinde aynen tekrarlanabileceği, bu durumun seri üretimde çok büyük zararlara yol açabileceği ortaya konduktan sonra tasarım mühendisinin çok dikkatli çalışmak ve hesaplarında hassas olmak zorunda olduğu ifade edilmektedir. Tasarım mühendisinin bir görevinin de, bilimsel hassasiyet ile mühendislik yaklaşık hesabı arasında bir denge kurmak olduğu ifade edilmekte bunun ise tasarım mühendisinin bilgi, deneyim ve uygulama birikiminin kendisinde bıraktığı bir yetenek olduğu belirtilmektedir. Bu yeteneğini sürekli geliştiren ve iyi kullanan kişinin ise iyi tasarım mühendisi olarak tanımlanacağı ifade edilmektedir.

Michael Ashby'nin, Materials Selection in Mechanical Design adlı kitabında [7]; malzemeleri ve üretim metotlarını seçmek için sistematik bir prosedür geliştirilmiştir. İç içe geçen kümeler şeklindeki grafiklerle uygulanan yöntem tasarım uygunluklarına göre malzeme seçme sürecini kolaylaştırmaktadır. "Ashby metodu" olarak literatüre geçen yöntem, malzemeleri, farklı birçok özelliklerine göre grafikler halinde karşılaştırma yapma imkânı sağlamaktadır. Bu açıdan kitap malzeme ve proses seçiminde güçlü bir araçtır.

Edvard Vinarcik'in, 2003 baskılı High Integrity Die Casting Processes adlı kitabı [8], Wisconsin-Milwaukee Üniversitesi'nde sunulan "Gelişmiş Döküm İşlemleri" başlıklı sürekli bir eğitim semineri esas alınarak, mühendisler ve tasarımcılar tarafından referans olarak kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Kitapta; döküm işlemleri ve erimiş metal akışı ile ilgili temel kavramların sunulduğu bir bölüm, yüksek kaliteli döküm süreçlerinin vaka çalışmaları ile birlikte incelendiği bölümler, ürün tasarımına, kaliteye ve kusurlara odaklanan bölümler ve son olarak da konu ile ilgili gelecekteki gelişmelerin irdelendiği bir bölüm vardır.

Arda Çetin'in, 2017 tarihli Alüminyum Döküm Alaşımları adlı el kitabında [9]; dökme demirler üzerine odaklanan üç el kitabının ardından, dördüncüsünde alüminyum döküm alaşımları üzerine odaklanılmaktadır. Alüminyum teknolojisinde ne kadar büyük bir yol alındığını gösterebilmek için, öncelikle alüminyumun tarihçesi ve bir zamanlar değerli metal olarak tanınan bu metalin nasıl ucuzlayıp yaygınlaştığı anlatıldıktan sonra döküm sektöründe kullanılan alaşımların sınıfları, mikroyapıları ve özellikleri üzerine de kapsamlı bilgiler verilmektedir. Alüminyum döküm alaşımlarının; oldukça kolay bir şekilde dökülebiliyor olmaları yanında, çok karmaşık döküm hataları ortaya çıkarma eğilimi taşıyor olmaları, hafiflikleri ve değişken mekanik özellikler sergileme kapasiteleri gibi birçok avantajı dikkat alındığı zaman, bu alaşımları ilerleyen yıllarda daha sık göreceğimiz ifade edilmektedir.

Ahmet Aran'ın 2007 tarihli Döküm Teknolojisi adlı imal usulleri dersinin ders notlarında [10]; döküm tekniği tarihçesi ile anlatıldıktan sonra dökülecek metalin eritilmesi, dökülmesi ve katılaşmasının esasların incelenmektedir. Sıvı halde akıcı olan metallerin, üretilmek istenen parçanın biçiminde bir boşluk içeren kalıplara (yerçekimi yardımıyla veya uygulanan basınçla) doldurularak katılaştırıldığı, döküm tekniği ele

alınmaktadır. Sıvı metalin içine döküldüğü kalıp olarak, her dökülen parçadan sonra bozulan kalıplar kullanıldığı gibi, birden fazla parçanın üretimine imkân veren metal kalıplar da kullanılabileceği ifade edilmektedir. Metalin katılaşmasından sonra kum kalıplarda kalıp bozularak, kalıcı kalıplarda ise kalıp açılarak dökülen parçanın çıkarılacağı belirtilmektedir. Çalışmada, döküm sonrasında bitirme işlemleri ayrı bir bölüm halinde incelendikten sonra döküm kusurları ve parça tasarımında dikkat edilmesi gerekenler irdelenmektedir.

Emre Gökşahin, 2007 yılında yapmış olduğu Sert Eloksal ile Kaplanmış Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi adlı tezinde [11]; alüminyum alaşımlarının aşınma dirençlerini geliştirmek amacıyla yüzeylerinin sert eloksal ile kaplanmasının, alaşımın sertliğini artırmanın yanında aşınma direncini de çok önemli oranda arttırdığını gözlemlemiştir. İki farklı alaşımdaki numuneleri değişik akım, sıcaklık ve sürelerde uyguladığı sert eloksal işlemi ile $35 \pm 5 \mu\text{m}$ kalınlığında kaplamış ve kuru kayma koşullarında yapılan testlerle aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşınma testlerinin karşı yüklemeli aşınma test cihazında aşındırıcı olarak alümina top kullanılarak yapıldığını ve sert eloksal ile kaplanmış numunelerin aşınma dirençlerinin kaplamasız numunelerden 25-30 kat daha iyi olduğunu ifade etmiştir.

Murat Ündey ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları deneysel çalışmada [12]; ETİAL-160 Al-Si alaşımından sıkıştırırmalı döküm yöntemi ile prototip bomba gövdesi üretimini incelenmişler ve sıkıştırırmalı döküm yönteminin tam olarak uygulanabilmesi için sıkıştırırmalı döküm değişkenlerini belirlemişlerdir. Sıkıştırırmalı döküm işleminin başarı ile uygulanabilmesi için döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, kalıp ayırıcısı tipi, uygulama basıncı ve süresi gibi birçok etkenin dikkatle izlenmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır. 20 veya 40 tonluk basıncın en az 17 saniye uygulanması durumunda parçada hedeflenen kalitede yüzey ve mikro yapının elde edilebildiğini bulmuşlardır.

Nazım Özkan Asan, 2010 tarihli Yüksek Basıncılı Kalıp Döküm Prosesinde Enerji ve Geri Dönüşüm Giderlerinin Kalıp Optimizasyonu ile Azaltılması adlı uygulamalı makalesinde [13]; yüksek basınçlı kalıp döküm sürecinde dökümhanelerin temel gider kalemleri arasında yer alan hammadde ve enerji giderlerinin, kalıp tasarımı ve kalıp sisteminin optimizasyonu ile azaltılması sonucu enerji giderlerinde ciddi tasarruflar sağlandığını ifade etmiştir. Kalıp imalat sürecinde kalıp termal dengesinin ve

kullanılan kalıp malzemesinin optimize edilmesi ile kalıp başına azaltılacak 100 gr alüminyumun 10 makinalı bir dökümhanede yıllık 1.000.000. €'yu bulabilen enerji ve hammadde tasarrufu sağladığını belirtmiştir. Kalıp optimizasyonu sonrası gramaj azaltılmasının enerji ve geri dönüşüme giden hurda miktarına etkisini %80 kapasite ile çalışan 15 presli bir dökümhane için hesaplamıştır.

Yunus Aslan ve İbrahim Karaağaç, 2014 yılında yaptıkları V Bükmede Geri Esneme Davranışları adlı çalışmada [14]; sac metal bükme işlemlerindeki karşılaşılan şekil verme problemini aşmak için malzeme, proses ve kalıp parametrelerini dikkate alarak çok sayıda deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleriyle bilgisayar destekli sayısal analiz çalışmaları yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda geri esnemeye etki eden faktörleri sıralamışlar, bu faktörlerin, kalıp tasarımı esnasında ve proses şartlarının tanımlanmasında dikkate alınması durumunda, geri esneme açısından başarılı sonuçların elde edilmesine imkan sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

Hayder Isam Abdulzahra Alsaadi ve arkadaşı, 2017 yılında yaptıkları Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi adlı araştırma makalelerinde [15]; alüminyum alaşımına farklı sürelerde suni yaşlandırma işlemi uygulayarak, alaşımın sertliğinin değişimini incelemeye çalışmışlardır. 20x20 mm boyutlarında hazırlanan numuneleri işlemsiz, solüsyonda, 1saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yaşlandırılarak farklı gruplara ayırmışlardır. Yaşlandırılan numunelerin sertliklerini ölçüp grafiklerini çizdirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonunda, sürece bağlı olarak numunelerin sertliklerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Uğur Aras ve arkadaşları, 2016 yılında derledikleri Orta Yoğunlukta Liflevha Yüzeylerinde Toz Boya Uygulamaları adlı makalede [16]; toz boyaların solvent içermemesi dayanıklı ve çevre dostu olması, düşük organik bileşik salınımı, zengin renk seçenekleri ve ekonomiklik gibi özellikleri ile geleneksel boyama yöntemlerine göre daha çekici bir alternatif oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Toz boyamanın diğer bir avantajını ise kesintisiz uygulanabiliyor olması olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, toz boya sürecinin uygulama parametrelerine de yer verilmiştir.

Olca Ekşi, 2014 yılında Plastik Esaslı Kompozit Levhaların Thermoforming (Vakum ve Isı ile Şekil Verme) Özelliklerinin İncelenmesi adlı çalışmada [17]; takviye elemanı içermeyen Polipropilen (PP), Polistiren (PS) ve Polivinil Klorür (PVC) levha

malzemeler ile ağırlıkça takviye elemanı içeren %5 cam elyaf takviyeli Polipropilen (PP), %5 ve %15 karbon elyaf takviyeli Polipropilen (PP), %5 cam elyaf takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) levha malzemeler vakum ve ısı ile şekil verme yöntemiyle şekillendirmiş, proses parametreleri değişiminin ürün kalitesi üzerine etkisini araştırmıştır. Vakum ve ısı ile şekil verilen yarı mamuller üzerinde kesitler alarak ürün kalınlık dağılımlarını belirlemiştir. Elde ettiği kalınlık dağılımı ifadelerini, vakum ve ısı ile şekil verme simülasyonu sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada elde edilen kübik, silindirik ve konik yarı mamullerde Geometrik Elemanlar Analizi metodu kullanarak ürün kalınlık dağılımlarını oluşturmuş ve deneysel verilerle karşılaştırmıştır. Sonuç olarak konik, silindirik ve kübik yarı mamullerde şekil değişiminin lineerliğini yitirmesi, kullanılan termoplastik levha malzemenin türü, kristal veya amorf yapıda olması, takviye elemanı içermesi, vakum ve ısı ile şekil verme proses parametreleri (ısıtıcı eleman sıcaklığı, polimer levha sıcaklığı, polimer levha ile kalıp arasındaki sürtünme şartları, kalıp sıcaklığı, vakum uygulama süresi) gibi bir çok parametrenin değişiminin sonucu olduğunu ifade etmiştir. Kalıp geometrisinin gerçek şekil değiştirme bileşenini en çok etkileyen unsur olduğunu belirtmiştir. Çalışmanın diğer bir sonucunu ise; ürünün en zayıf noktalarının polimer levhanın kalıba en son temas ettiği bölgelerde olmasından dolayı, aynı ürün erkek kalıpla şekillendirilebilir veya dişi kalıpla şekil vermeden önce erkek kalıpla derin çekildikten sonra vakum uygulanabilir diye ifade etmiştir.

Farnoud Khakzad, 2017 yılında yaptığı Feder Parametrelerinin Plastik Parça Mukavemeti Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi adlı tezinde [18]; plastik parçanın et kalınlığının artırılması sonucu parçada çökmeler ve çarpılmalar olacağı için, feder yapıları vasıtasıyla plastik parçanın et kalınlığını artırmadan parçanın mukavemetini artırmanın mümkün olacağını ifade etmiştir. Federlerin plastik parçanın mukavemetine ve deformasyonuna olan etkilerini belirlemek amacıyla, feder kalınlığı, feder yüksekliği, federin açısı ve federin dip yarıçapı olmak üzere dört farklı parametreye değişik değerler atayarak tasarlanan plastik parçaların mukavemetini belirlemek için ANSYS programında mekanik analizler gerçekleştirmiştir. Feder yüksekliği ile kalınlığının artmasının deformasyon miktarını azalttığı, ancak yarıçapın artmasının deformasyonun düşüşünde çok az etkiye sahip olduğu, feder açısı ise feder yüksekliğinin arttığı tasarımlarda deformasyon oranının da arttığını belirlemiştir.

Plastik parçada oluşan deformasyon oranı dikkate alındığında feder yüksekliğinin plastik parçanın et kalınlığının yaklaşık 3-4 katı seçilmesinin uygun olacağını, belirli değerin üzerinde olmasının ise beklenen faydayı sağlamadığını ve mukavemete olan etkisinin sınırlı kaldığını belirlemiştir. Feder kalınlığının, parçanın et kalınlığının %60'ından büyük olmasının ise soğuma sırasında eşit olmayan sıcaklık ve basınç dağılımı oluşturduğundan çarpılma ve çökmeye neden olacağını ifade etmiştir.

Abdurrahman Çetin, 2016 yılında yaptığı Katkı Maddelerinin ve Enjeksiyon Parametrelerinin Plastik Ürünün Mekanik Özelliklerine ve UV Direncine Etkisinin Deneysel Araştırılması adlı tezinde [19]; plastik malzemelere ilave edilen katkı maddelerinin ve enjeksiyon parametrelerinin plastik ürünün mekanik özelliklerine etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. PA66 mühendislik malzemesi ile yapılan deneysel çalışmaları için üç farklı oranda Cam elyaf, boyar madde (Masterbatch) ve UV stabilizatör katkı maddeleri ilave edilerek dokuz farklı PA66 malzeme karışımı hazırlanmış, katkısız PA66 malzemeyle birlikte toplam on farklı plastik malzeme kullanarak farklı enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı ve enjeksiyon hızı olmak üzere üç farklı enjeksiyon parametresi kullanılmıştır. PA66 mühendislik malzemeden üretilmiş plastik parçanın mekanik özelliklerinde, cam elyaf oranının %10 - 30 artmasıyla %14 ile %386 arasında iyileşme olduğu sonucuna varmıştır. Masterbatch oranının %1 - 3 artmasıyla mekanik özelliklerin %2,5 oranında olumsuz etkilendiğini, enjeksiyon parametrelerindeki değişimler ile mekanik özelliklerin %2 civarında etkilendiğini ifade etmiştir. UV stabilizatör katkısının mekanik özellikleri çok fazla etkilemediği, UV stabilizatör katkılı plastik parçalara uygulanan yaşlandırma testinin öncesi ve sonrasında yapılan renk analizlerinde en az renk değişimlerinin %0,5 UV katkılı plastik parçalarda olduğunun görüldüğünü ifade etmiştir.

Altuğ Özdemirkıran, 2008 yılında yaptığı Bilgisayar Destekli Mühendislikte Montaja ve Bakıma Uygun Tasarım ve Uygulaması adlı tezinde [20]; eşzamanlı mühendislik tasarımının önemli araçlarından olan montaja uygun tasarım (MUT) ile bakıma uygun tasarım (BUT) yöntemlerini tanımladıktan sonra, bu yöntemlerin öngördüğü tasarım kıstaslarının açıklamaları yapılmıştır. Bu yöntemler kullanılarak yapılan uygulamalardan elde edilen pratik sonuçları, teorik olarak açıklanan tasarım kıstasları ile karşılaştırıp bunların geçerliliğini ortaya koymuştur. Çalışma içerisinde yapılan uygulamalara bakıldığında MUT ve BUT yöntemlerinin kullanılmasının ürün tasarım

sürecini kısalttığı, üretim maliyetleri azalttığı, montaj sürelerini azalttığı, ürün kalitesini ve güvenilirliğini arttırdığı, bakım sürelerini kısalttığı görülmüştür. Eşzamanlı mühendislik felsefesi ve bu felsefenin önemli araçlarından ikisi olan MUT ve BUT yöntemleri dikkate alınarak yapılacak tasarım çalışmalarında, geliştirme sürelerinin ve maliyetlerinin azalacağı, ürün kalitesinin ve güvenilirliğinin kayda değer şekilde artacağı ifade edilmiştir.

Parker firmasının, O-ring Handbook adlı kitabı [21]; temel sızdırmazlık malzemesi olan elastomerlerin özellikleri, O-ring uygulamalarından örnekler, statik ve dinamik sızdırmazlık tasarımının temelleri ve O-ring arızaları hakkında geniş bilgi içermektedir. Ayrıca, uluslararası boyutlar ve standartlar ile akışkanlar, gazlar ve katılar için uyumluluk verileri hakkında iyi bir bakış sunar.

Cihat Gül, 2010 yılında yaptığı Lineer Sızdırmazlık Elemanlarının Performans Karakteristiklerine Makro Geometrinin Etkisi adlı deneysel çalışmasında [22]; önce çok geniş bir aile olan sızdırmazlık elemanlarını detaylıca incelemiştir. Statik sızdırmazlık elemanları başlığı altında incelenen O-Ring, T-Ring, LRing ve diğer sızdırmazlık elemanlarının statik durumdaki hareketlerini ve karşılaşılan durumları değerlendirmiştir. Statik sızdırmazlıkta kullanılan sızdırmazlık elemanı, monte edildiği kanal içerisinde basınç ile yer değiştirerek sıvının kaçabileceği boşlukları doldurarak sızdırmazlığı sağladığı için hazırlanması gereken kanalın tasarımı ve bunun neden çok önemli olduğunun üstünde durmuştur. Farklı geometrideki kanalların kendine göre avantajlarını ve dezavantajlarını çalışmasının içerisinde aktarmıştır.

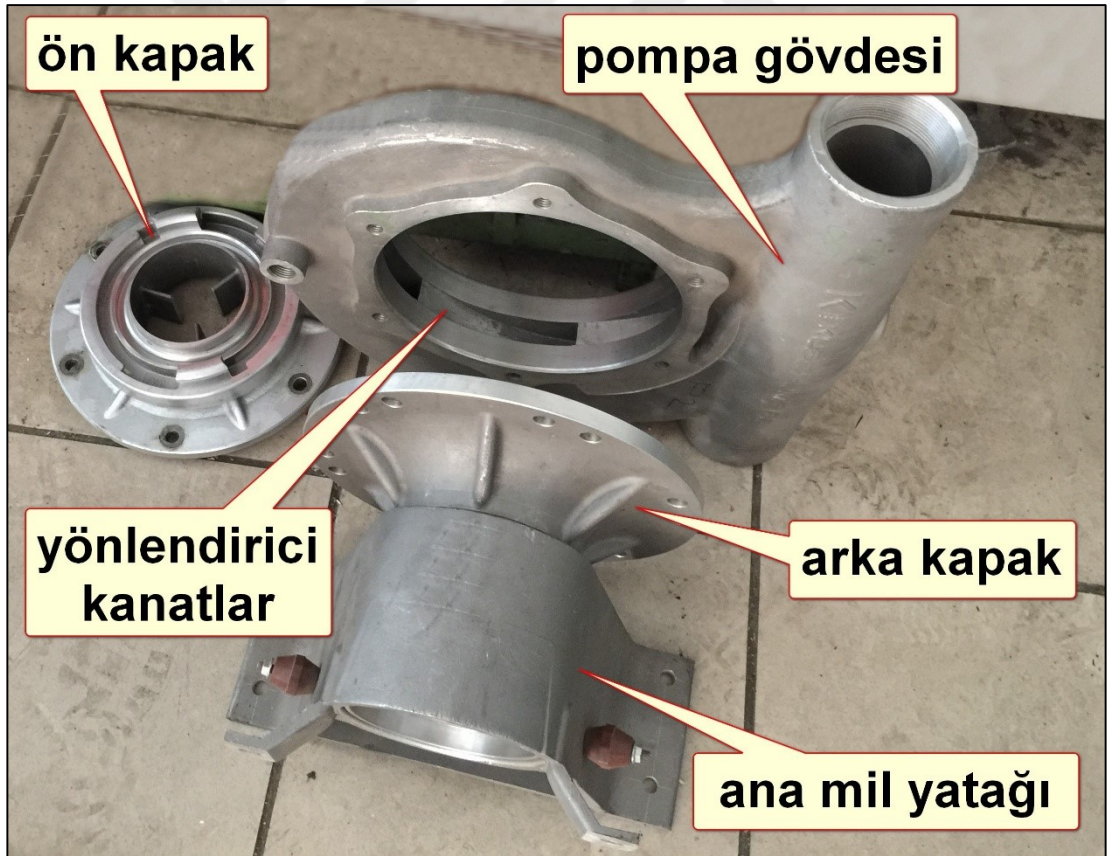
Konunun ticari oluşu nedeniyle de motopomp hakkında ürün tanıtım ve kullanma broşürlerinden başka detaylı bilgiye ulaşamamıştır. Bu nedenle kaynak araştırması alt sistem ve süreçler üzerinde yapılmıştır. Mühendislik tasarım ve ilkeleri, montaja ve bakıma uygun tasarım yöntemleri, bilgisayar destekli tasarım, alüminyum basınçlı döküm süreci, sac metal şekillendirme yöntemleri ve boyama, plastik parça tasarımı, sızdırmazlık uygulamaları gibi alt sistemler için birçok kaynağa ulaşılmıştır. Literatür bu konularda oldukça zengin bir içeriğe sahiptir. Bulunan kaynaklar üzerinde ciddi ve zaman alıcı bir inceleme ve öğrenme süreci gerçekleştirildikten sonra bu çalışma meydana gelmiştir.

2. POMPA VE BAĞLANTI PARÇALARI

2.1. Malzeme ve Üretim Yöntemi Değerlendirmeleri

2.1.1. Mevcut parçaların incelenmesi

Mevcut uygulamada, pompa gövdesi, ön ve arka kapaklar ile ana mil yatağı gibi pompa parçaları alüminyumdan kum kalıba döküm yöntemi ile imal edilmektedir (Şekil 2.1). Kum kalıba döküm yöntemi ile içi ve dışı karmaşık yapıda da olsa büyük ve ağır parçalar üretilabilmektedir. Alüminyum ise, hafifliği, uygun maliyeti, kolay işlenebilmesi, korozyona karşı dayanımı ve geri dönüştürülerek kullanılıyor olması gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir.



Şekil 2.1. Mevcut motopompun kuma döküm yöntemi ile alüminyumdan üretilmiş parçaları

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Mevcut uygulamada pompa gövdesi tek parça halinde kalıplanmaktadır. Gövde içindeki boşluk ve yönlendirici kanatlar kum maça kullanılarak oluşturulmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının 2700 kg/m^3 civarlarında olan yoğunluğu demir alaşımlarının yoğunluğuna göre oldukça düşüktür. Yoğunlukları, malzemenin akma ve çekme dayanımları ile birlikte değerlendirildiğinde alüminyum parçaların özgül dayanımlarının¹ çeliklere yakın, dökme demir ile neredeyse aynı değerde olduğu görülmektedir [7]. Alüminyum alaşımları, bu özellikleri sayesinde, ağırlığın önemli olduğu uygulamalarda tercih edilen malzemeler olarak öne çıkmaktadırlar.

Bununla birlikte alüminyumun kum kalıba döküm yönteminde bazı olumsuz durumlar da ortaya çıkmaktadır [8]. Döküm sırasında malzemede meydana gelen porozite², kaba ve homojen olmayan mikro yapının mekanik özellikleri bozması, serbest dökülen sıvı metale basınç uygulanmamasından dolayı çok ince kesitlerin elde edilmesi zorluğu, boyutsal kararlılığın ve yüzey kalitesinin düşük olması gibi durumlar kum kalıba dökümün sakıncalı taraflarıdır.

2.1.2. Basınçlı döküm yönteminin incelenmesi

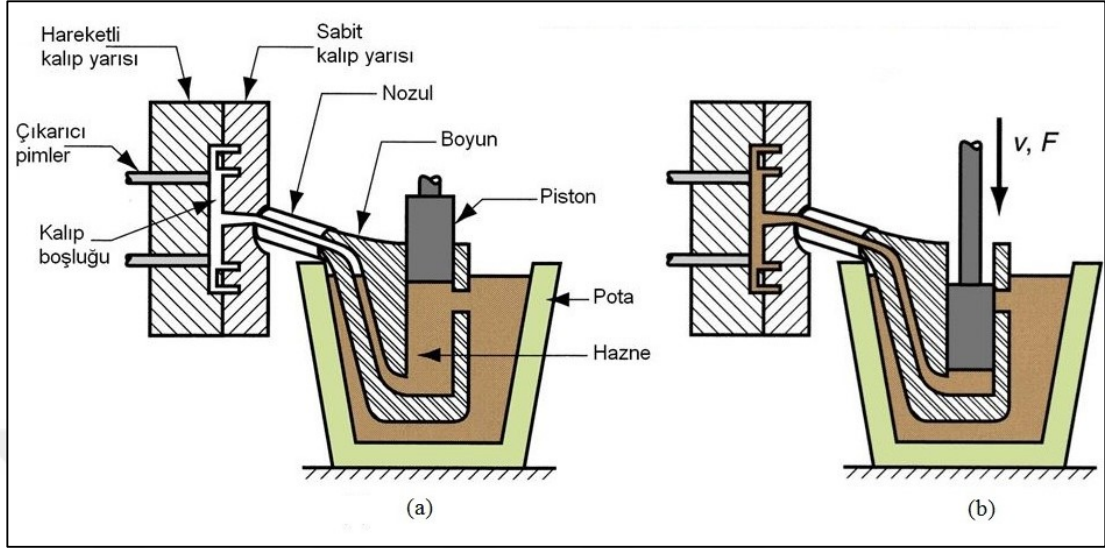
Basınçlı döküm, birçok üstünlüğü sayesinde alüminyum döküm süreçleri içinde en fazla kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde çok sayıda parça üretimi hızlı bir şekilde yapılabilmekte ve üretilen parçalarda yüksek boyutsal kararlılık ile birlikte oldukça iyi bir yüzey kalitesi de elde edilmektedir.

Basınçlı döküm yönteminde sıvı metal, soğutulan metal kalıplar içine 80 atmosferlere varan yüksek basınçlar altında doldurulmakta ve katılaşma tamamlanana kadar basınç uygulanmaya devam edilmektedir. Yüksek basınç altında hızlı bir şekilde katılaşan alaşımın mikro yapısı ince ve kusursuz olmakta dolayısı ile üretilen parçaların

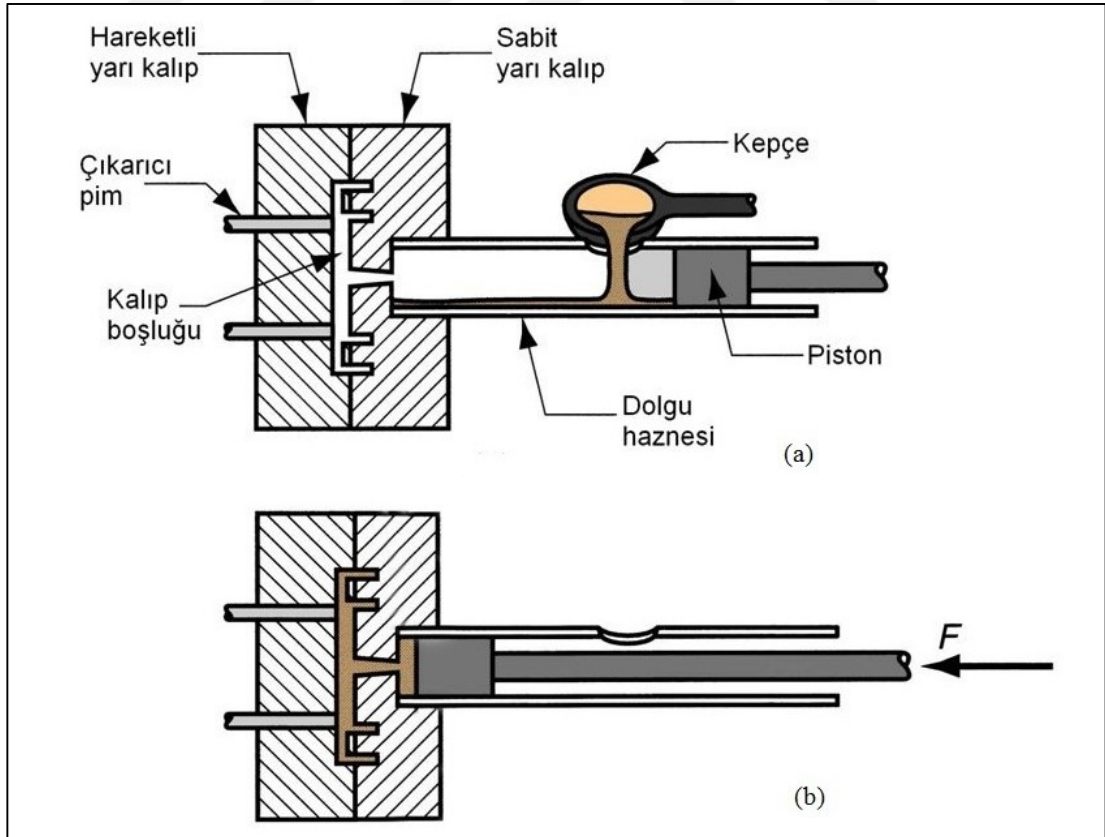
¹ Özgül dayanım (specific strength) = maksimum dayanım / yoğunluk

² Dökümü gerçekleştirilen alaşım soğuyarak sıvı halden katı hale geçerken hacmi küçüldüğünden parça içerisinde en son katılaşan veya nispeten kalın cidarlı bölgelerde çekme boşlukları oluşabilir. Çekme boşluklarına “makro porozite” adı verilir. Kalıp boşluğunda var olan veya sıvı metal içinde çözünmüş gazların alaşımı ve kalıbı terk edememesi sonucu parça içinde veya yüzeyinde oluşan gaz boşluklarına “mikro porozite” adı verilir. [32]

dayanımı yükselmektedir. İnce kesitlerin tam olarak dolmasını sağlayan bu yöntem, karmaşık biçimli ve ince cidarlı parçaların dökümü için de uygundur [9].



Şekil 2.2. Sıcak hazneli basınçlı döküm makinasında; (a) piston yukarıda iken erimiş metalin hazneye dolması, (b) pistonun erimiş metali kalıp boşluğuna basması



Şekil 2.3. Soğuk hazneli basınçlı döküm makinasında; (a) piston geride iken erimiş metalin hazneye doldurulması, (b) pistonun erimiş metali kalıp boşluğuna basması

Basınçlı döküm makinaları sıcak ve soğuk hazneli olmak üzere ikiye ayrılır. Çinko, kalay ve kurşun alaşımları gibi nispeten daha düşük sıcaklıkta eriyen metallerin dökümünde sıcak hazneli makinalar kullanılır. Bu makinalarda, pota içerisine daldırılmış olan hazneye dolan erimiş haldeki metal, piston yardımıyla kalıp boşluğuna basılır. Şekil 2.2’de sıcak hazneli döküm makinası ve işlem sırası şematik olarak gösterilmiştir [10].

Daha yüksek sıcaklıklarda eriyen bakır, alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi metaller, makinanın çalışan parçaları ile sürekli temasta olmaları sakıncalı olacağından soğuk hazneli makinalarda dökülürler. Bu yöntemde, erimiş metal dökümden hemen önce kepçe ile potadan gereken miktarda alınarak makinanın dolgu haznesine doldurulur ve bir piston yardımıyla kalıp boşluğuna basılır. Şekil 2.3’de soğuk hazneli döküm makinası ve işlem sırası şematik olarak gösterilmiştir [10].

2.1.3. Alüminyum parçalara uygulanan eloksal işlemi

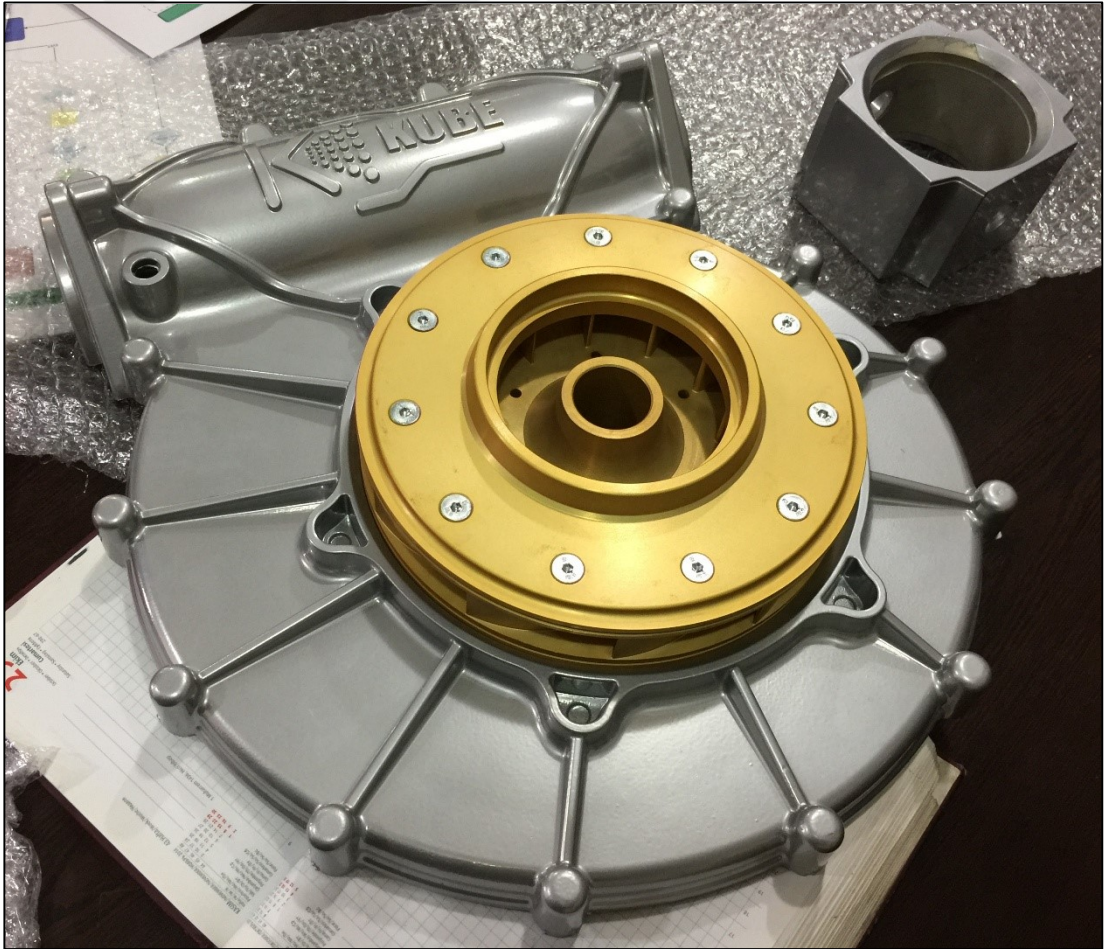
Alüminyum oksijen ilgisi yüksek bir metal olduğundan, normal şartlarda bile yüzeyinde alüminyum oksit filmi oluşur. Bu film yüzeyi bir miktar sertleştirir de çok ince olduğundan endüstriyel bir katkı sağlamaz. Alüminyum ve alaşımlarının yüzeyleri endüstriyel uygulamalar için eloksal kaplanır. Bu işlem uluslararası terminolojide "Anodik Oksidasyon" veya "Anodizasyon" olarak tanımlanır. Elokshal kaplama işlemi elektrokimyasal bir proses olup yüzeyde yapay bir oksit tabakası oluşturma işlemidir [11].

Sert eloksal (hard anodising) kaplama yöntemi, diğer eloksal kaplama işlemleri ile karşılaştırıldığında malzemeye çok iyi aşınma özellikleri kazandırmaktadır. Temel olarak asit karakterli elektrolit bulunan banyolarda, sisteme akım verilerek anot olarak işlev gören malzemenin yüzeyinin oksit kaplanmasıdır. Elokshal tabakası çok sert (Al_2O_3) ve aşınmaya karşı çok dayanıklı olduğundan alüminyuma üstün özellikler kazandırır. Alüminyumu korozyona karşı korur. Elokshal tabakasının şeffaf yapısı, alüminyumun metalik görünümünü ortaya çıkarır [11].

2.1.4. Pompa parçalarının basınçlı döküm yöntemi ile üretilmesi

Kuma döküm yöntemiyle maça kullanılarak tek parça olarak üretilen pompa gövdesi ve çarklarda döküm sürecinin yapısı nedeniyle kalıptan çıkan parçaların yüzeyleri pürüzlü olmakta ve bu pürüzler sonradan giderilememektedir. Bu yöntemle üretilen parçalarda yüzey pürüzlülüğü 6 – 25 µm arasında ölçülmektedir.

Pompanın bütün parçaları alüminyum malzemedan basınçlı döküm (alüminyum enjeksiyon kalıplama) yöntemi ile üretilmek üzere tasarlanmıştır. Böylece kuma döküm yönteminin imalat kısıtları ortadan kalkmış, parçaların bilhassa akışkan temas eden yüzeylerine arzu edilen bütün teknik ayrıntılar uygulanabilmiştir. Bilhassa Şekil 2.1’de görülen yönlendirici kanatların formlarının tasarıma uygunluğu konusunda mevcut pompalara göre üstünlük elde edilmiştir



Şekil 2.4. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçalarda elde edilen mükemmel yüzeyler

Şekil 2.4’de görüldüğü gibi basınçlı döküm yöntemi ile imal edilen pompa gövdesinde ve pompa çarkında oldukça parlak ve yüzey pürüzlülüğü 0,5 – 3 µm arasında olan yüzeyler elde edilebilmiştir. Böylece hidrolik verim mevcut motopomplardan daha iyi bir duruma gelmiştir. Kalıptan çıkan parçaların bazı geçme yerlerinde mecburen uygulanması dışında genellikle talaşlı işlem uygulamaya gerek kalmamıştır.

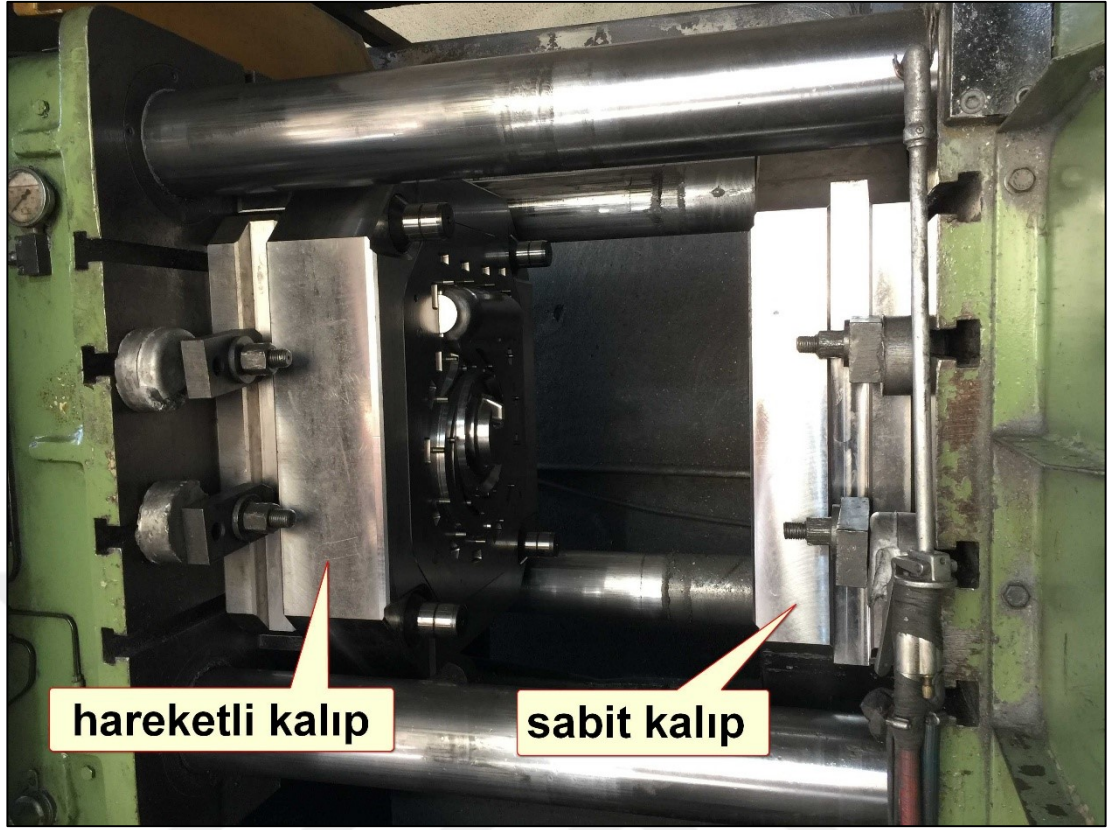
Basınçlı döküm için seçilecek alüminyum alaşımı araştırılırken öncelikli olarak yurt içerisinde temin edilebilir olması göz önüne alınmıştır. Alaşımın eloksallı kaplamaya uygun olması da dikkate alınması gereken bir durum olarak ortaya çıkmıştır. Sert eloksallı kaplamaya uygunluğu ve iyi yüzey kalitesi elde edilmek istenen parçaların basınçlı dökümünde sıklıkla tercih edilmesi nedeniyle ETİAL-160 alüminyum alaşımı bu çalışma için de uygun bulunmuştur. Pompanın parçalarının basınçlı dökümünün yapıldığı atölyede ETİAL-160 alüminyum alaşımları külçeler halinde Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. Pompa gövdesinin basınçlı dökümünde kullanılmak üzere eritmeye bekleyen alüminyum külçeleri

2.1.5. Basınçlı döküm kalıplarının tasarımı ve imalatı

Basınçlı döküm kalıplar sabit ve hareketli olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi kalıbın sabit yarısı makinanın enjeksiyon tarafındaki sabit mengene plakasına, hareketli kalıp yarısı ise makinanın itici tarafındaki hareketli sıkıştırma plakasına bağlanmaktadır. Kalıp açıldıktan sonra çıkarıcı pimler makinanın itici plakası ile hareketlendirilerek parçanın kalıptan çıkması sağlanmaktadır.



Şekil 2.6. Basınçlı döküm makinasının sağ tarafı enjeksiyon tarafı, sol tarafı ise itici tarafı olarak adlandırılır.

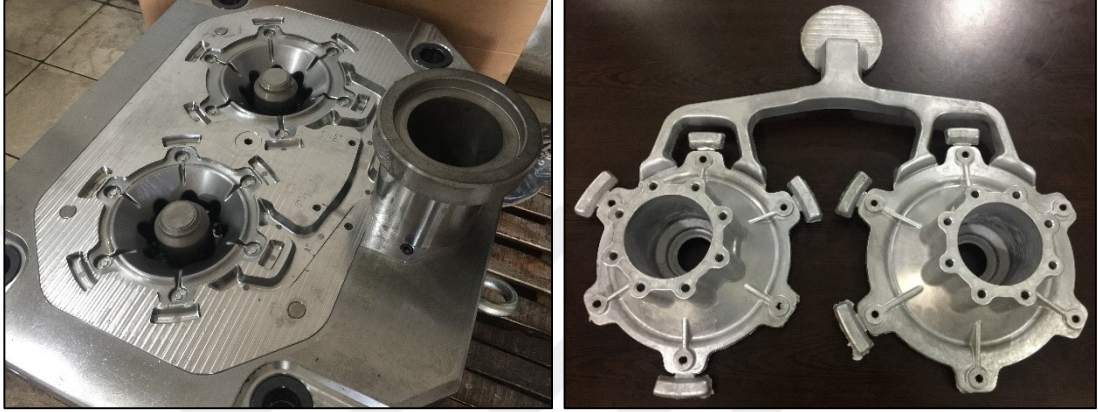
Dökülen parçanın içerisinde gaz boşluklarının meydana gelmesini önlemek amacıyla kalıp boşluğunun çevresinde hava cepleri uygulanması gerekmektedir. kalıbın yollukları da türbülans yaratmayan bir geometride ve eriyik metalin fazla hızlanmasını engelleyecek kesit daralmalarından kaçınılarak tasarlanması gerekmektedir.

Yolluk ve hava ceplerinin gramajı azaltılarak kalıbın parçayı oluşturan kısmından yani giriş kesitinden sonra geçen eriyik alüminyum miktarının %13,2 oranında azaltılması kalıba yapılan termal yüklemeyi azaltmakta ve aynı zamanda geri dönüştürülen alüminyum miktarında %8,7 oranında tasarruf sağlamaktadır. [13].

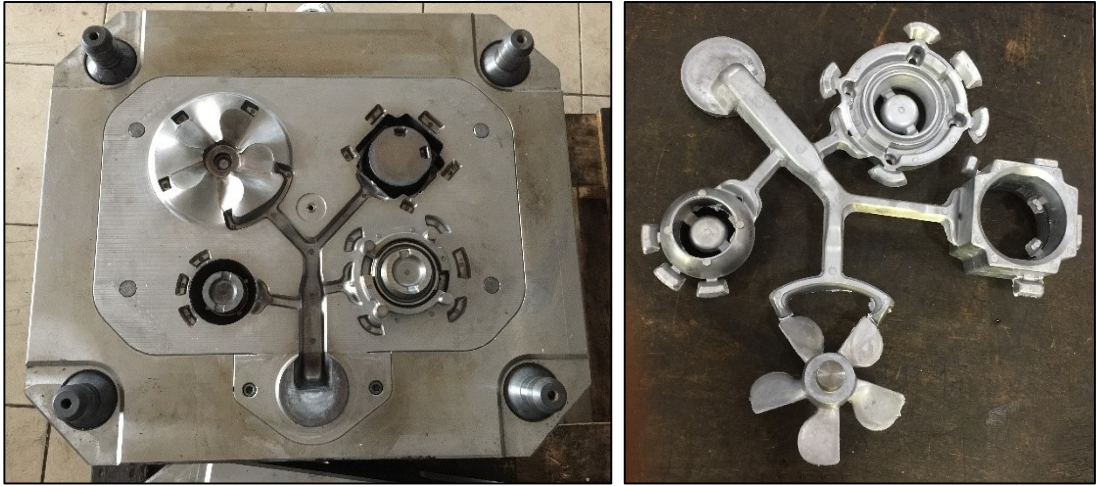
Seri üretim sırasında sıcaklığının çok yükselmesini önlemek için kalıplar çoğunlukla su ile soğutulmaktadır. Bu sayede hem kalıp ömrü uzamakta, hem de ince taneli içyapı oluşumu için gerekli olan hızlı soğuma sağlanmaktadır [10].

Bu proje kapsamında tasarlanan parçaların alüminyum döküm kalıpları soğuk hazneli basınçlı döküm makinasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Kalıplar planlanmadan önce döküm işinin yapılacağı firmadaki makinanın plaka ölçüleri, dolgu haznesinin

kalıba giren kısmının ebat bilgileri, itici plaka ölçüleri ve makinanın itici çubuklarının çap ve konum bilgileri temin edilmiştir. Kalıp tasarımları bu bilgiler ışığında TS 3920'ye göre 1.2344 malzeme numarası ile tanımlanan X 40 Cr5Mo1V sıcak iş takım çeliğinden yapılmıştır. Şekil 2.7'de ana mil yatağının iki modeli, Şekil 2.8'de küresel vana parçaları ve Şekil 2.9'de ise pompa gövdesinin basınçlı döküm kalıpları ve kalıplardan çıkan parçalar görülmektedir.



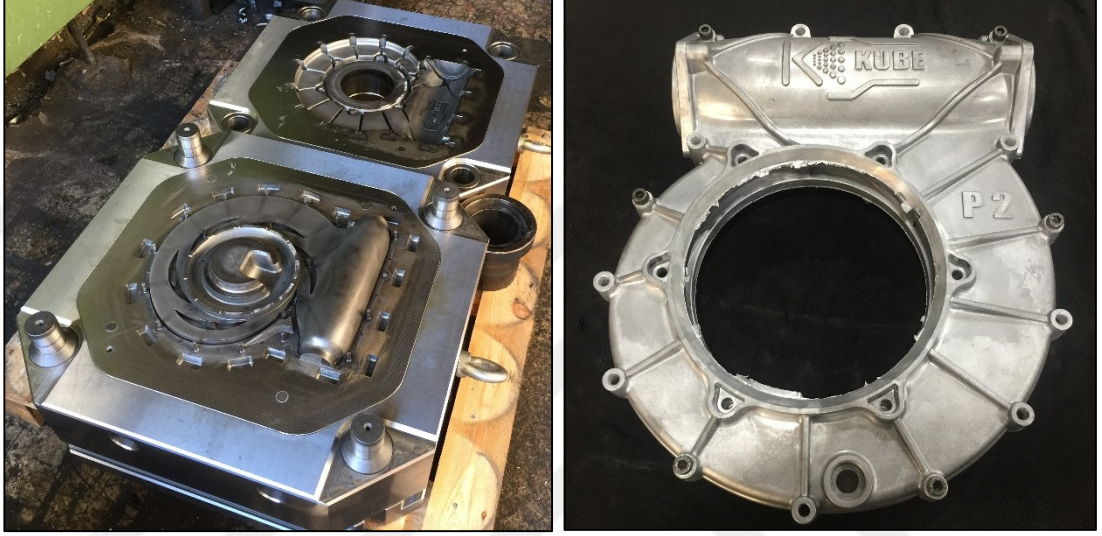
Şekil 2.7. Ana mil yatağı parçasının kalıbının itici tarafı ve kalıptan çıkan P1 ve P2 model ana mil yatağı parçaları



Şekil 2.8. Vana kurtağzı, vana küresi, vana gövdesi ve gönderici pervanesinin kalıbının bir parçası ve kalıptan çıkmış parçalar

Üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla; kalıptan çıkan ürünlere uygulanacak tesviye işlemlerini mümkün olduğu kadar ortadan kaldırmak ve geri dönüştürülen hurda miktarını azaltarak buna bağlı olarak da enerji tasarrufu sağlamak amacıyla; kalıplar tasarlanırken de optimizasyon esas alınmıştır. Örneğin, Şekil 2.8'de görüldüğü gibi eşit sayıda üretilecek parçalar birlikte kalıplanacak şekilde kalıba yerleştirilmiştir.

Ayrıca, yolluk tasarımında ve hava ceplerinin yerleşimine karar verme aşamasında akış analiz programlarından faydalanılarak malzemenin kalıp içerisine doluşu programda gözlemlenmiştir. Uygun yolluk kesiti elde edilerek gereksiz akış hızı artışları önlenmiş ve bu sayede aşırı kalıp ısınmalarının önüne geçilmiştir. Ayrıca basınçlı döküm sürecinde yüksek akış hızlarının oluşturacağı hava boşluğu ve türbülans oluşumun da önüne geçilmiştir [23].



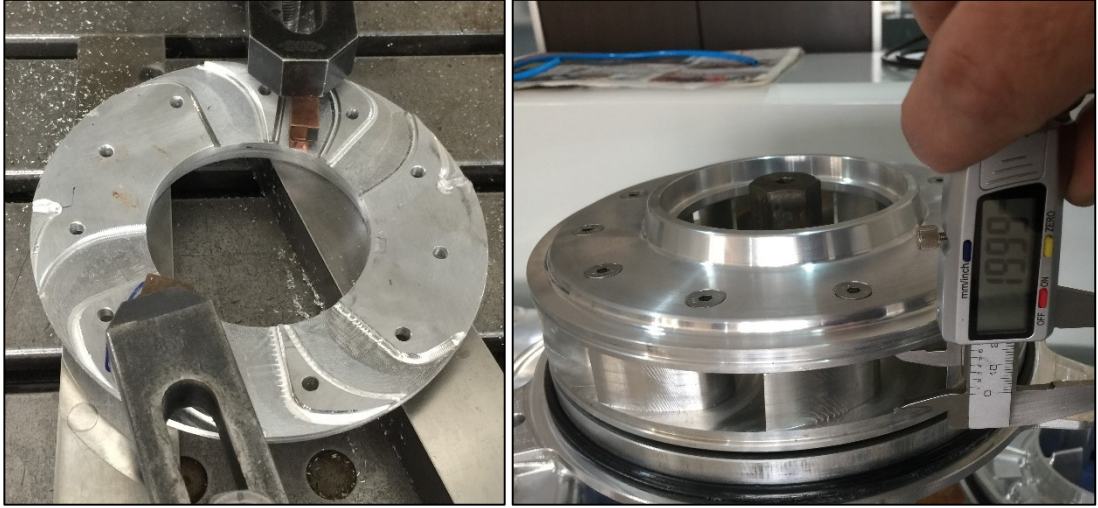
Şekil 2.9. Pompa gövdesinin bir yarısının kalıbı ve kalıptan çıkmış parça

Şekil 2.9’de görüldüğü gibi pompa gövdelerinin ortasındaki çark boşluğu, kalıp tasarlanırken kalıbın yolluk girişi olarak kullanılarak hem kalıbın boyutlarından hem de yolluk geri dönüşüm maliyetlerinden tasarruf edilmiştir.

2.2. Santrifüj Pompa Çarkı ve Ana Mil

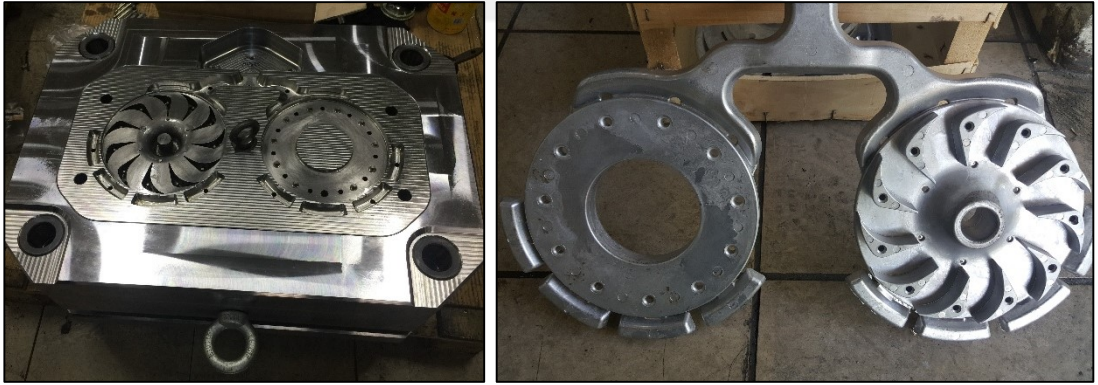
Pompa çarkının mevcut tasarımında değişiklik yapılmadan iki parçalı olarak basınçlı döküm yöntemi ile üretilebilecek şekilde yeniden modellenmiştir. 11 kanattan oluşan pompa çarkı, çark kanatların malzeme dolu kısımlarından geçen civatalarla birbirine bağlanan iki ayrı parçanın birleştirilmesi ile meydana gelmektedir.

Şekil 2.10’de görüldüğü gibi deneme amaçlı ilk numune üretimleri alüminyum malzemeden talaşlı imalat metodu ile işlenerek yapılmıştır. Bu şekilde iki parça olarak işlenen 10 adet çark civatalar ile bağlanarak pompalar üzerinde denenmiştir.



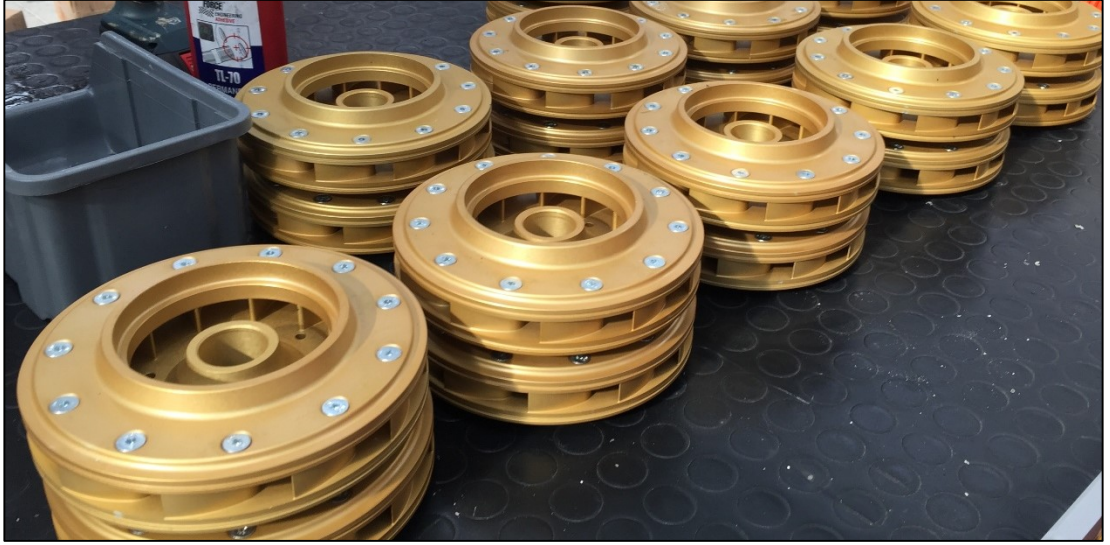
Şekil 2.10. Santrifüj pompa çarkının ilk ürününü talaşlı imalat ile üretimi ve denenmesi

Seri imalat için çarkın alüminyum basınçlı döküm kalıpları tasarlanarak imal edilmiştir. Kalıp, çark gövdesini ve çark kapağını birlikte basacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.11’de pompa çarkı ve çark kapağının alüminyum basınçlı döküm kalıbı ve parçaların kalıptan çıktığı hali görülmektedir. Parçaların yollukları ve hava cepleri üretim sırasında koparılıp yeniden eritilerek kullanılmaktadır.



Şekil 2.11. Pompa çarkı ve çark kapağı kalıbının bir yarısı ve kalıptan çıkmış haldeki çark ve kapağı

Kalıptan çıkan parçaların yüzeylerine sert eloksallama işlemi uygulanarak aşınma dayanımları artırılmıştır. Bu sayede alüminyumdan üretilen pompa çarkının korozyon ve mekanik etkilere karşı korunması sağlanmıştır. Ayrıca eloksallama parçalara estetik ve metalik bir görünüm kazandırılmıştır. Şekil 2.12’de sert eloksallama uygulanmış ve civatalar ile birleştirilerek kullanıma hazır hale getirilmiş santrifüj pompa çarkları görülmektedir.



Şekil 2.12. İki parçalı olarak üretildikten sonra birleştirilmiş haldeki santrifüj pompa çarkları

2.2.1. Pompa çarkı hesabı

Pompanın gövdesinin iç formu ve çarkın genel yapısı ve kanat açıları gibi pompa karakteristiğini etkileyen kısımlar her ne kadar tasarıma dâhil edilmemiş olsa da pompa ana milini, rulman ve sızdırmazlık elemanlarını bunlara bağlı olarak da pompa gövdesini boyutlandırabilmek için santrifüj pompanın çark hesabının yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Genel olarak bir santrifüj pompanın hesabı ve çizimi için önceden pompalanan akışkanın debisi (Q), basma yüksekliği (H_m) ve pompanın devir sayısı (n) değerleri verilir. Bu değerlerin yanında pompanın yapısına ve çalışma özelliklerine göre; pompanın sevk edeceği sıvının fiziksel ve kimyasal özellikleri, pompanın imali için kullanılacak malzemenin cinsi, sızdırmazlık durumu gibi şartların da verilmesi gerekebilir. Ayrıca pompanın emme yeteneği hakkında da bilgi de istenebilir [24].

Pompa hesabı ve çizimi için kısma eğrisinin pompanın en iyi verimde çalışma şartlarına uyduğu kabul edilerek işlemler yürütülür. Verilen karakteristik büyüklüklere göre bir santrifüj pompayı meydana getiren elemanların hesabı için çeşitli araştırmacılar birbirine benzer, fakat küçükte olsa bazı farklılık gösteren metotlar önermişlerdir. Kaynak eserde [24], verilen hesaplama tekniği, seçimlik değerler ve tablolara atıflar yapılarak Matlab ortamında EK-1'deki gibi kodlanmıştır.

Santrifüj pompanın çark hesapları yapılırken aşağıdaki başlangıç değerleri esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Santrifüj pompanın tüm tasarım parametreleri Matlab program çıktısı olarak elde edilmiş ve EK-2’de listelenmiştir.

$$H_m = 40 \text{ (m)}$$

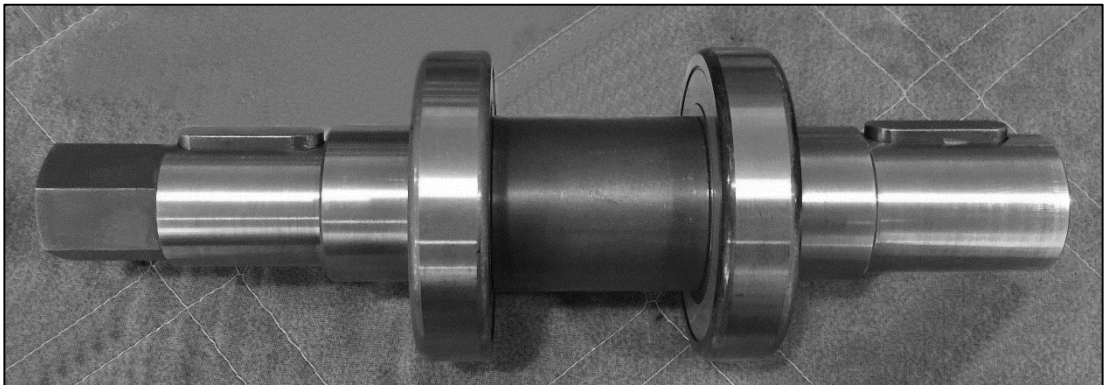
$$Q = 0.03 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$n = 2900 \text{ (rpm)}$$

2.2.2. Pompa ana milinin boyutlandırılması

Motordan aldığı dönme hareketi ile pompa çarkını çeviren pompa ana milinin boyutlandırılması motopompun uzun yıllar sağlıklı çalışabilmesi için oldukça önemli olduğu değerlendirilmiştir. Bu amaçla EK-1’de verilen Matlab programında pompa çarkı hesapları yapılmıştır. Motorun gerekli gücü pompa çarkına iletebilmesi için gerekli mil çapı EK-2’de tasarım parametreleri program çıktısı içerisinde bulunmuştur.

Uygulamada mil çapı burada bulunan mil çapından daha büyük yapılmıştır. Çünkü Şekil 2.13’de görüldüğü gibi milin ucundaki altıgen bölüme gönderici pervanenin tahriği için gerek duyulmaktadır. Bu altıgenin boyutlandırılmasından sonra milin çapı hesaplanandan daha büyük yapılmak zorunda kalınmıştır. Montaj sırası ve eksenel gezintilerin önlenmesi için ana mil faturalı olarak tasarlanmış bu faturalara da rulmanlar dayanmıştır.



Şekil 2.13. Kama ve rulmanları takılı halde pompa ana mili

2.3. Pompa Gövdesinin Tasarımı

Mevcut uygulamada, pompa gövdesi alüminyumun kum kalıba döküm yöntemi ile imal edilmektedir. Mevcut uygulamada pompa gövdesi tek parça halinde kalıplanmaktadır. Pompa salyangozunu adı verilen iç boşluk ve yönlendirici kanatlar kum maça kullanılarak oluşturulmaktadır. Şekil 2.14’de bir örneği görülen pompa gövdesinin kum kalıba dökülerek imal edilmesi cidar kalınlıklarının mukavemet gereklerinin çok daha üzerinde kalın olmasını gerektirmektedir. Yine bu üretim sürecinden kaynaklanan yüzey pürüzlülüğü de hidrolik verimi düşürmektedir.



Şekil 2.14. Kum kalıba dökülerek üretilmiş mevcut pompa gövdesi

Yeni tasarımda pompa gövdesinde de iki parçalı üretim tekniği kullanılarak parçaların alüminyum enjeksiyon tekniği ile üretilmesi sağlanmıştır. Böylece döküm yönteminin imalat kısıtları ortadan kalkmış, parçalara arzu edilen bütün teknik ayrıntılar uygulanarak mevcut sistemlere göre üstünlük elde edilmiştir. Her ne kadar iki parçalı yapının gövdenin titreşim karakterlerini değiştirerek dinamik problemler oluşturması ihtimali vardır. Fakat parçaların sökülemez olarak sık aralıklı birçok civata ile bağlanıyor olması sayesinde gövdenin tek parça gibi davranacağı değerlendirilmiştir.



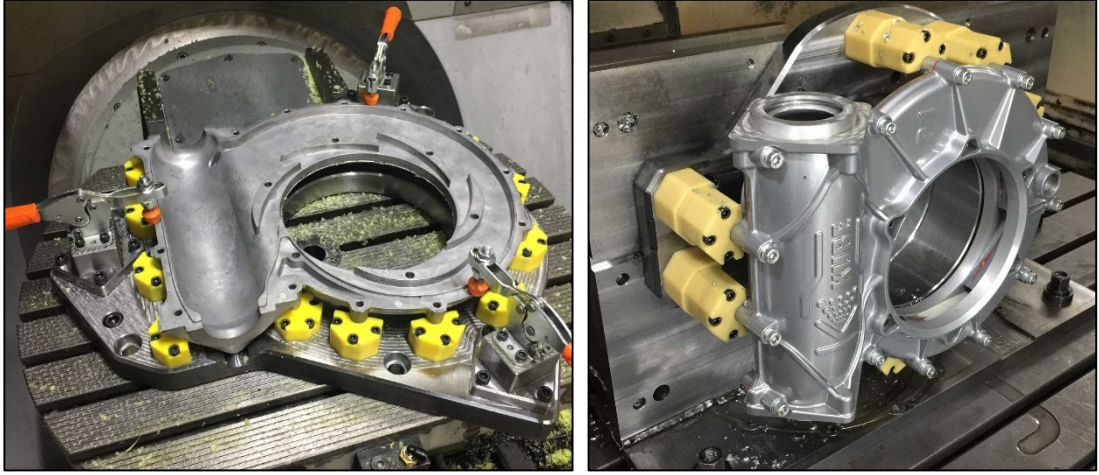
Şekil 2.15. İki parça halinde üretilen pompa gövdelerine montaj öncesinde sıvı conta uygulanması

Şekil 2.15’de görüldüğü gibi iki parça olarak tasarlanan pompa gövdesinin birleşme yüzeylerine sıvı conta uygulanarak pompanın içinde kayıplara neden olacak sızıntıların ve dışarıya su kaçaklarının olması engellenmiştir. Sızdırmazlığın mutlak olmasını sağlamak amacıyla pompa gövdelerinin birleşim yerleri Şekil 2.16’da görüldüğü gibi birbirine geçen bir yapıda tasarlanmıştır.



Şekil 2.16. Sıvı conta uygulanan pompa gövdesinin birleştirilmiş hali ve geçme bölgesinde uygulanan geçmeli yapı

Kalıptan çıkan parçaların bazı geçme yerleri ile yolluk ve hava atma ceplerinin çapaklarının alınması için sınırlı birkaç bölge dışında genellikle talaşlı işlem uygulamaya gerek kalmamıştır. Şekil 2.17’de görüldüğü gibi özel olarak yapılan aparatlara bağlanan pompa gövdesi parçalarının dik işleme merkezinde hassas ve seri bir şekilde işlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.17. Pompa gövdesinin birleştirme öncesinde yolluk çapaklarının işlenmesi (solda), birleştirme sonrasında ise vana bağlantı bölgelerinin işlenmesi (sağda)

Alüminyum basınçlı döküm sürecinde üretilen pompa gövdelerinin iç yapısı endüstriyel X-ray cihazında incelenmiştir. Şekil 2.18’de bir bölgesi görülen X-ray görüntülerinde iç boşluklara rastlanmadığından gövde ve kalıpların tasarımının uygunluğu onaylanmıştır.

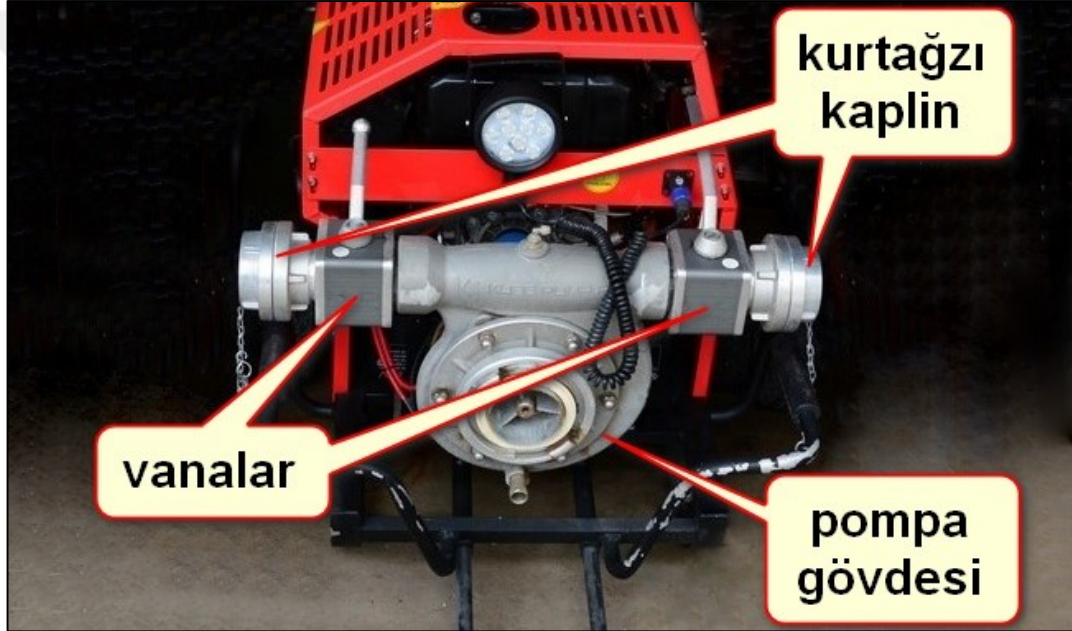


Şekil 2.18. X-ray cihazında pompa gövdelerinin iç yapısının incelenmesi

Yeni yöntemle, tek parça olarak üretilen pompa gövdesinin kum kalıba döküm sürecinin yapısı nedeniyle çıkan pürüzlü yüzeylerin pompanın hidrolik verimini düşürmesinin önüne geçilmiştir. Basınçlı döküm yöntemi ile imal edilen pompa gövdesinin parlak ve yüzey pürüzlülüğü değerinin $0,5 - 3 \mu\text{m}$ arasında olması sayesinde hidrolik verim mevcut motopomplardan daha iyi bir duruma gelmiştir.

2.4. Vanaların Tasarımı

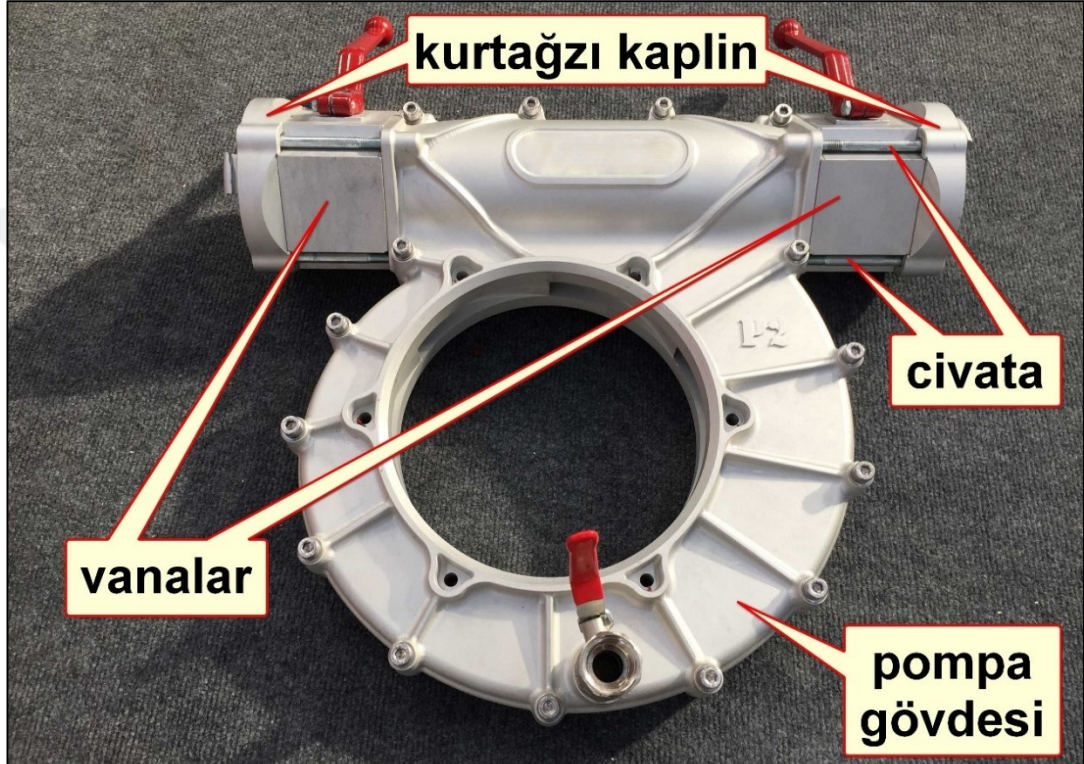
Motopompun pompasının her iki çıkışında birer adet küresel vana kullanılmaktadır. Vana çıkışlarında ise sevk hortumlarının kolayca bağlanabilmesi için kurtağzı kaplinler bulunmaktadır. Tasarım çalışmasından önce mevcut motopompta yurt dışından alınan genel amaçlı üretilmiş 2,5 inçlik iki küresel vana kullanılmaktaydı. Şekil 2.19’de görüldüğü gibi mevcut uygulamada vanalar gövdeye vidalanarak bağlanmaktadır. Sevk hortumlarının hızlı bağlantısını yapmak için vana çıkışlarına takılan kurtağzı kaplinler de aynı şekilde hazır alınarak vanaya vidalanarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.19. Mevcut motopompta pompa çıkışındaki harici vanaların ve kurtağzı kaplinlerin bağlantı şekli

Mevcut uygulamada büyük çaplı vidalı bağlantı nedeniyle vananın hem pompa gövdesine hem de kurtağzı kaplinlere bağlandığı bölgelerde pompanın çalışması sırasında sızdırmazlık sorunları yaşanmaktadır. Ayrıca küresel vananın açma kapama kolunun ergonomik bir konumda durmasını sağlamak vidalı bağlantının özelliğinden dolayı bazen problemi olmaktadır. Yaşanan problemleri aşmak amacıyla vanaların kullanıldığı yere uygun bir tasarımla hem de daha ekonomik bir şekilde yerli olarak üretilbileceği değerlendirilmiştir.

Pompa çıkışlarına bağlanmakta olan küresel vanaların bir tarafındaki kapak pompa gövdesi ile bütünleşik halde tasarlanmıştır. Vana çıkışlarına sevk hortumlarının hızlı bağlantısını yapmak için takılan kurtağzı kaplinler de aynı zamanda vana kapağı olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.20’de görüldüğü gibi vana çapraz konumlandırılarak dört adet civata ile gövdeye bağlanmıştır. Civatalar hem kurtağzı kaplini vanaya hem de vanayı pompa gövdesine aynı anda bağlayabilmektedir.



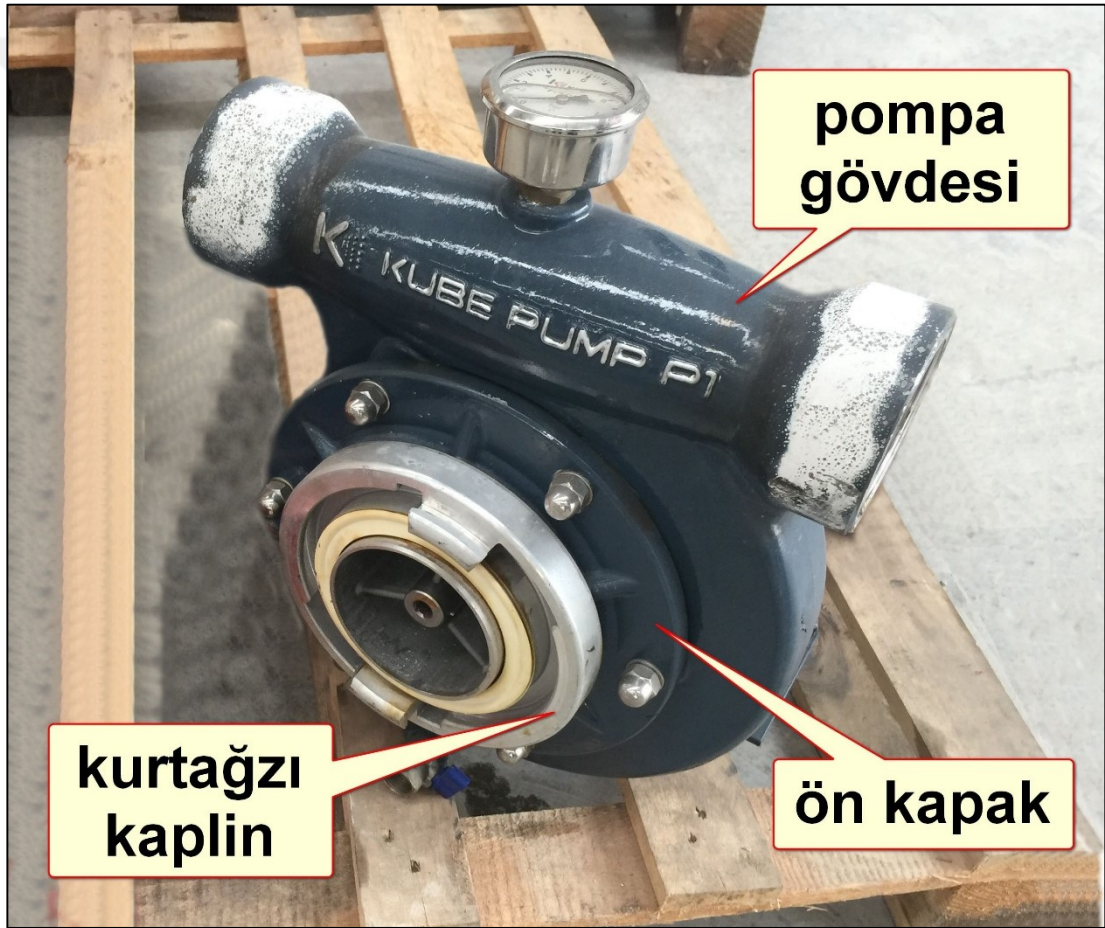
Şekil 2.20. Vana gövdesinin pompa gövdesi ve kurtağzı kaplinler ile bütünleşik tasarımı

Bölüm 5’de ayrıntılı olarak incelenen üçgen kesitli O-ring yuvası uygulaması bu bağlantıda da uygulanarak dar alanda tam olarak sızdırmazlık çözümü sağlanmıştır.

2.5. Ön Kapak Tasarımı

Motompun santrifüj pompasının çarkı pompa gövdesinin içerisindeki yerine yerleştirilip montajı yapıldıktan sonra gövdenin ön tarafına bir kapak takılmaktadır. Ön kapak adı verilen bu parçanın orta kısmında emilen suyun çarkın dönme etkisiyle burulmasını önlemek amacıyla kanatlar bulunmaktadır.

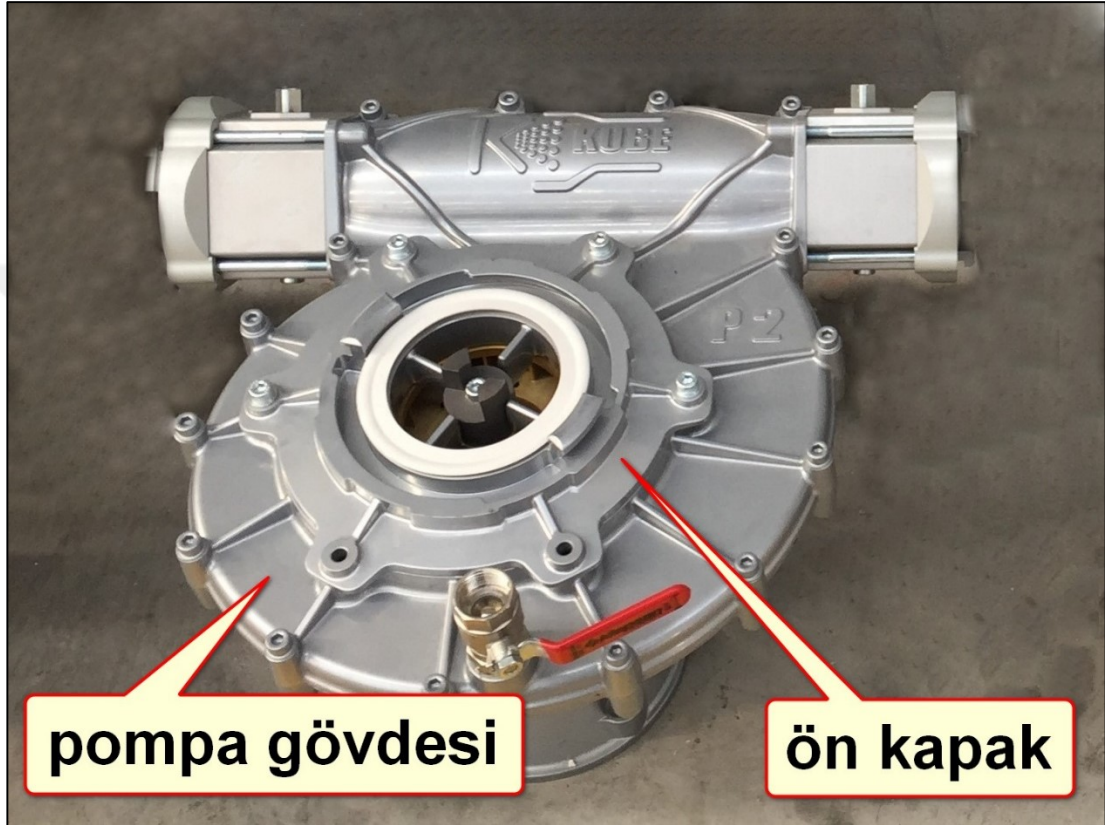
Motopompun pompa girişine emme hortumunu kolayca bağlamak amacıyla kurtağzı kaplinler kullanılmaktadır. Şekil 2.21'deki mevcut uygulamada görüldüğü gibi hazır olarak alınan kurtağzı kaplin pompa ön kapağı üzerindeki dişe vida edilmektedir.



Şekil 2.21. Mevcut motopompun pompasının ön kapağı ve üzerine sonradan takılan emme hortumunun kurtağzı kaplini

Pompa ön kapağının tasarımı yapılırken kurtağzı kaplin ile bütünleşik olabileceği değerlendirilerek kapak buna göre tasarlanmıştır. Böylece kapak ağırlığından ve ayrıca dışarıdan alınacak bir parçadan tasarruf edilmiştir. Parça sayısının azaltılması ile ayrıca montaj maliyetlerinde de azalma sağlanmıştır.

Şekil 2.22’de tasarımının yeni hali görülen ön kapak pompa gövdesine civatalarla bağlanmaktadır. Pompa gövdesi ile ön kapak arasında O-ring uygulaması ile sızdırmazlık sağlanmıştır. Bölüm 5’de ayrıntılı olarak incelenen üçgen kesitli O-ring yuvası uygulaması bu bağlantıda da uygulanarak dar alanda tam olarak sızdırmazlık çözümü sağlanmıştır.



Şekil 2.22. Emme hortumu kurtağzı kaplininin ön kapak ile bütünleşik tasarımı

Santrifüj pompanın kendisinin bulunduğu yerden daha yüksek bir yeri beslediği durumlarda ani olarak durması veya pompasın kontrolsüz bir şekilde çalıştırılması durumunda ortaya çıkan hız değişimleri nedeniyle pompalanan akışkanda su koçu adı verilen bir darbe ortaya çıkmaktadır. Su koçu etkisini önlemek amacıyla ön kapağın gövdeye olan bağlantısı yapılırken gövdeyi karşıdan karşıya geçen civata somun bağlantısı kullanılmıştır.

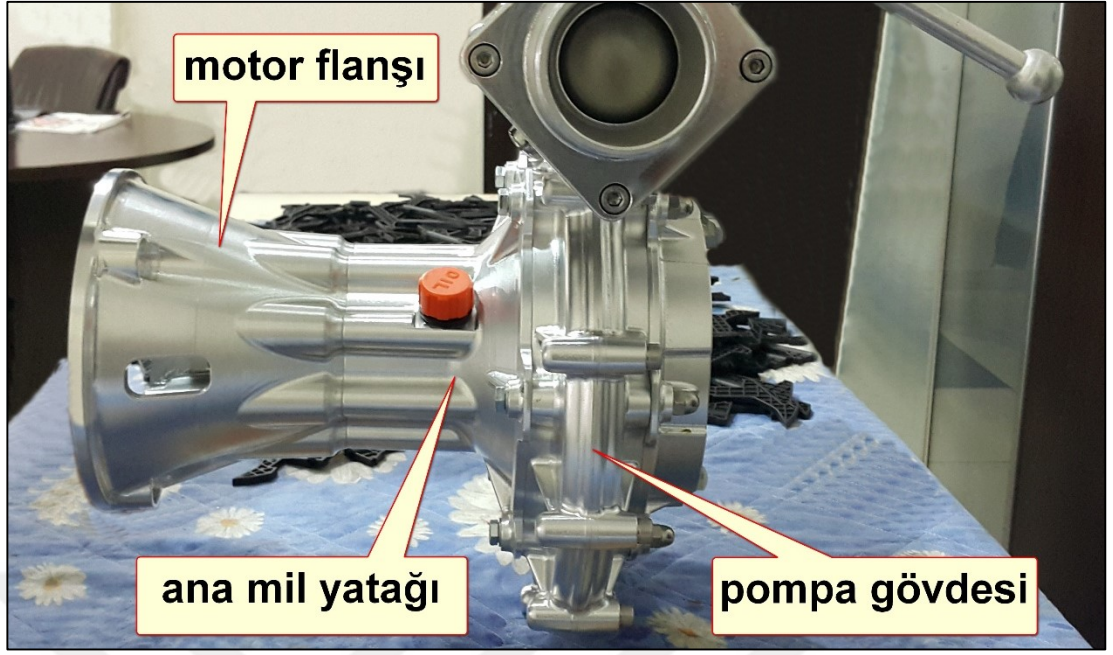
2.6. Ana Mil Yatağı ve Motor Flanşı Tasarımı

Mevcut uygulamada ana mil, Şekil 2.23’da görülen pompanın gövdesinin arka kapağı içerisindeki rulmanlar ile yataklandıktan sonra arka kapak da ana mil yatağı parçasının içerisine takılmaktadır. Ana mil yatağı ise zemine bağlanmaktadır. Bu bağlantı şeklinde en büyük sorun pompa mili ile motor milinin eş merkezliliğini sağlamakta yaşanmaktadır. Ayrıca parçalar ihtiyaçtan fazla sayıda ve oldukça ağır yapıdadırlar.



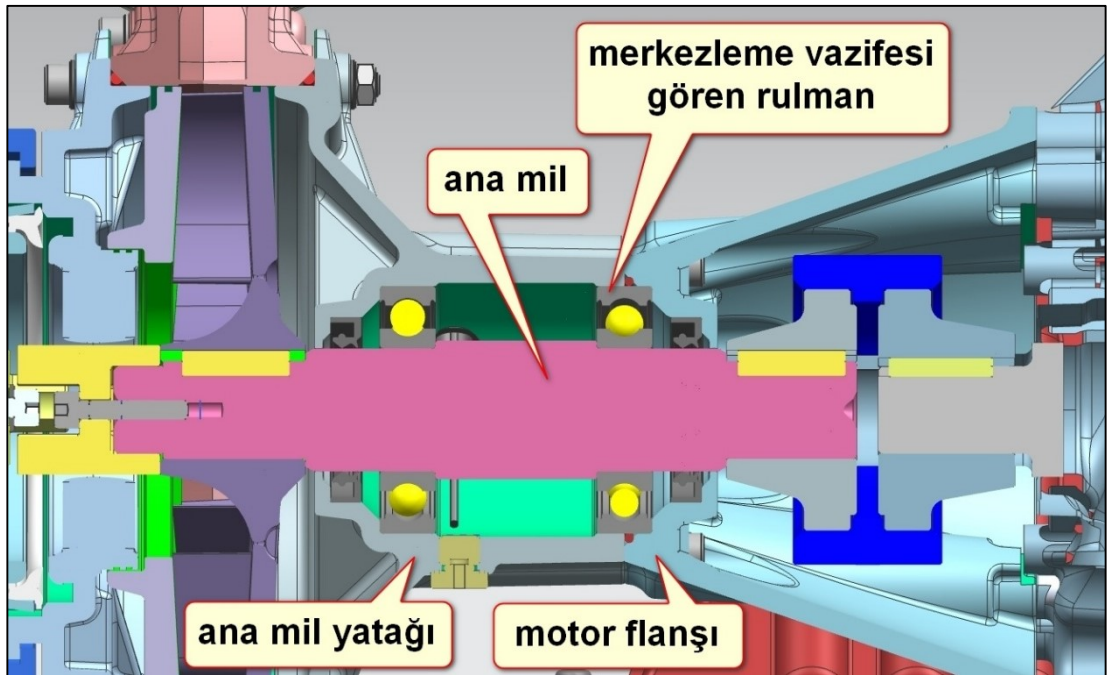
Şekil 2.23. Mevcut uygulamada pompa gövdesine arka kapak ve ana mil yatağının bağlanma şekli

Yeni tasarımda ana mil yatağının pompa arka kapağı ile bütünleşik olmasına karar verilmiştir. Bu şekilde modellenen ana mil yatağı Şekil 2.24’de görüldüğü gibi pompa gövdesine civatalarla bağlanmaktadır. Ana mil yatağının ayrıca zemine bağlanmasına ihtiyaç duyulmamış doğrudan motor flanşına bağlanmıştır. Motor flanşı motor çıkışına hassas geçme toleransında bağlandığı için de pompa ana milinin motor mili ile eş merkezleme problemi ortadan kalkmıştır.



Şekil 2.24. Ana mil yatağının arka kapak ile bütünleşik tasarımı ve motor flanşı ile eksenel bağlantısı

Bilgisayar ortamında 3D modellenmiş motopompun ana mil bağlantısının kesit görünüşü Şekil 2.25’de görülmektedir. Ana mil yatağı ile motor flanşının birbirine eş merkezli bağlanabilmesi için ana mili yataklayan rulmanlardan birisinin, merkezleme elemanı olarak kullanılması ile pompanın motora biraz daha yakınlaması sağlanmış aynı zamanda parça sayısı azaltılarak montaj kolaylığı sağlanmıştır.



Şekil 2.25. Ana mil yataklama sisteminin 3D modelde alınan kesitte görünümü

2.7. Pompa ve Parçalarında Elde Edilen Ağırlık Kazancı

Her iki motopompta kullanılan pompaların ağırlıkları pompaların bütün parçaları dikkate alınarak yapılmıştır. Pompa gövdeleri, çark ve kapağı, pompanın ön kapağı, ana mil yatağı, ana mil, rulmanlar, motor flanşı gibi pompa parçaları ve bunların bağlantılarında kullanılan bağlantı elemanları dahil olarak yapılan karşılaştırmalarda her iki pompada da yaklaşık % 37 ağırlık tasarrufu sağlanmıştır.

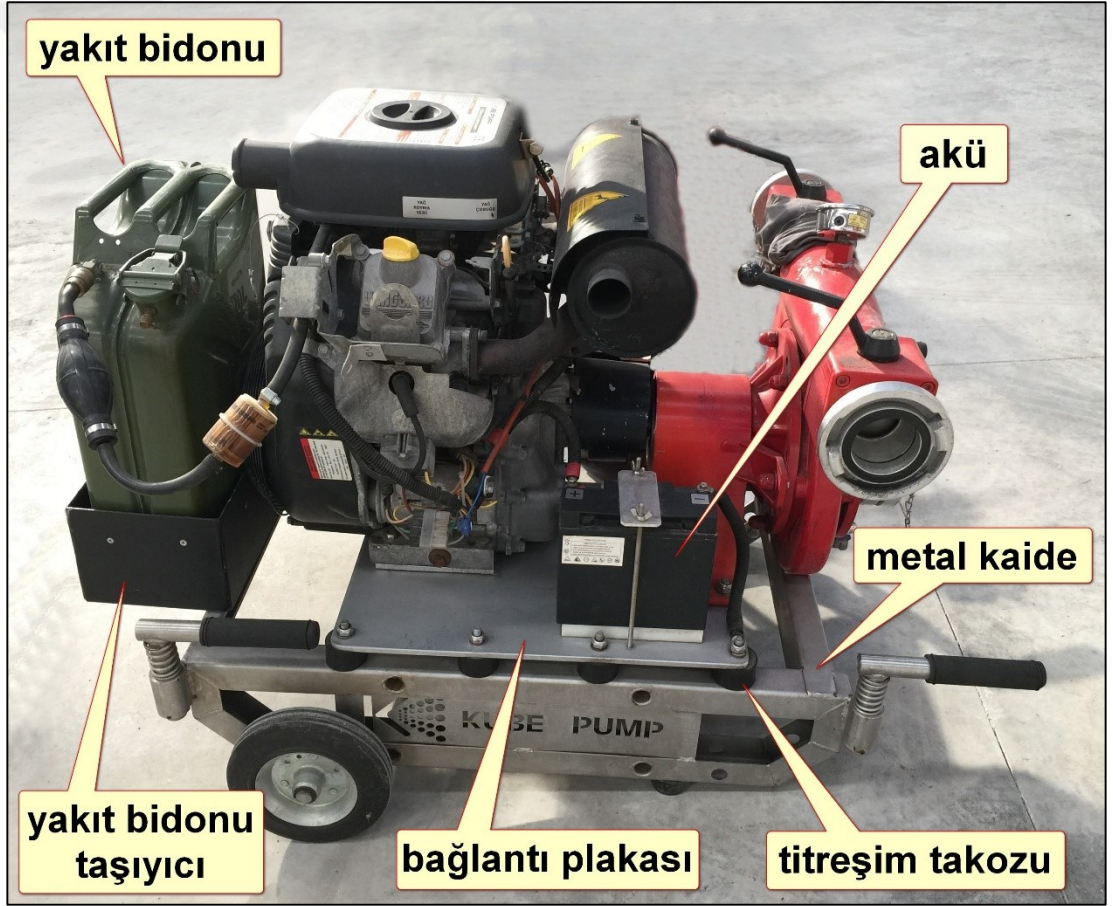
Tablo 2.1. Pompa ve bağlantı parçalarındaki ağırlık değişimi

	Motopomp P1			Motopomp P2		
	Mevcut Pompa	Tasarım Sonrası	Değişim oranı	Mevcut Pompa	Tasarım Sonrası	Değişim oranı
Pompa ve Bağlantı Parçaları	33,1 kg	21 kg	- %36,6	37,5 kg	23,5 kg	- %37,3

3. MOTOPOMP TAŞIYICI KAİDE

3.1. Metal Kaide İncelemesi

Mevcut uygulamada, motopompu taşıyan paslanmaz çelik kaidenin lazer kesim tezgâhında kestirilen sacları, bükme makinalarında bütün bükümleri yapıldıktan sonra birleşen kenarlarından kaynak edilmektedir. Metal kaide aynı zamanda 20 litrelik bir yakıt bidonu ve aküye de taşıyıcılık yapmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Mevcut motopompun metal taşıyıcı kaideli ve harici yakıt bidonu ile genel görünüşü

Haricen ve genellikle nemli ortamlarda kullanılan motopompun taşıyıcı kaidesinde, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunduğu için ostenitik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Ostenitik çeliklerin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikeldir.

Manyetik olmayan bu çeliklere, ostenitik içyapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme veya sertleştirme ısı işlemleri uygulanmaz ve mukavemeti artırmak için genellikle soğuk şekillendirmeden yararlanılır. Bu çeliklerde pekleşme¹, ferritiklerden² daha fazladır. Bu arada şekil değiştirme martenziti de oluşabilir ve malzeme manyetiklik kazanır. Mukavemeti artırmak için bir diğer yol da alaşımlama yapmaktır. Bu açıdan karbon ve azot en etkili elementlerdir. Ostenitik çelikler sünek ve toktur, ayrıca ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökmesi oluşmaması için stabilize³ edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük, genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için ısı girdisi düşük tutulmalıdır. Kaynak sırasında korozyon hassasiyetinin ne oranda ortaya çıkacağı dikişin birim uzunluğu başına ısı girdisine bağlıdır. Ark kaynağı yöntemlerinde yüksek ilerleme hızlarında ısı girdisi düşük olur. Gaz eritme kaynağı paslanmaz çelikler için genellikle kullanılmaz, çünkü yüksek ısı girdisi yanında, karbürleme etkisi de vardır. Paslanmazlar arasında en çok kaynakla birleştirilen tür ostenitik çeliklerdir. Ancak bunlar diğer karbon ve az alaşımlı çeliklerden farklı kaynak davranışına sahiptirler. En çok dikkat edilmesi gereken husus, orta sıcaklıklarda tane sınırlarında karbür çökmesinin önlenmesidir. Dikişle komşu ve 650-870 °C sıcaklıklarına ısınan bölgede süre kısa da olsa karbür çökebilir. Bu durum birçok ortamda, özellikle oksit gidermede kullanılan asidik ortamlarda korozyon direncini düşürür [25].

Paslanmazların bükme ve kenarlama işlemleri de diğer çeliklere oranla daha fazla özen ve %50-60 daha fazla kuvvet gerektirir. Bunun yanında geri yaylanma miktarı da karbon çeliklerine göre çok daha fazladır. Tavlanmış haldeki çeliklerin bükme eksenini haddeleme yönünde paralel veya dik seçilebilir. Ancak ferritik çeliklerin bükme eksenini haddeleme yönüne dik tutulmalı ve bükme radyüsü saç kalınlığının 2 katından az olmamalıdır [25].

Kullanılan paslanmaz çelik malzeme her ne kadar; mükemmel korozyon dayanımına, çok iyi kaynak edilebilme kabiliyetine, temizliği ve bakımı kolay olması nedeniyle

¹ Soğuk şekil verme ile artan sertlik

² Sertleştirilemeyen Fe-Cr alaşımları

³ Ostenit faz alanını genişleten nikel, mangan, karbon ve nitrojen gibi elementlerin katılması [25].

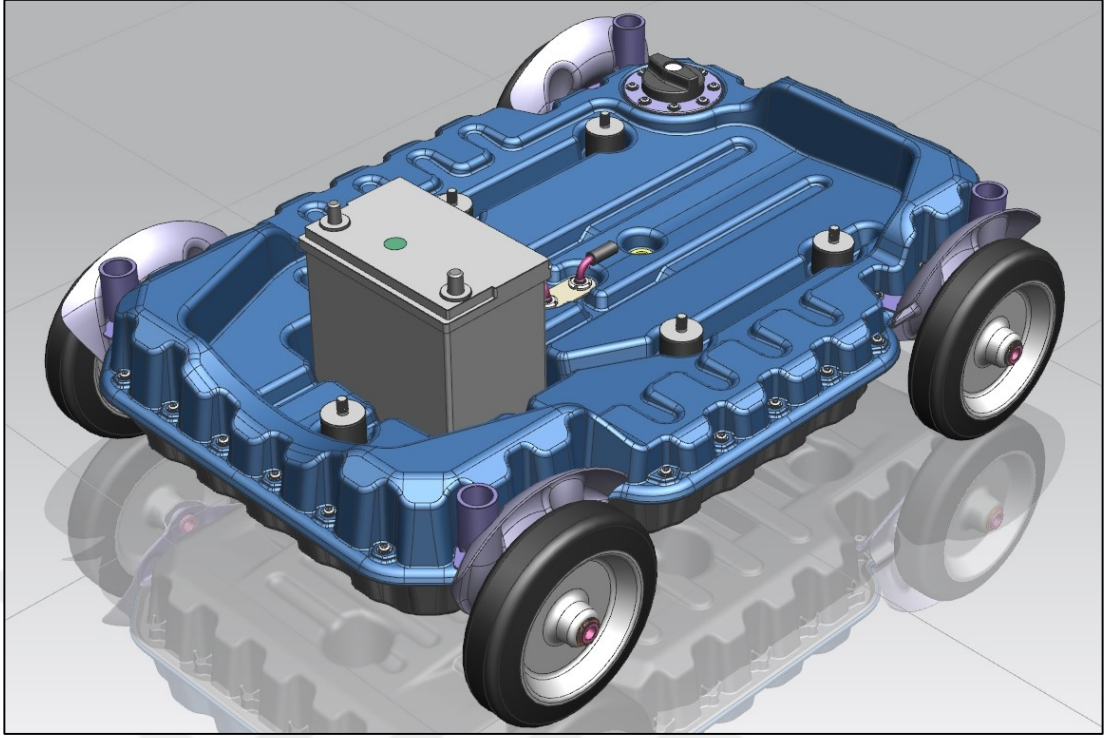
hijyenikliğe, düşük ve yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahip olsa da, taşıyıcı kaidenin; kesme, bükme, kaynak, temizleme gibi yukarıda anlatılan zorluklarla dolu işlem basamakları uygulanarak yapılagelmekte olması pahalı ve emek yoğun bir üretim süreci gerektirmektedir.

Mevcut hali Şekil 3.1’de görülen motopompta yakıt deposu olarak hazır alınan 20 litrelik içerisi gözükmeyen metal bir yakıt bidonu kullanılmaktadır. Yakıt bidonunu yerleştirmek için kaide üzerine monte edilen sac metal malzemeden kaynak işçiliği ile birleştirilen sonra da boyanan bir taşıyıcı kullanılmaktadır. Motopompun kaideye bağlantısında da oldukça kalın ve geniş bir bağlantı plakası kullanılmaktadır. Her ne kadar ağırlığı hafifletmek için alüminyum malzemeden yapılmış olsa da mevcut konstrüksiyon motor ile pompa milleri arasındaki eş eksenliliği sağlayamadığı için plakanın kalınlığı sürekli olarak artırılmak zorunda kalınmıştır. Motopompun aküsü bağlantı plakasının üzerine, ortada yer olmadığı için kenara yakın bağlandığından ağırlık açısından dengesiz bir durum ortaya çıkmaktadır. Arazi şartlarındaki görev gereği uzun mesafelere insanlar tarafından elle taşınabilen motopompta akünün meydana getirdiği dengesizlik oldukça önemli olmaktadır.

Mevcut motopomp, nihai maksada uygun olmayan yakıt deposu tasarımı nedeniyle kullanışsız ve oldukça ağır bir yapıdadır. Taşıyıcıda kullanılan metal malzeme ve uygulanan imal usulleri uzun imalat süreçleri gerektirmektedir. Seri üretime uygun olmayan dolayısı ile düşük üretim sayısına sahip metal kaidenin maliyetleri de oldukça yüksektir. Bu nedenlerle daha ucuz ve daha hafif yeni bir motopomp taşıyıcının tasarlanmasına karar verilmiştir.

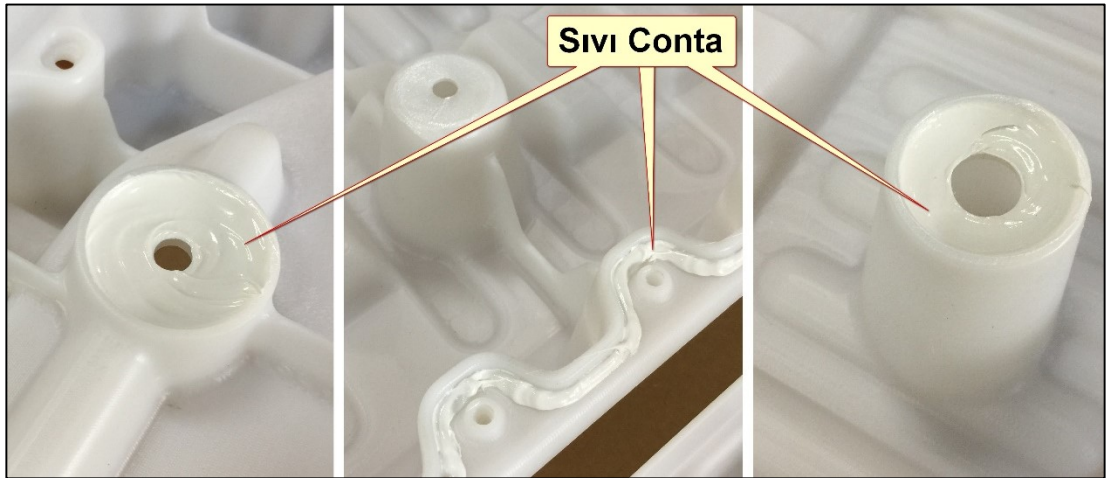
3.2. Plastik Taşıyıcı Tasarımı

Önceki bölümde ayrıntıları ile değerlendirilen olumsuzlukları gidermek amacıyla aynı zamanda yakıt deposu olarak da kullanılabilecek bir taşıyıcı kaide için alternatif plastik malzemeler ile rotasyon kalıplama, şişirme kalıplama ve enjeksiyon kalıplama gibi üretim metotlarının değerlendirilmesi sonucunda ürünün yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile iki parça olarak yapılmasına karar verilmiştir. Alt ve üst iki parçanın çepeçevre plastik vidaları ile bağlanan kaburgalı bir yapıda olması uygun bulunmuştur. Şekil 3.2’de plastik taşıyıcı kaidenin bilgisayar ortamında hazırlanan üç boyutlu tasarımı görülmektedir.



Şekil 3.2. Plastik taşıyıcının bilgisayar ortamındaki üç boyutlu tasarımı

Plastik taşıyıcının iki parçalı yapılmasının ana nedeni parçaların enjeksiyon kalıplama yöntemi ile imal edilebilmesidir. Birbirine bağlanan alt ve üst iki plastik parça her ne kadar sökülebilen bağlantı elemanı olan vidalar ile bağlanmış olsa da sökülmemek üzere bağlanmıştır. Parçaların birleşme yüzeylerinde tasarlanan sıvı conta uygulama bölgelerine sıvı conta sürüldükten sonra birleştirme yapılmıştır (Şekil 3.3). Ayrıca aküyü koymak için tasarlanan derin bölgeye birikebilecek suları tahliye etmek amacıyla plastik parçalar, ortası delik boru perçinler ile birbirine kenetlenmiştir.



Şekil 3.3. Birleştirme öncesi parçalara yapılan sıvı conta uygulamaları

Harici ortamlarda kullanılacak motopompun plastik kaidesine güneş ışınlarından gelen ultraviyole ışınlarının olumsuz etkisini bertaraf ederek plastiğin kullanım süresini artırmak, görünüm ve özelliklerinde zaman içerisinde olabilecek değişiklikleri önlemek veya geciktirmek için emilen radyasyon enerjisini polimere zarar vermeden sistemden uzaklaştırmak gerekmektedir [19].

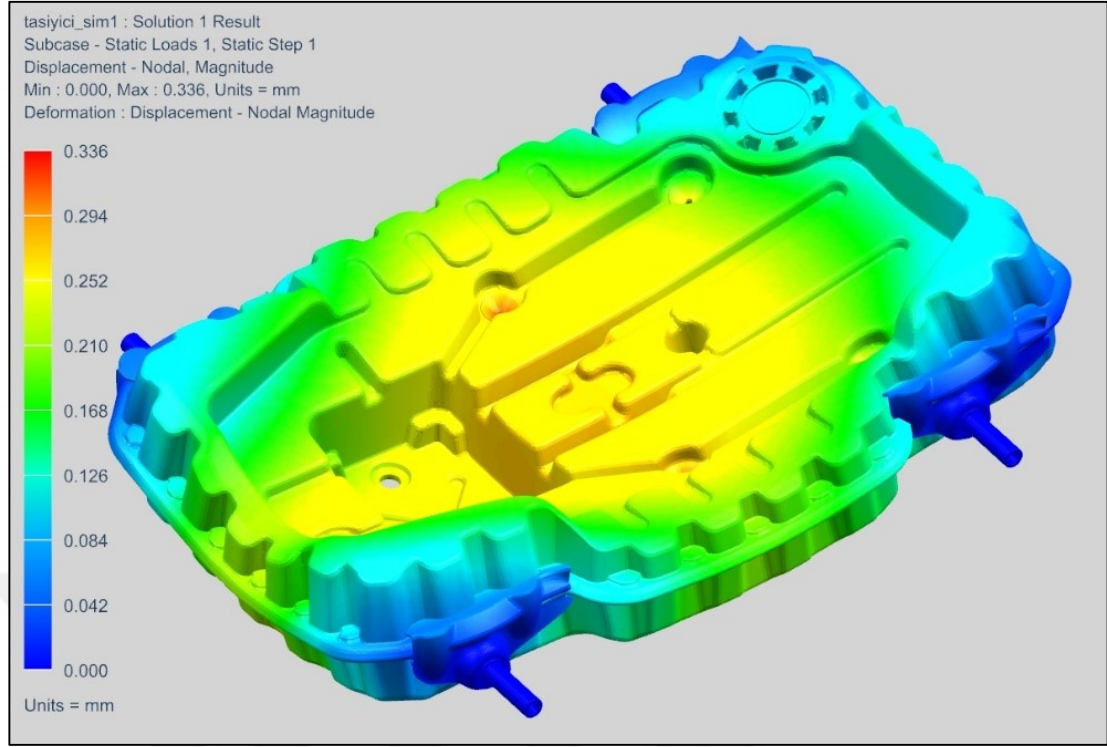
Ultraviyole ışınlarının plastik parça üzerindeki olumsuz etkisini gidermek amacıyla, plastik hammaddeyi renklendirmek için katılan boyar maddenin (masterbatch¹) aynı zamanda UV katkı² olmasına karar verilmiştir. Boyar maddenin kullanım oranı, üreticisinin vereceği değer ile üretilecek olan ilk ürünlerin renklerinin göz ile kontrolü sonucu belirlenecektir.

Plastik taşıyıcı parçanın cidar kalınlığının tespiti için öncelikle yakın çevrede bulunabilen yapı ve büyüklükleri birbirine benzeyen (plastik enjeksiyonda üretilmiş kapaklı endüstriyel çöp bidonu ve şişirme tekniği ile üretilmiş yuvarlak çemberli bidonlar gibi) HDPE malzemeden üretilmiş parçalar incelenmiştir. Üretilen plastik taşıyıcının cidar kalınlığının 4 mm olmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu kalınlık değeri kullanılarak üç boyutlu modellenen parça polietilen malzeme atanarak bilgisayar ortamında yapısal analize tabi tutulmuştur.

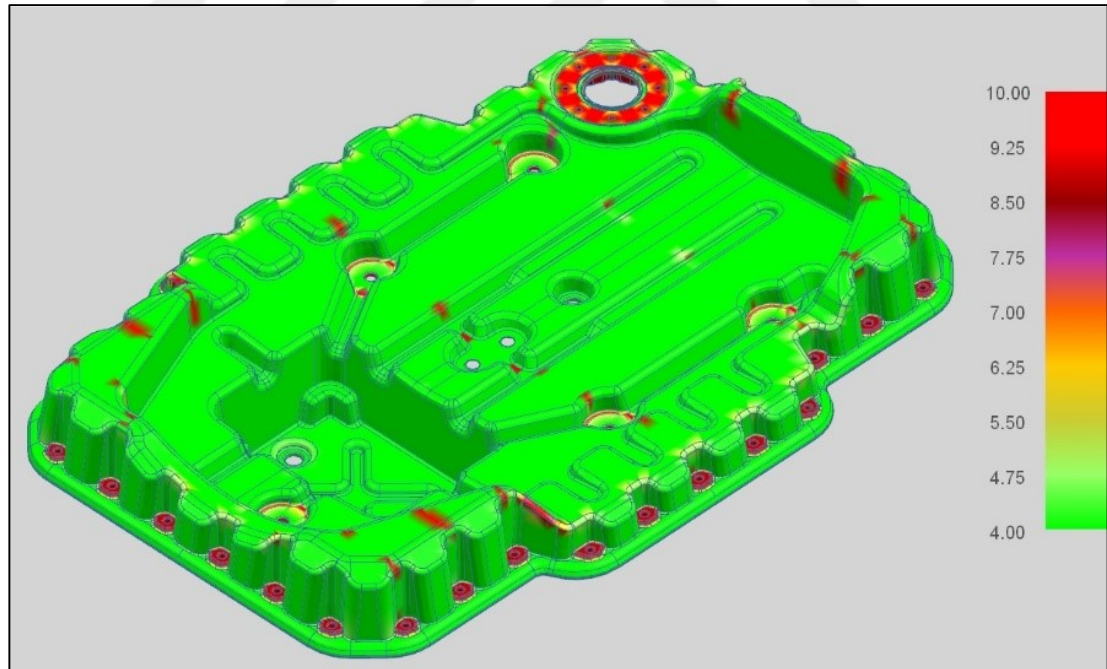
En büyük motopompun yakıt dâhil toplam ağırlığı 160 kg'dır. Emniyet katsayısının en az 3 olması gerektiği düşünülerek 500 kg yük altında yapılan analiz sonucunda Şekil 3.4'de de görüldüğü gibi plastik taşıyıcıda maksimum 0,3 mm deformasyon gözlenmiştir. Taşıyıcının ebatları, malzemesi ve fonksiyonu dikkate alınarak değerlendirildiğinde bu deformasyon miktarı oldukça küçük olduğu için parçanın 4 mm cidar seçilen kalınlığında inceltme yapılabileceği görülmüştür. Pompa firması ile bu konuda yapılan görüşmeler sonucunda sahada daha mukavim olacağı düşüncesi ile taşıyıcının tasarımına mevcut cidar kalınlığı ile devam edilmesine karar verilmiştir.

¹ Masterbatch, termoplastik polimerin eritilip şekillendirilmesi aşamasında içerisine katılan ve polimere rengini veren granül haldeki renklendiricidir.

² Güneşin plastik parça üzerindeki etkisinin azaltılması veya yok edilmesi amacıyla kullanılan UV katkı maddelerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunların içinde en çok HALS (Hindered Amin Light Stabilizers) denilen maddeler kullanılmaktadır. Bu maddelere ek olarak, benzofenonlar ve renkli pigmentler de yoğun olarak kullanılabilir. Özellikle karbon siyahı katkı maddesi, plastik parçanın güneşe dayanımını artırmada yaygın olarak kullanılmaktadır [34].



Şekil 3.4. 500 kg yük altındaki taşıyıcının yapısal analizi

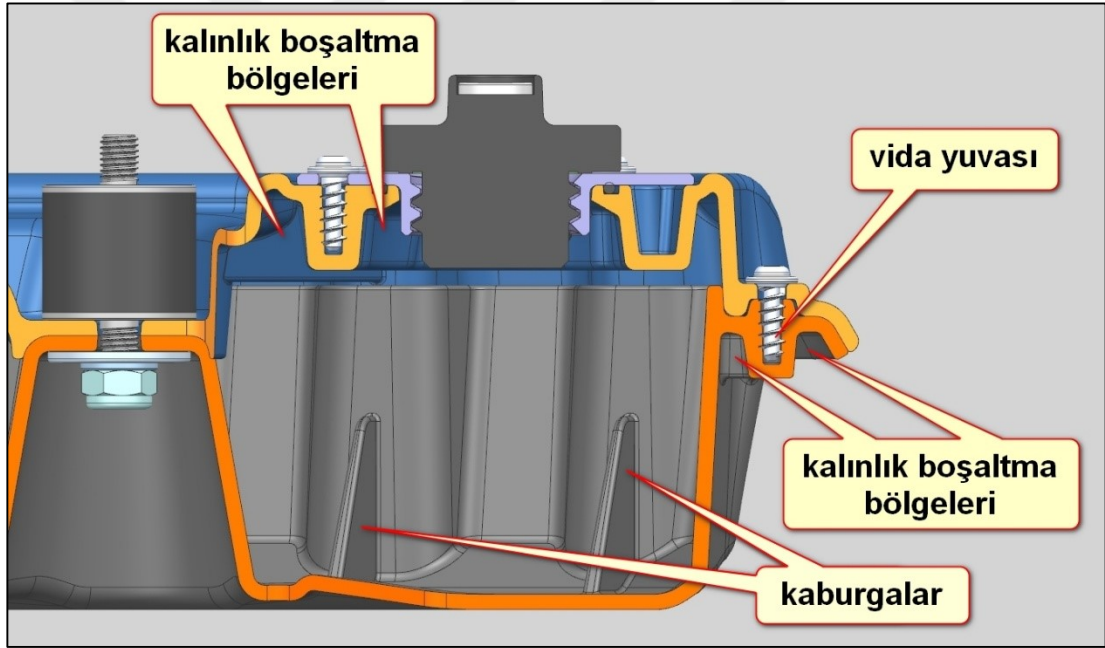


Şekil 3.5. Taşıyıcının üst parçasında yapılan duvar kalınlığı analizi

Plastik parçaların tasarımında homojen et kalınlığı dağılımı, hem mukavemet hem de görünüm güzelliği açısından göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur. Farklı et kalınlıkları ile tasarım yapıldığında enjeksiyon sonrasında et kalınlığının fazla olduğu bölgeler geç soğumakta ve düzensiz malzeme çekmeleri meydana gelebilmektedir.

Bundan dolayı parçaların et kalınlığının fazla olduğu bölgelerin yüzeyinde veya kalın bölgenin iç tarafında boşluklar (lunker) meydana gelmektedir. Bilhassa destek kaburgaları ve vida yuvası (boss) bölgelerinde görülen bu durumu tasarım aşamasında düzeltebilmek için homojen kalınlık belirleme analizleri yapılmıştır. Parçanın normalde 4 mm olan genel et kalınlığının kaburga ve vida yuvaları çevresinde kalınlığın 10 mm'ye kadar çıktığı bölgeler Şekil 3.5'de kırmızı olarak görülmektedir.

Plastik yığılmalarının olduğu bölgelerde kalınlık optimizasyonuna gidilerek tasarımda değişiklikler yapılmıştır. Lunker oluşumunu önlemek amacıyla kaburga (feder) kalınlığının, parça kalınlığının %50 ila %75'i arasında olması gerekmektedir [18]. Bu nedenle parçalara mukavemet kazandırabilmek için iç bölgelerde ara ara uygulanan kaburgalar 3 mm kalınlıkta yapılmıştır (Şekil 3.6).

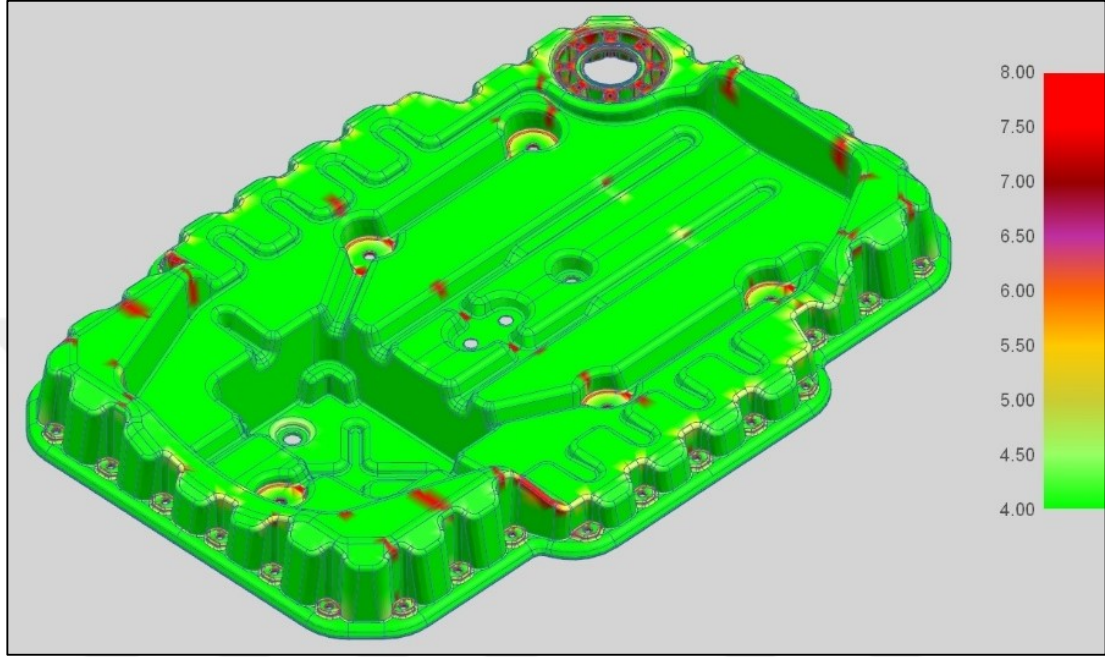


Şekil 3.6. Vida yuvalarının çevresinde yapılan kalınlık boşaltmaları

Ayrıca, parçaları birleştiren çevredeki vida yuvalarının ve yakıt doldurma kapağının bağlandığı bölgedeki vida yuvalarının çevresinde kalıplamaya uygun boşaltmalar yapılmıştır. Ara kaburgalar ile desteklenen bu boşaltma bölgelerinde nervürlü rijit bir yapı tasarlanarak dolu parçadan daha mukavim bir yapı elde edilmiştir (Şekil 3.6).

Şekil 3.7'de sonucu görülen kalınlık optimizasyonu sonrasında yapılan duvar kalınlığı analizlerinde depo kapağının vidalarının bağlandığı bölgede kalınlıklar 6 mm'ye kadar düşürülmüştür. Kaburga birleşim yerlerinde ise et kalınlıkları 7,5 mm dolaylarındadır.

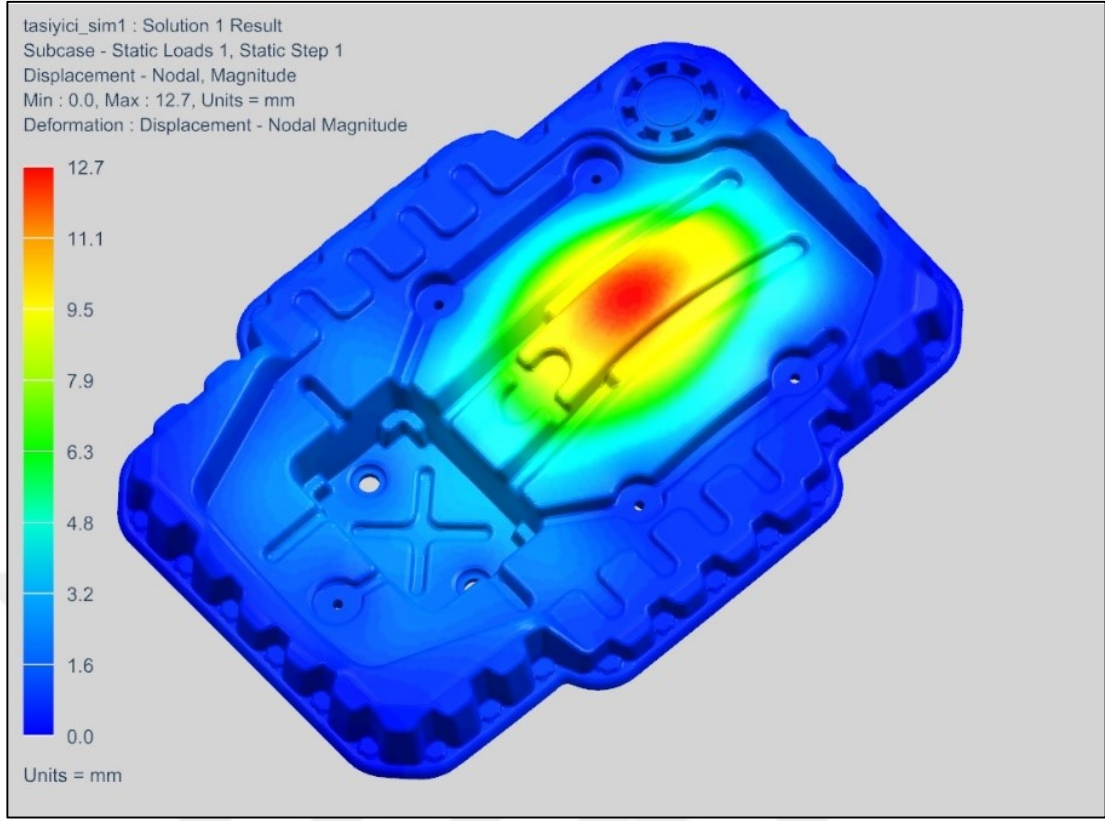
Kalınlıkların 4 mm'nin üzerinde kaldığı bölgelerde soğuma sırasında oluşabilecek çarpılma ve çekme boşlukları, kalıp tasarımında bu bölgelere yapılacak özel soğutma uygulamaları ile önlenebileceği değerlendirildiği için tasarım bu haliyle uygun bulunmuştur.



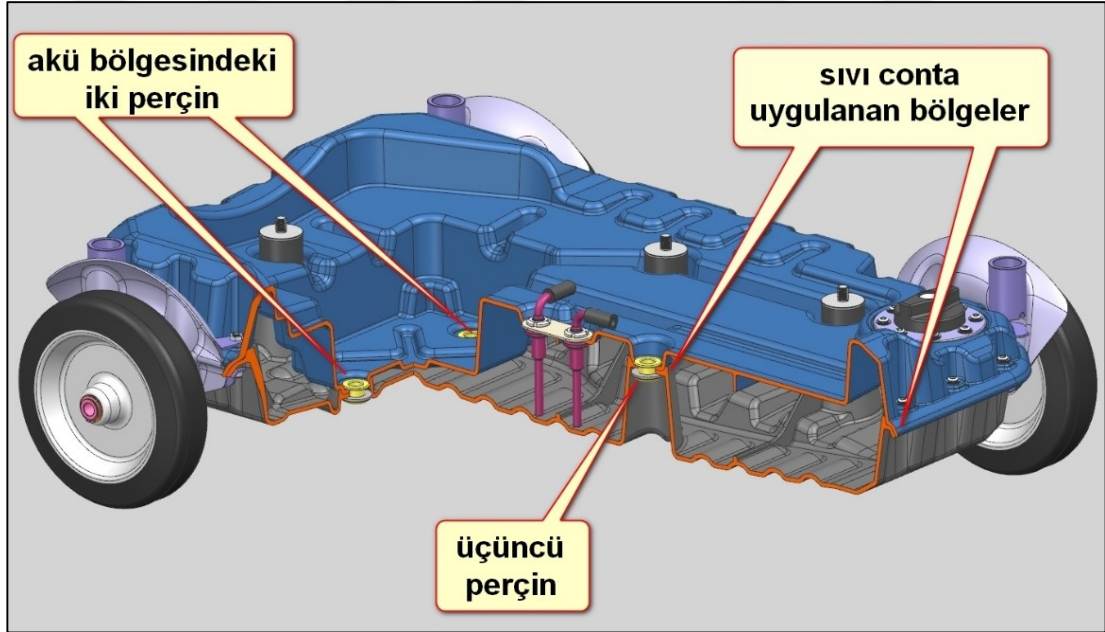
Şekil 3.7. Taşıyıcının üst parçasında boşaltmalar sonrasında yapılan kalınlık analizi

Yakıt deposunun yakıt doldurma bölümüne hazır alınarak takılan kilitli kapak, depo içerisindeki yakıtın buhar basıncını dengelemek için 0,1 Bar'da açan bir basınç tahliye mekanizmasına sahiptir. Plastik deponun iç yüzeylerine, emniyetli olması açısından 0,25 Bar olarak uygulanan basınç altında taşıyıcı kaide yapısal analize tabi tutulmuştur. Şekil 3.8'deki analiz sonucunda görüldüğü gibi şekil değişiminin en çok olduğu bölgede deformasyon miktarı 12,7 mm olmuştur. Bu değer parçanın dayanımı açısından problemli gözükme de şişmiş bir yakıt deposu görüntüsünün hoş olmayan bir durum ortaya çıkacağı değerlendirilerek önlem alınmasına karar verilmiştir.

Şekil 3.8'de görülen yapısal analize tabi tutulmuş plastik taşıyıcının ilk tasarımında, alt ve üst parçaları rijit olarak birleştirmek için akünün konulacağı bölgedeki deliklere iki adet metal perçin uygulanmıştı. Deformasyonun en çok olduğu bölgeye de aynı perçinden bir tane uygulanırsa iç basıncın artması ile oluşacak deformasyon miktarının azalacağı değerlendirilmiştir. Bu bölgeye uygulanan üçüncü perçin Şekil 3.9'da görülmektedir.

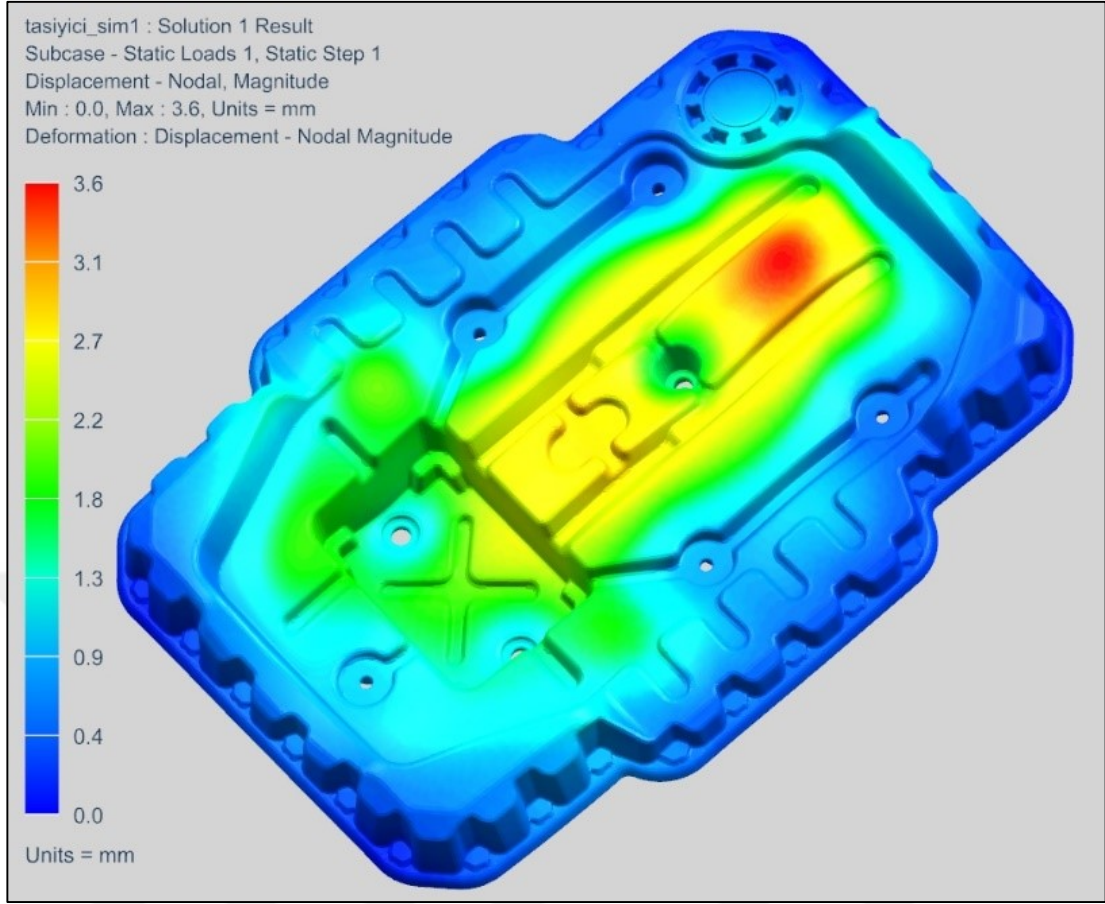


Şekil 3.8. İki perçinli taşıyıcıya uygulanan 0,25 bar basıncın yaptığı deformasyon

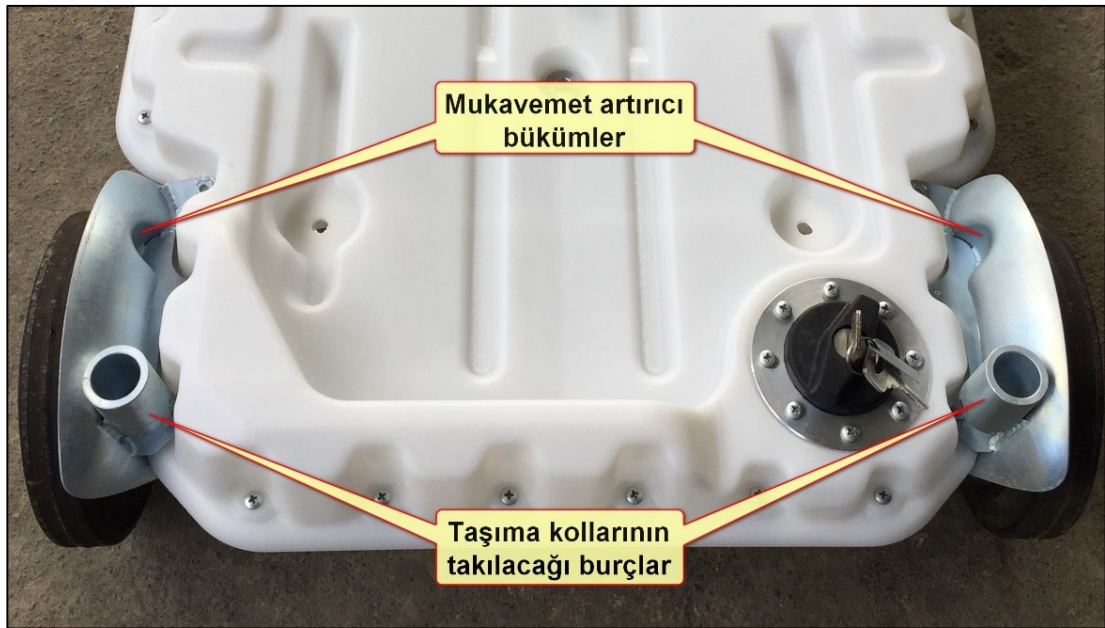


Şekil 3.9. Motopomp taşıyıcı kaidesinin kesitinde perçinlerin görünüşü

Tasarım değişikliği ile üçüncü bir perçin bağlantısının eklendiği modele yapılan yapısal analiz sonucunda deformasyon miktarı 3,6 mm'ye kadar düştüğü Şekil 3.10'da görülmektedir. Bu deformasyon miktarı kabul edilebilir bulunmuştur.



Şekil 3.10. Üçüncü perçin eklendikten sonra taşıyıcıya uygulanan 0,25 bar basıncın yaptığı deformasyon



Şekil 3.11. Tekerleklerin gövdeye montajında ve taşıma kollarının takılması amacıyla kullanılan sac çamurluklar

Motopompun dört personel tarafından elle taşınması amacıyla mevcut metal kaide üzerinde de kullanılmakta olan taşıyıcı kollar tasarıma olduğu gibi taşınmıştır. Bu kolların takılacağı burçların plastik taşıyıcının tekerlek çamurluklarına kaynaklanarak bağlanması düşünülmüştür. Sac metal kesme bükme yöntemiyle imal edilmesi düşünülen çamurlukların mukavemetini artırmak amacıyla yapılan bükümler taşıyıcı burcunun dış çapında tasarlanmıştır. Böylece Şekil 3.11’de görüldüğü gibi çamurluk üzerindeki mukavemet artırıcı bükümlerin birine taşıma kollarının takılacağı burçlar kaynatılmıştır. Kaynak işlemleri tamamlanan çamurluklar daha sonra galvaniz kaplanmıştır.

Tablo 3.1’de tasarım değişikliği yapılmadan önce paslanmaz çelikten yapılmakta olan kaide ile tasarım sonrasında plastik malzemeden aynı zamanda yakıt deposu olarak da kullanılan taşıyıcının ağırlıkları ayrıntılı olarak verilmiştir. Yakıt bidonu ve yakıt bidonu taşıyıcı parça kullanımdan kaldırılmıştır. Motopompun taşıyıcı sisteminde yapılan tasarım değişikliği ile toplamda %54 oranında ağırlık tasarrufu gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1. Metal kaideli ve plastik taşıyıcılı motopomplarda ağırlık değişimleri

	Metal Kaide	Plastik Taşıyıcı	Ağırlık Değişimi
Gövde	13 kg	10,8 kg	- %17
Yakıt bidonu	4,3 kg	-	- %100
Yakıt bidonu taşıyıcı	3 kg	-	- %100
Bağlantı plakası/braketi	7 kg	1,6 kg	- %77
Titreşim takozu	0,1 kg x 8 adet	0,1 kg x 5 adet	- %37,5
TOPLAM	27,8 kg	12,9 kg	- %54

Ağırlıkların karşılaştırmaları yapılırken önceki kaide de olduğu için taşıma kolları ve taşıyıcının tekerlekleri hesaba katılmamıştır. İhtiyaç ve model durumuna göre plastik taşıyıcı iki ya da dört tekerlek ile kullanılabildiği gibi bazı modellerde tekerlek yerine kauçuk ayaklar kullanılmaktadır.

3.3. Plastik Taşıyıcının İlk Örnek Üretimi

Alüminyum enjeksiyon kalıplarının yüksek maliyetinden dolayı plastik taşıyıcı parçalarının, kalıplarını yapmadan önce olası tasarım hatalarını görebilmek amacıyla ilk örneğinin yapılmasına karar verilmiştir.

Uygun kalınlıkta polietilen malzemeden kütük şeklinde parçalar temin edilmiştir. Bu parçalar Şekil 3.12’de görüldüğü gibi CNC dik işleme merkezinde içten ve dıştan freze ile işlenmiştir. Plastik taşıyıcının bütün ayrıntıları ile işlenen alt ve üst parçaları daha sonra sıvı conta uygulaması yapılarak sızdırmaz bir şekilde birleştirilmiştir.



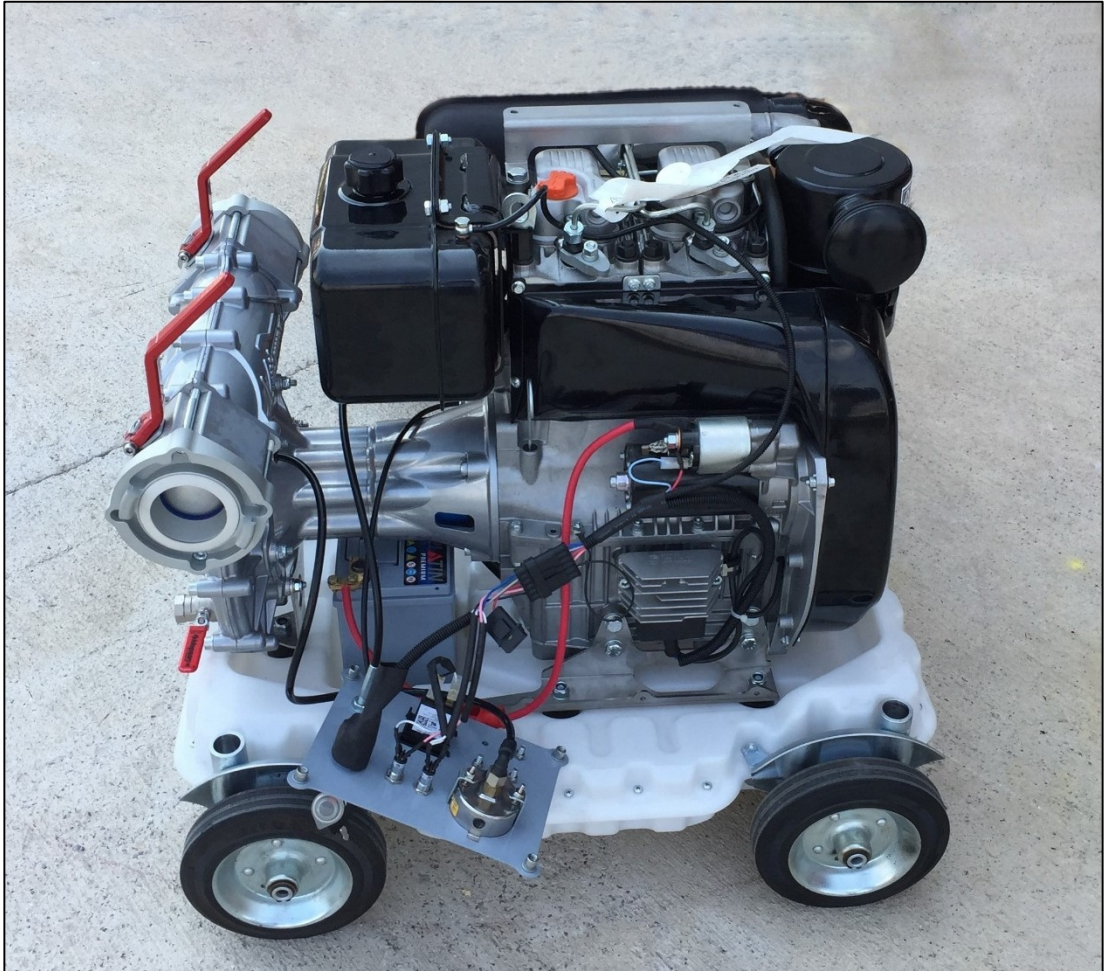
Şekil 3.12. Plastik kaide parçalarının CNC dik işleme merkezinde işlenmesi

Seri imalatla sac kesme bükme kalıbında tek seferde üretilecek şekilde tasarlanmış olan çamurluklar deneme amacıyla kalıp gereksinimi olmadan dolu çelik malzemeden dik işleme merkezinde işlendikten sonra üzerlerine lazerde kesilen saclar ve tornada imal edilen taşıma kolu burçları kaynak edilmiştir. Şekil 3.13’de imalat aşamasından görüşler paylaşılan bu çamurluklar hem tekerlek hem de taşıma kolları takılarak kullanılabilir.



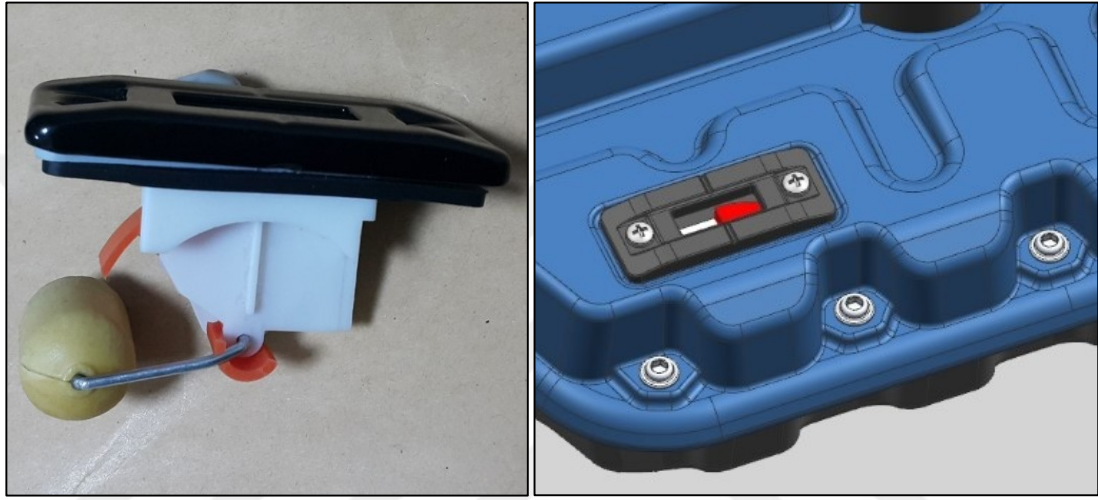
Şekil 3.13. Çamurlukların frezede işlenmesi ve sonrasında kaynaklı hali

Talaşlı imalat yöntemi ile iki parça olarak dolu kütükten işlenerek yapılan plastik taşıyıcının ilk örneği üzerine motopomp bütün donanımı ile yerleştirilmiştir (Şekil 3.14). Pompa firmasında içerisine 20 lt benzin koyulan taşıyıcı kaide fonksiyonel olarak denenmiştir.



Şekil 3.14. Motopomp taşıyıcı kaidenin üzerine motor bağlanarak denenmesi

Plastik taşıyıcının denemelerinde herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamış sadece seri imalatla renkli olarak imal edileceği için içerisi gözükmeyecek olan taşıyıcının içerisindeki yakıtın miktarını takip edebilmek için bir seviye göstergesi eklenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Piyasa araştırmaları sonucu bulunan amaca uygun hazır satılan bir yakıt seviyesi gösterme şamandırası boyutları ve fonksiyonu ile uygun bulunmuştur. Yakıt seviye göstergesinin bilgisayar ortamında tasarlanan modele eklenmiş hali Şekil 5.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15. Yakıt seviye şamandırası ve tasarımda model üzerinde yerleşimi

4. MOTOPOMP KAPORTASI

4.1. Metal Kaporta İncelemesi

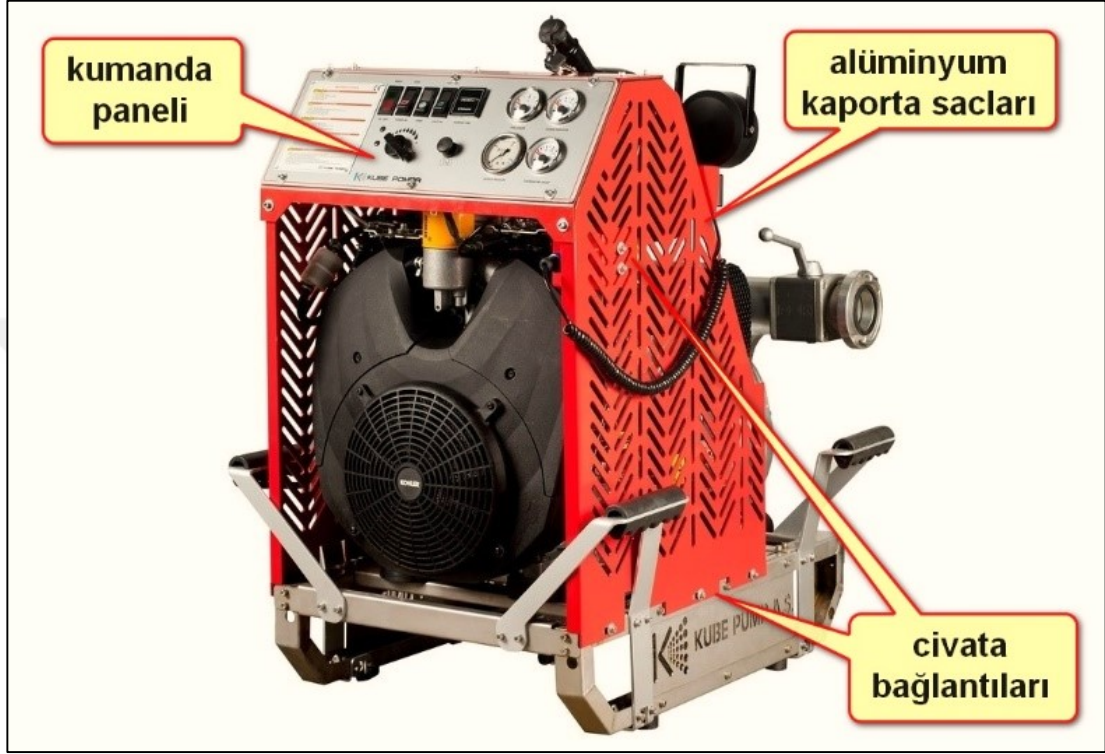
Mevcut uygulamada, lazer kesim tezgâhında alüminyum malzemeden kestirilen sacların, bükme makinalarında bükümleri yapıldıktan sonra birleşen köşeleri kaynak edilmektedir. Haricen ve genellikle nemli ortamlarda kullanılan motopompun kaporta saclarının, korozyona dayanıklılığını iyileştirmek ve görselliğini artırmak amacıyla boyanması da gerekmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kullanıma hazır alüminyum kaporta sacları

Motopompun yan taraflarındaki kaporta sacları taşıyıcı kaideye ve motor üzerindeki uygun bağlantı noktalarına civatalarla sökülebilir olarak bağlanmaktadır. Titreşim takozları ile kaideye bağlı olan motor çalışırken doğal olarak titremekte ve lastik titreşim takozları bu titreşimi sönmülemektedir. Mevcut uygulamada, titremekte olan motora üstten bağlı olan kaporta saclarının alt taraflarının ise sabit duran kaideye bağlı olması teknik teamüller açısından hatalı bir bağlantı şeklidir (Şekil 4.2). Bu şekilde yapılan bağlantıda saclar bağlantı yerlerinden kısa sürede deforme olmaktadır.

Ayrıca, motopompun kumanda paneli de kaporta saclarının üzerine bağlanmaktadır (Şekil 4.2). Bakım çalışmasını gerektiren durumlarda kaporta sacları söküldüğünde, gösterge ve kumanda bileşenlerinin bağlı olduğu panel, kenara asılı kalarak kablo bağlantıları ve cihazların zarar görme riskini oluşturmaktadır.



Şekil 4.2. Alüminyum kaporta sacı bağlantıları ve kumanda panelinin yerleşimi

Kaporta saclarının üretiminde de bazı önemli şekil verme problemleri ile karşılaşılmaktadır. Bükülerek şekillendirilen sac metal parçalarda, bükme kalıbında parçaya verilen şekil ile kalıplama sonrası parçanın aldığı şekil arasında geri esnemenin kaynaklanan bir fark oluşmaktadır. Geri esneme, bükülerek şekillendirilen malzemelerde kalıntı gerilme olarak adlandırılan iç gerilmelerden meydana gelmekte olup, parçaların ölçüsünde ve görüntüsünde bozulmalara yol açmaktadır [14].

Geri esneme miktarı tespit edilip ona göre yapılacak bükümler ile her ne kadar sorun çözülebiliyor olsa da alüminyum sac malzemenin temininde yaşanan parti ya da kalite değişimleri, esneme miktarının tekrar tespit edilip üretim parametrelerinin değiştirilmesini gerekli kılmaktadır. Geri esneme olduğunda veya bükme işlemine yeterli ihtimam gösterilmediğinde kaporta sacları yerlerine takılırken bağlantı deliklerinde uyumsuzluklar meydana gelmekte ve imalatta fire oranı artmaktadır.

Diğer taraftan alüminyum malzemelerin lazerle kesiminde de bazı sorunlar yaşanmaktadır. Kesim sırasında oluşan çok sert alüminyum oksit (Al_2O_3) çapakları, kesim kenarlarına yapışarak bu bölgelerin düzgün çıkmasına mani olmaktadır [26]. Kesilen sacların istiflenmesi sırasında yüzey çizilmelerine de neden olan bu sert çapaklar kesim sonrasında ayrıca kenar tesviye işlemi yapmayı gerektirmektedir.

Alüminyum malzemenin lazerle kesiminde yaşanan diğer bir problem ise lazer ışığının metal yüzeyden geri yansıma sorunudur. Karbondioksit (CO_2) lazer kesim tezgâhlarında yaşanan bu probleminden dolayı ve kesilecek malzemenin kalınlığının 2 mm olması nedeniyle 2 kW üzeri fiber lazer tezgâhlarını kullanma zorunluluğu beraberinde kesim maliyetlerini artırmaktadır.

Alüminyum parçaların kaynak işçiliği de oldukça özen isteyen bir iştir. Parçaların dayanımını artırmak ve kullanım ergonomisi sağlamak amacıyla, lazer kesim sonrasında soğuk deformasyon yöntemi uygulanarak sacların kenarları bükülmekte ve sonrasında birleşen yerler kaynak edilmektedir.

Alüminyum alaşımlarına ne kadar fazla soğuk deformasyon uygulanırsa parçaların dayanımı o kadar artar. Ancak daha önce kenarları bükülerek deformasyon uygulanmış bir alüminyum alaşımı kaynak edilirken kaynak dikişinin etrafındaki bölgeye lokal olarak yaşlandırma¹ (O-temperleme) işlemi uygulanmış olunur. Bunun sonucunda malzeme yaşlandırma şartına geri döner ve yumuşak bir hal alır. Bu nedenle ısı işlem uygulanamayan alüminyum alaşımlarında ana malzeme ile aynı dayanıma sahip kaynak dikişi elde edilebilmek için malzeme yaşlandırma sıcaklığında ($\sim 200\text{ }^{\circ}C$) iken kaynak işlemine başlanmalıdır [27].

Kaporta sacların boyanmasında, otomasyona uygunluğu ve akma yapmaması dolayısı ile oldukça düzgün yüzey elde edilebildiği için elektrostatik toz boyama tekniği tercih edilmektedir. Statik toz boya uygulaması yapan firmalarda yapılan incelemelerde; yapılan boyanın kalitesinin, boyanacak parçaların temizliğine bağlı olduğu ve parçaların boya öncesinde çeşitli işlemlere tabi tutulduğu gözlemlenmiştir. Boya

¹ Çökelme sertleşmesi adı da verilen bu işlem demir dışı malzemelerde özellikle alüminyum esaslı alaşımlara uygulanan bir sertleştirme yöntemidir. Alaşımın dayanımı zamana bağlı olarak geliştiği ve bu süre zarfında alaşım bir anlamda yaşlanmış olduğu için, bu işlem aynı zamanda “yaşlandırma sertleştirme” olarak da bilinir [15].

öncesinde parça üzerindeki inorganik kirliliklerin temizliğinde asidik temizleyiciler, organik kirlilerde ise alkali temizleyiciler kullanılmaktadır. Bu temizlik işleminden sonra ise yüzeye iyi yapışmayı sağlamak için düşük film kalınlığında kromat¹ kaplama işlemi yapılmaktadır.

Toz boya uygulaması, corona veya tribo tipi elektrostatik boya püskürtme tabancaları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Corona tipi tabancada, basınçlı hava vasıtasıyla tabanca içerisinde sürüklenen toz zerrelere yüksek voltajlı bir elektrot sayesinde elektrostatik olarak yüklenirler. Negatif yüklü toz iyonları topraklanmış olan boyanacak parçaya yapışarak boyanmasını sağlamaktadır. Ancak Faraday kafesi etkisi² nedeniyle boyanamayan çok girintili ve çıkıntılı parçaların boyanmasında ise tribo tipi tabancalar kullanılır. Bu tür tabancalarda basınçlı hava vasıtasıyla tabanca içerisinde sürüklenen toz zerrelere yüksek voltaj uygulanmadan, özel bir ortamdan geçirilirken sürtünme nedeniyle pozitif yüklerle yüklenmesi sağlanır [28].

Bu yöntemlerin herhangi biri ile boyanan parçalar boya üreticisinin verdiği süre ve sıcaklıkta fırınlanarak üzerindeki toz zerrelere halindeki boyanın eriyip düz bir zemin oluşturması sonra da kürleşmesi³ sağlanır. Toz boya, pişirme fırınında 190-205 °C sıcaklığa ulaştıktan sonra 5-10 dakikada kürleşmektedir [16].

Motopompun yukarıda anlatılan safahata uygun olarak yapılan kaportalarının işlem basamaklarının fazla olması, birçok tedarikçiye bağlı olmayı ve tedarik süreçlerinde güçlükleri meydana getirmektedir. Emek yoğun bir üretim süreci gerektirdiğinden düşük üretim sayısına sahip alüminyum sac kaportaların maliyetlerinin de oldukça yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

¹ Bir metal ile bir kimyasal çözeltinin reaksiyonu sonucunda oluşan ve demir, çelik, alüminyum gibi metal malzemeler üzerine uygulanan krom kaplama işlemi kromatlama olarak adlandırılır. Sarı, yeşil ve şeffaf renkte kromat kaplamak mümkündür. Alüminyum üzerine uygulanan kromat kaplamanın amacı boyaya daha iyi tutuculuk sağlamak ve korozyon direncini arttırmaktır [33].

² Yüksek voltaj, corona tipi tabancanın ağız ile malzeme arasında elektriksel yolları oluşturur, toz boya tanecikleri bu yolları takip eder. Dış yüzeydeki köşeler ve girift şekilli malzemelerin dış yüzeyleri elektriksel alan yollarının en yoğun olduğu yerlerdir. İç kısımlardaki köşe ve girintilerde bu alan yollarının yoğunluğu daha azdır. Elektrik alan yollarının seyrek olduğu yerlere toz boya taneciklerinin ulaşmadığı bu olaya Faraday Kafesi etkisi adı verilir [30].

³ Boyanın sıvıdan katı duruma dönüşürken ısı etkisi ile kimyasal reaksiyona uğrayarak sertleşmesi işlemine kürleşme denir.

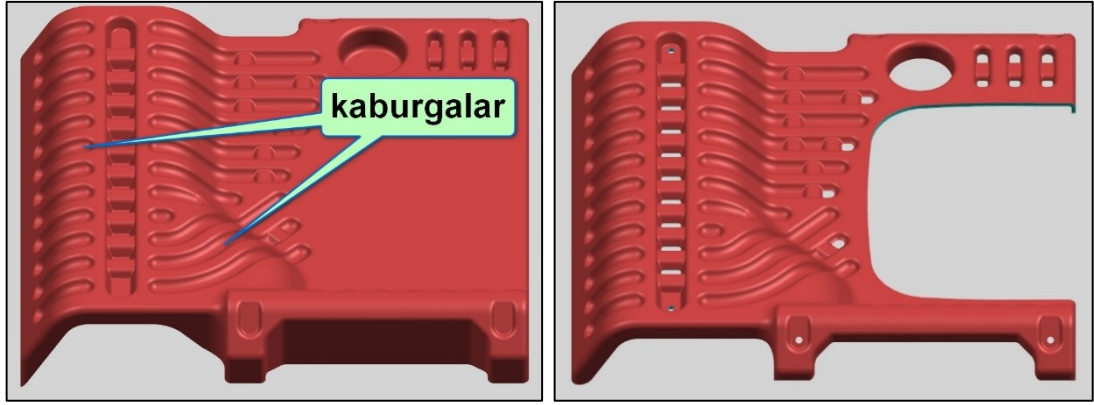
4.2. Plastik Kaporta Tasarımı

Alternatif malzeme ve üretim metotları değerlendirmesi yapılarak kaportaların, ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) plastik levhalardan vakum ve ısı ile şekil verme (termoform) yöntemi ile imal edilmesi uygun bulunmuştur.

Vakum ve ısı ile şekil verme metodu; diğer plastik kalıplama yöntemlerine göre düşük şekil verme basınçlarında yapılabildiğinden daha ekonomik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu üretim yöntemiyle yüzey alanı-cidar kalınlığı oranı çok düşük parçaların imalatı da mümkündür. İnce cidar kalınlığına sahip parçalar oldukça kısa çevrim sürelerinde üretilebilirler. Kalıplar düşük basınç (1 bar) altında çalıştığından daha ekonomik malzemelerden imal edilebilir. Tüm bu avantajlar göz önüne alındığında vakum ve ısı ile şekil verme metodu kullanılarak, diğer imalat yöntemleri ile üretimi ekonomik olmayan parçaların ilk örnek üretimi de seri imalatı da gerçekleştirilebilmektedir. Bu metotta şekil verilecek levha, kenarlarından makineye sabitlenir ve yumuşayınca kadar fakat erimeyecek şekilde camsı geçiş sıcaklığına¹ kadar ısıtılır. Kalıp boşluğundaki havanın emilerek vakum elde edilmesi ile atmosfer basıncı, ısıtılmış levhanın üzerine etkiyerek kalıbın şeklini almasını sağlar. Levha kalıp üzerinde soğuyup sertleşinceye kadar vakum uygulanır. Kalıptan çıkarılan parçaların fazlalıkları kesilerek atılır [17].

Vakumla şekillendirilerek imal edilen plastik kaporta parçalarında parça kalıpta şekillendirildikten sonra işleme merkezinde kenar düzeltme kesimleri yapılırken kaportanın motopompa bağlanacağı delikler de açılmaktadır (Şekil 4.3). Kenar kesimi ve delik delme işlemlerinden sonra parça üzerinde her hangi bir şekil verme işlemi olmadığı için boyutsal kararlılık kullanılan tezgâhın hassasiyetinde olmaktadır. Önceki süreçlerin olası hatalarından (parçada çarpılma, makina ayar problemleri nedeni ile oluşabilecek değişken ısı çekme değerleri vb.) bağımsız olarak tek bağlamada yapılan bu işlemler sayesinde üretimde kalite sürekliliğini sağlayarak montajda yaşanacak olası sıkıntıları ortadan kaldırmak ve fire oranlarını düşürmek hedeflenmiştir.

¹ Bütün polimerik maddeler için, daha aşağısına inildiğinde polimer zincirinin hareketsiz hale geldiği bir sıcaklık bulunmaktadır. Camsı geçiş sıcaklığı (tg) adı verilen bu sıcaklığın altında polimer sert ve kırılmandır. Camsı geçiş sıcaklığının üstündeki malzemede, polimer zincirlerinin bölgesel hareketlerine olanak sağlayacak yeterli enerji bulunmaktadır. Bu sayede malzeme elastik özellikler gösterir ve plastik olarak şekillendirilebilir [31].



Şekil 4.3. Vakum ile şekillendirilmiş kaporta üst parçasının kenar kesiminden önce ve sonra görünümü

Plastik levhalar, parlak ve mat her türlü renkte ve desenli yüzey şekillerinde olabildiği için ayrıca boya uygulamasına gerek kalmamaktadır. Panellerin rengi kalınlığın her yerinde aynı olduğu için kaporta üzerinde oluşan küçük çizikler renkte değişiklik yapmamaktadır. Oysa boyalı alüminyum kaportalarda kullanım sırasında oluşan boya çizilmeleri alt taraftan boyasız metali ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca plastik malzeme esnek yapıda olduğu için küçük darbelerde alüminyumda olduğu gibi kalıcı deformasyonlar oluşmamaktadır.

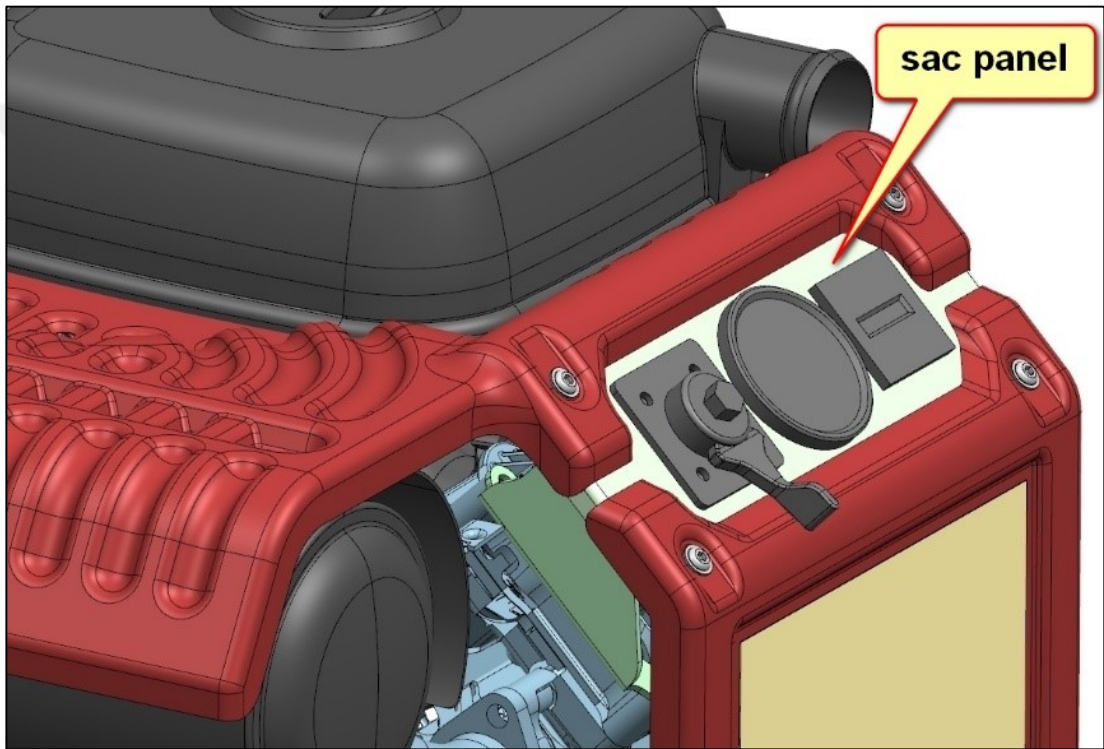
Parçaların et kalınlığını artırmadan atalet momentini arttırarak eğilip bükülmesini önlemek amacıyla, kalıplama şartları da dikkate alınarak tasarlanan kaburgalı yüzey modeli parçaya estetik olarak da ciddi katkılar sağlamıştır (Şekil 4.3).

Tablo 4.1’de kaportaların 2 mm kalınlığında alüminyum sacdan ve 4 mm kalınlığında plastik malzemeden yapıldığı durumlardaki toplam ağırlıkları verilmiştir. Burada görüleceği üzere her bir motopompun kaportasında yaklaşık %30 oranında ağırlık tasarrufu gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1. Motopomp kaporta ağırlıklarındaki değişim

	2 mm kalınlıkta Alüminyum sac	4 mm kalınlıkta ABS plastik	Değişim miktarı
Motopomp P1	3,2 kg	2,2 kg	- %31
Motopomp P2	3,8 kg	2,7 kg	- %29

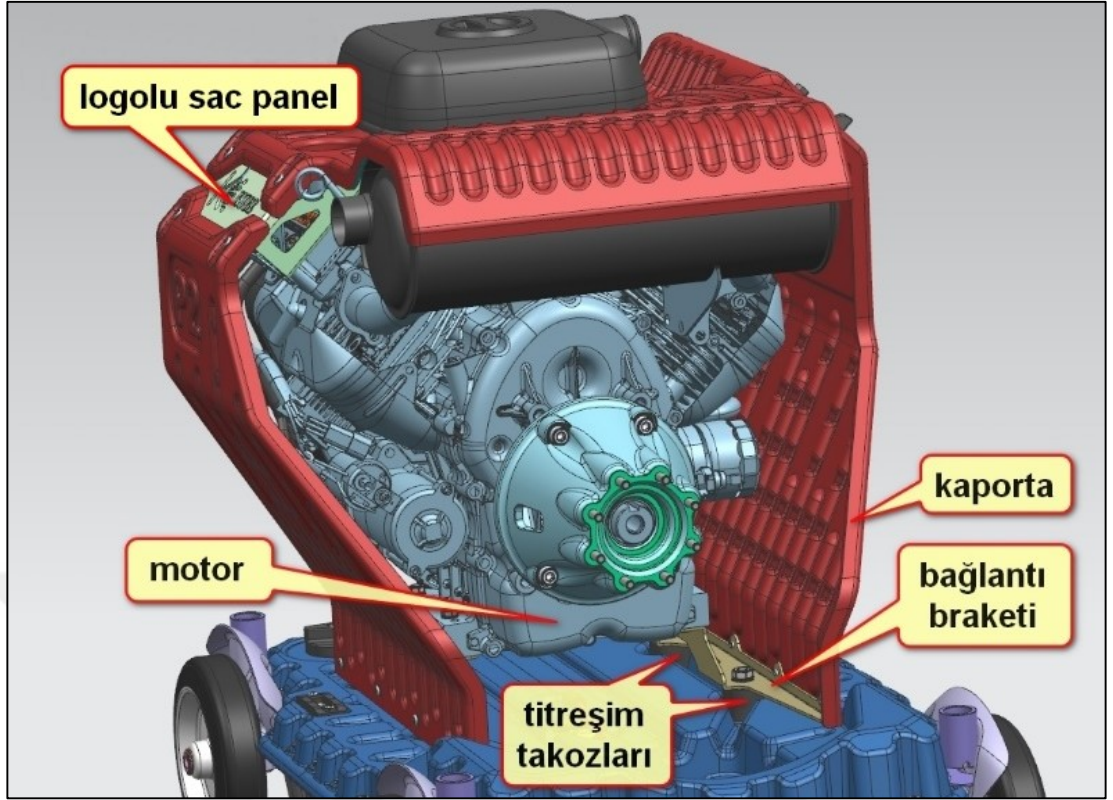
Kaportaların motora bağlanma usulünde yapılan değişiklik ile montaj kolaylığı ile birlikte bakım çalışmaları için yapılan olası kaporta sökümünde gösterge ve kumanda bağlantılarının zarar görmesi önlenmiştir. Motopompun bir tarafında göstergelerin ve kumanda kollarının bağlanacağı şekilde tasarlanan (Şekil 4.4), diğer tarafta ise üzerine pompa firmasının logosu işlenmiş olan sac paneller (Şekil 4.5) motorun her iki tarafındaki uygun yerlere civata ile bağlanmıştır. Paslanmaz sacdan yapılmış olan bu panellere vida ile bağlanan plastik kaporta parçaları, kumanda ve göstergeler yerlerinde dururken sökülüp takılabilmektedir



Şekil 4.4. Kumanda ve göstergeleri bağlantılarını sökmeden çıkarılıp takılabilen kaporta bağlantısı tasarımı

Motorun titreşim takozlarına bağlantısında ise Şekil 4.5’de görüldüğü gibi 3 mm krom sacdan kesme ve bükme yöntemi ile imal edilmiş bağlantı braketleri kullanılmıştır. Bu bağlantı braketlerine aynı zamanda plastik yan kaporta parçaları da bağlanmaktadır.

Motopompun ilk halindeki bağlantı şekli teknik teamüller açısından hatalı görülen yan kaporta sacları, plastik kaporta uygulamasında motor ile birlikte titreşim takozları üzerinde çalıştırılarak, parçaların civata bağlantı yerlerinden deforme olmadan çok uzun süre vazifelerini yerine getirebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.5. Plastik kaporta parçalarının braketlere bağlantısı

4.3. Bakıma Uygun Tasarım Uygulaması

Ana hedefi, bir ürün veya sisteme onun yararlı yaşam döngüsü boyunca mantıklı harcamalarla ve bir zorlukla karşılaşmadan bakım yapılabilmesini sağlamak olan bakıma uygun tasarım (BUT) ilkeleri, motopomp kaporta sisteminin tasarımında da esas alınmıştır [20]. Bakıma uygun tasarım ilkesinin literatürde tanınmış, ulaşılabilirlik ve arızayı bulup ayıklayabilme gibi temel kuralları esas alan birçok kriteri arasından seçilen ve aşağıda listelen kriterleri bu tasarımda uygulanmaya çalışılmıştır.

Tasarım gereklilikleri hakkında yol gösterebilecek genel BUT kriterleri [20]:

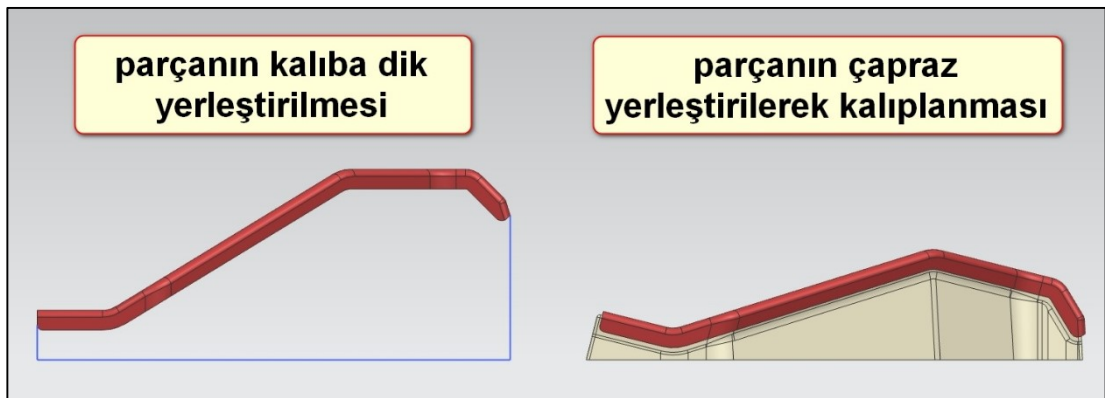
- Yapılan tasarım, bakım işlemi sırasında ürünün zarara uğramasını engellemelidir.
- Bakım için sökülen parçaların tekrar yerine takılmasında boyut ve şekiller doğru pozisyonu sağlayacak özellikte olmalıdır.
- Personel yaralanmalarına neden olacak keskin köşe, keskin kenar, sivri çıkıntı gibi tehlikeli tasarımlardan kaçınılmalıdır
- Herhangi bir nedenle değiştirilecek ünite gruplarının sökülüp tekrar takılması sırasında arızalı olmayan parçaların yerinden çıkarılmaması sağlanmalıdır.

- Bir ünite grubunun sökülüp tekrar takılması kritik fonksiyonları engellememelidir.
- Sökülüp takılacak parçalara erişimi kolaylaştırmak için üniteleri başka ünitelere bağlamak yerine gövdeye veya şaseye doğrudan bağlamak tercih edilmelidir.
- Kabloların yerleştirilmesi, bakımı ve sökülüp takılabilmesini kolaylaştıracak bir düzen sağlanmış olmalıdır.

4.4. Kaporta Parçalarının Kalıplarının Tasarımı ve Üretimi

Pompa firması, plastik kaporta parçalarının vakum ve ısı ile şekil verme kalıplarının tasarım ve üretimini de projeye dâhil edip talep edince, vakum ile plastik parça üretimi yapan firmada konu ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Firmanın daha önce ABS malzeme kullanarak ürettiği parçalar ve kalıpları ölçülerek malzemenin çekme payı¹ % 0,5 olarak tespit edilmiş ve kalıplara bu oran uygulanmıştır.

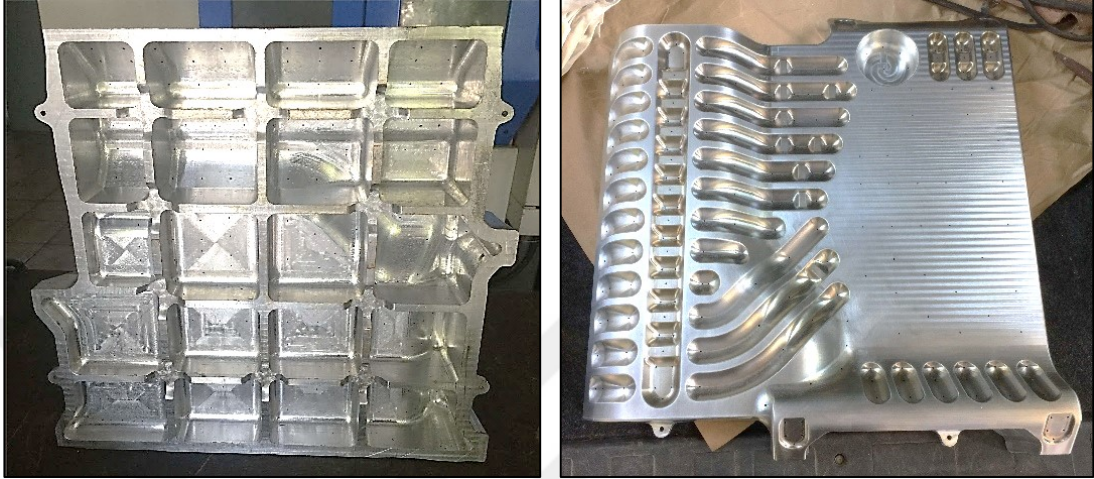
Her iki motopompun yan kenarları ve üstü için ayrı ayrı tasarlanan plastik kaporta parçalarının vakum ile şekillendirme kalıpları da tasarlanıp modellenmiştir. Kalıpların imalatı dik işleme merkezinde alüminyum malzemeden işlenerek yapılmıştır. Kalıp malzemesinden tasarruf yapabilmek için yan kaporta parçalarının kalıba yerleşimleri Şekil 4.6’da görüldüğü gibi parça çaprazlanarak yapılmıştır. Bu kalıp yerleşimi parçalar modellenirken öngörülerek, kenar büküm açıları ve yüzey üzerindeki desenlerin çıkma açıları kalıbın çalışma yönüne uygun olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.6. Termoform kalıplarında malzeme tasarrufu için uygulanan parça yerleşimi

¹ Yüksek sıcaklıkta şekillendirilen malzemelerin soğuma sırasında hacimlerinin küçülmesine çekme denir. Bu durum göz önüne alınarak kalıp yaparken verilen ilaveye de çekme payı denir. Çekme payları malzeme üreticileri tarafından oldukça geniş bir aralıkta verilir. Bu nedenle imkân varsa en doğrusu bu çalışmada da uygulandığı gibi kalıp ve çıkan ürün ölçülerek bulunan değerdir.

Şekil.4.7’de plastik kaportanın üst parçasının üretimi için işlenen termoform kalıbının altı ve üstü görülmektedir. Vakum kalıplarının alt tarafında vakumun kalıbın her tarafına ulaşabilmesi için boşluk olması gerekmektedir. Yük altında kalıbın deforme olmaması için ise bu boşluk bölmeli bir yapıda kaburgalı olarak tasarlanmıştır.



Şekil.4.7. Alüminyumdan imal edilen termoform kalıbının görüntüleri

Kalıplama işlemini yapacak olan vakum plastik üretim firmasının elinde bulunan 1,5 mm kalınlıktaki siyah polietilen malzemeden deneme amacıyla, şekillendirilen bir numune Şekil 4.8’de görülmektedir. Bu parçanın kenar kesme ve delik açma işlemleri sabitleme fişstürleri yapıldıktan sonra dik işleme merkezinde yapılmıştır.



Şekil 4.8. Vakum ve ısı ile şekillendirilmiş üst kaporta kapağının iç ve dış görünüşü

5. O-RİNG YUVALARINDA OPTİMİZASYON

5.1. Genel O-ring Uygulamaları

Birleştirilen parçaların arasından sıvı ya da gaz sızmasını önlemek için kullanılan, elastomer¹ malzemelerin (NBR², FKM³ ve Silikon⁴ gibi) kalıplanması ile imal edilmiş, “O” şeklinde kesiti olan halkalara O-ring adı verilmektedir.

O-ringlerin “şimdiye kadar geliştirilen en iyi statik sızdırmazlık elemanları” olduğu söylenebilir. Bunun temel nedeni; O-ringler, yuvaları uygun şekilde tasarlanıp işlendiğinde ve hatasız olarak monte edildiklerinde hiçbir ayar veya insan faktörü devreye girmez ve sızdırmazlığı tam olarak sağlarlar. Son derece geniş bir basınç, sıcaklık ve tolerans aralığında kullanılabildikleri gibi, mükemmel sızdırmazlık sağlamak için yüksek sıkma kuvvetlerine ihtiyaç duymazlar [21].

O-ring uygulamalarının çoğunda, mevcut hacmin %60 ila %85'i arasında değişen bir kısmının doldurulması gerekir, optimum dolum hacmi %75'tir (%25 boş kalmalıdır). Bunun nedeni, olası tolerans birikimleri ve O-ringin termal genleşmesidir. Herhangi bir elastomer sızdırmazlık keçesinde en az %10 boşluk bırakılması esastır [21]. Sızdırmazlık elemanının vazifesini görebilmesi, akışkanın kanal içerisinde bırakılan boşluğa dolup elastomeri kanal duvarlarına sıkıştırması ile mümkündür.

Genellikle dikdörtgen kesitli yapılan O-ring kanalları tasarım açısından kolaylık sağlar ve en bilinen kanal tipleridirler. Bu kanalların imalatı için gerekli toleransları vermek kolaydır çünkü O-ring kanal genişliğinden bağımsız olarak akışkanın basıncının kendisini sıkıştırması ile sızdırmazlık sağlar. Ancak bazı üreticiler son yıllarda farklı kesitli kanallar da tercih etmektedirler. Bunlardan biri olan üçgen kesitli kanal tasarımı

¹ Özel bir polimer türü olan elastomerler, doğal ve suni kauçuk malzemeleri de içine alan iyi yalıtım sağlayan, deforme olmayan, farklı şekillerde kalıplanabilen bükülebilir plastik malzeme kategorisidir.

² Nitrile Butadiene Rubber. -30°C, +120°C aralığında en çok kullanılan elastomer malzemedir [29].

³ Amerikan standardı ASTM'ye göre floroelastomer kategorisi için kısaltma olup “Viton” ticari ismi ile bilinir genelde yeşil renkli üretilir. -30°C, +225°C aralığında her tür kimyasala dayanıklıdır [29].

⁴ Silikon O-ringler gıdaya uygun olup -60°C, +200°C aralığında kullanılırlar [29].

değişik çalışma şartlarında daha verimli olmaktadır. Ancak O-ringi doğru yerinde tutarak parçaları birleştirmek dikkat gerektirir [22].

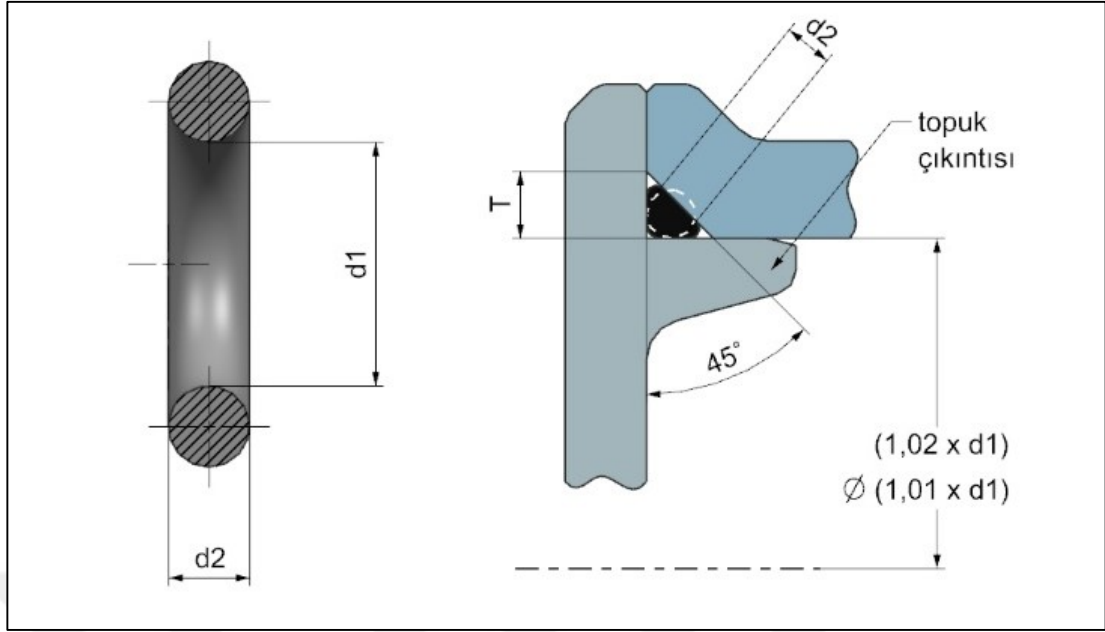
Üçgen kesitli O-ring yuvaları, maliyet ve işleme kolaylığının önemli olduğu yerlerde kullanılır. Bu şekilde uygulanan yuvalardaki O-ringler kalıcı olarak deforme olurlar. O-ring, erkek parça üzerinde 45 derecelik açıyla işlenerek yapılan bir düzlüğün birleşme sonrasında oluşturduğu üçgen bir oyuk içerisinde tutulur. O-ringin iç çapı yuvanın çapıyla yaklaşık olarak aynı olmalıdır [21].

Ayrıca, dikdörtgen kesitli O-ring yuvası uygulamasında yuvarlak parçaların montajı sırasında keskin köşelerin O-ringe zarar vermemesi için mil ve boğazda yapılması gereken pah kırmanın ölçüsü, kesit çapı 4 mm olan O-ring için $15^\circ \times 2,3$ mm'dir [29]. Bu durum, birbirine geçen parçaların temas yüzeylerini O-ring kanalının haricinde daha da azaltmaktadır.

5.2. Üçgen Kesitli O-ring Kanalı Tasarımı

Bu çalışmada parçaların boyutlarını mümkün olduğu kadar küçültmek esas alınmıştır. Montajda eş merkezlilikten ödün vermemek için parçaların birbirinin içerisine giren kısımlarında (topuk) temas yüzeyini eksiltmeden uygulanabilecek ve birleştirilen parçaların arasından pompa dışına akışkan sızmasını kesin olarak önleyecek bir sızdırmazlık sistemi arayışına girilmiştir. Sökülebilen parçalardan oluşan motopompun yedi ayrı birleşim yerinde sızdırmazlık için üçgen kesitli O-ring yuvası uygulanmasına karar verilmiştir. Birleştirilen parçaların birinde köşeye yerleştirilmiş O-ringi, diğer parçada pah verilmiş bir yüzeye sıkıştırarak yaymak suretiyle sızdırmazlık sağlanmaya çalışılmıştır.

Şekil 5.1'de görülen üçgen kesitli O-ring yuvalarında kullanılan O-ringlerin iç çapları (d_1) ve kesit çapları ise (d_2) ile tanımlanmıştır. Etkili bir sızdırmazlık sağlamak için O-ringin gerdirilmeden yuvasına takılması gerekmektedir. O-ringlerin iç çapları, takıldıkları topuk çıkıntısının çapından %1 - %2 mm daha küçük olacak şekilde (önce O-ring seçilmiş ise, iç çapından %1 - %2 mm daha büyük çaplı bir topuk tasarlanarak) seçilmeye çalışılmıştır. Böylece O-ringin kesit azalmasına meydan vermeden hafifçe gerilerek topuk çıkıntısına sıkıca oturması sağlanmış ve montaj edilirken yerinden çıkması ya da karşı yuvasına yanlış oturmasının önüne geçilmiştir.



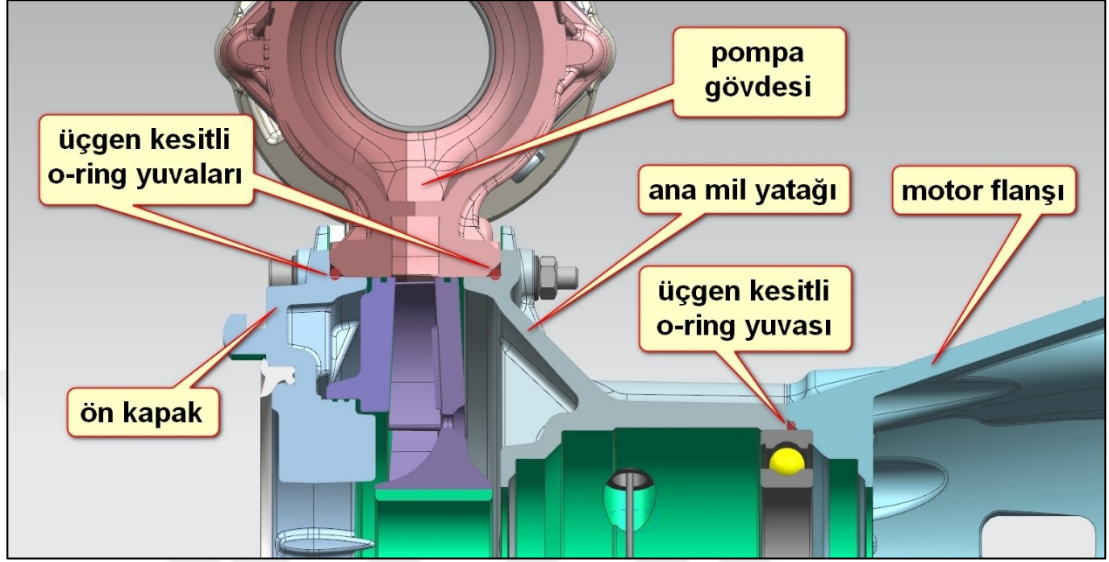
Şekil 5.1. O-ring tanımlama ölçüleri ve üçgen kesitli O-ring yuva tasarımı

Birbirine takılıp sıkıldıktan sonra parçaların birbirlerine göre izafi hareket yapmadıkları statik bağlantılarda kullanılan ve kesit çapları, 1 mm'den 10 mm'ye kadar olan O-ringler için üçgen kesitli kanalın kenar ölçüsü (T) Tablo 5.1'de verilmektedir [29]. Bu ölçülere uymak yukarıda bahsi geçen optimum dolum hacmini yakalamak için oldukça önemlidir.

Tablo 5.1. Statik çalışmada O-ringin kesit çapına göre üçgen kesitli yuva ölçüleri

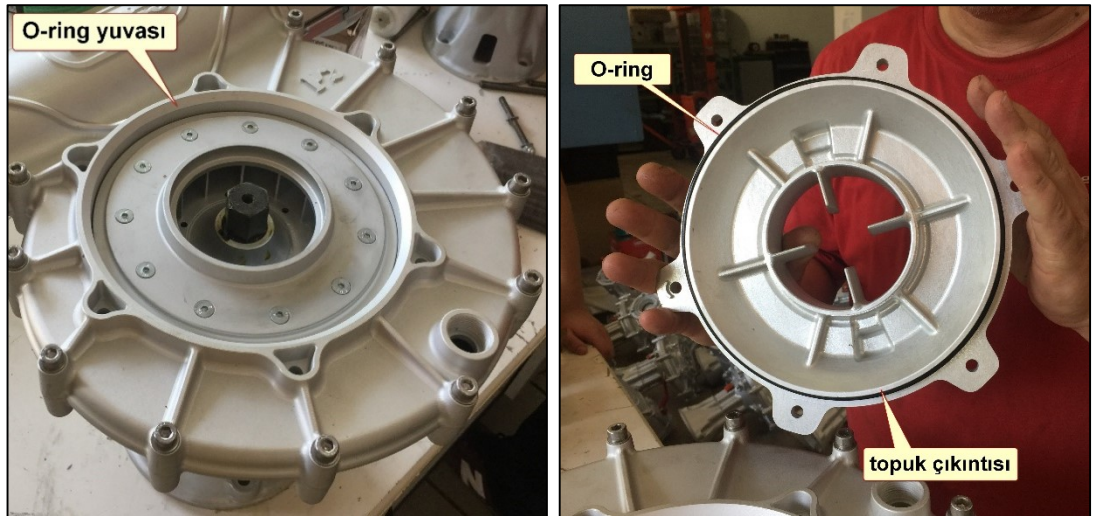
d2	T	d2	T
1,00	1,45 +0,08	4,50	6,15 +0,20
1,50	2,00 +0,08	5,00	6,85 +0,20
1,60	2,13 +0,08	5,33	7,35 +0,20
1,78	2,38 +0,08	5,70	7,85 +0,20
2,00	2,70 +0,08	6,00	8,25 +0,30
2,40	3,25 +0,12	6,50	8,95 +0,30
2,50	3,40 +0,12	6,99	9,60 +0,30
2,62	3,55 +0,12	8,00	11,00 +0,30
3,00	4,10 +0,20	8,40	11,55 +0,30
3,53	4,85 +0,20	9,00	12,40 +0,40
4,00	5,50 +0,20	10,00	13,70 +0,40

Ön kapak ve ana mil yatağının pompa gövdesine bağlantısındaki uygulamada, kesit çapı (d_2), 4 mm olan O-ring için Tablo 5.1’den bulunan 5,5 mm kenar ölçüsü (T) pompa gövdesinde 45° lik pah ile oluşturulan yuvaya uygulanmıştır (Şekil 5.2).



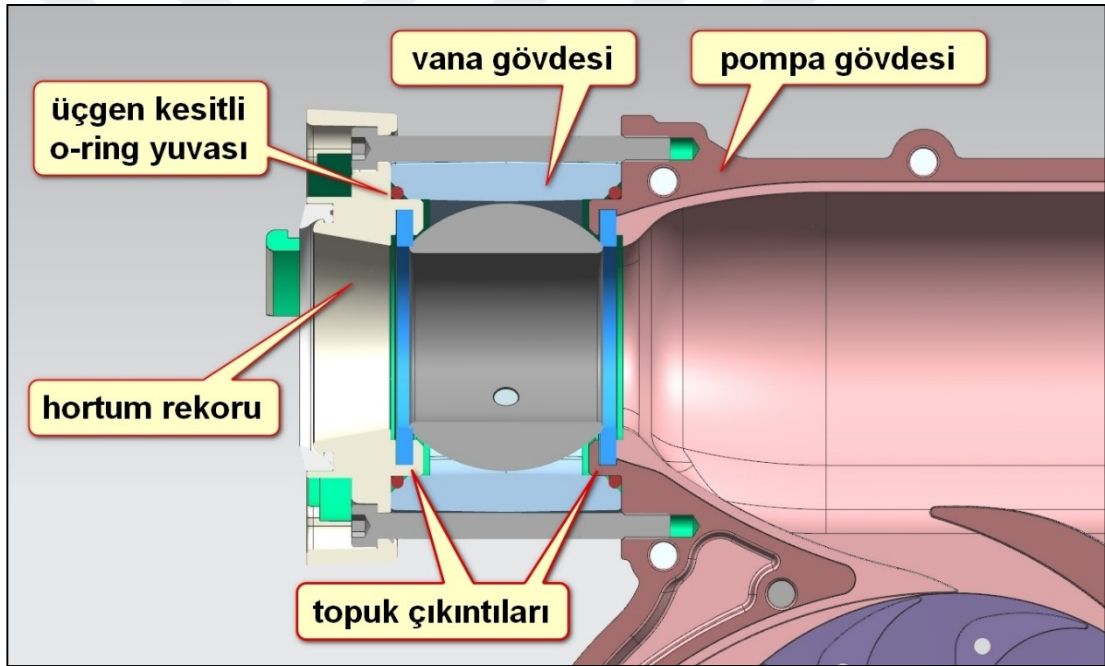
Şekil 5.2. Pompa gövdesi, ön kapak, ana mil yatağı ve motor flanşı arasındaki üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamaları

Birleştirilen parçalarda eksenelliği sağlamak ve O-ring ile birlikte montaj zorluğunu aşmak amacıyla ön kapak ve ana mil yatağı parçaları pompa gövdesine girecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.3’de görülen uygulamada O-ring, ön kapak üzerindeki topuk çıkıntısına kolayca yerleştirilmiş ve gövdeye takılırken bir zorluk yaşanmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 5.3. Pompa gövdesi üzerindeki O-ring yuvası ve buraya takılacak O-ringin karşı parça üzerindeki topuk çıkıntısına yerleştirilmesi

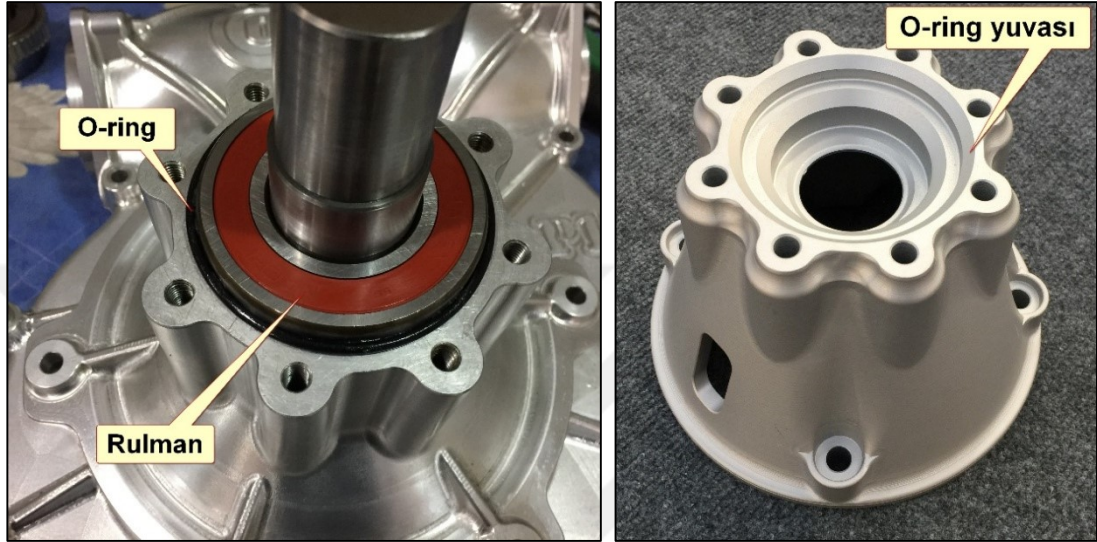
Pompanın çıkışındaki hortum rekorlarının, vana gövdesine, vana gövdesinin ise pompa gövdesine bağlantısında pompalanan akışkanın sızdırmazlığı için de O-ring kullanılmıştır. Gövdenin her iki çıkışına takılan vanada da bu şekilde üçgen kesitli O-ring uygulaması tasarlanmıştır. Vana gövdesindeki üçgen kesitli O-ring yuvası gövdenin kalıptan çıktığı halinde bırakılmış burası sonradan işlenmemiştir. Dolayısı ile yuva şekil toleransı biraz kaba olduğu için nispeten biraz kalın olması istenen O-ringin kesit çapı 4 mm seçilmiş ve Tablo 5.1'den bulunan 5,5 mm kenar ölçüsü vana gövdesinin her iki tarafında tasarlanan 45° lik pah ile oluşturulan yuvaya uygulanmıştır (Şekil 5.4). Montaj sırasında buraya takılacak olan O-ringler hortum rekoru ve pompa gövdesi üzerindeki topuk çıkıntılara takılmakta, daha sonra vana gövdesi civata ile yerine bağlanmaktadır.



Şekil 5.4. Vana gövdesinin her iki tarafındaki üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamaları

Ana mil yatağı ile motor flanşı arasındaki bağlantıda yağ sızdırmazlığını sağlamak amacıyla O-ring uygulaması yapılmıştır. Buradaki bağlantı rulman üzerinden yapıldığı için O-ring kanalının genişliği rulman genişliğinin yaklaşık 1/3'ü dolaylarında olması gerekmektedir. Bağlantı bölgesi sınırları dikkate alınarak kesit çapı 3 mm seçilen O-ring için Tablo 5.1'den bulunan 4,1 mm kenar ölçüsü motor flanşında 45° lik pah ile oluşturulan yuvaya uygulanmıştır (Şekil 5.2, Şekil 5.5).

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi ana mili yataklayan rulman, ana mil yatağı ile motor flanşı parçalarının birleştirilmesinde merkezleyici görevi görmektedir. Rulmanları takılmış milin montajından sonra O-ring, rulmanın dışarıda kalan çıkıntısına takılmaktadır. Böylece rulman; “mil yataklama” ve “parçaları merkezleme” vazifelerinin yanında üçgen kesitli yuvaya takılacak O-ring için de montaj kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 5.5. Rulman ile eş merkezlenen parçaların birleşim yerinde üçgen kesitli O-ring kanalı uygulaması

Motopomp üzerindeki yedi bölgedeki O-ring kanallarının dikdörtgen kesitli O-ring kanalı yerine üçgen kesitli statik O-ring kanalı şeklinde uygulanması sayesinde her bir bölgede yaklaşık 10 mm kadar yer kazanılmıştır. Motopomp boyunca 3 yerde yapılan uygulama ile 30 mm, motopomp eninde ise 4 yerde yapılan uygulama ile 40 mm olmak üzere her iki yönde de yaklaşık %8 oranında boyca kısalma sağlanmıştır (Tablo 5.2). Parça boylarındaki kısalma motopompun ağırlığının azaltılmasına da katkı sağlamıştır fakat bu katkının değeri ihmal edilerek ağırlık kıyaslamalarında kullanılmamıştır.

Tablo 5.2. Üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamasının pompa ebatlarına etkisi

	Motopomp P1			Motopomp P2		
	İlk uzunluk	Kısalma miktarı	Değişim oranı	İlk uzunluk	Kısalma miktarı	Değişim oranı
Boy	345 mm	30 mm	- %8,7	350 mm	30 mm	- %8,6
Genişlik	500 mm	40 mm	- %8,0	530 mm	40 mm	- %7,5

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Pompanın alüminyum enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçaların cidar kalınlığını tespit edebilmek amacıyla Turkuaz Elektromekanik'in tedarikçi listesinde olan bu konuda uzman firmalarla yapılan görüşmelerden erimiş alüminyumun basınçlı döküm kalıbı içerisinde sağlıklı yürütülmesi ve efektif soğutma sağlanabilmesi için cidar kalınlıklarının 6-10 mm arasında olabileceği bilgisi edinilmiştir.

Motopompun kaportalarının plastik malzemeden vakum tekniği ile üretilmesine karar verilince vakum ile plastik parça üretimi yapan firmada konu ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Vakum kalıplamanın tekniği öğrenildikten sonra parçalar tasarlanmış sonrasında pompa firmasının talebi üzerine vakum kalıpları da projeye dâhil edilmiştir. Vakum kalıpları tasarlanırken gerekli olan çekme payının tespit edilmesi amacıyla daha önce ABS malzeme kullanarak üretilen parçalar ve kalıpları ölçülerek malzemenin çekme payı %0,5 olarak tespit edilmiş ve kalıplara bu oran uygulanmıştır.

Plastik hammadde tedarikçi firmaların malzeme mühendisleri ile yapılan görüşmelerde; plastik kaidenin harici ortamlarda kullanılacak olması nedeniyle güneş ışınlarından etkilenmemesi için granül haldeki polietilen hammaddesine enjeksiyon öncesinde %5 oranında masterbatch katılmasının gerekli olduğu anlaşılmıştır.

Plastik taşıyıcının genelde 4 mm olan cidar kalınlığı esas alınarak bilgisayar ortamında yapılan dayanım testlerinde toplam deformasyon 0,3 mm gibi oldukça iyi bir değerde çıkmıştır. Bu hali ile 11 kg civarında gelen plastik taşıyıcının cidar kalınlığı 3 mm'ye düşürülürse parça ağırlığı 8 kg dolaylarına kadar inecektir. Fakat bu değişiklik enjeksiyon kalıbını yeniden yapmayı gerektirmektedir.

Plastik parçalarda lunger oluşumunu önlemek ve görünümü güzel enjeksiyon baskısı elde edebilmek için parçalar tasarlandıktan sonra homojen kalınlık belirleme analizleri yapılmıştır. Bilhassa civata bağlantı bölgelerinde ciddi malzeme yığılmaları tespit edildiği için bu bölgelerde gerekli görülen boşaltmalar tasarım aşamasında yapılmıştır.

Üçgen kesitli O-ring kanalı uygulamasında O-ringin iç çapı, takıldığı silindirik yüzeyin çapından %1- %2 mm daha küçük olacak şekilde seçilirse O-ringin kesit çapında meydana gelen azalmanın sızdırmazlığın etkinliğini bozmadığı görülmüştür. Bu sayede O-ring hafifçe gerilerek silindirik yüzeye takılacağı için montaj sırasında yerinden çıkmasının önüne geçilmiştir.

Hareketli sistemlerde titreşim frekanslarının ve mod şekillerinin bilinmesi, sistemin doğal halde ya da dinamik yükler altında nasıl cevaplar vereceğinin tespiti için oldukça önemlidir. Motopompun taşıyıcı kaidesinde, pompa gövdesinin imalatında ve ana mil yatağının tasarımında kullanılan parçalı yapıların birleştirilmesi tekniğinin sistemin dinamik karakteristiğini nasıl etkileyeceği bir tartışma konusudur. Bu konu hakkında bu tez çerçevesinde bir çalışma yapılmamıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Motopomp, farklı tasarım ve üretim süreçlerinden meydana geldiği için çalışmada elde edilen sonuçlar daha anlaşılabilir olması amacıyla ayrı başlıklar halinde incelenmiştir.

7.1. Motopompun Geneli Üzerinde Değerlendirmeler

Motopomp üretimi yapan pompa firması için, üniversite sanayi işbirliği çerçevesinde yapılan bu çalışma neticesinde hedeflenen %20 hafifleştirme oranı fazlasıyla elde edilmiştir (Tablo 7.1).

Büyük motopomp P2’de %21,4 ağırlık tasarrufu gerçekleştirilmiş bu oran P1 motopompunda ise %24,8 olmuştur. Mevcut halde ve tasarım sonrasında değişmeyen motor ve akü hariç tutularak tasarıma konu olan bölgeler dikkate alınırsa her iki motopompta da ağırlık tasarrufu %41 seviyelerine çıkmaktadır.

Tablo 7.1. Motopompların bütünü üzerinde elde edilen ağırlık kazanımları

	Motopomp P1			Motopomp P2		
	Mevcut	Tasarım Sonrası	Değişim oranı	Mevcut	Tasarım Sonrası	Değişim oranı
Pompa, Vana, Flanş ve Kaplinler	33,1 kg	21 kg	- %36,6	37,5 kg	23,5 kg	- %37,3
Taşıyıcı Kaide	27,8 kg	12,9 kg	- %53,6	27,8 kg	12,9 kg	- %53,6
Kaporta Parçaları	3,2 kg	2,2 kg	- %31,3	3,8 kg	2,7 kg	- %28,9
Motor	35 kg		%0,0	57 kg		%0,0
Akü	10,5 kg		%0,0	10,5 kg		%0,0
Kumanda ve Bağlantı parçaları	3,4 kg		%0,0	3,4 kg		%0,0
TOPLAM	113 kg	85 kg	- %24,8	140 kg	110 kg	- %21,4

Ağırlık hesaplamalar yapılırken 20 lt (15 kg) yakıt miktarı dikkate alınmamıştır. Çünkü mevcut durumda bazen 20 lt harici yakıt deposu bazen de motorların 5-10 litrelik dahili yakıt depoları kullanılmaktadır.

Malzeme seçimi ve imalat yöntemlerinde yapılan değişiklikler ile parça başı maliyetlerdeki düşüş pompa firması tarafından memnuniyetle karşılanmıştır. Ürünün esasında var olan üstün özellikler yapılan tasarımın getirdiği estetik görünüm ile de motopompu, satış stratejisi açısından daha bir ikna edici hale getirmiştir.

Montaja uygun tasarım (MUT) ve bakıma uygun tasarım (BUT) ilkeleri göz önüne alınarak yapılan tasarım değişikliği sonucunda; parçaların imalatı, montajı ve bakım çalışmalarında, sistemin çalışma prensibi değişmeden malzeme ve zaman tasarrufu yanında kalite sürekliliği sağlanmıştır.

Bu durum ürünlerin sunumlarının yapıldığı Avrupa fuarlarında ilginin ciddi olarak artışı ile açıkça gözlemlenmiştir. Malezya ve Endonezya'ya pompa satışı için anlaşmalar yapılmıştır. Yurtiçinde ise belediyelerin ve AFAD gibi acil durum kurumlarının yeni motopomplara talebi giderek artmaktadır.

7.2. Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilen Parçalar

Mevcut pompanın bütün parçaları alüminyumun serbest olarak kum kalıba dökümü yöntemi ile üretilmekte olup, pompa gövdesi, ara bağlantı parçaları ve çarkın ortalama cidar kalınlığı 14 mm civarlarındadır. Örneğin, vanalar, hortum kaplinleri ve motor bağlama flanşları ile birlikte P2 pompasının toplam ağırlığı ise 37,5 kg gelmekte idi. Bu ağırlığı düşürmek amacıyla, gövde iki parçalı olmak üzere pompanın bütün parçalarının alüminyum enjeksiyon yöntemi ile üretilmesine karar verilmiştir. Cidar kalınlığının ne aralıkta olabileceğini öğrenmek amacıyla bu konuda uzman firmalar ziyaret edilerek birçok parçanın kalınlıkları incelenmiştir. Ergimiş malzemenin kalıp içerisinde sağlıklı yürütülmesi ve efektif soğutma sağlanabilmesi için cidar kalınlıklarının 6-10 mm arasında olabileceği bilgisi edinilmiştir. Parçaların ayrıntılı tasarımına geçmeden önce ilk modeller farklı kalınlıklarda analiz edilmiş ve 7 mm cidar kalınlığına karar verilmiştir. Bu kalınlık göz önüne alınarak üretilen P1 ve P2 pompalarında %37 civarında olan hafifleme oranı elde edilmiştir.

7.3. Plastik Kaporta Uygulaması

Mevcut uygulamada motopompun etrafında kullanılmakta olan, alüminyum plakadan sac metal kesme bükme tekniği ile imal edilen kaporta parçalarının üretiminde bazı problemler yaşanmaktaydı. Alüminyum sacların lazerle kesiminde oluşan sert çapaklar, parçaları ölçüsünde bükülememesinin getirdiği görsel bozukluklar ve bağlantı deliklerinde yaşanan uyumsuzluk, alüminyum parçaların kaynak sorunları, boya sürecinin yoğun emek ve özen isteyen işlemlerden oluşması gibi problemler parçaların maliyetini yükseltmekteydi. Ayrıca kaporta saclarının bir tarafının; çalışırken doğal olarak titremente olan motora, diğer tarafının ise sabit kaideye bağlanması nedeniyle saclar bağlantı yerlerinden kısa sürede deforme olmaktaydı.

Alternatif malzeme ve üretim metotları değerlendirilerek kaportaların, ABS plastik levhalardan vakum ve ısı etkisi ile şekil verme yöntemi ile imal edilmesi uygun bulunmuştur. Yeni tasarımda üst taraftan motora bağlı olan plastik kaporta parçalarının alt tarafları motor bağlantı braketlerine bağlanarak motor ile birlikte titreşim takozları üzerinde çalışmaları sağlanmıştır. Parçaların civata bağlantı yerlerinden deforme olmadan çok uzun süre vazifelerini yerine getirebilmesi sağlanmıştır.

Motopompta kullanılan kaportaların 2 mm kalınlığında alüminyum sac yerine 4 mm kalınlığında plastik malzemeden yapılması ile ortalama %30 oranında ağırlık tasarrufu gerçekleştirilmiştir. Parçaların kalıpta üretiliyor olması, günlük üretim sayılarını artırmış ve sac metal sürecinden kaynaklanan ek işlemleri azalttığı için kaporta parçalarının maliyetlerinde ciddi düşüşler meydana gelmiştir.

7.4. Taşıyıcı Kaidenin Yakıt Deposu Olarak Kullanılması

Mevcut motopompta paslanmaz sac metallerin kaynaklı birleştirilmesi ile imal edilmekte olan taşıyıcı kaidenin; kaynak ısının oluşturduğu çarpılmalar ve kaynak bölgesinde oluşan korozyona yatkınlık, bükme işlemlerine gösterilmesi gereken özen, soğuk şekillendirme sırasında yüzeylerin korunmasında yaşanan zorluklar gibi sorunlardan dolayı oluşan maliyetinin yüksek olması nedeniyle plastik enjeksiyon tekniği ile imal edilmesine karar verilmiştir.

Tasarım değişikliği yapılmadan önce paslanmaz çelikten kaynaklı konstrüksiyon ile üretilmekte olan kaidenin ağırlığı 27,8 kg gelmekteydi. Motopompun metal yakıt bidonu ve bu yakıt bidonunu taşıyan parça kullanılmadan, yüksek yoğunluklu plastik malzemeden aynı zamanda yakıt deposu olarak da kullanılmak üzere tasarlanan taşıyıcının ağırlığı 12,9 kg'a kadar dūřürölmlüřtür. Böylece motopompun taşıyıcı sisteminde toplamda %54 oranında ağırlık tasarrufu gerçekleştirilmiştir.

7.5. Üçgen Kesitli O-ring Kanalı Uygulaması

Bu çalışmada parçaların boyutlarını mümkün olduğu kadar küçültmek esas alındığından, sızdırmazlık amacıyla kullanılan O-ringlerin genellikle dikdörtgen kesitli tercih edilen kanalları, boyut optimizasyonu, işleme ve montaj kolaylığı sağlama amacıyla parçaların birleşme yüzeylerindeki mevcut pahlar uygun ölçölere getirilerek üçgen kesitli O-ring kanalları olarak uygulanmıştır.

O-ring kanallarının dikdörtgen kesitli O-ring kanalı yerine üçgen kesitli statik O-ring kanalı şeklinde uygulanması sayesinde her bir uygulama bölgesinde yaklaşık 10 mm kadar yer kazanılmıştır. Motopomp üzerinde 7 ayrı yerde yapılan uygulama ile pompanın eninde ve boyunda yaklaşık %8 oranında kısalma sağlanmıştır.

7.6. Öneriler

Patent [1] ile koruma altında olan ve bu çalışmaya konu edilmeyen pompanın emiş hattı ya da pompa firmasında adlandırıldığı şekli ile “gönderici” ve içerisinden spiral şaft geçirilen “ala hortumu” üzerinde yapılacak çalışmalar kapsamlı bir tez konusu olabilir. Böylece, gönderici pervane, süzgeç ve borulardaki akış analiz edilip gerekli iyileştirmeler yapılabilir.

Ayrıca, titreşim analizleri yapılıp, sonuçlar değerlendirilerek titreşim modları ve seviyeleri tespit edilirse, motopompun çalışması sırasında arızaya sebep olabilecek durumlar başlangıç aşamasında tespit edilebilir. Bu sayede motopompun kestirimci bakım planı oluşturulabilir. Motopompların kritik görevlerde kullanılacağı göz önüne alınırsa yapılması önerilen bu çalışmanın önemi daha iyi anlaşılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Küçük O., Pumping Device That Provides Linear Current, 2011, PCT/TR2011/ 000105, TR Destek Patent Inc..
- [2] Küçük O., A High Efficiency Propeller Blade With Increased Pressure Side Surface, 2012, PCT/TR2011/000233, TR Destek Patent Inc.
- [3] Messler R. W., *Reverse Engineering*, 1st ed., McGraw-Hill Education, 317 – 319, 2014.
- [4] Cürgül, İ., Sınmazçelik, T., Yetiştiren H., Zeren A., *Makina Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012.
- [5] Yiğit K.S., Kube Pompa Firmasının Ürettiği Ön Beslemeli Su Pompasının Mevcut Su Pompalarından Farkının Belirlenmesi, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar ABD*, 22885, 2014.
- [6] Şen M., Kube Pompa Firması Tarafından Dizayn ve İmal Edilen Seyyar Motopompun İncelenmesi ve Fonksiyon Testlerinin Yapılması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi*, 2014/3117, 2014.
- [7] Ashby M. F., *Materials Selection in Mechanical Design*, 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Burlington, 53 – 58, 2005.
- [8] Vinarcik, E. J., *High Integrity Die Casting Processes*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2003.
- [9] Çetin A., Alüminyum Döküm Alaşımları, Editör: Çetin A., *Dökümcünün El Kitabı*, Sektör D, Ankara, 2017.
- [10] Aran A., Döküm Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Notları, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 2007.
- [11] Gökşahin E., Sert Eloksoal ile Kaplanmış 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 313513.
- [12] Ündey M., Sarıdikmen H., Kuşkonmaz N., Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi Kullanılarak Etial-160 Al-Si Alaşımından Bomba Gövdesi Prototipinin Üretilmesinde Kalıp Basıncının İncelenmesi, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2004, 22(1), 109 – 116.

- [13] Asan N. Ö., Yüksek Basınçlı Kalıp Döküm Prosesinde Enerji ve Geri Dönüşüm Giderlerinin Kalıp Optimizasyonu ile Azaltılması, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, 2010, 156, 30 – 35.
- [14] Aslan Y., Karaağaç İ., V Bükmede Geri Esneme Davranışları, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2014, 2(3), 255 – 263.
- [15] Alsaadi H. A., Tunay R. F., Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2017, 5(3), 525 – 532.
- [16] Aras U., Kalaycıoğlu H., Yel H., Orta Yoğunlukta Liflevha Yüzeylerinde Toz Boya Uygulamaları, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2016, 4, 791 – 800.
- [17] Ekşi O., Plastik Esaslı Kompozit Levhaların Thermoforming (Vakum ve Isı ile Şekil Verme) Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2014, 361043.
- [18] Khakzad F., Feder Parametrelerinin Plastik Parça Mukavemeti Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017, 460963.
- [19] Çetin A., Katkı Maddelerinin ve Enjeksiyon Parametrelerinin Plastik Ürünün Mekanik Özelliklerine ve UV Direncine Etkisinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016, 450661.
- [20] Özdemirkıran A., Bilgisayar Destekli Mühendislikte Montaja ve Bakıma Uygun Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 224069.
- [21] Parker O-Ring Handbook, Parker Hannifin Corporation, Cleveland, 2018.
- [22] Gül C., Lineer Sızdırmazlık Elemanlarının Performans Karakteristiklerine Makro Geometrinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 291938.
- [23] Kuru M., Serçe O., Yüksek Basınçlı Döküm Prosesinde, Farklı Yolluk Tipi ve Vakum Uygulamasının Simülasyonu, *SDU International Technologic Science*, 2014, 6(3), 1 – 13.
- [24] Çallı İ., *Tam Santrifij Pompa Hesabı ve Çizimi*, Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Hidromekanik ve Hidrolik Makinaları Ana Bilim Dalı, Sakarya, 2005.
- [25] Aran A., Temel M. A., Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı Standartları, 2. Baskı., Acar Matbaacılık, İstanbul, 2004.

- [26] Arcan A., Lazer Işını İle Metallerin Kesilmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011, 318234.
- [27] Odabaş C., Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, *Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [28] Sarı M.K., Elektrostatik toz boya tesislerinde tehlikeli bölgeler ve örnek bir patlamadan korunma dokümanı, 3. *Atex Patlayıcı Ortamlarda Güvenlik Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 01 – 03 Ekim 2015.
- [29] Kastaş, Hidrolik Pnömatik Sızdırmazlık Elemanları Kataloğu, İzmir, Katalog No: 35015-1.
- [30] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Kimya Teknolojisi, Elektrostatik Toz Boyama, 524KI0087, Ankara, 2012.
- [31] Savaşçı Ö.T., Uyanık N., Akovalı G., *Ana Hatlarıyla Plastikler ve Plastik Teknolojisi*, 4. Baskı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2017.
- [32] Kuru M., Serçe O., Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde Enjeksiyon Parametrelerine Bağlı Olarak Döküm Simülasyon, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, **36**(5), 10 – 23.
- [33] Onaç C., Kaya A., Cr(VI)'nın Grafen Oksit Bazlı Polimer İçerikli Membran ile Uzaklaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2018, **24**(7), 1343 – 1347.
- [34] Kaya F., *Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri*, 2. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2005.



EKLER

EK-1

Santrifüj pompa çark hesabı MATLAB kodları

```
Clear all ; clc
Q=input('Pompa debisini giriniz (m^3/s):');
n=input('Pompa devir sayısını giriniz (rpm):');
Hm=input('Basma yüksekliğini giriniz (m):');
ro=input('Akışkanın yoğunluğunu giriniz (kg/m^3):')

% Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)
g=9.81 ;
% Özgül Hız
nq=(n*sqrt(Q))/(Hm^(3/4));
fprintf('nq:%f%d\n',nq);

% Pompa Türü
if nq<12
    disp('(Kademeli Pompa)')
elseif 12<nq<35
    disp('(Tam Santrifüj Pompa)');
elseif 35<nq<80
    disp('(Helisel Pompa)');
elseif 80<nq<200
    disp('(Diagonal Pompa)');
elseif 200<nq<400
    disp('(Eksenel Pompa)');
end

% Hidrolik Verim
% (Özgül Hızın 12-50 arasında olduğu durumlarda 0.70<n_h<0.95)
d_ikatsayi=input('d_i katsayısını giriniz (4.0-4.5):') % D.J. Suchanoff'a göre
d_i=d_ikatsayi*(10^3)*(Q/n)^(1/3);
n_h=1-(0.42*((log10(d_i)-0.172)^(-2))); % A.A Lomakin'e göre

% Volümetrik Verim
% (Özgül Hızın 12-50 arasında olduğu durumlarda 0.88<n_v<0.99)
n_v=1/(1+(0.287/(nq)^(2/3))); % A.A Lomakin'e göre

% Döner Çark Debisi (Q_V) (m^3/s)
Q_CKatsayi=input('Kaçak debi katsayısını giriniz (1.01-1.05):');
Q_C=(Q_CKatsayi)*Q;

% Mekanik Verim
% (Özgül Hız 12-50 arasında olduğunda 0.85<n_m<0.98)
n_m=input('Mekanik verimi giriniz (0.85-0.98):'); %Tablolardan bakınız

% Genel Verim
n_g=n_v*n_m*n_h;
```

```

% Pompa Mil Gücü (kW)
P_m=((ro*g*Hm*Q)/(n_g))/1000;
% Motor Gücü (kW)
if P_m<4
    P_Motor=P_m+(0.2*P_m);
elseif 4<P_m<15
    P_Motor=P_m+(0.15*P_m);
else P_m>15
    P_Motor=P_m+(0.1*P_m);
end

% Mil Malzemesinin Emniyet Gerilmesi (T_em)
T_em=input('Emniyet gerilmesine bağlı olarak c katsayısını giriniz (100-150-200-300-400)(bar):')

% Emniyet Gerilmesine Bağlı c Katsayısı
if T_em==100
    c=17.1
elseif T_em==150
    c=14.9
elseif T_em==200
    c=13.6
elseif T_em==300
    c=11.8
elseif T_em==400
    c=10.8
end

% Dönel Çark Mil Çapı Hesabı (d_mil) (mm)
d_mil=(c*(P_Motor/n)^(1/3))*10;

% Ön Göbek Çapı Hesabı (dh)
d_ongobekkatsayı=input('Ön göbek çapı katsayısını giriniz (1.3-1.4):');
d_ongobek=d_ongobekkatsayı*d_mil;

% Arka Göbek Çapı (dh')
d_arkagobekkatsayı=input('Arka göbek çapı katsayısını giriniz (1.35-1.50):');
d_arkagobek=d_arkagobekkatsayı*d_mil;

% Çarka Giriş Hızı (C_1M)
K_1S=input('Stephanoff sayısını tablodan bakıp giriniz:');
C_1M=K_1S*((2*g*Hm)^(1/2));

% Döner Çarka Giriş Mutlak Hızı (C_0) (2<C_0<4) (Kademeli pompalar için =5)
C_0KATSAYI=input('C_0 Katsayısını giriniz (0.8-1):');
C_0=C_0KATSAYI*C_1M;

% Göbek Çapı Hesabı (d_0) (mm)
d_0=sqrt((Q*C_0^4+(d_ongobek/1000)^2)/(pi*C_0))*1000;

```

```

% Rotor (Döner Çark) Giriş Çapı (d_1) (mm)
d_1katsayi=input('d1 katsayısını giriniz (0.8-0.95):');
d_1=d_1katsayi*d_0;

% Rotor (Döner Çark) Çıkış Çapı (d_2) (a=1 için d_1*d_2=0.5 olmalı) (mm)
d_2katsayi=input('d2 katsayısını giriniz (2-3):');
d_2=d_2katsayi*d_1;

% Rotor Girişindeki Akışkanın Çevresel Hızı (U_1) (m/s)
U_1=(pi*(d_1/1000)*n)/60;

% Kanat Giriş Açısı (Beta_1)
Bet_1=C_1M/U_1;
Beta_1=atan(Bet_1)*(180/pi);

% Kanat Çıkış Açısı (Beta_2)
Beta_2=input('Beta 2 değerini giriniz (25-32):');

% Kanat Sayısının Hesabı (Z)
SINB=((Beta_1+Beta_2)/2)*(pi/180);
sin(SINB);
z=6.5*((d_1+d_2)/(d_2-d_1))*sin(SINB);
Z=round(z);

% Giriş Hatvesi (t_1) (mm)
t_1=(pi*d_1)/Z;

% Kanat Kalınlığı (S) (mm)
S=input('Kanat kalınlığını giriniz (mm):');

% Giriş Kanat Ağzı (Sigma 1) (mm)
SINB1=Beta_1*(pi/180);
sin(SINB1);
Sigma_1=S/sin(SINB1);

% Giriş Daralma Faktörü (G_DF)
G_DF=t_1/(t_1-Sigma_1);

% Kanat Ağzındaki Suyun Giriş Alanı (A_1)(m2)
A_1=G_DF*(Q_C/C_1M);
% Giriş Kanat Eni (B_1) (mm)
B_1=(A_1/(pi*(d_1/1000)))*1000;

% Kanat Biçim Faktörü (KBF)
Cark_tipi=input('Çark tipini giriniz (Kılavuz Kanatlı Radyal Pompalar:1, Klavuz Kanatsız Pompalar:2, Helisel ve Diagonal pompalar:3, Eksenel Pompalar :4)');

if Cark_tipi==1
    KBF=0.6*(1+Beta_2/60);

```

```

elseif Cark_tipi==2
    KBF_katsayi=input('Kanat biçim katsayısı (0.65-0.85):');
    KBF=KBF_katsayi*(1+Beta_2/60);
elseif Cark_tipi==3
    KBF_katsayi=input('Kanat biçim katsayısı (0.85-1):');
    KBF=KBF_katsayi*(1+Beta_2/60);
elseif Cark_tipi==4
    KBF_katsayi=input('Kanat biçim katsayısı (1-1.2):');
    KBF=KBF_katsayi*(1+Beta_2/60);
end

% Pfleiderer sayısı (P)
r_1=d_1/2;
r_2=d_2/2;
=(2*KBF)*(1/(Z*(1-(r_1/r_2)^(2)))));

% 2.Stephanoﬀ Sayısı (K_2S)
K_2S=input('2. Stephanoﬀ sayısını tablodan bakıp giriniz:');

% Çark Çıkış Hızı (C_2M) (m/s)
C_2M=K_2S*sqrt(2*g*Hm);

% Rotor Çıkışındaki Akışkanın Çevresel Hızı (U_2) (m/s)
B_2=Beta_2*(pi/180);
U_2=(C_2M/2*tan(B_2))+sqrt((C_2M/2*tan(B_2)^2)+g*(Hm/n_h)*(1+P));

% Çıkış Hatvesi (t_2) (mm)
t_2=(pi*d_2)/Z;

% Çıkış Kanat Ağız (Sigma_2) (mm)
Sigma_2=S/sin(B_2);

% Çıkış Daralma Faktörü
C_DF=t_2/(t_2-Sigma_2);

% Kanat Ağızındaki Suyun Çıkış Alanı (A_2) (m2)
A_2=C_DF*(Q_C/C_2M);

% Çıkış Kanat Eni (B_2) (mm)
B_2=(A_2/(pi*(d_2/1000)))*1000;

% Teorik Basma Yüksekliği (H_th) (m)
H_th=Hm/n_h;

% Reaksiyon Derecesi Kontrolü (RDK)(0<RDK<1)
RDK=1-((g*H_th)/(2*U_2^2));

```

EK-2

Santrifüj pompa çarkının MATLAB programından elde edilen tasarım parametreleri.

Özgül Hız (n_q) = 31,5801
Pompa Türü = Tam Santrifüj Pompa
Hidrolik Verim (η_h) = 0,865
Volümetrik Verim (η_v) = 0,972
Mekanik Verim (η_m) = 0,90
Genel Verim (η_g) = 0,757
Döner Çark Debisi (Q_c) = 0,0303 (m³/s)
Pompa Mil Gücü (P_{mil}) = 15,54 (kW)
Motor Gücü (P_{motor}) = 17,875
Mil Malzemesinin Emniyet Gerilmesi (T_{mil}) = 400 (bar)
Döner Çark Mil Çapı (d_{mil}) = 19,80 (mm)
Ön Göbek Çapı (d_h) = 25,742 (mm)
Arka Göbek Çapı (d'_h) = 26,732 (mm)
Stephanoff Sayısı (k_{1s}) = 0,164
Çarka Giriş Hızı (C_{1m}) = 4,482 (m/s)
Çarka Giriş Mutlak Hızı (C_0) = 3,585 (m/s)
Göbek Çapı (d_0) = 104,0077 (mm)
Döner Çark Giriş Çapı (d_1) = 98,8074 (mm)
Döner Çark Çıkış Çapı (d_2) = 197,6147 (mm)
Çark Girişindeki Akışkanın Çevresel Hızı (U_1) = 15,0033 (m/s)
Kanat Giriş Açısı (β_1) = 16,6337°
Kanat Çıkış Açısı (β_2) = 32°
Kanat Sayısı (Z) = 8 (adet)
Giriş Hatvesi (t_1) = 38,80 (mm)
Kanat Kalınlığı (S) = 2 (mm)
Giriş Kanat Ağzı (σ_1) = 6,9868 (mm)
Giriş Daralma Faktörü = 1,2196
Kanat Ağzındaki Suyun Giriş Alanı (A_1) = 0,0082 (m²)
Giriş Kanat Eni (B_1) = 26,5598 (mm)
Kanat Biçim Faktörü (ψ) = 0,92
Kanat Tipi = Kılavuz Kanatlı Radyal Pompa
Pfleiderer Sayısı (P) = 0,3067
Stephanoff Sayısı (k_{2s}) = 0,13
Çarktan Çıkış Hızı (C_{2m}) = 3,6419 (m/s)
Çark Çıkışındaki Akışkanın Çevresel Hızı (U_2) = 25,4895 (m/s)
Çıkış Hatvesi (t_2) = 77,6031 (mm)
Çıkış Kanat Ağzı (σ_2) = 3,7742 (mm)
Çıkış Daralma Faktörü = 1,0511
Kanat Ağzındaki Suyun Çıkış Alanı (A_2) = 0,0087 (m²)
Çıkış Kanat Eni (B_2) = 14,0865 (mm)
Teorik Basma Yüksekliği (H_{th}) = 46,2064 (m)
Reaksiyon Derecesi (ρ) = 0,6512

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Kibar A., **Bayraktutar M.**, Yiğit K.S., Investigation of Liquid Jet Impingement on Hydrophobic Surfaces, 3. *Internatinal Congress on Engineering, Architecture and Design*, Kocaeli, Türkiye, 04-05 May 2018.
- [2] **Bayraktutar M.**, Karabaş M.O., Yiğit K.S., Design for the Portable Motopumps Used in Emergency Situation and Providing Production Efficiency, 4. *INES International Academic Research Congress 2018*, Alanya, Türkiye, 30 October – 03 November 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında İzmit’te doğdu. İzmit Endüstri Meslek Lisesi elektrik bölümünden mezun olduktan sonra Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1997 yılında tamamladı. HEMA Traktör mühendislik bölümünde iki yıl çalıştı. Bayrak Ambalaj Firmasında; ambalaj ve otomotiv sektörlerine yönelik plastik parçaların tasarım ve üretimi konularında on iki yıl çalıştı. Halen Turkuaz Elektromekanik firmasında ARGE mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başlamıştır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

