

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**SANTRİFÜJ POMPALARIN ÇARK MALZEMESİNE
YAPILAN YÜZEY İŞLEMİ SONRASINDA PERFORMANS
DEĞERLENDİRMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Furkan Enes GÜNDOĞDU

Danışman

Doç. Dr. Lütfü NAMLI

SAMSUN
2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynaklarda gösterilenlerden oluştuğunu, enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm ve 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

09/12/2022

Furkan Enes GÜNDOĞDU

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: SANTRİFÜJ POMPALARIN ÇARK MALZEMESİNE YAPILAN YÜZEY İŞLEMİ SONRASINDA PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 09/12/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 9

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

09/12/2022

Doç. Dr. Lütfü NAMLI

ÖZET

SANTRİFÜJ POMPARLARIN ÇARK MALZEMESİNE YAPILAN YÜZEY İŞLEMİ SONRASINDA PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Furkan Enes GÜNDOĞDU
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Ocak/2023
Danışman: Doç. Dr. Lütfü NAMLI

Bu çalışmada, muadillerine kıyasla daha uygun üretim maliyetine sahip olan katmanlı üretim metoduyla çalışan üç boyutlu yazıcıdan(3B yazıcı) pompa ve pompanın çarkları üretilmiştir. Piyasada kullanılan pompaların enerji tüketiminde verim düşüklüğü, dünyamızın enerji ihtiyacının çok olduğu bu dönemde problem oluşturmaktadır. Pompa çarklarına yapılacak kaplamanın ardından yüzeydeki hidrofobik özelliğin pompa performansına etkisi deneysel olarak bu çalışmada incelenmiştir. Ayrıca 3B yazıcı üretimi olan pompa parçalarının yüzey pürüzlülüğü ve çekme dayanımı incelenmiştir.

Polietilen tereftalat glikol (PETG) hammaddesinden üretilen pompa çarklarına şeffaf epoksi kaplama, kütleli olarak farklı oranlarda (%3, %7.5, %10) TiO_2 ve SiO_2 nanopartikül katkılı epoksi kaplamalar yapılmıştır. PETG hammaddesinden üretilen parçaların yüzeyleri 70° temas açısına sahiptir ve hidrofilik yüzeydir. Kaplanan yüzeyler arasında 110° hidrofobik temas açısına sahip kütleli olarak %7.5 SiO_2 katkılı epoksi kaplama en iyi sonucu vermiştir.

Kütleli olarak %7.5 SiO_2 katkılı epoksi ile kaplama yapılan PETG hammaddesinden üretilmiş çark yüzeylerinin pürüzlülük analizi yapıldığında, kaplamasız yüzeyin R_a değeri $8.5 \mu m$, kaplama sonrasında R_a değeri $0.5 \mu m$ değerine düşürülerek parça yüzeylerindeki pürüzlülük iyileştirilmiştir. Yapılan çekme testinde kaplamasız malzemenin çekme dayanımı 48MPa çıkmıştır. Kaplama sonrasında bu değer 57MPa çıkarılarak malzemenin çekme dayanımı artırılmıştır.

Üç farklı pompa çark tipi üretilmiştir. Pompa çark yüzeylerine yapılan kütleli olarak %7.5 SiO_2 epoksi kaplama sonrasında hidrofobik yüzeye sahip olmuşlardır. Hazırlanan pompa performans deney düzeninde pompa performansı ölçülmüştür. Deneyler sonucunda hidrofobik yüzeye sahip olan çarklarda pompanın debisi, pompa basma yüksekliği ve pompanın veriminin arttığı ispatlanmıştır. Ayrıca pompa çarklarındaki geometrik olarak farklılık olsa da, çarkların yüzeyinin hidrofobik özellikteki yüzeye çevrildiğinde veriminin arttığı deneysel olarak ispatlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Hidrofobik yüzey, Santrifüj pompa, Pompa çarkı, SiO_2 kaplama, Pompa verimi, PETG.

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF CENTRIFUGAL PUMPS AFTER SURFACE TREATMENT ON IMPELLER MATERIAL

Furkan Enes GÜNDOĞDU
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Master, January/2023
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Lütfü NAMLI

In this study, the pump and the impellers of the pump were produced from a three-dimensional printer (3D printer) working with the additive manufacturing method, which has a more affordable production cost compared to its counterparts. The low efficiency in energy consumption of pumps used in the market poses a problem in this period when the world's energy needs are high. The effect of the hydrophobic feature on the surface after the coating on the pump impellers on the pump performance has been experimentally investigated in this study. In addition, the surface roughness and tensile strength of the pump parts produced by 3D printers were examined.

Transparent epoxy coating, TiO_2 and SiO_2 nanoparticle added epoxy coatings in different mass ratios (%3, %7.5, %10) were applied to the pump impellers produced from polyethylene terephthalate glycol (PETG) raw material. The surfaces of the parts produced from PETG raw material have a contact angle of 70° and are hydrophilic. The epoxy coating with a hydrophobic contact angle of 110° between the coated surfaces, with %7.5 by mass SiO_2 added, gave the best results.

When the roughness analysis of the impeller surfaces made of PETG raw material coated with epoxy with massive %7.5 SiO_2 additive was performed, the R_a value of the uncoated surface was reduced to $8.5 \mu\text{m}$ and the R_a value of $0.5 \mu\text{m}$ after coating, and the roughness on the part surfaces was improved. In the tensile test, the tensile strength of the uncoated material was 48MPa. After coating, this value was increased to 57MPa, increasing the tensile strength of the material.

Three different pump impeller types were produced. After the epoxy coating of %7.5 by mass of SiO_2 on the pump impeller surfaces, they have a hydrophobic surface. Pump performance was measured in the prepared pump performance test setup. As a result of the experiments, it has been proven that the flow rate of the pump, the pump head and the efficiency of the pump increase in impellers with hydrophobic surfaces. In addition, although there are geometrical differences in the pump impellers, it has been experimentally proven that the efficiency of the impellers increases when the surface of the impellers is turned to the hydrophobic surface.

Keywords: Hydrophobic surface, Centrifugal pump, Pump impeller, SiO_2 coating, Pump efficiency, PETG.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesi sırasında, değerli bilgi ve tecrübelerini esirgemedi benimle paylaşarak bana yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Lütfü NAMLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez çalışmalarım sırasında bana destek olan Araş. Gör. Dr. Fevzi ŞAHİN, Mehmetan DEMİR, İsmail KUŞCU, Hüseyin Zahid YAZICI, Ahmet PUGUR ve Fatih Selim ODABAŞI'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarımda bana donanım ve diğer konularda destek olan Lentatek Uzay Havacılık şirketine teşekkür ederim.

Benim bu günlere gelmeme vesile olan, her sıkıntıma ve sevincime hiç çıkarsız ortak olan, maddi manevi her türlü desteklerini sunan değerli babama, ablama, abime, babaanneme ve merhume anneme sonsuz sevgi ve teşekkür ederim.

Hayatın bu zorlu yollarında, bana en büyük destekçi, arkadaş ve eş olan Sevgili Eşim Ceyda MUTLU GÜNDOĞDU'ya sevgilerimle teşekkür ederim.

Furkan Enes GÜNDOĞDU

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	Error! Bookmark not defined.
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Konusu	4
1.2. Çalışmanın Amacı	5
1.3. Özgün Değer	5
1.4. Tezin Yöntemi.....	6
1.5. Tez Düzeni	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
3. GENEL BİLGİLER.....	12
3.1. Santrifüj Pompalar	12
3.2. Santrifüj Pompa Çalışma Prensibi	13
3.3. Santrifüj Pompaların Sınıflandırılması.....	13
3.4. Santrifüj Pompaların Karakteristik Eğrisi	14
3.5. Santrifüj Pompaların Verimini Etkileyen Faktörler	14
3.6. Hidrofobik Yüzey	15
3.7. 3B Yazıcı Baskıları	16
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
4.1. Materyal	18
4.1.1. PETG Filament	18
4.1.2. Epoksi-Reçine	18
4.1.3. Silisyum Oksit (SiO ₂)	19
4.1.4. Titanyum Oksit (TiO ₂).....	20
4.1.5. Ultrasonik Karıştırıcı ve Manyetik Karıştırıcı	20
4.1.6. 3B yazıcı	21
4.1.7. Motor-ESC.....	23
4.1.8. Pil.....	24
4.1.9. Ardupilot.....	24
4.2. Yöntem.....	24
4.2.1. Pompa Üretimi.....	24
4.2.2. Pompa ve Çarkların Epoksi Kaplanması	28
4.2.3. Pompa ve Çarkların Nanopartikül Katkılı Epoksi Kaplanması	29
4.2.4. Performans Parametreleri İncelenmesi	33
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
5.1. Yüzey Kaplamasının Hidrofobik Özellik Bulguları.....	44
5.2. Yüzeylerin Pürüzlülük Analizi Bulguları.....	48
5.3. Çekme Testi Bulguları	49
5.4. Pompa Performans Bulguları	52
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	65
ÖZ GEÇMİŞ.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Simge	Açıklama	Birim
°	Açı Derecesi	[-]
°C	Sıcaklık Derecesi	[-]
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit	[-]
A	Akım	[I]
B	Bor	[-]
Co	Kobalt	[-]
Cr	Krom	[-]
Cr ₃ C ₂	Krom Karbür	[-]
Fe	Demir	[-]
g	Yer çekimi ivmesi	[m/s ²]
GG25	Yüksek Kalite Yüzey	[-]
H _m	Pompa basma yüksekliği	[m]
KV	Fırçasız motorun 1 volt için 1 dakikada çevireceği devir	[-]
kW	Kilo Watt	[-]
L	Numunenin son uzunluğu	[m]
L ₀	Numune başlangıç uzunluğu	[m]
Mn	Mangan	[-]
Ni	Nikel	[-]
Nm	Newton	[-]
P _{mek}	Pompa mekanik gücü	[w]
P _h	Pompa hidrolik güç	[w]
P _{elektriksel}	Pompa elektriksel güç	[w]
P ₁	Pompa giriş basıncı	[Pa]
P ₂	Pompa çıkış basıncı	[Pa]
Q	Hacimsel debi	[m ³ /s]
r	yarıçap	[m]
R _a	Pürüzlülük ortalaması	[µm]
R _q	Kuadratik ortalama pürüzlülük	[µm]
R _z	Ortalama pürüzlülük derinliği	[µm]

S_a	Pürüzlülük değeri	[μm]
Si	Silisyum	[-]
SiO_2	Silisyum oksit	[-]
TiO_2	Titanyum oksit	[-]
ω	Çevresel hız	[rad/s]
V	Voltaj	[-]
w	Watt	[-]
ΔL	Numune boy değişimi	[m]
ΔP	Basınç değişimi	[Pa]
η	Verim	[%]
ρ	Yoğunluk	[g/cm ³]
σ	Gerilme	[MPa]
ε	Birim uzama miktarı	[-]

Kısaltmalar

3B	Üç Boyutlu
ASA	Amerikan Standartlar Birliği
CNF	Selüloz Nanofiber
FEB	Floroidetilen
HVOF	Yüksek Parçacık Hızı ile Püskürtülerek Yapılan Kaplama Yöntemi
Mtep	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NAB	Nikel Alüminyum Bronz
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol-modified
PFA	Perfloro Alkoksi
PLA	Polilaktik Asit
PTFE	Politetra Floroetilen
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SKM	Sürtünme Karıştırma Prosesi
TEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TM	Toz Metalürjisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Hidrofobik yüzey açısı(https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/).....	3
Şekil 3.1. Santrifüj pompa çalışma prensibi(https://www.bilgiustam.com/)	13
Şekil 3.2.Pompa Sınıflandırması.....	14
Şekil 3.3 H-Q Karakteristik Eğrisi.....	14
Şekil 3.4 Yüzey Temas Açıları	16
Şekil 3.5. 3D yazıcı baskı(https://armut.com/).....	17
Şekil 4.1. ARC150 Ultra Şeffaf Kaplama Epoksisi (https://www.arcepoxy.com/)	19
Şekil 4.2 SiO ₂ Nano Toz.....	20
Şekil 4.3.(a) manyetik karıştırıcı, (b) ultrasonik karıştırıcı	21
Şekil 4.4. 3D yazıcı baskı prensibi(pinkshape.com)	22
Şekil 4.5. 3D yazıcı (zaxe.com)	22
Şekil 4.6. 1000 Kv DC Motor	23
Şekil 4.7. 30A ESC	23
Şekil 4.8. Ardupilot kontrolcü	24
Şekil 4.9. Pompa ölçüleri	25
Şekil 4.10. Çark ölçüleri	25
Şekil 4.11. Santrifüj pompa tasarımı.....	26
Şekil 4.12. Pompa Parçaları	26
Şekil 4.13. Cura dilimleyici arayüzü.....	27
Şekil 4.14. 3D yazıcı baskısı çarklar	28
Şekil 4.15. Hassas Terazî	30
Şekil 4.16. Numunelere katkılı epoksi uygulanması.....	31
Şekil 4.17. Roughness Tester PCE-RT2000 Cihazı.....	34
Şekil 4.18. Yüzey temas açısı (https://www.nordson.com/)	35
Şekil 4.19. Örnek temas açısı ölçümü (https://www.morphotonics.com/)	35
Şekil 4.20. Mares Tst-10t çekme makinesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Laboratuvarı.....	36
Şekil 4.21. 3 parça halinde üretilen çark.....	37
Şekil 4.22. Birleştirilmiş pompa çarkları	38
Şekil 4.23. Mission Planner motor test bölümü	39
Şekil 4.24. Deney düzeneği kurulumu	40
Şekil 4.25. Sper Scientific manometre cihazı	40
Şekil 4.26. YF-S401 debimetre.....	41
Şekil 4.27. Deney düzeneği algoritması.....	43
Şekil 5.1 Petg baskısının su damlacık testindeki temas açısı.....	45
Şekil 5.2. Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı	45

Şekil 5.3. %3 TiO ₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı.....	45
Şekil 5.4. %7.5 TiO ₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı.....	46
Şekil 5.5. %10 TiO ₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı.....	46
Şekil 5.6. %3 SiO ₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı.....	46
Şekil 5.7. %7.5 SiO ₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı.....	47
Şekil 5.8. %10 SiO ₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı.....	47
Şekil 5.9. Yüzey pürüzlülük ölçümü.....	48
Şekil 5.10. Yüzey pürüzlülük sonuçları	49
Şekil 5.11. Çekme numunesi ölçüleri	50
Şekil 5.12. Çekme testi numuneleri	50
Şekil 5.13. Çekme testi düzeneği.....	51
Şekil 5.14. Çekme testi ölçüm değerleri	52
Şekil 5.15. 3D Baskı Üretimi Santrifüj Pompa.....	53
Şekil 5.16. Çark isimlendirilmeleri.....	53
Şekil 5.17. A Çarkı.....	54
Şekil 5.18. A Çarkı Basma Yüksekliği H _m -Güç Oranı (%) Grafiği	55
Şekil 5.19. A çarkı Q(m ³ /s) – Akım(I) Grafiği	55
Şekil 5.20. A Çarkı Güç Oranı-Verim(η) Grafiği	56
Şekil 5.21. B Çarkı.....	57
Şekil 5.22. B Çarkı Güç Oranı- Basma Yüksekliği Grafiği.....	57
Şekil 5.23. B Çarkı Q(m ³ /s)-Akım(I) Grafiği	58
Şekil 5.24. B Çarkı Güç Oranı-Verim Grafiği	58
Şekil 5.25. C çarkı.....	59
Şekil 5.26. C Çarkı Güç Oranı-Basma Yüksekliği Grafiği.....	59
Şekil 5.27. C Çarkı Q(m ³ /s)-Akım(I) Grafiği	60
Şekil 5.28. C Çarkı Güç Oranı (%) - Verim Grafiği (η)	61

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. PETG mekanik özellikler (https://www.porima3d.com/).....	18
Tablo 4.2. SiO ₂ özellikleri(https://www.nanoamor.com/)	19
Tablo 4.3. TiO ₂ Özellikleri (https://www.nanoamor.com/)	20
Tablo 4.4. Motor özellikleri	23
Tablo 4.5. Pompa parçaları	27
Tablo 4.6. SiO ₂ Karışım miktarları	30
Tablo 4.7. TiO ₂ karışım oranları	32
Tablo 4.8. Test cihazı özellikleri (https://www.pce-instruments.com/).....	34
Tablo 5.1. Pompa üretim maliyeti.....	44
Tablo 5.2. Numunelerin yüzey ile yaptığı temas açısı	47
Tablo 5.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri	48
Tablo 5.4. Çekme testi ölçüm değerleri	50

1. GİRİŞ

Enerji insanlığın yaşam standartlarını devam ettirebilmesi için büyük rol oynamaktadır. Petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıt rezervlerimizin enerji oluşturmakta kontrolsüz kullanımı kaynaklarımızın hızla tükenmesine yol açmaktadır. Önümüzdeki yıllarda artan nüfus ile meydana gelecek enerji açığı büyük problemlere neden olacağı tahmin edilmektedir. Mevcut kaynakların kullanımında verimliliğin önemle ele alınması şarttır.

Kaynakların kullanımında tasarrufa gidilmesi veya kaynakların verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerji tasarrufu ve enerji verimliliği aslında birbirinden farklı kavramlardır. Tasarruf, daha az enerji kullanmayı ifade ederken verimlilik, enerjiyi daha akıllıca kullanma olarak tanımlayabiliriz. Enerji tasarrufu, enerjinin kullanımını azaltmak anlamına gelmektedir. Enerji verimliliği ise aynı fonksiyonları yerine getirebilmek için daha az enerjiye ihtiyaç duyan teknolojiler anlamına gelmektedir. Bu nedenle mevcut enerjinin kullanımında yenilikçi ve teknolojik ürünler kullanmamız gerekmektedir.

Türkiye’de 2018 yılında toplam enerji tüketimi 143.6 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olmuştur. Türkiye’nin toplam enerji ihtiyacı 1990 yılına göre %174, 2005 yılına göre %62 artmış, 2017 yılına göre ise %1.1 oranında azalmıştır. [<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/>] Toplam enerji tüketiminin 36.2 Mtep sanayi sektöründe tüketilmektedir.

Yapılan araştırmalarda, sanayi sektöründe kullanılan enerjinin %30’unu pompalar tüketmektedir (Discenzo vd., 2002). Bu verilere baktığımızda pompalar birçok sektörde çok önemlidir. Pompalarda yapılacak verim iyileştirmeleri harcanan enerjinin önemli bir kısmında tasarruf sağlaması ön görülmektedir.

Pompalar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye akış enerjisi formunda çeviren sistemlerdir. Mekanik enerjiyi pompa içinden geçen sıvıya aktararak, sıvılara enerji kazandırır.

Ülkemizde birçok sektörde düşük verimli pompalar kullanılmaktadır. Bakım periyotları, maliyetleri, parça ömürleri gibi birçok konu pompaların verimi için oldukça önemlidir. Kullanılan düşük verimli pompalar harcanan enerji miktarını etkilemektedir.

Pompalar kendi içlerinde Dinamik ve Hacimsel pompalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Hacimsel pompalarda; enerji, sıvıya bir hacim içinde hareket eden yüzey tarafından, hacmin daraltılmasıyla tatbik edilen basınç aracılığıyla ve kesikli olarak aktarılır. Dinamik pompalar; akışkan çark yardımıyla pompanın içine kanal yardımıyla emilir, hareket halindeki dönen çark kanatları yardımıyla akışkana momentum kazandırılarak pompa gövdesinden ayrılmaktadır.

Bu çalışmada dinamik pompa türlerinden olan santrifüj pompalar üzerine çalışma yapılacaktır. Maliyeti düşük, imalatı ve bakım çalışması kolay olduğundan dolayı Santrifüj pompalar dünyanın birçok bölgesinde en popüler pompalardır. Dünya genelinde kullanılan santrifüj pompaların büyük çoğunluğu %10-40 arasında düşük verimde çalışmaktadır (Hydraulic Institute, Europump, and Office of Industrial Technologies - US Department of Energy 2001). Bu da enerjiyi verimsiz kullanarak yüksek maliyetli çalışmalara neden olmaktadır. Bu alanda yapılacak verim yükseltecek çalışmalarla enerjiyi daha verimli kullanarak hem ülke ve dünya ekonomisine katkı sağlar hem de enerji üretimi için çevreye verilen zararı düşürebiliriz. Santrifüj pompaların verimlerini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin arasında en önemli faktör mekanik enerjinin hidrolik enerjiye aktarıldığı bölüm olan çarklardır. Pompaların verimi ortaya çıkardığı mekanik enerjiyi pompaya aktarabilme oranıyla gösterilir. Çarkların kanat sayısı ve yapısı pompanın verimini etkileyen en önemli faktörlerdendir.

Pompalardaki mekanik enerjinin hidrolik enerjiye dönüşmesi kısmındaki oluşan kayıplar genellikle sürtünme kayıplarından ortaya çıkmaktadır. Pompa iç yüzeyinde ve pompa çark yüzeylerinde sürtünmeden dolayı oluşan kayıplar pompanın verimini düşürmektedir. Pompa mekanik gücün tamamı hidrolik güce aktarmak imkansızdır. Belirli bir kayıp göze alınması gerekmektedir. Ayrıca, sürtünmeyi etkileyen diğer faktörlere baktığımızda en önemli faktörün yüzey ile alakalı olduğunu görmekteyiz.

Pompa içerisinde hareket eden akışkan sahip olduğu viskozite özellikleri dışında yüzeyin durumuna bağlı olarak yapışkanlık göstermektedir. Yüzeyin hidrofilik olmasıyla bu yapışkanlık yüksek olmaktadır. Yüzey eğer hidrofobik özelliklere sahip olursa akışkan yüzey üzerinde yapışma özelliği daha az olduğu için kayma hızı artacaktır. Yüzeyin hidrofobik davranışlarını arttırarak pompa verimini

arttırmayı bu çalışmada amaçlanmıştır. Hidrofobik kelimesinin kökenine indiğimizde Antik Yunancadan gelen “hydros” su anlamına gelir ve “fobos” korku anlamına gelmektedir. Hidrofobik kelimesini çevirdiğimizde “suyu sevmeyen” manası çıkmaktadır. Hidrofilik kelimesinin kökenine baktığımızda “philia” kelimesi Antik Yunancada sevgi anlamına gelir yani hidrofilik kelimesi “suyla arkadaş” şeklinde çevirildiğini anlayabiliriz. Yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik olduğunu anlamak için su damlacıklarının yüzey ile yaptığı temas açısına bakılarak karar verilmektedir. Su damlasının yüzeyle yaptığı temas açısı 90° 'den küçük ise hidrofilik yüzey, 90° 'den büyük ise hidrofobik yüzey olarak adlandırılır. Doğaya baktığımızda nilüfer yaprakları, kelebek kanatları, ördek tüyleri gibi örnekler verebiliriz. Hidrofobik yüzeyler yapışmama, kirletmeme ve kendini temizleyebilme gibi üstün özellikleri vardır. Bu özellikler sayesinde farklı alanlarda kullanımları mevcuttur. Kullanım alanlarını incelediğimizde gemilerin suyla temas eden bölümlerinin mikroorganizma oluşmalarını engellemek için kullanılır, sağlık alanında anti bakteriyel yüzeyler istenildiğinde kullanılır, otomotiv sektöründe camlarda kullanılabilir. Hidrofobik yüzeylerdeki akışkanın kolayca akma yeteneği vardır. Bu özellik sayesinde pompaların içerisindeki akışkanın akma kolaylığı artarak sürtünmeyi azaltmaktadır, bu tez çalışmasında bu özellik artırılarak pompa verimini arttırmak amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Hidrofobik yüzey açısı(<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/>)

Doğası gereği hidrofobik yüzey özelliği olmayan malzemelere sonradan hidrofobik yüzey özelliği kazandırmak mümkündür. Yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik olarak tanımlamak için Şekil 1.1’de gösterilen zemin ile yaptığı temas açısına bakılmaktadır. Hidrofobik yüzey elde etmek için genel olarak kaplama yöntemi tercih edilmektedir. Kaplama için örnek verdiğimizde temel olarak manganez oksit polistiren, çinko oksit polistiren, karbon nano tüp yapılar ve silisyum

nano kaplamalar kullanıldığı literatürde karşımıza çıkmaktadır. Literatür incelendiğinde en çok silisyum malzemesi kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bunun nedeni silisyum yapısı gereği düşük enerjili, ucuz olması ve kolayca nano kürecik elde edilebilir olması tercih sebebidir. Kaplamanın dayanıklı ve her yüzeye uygulanabilir olması için genellikle jel tabanlı kaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada epoksi tabanlı silisyum oksit katkılı bir yapıyla kaplama yaparak hidrofobik yüzey elde etmeye çalışılmıştır.

Pompaların üretimi, bakımı, yedek parça maliyeti ve dağıtımı maddi ve zamansal olarak problemleri mevcuttur. Bu çalışmada pompa üretim maliyetlerini daha aza indirmek amaçlı 3B yazıcıdan PETG hammaddesiyle pompa üretimi yapılmıştır. Bu sayede kalıp üretim masrafları olmadan pompa ve pompa malzemelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Pompa çarkı 3 adet birbirinden farklı tasarıma sahip tiplerde seçilmiştir. Bu tez çalışmasında, pompa çarklarının yüzey kalitelerini arttırmak ve hidrofobik yüzey elde etmek için yüzey kaplamalarının üretilerek uygulaması amaçlanmıştır.

1.1. Tez Konusu

Tez çalışması özellikle enerji sarfiyatı gerektiren santrifüj pompaların verimini arttırma üzerine yoğunlaşmaktadır. Dünyada kısıtlı olan enerji kaynaklarının hızla tüketimi, dünyada bulunan tüm canlıları tehdit etmektedir. Bu durum ayrıca iklim koşullarına da etkisi çok fazladır. Ülkemizde ve dünyada bulunan mevcut yapılarda en çok enerji tüketimine sahip yapılan araştırmalar sonucunda elektrikli dönen makineler olduğu görülmüştür. Bunlara örnek olarak fanlar, kompresörler ve pompalar verilebilir. Bu tezde araştırmak istediğimiz santrifüj pompalar olacaktır. Santrifüj pompalarda enerji kayıpları ve bakım periyotları maliyetini arttırarak, verimini düşürmektedir. Bu tezde santrifüj pompaların çark malzemesine yapılacak yüzey işlemleri sonrasında verimini arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Pompaların kullanım ömürlerini etkileyen en önemli sorunlardan biri kanat yüzeylerinde oluşan aşınmalardır. Bu aşınmalara bağlı olarak pompaların verimleri kullanım süreleri boyunca azalmaktadır. Bu çalışmada santrifüj pompaların verimine etki eden debi, basma yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler dikkate alınarak çalışmalar yapılmıştır. Pompa kanat yüzeylerinde oluşturulacak kaplamaların pompa verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Santrifüj pompa modeli 3B yazıcı baskı yöntemiyle üretilmiştir. Daha sonra farklı kanat yapıları ve kanat

yüzey kaplamalarının, pompa verimi üzerindeki etkileri incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Santrifüj pompaların verimi üzerine yapılacak bu çalışmanın amaçlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Genellikle döküm yöntemiyle üretilen pompa kanatlarının güçlendirilmiş 3 boyutlu yazıcı baskı yöntemiyle üretilebilirliği araştırılacaktır. Böylece pompa üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.
- Çalışmalarda kullanılacak santrifüj pompanın 3 boyutlu baskı yöntemiyle üretilmesi amaçlanmaktadır.
- Farklı pompa kanat yapılarının pompa verimi üzerindeki etkilerinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır.
- Pompa kanat yapılarının üzerine katkılı epoksi kaplaması yapılması planlanmaktadır. Böylece hem kanat yapılarının güçlendirilmesi hem de yüzeyde oluşacak hibrofobik özelliğin, pompa verimi üzerine etkisinin deneysel incelenmesi amaçlanmaktadır.
- Katkılı epoksi içerisine farklı miktarlarda nanopartiküllerin homojen karıştırılması ile kompozit bir hidrofobik yüzey elde edilmesi amaçlanmaktadır.
- Titanyum oksit, silisyum oksit gibi nanopartiküllerin farklı miktarları ile elde edilecek epoksi kompozit kaplamanın dayanım ve hidrofobik özellikler açısından optimizasyonunun yapılması amaçlanmaktadır.

1.3. Özgün Değer

Bu çalışmanın özgül değerlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Bu çalışmada pompa kanatlarının düşük maliyetle kompozit malzemelerden üretilebilmesi araştırılacaktır.
- Katkılı epoksi kaplama ile pompa çarklarında elde edilecek hidrofobik yüzeyin pompa verimine etkisinin araştırılması çalışmaya özgünlük katmaktadır.
- Katkılı epoksi kompozitin farklı nanopartiküller ile optimizasyonunun yapılması çalışmanın diğer bir özgün tarafını oluşturmaktadır.

1.4. Tezin Yöntemi

Tez çalışmasında uygulanacak yöntemler kısaca özetlenirse; ilk aşamada kullanılacak olan santrifüj pompa ve çark katı modellemesi yapılarak PETG maddesinden 3B yazıcı ile basılmıştır. Tasarlanan santrifüj pompa için 3 farklı kanat yapısı (A, B ve C çarkı) kullanılmıştır. Katkılı epoksi kompozit için kullanılacak katkı maddeleri olan nano tozların (SiO_2 , TiO_2) ön deneyleri yapılarak kullanılacak nanopartikül oranları belirlenmiştir. Epoksi içerisinde nanopartiküllerin karıştırılması için iki aşama kullanılmıştır. Nanopartiküller öncelikle uçucu bir akışkan (alkol) içerisinde ultrasonik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmıştır. Ardından epoksi içerisinde dağıtılmıştır. Su damlacık yöntemiyle epoksi kompozit yüzeyin hidrofobik özellikleri ölçülmüştür. Daha sonra epoksi kompozit yapının çekme dayanımları standart çekme numuneleri üzerinde ölçülmüştür. Epoksi kompozitin dayanım ve hidrofobik özellikleri dikkate alınarak pompa kanat yüzeyleri üzerine kaplama işlemi yapılmıştır. Santrifüj pompaların farklı kanat yapılarında ve farklı katkı oranlara sahip epoksi yüzey kaplamalarında verimleri deneysel olarak belirlenmiştir. Pompaların verimleri için basma yükseklikleri dikkate alınmıştır.

1.5. Tez Düzeni

Hazırlanan tezin ilk bölümünde yapılan çalışma hakkında genel hatlarıyla bilgi verilmiştir. Bu tarz çalışmanın piyasada bulunan ürünlere vereceği katkı ve ekonomik artıları hakkında bilgiler verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde hazırlanan tez ile ilgili daha önce yapılmış literatür çalışmalarından derleme yapılarak bilgiler verilmiştir. Önceki yapılan çalışmaların hazırlamış olduğumuz tez çalışmasına ışık tutması amacıyla detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde tezde geçen santrifüj pompa, hidrofobik açının önemi ve tespiti gibi, tezin içerisinde geçecek terimler detaylıca açıklanmıştır. Tezin dördüncü bölümünde tezde kullanılacak materyaller ve yöntemler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Tezin beşinci bölümünde yapılan deneyler sonucunda alınan sonuçlar verilmiştir. Tezin altıncı ve son bölümünde hazırlamış olduğumuz çalışmanın sonuçları hakkında yorumlar yapılarak tezin çıktıları detaylıca verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bayram vd. (2019) yaptığı çalışmalarda endüstrilerde kullanılan elektrikli dönen makinaların enerji tüketiminin çok fazla olduğunu görmüştür. Bu makinelerdeki verim kayıplarının fazla olması enerji israfına yol açmaktadır. Tez çalışması sırasında yapılan ölçümlerde 10 yaş ve 5.5 kW üzeri sistemlerde çok fazla enerji kayıpları olduğunu ortaya koymuşlardır (Bayram and Onat 2019).

Sevil vd. (2019) yaptıkları çalışmada PLA (polilaktik asit) malzemelerin kullanım sırasında yüzey çizilmelerine dayanımı düşük olduğunu tespit etmişlerdir. 3B yazıcılardan üretilmiş silindirik parçaların yüzeylerine üç farklı toz ve epoksi ile kaplanmıştır. Beyaz alümina, garnet ve seramik bilya tozlarını yüzey kaplamasında kullanmışlardır. Kaplama işlemi yapıldıktan sonra alansal taramalar yapılarak ortalama alansal pürüzlülük değerleri (S_a) tespit edilmiştir. Kaplanan parçalara eroziv aşınma testleri yapılmıştır. Garnet kaplanmış PLA numune ile yapılan testlerde en iyi sonuç gözlemlenmiştir. En kötü sonucu alümina ile kaplanan PLA parçada gözlemlenmiştir (Sevil et al. 2019).

Saraç vd. (2018) yaptığı çalışmada yapıştırırmalı bağlantılarda nanopartikül katkısının mekanik özellikleri hakkında araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında DP460 epoksi yapıştırıcı içerisine farklı oranlarda TiO_2 , Al_2O_3 ve SiO_2 nanopartikül ekleyerek tek tesirli bindirme bağlantıları üzerinde statik ve yorulma dayanımları hakkında deneyler yapmışlardır. Yapıştırırmalarda AISI304 paslanmaz çelik plaka kullanarak bindirme boylarını 20, 25 ve 30mm olarak ayarlamışlardır. Yaptıkları deneyler neticesinde ortalama hasar yükü dikkate değer şekilde arttığını gözlemlenmiştir. %4 oranında katkılı Al_2O_3 numunede en büyük ortalama hasar yükü tespit etmişlerdir. Yorulma deneyleri sonucunda Al_2O_3 ve SiO_2 nanopartikül katkılı epoksi yapıştırırmalarda yorulma dayanımlarını arttırmışlardır (Saraç 2018).

Tunç vd. (2019) yaptıkları çalışmada, pompa çarkına Krom Karbid (Cr_3C_2) ve seramik kaplama yapmışlardır. Bu kaplamada çarkın, kavitasyona karşı direnci ve ömrünün artırılması hedeflenmiştir. Bu sayede kullanım süresinin artırılması ve ekonomik kayıpları azaltma amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda GG25 malzemeli metal çark ve Krom Karbid (Cr_3C_2) kaplamalı çark karşılaştırma yapılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan pürüzlülük ve SEM analizlerinde alınan sonuçlarda kavitasyon altında çalışan çark yüzeylerindeki deformasyon olduğu gözlemlenmiştir. Grafikselsel

değerlendirme ve görseller incelendiğinde, GG25 malzemedeki yüzey pürüzlülük parametrelerinde çalışma süreleri sonunda Rz değeri 50, Rq değeri 12 ve Ra değeri 10'dur aynı sürede çalışan Krom Karbid kaplamalı çark için yüzey pürüzlülük parametrelerinden Rz değeri max. 23, Rq değeri 4.9 ve Ra değeri max. 3.8 değerine ulaşmıştır. Bu verilere istinaden edinilen bilgilere göre kavitasyona karşı dayanımın en çok olduğu çark, Krom Karbid kaplamalı çarktır (Tunç and Özden 2019).

Keleş ve Küçükömeroğlu (2016) yaptıkları çalışmada, radyal kanatlı santrifüj pompa çarkı tasarlamışlardır. Uygun sürtünme karıştırma prosesi (SKP) belirlemişlerdir. Nikel alüminyum bronz(NAB) malzeme yüzeyi SKP yöntemi ile işlenmiştir. Hazırlanan çarkın kanatları sökölüp takılabilir şekilde hazırlamışlardır. Bunun nedeni çalışma aşamalarında çıkarıp inceleme yapabilmek içindir. Oluşturdukları sistem tanktaki suyun, santrifüj pompa yardımıyla emilerek tekrar tanka gönderdiği kapalı bir sistemdir. Sistemde emme ve basma hattına birer sürgülü vana koymuşlardır. Emiş hattına bağlı vana kısılarak akışkanın hızı artırılmış ve basıncını düşürmüşlerdir. Kavitasyonlu bölgede, çalıştırılan pompa çarkının, zamanla sergilediği kavitasyon davranışı incelemişlerdir. Pompa çarklarının üretiminde kullanılan NAB malzemesine uygulanan SKP işleminin, oluşan kavitasyon etkisine karşı kanat malzemesin direncini artırdığını belirlemişlerdir (Keleş and Küçükömeroğlu 2016).

Kocaaslan vd. (2015) yaptıkları çalışmada santrifüj pompa verimini iyileştirmesi amaçla deneysel ve sayısal sonuçları karşılaştırmışlardır. Santrifüj pompa çarkında geometrik değişiklikler yapmışlardır. Mevcut pompanın 100 m³/h hacimsel debide hidrolik tork değeri 55.44 Nm'den 49.54 Nm'ye düşmüştür. Tasarlanan santrifüj pompa ile mevcut pompaya göre mil gücünde %10.71 enerji tasarrufunun yapıldığını göstermişlerdir. %14 oranında hidrolik verim artışı sağladıklarını gözlemlemişlerdir. Tez çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün pompa verimine etkisi gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin artması ile hidrolik verim değerinin %68'den %53'e kadar düştüğünü gözlemlemişlerdir. Pompaların uzun kullanımları sonrasında aşınma ve kavitasyon ile çark yüzeylerinde oluşan deformasyonların önüne geçmek maksadıyla pompa çarkına ve salyangozuna sıvı akışkan ile temas eden yüzeylerine poliüretan malzeme ile kaplamışlardır. Yapılan kaplama işlemi sonrasında pompa verimini deneysel yöntemlerle incelemişlerdir. Kaplamalı ve kaplamasız pompanın deneysel sonuçlarında mil gücü değerlerinin

%10 oranında azalmanın meydana geldiği hidrolik veriminde ise %25 oranında artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Mali analiz sonucunda poliüretan kaplama işlemine yapılan yatırımın 1 yıldan daha kısa sürede kendini amorti ettiğini hesaplamışlardır. 10 yıllık ömrü süresince % 114 oranında kar getirebileceğini görmüşlerdir (Kocaaslan 2015).

Szala vd. (2014) pompa çarkına yaptıkları Ni-Co kaplama yapmışlardır. Yaptıkları kaplamadan sonra kavitasyon direncini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmaya göre Ni-Co temelli kaplamalı çarkın kavitasyona karşı daha yüksek dayanımlı olduğunu tespit etmişlerdir (Szala, Hejwowski, and Lenart 2014).

Yuping vd. (2007) HVOF termal sprej yöntemi ile Fe-Cr-Si-B-Mn alaşımı kaplaması ile pompalarda oluşan kavitasyon direncini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları HVOF termal sprej kaplamasının kavitasyon direncini arttırdığını yaptıkları deneylerle kanıtlamışlardır (Yuping et al. 2007).

Özbey, Gürbüz ve Karakurt (2021) yaptıkları çalışmada mevcut santrifüj pompanın tasarımı değiştirilmeden ıslak yüzeylerine hidrofobik özellikler kazandırmak amaçlı kaplama işlemi yapmışlardır. Çarkın ıslak yüzeylerini politetra floraitilen(PTFE), floroiditilen propien (FEB) ve perfloro alkoksi(PFA) olmak üzere 3 farklı karbon bazlı polimer ile kaplamışlardır. Kaplanan yüzeylerin temas açıları 95°, 105 °, 110 ° ölçülerek hidrofobikliğini belirlemişlerdir. Yapılan deneyler sonrasında alınan sonuçlara göre, pompa özgül hızını yaklaşık %10 düşürdüğü dolayısıyla kapasitesini %10 arttırmıştır. Verimini sırasıyla %4 , %5, ve %5.3 arttırdığını belirlemişlerdir (Özbey et al. 2021).

Parlak (2016) yaptıkları çalışmada santrifüj tipi pompanın en iyi verimini, debiyi ve basma yüksekliğini saplayacak değerleri Taguchi yöntemini kullanarak tespit etmişlerdir. Hazırladıkları deneysel tasarımlarda kanat sayısı, çıkış çapı, çıkış açısı, çıkış genişliği parametreler olarak kabul edilerek 9 farklı çark geometrisi hazırlamışlardır. Bu yaptıkları deneyler sonunda en iyi verimi, basma yüksekliğini ve debiyi sağlayan parametreçark geometrisi 7 adet kanat sayılı, çıkış açısının 21°, çıkış çapının 105mm ve çıkış genişliğinin 8.5mm olan model olmuştur (Parlak 2016).

Ryzhenkov ve Khovanov (2015) yaptıkları çalışmada, santrifüj tip pompanın akış kısımlarında, özellikle çark bölümünün yüzeylerindeki farklı hidrofobik özelliğe sahip yüzeylerin operasyonel performanslarına etkisini deneysel çalışmalar yaparak

odaklanmışlardır. Hidrofobik yüzey oluşturmak için pompa yüzeylerinde sürtünmeyi %23'e kadar azaltmışlardır. Sürtünme azalan yüzeylerle deney yaptıklarında pompa veriminin arttığını kanıtlamışlardır (Ryzhenkov and Khovanov 2015).

Luo, Wang vd. (2019) yaptıkları çalışmada santrifüj tipi pompalarda suya temas yüzeylerindeki yapılan kaplama kalınlıklarının performanslarına ve hizmet ömürlerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada poliüretan ile püskürtme yöntemiyle farklı kaplama kalınlığı olan pompalar yapmışlardır. Aldıkları sonuca göre kaplama kalınlığının artmasıyla pompanın basma yüksekliği ve verimi azalır, basınç dalgalanmalarına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu nedenle kaplamalarda optimum kalınlıklar seçilmesi gerektiğini göstermişlerdir (Luo et al. 2019).

Ou ve Rothstein (2013) sürüklenmeyi azaltan süperhidrofobik yüzeylerden geçen suyun akış kinematiğini inceleyen deneyler yapmışlardır. Ultrahidrofobik yüzeyler, fotolitografi kullanılarak tasarlamışlardır. Bir dizi dikdörtgen kesitli mikro kanal geometrisi ve ultrahidrofobik yüzey tasarımı için hız profilini ve akış hızının bir fonksiyonu olarak basınç düşüşünü ölçmek için deneysel bir akış hücresi kullanmışlardır. Mikro kanal boyunca hız profili, akışı yüzey özelliklerinin boyutunun çok altındaki uzunluk ölçeklerine kadar çözebilen mikropartikül görüntü velosimetrisi -PIV ölçümleri yoluyla belirlemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda mikro kanaldaki ortalama hızın %60'ından fazla bir maksimum kayma hızı, kaymasız hava-su ara yüzünün merkezinde bulunurken, kaymayan sınır koşulunun hidrofobik sırtların yüzeyi boyunca devam ettiğini bulmuşlardır. Deneysel hız ve basınç düşüşü ölçümleri, sayısal simülasyonların tahminleri ve iyi bir uyum ile değişen kaymasız ve kaymaz bantlardan oluşan bir ultrahidrofobik yüzeyin basit bir modeline dayanan bir analitik teori ile karşılaştırmışlardır (Ou et al. 2013).

Moaven vd. (2013) yaptığı çalışmada, süperhidrofobik nano kaplamanın sürtünme kuvveti üzerindeki etkilerini incelemek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada alüminyum diske sol-jel yöntemiyle süperhidrofobik TiO₂ nano kaplaması yapılmıştır. Sürtünme kuvvetini karşılaştırmak için TiO₂ nano kaplamalı disk ile pürüzsüz kaplamasız disk deney yapmıştır. Yapılan deneylerin sonucuna göre bu çalışmada laminar ve türbülanslı akışlarda sırasıyla %30 ve %15'e varan sürtünme değerleri azaltmışlardır (Moaven, Rad, and Taeibi-rahni 2013).

Han, Yu vd. (2022) yaptıkları çalışmada plazma biriktirme tekniği kullanarak SiO₂ nano kaplamalar yapmışlardır. Yüzeylerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimleri ölçmüşlerdir. Bu ölçümlerde yüzeysel özelliklerin antibakteriyel ve anti inflamatuvar özelliklerini değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda SiO₂ nano kaplamaların bakteri üremesini ve biyofilm oluşumunu %30 oranında azaldığını ispatlamışlardır. Ayrıca SiO₂ kaplamaların biyo uyumluluklarının iyi olduğunu gözlemlemişlerdir (Han et al. 2022).

Chen, Huang vd. (2022) yaptıkları çalışmada hidrofobik SiO₂ nanoparçacıkları, selüloz nanofiber(CNF) desteği ile suyun içerisinde dağıtmışlardır. CNF, SiO₂ nanoparçacıkları ve metiltrimetoksisilandan(MTMS) oluşan su bazlı dispersiyon kullanarak kaplama yapılmıştır. SiO₂ nanoparçacıklarının su içerisinde dağılmasını CNF ile iyileştirebileceklerini buldular. Kaplama yapılan yüzey 10 farklı aşınma deneyinden sonra bile hidrofobik özelliğini koruduğunu ispatlamışlardır. SiO₂ nano parçacıkların ağırlıkça %0.25'in üzerinde olduğunda nem emilimi %31'e kadar düştüğünü deneysel yöntemlerle bulmuşlardır. Kaplama yüzeyinin temas açısını 162° ölçmüşlerdir (Chen et al. 2022).

Zhao, Liu vd. (2022) yaptıkları çalışmada tes numunelerinin yüzeylerinde hidrofobik yüzey oluşturmak için SiO₂ ve flor silikon reçinesi (HLR-Si) tek aşamalı püskürtmeli biriktirme yöntemi ile kaplamışlardır. Kaplama sonrasında yüzey morfolojisini karakterize etmek amacıyla atomik kuvvet mikroskobu ve elektron mikroskobu, yüzeyin hidrofobiklik durumunu değerlendirmek için temas açısı ölçer kullanmışlardır. Çalışmada silika içeriğinin hidrofobik performansla sürtünmeyi azaltabilirliği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre tek aşamalı püskürtme biriktirme yönteminin başarılı olduğunu göstermişlerdir. SiO₂ ve HLR-Si kaplamasının maksimum temas açısı 163° ve kayma açısının 1.8° olduğunu deneysel olarak ispatlamışlardır. Saf HLR-Si reçine kaplama ile karşılaştırıldığında süper hidrofobik malzemenin sürtünme azaltma oranının %23.4 olduğu görülmüştür. Temas açısının 150° sürtünme azaltma etkisinin olduğunu ispatlamışlardır (Zhao et al. 2022).

3. GENEL BİLGİLER

Pompalar, endüstrilerde ve ihtiyaç duyulan her alanda akışkan transferlerini gerçekleştirmek için kullanılan mekanik cihazlardır. Kullanılan sıvının basıncını arttırarak, akışkanın istenilen yerlere iletilmesini veya kapalı sistemde tekrar kullanılmasını sağlamaktadır. Pompalar tahrik gücünü genellikle elektrikli motorlar yardımıyla alarak çalışmaktadır. Elektrikli motorların yanı sıra basınçlı buhar, basınçlı hava, dizel motor ve basınçlı yağ gibi farklı tahrik motorlarda kullanılmaktadır (Hydraulic Institute, Europump, and Office of Industrial Technologies - US Department of Energy 2001).

Pompalar, sıvı hareketi veya akış oluşturan cihazlardır. Pompa, sistemde normal doğrultuda kayma gerilmesinin bir fonksiyonu olan basıncın oluşması için yeterli akışı sağlamaktadır.

Dünyada birçok pompa türü ve modeli vardır. Bunlar akışın sağlandığı prensibe göre sınıflandırılmaktadır.

Dinamik pompalar sürekli akış üretmektedirler. Bu sınıftaki pompalar sıvılara karşı iç direnç oluşturmaz. Çıkış valf kısmında basınç değişimi bulunmaktadır.

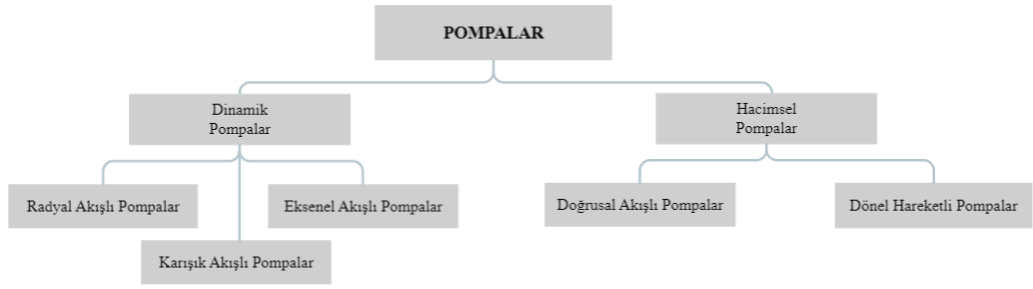
Hacimsel pompalar da sıvının aktarılması için hacim değişimi yöntemi kullanılmaktadır. Esnek diyaframli, pistonlu, dişli, vidalı pompalar bu gruba dahildir.

Tezimizde dinamik pompa türünden olan santrifüj pompa kullanılmıştır.

3.1. Santrifüj Pompalar

Santrifüj pompalar, sıvının çarklar arasında dönmesi sonucunda kazanılan enerji ile hareket ettirilen mekanik cihazlardır. Sıvı hızlı dönen çark eksenine boyunca girerek, çarkın kanatçık uçları boyunca merkezkaç kuvveti ile pompa dışına aktarılır. Yani pervane hareketi ile pompanın içine çekilen sıvıya kinetik enerji kazandırılarak pompa dışına gönderilir (Hydraulic Institute, Europump, and Office of Industrial Technologies - US Department of Energy 2001).

Santrifüj pompaların geçmiş tarihlerine bakıldığında; Brezilyalı bilim tarihçisi Reti'nin bulgularına göre santrifüj pompa olarak gösterilen ilk makine 1475 yılında İtalyan Francesco ve Giorgio Martini'nin bilimsel kaynaklarında rastlanılmaktadır. 1600'lü yıllara kadar gerçek santrifüj pompaya rastlanmamıştır. Bu yıllarda Denis

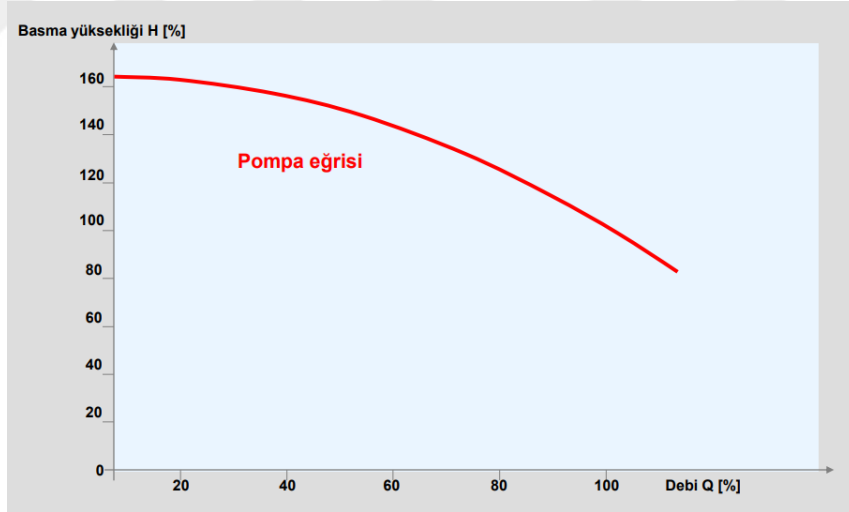


Şekil 3.2.Pompa Sınıflandırması

Sınıflandırmaya baktığımızda hacimsel pompalar; pompa elemanlarının hareketine göre, dinamik pompalar ise akışkanın akış yönüne göre sınıflandırılmaktadır.

3.4. Santrifüj Pompaların Karakteristik Eğrisi

Santrifüj pompaların karakteristik özelliklerini belirlemek için bazı deneyler yapılır. Bu deneyler sonucunda pompanın en uygun çalışma noktası belirlenir. Bu sayede kullanıcı ihtiyacına göre pompa seçimi yapılabilir. Yapılan deneyler sonucunda pompa karakteristik eğrileri hazırlanır. Örnek olarak bir pompanın H(basma yüksekliği) -Q (debi) karakteristik eğrisi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 H-Q Karakteristik Eğrisi

3.5. Santrifüj Pompaların Verimini Etkileyen Faktörler

Pompa verimini etkileyen faktörleri incelendiğinde öncelikle verim formülüne bakılmalıdır. Bunun için ilk olarak pompa mekanik gücü ve hidrolik güç hesaplanmalıdır. Denklem 3.1’de, yoğunluk(ρ),yer çekimi ivmesi(g), debi(Q),pompa basma yüksekliği(H_m) kullanılarak hidrolik güç (P_h) bulunur. Denklem 3.2’de

moment(M_h) ve açısal hız(ω) kullanılarak pompa mekanik gücü (P_{mek}) bulunur. Denklem 3.3’de pompa devir sayısı ($\dot{n}$) ve π kullanılarak açısal hız(ω) bulunur. Denklem 3.4’de P_h hidrolik güç, P_{mek} mekanik gücü kullanılarak verim(η) hesaplanır (Babayigit et al. 2015).

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (3.1)$$

$$P_{mek} = M_h \cdot \omega \quad (3.2)$$

$$\omega = \frac{\dot{n} \cdot \pi}{30} \quad (3.3)$$

$$\eta = \frac{P_h}{P_m} \quad (3.4)$$

Yukarıda pompaların genel verimini gösteren formüller incelendiğinde pompa veriminin fazla olabilmesi için hidrolik güç, mekanik güç oranına daha yakın olması gerekmektedir. Bu formülleri oluşturan tüm değerler pompaların verimini etkilemektedir. Bunların dışında pompaların tasarımları, üretilirken kullanılan malzemelerin cinsi, çark yüzey kalitesi, sistemdeki sürtünme kuvvetleri vb. gibi birçok parametre pompa verimini etkilemektedir.

3.6. Hidrofobik Yüzey

Hidrofobik kelime anlamına bakıldığında su ve korku anlamına gelen yunanca “hydro” ve “phobos” kelimelerinden gelmektedir. Yani hidrofobik suyu sevmeyen anlamına gelmektedir. Hidrofilik kelimesinin kökenine baktığımızda yunanca “philia” sevgi ve arkadaşlık anlamına gelir. Yani hidrofilik suyu seven anlamına gelmektedir.

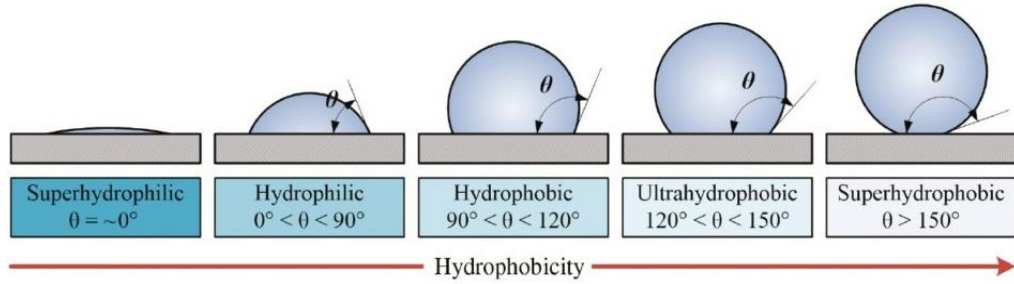
Yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik olduğunu anlamak için su damlacığının yüzey üzerinde ne kadar yayıldığına bakılarak anlaşılmaktadır. Şekil 3.4’de görüldüğü gibi su damlacığının yüzey üzerinde yaptığı temas açısına bakılarak, yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik olduğu anlaşılır. Su damlacığının yüzey ile yaptığı temas açılara baktığımızda;

- Temas açısı 90° ’den küçükse yüzey hidrofiliktir.
- Temas açısı 90° ’den büyükse yüzey hidrofobiktir.
- Temas açısı 150° ’den daha büyükse yüzey süperhidrofobiktir.

Su damlacığı yüzeyde yayılmaya çalışıyorsa bu yüzey hidrofiliktir. Eğer yüzey bu eğilimi çok fazla gösteriyor ve temas açısı 5° 'den az ise bu yüzey süper hidrofiliktir (Zhang and Lv 2015).

Temas açısını etkileyen başlıca faktörler yüzeyin enerjisi ve pürüzlülüğüdür. Yüzey enerjisi, yüzey geriliminin etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak bir kristal yapısını göz önüne aldığımızda, içerisindeki atomlar her yönden çekme kuvveti uyguladığında kristal kararlı bir şekilde yerini koruyabilir. Fakat yüzey atomlarında aynı durum yoktur. Yüzey atomları içerisindeki çekme kuvvetinin yarısını hisseder. Bu sebeple yüzeyden kopma eğilimi göstererek yüzey gerilimini oluşturur. Yüzey geriliminin düşmesi temas açısını da düşürmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün artması hidrofilik ve hidrofobik özelliklerin artmasına da neden olmaktadır. Pürüzlülük, yüzeyle su damlası arasında hava sıkışmasını sağlamaktadır. Bu nedenle aradaki etkileşim miktarını düşürür ve değme açısı hidrofobik yüzeylerde artar.

Santrifüj pompaların çarklarında ve iç yüzeyinde çalışma sırasında yüzey pürüzlülüğü nedeniyle performans kayıpları olduğu görülmektedir. Yüzeylerinin hidrofobiklik kat sayısını arttırsak santrifüj pompalardaki sürtünmeden kaynaklı verim kayıpları da azaltılmış olacaktır.



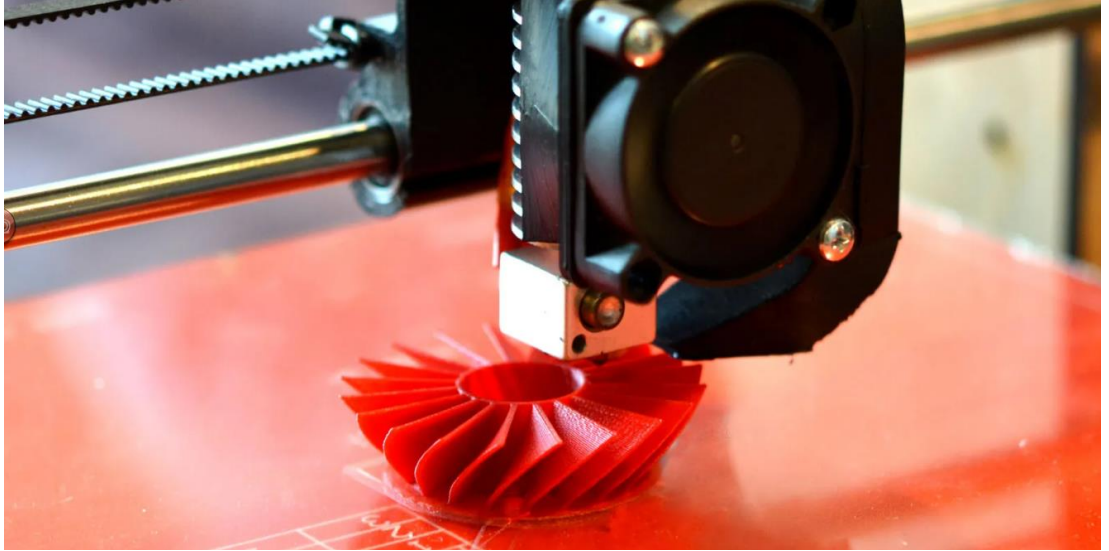
Şekil 3.4 Yüzey Temas Açıları

3.7. 3B Yazıcı Baskıları

Geleneksel üretim yöntemlerine bakıldığında daha fazla avantaj ortaya koyan katmanlı üretim metodu yani 3B baskı ile üretim günümüzde çok popülerdir. Şekil 3.5'te örnek 3 boyutlu baskı verilmiştir. Günümüz teknolojisinin hızla ilerlemesi ile karmaşık ve zor yapıların verimli bir şekilde üretim yeteneği içermektedir. Kalıp ihtiyacı veya ön hazırlık yapmadan tasarlanan ürünlerin üretilmesini sağlaması en

büyük avantajlarından birisidir. Seri üretim için hala uygun olmasa da gelecekte seri üretimlerde de kullanılacağı düşünülmektedir. Birçok farklı hammadde malzemesi kullanılarak 3B yazıcıdan baskı alınabilmektedir. Günümüzde en çok PLA(Polilaktik asit),PETG(Polietilen Tereftalat Glikol), ABS(Akrilonitril Butadien Stiren) gibi hammaddeler 3B baskılarda kullanılmaktadır. Her filamentin birbirine göre iyi ve kötü yönleri mevcuttur.

3B yazıcı baskılarının en büyük dezavantajları arasında, kullanım sırasında mekanik sürtünme, ışık, sıcaklık, nem, toz vb. gibi etkiler altında kaldıktan sonra parçanın güvenli kalma sürelerinin azaldığı görülmektedir. Bu süreleri uzatmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Üretim sonrası genellikle yüzeylerine kaplama veya ikincil fırınlama yapılarak 3B baskı ürünlerinin yüzey kalitesi artırılmaya çalışılmaktadır.



Şekil 3.5. 3D yazıcı baskı(<https://armut.com/>)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Çalışmada enerji verimliliğini arttırmaya yönelik kullanılacak olan santrifüj pompa ekonomik açıdan uygun fiyat-performans ürünü olabilmesi için 3D yazıcıdan üretilmiştir. Yazıcı hammaddesi PETG seçilmiştir. Pompanın motoru olarak 1000 KV fırçasız motor kullanılmıştır. Motor kontrolü için ESC kontrolcüsü kullanılmıştır. Pompa gücü 5000 mAh Li-Po pil ile verilmiştir. Kaplama yapıldıktan sonra ve kaplama öncesi testler için deney düzeneği hazırlanmıştır. Kullanılan malzemeler aşağıda yer alan kısımlarda açıklanmıştır.

4.1.1. PETG Filament

PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified), termoplastik olan bir malzemedir. İçecek, yiyecek kapları, mutfak alet ve gereçleri gibi farklı yerlerde kullanım alanları mevcuttur. Güncel olarak en çok kullanılan filamentlerden olan PLA ve ABS'ye alternatif bir filament olarak ortaya çıkmıştır. PETG, ABS filamentinden daha güçlü ve esnek yapıya sahiptir. Tablo 4.1'de PETG malzemesinin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. PETG mekanik özellikler (<https://www.porima3d.com/>)

Özellikler	Değer
Çap	1,75 mm
Tolerans	±0,03 mm
Yoğunluk	1,29 g/cm ³
Tabla Sıcaklığı	75-85 °C
Nozul Sıcaklığı	220-240 °C
Çekme Dayanımı	50 MPa
Sıcaklık Dayanımı	80°C

4.1.2. Epoksi-Reçine

ARC150 ultra şeffaf parlak yüzey kaplama epoksisi kullanılmıştır. Şekil 4.1'de kullanılan epoksi gösterilmiştir. 4/1 oranında sertleştiricisi ile birlikte kullanılmıştır. Yavaş kuruyan yapısı sayesinde hava kabarcığı bırakmamaktadır. Kaplama yapıldıktan sonra camsı bir yapıya sahip olarak pürüzsüz bir yüzey oluşturmaktadır. 6-10 saat jelleşme süresi mevcuttur. 2 gün içerisinde tam kuruma gerçekleşmektedir.



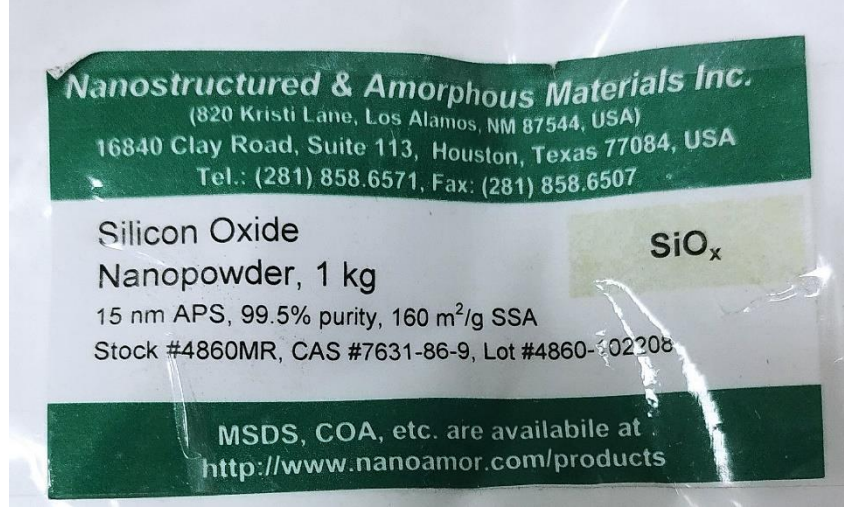
Şekil 4.1. ARC150 Ultra Şeffaf Kaplama Epoksisi (<https://www.arcepoxy.com/>)

4.1.3. Silisyum Oksit (SiO₂)

SiO₂ 2.2-2.6 g/cm³ yoğunluğuna sahiptir. Ortalama partikül boyutu 15 nm'dir. %99.5 saflıktadır. Silisyum, yeryüzünde en yüksek oranda bulunan elementlerinden bir tanesidir. Doğada kristal formlarda bazı taşlarda ve kuvarsta bulunmaktadır. Tablo 4.2'de SiO₂ nanopartikül özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.2. SiO₂ özellikleri(<https://www.nanoamor.com/>)

Özellikler	Değer
Formül	SiO ₂
Yoğunluk	2.65 g/cm ³
Erime Noktası	1710 °C
Molar Kütle	60.08 g/mol
Kaynama Noktası	2230 °C
Sınıflandırma	Oksit



Şekil 4.2 SiO₂ Nano Toz

SiO₂ nano tozunu literatürde hidrofobik kaplamalarında yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Doğal yapısı incelendiğinde su tutmama özelliği olan bir malzemedir. Şekil 4.2’de Nanoamor şirketinden tezde kullanılmak üzere satın alınmış SiO₂ tozu gösterilmiştir.

4.1.4. Titanyum Oksit (TiO₂)

Beyaz toz formunda olduğu için kozmetik ve gıda alanlarında beyazlatma amacıyla da kullanılmaktadır. Tablo 4.3’de TiO₂ nanopartikül özellikleri verilmiştir.

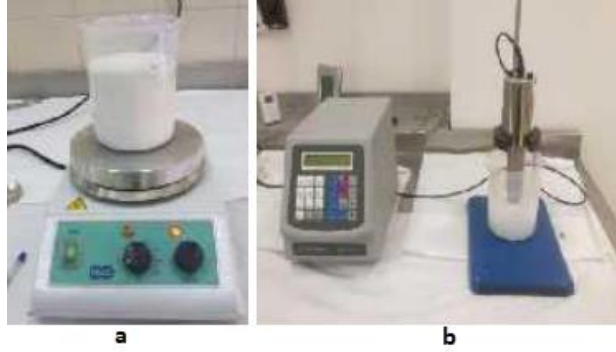
Tablo 4.3. TiO₂ Özellikleri (<https://www.nanoamor.com/>)

Özellikler	Değer
Formül	TiO ₂
Yoğunluk	4.23 g/cm ³
Erime Noktası	1843 °C
Molar Kütle	79.866 g/mol
Kaynama Noktası	2972 °C
Sınıflandırma	Oksit

4.1.5. Ultrasonik Karıştırıcı ve Manyetik Karıştırıcı

Karışım uygulamalarında homojen bir yapı oluşturmak amacıyla manyetik karıştırıcı ve ultrasonik karıştırıcılar kullanılmaktadır.

Manyetik karıştırıcı kullanımında karışım içerisine manyetik bir balık atılır. Bu manyetik balık demir bilyelerden oluşmaktadır. Karışım, manyetik karıştırıcının etkisiyle, manyetik balık karışım içerisinde dönerek karışımın mekanik karıştırılmasına yaramaktadır. Şekil 4.3'te manyetik karıştırıcı gösterilmiştir.

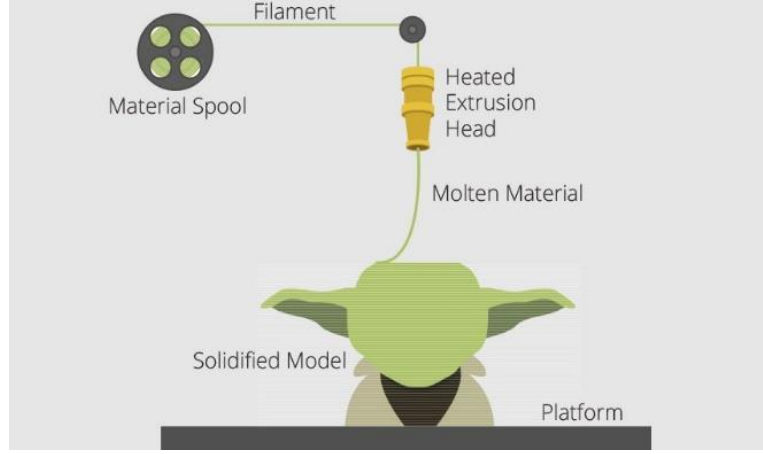


Şekil 4.3.(a) manyetik karıştırıcı, (b) ultrasonik karıştırıcı

Ultrasonik karıştırıcı bir prob yardımıyla karışımının içerisine ayarlanabilir güç ve frekansta ses dalgaları göndererek çalışmaktadır. Bu karıştırma yönteminde probun çapı, verilecek güç değerleri, karışım kabının çapının belirlenmesi gibi birçok önemli nokta vardır. Karışım akışkanına zarar vermeden ultrasonik karıştırma yöntemini kullanmak çok önemlidir. Bu karıştırıcı sayesinde nano tozların akışkan içerisinde daha homojen bir dağıtım yapılabilir. Şekil 4.3'te ultrasonik karıştırıcı gösterilmiştir.

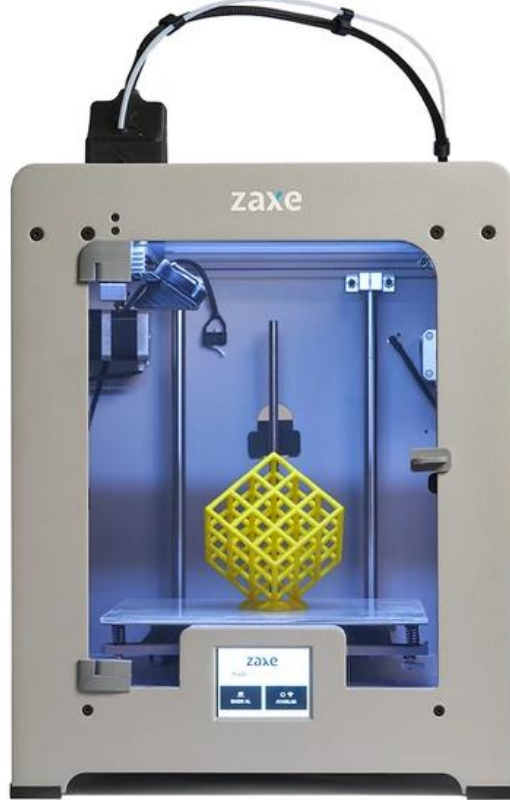
4.1.6. 3B yazıcı

Bilgisayar ortamındaki tasarım (CAD) veya yazılımlar tarafından tasarlanmış nesneleri, somut nesneler haline getiren makinelere 3B yazıcı denir. 3B yazıcılar kalıp gibi ihtiyaçlar duyulmadan hazırlanan prototip nesnelerin üretilmesi için büyük avantaj sunmaktadır. Ayrıca düşük maliyeti nedeniyle seri üretimde kullanılması amaçlanmaktadır. Şekil 4.4'te 3 boyutlu yazıcının çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.4. 3D yazıcı baskı prensibi(pinkshape.com)

3B yazıcılar katmanlı üretim adı verilen metot ile çalışmaktadırlar. 3B yazıcı extruder bölümündeki nozzle ısıtarak hammadde olarak kullanılan filamenti eritmektedir. Sahip olduğu mekanik özellik sayesinde 3 eksenle extruder veya tabla hareket ederek sanal ortamda tasarlanmış CAD datasını somutlaştırmaktadır. Şekil 4.5’de Zaxe firmasının ürettiği 3 boyutlu yazıcı gösterilmiştir. Tez çalışmasında kullanılacak olan ürünler bu makinede basılmıştır.



Şekil 4.5. 3D yazıcı (zaxe.com)

4.1.7. Motor-ESC

A2212 1000 KV fırçasız DC motor seçilmiştir. 2S-3S Li-Po pil ile çalıştırılmaktadır. Quadcopter, Multicopter ve drone gibi birçok robotik uygulamalarda kullanılabilir. Fırçasız DC motorlar yüksek verime sahiptirler. Ayrıca uzun ömürlü kullanılabilir. Tez çalışmada Şekil 4.6'da gösterilen kullanılacak fırçasız motorun özellikleri Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Motor özellikleri

Özellik	Değer
Mil Çapı	3.17 mm
Yüksüz Akım	0.5 A
Ağırlık	52 g
Maksimum Verim Akım	4-10 A (>%75)



Şekil 4.6. 1000 Kv DC Motor

Fırçasız motoru sürbilmek için 30A ESC kullanılmaktadır. ESC sayesinde motor devri kontrol altına alınarak istenilen devire ve istenilen yöne dönebilmektedir. Şekil 4.7'de kullanılacak ESC görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.7. 30A ESC

4.1.8. Pil

Sistemdeki gücü sağlamak için 3S 5000 mAh Li-Po pil kullanılacaktır. Maksimum 12.6 V, Minimum 11.1 V güç vermektedir.

4.1.9. Ardupilot

Multicopter gibi hava araçlarında kullanılan uçuş kontrol bilgisayarıdır. USB bağlantısı ile bilgisayara bağlanabilmektedir. Test sisteminde çalışacak motoru ve ESC'yi bilgisayara bağlayarak kontrolünü sağlamaya yararmaktadır. Şekil 4.8'de kullanılacak olan Ardupilot kontrolcü gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ardupilot kontrolcü

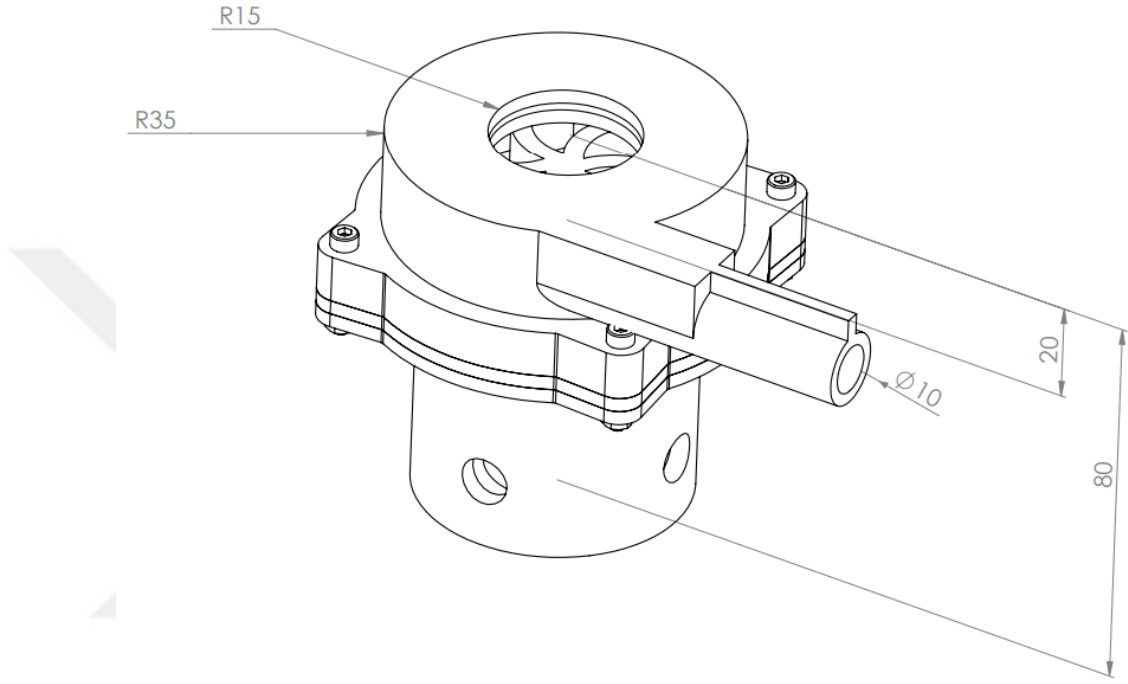
4.2. Yöntem

Bu tezde santrifüj pompaların performans parametrelerini arttırmaya yönelik çalışma hazırlanmıştır. Santrifüj pompanın performansını yüzey bölümündeki sürtünmelerden dolayı oluşan yüzey gerilimleri, pompalarda performans düşüklüğüne yol açtığı araştırmalarla ortaya koyulmuştur. Bu pompa performansını etkileyen durumun giderilmesi için yüzeyin sürtünme katsayısı düşürülmesi ayrıca yüzeyin hidrofobikleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedeflenen performans artırıcı parametreler sayesinde santrifüj pompanın veriminin arttırılması hedeflenmiştir.

4.2.1. Pompa Üretimi

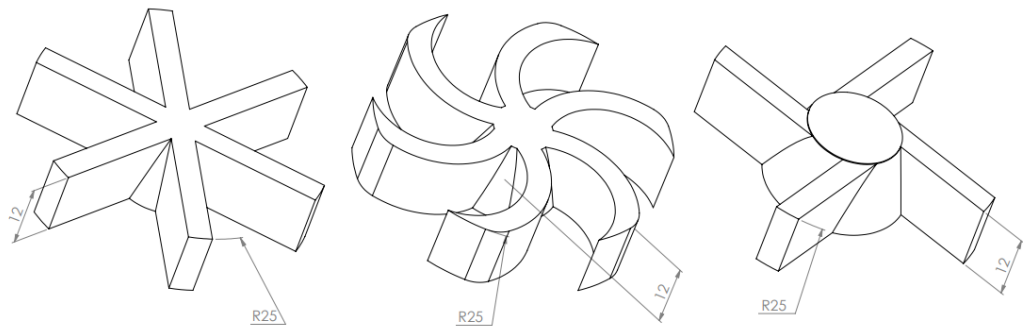
Üretim ve kalıp maliyetleri yüksek olması pompa üretiminde maliyet konusunda etkileyici bir faktör olmaktadır. Teknolojinin hızla gelişmesiyle 3B yazıcılar ortaya çıkmıştır. Kalıp ihtiyacı olmadan hammaddeyi eriterek katmanlı bir şekilde üretim yapmaktadır. Pompa maliyetini düşürmek için pompayı 3B yazıcı ile

üretmeye karar verilmiştir. Solid Works programı üzerinden katmanlı üretime uygun pompa tasarımı yapılmıştır. Pompayı kısımlara bölerek tasarımı yapılmıştır, çünkü parça üretiminin 3B yazıcı baskısına uygun olması, testler sırasında çark değişimi, motor değişimi gibi kolaylık sağlaması ve hasar gören parçaların kolaylıkla değiştirilmesi için bu şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4.9’da pompa tasarımının CAD görüntüsü verilmiştir.

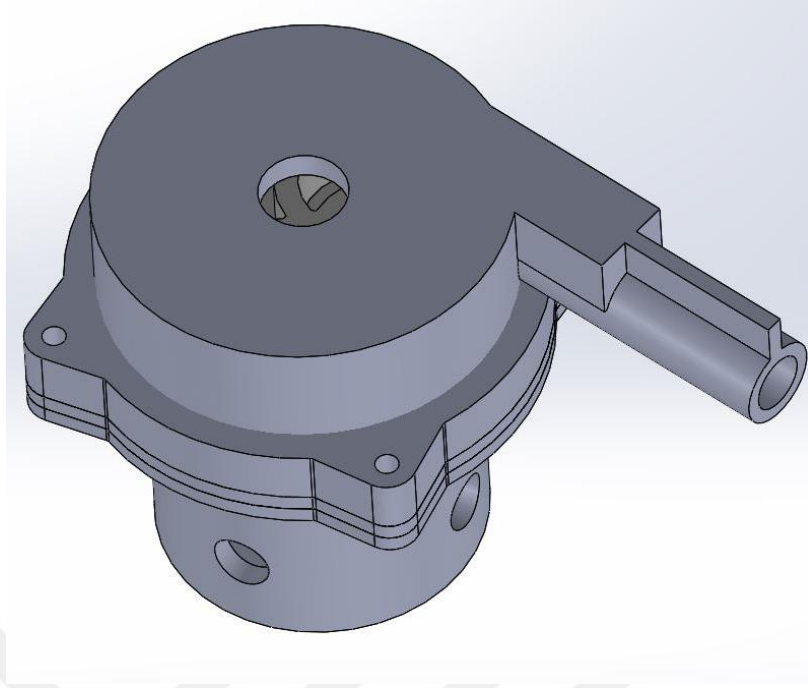


Şekil 4.9. Pompa ölçüleri

Şekil 4.10’da tasarlanmış olan pompa çarklarının CAD teknik çizim görüntüsü verilmiştir.

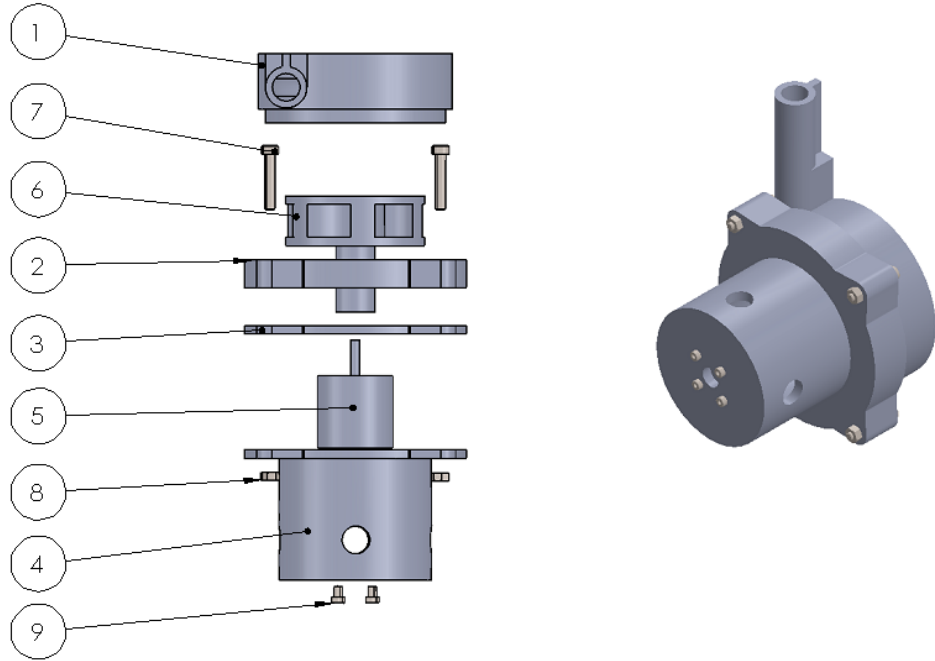


Şekil 4.10. Çark ölçüleri



Şekil 4.11. Santrifüj pompa tasarımı

Şekil 4.11’de CAD ortamında tasarlanmış pompanın montajlanmış hali gösterilmiştir.



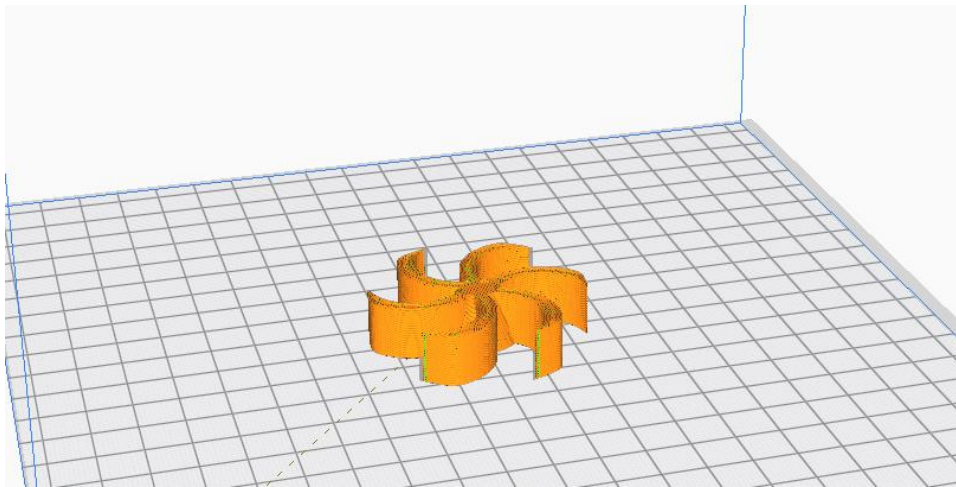
Şekil 4.12. Pompa Parçaları

Şekil 4.12’de pompa montajında kullanılacak olan tüm parçalar gösterilmiştir. Şekil 4.12’de gösterilen pompa parçalarının listesi Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Pompa parçaları

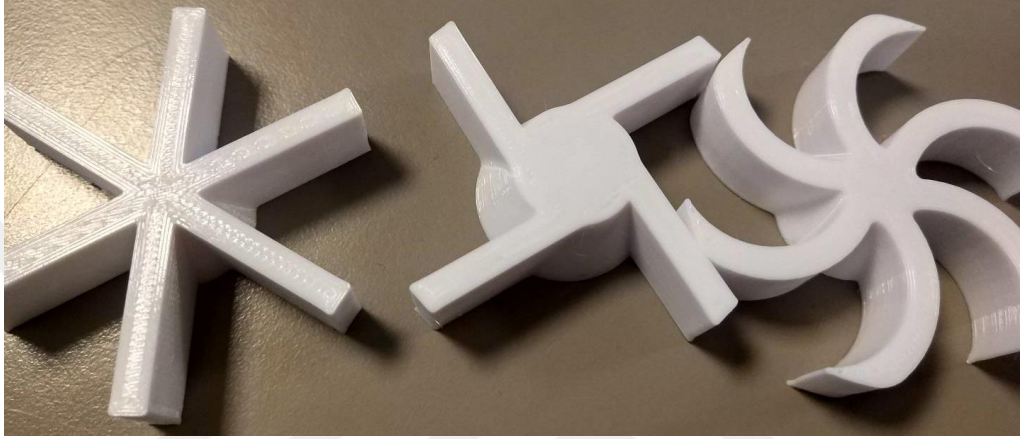
Numara	Parça İsmi
1	Pompa Hazne
2	Pompa Alt Bağlantı
3	Pompa Sızdırmazlık Bağlantısı
4	Pompa motor tutma braketi
5	Motor
6	Çark
7	M3 Düz Alyan Civata
8	M3 Somun
9	M2 Düz Alyan cıvata

Pompa tasarımı tamamlandıktan sonra CAD dataları step formatına çevrilerek 3B yazıcı çıktısı almak amacıyla CURA programı arayüzüne aktarılmıştır. CURA 3B yazıcılardan çıktı alınabilmesi için kullanılan bir arayüz programıdır. Şekil 4.13’te Cura programının arayüz görüntüsü verilmiştir. Bu program CAD datalarını dilimleme yaparak G-Code çevirmektedir. CURA programında çıktı ayarları yapılmıştır. 3B yazıcıda hammadde olarak PETG filamenti kullanılmıştır. Bu nedenle en iyi baskı sonucu alabilmek için 210°C nozzle sıcaklık derecesi ile baskı alınmıştır.



Şekil 4.13. Cura dilimleyici arayüzü

Tasarlanan pompa içerisine 3 farklı tipte çark tasarlanmıştır. Bu çarklar katmanlı üretim yöntemi ve pompamıza uygun olması için güncel kullanılan pompaların tasarımları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Çalışmada çarklar arasında verim karşılaştırılmaları yapılmamıştır. Buradaki farklı tipteki tasarımların amacı çarkların farklı olsa da kaplama sonrasında iyileştirme olacağını ispatlamak amacıyla yapılmıştır. Birbirinden farklı tiplerde çarklar seçilmiştir. Şekil 4.14'te 3B yazıcıdan üretilmiş pompa çarklarının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.14. 3D yazıcı baskısı çarklar

4.2.2. Pompa ve Çarkların Epoksi Kaplanması

3B yazıcıdan çıkan parçaların yüzey pürüzlülüğü iyileştirilmesi, dayanımının artırılması ve yüzeydeki hidrofobik özelliklerinin artırması için bu aşamada kaplama yapılacaktır. Şeffaf yüzey kaplama epoksisi alınarak parçaların yüzeyleri ilk önce katkısız bir şekilde kaplanacaktır. Şeffaf yüzey kaplama epoksisinin oranlarına uygun olarak 4:1 oranında plastik bir kap içerisinde karışımı yapılmıştır. Pompa çarkının su ile teması olan tüm bölümlere kaplama işlemi yapılacaktır. Kaplama yapılacak tüm yerler hava tutularak temizlenmiştir. Daha sonra yüzeyleri aseton ile silinmiştir. Yüzeylerin üzerinde herhangi bir yabancı madde olmaması için bu işlem yapılmıştır. Yüzey temizliği tamamlandıktan sonra ince fırça yardımıyla 3B yazıcı parça çıktıları olan pompa çark yüzeylerine düzgün bir şekilde sürülmüştür. Yüzeylerde epoksi birikmesi olmaması için ince bir katman atılmasına dikkat edilmiştir. Fazla sürülen bölgelerden epoksi kurumadan akma sırasında artıklar alınmıştır. Bu şekilde yapılan kaplama ile pompa çark yüzeyine katkısız şeffaf yüzey kaplama epoksisi uygulanmıştır. Pompa çark yüzeyleri 3 farklı yüzey özelliklerine

sahip kaplamasız yüzey (3B yazıcı baskısı yüzeyi), epoksi kaplamalı yüzey ve katkılı epoksi kaplamalı yüzey ile test edilecektir.

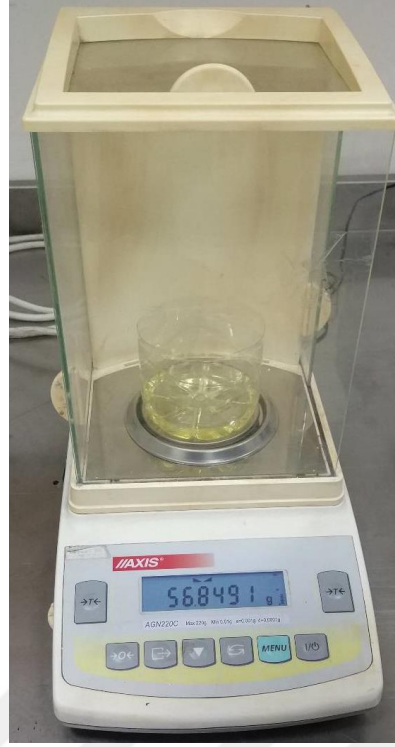
4.2.3. Pompa ve Çarkların Nanopartikül Katkılı Epoksi Kaplanması

3B yazıcıdan çıkan ürünlerin yüzey karakteristiğindeki hidrofobiklik katsayısını arttırmak amacıyla 2 farklı nanopartikül katkılı epoksi yüzey kaplaması yapılması hedeflenmiştir. 2 farklı nanopartikül ile yapılan kaplamalar sonucunda en iyi hidrofobiklik açığı veren toz cinsi ve toz oranını belirlenecektir. Çalışmalar Ondokuz Mayıs Üniversitesi laboratuvarında yapılmıştır.

Ön çalışma için 6 adet 3B yazıcıdan PETG filamentinden üretilmiş numune alınmıştır. Bu numunelerde katkılı epoksi ile yapılan kaplama sonucunda en iyi hidrofobiklik açığı veren nano toz ve oranını vermesi için ön hazırlık deneyi yapılmıştır.

Yüzey kaplama epoksisi içerisine kütleli olarak %3, %7.5 ve %10 oranlarında SiO₂ katkısı yapılacaktır. Literatürde yapılan araştırmalarda epoksinin içerisine kütleli olarak %10 oranından daha fazla nanopartikül toz oranı eklendiğinde partiküllerin epoksi içerisinde dağıtılamadığı görülmüştür. Bu nedenle %10'dan daha düşük oranlar tercih edilmiştir. SiO₂ katkılı epoksi yüzey kaplaması hazırlanışı şu şekildedir;

- 16 g şeffaf epoksi kaplama ve 4 g epoksi sertleştiricisi Şekil 4.15'teki hassas terazide tartımları yapılarak ayrı kaplarda 3 adet olarak hazırlanmıştır.
- Kütleli olarak SiO₂ %1, %3 ve %7.5 nano tozlar Şekil 4.15'deki hassas terazi yardımıyla tartılmıştır. Epoksi ve SiO₂ oranları Tablo 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.15. Hassas Terazi

Tablo 4.6. SiO₂ Karışım miktarları

	Epoksi Miktarı(g)	Sertleştirici Miktarı(g)	SiO ₂ Miktarı (g)
%3 SiO ₂ katkılı yüzey kaplaması karışımı	16	4	0.6
%7.5 SiO ₂ katkılı yüzey kaplaması karışımı	16	4	1.5
%10 SiO ₂ katkılı yüzey kaplaması karışımı	16	4	2

- Tartımı yapılan SiO₂ nanopartikülü beher içerisinde bir miktar etil alkol içerisine atılmıştır, manyetik karıştırıcı ile 10 dakika karıştırma işlemi yapılmıştır.
- Beher içerisindeki etil alkol ve SiO₂ nanopartikül karışımına ultrasonik karıştırıcı ile 1 saat boyunca karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu sayede SiO₂ nano toz homojen bir şekilde etil alkol içerisinde dağıtılmıştır.
- SiO₂ ve etil alkol bulunan beher içerisine tartımı yapılmış olan epoksi eklenmiştir. Burada epoksi sertleştiricisi eklenmemiştir.

- Beher içerisindeki etil alkol, SiO_2 ve epoksi karışımı 60°C sıcaklığa sabitlenmiş olan etüv içerisine atılmıştır. Etüv içerisinde beher içerisindeki karışım manyetik karıştırıcı ile karıştırma işlemi yapılmıştır. Etüv içerisinde 6 saat bekletilmiştir.
- Etüv içerisinden çıkarılan beher içerisinde etil alkol uçtuğu için epoksi ve SiO_2 karışım kalmıştır. Homojen bir şekilde SiO_2 nanopartikülleri epoksi içerisinde dağıtılmıştır.
- Beher içerisinde bulunan epoksi ve SiO_2 nanopartikülü 4:1 oranındaki epoksi sertleştiricisi ilave edilmiştir. 10 dakika boyunca beher içerisindeki karışım karıştırılmıştır.
- Beher içerisindeki karışım numunelerin üzerine ince fırça yardımıyla dikkatle sürülmüştür. Şekil 4.16'da kaplama yapımında birikinti oluşmaması için katlar ince bir şekilde sürülmeye özen gösterilmiştir.
- Kaplama yapılan numuneler 60°C etüv içerisinde kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 4.16. Numunelere katkılı epoksi uygulanması

Diğer nanopartikülümüz olan TiO_2 katkılı yüzey kaplaması için, içerisine kütleli olarak %3, %7.5 ve %10 oranlarında TiO_2 katkısı yapılmıştır. TiO_2 katkılı epoksi yüzey kaplaması hazırlanışı şu şekildedir;

- 16 g şeffaf epoksi kaplama ve 4 g epoksi sertleştiricisi hassas terazide tartımları yapılarak ayrı kaplarda 3 adet olarak hazırlanmıştır. Tartım için Şekil 4.15'teki gösterilen hassas terazi kullanılmıştır.

- Kütlesel olarak TiO₂ %1 , %3 ve %7.5 nanopartiküller Şekil 4.15'deki hassas terazi yardımıyla tartılmıştır. Epoksi ve SiO₂ oranları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. TiO₂ karışım oranları

	Epoksi Miktarı(g)	Sertleştirici Miktarı(g)	TiO ₂ Miktarı (g)
%3 TiO ₂ katkılı yüzey kaplaması karışımı	16	4	0.6
%7.5 TiO ₂ katkılı yüzey kaplaması karışımı	16	4	1.5
%10 TiO ₂ katkılı yüzey kaplaması karışımı	16	4	2

- Tartımı yapılan TiO₂ nanopartikülü beher içerisinde bir miktar etil alkol içerisine atılarak manyetik karıştırıcı ile 10 dakika karıştırma işlemi yapılmıştır.
- Beher içerisindeki etil alkol ve TiO₂ nanopartikülü karışımına ultrasonik karıştırıcı ile 1 saat boyunca karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu sayede TiO₂ nanopartikülü homojen bir şekilde etil alkol içerisinde dağıtılmıştır.
- TiO₂ ve etil alkol bulunan beher içerisine tartımı yapılmış olan epoksi eklenmiştir. Burada epoksi sertleştiricisi eklenmemiştir.
- Beher içerisindeki etil alkol, TiO₂ ve epoksi karışımı 60°C sıcaklığa sabitlenmiş olan etüv içerisine atılmıştır. Etüv içerisinde beher içerisindeki karışım manyetik karıştırıcı ile karıştırma işlemi yapıldı. Etüv içerisinde 6 saat bekletilmiştir.
- Etüv içerisinden çıkarılan beher içerisinde etil alkol uçtuğu için epoksi ve TiO₂ karışım kalmıştır. Homojen bir şekilde TiO₂ nanopartikülü epoksi içerisinde dağıtılmıştır.
- Beher içerisinde bulunan epoksi ve TiO₂ nanopartikülü 4:1 oranındaki epoksi sertleştiricisi ilave edilmiştir. 10 dakika boyunca beher içerisindeki karışım karıştırılmıştır.

- Beher içerisindeki karışım numunelerin üzerine ince fırça yardımıyla dikkatle sürülmüştür. Birikinti oluşmaması için katlar ince bir şekilde sürülmeye özen gösterilmiştir.
- Kaplama yapılan numuneler 60°C etüv içerisinde kurumaya bırakılmıştır.

Numuneler iki farklı katkılı nanopartikül ve farklı nanopartikül oranları kullanılarak epoksi karışım uygulanarak yüzeyleri kaplanmıştır. Yüzey kaplaması yapılan numunelerin temas açısı ölçümleri yapılmıştır.

Ölçüm sonuçları Bölüm 5.1’de detaylı olarak gösterilmiştir. Sonuçlara baktığımızda en iyi değerin kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplamanın en iyi hidrofobik özellik gösteren yüzey olduğu görülmüştür. Bu nedenle pompa çarkları kütleli ağırlığı %7.5 SiO₂ nanopartikül katkılı epoksi ile kaplanmıştır. Pompa çarklarının kaplama işlemi numunelerin kaplanmasında kullanılan metot ile tamamıyla aynı adımlar kullanılmıştır.

4.2.4. Performans Parametreleri İncelenmesi

3B yazıcı baskılarından pompa üretimi tamamlandıktan sonra yüzey kaplama işlemleri tamamlanmıştır. Çalışmada yapılan işlemlerin ardından pompa verimi, pompa yüzeylerin hidrofobiklik ölçüsü, 3B yazıcı baskılarının mukavemet değerleri, yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için deneyler ve ölçümler aşağıda verilen başlıklarda anlatılmıştır.

4.2.4.1. Yüzey Pürüzlülük Analizi

Çalışmada kaplama öncesinde ve sonrasında yüzey pürüzlülüğünü incelemek için deneysel yöntem kullanarak karşılaştırma yapılacaktır. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için Şekil 4.17’de gösterilen “Roughness Tester PCE-RT2000” ölçüm makinesi kullanılarak analiz yapılmıştır. 3B yazıcılardan alınan çıktılar kaplama öncesi ve sonrasında deney düzeneği kurularak her parçanın 5 farklı bölgesinden, her bölgede 5 farklı ölçüm yapılmıştır.



Şekil 4.17. Roughness Tester PCE-RT2000 Cihazı

Kullanılacak olan ölçüm cihazı tüm yüzeylerde kullanılabilir. Cihaz piezo sensörü aracılığı ile yüzeylerin üzerindeki pürüzlülüğü hassas bir şekilde kaydetmektedir. Cihaz Ra, Rq, Rsm, Rsk, Rz, Rt, Rp, Rv, Rc aralıklarında ölçüm yapabilmektedir bu sayede kalite güvencesinde evrensel pürüzlülük cihazı olarak kullanılabilir. Cihazın özellikler Tablo 4.8’de verilmiştir.

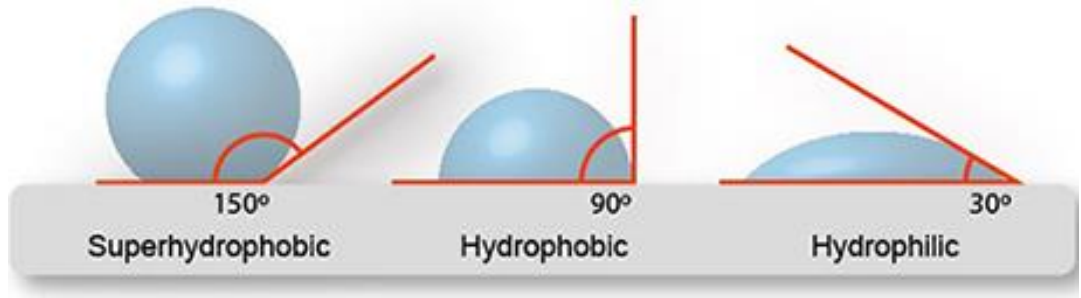
Tablo 4.8. Test cihazı özellikleri (<https://www.pce-instruments.com/>)

Özellik	Değer
Kalem Ucu Yarı Çapı	5 μm
Malzeme Kalem Ucu	90° Elmas
Standartlar	ANSI B46.1/ASME B46.1 (DIN EN ISO 4287)
Ölçüm Doğruluğu	$\pm 10\%$
Birimler	μm / μin
Ölçüm Aralıkları	Ra, Rq, Rc: 0,005 μm ... 16 μm
	Rz, Rt, Rp, Rv: 0,02 μm ... 200 μm
	Rsm: 5 μm ... 1000 μm
	Rsk: -1 ... 1

4.2.4.2. Temas Yüzeyi Açısı Ölçümü

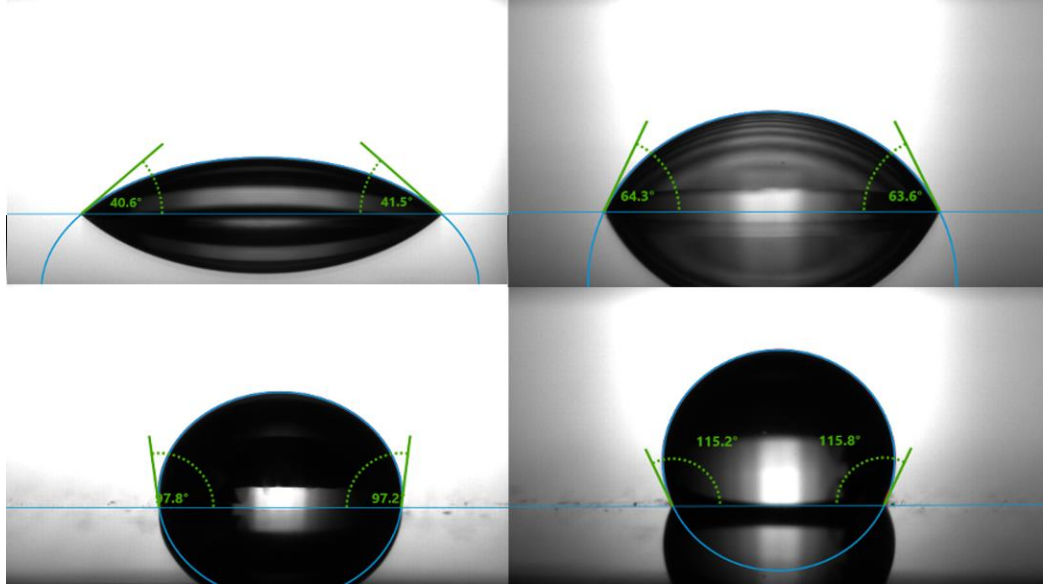
3B yazıcı baskılarının kaplama öncesi ve sonrasında hidrofobik veya hidrofilik olduğunu anlamak için yüzeye su damlası bırakılarak, su damlacığının yüzey ile yaptığı temas açısına bakılacaktır. Temas açısı(θ), $\theta < 90^\circ$ ise yüzey hidrofilik

yüzeydir. $90^\circ < \theta < 120^\circ$ ise yüzey hidrofobiktir. $120^\circ < \theta < 150^\circ$ ise yüzey ultra hidrofobiktir. $150^\circ < \theta$ ise yüzey süper hidrofobiktir. Şekil 4.18’de temas açıları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Yüzey temas açısı (<https://www.nordson.com/>)

Temas yüzeyindeki su damlacığının net bir şekilde yaptığı açıyı görmek için 108MP kameraya sahip fotoğraf makinesinden makro çekim yapılmıştır. Yapılacak çekim sonrasında yüzeye paralel çizim yapılarak temas açısı belirlenecektir. Örnek su damlacık testinde çekilmiş temas açısı ölçümler Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. Örnek temas açısı ölçümü (<https://www.morphotonics.com/>)

4.2.4.3. Çekme Testi

3B yazıcı baskısından pompa parçaları üretilmiştir. Bu parçaların güncel pompalarda kullanılabilirliğini araştırmak ve incelemek için malzemenin dayanımı çok önemlidir. Bu nedenle 3B yazıcı baskısında kullanılan PETG hammaddesinden

çekme numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler çekme testinde kullanılmıştır. Çekme testinde numune tek eksenle kopana kadar çekme kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. Bu sayede numunenin maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve alandaki azalmaları hakkında sonuçları öğrenilmiştir. PETG malzemesinden 3B yazıcı baskısıyla üretilen malzemelerin epoksi kaplama ve katkılı epoksi kaplama sonrasında değişimleri karşılaştırılmıştır.

Çekme testi için Şekil 4.20'deki Mares Tst-10 t Universal makinesi kullanılmıştır. Çekme testi yapılacak numune makinenin alt ve üst çenesine düzgünce oturturulmuştur. Numunenin kavrandığı çeneler arası mesafe ölçülmüştür ve işaretlenmiştir. Kontrol ünitesindeki kuvvet ve uzama göstergeleri sıfırlanmıştır. Kontrol ünitesine başlangıç boyu ve kesit tipi girildikten sonra test hızı 10 mm/dak, ön yük hızı 2mm/dak, ön yük 4Mpa alınarak test yapılmıştır.



Şekil 4.20. Mares Tst-10t çekme makinesi Ondokuz Mayıs Üniversitesi Laboratuvarı

Çekme testi sırasında numunede oluşan dezenformasyon verileri aşağıda verilen Denklem 4.1 ile belirlenir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4.1)$$

ΔL numune boyundaki uzama, L_0 numune başlangıç uzunluğu ve L numunenin son uzunluğudur. Aşağıdaki Denklem 4.2’de kuvvet verileri kullanılarak numunenin gerilmesi, σ hesaplanmaktadır (Kamer et al. 2022).

$$\sigma = \frac{F_n}{A} \quad (4.2)$$

4.2.4.4. Pompa Performans Deney Düzeneği

Yüzey üzerindeki hidrofobik etkinin santrifüj pompaların performansına etki ettiğini ispatlamak ve yapacağımız yüzey kaplamasının santrifüj pompa üzerindeki etkilerini incelemek için bir deney düzeneği kurulmuştur. 3B yazıcıdan PETG hammaddesi kullanılarak santrifüj pompanın tüm parçalarının üretimi yapılmıştır. Pompa çarkını tasarım aşamasında 3 parçaya bölerek tasarımı yapılmıştır. Pompa çarkına kaplama yapımı sırasında kolaylık olması için ve katmanlı üretim metoduna uygun üretim kolaylığı olması açısından 3 parçaya bölünerek üretimi yapılmıştır. Pompa çarklarına uygun seçilen yüzey kaplamaları yapıldıktan sonra yapıştırılarak birleştirilmiştir. Pompa parçaları Şekil 4.21’de gösterildiği gibi 3B yazıcıda baskısı alınmıştır. Pompa çarkları parçası Şekil 4.22’de gösterildiği gibi montajlanmıştır.



Şekil 4.21. 3 parça halinde üretilen çark



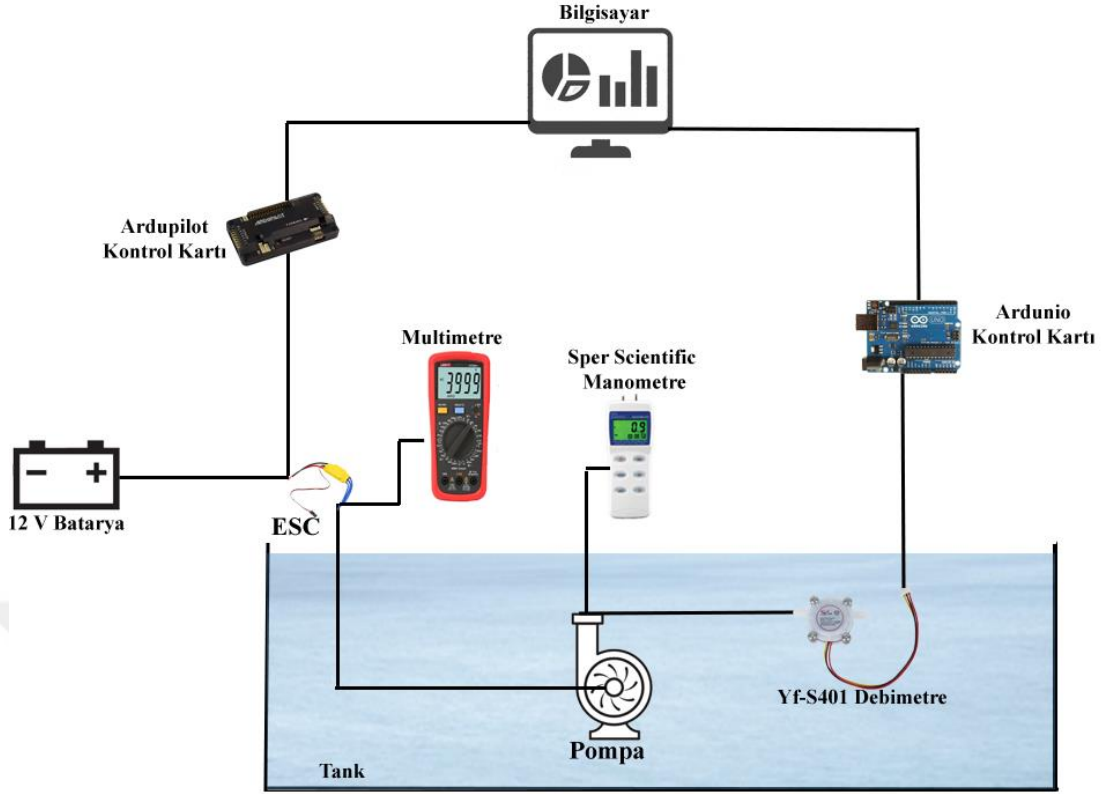
Şekil 4.22. Birleştirilmiş pompa çarkları

1000 KV fırçasız DC motor, pompa motor tutma braketine M2 alyan başlı cıvatalar ile tutturulmuştur. Pompa motorunun miline pompa çarkı takılır. Pompanın diğer parçalarında sızdırmazlık bağlantıları tamamlandıktan sonra pompanın montajı Şekil 4.12’de gösterildiği gibi yapılır. Pompa motorunu elektronik olarak hızı ve devrini ayarlayabilmek için ESC (fırçasız motor sürücüsü) motora bağlantısı yapılmıştır. ESC’nin diğer bağlantı kabloları kontrolcümüz olan arduino tabanlı ardupilot kontrol kartına ve 3S 5000 mAh Li-Po pile bağlantısı yapılmıştır. Ardupilot kontrolcümüz üzerinden pompa motoru bilgisayara bağlanmıştır. Bilgisayarda Şekil 4.23’de gösterilen Mission Planner programı, pompa motoruna istenilen devir ve çalışma süresini ayarlamak için kullanılmıştır. Pompanın çalışma sırasında Li-Po pilden çektiği akımı ölçmek için ESC’nin pil ile bağlantısı olan bölüme multimetre bağlanmıştır. Bu bağlantı sayesinde motorun çalışma sırasında harcadığı akım bulunmuştur. Bu bağlantı Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Mission Planner motor test bölümü

Deney düzeneği Şekil 4.24'deki gibi kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde pompa su dolu kap içerisine yerleştirildiğinde düzenli bir şekilde çalışmaktadır. 3B yazıcısından üretimi yapılan pompanın performans parametreleri pompa deney düzeneği ile ölçülecektir.



Şekil 4.24. Deney düzeneği kurulumu



Şekil 4.25. Sper Scientific manometre cihazı

Pompa çalışma deney düzeneğinde pompa performansını ölçmek için pompa çıkışından ölçümler alınacaktır. Pompa çıkışındaki basınç farkı değişimini ölçmek için Şekil 4.25’deki Sper Scientific Manometer cihazı kullanılarak pompanın basınç değişimi (ΔP) pompa çıkış basıncı ve giriş basıncı arasındaki fark ölçülmüştür. Cihazın teknik dökümanına bakıldığında $\pm\%2$ ölçüm hassasiyeti mevcuttur.

(Denklem 4.3) Basınç değişimi Denklem 4.4’de gösterilmiştir. Sper Scientific Manometre cihazının ölçüm sonucu ile ΔP bulunmuştur. Bulunan değer Denklem 4.5’de $P_{hidrolik}$ bulmak için kullanılmıştır (Özbey et al. 2021).

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (4.3)$$

$$P_2 - P_1 = \rho \times g \times H_m \quad (4.4)$$

$$P_h = \rho \times g \times H_m \times Q \quad (4.5)$$

Denklemdeki $Q(m^3/s)$ olarak gösterilen debi değerini pompa deneylerinde saptanması için, Şekil 4.26’da gösterilen Su Akış Sensörü YF-S401 debimetre kullanılmıştır. Debimetre cihazının teknik dökümanına bakıldığında $\pm\%3$ ölçüm hassasiyeti mevcuttur. Debimetre pompa çıkışına bağlantısı yapılmıştır. Debimetrenin veri akışı için kullanılan kabloları Arduino’ya bağlantısı yapılmıştır. Debimetrenin ölçüm debi değerini okumak için Arduino’nun bilgisayar bağlantısı yapılmıştır. Bu sayede pompanın debisini ölçerek, bilgisayar ekranından debi değerleri saptanabilecektir. Deney düzeneğinde her test için arka arkaya ΔP ve Q değerleri saptanmıştır. Denklemde yerlerine yerleştirildiğinde pompanın basma yüksekliği olan H_m bulunmuştur.



Şekil 4.26. YF-S401 debimetre

Pompa elektriksel gücü, verilen elektrik gücünün pompa girişine aktardığı güçtür. $P_{elektriksel}$ gücü bulmak için Denklem 4.6’da verilen formül kullanılmaktadır. Pompayı sürmek için kullanılan ESC’nin pil ile bağlantısı arasındaki bölümden multimetre yardımıyla akım değeri (I) ölçülmüştür. Akım değerinden pompa

elektriksel gücünü bulmak için pilin voltajı (V) ile çarpılmıştır. Bu güç bazı kayıplara uğramaktadır. Bu nedenle teknik dokümantasyonunda verilen değer ile $P_{elektriksel}$ güç çarpılarak P_{mek} elde edilir. Denklem 4.7’de pompa mekanik güç elde edilmiştir.

$$P_{elektriksel} = V \times I \quad (4.6)$$

$$P_{mek} = 0.95 \times P_{elektriksel} \quad (4.7)$$

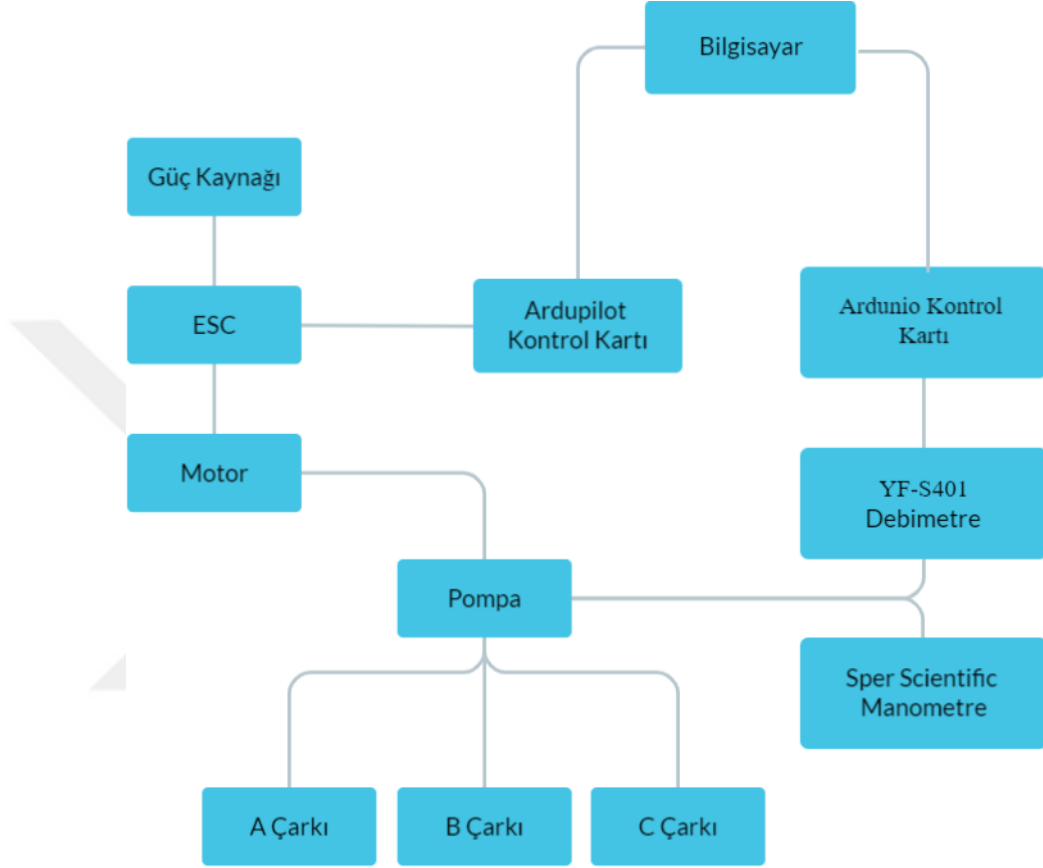
Deney düzeneğinden alınan veriler ile Denklem 4.5’de pompa hidrolik gücü ve Denklem 4.7’da pompa mekanik gücü hesaplanmıştır. Bu verileri Denklem 4.8’de kullanılarak pompa verimi(η) hesaplanmıştır (Sarıgül and Yumurtacı 2010).

$$\eta = \frac{P_h}{P_{mek}} \quad (4.8)$$

Hazırlanan deney düzeneği sayesinde üretimi yapılan pompanın çarklarına yapılan kaplama öncesi ve sonrasında, pompanın verimine, pompa basma yüksekliğine ve pompa debisine etkilerini deneysel yöntemle incelenebilecektir. Bu sayede pompa çarklarının yüzeyinde hidrofobik yüzey oluştuğunda pompa performansına etkileri deneysel yöntemle incelenecektir.

Deney düzeneğinin Şekil 4.24 ve Şekil 4.27’de akış diyagramı ile anlatılmıştır. Genel olarak deney düzeneği şu şekilde çalışacaktır; Pompanın montajı Şekil 4.12’de gösterildiği gibi montajlanacaktır. Pompa test sırasında uygun olan A,B veya C çarkının kaplamasız, epoksi kaplamalı veya katkılı epoksi kaplamalı olarak hazırlanan çarklar deney sırasıyla montajı yapılacaktır. Pompanın motoru ESC yardımıyla bilgisayar üzerinden kontrol edilecektir. Bu kontrol sırasında pompaya verilen akım değeri ESC’den multimetre yardımıyla ölçülecektir. Pompa motoruna 12V pil yardımıyla güç verilecektir. Multimetreden alınan ölçüm $P_{elektriksel}$ ’i hesaplamada kullanılacaktır. Pompa çalıştıktan sonra, debi ve basınç değişimi ölçülecektir. Debi değerini hesaplamak için YF-S401 debimetre arduino ile bağlantısı yapılarak bilgisayara bağlanacaktır. Debimetrenin pompa çıkışına bağlantısı yapılarak pompanın debi değeri pompa çalışma sırasında bilgisayardan okunabilecektir. Debi değeri ölçüldükten sonra, pompa giriş ve çıkış basıncı farkını bulmak için Sper Scientific Manometre cihazı pompa giriş ve çıkışına bağlanacaktır. Pompa giriş ve çıkış basıncı arasındaki değişim basıncı bu bölümde ölçülecektir. Bulunan değerler P_h değerini hesaplamak için kullanılacaktır. Debi ve pompa basınç

değişimi ölçümleri aynı şartlarda yapılarak sonuçlara ulaşılabacaktır. Pompaya bir çarkın performans testleri sırasında %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 güçler verilerek deneyleri yapılacaktır. Hazırlanan 3 farklı tipte, 3 farklı özellikte 9 adet çarkın pompa performans deneyleri yapılarak yüzeye uygulanan kaplamanın pompa performansına etkileri incelenecektir.



Şekil 4.27. Deney düzeneği algoritması

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılmış olan bu tez çalışması kapsamında santrifüj pompaların en önemli yapısı olan çarkların yüzey işlemi yapılarak performans artırımı araştırılmıştır. Ayrıca pompa üretim ve kalıp maliyetlerini azaltmak için PETG malzemesinden 3B yazıcı yardımıyla pompa ve pompa parçalarının üretimleri yapılmıştır.

3B yazıcıdan üretilen pompanın maliyet incelemesi Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Pompa üretim maliyeti

Pompa Üretiminde Kullanılan Kaynaklar	Birim Maliyeti	Harcanan Miktar	Maliyeti
PETG Filament	13.3 \$ - kg	0.125 kg	1.663 \$
3B Yazıcı Elektrik tüketimi	0.092 \$ - kWh	5 kWh	0.46 \$
Epoksi ve Sertleştirici	16 \$ - kg	0.025 kg	0.4 \$
SiO ₂ Nanopartikülü	190 \$ - kg	0.015	2.85 \$
TOPLAM MALİYET			5.373 \$

Piyasadaki muadili olan pompaların ortalama üretim maliyetleri 8-16\$ olduğu görülmüştür. Hazırladığımız yöntemin piyasadaki pompalarla rekabet edebileceği Tablo 5.1’de gösterilen maliyet tablosuyla ortaya koyulmuştur.

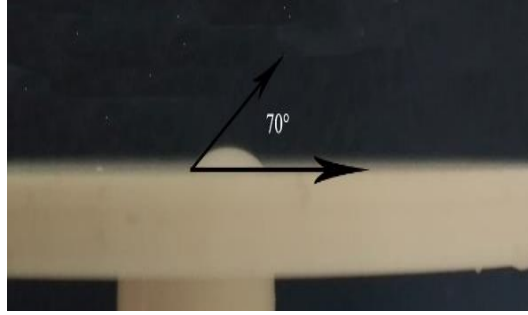
Pompa ve parçaları 3B yazıcıdan üretimi sonrasında muadillerine uygun bakılan pompa fiyatlarına nazaran düşük maliyetli çıkmıştır. Fakat üretim sırasındaki baskı süresi uzun saatler aldığından dolayı bu dezavantajı vardır. 3B yazıcı teknolojilerinin baskı hızı arttırmak amacıyla yapılan çalışmalar çok yaygınlaşmıştır. Bu çalışmalar sonuç verdiğiğinde 3B yazıcı baskılarını her alanda etkin bir şekilde kullanabileceğiz.

5.1. Yüzey Kaplamanasının Hidrofobik Özellik Bulguları

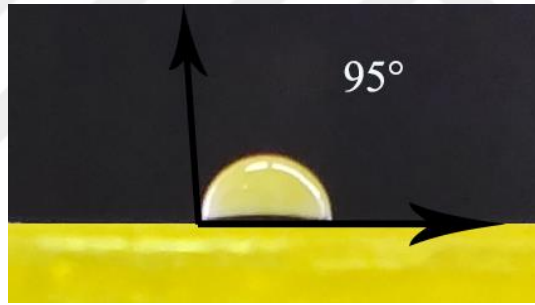
Pompada kullanılmak üzere 3B yazıcıdan PETG hammaddesi kullanılarak üretimi yapılan pompanın, hidrofobik yüzey etkisini incelemek için katkılı ve katkısız epoksi kaplama yapılmıştır. Katkılı olan kaplamalarda 2 farklı nanopartikül cinsi ve her nanopartikül cinsinden 3 farklı oranla kaplamalar yaparak en iyi sonuç

veren oranı araştırdık. 8 farklı yüzeyde ölçüm yapmak için 8 adet numune üretilmiştir.

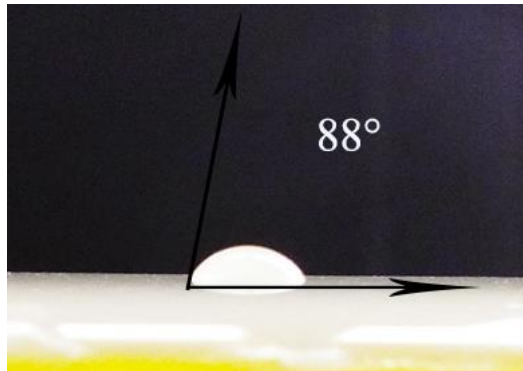
Hidrofobik yüzey kriterini belirlemek için yüzeye damlatılan su damlacığının yüzey ile yaptığı temas açısına bakılmaktadır. 8 adet yüzeyin yaptığı temas açıları makro çekimli kamera ile çekilerek Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.



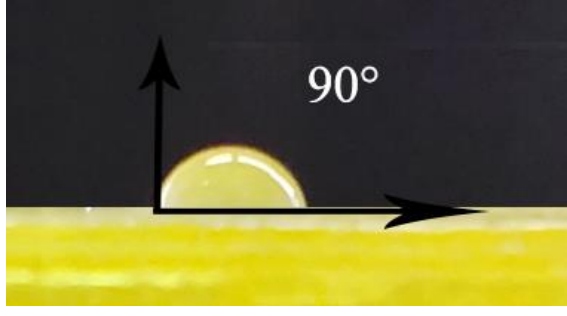
Şekil 5.1 Petg baskısının su damlacık testindeki temas açısı



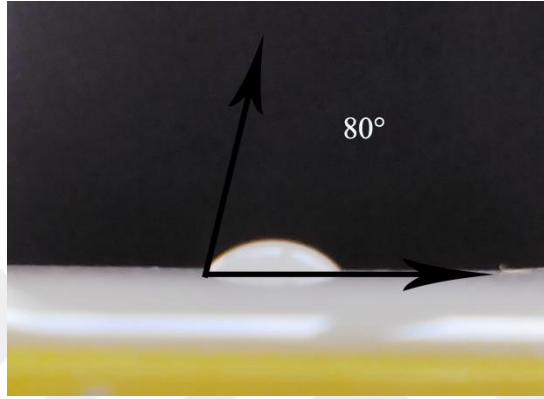
Şekil 5.2. Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı



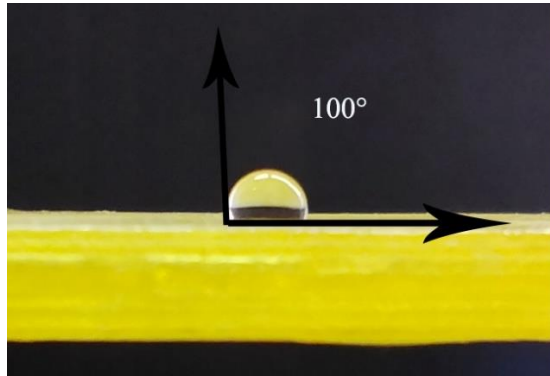
Şekil 5.3. %3 TiO₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı



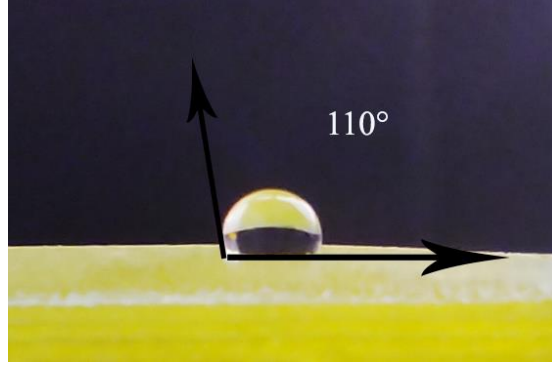
Şekil 5.4. %7.5 TiO_2 katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı



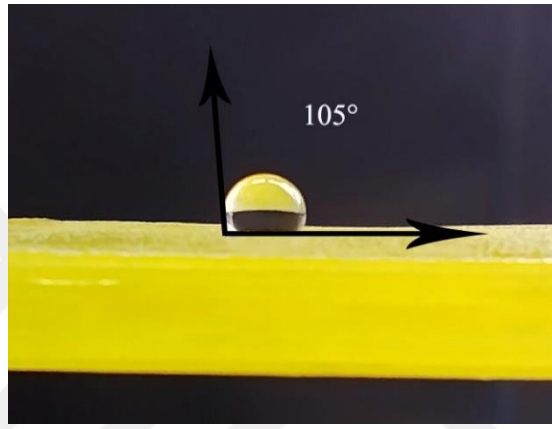
Şekil 5.5. %10 TiO_2 katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı



Şekil 5.6. %3 SiO_2 katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı



Şekil 5.7. %7.5 SiO₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı



Şekil 5.8. %10 SiO₂ katkılı Epoksi yüzey kaplaması sonrası su damlacık testindeki temas açısı

Tablo 5.2. Numunelerin yüzey ile yaptığı temas açısı

Numune Numarası	Katkı Oranı ve Nanopartikül cinsi	Su Damlacık Deneyinde Yüzey ile Yaptığı Temas Açısı
1	Katkısız sade 3B yazıcı baskısı numunesi	70°
2	Sade epoksi kaplamalı numune	95°
3	%3 TiO ₂ epoksi katkılı numune	88°
4	%7.5 TiO ₂ epoksi katkılı numune	90°
5	%10 TiO ₂ epoksi katkılı numune	80°
6	%3 SiO ₂ epoksi katkılı numune	100°
7	%7.5 SiO ₂ epoksi katkılı numune	110°
8	%10 SiO ₂ epoksi katkılı numune	105°

8 adet numunenin yüzeyine su damlacığı damlatılmıştır. Damlatılan su damlalarının yüzey ile yaptığı temas açılarına makro ölçekli kamera ile bakılarak temas açılarına bakılmıştır. Tablo 5.2’de temas açısı ölçüm sonuçları listelenmiştir. Numunelerin en iyi sonucunu gösteren değer ile pompa çarkları kaplanmıştır. Hazırlanan 8 farklı numuneden en iyi temas açısını yani en iyi hidrofobik özellik gösteren yüzey kaplamasının kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkılı epoksi yüzey kaplaması olduğu görülmüştür. Pompa çarkları bu oranda hazırlanmış katkılı epoksi ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi için bölüm 4.2.3’te yer alan kaplama işlemine göre pompa çarkları ince bir şekilde kaplanmıştır. Kaplama yöntemi ve yapılışı Bölüm 4.2.3’teki numunelerin kaplaması yöntemiyle aynıdır.

5.2. Yüzeylerin Pürüzlülük Analizi Bulguları

3B yazıcıdan PETG malzemesi ile üretimi yapılan pompa parçalarının kaplamalı ve kaplamasız olarak farklı yüzey karakteristiklerine sahip pompa yüzeylerimiz mevcuttur. Bu farklı karakteristikteki pompa yüzeylerinin pürüzlülük değerlerini ölçmek için Şekil 5.9’daki Roughness Tester PCE-RT 2000 cihazı kullanılmıştır.



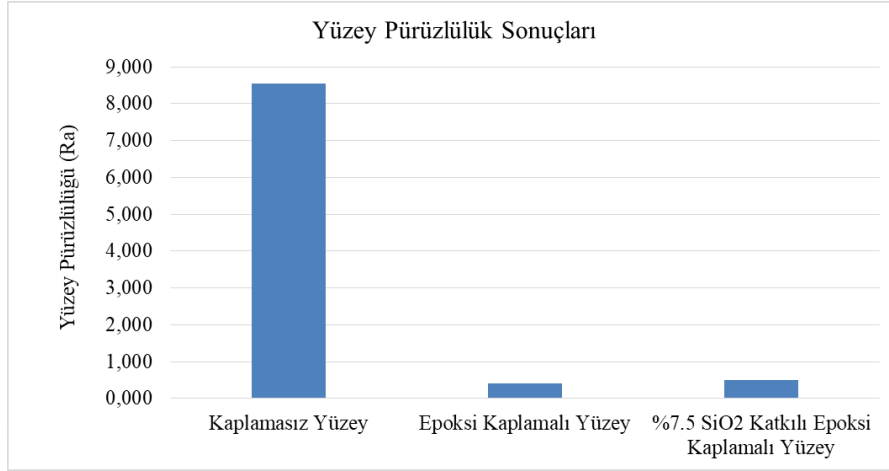
Şekil 5.9. Yüzey pürüzlülük ölçümü

Kaplamasız olan pompa yüzeyi, epoksi kaplamaya sahip pompa yüzeyi ve kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplamalı yüzeylerden alınan numunelerin yüzey pürüzlülüklerine bakılmıştır. Numunelerin 3 farklı bölgesinden 10’ar defa yapılan ölçümlerin ortalama sonuçları Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri

Numune	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonucu (Ra)
Kaplamasız yüzey	8.555 µm
Epoksi Kaplamalı Yüzey	0.414 µm
%7.5 SiO ₂ katkılı Epoksi Kaplamalı Yüzey	0.510 µm

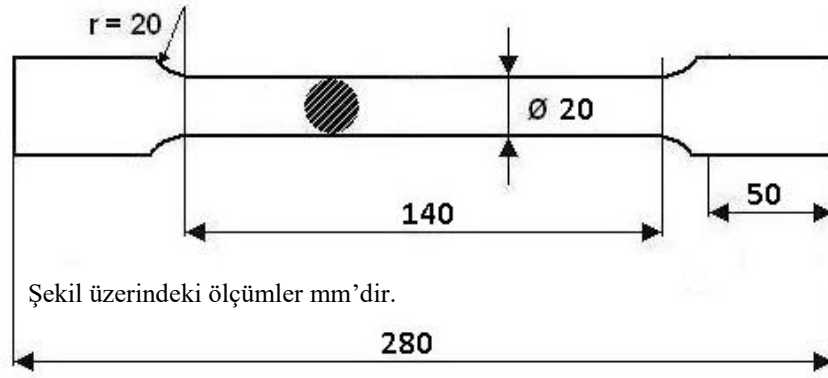
3B yazıcı baskısından çıkan malzemenin yüzey pürüzlülüğü epoksi kaplama sonrasında Şekil 5.10'daki grafikte görüldüğü gibi ciddi oranda iyileşme olduğu görülmüştür.



Şekil 5.10. Yüzey pürüzlülük sonuçları

5.3. Çekme Testi Bulguları

3B yazıcı baskısından üretilen pompaların daha avantajlı olabilmesi için mukavemet değerlerinin de artırılması gerekmektedir. Kullanım sırasında dayanımı ve uzun ömürlü olması daha avantajlı bir hale getirecektir. Kaplamasız ve kaplamalı numunelerin arasındaki mukavemet farklılıklarını görmek için çekme testi yapılmıştır. Ondokuz Mayıs Üniversitesi laboratuvarında bulunan Mares Tst-10 t Universal makinesi ile çekme testi yapılmıştır. Çekme testi için cihaza uygun Şekil 5.11'de teknik çizimi verilen numune üretilmiştir. Şekil 5.12'de üretilen numuneler verilmiştir. 6 adet kaplaması olmayan numune, 6 adet epoksi kaplaması olan numune ve 6 adet SiO₂ katkılı epoksi kaplamalı numune olmak üzere 18 adet numune üretilmiştir.



Şekil 5.11. Çekme numunesi ölçüleri

Hammaddemiz olan PETG malzemesinin teknik özellikleri incelendiğinde verdiği çekme testi sonuçları Tablo 4.1’de 50 MPa olarak verilmiştir. Fakat bu sonuç 3B yazıcı baskısı, saklama koşulları, baskı sıcaklığı gibi birçok etkeni göz önünde bulundurursak bizim üretim yöntemimizde farklılık olabileceği açısından kaplamasız olarak da sonuçları almak için numune üretilmiştir.

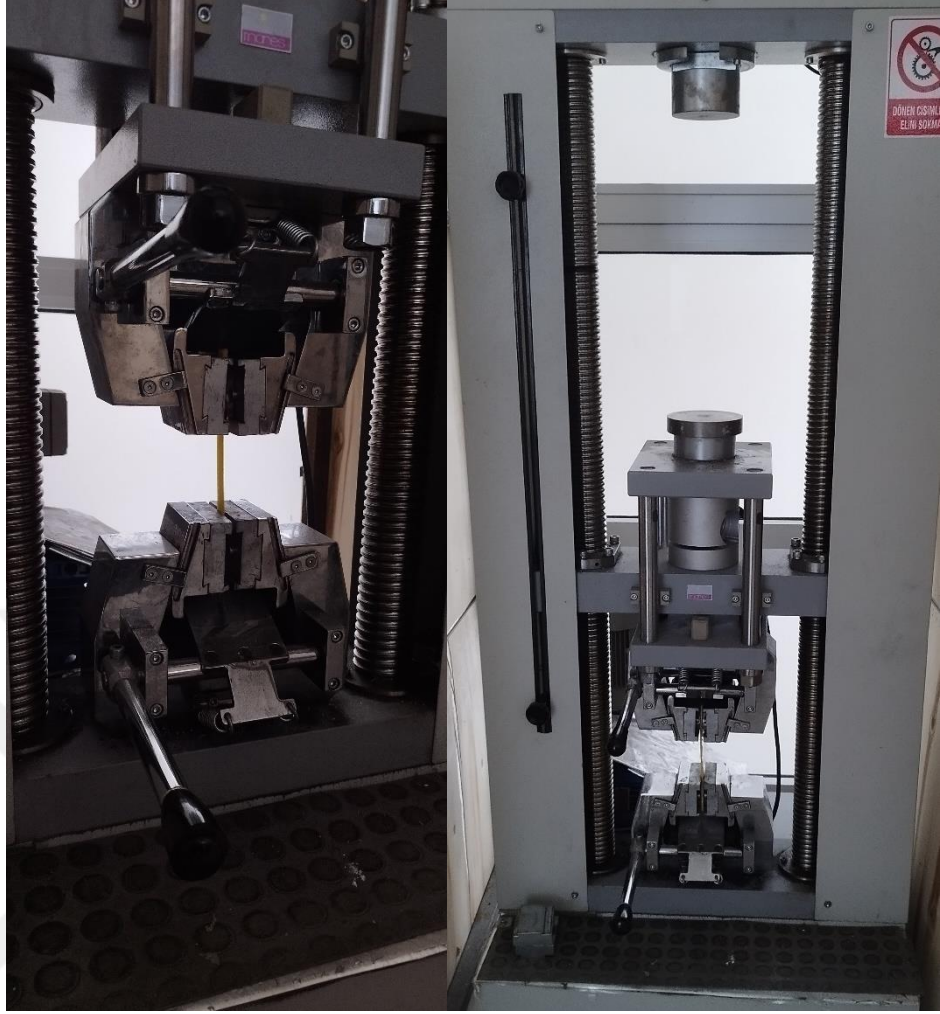


Şekil 5.12. Çekme testi numuneleri

18 adet numunenin sırasıyla Şekil 5.13’deki çekme testi makinesi ile çekme testleri yapılmıştır. Yapılan testlerde kendi aralarında numunelerin ortalamaları alınarak aşağıdaki Tablo 5.4’te hazırlanmıştır.

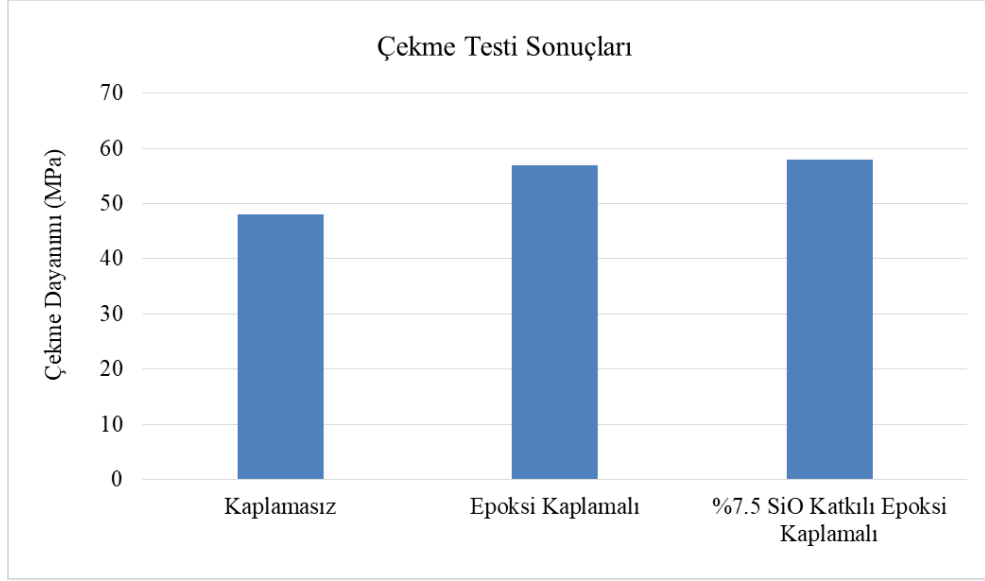
Tablo 5.4. Çekme testi ölçüm değerleri

Numune Adı	Çekme Testi Sonucu (MPa)
Kaplamasız	48
Epoksi Kaplamalı	57
%7.5 SiO ₂ katkılı Epoksi Kaplamalı	58



Şekil 5.13. Çekme testi düzeneği

Tablo 5.4'te görüldüğü üzere kaplamasız olan 3B baskı ile PETG hammaddesinden üretilen numune, epoksi kaplama sonrasında çekme dayanımında %15 iyileştirme gösterdiği görülmüştür. 3B baskı ürünlerinin düşük dayanımları epoksi kaplama sayesinde arttırılarak kullanım ömrünü uzatabilecektir. Bu sayede piyasada kullanılabilirliği arttırılmıştır. Fakat yapılan SiO₂ katkılı epoksi kaplamadaki SiO₂ nanopartikülünün etkisinin çok olmadığı görülmüştür (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Çekme testi ölçüm değerleri

5.4. Pompa Performans Bulguları

3B yazıcıdan PETG hammaddesi ile özgün tasarıma sahip bir pompa ve pompa parçaları üretilmiştir. Burada üretilen pompa muadilleri ile kıyaslandığında uygun maliyetli ve 3B yazıcıdan üretilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Pompa ve pompanın parçaları Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Pompanın çalışması için çarka mil yardımıyla direk bağlı 1000 KV fırçasız DC motor kullanılmıştır. Bu motora bağlı sürücüsü (ESC) sayesinde motorun hız kontrolü yapılabilmektedir. Klasik pompa deneylerinde pompa gücü sabit tutularak pompa çıkışındaki kısılma vanası ile pompa çıkışındaki akışkanın hızını ve basıncını değiştirerek testler yapılmıştır. Bizim hazırladığımız çalışmada bu yöntem yerine pompa motoruna farklı akımlar verilerek pompa çıkışında ve pompanın harcadığı güce bakarak pompa performansındaki değişimleri yorumladık. Hazırladığımız tez kapsamında şunları araştırmayı hedefledik;

- 3B yazıcı baskısı pompanın kullanılabilirliği
- Hidrofobik yüzeylerin pompa performansına etkisi

Başlıkları altında bu maddeler araştırıldı. Pompa 3 farklı çark tipinde ve 2 farklı yüzey tipinde performanslarına bakıldı. Farklı çark tiplerinin birbirleri arasındaki performansı bu tez kapsamında değerlendirilmemiştir. Buradaki amaç çark tipi farklı olsa da hidrofobik yüzeyin pompa performansında etkili olduğu belirlenmiştir. Pompa, çarkının değişim işleminin uygulanabilir olması için işlevsel bir tasarım yapılmıştır. Deneyler sırasında pompa çarkları değiştirilerek ölçümler yapılmıştır.



Şekil 5.15. 3D Baskı Üretimi Santrifüj Pompa

3 farklı santrifüj pompa çarkı kullanılmıştır. Pompa montajı yapıldıktan sonra Şekil 5.15'teki gibi olmuştur. Pompa çarkları Şekil 5.16'da gösterildiği gibi isimlendirilmiştir.



Şekil 5.16. Çark isimlendirilmeleri

Deney düzeneğimiz Bölüm 4.2'de detaylıca anlatılmıştır. Pompa çalışması sırasında anlık olarak çektiği akım multimetre ile okunmuştur. Sabit 12V pile verdiğimiz için buradan pompanın gücünü hesaplanmıştır. Fakat buradaki pompanın $P_{elektriksel}$ gücüdür. Motor teknik kataloğunda motor veriminin %95 olduğu verilmiştir. Bölüm 4.2.4.4'de Denklem 4.6 yardımıyla $P_{elektriksel}$ gücü hesaplanmıştır. Pompanın verimi göz önünde bulundurulunca Bölüm 4.2.4.4'deki Denklem 4.7'deki işlem yapılarak P_{mek} hesaplanmıştır.

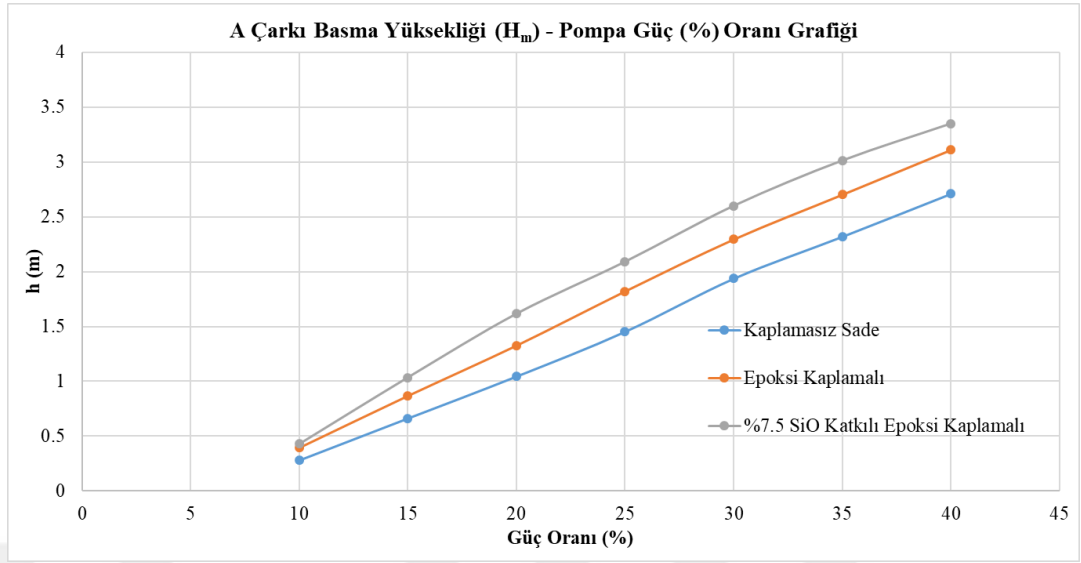
Santrifüj pompanın performansını incelemek için pompanın akışkanı bastığı yükseklik olan H_m değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değeri bulmak için Bölüm 4.2.4.4'deki Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 kullanılmıştır. Bu denklemdeki debi (Q), pompa basma yüksekliği (H_m) pompa performans ölçüm deneylerinde bulunmuştur. Pompa performans deneylerinde pompa debisini bulmak için YF-S401 debimetre kullanılmıştır. Pompa çıkışına takılan YF-S401 debimetresi ölçüm sonuçlarını Arduino kontrol kartı üzerinden bilgisayarda okunmuştur. Bu sayede pompanın debisi ölçülmüştür. Denklemdeki diğer bulunması gereken değer $P_{hidrolik}$ değeridir. Bu değeri bulmak içinde pompa çıkış ve pompa girişine Sper Scientific manometre cihazı bağlanarak pompa basınç değişimi ΔP ölçülmüştür. (Denklem 4.3) Yapılan deneylerde pompa çıkışından alınan veriler ile Denklem 4.5 kullanılarak P_{hid} bulunmuştur. Bu iki değer aynı şartlar ve koşullar korunarak ölçülmüştür. Deneyler A,B ve C çarkının kaplamasız, epoksi kaplamalı ve %7.5 SiO_2 katkılı epoksi kaplamalı olmak üzere 9 farklı deney yapılmıştır. Her deney 5 defa tekrarlanmıştır. Sonuçlarda tekrarlanan deneylerin ortalaması alınarak sonuçlar çıkarılmıştır.

Pompa deneyleri için Şekil 5.17'de gösterilen A çarkı pompaya montajlanarak pompa deney düzeneği hazırlanmıştır. Performans deneyleri için pompaya %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 güç verilmiştir. Verilen güç oranlarıyla pompanın debi(Q), P_{hid} , pompa basma yüksekliği (H_m), P_{mek} , akım(I) ve verim(η) bulunmuştur.



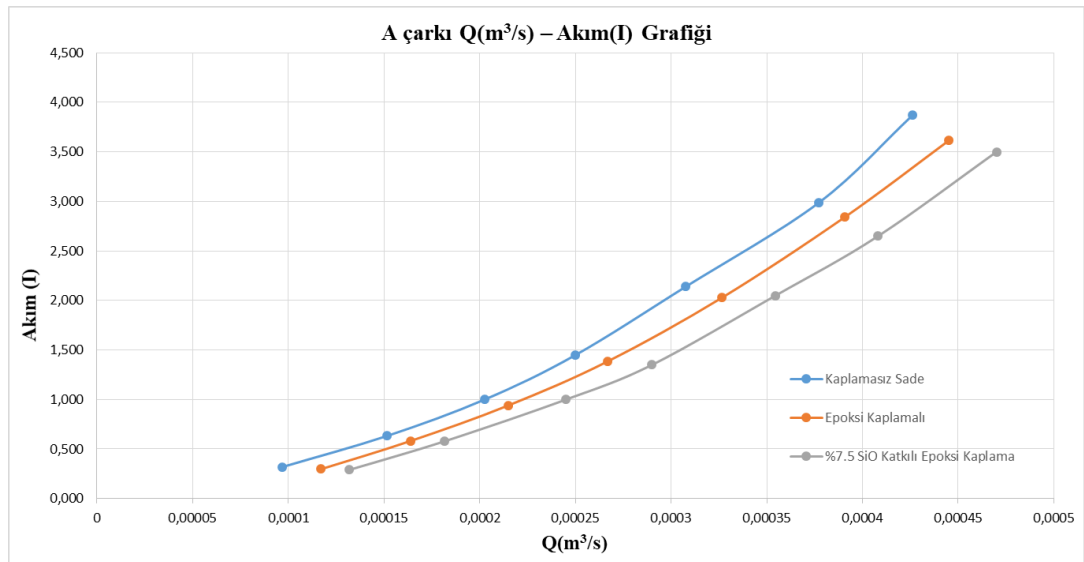
Şekil 5.17. A Çarkı

A Çarkı için pompa performans deney düzeneğinde bulunan sonuçlar Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'deki grafiklerde incelenmiştir.



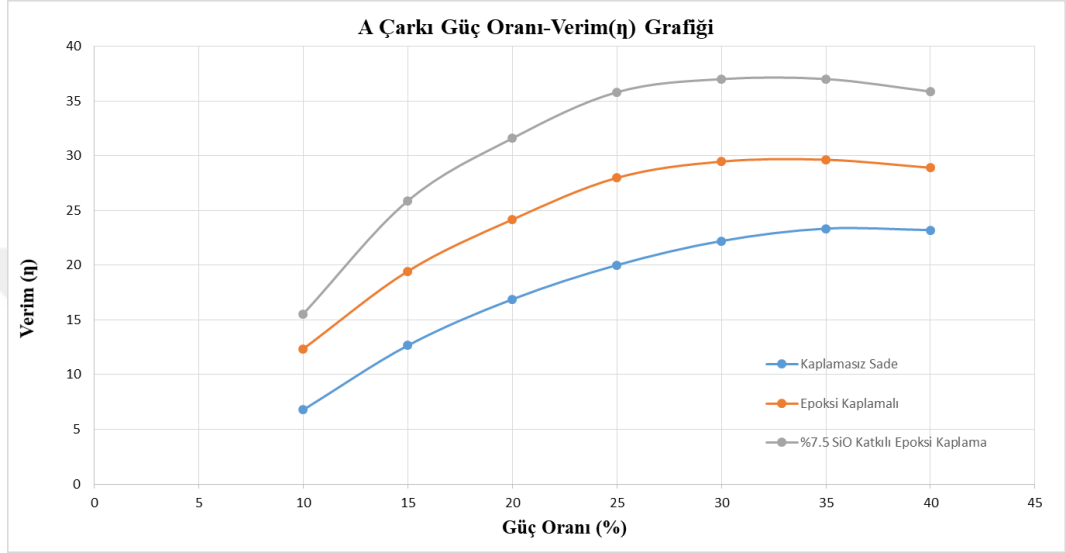
Şekil 5.18. A Çarkı Basma Yüksekliği H_m -Güç Oranı (%) Grafiği

Kaplamasız sade, epoksi kaplamalı ve kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplamalı A çarkının deneyleri sonucunda pompa gücü değiştirilerek elde edilen sonuç Şekil 5.18'deki grafikte gösterilmiştir. Pompa çarkının hidroforik yüzey temas açısı arttırıldığında aynı güç oranında daha yüksek basma yüksekliği elde edildiği görülmüştür. SiO₂ katkıli epoksi kaplamanın katkısız sade olan A çarkına nazaran ortalama %29 oranında iyileştirme görülmüştür.



Şekil 5.19. A çarkı $Q(m^3/s)$ – Akım(I) Grafiği

Yapılan deneyler sonucunda A çarkının çektiği akıma göre değişen debi değerlerinin grafiği Şekil 5.19'daki grafikte verilmiştir. Grafiğe göre pompa çarkının hidrofobik yüzey temas açısı arttırıldıktan sonra daha düşük akım ile daha yüksek debi değeri verdiği görülmüştür. Böylelikle pompa çarklarının hidrofobik olması daha düşük enerji ile daha yüksek debi elde edilebilirliğini ortaya koymaktadır.



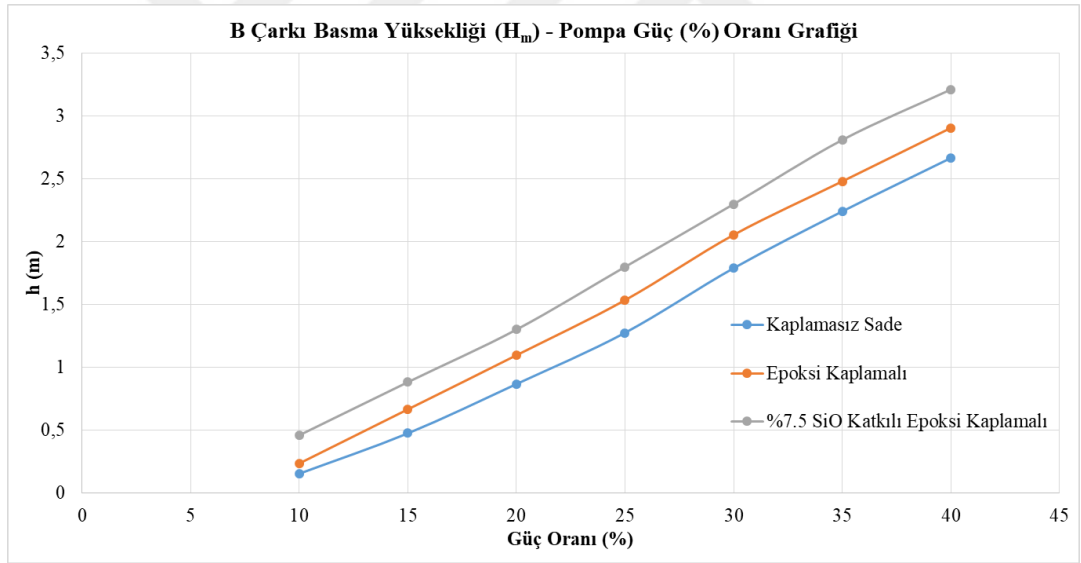
Şekil 5.20. A Çarkı Güç Oranı-Verim(η) Grafiği

A çarkının deney sonuçlarını elde ettikten sonra P_{mek} ve $P_{hidrolik}$ belirlenmiştir. Belirlenen veriler ile Bölüm 4.2.4.4'teki Denklem 4.8'deki formülle verim(η) belirlenmiştir. Sonuçlara baktığımızda A çarkının kaplamasız sade, epoksi kaplamalı ve %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplamalı numunelerinden alınan verim sonuçları Şekil 5.20'deki grafikte verilmiştir. Pompa çarkının yüzeyinin hidrofobik olması veriminin arttığını ispatlamaktadır. Pompa çark yüzeyinin hidrofobik temas açısı, kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplama ile arttırıldıktan sonra veriminin sadece epoksi kaplamaya göre de arttığı görülmüştür.



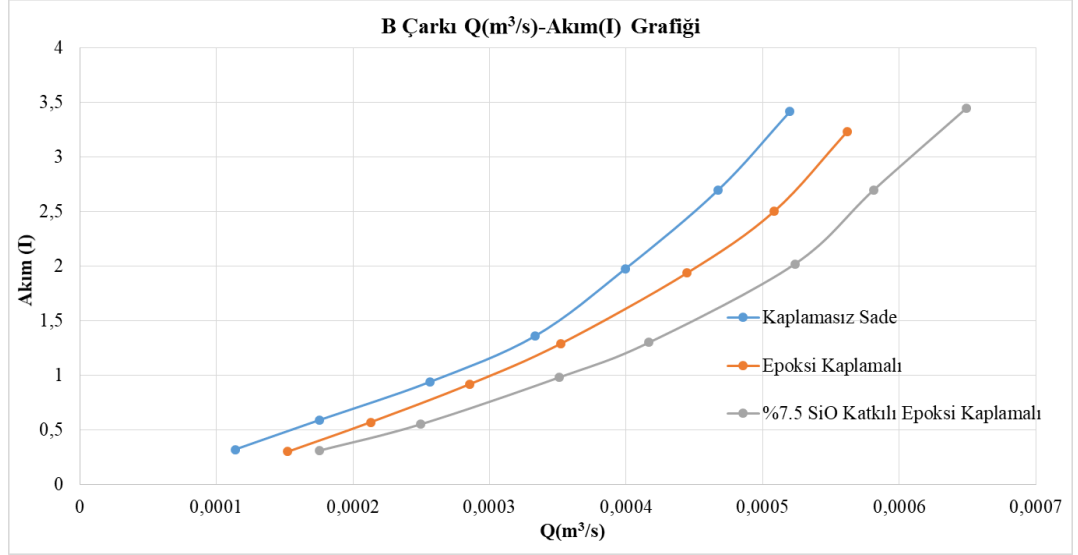
Şekil 5.21. B Çarkı

Pompa deneyleri için Şekil 5.21’de gösterilen B çarkı pompaya montajlanarak pompa deney düzeneği hazırlanmıştır. Performans deneyleri için pompaya %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 güç verilmiştir. Verilen güç oranlarıyla pompanın debi(Q), P_{hid} , pompa basma yüksekliği (H_m), P_{mek} , akım(I) ve verim(η) bulunmuştur.



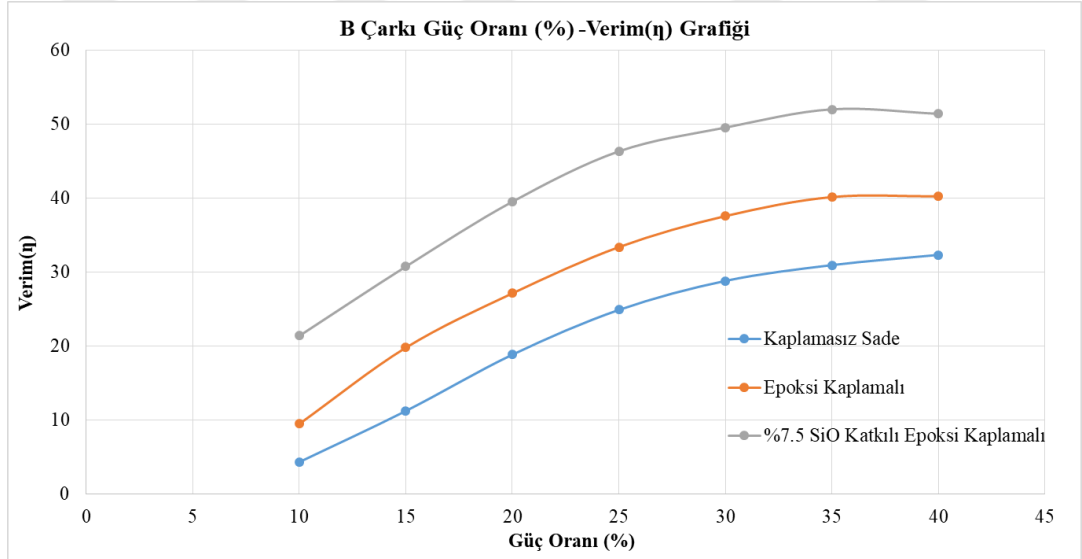
Şekil 5.22. B Çarkı Güç Oranı- Basma Yüksekliği Grafiği

Kaplamaless sade, epoksi kaplamalı ve kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplamalı B çarkının deneyleri sonucunda pompa gücü değıştirilerek elde edilen sonuç Şekil 5.22’deki grafikte gösterilmiştir. Pompa çarkının hidrofobik yüzey temas açısı arttırıldığında aynı güç oranında daha yüksek basma yüksekliği elde edildiği görülmüştür. SiO₂ katkıli epoksi kaplamanın katkısız sade olan B çarkına nazaran ortalama %33 oranında iyileştirme gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.23. B Çarkı Q(m³/s)-Akım(I) Grafiği

Yapılan deneyler sonucunda Şekil 5.23’de B çarkının çektiği akıma göre değişen debi değerlerinin grafiği verilmiştir. Grafiğe göre pompa çarkının hidrofobik yüzey temas açısı arttırıldıktan sonra daha düşük akım ile daha yüksek debi değeri verdiği görülmüştür. Böylelikle pompa çarklarının hidrofobik olması daha düşük enerji ile daha yüksek debi elde edilebilirliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.24. B Çarkı Güç Oranı-Verim Grafiği

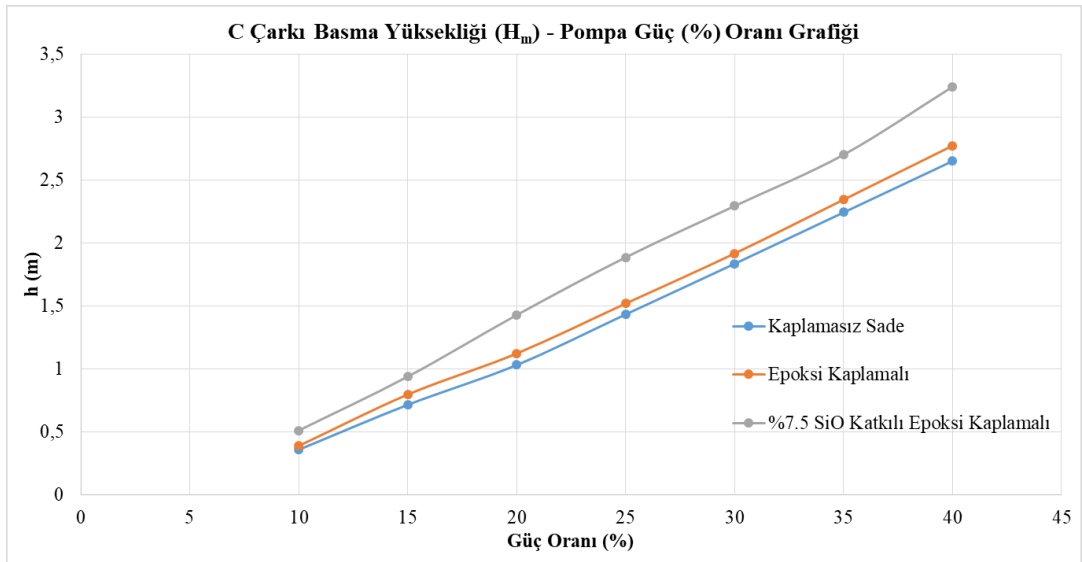
B çarkının deney sonuçlarını elde ettikten sonra P_{mek} ve P_{hid} belirlenmiştir. Belirlenen veriler ile Denklem 4.8’deki formülle verim(η) belirlenmiştir. Sonuçlara baktığımızda B çarkının kaplamasız sade, epoksi kaplamalı ve %7.5 SiO₂ katkılı

epoksi kaplamalı numunelerinden alınan verim sonuçları Şekil 5.24'deki grafikte verilmiştir. Pompa çarkının yüzeyinin hidroforik olması veriminin arttığını ispatlamaktadır. Pompa çark yüzeyinin hidroforik temas açısı, kütsel olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplama ile arttırıldıktan sonra veriminin sadece epoksi kaplamaya göre de arttığı görülmüştür.



Şekil 5.25. C çarkı

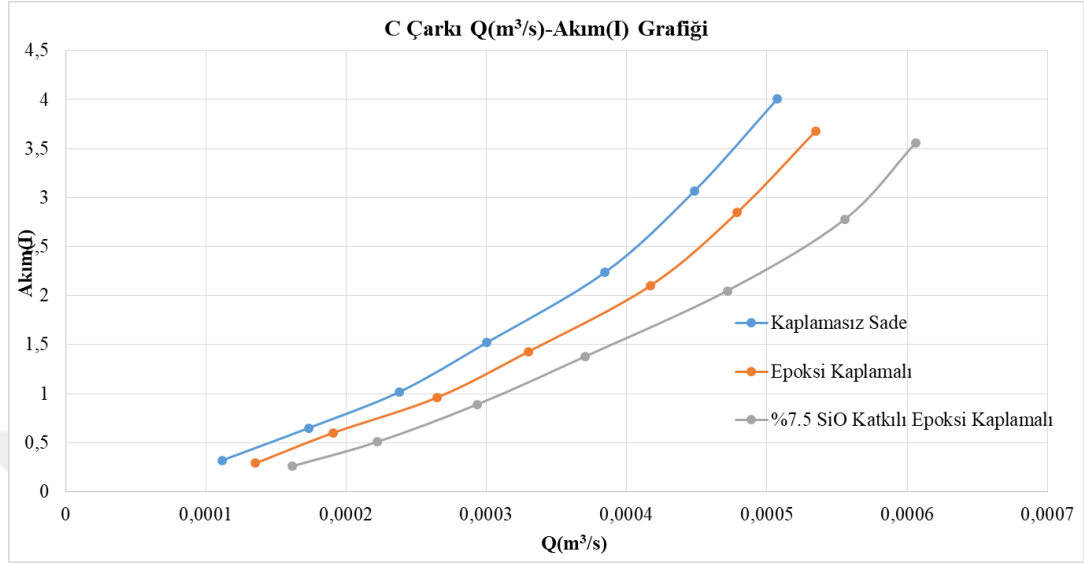
Pompa deneyleri için Şekil 5.25'de gösterilen C çarkı pompaya montajlanarak pompa deney düzeneği hazırlanmıştır. Performans deneyleri için pompaya %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 güç verilmiştir. Verilen güç oranlarıyla pompanın debi(Q), P_{hid}, pompa basma yüksekliği (H_m), P_{mek}, akım(I) ve verim(η) bulunmuştur.



Şekil 5.26. C Çarkı Güç Oranı-Basma Yüksekliği Grafiği

Kaplamaşız sade, epoksi kaplamalı ve kütsel olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplamalı C çarkının deneyleri sonucunda pompa gücü değıştirilerek elde edilen sonuç Şekil 5.26'daki grafikte gösterilmiştir. Pompa çarkının hidroforik yüzey temas

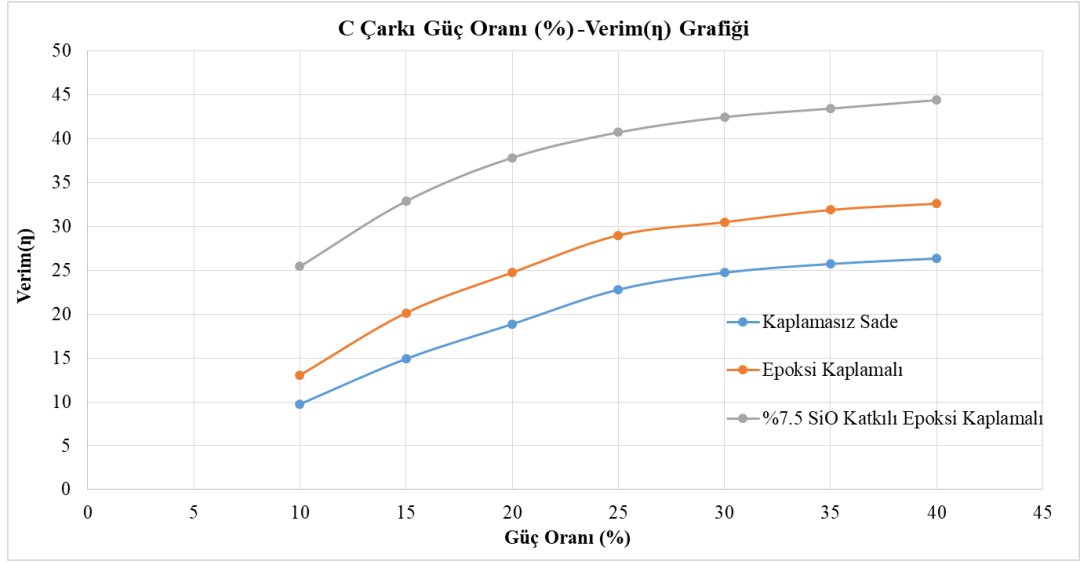
açısı arttırıldığında aynı güç oranında daha yüksek basma yüksekliği elde edildiği görülmüştür. SiO₂ katkılı epoksi kaplamanın katkısız sade olan C çarkına nazaran ortalama %23 oranında iyileştirme gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.27. C Çarkı Q(m³/s)-Akım(I) Grafiği

Yapılan deneyler sonucunda Şekil 5.27'de C çarkının çektiği akıma göre değişen debi değerlerinin grafiği verilmiştir. Grafiğe göre pompa çarkının hidrofobik yüzey temas açısı arttırıldıktan sonra daha düşük akım ile daha yüksek debi değeri verdiği görülmüştür. Böylelikle pompa çarklarının hidrofobik olması daha düşük enerji ile daha yüksek debi elde edilebilirliğini ortaya koymaktadır.

C çarkının deney sonuçlarını elde ettikten sonra P_{mek} ve P_{hid} belirlenmiştir. Belirlenen veriler yardımıyla Denklem 4.8'deki formülle verim(η) belirlenmiştir. Sonuçlara baktığımızda C çarkının kaplamasız sade, epoksi kaplamalı ve %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplamalı numunelerinden alınan verim sonuçları Şekil 5.28'deki grafikte verilmiştir. Pompa çarkının yüzeyinin hidrofobik olması veriminin arttığını ispatlamaktadır. Hidrofobik temas açısı katkılı epoksi ile arttırıldıktan sonra veriminin epoksi kaplamaya göre de arttığı görülmüştür.



Şekil 5.28. C Çarkı Güç Oranı (%) - Verim Grafiği (η)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında gelecekte oluşacak enerji krizini önlemek amacıyla sanayilerde tüketilen yüksek enerjiyi azaltmak için santrifüj pompaları iyileştirmek üzerine çalışma yapılmıştır. Santrifüj pompaların üretim maliyeti ve yedek parça tedarik işlemi problem olduğu için 3B yazıcıdan PETG filamenti kullanılarak pompa, çarkları ve pompanın diğer parçalarının üretimi yapılmıştır.

- Üretilen pompa parçalarının dayanımını araştırmak için numunelere yapılan %7.5 SiO₂ epoksi kaplama sonrasında yapılan çekme testlerinde 47 MPa olan çekme dayanımı 58 MPa'a kadar çıkmıştır. Böylelikle çekme dayanımında %15 iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Bu dayanım ve yedek parça üretim kolaylığı pompa kullanan endüstrilerde kullanılabilir olduğu gösterilmiştir. Fakat 3B yazıcı ile yavaş üretime sahip olması ve yüksek sıcaklıklarda çalışma durumunun yetersiz olması zayıf yanlarıdır.

Pompa çarkının hidrofobik özellik göstermesi, pompa performansına etkili olup olmadığı hakkında araştırma yapılmıştır. Bunun için PETG hammaddesine sahip 3B yazıcı baskısı ürünlerin yüzeyine katkılı epoksi ve epoksi kaplamalar yapılarak incelenmiştir. Yüzeylerin hidrofobik temas açılarına bakıldığında;

- Kaplamasız PETG yüzey 70° açı vermektedir. PETG hammaddesinden üretilen parça yüzeyleri hidrofilik yüzeydir.
- Yüzeye epoksi kaplama yapıldıktan sonra yüzey ile temas açısı ölçüldüğünde 95° açı elde edilmiştir.
- Yüzeye yapılan TiO₂ katkılı epoksi kaplama yapıldığında iyileşme olmadığı görülmüştür.
- Yüzeye kütleli olarak %3, %7.5 ve %10 SiO₂ kaplama yapılması sonrasında sırasıyla 95°, 110° ve 100° temas açıları elde edilmiştir. En iyi sonucu, kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplamanın verdiği görülmüştür. Böylelikle yapılan kaplama ile hidrofobik yüzey temas açısı %36 iyileştirilmiştir.

Yüzey kaplaması ayrıca yüzey pürüzlülüğünü düşürmüştür. Buna göre;

- Katkılı epoksi kaplama ile pompa çarklarının üzerindeki yüzey pürüzlülüğü olan Ra; 8.5'den 0.5'e kadar düşmüştür.

Hidrofobik temas açısındaki iyileştirmeler sonrasında pompa performans deney düzeneğinde deneyler yapılmıştır. Bu tez için özel olarak kurulmuş deney düzeneğinde yapılan deneylerde pompa performansını değerlendirmek için birkaç farklı veriden yararlanılmıştır. Pompa deneylerinde 3 farklı pompa çarkı kullanılmıştır. Pompa çarkları birbirleri arasında iyi olanı karşılaştırmak için kullanılmamıştır. Buradaki amacı farklı tipteki çarkların hidrofobik temas açısının arttırılması, farklı tipteki pompa çarklarına da etki edeceğini ispatlamaktır. Hidrofobik iyileştirme öncesinde ve sonrasında yapılan pompa deneylerinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralandığı gibidir:

- Pompanın basma yüksekliğinde, kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplama sonrasında 3 farklı çark için ortalama %5 ila %18 arasında artış olduğu tespit edilmiştir.
- Pompanın debi değerinde, kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplama sonrasında 3 farklı çark için %5 ila %11 arasında iyileşme olduğu tespit edilmiştir.
- Pompa veriminde, kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplama sonrasında 3 farklı çark için %3 ila %8 arasında iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında PETG hammaddesinden katmanlı üretim yöntemi kullanarak 3B yazıcıda üretilen pompa parçalarının hidrofobik temas açısı, çekme dayanımı ve yüzey pürüzlülüğü, yapılan epoksi kaplama ve kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplama ile iyileştirilmiştir. Pompa çarklarına yapılan kütleli olarak %7.5 SiO₂ katkıli epoksi kaplamaların ardından hazırlanmış olan deney düzeneğinde pompa performansı ölçülerek pompanın performansında iyileştirme olduğu tespit edilmiştir. Pompa çarklarında hidrofobik yüzey özelliğinin olması, pompa performansına etki ettiği deneysel olarak ispatlanmıştır. Pompa çark yüzeylerinde 110°'den daha yüksek bir hidrofobik açı olması durumunda, pompa performansında enerji tasarrufunun daha yüksek olacağı ve pompa performansının artacağı değerlendirilmektedir.

Gelecekte öngörülen enerji kıtlığını önlemek için harcanılan enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Dünyadaki en çok enerjiyi tüketen pompaların, aynı işi yapabilmek için daha az enerji harcaması, gelecekte oluşması tahmin edilen enerji kıtlığının önüne geçmesi için çok önemli rol oynayacağı görülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında piyasadaki muadillerine nazaran daha uygun maliyetli santrifüj pompa üretilmiştir. Bu pompanın çark yüzeyine hidrofobik özellik kazandırılmasından sonra performansında artışlar olduğu deneysel yöntemlerle tezde ispatlanmıştır. Ayrıca %7.5 SiO₂ katkılı epoksi kaplamanın yüzeylerde hidrofobik özellik istenilmesinde durumunda kullanılabileceği ispatlanmıştır.



KAYNAKLAR

- Ataş, Selçuk, and Aydın Mısırlıoğlu. 2005. *Santrifüj Pompa İçindeki Akışın Sayısal Analizi*.
- Babayigit, Osman et al. 2015. "Numerical Identification of Blade Exit Angle Effect on the Performance for a Multistage Centrifugal Pump Impeller." *EPJ Web of Conferences* 92.
- Bayram, Osman, and Ayhan Onat. 2019. *Endüstrilerde Kullanılan Santrifüj Pompaların Enerji Verimliliklerinin Analizi*.
- Chen, Xi et al. 2022. "Cellulose Nanofiber Assisted Dispersion of Hydrophobic SiO₂ Nanoparticles in Water and Its Superhydrophobic Coating." *Carbohydrate Polymers* 290(February): 119504. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119504>.
- Discenzo, F M, D Rusnak, L Hanson, and ... 2002. "Next Generation Pump Systems Enable New Opportunities for Asset Management and Economic Optimization." *Proceedings of the ...* <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/164027%0Ahttps://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/164027/02.pdf?sequence=1>.
- Han, Ye et al. 2022. "Plasma SiO_x : H Nanocoatings to Enhance the Antibacterial and Anti-Inflammatory Properties of Biomaterials." (January): 381–94.
- Hydraulic Institute, Europump, and Office of Industrial Technologies - US Department of Energy. 2001. "Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems - Executive Summary." *Renewable Energy*: 19.
- Kamer, Muhammed Safa et al. 2022. "Comparison of Mechanical Properties of Tensile Test Specimens Produced with ABS and PLA Material at Different Printing Speeds in 3D Printer." *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 37(3): 1197–1211.
- Keleş, Harun, and Tevfik Küçükömeroğlu. 2016. "Pompa Çarkı Malzemesi Nikel Alüminyum Bronz'a Uygulanan Sürtünme Karıştırma Proses'inin Malzemenin Kavtasyon Direncine Etkisi." 9. *Pompa Vana Kompresör Kongresi* cilt.1: 77–85.
- Kocaaslan, Osman. 2015. *Verim İyileştirilmesi İçin Optimize Edilen ve Poliüretan Kaplama Yapılan Pompa Çarkının Sayısal ve Deneysel Analizi*.
- Luo, Kaikai et al. 2019. "Effect of Coating Thickness on a Solid-Liquid Two-Phase Flow Centrifugal Pump under Water Medium." *Journal of Mechanical Engineering* 65(4): 251–61.
- Moaven, Kh, M Rad, and M Taeibi-rahni. 2013. "Experimental Investigation of Viscous Drag Reduction of Superhydrophobic Nano-Coating in Laminar and Turbulent Flows." *Experimental Thermal and Fluid Science* 51: 239–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.08.003>.
- Ou, Jia, Jonathan P Rothstein, Jia Ou, and Jonathan P Rothstein. 2013. "Direct Velocity Measurements of the Flow Past Drag-Reducing Ultrahydrophobic Surfaces Direct Velocity Measurements of the Flow Past Drag-Reducing Ultrahydrophobic Surfaces." 103606(2005).
- Özbey, Mustafa, Mevlüt Gürbüz, Uğur Karakurt, and San A Ş. 2021. "Experimental Investigation of the Effects of Hydrophobic Impeller Surfaces on the Centrifugal Pump Performance Acknowledgement: DOMAK Pompa ve Makina." *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 36(1): 267–74.
- Parlak, Zekeriya. 2016. "En Uygun Çark Tasarımı ile Bir Santrifüj Pompa Performansının İyileştirilmesi Performance Enhancement of a Centrifugal Pump by Optimal Impeller

Design.”

- Ryzhenkov, A V, and G P Khovanov. 2015. “Analysis of the Effect of Hydrophobic Properties of Surfaces in the Flow Part of Analysis of the Effect of Hydrophobic Properties of Surfaces in the Flow Part of Centrifugal Pumps.” (November).
- Sarac, İsmail. 2018. *Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Nanopartikül Kullanılmasının Bağlantının Statik ve Yorulma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması*.
- Sarıgül, Abdülkadir, and Zehra Yumurtacı. 2010. *Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği*.
- Sevil, Ahmet, Ahmet Ondört, Satılmış Ürgün, and Sinan Fidan. 2019. “3 Boyutlu Yazıcı Ile Üretilen Parça Yüzeylerini Toz Kaplama ve Kaplama Eroziv Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu.” *European Journal of Science and Technology* (17): 1106–15. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat/652512> (December 8, 2021).
- Szala, Mirosław, Tadeusz Hejwowski, and Iwona Lenart. 2014. “CAVITATION EROSION RESISTANCE OF Ni-Co BASED COATINGS.” *Advances in Science and Technology Research Journal* 8(21): 36–42.
- Tunç, Ahmet, and Sedat Özden. 2019. *Santrifüj Pompalarda Çark Malzemesine ve Yüzey Kaplamasına Bağlı Kavite Hasarı Değerlendirilmesi*.
- Yuping, Wu et al. 2007. “Cavitation Erosion Characteristics of a Fe–Cr–Si–B–Mn Coating Fabricated by High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray.” *Materials Letters* 61(8–9): 1867–72.
- Zhang, P., and F. Y. Lv. 2015. “A Review of the Recent Advances in Superhydrophobic Surfaces and the Emerging Energy-Related Applications.” *Energy* 82: 1068–87.
- Zhao, Zhenbo et al. 2022. “Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects Relationship between Hydrophobicity and Drag Reduction of SiO₂ / HLR-Si Coatings.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 642(February): 128668. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128668>.

ÖZ GEÇMİŞ

Furkan Enes GÜNDÖĞDU, Safranbolu Fatih Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nde Makine Mühendisliği üzerine Lisans eğitimini almıştır. Üniversite zamanında çeşitli projelerde boy göstermiştir. TEKNOFEST 2018’de insansız hava araçları yarışmasında takım kaptanlığı yaptığı Ejderya Takımı ile derece elde etmiştir. Üniversite sonrasında Samsun’da Lüfer Metal Sanayisi ve Defne Green Sanayisinde tasarım ve üretim mühendisi olarak çalışmıştır. 2021 yılından itibaren ülkemizin önde gelen savunma sanayisi şirketi olan Lentatek Uzay Havacılık şirketinde kıdemli üretim mühendisi olarak çalışmaktadır. 2019 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans programından 2023 yılında mezun olmuştur.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-9226-6513

Yayınlar:

1. **Gundogdu F. ,Sahin F. ve Namlı L. (2022).** “*Epoksi Kaplanmış Çark Malzemesinin Santrifüj Pompaların Üzerindeki Performans Değerlendirmesi*”. 6. Uluslararası Akademik Öğrenci Çalışmaları Kongresi’nde sunulmuştur. 23-24 Nisan, YÖK yayın ID: 7784187.