



LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALI

**YÜZEYLERİNE HİDROFOBİK ÖZELLİK KAZANDIRILAN BİR
SANTRİFÜJ POMPANIN HİDROLİK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL EMRE UÇAR

OCAK 2022



LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALI

**YÜZEYLERİNE HİDROFOBİK ÖZELLİK KAZANDIRILAN BİR
SANTRİFÜJ POMPANIN HİDROLİK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

İSMAİL EMRE UÇAR

DANIŞMAN

DOÇ.DR. HASAN KÖTEN

OCAK 2022

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt ederim.

İsmail Emre UÇAR

Danışmanlığını yaptığım işbu tezin tamamen öğrencinin çalışması olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığını taahhüt ederim.

Doç.Dr. Hasan KÖTEN

İMZA SAYFASI

İsmail Emre Uçar tarafından hazırlanan ‘YÜZEYLERİNE HİDROFOBİK ÖZELLİK KAZANDIRILAN BİR SANTRİFÜJ POMPANIN HİDROLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ’ başlıklı bu yüksek lisans tezi, Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim dalında hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hasan KÖTEN

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Öztürk

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Prof. Dr. Haluk Erol

İstanbul Teknik Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/01/2022

ÖNSÖZ

Yapılan bu tez çalışmasında ve beraber yaptığımız diğer çalışmalarda yardım ve desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Hasan Köten, Eren Güven, Dr. Mehmet Kaya, Cezmi Nurşen, Nilesh Adkar, Tolga Çalışan, Prof. Dr. Haluk Erol ve Standart Pompa Arge ekibine teşekkürü borç bilirim.

Tez içerisinde bahsedilen uygulama ve çalışma alanlarını kullanımına açan Standart Pompa ve Makina San. Tic A.Ş.'ye, Türk Henkel Kimya San. ve Tic. A.Ş.'ye ve İstanbul Medeniyet Üniversitesine katkılarından dolayı minnettarlığımı belirtmek isterim.

Bu süreçte beni destekleyen değerli kardeşime gösterdiği sabrından ve hoşgörüsünden dolayı sevgilerimi arz ederim.

ÖZET

**YÜZEYLERİNE HİDROFOBİK ÖZELLİK KAZANDIRILAN BİR
SANTRİFÜJ POMPANIN HİDROLİK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

İSMAİL EMRE UÇAR

Yüksek Lisans Tezi, Nano Bilim ve NanoMühendislik Ana Bilim Dalı,
Nano Bilim ve Nanomühendislik Programı

Danışman: Doç. Dr. Hasan KÖTEN

Ocak, 2022

Enerji talebinin sürekli artmasıyla beraber gelen iyileştirme çalışmaları teknolojik gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Bu alanda gelen gelişmelerden sayılan biyomimikri sayesinde doğada bulunan yapıların günümüzde karşılık gelebilecek tüm uygulama alanları da iyileştirmeye açık bir şekilde düşünülmelidir. Bu tez çalışmasında da doğada bulunan Lotus (N. nucifera) çiçeğinin yapraklarında bulunan hidrofobik yapıdan esinlenilerek santrifüj pompanın çark ve gövdesinde hidrofobik yüzey kaplaması uygulanmıştır. Numerik analiz ve deney çalışmaları gerçekleştirilerek hidrofobik yüzey özelliğın pompa verimi ve karakteristikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Karşılaştırılan sonuçlardan hidrofobik özelliğın, kum tanesi pürüzlülüğü değeri değıştirilerek yapılan hesaplamalı akışkanlar analizi sonuçları ve deney sonuçları arasında korelasyon kurulabileceğı görülmüştür. Aynı zamanda akışkanın temas ettiğı yüzeylerde kazandırılan hidrofobik özelliğın, pompanın en verimli çalışma noktasında %8.3 farkla daha verimli hale geldiğı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrofobik Özellik, Hidrofobik Kaplama, Hidrofobik Santrifüj Pompa, Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniğinde Hidrofobiklik

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF A CENTRIFUGAL PUMP WITH HYDROPHOBIC SURFACES

İSMAİL EMRE UÇAR

Master Thesis, Nano Science and NanoEngineering, Nano Science and Nanoengineering Program

Advisor: Doç. Dr. Hasan KÖTEN

January, 2022

Increasing amounts of consumption led people make technological improvements about energy efficiency. One of these improvements which is called biomimicry, which imitates structures and systems at nature, can be applied in various areas where decrease of energy losses are desired. It is mostly believed that decreasing sand grain roughness on surfaces decreases friction losses that can be obtained from low surface energy. This case can be seen at leaves of Lotus (N. nucifera) which shows hydrophobic properties on its surfaces. In this study, efficiency of pump and its characteristics are examined with CFD methods and performance tests. Inner surfaces of volute and impeller itself are coated to gain features of hydrophobic surfaces. Characterization of hydrophobic surfaces in flow simulations are validated with comparison of test results. To investigate the influence of low energy surfaces on hydrophobic coating, closed-loop tests are conducted using relevant measurement techniques as per international standards. made with necessary equipment. Results show that performance curves of the pump has been improved and efficiency of the pump is increased by 8.3% at its best efficiency point.

Keywords: Hydrophobic Coating, Hydrophobic Properties, Hydrophobic Centrifugal Pump, Hydrophobicity In Computational Fluid Dynamics

İÇİNDEKİLER

İMZA SAYFASI.....	i
ÖNSÖZ.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 POMPA SİSTEMLERİNİN ENDÜSTRİDEKİ YERİ	1
1.2 ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ ENDEKSLERİ.....	1
1.3 POMPA SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON.....	2
2. YÜZEY KAPLAMA VE HİDROFOBİK YÜZEY İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR	4
2.1 YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	4
2.2 HİDROFOBİK YÜZEYLER VE ÖZELLİKLERİ	5
2.2.1 Hidrofobik Yüzey Ve Damlacık İlişkisi.....	7
2.3 HİDROFOBİK KAPLAMANIN POMPA SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI	8
3. YÜZEY KAPLAMASININ İNCELENMESİ	9
3.1 HİDROFOBİK KAPLI YÜZEYİN OLUŞTURULMASI.....	9
3.2 HİDROFOBİK KAPLANAN YÜZEYİN GÖRÜNTÜLENMESİ.....	11
4. ÇARK VE GÖVDENİN ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ VE SAYISAL AĞ OLUŞTURULMASI	13
4.1 NUMERİK ANALİZ PARAMETRELERİ	14
4.2 HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZ SONUÇLARI.....	19
5. KAPLAMA YAPILAN YÜZEYLERİN POMPA PERFORMANS DENEYLERİ	26
5.1 DENEY DÜZENEĞİ VE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	26
5.2 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	28
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	32

KAYNAKÇA.....	36
ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Kesit halinde bulunan bir yangın pompası.	2
Şekil 2. a) Kesit halindeki bir çarkın üstten görünümü b) Kesit halindeki bir çarkın kanatlarıyla birlikte görünümü	2
Şekil 3. Farklı ıslatma koşullarına sahip yüzeylerin çark üzerinde gözlemlenmesi	3
Şekil 4. Damlacıkların temas yüzeyi ile şematik gösterimi	5
Şekil 5. a) Nilüfer yaprağı b) Nilüfer yaprağının mikropapillerinin SEM görüntüsü c) Yaprığın üzerindeki mikropapilin mikro ve nano yapıdaki şematik görünümü d) Nilüfer yaprağındaki su damlacığı	8
Şekil 6. Hidrofobik yüzeyin oluşturulması için kullanılan ekipmanlar	7
Şekil 7. Karışımın elde edilmesi	9
Şekil 8. Kaplama işlemi bittikten sonra kür için bırakılan soldan sırayla gövde kapağı, çark ve salyangoz gövde.....	10
Şekil 9. a) DIN 0.6025 GG25 malzemenin SEM görüntüsü, b) PU0013_F200 adlı yüzey kaplı malzemenin SEM görüntüsü.....	11
Şekil 10. a) Laboratuvar SEM cihazı b) Belirlenen numunelerin hazne içerisine yerleştirilmesi	12
Şekil 11. Loctite tarafından gerçekleştirilen damlacık temas açılarının gösterimi a) Hidrofilik olduğu bilinen PC 7333, b) PU0013_F200 ile gelişen yapışmayan hidrofobik yüzey	13
Şekil 12. HAD için hazırlanan akışkan hacminin üç boyutlu görüntüsü	14
Şekil 13. HAD için hazırlanan sayısal ağ örüntüsü	15
Şekil 14. Yüzeydeki maksimum pürüzlülük	16
Şekil 15. a) CMM ölçüm cihazı b) Hidrofobik kaplı çark üzerinden yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	17
Şekil 16. CMM cihazı ile hidrofobik kaplı yüzeyin pürüzlülük değerleri	18
Şekil 17. DIN 0.6025 malzemenin yüzey üzerinden ölçümü	19
Şekil 18. HAD analizi sonucu elde edilen H-Q eğrisi	20
Şekil 19. HAD analizi sonucu elde edilen verim eğrisi	21
Şekil 20. Çarkta oluşan ΔP hesabı için kullanılan arayüzlerin konumu	22

Şekil 21. Çarklarda oluşan toplam basınç dağılımları, a) 100m ³ /h'deki hidrofobik modelleme, b) 100m ³ /h'deki kaplamasız yüzey c) 132m ³ /h'deki hidrofobik modelleme, d) 132m ³ /h'deki kaplamasız yüzey, e) 150m ³ /h'deki hidrofobik yüzey, f) 100m ³ /h'deki kaplamasız yüzey,	23
Şekil 22. Salyangoz gövdelerde oluşan kayıplar	26
Şekil 23. Deneylerin gerçekleştirildiği test düzeneği	27
Şekil 24. 1800 rpm'deki pompa deneylerinin H-Q performans eğrileri ve verimleri	29
Şekil 25. 1500 rpm'deki pompa deneylerinin H-Q performans eğrileri ve verimleri	30
Şekil 26. 1800 rpm'deki pompa deneylerinin güç eğrileri	31
Şekil 27. 1500 rpm'deki pompa deneylerinin güç eğrileri	32
Şekil 28. Deney ve HAD sonucu elde edilen verimlerin karşılaştırılması	33
Şekil 29. Deney sonrası kaplama yapılan çarkın uç kısımları	34

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1. Element sayısı ile değişen verimlerin karşılaştırılması	15
Tablo 2. Çark girişlerinde ve çıkışlarında hesaplanan toplam basınçlar	22
Tablo 3. Deneyde kullanılan ekipman listesi.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR

1. CMM: Coordinate Measuring Machine
2. EEI: Energy Efficiency Index
3. EVN: En Verimli Nokta
4. HAD: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
5. kW: Kilowatt
6. MEI: Minimum Efficiency Index
7. SEM: Scanning Electron Microscope
8. TWH: Terawatt-hour
9. g/cm^3 : Gram/santimetreküp
10. kg/m^3 : Kilogram/metreküp
11. m: Metre
12. mm: Milimetre
13. Hz: Hertz
14. Pa: Pascal
15. rpm: Revolution Per Minute
16. g : Yerçekimi İvmesi
17. H : Basma Yüksekliği
18. M : Moment
19. n : Devir Sayısı
20. P : Basınç
21. P_1 : Şebekeden Çekilen Güç
22. P_2 : Mil Gücü
23. p_d : Çıkış Basıncı
24. p_s : Emme Basıncı
25. Q : Debi
26. V_d : Çıkıştaki Hız
27. V_s : Emmedeki Hız
28. z_d : Çıkıştaki Manometrik Yükseklik

29. z_s : Emmedeki Manometrik Yükseklik

30. ρ : Yoğunluk

31. η : Verim

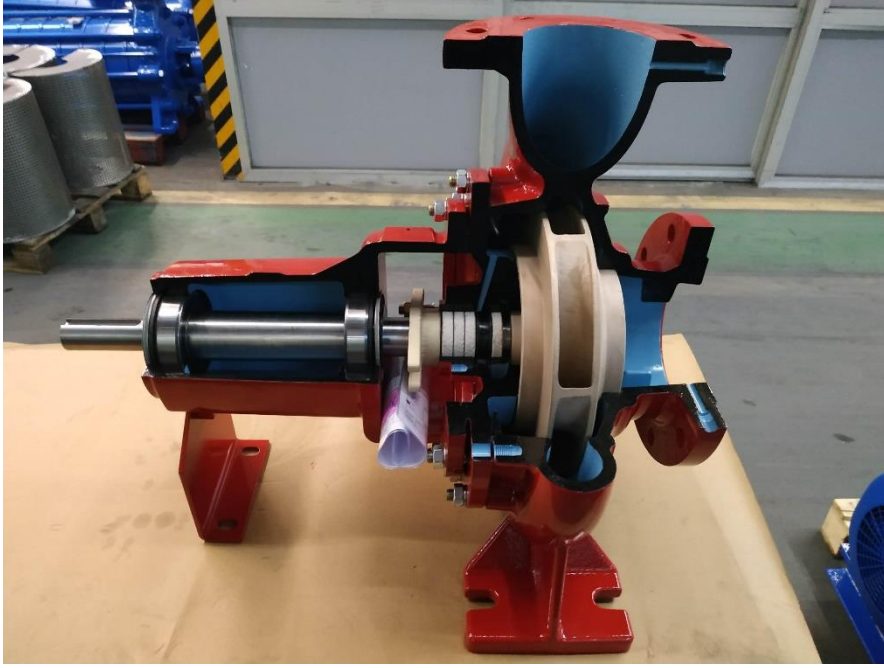
1. GİRİŞ

1.1. POMPA SİSTEMLERİNİN ENDÜSTRİDEKİ YERİ

Santrifüj pompalar mekanik enerjinin hidrolik enerjiye çevrimini gerçekleştiren, akışkanı basınçlı ortam oluşturarak hareketini sağlayan makinelerdir. Nüfus ve sanayileşmenin hız kazanması nedeniyle tüketim artışlarını karşılayabilmek için endüstriyel alanlarda hatayı barındırmaması istenen gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmelerin süreklilik, yüksek güvenilirlikli ve hassas üretim isteyen tesislerinde ana ekipman ya da ana ekipmana destek olarak pompalar yer almaktadır. Pompaların kullanım yerleri çok çeşitlidir. Hastanelerden, ev hanelerine, madenlere, petrokimya tesislerine, ilaç sektörüne, güç santrallerine kadar akışkan transferinde kullanılmaktadırlar.

1.2. ENERJİ TÜKETİMİ VE ENERJİ ENDEKSLERİ

Dünyanın enerji gereksinimi nüfus ve talep ile orantılı olarak artmaktadır. Akışkanın basınçlı bir şekilde iletimi için akışkanın viskozitesine uygun olarak değişiklik gösteren pompa ve çark tasarımları, endüstriyel her sektörde bulunmakta olup dünyadaki enerji sarfiyatında önemli rol oynamaktadır. İnsanların temel ihtiyaçlarının karşılanmasında, enerji ve üretim tesislerinde kullanılan pompaların sürekli faal çalıştığı durumlarda enerji verimliliği gözetilmektedir. Rusya pompa üreticileri kuruluşuna göre ülke içinde üretilen enerjinin tamamının %20'sinden fazlasını pompalar tarafından tüketildiği belirtilmiştir (Stoffel vd., 2002; Pochylý vd., 2017; Ondrey, 2000; De Keulenaer, 2004; Veres, 1994). Bu sebepten dolayı pompa ünitesi sistemlerinde elde edilecek verimlilik değerlerinin arttırılması TWH mertebelerinde enerji tasarrufunu sağlayabilmektedir. Pompalardaki verimi arttırmak için Europump gibi söz sahibi kuruluşların düzenli şekilde arttırılan ve değiştirilen verim endeksleri kararına göre pompa üreticileri yarış halindedirler (Stoffel, 2015). MEI ve EEI değerleri gibi endeksleri sağlayabilmesi için teknolojik yenilikler kullanılarak enerji kaybına sebebiyet veren durumlar optimize edilebilmektedir. Şekil 1'de endeks değerlerini karşılayan bir pompanın kesit hali gösterilmektedir.



Şekil 1: Kesit halinde bulunan bir yangın pompası

1.3 POMPA SİSTEMLERİNDE OPTİMİZASYON

Enerji verimliliğinin artırılması adına akışla direkt temas halindeki çarklarda yapılan değişikliklerin en önemli etkenlerden biri olduğu bilinmektedir (Savar ve diğerleri, 2009). Şekil 2’de kapalı bir çarkın kesit halleri gösterilmiştir.



(a)

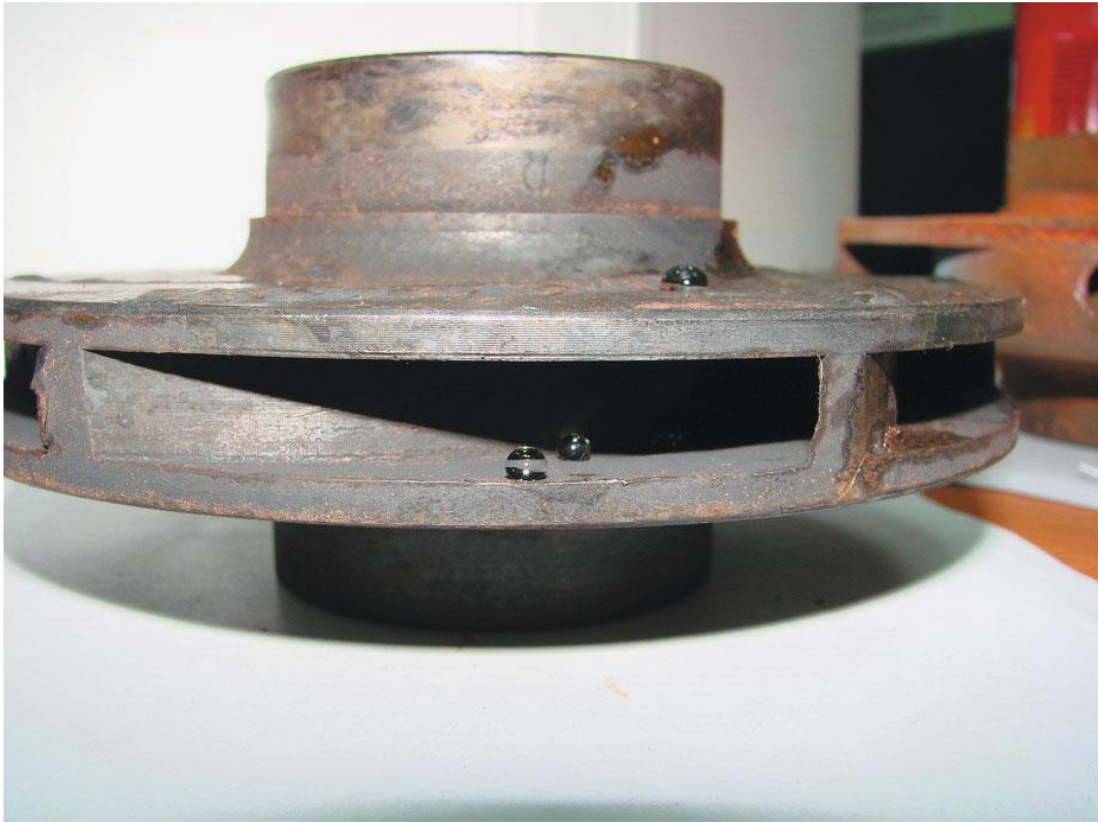
(b)

Şekil 2: a) Kesit halindeki bir çarkın üstten görünümü b) Kesit halindeki çarkın kanatlarıyla birlikte görünümü

Bilgisayar ve yazılım teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler ile önceden maliyet açısından prototip üretimleri yapılarak test edilen ve deney tekrarlarına gidilerek yüksek masraf ve zaman kaybına yol açan durumların önüne geçilmiştir. Pompa

tasarımında yapısal ve akışkan dinamiğinin numerik hesapları yapılarak optimizasyonun bilgisayar üzerinde yapılması ve modellenmesi ortaya çıkan maliyet ve zaman kayıplarının önüne geçmiştir.

Pompaların gerçek çalışma aralıkları sayısı geniştir ve optimum çalışma aralıklarına göre önemli ölçüde farklılık gösterir (Anderson, 1994). Farklı ıslatma koşullarına sahip yüzeyler Hidrofobikleştirilen yüzeyler gonyometre yardımıyla ölçülerek temas açıları ölçüldü. Elde edilen deneysel verilerde, modifiye edilmiş yüzey ile kaplamasız yüzey arasında pürüzlülüğü %23'e kadar azaltıldığı gözlemlenmiştir (Volkov, Parygin ve diğerleri, 2015). Bu durum şekil 3'te çark üzerinden alınan farklı ıslatma koşullarına sahip yüzeyleri göstermektedir.



Şekil 3: Farklı ıslatma koşullarına sahip yüzeylerin çark üzerinde gözlemlenmesi
(Volkov, Parygin ve diğerleri, 2015)

Geleneksel düşünceye göre santrifüj pompalardaki kayıplar, üç başlıca kayıptan meydana gelmektedir. Bunlar; hidrolik, hacim ve mekanik kayıplar olarak gösterilir. Bu ayrım kesin bir çizgi şeklinde belirtilemez. Çünkü farklı kayıp türleri birbiriyle etkileşim halindedirler. Hidrolik sürtünme ve vorteks oluşumundan gelen kayıplar daha belirgin bir şekildedir. Bunun yanı sıra, hidrolik sürtünme kayıpları ve mekanik

kayıplar pompa çarkının geometrik parametreleriyle direkt ilişki içindedir (Stoffel ve Lauer, 1994; Mikhailov ve Malyushenko, 1977).

Termik istasyonlarda güç ünitesi tarafından üretilen elektriğin %10'una kadarının pompa ünitelerinin çalıştırılmasına gittiği üzerine tahminler vardır. Elektrik maliyeti, tesisin bakımıyla ilgili toplam maliyetlerin %85'ini oluşturur. Bu yüzden pompaların verimliliğini artırma hedefi dolayısıyla bakım maliyetlerinin düşürülmesini de sağlamaktadır (Thin ve diğerleri, 2008).

Çarklardaki kanatların yani çarkın kesilmesi ile pompa performansının iyileştirilmesi bir çok yazar tarafından ilgi görmektedir (Savar vd., 2009; Singh vd., 2009; Yates ve Weybourne, 2001; McNally, 1998). Bu durum için benzerlik yasaları pompanın çarkına uygulanarak, geometrik ve kinematik benzerlik şartları aranır (Tsang, 1992; Karassik, 1989). Ancak bu durum talaş kaldırma gerektirir ve çarkta kalıcı değişiklikler yapılır. Bu yüzden çark boyu kesilmesi, boyunun %75'i ile sınırlıdır (Nelik, 1999; Messina vd., 2001; Marchi, 2012). Aşırı talaş kaldırma çark ile salyangoz arasında uyumsuzluklara sebep olabilir. Azalan çark çapı ile gövde ile arasındaki iç boşluk artar ve akış içerisinde geri akışlara, basma yüksekliği kayıplarına veya pompa veriminin düşmesine sebep olarak kadar etken devreye girebilir (Lobanoff vd., 2013; Bachus ve Custodio, 2003; Droblos, 2005).

2. YÜZEY KAPLAMA VE HİDROFOBİK YÜZEY İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Malzeme bilimi ve mühendisliğinde kullanılan substratlarda yani temel olarak kullanılan malzemelerin yüzeylerinin işlevsellik kazandırılması amacıyla yapılan işlem, yüzey kaplama olarak adlandırılır (Howarth ve Manock, 1997). Yüzey kaplamaları boyalar, vernikli kuruyan yağlar, sentetik temizleyici kaplayıcılar kullanılarak parça yüzeyini çevreden koruyabilir (Grainger ve Blunt, 1998; Barthel ve Perriot, 2007).

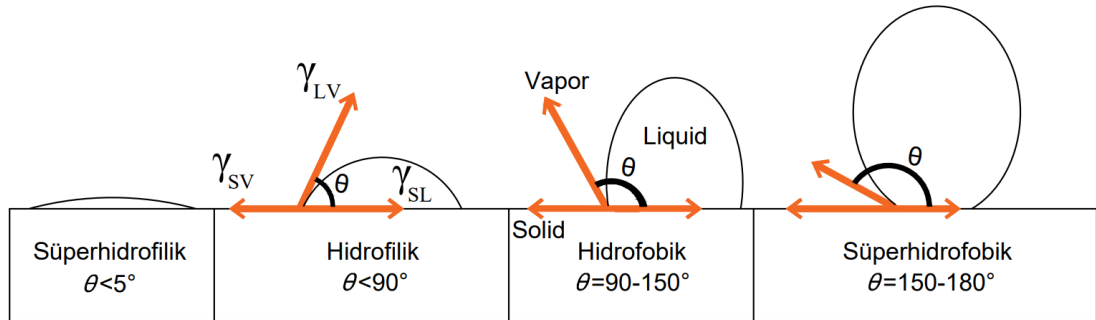
2.1 YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Endüstriyel kaplamalar denince aşınma ve kimyasala dirençli kolay film yüzeyi oluşturan epoksi, düşük uçucu organik bileşen içeren parlak yüzeyler oluşturabilen poliüretan, yüksek sıcaklıkta çalışmaya izin veren silikon ve galvanik koruma sağlayan yüksek dayanımlı inorganik çinko zengini kaplamalardan bahsedilebilir (Cheng ve diğerleri, 2019). Kaplama yöntemlerinin geniş bir kısmı ve malzeme üzerine

uygulanan çeşitli kaplama yöntemleri ile amaçlanan ortak doğrultu, parça veya yapı yüzeyinin kimyasal ya da mekanik zarara uğramasını engellemektir. Yeni parça imalatı ihtiyacını engelleyerek koruyucu görevi veya yüzeye özellik kazandıran kaplamalar maliyet düşürmektedir (Gashti ve diğerleri, 2016). Günümüzde yüzey modifikasyonları çok sayıda kaplama prosesiyle gerçekleştirilebilmektedir. Bilinen döndürerek kaplama, fırçayla kaplama, spreyleme ve daldırma yöntemlerinin yanı sıra, çoklu metod uygulaması yapılarak birbirlerinin eksikliklerini giderebilen fiziksel/kimyasal buhar biriktirme, mikro-ark oksidasyonu, termal püskürtme ve kataforez kaplama yöntemleride bu proseslerin bir parçasıdır (Fotovvati ve diğerleri, 2019).

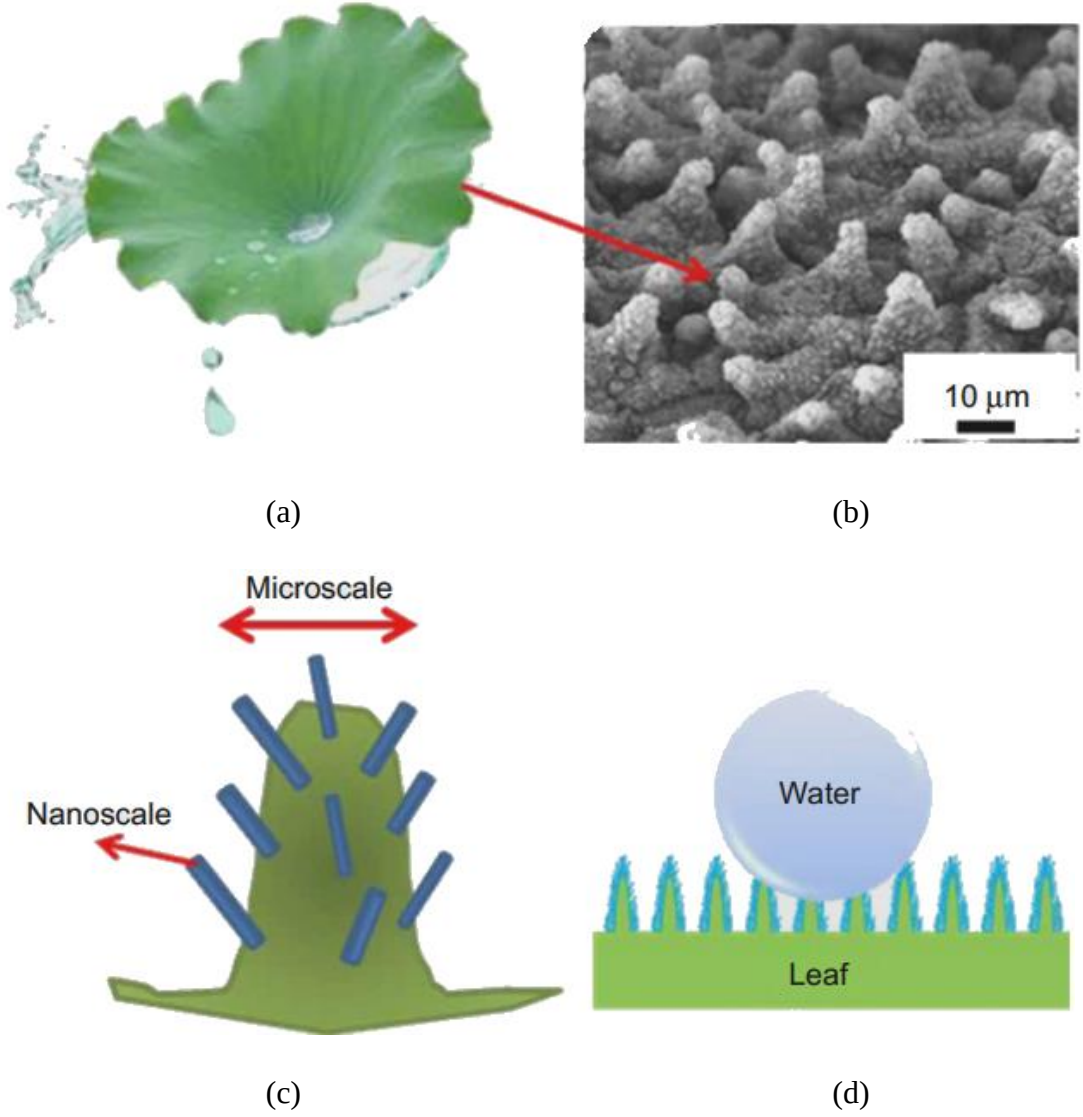
2.2 HİDROFOBİK YÜZEYLER VE ÖZELLİKLERİ

Katı yüzeylerin yapısal özellikleri gözetilerek elde edilen hidrofobik yüzeyler kimyasal malzemelerin bir araya getirilmesiyle ortaya çıkmaktadır (Tahir ve diğerleri, 2020). Hidrofobik yüzey, suyu geçirmeyen yani itebilen yetenekteki yüzeylerdir (Chieng ve diğerleri, 2019). Su damlacıkları konulduğu yüzeylere göre çeşitli temas açıları oluşturmaktadır. Hidrofobik özellik olarak ayraç görevi gören bu durum, sıvı damlacıklarının temas ettiği yüzey ile arasındaki açı ile tanımlanmaktadır (Crick ve Parkin, 2010). Hidrofobik yüzeylerde damlacıklar kolayca akma yeteneğine sahip ve yüzeyle 90 derece fazla açı yapabilirken, süperhidrofobik yüzeylerde bu temas açısı 150 derece üstü olup ıslaklık durumu çok düşüktür (Ragesh ve diğerleri, 2014). Şekil 4 üzerinde damlacıkların farklı yüzey tiplerine göre temas açılarının davranışı şematik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4: Damlacıkların temas yüzeyi ile şematik gösterimi (Chieng ve diğerleri, 2019)

Boinovich ve Emelyanenko'ya (2008) göre su damlacıklarının yüzeyler üzerindeki davranışı yüzey enerjisi ve ıslanabilirlik (ıslanma becerisi) olarak iki etkenle değişmektedir. Yüzey enerjisi düşük olan malzemelerde su damlacıklarındaki moleküller birbirleri ile daha çok etkileşim halinde olacaklarından, damlacık-yüzey temas açısı artacaktır (Chieng ve diğerleri, 2019). Islanma becerisi, katı parça yüzeyi ile sıvının arasındaki davranış biçimidir. Hidrofobik yüzeyler, hidrofilik yapıdaki yüzeylere göre daha nadir görülmektedir (Rafique ve diğerleri, 2020). Doğada bu yüzeye sahip olan yarı sucul olan Lotus (N. nucifera) çiçeğinin 30 cm'yi bulan yaprakları belirgin bir şekilde su tutmayan yüzeye sahiptirler. Yaprakların yüzeyleri doğada hidrofobik yüzeylere etkileyici bir örnek sunarak suyun yüzeyinden kayıp gitmesini değil üzerinden yuvarlanmasını sağlamaktadır (Chieng ve diğerleri, 2019). Şekil 5'te nilüfer yaprağındaki bu durum SEM görüntüleri ve şematik gösterimle belirtilmiştir.



Şekil 5: a) Nilüfer yaprağı, b) Nilüfer yaprağının mikropapillerinin SEM görüntüsü, c) Yaprığın üzerindeki mikropapilin mikro ve nano yapıdaki şematik görünümü, d) Nilüfer yaprağındaki su damlacığı (Chieng ve diğerleri, 2019)

2.2.1. Hidrofobik Yüzey Ve Damlacık İlişkisi

Su damlacıklarının hidrofobik yüzeylerle etkileşimi çeşitli alanlarda araştırma konusu olmaktadır. Ebert ve Bhushan (2012) su damlasının yüzey adezyonu ile ilgili hidrofobik ve hidrofilik nano parçacıklarla çalışmalar yaparak; mikro yapılardaki adım değerlerinin ve nano yapılardaki yoğunluğun, damlacıkların adezyonunun oluşmasında önemli rol oynadığını belirtmektedir. Su damlacıklarının dinamikleri yüzeyle yapılan eğime, damla boyutuna, temas açısına, temas açısı histerisizliğine ve yüzey/damla sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerin uygun koşulları sağlaması halinde oluşan hidrofobik yüzeylerin üzerindeki su damlacık

davranışları kendi kendini temizlemede kritik bir rol oynamaktadır (Yilbas ve diğerleri, 2019). Belirli uygulamalarda mekanik parçalar ve yapılar üretilirken malzeme seçiminde gözetilen durumlar kısıtlayıcı olur. Bu kısıtlayıcı etkenler malzemenin mukavemet özellikleri (akma dayanımı, burulma, yorulma, eğilme ve sürünme vb.), işlevselliğini sağlayacak özellikler, (sürtünme katsayıları, hidrofobiklik ve aşınma direnci), termal ve elektriksel özellikleri gibi başlıklarda incelenebilir.

Bunlara ek olarak uygulanabilirlik, malzeme maliyeti ve malzemenin toksisitesi de belirleyici rol oynamaktadır (Fotovvati ve diğerleri, 2019). Gemi gövdelerinde kullanılan hidrofobik malzemeler, ıslak yüzeylerde oluşan biyolojik organizmaların yaşam ortamı oluşturmalarını engelleyerek gelebilecek zararların önünü kesmektedir (Chieng ve diğerleri, 2019).

2.3. HİDROFOBİK KAPLAMANIN POMPA SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI

Pompaların modernleştirilmesi yolunda önde gelen durumlardan biri de akış yüzeylerine lotus etkisi denilen hidrofobik özellik kazandırılmasıdır (Patankar, 2004; Mishchenko ve diğerleri, 2010). Çark ve kanatlar üzerindeki yüzey pürüzlülüğü, ıslanabilirliği önemli derecede değiştirmekle beraber olup aynı zamanda yüzey enerjisini etkiler. Buna bağlı olarak katı parçaların yüzey enerjisi düşürüldüğünde hidrofobiklik özelliği artmaktadır (Miwa ve diğerleri, 2000). Yüzey pürüzlülüğünün santrifüj pompalarda verimle doğru orantılı olduğu bilindiğinden, yapılan çark kaplamalarıyla düşürülen pürüzlülük sürekli geliştirilmekte olan verim endekslerine yakalamakta yardımcı olacaktır (Varley, 1961). Akış hacminin temas ettiği yüzeylerin özellikle çark kısmının işlenmemiş haline göre hidrofobik özellik kazandırılması, pompa modellerine göre %2 ile %6 arasında verim artışlarına ulaşılmasını sağlamıştır (Volkov ve diğerleri, 2015). Damlacıkların yüzeye temas alanı küçük olduğundan dolayı damlalar yüzey üzerinden yuvarlanarak giderler ve bu durum korumayla beraber kendi kendini temizleme özelliğini kazandırır (Nayshevsky ve diğerleri, 2019). Endüstride kendini temizleyen nano kaplamaların sağladığı yararlar içerisine bakım maliyetini düşürmek, dayanımı arttırmak, buzlanmayı engellemek ve çevre kirliliğine engel olacak durumlar girebilir (Sethi ve diğerleri, 2018). Metal ve alaşım yüzeylerde malzemelerin hidrofobik özellik kazandırılarak korozyona karşı dirençleri arttığı gözükmemektedir (Hermelin ve diğerleri, 2008). Sadece daldırma tekniği gibi basit bir yöntemin kullanılmasıyla bile çinko alaşımlı yüzeylerde hidrofobik özellik

kazandırılmasının yanında korozyon etkilere karşı bir tabaka oluşmaktadır (Liu ve diğerleri, 2009).

3. YÜZEY KAPLAMASININ İNCELENMESİ

3.1 HİDROFOBİK KAPLI YÜZEYİN OLUŞTURULMASI

Akışkan yüzeyinin temas ettiği çark ve gövde yüzeyleri Henkel'in Loctite markasının hidrofojik yüzey oluşturmak için kullandığı PU0013_F200 adlı numune ürünle kaplanmıştır. Düşürülmüş yüzey enerjisi, hidrofojik yüzey, abrazyon aşınmalara karşı koruma ve düşük sürtünme katsayısı gibi pompa sektöründe önem arz eden katalog değerleri verilmiştir. Şekil 6'da malzemelerin reçine ve sertleştiricilerin de bulunduğu yüzey kaplama ekipmanları gösterilmiştir.



Şekil 6: Hidrofojik yüzeyin oluşturulması için kullanılan ekipmanlar

Silikon karışımının içinde hidrojenasyonlanmış bisfenol A, epiklorohidrin, kristobalit, çinko-oksit, aminoetil gibi polimer yapılar karıştırılarak 1,5 g/cm³ yoğunluğunda kaplama malzemesi elde edilmiştir (şekil 7).



Şekil 7: Karışımın elde edilmesi

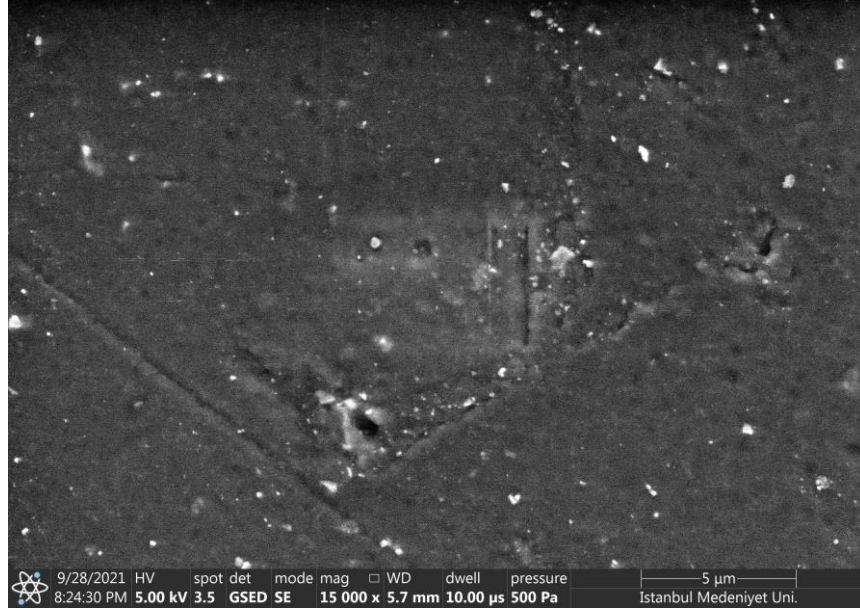
Karışım 0,25 mm kalınlığında fırça ile şekil 8’de gösterilen akışkanın temas edeceği yüzeylere uygulanıp 24 saat kür süresi verilmiştir.



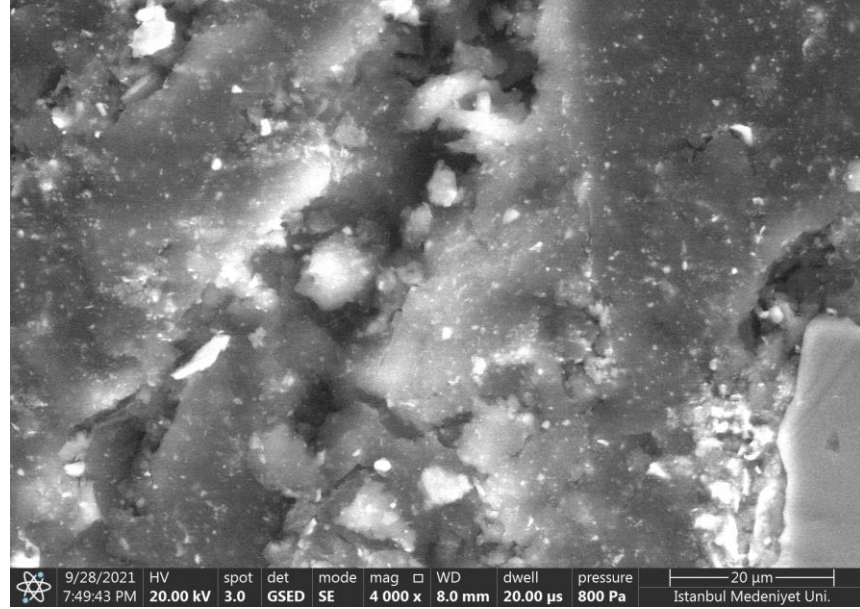
Şekil 8: Kaplama işlemi bittikten sonra kür için bırakılan soldan sırayla gövde kapağı, çark ve salyangoz gövde

3.2 HİDROFOBİK KAPLANAN YÜZEYİN GÖRÜNTÜLENMESİ

DIN 0.6025 döküm malzemenin yüzeyi ile Loctite marka hidrofofik yüzeyin incelenmesi için şekil 9’da gösterilen SEM görüntüleri İstanbul Medeniyet Üniversitesi SEM laboratuvarında alınmıştır.



(a)



(b)

Şekil 9: a) DIN 0.6025 GG25 malzemenin SEM görüntüsü, b) PU0013_F200 adlı yüzey kaplı malzemenin SEM görüntüsü

Laboratuvar incelemelerinde görüntü almak için kullanılan SEM cihazı ve numune parçalar şekil 10’da gösterilmiştir.

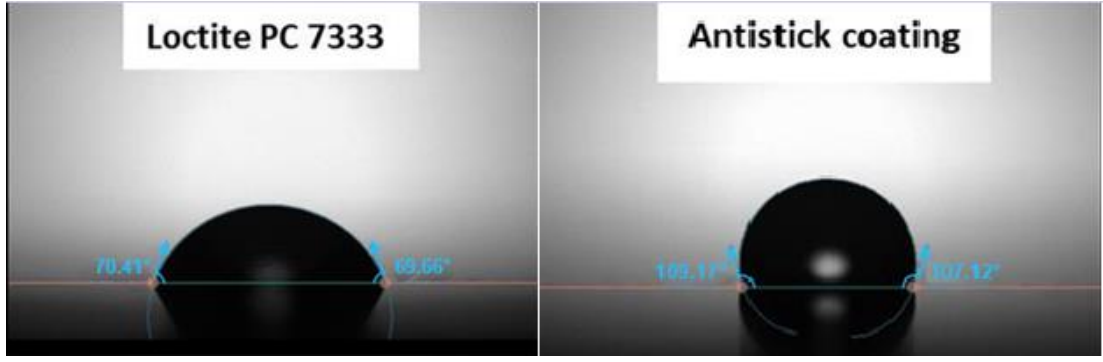


(a)

(b)

Şekil 10: a) Laboratuvar SEM cihazı, b) Belirlenen numunelerin hazne içersine yerleştirilmesi

Hidrofobik kaplı olan yüzeyde gereken yaklaşma derecesi arttıkça beliren yapıların hidrofobik yapılara benzer yüzey örüntüsüne sahip olduğu görülmüştür. Ancak karşılaştırma yapılması için hidrofobik yüzeyden alınan görüntülerde SEM tarafından gönderilen elektronları absorbe ettiği ve alınan görüntülerin istenilen derecede sağlıklı olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 11’de bu durum için yüzey temas açısı damla testi sonuçları paylaşılmıştır. Loctite PC 7333 hidrofilik yüzeyi ile PU0013_F200’ün yüzeyinin hidrofobikliği karşılaştırılmıştır. Temas açısı 90 derecenin üstünde çıkan numune parçada SEM görüntüsünden alınan sonuçlar doğrulanmıştır.



(a)

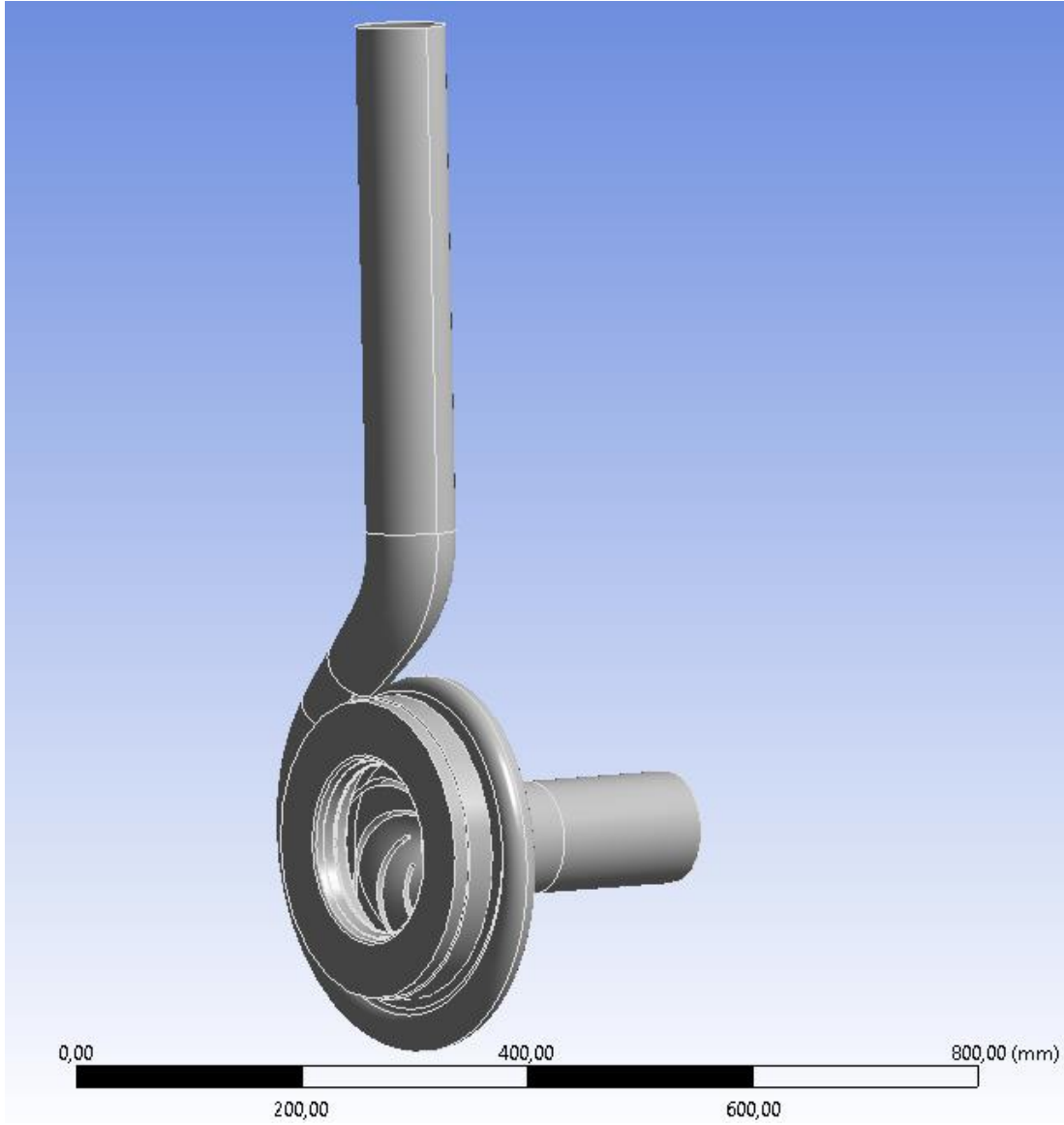
(b)

Şekil 11: Loctite tarafından gerçekleştirilen damlacık temas açılarının gösterimi

a) Hidrofilik olduğu bilinen PC 7333, b) PU0013_F200 ile gelişen yapışmayan hidrofobik yüzey

4. ÇARK VE GÖVDENİN ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ VE SAYISAL AĞ OLUŞTURULMASI

Çark ve gövde analizlerinin yapılabilmesi için bilgisayar ortamında üç boyutlu modellerin akış hacmi çıkarılarak modeller oluşturulmuştur. Bu durum için çark ve salyangoz gövdenin katı hacimlerinin negatifi alınarak hesaplamalı akışkanlar dinamiğine uygun hale getirilmiştir. Alınan akışkan hacmi şekil 12’de gösterildiği gibi hesaplamalar için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 12: HAD için hazırlanan akışkan hacminin üç boyutlu görüntüsü

4.1 NUMERİK ANALİZ PARAMETRELERİ

Analizler için Standart Pompa'nın ürün gamında bulunan ECO SNT 80-250 tipi uçtan emişli pompa seçilmiştir. Pompa yatay milli, tek kademeli, salyangoz gövdeli ve 7 kanatlı kapalı çark tasarımına sahiptir.

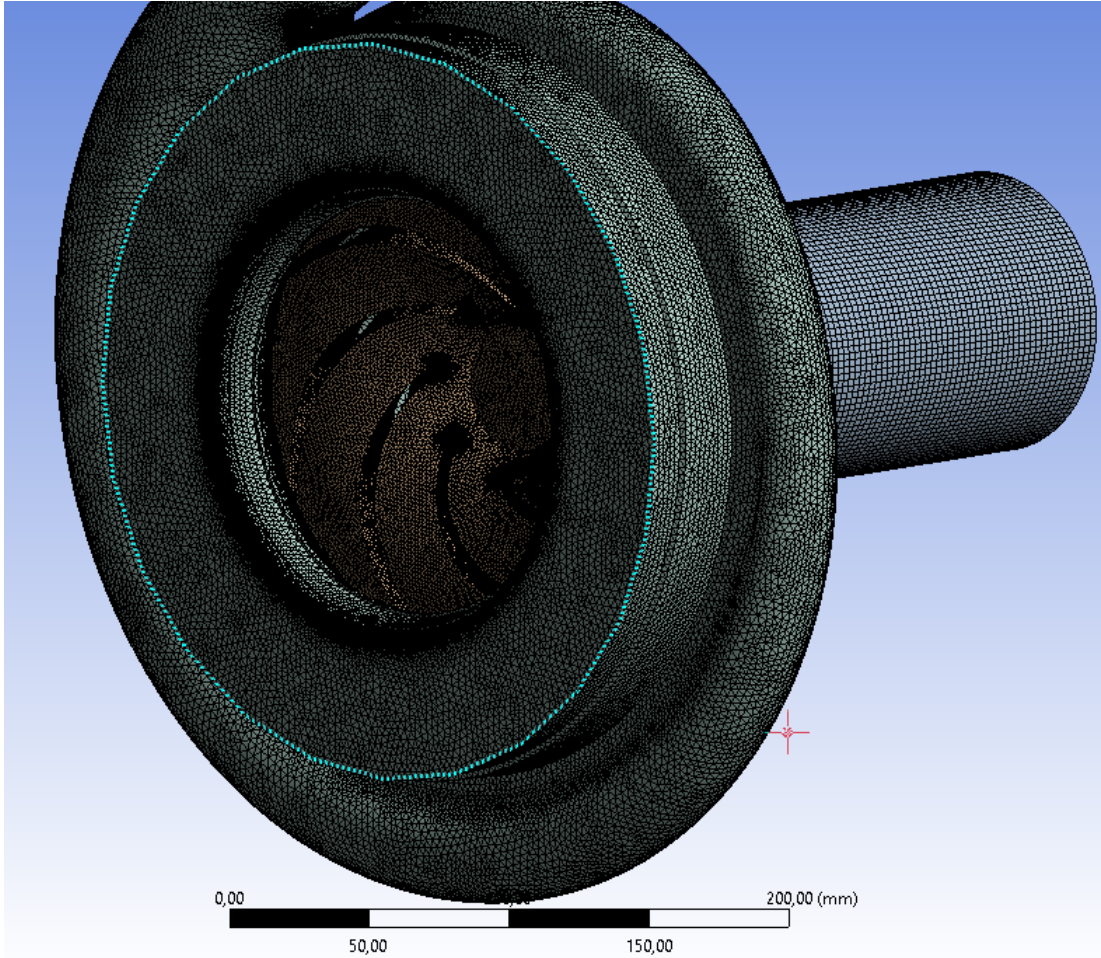
Pompa sisteminin akış hacmini oluşturan çark ve salyangozun 3 boyutlu tasarımı için Solidworks kullanılacaktır. Yapılan tasarım üzerinde Ansys yazılımının Ansys Meshing modülü ile sayısal ağ, CFX modülü kullanılarak sayısal çözüm yapılmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarının sayısal ağdaki element sayısı ile ilişkisi Tablo 1'de gösterilmiştir. Sonuçlara göre hesap süresi ve doğruluğu göz önünde bulunarak 2 numaralı tasarım modeli seçilmiştir.

Tasarım	Parça	Element Sayısı	Toplam Element Sayısı	η/η_{ref}
1	Çark	2.145.022	4.372.120	0,968
	Gövde	2.227.098		
2	Çark	2.345.022	5.072.120	1,005
	Gövde	2.727.098		
3	Çark	2.845.022	6.372.120	1,0056
	Gövde	3.527.098		

Tablo 1: Element sayısı ile değişen verimlerin karşılaştırılması

2 numaralı seçilen ağ örüntüsünün görüntüsü şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13: HAD için hazırlanan sayısal ağ örüntüsü

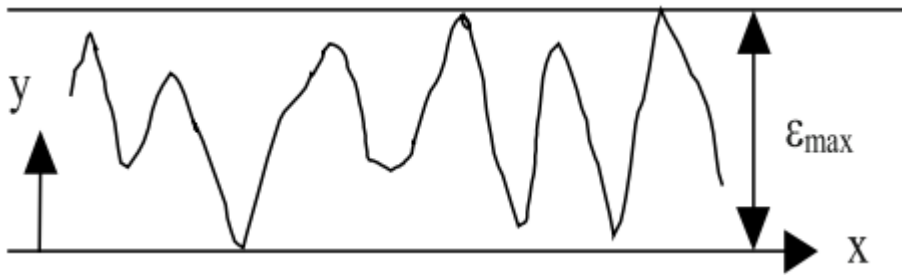
Akışkan olarak $998,2 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğunda su, türbülans modeli k-epsilon, 1800 devir/dk'da döndürülmüştür. Çözüm steady-state çalışarak sınır tabaka hidrofobik yüzeyde “no slip condition” sınır koşulu ile “sand grain roughness” değerleri yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değiştirilmiştir. İterasyonların yakınsama durumunu incelemek için denklem 1.1 ve 1.2 kullanılmıştır.

$$H = \frac{p_d - p_s}{\rho \cdot g} + \frac{V_d - V_s}{2g} + z_d - z_s \quad (1.1)$$

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_1} \quad (1.2)$$

Pompanın basma yüksekliği ile verim denklemleri üzerinden gidilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kum tanesi pürüzlülüğünün bulunması için gerekli olan $\epsilon_{\max}$ (şekil 10) CMM cihazı ile ölçülmüştür.

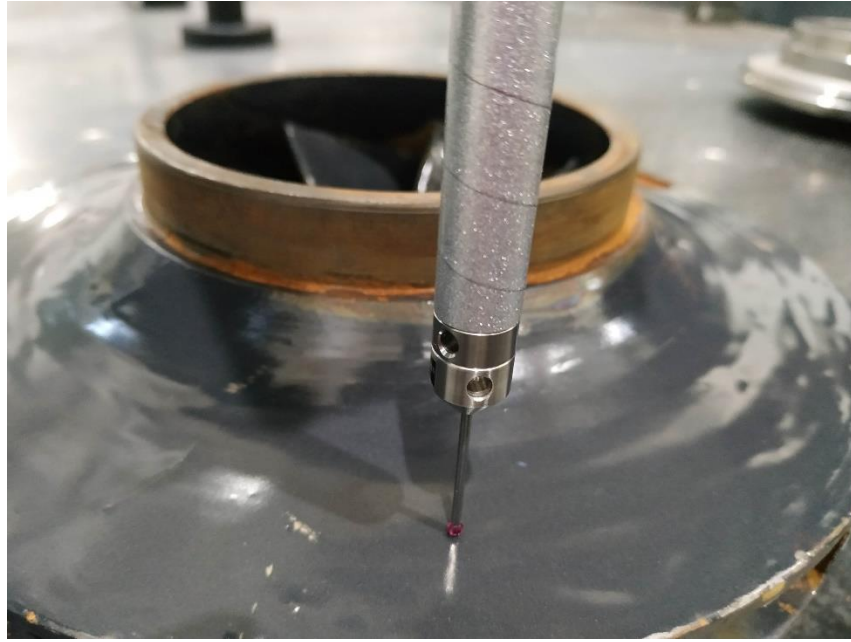


Şekil 14: Yüzeydeki maksimum pürüzlülük (Adams ve diğerleri, 2012)

Şekil 15’te kalibrasyonu yapılmış CMM cihazı ve yapılan ölçümler gösterilmiştir.



(a)

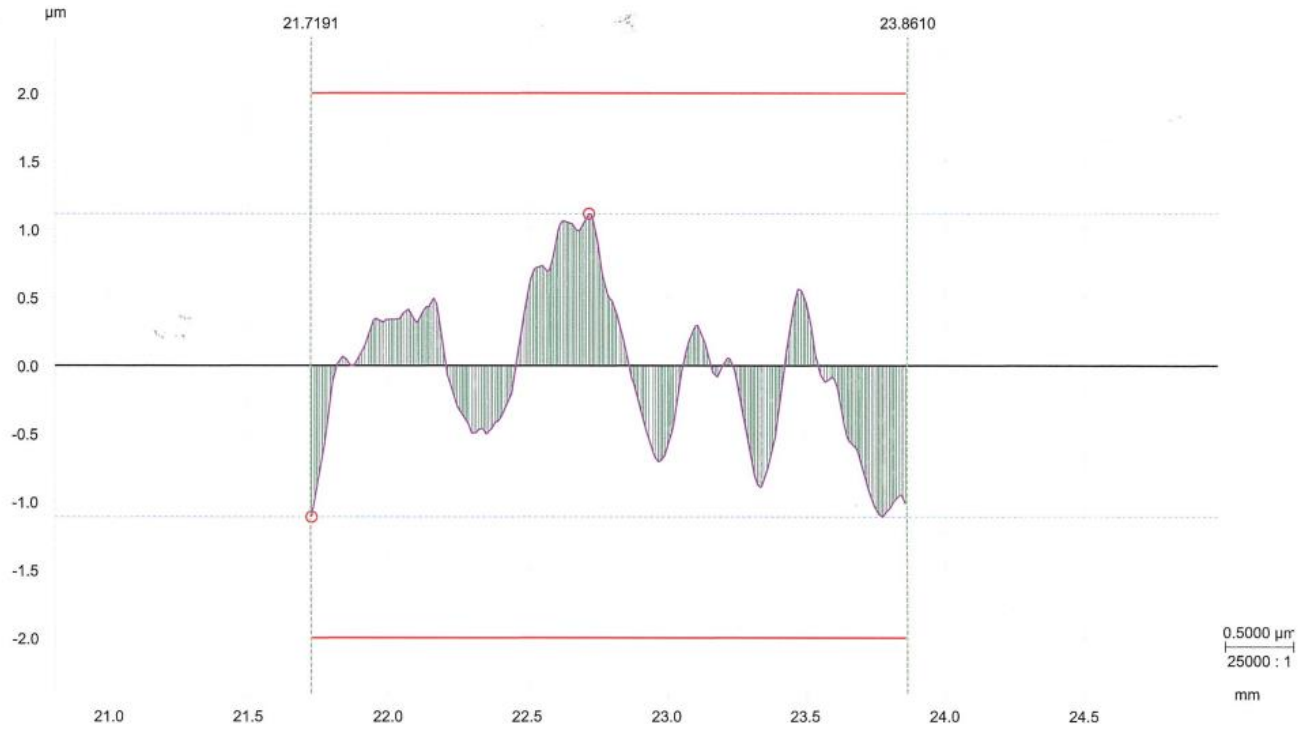


(b)

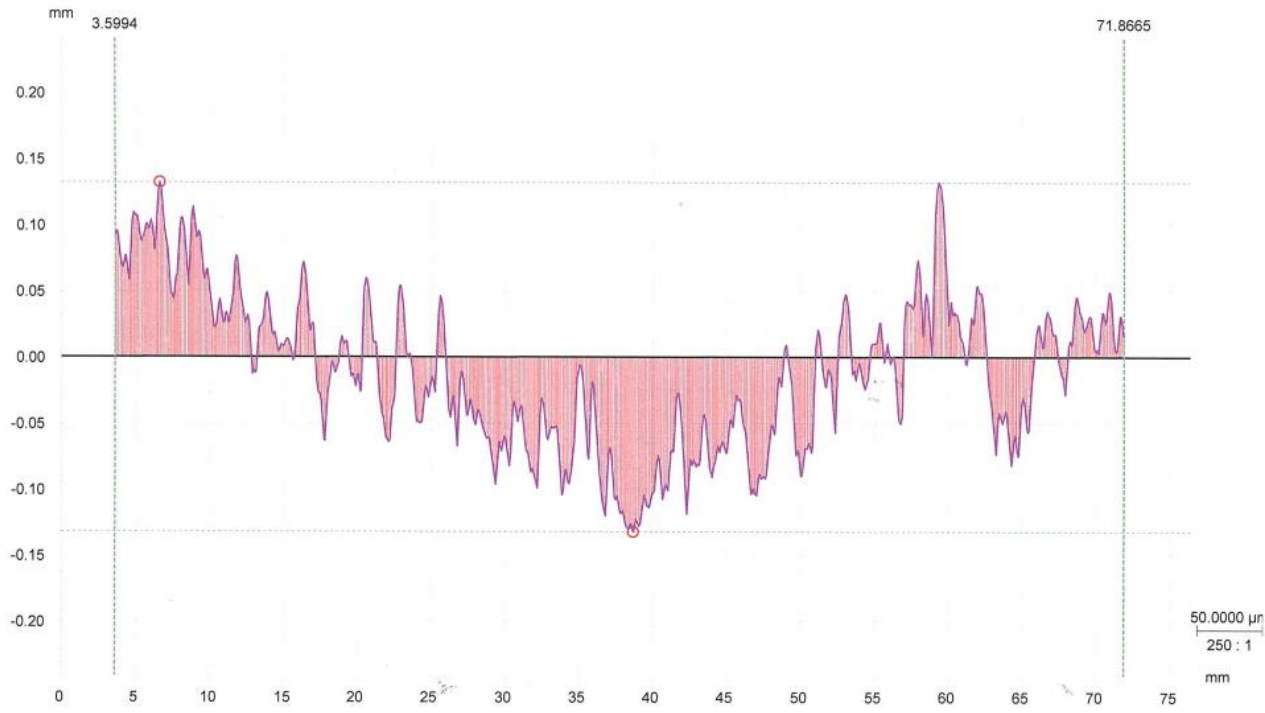
Şekil 15: a) CMM ölçüm cihazı, b) Hidrofobik kaplı çark üzerinden yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümü

CMM cihazı ile alınan ölçümlerden yola çıkarak hidrofobik yüzey kaplı çark ve işlenmemiş olan dökme demir yüzeyin $\epsilon_{\max}$ değerleri şekil 16-17'den belirlenip, hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü için sınır tabaka değeri olarak girilmiştir.

Salyangoz gövde ve çark içerisinde akışkanla temas eden yüzeyler dışında emme hücresi ve basma hücresi sonuca etkisi olmaması adına pürüzsüz yüzey olarak kabul edilmiştir.



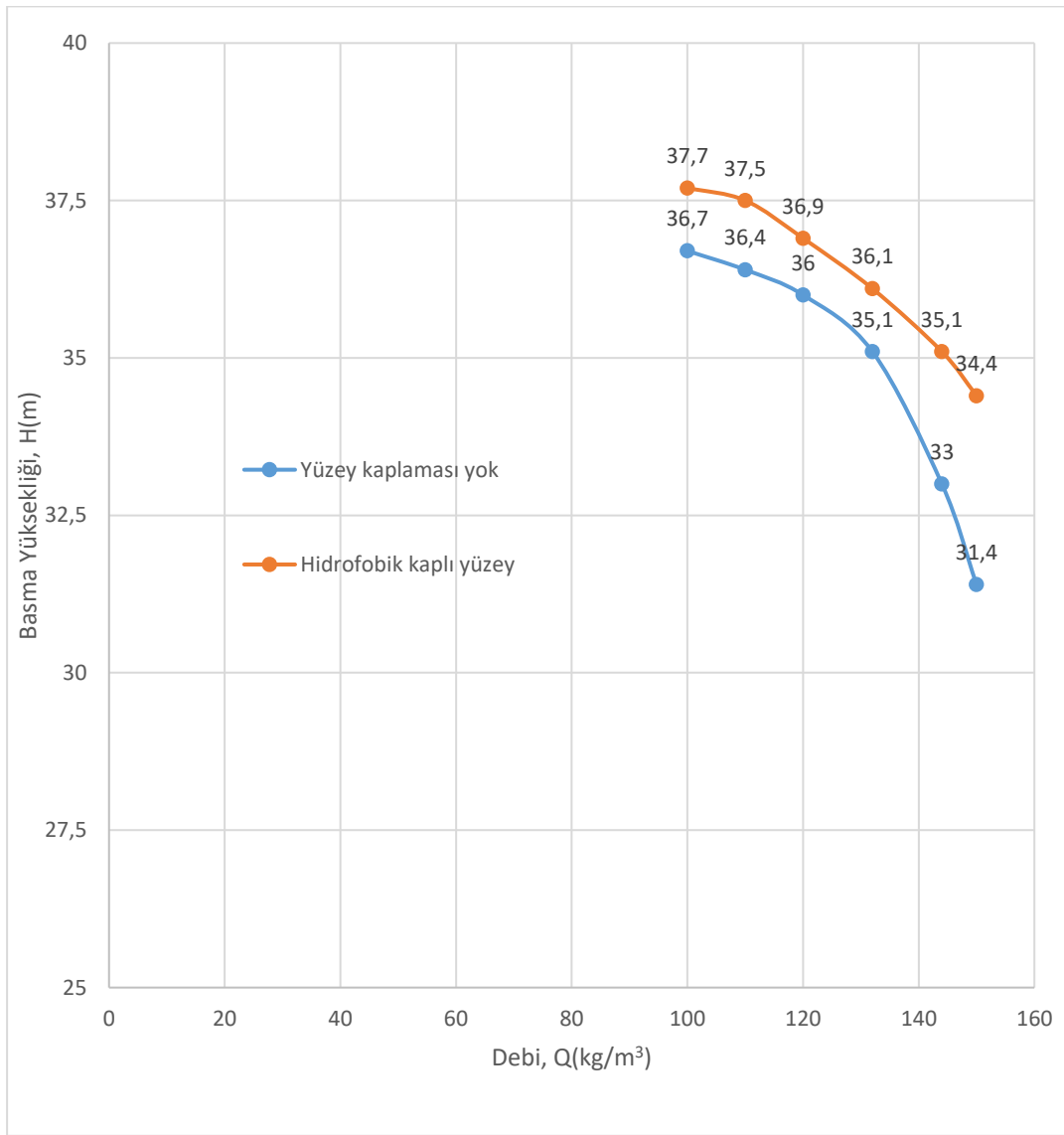
Şekil 16: CMM cihazı ile hidrofofik kaplı yüzeyin pürüzlülük değerleri



Şekil 17: DIN 0.6025 malzemenin yüzey üzerinden ölçümü

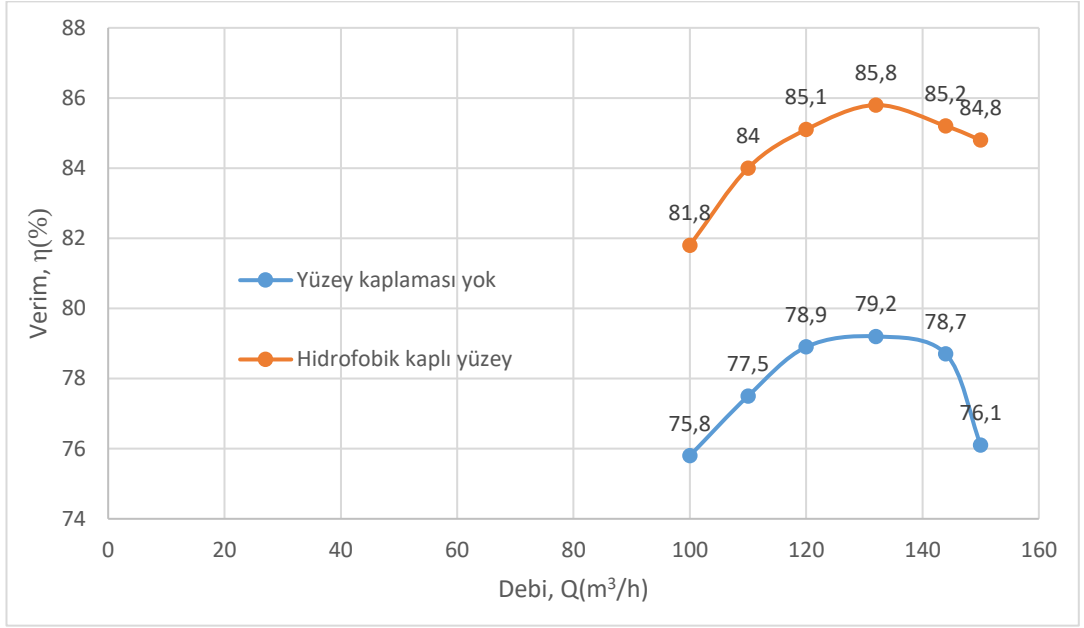
4.2 HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZ SONUÇLARI

CFX modülü kullanılarak hidrofobik özellik kazandırılan yüzey ile döküm sonrası elde edilen yüzeyin HAD analizi yapılmıştır. Öngörülen en verimli nokta etrafında %10 farklarla belirlenen farklı debi noktalarında çözüm gerçekleştirilerek pompa performans eğrisinin oluşturulması amaçlanmıştır.



Şekil 18: HAD analizi sonucu elde edilen H-Q eğrisi

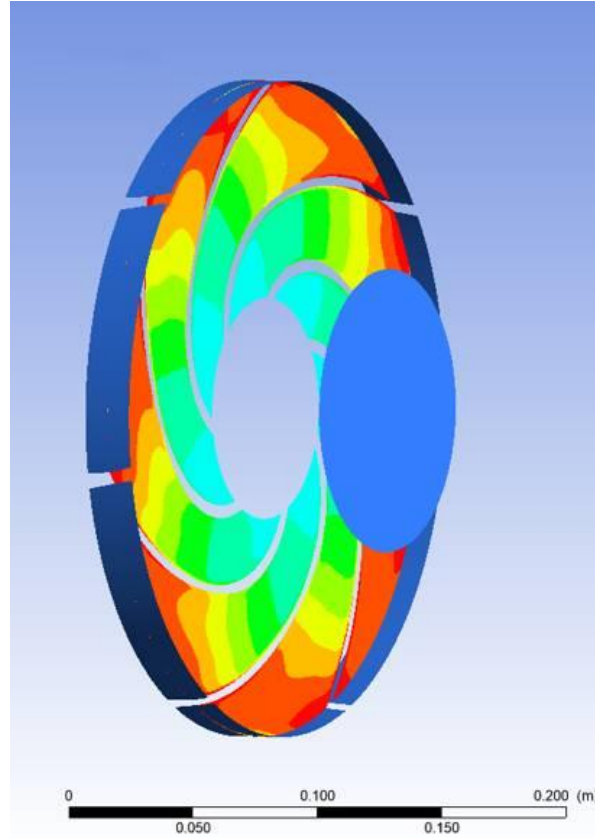
Şekil 18’te 100-150 m³ arasında toplam 6 noktada H-Q eğrisi oluşturulmuştur. Hidrofobik özellik kazandırılan yüzeyin analiz sonuçlarında basma yüksekliğinin belirgin bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Aynı zamanda yüzey kaplaması olmayan yüzeyin debi arttıkça daha hızlı çöktüğü gözlemlenmiştir. Çökmenin henüz gerçekleşmediği noktalarda 1 metre daha fazla basma yüksekliği kazanıldığı görülebilir.



Şekil 19: HAD analizi sonucu elde edilen verim eğrisi

Aynı altı farklı nokta için yapılan analizlerde verim eğrileri şekil 19’da gösterilmiştir. H-Q eğrisinde görülen çökmenin burada da görüldüğü söylenebilir. H-Q eğrisinin sağına gidildikçe verimin daha hızlı bir düşüş rejimine girdiği belirtilebilir. EVN’nin her iki durum içinde aynı debide olduğu yani sabit kaldığı ve verimler arasında hidrofobik özellik kazandırılan yüzeyin EVN’de %8,3 daha verimli hale geldiği görülmektedir. İki durum arasında maksimum verim artışı eğrinin en sağ tarafında olup %11,4 mertebelerine çıkmıştır.

Çarklarda ve gövdelerde oluşan farkın gözlemlenebilmesi için numerik analizle elde edilen eğrinin uç noktaları referans alınmıştır. Bu durumda 110 m³/h, 150 m³/h ve en verimli nokta olarak bulunan 132 m³/h debilerinden çarkın giriş ve çıkışlarında oluşan toplam basınç farkı alınmıştır. Şekil 20 üzerinde çark için belirlenen ara yüzler belirtilmiştir.



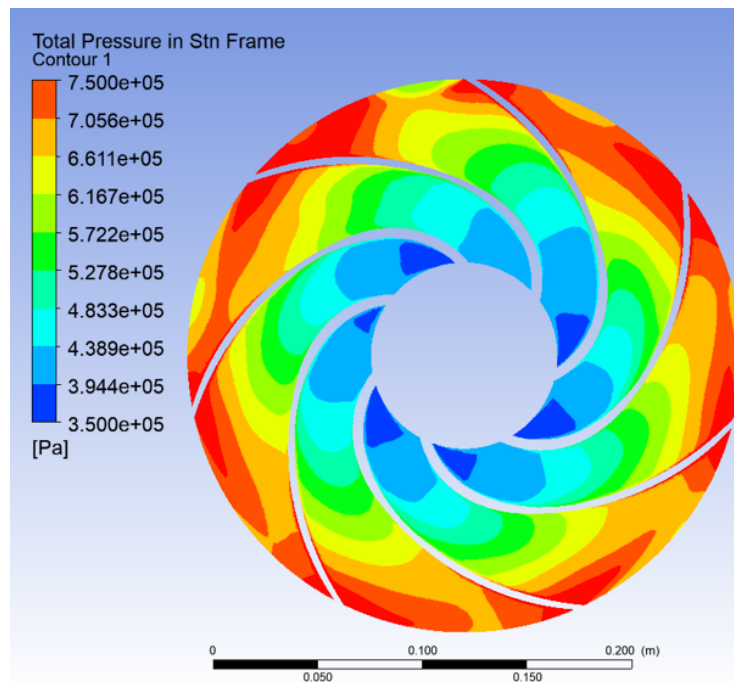
Şekil 20: Çarkta oluşan ΔP hesabı için kullanılan arayüzlerin konumu

Hidrofobik kaplı yüzey modellemesi gerçekleştirilen pompa, 3 farklı çalışma noktasında toplam basınç farkları hesaplanarak tablo 2’de gösterilmiştir.

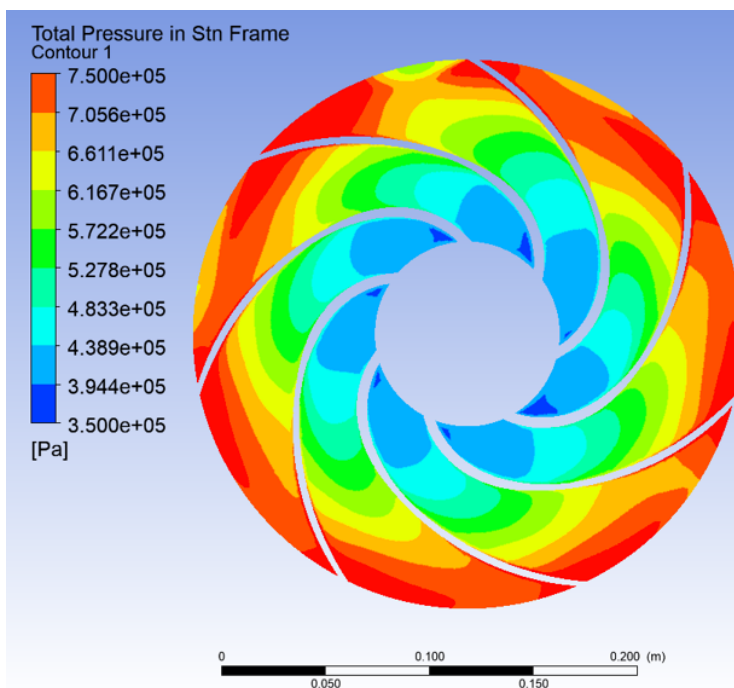
Modellenen Çarklar		Q (m ³ /h)		
		100	132	150
Hidrofobik Yüzey	P _{in} (Pa)	349468	378864	408714
	P _{out} (Pa)	760779	763514	781716
Kaplamasız Yüzey	P _{in} (Pa)	360809	391322	447248
	P _{out} (Pa)	771538	787885	811789

Tablo 2: Çark girişlerinde ve çıkışlarında hesaplanan toplam basınçlar

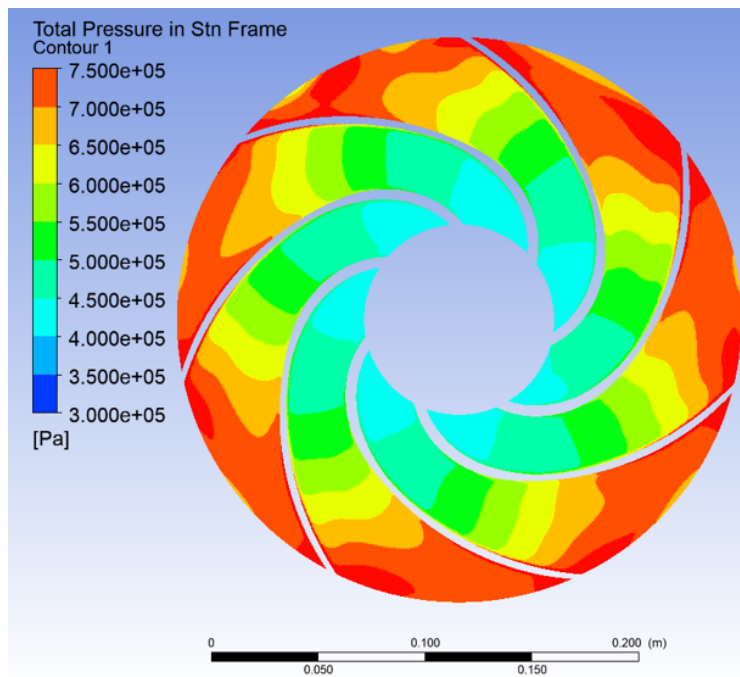
Hidrofobik yüzey kaplamalı çark ile yüzey kaplamasız çarkların toplam basınç değerleri ve toplam basınçların dağılımı şekil 21’de 3 farklı çalışma noktası için belirtilmiştir.



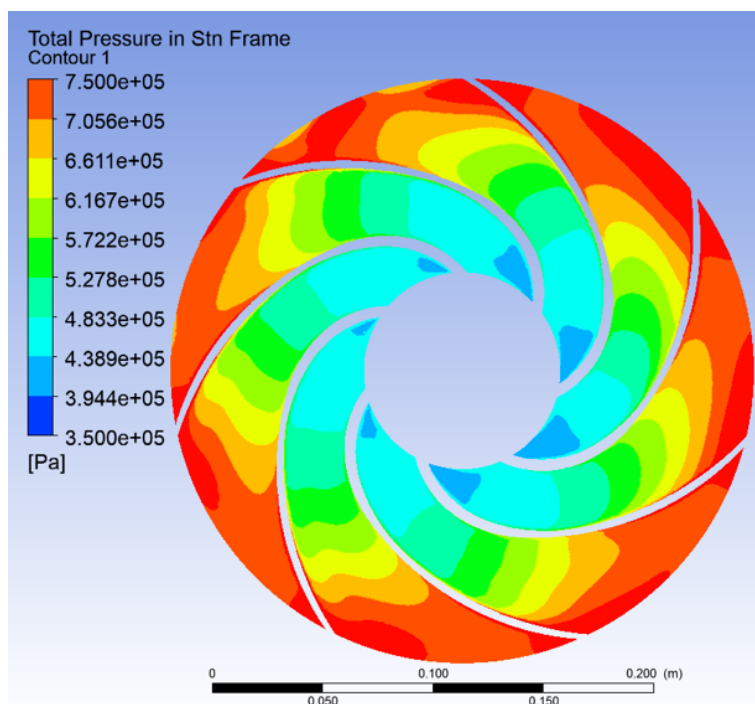
(a)



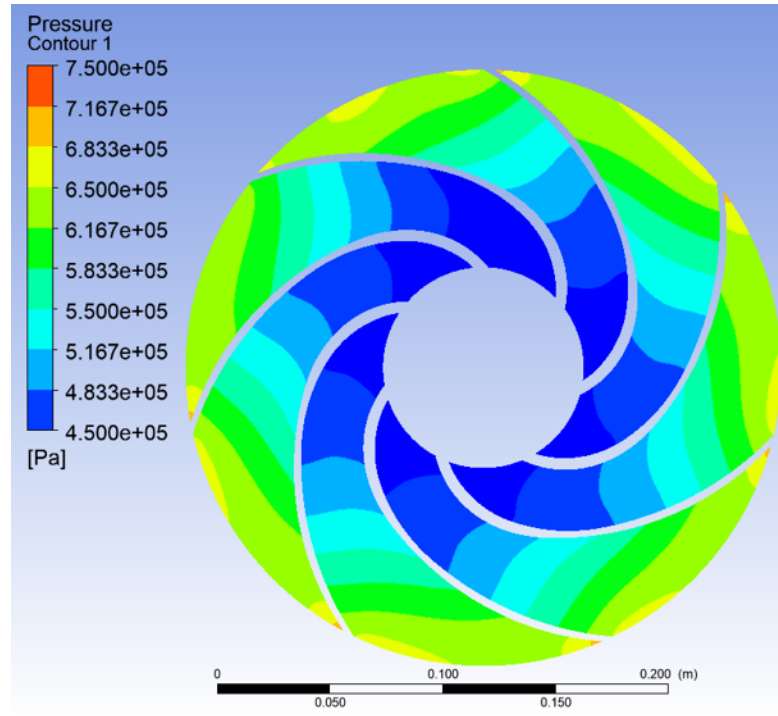
(b)



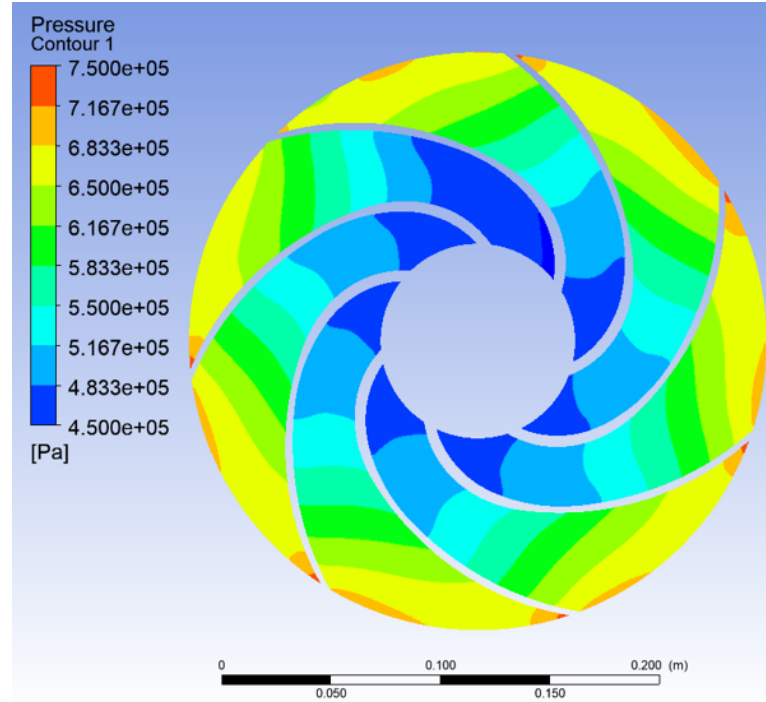
(c)



(d)



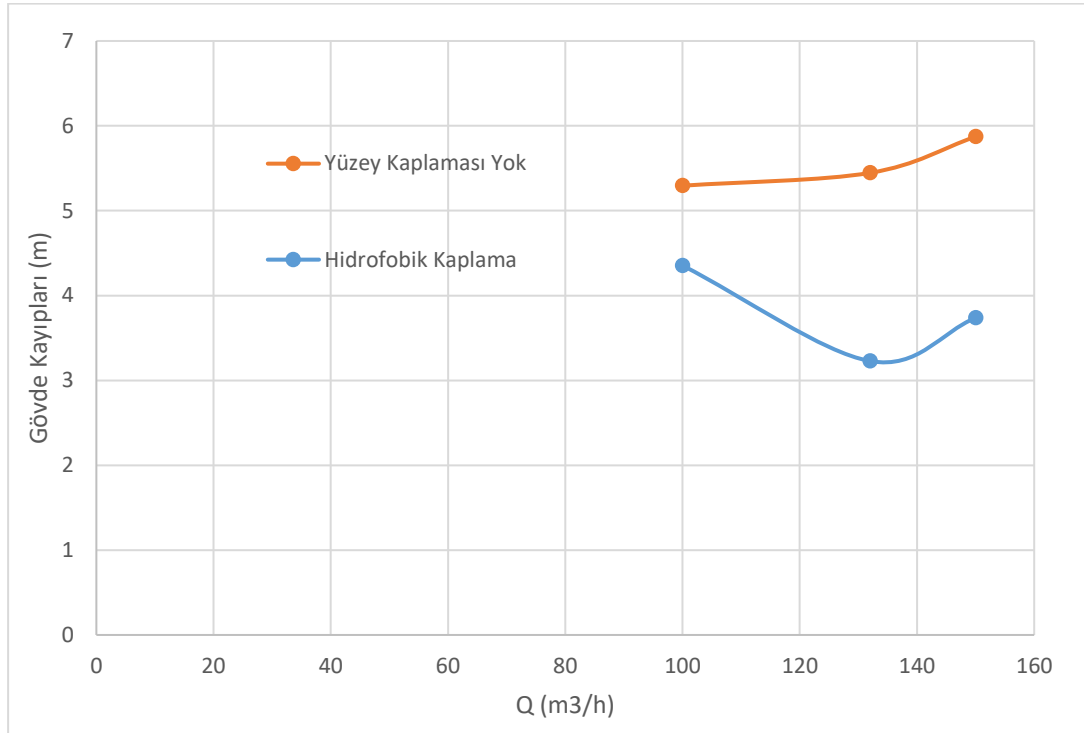
(e)



(f)

Şekil 21: Çarklarda oluşan toplam basınç dağılımları, a) $100\text{m}^3/\text{h}$ 'deki hidrofobik modelleme, b) $100\text{m}^3/\text{h}$ 'deki kaplamasız yüzey c) $132\text{m}^3/\text{h}$ 'deki hidrofobik modelleme, d) $132\text{m}^3/\text{h}$ 'deki kaplamasız yüzey, e) $150\text{m}^3/\text{h}$ 'deki hidrofobik yüzey, f) $100\text{m}^3/\text{h}$ 'deki kaplamasız yüzey,

Elde edilen verilerden, yüzeyleri hidrofobik kaplı olan gövde ile yüzey kaplaması olmayan gövdenin üç farklı çalışma noktasında oluşan kayıplara ulaşılmıştır. Numerik analizle elde edilen pompa basma yüksekliklerinden yola çıkılarak, modellenen gövdelerin kayıpları şekil 22’de gösterilmiştir.

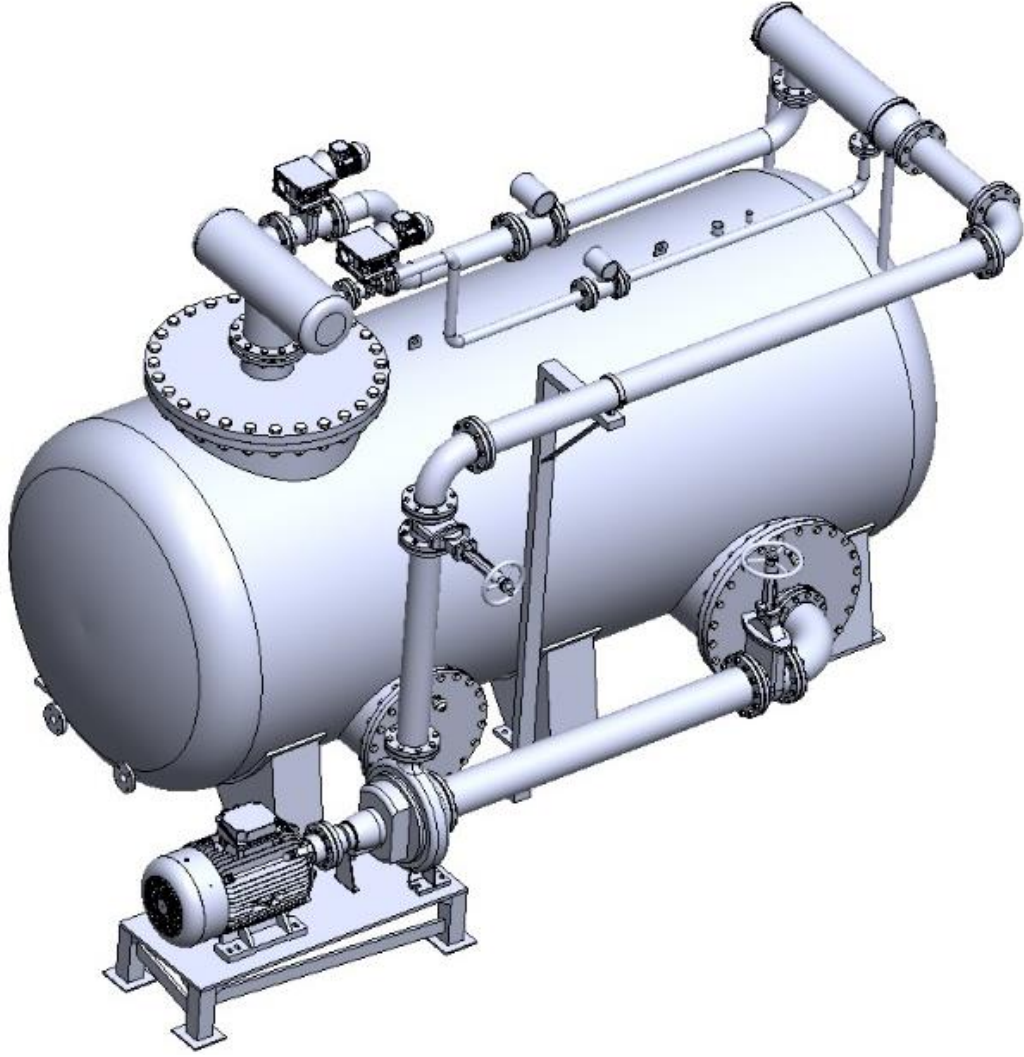


Şekil 22: Salyangoz gövdelerde oluşan kayıplar

5. KAPLAMA YAPILAN YÜZEYLERİN POMPA PERFORMANS DEĞERLERİ

5.1. DENEY DÜZENİĞİ VE KULLANILAN EKİPMANLAR

Deney için numerik analizlerde kullanılan Standart Pompa’nın ECO SNT 80-250 pompası seçilmiştir. Değişken devir kullanılarak farklı parçaların yüzey kaplaması olmadığı, seramik ve hidrofobik yüzey kaplı olduğu durumlara göre üç farklı pompa karakteristiği için iki farklı çalışma koşulu oluşturularak incelenmiştir. 25 Hz ve 30 Hz’de toplam altı deney gerçekleştirilmiştir. Kapalı çevrim çalışan deney düzeneği şekil 23’te gösterildiği gibidir.



Şekil 23: Deneylerin gerçekleştirildiği test düzeneği

Deney sırasında sistem yani tankın basıncı 2,5 bar olarak ayarlanmıştır. Bu sayede olası bir kavitasyondan kaynaklı performans kayıpları minimize edilmiştir. Pompa çıkış ve girişlerine yerleştirilen basınç sensörleri ile ölçümler alınarak basma yüksekliği, basma hattı üzerinde bulunan manyetik debimetre sayesinde pompanın kapasite değeri okunabilmektedir. Çalışma frekansları motora bağlı olan frekans konvertörü ile değiştirilmektedir. Motor ile pompa arasına yerleştirilen manyetik torkmetre ile hidrolik güç ve devir sayısı elde edilir. Torkmetreden okunan tork, denklem 3.1 üzerinden pompa mil gücüne çevrilir.

$$P_2 = M \cdot \frac{(2\pi \cdot n)}{60} \cdot 10^{-3} \text{ [kW]} \quad (3.1)$$

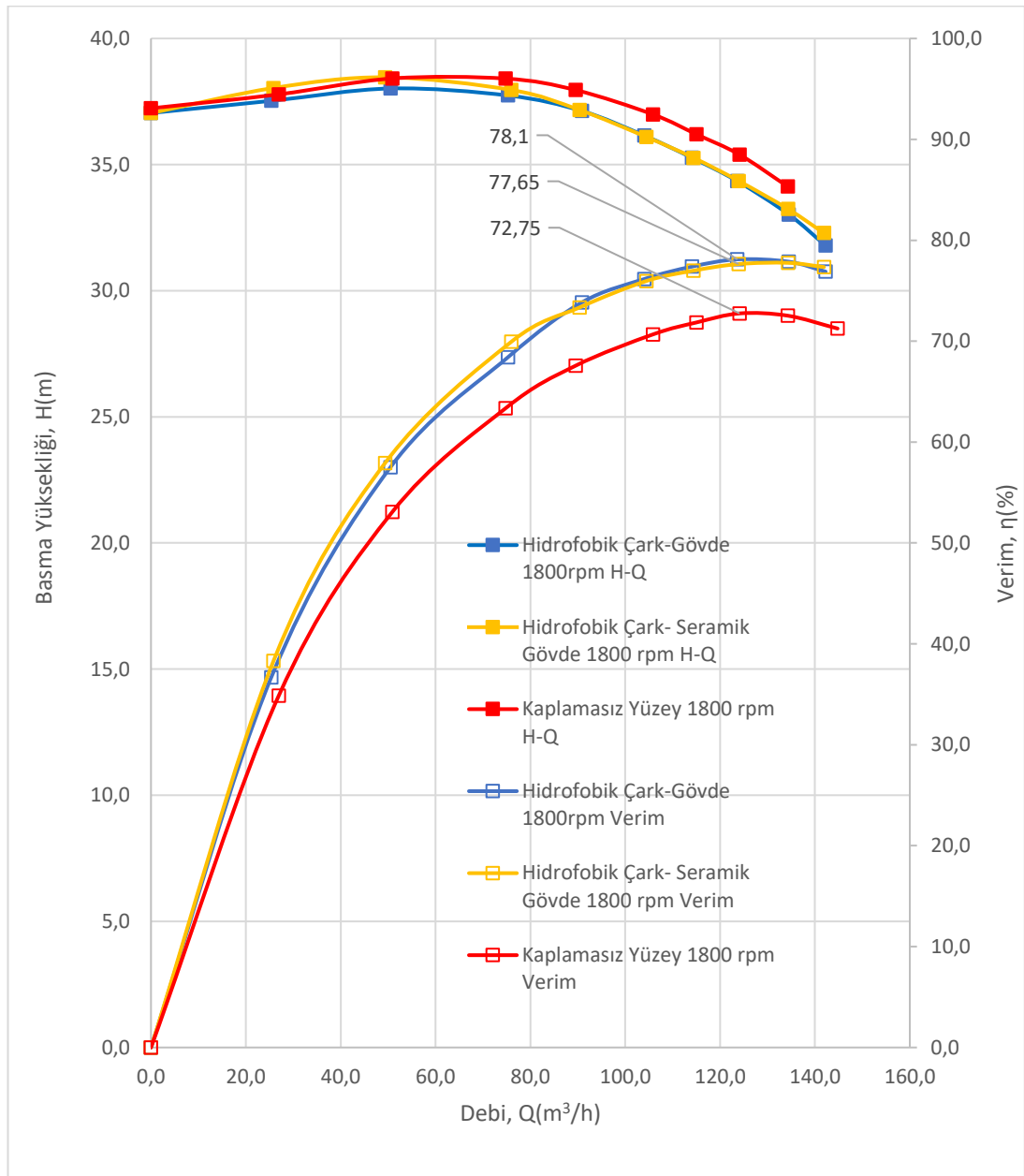
Testte kullanılan ekipmanlar (tablo 3), ölçüm yöntemleri ve kalibrasyon periyotları ISO 9906'ya göre uygun olarak belirlenmiştir.

Ölçüm	Sembol	Ölçüm Enstrümanı
Debi	Q	Krohne - Optiflux 2000 DN200
Basınç	P _{giriş}	Keller - PAA33x - 3 barA
	P _{çıkış}	Keller - PAA33x - 10 barA
Torkmetre	τ	Kistler - 4504 2000 N.m
Devir	n	
İnvertör	-	ABB - ACH 810 710 kW Frequency Invertor

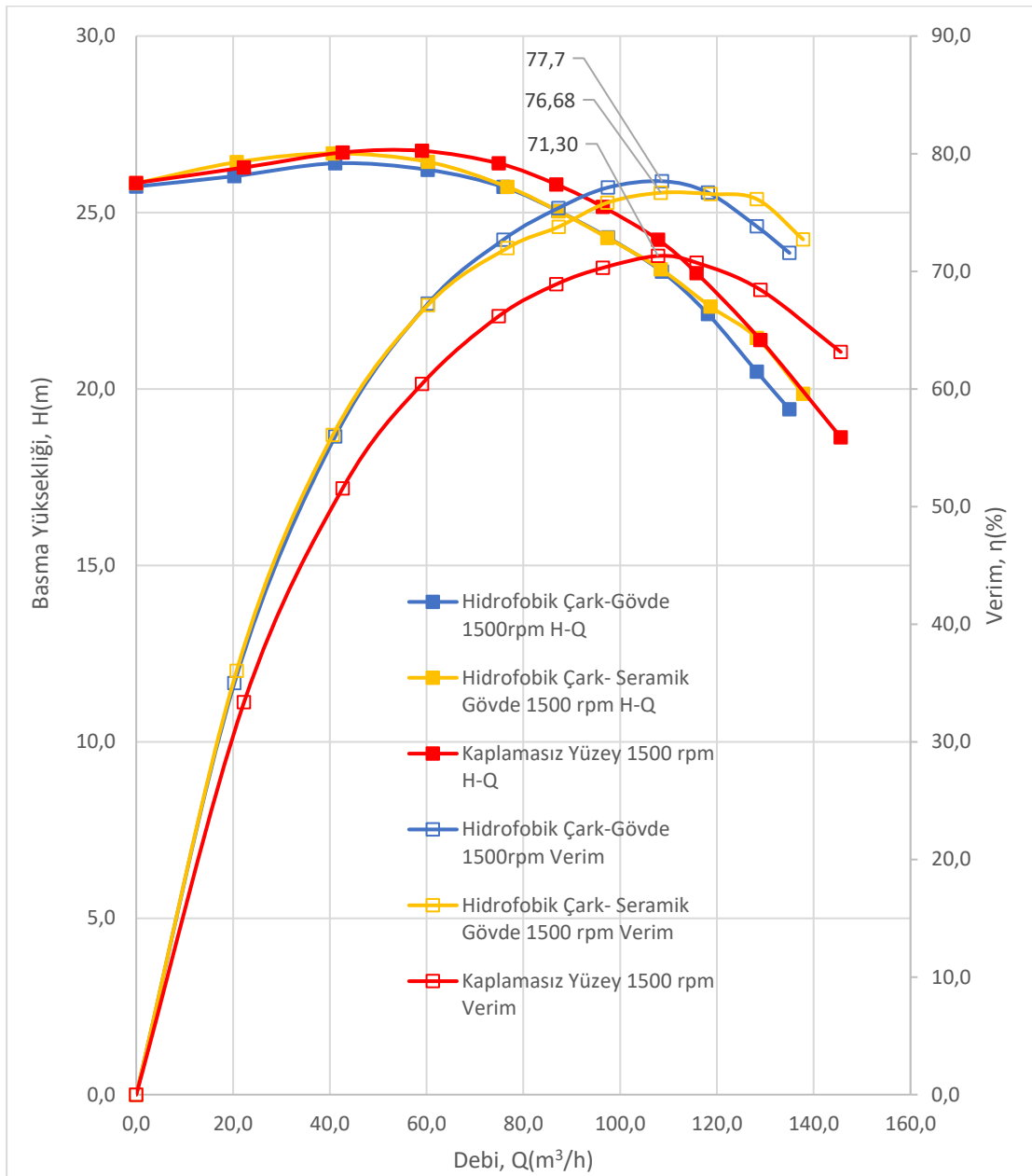
Tablo 3: Deneyde kullanılan ekipman listesi

5.2. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Gövdenin ve çarkın hidrofobik özellik kazandırılarak, sadece hidrofobik yüzey kaplı çark ile seramik yüzey kaplı gövdenin ve yüzey kaplaması olmayan çark-gövdenin deneyleri bu test düzeneğinde yapılmıştır. Oluşturulan üç farklı pompa karakteristiği 1800 devir/dk ve 1500 devir/dk döndürülerek toplam altı tane H-Q performans eğrisi verimleriyle beraber elde edilmiştir. Her pompa karakteristiği için en az 10 farklı debi değeri üzerinden ölçümlere alınarak sağlıklı bir şekilde eğriler oluşturulmuştur.



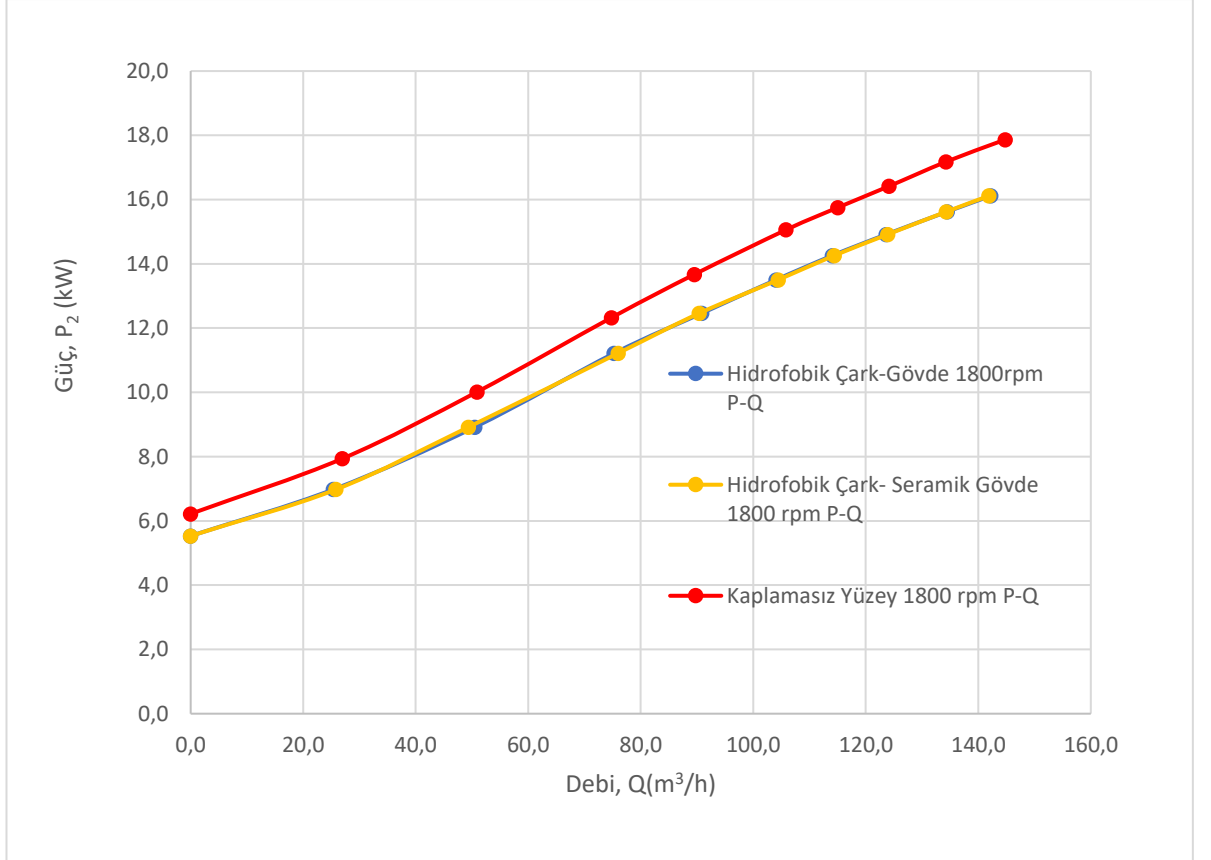
Şekil 24: 1800 rpm'deki pompa deneylerinin H-Q performans eğrileri ve verimleri



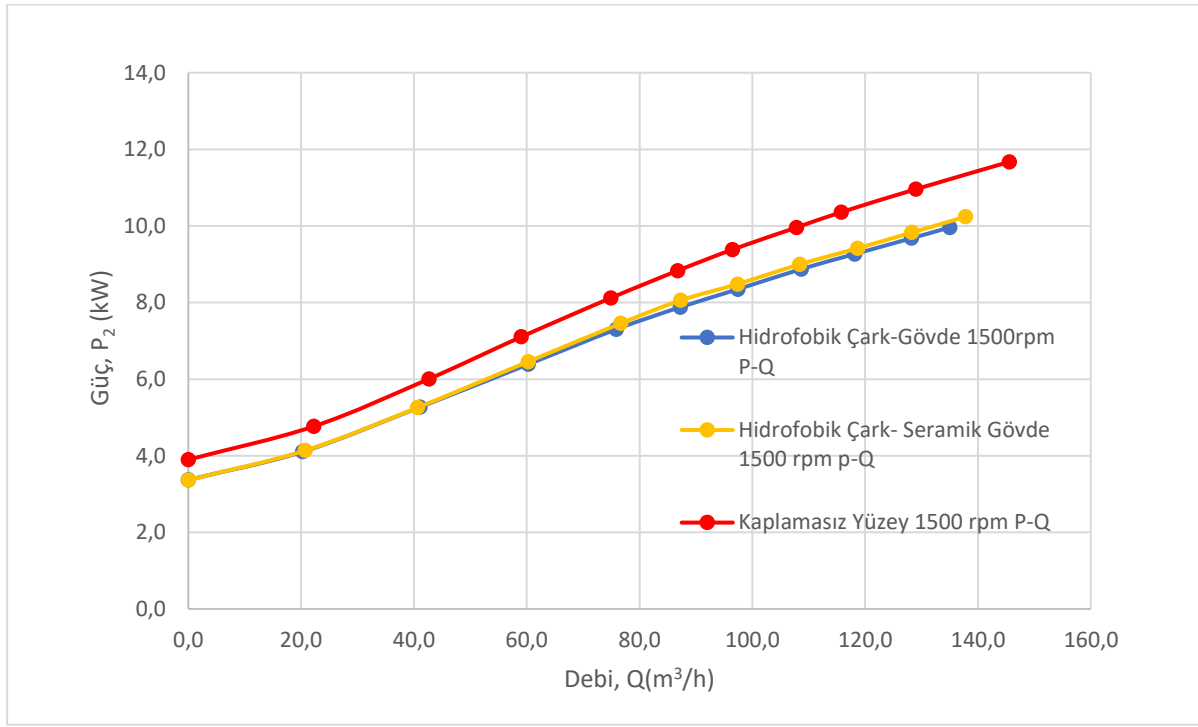
Şekil 25: 1500 rpm'deki pompa deneylerinin H-Q performans eğrileri ve verimleri

Şekil 24 üzerinde hidrofobik yüzey kazandırılan çark-gövdenin 1800 devir/dk'daki en yüksek verimi %78.1, 1500 devir/dk'daki verimi %77.7 iken yüzey kaplaması olmayan yüzey sırasıyla %72.75 ve %71.30 çıkmıştır. Hidrofobik kaplı yüzeyin 1800 devir/dk'daki verim değerinde %5.35 puanlık bir artış gözlemlenirken, şekil 25'te 1500 devir/dk'da %6.4 puanlık bir artış yaşanmıştır. Aynı durum sadece gövdenin seramik kaplanması ve çarkın hidrofobik özellik kazandırılması durumunda verimler sırasıyla %77.76 ve %76.68'dir. Hidrofobik olan çark-gövdenin seramik gövde ile hidrofobik çark kullanılan tasarım arasındaki verim farkı sırasıyla %0.34 ve %1.1 puan olarak görülmektedir.

H-Q eğrilerinden yola çıkılarak pompaların performansları hakkında, yapılan yüzey kaplamalarının basma yüksekliklerini en verimli noktadan uzaklaştıkça değiştirdiği gözlenmektedir. 1800 devirde, kaplama yapılan yüzeyler $0.8Q_{EVN}$ ve $1.2Q_{EVN}$ arasında basma yüksekliği aynı seyrederken eğrinin o noktalar dışındaki solunda ve sağında hidrofobik kaplı çark-seramik kaplı gövdenin daha fazla bastığı görülmektedir. 1500 devirde, aynı durum $0.7Q_{EVN}$ ve $1.1Q_{EVN}$ için geçerli olmaktadır.



Şekil 26: 1800 rpm'deki pompa deneylerinin güç eğrileri

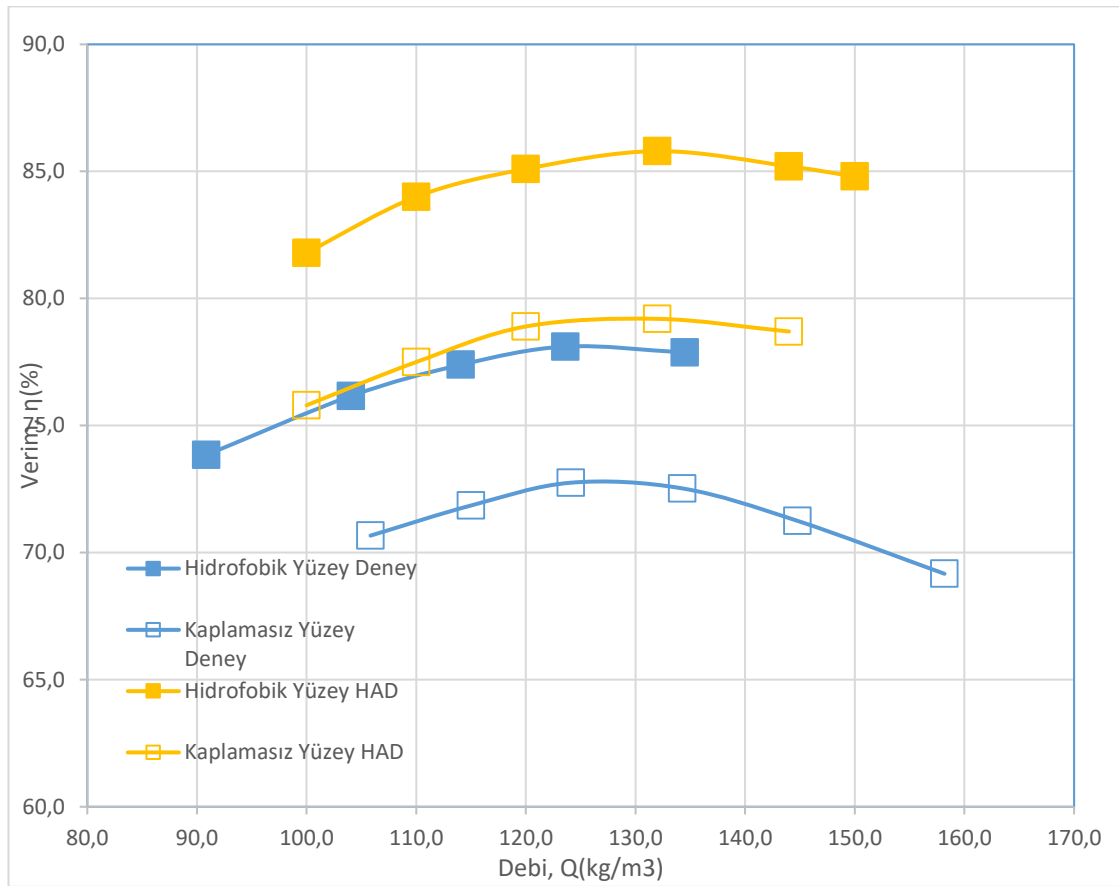


Şekil 27: 1500 rpm'deki pompa deneylerinin güç eğrileri

Basma yüksekliklerindeki farklılara rağmen hidrofobik kaplı çark ve gövdenin, kaplama olmayan yüzeye ve hidrofobik kaplı çark-seramik kaplı gövdeye göre daha düşük güç tükettiği Şekil 26 ve Şekil 27'de görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Hidrofobik yüzey özelliği kazandırılarak düşük yüzey enerjisine sahip çark ve gövdenin santrifüj pompanın verimini artırdığı ve performans eğrisini değiştirdiği görülmüştür. Numerik analizde kum tanesi pürüzlülüğü değerleri değiştirilerek modellenen hidrofobik yüzeyin, pompanın verimini artırdığı hesaplanmıştır. Deney ve sayısal analiz ile elde edilen sonuçlardan, hidrofobik yüzeyin numerik olarak modellenmesiyle yaşanan verim artışının deneylerdekiyle benzer eğri karakteristik özellik taşıdığı Şekil 28'de gösterilmiştir.



Şekil 28: Deney ve HAD sonucu elde edilen verimlerin karşılaştırılması

Deney ve HAD ile edilen verimlerin polinom eğrileri ve verim değerlerindeki artış benzerlik göstermektedir. Eğrilerin örtüşmemesine sebep olarak çark ile gövde arasında oluşan kaçak akış ve mekanik kayıplar gösterilebilir. Bu durumların göz önüne alınması durumunda HAD ile yapılan hidrofobik yüzey modellemesi yaklaşımının doğruluğuna ulaşılabilir.

Yapılan yüzey-damla testleriyle statik teması açısı hidrofobik olacak şekilde malzeme karışımı gerçekleştirilmiş ve hidrofobik yüzeyin basit uygulamalarla elde edilebileceği görülmüştür. Neticesinde yüzeyi kaplanan çark ve salyangoz gövdenin, santrifüj pompada verim artışını sağladığı gözlemlenmiştir.

Kaplama yapılan yüzeylerde, pompa performans eğrisinin aşağıya kayması durumu gerçekleşmektedir. Bu durum kaplamanın cinsinden bağımsız olarak gerçekleştiği düşünülerek, kaplama yüzey kalınlığının çark çıkışındaki genişliği değiştirdiğinden dolayı sebep verebileceği üzerine durulmuştur.

Pompada kullanılan akışkanın saf halinde kalmasını isteyen durumlarda veya sağlık standartları sonucu anti bakteriyel özellik aranan gıda üretimi gibi endüstrilerde, hidrofobik yüzeyin getireceği özellikler avantaj olarak ön plana çıkabilir.

Hidrofobik kaplama yapılan yüzeylerde, kullanılacak malzemeye bağlı olarak korozyon ve kavitasyondan dolayı olan parça kopmalarında direnç oluşabilir. Bu çalışmada kullanılan malzemede çark ve kanat uçlarındaki kaplamada şekil 29’da görüldüğü üzere kopma gözlemlenmiştir. Bu duruma sebep olan durumun istenen kaplama yüzey kalınlığının elde edilememesinden dolayı düşünülmektedir.



Şekil 29: Deney sonrası kaplama yapılan çarkın uç kısımları

Kullanılan kaplama malzemesinin SEM'den görüntü almak için uygun olmayan bir yüzey kaplaması olduğu alınan görüntülerden belli olmaktadır. Elektron bombardımanı ile elde edilen görüntüdeki yetersizliğin, yüzeyin elektronları soğurmasından dolayı olduğu ve bu yönde kullanılacak bir alanda bu hidrofobik malzemenin kullanımına ön ayak olabileceği kanaatine varılmıştır.

Nümerik analizde akış hacminde oluşacak entropi değişiminin hesaplanmasıyla yapılacak yaklaşımların yüzey kaplaması olan model ile kaplamasız yüzey arasındaki farkı daha sağlıklı ortaya koyabileceğinden dolayı kullanılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

- Adams, T., Grant, C., & Watson, H. (2012). A simple algorithm to relate measured surface roughness to equivalent sand-grain roughness. *International Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 1(2), 66-71.
- Anderson, H. H. (1994). Centrifugal pumps and allied machinery. Elsevier.
- Bachus, L., & Custodio, A. (Eds.). (2003). Know and understand centrifugal pumps. Elsevier.
- Barthel, E., & Perriot, A. (2007). Adhesive contact to a coated elastic substrate. *Journal of Physics D: applied physics*, 40(4), 1059.
- Boinovich, L. B., & Emelyanenko, A. M. (2008). Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications. *Russian Chemical Reviews*, 77(7), 583.
- Cheng, L., Liu, C., Han, D., Ma, S., Guo, W., Cai, H., & Wang, X. (2019). Effect of graphene on corrosion resistance of waterborne inorganic zinc-rich coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, 774, 255-264.
- Chieng, B. W., Ibrahim, N. A., Daud, N. A., & Talib, Z. A. (2019). Functionalization of graphene oxide via gamma-ray irradiation for hydrophobic materials. In *Synthesis, Technology and Applications of Carbon Nanomaterials* (pp. 177-203). Elsevier.
- Crick, C. R., & Parkin, I. P. (2010). Preparation and characterisation of super-hydrophobic surfaces. *Chemistry—A European Journal*, 16(12), 3568-3588.
- De Keulenaer, H. (2004). Energy efficient motor driven systems. *Energy & Environment*, 15(5), 873-905.

Drabløs, L. S. (2005). Testing of DanfossAPP1. 0–2.2 with APP pumps as water hydraulic motors for energy recovery. *Desalination*, 183(1-3), 41-54.

Ebert, D., & Bhushan, B. (2012). Transparent, superhydrophobic, and wear-resistant coatings on glass and polymer substrates using SiO₂, ZnO, and ITO nanoparticles. *Langmuir*, 28(31), 11391-11399.

Energy Center of Wisconsin. (1998). Performance Optimization: Training Manual, Fans, Pumps and Blowers. Energy Center of Wisconsin.

Fotovvati, Behzad, Navid Namdari, and Amir Dehghanghadikolaei. "On coating techniques for surface protection: A review." *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 3.1 (2019): 28.

Gashti, M. P., Pakdel, E., & Alimohammadi, F. (2016). Nanotechnology-based coating techniques for smart textiles. In *Active coatings for smart textiles* (pp. 243-268). Woodhead Publishing.

Grainger, S., & Blunt, J. (Eds.). (1998). *Engineering coatings: design and application*. Woodhead Publishing, 226-228

Handbook, P. (2001). IJ Karassik, JP Messina, P. Cooper, CC Heald.–3-rd Edition.

Hermelin, E., Petitjean, J., Lacroix, J. C., Chane-Ching, K. I., Tanguy, J., & Lacaze, P. C. (2008). Ultrafast electrosynthesis of high hydrophobic polypyrrole coatings on a zinc electrode: Applications to the protection against corrosion. *Chemistry of Materials*, 20(13), 4447-4456.

Howarth, G. A., & Manock, H. L. (1997). Water-borne polyurethane dispersions and their use in functional coatings. *Surface coatings international*, 80(7), 324-328.

Karassik, I. J. (2017). Centrifugal Pump Clinic, Revised and Expanded (Vol. 68). CRC Press.

- Liu, H., Szunerits, S., Xu, W., & Boukherroub, R. (2009). Preparation of superhydrophobic coatings on zinc as effective corrosion barriers. *ACS applied materials & interfaces*, 1(6), 1150-1153.
- Lobanoff, V. S., & Ross, R. R. (2013). Centrifugal pumps: design and application. Elsevier.
- Marchi, A., Simpson, A. R., & Ertugrul, N. (2012). Assessing variable speed pump efficiency in water distribution systems. *Drinking Water Engineering and Science*, 5(1), 15-21.
- Mc Nally, Increasing the centrifugal pump performance by modifying the impeller,
- Messina, J. P. (2001). General Characteristics of Pumping Systems and System Head Curves. *Pump Handbook*.
- Mikhailov, A. K., & Malyushenko, V. V. (1977). Blade Pumps. *Mashinostroenie*, Moscow, 288.
- Mishchenko, L., Hatton, B., Bahadur, V., Taylor, J. A., Krupenkin, T., & Aizenberg, J. (2010). Design of ice-free nanostructured surfaces based on repulsion of impacting water droplets. *ACS nano*, 4(12), 7699-7707.
- Miwa, M., Nakajima, A., Fujishima, A., Hashimoto, K., & Watanabe, T. (2000). Effects of the surface roughness on sliding angles of water droplets on superhydrophobic surfaces. *Langmuir*, 16(13), 5754-5760.
- Mohamed, A. M., Abdullah, A. M., & Younan, N. A. (2015). Corrosion behavior of superhydrophobic surfaces: A review. *Arabian journal of chemistry*, 8(6), 749-765.
- Nayshevsky, I., Xu, Q., Newkirk, J. M., Furhang, D., Miller, D. C., & Lyons, A. M. (2019). Self-Cleaning Hybrid Hydrophobic–Hydrophilic Surfaces: Durability

and Effect of Artificial Soilant Particle Type. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10(2), 577-584.

Ondrey, G. (2000). Analyzing pump life-cycle costs. *Chemical Engineering*, 107(12), 33.

Patankar, N. A. (2004). Mimicking the lotus effect: influence of double roughness structures and slender pillars. *Langmuir*, 20(19), 8209-8213.

Pochylý, F., Haluza, M., Fialová, S., Dobšáková, L., Volkov, A. V., Parygin, A. G., ... & Druzhinin, A. A. (2017). Application of heterogeneous blading systems is the way for improving efficiency of centrifugal energy pumps. *Thermal Engineering*, 64(11), 794-801.

Rafique, M. S., Tahir, M. B., Rafique, M., & Shakil, M. (2020). Photocatalytic nanomaterials for air purification and self-cleaning. In *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications* (pp. 203-219). Elsevier.

Šavar, M., Kozmar, H., & Sutlović, I. (2009). Improving centrifugal pump efficiency by impeller trimming. *Desalination*, 249(2), 654-659.

Sethi, S. K., & Manik, G. (2018). Recent progress in super hydrophobic/hydrophilic self-cleaning surfaces for various industrial applications: a review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(18), 1932-1952.

Singh, G. (1997). Energy and environmental benefits of pump impeller trimming in commercial building heating and cooling systems. University of Wisconsin--Madison.

Singh, G., & Mitchell, J. W. (2009). Energy savings from pump impeller trimming. *ASHRAE Journal*, 51(11), 34.

Stoffel, B. (2015). Assessing the energy efficiency of pumps and pump units. *Background and Methodology; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.*

Stoffel, B., & Lauer, J. (1994). Theoretically Attainable Efficiency of Centrifugal Pumps. Summary of the Final Report on the Research Project for VDMA.

Stoffel, B., Ludwig, G., & Meschkat, S. (2002). Evaluation of efficiency values considering the effect of pump size modularity.

Tahir, M. B., Sohaib, M., Sagir, M., & Rafique, M. (2020). Role of Nanotechnology in Photocatalysis. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

The Mc Nally Institute Book Division, 1998.

Thin, K. C., Khaing, M. M., & Aye, K. M. (2008). Design and performance analysis of centrifugal pump. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 46(1), 422-429.

Tsang, L. M. (1992). A theoretical account of impeller trimming of the centrifugal pump. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 206(3), 213-214.

Varley, F. A. (1961). Effects of impeller design and surface roughness on the performance of centrifugal pumps. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 175(1), 955-989.

Veres, J. P. (1994). Centrifugal and axial pump design and off-design performance prediction (p. 24). National Aeronautics and Space Administration.

Volkov, A. V., Parygin, A. G., Lukin, M. V., Ryzhenkov, A. V., Khovanov, G. P., Naumov, A. V., ... & Fialova, S. (2015). Analysis of the effect of hydrophobic properties of surfaces in the flow part of centrifugal pumps on their operational performance. *Thermal Engineering*, 62(11), 817-824.

Volkov, A. V., Parygin, A. G., Naumov, A. V., Vikhlyantsev, A. A., Šoukal, J., Sedlář, M., & Komárek, M. (2016). Influence of hydrophibization of impellers of centrifugal pumps on their operating characteristics. *Thermal Engineering*, 63(12), 841-847.

Yates, M. A., & Weybourne, I. (2001). Improving the energy efficiency of pumping systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 50(2), 101-111.

Yilbas, B., Al-Sharafi, A., & Ali, H. (2019). *Self-cleaning of surfaces and water droplet mobility* (pp. 134-136). Elsevier.

