



## Experimental investigation of the effects of hydrophobic impeller surfaces on the centrifugal pump performance

Mustafa Özbey<sup>1\*</sup>, Mevlüt Gürbüz<sup>1</sup>, Uğur Karakurt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Ondokuz Mayıs University, Samsun, 55139, Turkey

<sup>2</sup>Graduate School of Sciences, Ondokuz Mayıs University, Samsun, 55139, Turkey

### Highlights:

- Hydrophobic impeller reduced the pump specific speed about 10%.
- FEP, PFA and PTFE coated hydrophobic impellers increased the head-flowrate capacity about 10%.
- The hydrophobic impeller, which has 110° contact angle, increased the pump efficiency about 5,3%.

### Keywords:

- Centrifugal pump
- Pump performance
- Hydraulic efficiency
- Hydrophobic surface
- Polymer coating

### Article Info:

Research Article  
Received: 10.04.2019  
Accepted: 20.08.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.551887

### Acknowledgement:

DOMAK Pompa ve Makina  
San. A. Ş.

### Correspondence:

Author: Mustafa Özbey  
e-mail: mozbey@omu.edu.tr  
phone: +90 362 312 1919 /  
1316

### Graphical/Tabular Abstract

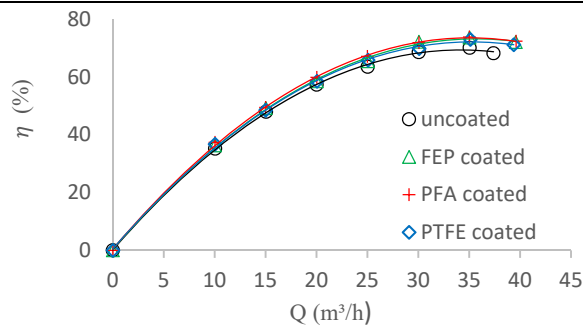


Figure A. Pump  $\eta$ -Q performance curves

**Purpose:** The experimental investigation of the effects of the hydrophobic surfaces obtained by coating the impeller wet surfaces of a centrifugal pump without change its design on the pump capacity and efficiency.

### Theory and Methods:

The wet surfaces of the impeller of a centrifugal pump were coated by the total 3 different polymer composite materials based carbon as polytetra fluoro ethylene (PTFE), fluorinated ethylene propylene (FEP) and perfluoro alkoxy polymer (PFA) in order to hydrophobic surfaces.

### Results:

The hydrophobicity of the coated surfaces was determined by measuring the contact angles respectively as 95°, 105° and 110°. The performance curves of the pump were experimentally determined, and the hydrophobic impeller surfaces reduced the pump specific speed by about 10% compared to the uncoated conventional impeller. Therewithal, it was determined about 10% increase in head-flow rate capacity and respectively 4%, 5% and 5,3% increases in efficiency of the PTFE, FEP and PFA coated impellers.

### Conclusion:

In this study, the effects of the hydrophobic impeller of a centrifugal type pump with a dimensionless specific speed of about 10 on pump capacity and efficiency were investigated experimentally. Hydrophobicity of the impeller wet surfaces coated by polytetra fluoro ethylene (PTFE), fluorinated ethylene propylene (FEP) and perfluoro alkoxy polymer (PFA) materials are measured, respectively as contact angle of 95°, 105° and 110°. The specific speeds of the same type and sized pumps with hydrophobic impellers coated with FEP, PFA and PTFE materials are determined as 8,97, 9,05 and 9,07, respectively. In general, it has been found that hydrophobic impellers with contact angles in the range of about 95°-110° reduce the specific speed of the pump by about 10%, increase the pump flow capacity about 6%, and the pressure head about 13% through the whole operating range. It was concluded that, therefore, the hydrophobic impeller increased the pump pressure and flowrate capacity about 10% in the same revolution speed. The best efficiency values of PTFE, FEP and PFA hydrophobic surfaces compared to uncoated impeller were determined as 4%, 5% and 5,3%, respectively. The PFA hydrophobic impeller, which has the highest contact angle, has the highest increase in pump efficiency.



## Hidrofobik çark yüzeylerinin santrifüj tip bir pompa performansına etkilerinin deneysel incelenmesi

Mustafa Özbey<sup>1\*</sup>, Mevlüt Gürbüz<sup>1</sup>, Uğur Karakurt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 55139, Atakum, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 55139, Atakum, Samsun, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Hidrofobik yüzey elde etmek
- Santrifüj pompa kapasitesini iyileştirmek
- Santrifüj pompa verimini artırmak

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 10.04.2019  
Kabul: 20.08.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.551887

### Anahtar Kelimeler:

Santrifüj pompa, hidroforobik yüzey, pompa performansı, hidrolik verim, polimer kaplama

### ÖZET

Nüfusun ve sanayileşmenin artmasına paralel olarak her geçen gün artan elektrik enerjisi ihtiyacı mevcut enerjiyi daha verimli kullanmayı gerekli kılmaktadır. Bundan dolayı, bu çalışmada santrifüj tip bir pompa çarkının mevcut tasarımı değiştirilmeden ıslak yüzeyleri hidroforobik özellik kazandırılacak şekilde kaplanarak pompa kapasitesi ve verimi üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çarkın ıslak yüzeyleri politetra florasetilen (PTFE), floroidetilen propilen (FEP) ve perfloro alkoksi (PFA) olmak üzere 3 farklı karbon bazlı polimer malzeme ile kaplanmıştır. Kaplanan yüzeylerin temas açısı sırasıyla 95°, 105° ve 110° ölçülerek hidroforobikliği belirlenmiştir. Deneysel olarak pompa performans eğrileri elde edilerek PTFE, FEP ve PFA kaplamalı hidroforobik çark yüzeylerin kaplamasız konvansiyonel çarka kıyasla pompa özgül hızını yaklaşık %10 düşürdüğü, dolayısıyla kapasitesini %10, verimini ise sırasıyla yaklaşık %4, %5 ve %5,3 artırdığı belirlenmiştir.

## Experimental investigation of the effects of hydrophobic impeller surfaces on the centrifugal pump performance

### H I G H L I G H T S

- Obtaining hydrophobic surface
- Enhancing centrifugal pump capacity
- Increasing centrifugal pump efficiency

### Article Info

Research Article  
Received: 10.04.2019  
Accepted: 20.08.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.551887

### Keywords:

Centrifugal pump, hydrophobic surface, pump performance, hydraulic efficiency, polymer coating

### ABSTRACT

Increasing daily demand for electricity due to population and industrialization makes it necessary to use our existing energy more efficiently. Therefore, in this study the effects of the hydrophobic surfaces obtained by coating the impeller of a centrifugal pump without change its design were experimentally investigated to improve the pump capacity and efficiency. The wet surfaces of the impeller of a centrifugal pump were coated by the total 3 different polymer composite materials-based carbon aspoly tetra fluoro ethylene (PTFE), fluorinated ethylene propylene (FEP) and perfluoro alkoxy polymer (PFA). The hydrophobicity of the coated surfaces was determined by measuring the contact angles respectively as 95°, 105° and 110°. The performance curves of the pump were experimentally determined, and the hydrophobic impeller surfaces reduce the pump specific speed by about 10% compared to the uncoated conventional impeller. Therewithal, it was determined about 10% increase in head-flow rate capacity and respectively 4%, 5%, 5,3% increases in efficiency of the PTFE, FEP and PFA coated impellers.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mozbey@omu.edu.tr, mgurbuz@omu.edu.tr, ugurkarakurt@hotmail.com / Tel: +90 362 312 1919 /1316

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile farklı metal yüzeylere fonksiyonellik kazandırabilmek için hidrofobik yüzey elde etme konusunda ileri malzemeler ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu düşük yüzey enerjili malzemeler ile konvansiyonel metal yüzeyler kaplanarak günlük hayatımızda ve endüstriyel uygulamalarda hızla artan bir oranda faydalı uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Yapışmayan mutfak gereçleri, su tutmayan tekstil ürünleri, kendi kendini temizleyen ürünler bunlara birer örnektir. Diğer endüstriyel uygulamaları ise sürtünme direncinin azaltılması ile korozyonu önlemek, ısı transferini iyileştirmek, buzlanmayı önlemek, donmayı geciktirmek ve genel olarak enerji tasarrufu sağlamak ve performans iyileştirmek amaçlı uygulama alanları da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada ise santrifüj tip bir pompanın çarkının ıslak yüzeyleri hidrofobik bir malzeme ile kaplanarak elde edilen hidrofobik yüzeyin sürtünme direncini azaltarak pompa kapasitesi ve verimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

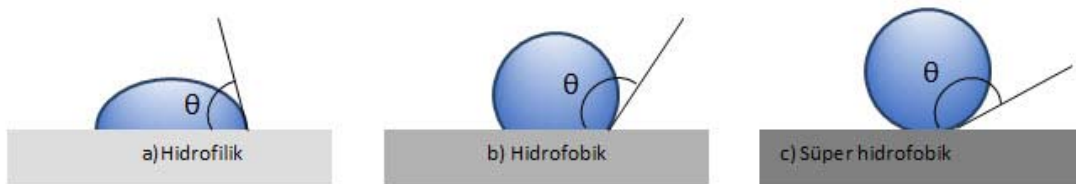
Pompalar, hemen hemen tüm endüstriyel sektörlerde en yaygın kullanılan makinalardır. Dünya genelinde kullanılan pompaların %60'a kadarı yaklaşık olarak %10-%40 verim aralığında çalışmaktadırlar [1] ve dünyada tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %20'si [2], Türkiye'de ise yaklaşık %10'u pompalar ve diğer turbo makinalar tarafından tüketilmektedir [3]. Pompa verimindeki küçük bir artışın, büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlama potansiyeli mevcuttur.

Pompalar, bir çark vasıtasıyla mekanik enerjiyi hidrolik enerjisine dönüştüren, yani sıvı akışkanı basınçlandırarak kazandırdığı enerji ile belli bir basınçta ve debide iletilmesini sağlayan makinalardır. Pompa verimi, sahip olduğu mekanik enerjisini akışkana aktarabildiği oranda gerçekleşir. Pompalarda hidrolik enerji kaybına başlıca sürtünme sebep olur. Sürtünme kayıpları, pompa kapasitesini yani debi ve basıncı dolayısıyla da verimini dikkate değer ölçüde etkiler. Çark, mekanik enerjisini akışkana aktarırken geometrisi sayesinde oluşturduğu basınç kuvvetlerinin olumlu etkisi yanı sıra sürtünme kuvvetlerinin sebep olduğu basınç kaybı verim üzerine olumsuz etki eder. Sürtünme kayıpları akışkanın viskozitesi yanı sıra yüzey özelliklerine de bağlıdır ki burada yüzey ile sıvı akışkan arasındaki yüzey gerilimi de önemli rol oynamaktadır. Hidrolik sürtünme yüzeyin normal doğrultusundaki hız gradyeni, deformasyon hızı ve akışkanın dinamik viskozitesine bağlıdır.

Deformasyon hızı akışkanın yüzeye yapışması ile de ilgilidir. Akışkan hidrofilik yüzeye yapışarak yüzeyde kayma olmama şartı sağlanır. Öte yandan, hidrofobik yüzeylerde yüzey üzerinde bir kayma hızı gelişir ve bu durum yüzey üzerinde meydana gelen deformasyon hızını, yani hız gradyenini azaltarak kayma gerilmesinin dolayısıyla sürtünmenin azalmasına sebep olur [4]. Bu durum yüzeyin sıvı ile yaptığı yüzey gerilimi ile ilgilidir ve dolayısıyla yüzey karakteristiğine de bağlıdır.

Su damlaları polimer bazlı, ticari adı teflon olan politetra floraitilen (PTFE) gibi bazı yüzeylere yapışmazlar, yüzeye tutunamayarak yüzey üzerinde yuvarlanırlar ve hiç iz bırakmazlar [5]. Bu durum yüzeyin su damlasını ittiği veya yüzeyi ıslatmadığı şeklinde tarif edilir ve bu fiziksel özellik yüzeyin ıslatılabilirliği olarak tanımlanır. Bu özellik Şekil 1'de gösterildiği gibi su damlasının yüzey ile temas noktasında yaptığı açı ile karakterize edilir, dolayısıyla temas açısı yüzeyin ıslatılabilirliğinin bir ölçüsüdür. Eğer temas açısı  $\theta < 90^\circ$  ise yüzey hidrofilik ve yüzey ıslatılabilir,  $\theta > 90^\circ$  ise hidrofobik olarak tanımlanır ve yüzey ıslatılabilir değildir [6]. Temas açısı, yani hidrofobiklik arttıkça sıvı damlası ile yüzey arasındaki temas alanı azalır ve sıvı damlası yüzey üzerinde daha kolay yuvarlanır. Bu sayede hidrolik sürtünme dikkate değer ölçüde azalır.

Son zamanlarda mevcut literatürden hidrofobik yüzeylerin özellikle basınç kayıpları üzerine etkilerini inceleyen sayısal ve deneysel çalışmaların giderek arttığı dikkat çekmektedir. Ou ve Rothstein [7] süperhidrofobik yüzeye sahip mikro kanallardaki hız profili gelişimi ve sürtünme kuvvetleri üzerine mikropartikül görüntü hız ölçer (m-PIV) ile yaptıkları deneysel çalışmalarında yüzeyde kayma olmama şartının hidrofobik yüzeylerde ortadan kalktığını, yüzey üzerindeki kayma hızının ortalama akım hızının %60 oranında olduğunu ve bu durumun yüzey üzerinde gelişen hız gradyenini, yani deformasyon hızını azalttığını, bu sayede de sürtünme kuvvetlerinin önemli derecede düştüğünü göstermişlerdir. Choi vd. [8] ise süperhidrofobik yüzeylerle ilgili benzer bir çalışmada sürtünme kayıplarının %20-%30 kadar düştüğünü, Daniello vd. [9] pürüzsüz konvansiyonel yüzeye kıyasla süperhidrofobik yüzeyli mikro kanalda türbülanslı akım için birim uzunluk başına basınç kaybının %50'den daha fazla azaldığını, Park vd. [10] da yine türbülanslı akımda süperhidrofobik yüzeylerin konvansiyonel pürüzsüz yüzeye kıyasla sürtünme direncini %75 oranında düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. Truesdall



Şekil 1. Yüzeyin ıslatılabilirliği (Wettability of surface)

vd. [11] ise yüzeylerden biri süperhidrofobik olan iki paralel plaka arasında düşük Reynolds sayılı viskoz akımda sürtünme direncinin %20 azaldığını belirlemiştir. Moaven vd. [12] ise benzer olarak alüminyum disk yüzeyine süperhidrofobik özellik kazandırarak kaplamasız yüzeye kıyasla sürtünme direncinin %15-%30 kadar azaldığını belirlemiştir. Ayrıca, hidrofobik yüzeylerin sürtünme direncini büyük ölçüde azalttığına dikkat çekerek pompalama gücünü azaltmak için büyük bir potansiyel arz ettiğine dikkat çekmişlerdir.

Volkov vd. [13] santrifüj tip bir pompanın hidrofobik çarkının pompa performansı üzerine etkilerini araştırdıkları deneysel çalışmalarında hidrofobikliğin sürtünme etkilerini %23 kadar azaltarak pompa verimini %2-%6 oranında artırdığını belirlemiştir. Diğer bir çalışmada ise Volkov vd. [14] 33 ve 330 özgül hızı sahip hidrofobik çarkın pompa verimini sırasıyla %7,5 ve %0,5 oranında, pompa performansını da %6 ve %9 oranında artırdığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, yüksek özgül hızı sahip santrifüj tip bir pompanın hidrofobiklikle sağlanan kapasite ve verimindeki artışın göreceli olarak düşük olduğuna dikkat çekmişlerdir. Kocaaslan vd. [15] ise tasarladıkları boyutsuz özgül hızı yaklaşık 5 olan bir santrifüj tip pompanın çark ve salyangozunun ıslak yüzeylerini poliüretan boya ile kaplayarak kaplamasız olana kıyasla hidrolik verimin %2,6 kadar arttığını belirlemiştir.

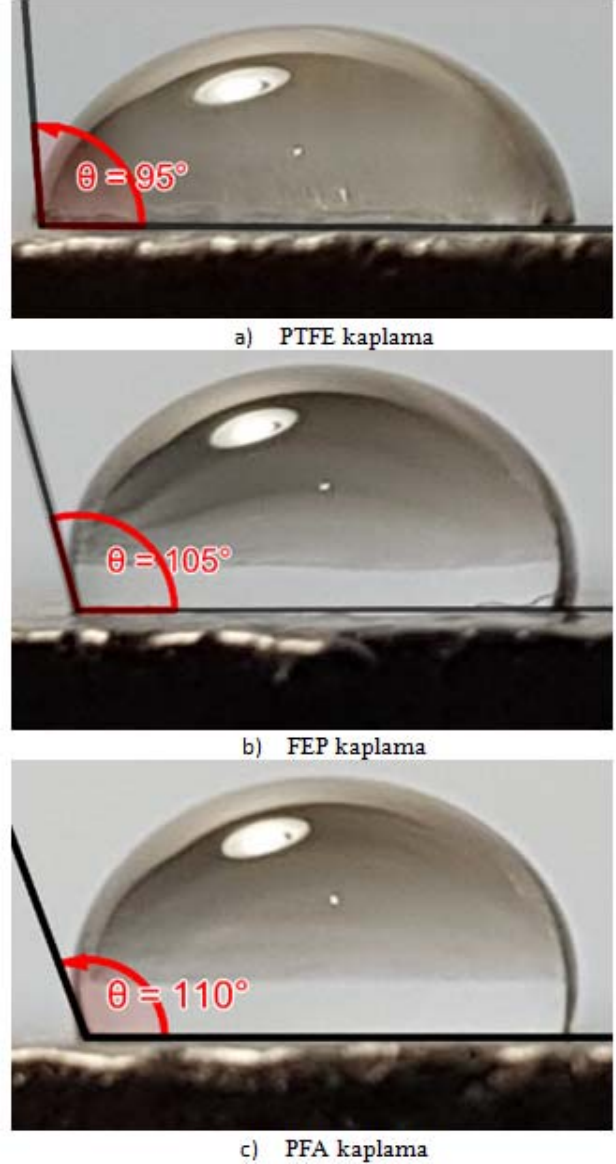
Ancak, hidrofobik yüzeylerin sahip olduğu potansiyelin pompa performansına etkilerini inceleyen çalışmalar yeterince mevcut değildir. Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle düşük yüzey gerilimine sahip, yani hidrofobik yüzey elde etmek için endüstride oldukça farklı kaplama malzemeleri geliştirilmektedir. Bu noktadan yola çıkılarak bu çalışmada endüstride oldukça yaygın kullanılan santrifüj tip pompalarda endüstriyel olarak kolay uygulanabilen farklı kaplama malzemeleri ile ıslak çark yüzeyleri kaplanarak elde edilen hidrofobikliğin pompa kapasitesi ve verimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

### 2.1. Kaplama malzemesi (Coating material)

Bu çalışmada kaplama malzemesi olarak floropolimer esaslı olan politetra florasetilen (PTFE), floroidetilen propilen (FEP) ve perfloro alkoksi (PFA) olarak 3 farklı solüsyon kullanılmıştır. Bu polimerler flor atomlarıyla doymuş uzun ve düz karbon zincirlerinden meydana gelmektedir. Atomlar arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle oldukça yüksek hidrofobik ve aşınma dayanımı özelliklerine sahiptirler. Düşük mekanik sürtünme katsayısı ve yüksek kimyasal dirence sahip malzeme olan bu floro polimerlerin yapışma özelliği de oldukça yüksektir. Diğer polimerlere göre daha yüksek sıcaklık dayanımları ve geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmaları sebebiyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. PTFE, FEP ve PFA polimer solüsyonlar ile aynı tip ve boyutlardaki 3 adet pompa çarkının ıslak yüzeyleri spreý yöntemi ile kaplanmıştır.

Kaplamanın bağlayıcılığını artırmak için 400°C'de 10 dakika süre ile fırında ısıl işleme tabii tutulmuştur. Kaplanan yüzeylerin hidrofobikliği temas açısı ölçülerek Şekil 2'de verildiği gibi PTFE, FEP ve PFA kaplamalar için sırasıyla 95°, 105° ve 110° olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Kaplama yüzeyi temas açısı  
(Contact angle of coating surface)

### 2.2. Pompa performans deneyleri (Pump performance experiments)

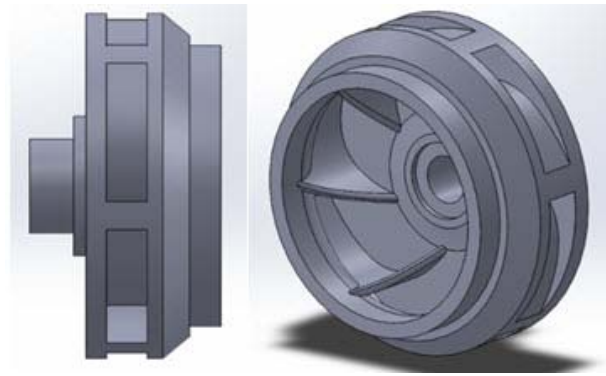
Bu çalışmada, DOMAK Pompa ve Mak. San. A.Ş.'nin tasarımı ve imalatı olan geri eğimli kanatlara sahip SLG3 1,5HP tipi santrifüj pompa kullanılmıştır. Pompa çarkının geometrik özellikleri Tablo 1'de, perspektif görünümü ise Şekil 3'te verilmiştir.

Aynı tip ve boyuttaki biri konvansiyonel yani kaplamasız çarka sahip, üç adet de polimer solüsyon malzemeler ile ıslak yüzeyleri kaplanmış çarka sahip, aynı salyangoz gövde

içinde çarklar değiştirilmek suretiyle pompaların performans testleri DOMAK Pompa ve Mak. San. A.Ş. de mevcut, şematik görünümü Şekil 4’de verilen performans test düzeneğinde yapılmıştır.

**Tablo 1.** Pompa tasarım parametreleri  
(Pump design parameters)

Çark giriş çapı, mm	785
Çark çıkış çapı, mm	1114
Kanat giriş genişliği, mm	282
Kanat çıkış genişliği, mm	132
Kanat sayısı	8
Kanat kalınlığı, mm	4,5



**Şekil 3.** Pompa çarkının perspektif görünümü  
(Perspective view of the pump impeller)

Deneyler, 2800 rpm sabit hızda pompa çıkış kesitindeki sürgülü vana ile debi kontrol edilerek değişen debiye göre debi, basınç ve elektrik motorunun sabit voltaj ile çektiği amper ölçülerek yapılmıştır. Pompa basıncı, pompa giriş ve çıkış kesitlerindeki statik basınçlar basınç algılayıcılar ile ölçülüp farkı alınarak belirlenmiştir. Pompa debisi ise basma hattında konuşlandırılmış elektromanyetik debimetre kullanılarak ölçülmüştür. Pompanın hidrolik gücü Eş. 1’de verilen bağıntı kullanılarak belirlenmiştir.

$$P_h = Q\Delta P = \rho gQH \quad (1)$$

Burada, K-tipi termal çift kullanılarak sıcaklığı 15°C olarak ölçülen çalışma suyunun yoğunluk değeri esas alınmıştır. Elektrik motorunun faz açısı ( $\cos \alpha$ ) için üretici firmasının verdiği 0,93 değeri esas alınarak pompanın tükettiği elektrik gücü Eş. 2’de verilen bağıntı kullanılarak belirlenmiştir. Eş. 3’te verildiği gibi elektrik motorunun verimi üretici firmasının verdiği %73,6 değeri esas alınarak pompanın mekanik gücü belirlenmiştir. Pompa verimi ise Eş. 4’te verildiği gibi hidrolik gücün mekanik güce oranı alınarak belirlenmiştir.

$$P_e = VI \cos \alpha \quad (2)$$

$$P_m = P_e \eta_e \quad (3)$$

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_m} \times 100 \quad (4)$$

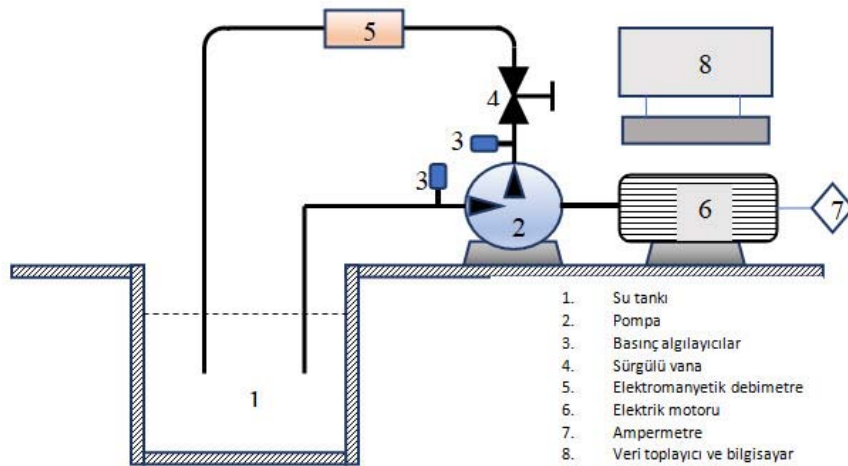
Ölçülen büyüklükler ile doğrulukları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ölçülen parametreler ve doęruluk verileri  
(Measured parameters and their accuracy data)

Ölçülen parametreler	Doęruluk
Basınç, Pa	±%0,075
Debi, m <sup>3</sup> /s	±%0,2
Amper, A	±%0,12
Voltaj, V	±%0,15
Sıcaklık, °C	±1,5
Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>	±%0,02
Devir hızı, rpm	±%0,1

Belirlenen fiziksel büyüklüklerde ölçüm aletlerinin doğruluğundan kaynaklanan belirsizlikler mevcuttur. Bu belirsizlikler Eş. 5 [16] kullanılarak belirlenip Tablo 3’te verilmiştir.

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$



**Şekil 4.** Pompa test düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the pump experimental set-up)

Burada, R: hesaplanan büyüklük, x: bu büyüklüğe etki eden bağımsız değişkenler,  $w_x$ : bağımsız değişkenlere ait belirsizlik,  $w_R$  ise hesaplanan büyüklüğün belirsizliğidir. Pompanın tükettiği elektrik gücünün ve mekanik gücün belirsizliği belirlenirken faz açısı ve elektrik motorunun verimi üretici firmanın verdiği değerler esas alındığından değişken olarak ele alınmamıştır.

**Tablo 3.** Hesaplanan parametreler ve belirsizlikleri  
(Calculated parameters and their uncertainties)

Hesaplanan parametreler	Belirsizlik
Hidrolik güç, kW	$\pm\%0,22$
Elektriksel güç, kW	$\pm\%0,19$
Mekanik güç, kW	$\pm\%0,19$
Verim, %	$\pm\%0,29$

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Şekil 5’de verilen pompa basıncı ve debi karakteristik eğrilerinden hidrofobik çarka sahip pompaların basınç ve debi kapasitelerinin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Kısılma basıncının, yani debi sıfırken ki pompa basıncının 13 mSS’dan yaklaşık 14,5 mSS basınca arttığı, en fazla debinin de 37 m<sup>3</sup>/h’den 40 m<sup>3</sup>/h’de arttığı, dolayısıyla hidrofobik çarkın pompanın basınç ve debi kapasitesini sırasıyla%11,5 ve %8 oranında artırdığı görülmektedir.

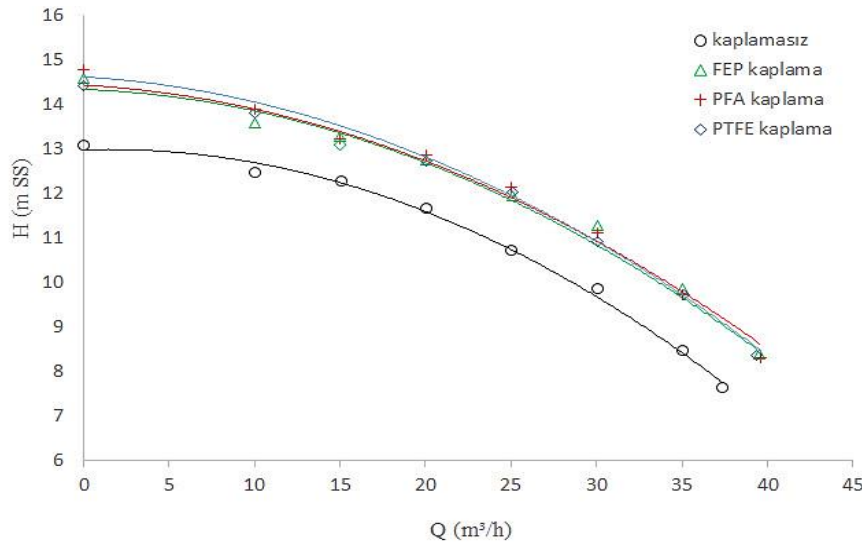
Pompanın basınç ve debi kapasitesi ile ilgili bir boyutsuz performans parametresi olan özgül hız, bir birim hacim akışkana birim kütle için bir birim potansiyel enerji kazandırmak için gerekli dönme hızı olarak tanımlanır. Kaplamasız konvansiyonel pompanın en iyi verim noktasında belirlenen özgül hızı boyutsuz olarak 10,06’dır. FEP, PFA ve PTFE malzemeler ile kaplanan hidrofobik çarka sahip aynı tip ve boyutlardaki pompaların özgül hızları ise sırasıyla 8,97- 9,05 ve 9,07’dir. Dolayısıyla, yaklaşık 95°-110° aralığında temas açısına sahip hidrofobik çarkların

pompanın özgül hızını yaklaşık %10 kadar azalttığı, yani aynı devirde pompa basınç ve debi kapasitesini yaklaşık%10 kadar artırdığı belirlenmiştir.

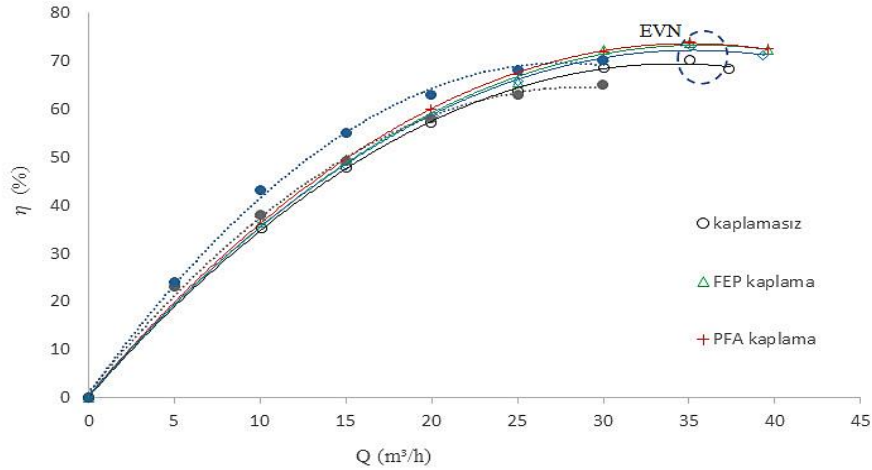
Pompa hidrolik veriminin ise debiye göre değişimi Şekil 6’da verilmiştir. En yüksek verime sahip nokta en iyi verim noktası (EVN) olarak tanımlanır ki en iyi verim değerini hidrofobik çarka sahip pompaların dikkate değer ölçüde arttığı görülmektedir. PTFE, FEP ve PFA hidrofobik malzemeler ile kaplanan çarka sahip aynı tip ve boyutlardaki pompaların en iyi verim değerini yaklaşık %70,1’den sırasıyla %72,9 -%73,6 ve %73,8’e artırdığı belirlenmiştir. PTFE, FEP ve PFA hidrofobik yüzeylerin kaplamasız çarka kıyasla en iyi verim değerlerindeki artış sırasıyla %4, %5 ve %5,3’tür. Buradan test edilen hidrofobik çarklar arasında en yüksek temas açısına sahip PFA hidrofobik çarkın verimi en fazla artırdığı görülmektedir. Diğer taraftan verimdeki artışın yüksek verimlerde daha fazla olduğu, yani hidrofobik çark yüzeylerinin yüksek debilerde verimi daha fazla oranda artırdığı görülmektedir.

Bir pompanın kapasitesi, tasarımı yani geometrisi ve boyutları yanı sıra kullanıldığı sistem karakteristiklerine de bağlıdır. Şekil 6’dan görüldüğü gibi direncin yüksek olduğu bir sistemde daha düşük bir debi verirken buna karşın daha yüksek basınç sağlamaktadır. Benzer şekilde bir pompanın verimi de tasarımının yanı sıra kapasitesine, dolayısıyla sistemde karşılaştığı dirence de bağlıdır. Hidrofobik yüzeylerin pompa kapasitesini, hem en fazla verdiği debi olarak hem de tüm çalışma aralığı boyunca basıncını belirgin bir şekilde artırdığı Şekil 5’den görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 6’dan hidrofobik çarkın pompa hidrolik verimini debi arttıkça daha fazla oranda artırdığı görülmektedir.

Volkov vd. [13] hidrofobik yüzeylerin hidrolik sürtünmeyi %23 kadar azalttığını, pompa verimini ise Şekil 6’da görüldüğü gibi %2-6 oranında artırdığını ortaya koymuşlardır. Buna ilaveten, Kocaaslan vd. [15]



**Şekil 5.** Pompa H-Q performans eğrileri (Pump H-Q performance curves)



Şekil 6. Pompa  $\eta$ -Q performans eğrileri (Pump  $\eta$ -Q performance curves)

tasarladıkları santrifüj tip pompanın çark ve salyangozunun ıslak yüzeylerini poliüretan boya ile kaplayarak pompa hidrolik veriminde %2,6 kadar bir artış sağlamışlardır. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü de önemli rol oynamakla beraber sadece çarkı floropolimer esaslı malzeme ile kaplayarak verimde %5,3 kadar bir artış elde edilmiştir. Pompa salyangozunun ıslak yüzeyleri de kaplandığı durumda verim artışının %10 kadar olacağı öngörülmektedir. Bu da gösteriyor ki polimer kaplamalara kıyasla floropolimer malzemelerin pompa performansını iyileştirme potansiyeli daha yüksektir. Öte yandan polimer malzemelerin pompalarda dayanımı ve kullanım ömrü tartışmalıdır.

Enerji verimliliği sağlaması açısından pompaların en iyi verim noktasında çalışacak şekilde seçilmesi ve çalıştırılması önem arz etmektedir. Bu noktada, hidrofobik çarka sahip pompaların en iyi verim noktasında çalıştıklarında hidrofobikliğin sağladığı verim artışından en fazla yararlanılacağı belirlenmiştir. En iyi verim noktasından sıfır debi noktasına doğru yaklaştıkça, yani düşük debilerde hidrofobik yüzeylerin sağladığı verim artışından dikkate değer ölçüde istifade edilemeyeceği görülmektedir.

#### 4. SİMGELER (SYMBOLS)

$g$	: yerçekimi ivmesi, $m/s^2$
EVN	: En iyi verim noktası
FEP	: floroidetilen propilen
H	: pompa manometrik basıncı, mSS
Q	: hacimsel debi, $m^3/s$
N	: devir hızı, rpm
$N_{SQ}$	: özgül hız, boyutsuz, $N_{SQ} = N \sqrt{Q} / (gH)^{3/4}$
P	: statik basınç, Pa
$P_e$	: elektrik gücü, W
$P_h$	: hidrolik güç, W
$P_m$	: mekanik güç, W
$\Delta P$	: pompa basıncı, Pa
PFA	: perfloro alkoksi

PTFE : politetra floroetilen

SS : su sütunu

$\rho$  : yoğunluk,  $kg/m^3$

V : voltaj, V

I : amper, A

$\eta$  : pompa genel verimi, %

$\eta_h$  : pompa hidrolik verimi, %

$\eta_e$  : elektrik motoru verimi, %

$\theta$  : temas açısı,  $^\circ$

$\alpha$  : faz açısı,  $^\circ$

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada boyutsuz özgül hızı yaklaşık 10 olan santrifüj tip bir pompanın hidrofobik çark ıslak yüzeylerinin pompa kapasitesine ve verimine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. PTFE, FEP ve PFA malzemeler ile çark ıslak yüzeylerine sırasıyla  $95^\circ$ ,  $105^\circ$  ve  $110^\circ$  temas açısı ölçüsünde hidrofobiklik kazandırılmıştır. FEP, PFA ve PTFE malzemeler ile kaplanan hidrofobik çarklara sahip aynı tip ve boyutlardaki pompaların özgül hızları ise sırasıyla 8,97-9,05 ve 9,07'dir. Genel olarak, yaklaşık  $95^\circ$ - $110^\circ$  aralığında temas açısına sahip hidrofobik çarkların pompanın özgül hızını yaklaşık %10 kadar azalttığı, pompa debi kapasitesini yaklaşık %6, tüm çalışma aralığı boyunca basıncını ise %13 oranında artırdığı belirlenmiştir. Buradan hidrofobik çarkın aynı devirde pompa basınç ve debi kapasitesini genel olarak %10 kadar artırdığı sonucuna varılmıştır. Pompa hidrolik veriminin ise debi arttıkça daha fazla oranda arttığı belirlenmiştir. PTFE, FEP ve PFA hidrofobik yüzeylerin, kaplamasız çarka kıyasla en iyi verim değerlerindeki artış sırasıyla %4, %5 ve %5,3 olarak belirlenmiştir. Test edilenler arasında en yüksek temas açısına sahip PFA hidrofobik çarkın pompa verimini en fazla artırdığı görülmektedir.

Enerji verimliliği sağlaması açısından pompaların en iyi verim noktasında çalışacak şekilde seçilmesi ve çalıştırılması önem arz etmektedir. Bu noktada, hidrofobik çarka sahip pompaların en iyi verim noktasında veya yakın

noktalarda çalıştıklarında hidrofobikliğin sağladığı verim artışından en fazla yararlanılacağı görülmektedir. En iyi verim noktasından sıfır debi noktasına doğru yaklaşan bölgede çalışan, yani düşük debilerde hidrofobik yüzeylerin sağladığı verim artışından dikkate değer ölçüde istifade edilemeyeceği görülmektedir.

Çalışmalarımız, daha yüksek hidrofobikliğe sahip yüzeyler elde etmek için kompozit polimer malzemeler sentezlenerek pompaların tüm ıslak yüzeylerinin pompa performansına etkisi yanı sıra hidrofobik kaplama malzemesinin dayanımı ve kullanım ömrü üzerine devam etmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Mevcut olanaklarını karşılıksız olarak kullanma imkânı tanıyan DOMAK Pompa ve Mak. San. A.Ş. (<http://www.domak.com.tr>) yönetim ve teknik personeline destek ve katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems, Europump and Hydraulic Institute, 2000.
2. Perez J., Chiva S., Segala W., Morales R., Negro C., Julia E. and Hernandez L., Performance analysis of flow in a impellerdiffuser centrifugal pumps using CFD: Simulation and experimental data comparisons, European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD 2010, Lisbon, Portugal, 1-18, 2010.
3. Golcu M., Pancar Y. and Sekmen Y., Energy saving in a deep well pump with splitter blade, Energy Conversion Management, 47 (5), 638–651, 2006.
4. Pochyly F., Fialová S., Kozubková M., Zavadil L., Study of the adhesive coefficient effect on the hydraulic losses and cavitation, International Journal of Fluid Machinery and Systems, 3 (4), 386-395, 2010.
5. Yuan X. D., Yang X. J., A study on friction and wear properties of PTFE coatings under vacuum conditions, Wear, 269 (3-4), 291–297, 2010.
6. Zhang P., Lv F.Y., A review of the recent advances in superhydrophobic surfaces and the emerging energy-related applications, Energy, 82, 1068-1087, 2015.
7. Ou J., Rothstein J. P., Direct velocity measurements of the flow past drag reducing ultra hydrophobic surfaces, Physics of Fluids, 17 (10), 10.1063/1.2109867, 2005.
8. Choi C. H., Ulmanella U., Kim J., Ho C. M., Kim C. J., Effective slip and friction reduction in nanogated super hydrophobic microchannels, Physics of Fluids, 18 (8), 10.1063/1.2337669, 2006.
9. Daniello R.J., Waterhouse N.E., Rothstein J P., Drag reduction in turbulent flows over superhydrophobic surfaces, Physics of Fluids, 21 (8), 10.1063/1.3207885, 2009.
10. Park H., Sun G., Kim C. J., Superhydrophobic turbulent drag reduction as a function of surface grating parameters, Journal of Fluid Mechanics, 747, 722-734, 2014.
11. Truesdell R., Mammoli A., Vorobieff P., van Swol F., Brinker C. J., Drag reduction on a patterned superhydrophobic surface, Physical Review Letters, 97 (4), 044504, 2006.
12. Moaven K., Rad M., Taeibi-Rahni M., Experimental investigation of viscous drag reduction of super hydrophobic nano-coating in laminar and turbulent flows, Experimental Thermal and Fluid Science, 51, 239-243, 2013.
13. Volkov A. V., Parygin A. G., Lukin M. V., Ryzhenkov A. V., Khovanov G. P., Naumov A. V., Soukal J., Pochyly F., Fialova S., 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, 2015.
14. Volkov A. V., Parygin A. G., Naumov A. V., Vikhlyantsev A. A., Soukal J., Sedlár M., Komárek M., Influence of hydrophibization of impellers of centrifugal pumps on their operating characteristics, thermal engineering, 63 (12), 841–847, 2016.
15. Kocaaslan O., Ozgoren M., Aksoy M. H. and Babayigit O., Experimental and numerical investigation of coating effect on pump impeller and volute, Journal of Applied Fluid Mechanics, 9 (5), 2475-2487, 2016.
16. Holman J. P., Gajda W. J., Experimental methods for engineers, McGraw-Hill, 5th Edition, 1989.