

GİRDAP (VORTEX) POMPALARININ PERFORMANS KARAKTERİSTİĞİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER ÜZERİNE DENEYSSEL BİR ÇALIŞMA

Onur KONURALP - Ertan ENGİN - Ramazan ÖZCAN / Layne Bowler
Prof. Dr. Kahraman ALBAYRAK / ODTÜ

Özet:

Girdap (Vortex) tip atık su pompaları, içinde çeşitli büyüklüklerde katı cisim bulunan, çamurlu, yüksek oranda abrasif ve/veya yapışkan akışkanlar için tasarlanmış, salyangozlu, girdap oluşturan çarklara sahip hidrolik yapının motor miline doğrudan bağlanmasıyla tek parçalı bir yapıdan oluşan pompalardır. Bu çarklar salyangoz boşluğu içinde bir girdap oluşturur ve akışkanın basıncını yükseltir. Kullanılan salyangozun, çarka göreceli olarak hem yüksek, hem de geniş olması ve bazı tasarımlarda çarkın bir yuva içine monte edilerek çıkış ağzından uzaklaştırılması ile girdap etkisi sayesinde, katı maddeler çarka değmeden çıkış ağzına yönelir. Böylece girdap pompaları, içerdikleri uzun lifli maddelerin çarka dolanmasıyla tıkanmalara, sıkışmalara yol açabilen akışkanları pompalamak için yaygın olarak kullanılırlar.

Bu bildiri öncelikle girdap pompaları ve bunların uygulama alanlarından söz edilecektir. Ardından, pompanın performans değerlerini etkileyen değişkenler tanıtılacak, bunlardan üzerlerinde deneysel çalışma yapılanlar belirtilecektir. Deneylerin yapıldığı stand ve kullanılan ekipmanlar hakkında bilgi verilecektir. Parametrik çalışmalar kapsamında yapılan deneylerin sonucunda elde edilen birimsiz karşılaştırmalardan örnekler verilecek ve varılan sonuçlar paylaşılacaktır.

Benzeşim kurallarının girdap oluşturan çarka sahip pompalara uygulanabilirliği de değerlendirilmeye çalışılacaktır.

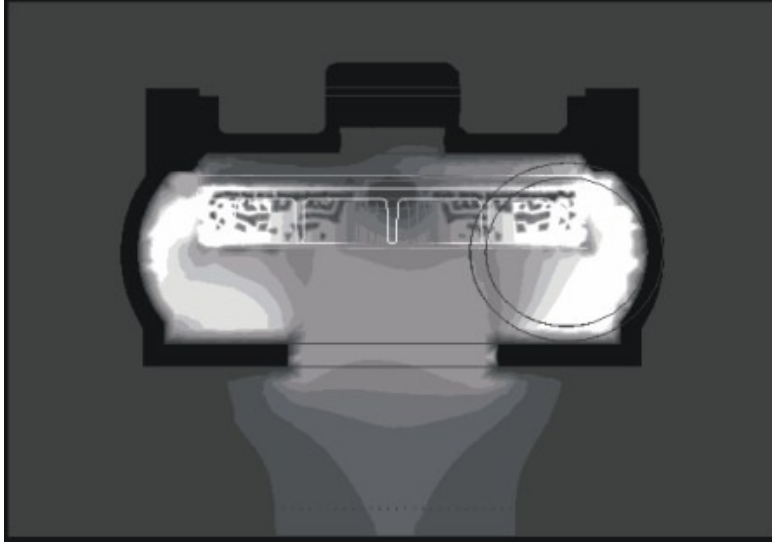
1. GİRİŞ

Girdap tipi atık su pompaları, içinde çeşitli büyüklüklerde katı cisim bulunan, çamurlu, yüksek oranda abrasif ve/veya yapışkan akışkanlar için tasarlanmış, salyangozlu, girdap tip çarklara sahip hidrolik yapının motor miline doğrudan bağlanmasıyla tek parçalı güvenilir bir yapıya sahip pompalardır. Basılan sıvının taşıdığı özelliklere bağlı olarak tüm atık su pompa tipleri için çok önemli olan tıkanmazlık, girdap pompalarının da öncelikli tasarım hedefidir. Atık su pompalarının bazılarında, sıvı içindeki partikül yahut lifleri kesme/parçalama, bazılarında ise kanadın, tasarım ve imalat özelliklerinden kaynaklanan ve tıkanmayı olası kılan kısımlarının, partikül ve lifler için geniş geçiş alanları bırakacak ve keskin köşeleri yumuşatacak şekilde tasarlanması yoluyla ulaşılan tıkanmayı önleme hedefine, girdap pompalarında partikül ve liflerle, pompa çarkının temasının mümkün olduğunca önlenmesi sayesinde erişilir. Böylece bu tip pompalar içerdikleri uzun lifli maddelerin çarka dolanmasıyla tıkanmalara, sıkışmalara yol açabilen akışkanları 80 l/s'lik debilere kadar pompalamak için yaygın olarak kullanılırlar. Klasik dalgıç pompalardaki %10'luk motor marjı limiti girdap pompalarında %30'lara kadar çıkabilmektedir [1].

Genel yapı olarak rotodinamik dalgıç pompalarından farkları olmamasına rağmen girdap pompaları, hidrolik tasarım ve performans değerleri açısından önemli farklılıklar gösterir. Öncelikle, klasik rotodinamik pompalarda akış, çark kanatlarının üzerinden geçmekte ve kanatlar tarafından doğrudan yönlendirilmektedir. Yani basılan akışkan kanatlar ile temas etmekte ve bu sayede çarkın giriş ve çıkış açıları, geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü, pompanın karakteristik özelliklerini ve performansını birinci dereceden etkileyen faktörlerin arasında yer almaktadır.

Girdap pompalarında ise çarklar kendileri dönerken, hızla dönen bir girdap oluşturur ve bu sayede akışkanın basıncını yükseltir. Bir diğer deyişle bu pompalar akışı belli bir rotada pompa emişinden çıkışına doğru hareket etmeye yönlendirmek yerine pompa içinde sürekli bir akışkan dönüşü elde etmek ve bu sayede emiş ve çıkış arasında basınç farkı oluşturmak esası üzerine tasarlanmışlardır. Bazı tasarımlarda çark bir yuva içine monte edilerek çıkış ağzından tamamen uzaklaştırılmakta, böylelikle çarkın dönüşünden kaynaklanan santrifüj etkisi tümüyle ortadan kaldırılmaktadır. Bu da basılan akışkanın ve içerdikleri partikül ve liflerin kanat aralıklarından geçme oranını büyük ölçüde azaltmaktadır. Sonuç olarak akışkanın büyük kısmı çarka temas etmeden basınçlandırılabilir. Bu çalışmanın bir kolu olarak yürütülen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programı kullanılarak elde edilen salyangoz içindeki hız dağılımı Şekil 1'de görülebilir. Çarka temas etmeyen akışkan hızı, girdap pompalarının yukarıda bahsedilen çalışma prensibini doğrular niteliktedir (renkler koyudan açığa doğru hızın artışı göstermektedir).

Çark-akışkan temasının en aza indirilmesinin bir diğer getirisi de çark ömrünün uzamasıdır. Girdap pompaları başta da belirtildiği gibi yüksek oranda abrasif akışkan ortamlarında da kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda bu getirinin pompa için baskın bir avantaj haline geldiği görülebilir.



Şekil 1: Bir girdap pompası içindeki akışkanın HAD programı kullanılarak elde edilmiş hız dağılımı (renkler koyudan açığa doğru hızın artışı göstermektedir).

Benzer şekilde, santrifüj pompalarda kullanılan, çarktan çıkan akışkanın pompa çıkışına yönlendirilmesi ve hız-basınç çevriminin sağlanabilmesi amacıyla giderek genişleyen kesit alanına sahip salyangozların yerini girdap pompalarında, çark yüksekliğinin 6-8 misline kadar çıkabilen yükseklikte, sabit kesit alanlı ve çarka oranla daha geniş salyangozlar almaktadır. Bu farklılık, salyangozun sadece akışkan girdabı için kapalı bir ortam sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen çark ve salyangoz yapılarındaki farklılıkların, pompa veriminde önemli ölçüde düşüşe yol açması kaçınılmazdır. Ancak bu düşüş, özel koşullarda sorunsuz çalışmak üzere tasarlanan bu tip pompalar için göze alınmakta, karşılığında pompanın tıkanma riski minimize edilmekte ve çark ömrü uzatılmaktadır.

Genel yapısının diğer pompa tiplerine benzerliğine rağmen, çalışma prensibinin ve buna bağlı olarak çark ve salyangozun kullanım amaçlarının farklılığı nedeniyle girdap pompaları, çark kanat ve salyangoz yapılarının birinci dereceden önemli olduğu standard yöntemlerin dışında, oluşturulan girdabın gücüne odaklı, kendilerine has tasarım yöntemlerinin kullanımını gerektirmektedir. Dolayısıyla, firmaların bu tip pompalar üzerindeki tecrübe ve birikimleri, bilinen tasarım prosedürlerinin önüne geçmekte ve parametrik araştırmalara yönelik deneysel çalışmanın benimsenmesi, firmalar için kaçınılmaz olmaktadır. Sonuç olarak firmalar, ancak bu araştırmaların üzerine özgün tasarım yöntemlerini inşa edebilmektedirler.

2. GENEL PARAMETRELER

Girdap pompalarının karakteristik ve performanslarını etkileyen çok sayıda geometrik parametre vardır. Bu bildiriye, çark çapı, kanat yüksekliği ve emiş çapı gibi deneysel çalışmaya en yatkın ve pompanın çalışması üzerinde göreceli olarak daha etkili olan parametreler incelenecektir.

Şekil 2'de girdap pomplarının iç yapısı, şematik kesit olarak verilmiştir. Burada, salyangozun üst kısmında dönen çark, salyangoz içerisinde bir girdap oluşturmakta, bu sayede akışkan, alt kısımdaki pompa emişinden emilerek salyangozun orta seviyesine yerleştirilmiş olan pompa çıkışından basılmaktadır. Resimdeki kısaltmaların karşılıkları aşağıda verilmiştir:

S: Salyangoz çapı

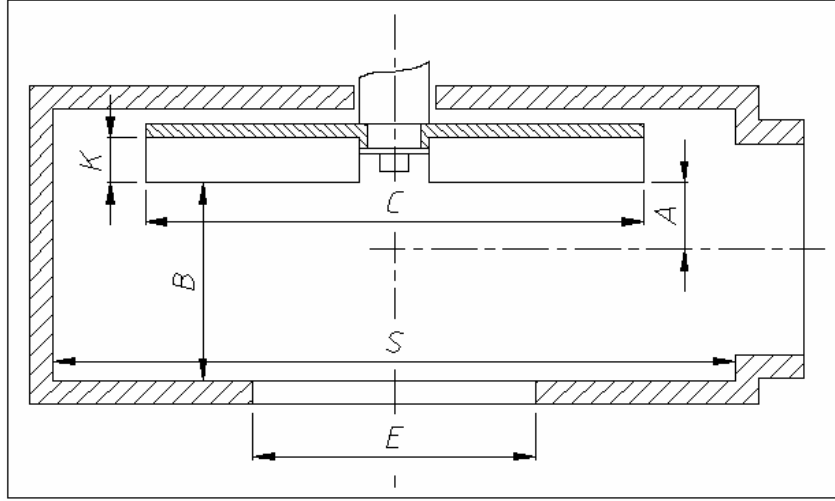
C: Çark çapı

E: Emiş çapı

K: Kanat yüksekliği

A: Kanat – çıkış merkezi mesafesi

B: Kanat – salyangoz tabanı mesafesi



Şekil 2: Girdap pompalarının şematik kesiti ve geometrik parametreleri.

Bu geometrik parametreler kullanılarak aşağıdaki birimsiz değişkenlere ulaşılabilir:

$$E' = \frac{E}{S}$$

$$C' = \frac{C}{S}$$

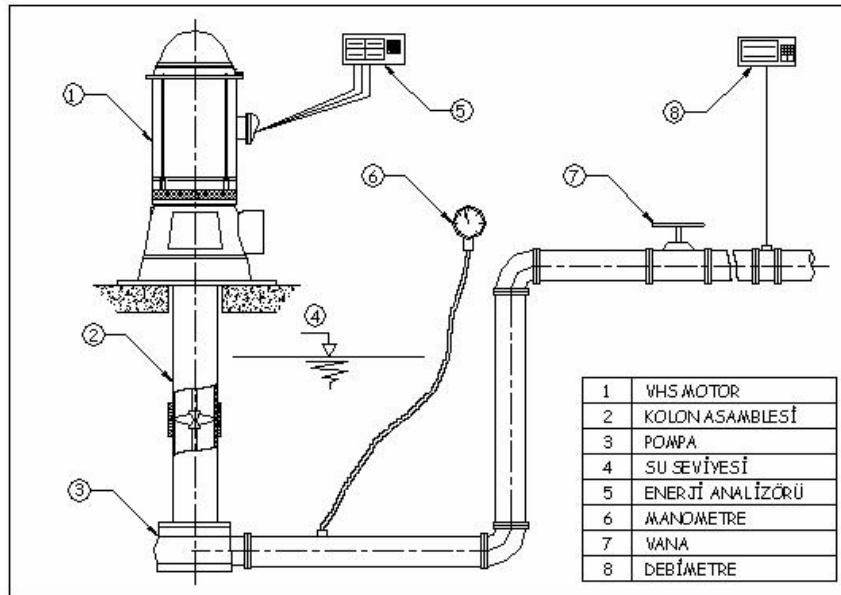
$$K'_A = \frac{K}{A}$$

$$K'_B = \frac{K}{B}$$

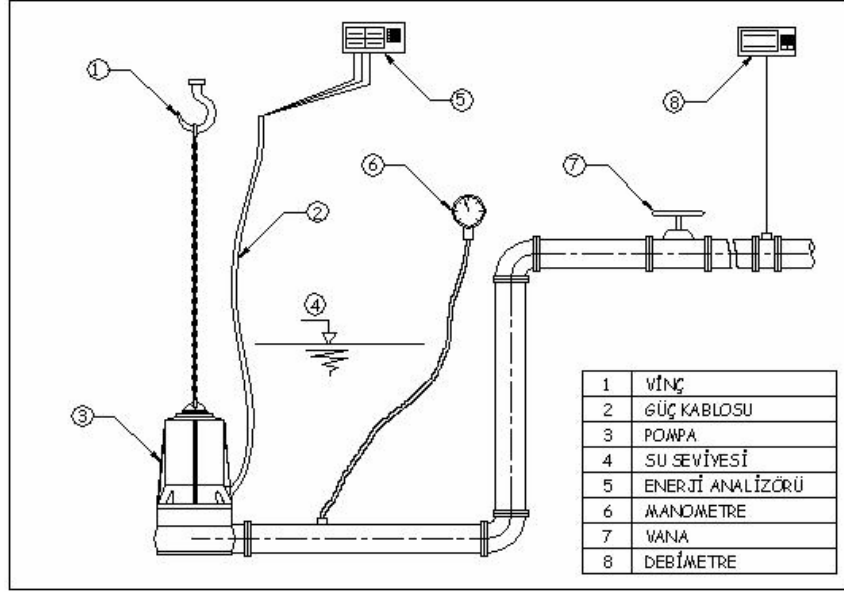
Bu bildiriye dayalı deney sonuçları, yukarıdaki değişkenler referans alınarak hazırlanmıştır.

3. TEST STANDI

Bu bildiriye dayalı sonuçları yer alan deneyler, Layne Bowler Dik Türbin Pompaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne ait test standında, Şekil 3 ve Şekil 4'te çizimi verilen deney düzenekleri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3: VHS tip motorun kullanıldığı deney düzeniği



Şekil 4: Motopompu kullanıldığı deney düzeneği

Şekil 3'te düşey milli pompalardaki gibi, motorun su seviyesinin üzerinde bulunduğu ve pompaya güç aktarımının su yağlamalı kolon takımı yardımıyla yapıldığı deney düzeneği görülmektedir. Bu yapı, seri deneyler esnasında montaj – demontaj kolaylığı sağlamakta, ayrıca kullanılan motor, standard VHS tip motor olduğundan kolay temin edilebilmektedir. Bunlara ek olarak, motorun kuru montajı sayesinde, dalgıç pompalarda karşılaşılabilen sızdırmazlık sorunları ortadan kaldırılmış, böylece sadece pompanın hidrolik performansı ve yapısı üzerine yoğunlaşılabilmiştir.

Şekil 4'te ise dalgıç girdap tipi atık su pompası deney düzeneği görülmektedir. Bu uygulamada, pompa bir vinç yardımı ile su içinde askıda tutulmakta, böylece pompanın gerçek çalışma koşulları sağlanmaktadır.

Her iki tip deneyde de pompanın çıkış basıncı bir vana ile ayarlanmakta ve manometre yardımıyla ölçülmektedir. Çıkış hattına monte edilmiş debimetreden pompa debisi, enerji analizöründen ise elektriksel değerler alınmakta ve pompa verimi hesaplanmaktadır. Bu ölçüm ve hesaplamalardaki toplam belirsizlik oranları ve ilgili standartlarda [2 ve 3] geçen müsaade edilen oranlar karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de verilmiştir:

Ölçülen Büyükük	Deney Düzeneğinin Belirsizliği	ISO 3555 B Sınıfı	ISO 2548 C Sınıfı
	(%)	(%)	(%)
Debi	±1,6	±2,0	±3,5
Basma Yüksekliği	±0,6	±1,5	±3,5
Dönme Hızı	±0,2	±0,5	±2,0
Genel Verim	±1,8	±2,8	±5,0

Tablo 1: Deney düzeneğinin standartlarla karşılaştırmalı belirsizliği.

4. DENEYLERİN SONUÇLARI

4.1 Deney Sonuçlarında Kullanılan Birimsiz Katsayıların Tanımı:

Bu çalışmada geçen pompa karakteristik eğrileri, birimsiz debi ve basma yüksekliği katsayıları kullanılarak elde edilmiştir. Bu katsayıların tanımları aşağıda verilmiştir:

$$\text{Debi Katsayısı} = \frac{Q}{\omega \cdot D^3}$$

$$\text{Basma Yüksekliği Katsayısı} = \frac{H \cdot g}{\omega^2 \cdot D^2}$$

Q = Pompa debisi [m³/s]

ω = Pompa hızı [rad/s]

D = Çark çapı [m]

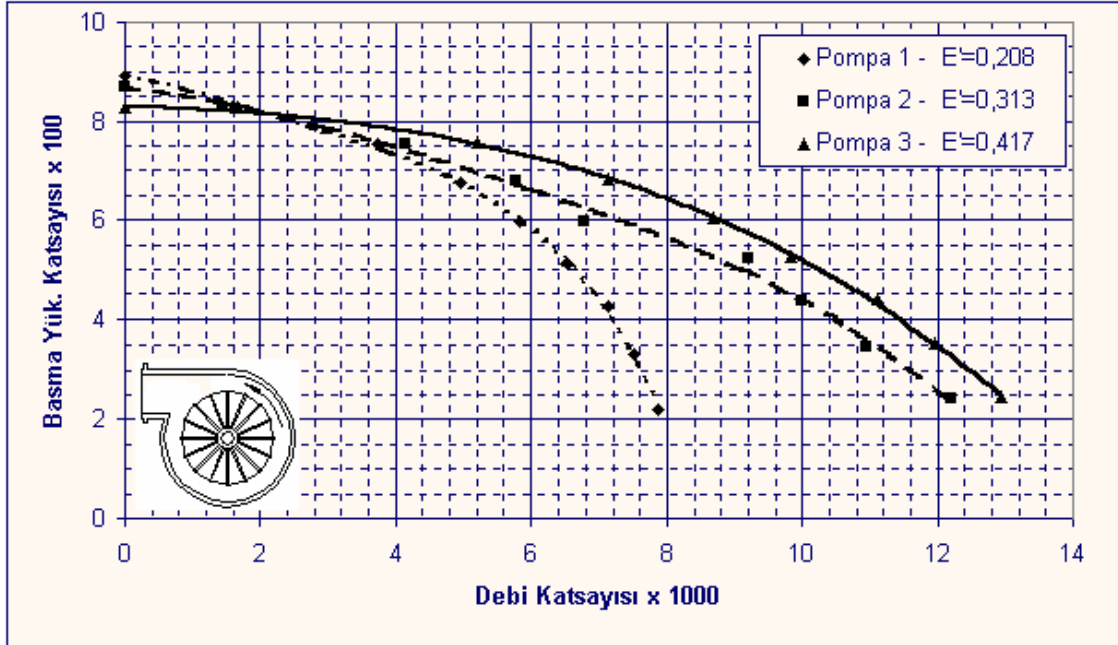
H = Pompa basma yüksekliği [mSS]

g = Yerçekim ivmesi [m/s²]

Çalışmada geçen verim eğrileri ise karşılaştırmaya olanak verebilmesi açısından en verimli noktaya (EVN) oranlanarak verilmiştir.

4.2 Emiş apının Girdap Pompası Karakteristiğine Etkisi:

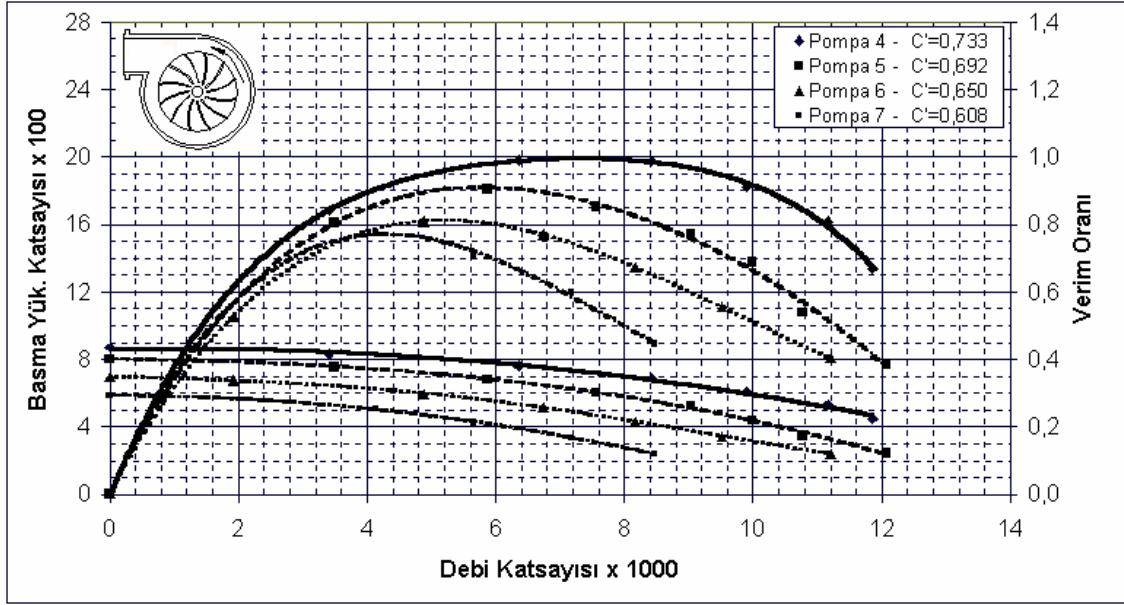
Emiş çapının pompa karakteristiğindeki etkilerini görmek amacıyla, farklı pompalarla yapılan tüm deneylerde aynı değişim gözlenmiş, emiş çapı azalırken pompanın kapalı vana basma yüksekliği değerinin arttığı, buna karşılık artan debiyle birlikte basma yüksekliğinde ani ve sert düşüşler olduğu grlmştir (Grafik 1). Kapalı vana konumunda akışa bağlı kayıplar minimuma indirilmekte, salyangoz içinde ve emişe yakın akışkan hacminde girdap oluşmaktadır. Dolayısıyla emiş çapının azalması, pompa dışında daha az miktarda akışkanın döndürülmesine ve buna bağlı olarak da pompa çıkışındaki basıncın artmasına yol açmaktadır. Vana açılarak pompanın debisi arttırılmaya başlandığında ise akışa bağlı kayıplar ortaya çıkmaktadır. Emiş çapının küçük olması durumunda, akışkan daha dar bir aralıktan geçmeye zorlandığından kayıplar daha etkin hale gelmekte ve belli bir debiden sonra pompanın basma yüksekliği, emiş çapı büyük olan pompanınkinin altına düşmektedir. Debi daha da arttırıldığında ise kayıplardaki ani yükselişle basma yüksekliğinde sert bir düşüş meydana gelmekte ve görece dik ve kısa bir karakteristik eğrisi elde edilmektedir. Bu durum da kimi zaman uygulamalarda tercih edilebilir.



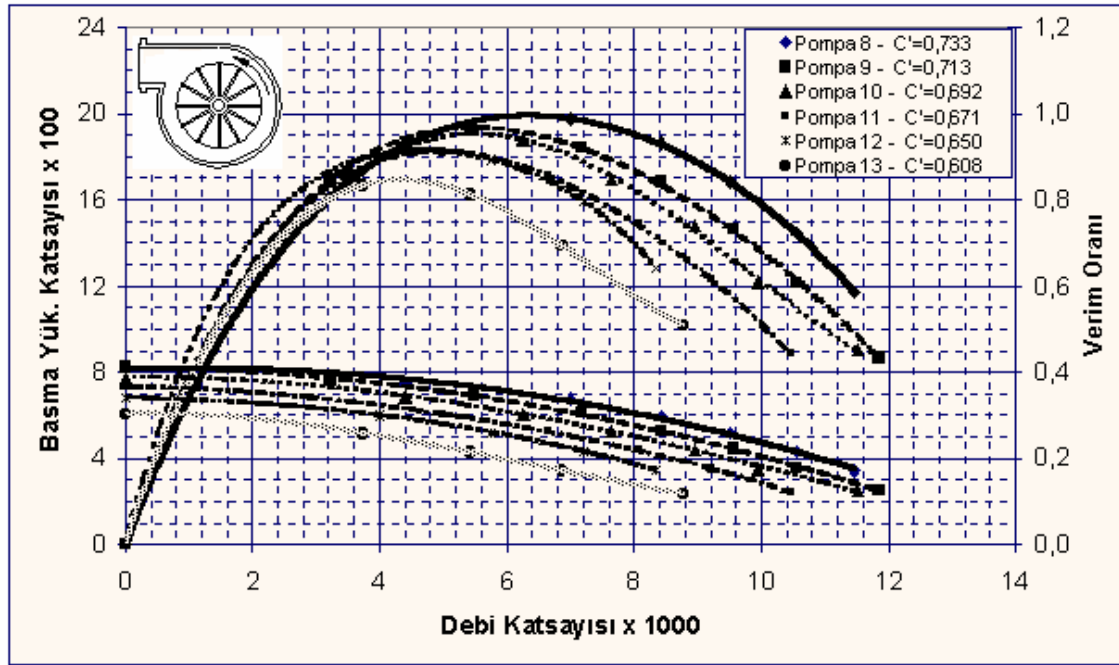
Grafik 1: Emiş çapının girdap pompası karakteristiğine etkisi.

4.3 Çark apının Girdap Pompası Karakteristiğine Etkisi:

Çark çapının düşürülmesiyle, genel pompa karakteristiğine uygun olarak basma yüksekliği ve verim düşmektedir. İki farklı çark için çap düşümü eğrileri Grafik 2 ve Grafik 3'te verilmiştir.



Grafik 2: Çark çapının girdap pompası karakteristiğine etkisi.



Grafik 3: Çark çapının girdap pompası karakteristiğine etkisi.

Yukarıda bahsedilen çark çapındaki düşüğe bağlı verim düşüşü incelendiğinde, farklı tipteki çarklarda farklı sonuçlarla karşılaşmıştır. Düşüşlerin oranı tüm çark tiplerinde doğrusala yakın bir eğilim izlemekte ancak eğimler farklılık göstermektedir. Çark çapındaki düşüğe rağmen geometrik benzerliğin büyük oranda korunabildiği düz kanatlara sahip çark tiplerinde (çark 1) verim düşüşü daha az olmakta, buna karşılık çap düşüşü ile kanat geometrileri değişen ve geometrik benzerliğin korunamadığı eğri kanatlara sahip çark tiplerinde (çark 2) daha büyük düşüşlerle karşılaşmaktadır (Tablo 2).

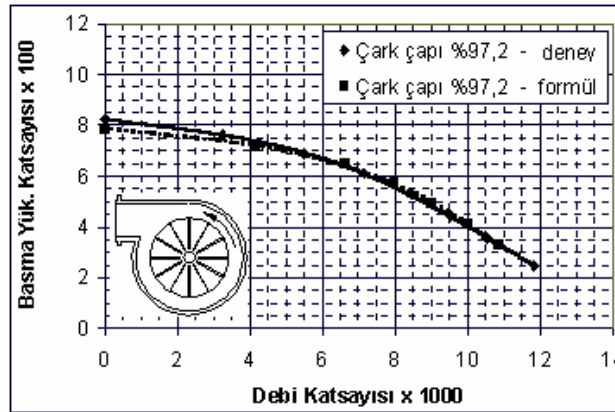
Çark Çapındaki Düşüş %	Verimdeki Düşüş	
	Çark 1 %	Çark 2 %
2	2,0	2,5
4	3,5	5,6
6	4,9	9,1
8	6,1	12,7
10	7,4	16,2
12	8,9	19,2
14	10,8	21,4
16	13,2	22,7

Tablo 2: Farklı tip çarklarda çaptaki düşüğe bağlı verim düşüştü.

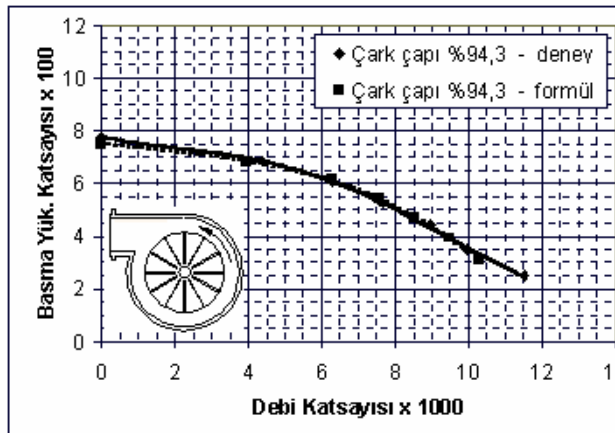
Çark çapı düşümleri (traşlama) için firmaların geliştirdikleri önerilen formüller vardır [4]. Dönme hızı sabit alındığında ve traşsız çarka ait değerler için indis (i_1), traşlı çarka ait değerler için indis (i_2) olmak üzere:

$$Q_2 = \frac{Q_1 \cdot D_2^n}{D_1^n} \quad H_2 = \frac{H_1 \cdot D_2^m}{D_1^m}$$

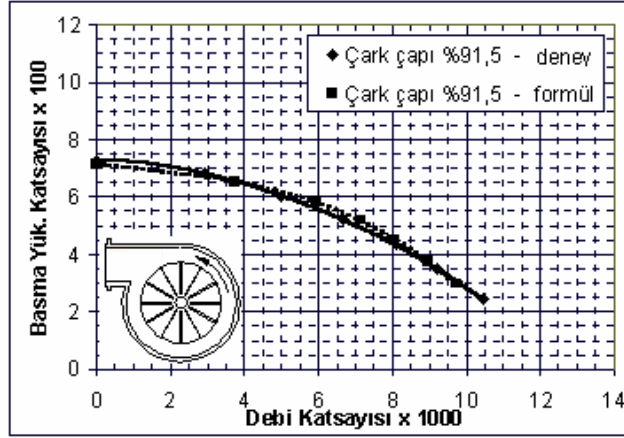
Yukarıda da bahsedildiği gibi düz kanatlara sahip çark tiplerinde geometrik benzerliğe dayanarak pompa karakteristik eğrisi, %12'lik çap düşüşlerine kadar önerilen formüllerle hesaplanabilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, önerilen traşlama formüllerinde $n = 1.85$, $m = 1.60$ olarak kullanıldığında, en verimli noktanın $\pm\%20$ 'si aralığında (önerilen çalışma aralığı), pompa karakteristik eğrisinin % 3'lük sapma ile bulunabildiği görülmüştür (Grafik 4,5,6,7,8).



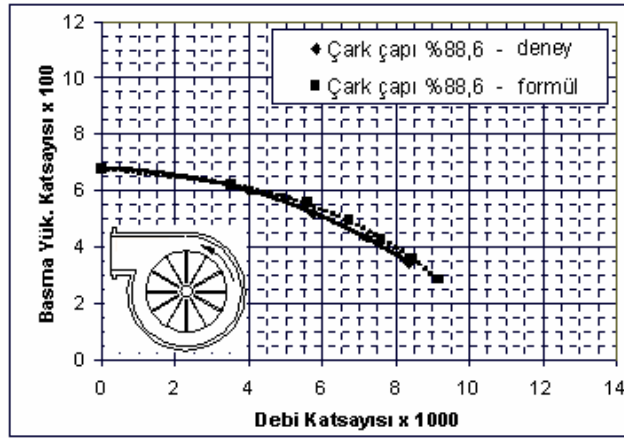
Grafik 4: Çark çapı %97,2'ye düşürüldüğünde deneyle bulunan ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.



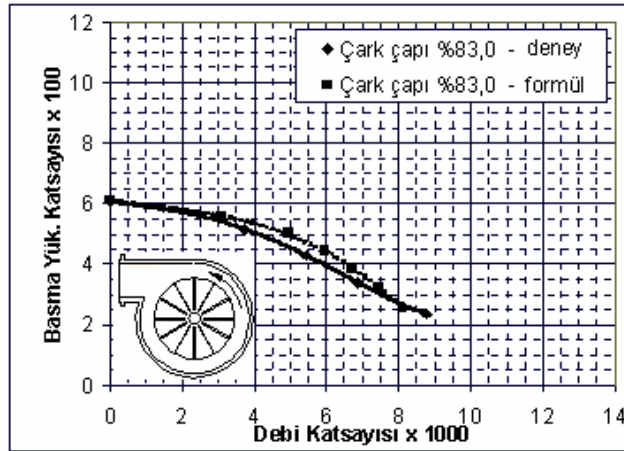
Grafik 5: Çark çapı %94,3'e düşürüldüğünde deneyle bulunan ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.



Grafik 6: Çark çapı %91,5'e düşürüldüğünde deneyle bulunan ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.



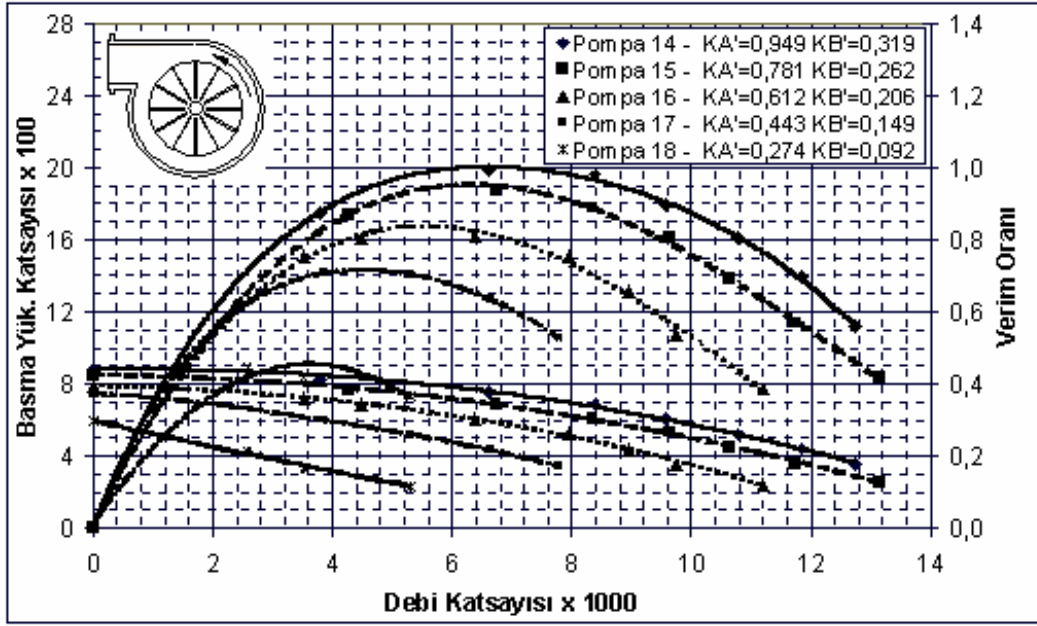
Grafik 7: Çark çapı %88,6'ya düşürüldüğünde deneyle bulunan ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.



Grafik 8: Çark çapı %83,0'e düşürüldüğünde deneyle bulunan ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.

4.4 Kanat Yüksekliğinin Girdap Pompası Karakteristiğine Etkisi:

Çark kanat yüksekliğinin pompa karakteristiğine etkilerinin incelendiği parametrik deneylerde, kanat yüksekliği azaldıkça, çark tipinden bağımsız olarak, girdap etkisinin azalmasıyla, hem basma yüksekliğinde, hem de pompa veriminde düşüş gözlenmiştir (Grafik 9). Bu eğilim, bir yüksek bir alçak kanat dizilimine sahip çarklarda da kendini göstermiştir. Yüksek kanatlı çarkların kullanımı durumunda kanatlar, pompanın çıkış ağzına ve dolayısıyla akış güzergahına yaklaşmakta, bu da kanat – parçacık teması olasılığını artırmaktadır.



Grafik 9: Kanat yüksekliğinin girdap pompası karakteristiğine etkisi.

Kanat yüksekliğinin verim üzerindeki etkisi detaylı olarak incelendiğinde, kanat yüksekliği azaldıkça verimin hızla düştüğü görülmüştür (Tablo 3). Bu da kanat yüksekliklerinin azalmasıyla oluşturulan girdap etkisinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

Kanat Yüksekliğindeki Düşüş %	Verimdeki Düşüş %
10	3,1
20	6,8
30	11,5
40	17,7
50	26,0
60	37,1
70	51,5

Tablo 3: Kanat yüksekliğindeki düşüğe bağlı verim düşüşü.

5. SONUÇ

Girdap pompalarının performans karakteristiklerini etkileyen çok sayıda parametre vardır. Bu bildiride, bu parametrelerin bazıları üzerine yapılmış 100'ün üzerinde deney ve bunların sonuçlarının irdelenmesinden oluşan çalışmanın, emiş çapı, çark çapı ve kanat yüksekliğinin etkilerini içeren sonuçları verilmiştir.

Yapılan deneyler sonunda, emiş çapının pompa karakteristiğini tamamen değiştirdiği gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak pompanın, sadece emiş çapının değişmesiyle, tasarım noktasından çok farklı noktalarda çalıştırılabileceği, böylelikle kullanım alanının büyük oranda genişleyebileceği görülmüştür.

Çark çapının etkileri incelendiğinde, klasik santrifüj pompalarda olduğu gibi çap düşümünün basma yüksekliği ve verimde düşmeye yol açtığı gözlenmiştir. Önerilen formüller kullanıldığında, en verimli noktanın ± 20 aralığında, pompa karakteristik eğrisinin % 3'lük sapma ile bulunabildiği görülmüştür.

Kanat yüksekliğindeki düşüşün ise, akışkana aktarılan gücü ve buna bağlı olarak girdap etkisini azalttığı ve sonuç olarak basma yüksekliğinde ve verimde düşüğe yol açtığı görülmüştür. Buna karşılık, basma yüksekliği ve verimi artırma amaçlı olarak kanat yüksekliğinin artırılması ise girdap pompalarının kullanım amacından uzaklaşma ile sonuçlanmaktadır.

Yapılan parametrik deneyler sonucunda gelinen noktada, firmaların kendi girdap pompaları için tasarım prosedürlerini oluşturmaları konusunda deneysel çalışmaların öncelikli yol gösterici olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. “TS 12599 Pompalar – Dalgıç – Pis Su İçin”.
2. “ISO 3555 Centrifugal, Mixed Flow and Axial Pumps Code for Acceptance Tests – Class B”.
3. “ISO 2548 Centrifugal, Mixed Flow and Axial Pumps Code for Acceptance Tests – Class C”.
4. KONURALP O., “Design, Construction and Performance Evaluation of a Vertical Turbine Pump”,pp 77-110, METU, 1999

Summary:

Vortex type sewage pumps are the pumps that are designed for muddy, highly abrasive and/or adhesive fluid which contains solid particles of various sizes. Having the hydraulic structure, that contains a volute and a vortex type impeller, assembled directly to the motor shaft, vortex pumps become compact and quite reliable. The vortex type impellers create high speed whirls while they rotate, and so, increase the pressure of the fluid. Because of the vortex effect and by using a volute, which is longer and wider with respect to the impeller, also in some designs, embedding the impeller in a cavity in order to take it away from the outlet, the solid particles almost never contact with the impeller. Therefore, vortex pumps are widely used for pumping the fluid that can cause clogging, since the long fibers it contains wrap around the impeller.

In this article, the vortex pumps and their area of usage will be described firstly. Then, parameters, that affect the performance of the pump, will be introduced and among these, the ones, which are experimentally examined, will be stated. Information on the stand that experiments are performed in, and the experimental set-up will be given. Finally, some samples from the nondimensional comparisons, which are obtained from the experiments performed in the extend of parametric studies, and the conclusions drawn will be shared.

The validity of the similarity rules for vortex pumps will be investigated, as well.