



Onur KONURALP

Layne Bowler

1993 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitiren bölümde Yüksek Lisans eğitimini 1999'da tamamladı.

Halen. Lavın- Bowlerfirmasında Proje Kalite Kontrol Müdürü olarak çalışan Konuralp, tasarımı ve iyileştirme, siyak su pompaları, yüksek dehi/i pompalar ve atık su pompaları konularıyla çalışmalarını sürdürmektedir



Prof. Dr. Kahraman ALBAYRAK / ODTÜ

1971'de ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu 1974'te avın bölümde Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 1984'te doktorasını yaptı. 2(11)1 yılında profesör oldu. Alhavrak halen, ODTÜ'de, "1 ygulamalı Akışkanlar Mekaniği" üzerine öğretim üyesi olarak (alışmalarını sürdürüyor.

1998 yılları arasında ISlima-SOğutmu sistemleri üzerine çalıştı. 1999 yılından heri Lavıuc Boulter AŞ - Proje ve Kalite Kontrol Bölümünde proje mühendisliği görevini sürdürmektedir



Ramazan ÖZCAN
Layne Bowler

IW f> yılında Uludağ i niversitesi Mühendislik Fakültesi Mak. Müh. Bölümü 'uden mezun oldu 1996 -

1998 yılları arasında ISlima-SOğutmu sistemleri üzerine çalıştı. 1999 yılından heri Lavıuc Boulter AŞ - Proje ve Kalite Kontrol Bölümünde proje mühendisliği görevini sürdürmektedir

Ertan ENGİN / Layne Bowler

Ilutan Engin 2002 yılında ODTÜ Müh. Kak. Mak. Midi. Böl. lisans dercesi ile mezun oldu. Aynı yıl ODTÜ Mak. Müh. Böl. Yüksek Lisans eğitimine ve Layne Bowler Pompa Sanayi de Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılına Yüksek Lisans derecesini S sal Deneyi ile "Bir Dalgıç Pompanın Tasarımı /malan ve (.alışma Koşullarının Belirlemesi" başlıklı tezi ile tamamlamış olup. farklı tipte pompa tasarımları ve ima/alı konusunda (.alışmalarda bulunmuştur.

ÖZET

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

Girdap (Vortex) Pompalarının Performans Karakteristiğini Etkileyen Parametreler Üzerine Deneysel Bir Çalışma

1. Giriş

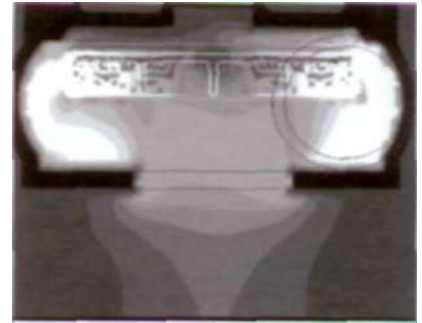
Girdap tipi atık su pompaları, içinde çeşitli büyüklüklerde katı cisim bulunan, çamurlu, yüksek oranda abrasif ve/veya yapışkan akışkanlar için tasarlanmış, salyangozlu, girdap tip çarklara sahip hidrolik yapının motor miline doğrudan bağlanmasıyla tek parçalı güvenilir bir yapıya sahip pompalardır. 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 dolmasıyla 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 perfor-

mansını 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 içerdiği 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).



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

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

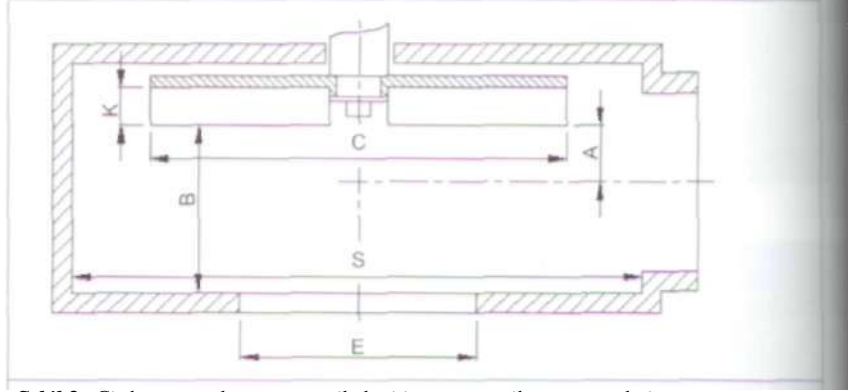
Benzer şekilde, santrifüj pompalarda kullanılan, çarktan çıkan aışkanın pompa çıkışına yönlendirilmesi ve hız-basınç çevriminin sağlanabilmesi amacıyla giderek genişleyen kesit alanına sahip salyangozların yerini girdap pompalarında, çark yüksekliğinin 6-8 misline kadar çıkabilen yükseklikte, sabit kesit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

Yukarıda bahsedilen çark ve salyangoz yapılarındaki farklılıkların, pompa veriminde önemli ölçüde düşüğe 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.

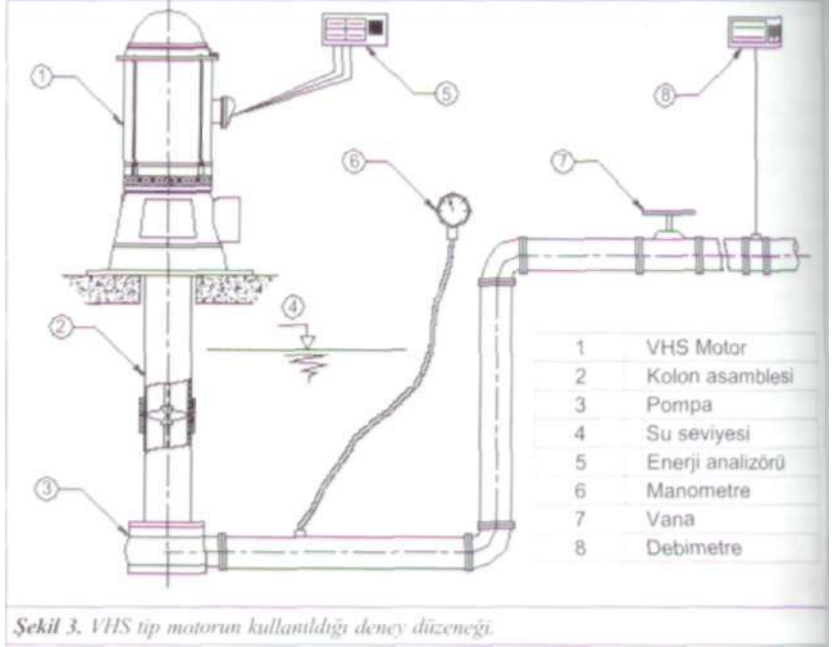
Genel yapısının diğer pompa tiplerine benzerliğine rağmen, çalışma prensibinin ve buna bağlı olarak çark ve salyangozun kullanım amaçlarının farklılığı nedeniyle girdap pompaları, çark kanat ve salyangoz yapılarının birinci dereceden önemli olduğu Standard yöntemlerin dışında, oluşturulan girdabın gücüne 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 bildiri- de, çark çapı, kanat yüksekliği ve emiş çapı gibi deneysel çalışmaya en yakın ve pompanın çalışması üzerinde göreceli olarak daha etkili olan parametreler incelenmektedir.



Şekil 2. Girdap pompalarının şematik kesiti ve geometrik parametreleri.



Şekil 3. VHS tip motorun kullanıldığı deney düzeneği.

Şekil 2'de girdap pomplarının iç yapısı, şematik kesit olarak verilmiştir. Burada, salyangozun üst kısmında dönen çark, salyangoz içerisinde bir girdap oluşturmakta, bu sayede aışkan, 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

Bu geometrik parametreler kullanılarak aşağıdaki birimsiz değişkenlere ulaşılabilir:

$$E' = \frac{E}{S} \quad C' = \frac{C}{S} \quad K'_s = \frac{K}{A} \quad K'_b = \frac{K}{B}$$

Bu bildiri-deki deney sonuçları, yukarıdaki değişkenler referans alınarak hazırlanmıştır.

3. Test Standı

Bu bildiri- de 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'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 kar-

şılaşılabilen 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:

Tablo 1. Deney Düzeneğinin Standartlarla Karşılaştırmalı Belirsizliği			
Ölçülen Büyüklük	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

4. Deneylerin Sonuçları

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:

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

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

Q = Pompa debisi [m³/s]

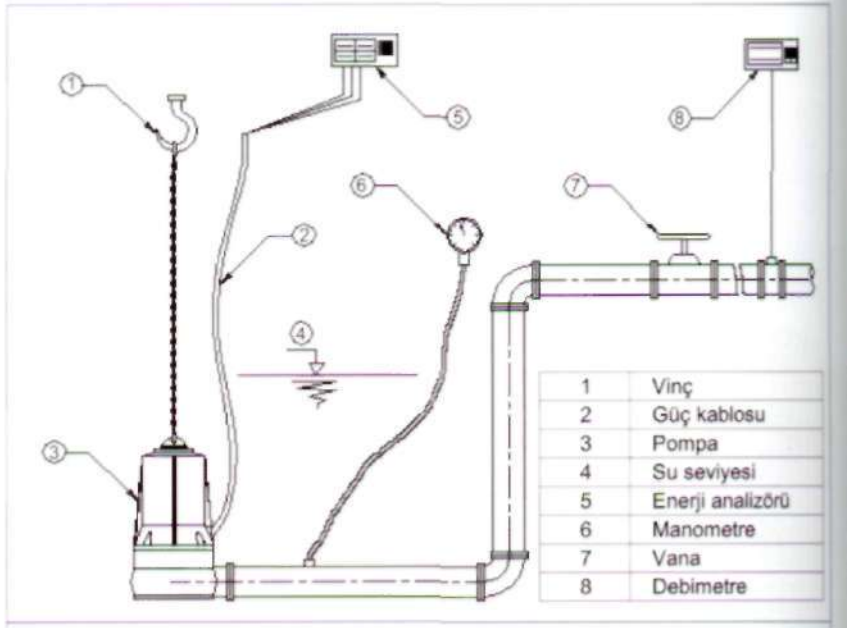
w = Pompa hızı [rad/s]

D = Çark çapı [m]

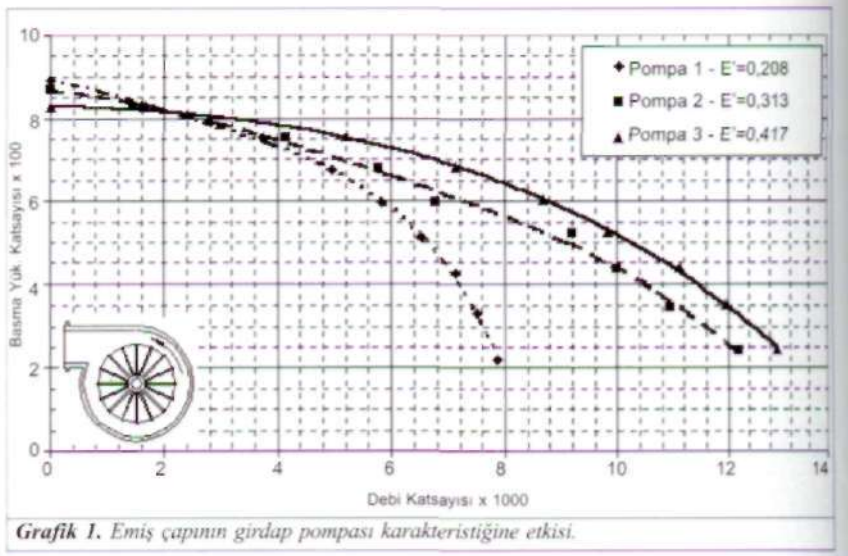
H = Pompa basma yüksekliği [mSS]

g = Yerçekim ivmesi [m/s²]

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



Şekil 4. Motopompu kullanıldığı deney düzeneği.



4.2. Emiş Çapının Girdap Pompası Karakteristiğine Etkisi

Emiş çapının pompa karakteristiğinde 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 görülmüştür (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 artırılmaya baş-

landığında 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 pompaninkinin altına düşmektedir.

Debi daha da artırıldığında 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.

4.3. Çark Çapının Girdap Pompası Karakteristiğine Etkisi:

Çark çapının düşürülmesiyle, genel pompa karakteristiğine uygun olarak

basma yüksekliği ve verim düşmektedir, iki farklı çark için çap düşümü eğrileri Grafik 2 ve Grafik 3'te verilmiştir.

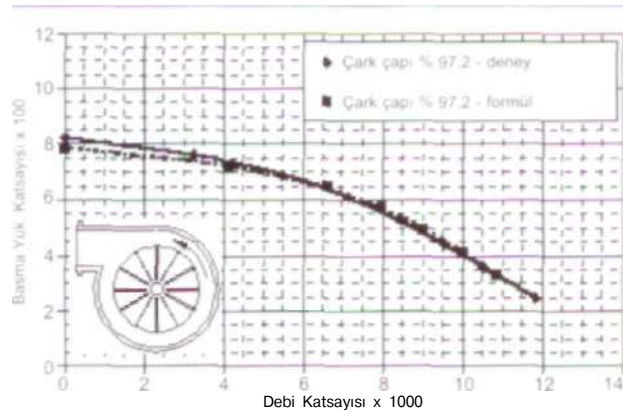
Yukarıda bahsedilen çark çapındaki düşüğe bağlı verim düşüşü incelendiğinde, farklı tipteki çarklarda farklı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Düşüşlerin oranı tüm çark tiplerinde doğrusala yakın bir eğilim izlemekte ancak eğimler farklılık göstermektedir.

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 karşılaşılmaktadır (Tablo 2).

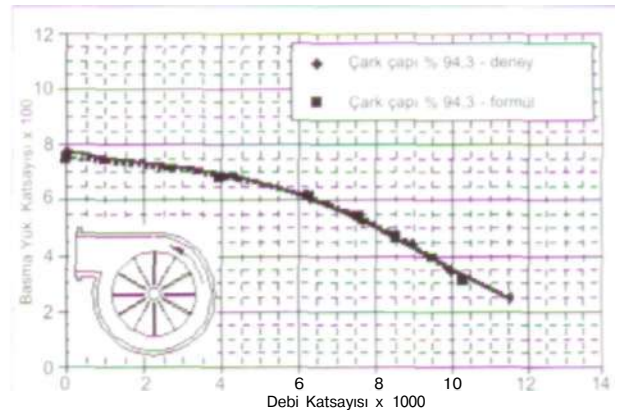
Çark Çapındaki Düşüş %	Verimdeki Düşüş	
	Çark 1 (%)	Çark 2 (%)
2	2,0	2,5
4	3,5	5,6
6	4,9	9,1
8	6,1	12,7
10	7,4	16,2
12	8,9	19,2
14	10,8	21,4
16	13,2	22,7

Çark çapı düşümleri (traşlama) için firmaların geliştirdikleri önerilen formüller vardır [4]. Dönme hızı sabit alındığında ve traşsız çarka ait değerler için indis (1), traşlı çarka ait değerler için indis (2) olmak üzere:

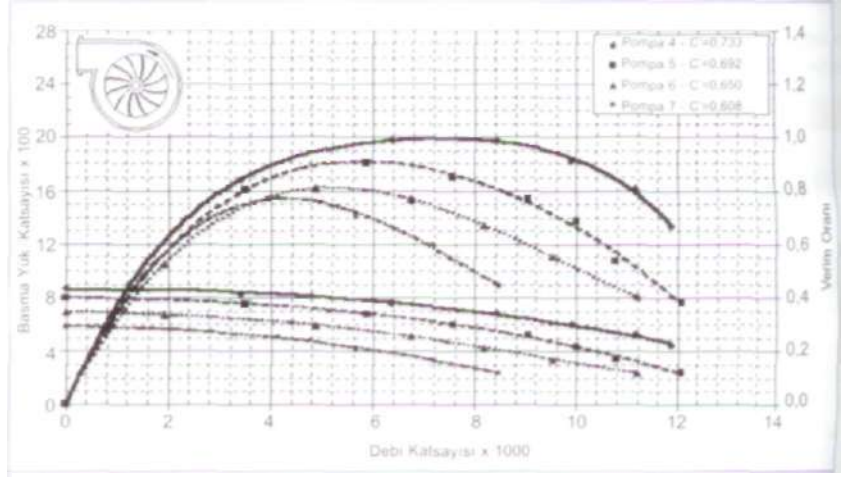
$$Q_2 = \frac{Q_1 \cdot D_2^3}{D_1^3} \quad H_2 = \frac{H_1 \cdot D_2^5}{D_1^5}$$



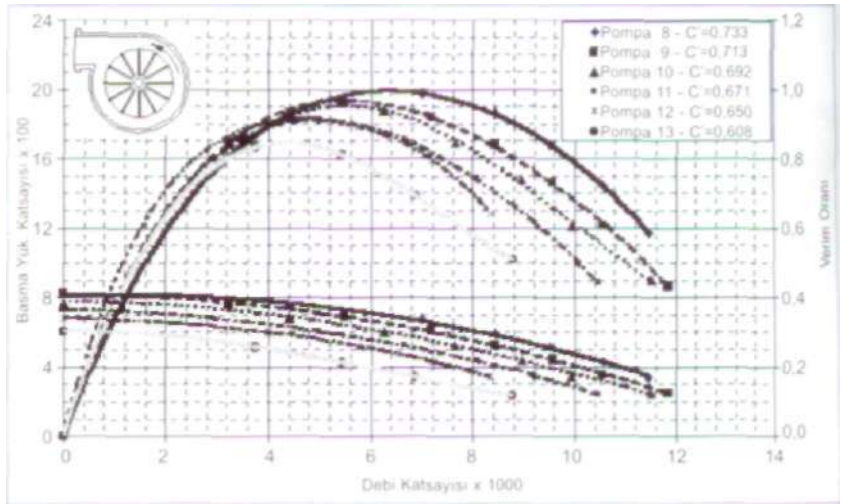
Grafik 4. Çark çapı % 97,2ye düşürüldüğünde deneyle bulunan ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.



Grafik 5. Çark çapı V_4 ye düşürüldüğünde deneyle İmlamın ve formülle hesaplanan karakteristik eğriler.



Grafik 2. Çark çapının girdap pompası karakteristiğine etkisi.



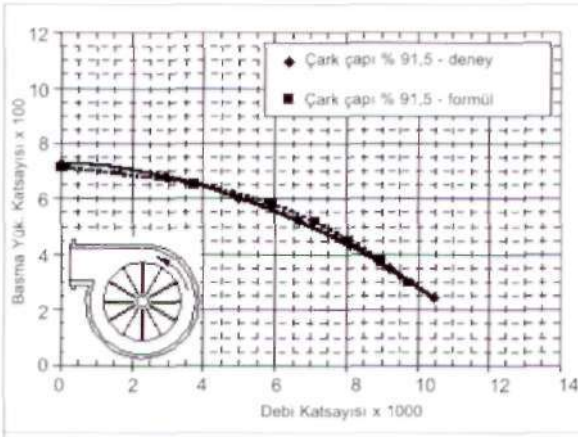
Grafik 3. Çark çapının girdap pompası karakteristiğine etkisi.

Yukarıda da bahsedildiği gibi düz kanatlara sahip çark tiplerinde geometrik benzerliğe dayanarak pompa karakteristik eğrisi, %12'lik çap düşüşlerine kadar önerilen formüllerle hesaplanabilmektedir.

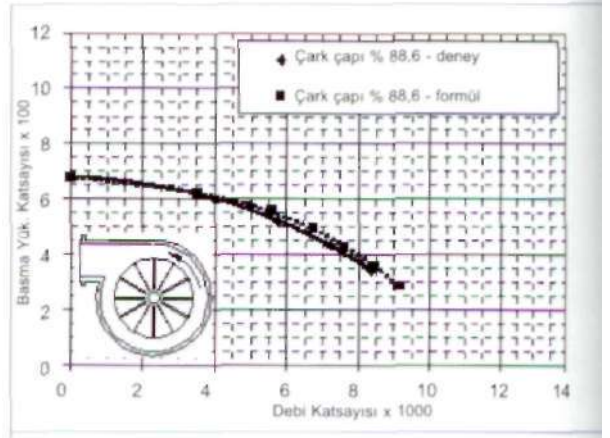
Yapılan çalışmalar sonucunda, önerilen traşlama formüllerinde $n = 1.85$, $m = 1.60$ olarak kullanıldığında, en verimli noktanın ± 20 'si aralığında (önerilen çalışma aralığı), pompa karakteris-

tik eğrisinin % 3'lük sapma ile bulunabildiği görülmüştür (Grafik 4, 5, 6, 7, 8).

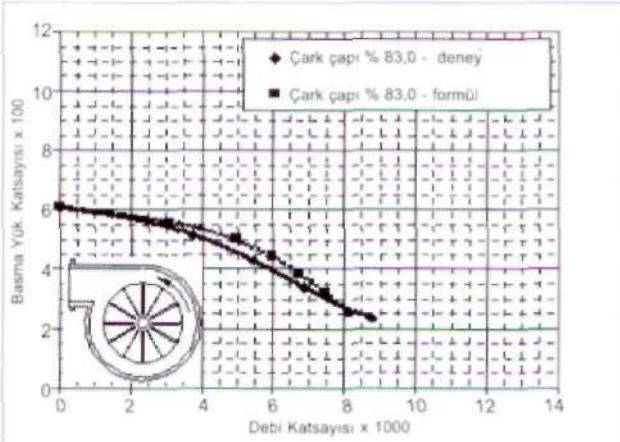
4.4. Kanat Yüksekliğinin Girdap Pompası Karakteristiğine Etkisi Çark kanat yüksekliğinin pompa karakteristiğine etkilerinin incelendiği parametrik deneylerde, kanat yüksekliği azaldıkça, çark tipinden bağımsız olarak, girdap etkisinin azalmasıyla, hem basma yüksekliğinde, hem de pompa veriminde düşüş gözlenmiştir (Grafik 9).



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.

Grafik 9. Kanat yüksekliğinin girdap pompası karakteristiği etkisi.

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.

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.

Tablo 3. Kanat Yüksekliğindeki Düşüşe Bağlı Verim Düşüşü	
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

5. Sonuç

Girdap pompalarının performans karakteristiklerini etkileyen çok sayıda parametre vardır. Bu bildiriye, 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 ola-

rak girdap etkisini azalttığı ve sonuç olarak basma yüksekliğinde ve verimde düşüşe yol açtığı görülmüştür. Buna karşılık, basma yüksekliği ve verimi artırma amaçlı olarak kanat yüksekliğinin artırılması ise; girdap pompalarının kullanım amacından uzaklaşması 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