



Tek Kademeli Bir Derin Kuyu Pompası Karakteristiklerinin DeneySEL Olarak Belirlenmesi

Ergün KORKMAZ*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış Tarihi: 31.10.2014, Kabul Tarihi: 31.01.2015)

Anahtar Kelimeler

Derin Kuyu Pompası,
En iyi Verim Noktası (EVN)
Pompa Karakteristik Eğrileri

Özet: Günümüzde binalarda ve endüstride elektrik enerjisi tüketiminin büyük bir bölümü pompa ve fan uygulamalarında gerçekleşmektedir. Dünyada tüketilen elektrik enerjisinin %20'ye yakın bir kısmı pompa sistemlerinde kullanılmakta ve bu oran bazı endüstrilerde %25-50 dolaylarına çıkmaktadır. İyi bir sistem tasarımı ve uygun pompa kullanılarak pompaların tükettiği enerjinin %30'a kadar azaltılabileceğini söylemek mümkündür. Bir pompanın ömür boyu maliyeti içerisinde satın alma maliyetinin yaklaşık %5, işletme maliyetinin ise yaklaşık %85 dolaylarında olduğu düşünüldüğünde bu sektörde tüketilen enerjinin önemi daha iyi anlaşılabilir.

Kanat sayısı, kanat çıkış açısı ve çark çıkış çapı gibi tasarım parametreleri pompa performansını ve enerji tüketimini etkilemektedir. Bu çalışmada, $Z=5$ kanat sayısına ve $\beta_{2k}=30^\circ$ kanat çıkış açısına sahip, tek kademeli bir derin kuyu pompasının $H_m=f(Q)$, $P_e=f(Q)$ ve $\eta_g=f(Q)$ karakteristik eğrilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Experimental Determination of the Characteristic Curves of a Single Stage Deep Well Pump

Keywords

Deep Well Pump
Best Efficiency Point (BEP)
Pump Characteristic Curves

Abstract: A Major portion of electrical energy consumption is used by pumps and fans in buildings and in industrial applications in our world today. About 20% of the global electrical energy consumption is used by pumping systems and this rate may go up to 25-50% in some industries. It is possible to say that the energy consumption of pumps may be reduced up to 30% with a good system design and the use of appropriate pumps. When the fact that the initial procurement cost of a pump is about 5% of the total costs incurred during the entire life time of the pump and the operating costs account for about 85% of the total costs, is taken into consideration, the significance of the energy consumed in this industry can be understood better.

Design parameters such as the number of blades, blade exit angle and impeller exit diameter affect the performance and energy consumption of the pumps. In this study, it is aimed to determine the $H_m=f(Q)$, $P_e=f(Q)$ and $\eta_g=f(Q)$ characteristic curves of a single stage deep well pump with number of blades $Z=5$ and blade exit angle $\beta_{2k}=30^\circ$.

1. Giriş

Rotadynamik pompalar akışkana enerji veren ve bu işlemi çark veya fan adı verilen dönen elemanı sayesinde gerçekleştiren makinalardır. Akışkana enerji verme işlemi; milden alınan mekanik enerjinin önce kinetik enerjiye ardından da çark çıkışında

difüzör veya salyangoz gövde sayesinde basınca dönüştürülmesi suretiyle gerçekleştirilir.

Tüketilebilir su potansiyelimizin %13'üne yakın bir kısmını oluşturan yeraltı su kaynaklarının yeryüzüne çıkartılmasında emme yüksekliği sınırlı olan santrifüj pompaların yetersiz kalmaları, derin kuyulardan emiş

yapabilecek farklı pompa konstrüksiyonu arayışlarına neden olmuş ve bu amaçla; basınçlı hava sistemleri, düşey türbin pompaları ve yaygın olarak da dalgıç pompa sistemleri geliştirilmiştir. Yeraltı sularının yeryüzüne çıkarılmasında kullanılan teknolojiler incelendiğinde basınçlı hava sistemleri ve düşey türbin pompaları; düşük verimleri, sınırlı basma yükseklikleri, montaj-de montaj zorlukları, uzun servis süreleri ve kısa bakım periyotları nedeniyle dalgıç pompalara nazaran daha az kullanım alanına sahiptir. Ancak özellikle elektrik enerjisi kullanma imkânı olmayan arazi şartlarında traktör kuyruk milinden tahrik edilebilen düşey türbin tipi pompa kullanımı zorunlu olabilir.

Pompa karakteristikleri incelendiğinde, sabit devir sayısı için pompanın çalışabileceği birçok manometrik yükseklik ve debi değerinin mevcut olduğu görülür ($H_m = f(Q)$ eğrisi üzerinde kalmak şartıyla). Pompa tasarımında kullanılacak karakteristik büyüklüklerin pompanın en iyi verim noktasına uygun olması oldukça önemlidir. Pompa kullanıcısının en önemli görevi, ihtiyaç duyulan çalışma koşulları için (H_m-Q) en iyi verime sahip pompayı seçmektir.

Santrifüj pompa çarkının tasarımında, istenen çalışma noktasındaki en iyi verimi elde etmek için kanat açısının değişimi ve meridyonel geometri bilinmelidir (Stepanoff, 1957). Santrifüj pompalarda özgül hızın artmasıyla akış radyal halden aksel hale döner. Çarkın çapı küçülür ve genişliği artar. Özgül hızın büyümesi ile çark çapının çark çıkış genişliğine oranı küçülmektedir. Yani, özgül hız küçüldükçe geçiş kanalı daralmakta, özgül hız büyüdükçe kanal genişlemekte ve kısalmaktadır. Pompanın düşük özgül hızlı olması hem konstrüktif ve imalat zorlukları doğurur hem de verimlerinin düşük olmasına neden olur (Gölcü, 2001).

Pompa organları arasında en önemli parçalardan birisi pompa çarkıdır ve çark içerisinde aksel, radyal veya karışık akış söz konusu olabilir. Akışkanın 90° yön değiştirmesi gereken proseslerde radyal akışlı pompalar kullanılmaktadır. Radyal akışlı pompalarda özgül hız nispeten düşük seviyelerdedir. Düşük özgül hızlı pompalarda pompa verimlerinin de düşük olduğu bilinmektedir. Pompa çarkları açık, yarı

açık ve kapalı olmak üzere değişik şekillerde tasarlanırlar.

Europump ve Hidrolik Enstitüsü verilerine göre, dünyada tüketilen elektrik enerjisinin %20'ye yakın bir kısmı pompa sistemlerinde kullanılmakta ve bu oran bazı endüstrilerde %25-50 dolaylarına çıkmaktadır. İyi bir sistem dizaynı ve uygun pompa kullanılarak pompaların tükettiği enerjinin %30'a kadar azaltılabileceğini söylemek mümkündür (Europump ve Hidrolik Enstitüsü, 2001; Europump ve Hidrolik Enstitüsü, 2004).

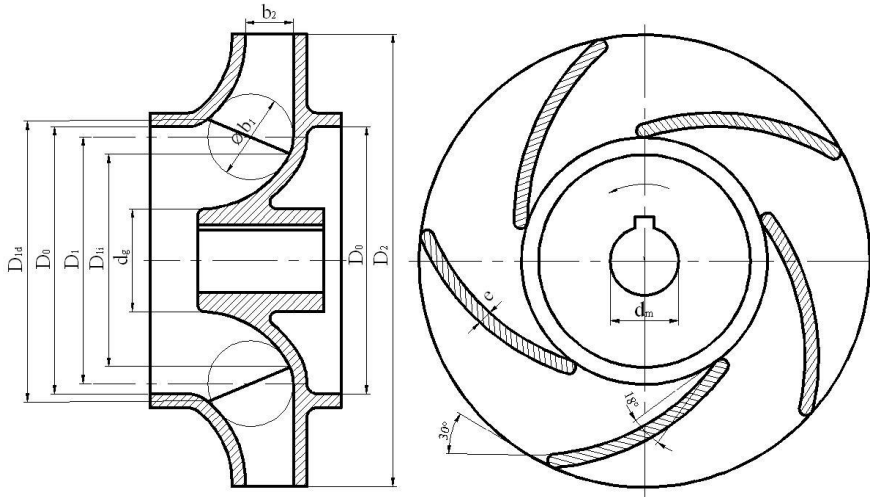
Bir tesiste işletme maliyetleri içerisindeki en önemli girdilerden birisi enerji maliyetleridir. Bu nedenle pompa üreticileri Ar-Ge çalışmalarını daha çok pompa verimlerinin iyileştirilmeleri üzerine yapmaktadırlar. Pompayı oluşturan elemanlar göz önüne alındığında pompa verimi üzerinde en etkin elemanın pompa çarkı olduğu görülmektedir. Bu nedenle çark tasarımında uygun parametrelerin belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, $Z=5$ kanat sayısına ve $\beta_{2k}=30^\circ$ kanat çıkış açısına sahip, tek kademeli bir derin kuyu pompasının $H_m=f(Q)$, $P_e=f(Q)$ ve $\eta_g=f(Q)$ karakteristik eğrilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Tablo 1'de verilen tasarım değerleri kullanılarak çark tasarımı gerçekleştirilmiştir. Pompa çarklarının tasarımı, genellikle literatürde yer alan ampirik denklemlerle yapılmaktadır. Tasarımla ilgili detaylara; Stepanoff (1957), Baysal (1975), Dicmas (1987), Lobanoff ve Ross (1992), Kovats ve Desmur (1994), Çallı (1996), Tuzson (2000), Karassik vd. (2001) gibi araştırmacıların çalışmalarından ulaşılabilir. Şekil 1'de çark radyal kesiti ve karşı görünüşü üzerinde tasarım parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Derin kuyu pompası tasarım değerleri

Q	36 m ³ /h	β_{1k}	18°	e	4 mm	D₁	72 mm
H_m	13 mSS	β_{2k}	30°	d_m	20 mm	D_{1i}	62 mm
n	2850 d/d	b₁	25 mm	d_g	30 mm	D_{1d}	82 mm
z	5	b₂	14 mm	D₀	78 mm	D₂	132 mm



Şekil 1. Çark radyal kesiti ve karşı görünüşü ($Z=5, \beta_{2k}=30^\circ$)

Çark radyal kesiti ve karşı görünüşü kullanılarak çark modeli oluşturulmuş ve kum kalıba döküm yöntemiyle çark imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen çark Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Döküm yöntemiyle imalatı gerçekleştirilen çark ($Z=5, \beta_{2k}=30^\circ$)

Tablo 1'deki tasarım değerleri kullanılarak pompa için özgül hız değeri $n_s=152$ d/d olarak hesaplanmıştır. Tam santrifüj pompaların özgül hız değerleri 50 ~ 200 d/d arasında yer almaktadır (Baysal, 1975). Hesaplanan özgül hız ve debi değerlerine bağlı olarak pompa genel verimi % 65 olarak dikkate alınmıştır. Buna göre motor gücü tespit edilmiş ve çalışma noktası üzerindeki karakteristik değerlerin tespitinde motor gücü problemleri yaşanmaması için 5.5 kW (7.5 HP) dalgıç motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dalgıç motor karakteristik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1'deki tasarım değerleri kullanılarak pompa için özgül hız değeri $n_s=152$ d/d olarak hesaplanmıştır. Tam santrifüj pompaların özgül hız değerleri 50 ~ 200 d/d arasında yer almaktadır (Baysal, 1975). Hesaplanan özgül hız ve debi değerlerine bağlı olarak pompa genel verimi % 65 olarak dikkate alınmıştır. Buna göre motor gücü tespit edilmiş ve çalışma noktası üzerindeki karakteristik değerlerin tespitinde motor gücü problemleri yaşanmaması için 5.5 kW (7.5 HP) dalgıç motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dalgıç motor karakteristik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dalgıç motoru karakteristik değerleri

Tip	Çap	Güç (HP)	U (Volt)	I (Amper)	Cos ϕ	Verim (%)	Devir (d/d)	Eksenel Yük (N)
Sumoto OPT 750	4"	7.5	380	13.5	0.83	78	2820	2500

Pompa çarkı deneyleri için kullanılan dalgıç motoru, emme gövdesi ve emme kutusundan oluşan tek kademeli derin kuyu pompası Şekil 3'te gösterilmiştir. Yüksek hassasiyetli ölçme cihazlarının kullanıldığı test düzeneği üzerinde ölçümler yapılarak karakteristik eğriler elde edilmiştir.



Şekil 3. Pompa deney düzeneği, dalgıç motoru, emme gövdesi ve emme kutusu

Basınç ölçümleri için kullanılan statik basınç ölçme ağızlarının (basınç prizlerinin) açımında TS EN ISO 9906 (TS EN ISO 9906, 2002) referans alınmıştır. Ölçümlerde; 24 V DC beslemeli, 2 telli bağlantılı, 4~20 mA çıkışlı, -1~0 bar basınç aralığına sahip vakum basınç transmitteri ve 0~10 bar ölçüm aralığına sahip pozitif basınç transmitterleri kullanılmıştır (Şekil 4). Transmitterlerden elde edilen 4~20 mA çıkış sinyalleri modül kanallardan geçirilerek kullanılan yazılım sayesinde bir ara yüze aktarılmıştır.

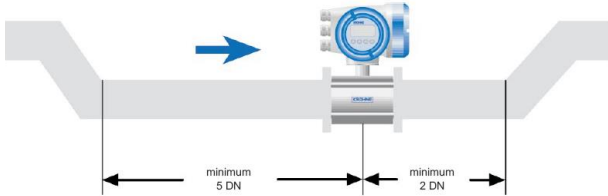


Şekil 4. Deney düzeneğinde kullanılan vakum ve pozitif basınç transmitterleri (Wika, 2014)

Debi ölçümleri için deneylerde kullanılan manyetik debimetreler Şekil 5'te gösterilmiştir. Debimetrelerin doğru ve hassas ölçüm yapabilmesi için düzenek üzerinde bağlanacakları yerlerin tespiti oldukça önemlidir. Manyetik debimetre için; manyetik debimetreden önce kullanılan boru çapının en az 5 katı, debimetreden sonra da kullanılan boru çapının en az 2 katı mesafe gerekmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Debi ölçümünde kullanılan manyetik debimetre



Şekil 6. Manyetik debimetre bağlantı şartları (Krohne, 2005)

Deneylerde aktif güç ölçümleri için; şebekeye ait akım, gerilim, güç faktörü, akım ve gerilim harmonikleri, aktif, reaktif ve görünür güçler gibi bir çok bilgiyi bir arada bulma imkanı veren, ±%1 hassasiyete sahip MPR-60S model şebeke analizörü kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Aktif güç ölçümlerinde kullanılan şebeke analizörü (Entes, 2006)

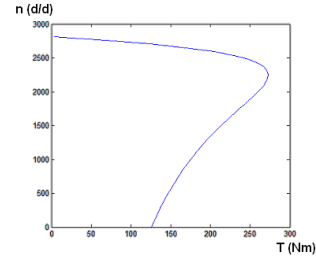
Asenkron motor çalışma prensibi gereğince yük altında iken belirli bir kayma değerine sahiptir. Bu kayma değeri, asenkron motorda stator devri ile rotor devri arasındaki fark (rotorun statoru takibindeki gecikme) olarak ifade edilir. Statorun toplam kutup sayısı (P) ve stator sargılarına uygulanan gerilimin frekansı (f_s) ise statorun senkron hızı (n_s);

$$n_s = \frac{120 \cdot (f_s)}{P} \left(\frac{d}{d} \right) \quad (1)$$

olarak ifade edilir. Motorun rotoruna tork etki ettiği zaman rotora bir kuvvet uygulanmış olacak ve rotor artık stator frekansını yakalayamayacaktır. Bu durum kaymaya neden olacaktır. Rotor hızı (n_r) olmak üzere, stator ve rotor arasındaki kayma (S),

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (2)$$

şeklinde gösterilir (Çolak, 2008). Bu kayma motorun sargısı, nüve yapısı gibi çeşitli motora özgü faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstererek motor miline devir kaybı olarak yansımaktadır. Şekil 8'de bir asenkron motor karakteristik eğrisi görülmektedir.



Şekil 8. Asenkron motor devir-tork karakteristiği

Motor devri üzerinde (dolayısıyla pompa karakteristik değerleri üzerinde) şebeke gerilimi de önemli bir etkiye sahiptir. Bu durumun çark karakteristiklerinin karşılaştırılmasında olumsuz etkiye neden olmaması için deney düzeneğinde şebeke geriliminin ±%2'si kadar hassasiyete sahip, 30 kVA gücünde Trifaze servo voltaj regülatörü kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Deney düzeneğinde kullanılan voltaj regülatörü

Deneylerde kullanılan dalgıç motoru 2850 d/d motor devrinde kullanılmıştır. 2850 d/d motor devrini elde etmek için frekans invertörü (Şekil 10), kontrolü için de PLC ünitesi ve PLC ile kullanıcı temasını sağlayan kontrol paneli (Şekil 11) kullanılmıştır.

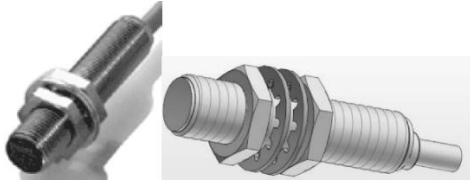


Şekil 10. Frekans invertörü (Moeller-Drives, 2014)



Şekil 11. PLC ve kontrol paneli

Motor devri ölçümlerinde yaygın olarak takogeneratör kullanımı söz konusudur. Ancak dalgıç motorlarının su içerisinde çalışması nedeniyle takogeneratör kullanımı uygun değildir. Bu nedenle motor devir sayısının tespiti için, endüktif yaklaşım sensörü kullanılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Devir sayısı ölçümlerinde kullanılan endüktif yaklaşım sensörü (Balluff, 2014)

2.1. Verim Hesabı

Pompa genel verimi, pompanın akışkana verdiği gücün (P_0), efektif (aktif) güce (P_e) oranıdır.

$$\eta_g = \frac{P_0}{P_e} \quad (3)$$

Pompanın akışkana verdiği güç (P_0) ise;

$$P_0 = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır. Burada; ρ akışkanın yoğunluğu (kg/m^3), g yer çekimi ivmesi (m/s^2), Q debi (m^3/s) ve H_m toplam manometrik basma yüksekliği (m) olarak ifade edilmiştir. Deneyler esnasında değişik vana pozisyonları için; vakum basıncı, çıkış basınçları, debi (DN 100-manyetik debimetre) ve toplam aktif

(efektif) güç bilgileri kullanılan arayüz programı ile kaydedilmiştir (Şekil 13). Bu sayede her bir çark için, tüm çalışma noktası değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 13. Deney düzeneğinde kullanılan arayüz programı

3. Pompa Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Rotadynamik pompalar, çoğu volumetrik pompalardan farklı olarak, proje değerlerine ve emme koşullarına bağlı olarak değişken debide akışkan basabilirler. Burada debi üzerinde en önemli etken pompanın manometrik yüksekliğidir. Manometrik yüksekliğe bağlı olarak debideki bu değişim, efektif güç ve verim değerlerinin de değişmesine neden olur. Çeşitli debi değerlerine göre manometrik yükseklik, efektif güç ve verim değerlerinin değişimini ifade eden bu eğrilere pompa karakteristik eğrileri adı verilmektedir. Özellikle pompanın En iyi Verim Noktasının (EVN) tespiti açısından pompa karakteristik eğrilerinin çizimi oldukça önem taşımaktadır (Korkmaz, 2008).

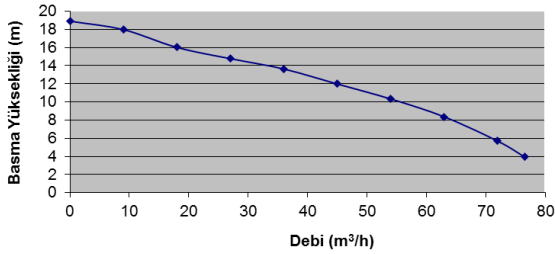
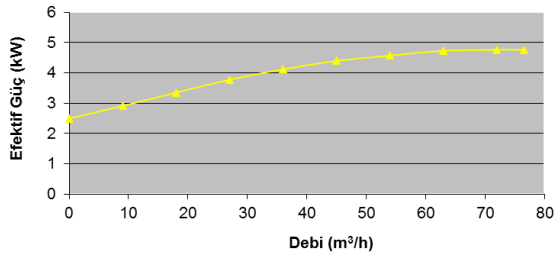
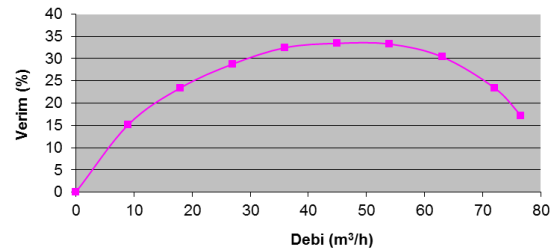
Pompa karakteristiklerinin belirlenmesinde daha önce kullanılan TS ISO 2548 (TS ISO 2548, 1999) ve TS ISO 3555 (TS ISO 3555, 1999) standartları geri çekilmiş, yerine TS EN ISO 9906 (TS EN ISO 9906, 2002) kullanılmaya başlanmıştır. Deneylerde bu standart referans alınmıştır.

Yapılan deneyler neticesinde 10 farklı vana pozisyonu için ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3'te görüldüğü gibi EVN, 45 m^3/h olarak elde edilmiştir. EVN için; basma yüksekliği $H_m=11.98$ m, efektif güç $P_e=4395$ W ve genel verim $\eta_g=\%33.4$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3. Z=5 ve $\beta_{2k}=30^\circ$ için elde edilen karakteristik değerler

Basma Yüksekliği	Debi, Q	Efektif Güç	Genel Verim
H_m (m)	(m^3/h)	P_e (W)	η_g (%)
18.90	0	2495	0
17.97	9	2910	15.1
16.01	18	3350	23.4
14.77	27	3775	28.8
13.63	36	4120	32.5
11.98	45	4395	33.4
10.33	54	4570	33.3
8.37	63	4725	30.4
5.68	72	4760	23.4
3.92	76.57	4760	17.2

Elde edilen veriler ışığında; Z=5 kanat sayısına ve $\beta_{2k}=30^\circ$ kanat çıkış açısına sahip, tek kademeli derin kuyu pompasının $H_m=f(Q)$, $P_e=f(Q)$ ve $\eta_g=f(Q)$ karakteristik eğrileri sırasıyla Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmiştir.

Şekil 14. Z=5 ve $\beta_{2k}=30^\circ$ için; H_m -Q karakteristiğiŞekil 15. Z=5 ve $\beta_{2k}=30^\circ$ için; P_e -Q karakteristiğiŞekil 16. Z=5 ve $\beta_{2k}=30^\circ$ için; η_g -Q karakteristiği

Şekil 14'te pompanın basma yüksekliği-debi karakteristiği görülmektedir. Görüldüğü gibi pompa debisi arttıkça basma yüksekliği azalmaktadır. Bu karakteristiğin sistem karakteristiği ile kesişme noktası pompanın çalışma noktasını belirler. Pompa kullanıcılarına düşen en önemli görev, pompa seçimi yaparken ihtiyaç duydukları çalışma noktasının seçtikleri pompanın en iyi verim noktası veya bu noktanın yakınında olmasına gayret etmeleridir. Şekil 15'te pompanın efektif güç-debi karakteristiği görülmektedir. Görüldüğü gibi pompa debisi arttıkça

pompanın şebekeden çektiği güç de artmaktadır. Düşük ve orta özgül hızlı pompalarda elde edilen efektif güç-debi karakteristiği benzer şekildedir (Yalçın, 1998). Şekil 16'da ise pompanın verim-debi karakteristiği görülmektedir. Görüldüğü gibi pompanın maksimum verim değeri, maksimum debinin %60'ına yakın mertebelerde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca literatürde pompanın çalışma aralığının, ulaşılan maksimum verimin %80'inden küçük olmaması önerilmektedir (Şen, 2011).

4. Sonuç ve Öneriler

Düşük özgül hızlı pompalarda pompa karakteristiğinin aşağı düşmesi ve bunun sonucunda daha düşük bir verim elde edilmesi ve efektif gücün kolay bir şekilde artması, pompa performansını olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Eksenel ve karışık akışlı pompaların basma yüksekliği-debi eğrileri her zaman kararlıdır. Radyal akışlı pompalar için kararlı veya kararsız olabilir. Gerçek basma yüksekliği-debi eğrisi Euler basma yüksekliği-debi eğrisinden çeşitli kayıpların çıkartılmasıyla elde edileceği için düşmeyi azaltmak veya elimine etmek için, Euler basma yüksekliği-debi eğrisi daha büyük debilerde dikkate alınabilir.

Pompa karakteristikleri üzerinde; kanat çıkış açısı, kanat sayısı, kanat genişliği, çark çıkış çapı ve çark giriş ağız çapı etkilidir. Özellikle verim-debi karakteristiği üzerinde öncelik sırasına göre; kanat çıkış açısı, kanat sayısı, çark giriş ağız çapı, kanat genişliği ve çark çıkış çapı etkilidir (Yuan, 1997). Bu parametreler aynı zamanda enerji tüketimini de etkilemektedir. Bu çalışmada, Z=5 kanat sayısına ve $\beta_{2k}=30^\circ$ kanat çıkış açısına sahip, tek kademeli bir derin kuyu pompasının $H_m=f(Q)$, $P_e=f(Q)$ ve $\eta_g=f(Q)$ karakteristik eğrileri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre EVN için ($45 m^3/h$); toplam manometrik yükseklik $H_m=11.98$ m, Efektif güç $P_e=4395$ W ve genel verim $\eta_g=\%33.4$ olarak elde edilmiştir. Maksimum debi $Q_{max}=76.57 m^3/h$, maksimum basma yüksekliği $H_{m,max}=18.9$ m ve çekilen maksimum güç $P_{e,max}=4760$ W olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler, dikkate alınan parametrelere göre ortaya çıkan düşük verimlerin iyileştirilmesi gerektiği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu amaçla düşük ve orta özgül hızlı pompalar için (özgül hız değerleri $50 \sim 200 d/d$ arasında olan pompalar için), kullanılabilecek yöntemlerden birisi iki ana kanat arasına ana kanat uzunluğunun değişen oranlarında (%70-%85) ara kanatçık kullanmak olabilir. Literatür incelendiğinde ara kanatçık kullanımının karakteristikler üzerine etkisine yönelik birçok çalışma olduğu görülmektedir (Kui ve Jian, 1988; Gui vd., 1989; Miyamoto vd., 1992; Gölcü, 2001; Gölcü vd., 2006; Gölcü vd., 2007; Korkmaz, 2008).

Pompa karakteristik değerlerinin tespitinde, özellikle deney düzeneklerinde kullanılan ölçüm cihazlarının hassasiyetlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Pompa karakteristik değerleri üzerinde, şebeke gerilimi ve kullanılan motor devrinin oldukça etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle pompa performans testlerinde frekans invertörlü devir kontrolü yapılması, elde edilen sonuçların tutarlılığı ve geçerliliği açısından oldukça önemlidir.

5. Kaynaklar

Balluff, 2014. Balluff Sensors Worldwide İnternet Sitesi. http://www.balluff.com/balluff/MGB/en/products/product_detail.jsp#/152321, Erişim Tarihi: 19.10.2014.

Baysal, B.K., 1975. Tam Santrifüj Pompalar. İ.T.Ü. Matbaası, 155s, Gümüşsuyu.

Çallı, İ., 1996. Santrifüj Pompa Hesabı ve Çizimi. Sakarya Üniversitesi, 108s, Sakarya.

Çolak, İ., 2008. Asenkron Motorlar. Seçkin Yayıncılık, 174s, Ankara.

Dicmas, J.L., 1987. Vertical turbine, mixed flow, and propeller pumps. McGraw-Hill, 379p, New York.

Entes, 2006. Entes MPR-60S Elektronik Şebeke Analizörü Kullanma Kılavuzu. 37s, İstanbul.

Europump, Hydraulic Institute, 2001. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems, The US Department of Energy's Office of Industrial Technologies.

Europump, Hydraulic Institute. 2004. Variable speed pumping, a guide to successful applications. Elsevier Advanced Technology, 170p, London.

Gölcü, M., 2001. Dalgıç Pompalarda Çarka Ara Kanatçık İlavasının Verime Etkisinin Analizi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 127s, Denizli.

Gölcü, M., Pancar, Y., Sekmen, Y., 2006. Energy Saving in a Deep Well Pump with Splitter Blade. Energy Conversion and Management, 47, 638-651.

Gölcü, M., Usta, N., Pancar, Y., 2007. Effects of Splitter Blades on Deep Well Pump Performance. Journal of Energy Resources Technology, 129, 169-176.

Gui, L., Gu, C., Chang, H., 1989. Influences of Splitter Blades on the Centrifugal Fan Performances. ASME International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, June 4-8, Toronto, 89-GT-33.

Karassik, I.J., Messina, J.P., Cooper, P., Heald, C.C., 2001. Pump Handbook. 3rd Edition, McGraw-Hill, 1765p, New York.

Korkmaz, E., 2008. Farklı Kanat Çıkış Açılarında Ara Kanatçık Uzunluğunun ve Çevresel Pozisyonunun Dalgıç Pompa Performansına Etkisinin Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 208s, Isparta.

Kovats, D.A., Desmur, G., 1994. Santrifüj ve Eksenel Pompalar, Vantilatörler, Kompresörler. Çevirenler: Cahit Özgür, Hasan Fehmi Yazıcı, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 551s, İstanbul.

Krohne, 2005. Krohne Optiflux 1000/5000 Electromagnetic Flow Sensor, Sandwich Versions, for Volumetric Flow Rate Measurement Electrically Conductive Liquids. Quick Start, 8p, Germany.

Kui, L.D., Jian, J.L., 1988. Calculation of Complete Three-Dimensional Flow in a Centrifugal Rotor with Splitter Blades. ASME International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, June 6-9, Amsterdam, 88-GT-93.

Lobanoff, V.S., Ross, R.R., 1992. Centrifugal Pumps: Design and Application, 2nd Edition, Gulf Publishing Company, 577p, Houston.

Miyamoto, H., Nakashima, Y., Ohba, H., 1992. Effects of Splitter Blades on the Flows and Characteristics in Centrifugal Impellers. JSME International Journal Series II: Fluids Engineering, Heat Transfer, Power, Combustion, Thermophysical Properties, 35 (2), 238-246.

Moeller-Drives, 2014. Moeller-Drives İnternet Sitesi. http://www.moeller-drives.co.uk/product_info.php?cPath=32_141_142_148&products_id=1168, Erişim Tarihi: 19.10.2014.

Stepanoff, A.J., 1957. Centrifugal and Axial Flow Pumps: Theory, Design, and Application. John Wiley and Sons Inc., 462p, New York.

Şen, M. 2011. Santrifüj Pompalar ve Pompa Tesisatları. Mas-Daf Makina Sanayi A.Ş., 3. Baskı, 249s, İstanbul.

TSE ISO 2548, 1999. Santrifüj Pompalar - Karışık Akışlı ve Eksenel Pompalar Kabul Deneyi Esasları Sınıf C. Türk Standartları Enstitüsü, 47s, Ankara.

TSE ISO 3555, 1999. Santrifüj Pompalar - Karışık Akışlı ve Eksenel Pompalar Kabul Deneyi Esasları - Sınıf B. Türk Standartları Enstitüsü, 47s, Ankara.

TSE EN ISO 9906, 2002. Rotodinamik Pompalar - Hidrolik Performans Kabul Deneyleri - Sınıf 1 ve Sınıf 2. Türk Standartları Enstitüsü, 60s, Ankara.

Tuzson, J., 2000. Centrifugal Pump Design. John Wiley and Sons Inc., 298p, New York.

Wika, 2014. Wika Instrument Corporation İnternet Sitesi. http://www.wika.us/upload/DS_PE_S_10_en_us_16325.pdf, Erişim Tarihi: 19.10.2014.

Yalçın, K., 1998. Hacımsal ve Santrifüj Pompalar. Çağlayan Kitabevi, 563s, İstanbul.

Semboller

b_1	Çark giriş kanat genişliği (mm)
b_2	Çark çıkış kanat genişliği (mm)
d_g	Göbek çapı (mm)
d_m	Mil çapı (mm)
D_0	Çark giriş ağzı çapı (mm)
D_1	Çark giriş ortalama çapı (mm)
D_{1d}	Kanat giriş dış çapı (mm)
D_{1i}	Kanat giriş iç çapı (mm)
D_2	Çark çıkış çapı (mm)
e	Kanat kalınlığı (mm)
EVN	En iyi Verim Noktası
f_s	Frekans (1/s)
g	Yerçekimi ivmesi ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)
H_m	Manometrik basma yüksekliği (m)
$H_m=f(Q)$	Pompa yük karakteristiği
n	Devir sayısı (d/d)
n_s	Özgül hız (d/d), Statorun senkron hızı (d/d)
P_0	Pompanın akışkana aktardığı (hidrolik) güç (W)
P_e	Efektif güç (W)
$P_e=f(Q)$	Pompa güç karakteristiği
Q	Debi (m^3/s)
S	stator ve rotor arasındaki kayma
Z	Kanat sayısı
β_{1k}	Kanat giriş açısı ($^\circ$)
β_{2k}	Kanat çıkış açısı ($^\circ$)
η_g	Pompa genel verimi (%)
$\eta_g=f(Q)$	Pompa verim karakteristiği