

Pompa Denemelerinde Kullanılan Farklı Güç Ölçme Yöntemleri

Nuri ORHAN¹, Ender KAYA², Sedat ÇALIŞIR¹

¹S.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü, Konya

²Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu İl Koordinatörlüğü, Konya
nuriorhan@selcuk.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 09.05.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 29.06.2012

Özet: Bu çalışmada sulama amaçlı santrifüj pompanın performans testlerinde kullanılan değişik güç ölçme yöntemleri ile ölçülen pompa mil gücüne göre hesaplanan ve pompa etkinliğinde ortaya çıkan farklılıklar araştırılmıştır. Araştırmada 6" anma çapındaki yatay milli santrifüj pompanın üç farklı devir sayısındaki pompa mil gücü değerleri dört değişik yöntemle belirlenmiştir. Pompa etkinliği toplam sistematik bağıl hataları (S_n), Y1, Y2, Y3 ve Y4 yöntemlerinde sırasıyla $\pm\%2.65$, $\pm\%4.12$, $\pm\%3.85$ ve $\pm\%2.26$ olarak hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda doğrudan güç ölçme yöntemi (Y4) ile yapılan testlerde elde edilen pompa etkinliği değerleri Y1, Y2 ve Y3 elektriksel güç ölçme (dolaylı) yöntemlerine göre % olarak sırasıyla 6.1, 19.3 ve 5.0 daha yüksek bulunmuştur. Garanti edilen pompa etkinlik değerleri Y4 yöntemine göre yeterli olurken diğer üç yöntemde yetersiz olmuştur.

Anahtar kelimeler: Güç ölçme yöntemleri, pompa performansı, pompa mil gücü, tolerans, sistematik hata.

Different Power Measurement Methods Used in Pump Tests

Abstract: In this study, differences that occur in pump efficiency calculated according to pump shaft power measured different methods of measuring the power used for irrigation centrifugal pump performance tests were investigated. In this research, values of the pump shaft power of 6" nominal diameter and horizontal shafted centrifugal pump at three different rpm are determined in four different methods. Total systematic relative errors (S_n) of pump efficiency are calculated by Y1, Y2, Y3 and Y4 methods as $\pm\%2.65$, $\pm\%4.12$, $\pm\%3.85$ and $\pm\%2.26$ respectively. As a result of research; pump efficiency values Y1, Y2 and Y3 gained by direct power measurement method (Y4) tests are more than values gained by (indirect) electrical power measurement methods and they can be indicated % 6.1, % 19.3 and % 5.0 respectively. Guaranteed pump efficiency values determined by other three methods are inadequate, while determined by Y4 method is adequate.

Key words: Power measuring methods, pump performance, shaft power of pump, tolerance, and systematic errors.

GİRİŞ

Pompalar, içme, kullanma ve sulama sularının sağlanmasından, endüstriyel amaçlı uygulamalar ve petrol ürünlerinin iletimine kadar günlük hayatımızın her alanına girmiş durumdadır. Pompalar, mekanik gücü, hidrolik güce dönüştüren iş makineleri olarak tanımlanmaktadır. Pompaların etkinliği, hidrolik gücün mekanik güce oranlanması ile saptanmaktadır. Hidrolik güç debi ve manometrik yüksekliğin fonksiyonudur. Günümüzde debi, elektromanyetik veya ultrasonik debi ölçer; negatif ve pozitif basınçlar ise madeni manometreler ve ya basınç transmitterleri ile ölçülmektedir. Pompa mil gücü, dolaylı ve doğrudan olmak üzere iki yöntemle ölçülmektedir.

Debi, basınç, güç ve devir sayısı gibi pompa performans değerlerinin ölçümü standartlara uygun pompa deney ünitelerinde yapılmaktadır. Bu amaçla *TS 268*, *TS 514*, *BS 599*, *DIN 1944*, *ISO 2548*, *ISO 3555*, *ISO 5198* ve *EN ISO 9906* gibi ulusal ve uluslar arası pompa test standartları hazırlanmıştır. Bu standartlarda pompa performans bileşenlerinin ne ile nasıl ölçülüp nasıl değerlendirileceği belirtilmiştir. Bu standartlarda ayrıca ölçücüden, ölçme cihazlarından ve yöntemlerinden kaynaklanabilecek ölçme hataları ile garanti sınırları (tolerans) da belirtilmiştir.

Almanya'da KSB firması tarafından imal edilmiş bir tam santrifüj pompa (ETA 80-26; 85 m³/h, 20 m,

1450 d/d, $n_q=23,56$ d/d ve ya $n_s =86$ d/d) çeşitli üniversite ve firmalara ait standartlara uygun deney ünitelerinde teste tabi tutularak, 1450 d/d dönme hızında $H=f(Q)$; $N=f(Q)$ ve $\eta=f(Q)$ karakteristik eğrileri çıkarılmıştır. Bu eğriler incelendiğinde pompanın maksimum verim (etkinlik) noktası civarında manometrik yükseklik %5; pompa mil gücü (N) %9 ve pompa etkinliği (η) değerlerinde %6.2 gibi farklar bulunduğu görülmüştür (Yazıcı, 1998).

Standartlara uygun deney ünitelerinde bile aynı pompanın test sonuçlarında meydana gelen farklılıklar önemli düzeylerde bulunmaktadır.

Bu çalışmada aynı hidrolik güç değerlerindeki pompa mil gücü; standartlarda belirtilen ve yaygın olarak kullanılan dört farklı yöntemle ölçerek bu yöntemlere göre hesaplanan pompa etkinliğinde ortaya çıkan farklılıkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin sistematik bağlı hataları hesaplanmış ve garanti kabul bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır.

Pompa Kabul Deneylerinde Ölçme Hataları Ve Toleranslar

Ölçme işleminde hata kaynakları, ölçmeciden, aletten, ortamdan ve yöntemden kaynaklanabilmektedir. Ölçme hatalarını azaltmak için eşit zaman aralıklarında birden çok okuma yaparak bulunan değerlerin aritmetik ortalamasının alınması daha uygun olmaktadır. Şüphesiz hata miktarları deneyicinin dikkatine ve deneyimine de bağlıdır. Ayrıca aletin kullanım frekansı, güç katsayısı, ölçülen büyüklüğün özelliği, ölçüm yapılacak ortamdaki sıcaklık ve ölçü aletinin kullanım şekline uygun kullanılmaması (yatay veya dikey) aletlerin ölçme hatasını artıran faktörlerdir. Burada pompa kabul testlerindeki birçok büyüklüğün ölçümünde kullanılan alet ve cihazların **sistematik bağlı hataları (S)** aşağıdaki gibi bir araya toplanmıştır (Atmaca, 1998; Yazıcı, 1998).

Debi ölçmede : (S_Q)

Tartı metodu ile:	$\pm \% 0,5$
Hazne metodu ile:	$\pm \% 0,8$
Savak metodu ile:	$\pm \% 1,5$
Türbin metodu ile:	$\pm \% 1,5$
Elektromanyetik metot ile:	$\pm \% 1,0$
Ultrasonik metot ile:	$\pm \% 0,25 -2,0$
Standart orifis ve lüle metot ile:	$\pm \% 1,0$

Hacimsel tank metodu ile:	$\pm \% 0,3$
Diyafram, lüle ve venturi metodu ile:	$\pm \% 1,0 -1,5$
Rotametre metodu ile:	$\pm \% 2,0$
Uzunluk (Δz) ölçmede: (S_L)	$\pm \% 0,1$
Basınç Ölçmede: (S_B)	
Sıvı manometreler metodu ile:	$\pm \% 1,0$
Pistonlu (ağırlıklı) manometreler metodu ile:	$\pm \% 0,3$
Madeni manometre metodu ile: (S_{BM}) (1.0 Sınıfı İçin):	$\pm \% 1$
(Sınıf Değeri*Skala Tam Değeri)/(100*Ölçülen Değer)	
Madeni Vakum metre metodu ile: (S_{BV}) (1.0 Sınıfı İçin):	$\pm \% 1$
Yaylı manometre metodu ile:	$\pm \% 1,0$

Basınç ($\frac{p}{\rho g}$) (U-tüpü metodu ile):

$$\frac{\pm 0,1 - \pm 0,2}{p / \rho g} \quad \pm \% 1,0$$

$$\text{Hız } \left(\frac{C^2}{2g} \right) : (S_v) \quad 1,5 * S_Q$$

Yoğunluk ölçmede : (S_p)

100 C ye kadar su:	$\pm \% 0,0$
Daha yüksek sıcaklıkta:	$\pm \% 0,5$
Küre ile:	$\pm \% 0,05$
Özgül ağırlık ölçme: (S_Y)	$\pm \% 0,0$
Yerçekimi ivmesi ölçmede: (S_g)	$\pm \% 0,0$

Devir sayısı ölçmede: (S_n)

Mekanik sayıcı metodu ile:	$\pm \% 0,5$
Takometre metodu ile:	$\pm \% 1,0$
Stroboskop metodu ile:	$\pm \% 0,5$
Elektronik takometre metodu ile:	$\pm \% 0,3; \pm \% 0,3$

Mil Güç Ölçmede (S_{Nm}):

Asenkron motor (genel) metodu ile:	$\pm \% 1,0$
3 Fazlı motor ile $N \leq 25$ kW :	$\pm \% 1,5$
3 Fazlı motor ile 25 kW $< N \leq 250$ kW :	$\pm \% 1,0$
3 Fazlı motor ile $N > 250$ kW :	$\pm \% 0,8$
Doğru akım motoru metodu ile:	$\pm \% 1,5$

Motor statorunun askıya alınması metodu ile:

$$\pm \% \sqrt{(1 \div 1,5)^2 + S_n^2} \quad (1)$$

Moment ölçer (Torkmetre) metodu ile : (S_M)

$$\pm \% \sqrt{(1,2 \div 1,5)^2 + S_n^2} \quad (2)$$

Elektriksel Büyüklük Ölçme Aletleri (Tam skala değeri ve sınıfına göre):

Wattmetre: (S_W)	$\pm \%2,0$
DC Voltmetre: (S_V)	$\pm \%1,2$
AC Voltmetre: (S_V)	$\pm \%1,0$
DC Ampermetre: (S_A)	$\pm \% 2,0$
AC Ampermetre: (S_A)	$\pm \% 2,5$
Cosömetre: (S_C)	$\pm \% 3,0$
Frekans metre: (S_F)	$\pm \% 2,0$
AC 3 Faz Sayaç metre: (S_S)	$\pm \% 2,5$
Mekanik süre ölçer: (S_K)	$\pm \% 1,0$

Hidrolik Güç Hesaplamada:

$$S_{N_h} = \pm \% \frac{\Delta N_h}{N_h} \quad (3)$$

$$S_{N_h} = \pm \% \sqrt{S_Q^2 + S_H^2 + S_\rho^2 + S_g^2} \quad (4)$$

Manometrik yükseklik hesaplamada toplam bağıl hata (S_H) ise

$$S_H = \pm \% \sqrt{S_{BM}^2 + S_{BV}^2 + S_V^2 + S_L^2} \quad (5)$$

Eşitliği ile bulunmaktadır.

Pompa Etkinliği Hesaplamada:

$$S_\eta = \pm \% \frac{\Delta \eta}{\eta} \quad (6)$$

$$S_\eta = \pm \% \sqrt{S_Q^2 + S_H^2 + S_\rho^2 + S_{N_m}^2} \quad (7)$$

Pompaların teknik şartnameleri hazırlanırken ve teklifler verilirken pompaların tanıtım eğrilerinin hangi toleranslar içerisinde geçerli olduğunu belirtmek üzere uluslar arası bir standarda uygun olarak sınıfı belirtilir ve kabul deneyleri buna göre yapılmaktadır. Kabul deneyleri için ISO normları üç ayrı grupta toplanmıştır. Bunlar arasındaki fark esas olarak performans verilerindeki toplam hata miktarı ve izin verilen ölçme toleransları konularındadır (*Karadoğan ve ark., 1998*).

C Sınıfı: ISO 2548 (Mühendislik sınıfı 2, Düşük)

B Sınıfı: ISO 3555 (Mühendislik sınıfı 1, Orta)

A Sınıfı: ISO 5198 (Hassas sınıf, Yüksek)

Bunlardan A sınıfına göre kabul deneyleri genellikle araştırma, geliştirme ve laboratuardaki bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır. Ancak 10 MW'dan büyük güçlerde B sınıfının oldukça kaba

olduğu durumlarda da kullanılmaktadır. B sınıfı genellikle (0,5 MW–10 MW) arası güçlerdeki pompaların ölçmelerde orta mertebede sapmalara izin verilen kabul deneylerinde, C sınıfı ise ölçmelerde büyük sapmalara izin verilen seri olarak üretilen endüstriyel amaçlı standart pompalar için tercih edilmektedir.

Bu üç sınıf standartta pompa performans büyüklüklerinin ölçümünde kullanılan cihazlar için izin verilebilen sistematik hata sınırları (izin verilen üst sınır % olarak) Çizelge 1'de, pompa performans büyüklüklerine ait izin verilebilen sistematik hata sınırları da (izin verilen üst sınır % olarak) Çizelge 2'de verilmiştir. DIN 1944 standardı Sınıf I, ISO 5198'e; Sınıf II, ISO 3555'e ve Sınıf III, ISO 2548'e yakın olmakla beraber farklılıklar bulunmaktadır.

Test sınıflarına göre pompa deney standı yapısının doğru biçimlendirilmesi ve ölçü cihazlarının doğru seçilmesi gerekmektedir (*Güneş ve Konuralp, 1998*). Pompa alıcıları teknik şartnamelerinde pompanın anma (nominal) değeri olan Q_N ve H_N değerlerinin yanı sıra $\pm \Delta Q$ ve $\pm \Delta H$ şeklinde kabul edilen toleranslarını da verebilir. Bu kabul toleransları ISO standartlarında deneyin sınıfına göre değişmektedir (Çizelge 3).

Deneylerde bulunan sonuçlar kullanılarak H-Q ve η -Q gibi tanıtım eğrileri elde edildikten sonra ve ISO normlarında belirtilen sınırlar içinde kalmak üzere toplam hatalara göre hata eğrileri çizildikten ve garanti noktasındaki tolerans bölgeleri belirlendikten sonra kontrol işlemine geçilmektedir. Nominal debi Q_N ve nominal manometrik yükseklik H_N değerleri garanti edilmişse pompa kabulünde aşağıdaki gibi kabul toleransları belirlenip kabul işlemi tamamlanabilmektedir.

Çizelge 3'den alınacak kabul toleransları (X_N) ile hesap

yapıldığında $\left(\frac{H_N X_N}{\Delta H}\right)^2 + \left(\frac{Q_N X_N}{\Delta Q}\right)^2 \geq 1$ şartı

sağlanırsa, Q_N ve H_N değerleri için deney sonuçları kabul toleransları içindedir. Pompa etkinliği de benzer şekilde $\eta \geq X_\eta$ şartını sağlamalıdır.

Yapılan deneylerin geçerli olabilmesi ve kabul edilebilmesi için standartlara uygun olması gerekir. Yapılan deneylerde kullanılan araçlar ve yöntemler, sonuçların kesinlik derecesini belirler ve deneyin hangi sınıfa ait olduğunu ortaya koyar. Buna göre de imalatçı kataloglarını hazırlar ve müşteriyle anlaşır.

Çizelge 1. Ölçüm cihazlarında izin verilebilen sistematik hata sınırları

Ölçülen Büyüklük	ISO 5198 Hassas Sınıf (A Sınıfı)	ISO 3555 Mühendislik Sınıfı 1 (B Sınıfı)	ISO 2548 Mühendislik Sınıfı 2 (C Sınıfı)
Debi	± 1,0	± 1,5	± 2,5
Basma Yüksekliği	± 0,5	± 1,0	± 2,5
Mil Gücü	± 0,8	± 1,0	± 2,5
Devir Sayısı	± 0,1	± 0,35	± 1,4
Elektriksel Güç	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	± 2,0

Çizelge 2. DIN 1944'e göre pompa büyüklükleri için izin verilebilen sistematik hata sınırları

Ölçülen Büyüklük	ISO 5198 Hassas Sınıf (A Sınıfı)	ISO 3555 Mühendislik Sınıfı 1 (B Sınıfı)	ISO 2548 Mühendislik Sınıfı 2 (C Sınıfı)
Debi	± 1,5	± 2,0	± 3,5
Basma Yüksekliği	± 1,0	± 1,5	± 3,5
Mil Gücü	± 1,0	± 1,5	± 3,5
Devir Sayısı	± 0,2	± 0,5	± 2,0
Pompa etkinliği	± 2,25	± 2,8	± 5,0

Çizelge 3. ISO standartlarına göre kabul toleransları (XN).

Ölçülen Büyüklük	ISO 5198 Hassas Sınıf (A Sınıfı)	ISO 3555 Mühendislik Sınıfı 1 (B Sınıfı)	ISO 2548 Mühendislik Sınıfı 2 (C Sınıfı)
XH	± 0,015	± 0,02	± 0,04
XQ	± 0,025	± 0,04	± 0,07
X _n	± 0,978	± 0,0972	± 0,95

Her ne kadar uygulanan ölçüm prosedürü, kullanılan araçlar ve yapılan analizlerin metotları, var olan kurallara ve özellikle bu uluslar arası standartlardaki talimatlara uygun olsa da yapılan her ölçümün bir belirsizliğe maruz kalması kaçınılmazdır. Herhangi bir ölçüm için hata ISO 5198 normlarına uygun olarak belirtilir. Rastlantısal hatalar en çok ölçülen değerlerin dalgalanmasından etkilenirler. Bir ölçümün hatası, kısmen cihazdaki hataya veya kullanılan ölçüm metoduna bağlıdır. Bütün bilinen hatalar kalibrasyonla ortadan kaldırıldıktan sonra, uzunlukların dikkatli ölçümü, uygun ve doğru montaj

ve benzeri işlemlerde hatasız ölçüm için bütün yapılanlara rağmen aynı cihaz ve ölçüm metotlarıyla tekrarlanmasıyla ortadan kaldırılamayan bir hata vardır. İşte bu hata bileşenine maksimum izin verilen sistematik hata denir. Toplam ölçüm hatası sistematik ve rastlantısal belirsizliklerin karelerinin toplamının kareköküdür.

Genel endüstriyel ve sulama uygulamalarında kullanılan pompalar için 100 kW pompa mil gücüne kadar 3.Sınıf standart kabul sınıfları yeterli olabilmektedir (Ertöz ve ark.,2004).

Pompa performansı testi için, 5 kabul edilebilirlik sınıfı tanımlanmıştır. Bunlar 1U, 1E, 1B, 2 ve 3. sınıflardır. 1. sınıf en katı sınıftır. 1U sınıfı tek yanlı, 1B sınıfı ise iki yanlı tolerans bandı vardır. 1E sınıfı da iki yanlı tolerans bantlı tiptedir ve enerji verimliliği ile ilişkilere yardım eder. 1. sınıftakilerin üçü de aynı tolerans bandı genişliğine sahiptirler. 2. ve 3. sınıfların tolerans bantları ise daha geniş ve iki yönlüdür.

Çizelge 4'de pompa debisi, manometrik yüksekliği, mil gücü ve etkinliği için garanti noktası kabul sınıfları verilmiştir (Anonim, 2002; Ertöz ve ark.,2004.). Bütün toleranslar garanti değerlerinin yüzdesi olarak verilmiştir.Çizelge 4. Pompa Performansı Garanti Noktası % Kabul Sınıfları (Ertöz ve ark.,2004)

Çizelge 4. Pompa performansı garanti noktası % kabul sınıfları (Ertöz ve ark., 2004)

Test parametresi	Sembol	1U	1E	1B	2	3
Debi	t _Q (%)	+10/0	±5	±5	±8	±9
Manometrik yükseklik	t _H (%)	+6/0	±3	±3	±5	±7
Pompa mil gücü	t _{Nm} (%)	+10	+4	+4	+8	+9
Pompa etkinliği	t _n (%)	0	0	-3	-5	-7

MATERYAL ve YÖNTEM

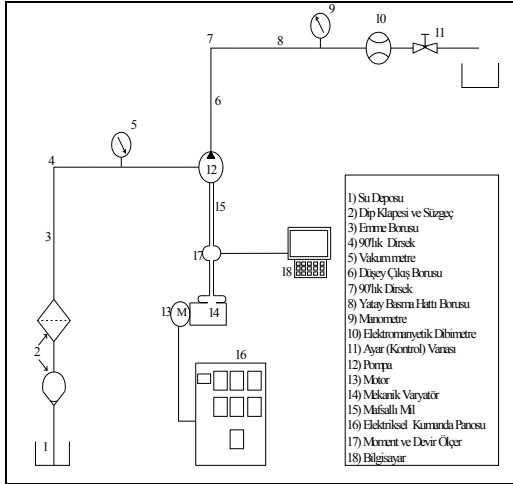
Materyal

Bu çalışmada sulamada pompaj amaçlı 6" anma çapında, yeni, yerli yapım, tek girişli, kademesiz ve yatay milli bir santrifüj pompa materyal olarak kullanılmıştır.

Pompa, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Pompa Test Ünitesinde denenmiştir. Pompa test ünitesinin genel şeması Şekil 1' de verilmiştir.

Laboratuvar zemininde 4 m derinliğinde yaklaşık 50 m³ hacimli su deposu bulunmaktadır. Deney ünitesindeki elektrik motorunun anma gücü 22 kW olup, mekanik varyatör 500 ila 3000 1/min aralığında

kademesiz olarak ayarlanabilmektedir. Pompa emme hattında 6" çapında 1010 mm yatay, 2010 mm düşey doğrultuda çelik boru, ayrıca emme hattı sonunda dip klape montajlı süzgeç bulunmaktadır. Pompa basma hattında da 6" çapında 1670 mm yatay, 650 mm düşey doğrultuda çelik boru yer almaktadır. Manometre ile vakummetre arasındaki kot farkı (Δz) ise 1080 mm'dir. Ayrıca kullanılan bazı enstrümanların teknik özellikleri Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 1. Pompa denemelerinin yapıldığı deney ünitesinin şematik görünüşü

Yöntem

Çalışmada materyal olarak kullanılan pompa, tarımsal sulama uygulamalarında yaygın kullanımı ve pompa test ünitesinin motor gücüne göre seçilmiştir. Pompa denemeleri, *Anonim (1998) ve Anonim (2002)* esas alınarak yürütülmüştür.

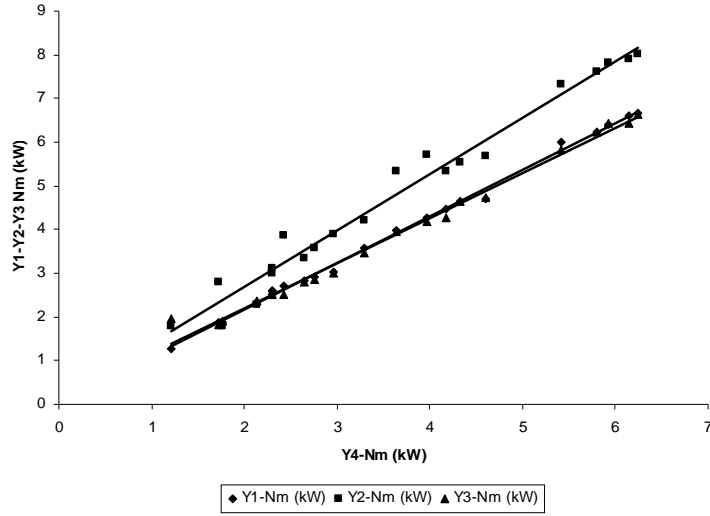
Pompa denemeleri, 700 d/d, 800 d/d ve 900 d/d olmak üzere üç farklı devir sayısı ve basma hattı kontrol vanasının tam kapalı konumundan başlanmak üzere tam açık konuma gelene kadar 7 değişik açılışta yapılmıştır. Denemelerde, debi (Q), elektromanyetik debimetre; pozitif basınç (Pç-bar), madeni manometre; negatif basınç (Pg-mmHg) madeni vakum metre ve devir sayısı (n-d/d) takometre ile ölçülmüştür (*Baysal 1975, Schulz 1977, Tezer 1978, Karassik ve ark. 1986, Stepanoff 1993, Yazıcı 1996, Anonim 1998, Karadoğan ve ark. 1998 ve Balta 2001*).

Pompa mil gücü ise Y1; Y2; Y3 ve Y4 olmak üzere dört ayrı yöntemle aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir. Tüm ölçümler üç kez yinelenmeli olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5. Kullanılan ölçme enstrümanlarının bazı teknik özellikleri

Ekipman cinsi	Bazı teknik özellikleri
Pompa boyutları	D2/D1=265/145; z=6 ;b1/b2=52/53
Elektrik motoru	WAT, 12P-102/67, 380/660 V, 42/24.3 A, 50 Hz, 1450 1/min, 22 kW
Varyatör	IMAK, IM-400 kademesiz mekanik, 500-3000 1/min, 22 kW
Elektromanyetik Debimetre	ABB INSTRUMENTATION, DN 150mm(6"), PN16, 0-176 lt/s kapasiteli,%2 hassasiyet, -10 °C...+120°C Çalışma sıcaklığı.
Manometre	Gliserinli, bourdon tip, 0-1 kg/cm ² , Sınıf KL I %1 hassasiyetli, 1/2" bağlantılı
Vakummetre	Gliserinli, bourdon tip, 0-(-760) mmHg, %1 hassasiyetli, 1/2" bağlantılı
Elektrik sayacı	MG17T, Üçfaz 4 telli aktif sayaç, 55 devir/kWh, 3x220/380V, 30(75)A
Kronometre	Hanhart 7 jewels shockproof,15dakika kapasiteli, 1/100 saniye hassasiyetli.
Takometre	TECLOCK Type H Rpm, 10-10000 1/min, %1 hassasiyetli.
Çelik şerit metre	0-3 m ve 0-0.5 m kapasiteli, 1 mm hassasiyetli.
Kumpas	Mitutoyo Dijital, 150 mm kapasiteli, 0.01 mm hassasiyetli. Mitutoyo Mekanik, 320 mm kapasiteli, 0.05 mm hassasiyetli.
Termometre	-40/+50 °C kapasite civalı tip, 1 °C hassasiyetli.
Higrometre	Hygro-Haar-Synth, % 0- 100 kapasite, %1 hassasiyetli.
Torkmetre	Datum –Elektronik marka; Typ 310T ; 0-180 Nm,

Pompa Denemelerinde Kullanılan Farklı Güç Ölçme Yöntemleri



Şekil 2. Y4 güç ölçme yönteminin fonksiyonu olarak Y1-Y2 ve Y3 yöntemleriyle ölçülen mil gücü arasındaki ilişki.

Çizelge 6. 700 d/d devir sayısında elde edilen pompa performans verileri.

700,1± 0,05 d/d	Vana Açıklığı						
Büyükük	I	II	III	IV	V	VI	VII
Q (L/s)	0,00±0,00	14,03±0,04	24,18±0,04	29,87±0,09	35,91±0,04	39,52±0,07	45,27±0,32
H (m)	5,38±0,00	5,18±0,00	4,91±0,00	4,77±0,00	4,30±0,00	4,02±0,00	3,68±0,00
N_H (kW)	0,00±0,00	0,71±0,00	1,16±0,00	1,40±0,00	1,51±0,00	1,56±0,00	1,63±0,01
M (Nm)	17,00±0,12	24,43±0,67	29,63±0,65	31,77±0,84	36,57±0,61	38,12±0,51	40,83±0,98
Y1 (kW)	1,27±0,00	1,87±0,00	2,34±0,03	2,60±0,03	2,84±0,03	2,90±0,03	3,04±0,03
Y2(kW)	1,80±0,00	1,79±0,00	2,28±0,04	3,11±0,05	3,34±0,05	3,59±0,01	3,89±0,01
Y3 (kW)	1,96±0,00	1,92±0,03	2,36±0,03	2,60±0,04	2,79±0,04	2,86±0,04	3,00±0,04
Y4 (kW)	1,21±0,01	1,76±0,05	2,14±0,05	2,29±0,06	2,65±0,04	2,76±0,04	2,96±0,07
PE1 (%)	0,00±0,00	38,10±0,11	49,82±0,73	53,69±0,83	53,33±0,69	53,72±0,69	53,85±0,49
PE2 (%)	0,00±0,00	39,70±0,11	50,98±0,89	44,98±0,57	45,35±0,65	43,45±0,24	42,06±0,37
PE 3(%)	0,00±0,00	37,17±0,58	49,27±0,71	53,85±0,70	54,27±0,72	54,62±0,69	54,57±0,82
PE4(%)	0,00±0,00	40,54±0,99	54,47±1,27	60,98±1,60	57,18±0,99	56,51±0,67	55,33±1,77

Çizelge 7. 800 d/d devir sayısında elde edilen pompa performans verileri.

800,0 ± 1,99 d/d	Vana Açıklığı						
Büyükük	I	II	III	IV	V	VI	VII
Q (L/s)	0,00±0,00	14,42±0,02	29,28±0,04	37,77±0,03	43,89±0,05	49,16±0,01	55,23±0,06
H (m)	6,88±0,00	6,95±0,00	6,40±0,00	5,86±0,00	5,45±0,00	4,57±0,00	4,36±0,00
N_H (kW)	0,00±0,00	0,98±0,00	1,84±0,00	2,17±0,00	2,35±0,00	2,20±0,00	2,36±0,01
M (Nm)	20,90±0,06	29,13±0,06	39,57±0,05	43,70±0,55	47,70±0,55	50,13±0,70	51,96±1,02
Y1 (kW)	1,87±0,00	2,70±0,03	3,57±0,03	3,97±0,06	4,27±0,00	4,47±0,00	4,64±0,03
Y2(kW)	2,79±0,00	3,88±0,07	4,21±0,06	5,33±0,04	5,72±0,06	5,34±0,01	5,53±0,06
Y3 (kW)	1,81±0,00	2,52±0,03	3,46±0,05	3,94±0,00	4,19±0,04	4,27±0,00	4,64±0,00
Y4 (kW)	1,73±0,00	2,43±0,07	3,29±0,03	3,63±0,05	3,97±0,04	4,17±0,06	4,33±0,09
PE1 (%)	0,00±0,00	36,35±0,46	51,49±0,07	54,68±0,76	54,94±0,06	49,26±0,01	50,97±0,42
PE2 (%)	0,00±0,00	25,37±0,48	43,63±0,60	40,69±0,26	41,02±0,43	41,23±0,06	42,76±0,42
PE 3(%)	0,00±0,00	39,04±0,48	53,16±0,73	55,10±0,05	55,96±0,50	51,58±0,01	50,94±0,05
PE4(%)	0,00±0,00	40,50±1,32	55,93±0,58	59,73±0,80	59,13±0,63	52,80±0,74	54,61±1,07

Çizelge 8. 900 d/d devir sayısında elde edilen pompa performans verileri.

902,0 ± 1,58 d/d	Vana Açıklığı						
Büyükük	I	II	III	IV	V	VI	VII
Q (L/s)	0,00±0,00	31,35±0,09	42,61±0,06	49,69±0,07	55,45±0,06	60,52±0,06	64,36±0,11
H (m)	8,65±0,00	8,17±0,00	7,56±0,00	6,95±0,00	6,20±0,00	5,59±0,00	5,04±0,00
N_H (kW)	0,00±0,00	2,51±0,01	3,16±0,00	3,38±0,00	3,37±0,00	3,32±0,00	3,18±0,01
M (Nm)	25,00±0,00	49,37±0,33	58,08±1,01	62,20±0,64	63,50±1,14	65,77±0,47	66,83±0,18
Y1 (kW)	2,60±0,00	4,70±0,00	6,00±0,00	6,23±0,03	6,40±0,00	6,60±0,00	6,67±0,03
Y2(kW)	2,99±0,00	5,69±0,09	7,32±0,02	7,62±0,05	7,83±0,08	7,91±0,02	8,03±0,02
Y3 (kW)	2,52±0,04	4,72±0,08	5,83±0,00	6,22±0,12	6,43±0,12	6,43±0,00	6,65±0,00
Y4 (kW)	2,30±0,00	4,60±0,03	5,42±0,10	5,81±0,06	5,93±0,10	6,15±0,04	6,24±0,02
PE1 (%)	0,00±0,00	53,44±0,15	52,64±0,07	54,31±0,24	52,66±0,06	50,24±0,05	47,74±0,28
PE2 (%)	0,00±0,00	44,19±0,60	43,16±0,14	44,45±0,25	43,05±0,42	41,92±0,13	39,62±0,18
PE3(%)	0,00±0,00	53,28±0,98	54,19±0,07	54,45±1,11	52,44±1,05	51,58±0,05	47,87±0,08
PE4(%)	0,00±0,00	54,64±0,26	58,33±1,11	58,31±0,67	56,88±1,05	53,93±0,34	50,98±0,18

Çizelge 9. Deney pompasının garanti ve işletme noktası değerleri arasındaki farklar

Pompanın garanti değerleri	Büyükük	İşletme noktası değerleri	Garanti değerlerine göre sapma miktarları	Garanti değerlerine göre oransal fark (%)
700 d/d 30 L/s 5 m %60	Q (L/s)	29,87	0,13	0,44
	H (m)	4,66	0,34	7,30
	PE1 (%)	54,08	5,92	10,95
	PE2 (%)	49,59	10,41	20,99
	PE3 (%)	54,36	5,64	10,38
	PE4 (%)	58,98	1,02	1,73
800 d/d 40 L/s 6 m %60	Q (L/s)	39,77	0,23	0,58
	H (m)	5,69	0,31	5,44
	PE1 (%)	55,54	4,46	8,03
	PE2 (%)	43,48	16,52	37,99
	PE3 (%)	57,09	2,91	5,10
	PE4 (%)	60,40	- 0,40	-0,66
900 d/d 50 L/s 7 m %60	Q (L/s)	49,69	0,31	0,62
	H (m)	6,89	0,11	1,59
	PE1 (%)	55,09	4,91	8,91
	PE2 (%)	45,46	14,54	31,98
	PE3 (%)	55,56	4,44	7,99
	PE4 (%)	59,02	0,98	1,66

Y1 yöntemi:

Elektriksel güç ölçme yöntemlerinden olan ve panoda yer alan "WATTMETRE" ile doğrudan dijital okuma yaparak şebekeden çekilen elektriksel güç (N_{S1}) ölçülmüştür. Sonra sadece tahrik sisteminin (boşta) şebekeden çekilen güç (N_{B1}) "WATTMETRE" ile okunmuştur. Daha sonra aynı cihazla ölçülen bu iki güç değerleri arasındaki fark pompa mil gücü (N_{M1}) olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$N_{M1} = N_{S1} - N_{B1} \quad (8)$$

Y1 yönteminde kullanılan cihazlara ait toplam sistematik bağıl hata şu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$S_{N1} = \pm\% \sqrt{S_W^2} \quad (9)$$

Y2 yöntemi:

Elektriksel güç ölçme yöntemlerinden olan ve panoda yer alan "Akım Şiddeti, Şebeke Gerilimi ve Güç

Faktörü" değerlerini doğrudan dijital okuma yaparak hem yükte iken (N_{S2}) hem de boşta iken (N_{B2}) şebekeden çekilen elektriksel güç aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra da bu iki güç değerinin farkı alınarak (N_{M2}) bulunmuştur.

$$N_{S2} = \sqrt{3} * \frac{I * U * \cos\Phi}{1000} \text{ (kW)} \quad (10)$$

$$N_{B2} = \sqrt{3} * \frac{I * U * \cos\Phi}{1000} \quad (11)$$

$$N_{M2} = N_{S2} - N_{B2} \quad (12)$$

Y2 yönteminde kullanılan cihazlara ait toplam sistematik bağıl hata şu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$S_{N2} = \pm\% \sqrt{S_A^2 + S_V^2 + S_C^2} \quad (13)$$

Y3 yöntemi:

Elektriksel güç ölçme yöntemlerinden olan ve panoda yer alan "Sayaç" tan, sayaç diskinin belirli bir devrini (n_{sd}) tamamlama süresi saniye olarak (t) bir kronometre ile ölçerek hem yükte iken (N_{S3}) hem de boşta iken (N_{B3}) şebekeden çekilen elektriksel güç aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra da bu iki güç değerinin farkı alınarak (N_{M3}) bulunmuştur. Burada S_s sayaç üzerinde bulunan 55 devir/kWh değerindeki sabitesidir.

$$N_{S3} = \frac{3600 * n_{sd}}{S_s * t} \text{ (kW)} \quad (14)$$

$$N_{B3} = \frac{3600 * n_{sd}}{S_s * t} \quad (15)$$

$$N_{M3} = N_{S3} - N_{B3} \quad (16)$$

Y3 yönteminde kullanılan cihazlara ait toplam sistematik bağıl hata şu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$S_{N3} = \pm\% \sqrt{S_S^2 + S_K^2} \quad (17)$$

Y4 yöntemi:

Doğrudan güç ölçme yöntemlerinden olan pompa milinden döndürme momenti (M) ve devir sayısı (n) ölçülerek aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Burada devir sayısı, moment ölçer üzerindeki stroboskop ile ölçülmektedir. Her deneme kombinasyonunda belli aralıklarla ortalama 3000 adet veri, bir veri toplayıcı ve yazılımı ile bilgisayara bir klasör içine Excel dosyası olarak kaydedilmektedir.

$$N_M = \frac{M * n}{9550} \quad (18)$$

Y4 yönteminde kullanılan cihazlara ait toplam sistematik bağıl hata şu eşitlikle hesaplanmıştır.

$$S_{N4} = \pm\% \sqrt{S_M^2} \quad (19)$$

Su ve ortam sıcaklığı, iki ayrı termometre, ortam bağıl nemi ise higrometre ile ölçülmüştür. Manometrik yükseklik (H) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır. Denemede kullanılan akışkan temiz ve soğuk su (0 – 30 °C) olduğundan özgül kütlesi 1 kg/L olarak kabul edilmiştir. Deney standı boru ve armatür kayıpları da ihmal edilmiştir. (Baysal 1975, Tezer 1978, Yazıcı 1996).

$$H(m) = 10,2 * P_\zeta + 0,0136 * P_g + \Delta z \quad (20)$$

Pompa etkinliği, her yöneme göre ayrı ayrı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Tezer 1978, Yazıcı 1996, Anonim 1998, Anonim 2001b).

$$\eta(\%) = \frac{Q * H * \gamma}{102 * N_m} * 100 \quad (21)$$

Grafiklerdeki eğilim çizgileri ve bunların regresyon denklemleri ile bazı pompa parametreleri arasındaki ilişkiler Excel ve Minitab paket programların dan yararlanılarak yapılmıştır (Anonim 1991).

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Hidrolik güç (N_H) toplam sistematik bağıl hatası (S_{NH}), aynı debi ölçer ile pozitif ve negatif basınçölçer kullanıldığından tüm yöntemlerde $\pm\%1.74$ olarak hesaplanmıştır. Yöntemlere göre; mil gücü toplam sistematik bağıl hataları (S_{Nm}), Y1, Y2, Y3 ve Y4 yöntemlerinde sırasıyla $\pm\%2.00$, $\pm\%3.74$, $\pm\%3.43$ ve $\pm\%1.44$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde yöntemlere göre; pompa etkinliği toplam sistematik bağıl hataları (S_η), Y1, Y2, Y3 ve Y4 yöntemlerinde sırasıyla $\pm\%2.65$, $\pm\%4.12$, $\pm\%3.85$ ve $\pm\%2.26$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre en düşük toplam sistematik hata hem pompa mil gücü hem de pompa etkinliğinin (PE) belirlenmesinde Y4 yönteminde elde edilmiştir. Pompanın üç farklı devir sayısı ve yedi değişik vana açıklığında elde edilen performans verileri Çizelge 6, Çizelge 7 ve Çizelge 8'de verilmiştir.

Bu üç çizelge incelendiğinde her üç devir sayısında da aynı debideki yöntemler arasındaki pompa etkinliği farkları kayda değer düzeyde olduğu görülmektedir.

Bunun nedeni Y4 yöntemine göre ölçülen pompa mil gücü değerlerinin; Y1, Y2 ve Y3 yöntemlerinden daha düşük değerlerde ölçülmüş olmasıdır. Y4 yönteminde pompa mil gücünün daha düşük bulunmasının nedeni, ölçme yönteminin ölçülen büyüklüğe daha uygun ve yöntemde kullanılan cihazlarının sistematik bağlı hatasının daha düşük olmasına bağlanabilir.

Çizelge 9 'da firmanın değişik devirlerde pompanın sağlamasını garanti ettiği performans değerleri, denemeler sonucunda elde edilen en yakın performans değerleri ile bu değerler arasındaki sapma miktarları ve oransal farklar gösterilmiştir. Çizelge 9'daki garanti edilen değerler ile işletme noktası arasındaki oransal farklar dikkate alındığında debi %0,44-0,62; manometrik yükseklik %1.59-7.30 arasında bir azalma göstermiş ve kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı görülmektedir. Ancak pompa etkinliği (PE) bakımından yöntemler arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır.

İşletme noktasında elde edilen pompa etkinliği değerleri Çizelge 4' de belirlenen pompa büyüklükleri için verilen pompa performansı garanti noktası için 3.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Anonim, 1991. Minitab Reference Manuel (release 10.1). Minitab Inc. State University Michigan.
- Anonim, 1998. ISO 2548 Radyal Santrifüj Pompalarda Kabul Deneyleri C-Sınıf..
- Anonim, 2002. TS EN ISO 9906 Rotodinamik pompalar-Hidrolik performans Kabul deneyleri- Sınıf 1 ve 2. Ankara.
- Atmaca, MS, 1998. Dalgıç pompalara uygulanan pompa kabul deneyleri. . 3 Pompa Kongresi: 10-15. İstanbul.
- Balta, Ş., 2001. Geleneksel ve Modern Debi Ölçme Yöntemlerinin Pompalı Düzenler ve Pompa Deneylerinde Kullanımı. 4.Pompa Kongresi: 154-166. İstanbul.
- Baysal, B. K., 1975. Tam Santrifüj Pompalar (Hesap, Çizim ve Konstrüksiyon Özellikleri). İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı: 1038. İstanbul.
- Ertöz, AÖ, T. Değer, Y. Karamanoğlu, 2004.Pompa deney standı modernizasyonu. 5 Pompa Kongresi: 260-.269. İstanbul.

kabul sınıfı ile karşılaştırılarak yapılan yargılama da debi ve manometrik yükseklik değerleri garanti kapsamında değerlendirilmiştir. Pompa etkinliği bakımından 700 d/d ve 900 d/d devir sayılarında sadece Y4 yöntemi, 800 d/d da Y3 ve Y4 yöntemleri ile yapılacak deneyler sonucunda yeterli görülebileceği söylenebilir.

Ayrıca 4 değişik yöntemle ölçülen pompa mil güçleri, Y4 yönteminin fonksiyonu olarak doğrusal grafik ilişkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu ilişkilere ait kalibrasyon amaçlı regresyon denklemleri de aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$N_{m1} \text{ (kW)} = 0,0266 + 1,0688 * N_{m4} \text{ (kW)}; R^2 = 0,9971$$

$$N_{m2} \text{ (kW)} = 0,1072 + 1,2899 * N_{m4} \text{ (kW)}; R^2 = 0,9750$$

$$N_{m3} \text{ (kW)} = 0,1525 + 1,0282 * N_{m4} \text{ (kW)}; R^2 = 0,9898$$

SONUÇ

Sonuç olarak pompa kabul deneylerinde, mil gücü ölçümünde doğrudan güç ölçme yöntemleri veya buna göre kalibre edilmiş yöntemlerin kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür.

- Güneş, MT O. Konuralp, 1998. Dik türbin pompaların testleri ve kabul kriterleri. 3 Pompa Kongresi: 16-22. İstanbul.
- Karadoğan, H., L., Kavurmacioğlu, G. Güreken, M. Tekelioğlu, 1998. ISO 2548'e Göre C Sınıfı Pompa Kabul Deneyleri. 3. Pompa Kongresi: 36-44. İstanbul.
- Karassik, I.J., W.C. Krutzsch, W.H. Fraser, J.P. Messina, 1986. Pump Handbook (Second Edition). ISBN 0-07-033302-5. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Schulz, H., 1977. Die Pumpen (Arbeitsweise, Berechnung, Konstruktion). Springer-Verlag. Berlin.
- Stepanoff, A.J., 1993. Centrifugal and Axial Flow Pump (Theory, Design and Application). Krieger Publishing Company. Florida.
- Tezer, E., 1978. *Sulamada Pompaj Tesisleri* (Proje, Seçim ve İşletme yöntemleri). Cilt I-II-III. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. Adana.
- Yazıcı, H.F., 1996. Santrifüj Pompaların Denenmesi. 2. Pompa Kongresi: 1-15. İstanbul.
- Yazıcı, H.F., 1998. Pompa normleri hakkında. 3. Pompa Kongresi: 1-9. İstanbul.

