

Elektrik Motorunun Parametrelerinden Yararlanarak Pompa Devir Sayısının Tahmini

Estimation of Pump Speed by Using of Electric Motor Parameters

Uğur YEGÜL¹, Okray OREL¹, Maksut Barış EMİNOĞLU^{1*}, Mustafa VATANDAŞ¹

Öz

Elektrik motorları pompaların çalıştırılmasında en çok kullanılan güç kaynağıdır. Özellikle dalgıç pompalar elektrik motoruna doğrudan akuple edilerek imal edilmektedirler. Dalgıç pompaların bu kompakt yapısı ve suya batık olarak çalışması, değişken yük koşullarında pompa devir sayısının ölçülmesine olanak vermemektedir. Pompa devir sayısı ise manometrik yükseklik ve debi değerlerini etkileyen önemli bir parametredir. Bu çalışmada dalgıç pompaların tahrikinde yaygın olarak kullanılan 3 fazlı 2 kutuplu asenkron motorların elektriksel parametreleri kullanılarak motor/pompa devir sayısının tahmini amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemle elektrik motoru ve direkt akuple dalgıç pompanın devir sayısının düşük bir hata oranıyla tahmin edilebileceği belirlenmiştir. Geliştirilen regresyon eşitlikleriyle motorun anma devir sayısı ve yüklenme oranı değerleri kullanılarak anlık devir sayısı hesaplanabilmektedir.


Anahtar Kelimeler: Elektrik motoru, dalgıç pompa, devir sayısının tahmini, elektrik motorunun mekanik performansı


Abstract

Electric motors are the most commonly used power sources in the operation of pumps. In particular, submersible pumps are manufactured by direct coupling to the electric motor. This compact design of submersible pumps and the submersible operation do not allow the pump speed in rpm to be measured in variable load conditions. Pump speed in rpm is an important parameter affecting the manometric height and flow rate. In this study, a method has been developed to estimate the motor / pump speed in rpm by using the manufacturer's experimental data for 3-phase asynchronous motors which are widely used in the drive of submersible pumps. It has been determined that the number of speed in rpm of the electric motor and the direct coupling submersible pump can be estimated with a low error rate. Operating speed of asynchronous motors could be computed using with rated speed and percent loading of motors.

Keywords: Electric motor, submersible pump, estimation of speed in rpm, mechanic performance of electric motor

¹Uğur Yegül, E-mail: yegul@ankara.edu.tr  OrcID: 0000-0003-2139-4080

¹Okray Orel, E-mail: orel@ankara.edu.tr  OrcID: 0000-0002-9864-3869

^{1*}**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Maksut Barış Eminoğlu, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Kavacık/Subayevleri, Keçiören, Ankara. E-mail: eminoglu@agri.ankara.edu.tr
 Orcid: 0000-0003-3264-3636

¹Mustafa Vatandaş, E-mail: mvatandas2002@yahoo.com  OrcID: 0000-0003-3235-042X

Atıf/Citation: Yegül, U., Orel, O., Eminoğlu, M. B., Vatandaş, M. Elektrik motorunun parametrelerinden yararlanarak pompa devir sayısının tahmini. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 156-162

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2019

Extendend Summary

Electric motors are the most commonly used power source for operation of pumps. In particular, submersible pumps are manufactured by direct coupling to the electric motor. This compact design of submersible pumps and the submersible operation do not allow the pump speed to be measured in variable load conditions. The pump speed also affects the mains current, input power and total efficiency of the motor-pump system. Pump speed is an important parameter affecting the manometric height and flow rate.

In this study, a method developed to estimate the motor / pump speed in rpm by using the manufacturer's data (motor rated current, voltage and revolutions) for three-phase asynchronous motors that are widely used in the drive of submersible pumps. The analyses were carried out using 303 pumps 6 to 10 inch diameters with different power ranges. With developed algorithm, different regression equations have been obtained for each of five different power groups. The algorithm outputs have been obtained for the two-poles (3000 1 / min) three-phase asynchronous electric motors with a voltage range of 380-400 V in the IE1 efficiency class and the load ratio between 50-100%.

Developed algorithm were given these regression equations; for 6 inch pump diameters at 3,7-37 kW power ranges operating speed is estimated with $n_i = 866,101 - 155,225*PL + 0,750*n_N$, for 7 inch pump diameters at 22-55 kW power ranges operating speed is estimated with $n_i = 834,375 - 112,500*PL + 0,750*n_N$, for 8 inch pump diameters at 18,5-105 kW power ranges operating speed is estimated with $n_i = 853,273 - 137,697*PL + 0,750*n_N$, for 9 inch pump diameters at 115-168 kW power ranges operating speed is estimated with $n_i = 829,687 - 106,250*PL + 0,750*n_N$, for 10 inch pump diameters at 81-185 kW power ranges operating speed is estimated with $n_i = 824,464 - 99,286*PL + 0,750*n_N$.

Beside of findings of this research, for the 6 -10 inch pump diameters with the developed regression equations, the operating speed can be estimated with between $\pm 1,414$ and $\pm 6,707$ min-1 standard error by using the rated speed and load ratio from the nameplate values of the motors in the 3.7-185 kW power range. It has been determined that the speed of the electric motor and the direct coupling submersible pump can be estimated with a low error level. Operating speed of asynchronous motors could be computed using with nameplate data, measurement load, current and voltage..

Elektrik motorları yüksek verimlilik ve çok düşük bakım gereksinimi gibi nedenlerden dolayı, pompa çalıştırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik motoru-pompa akuplasyonunda, pompanın manometrik yükseklik, debi ve verim gibi çok önemli karakteristikleri ise devir sayısına bağlı olarak değişim göstermektedir. Pompa devir sayısı ise yüklenmeye bağlı olarak değişim göstermekte; pompanın maksimum verim noktasında çalışıp çalışmadığını belirlemede ya da değişken frekanslı uygulamalarda devir sayısı bilgisine gereksinim duyulmaktadır.

Dalgıç tipi pompalar, açılan kuyunun içinde suya batık olarak çalıştırdıklarından, takometre kullanılarak pratik olarak devir sayısı ölçümü mümkün olamamaktadır. Elektrik motorunun ve dolayısıyla pompanın devir sayısı ise, aktarılan suyun debisi ve basıncı üzerinde doğrudan etkili olan bir parametredir. Pompa devir sayısı aynı zamanda motorun şebekeden çektiği akım ve güç ile motor-pompa sisteminin toplam verimini de etkilemektedir.

Ahonen ve ark (2012) araştırmalarında santrifüj pompalarda devir sayısı, fren gücü, debi ve verim parametrelerinin tahmini amacıyla, pompayı çalıştıran elektrik motorunun faz akımı ölçümüne dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemi 11 kW'lık bir motora ait verilerle test eden araştırmacılar, geliştirdikleri yöntemin oldukça yüksek doğrulukla kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Boduroğlu (1988), asenkron elektrik motorlarının teorisi ile ilgili yaptığı incelemelerde, özellikle asenkron elektrik motorlarında yüklenme karakteristiklerinin Kloss formülü kullanılarak belirlenmesi ve döndürme momentinin hesaplanmasına ait bilgiler vermiştir. Ayrıca, asenkron makinaların daire diyagramının çıkarılmasına ilişkin değişik yöntemleri de açıklamıştır.

Gölcü (2002) çalışmasında yeni bir dalgıç pompa tasarımı yaparak, 3...7 arasında değişen kanada sahip pompaların performanslarını incelemiştir. Araştırmacı, ayrıca üç kademeli pompanın tek kademeliye kıyasla verim değerlerindeki değişimleri de belirlemiştir.

Bu nedenle araştırmada, dalgıç tipi pompalarda kullanılan elektrik motorlarının ölçülebilen parametreleri kullanılarak, devir sayısının tahmini için analitik bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırmada, Türkiye'de üretilen ve dalgıç tipi derin kuyu pompalarının çalıştırılmasında kullanılan 3 fazlı asenkron motorların verilerinden yararlanılmıştır (Şekil 1). Çalışmada analizlerin yapılmasında pompa çaplarına bağlı olarak motorların mekanik parametrelerine ilişkin imalatçı tarafından belirtilen etiket değerleri (motorun anma akımı, gerilimi ve devir sayısı) verileri kullanılmıştır. Denemeler farklı güç aralıklarında ve 6 ile 10 inch pompa çaplarına sahip toplam 303 adet pompa kullanılarak yürütülmüştür.



Şekil 1. Dalgıç tipi pompaların çalıştırılmasında kullanılan elektrik motoru (Anonim 2017)

Figure 1. The electric motor used to operate the submersible pump (Anonymous 2017)

Belirli koşullar altında çalışan 3 fazlı bir elektrik motorunun yüklenme oranı (PL) şu formüllerle ifade edilmektedir (Anonymous 2016):

$$PL = \left(\frac{I_i}{I_N} \right) \times \left(\frac{U_i}{U_N} \right) \quad (1)$$

$$PL = \frac{(n_s - n_i)}{(n_s - n_N)} \quad (2)$$

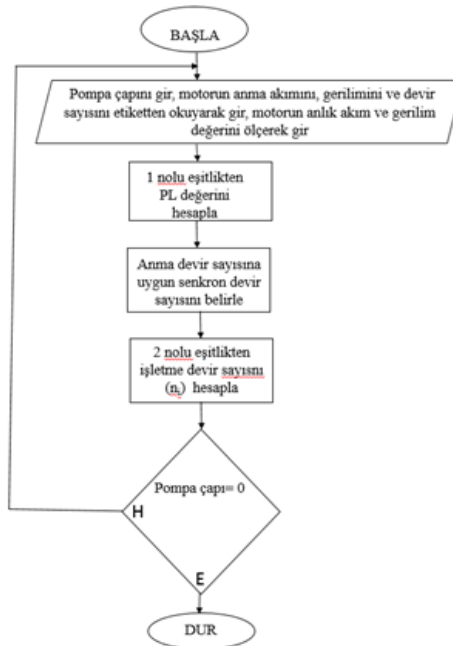
$$PL = \frac{(n_s - n_N)}{\left[(n_s - n_N) \times \left(\frac{U_N}{U_i} \right)^2 \right]} \quad (3)$$

$$PL = \left(\frac{P_i}{P_N} \right) \times \eta_i \quad (4)$$

Bu formüllerde,

- PL** : Anma gücünün yüzdesi olarak elektrik motorunun yüklenme oranı (ondalık),
I_i : Ölçülen akım şiddetinin etkin değeri (3 fazın ortalaması olarak) (A),
I_N : Elektrik motorunun anma (% 100 yükteki) akımı (A),
U_i : Ölçülen fazlar arası gerilimin etkin değeri (3 fazın ortalaması olarak) (V),
U_N : Elektrik motorunun anma (% 100 yükteki) gerilimi (V),
n_s : Senkron devir sayısı (1/min),
n_i : Ölçülen devir sayısı (1/min),
n_N : Elektrik motorunun anma (% 100 yükteki) devir sayısı (1/min),
P_i : Elektrik motorunun şebekeden çektiği toplam güç (kW),
P_N : Elektrik motorunun anma (% 100 yükteki) gücü (kW),
η_i : Elektrik motorunun belirli işletme koşullarındaki toplam verimi (ondalık)'dir.

Araştırmada elektrik motorunun I_i ve U_i parametreleri için imalatçılar tarafından verilen etiket değerleri kullanılarak (1) nolu formülden PL değerleri hesaplanmış, bu değer senkron devir sayısı ve anma devir sayısına ait etiket değeri ile birlikte (2) nolu eşitlikte kullanılarak, n_i değerleri belirlenmiştir. n_i değerlerinin hesaplanmasında kullanılan algoritmaya ilişkin akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Belirlenen n_i değerleri ile imalatçı verileri arasındaki sapmalar ise istatistiksel analizler yapılarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. n_i Değerlerinin hesaplanması amacıyla geliştirilen algoritmanın akış şeması

Figure 2. Flow chart of the algorithm developed for the calculation of n_i

Algoritma çıktıları, tümü IE1 verimlilik sınıfında bulunan iki kutuplu ($n_s = 3000$ 1/min) üç fazlı asenkron elektrik motorlarının 380-400 V gerilim aralığında, 50 Hz frekansa sahip şebekeden enerji alma durumu ve % 50-100 arasındaki yüklenme oranı değerleri için elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Şekil 2’de akış diyagramı verilen yöntem ile yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda elde edilen bulguların istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 1’de toplu olarak verilmiştir. Çizelge 1’de yer alan regresyon eşitlikleri çalışmada yapılan analizlerin yerine kullanmak amacıyla geliştirilmiştir.

Çizelge 1. Dalgıç Tipi Derin Kuyu Pompası Çalıştıran IE1 Verimlilik Sınıfında, 3 Fazlı İki Kutuplu ($n_s = 3000$ 1/min) Asenkron Elektrik Motorlarında İşletme Devir Sayısının (n_i) Tahminine Dönük Olarak Yapılan Analiz Sonuçları ($p < 0,000$)

Table 1. In the IE1 Efficiency Class Running Submersible Deep Well Pump, The Results Of The Analysis Are Made For The Estimation Of The Operating Speed in 3-Phase Two-Pole ($n_s = 3000$ 1/min) Asynchronous Electric Motors ($p < 0,000$)

Pompa Çapı (inch)	Güç Aralığı (kW)	Değerlendirmeye Alınan Pompa Sayısı	Regresyon Eşitliği	R ²	Tahminin Standart Hatası
6,0	3,7-37,0	108	$n_i = 866,101 - 155,225*PL + 0,750*n_N$	0,973	6,707
7,0	22,0-55,0	42	$n_i = 834,375 - 112,500*PL + 0,750*n_N$	0,989	2,795
8,0	18,5-105,0	99	$n_i = 853,273 - 137,697*PL + 0,750*n_N$	0,989	3,231
9,0	115,0-168,0	12	$n_i = 829,687 - 106,250*PL + 0,750*n_N$	0,997	1,494
10,0	81,0-185,0	42	$n_i = 824,464 - 99,286*PL + 0,750*n_N$	0,989	2,397
Toplam	3,7-185,0	303	$n_i = 849,053 - 133,880*PL + 0,750*n_N$	0,971	6,235

Buksnaitis (2011) araştırmasında, 3 fazlı asenkron elektrik motorlarının değişik frekans ve gerilim değerlerindeki mekanik performansını analiz etmiştir. Analizleri Kloss formülüne dayalı olarak gerçekleştiren araştırmacı; elde ettiği analitik çözümleri 4 kW anma gücündeki sincap kafesli bir asenkron motorda test etmiştir. Sonuç olarak araştırmacı, asenkron motorun mekanik karakteristiklerini tahmin etmede Kloss formülünün yeter etkinlikte kullanılabileceğini belirtmiştir.

Guimaraes ve ark. (2014) indüksiyon motorlarında etiket bilgilerini ve imalatçı verilerini kullanarak motor parametrelerini tahmin etmeye dönük bir yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri yöntemin doğrusal olduğunu ve iteratif olmadığını belirterek, ilk hareket akımı, ilk hareket ve devrilme momenti gibi parametrelerin imalatçılar tarafından verilen nominal değerlerle uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Yazarlar elde ettikleri sonuçları, regresyon denklemleri şeklinde vermişler ve bu denklemlerin oldukça yüksek belirtme katsayısı (R²) değerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Pedra ve Sainz (2006) sincap kafesli indüksiyon motorları üzerinde yaptıkları çalışmalarında, moment ölçümüne gerek kalmaksızın motor momentini hesaplamaya dönük bir yöntem önermişlerdir. İndüksiyon motorunun eşdeğer devre parametrelerine dayalı olarak geliştirdikleri bu yöntemi, motorun boşta çalışma, ilk hareket (kilitli rotor) ve aşırı yüklenme durumları için test etmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri yöntemin oldukça yüksek stabiliteye sahip olduğunu ve düşük hata oranıyla kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Vatandaş (1996) araştırmasında, tarım makinalarının çalıştırılmasında kullanılan üç fazlı asenkron elektrik motorlarının döndürme momentinin belirlenmesi için teorik bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmayla geliştirilen yöntemin geçerliliği 0,75-5,5 kW güç aralığında yer alan beş adet standart elektrik motorlarına ait deney verileriyle test edilmiştir. Araştırmacı nominal kaymanın 2,0-2,4 katına kadar olan yüklenme koşullarında elde ettiği deney sonuçları ile teorik değerler arasında çok yüksek bir ilişki bulmuştur. Sonuç olarak geliştirdiği yöntemin pratikte döndürme momenti ölçümüne gerek kalmaksızın yüksek bir doğrulukla kullanılabileceğini belirtmiştir.

Sonuç

Yapılan analizler sonucunda elde edilen yüksek düzeyli belirtme katsayısı (R^2) ve olasılık düzeyi (p) değerleri ile düşük standart hata değerlerinin, geliştirilen regresyon eşitliklerinin oldukça yüksek bir doğrulukla devir sayısı ölçümü yapmaksızın değerini tahmin etmede kullanılabileceğini göstermektedir. Geliştirilen regresyon denklemleri ile;

6 inch pompa çapı için, 3,7-37 kW güç gurubunda bulunan motorların etiket değerlerinden anma devir sayısı ve yüklenme oranı kullanılarak motor devir sayısı $\pm 6,707 \text{ min}^{-1}$ hata ile

7 inch pompa çapı için 22-55 kW güç gurubunda bulunan motorların etiket değerlerinden anma devir sayısı ve yüklenme oranı kullanılarak motor devir sayısı $\pm 2,795 \text{ min}^{-1}$ hata ile

8 inch pompa çapı için 18,5-105 kW güç gurubunda bulunan motorların etiket değerlerinden anma devir sayısı ve yüklenme oranı kullanılarak motor devir sayısı $\pm 3,231 \text{ min}^{-1}$ hata ile

9 inch pompa çapı için 115-168 kW güç gurubunda bulunan motorların etiket değerlerinden anma devir sayısı ve yüklenme oranı kullanılarak motor devir sayısı $\pm 1,494 \text{ min}^{-1}$ hata ile

10 inch pompa çapı için 81-185 kW güç gurubunda bulunan motorların etiket değerlerinden anma devir sayısı ve yüklenme oranı kullanılarak motor devir sayısı $\pm 2,397 \text{ min}^{-1}$ hata ile

6-10 inch pompa çapı için 3,7-185 kW güç gurubunda bulunan motorların etiket değerlerinden anma devir sayısı ve yüklenme oranı kullanılarak motor devir sayısı $\pm 6,235 \text{ min}^{-1}$ hata ile tahmin edilebilmektedir.

Bu amaçla motorun anlık akım ve gerilim bilgileri ile etiketten okunacak anma akım ve gerilim değerlerinin bilinmesi yeterli olacaktır.

Konuyla ilgili olarak imalatçılar tarafından verilen karakteristik parametreler içinde devir sayısı değerlerinin, yuvarlama yapılmaksızın ifade edilmesinin; geliştirilen yöntemle yapılan devir sayısı tahminlerinde doğruluk derecesini daha da artıracakı düşünülmektedir.

Kaynaklar/References

- Anonymous 2016. Determining electric motor load and efficiency. Motor Challenge Fact Sheet, U.S. Department of Energy, U.S.A.
- Anonim 2017. Vansan Water Technologies (www.vansan.com.tr). Eriřim tarihi: 21.01.2017.
- Ahonen T, Kortelainen JT, Tamminen JK, Ahola J, 2012. Centrifugal pump operation monitoring with motor phase current measurement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42 (1) :188-195.
- Boduroğlu T, 1988. *Elektrik Makinaları Dersleri (2. Baskı)*. Cilt II, Beta Basın Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Buksnaitis J, 2011. Analytical determination of mechanical characteristics of asynchronous motors by varying the electric current frequency. *Electronics and Electrical Engineering*, 6 (112): 3-6.
- Gölcü M, 2002. Üç kademeli dalgıç pompaların performans eğrilerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 149-154.
- Guimaraes JMC, Bernardes JV, Hermeto AE and Bortoni EC, 2014. Parameter determination of asynchronous machines from manufacturer datasheet. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 29(3): 689-697.
- Pedra J and Sainz L, 2006. Parameter estimation of squirrel-cage induction motors without torque measurements. *IEEE Proc-Electr. Power Appl.*, 153(2): 263-270.
- Vatandaş, M., 1996. Tarım makinaları için seçilecek asenkron elektrik motorlarında döndürme momentinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1433, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 795*, Ankara.