ORAL PRESENTATION

Elektrik Motorlarında Verim Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi

Ahmet Faraşoğlu[1*] (*https://orcid.org/0000-0002-2360-4128*), Gül Kurt[2] (*https://orcid.org/0000-0001-9212-5465*)

[*1]Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye
[2] Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

*ahmet.farasoglu@gmail.com

Özet

Ülkemizde ve dünyada halen devam etmekte olan Covid19 pandemisi ile elektrik enerjisinin bir kez daha ne kadar önemli olduğunu anladık. Üretilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmının fosil yakıtlardan elde edilmesi ve dünyada bulunan fosil yakıtların hızla tükenmesi aynı zamanda bu kaynakların yarattığı çevre sorunları, tasarruf ve enerji verimliliğini gündeme getirmiştir. Üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık yarısı endüstiriyel işletmelerde, endüstiriyel işletmelerde kullanılan elektriğin ise %65'ini elektrik motorlarının tükettiği bilinmektedir. Bu sebeple endüstiriyel işletmelerde kullanılan elektrik motorlarında büyük bir enerji tasarrufu potansiyeli bulunmaktadır. Dolayısıyla elektrik enerjisinin tüketiminde en büyük paya sahip olan elektrik motorlarının verim değerleri çok önemlidir. Bu çalışmada litaratürde mevcut bulunan elektrik motoru verim analiz yöntemlerinin incelenmesini sunulmaktadır. En sık kullanılan yöntemler kısaca tarif edilmiştir, bu yöntemler fiziksel özelliklerine göre ana katagoriye ayrılmıştır. Oluşturulan bir tablo ile verim analiz yöntemlerini sisteme müdahale seviyesi, ölçüm doğruluk yüzdesi gibi katogorilerde karşılaştırılmıştır. İncelenen elektrik motoru verim analiz yöntemlerinin doğruluk yüzdesine ve sisteme müdahale seviyesine göre uygulanabilirliği açısından yorumlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Elektrik Motorlarında Verim, Elektrik Motorlarında Verim Analiz Yöntemleri

Investigation of Efficiency Analysis Methods in Electric Motors

Abstract

With the Covid-19 pandemic still ongoing in our country and around the world, we have once again realized how important electrical energy is. At the same time, environmental problems created by these resources, savings and energy efficiency have been raised by the fact that most of the electricity produced is derived from fossil fuels and the rapid depletion of fossil fuels found in the world. It is known that about half of the electrical energy produced is consumed by industrial enterprises, and 65% of the electricity used in industrial enterprises is consumed by electric motors. For this reason, there is a great energy saving potential in electric motors used in industrial enterprises. Therefore, the efficiency values of electric motors, which have the largest share in the consumption of electrical energy, are very important. In this study, the analysis of the electric motor efficiency analysis methods available in the literature is presented. The most commonly used methods are briefly described, these methods are divided into the main categories according to their physical characteristics. A table was created and the methods of efficiency analysis were compared in categories such as the level of intervention in the system, the percentage of measurement accuracy. Comments were made on the applicability of the studied electric motor efficiency analysis methods according to the percentage of accuracy and the level of intervention in the system.

Keywords: Energy Efficiency, Efficiency in Electric Motors, Efficiency Analysis Methods in Electric Motors.

GİRİŞ

Ülkemizde üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık yarısı endüstiriyel işletmelerde, endüstiriyel işletmelerde kullanılan elektriğin ise %65'ini elektrik motorlarının tükettiği bilinmektedir. Ortalama olarak, endüstriyel tesislerdeki motorlar, büyük boyutlu tesisler veya düşük koşullar nedeniyle nominal yüklerinin% 60'ında çalışır ve bunun sonuçu olarak oldukça düşük verimliliklere sahiptir. Küresel enerji kıtlığı ve sera etkisi kötüleştikçe, sanayide kullanılan elektrik motorlarının enerji kullanımının iyileştirilmesi daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Bu, büyük boyutlu motorların proses ihtiyacına göre optimize edilerek daha ufak boyutlu

ve daha verimli motorlar ile değiştirmek veya daha verimli kontrol teknikleri uygulamak gibi birçok yolla yapılabilir.

Bu çalışmada litaratürde mevcut bulunan elektrik motoru verim analiz yöntemlerinin incelenmesini sunulmaktadır. En sık kullanılan yöntemler kısaca tarif edilmiştir, bu yöntemler fiziksel özelliklerine göre ana katagoriye ayrılmıştır. Son kısımda daha önce yapılmış çalışmalardan doplanan veriler ile oluşturulmuş bir tablo yer almaktadır. Çalışmada irdelenen yöntemlerin yüzdesel olarak hata değerleri ve sisteme müdahale seviyeleri incelenmiştir.

MOTOR KAYIPLARININ VE VERİMLİLİĞİN TANIMI

Motordaki toplam kayıplar burada önemlidir, çünkü verimliliği bulmak toplam kayıpları bulmakla eşdeğerdir. IEEE Std-112 bölüm 5, asenkron motorlardaki beş tür kaybı denklem (1)'de olduğu gibi tanımlar. (IEEE Standard 112-2004, 2004)

$$W_{Kayıp} = P_{Giriş} - P_{Çıkış} = W_S + W_r + W_{Core} + W_{fw} + W_{LL} \quad (1)$$

Burada $P_{\text{Giriş}}$ ve $P_{\text{Çıkış}}$ sırasıyla motorun giriş ve çıkış güçleridir ve $W_{\text{Kayıp}}$ motordaki kayıpların toplamıdır. Stator bakır kaybı W_S, stator sargılarındaki kayıptır. Üç fazlı bir motor için $1{,}5I^2R$'ye eşittir, burada belirtilen I; yükte hat başından ölçülen veya hesaplanan rms akımı, ve R; belirtilen sıcaklığa ayarlanmış herhangi iki hat arasındaki ortalama DC dirençdir. Düzgün tasarlanmış bir motor için R, R_S'nin iki katıdır.
Rotor bakır kaybı W_r rotor sargılarındaki kayıptır. Birim başına kayma kullanılarak belirlenmelidir. (2)

$$W_r = (P_{Giriş} - W_S - W_{Core}) \times S \quad (2)$$

Burada S kaymadır.

Çekirdek kaybı W_{Core} demirdeki histetezis ve girdap akımlarını mıknatıslanmasından kaynaklanır. Giriş geriliminin karesine göre yaklaşık olarak değişir, ancak sabit giriş voltajı için yük olmadan tam yüke kadar yaklaşık olarak sabit kalır. Genellikle yüksüz test ile ölçülür.
Rüzgar ve sürtünme kaybı W_{fw}, sürtünme ve sargı nedeniyle mekanik dönme kaybıdır. Ayrıca yüksüz çalışmadan tam yükte çalışmaya kadar neredeyse sabittir ve genellikle yüksüz testi ile ölçülür.
Diğer yük kaybları W_{LL},yukarıdaki ana kayıpların dışında oluşan kayıpların toplamıdır.

Motor verimliliği η;

$$\eta = \frac{P_{Çıkış}}{P_{Giriş}} \times 100\% = 100\% - \frac{W_{Kayıp}}{P_{Giriş}} \times 100\% \quad (3)$$

VERİMLİLİK TAHMİN YÖNTEMLERİ

Çalışan motorlarda verimliliği tahmin eden yöntemleri, tek bir temel algoritma veya bu bölümde listelenen farklı temel algoritmaların kombinasyonları olabilir. Yöntemler literatürde yaygın olarak sisteme müdahale düzeylerine ve doğruluk oranlarına göre kategorize edilir. Sisteme müdahale seviyesi, her yöntem için gerekli veri türüne, ekipman kurulumu ve veri toplama işlemiyle ilişkili maliyete ve motorun çalışma planlamasına göre belirlenir. Doğruluk, şaft torku ve rotor hızı gibi doğrudan verimlilik ölçümü ile karşılaştırılarak değerlendirilir.
Bu bölümde, fiziksel özelliklerine göre kategorize edilen en önemli motor verimliliği yöntemleri fazlası listelenmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu yöntemlerden bazıları birkaç temel yöntemin kombinasyonlarıdır ve birden fazla kategoride sınıflandırılabilir. Bu yöntemler sonunda kendine en uygun kategoriye yerleştirilir.

A. Etiket Plakası Yöntemleri

Sisteme en az müdahale eden yöntemlerdir. Motor bilgilerini etiket plakasından elde etmektedir.

1) Standart Etiket Plakası Yöntemi: Verimliliğin sabit ve etiket plakası değerine eşit olduğu varsayılır. (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)

Ancak, bu yöntem düşük doğruluk oranına sahiptir, çünkü:

a. Etiket plakası verileri IEEE Std-112 Yöntem B'ye göre verilmeyebilir;
b. Motor yeniden sarılmış olabilir;
c. Motorun sahada kullanıldığı alan, etiket plakası verilerinin üretildiği alandan farklı olabilir.

2) Volgelsang ve Benning (V&B) Yöntem I, II: V&B

Yöntem I ve II, standart etiket plakası yönteminin varyasyonlarıdır ve özel bir ticari enstrümanda kullanılır: "Motor Analizörü." Seçenek I (%±1 hata) üç koşul altında test gerektirir, bu koşullar: yük yok, düşük yük ve normal yük'tür.. Seçenek II (%±3 hata) yük testi gerektirmez, ancak bunun yerine motor etiket plakası verilerini kullanır. Sonuç olarak, doğruluk azalır. Bu yöntem, seg-regated kayıp yöntemi olarak da sınıflandırılabilir.

B. Kayma Yöntemleri

Kayma yöntemleri motor hız ölçümüne dayanır. Ana avantajı basitlikleridir.

1) Standart Kayma Yöntemi: Yükün yüzdesinin, ölçülen kaymanın tam yük kaymasına oranıyla orantılı olduğu varsayılır.(4) Motor verimliliği, bu nedenle, yaklaşık olarak hesaplanır. Ancak, hata kayma oranının yük yüzdesini temsil etmesinden ve verimliliğin yük yüzdesine eşit olmamasından gelir. (R. L. Nailen, 1994)

$$\eta = \frac{Kayma}{Kayma_{Anma}} \times \frac{P_{Çıkış,Anma}}{P_{Giriş}} \tag{4}$$

2) Ontario Hidro Modifiye Edilmiş Kayma Yöntemi: Aşağıda denklem (5) de görüldüğü gibi, özellikle verimlilik-yük eğrisi düz olmadığında, voltaj değişimleri için nominal etiket plakası hızı düzeltilerek standart kayma yöntemi geliştirilmiştir. Bununla birlikte, yapılan tahmin hala nispeten büyük bir hataya sahip olabilir, çünkü etiket plakası hızının (NEMA) MG1 standardına göre gerçek nominal hızdan% 20'ye kadar sapmasına izin verilir. (NEMA MG1-2003 Standard, 2003)

$$\eta = \frac{Kayma}{Kayma_{Anma}} \times \frac{P_{Çıkış,Anma}}{P_{Giriş}} \times \left(\frac{V}{V_{Anma}}\right)^2 \tag{5}$$

3) Üst Sınır Kayma Yöntemi: En basit verimlilik tahmini yöntemi olarak, orijinal üst sınır kayma yöntemi tanımlanmaktadır. (6) (B. S. Guru ve H. R. Hiziroglu, 2001)

$$\eta \leq (1 - Kayma) \tag{6}$$

W_S'nin tipik bir motordaki toplam kayıpların yaklaşık % 40'ını oluşturduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, bu yöntem (7) 'de gösterildiği gibi W_S'yi dahil edilerek geliştirilmiştir (B. S. Guru ve H. R. Hiziroglu, 2001).

$$\eta \leq (1 - Kayma)\left(1 - \frac{3I^2R_S}{P_{Giriş}}\right) \tag{7}$$

Ortaya çıkan verimlilik tahmini, Sadece Stator kaybı (W_s)'yi kullandığı, Rotor Kaybı (W_r), Çekirdek Kaybı (Wcore), Rüzgar ve Sürtünme Kaybı (W_{fw}) ve Kaçak Yük Kaybı (W_{ll}) 'yi ihmal ettiği için bu yöntemle ortaya çıkan tahmin her zaman gerçek verimlilikten daha yüksektir.

C. Akım Yöntemleri

Kayma yöntemleri gibi, akım yöntemleride motor verimini tahmin etmek için minimum ölçüm yaparak daha çok üreticinin verilerini kullanır. Bu yöntemlerin ana avantajları basit olmalarıdır.

1) Standart Akım Yöntemi: Bu durumda, motor verimi, yük yüzdesinin ölçülen akımın tam yük akımına oranıyla yakından orantılı olduğu varsayılır. Denklem (8) kullanılarak yaklaşık olarak belirlenir. Gerçekte, akım-yük eğrisi bir miktar doğrusal değildir. Bu, doğrusal olmayan noktalar düşünüldüğünde geliştirilmiş bir akım yöntemi olan denklem (9) kabul edilir. (R. L. Nailen, 1994)
Kaynak (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)'te bu iki yaklaşımın ortalamasının daha doğru bir verimlilik tahmini verebileceği ileri sürülmektedir.

$$\eta = \frac{I}{I_{Anma}} \times \frac{P_{Çıkış,Anma}}{P_{Giriş}} \tag{8}$$

$$\eta = \frac{2I - I_{Boşta}}{2I_{Anma} - I_{Boşta}} \times \frac{P_{Çıkış,Anma}}{P_{Giriş}} \tag{9}$$

D. Eşdeğer Devre Yöntemleri

Bir asenkron motorun verimliliği eşdeğer devresinden hesaplanabilir. Bu yöntemler, ölçümlerin yapıldığı yöntemler dışında yük koşullarında çalışan bir motor için verimlilik tahmini sağlayabilir.

1) Standart Eşdeğer Devre Yöntemi (IEEE Std-112 Yöntemi F/F1): IEEE Std-112 yöntemi F/F1 standart eşdeğer devre yöntemidir (NEMA MG1-2003 Standard, 2003), (IEEE Standard 112-2004, 2004). Empedans ölçümü, yüksüz, değişken voltajlı, kilitli rotor ve ters dönüş testleri gerektirir. Bu testler, yöntem oldukça doğru olsa da, çalışan motorlar için çok müdahaleci ve kullanışsız'dır. Bu yöntem burada esas olarak diğer değiştirilmiş yöntemlerin temeli olarak belirtilmiştir.

2) Ontario Hydro Modifiye Yöntem F (OHMF): IEEE Std-112 yöntemi F1'in değiştirilmiş bir sürümü Ontario Hydro tarafından önerilmiştir (J. D. Kueck, 1998). Biraz farklı bir eşdeğer devre kullanır: Mıknatıslama empedansı, standart paralel kombinasyon yerine bir seri direnç ve endüktans kombinasyonu olarak alınır. Değişken voltaj testi gerekli değildir, ancak nominal voltajda hem yüksüz hem de tam yükte testler yapılmalıdır. Hat voltajı, giriş gücü, hat akımı, güç faktörü ve stator direnci, yüksüz ve tam yükte çalışırken ölçülür. Kayma da motor tam yükte iken ölçülür.

3) Etiket Plakası Eşdeğer Devresi (ORMEL96) Yöntemi: Bu yöntem motor eşdeğer devreyi etiket plakası verilerinden ve stator direncinin değerinden türetir (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)– (J. D. Kueck, 1998). Parazit yük kaybını hesaba katmak için rotor devresine ek bir direnç yerleştirilir. Sadece rotor hızı çevrimiçi olarak ölçülür. Stator direnci etiket plakası verilerinden tahmin edilebilir (J. D. Kueck, 1998), ancak verimlilik tahmininin doğruluğu doğru bu tahminle doğru orantılıdır (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001). ORMEL96 yöntemi ayrıca, kullanıcının belirli "ayarlanabilir parametreleri" ayarlamasını sağlayan gelişmiş bir moda sahiptir.
Düşük seviyede müdahaleci bir yöntemidir, ancak eşdeğer devrenin parametreleri, tamamen motor etiket plakası bilgilerine dayanan ve NEMA MG1'e göre% 20'ye kadar yanlışlıklara sahip olabilen hayali nominal yük durumu ve kilitli rotor durumundan çözülür (NEMA MG1-2003 Standard, 2003).

4) Rockwell Motor Verimliliği Wizard (RMEW) Yöntemi: Başka bir eşdeğer devre tabanlı yöntem Rockwell Reliance tarafından hazırlanmıştır. Bu yöntem, iki farklı yük çalışma noktasından gelen verileri kullanarak standart asenkron motor eşdeğer devresinin parametrelerini hesaplar. Stator direnci ve stator sargı sıcaklığının ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca, motor parametrelerinin çözümü, servis içi test için mevcut olmayan stator sızıntı reaktansının gerçek değerini gerektirir. Ayrıca, motor parametreleri stator voltaj ve akım fazörleri kullanılarak hesaplanır ve güç kaynağındaki harmonikler dikkate alınmaz.
Kaynak (Y. El-Ibiary, 2003) içindeki deneysel sonuçlar bu yöntemin % ±1 hata ile yüksek doğrulukta verimlilik tahmini yaptığını göstermektedir.

5) Kilitli Rotor Yöntemi: Bu yöntem, iki rotor döngüsüne sahip eşdeğer bir devre kullanır (J. D. Kueck, 1998), (Dell'Aquila ve L. Salvatore, 1984). Devrenin parametreleri kilitli rotor testlerinden elde edilir. Yüksüz test de yapılmalıdır. Yapılan testler bu yöntemi son derece müdahaleci bir yöntem haline getirir.

6) Durma Frekansı Yanıt Yöntemi: Bu yöntemin eşdeğer devresi de iki rotor döngüsüne sahiptir (J. D. Kueck, 1998), (J. R. Willis ve G. J. Brock, 1991). Devrenin parametreleri, rotor sabiti ile motorun 0,01 Hz ila 500 Hz frekans aralığındaki empedansının ölçülmesiyle türetilir. Bu yöntemin en büyük avantajı, düşük voltajlı, yüksüz teste gerek olmamasıdır. Bununla birlikte, doğası gereği hala yüksek müdahale seviyesine sahip bir yöntemdir.

E. Kayıpları Ayırma Yöntemleri

Bu yöntemler en basit olanlardır, çünkü her bir kayıp bileşenini (W_s, W_r, Wcore, W_{fw} ve W_{ll}) tahmin ederler. Bu yöntemler genellikle doğruluk oranları yüksektir, bazıları oldukça karmaşık ve müdahaleci olsa da, geri kalanları kayıpların bir kısmını tahmin etmek için ampirik değerleri kullanır.

1) Std. Ayrılmış Kayıp Yöntemi (IEEE Std-112 Yöntemi E1): IEEE Std-112 yöntemi E1 standart ayrılmış kayıp yöntemidir (NEMA MG1-2003 Standard, 2003), (IEEE Standard 112-2004, 2004). Yöntem E1, Tablo 1'de gösterildiği gibi, farklı büyüklüklerdeki motorlar için nominal yükte diğer yük kayıblarının yüzdeleri belirtilmektedir (IEEE Standard 112-2004, 2004). IEEE Std-112 yöntemi F1'de olduğu gibi, yükde, değişken voltajlı, kilitli rotorlu ve ters dönüş testleri gerektiğinden, çalışan motorda yapılacak testler için tasarlanmamıştır.Burada listelenmesinin sebebi diğer yöntemlere temel oluşturmasıdır.

Tablo 1. IEEE Std-11'de Diğer Yük Kayıbları İçin Varsayılan Değerler

Motor Aralığı		Nominal Çıkış Gücünün Yük Kayıp Yüzdesi
1-125 hp	1- 90 kW	%1,8
126-500 hp	91-375 kW	%1,5
501-2499 hp	376-1850 kW	%1,2
2500 hp ve Üzeri	1851 kW ve Üzeri	%0,9

2) Ontario Hydro Modifiye Yöntem E (OHME): IEEE Std-112 yöntemi E1, sargı, sürtünme ve çekirdek kayıplarının (W_{fw} + W_{core}) nominal giriş gücünün %3,5'i –%4,2 olduğu varsayılarak basitleştirilmiştir (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)– (J. D. Kueck, 1998). Belirli bir yüzdelik değer, farklı motor gücü seviyelerinde motor örneklerinin test edilmesiyle optimize edilebilir. Diğer yük kayıbları da Tablo 1'den tahmin edilmektedir (IEEE Standard 112-2004, 2004). Bu yöntem, nominal güç faktörü için varsayılan 0,8 değeri kullanılarak daha da basit hale getirilebilir. Stator direncinde, sıcaklık artışını tahmin etmek için motor akımı kullanılarak basit bir yaklaş ile tahmin edilir. Gerekli diğer ölçümler giriş gücü ve rotor hızıdır. Sisteme düşük müdahale seviyesi ve doğruluk oranını nedeniyle (%2-%3 hata aralığında (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)), OHME yöntemi önemli yöntemlerden bir tanesidir.

F. Tork Yöntemleri

Motor verimliliği (10) 'da aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

Mil torku T_{Mil}, hava boşluğu torku (AGT) $T_{Hava\ boşluğu}$ ve rotor hızı ω_r dir.

$$\eta = \frac{T_{Mil} \times \omega_r}{P_{Giriş}} = \frac{T_{Hava\ boşluğu} \times \omega_r - W_{fw} - W_{LLr}}{P_{Giriş}} \quad (10)$$

$P_{Giriş}$ ve ω_r ölçülür veya tahmin edilirken, T_{Mil} biliniyorsa verimlilik kolayca belirlenebilir. Bu, tüm tork yöntemlerinin temel prensibidir.

1) AGT Yöntemi: Kaynak (J. Hsu ve B. P. Scoggins, 1995)'de önerilen AGT yöntemi, motorun anlık giriş hattı gerilimlerinden ve hat akımlarından denklem (11)'i kullanılarak AGT'yi hesaplar. (J. O. Ojo ve V.

Ostovic, 1990) W_{fw} ve W_{LLr} kayıpları motor boşta çalışırken yapılan testten elde edilir. Son olarak, motor verimliliği denklem (10) kullanılarak hesaplanır.

$$T_{\substack{Hava \\ Boşluğu}} = \frac{Kutup}{2\sqrt{3}}\{(i_A - i_B) \times \int[v_{CA} - R_S(i_C - i_D)]dt - (i_C - i_A) \times \int\int[v_{AB} - R_S(i_A - i_B)]dt\} \quad (10)$$

burada kutup olarak ifade edilen kutup sayısıdır, i_A, i_B ve i_C hat akımları, v_{CA} ve v_{AB} hat gerilimleridir.
Bu yöntemin önemli avantajı, endüstriyel tesisdeki gerçek gerilimlerdeki ve akımlardaki dengesizliklerle ilişkili kayıpları göz önünde bulundurmasıdır. Ancak, en büyük dezavantajı boşta test gerektirmesidir. Son derece yüksek doğruluk oranına (±%0,5 hata yüzdesi (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)) sahiptir.

2) Mil Tork Yöntemi: Bu yaklaşımların en basiti olarak, bu yöntem, kayıpları hesaplamaya gerek kalmadan mil torkunun ve rotor hızının (ve dolayısıyla çıkış gücünün) doğrudan şafttan ölçülmesiyle verimlilik tahmini yapar (J. Hsu ve J. Kueck, 1996). En doğru motor verimliliği tahminini sunar, ancak aynı zamanda son derece sisteme müdahaleci bir yöntemdir. Ek olarak, tork dönüştürücülerinin yüksek maliyeti, bu yöntemi çoğu endüstriyel uygulama için kabul edilemez hale getirir.

Geri kalan üç verimlilik tahmin yönteminin ayrıntıları, burada daha önce tartışılan yöntemlerin veya burada irdelenmeyen ürüne özgü yöntemlerin kombinasyonları olduğundan, aşağıda başlık olarak verilmiştir. Bu yöntemlerin ayrıntıları kaynak (B. Lu ve T. G. Habetler, 2004)'ün içindedir.

G. Ampirik Yöntemler

1. Stanford Wilke Yöntemi (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)

H. **İstatistiksel Yöntemler** (J. Hsu ve J. Kueck, 1996), (NEMA MG1-2003 Standard, 2003)

İ. Özel Enstrüman Yöntemleri

1) Anlık Akım Yöntemi (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001), (E. J.Wiedenbrüg ve A. K.Wallace, 1998)
2) MotorMaster+ Yöntemleri (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001)
3) Vectron (ECNZ) Yöntemi (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001)
4) MAS-1000 Yöntemi (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001)
5) Esterline Angus Yöntemi (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001)

SONUÇ

Bu makale, elektrik motorlarında verimliliği tahmini hakkında güncel bir literatür taraması sunmaktadır. Bir çok verimlilik tahmin yöntemi incelenir ve fiziksel yapılarına göre dokuz kategoride sınıflandırılır.

Tablo 2. Elektrik Motorlarında Verimlilik Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Motor Verimliliği Tahmin Yöntemleri	Gerekli Testler ve Ölçümler							Performans	
	Nominal Güç Testi	Tam Yük Testi	Yüksüz Test	Stator Direnci	Etiket Değerleri	Rotor Hızı	Çıkış Torku	Sisteme Müdahale Seviyesi	Tahmin Edilen Verim Değerindeki Hata Yüzdesi
Standart Etiket Plakası Yöntemi	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli Değil	Düşük	10% (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)
Volgelsang ve Benning (V&B) Yöntem I	Opsiyonel	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Yüksek	Uygulanabilir Değil
Volgelsang ve Benning (V&B) Yöntem II	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Orta	2.5% (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001)
Standart Kayma Yöntemi	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Düşük	7% (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)
Üst Sınır Kayma Yöntemi	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Orta	8% (Wallance ve A. Von Jouanne, 2001)
Standart Akım Yöntemi	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli Değil	Orta	6% (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)
Standart Eşdeğer Devre Yöntemi (IEEE Std-112 Yöntemi F/F1)	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Yüksek	5% (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)
Etiket Plakası Eşdeğer Devresi (ORMEL96) Yöntemi	Opsiyonel	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Opsiyonel	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Düşük	4% (J. D. Kueck ve M. Olszewski, 1996)
Rockwell Motor Verimliliği Wizard (RMEW) Yöntemi	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Opsiyonel	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Orta	1% (Y. El-Ibiary, 2003)
Kilitli Rotor Yöntemi	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Yüksek	Uygulanabilir Değil
Durma Frekansı Yanıt Yöntemi	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Yüksek	Uygulanabilir Değil
Std. Ayrılmış Kayıp Yöntemi (IEEE Std-112 Yöntemi E1)	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Yüksek	3% (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)
Ontario Hydro Modifiye Yöntem E (OHME)	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli Değil	Orta	2-3% (J. D. Kueck ve M. Olszewski, 1996)
AGT Yöntemi	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Gerekli	Ölçüm Gerekli	Tahmin	Yüksek	0.5% (J. D. Kueck ve M. Olszewski, 1996)
Mil Tork Yöntemi	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli Değil	Gerekli Değil	Ölçüm Gerekli	Ölçüm Gerekli	Yüksek	< 0.5% (J. Hsu ve J. Kueck, 1996)

Tablo 2'de makalede bahsedilen verimlilik analiz yöntemlerinin tahmin yapabilmesi için gerekli olan şartlar, sisteme müdahale seviyeleri ve tahmin sonuçlarındaki yüzdesel hatalar sıralanmıştır. Genel olarak, yöntem ne kadar sisteme müdahale ederse, verimlilik tahmini o kadar doğru olduğu görülmektedir.
Endüstriyel bir tesiste yukarıdaki yöntemlerden birtanesi kullanılmak istendiğinde sisteme en az müdahele eden yöntemler kullanılmak istenir ancak bu yöntemlerdede sorun yaptıkları tahminlerin hata yüzdelerinin yüksek olmasıdır.

Bu makalede asenkron bir motorun verimlilik tahmini yapılmak istendiğinde kullanılacak optimal yöntemin seçimine yardımcı olması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

B. Lu, T. G. Habetler and R. G. Harley 2004 "A survey of available methods for evaluating in-service motor efficiency," Georgia Inst. Technol., Atlanta,EATON WSN Res. Rep.

B. S. Guru and H. R. Hiziroglu, 2001 *Electric Machinery and Transformers*, 3rd ed. New York: Oxford Univ. Press, ch. 8.

J. R. Holmquist, J. A. Rooks, and M. E. Richter, 2004 "Practical approach for determining motor efficiency in the field using calculated and measured values," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 40, no. 1, pp. 242–248.

NEMA MG1-2003 Standard 2003, Motors and Generators.

IEEE Standard 112-2004 2004, *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*, IEEE Standard 112-2004.

Y. El-Ibiary 2003 "An accurate low-cost method for determining electric motors's efficiency for the purpose of plant energy management," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 39, no. 4, pp. 1205–1210.

A. Dell'Aquila, L. Salvatore, and M. Savino 1984 "A new test method for determination of induction motor efficiency," *IEEE Trans. Power Appl. Syst.*, vol. PAS-103, no. 10, pp. 2961–2973.

J. R. Willis, G. J. Brock, J. S. Edmonds 1991 "Derivation of induction motor models from standstill frequency response tests," Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, Rep. GS-6250.

J. O. Ojo, V. Ostovic, T. A. Lipo, and J. C. White 1990 "Measurement and computation of starting torque pulsations of salient pole synchronous motors," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 5, no. 1, pp. 176–182.

J. Hsu and B. P. Scoggins 1995 "Field test of motor efficiency and load changes through air-gap torque," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 10, no. 3, pp. 477–483.

K. Ikuanobe and T. Wilke, "Guildelines for implementing an energy efficient motor retrofit program," unpublished.

T. G. Habetler, R. G. Harley, R. M. Tallam, S. B. Lee, R. Obaid and J. Stack 2002 "Complete current-based induction motor condition monitoring: Stator, rotor, bearings, and load," in *Proc. CIEP VIII IEEE Int. Power Electron. Congr.*, pp. 3–8.

E. J.Wiedenbrüg and A. K.Wallace 1998 "Induction machine speed extraction by analysis of stator current signatures," in *Proc. Electric Manuf. Conf.*.

J. Hsu, J. Kueck, M. Olszewski, D. Casada, P. Otaduy, and L. Tolbert 1996 "Comparison of induction motor field efficiency estimation methods," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 34, no. 1, pp. 117–125, Jan./Feb. 1998. and load under field conditions," Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Laboratory Rep. ORNL/ TM-13165.

J. D. Kueck, M. Olszewski, D. A. Casada, J. Hsu, P. J. Otaduy, and L. M. Tolbert 1996 "Assessment of methods for estimating motor efficiency and load under field conditions," Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Laboratory Rep. ORNL/ TM-13165.

A. Wallance, A. Von Jouanne, E. Wiedenbrug, E. Matheson, and J. Douglass 2001 "A laboratory assessment of in-service and non-intrusive motor efficiency testing methods," *Electr. Power Compon. Syst.*, vol. 29, no. 6, pp. 517–529.

J. D. Kueck 1998 "Development of a method for estimating motor efficiency and analyzing motor condition," in *Proc. IEEE Pulp and Paper Ind. Tech. Conf.*, pp. 67–72.

W. Benning 1997 "Method of determining the efficiency of asynchronous motors and apparatus for carrying out the method," U.S. Patent 5 659 232, Aug. 19.

R. L. Nailen 1994 "Finding true power output isn't easy," *Electr. App.*.

"In-plant electric motor loading and efficiency techniques," Ontario Hydro, Toronto, ON, Canada, Market Literature.

ORAL PRESENTATION

Myocardial infarction complication estimation with feature reduction

İsmail Cantürk[1*] (*ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0690-1873*)

[*1]Yildiz Technical University, Faculty of Electrical and Electronics, Department of Biomedical Engineering, İstanbul, Turkey.

*Corresponding author e-mail: icanturk@yildiz.edu.tr

Abstract
When some part of the heart does not receive enough blood flow, the necrosis process of the heart muscles starts. This process is related to death of that muscles. This condition is called as myocardial infarction or heart attack. Myocardial infarction can cause several complications such as various rhythms disorders and heart failure. Early diagnosis of the complications is significant for the treatment. In this study, we propose an expert system to detect one of the myocardial infarction complications by using the patient information. To remove the redundant features, feature reduction algorithm was applied.
Keywords: Machine learning, Classification, Myocardial infarction

INTRODUCTION

Myocardial infarction, also known as heart attack, is related to necrosis of heart muscle. This process occurs due to not enough blood flow to some part of the heart. There might be no blood flow or the flow might be decreased (Saleh and Ambrose 2018). Myocardial infarction is one of the largest causes of morbidity and mortality rate around the world. It is the reason of more than 2.4 million deaths in the USA and more than 4 million deaths in Europe and northern Asia (Nichols, Townsend et al. 2014). The health of 7 million people in the world is affected by this disease every year (Reed, Rossi et al. 2017).

Myocardial infarction may cause different complications. Early diagnosis of the complications is important for the treatment. The experts try to find the complications by using clinical tests like echocardiography (Reeder 1995). Various rhythms disorders and heart failure are among the myocardial infarction complications (Rossiev, Golovenkin et al. 1995). Rossiev et al.(Rossiev, Golovenkin et al. 1995) estimated four myocardial infarction complications with artificial neural networks. Golovenkin et al. (Golovenkin, Bac et al. 2020) proposed a semi-supervised methodology for the complication forecasting. Gürsoy and Varol (Gürsoy and Varol 2021) predicted rhythms disorder complications with machine learning methods.

In this study, we use the patient information to predict the development of one of the myocardial infarction complications. The patient information includes age, gender, and lots of clinical data. Machine learning methods were utilized to deal with this task. The machine learning methods may reduce the need for experts and also may be used as decision support systems.

MATERIALS AND METHODS

Myocardial infarction complications database (Golovenkin, Gorban et al. 2020) has recently made publicly available (https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Myocardial+infarction+complications). The dataset was collected in the Krasnoyarsk Interdistrict Clinical Hospital located in Russia between the years 1992-1995. There are records of 1700 patients. Input and output feature sizes are 112 and 12, respectively. Input features are patient information and output features are complications (Table 1). The dataset contains patient information collected at different time moments. These time moments are:

(i) admission to hospital
(ii) the end of first day
(iii) the end of second day
(iv) the end of third day