

## ELEKTRİK MOTOR ve SÜRÜCÜLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Eyüp AKPINAR, Tolga SÜRGEVİL

Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Kaynaklar Kampüsü - Buca, İzmir

### 1. Giriş

Enerji üretimine bağlı olarak gelişen çevre kirliliği, enerji gereksiniminin artışına bağlı olarak artan enerji üretim ve dönüşümüne yapılan yatırımlar, enerjinin daha verimli kullanımını gündeme taşımıştır. Tüketiciler tarafta verimin artırılması, enerjinin en yoğun kullanıldığı endüstri alanında enerji verimliliğini yükseltmeyi zorunlu hale getirmiştir. Endüstride tüketilen enerjinin yaklaşık %75 oranı elektrik motorları aracılığı ile dönüştürülmektedir. Her ne kadar endüstride kullanılan motorların gelişkin üretim aşamalarında verimlilikleri yüksek tutulmaya çalışılsa da, bilimsel yöntemlerin kullanıldığı üretim tesislerinde bile sincap kafesli üç faz 1 ve 100 hp arasındaki asenkron motorlarda verim 78 ile 92% arasında değişmektedir [1]. Bu yüzdeğer en verimli kullanılacak motorların dahi enerji verimliliği açısından tasarım ve kontrolünde gözden geçirilmesi gereken unsurlar olduğunu yansımaktadır. Bu alanda yapılacak enerji verimliliği programlarının uygulanması bir taraftan enerji üretim merkezlerine yapılacak yatırımları azaltabilecek iken diğer taraftan üretilerek ürünlerin maliyetini düşürecegi için sanayicinin rekabet etme gücünü artıracaktır.

Enerji planlaması sanayileşmiş ülkelerde yapılırken, özellikle 500 kW ve yukarısı güçlerde kurulu yük bulunduran sanayi kuruluşlarının enerji verimliliği açısından işletmelerdeki prosesin, kontrol dizgelerinin ve motor sürücü ünitelerinin yeniden yapılandırılması önemle vurgulanmaktadır. Bu amaçla endüstrinin yoğun kuruluduğu bölgelerde enerji üretim, iletim ve dağıtımını denetleyen kuruluşlar, bölgelerdeki sanayiciler ve üniversiteler ortak projeler geliştirerek enerji verimliliğinin artırılma yöntemlerini somutlaştırmaktadırlar.

Elektrik motorlarının sanayide verimli kullanımı üç ana başlık altında toplanabilir:

- 1) Asenkron motorun doğrudan şebekeye bağlı çalıştırılması durumunda enerji

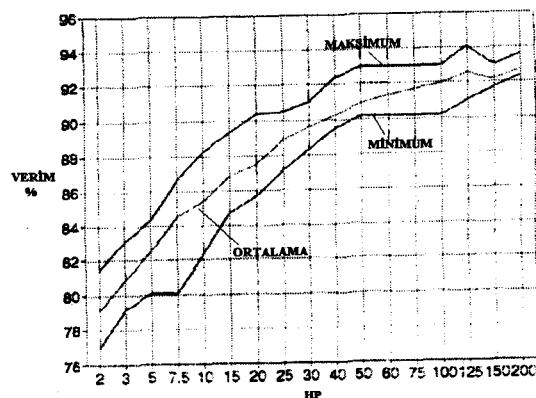
## Enerji Motor ve Sürücülerinin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisi

verimliliği yüksek motorların tercih edilmesi. 2) Motor sürücü devrelerinin seçiminde yüksek verim kıtasının aranması. 3) Aynı işi yapabilecek değişik tipte yüksek verimli motor seçimi.

Bu bildiride enerji verimliği kıtasında bu üç seçenek işlenecektir.

### 2. Enerji Verimliliği Yüksek Asenkron Motorlar

1970 li yılların ikinci yarısına kadar motor tasarımindan temel unsur verilen anma değerlerini sağlayacak minimum maliyyette motorun tasarımı ve üretimi idi. Bu nedenle kullanılan bakır, alüminyum ve demirin minimum maliyyette kullanımı amaçlanırdı. Makinanın verimi kullanım aşamasında oluşacak ısınma içerisinde değerlendirilip, ısınmaya neden olan bakır ve demir içerisindeki güç kaybı akım ve akı yoğunluğu kıtaslarıyla sağlanır. Bu kıtasalar doğrudan verimin maksimize edilmesi olarak değerlendirilmek, yükselecek ısının belirli bir limit altında kalmasını hedeflerdi. Halbuki bu durum motordaki havalandırmaya ve paketlenmesine bağlı olarak ısıyla demir ve bakır kayıpları arasındaki ilişkiyi birlikte kurup minimize edilmesini engeller. Bu nedenle aynı tasarım sınırlandırmalarındaki motorlarda (paketleme ve havalandırmaya bağlı olarak ısı aynı seviyede tutulurken) verim değişik değerlerde oluşur. Buna örnek olarak 3 faz, 1800 devir/dakika NEMA B standartında ki asenkron motorlarda verim-motor gücü eğrileri şekil 1 de verilmiştir. Örnek olarak 7.5 hp gücünde bir motor seçilecek olursa motorun verimi kabul edilebilir NEMA standartlarına göre 80% ile 87% arasında herhangi bir değerde olabilir. Eğer makinanın 80% verimde çalıştığı düşünülürse giriş gücünün 6993 Watt ve kayıpların 1398 Watt olması beklenirken, 87% verimde çalışan bir motorun giriş gücü 6431 Watt ve kayıpların 836 Watt olması gereklidir. Aynı çıkış gücünü sağlayan bu iki motorun giriş enerjileri arasında yaklaşık %8.5 oranında bir fark vardır.



Şekil 1: NEMA B Sınıfı Motorlarda Verim

Elektrik enerjisi tüketim birim fiyatlarının sürekli artması elektrik motorlarında verimin yükseltilmesi ve verimli motorların seçimi gündeme getirmiştir. Bu amaçla motor üreticiler NEMA B sınıfında olan asenkron motorlarda güç kayıplarını %25-%43 oranında azaltacak yeni tasarımlara yönelmiştir. Enerji verimliliği yüksek motorlar üreticiler tarafından 250 hp' ye kadar üretime bilmektedir. Genelde asenkron makinalarda verim senkron hızı yaklaşıkçe arttığı için, enerji verimliliği yüksek motorların tam yükteki rotor hızları normal motorlara göre daha yüksektir. Yapılan bir çalışmada [2] normal asenkron motorlar yerine enerji verimliliği yüksek asenkron motorlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada hedeflenen; eğer normal motor yerine maliyeti daha fazla enerji verimliliği yüksek motor kullanılsaydı yatırılan para tasarruf edilen enerji maliyeti ile ne kadar sürede geri dönecekti. Bu hesaplamada yıllık maliyet analizi aşağıdaki eşitlikle yapılabilir:

$$S = 0.746(hp)(P)(H)(100/E-100/F)$$

Bu eşitlikte; S yıllık tasarruf bedeli, hp çıkış gücü, P kWh başına ödenen bedel, H bir yılda toplam çalışma saatı, E standart motor verimi, F enerji verimliliği yüksek motorun verimidir. S değerinin motorların maliyeti arasındaki farka bölümü sonucu elde edilen değer yüksek maliyetteki motora ödenen farkın kaç yılda geri döneceğini verecektir.

Seçilen motorlar 20 ve 250 hp arasında olup, motorların yılda 8000 saat çalıştığı varsayımlı yapılmıştır. Motorlar değişik kutup sayılarında 3600, 1800, 1200 ve 900 devir dakikada senkron hızlara sahiptir. Araştırma sonuçları tablo 1 de verilmiştir.

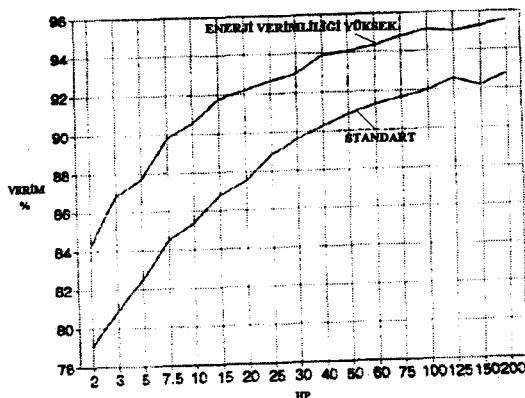
Tablo 1: Geri ödeme süresi

Hp	20	20	20	100	100	100	200	200	200	250	250	250
%yük	95	75	60	95	75	60	95	75	60	95	75	60
3600	0.35	0.47	0.52	1.33	1.55	1.71	1.00	1.13	1.13	1.5	1.74	1.81
1800	0.61	0.9	1.07	0.71	0.81	0.94	1.24	1.83	1.88	1.91	2.34	2.66
1200	1.01	1.27	1.48	2.14	2.55	2.86	1.29	1.64	1.87	0.56	0.62	0.60
900	1.64	1.95	2.29	1.85	2.29	2.71	1.44	1.37	1.4	1.13	0.89	0.97

Enerji verimliliği yüksek motorlar normal asenkron motorlara göre daha düşük güç faktörüne sahiptir ancak enerjinin üretimi için harcanan yakıt miktarı motorun çektığı gerçek watt.saat ile orantılı olduğu için yakında tasarruf yapılacaktır.

Asenkron motorların çalışma karakteristikleri motora uygulanan gerilime bağlıdır. Şebeke gerilimindeki değişimler motorun çalışmasını doğrudan etkilememektedir. Normal asenkron motor ve enerji verimliliği yüksek motor için gerilim değişiminin etkisi tablo 2 verilmiştir [1]. Gerilim seviyesindeki değişimler anma gerilimine göre ifade edilmiştir. Motora uygulanan gerilimin anma geriliminden %10 daha düşük, %10 ve %20 daha yüksek olduğu varsayılmıştır. Enerji verimliliği yüksek motorların verimi gerilim değişimlerine göre daha az değiştiği tablodan gözlenebilir.

## Enerji Motor ve Sürücülerinin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisi



Şekil 2: Enerji Verimliliği Yüksek Motorlarda Verim

Tablo 2 Gerilim değişiminin motor üzerindeki etkisi

	Anma geriliminin 90%	Anma geriliminin 110%	Anma geriliminin %120
Başlangıç ve maksimum torku	%19 azalma	%21 artma	%44 artma
Senkron hız	Değişim yok	Değişim yok	Değişim yok
Kayma (slip)	%23 artma	%17 azalma	%30 azalma
Tam yükteki hız	%1 azalma	%1 artma	%1 artma
Başlangıç akımı	%10-12 azalma	%10-12 artma	%25 artma
Tam yükteki verimde değişim	%0.5-1 artma(*) %1-2 azalma(**)	%1-4 azalma(*) %0.5-1 artma(**)	% 7-10 azalma(*) değişim çok az(**)
% yükleme verimde değişim	%1-2 artma(*) değişim çok az(**)	%2-5 azalma(*) değişim çok az(**)	%6-12 azalma(*) %0.5-2 azalma(**)
% yükleme verimde değişim	%2-4 artma(*) %1-2 artma(**)	%4-7 azalma(*) %1-2 azalma(**)	%14-18 azalma(*) %7-20 azalma(**)

\*NEMA B Standart asenkron motor

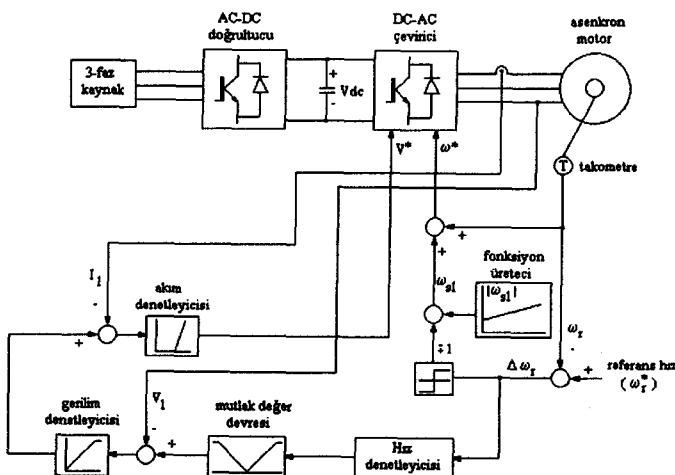
\*\*Enerji verimliliği yüksek motor

## 3. Motor Sürücüsü

Mikrodenetleyici tabanlı Güç Elektroniği devreleri motorların sürülmüşinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Motorların doğrudan şebekeye bağlanması yerine güç elektroniği tabanlı sürücüler aracılığıyla hız denetiminin yapılması durumunda % 50 kadar varan enerji tasarrufu yapmak olasıdır [3-6]. Bu devreler aracılığı ile motorun milinde sürekli hız denetimi yapılabildiği gibi, motorun veriminin çalışma koşullarında maksimize edilmesi de olanaklıdır. AC motorlar genellikle DC motorlara göre daha ucuz olmasına rağmen DC motor hız kontrol devreleri AC motor hız kontrol devrelerine göre daha basittir. Doğru akım makinalarındaki yüksek başlangıç torku elde etme avantajı güç

elektroniği devreleri kullanılarak fırçasız asenkron motorlar içinde geçerli hale getirildiği için asenkron motorlar sürücülerile birlikte doğru akım motorlarının yerini sanayide almaya başlamıştır. Motor sürücüsü Güç Elektroniği devreleri aracılığıyla ac ve dc motor seçenekleri yerine fırçasız sabit mıknatıslı motorlar ve anahtarlamalı relüktans motorlar gibi motorlarda kullanıma girmiştir.

Şekil 3' de güç elektroniği devreleri kullanılarak gerçekleştirilen asenkron motor hız sürücü sistemi gösterilmektedir [7]. Bu sistemde asenkron motorun değişken frekans ve gerilim kontrolü DC-AC çevirici ve buna bağlı kontrol devreleriyle gerçekleştirilmektedir. Kontrol şemasındaki fonksiyon üreticisi asenkron motorun mevcut rotor hızında en yüksek verimde çalışmasını sağlayacak kayma faktörü bilgisini verir. Bu kontrol bloku daha önceden hesaplanmış kayma faktörü değerlerinin tutulduğu sabit bir bellek yardımıyla veya en yüksek verim noktasını arayan bir kontrol mantığıyla mikrodenetleyici tabanlı olarak gerçekleştirilebilir. Bu sistemdeki gerilim ve akım denetleyicileri ise motorun gerilim ve akım değerlerinin anma değerlerinin üzerine çıkışmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır.



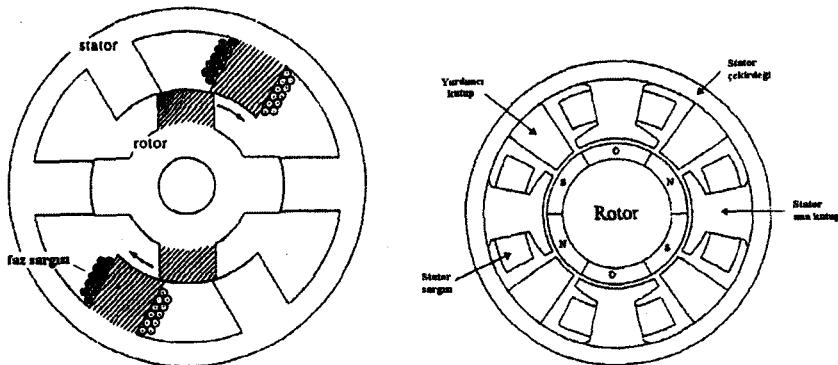
Şekil 3. Değişken Hız Asenkron Sürücü Devresiyle Verim Kontrolü

#### 4. Yüksek Verimli Diğer Motorlar

Asenkron, senkron, üniversal ve dc motorlarda oluşan güç kaybı genelde endüvi sargılarında, rotor sargılarında, demir nüvede (çekirdek kaybı) ve sürtünmede oluşur. Bu motorlara ek olarak anahtarlamalı relüktans motorlar ve sabit mıknatıslı motorlar günümüzde yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır [8-9]. Anahtarlamalı relüktans motorların rotorlarında sargı olmaması nedeniyle verimleri yüksektir. Ayrıca bu motorlar

## Enerji Motor ve Sürücülerinin Enerji Verimliliği Üzerine Etkisi

ve sabit mıknatıslı motorlarda fırça olmaması nedeniyle arıza yapma özellikleri fırçalı motorlara göre daha düşüktür. Dökme sac demir nüve yerine tasarlanmış sargılar üzerine yüksek basınç ve sıcaklıkta toz halindeki manyetik materyalin sıkıştırılması tekniği ile üretilen motorlarda hacim daha da küçültülerek aynı güçte makine üretimi günümüzde uygulanmaya girmiştir.



Şekil 4 Anahtarlamalı Reluktans ve Sabit Mıknatıslı Motor Yapıları

## 5. Sonuç ve Öneriler

Enerji verimliliği yüksek motorların seçimi hem ürün içindeki enerji maliyetini düşürecek hemde enerji üretim yatırımlarına katkı koyacaktır. Motorların denetlenmesinde güç elektroniki devreleri tercih edilmelidir. TSE tarafından bir "motor seçim programı" geliştirilmeli ve bu program ülkede üretilen tüm motorların teknik bilgilerinin dökümünü içermelidir. Motor satın alacak kişi ve kurumlar bu program aracılığı ile enerji verimliliği en yüksek motoru seçebilmelidir. TEAŞ-TEDAŞ, EİE İdaresi, Endüstri ve Üniversiteler yoğun sanayi bölgelerinde ortak projeler yaparak kurulu sistemlerin verimliliğini artırma yöntemlerini geliştirmelidir. Enerji verimliliği yüksek motorların tasarım, üretim ve kullanımı DPT tarafından teşvik edilmelidir. Enerji ve Sanayi Bakanlıklarının enerji verimliliğini sanayide artırmaya yönelik ulusal programlar ortaya koyması gereklidir.

## Kaynaklar

- 1] Andreas, J. C., "Energy Efficient Electric Motors : Selection and Application", Marcel Dekker Press, 1992.
- 2] Pillay, P., "Applying Energy-Efficient Motors in the Petrochemical Industry", IEEE Trans. on Industry Applications Magazine, Vol:3, Issue:1, Jan-Feb, 1997, pp:32-40.

- 3] Julio, C., Lipo, T. A., Blasko, V., "Simple Efficiency Maximizer for an Adjustable Frequency Induction Motor Drive", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol:27, No:5, sep. 1991, pp:940-946.
- 4] Famouri, P., Cathey, J. J., "Loss Minimization Control of an Induction Motor Drive", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol:27, No:1, Jan 1991, pp:32-37.
- 5] Sul, S., Park, M., H., "A noval Technique for Optimal Efficiency Control of a Current - Source Inverter - Fed Induction Motor", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol:3, No:2, April 1988, pp:192-199.
- 6] Kioskeridis, I., Margaris, N., "Loss Minimization in Scalar-Controlled Induction Motor Drives with Search Controllers", ", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol:11, No:2, March 1996, pp:213-220.
- 7] Dubey, K. G., "Power Semiconductor Controlled Drives", Prentice-Hall, 1989.
- 8] Miller, T.J.E. "Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives", Clarendon Press, 1989.
- 9] Kenjo, T., Nagamori, S., "Permanent-Magnet and Brushless DC Motors", ", Clarendon Press, 1985.

