

ASANSÖR MAKİNALARINDA MIKNATIS UYARMALI SENKRON MOTOR VE DOĞRUDAN TAHRİK SİSTEMİNİN KULLANIMI

H.Tarık DURU
Kocaeli Üniversitesi
Elektrik Müh. Bölümü
tduru@kou.edu.tr

Rıfat DEMİRÖZ
AKAR ASANSÖR ve
MAKİNA SAN..LTD
info@akarasansor.com.tr

Yeşim TOKTAŞ
AKAR ASANSÖR ve
MAKİNA SAN.LTD
info@akarasansor.com.tr

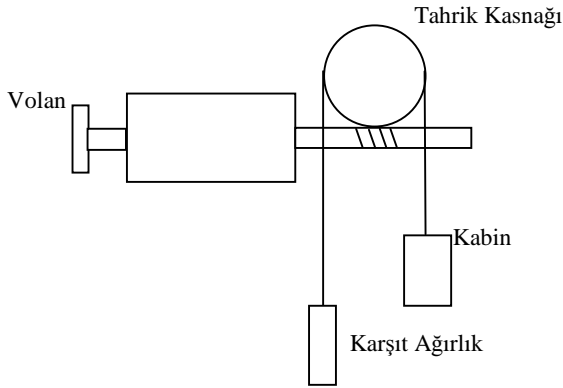
ÖZET

Bu çalışmada klasik dişli kutulu asansör makinalarının enerji verimliliği açısından bir değerlendirmesi yapılmış ve son yıllarda giderek daha fazla kullanım alanı bulan mıknatıs uyarmalı senkron motorlu dişsiz tahrik sistemleri genel olarak tanıtılmıştır. Bildiride ayrıca yerli teknoloji ile AKAR Asansör ve Makine San. Tarafından üretimi yapılan dişsiz asansör motor prototiplerinin özellikleri verilmiştir.

1. GİRİŞ

Modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası olan asansörler, elektrikle hareketlendirme (tahrik) sistemleri açısından da önemli bir konu başlığı oluşturmaktadır. Elektrik Mühendisliğinin en hızlı gelişen dallarından biri olan elektrikle hareketlendirme sistemleri ve elektrik motor tasarımlarında yaşanan gelişmeler, endüstriyel uygulamaların yanı sıra asansör sistemlerinde de klasik çözümlerin yerine yeni ve üstün seçeneklerin oluşmasına neden olmuştur. 1980’li yıllarda geliştirilen Nadir Toprak Elementli NdFeB ve SmCo mıknatısların elektrik motorlarında kullanılmaya başlanması, klasik olarak uyarma sargısından akım geçirilmesi yolu ile elde edilen manyetik akının, mıknatıslar yolu çok küçük hacimlerde ve hiç bir kayıp olmaksızın elde edilebilmesine olanak sağlamıştır. Özellikle, çok kutuplu senkron motor tasarımlarının, sargılı tiplere göre daha küçük boyutlarda ve daha yüksek verimli olarak tasarlanabilmelerine olanak sağlamıştır. Gelişen güç elektroniği ve motor denetim sistemlerinin yardımı ile mıknatıs uyarmalı senkron motorların asansör tahriğine uygun düşük hız ve yüksek döndürme momentlerinde sorunsuz olarak çalıştırılabilmesi mümkün olmuştur. Doğrudan tahrik sadece asansör sistemlerine özgü bir gelişme olmayıp, endüstrinin hemen her alanında uygulaması olan ya da ileride uygulanabilecek olan bir teknolojidir ve temel avantajları dişli sisteminin neden olduğu verimsiz çalışma, bakım gereksinimi, gürültü ve hız sınırlaması gibi sakıncaların tümüyle ortadan kalkmasıdır. Bu yazıda, klasik dişli kutulu asansör sistemleri ve modern doğrudan tahrikli asansör sistemlerinin genel bir incelemesi yapılmış ve Türkiye’de tümüyle ulusal teknoloji ile AKAR ASANSÖR MAKİNA LTD. tarafından üretilen ilk mıknatıs uyarmalı senkron asansör motor prototipleri tanıtılmıştır [1].

2. GELENEKSEL DİŞLİ KUTULU ASANSÖR SİSTEMLERİ



Şekil 1. Geleneksel Asansör Mekanizması

Geleneksel olarak asansör sistemlerinde iki bağımsız sargılı çift hızlı ($2p=4$ ve $2p=16$) asenkron motorlar kullanılır [2]. Asansör motorlarında kalkış döndürme momentinin yüksek, kalkış akımının özellikle düşük olması için kafes yapısı standart asenkron motorlardan farklı olarak genellikle dar bakır çubuklu ve derin rotor oluklu tipte imal edilirler. Rotor mili aynı zamanda sonsuz vidayı da içerecek şekilde tek parça yapılır. Kabin ve karşı ağırlığın asıldığı halatları hareket ettiren kasnak, vidalı milin çark tarafına bağlıdır. Asansör makinasında ayrıca, ivmelenmeyi sınırlayan bir volan, fren tamburu ve elektromekanik frenler bulunur. Frenler ve volan yüksek hızlı mil tarafında bulunur.

Geleneksel sistemin en önemli unsuru olan vidalı milli dişli kutusu (worm gear) yüksek hızlı motor mili ile düşük hızlı tahrik kasnağı arasında bir devir hızı- döndürme momenti değişimi oluşturur. Tipik olarak dönüştürme oranı 36:1 ile 57:1 değerleri arasındadır. Sonsuz vida sistemi mekanik özellikleri açısından düz dişli kutularından bir hayli farklıdır. Sonsuz vidalı sistemlerde aktarma verimi vidalı mil tarafından döndürüldüğünde,

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}\lambda}{\operatorname{tg}(\lambda + \Phi)} \quad (1)$$

çark tarafından döndürüldüğünde de

$$\eta' = \frac{\operatorname{tg}(\lambda - \Phi)}{\operatorname{tg}\lambda} \quad (2)$$

bağıntıları ile verilir [2]. Burada

λ : Helis açısı,

Φ :Tanjantı dişler arasındaki sürtünme katsayısına eşit olan açıdır ($\operatorname{tg}\Phi=\mu$).

Görüldüğü gibi sonsuz vidalı sistemlerde aktarma yönüne göre verim farklı değerlerdedir. Helis açısının küçük değerleri için vidadan çarka doğru aktarma verimi η %50 'den küçüktür. Bu durumda, çarktan motora doğru verim η' ise negatif değerler alır. Enerji kullanımını açısından olumsuz bir durum yaratan bu özellik, asansörler için çok önemli olan emniyet açısından fayda sağlayan otoblokaj özelliğini de birlikte getirir. Negatif verimin

anlamı kasnak tarafından vida tarafına güç ve enerji aktarmanın mümkün olmadığı, ve her türlü yük ve hareket yönü için asansör motorunun “motor “ olarak çalışması gerektiğidir.

Pratikte kullanılan sonsuz vidalı dişli kutularının verimi %45-%55 arasında olduğu düşünülürse, geleneksel asansör mekanizmasının enerji verimliliği yönünden iki önemli sakınca yarattığı söylenebilir.

1-Motor gücü mekanik güç ihtiyacına göre 1.75 -2.25 kat büyük seçilmek zorundadır. Bu motor koruma sistemi, kablolama ve şalt cihazlarının da büyük seçilmesini gerektirir.

2- Elektrik motorlarının eşsiz faydalı frenleme özelliğinden yararlanılamamaktadır. Örneğin, karşıt ağırlığın etkisi ile yüksüz durumda şebekeye enerji vererek yukarı çıkması mümkün bir durum için motor, kabini şebekeden enerji çekerek çıkartmak zorundadır.

Örnek olarak 4 kişilik (320 kg) ve hızı 1 m/s olan bir asansör sisteminde, gerekli tahrik gücü, karşıt ağırlığın kabin ağırlığının tamamını ve yükün yarısını dengelediği kabul edilerek ve dişli verimi 0.45 alınarak

$$P_{\text{motor}} = (m_{\text{yük}} g) v / (2 \eta)$$

$$P_{\text{motor}} = [(320\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2) \times 1 \text{ m/s} / (2 \times 0.45)]$$

$$P_{\text{motor}} = 3484 \text{ W}$$

olarak bulunur. Asansör motorlarının genellikle standart motorlardan daha düşük verimli oldukları bilinmektedir. Yukarıdaki örnekte motor verimi %75 alınırsa,

$$P_{\text{giriş}} = 3484 / 0.75 = 4645 \text{ W}$$

olur. Sistemin elektrik enerjisinden mekanik enerjiye veriminin,

$$\eta_{\text{el-mek}} = (m_{\text{yük}} g \times v) / (2 \times P_{\text{giriş}}) \quad (4)$$

$$\eta_{\text{el-mek}} = [(320 \text{ kg} \times 9.81\text{m/s}^2 \times 1\text{m/s}) / (2 \times 4645 \text{ W})]$$

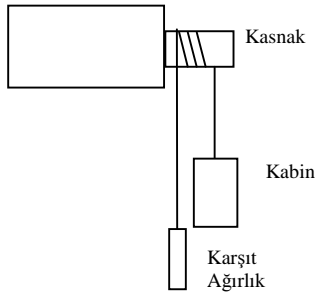
$$\eta_{\text{el-mek}} = 0.3375$$

gibi düşük olduğu görülür.

Düşük verimin yanı sıra, gürültü, bakım gereksinimi ve hız sınırlamaları nedeniyle sonsuz vidalı dişli kutulu geleneksel asansör sistemlerinin bir çok sakınca ve olumsuzluk içerdiği görülmektedir..

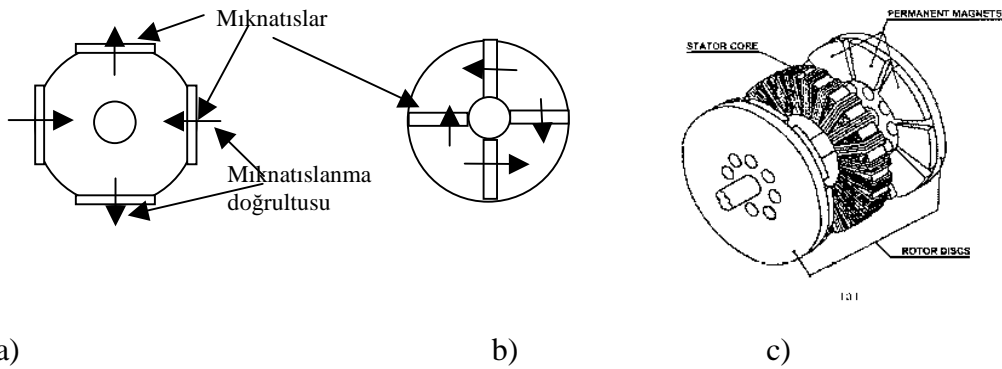
3. ASANSÖR SİSTEMLERİNDE DOĞRUDAN TAHRİK ve MIKNATIS UYARMALI SENKRON MOTOR KULLANIMI

Yukarıdaki sakıncaların giderilebilmesi için ilk akla gelen çözüm, vidalı dişli kutusu kullanmadan motorun tahrik kasnağına doğrudan bağlandığı şekil 2.'deki sistemin kullanılmasıdır. Burada motorun asansör sisteminin gerektirdiği hız ve döndürme momentinde çalışması gereklidir. Dolayısı ile yavaş dönen ve çok yüksek döndürme momenti üreten bir motora gereksinim vardır. Modern çözümler arasında bu amaca en uygun motor tipi çok kutuplu ve mıknatıs uyarmalı senkron motordur.



Şekil 2. Doğrudan tahrikli asansör sistemi

Giriş bölümünde de değinildiği gibi, son yıllarda elektrik makinalarında yüksek enerjili NdFeB ve SmCo mıknatısların kullanımında büyük bir artış görülmektedir. Fırçalı ve Fırçasız doğru akım motorları, küçük ve orta güçlerdeki rüzgar türbin jeneratörleri, orta, yüksek ve çok yüksek güçlü senkron motorlar mıknatısların en çok kullanıldığı elektrik makinalarıdır. Özellikle NdFeB mıknatıslar, 1.2 T ' yı geçen yüksek Remenans İndüksiyonları, 900 kA/m civarındaki zorlayıcı alan şiddetleri ve 120 °C'lik maksimum çalışma sıcaklıkları nedeni ile bir çok motor uygulaması için mükemmel bir çözüm oluşturmaktadırlar. Senkron motorlarda da mıknatıslar uyarma sargılarının yerini alacak şekilde rotora yerleştirilirler. Mıknatısların rotora yerleştirilmesinde farklı yöntemler kullanılır. En sık rastlanılan tasarımlar, mıknatısların rotor yüzeyine yerleştirildiği tasarımlar ve mıknatısların rotora yarıçap doğrultusunda gömüldüğü tasarımlardır. Ayrıca disk tipi eksenel akılı motor tiplerine de rastlanmaktadır.



Şekil 3. Mıknatıs uyarmalı senkron motor rotorları

a) Rotor yüzeyine yerleşik mıknatıslı tasarım,

b) Rotora gömülü tasarım,

c) Eksenel akılı disk tipi tasarım [3].

Tüm doğrudan tahrik uygulamalarında, dişli kutusunun sistemden çıkartılabilmesi için bu amaçla tasarlanacak motorun yüksek bir döndürme momenti üretmesi ve düşük hızda çalışması gerekir. 2. Bölümde örneği verilen sistem için, tahrik kasnağının çapı 0.40 m, olduğu düşünülürse, kasnak tarafındaki güç ve momentler aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

.Kasnak Döndürme Momenti,

$$M_{\text{kasnak}} = r_{\text{kasnak}} m_{\text{yük}} g / 2 \quad (5)$$

$$M_{\text{kasnak}} = 0.2 \text{ m} \times 320 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 / 2 \\ = 313 \text{ Nm},$$

Kasnak Devir Hızı,

$$\omega_{\text{kasnak}} = v / r_{\text{kasnak}} = 1 \text{ m/s} / 0.2 = 5 \text{ rad/s}$$

$$n_{\text{kasnak}} = 6.25 \text{ rad/s} \times (60 / 2\pi \omega_{\text{kasnak}}) = 47.75 \text{ d/dk}$$

Kasnak Gücü,

$$P_{\text{kasnak}} = M_{\text{kasnak}} \times \omega_{\text{kasnak}} = 1956.25 \text{ W}$$

Bu değerler yardımı ile tasarlanacak senkron motorun, 320 kg kaldırma kapasitesi için nominal hızı ve döndürme momenti belirlenmiş olur. 640 kg kapasite için de motor gücü ve döndürme momenti yukarıdaki değerlerin yaklaşık iki katı olur. Kabin hızı 1 m/s yerine 1.2 .. 1.8 m/s gibi daha yüksek değerlerde tasarlanırsa motor gücü aynı oranda artacaktır. Nominal hızı 50..100 d / dk, ve nominal döndürme momenti 330 (660) Nm olan senkron motorun tasarımı, normal bir mıknatıslı senkron motor tasarımından oldukça farklıdır ve gerek tasarım, gerekse de imalat ve montajı bilgi birikimi ve önemli bir teknolojik alt yapı gerektirmektedir. Nitekim, bu tip motorların şu andaki üreticileri KONE , WITTUR KRONN, MITHSUBISHI, LEROY-SOMER, Z&A gibi yüksek teknolojiye sahip dünyanın önde gelen firmalarıdır.

Tasarım aşamasında bu özellikteki bir motorun stator yapısı yüksek kutup sayısına olanak verecek sayıda oluk içerecek ve aşırı bir gövde boyutu oluşturmayacak şekilde optimize edilmelidir. Kullanılacak sargı tekniği hem sinusoidal bir MMK dağılımı yaratacak hem de sarım aşamasında aşırı bir işçilik gerektirmeyecek tarzda optimize edilmelidir. Tüm bu işlemlerde yoğun bir bilgisayarlı tasarım-analiz çalışmasına gerek vardır. Elektriksel tasarım için sonlu elemanlar analizleri, mekanik tasarım için de 3 boyutlu katı modelleme ve dinamik - statik mukavemet analizleri yapılmalıdır. Özellikle stator dişlerindeki tutunma etkisi stator ve rotora uygun şekiller verilerek giderilmelidir. Aksi takdirde yüksek frekanslı titreşimler, askı halatlarında umulmadık bir akustik etki oluşturarak istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Bunun yanı sıra mıknatısların seçimi, tasarımı ve rotora yerleştirilmesi önemli tasarım problemleri arasındadır. Mıknatısların rotor yüzeyine yerleştirilmesi ve mıknatıslı rotorun statora yerleştirilmesi de bir deneyim ve önemli bir teknolojik altyapı gerektirir.

Bir yılı aşkın bir süredir yapılan yoğun Ar-Ge çalışmaları ve Üniversite – Sanayi işbirliği sonucunda uluslararası emsalleri ile kıyaslanabilir performans özelliklerine sahip 3 adet prototipin imalatı gerçekleştirilmiştir. Prototipler için 225 mm’lik mil yüksekliği için iki farklı paket boyunda iki tasarım ve 200 mm’lik mil yüksekliği için ayrı bir tasarım yapılmıştır. Tablo 1.’de tasarlanan motorların nominal değerleri verilmiştir. Prototipler çalışır halde Nisan ayında düzenlenen uluslararası ASANSÖR 2005 İSTANBUL fuarında sektöre tanıtılmışlardır. Şekil 4.’te prototiplerin fotoğrafları verilmiştir.

Mil Yüksekliği (mm)	Nominal Güç (kW)	Nominal Döndürme Momenti (Nm)	Nominal Hız (d/dk)	Nominal Akım (A)
225	4.5	750	60	15
225	11	1100	90	35
200	4.5	330	140	15



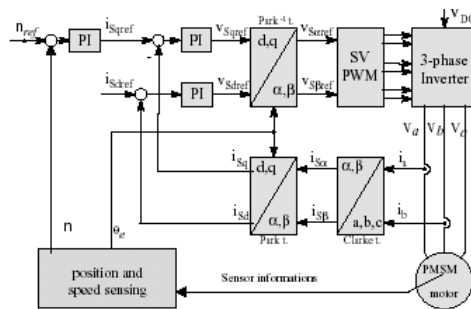
a) 200 mm’lik prototip motor

b) 225 mm’lik prototip motor

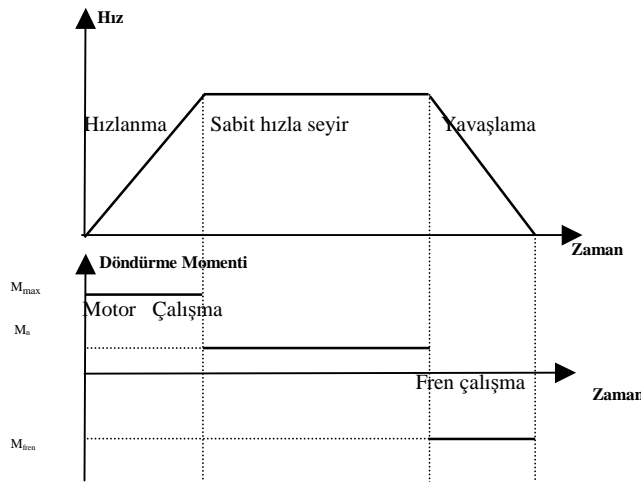
Şekil 4. Doğrudan tahrikli asansör sistemleri için geliştirilen mıknatıs uyarmalı senkron motor prototipleri.

Doğrudan tahrikli sistemlerde çok kutuplu mıknatıs uyarmalı senkron motorların kullanılması durumunda, motorun yüksek güvenlik ve konfor koşullarında çalışabilmesi için yüksek denetim özellikleri bulunan bir sürücü ile beslenmesi gerekir. Şekil 5.’te böyle bir sürücü sistemin prensip şeması verilmiştir. Üstün bir moment üretimi ve denetimi için motorun sinusoidal bir hareket gerilimi üretmesi ve sinusoidal akımlarla beslenmesi gereklidir. Alan yönlendirme (Field Orientation) olarak adlandırılan denetim yönteminde rotor akı vektörünün (rotor konumunun) hassas bir şekilde algılanarak, gereksinim duyulan döndürme momentlerine göre motor akımının "q" eksen bileşenin sürekli olarak güncellenip, bu sayede elde olunan üç fazlı akım büyüklüklerinin motor fazlarına enjekte edilmesi gerekir. Denetimde kapalı çevrim hız-konum ve akım denetimli alan yönlendirme esaslı gelişmiş bir

algoritmanın kullanılması zorunludur. Bu algoritmanın gerçek zamanda uygulanabilmesi için yüksek hesaplama yeteneği olan DSP'lerin kullanılması gereklidir. Konum denetimi için yüksek duyarlıkta ve rotor konumunun sin-cos değerlerini de üreten bir mutlak mil kodlayıcı kullanılmalıdır. Prototiplerde kullanılan kodlayıcı iki kutup arasını 16 bitlik bir çözünürlükle, bir mekanik dönüşü de 13 bitlik bir çözünürlükle kodlayarak çok yüksek bir hassasiyet sağlamaktadır. Ayrıca kodlayıcı ile sürücü arasında gürültü ve diğer elektromanyetik etkileşimlerin giderilmesi ve güvenilirliğin artırılması için yüksek hızlı SSI ya da ENDAT protokolleri ve RS 485 tipi diferansiyel seri haberleşme sistemleri kullanılmalıdır. Doğrudan tahrik sisteminde işletme sırasındaki frenleme enerjisinin harcanması için sürücünün ara devresinde yüksek güçlü bir fren direncinin bulunması gereklidir. Bazı sürücülerde ara devreden şebekeye enerji akışını sağlayacak ek üniteler bulunmaktadır. Bu teknoloji halen geliştirilme aşamasında olup, nihayi hedef giriş doğrultucusu üzerinden bu işlemi gerçekleştirip, hem iki yönlü enerji akışını hem de giriş güç faktörünü ve akım dalga şeklini harmoniksiz bir duruma getirmektir.



Şekil 5. Mıknatıs uyarımlı senkron motor sürücü devresi prensip şeması [4]



Şekil 6. Tipik Hız-Zaman ve Moment Zaman diyagramı.

Şekil 6.'da doğrudan tahrikli bir asansör sisteminin tipik bir hız zaman ve Moment-Zaman diyagramı görülmektedir. Görüldüğü gibi böyle bir çalışma tahrik açısından 1. ve 2. bölgeleri kapsayan bir çalışmadır. Aksi yön için de 3. ve 4. bölgelerde çalışacağı düşünülürse, sistemin 4 bölge bir çalışma sergilediği görülür. Kalkış ve frenlemelerde motor döndürme momentini ve akımı anma değerinin yaklaşık 1.6- 2 katı olabilir. Bu açıdan doğrudan tahrikli asansör sistemi, düşük hızda çalışan ancak denetim özellikleri açısından da bir servo sistem duyarlılığında olan ilginç bir tahrik sistemidir.

Elektriksel frenlemenin yanı sıra durma esnasında, doğrudan tahrikli bir sistemin mekanik olarak da kilitlenmesi için bir elektromekanik frenleme sistemine ihtiyaç vardır. Bu amaçla enerjisiz durumda kilitlenen (fail safe) ve birbirinden bağımsız iki balatalı elektromekanik fren sistemi kullanılır. Prototiplerde kullanılan fren sisteminin tasarımı ve üretimi de AR-GE çalışması kapsamında AKAR tarafından gerçekleştirilmiştir.

Düşük devir sayılı ve yüksek kutuplu tasarımlarda motor verimi doğal olarak hızlı dönen motorlara oranla düşük gerçekleşir. Mevcut teknoloji ve tasarımlarda bu tarz bir motorun verimi %60-70 civarındadır. Asansör direktiflerine göre mevcut sistemlerde kasnak çapı belirli bir ölçünün altına indirilemeyeceğinden, verimi yükseltmek için motor hızının artırılması ancak ek bir palanga sistemi ile sağlanabilir. Bu sistem yardımıyla motor hızının 120 d/dak- 150 d/dak 'ya çıkarılması ve veriminin de %80-85 gibi göreceli olarak yükseltilmesi mümkün olmaktadır.

Dişli sistemi bulunmadığından sistemin elektrik enerjisinden mekanik enerjiye verimi yaklaşık olarak motorun verimine eşit alınırsa, 2. bölümde hesaplanan %35'ler düzeyindeki verimin normal askı için %60'a, palangalı sistem için %80'lere kadar yükseltilmesinin mümkün olacağı görülür. Buna faydalı frenleme özelliği ve diğer işletme, bakım ve konfor kazanımları da eklenirse doğrudan askı sisteminin enerji verimliliği ve işletme özellikleri açısından asansör sistemleri için bir çığır açtığı söylenebilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada geleneksel, asenkron motorlu ve vidalı milli dişli sistemi ile, modern mıknatıs uyarmalı çok kutuplu senkron motorlu asansör sistemlerinin, elektrik enerjisinden mekanik enerjiye dönüşümündeki enerji verimi açısından karşılaştırılması yapılarak, doğrudan tahrik sisteminin üstünlükleri vurgulanmıştır. Doğrudan tahrik sisteminin çalışma özellikleri ve genel prensipleri verilmiş ve tasarımda göz önüne alınması gereken önemli hususlar sıralanmıştır.

En ucuz enerji harcanmayarak tasarruf edilen enerjidir. Bu çalışmada da görüleceği gibi bir çok geleneksel sistem enerji verimliliği açısından son derece elverişsiz çalışmaktadır. Endüstrinin her alanında, büyüklü küçüklü dişli aktarmalı pek çok sistem çalışmaktadır. Doğrudan tahrik ve mıknatıs uyarmalı senkron motorlar her alanda uygulama olanağı olan, geleceğin en önemli tahrik sistemi seçeneğidir.

Bu teknolojinin Türkiye'ye getirilmesi ve her fırsatta eksikliğinden yakınılan Üniversite – Sanayi işbirliğinin bu şekilde başarı ile uygulanması bundan sonraki projelere de güzel bir örnek olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Asansör ve Krenlerin Elektrik Motorları ile Tahriki;
E.Ünalın; İTÜ Kütüphanesi. Sayı 547

[2] Asansör Sistemlerinde Doğrudan Tahrik Ve Mıknatıs Uyarmalı Senkron Motor Kullanılarak Enerji Verimliliğinin Yükseltilmesi; H.T.Duru,R.Demiröz,Y.Toktaş, 1. EVK Sempozyumu, Kocaeli 2005

[3] Axial-flux permanent-magnet motor for direct-drive elevator systems without machine room;
Ficheux, R.L.; Caricchi, F.; Crescimbeni, F.; Honorati, O.; Industry Applications, IEEE Transactions on , Volume: 37 , Issue: 6 , Nov.-Dec. 2001 Pages:1693 - 1701

[4] Application Note spr 588,Texas Instruments (www.ti.com)

[5] Asansör sistemlerinde doğrudan tahrik ve mıknatıs uyarmalı senkron motor kullanımı;
H.T.Duru,R.Demiröz,Y.Toktaş; 3e Electrotech Eylül 2005