

ASANSÖRLERDE MODERN DİŞLİSİZ TAHRİK SİSTEMLERİ ve ENERJİ VERİMLİLİĞİ

H.Tarık DURU

Kocaeli Üniversitesi
Elektrik Müh. Bölümü
tduru@kou.edu.tr

Rıfat DEMİRÖZ

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

Anahtar Kelimeler: Mıknatıs Uyarmalı Senkron Motor, Dişlisiz Asansör Tahrik Sistemleri, Doğrudan Tahrik

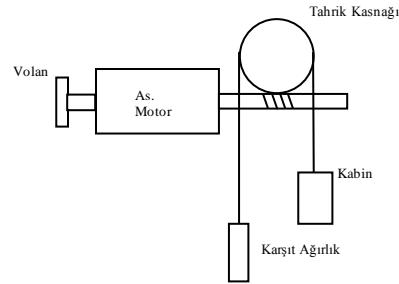
1. GİRİŞ

Enerji hiç şüphesiz yaşadığımız çağın en önemli konusudur. Varolan kaynakların giderek azalması ve küresel ısınma gibi önemli çevresel etkiler, hem temiz enerji kaynaklarının giderek önem kazanmasına neden olmuş, hem de her alanda olabildiğince düşük enerji tüketen sistemlerin tasarlanmasını evrensel bir mühendislik problemi olarak ortaya koymuştur. Modern bir mühendislik çözümünün beklide en önemli niteliği çevreye duyarlı olması, enerjiyi etkin ve verimli kullanmasıdır.

Son yıllarda enerji verimliliği açısından en önemli gelişmelerin yaşandığı konu başlıklarından birisi de asansör sistemleridir. Elektrik Mühendisliği'nin en hızlı gelişen dallarından biri olan elektrikle hareketlendirme sistemleri ve elektrik motor tasarımlarında yaşanan gelişmeler, endüstriyel uygulamaların yanısıra 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 magnetik 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 senkon 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 bildiride, klasik dişli kutulu asansör sistemleri ve modern doğrudan tahrikli asansör

sistemlerinin genel bir incelemesi yapılmış, dişlisiz sistemlerin temel boyutlandırılma özellikleri verimlilik açısından değerlendirilmiştir.

2. GELENEKSEL DİŞLİ KUTULU ASANSÖR SİSTEMİ



Şekil 1. Geleneksel Asansör Mekanizması

Geleneksel olarak asansör sistemlerinde iki bağımsız sargılı çift hızlı ($2p=4$ ve $2p=16$) asenkron motorlar kullanılır. 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. (NEMA D tasarımı) Rotor mili aynı zamanda sonsuz vidayda içerecek şekilde tek parça yapılıdır. Kabin ve karşıt 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. Genel olarak dönüştürme oranı yükseldikçe verim

düşer. Sonsuz vida sistemi mekanik özellikleri açısından düz dişli kutularından bir hayli farklıdır. Sonsuz vidalı sistemlerde aktarma verimi vidalı mil tarafından döndürüldüğünde,

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

çark tarafından döndürüldüğünde de

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

bağıntıları ile verilir. Burada

λ : Helis açısı,

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

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 kullanımı açısından olumsuz bir durum yaratan bu sistem, asansörler için çok önemli olan emniyet açısından faydalı olan 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 gerektirir.

Pratikte kullanılan sonsuz vidalı dişli kutularının verimi %55-%75 arasında olduğu düşünülürse, geleneksel asansör mekanizmasının enerji verimliliği yönünden iki önemli sakınca yarattığı söylenebilir.

1-Motor gücü mekanik güç ihtiyacına göre 1.5 -2.0 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 0.60 alınarak

$$P_{\text{motor}} = (m_{\text{yük}} g) v / (2 \eta) \quad (3)$$

$$P_{\text{motor}} = [(320\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2) \times 1 \text{ m/s} / (2 \times 0.6)]$$

$$= 2,613 \text{ W}$$

bulunur. Çift hızlı asansör motorlarının genellikle standart tek hızlı endüstriyel motorlardan daha düşük verimli oldukları bilinmektedir. Yukarıdaki örnekte motor verimi %80 alınırsa,

$$P_{\text{giriş}} = 2613 / 0.80 = 3266 \text{ W}$$

olur. Sistemin elektrik enerjisinden mekanik enerjiye veriminin,

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

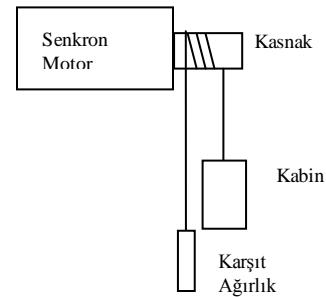
$$\eta_{\text{el-mek}} = [(320 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m/s}) / (2 \times 3266 \text{ W})]$$

$$= 0.48$$

gibi düşük olduğu görülür.

Sadece bu inceleme dahi enerji verimliliği açısından geleneksel asansör sistemlerinin son derece elverişsiz olduğunu göstermektedir.

3. MIKNATIS UYARMALI SENKRON MOTOR (MUSM) ve DİŞLİSİZ TAHRİKLİ ASANSÖR SİSTEMİ



Şekil 2. Dişlisiz tahrikli asansör sistemi

Şekil 2.'de dişlisiz tahrikli bir asansör sistemi gösterilmiştir. Sistemin en temel unsuru düşük devir – yüksek döndürme momenti özelliği olan mıknatıs uyarmalı senkron motordur (MUSM). Önceki sayısal örnek göz önüne alındığında, tahrik kasnağının çapı 0.40 m, olduğu düşünülürse, kasnak tarafındaki güç ve momentler aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Kasnak Döndürme Momenti,

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

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

$$= 313 \text{ Nm},$$

Kasnak Devir Hızı,

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

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

Kasnak Gücü,

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

Elde edilebilir. Buradan görüldüğü gibi bu sistem için kullanılacak MUSM, 300..350 Nm, 50 d/dk, 1.5 kW yaklaşık değerlerde olacaktır. Motor gücünün bir önceki örnekle kıyaslandığında önemli ölçüde azaldığı gözlenmektedir. Doğal olarak taşıma kapasitesi ve seyir hızına bağlı olarak oldukça geniş bir aralıkta değişen döndürme momenti, devir hızı ve güç değerleri söz konusu olmaktadır.

Mıknatıs uyarmalı senkron motor ile tahrik edilen dişlisiz asansör makine-motorları bir çok bakımdan geleneksel sistemlerle kıyaslanamayacak üstünlük ve avantajlara sahiptir [1],[2],[3]. Motora akuple edilen yüksek duyarlıklı mutlak enkoder ve hassas denetim sağlayan kapalı çevrim sürücü sistemi sayesinde kalkış, duruş ve seyir esnasında mükemmel bir konfor sağlamaktadır.

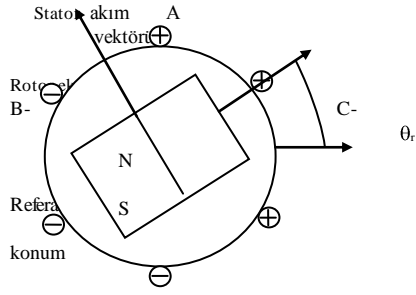
Asenkron motorlara kıyasla çok daha etkin gerçekleştirilen döndürme momenti (tork) ve hız denetimi sayesinde, programlanan hız-zaman eğrisi tüm yük koşullarında büyük bir doğrulukla izlenmekte ve kat hizalamasında kusursuz bir hassasiyet sağlamaktadır. Yumuşak kalkış ve duruşlar sayesinde halat-kasnak arasındaki sıyrılmalar minimum düzeyde tutulduğundan halat ve kasnak aşınmaları klasik sistemlere göre oldukça düşük bir düzeydedir. Dişli grubunun tümüyle ortadan kalkması, bakım ve onarım gereksinimini büyük ölçüde azaltmıştır. Periyodik yağ değişimi, yetersiz yağlama altında çalışma sonucu ortaya çıkabilecek sorunlar, ses ve vibrasyon problemleri ve arızalar dişlisiz sistemlerde tamamen ortadan kalkmıştır.

Konforun yanı sıra mıknatıs uyarmalı senkron motorlu dişlisiz tahrik sistemlerinin, geleneksel asenkron motor ve vidalı redüktörle tasarlanan sistemlere kıyasla en önemli üstünlüğü getirdiği enerji tasarrufudur [2]. Dişli grubun ortadan kalkması ile aynı tahrik gücü gereksinimi (aynı seyir hızı ve taşıma kapasitesi) için geleneksel sistemlere göre %40-%50 oranlarında daha

küçük motor gücü seçilmesi mümkün olmaktadır. Motorun bu ölçüde küçülmesi sürücü, şalt, kablo ve diğer bileşenlerin de aynı oranda küçülmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle 2:1 askı sistemlerinde kullanılan ve nispeten yüksek hızla dönen mıknatıs uyarmalı senkron motorlarda enerji verimi (harcanan elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşme oranı) asenkron motorlardan daha yüksek düzeylere çıkmaktadır. Bu şekilde, dişlisiz sistemlerin sürekli kullanımdaki elektrik enerjisi tüketimi geleneksel sistemlerden %50'ye varan oranlarda düşük gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Her alanda enerji verimliliğinin önem kazandığı ve hatta yasalarla denetim altına alındığı bir ortamda, bu çok önemli üstünlüğü dişlisiz sistemlerin bir adım öne çıkmasına, tercih ve hatta teşvik edilmesine neden olmalıdır. Dişlisiz sistemlerin daha da ilginç bir özelliği de, kullanılan sürücünün izin vermesi koşulu ile, dengelenmemiş ağırlığın seyir yönünde etki etmesi durumunda oluşan frenleme enerjisinin, şebekeye geri beslenebilmesi ve bu sayede net enerji tüketiminin daha da düşürülebilmesidir. Yakın bir gelecekte, giderek daha çok sayıdaki sürücü üreticisinin, bu şekildeki çalışmaya olanak verecek sürücü tiplerini geliştireceği öngörülerek, bu önemli özelliğin de gözardı edilmemesi gereklidir.

4. MUSM ÇALIŞMA İLKESİ

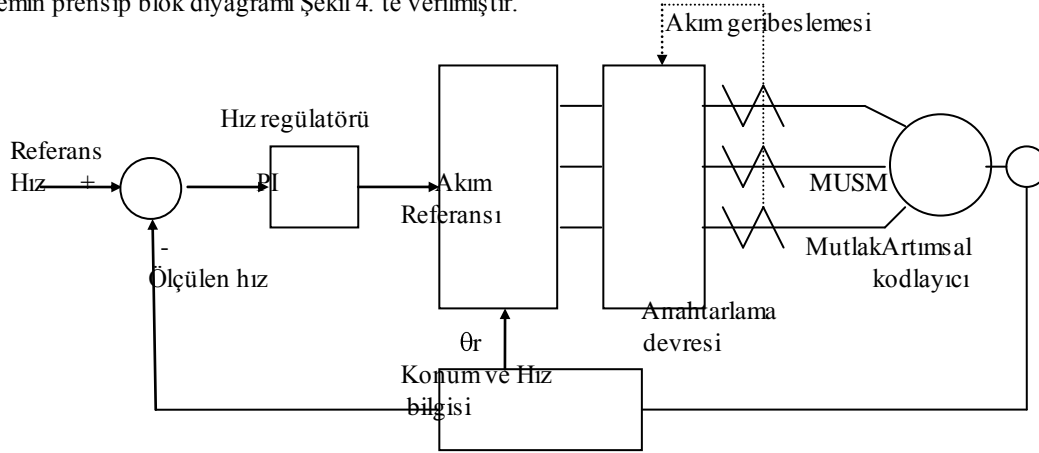
Asansör tahriginde kullanılan MUSM'lar sinüs hareket gerilimi üretecek şekilde tasarlanırlar ve düzgün bir döndürme momenti üretebilmeleri için de stator sargılarından sinüzoidal akımlar geçirilir. Etkin bir moment ve hız denetimi için stator akım vektörü her t anında, rotor konumuna bağlı olarak (mıknatısların oluşturduğu rotor magnetik eksenine ile aralarında 90°'lik bir elektriksel açı olacak şekilde) konumlandırılır. Akım vektörünün büyüklüğü ise gereksinim duyulan döndürme (frenleme) momentine göre hız regülatörü tarafından ayarlanır. Bu işlem için, akım denetimli bir inverter ve rotor konum algılayıcısına (enkoder) gereksinim duyulur. Akım denetimi genellikle "Uzay Vektör Modülasyonu" yöntemi ile gerçekleştirilir. Motorun ilk beslendiği anda rotor konumunun belirlenmesi için konum algılayıcısının mutlak konum ölçme özelliğinin bulunması gereklidir; motor bir kez harekete geçtikten sonra, konum bilgisi, algılayıcının artımsal kanalından okunarak akım vektörünün rotorla senkronize dönmesi sağlanır. Asansör tahriginde kullanılan konum algılayıcılardaki artımsal kanal işareti, geleneksel artımsal kodlayıcılardaki kare dalgadan farklı olarak sinus-cosinus şeklindedir. Bu şekilde konumunun daha yüksek çözünürlükle ölçülmesi ve stator akım vektörünün çok hassas bir şekilde rotor pozisyonuna kilitlenmesi sağlanır. Şekil 3.'te örnek bir an için bu konumlanma gösterilmiştir.



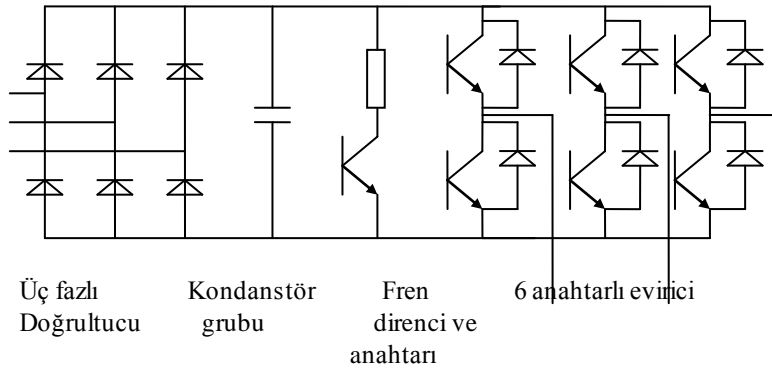
Şekil 3. Stator akım vektörünün anlık konumu.

Bu şekilde mümkün olan en yüksek konforda ve en düşük enerji tüketimi ile çalışan bir asansör sistemi elde edilmiş olur. Asansör teknolojisindeki genel eğilim de çok yakın bir gelecekte söz konusu sistemlerin geleneksel dişli kutulu sistemlerin yerini tümüyle alacağını göstermektedir. Özellikle yeni kurulan tesislerde ve yenileme yapılan tesislerde özellikle dişlisiz sistemlerin tercih edilmesi enerji tüketimi açısından önemli bir gelişme sağlayacaktır.

Bu şekilde akım vektörü, moment üretim ve denetimi açısından en uygun olan konumda tutulmuş olur. Akım vektörünün büyüklüğü hız denetleyicinin çıkışındaki değere bağlı olarak denetlenecektir. Sistemin prensip blok diyagramı Şekil 4.'te verilmiştir.

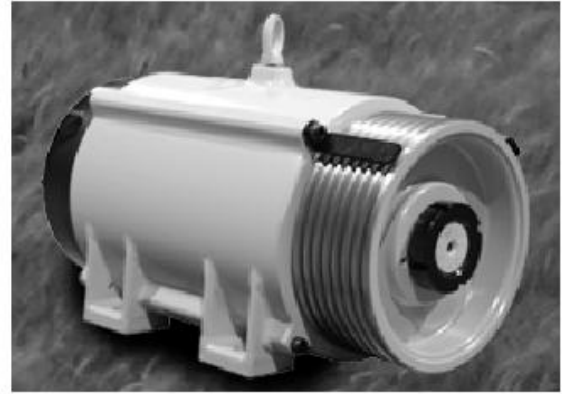


Şekil 4. MUSM kapalı çevrim hız denetim prensip şeması.



Şekil 5. Anahtarlama devresi.

Şekil.5'te temel anahtarlama devresi gösterilmiştir. Bu temel yapı tüm hız denetim cihazlarında mevcuttur. denetleyici programlanan referans hızın değerine ve o anki işletme koşullarına bağlı olarak referans akımı arttırıp azaltacak, gerekirse frenleme bölgesine geçecektir.bulunmaktadır. Yeni nesil faydalı frenleme özellikli sistemlerde ise giriş doğrultucusu da IGBT anahtarlı şekildedir ve frenleme enerjisini şebekeye geri beslemektedir..



Şekil 6. Çeşitli dişlisiz asansör motorları

5. DİŞLİSİZ TAHRİKLİ ASANSÖR SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRILMASI ve VERİME ETKİLERİ

MUSM ile tahrik edilen bir asansör sisteminin boyutlandırılmasında ilk veri gereksinim duyulan döndürme momenti ve devir hızıdır. Bu iki veri, tasarlanacak asansör sisteminin işletme hızı, yük kapasitesi ve askı tipi ve kasnak çapına bağlı olarak elde edilebilir. Normal işletme durumunda motorun üretmesi gereken döndürme momenti

$$M_{\text{motor}} = r_{\text{kasnak}} g(m_{\text{yük}} + m_{\text{kabin}} - m_{\text{ka}}) / \ddot{u} \eta \quad (6)$$

ile verilir.
Burada;

r_{kasnak} : tahrik kasnağının yarıçapı (m),

$m_{\text{yük}}$: yük kütlesi (kg),

m_{kabin} : kabin kütlesi (kg),

m_{ka} : karşıt ağırlık kütlesi (kg),

\ddot{u} : Askı tipine bağlı katsayı (direkt askı için 1, 2:1 askı için 2 alınır),

η : Kuyu ve halat sisteminin verimidir.

Motorun devir hızı da,

$$\omega = \dot{\theta} \quad (v / r_{\text{kasnak}}) \quad (\text{rad/s}) \quad \text{veya}$$

$$n = \omega (60/2\pi) \quad (d/dk)$$

ile hesaplanır.

Normal koşullarda karşıt ağırlık, kabin ağırlığının tamamı ile anma yükün yarısını dengeleyecek şekilde seçilir. Askı tipi, motor boyutlandırılmasını önemli ölçüde etkiler. Örneğin 0.16 m yarıçaplı bir tahrik kasnağı ile çalıştırılacak 1000 kg, 1m/s 'lik bir sistemde kuyu verimi % 80 kabul edilirse,

$$\begin{aligned} 1:1 \text{ askı için } M_n &= 980 \text{ Nm,} \\ n &= 59.68 \text{ d/dk } (\omega_n = 6 \text{ rad/s}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2:1 \text{ askı için } M_n &= 490 \text{ Nm,} \\ n &= 119.36 \text{ d/dk } (\omega_n = 12 \text{ rad/s}). \end{aligned}$$

değerleri elde edilir. Dikkat edilirse tahrik gücü her iki motor için de 6.124 kW olmasına rağmen tamamen farklı iki motor gereklidir. Burada hesaplan değerler sabit hızla seyir durumunda ve dengelenmemiş ağırlığın tahrik yönünün aksine etki etmesi durumunda ve anma yükte oluşacak yük momenti değerleridir. Yolalma ve frenleme anlarında motorun üretmesi gereken döndürme momentleri bu değerlerden farklı olacaktır. Örneğin kalkış esnasında sistemin istenilen hız-zaman profilini izlemesi için motorun üretmesi gereken döndürme momenti yukarıdaki değerlerin 1.5-2 katına kadar çıkabilir. Bu değer istenilen hızlanma ivmesi, motor milindeki yük momenti ve motor miline indirgenmiş eşdeğer eylemsizlik momentine bağlıdır.

MUSM'larda belirli bir gövde büyüklüğü için ısı sınırlamalar dahilinde elde edilebilecek döndürme momenti belirlidir. Bu nedenle aynı gövde büyüklüğünde, anma hızına bağlı olarak farklı güçlerde motorlar tasarlanabilir [4]. Döndürme momentinin sabit olmasına karşılık, işletme akımları ve hız ve de motor gücü değişecektir. Eğer uygun tasarım kriterleri kullanılırsa, bir gövde büyüklüğü için tasarlanan farklı güçlerdeki motorlarda, kayıplar (stator bakır kayıpları) yaklaşık olarak sabit tutulabilir. Sadece stator bakır kayıpları düşünüldüğünde bir MUSM için verim ifadesi,

$$\eta_{\text{motor}} = M_n \omega_n / (3 I_n^2 R_s + M_n \omega_n) \quad (7)$$

ile verilebilir.

Doğal olarak sabit bir M_n ve bakır kayıpları için en yüksek güçlü (en hızlı dönen) motor o gövde büyüklüğündeki en verimli motor olacaktır. Belirli bir güç (hız) için tasarlanmış bir MUSM bu hızın üzerinde çalıştırılmak istenirse, artan hareket gerilimine karşın . bara gerilimi yetersiz kalacağından akım ve dolayısı ile hız denetimi yitirilebilir. Tasarlanan hızın altındaki hızlarda ise gereğinden yüksek akımla çalışacağından gereğinden yüksek akımlı bir sürücü kullanılması gerekecektir. Sonuç olarak spesifik bir işletme için özel olarak tasarlanmış bir MUSM, hem olabilecek en düşük akımla, hem de en yüksek verimle çalışacaktır. Bu bakımdan geleneksel sistemlere göre çok daha dikkatli bir sistem tasarımı gereklidir.

6. SONUÇLAR

Asansör sistemlerinde konfor ve enerji verimliliği açısından dişlisiz sistemlerin belirgin bir üstünlüğü olduğu görülmektedir. Bu nedenle yeni kurulacak tesislerde enerji verimli bu çözümün, tercih ve teşvik edilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu anlamda Enerji İşleri Etüd İdaresi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Sanayi Bakanlığı ve Asansör Sektörünün temsilcilerinin işbirliği ve koordinasyon içinde olmaları gerekmektedir. Asansörlerde verimlilik, asansör motorlarının verim sınırları ve diğer konular teknik ve bilimsel normlara uygun olarak hazırlanmalı ve yeni teknolojilerin önünü açacak şekilde yönetmeliklere geçirilmelidir.

7. KAYNAKLAR

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

[2] Asansör Sistemlerinde Mıknatis Uyarmalı Senkron Motor ve Doğrudan Tahrik Sisteminin Kullanımı; H.T.Duru,R.Demiröz,Y.Toktaş;Asansör Sempozyumu, İzmir 2006.

[3] Doğrudan Tahrikli Asansör Sistemlerinde kullanılan Mıknatis Uyarmalı Senkron Motorların Çalışma ve Boyutlandırma İlkeleri. H.T.Duru;R.Demiröz; Asansör Sempozyumu, İzmir 2008

[4] www.akarasansor.com.tr