

LİNEER MOTORLU BİR ASANSÖR KAPI TAHRİK SİSTEMİ

Mahir DURSUN¹

Harun ÖZBAY²

Fatmagül KOÇ³

¹GÜ Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar/Ankara
Tel:0(312)2028526, e-posta: mdursun@gazi.edu.tr

²Bilecik Üniversitesi, MYO Elektrik Bölümü, 11100 Gülümbe/Bilecik
Tel:0(228)2160061, e-posta: harun.ozbay@bilecik.edu.tr

³Gazi Üniversitesi, Gazi MYO Elektrik Bölümü, 06760 Çubuk/Ankara
Tel:0(312)2028526, e-posta: fatmagul@gazi.edu.tr

ÖZET

Asansör kapılarının açılıp kapanma süresi yolcu bekleme sürelerini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca bu kapıların güvenilirliği, yolcu güvenliği ile direkt ilgilidir. Bu çalışmada, SANTEZ kapsamında yürütülen proje ile asansör kapısı tahrikinde hızlı ve güvenli olarak kullanılmak amacıyla imal edilen Lineer Anahtarlamalı Relüktans Motor (LARM) 'lu bir asansör kapı tahrik sistemi ve bu sistemin tasarım aşamaları açıklanmaktadır. Kapı tahrikinde kullanılan klasik DC motor yerine Lineer 6/4 kutuplu, çift taraflı konfigürasyona sahip bir LARM kullanılarak kapı mekanizmaları basitleştirilmiştir. Ayrıca motor boyutları küçültülerek verim yükseltilmiş ve mekanizmaların azaltılması ile emniyeti artırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Lineer anahtarlamalı relüktans motor, Sonlu eleman analizi, Asansör kapısı, Tasarım

1.GİRİŞ

Tren, metro ve asansör gibi yolcu trafiğinin yoğun olduğu mekânlarda konfor, iklimlendirme, yetkisiz girişleri engelleme ve güvenlik nedeniyle otomatik kapı sistemleri tercih edilmektedir. Bu sistemlerde kullanılan otomatik kapı sistemlerinin açılıp kapanma süreleri, yolcuların bekleme sürelerini de önemli ölçüde etkiler. Ayrıca kışın ısı tasarrufu sağlama yanında çalışma alanlarına sadece yetkili personelin girişine izin verme gibi avantajlara da sahiptir. Bu sistemlerin performansı sistemi tahrik etmede kullanılan motorun yapısı ve sürücüsünün performansına bağlıdır.

LARM'ler basit yapıları, düşük maliyetli, hassas pozisyon kontrolü ve değişken hız elde etme kolaylığı ile birlikte yüksek itme/çekme kuvveti sağlamaktadırlar[1,2,3]. Bu özellikleri nedeniyle otomatik kapılarda kullanımı, kapı sisteminin performansını önemli ölçüde artıracaktır. Fakat kapı sistemlerinin standart olmayışı her kapı türü için farklı ve kapıya uygun çekme kuvveti uygulayacak optimum kapı tahrik motorunun tasarımını zorunlu kılmaktadır.

Asansör kapılarına uygulanacak kuvvet standardı ülkelere göre farklı değerlerdedir. Kapı standartlarında kapıya uygulanacak tahrik kuvveti, herhangi bir çarpma veya kaza anında canlıya zarar vermemesi için belirlenmiş sınırlar arasında tutulmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, klasik kapı tahrik sistemlerindeki DC motor ve kapı kontrol kartı yerine doğrusal olarak tahrik edilen asansör kapısı sisteminde kullanılabilen bir LARM ve kontrol kartı yerine motor sürücü devresi konularak bu motorun analizi yapılmıştır. Motor kapı kanadına sabitlenmiştir ve herhangi bir kayış kasnak ya da redüktör olmaksızın kapıyı hareket ettirebilmektedir. Tasarımın ilk aşamasında motorun gücü 100 W olarak belirlenmiştir. Buna göre LARM' nin yatay ekseninde 250 N çekme kuvveti üretmesi öngörülmüştür. Bu değer, çalışmada kullanılan asansör kapısının Türkiye için ilgili standartlara uygun ve kapıyı doğrusal olarak tahrik edilebilmesi için yeterlidir.

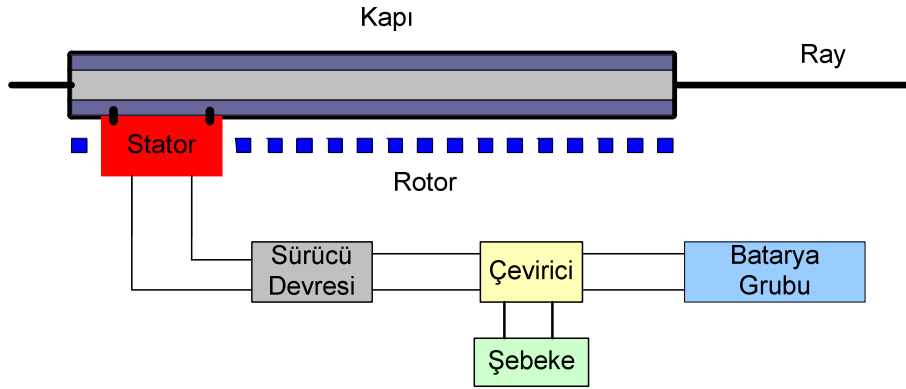
Çalışmanın birinci aşamasında, öngörülen temel parametrelere göre motorun fiziksel boyutları analitik olarak hesaplanmaktadır[4]. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bilgisayar destekli tasarım programları (CAD) kullanılarak motorun üç boyutlu modeli görselleştirilmektedir.

Analiz sonucu elde edilen statik karakteristikler değerlendirildiğinde tasarlanan lineer anahtarlamalı relüktans motordan alınan performans, asansör kapısı tahriği sağlamak amacıyla kullanımına uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca farklı güçlerde ve konumlarda yapılarak farklı amaçlı lineer hareket gereken uygulamalara da uyarlanabilir.

2. OTOMATİK KAPI TAHRİKİ

Günümüzdeki otomatik kapı sistemlerindeki hareket; dairesel hareketi sağlayan bir motor ve bu motorun hareket ettirdiği kayış sistemi ile kurulan bir mekanizma ile gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerde hareketi sağlayan kayış ve dişli sistemleri zamanla deforme olmakta, kolaylıkla bozulmaktadır. Bunun yanında motorların dairesel hareketinden dolayı sistemde titreşim oluşmaktadır. Oysa bu sistemlerde işin hızlı ve tam doğru, kullanılan cihazların uzun ömürlü, hareketli parçaların ve kullanılan eleman sayılarının az ve sistemin bakım gereksiniminin çok az olması gerekir.

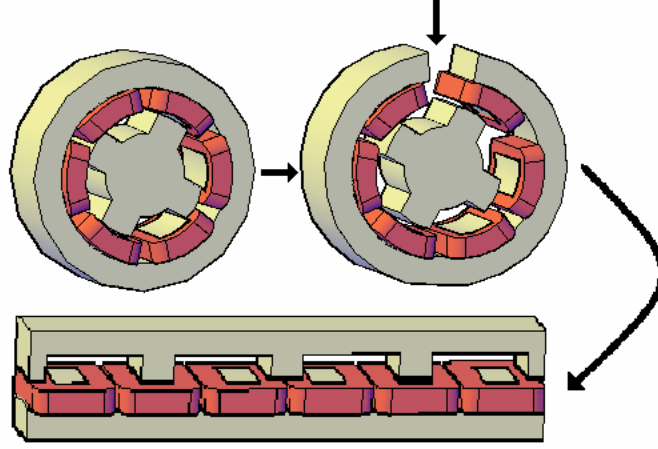
DC motorların kontrol yapılarının basitliği ve analog devre elemanlarıyla gerçekleştirilebilmesi sebebiyle başlangıçtan günümüze kadar DC motorlar yaygın şekilde kullanılmakta ve endüstride önemli bir yer teşkil etmektedir. Benzer şekilde tren, metro, asansör veya ameliyathane kapılarında da genellikle doğru akım motoru kullanılmaktadır. Ancak DC motorlarda bulunan fırça ve kollektör gibi mekanik parçalarından dolayı bu motorların arıza oranının yüksek olması, kollektör ve fırçalar arasında oluşan yanma ve patlama ihtimali olan ortamlarda kullanılmaması hız tepkisinin yavaş olması ve yüksek hızlarda kullanılmaması gibi sebepler DC motorların kullanımını sınırlamaktadır. Özellikle sık kullanılan kapı uygulamalarında fırça ve kollektör bakımı ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Ayrıca, DA motorlarının kalkışta yüksek akım çekmesi bir başka dezavantajı olarak görülebilir. İlk çalışma anında (kalkış), sağladıkları yüksek tork sebebiyle DA motorları tercih sebebi olmuştur.



Şekil 1 Lineer tahrikli bir asansör kapısında güç akışı

Lineer Anahtarlamalı relüktans motorlar ise yarıiletken teknolojisinin gelişimi ile birlikte oldukça hızlı bir gelişme kaydetmişlerdir. Hız kontrol aralığının çok geniş olması nedeniyle bu motorlar son yıllarda yaygın bir kullanım alanı bulmaktadırlar. Yapılarının basit, üretim ve bakım maliyetlerinin düşük olmasından dolayı endüstri ve tüketiciye yönelik uygulamalarda gittikçe artan bir ilgiye sahiptirler[5]. Sağladığı avantajlar nedeniyle hareket kontrol sistemlerinde diğer AC ve DC motorlara alternatif olarak birçok uygulama alanı bulmuştur[6]. Uygun bir konvertör devresi ve sürme sistemi ile kontrol edilen LARM' de diğer elektrik motorlarından daha yüksek verim elde edilebilir [7]. Bu motorlar yapı bakımından stator kutup sayısı rotor kutup sayısından farklı ve rotorlarında herhangi bir sargı bulunmayan fırçasız DC motorlardır.

Asansörler ve otomatik kapılar gibi doğrusal hareketin gerektiği birçok uygulama için LARM geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır [8]. Lineer Anahtarlama Relüktans Motor (LARM) yapısı, Şekil 2’den görüleceği gibi dairesel hareket eden ARM’ler ile aynıdır.



Şekil 2 - 6/4 Kutuplu LARM ve ARM

ARM’de bir faza ait sargılar enerjilendiği anda stator kutupları büyük bir elektromıknatis haline gelirler. Elektromıknatis haline gelen stator kutupları belli bir büyüklükteki tork ile en yakın rotor kutuplarını kendilerine doğru çekerler. Oluşan hareket, başlangıçta ayrı pozisyonda bulunan rotor kutuplarının hizalı pozisyona gelinceye kadar devam eder. Rotor kutbu hizalı pozisyona geldiğinde eğer bu fazın enerjisi kesilip sıradaki faza enerji verilmez ise rotor hareketi sona erer [9]. Motor kutuplarında kullanılan demirin mıknatıslanması manyetik akının yönünden bağımsız olduğundan ve devrenin simetrik çıkıntılara sahip olması nedeniyle rotor torku stator sargılarına uygulanan akımın yönüne bağımlı olmaktadır.

3. LİNEER ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR TAHRİKLİ KAPI TASARIMI

Anahtarlama relüktans motorlar, gerek statorunda gerekse rotorunda çıkık kutupları bulunan basit yapıya motorlardır. Bu çalışmadaki tasarlanan çift taraflı LARM’ nin stator sargılarının karşılıklı olanları paralel olarak bağlanmıştır. Aynı stator nüvesi üzerinde yan yana olanlar ise seri bağlanmıştır. Motorun statoru ve rotoru tamamen, bir tarafı silisli saçların paketlenmesinden oluşmuştur. Fakat rotorda herhangi bir sargı veya mıknatıs malzemesi bulunmaz.

Farklı kutup ve sargı yapılarına sahip LARM’ler tasarlanmasına karşın bu çalışmada asansör tahriki için tasarlanan motorun statorunda altı, rotorunda dört adet çıkık kutup bulunmaktadır. Böylece kontrol devresi için gereken ve motorun faz sayısı ile doğru orantılı olarak artan anahtarlama elemanlarının sayısı da minimum seviyede tutulmaktadır [10]. Asansör kapısının tahriki için tasarımı yapılan lineer anahtarlama relüktans motorun temel parametrelerinde güç 100W, nominal akım 5 A ve nominal çekme kuvveti 250 N olarak alınmıştır.

Motor parametreleri doğrultusunda motordaki her faz sargısı için uygulanan manyeto motor kuvveti (MMF Eşitlik 1 ile hesaplanır);

$$F = F_g + F_s + F_r \quad (1)$$

Buradaki F , her faz için uygulanan toplam manyeto motor kuvvetini göstermektedir. F_g , F_s ve F_r terimleri ise sırasıyla, hava aralığındaki kuvvet düşümünü, stator nüvesindeki kuvvet düşümünü ve rotor nüvesindeki kuvvet düşümünü göstermektedir.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2’ den yararlanılarak manyetik alan şiddeti bulunabilir;

$$F = N_f \cdot i = \sum H_g \cdot l_g + \sum H_s \cdot l_s + \sum H_r \cdot l_r \quad (2)$$

Buradaki N_f , her faz sargısı için sarım sayısını, i ise, sargıdan geçen akımı göstermektedir. H_g , H_s , H_r , l_g , l_s , l_r terimleri ise sırasıyla, hava aralığındaki, stator nüvesindeki ve rotor nüvesindeki manyetik alan şiddetlerini ve akı yolu uzunluklarını göstermektedir.

LAR motorun statorunda üretilen toplam akı;

$$\varphi_s(i, x) = B_s(i, x) \cdot A_s \quad (3)$$

şeklinde yazılır. Burada $B_s(i, x)$, i akımı altında ve x pozisyonunda iken stator kutbu akı yoğunluğunu, A_s ise stator kutbu alanını ifade eder.

Eşitlik 3 kullanılarak akı yoğunluğu bulunur ve nüvelerde kullanılan metallerin B-H karakteristik eğrilerinden manyetik alan şiddetleri (H) elde edilir. Motorun relüktansı, stator kutupları, rotor kutupları ve hava aralığı için elde edilen manyetik alan şiddetleri ve ortalama uzunluklar yardımıyla Eşitlik 4 ile hesaplanır;

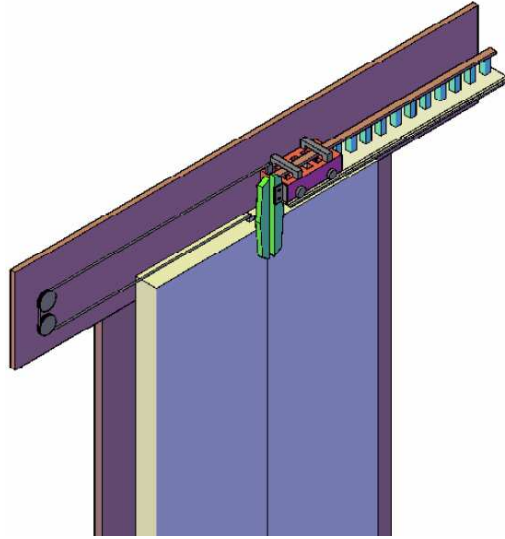
$$\mathfrak{R} = \frac{H \cdot l}{\varphi} \quad (4)$$

Bir fazın endüktansı ise toplam manyetik akı yolları kullanılarak Eşitlik 5'ten bulunur.

$$L(i, x) = \sum L(i, x) = \frac{N_f}{i} \cdot \sum \varphi(i, x) \quad (5)$$

Motorun geometrik boyutlarına ilişkin analitik hesaplamalarla elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, bu boyutlar üzerinde performans artırıcı yönde çeşitli iyileştirmeler yapılabilir.

Bu sonuçlara göre tasarlanan LARM tahrikli asansör kapısı Şekil 3' de görülmektedir.

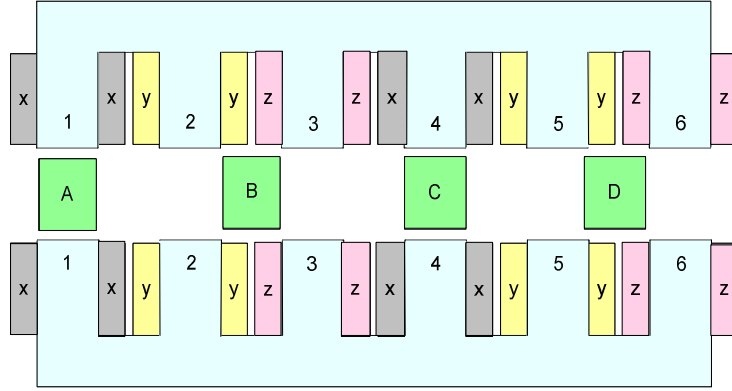


Şekil 3 LARM tahrikli asansör kapısı

4. LİNEER KAPI MOTORUNUN MANYETİK ANALİZİ

Motor sargılarının ayrı iki stator yapısına karşılıklı olarak yerleşimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Stator konumu rotora göre karşı karşıya durumundadır ve minimum relüktans göstermektedir. Bu durumda “y” sargıları enerjilendirilirse stator taşıyıcı olarak sağ tarafa doğru harekete geçecektir. Eğer diğer tarafa doğru hareket istenirse “z” sargıları enerjilendirilmelidir.

Stator ve rotor Steel 1010 karakteristiğindeki çelik malzeme ile tasarlanmıştır Stator sargılarında ise bakır kullanılarak, modelin dış bölgesi hava olarak atanmıştır.



Şekil 4 Lineer Anahtarlamalı Relüktans Motor Stator Sargılarının Yerleşimi

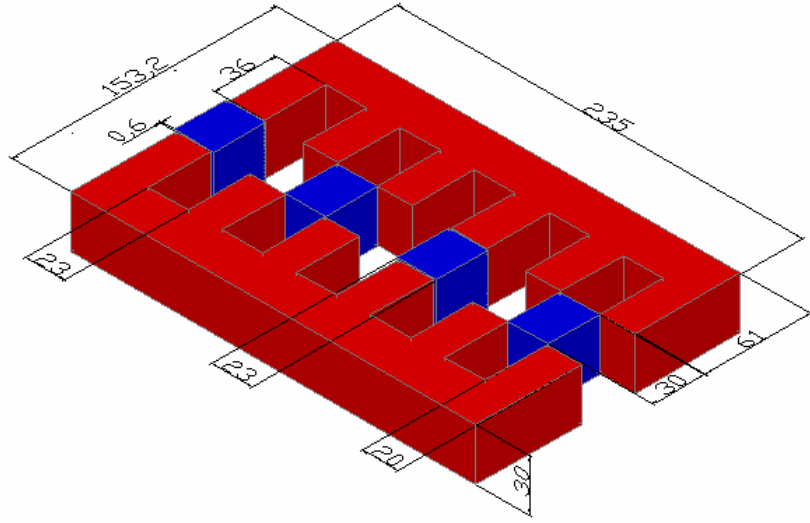
Motorun tasarıma uygun olarak mekanik ve elektriksel parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Bu parametreler doğrultusunda motor 3 boyutlu olarak bilgisayar ortamında görselleştirilmiştir.

Tablo 1 LAR motor parametreleri

Motor Özelliği	Ölçüsü
Faz Sayısı	3
Stator Kutbu Genişliği	20 mm
Stator Kutbu Aralığı	23 mm
Stator Kutup Yüksekliği	36 mm
Stator Derinliği	30 mm
Rotor Kutup Genişliği	23 mm
Rotor Deinliği	30 mm
Toplam Uzunluk	235 mm
Toplam Genişlik	153,2 mm
Hava Aralığı	0.6 mm
Çelik tipi	Steel 1010

Bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak çizilmiş motorun 3 boyutlu hali Şekil 5’te gösterilmektedir.

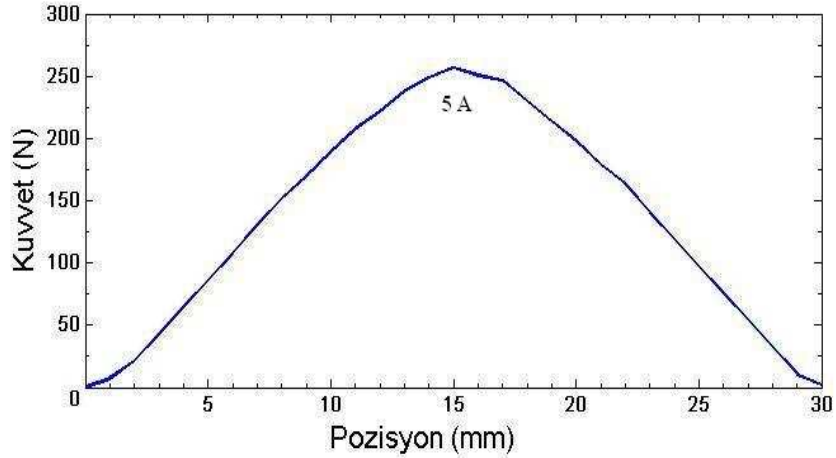
Motorun manyetik analizindeki değişkenler, rotorun konumu ve sargı akımlarıdır. Kullanılan yazılımı, rotor konumuna bağlı olarak motorun sonlu elemanlar yüzeyini oluşturmakta ve ardından faz endüktansları, moment, kuvvet, manyetik akı ve akı yoğunluğu gibi temel çıkış parametrelerini hesaplamaktadır.



Şekil 5 Tasarlanan LAR Motorunun üç boyutlu modeli

LARM'nin en önemli karakteristik eğrileri, rotor konumu-kuvvet ve sargı akımı-endüktans değişimleridir. Motorun dinamik performansı bu eğriler yardımı ile elde edilir.

Tasarımı yapılan motorun manyetik analizi sırasında sargılara 5 A akım uygulanmıştır. Bu durumda rotor durumuna göre elde edilen kuvvet Newton cinsinden Şekil 6'da verilmiştir. Şekildeki grafik rotor ve statorun sonlu elemanlar yöntemi ile motorun farklı uyarma ve rotor konumları için tamamen ayırık konumundan çakışık durumuna kadar olan kuvvet değişimini göstermektedir.

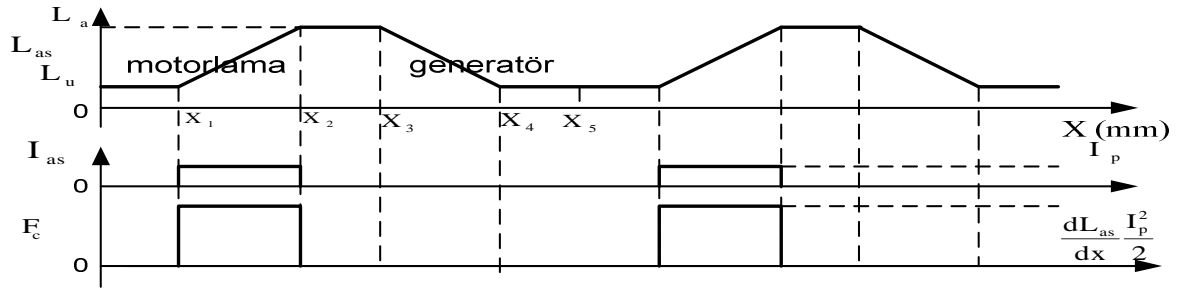


Şekil 6 Rotor Konumu-Kuvvet Değişimi

Şekil 7.'de gerçek endüktansı verilen LARM'nin A fazına ait ideal endüktans profili ile motorun kuvvet üretme ve akım geçirilme bölgeleri görülmektedir. Motorlama bölgesinde akım geçirilirse pozitif kuvvet, generatör bölgesinde de akım geçirilmeye devam edilirse negatif kuvvet yani frenleme oluşur. Oluşan kuvvet denklem 6 ile hesaplanır.

$$F = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_{as}}{dx} \quad (6)$$

Denklemden F kuvvet (N), i_a akım (A), dL_{as} faz endüktansının değişimi, dx ise pozisyon değişimini göstermektedir.



Şekil 7 Endüktans değişimi

5. SONUÇ

Bu çalışmada bir asansör kapısı tahriki için klasik fırçalı DC motor yerine kullanılan LARM tasarımı ve manyetik analizi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile manyetik devrenin çakışık ve ayırık durumlardaki endüktans ve kuvvet değişkenleri elde edilmiştir. Tasarımı yapılan motorun üç boyutlu modeli çıkartılarak manyetik analizi yapılmıştır. Motorun fiziksel boyutları matematiksel olarak elde edilerek sonlu elemanlar yöntemi ile farklı uyarma ve rotor konumları için manyetik akı ve kuvvet değerleri statik olarak elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen manyetik analiz sonucunda istenilen çıkış büyüklüklerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu durumda tasarlanan LARM, bir asansör kapısının ihtiyaçlarına cevap verebileceği sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada tasarımı yapılan LARM'nin elektromanyetik tasarım aşaması sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ile EMSA Otomasyon tarafından 00401.STZ.2009-1 kodlu SANTEZ projesi ile desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] H. Sun Lim, R. Krishnan, and N. S. Lobo, "Design and Control of a Linear Propulsion System for an Elevator Using Linear Switched Reluctance Motor Drives", IEEE Trans. On Ind. Elect., Vol 55(2), 2008.
- [2] W.-Chuen Gan, N. C. Cheung, and Li Qiu, "Position Control of Linear Switched Reluctance Motors for High-Precision Applications", IEEE Trans On Ind. App., Vol. 39, No. 5, 2003.
- [3] F. Daldaban, N. Ustkoyuncu, "A new double sided linear switched reluctance motor with low cost", Energy Con. and Management 2983–2990, 2006.
- [4] S.-M. Jang1, Ji-H.Park, D.-J. You, H.-W. Cho1, Ho-K. Sung, "Design of High Speed Linear Switched Reluctance Motor", Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Systems 2007, Oct. 8~11, Seoul, Korea
- [5] Dursun M., A. Saygın, "Bulanık Mantık Denetimli Anahtarlama Relüktans Motorla Asansör Tahriki", Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, BMYS2005, Kocaeli, 16-18 Kasım 2005.
- [6] Dursun M., Özden S., "Bulanık Mantık Denetimi ile Asansör Tahriki", Politeknik Dergisi, 2008
- [7] Dursun M, Saygın A., "Bir Asansör Tahrik Sistemi İçin Bulanık Mantık Denetimli Anahtarlama Relüktans Motor Sürücüsü Tasarımı", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Eylül 2006
- [8] M. Min Thet, "Design and Calculation of 75W Three-phase Linear Switched Reluctance Motor", Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology Volume 36, 2070-3740, 2008
- [9] J. L. Domingos, D. A. Andrade, M. A. A. Freitas, H. De Paula, "A New Drive Strategy for a Linear Switched Reluctance Motor", Electric Machines and Drives Conference, Volume 3, 1714 – 1719, 2003.
- [10] H.-Kyung Bae, B.-Seok Lee, P. Vijayraghavan, and R. Krishnan; "A Linear Switched Reluctance Motor: Converter and Control"; IEEE Trans. On Industry App., Vol. 36, No. 5, 2000
- [11] A. Fenercioğlu, M. Dursun, "Design and Magnetic Analysis of a Double Sided Linear Switched Reluctance Motor", Przegład Elektrotechniczny (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 86 NR 5/2010