



ISSN: 2146-8168

<http://bilader.gop.edu.tr>

Dergiye Geliş Tarihi: 06.08.2012

Yayına Kabul Tarihi: 03.11.2012

Baş Editör: Naim ÇAĞMAN

Alan Editörü: Levent GÖKREM

Otomatik Depolama Sistemlerindeki Robotlar için Servo Motor Seçimi

Cemil Közkurt¹, Ahmet Fenercioğlu² ve Mehmet Akar³

Özet

Elektrik motorları tahrik sistemlerinin elektromekanik dönüşüm elemanları olup tahrik edilen sistemler için gerekli olan kuvveti veya momenti üretirler. Bu motorlardan birisi olan Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlar (SMSM), daha küçük gövdede yüksek tork, yüksek verimlilik, mükemmel oranda pozisyonlama hassasiyeti ve hız kontrolü, düşük atalet momenti, harici soğutmaya ihtiyaç duymaması ve aşırı yük ile yüklenebilmelerinden dolayı servo sistemlerde diğer elektrik motorlarına göre daha çok tercih edilmektedirler. Bu çalışmada; otomatik depolama ve boşaltma sistemlerinde kullanılan kartezyen robot için servo motor seçim kriterleri ve hesaplamaları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sabit mıknatıslı senkron motor, Servo motor, motor seçimi, AS/RS, otomatik depolama ve boşaltma sistemleri,

Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research 1 (2012) 97-104

Servo Motor Selection for Robots in Automatic Storage and Retrieval Systems

Abstract

Electric motors that are electromechanical converter components of actuation systems produce force or moment for actuated system. One of these motors Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSM) are preferred more than other motors because of advantages like having smaller body, high torque, high efficiency, excellent positioning accuracy and speed control, low moment of inertia, not to need external cooling and can be overloaded. In this study, servo motor selection criteria and calculations were examined for Cartesian robot used in automated storage and retrieval systems.

¹ *Cemil Közkurt*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 60250 Tokat (e-mail: cemil.kozkurt@gop.edu.tr)

² *Ahmet Fenercioğlu*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 60250 Tokat (e-mail: ahmet.fenercioglu@gop.edu.tr)

³ *Mehmet Akar*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 60250 Tokat (e-mail: mehmet.akar@gop.edu.tr)

Keywords: *Permanent Magnet Synchronous Motors, servo motor, motor selection, Automated Storage and Retrieval Systems*

Received: 06.08.2012, Accepted: 03.11.2012

1. Giriş

Günümüzde enerji üretmek için kullandığımız kaynaklar hızla azalırken enerji gereksinimi ise giderek artmaktadır. Endüstride kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı elektrik motorları tarafından mekanik enerjiye dönüştürülmekte, diğer kısmı ise aydınlatma, ısınma vb. ihtiyaçlar için kullanılmaktadır [1]. Endüstriyel uygulamalarda üretimin hızlı ve kesintisiz olması beklenir. Plansız duruşlar üretimi sekteye uğrattırken maliyetleri de yükseltir. Bu sebeple karmaşık bir sistemin parçası olan elektrik motorlarının sorunsuz çalışması oldukça önemlidir [2].

Tahrik edilen yükün karakteristiğine göre motor seçimi sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Motor gücünün küçük seçilmesi motorda aşırı ısınma, motor ve koruma elemanlarının ömründe kısalmaya sebep olurken, gücün büyük seçilmesi durumunda ise işletme masraflarının artması ve verimin düşmesine sebep olacaktır [3]. Motor seçimi yaparken; motor sınıfı ve karakteristiği iyi belirlenmeli, seçilen motorun ekonomik analizi yapılmalı, motor yapısına uygun yol verici düzeneği seçilmeli, çalışma süresinin sürekliliği belirlenmeli, mekanik yükün tip ve özellikleri iyi belirlenmeli ve bu yüke uygun motor mil gücü belirlenmelidir [1].

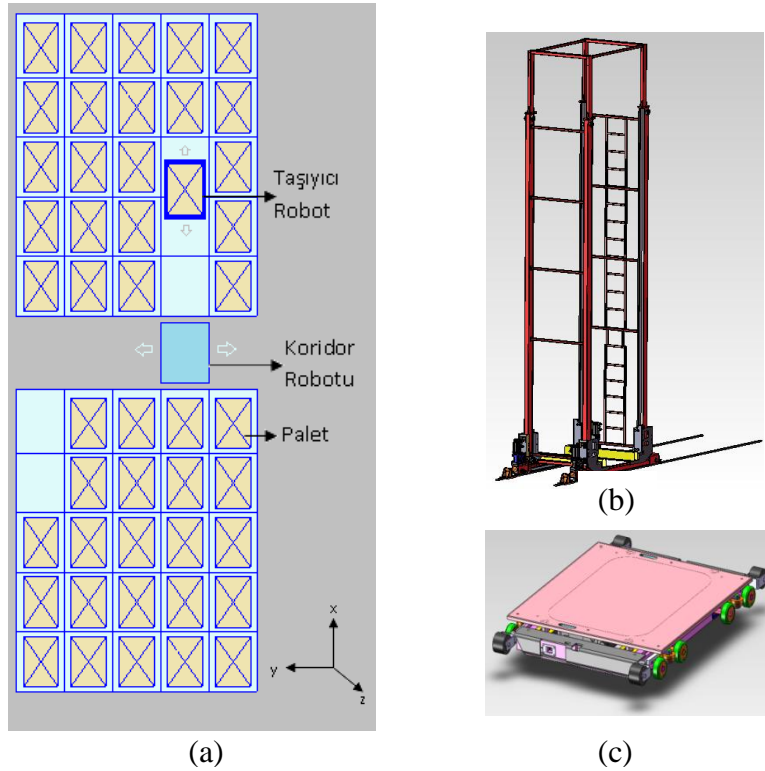
Geleneksel senkron motorlar; 3 faz stator sargısı ile rotorunda doğru akımla beslenen bir sargıdan meydana gelmiştir [4]. Senkron motorların rotor sargılarının kalıcı mıknatıslarla değiştirilmesiyle elde edilen motorlara Sabit Mıknatıslı Senkron Motor (SMSM) denir. SMSM'lerin kullanılmaya başlamasıyla artık düşük hızlarda da yüksek verim almak mümkün olmuştur. Zira asenkron motorlarda en yüksek verim tam yük ve nominal hız değerlerinde sağlanmaktadır. Bu ise düşük hızlar için redüktör kullanımını zorunlu kılmakta, kayıpların artmasını sağlamaktadır. Ayrıca asenkron motorlarda stator akımı hem tork üretmek hem de rotoru mıknatıslamakta kullanılmaktadır. SMSM'ler yüksek verim ve güç faktörü, yüksek güç/ağırlık oranı ve yüksek moment/eylemsizlik oranı gibi üstünlüklerinden dolayı, endüstride, özellikle servo sistemlerde, sıklıkla kullanılmaktadır [4].

Sunulan bu çalışma; giriş, mekatronik sistem, motor seçim hesapları ve sonuç olmak üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde servo sistemlerde kullanılan SMSM'ler ve avantajları açıklanırken ikinci bölümde otomatik depolama sistemlerinde kullanılan mekatronik sistem ve çalışma algoritması tanıtılmıştır. Motor seçim kriterleri ve kullanılan eşitlikler üçüncü bölümde uygulamalı olarak ele alınmıştır. Son olarak makale sonuç bölümüyle doğru motor seçiminin önemini vurgulamaktadır.

2. Kullanılan Mekatronik Sistem

Depolama sistemlerinde kullanılan raf sistemi ve depolama boşaltma araçlarının optimum tasarımı çalışan sistemin verimini etkilemekte ve verimin önemli bir parçasını da sistemdeki motorlar sağlamaktadır.[5] Çalışmada ele alınan sistem, sıvı gıda endüstrisi için akıllı depolama sisteminde kullanılan robotların yürütme ve kaldırma hareketleriyle, maksimum 1000 kg ağırlığındaki ürün paletlerini, Kartezyen koordinatlardan oluşan depo raf yapısı içindeki hücrelere taşıyan bir sistemdir. Depo raf sistemi çok derinlikli tip olup üstten görünüşü Şek.1(a) 'da verilmiştir. Bu sistemde koridorlarda Y ve Z eksenindeki hareketlerini

Şek.1(b)'de verilen koridor robotu gerçekleştirilmektedir. Koridor robotu taşıma haznesi olan koridor girişine ve hücelere ulaşmak için X eksenindeki paleti alma ya da bırakma hareketlerini Şek.1(c)'de verilen taşıyıcı robot yapar.



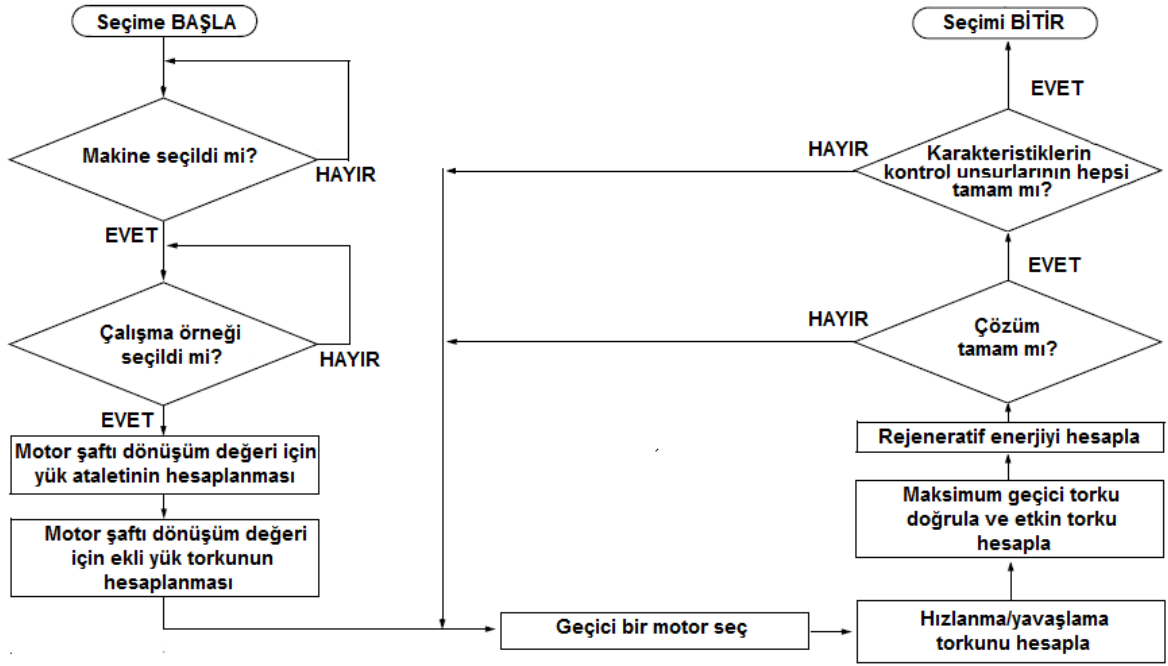
Şekil 1: (a) Çok Derinlikli Depo Raf Sistemi (b) Koridor Robotu (c) Taşıyıcı Robot

Depolama işlemi için taşıyıcı robot, üretimden gelen paleti alarak koridor girişinde bekleyen koridor robotuna biner. Koridor robotu, ürün bilgisine göre taşıyıcı robotu ilgili tüp girişine konumlar. Taşıyıcı robot raf sistemine geçerek tüpün en derindeki boş hücrene paleti bırakır. Taşıyıcı robot boş halde koridor robotuna binerek tekrar palet almak için koridor robotu ile birlikte koridor girişine gider. Bu noktada taşıyıcı robot koridor robotundan ayrılarak palet alma noktasına gider. Böylelikle bir palet için depolama döngüsü tamamlanmış olur.

Boşaltma işlemi için boş taşıyıcı robot, koridor girişinde bekleyen koridor robotuna biner. Koridor robotu, adres bilgisine göre taşıyıcı robotu ilgili tüp girişine konumlar. Taşıyıcı robot raf sistemine geçerek ilgili tüpün en yakın dolu hücrelerinden paleti alır. Taşıyıcı robot yüklü halde koridor robotuna, oradan da paleti bırakmak için raf dışına gider. Böylelikle bir palet için boşaltma döngüsü tamamlanmış olur.

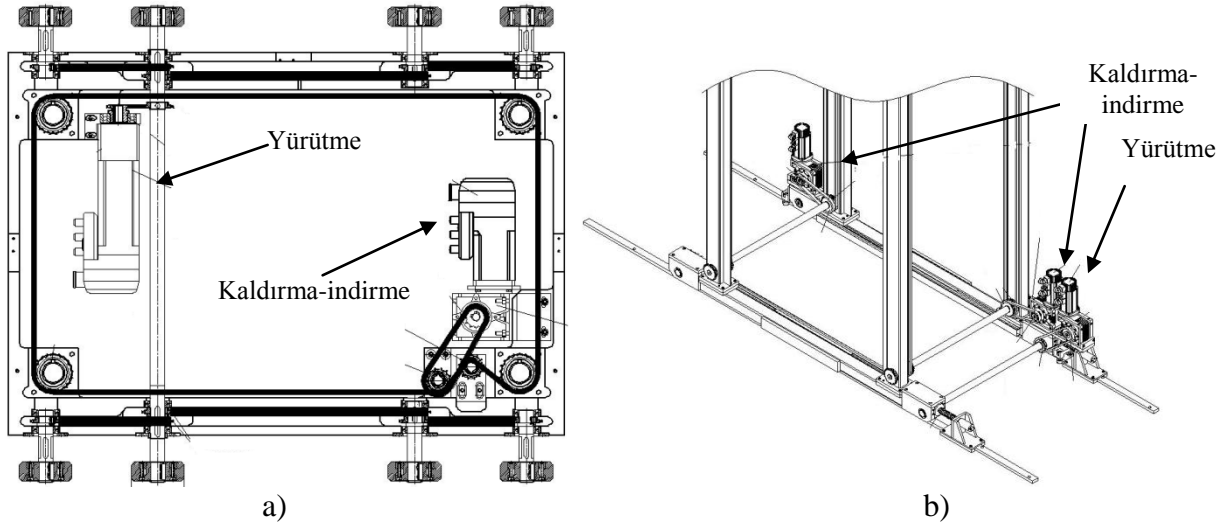
3. Motor Seçim Hesapları

Elektrik motoru seçiminde mekaniksel güç gereksiniminin belirlenmesi, yük karakteristiğinin iyi saptanması, motorun yük eğrisinde hangi bölgede çalışacağını tespit edilmesi oldukça önemlidir. Şekil 2 de servo motor seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar verilmiştir [6].



Şekil 2. Motor seçim kriterleri

Kullanılan mekatronik sistemde taşıyıcı robotta; kaldırma ve indirme işlemleri için 1 servo motor ve yürütme için de 1 servo motor bulunmaktadır. Koridor robotunda ise; kaldırma - indirme için özdeş 2 servo motor ve yürütme işlemleri içinde 1 adet servo motor bulunmaktadır. Şekil 3'de kullanılan motorların yerleri görülmektedir.



Şekil 3. (a) Taşıyıcı Robot (b) Koridor Robotu

3.1 Taşıyıcı robot motorları

Taşıyıcı robottan beklenen görev 1000 kg'lık yükü hedef hücreye götürmek ve istenilen hücreye bu yükü bırakmaktır. Taşıyıcı robotun taşıyacağı yük ve sistemle ilgili diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Bu durumda yuvarlanma kuvveti Eşitlik 1 ile yapılan hesap sonucunda 392.4 N olarak hesaplanır.

Tablo 1. Taşıyıcı robot için gerekli parametreler

Kütle	m	1000kg
Hız	v	0.5 m/s
Yürütme tekeri dış çapı	D	90 mm
Teker rulman çapı	d	30 mm
Yatak sürtünmesi	μL	0.005
Ray klavuzlama ek sürtünme katsayısı	c	0.005
Kinetik sürtünme katsayısı	f (çelik-sert plastik)	1.5
Verim	η	%80

$$F_f = mg \left[\frac{2}{D} \left(\mu_L \frac{d}{2} + f \right) + c \right] \quad (1)$$

Doğrusal sistemlerde gerekli olan güç hesabı ise;

$$P = \frac{vF}{\eta 1000} \quad (2)$$

Eşitlik 2 ile 245 W olarak bulunmuştur. Bu aşamada seçilen motorun mil gücü (P1) 0.26 kW, rotor hızı (n_1) 2000 d/d, nominal momenti (M1) 2.5 Nm ve atalet momenti ise (J_1) $0.68 \cdot 10^{-4} \text{kgm}^2$ 'dir. Lineer hareketin motor miline indirgenmesi sonucunda elde edilen atalet momenti ise;

$$J_{ind} = 91.2 m \frac{v^2}{n_1^2} \quad (3)$$

$J_{ind} = 0.0057 \text{kgm}^2$ 'dir. Dairesel harekette kullanılan güç formülünden yük torku (M_L) hesabı Eşitlik 4 ile hesaplanır.

$$P = \frac{nM}{\eta 9550} \rightarrow M = M_L = \frac{9550 P}{n} \text{ (güce daha önce verim dâhil edilmiştir)} \quad (4)$$

$$M_L = 1.17 \text{ Nm}$$

Gerekli olan toplam momentin bulunabilmesi için yük momentine hızlanma (M_A) ve yavaşlama (M_D) momentlerinin de eklenmesi gerekir. Bu değerler Eşitlik 5,6,7 kullanılarak hesaplanır.

$$M_A = M_D = \frac{2\pi n_1}{60 t_a} J_{top} \quad (5)$$

$$J_{top} = J_1 + \frac{J_{ind}}{\eta} = 0.0046 \text{ kgm}^2 \quad (6)$$

$$t_a = t_d = 2 \text{ sn (Hızlanma yavaşlama süresi)}$$

$$M_A = 0.48 \text{ Nm}$$

$$M_{top} = M_L + M_A = 1.65 \text{ Nm} \quad (7)$$

Gerekli redüktör devri ise Eşitlik 8'den 96 d/dk olarak hesaplanır.

$$n_{red} = \frac{60v}{\pi D} \quad (8)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda geçici olarak seçilen motorun yük için gerekli olan tork, hız ve güç gereksinimlerini karşıladığı görülmüştür.

Taşıyıcı robotta yükü üzerine alma ve yükü istenilen hücreye geldiğinde bırakma işlemi kullanılan indirme ve kaldırma motorunun tahriki sonucu hareket eden ve dört noktadan yükün konulduğu platformu aşağı yukarı hareket ettiren sonsuz vida yardımıyla gerçekleşmektedir. Kullanılan düzenekte vida bölüm çapı (d_l) 18 mm, tahvil oranı (s) 10 mm, kaldırma ve indirme hızı 0.6 m/dk (0.01 m/s), vida sürtünme katsayısı (μ) 0.12 ve sistem verimi ise yine %80 alınmıştır. Bu durumda sürtünme açısı (ρ) ve vida açısı (α) Eşitlik 9 ve 10 yardımıyla hesaplanarak sırasıyla 6.84° ve 10.02° olarak bulunmuştur.

$$\rho = \tan^{-1}(\mu) \quad (9)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{s}{\pi d}\right) \quad (10)$$

Vidalı kaldırıcılarda gerekli kaldırma devri (n) ve gerekli güç (P) Eşitlik 11 ve 12 yardımıyla hesaplanır.

$$n = \frac{v}{s} \quad (11)$$

$$P = \frac{mn}{\eta 9550} \quad (12)$$

Yapılan hesaplamalarda kaldırma devri 60 d/d ve gerekli güç ise 0.21 kW olarak bulunmuştur. Bu hesaplamalar doğrultusunda mil gücü 0.24 kW, nominal momenti 1.2 Nm ve nominal hızı 2000 d/d olan motor seçimi uygun olacaktır.

3.2 Koridor Robotu motorları

Sistem içerisinde kullanılan koridor robotunda yürütme işlemi için gerekli motor gücü ve redüktör devri seçilecektir.

Tablo 2. Koridor robotu için gerekli parametreler

Kütle	m	2000 kg
İlerleme hızı	v	0.7 m/s
Teker çapı	D	134 mm
Teker rulman çapı	d	45 mm
Yatak sürtünme katsayısı	μL	0.005
Ray klavuzlama ek sürtünme katsayısı	c	0.005
Kinetik sürtünme katsayısı	f (çelik-çelik)	3.5
Verim	η	%70

Ray üzerinde hareket eden sistemlerde yuvarlanma direncini yenmek için gerekli olan kuvvet ve doğrusal harekette gerekli güç Eşitlik 13 ve 14 kullanılarak hesaplanır.

$$F_f = mg \left[\frac{2}{D} \left(\mu_L \frac{d}{2} + f \right) + c \right] \quad (13)$$

$$P = \frac{vF_f}{\eta 1000} \quad (14)$$

Yapılan hesaplamalarda 1156 N kuvvet ve 1.156 kW güç gerektiği bulunmuştur. Bu durumda seçilen motorun mil gücü 1.5 kW, momenti 4.9 Nm, nominal hızı 3000 d/d ve atalet momenti ise $3.04 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$ 'dir. Seçilen bu motorun yük için gerekli moment, hız ve güç değerlerini sağlayıp sağlayamayacağı kontrol edilmelidir. Koridor robotunda da taşıma robotunda olduğu gibi doğrusal bir hareket yapılmaktadır. Bu durumda Eşitlik 3-8 kullanılarak yapılan hesaplamalarda yük için 3.93 Nm'lik toplam moment ve 99.76 d/d'lık redüktör devrinin gerekli olduğu bulunmuştur. Seçilen motor bu gereksinimleri rahatlıkla karşılayabilecek etiket değerlerine sahiptir.

Son olarak Şekil 3'de görüleceği üzere koridor robotunda yükün kaldırılması için gerekli olan özdeş 2 motorun seçilmesi gerekmektedir. Bu motorlardan beklenen görev 1000 kg'lık bir yükü 24m/d'lık kaldırma hızıyla kaldırmak için gerekli güç ve moment değerlerini üretmektir. Bu durumda düşey harekette gerekli güç, Eşitlik 15 kullanılarak 5.6 kW olarak hesaplanmıştır.

$$P = \frac{mgv}{\eta 1000} \quad (15)$$

Seçilen frenli motorun mil gücü 3 kW, momenti 9.8 Nm, nominal hızı 3000 d/d ve atalet momenti $14.7 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$ 'dir. Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak yapılan hesaplamalarda indirgenme atalet momenti 0.0016 kgm^2 ve yük momenti 17.82 Nm bulunmuştur. Kaldırma sistemlerinde fren momenti yük momentinin yaklaşık iki katı olmalıdır.

$$M_{fren} \cong 2M_L \quad (16)$$

Eşitlik 3-8 kullanılarak yapılan hesaplamalarda yük için gerekli olan toplam moment 18.41 Nm olduğu bulunmuştur. Seçilen motorun moment değeri 9.8Nm olmasına karşın yük için özdeş 2 motorun kullanılacak olması gerekli moment değerini sağlamaya yeterlidir.

4. Sonuç

Otomasyon sistemlerinin stabil, güvenli ve verimli çalışabilmesi için motor-redüktör seçimi oldukça önemlidir. Sunulan bu çalışmada özellikle otomatik depolama ve boşaltma sistemlerinde kullanılan robotların motor seçimi yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ışığında robotlara tanımlanan görevlerini yerine getirmek için Tablo 3'te verilen motorlar seçilmiştir.

Tablo 3. Seçilen motorların etiket değerleri

Motor parametreleri	Taşıyıcı Robot Yürütme	Taşıyıcı Robot Kaldırma	Koridor Robotu Yürütme	Koridor Robotu Kaldırma (2 adet özdeş)
Mil gücü (kW)	0.26	0.24	1.5	3
Nominal hız (d/d)	2000	2000	3000	3000
Nominal moment (Nm)	2.5	1.2	4.9	9.8

Bu durumda yüke uygun motor, redüktör ve sürücü sistemi seçilmesi sistem güvenliğini, işletme performansını enerji verimliliğini artırmaktadır. Arıza ve bakım gereksinimini azaltmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı San-Tez projeleri kapsamında 00889.STZ.2011-1 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] <http://www.elektrikport.com>, 16.06.2012
- [2] M. Akar, Detection of a Static Eccentricity Fault in a Closed Loop Driven Induction Motor by Using the Angular Domain Order Tracking Analysis Method, Mechanical Systems and Signal Processing, doi:10.1016/j.ymssp.2012.04.003, 2012.
- [3] www.eie.gov.tr, 16.06.2012
- [4] M. Akar, 2009. Sabit mıknatıslı senkron motorda yapay zeka yöntemleri ile mekanik hataların teşhisi. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [5] A. Fenercioglu, M. Soyaslan and C. Kozkurt, “Automatic Storage And Retrieval System (AS/RS) Based On Cartesian Robot for Liquid Food Industry,” in 12th International Workshop on Research and Education in Mechatronics, September 2011, Kocaeli, Turkey, pp. 283–287.
- [6] <http://www.ia.omron.com>, 06.07.2012