

ELEKTRİK TAHRİKLİ TAŞITLAR İÇİN ÇEKİŞ KONTROL SİSTEMİ SİMÜLASYONU

Mehmet Aytaç ÇINAR¹ Çiğdem GÜNDOĞAN² Feriha ERFAN KUYUMCU³

^{1,2,3} Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi, 41100, İzmit, Kocaeli

¹ e-posta: aytac@kou.edu.tr ² e-posta: cdemgun@kou.edu.tr ³ e-posta: erfan@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektrikli araç, tahrik motoru, çekiş kontrol sistemi, simülasyon

ABSTRACT

Nowadays, because of increasing air pollution and decreasing amount of petroleum on the world, electric traction vehicles are the best alternatives for the use of new energy sources and a healthier environment. In spite of the different topologies, it is thought that wheel-motor driven vehicles will be most effective choice in the future.

In this study, a simulation on permanent magnet brushless dc wheel motor powered electric vehicle has been presented. In addition, traction control system simulation has been developed for simulated vehicle. As a result of this control system, it is clear that, reliability and driving performance have been increased

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre kirliliği ve petrol türevi yakıtların tükenmekte olması, yarının taşıt araçları için farklı çözümler aranmasını gerektirmektedir. Yakın geleceğin ulaşım aracı olan elektrik tahrikli taşıtlar, bu sorunlar için yegane alternatiftir. Bu alanda 1970'li yıllarda hız kazanmaya başlayan çalışmalar günümüzde yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Günümüzde seri olarak üretilen ve satışı yapılan elektrik tahrikli taşıtlar mevcuttur. Bu taşıtlar, kullanıcılarına sundukları performans ve konfor

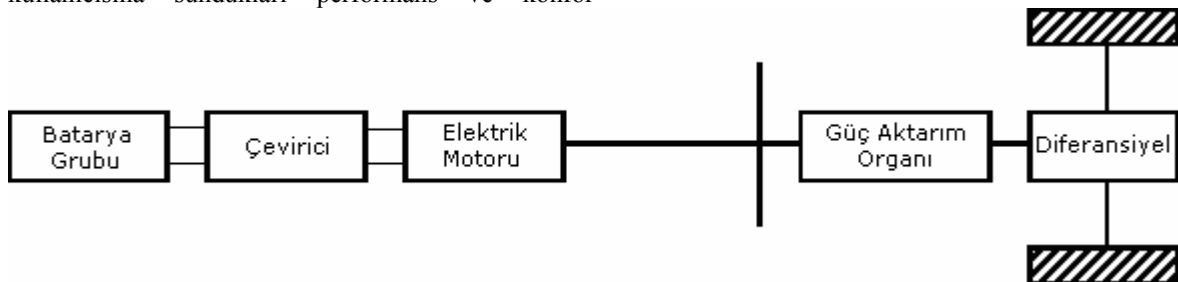
bakımından içten yanmalı motorlu taşıtlarla rahatlıkla rekabet edebilmektedir. Hatta, günümüzde geleneksel taşıtlarda bile kullanıcıya standart olarak sunulmayan bazı donanımlar, yapıları gereği elektrik tahrikli araçlarda mevcuttur [1].

Bu çalışmada, elektrik tahrikli taşıtlar hakkında genel bilgi verilmekte ve buna ilişkin bir simülasyon çalışması sunulmaktadır. Ayrıca, yukarıda bahsedilen donanımlardan biri olan ve sürüş güvenliğini artıran çekiş kontrol sistemi, simülasyona dahil edilmekte ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

2. ELEKTRİK TAHRİKLİ TAŞITLAR

Hareketi için gerekli gücün tamamını, yapısında bulunan elektrik motorundan alan araçlar tümü-elektrikli araç olarak tanımlanır. Bir tümü-elektrikli aracın yapısı tahrik motoru dışında, yarı-iletken güç anahtarlama elemanlarından oluşan çevirici devresi, enerji depolama elemanı olarak batarya grubu ve mekanik güç iletim sisteminden oluşur (Şekil 1) [2].

Hızlanma ve sabit hızda yol alma sırasında elektrik motoru enerjisini bataryalardan alır. Elektrik motoru ve çevirici devre, sürüş koşullarına bağlı olarak faydalı fren modunda çalışarak batarya grubunu besleyebilir.



Şekil 1. Tümü-elektrikli araç tahrik sisteminin bileşenleri

Hibrid-elektrikli araçlarda ise tahrik gücü araca, birlikte veya birbirinden bağımsız çalışabilen içten yanmalı motor ve elektrik motoru tarafından sağlanır. Seri-hibrid yapıda tekerlek gücü, içten yanmalı motor ile tahrik edilen generator-motor grubu tarafından üretilmekte iken, paralel-hibrid yapıda her iki motor birlikte veya birbirinden bağımsız olarak tekerleklere güç sağlayabilir.

Tümü-elektrikli ve seri-hibrid sistemlerde araç tahriği için tekerlek içi motorların kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yapıda, iki veya dört adet tekerlek-motoru kullanılarak aracın hareketi için gereken tahrik gücü sağlanır. Bu durumda her motor için ayrı çevirici devre kullanılması gerekir.

Tekerlek-içi motor kullanılan taşıt yapısında mekanik güç aktarım elemanına gerek duyulmaz. Dolayısıyla güç aktarım organlarında oluşan mekanik kayıpların önüne geçilmiş olur. Ayrıca yüksek güçlü ve büyük boyutlu tahrik motoru ortadan kalktığından dolayı, araç içinde kullanılabilir hacim artar. Alışlagelmiş iç rotorlu yapının haricinde, dış-rotorlu tekerlek içi motor yapıları da taşıt tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır.

3. ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA KULLANILAN TAHRİK MOTORLARI

Gerçekleştirilen ilk elektrikli taşıt uygulamalarında tahrik motoru olarak seri uyarımlı doğru akım makinaları kullanılmıştır. Bu tip makinaların moment-hız karakteristiği ile taşıt uygulamaları için son derece uygun olsa da, düzenli olarak bakıma gereksinim duymaktadırlar. Zaman içinde gelişen malzeme ve yarıiletken teknolojisiyle birlikte önce asenkron motorlar, günümüzde de sürekli mıknatıslı fırçasız motorlar ve anahtarlamalı relüktans motorları tahrik sistemleri için uygun birer alternatif olmaktadır.

Anahtarlamalı relüktans motorları, yapılarının oldukça basit olması nedeniyle doğru akım motorlarına ve asenkron motorlara göre büyük avantaj sağlar. Üretimi kolaydır ve üretim ile işletme maliyetleri düşüktür. Bununla birlikte en büyük problemleri momentte oluşan dalgalılık ve gürültülü çalışmalarıdır.

Malzeme ve üretim teknolojisindeki gelişmelerle birlikte güç ve enerji yoğunlukları artan sürekli mıknatıslı malzemeler, elektrik motorlarının yapısında uyarım sargısının yerini almaktadır. Uyarım sargısı ortadan kalktığından dolayı bunu beslemekte kullanılacak fırça ve kollektör düzenekleri de yoktur. Dolayısıyla çok uzun süre bakım ihtiyacı olmadan çalışabilirler. Bu motorlar diğer alternatiflerine göre daha hafif ve küçük boyutludur ve güç/ağırlık oranları yüksektir. Günümüzde özellikle tekerlek-içi tahrikli uygulamalarda kullanılmak üzere sürekli mıknatıslı motorlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Alışlagelmiş iç-rotorlu yapının haricinde, dış-rotorlu mıknatıslı motor yapıları da tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır. Dış-rotorlu motorlar daha çok küçük güçlü uygulamalarda tercih edilmesine karşın, günümüzde 14kW, 150Nm nominal (80kW, 750Nm maksimum) değerlere ulaşılmıştır.

4. ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA ÇEKİŞ KONTROLÜ

Günümüzde petrol türevi yakıtla çalışan araçlarda kullanılan ve sürüş koşullarına bağlı olarak araç performansını ve sürüş güvenliğini artıran bazı sistemler, özellikle tekerlek-içi motorları ile tahrik edilen elektrik tahrikli araçlara oldukça kolay şekilde uygulanabilmektedir. Bu sistemlere verilebilecek en basit örnekler dört tekerlekten çekiş sistemleri ve ASR olarak adlandırılan ve sürtünmenin düşük olduğu zeminlerde sürüşü iyileştiren patinaj önleyici sistemlerdir.

Petrol türevi yakıtlı veya tek tahrik motoru kullanılan elektrik tahrikli araçlarda, motorun ürettiği moment miktarı, güç aktarım organı ve diferansiyeldeki farklı dişli oranları tarafından değiştirilerek tekerleklere aktarılır.

$$M_T = \ddot{u}.M_m \quad (1)$$

- M_T - Tekerlek momenti (Nm)
 \ddot{u} - Dişli dönüştürme oranı
 M_m - Motorun ürettiği moment (Nm)

Düşük sürtünmeli zeminlerde tekerleklere uygulanabilecek momentin maksimum değeri motor gücüyle değil, tekerleğin yere tutunabilmesiyle ilgilidir. Yere tutunabilmeyi belirleyen iki ana faktör ise her bir tekerleğe düşen toplam araç ağırlığı ve zemin ile lastik arasındaki sürtünme katsayısıdır. Yol koşullarına göre araca uygulanan yol yükü aşağıdaki şekilde belirlenir [3],[4],[5].

$$P_{yol} = 0,5.C_d.A.\rho.V^3 + \mu.m.g + m.g.\sin\theta.V + m.aV \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

- C_d - hava sürtünme katsayısı
 A - Aracın ön yüzey alanı (m²)
 ρ - Havanın yoğunluğu (1.18 kg/m³)
 V - hız (m/s)
 μ - zemin sürtünme direnci katsayısı
 m - kütle (kg)
 g - yerçekimi ivmesi (m/s²)
 θ - yol yüzeyinin yatayla yaptığı açı
 a - ivme (m/s²)

Aracın hareket edebilmesi için, motor tarafından üretilen gücün, yol yükü değerini aşması gerekir.

Bir araçta kayma değeri, tekerlek hızıyla araç hızının farkının tekerlek hızına oranıdır ve;

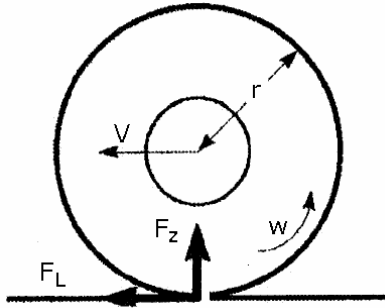
$$\lambda = \frac{r \cdot \omega - V}{r \cdot \omega} \quad (3)$$

şeklinde yazılır.

Tekerlek tarafından yola uygulanan boylamsal kuvvet ise;

$$F_L = \mu(\lambda) \cdot W \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; W tekerlek gücü ve μ tutunma katsayısıdır. Bu katsayı kaymanın fonksiyonu olarak ifade edilmekle birlikte, lastiğin karakteristik özelliklerine ve yol yüzeyi koşullarına da bağlıdır. Şekil 2’de bir araca ait tekerlek modeli verilmektedir.



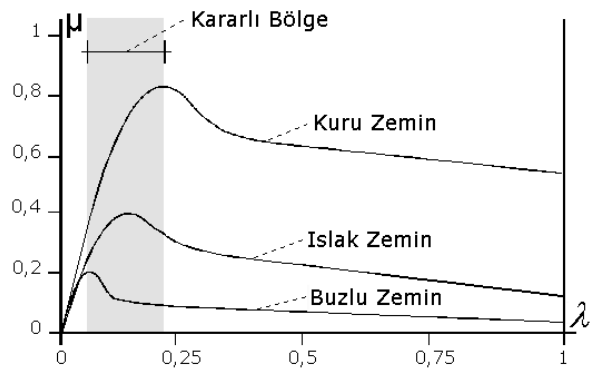
Şekil 2. Tekerlek modeli [6]

Burada; V araç hızı, r tekerlek yarıçapı, w tekerleğin açısal hızı, F_z tekerleğin üzerine düşen yol yükü ve F_L yola aktarılan boylamsal kuvveti gösterir.

Tutunma katsayısı (μ), boylamsal kuvvetin tekerlek yüküne oranı şeklinde de yazılabilir.

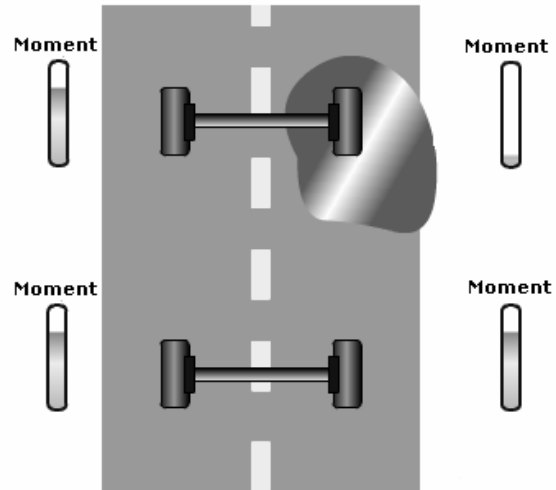
$$\mu = \frac{F_L}{F_z} \quad (5)$$

Şekil 3’de farklı yol koşulları için $\mu - \lambda$ karakteristik eğrileri verilmektedir. Bu eğrilerde kararlı bölge $0 - \mu_{\max}$ değerleri arasındadır. Tekerlek motoru tarafından üretilen moment aniden aşırı biçimde büyüdüğünde veya yol tutunması aniden düşerse, kayma değeri μ_{\max} ’a karşılık gelen değerden büyük olur. Bunun sonucu olarak çekiş gücü azalır ve tekerleklere aktarılan moment azaltılana kadar patinaj meydana gelir.



Şekil 3. Farklı zemin şartları için $\mu - \lambda$ eğrileri [7]

Hızda ortaya çıkan kontrol dışı ani artış olarak tanımlanan patinaj, sürüş gücünü düşürür ve aracın kararlı şekilde hareket etmesini engeller. Böyle bir durumda sürüş güvenliği ve konforu azalmakta ve uzun vadede aracın kullanım maliyeti de artırmaktadır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla çekiş kontrol sistemleri (ASR-Anti Slip Regulation) araçlara uygulanır.



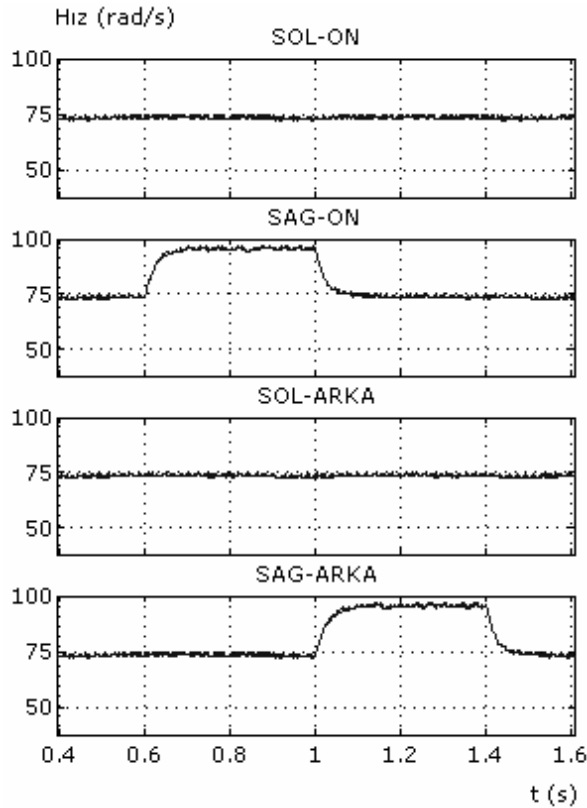
Şekil 4. Çekiş kontrol sisteminin simülasyonu yapılan çalışma koşulu

Bu sistemlerde her bir tekerleğe aktarılan güç anlık olarak kontrol edilerek yola aktarılacak maksimum seviyede tutulur. Geleneksel içten yanmalı motorlu taşıtlarda bunu gerçekleştirmek için ilave elektronik ve mekanik donanım gerekirken, elektrik tahrikli araçlarda çok kolay şekilde yapılabilir. Konum bilgisini sağlayacak olan ve elektrik motorunun tipine göre motor yapısında bulunan veya sisteme bu amaçla ilave edilebilen konum algılayıcılardan alınacak sinyaller değerlendirilerek ilgili motora uygulanan gerilim kontrol edilir. Böylece tekerleğin dönüş hızı azaltılır. Burada her bir motor için kullanılan konum algılayıcılar ve motor sürücü devreleri farklı olduğundan, her bir tekerlek motoru birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Referans alınan hız değeri, zemine en iyi tutunan, bir başka deyişle en yavaş dönen tekerleğin hızıdır.

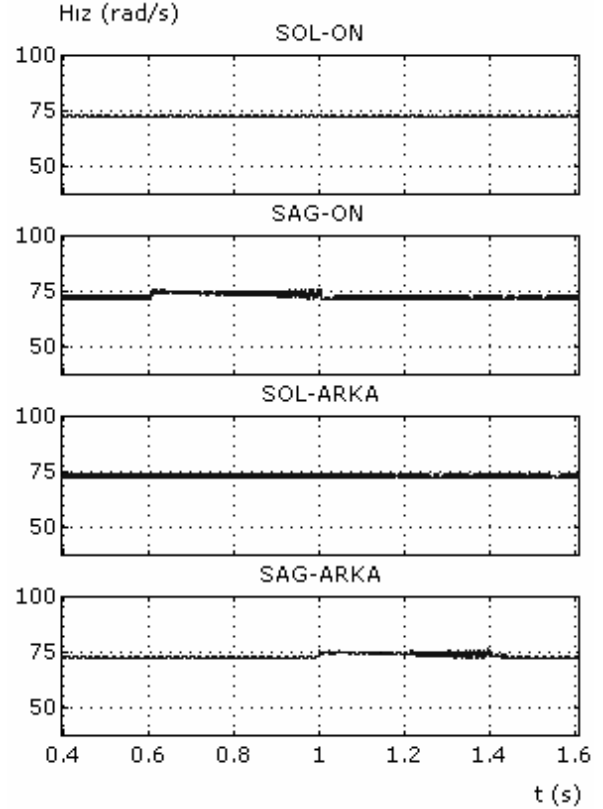
5. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Bu bölümde, elektrikli taşıtta çekiş kontrol sisteminin çalışma şekline ilişkin simülasyon çalışması verilmektedir. Simülasyonu yapılan elektrikli taşıta tahrik gücünü, her biri yaklaşık 4kW gücünde olan, dört adet sürekli mıknatıslı fırçasız tip tekerlek motoru sağlamaktadır [8]. Bu tip motorlar, önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, sunduğu bazı avantajlardan dolayı günümüzde elektrik tahrikli taşıt uygulamalarında tercih edilmektedir.

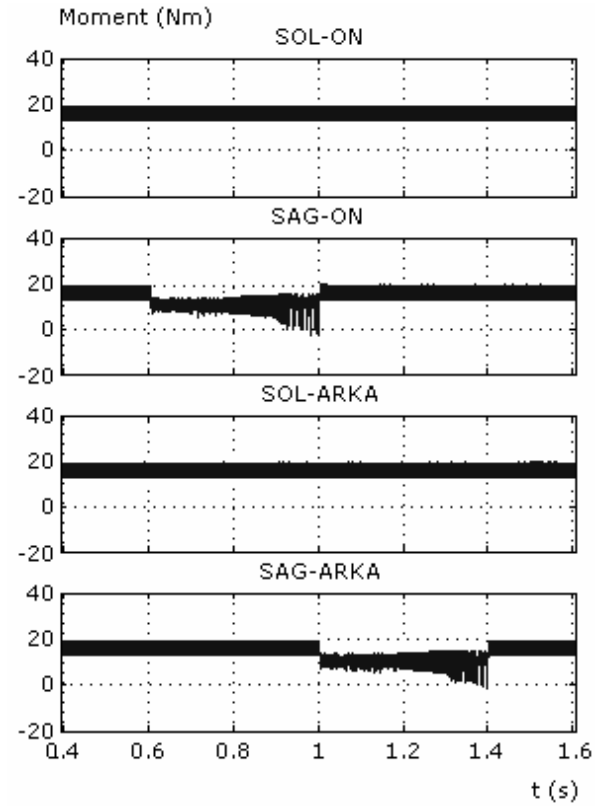
Simülasyonu yapılan taşıtın, 0,6 sn.'de sağ ön, 0,9 sn.'de ise sağ arka tekerleğinin sürtünme katsayısı oldukça düşük olan yüzeye temas ettiği varsayılmaktadır (Şekil 4). Bunun sonucu olarak, söz konusu tekerleklerin hızında ani artışlar meydana gelmektedir (Şekil 5). Çekiş kontrolü uygulandığı durumda, konum algılayıcılar yardımıyla ilgili tekerleğe güç sağlayan motorun hızındaki artış algılanmaktadır. Böylelikle motorun besleme gerilimi, tekerleğin yola aktarabileceği maksimum momentin üretileceği değere indirilmektedir. Şekil 7'te, çekiş kontrolü uygulandığı durumda her bir tekerlek motoruna ait moment çıkışları izlenebilmektedir.



Şekil 5. Çekiş kontrolü uygulanmadığı durumda tekerlek hızları



Şekil 6. Çekiş kontrolü uygulandığı durumda tekerlek hızları



Şekil 7. Çekiş kontrolü uygulandığı durumda her bir tekerlek motorunun ürettiği momentler

SONUÇ

Gelecek yirmi yıl içerisinde Dünya'daki petrol rezervlerinin büyük oranda azalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle ulaşımda kullanılan araçlar için yeni enerji kaynakları bulunması gerektiği açıktır. Elektrik enerjisinin taşıt tahrik sistemlerinde kullanımına ilişkin çalışmalar bu nedenle artarak sürmektedir. Gerçekleştirilen farklı taşıt tahrik sistemi yapıları bulunmakla birlikte, doğrudan tekerlek tahrikli sistemlerin gelecekte yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir.

Her bir tekerlek motorunun birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesi ile, herhangi bir motorda oluşacak arızaların, aracın hareketini engellemesinin önüne geçilmekte, böylece taşıt tahrik sisteminin güvenilirliği artmaktadır. Ayrıca çekiş kontrol sistemleri gibi aracın performansını ve sürüş güvenliğini iyileştiren donanımların araca kolayca uygulanması ile sürüş konforu da artmaktadır.

Ayrıca, gelecekte tahrik sisteminde kullanılan elektrik motorları, kontrol devreleri ve yöntemleri ile diğer bileşenlerin daha da geliştirilmesiyle, taşıt bünyesinde depolanan enerjinin miktarı ve sistemin toplam verimi de artacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ÇINAR M.A., KUŞDOĞAN Ş., İNAN E., "Elektrikli ve Hibrid Taşıtlar", IV.Ulaşım ve Trafik Kongre ve Sergisi, sayfa 101-106, 2003.
- [2] MAGGETO G., VAN MIERLO J., "Electric and Electric Hybrid Vehicle Technology: A Survey", IEEE Seminar on Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles, pp.1/1-111, 2000.
- [3] RAHMAN Z., BUTLER K.L., EHSANI M., "Effect of Extended-Speed, Constant-Power Operation of Electric Drives on the Design and Performance of EV-HEV Propulsion System", SAE 2000-01-1557.
- [4] RAHMAN Z., EHSANI M., BUTLER K.L., "An Investigation of Electric Motor Drive Characteristics for EV and HEV Propulsion Systems" SAE 2000-01-3062.
- [5] HUSAIN I., ISLAM M.S., "Design, Modeling and Simulation of an Electric Vehicle System", SAE 1999-01-1149.
- [6] KHATUN P., BINGHAM C.M., SCHOFIELD N., MELLOR P.H., "Application of Fuzzy Control Algorithms for Electric Vehicle Antilock Braking/Traction Control Systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.52, No.5, Sept 2003
- [7] SADO H., SAKAI S., HORI Y., "Road Condition Estimation for Tracking Control in Electric Vehicle"
- [8] ÇINAR M.A., "Sürekli Mıknatıslı Fırçasız Doğru Akım Motorunun Modellenmesi ve Bilgisayar Destekli Simülasyonu", KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2002.