



**Alınış tarihi (Received):** 20.02.2018  
**Kabul tarihi (Accepted):** 10.10.2018

**Baş editor/Editors-in-Chief:** **Ebubekir ALTUNTAŞ**  
**Alan editörü/Area Editor:** **Mehmet Serhat CAN /**  
**Bülent TURAN**

## **Doğrusal Relüktans Motorla Sürülen Otomatik Kayar Kapının PIC Mikrodenetleyici ile Kontrolü**

**Ahmet FENERCİOĞLU<sup>a</sup>**

**Mustafa ARPACIOĞLU<sup>b,\*</sup>**

**Yusuf AVŞAR<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>*Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye.*

*e-mail: ahmet.fenercioglu@gop.edu.tr*

<sup>b</sup>*Cumhuriyet Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye.*

<sup>c</sup>*Trakya Üniversitesi İpsala Meslek Yüksek Okulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Edirne, Türkiye.*

*e-mail: yusufavsar@trakya.edu.tr*

*\*Sorumlu yazar e-mail: marpacioğlu60@gmail.com*

**ÖZET:** Günümüzde kullanılan mevcut klasik tip otomatik kapı sistemlerinde DC motorlar ve buna bağlı dişli, kayış, kasnak gibi ek mekanik bileşenler bulunmaktadır. Bu nedenle mekanik güç kayıpları, sık arızalanma riski, periyodik bakım gereksinimi gibi birçok dezavantajlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, klasik kapı sistemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için herhangi bir ek mekanizma gerektirmeden, kapıya doğrudan tahrik veren EI nüveli, 6/4 kutuplu, 3 fazlı doğrusal anahtarlama relüktans motor, eyleyici olarak kullanılmıştır. Ayrıca; eyleyicinin kontrolünü sağlayan bir gömülü sistem tasarlanmış olup otomatik kayar kapıya uygulanmıştır. Sistemin elektromekanik ve elektronik devre tasarımı yapılmıştır. Otomatik kayar kapı sistemine uyarlanmış PIC mikrodenetleyici ile kontrol eden sürücü birimi ve yazılım algoritması geliştirilerek doğrusal motorlu otomatik kapı sürücü sistemi elde edilmiştir. Sistemin farklı akım değerlerinde ürettiği güç ve kuvvet değerleri test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Doğrusal motor, Anahtarlama relüktans motor, Otomatik kapı, PIC mikrodenetleyici.

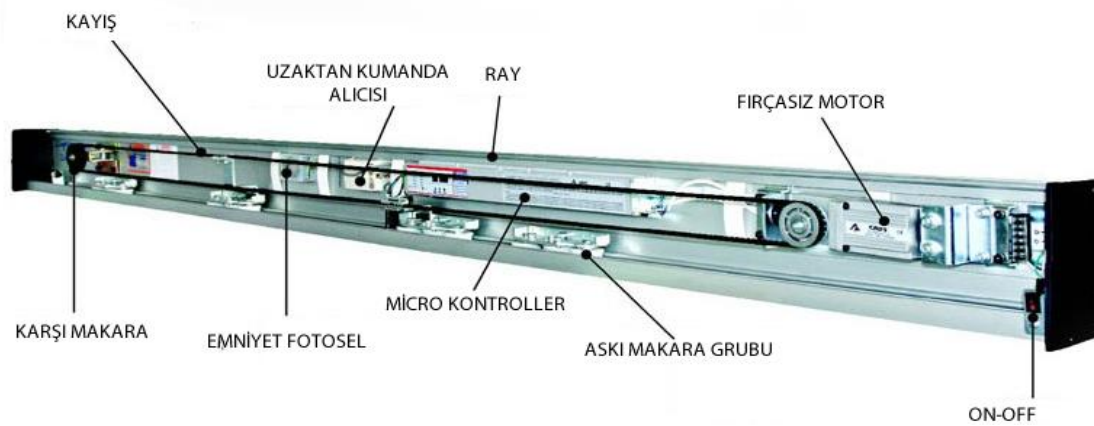
## **Control of Automatic Sliding Door Driven by Linear Switched Reluctance Motor with PIC Microcontroller**

**ABSTRACT:** Current classical automatic door systems used today include DC motors and additional mechanical components such as gears, belts, and pulleys. For this reason, there are many disadvantages such as mechanical power loss, frequent fault, periodically maintenance requirement. In this study, 6/4 pole, 3 phase linear switched reluctance motor with EI core, which directly drives the door, without any additional mechanism to remove the disadvantages of conventional door systems, was used as an actuator. Moreover; an embedded system for controlling the actuator was designed and applied to the automatic sliding door. Electromechanical and electronic circuit design system is built. Driver unit and software algorithm controlling with PIC microcontroller adapted to automatic sliding door system were designed and linear driven automatic door system was obtained. The forces and power values of different current values were tested.

**Keywords** – Linear motor, Switched reluctance motor, Automatic door, PIC microcontroller

## 1. Giriş

Günümüzde topluma açık birçok mekânın giriş-çıkışlarında, asansör kapılarında ve taşıtlarda otomatik kapı sistemleri kullanılmaktadır. Yaşantımızı kolaylaştıran bu kapı sistemlerinde hareket klasik döner motorlar vasıtası ile sağlanmaktadır. Günde yüzlerce kez açılıp kapanan bu kapı sistemlerinde kullanılan motorlarda ve hareketi sağlayan parçalarda zamanla yıpranmalar ve teknik arızalar söz konusu olmaktadır. Şekil 1’de günümüzde yaygın olarak kullanılan klasik tip otomatik kapı sistemlerinin iç mekanizması gösterilmektedir. Bu sistemlerde çok sayıda mekanizma bulunduğu için maliyeti ve arıza riski yüksektir ve periyodik bakım gerektirir. Bu çalışmada öngörülen doğrusal eyleyici sistemi ile mekanizmalar ortadan kaldırılarak otomatik kayar kapılar sürülmektedir. Bu ve benzeri dezavantajları ortadan kaldırmak için Anahtarlamalı Relüktans Motor (ARM) sistemini temel alan Doğrusal Anahtarlamalı Relüktans Motor (DARM) sistemleri geliştirilmektedir.



Şekil 1. Klasik tip otomatik kapı mekanizması

**Figure 1.** Classic type automatic door mechanism

## Literatür özeti

Lee ve ark.(1999) yaptıkları çalışmada, tek taraflı ve boyuna akı esaslı doğrusal anahtarlı relüktans makinesi için standart bir tasarım prosedürü geliştirilmiştir. Krishnan ve ark. (2008) doğrusal tahrikli gemi asansör sisteminde kullanmak için DARM’ın dizaynı ve kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Kolomeitsev ve ark. (2008) çalışmasında, demiryolu araçları için geniş hava aralıklı tahrik sistemi olarak kullanılan bir DARM ve sürücüsü geliştirilmiş olup otonom tren yolu taşıtlarının test pistinde kullanılmıştır. Üstköyüncü ve Daldaban (2009) MagLev etkili bir doğrusal motor üzerinde çalışmışlardır. Polat (2010) 3-faz, 12/8 kutuplu, 2,5 A, 120V, 300 W gücündeki bir ARM için PIC mikrodenetleyici ile ekonomik bir sürücü gerçekleştirilmiştir. Zhang ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada yarı manyetik olarak asılı kentsel demiryolu transit aracı için bir enine akılı ARM esaslı çekiş sistemi önermişlerdir. Dursun ve Fenercioğlu (2011) yaptıkları çalışmada, çift taraflı, 12/8 kutuplu, 3 fazlı DARM tasarlamış, bulanık mantık kontrolü ile hız simülasyonu yapmışlardır. Zaafrane ve ark. (2013) biyomedikal uygulamalarda DARM’ın kontrolü için yaptıkları çalışmada şırınga pompasının hareket ettirilmesini sağlamışlardır. Dursun ve Koç (2013) 6/4 kutuplu, 3 fazlı, 8 A, 24 V, 250 W ve 250 N çekme kuvvetine sahip bir DARM’ın hızının simülasyon, kontrol ve deneysel sonuçlarını sunmuşlardır. Mahmoud ve Rehaoulia (2014) çalışmasında, DARM itme kuvvetine dayalı bir biyomedikal uygulama için modelleme yapılarak ve iki boyutlu SEY(Sonlu Elemanlar Yöntemi) analizleri ile doğrulanmıştır. Hirayama T. ve ark. (2015) bir akım kaynağı dönüştürücüsü tarafından

yönlendirilen bir DARM sürücü performans değerlendirmelerini sunmuşlardır. Ravikumar D. ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, Yüksek Hızlı Transit Sistemi (YHTS) için doğrusal motorların gereksinimlerini, ihtiyaçlarını ve uygulamalarını sunmuşlardır. Lachheb A. ve ark. (2017) kayar kapı uygulamalarında DARM'ın kontrolü için tek taraflı doğrusal eyleyicinin modellenmesi ve kontrolü ele alınmıştır.

Bu çalışmada otomatik kayar kapıların hareketi için DARM'ın uygulaması ve kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kapı kontrolü için PIC 16F1509 mikrodenetleyicisi kullanılmış olup kapının hem manuel hem de otomatik çalışması için buton ve sensörler kontrol kartına bağlanmıştır. Prototip olarak gerçekleştirilen kapı farklı akım ve gerilim değerlerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında öngörülen eyleyici otomatik kayar kapılar için avantajlı bir sistem olarak görülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

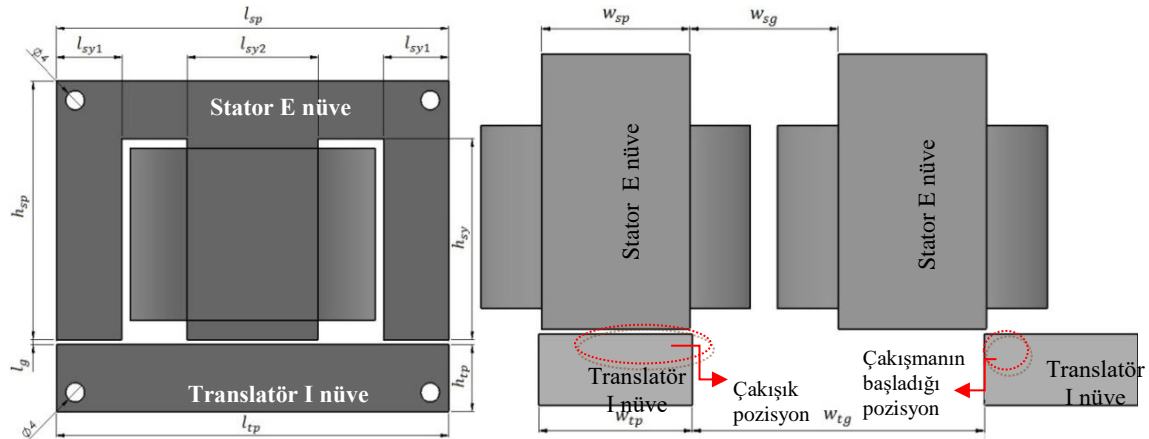
### 2.1 Eyleyici

Öngörülen DARM bir eyleyici olarak tek yüzlü, enine akılı, EI nüveli bir elektromekanik sistemdir. EI nüveler transformator yapımında yaygın olarak kullanılması ve maliyetinin ucuz olmasından dolayı önemli avantaj sağlamıştır. Kullanılan ARM, 3 fazlı, 6 aktif stator kutuplu 4 pasif translatör kutupludur ve ölçüleri Çizelge 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 3'de kullanılan eyleyicinin alt ve üst görünümü verilmiştir (Fenercioğlu ve Avşar, 2015).

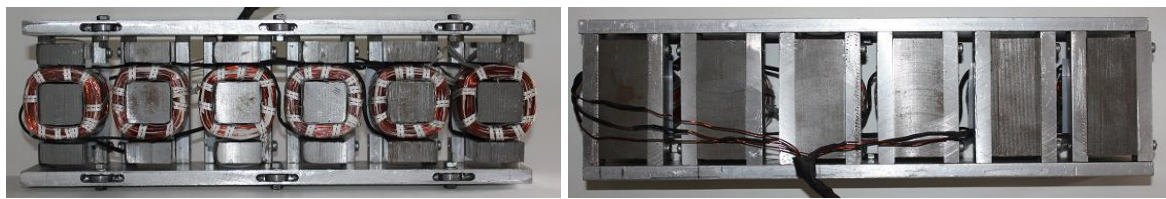
Çizelge 1. Eyleyicinin geometrik özellikleri

**Table 1.** Geometric properties of the actuator

Sembol	Açıklama	Boyut	Sembol	Açıklama	Boyut
$l_{sp}$	Stator kutup uzunluğu	0,084 m	$w_{sp}$	Stator kutup genişliği	0,030 m
$l_{sy1}$	Stator bacak eni 1	0,014 m	$w_{sg}$	Stator kutup boşluğu	0,030 m
$l_{sy2}$	Stator bacak eni 2	0,028 m	$w_{tp}$	Translatör kutup genişliği	0,031 m
$l_{tp}$	Translatör kutup uzunluğu	0,084 m	$w_{tg}$	Translatör kutup boşluğu	0,059 m
$h_{sp}$	Stator kutup yüksekliği	0,056 m	$m$	Faz sayısı	3
$h_{sy}$	Stator bacak yüksekliği	0,042 m	$n_{sp}$	Stator kutup sayısı	6
$h_{tp}$	Translatör kutup yüksekliği	0,014 m	$n_{tp}$	Translatör kutup sayısı	12
$l_g$	Hava aralığı	0,001 m	$l_s$	Stator uzunluğu	0,33 m



Şekil 2. Tasarlanan doğrusal eyleyicinin ölçeklendirilmesi

**Figure 2.** Scaling of the designed linear actuator

a)

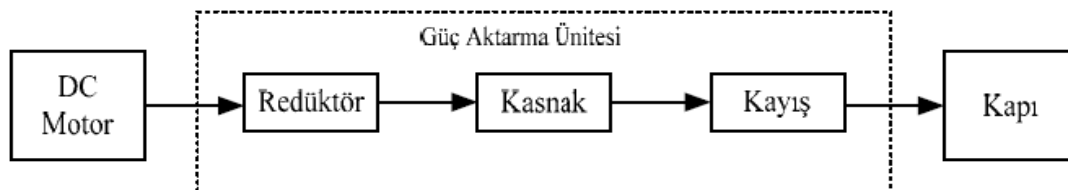
b)

Şekil 3. Doğrusal eyleyici a) statorun alttan görünümü b) statorun üstten görünümü

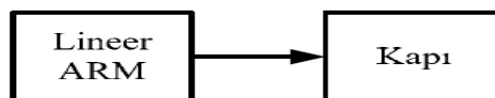
**Figure 3.** Linear actuator a) bottom view of stator b) top view of stator

## 2.2 Otomatik Kapı Uygulaması

Klasik kapı tahrik sisteminin blok diyagramı Şekil 4'de verilmiştir. Blok diyagramda gösterildiği gibi doğrusal hareket eden kapı döner yapıları bir motorla redüktör, kayış, kasnak gibi ek mekanizmalar kullanılarak hareket ettirilmektedir. Böyle bir sistemde güç aktarma elemanlarının fazla olması ve sürtünmeye olan etkisi nedeniyle verimin düşmesine sebep olmaktadır. Şekil 5'de ise tasarımı yapılan DARM'li bir otomatik kapı tahrik sisteminin blok diyagramı görülmektedir. Böyle bir sistemde hava aralığı kullanılarak üretilen güç direk olarak kapıya bağlı olan translatöre aktarılmaktadır (Dursun ve Koç, 2013)



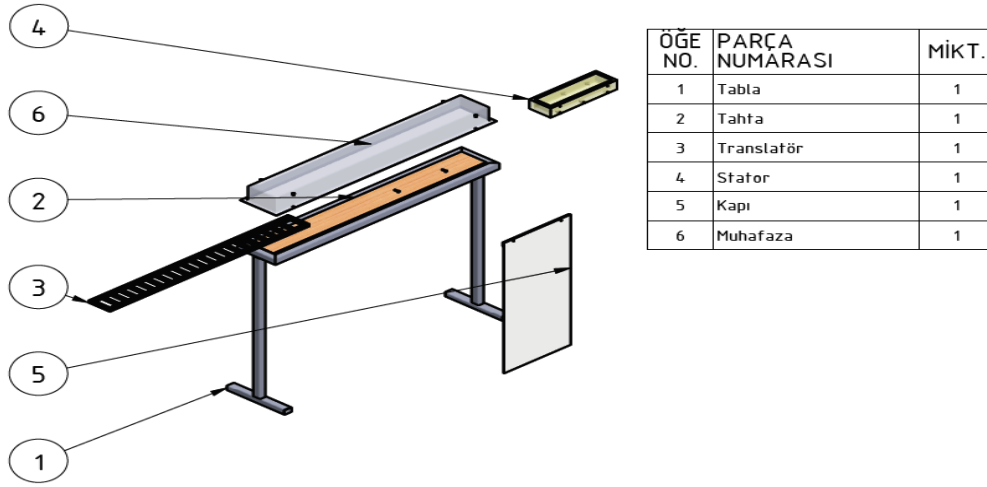
Şekil 4. Klasik kapı tahrik sisteminin blok diyagramı

**Figure 4.** Block diagram of the conventional door drive system

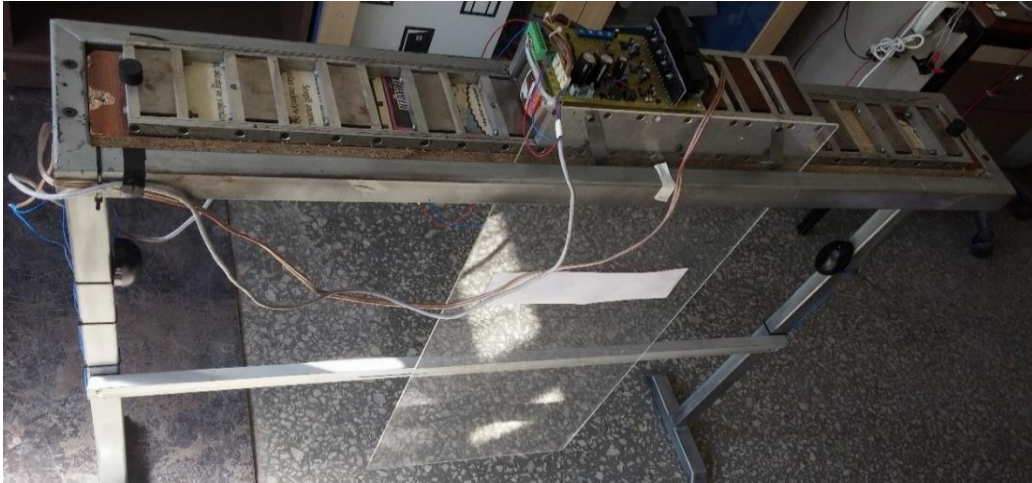
Şekil 5. DARM Kullanılan kapı tahrik sisteminin blok diyagramı

**Figure 5.** Block diagram of the used LARM door drive system

Çalışmamızda doğrusal motora uygun bir kapı tasarımı yapılarak prototip sistemin mekanik montajı ve gerçek uygulaması Şekil 6'da gösterilmektedir



(a)

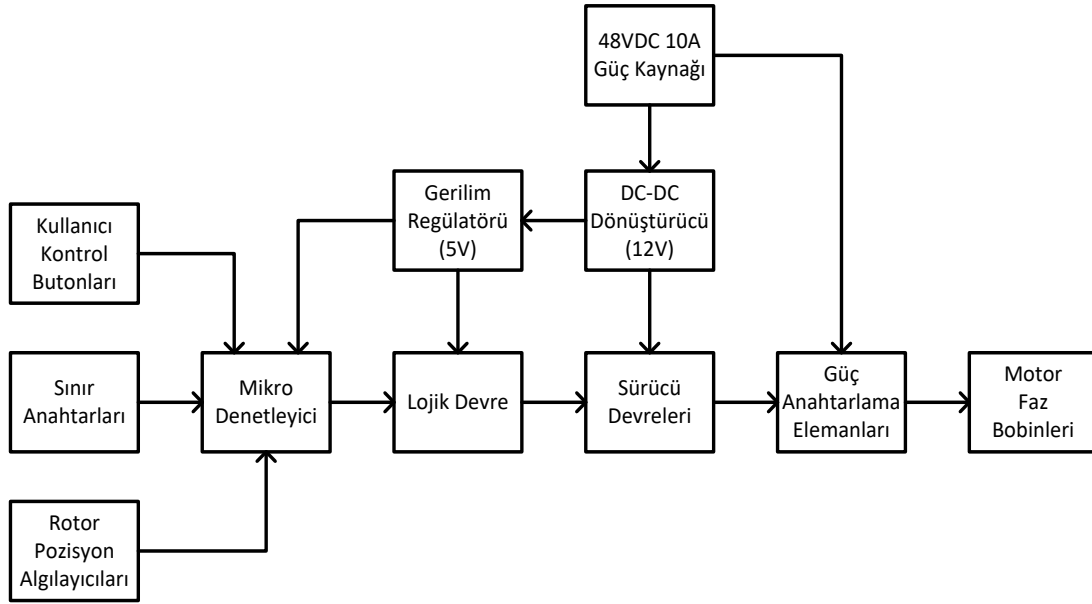


(b)

Şekil 6. Öngörülen otomatik kapı sistemin prototip uygulaması a) montaj b) prototip  
**Figure 6.** Prototype application of proposed automatic door system a) installation b) prototype

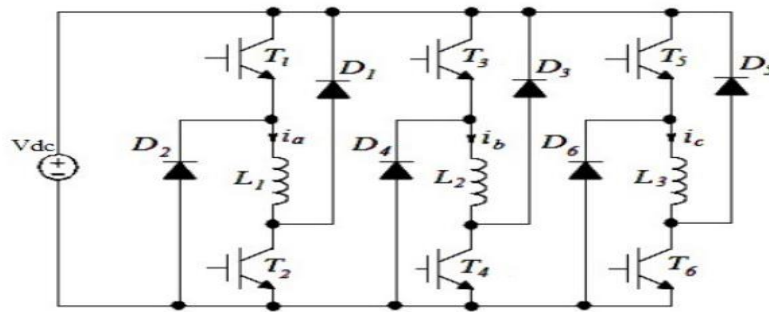
### 2.3 Donanım

DARM motorun hareketini sağlayacak sırada kutup bobinlerini tetikleyen ve aynı zamanda sınır anahtarlarını kontrol ederek motoru durduran bütünleşik bir kontrol kartı tasarlanmıştır. Kontrol kartı, besleme, güç devresi, sürücüler, lojik devre ve mikro denetleyici olarak alt bölümlere ayrılarak tasarlanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen kontrol kartının blok diyagramı Şekil 7'de gösterilmiştir (Fenercioğlu ve Avşar, 2015), (Dursun ve Koç, 2013).



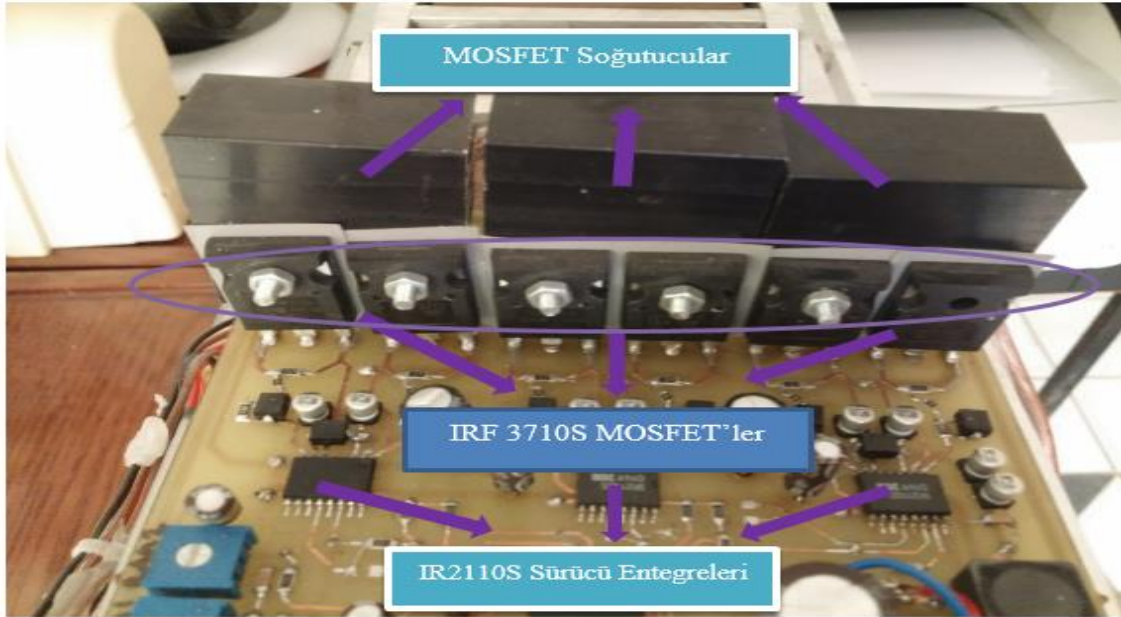
Şekil 7. Elektronik sürücü ve kontrol kartının blok diyagramı  
**Figure 7.** Block diagram of electronic driver and control card

Simetrik olmayan, tek çıkışlı 48V 10A (480W) hazır bir anahtarlmalı güç kaynağı (SMPS), motorun ve devre kartının ana besleme kaynağı olarak seçilmiştir. Motor kutup bobinleri, anahtarlama elemanları üzerinden kontrollü bir şekilde bu güç kaynağı üzerinden güç almaktadır. Ancak çok daha düşük bir gerilim ve akım ihtiyacı olan elektronik kart için, ayrıca bir güç kaynağı kullanılmayıp, motor için kullanılan besleme kaynağından bir DC-DC dönüştürücü devresi ile elektronik kartın besleme ihtiyacı giderilmiştir. Bu güç devresi, öncelikle elektronik kartın çalışması için ihtiyacı olan gücü sağlamakta, aynı zamanda sürücü devresinde anahtarlama elemanlarının tetiklenmesi için gerekli olan güç yine bu devreden sağlanmaktadır. DC-DC dönüştürücü devre elemanı için LM2576HV 3A anahtarlmalı gerilim regülatörü kullanılmıştır. Lojik devre elemanları ve mikrodenetleyici beslemesi için 5V gerilimi elde etmek amacıyla, LM78M05 regülatör kullanılmıştır. DC-DC dönüştürücü devresinden elde edilen 12V, anahtarlama elemanlarının sürülmesinde ve dış algılayıcıların beslemesinde, 5V ise lojik devrelerin ve mikrodenetleyicinin beslenmesinde kullanılmıştır. Anahtarlama elemanları, motor kutuplarını oluşturan bobinlerin kontrollü bir şekilde enerjilenmesini sağlar. H köprüsünü oluşturan devre elemanları için IRF3710S N Kanal 100V 57A MOSFET kullanılmıştır.



Şekil 8. Üç faz için anahtarlama elemanları, H-köprüsü ve sürücü devresi  
**Figure 8.** Switching elements for three phase, H-bridge and driver circuit

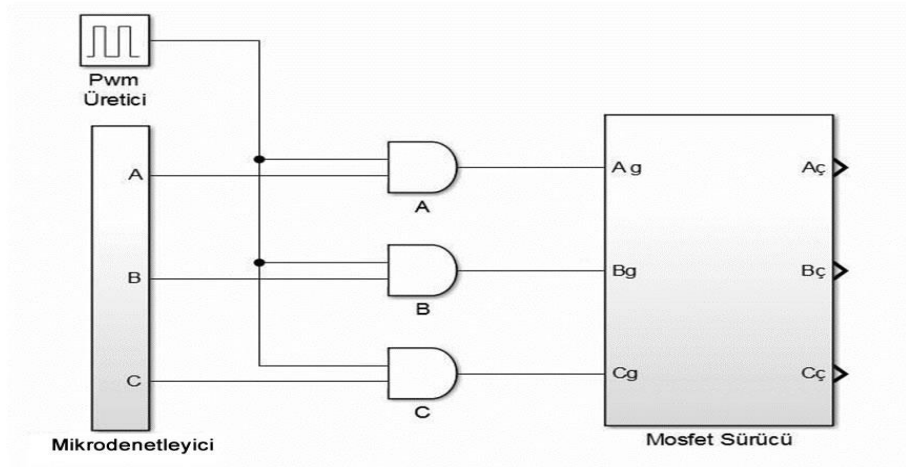
MOSFET Sürücü devresi olarak, IR2110S sürücü entegre devreleri kullanılmıştır. Her bir IR2110S sürücü entegresi, biri yüksek gerilimde, biri düşük gerilime bağlı iki adet N Kanal MOSFET anahtarlama elemanını sürme özelliğine sahiptir. Her faz başına tasarlanan H köprüsü devresinde 2 adet IR2110S kullanılmıştır. Sürülecek bobinlerde meydana gelebilecek zıt EMK etkilerinden koruma amacıyla serbest geçiş diyotları her bir H köprü çıkışına bağlanmıştır. Sürücü devreleri ile birlikte, H köprüsü devre şeması Şekil 8’de gösterilmiştir. Akım kontrolünü sağlamak ve gerektiğinde akımı sınırlayabilmek amacıyla H köprülerinde darbe genişlik modülasyon sinyalleri (PWM) kullanılmıştır. Elektronik kontrol kartın sürücü devre kısmı Şekil 9’da görüldüğü gibidir.



Şekil 9. Kontrol kartın sürücü devresi

**Figure 9.** Driver circuit of control card

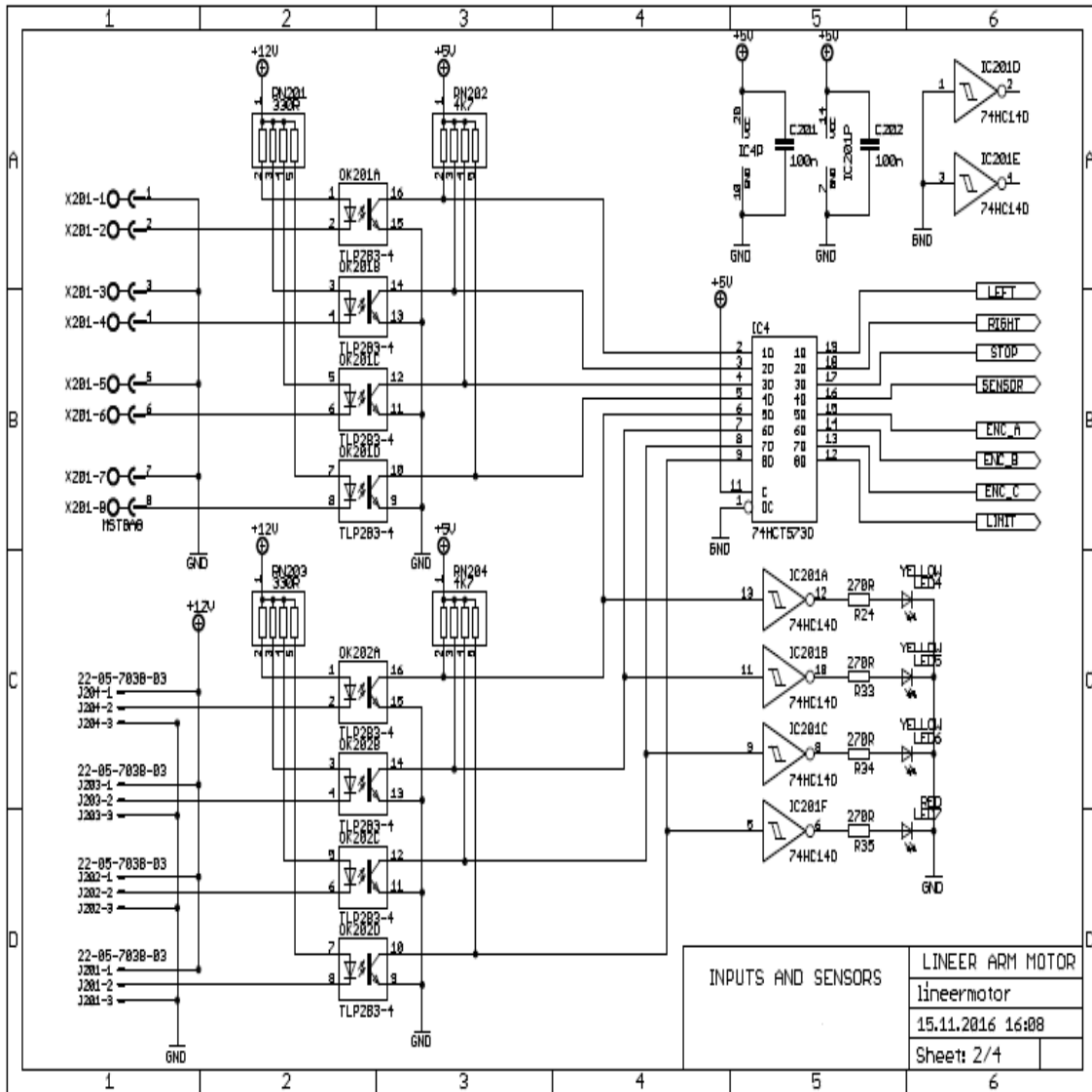
48V beslemeyi devre kartının ihtiyacı olan 12 volta düşüren regülatörlü devre kullanılmıştır. Lojik devre, PWM sinyali ile üç fazı oluşturan H köprülerinin dörder kontrol ucunun kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Mantıksal devrenin şeması Şekil 10’da gösterilmiştir (Dursun ve Koç, 2013)



Şekil 10. Kontrol kartın mantıksal şeması

**Figure 10.** Logical schematic of control card

Devre dışından iki tip sinyal alınmaktadır. Bunlar kullanıcı kontrolünü sağlayan sol, sağ ve dur butonları ile DARM motorun üzerinde bulunan, mekanik sınırlara ulaştığını algılayan sınır anahtarları ile rotor pozisyonunu algılayan kodlayıcı (QRD 1114 kırmızı ötesi sensör) algılayıcılarıdır. Dış kaynaklı sinyaller için TLP283-4 optokuplörler ve schmitt trigger devreleri kullanılmıştır. Normalde açık kontak bağlantısı olarak tasarlanan girişler, 12V besleme gerilimini uygun bir akım sınırlayıcı direnç üzerinden optokuplör (optik yalıtım) ile güç devresini anahtarlama yapmaktadır. Böylece, 50mA'ye kadar çalışma akımına sahip optokuplör elektromanyetik gürültülerden etkilenme olasılığı en aza indirilmiştir. Her bir optokuplör çıkışında ise birer schmitt trigger kapısı ile kare dalga şekli düzeltilerek kararsız bölgede kalabilecek seviye durumlarının önüne geçilmiştir. DARM motor üzerinde bulunan sınır anahtarları ve kodlayıcı algılayıcılar ise, sadece bir eviren kapı devresi üzerinden mikro denetleyiciye bağlanmıştır. Devre dışındaki sinyal girişlerin mikro denetleyici tarafından okunmasını sağlayan devre şeması **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** 11'de gösterilmiştir.

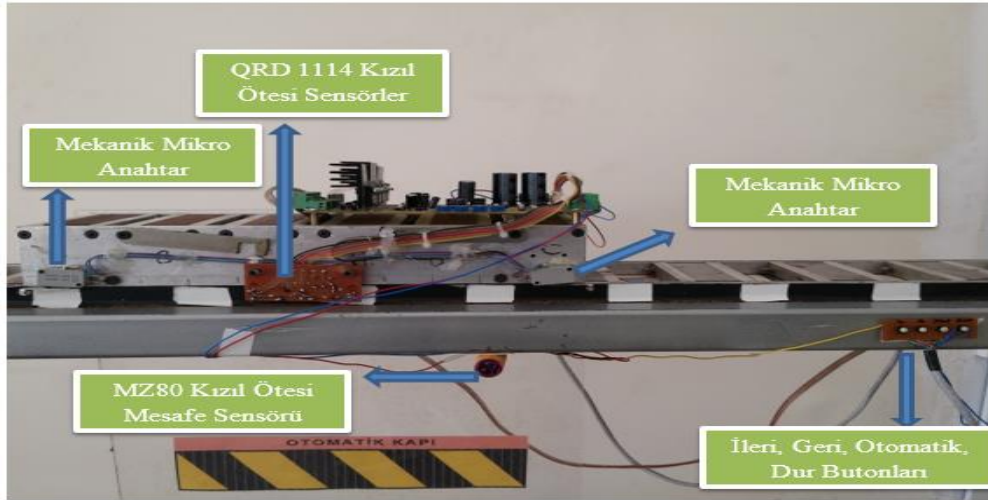


Şekil 11. Dış devreden girişlerin okunması

**Figure 11.** Transmitting the inputs from the external circuit



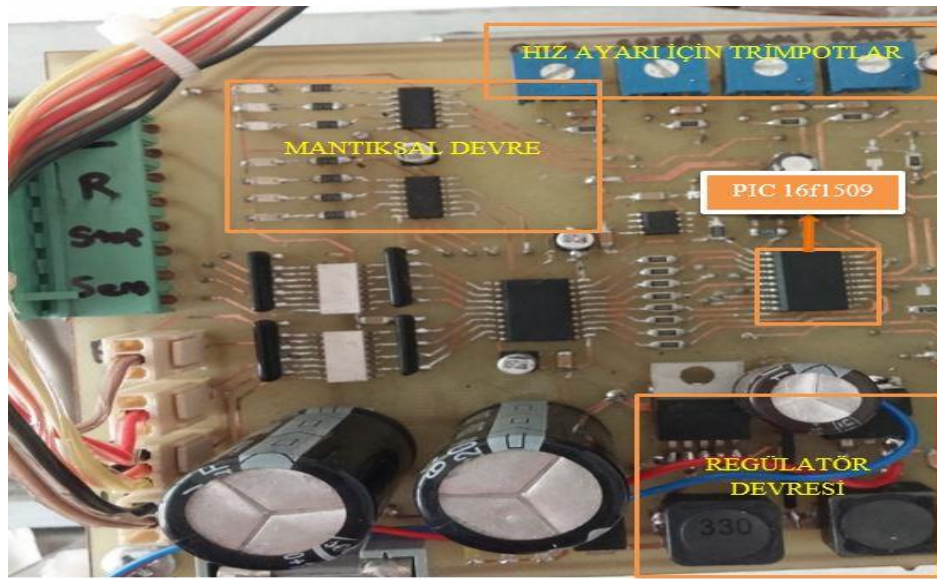
DARM motor üzerinde bulunan sınır anahtarları için mekanik mikro anahtarlar kullanılmıştır. Şekil 12’de prototipe uygulanan sensör ve butonlar gösterilmektedir. Eyleyicinin konumunun algılanması, hızlanma ve yavaşlama hareketlerinin sağlanması için 3 adet kızıl ötesi sensör kullanılmıştır. Stator kenarına çekilen beyaz çizgiler ile QRD sensörlerden gelen çıkış sinyaline göre eyleyicinin konum bilgisi PIC’e gönderilmektedir. Eyleyiciyi harekete geçirmek için ileri, geri, otomatik ve durdurma butonları ile birlikte otomatik olarak hareket etmesi için kızıl ötesi mesafe sensörü ve kapı arasında engel gördüğünde durması için mesafe sensörü (BEAM) kullanılmıştır.



Şekil 12. Prototipe uygulanan sensör ve anahtarlar

**Figure 12.** The applied sensors and switches on prototype

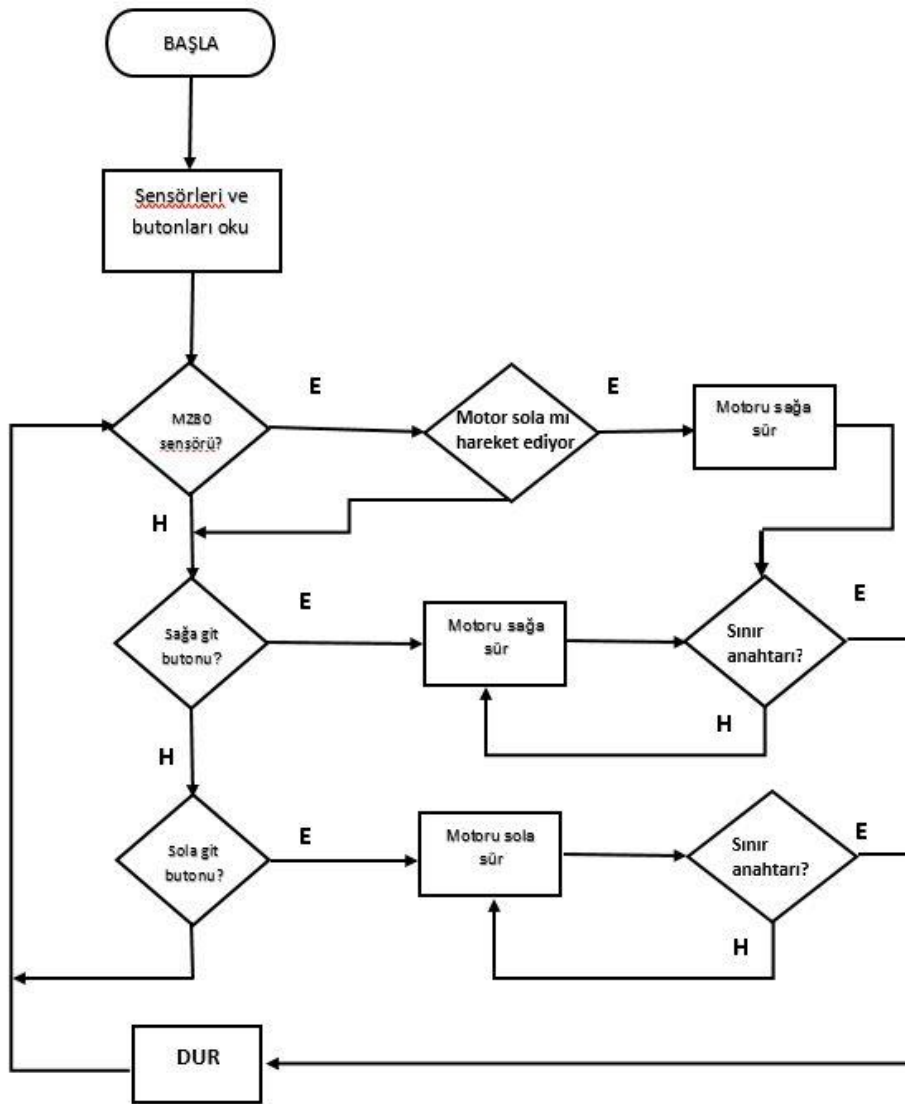
Mikrodenetleyici olarak PIC 16f1509 tercih edilmiştir. 14KB program belleği, 512 Byte SRAM, 16MHz kristal frekansı, 4 adet PWM çıkışı, 12 kanal 10 Bit ADC girişi, 3 adet zamanlayıcı ile bu çalışma için yeterli kapasitede ve gerekli çevre birimlerine sahip en küçük mikro denetleyicidir. Bu mikrodenetleyici devre üzeri seri programlama (ICSP) portlarına sahiptir ve programlama işlemleri bu port üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elektronik kartın üzerinde mantıksal devre, regülötör devresi ve mikrodenetleyici Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13. Elektronik kart üzerindeki regülötör, mantıksal ve mikrodenetleyici devreleri  
**Figure 13. Regulator, logic and microcontroller circuits on electronic card**

#### 2.4. Çalışma Algoritması ve Mikrodenetleyici Yazılımı

Tasarlanan sistemin temel görevi, ilgili komut alındığında DARM kapıyı sağa veya sola kaydırarak hareket ettirmek ve istendiğinde durmasını sağlamaktır. Durdurma komutu verilmediğinde ise, maksimum sınıra ulaşıldığında motor otomatik olarak durmalıdır. Sistemin işleyişi sağlayabilmek için her görev alt birimler halinde tasarlanmıştır. Butonların, algılayıcıların, sınır anahtarlarının okunması, rotor konumunun öğrenilmesi, motorun hareketi için gerekli tetikleme sinyallerinin üretilmesi, akım kontrolü ve zamanlama işlemleri bu alt bölümleri oluşturmaktadır. Sistemin genel çalışması ile ilgili akış diyagramı Şekil 14’te gösterilmiştir.



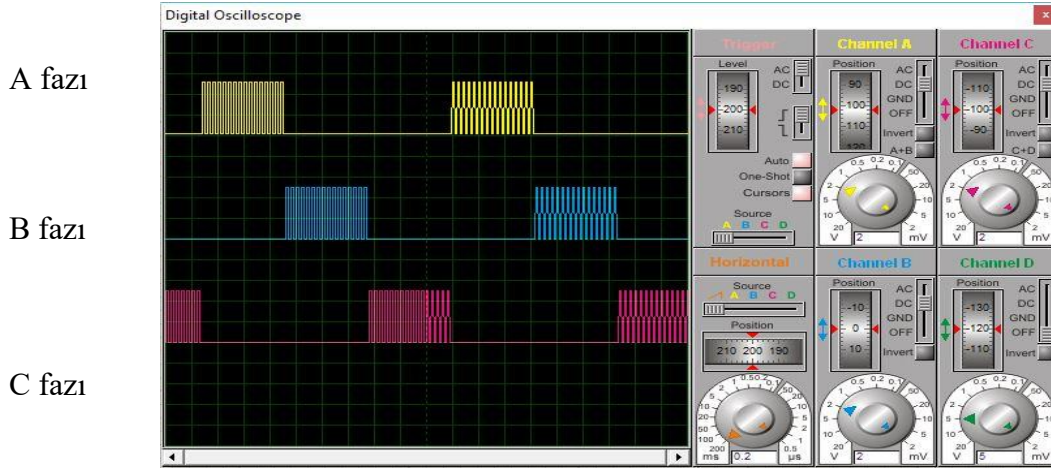
Şekil 14. Sistemin genel akış diyagramı  
**Figure 14. General flow diagram of system**

#### 2.5. Motorun Sürülmesi

DARM motorun sürülebilmesi için her faz bobini uçları ayrı H köprülerine bağlanmıştır. Her H köprüsü ise, dört anahtarlama elamanından oluştuğundan normalde H köprüsü

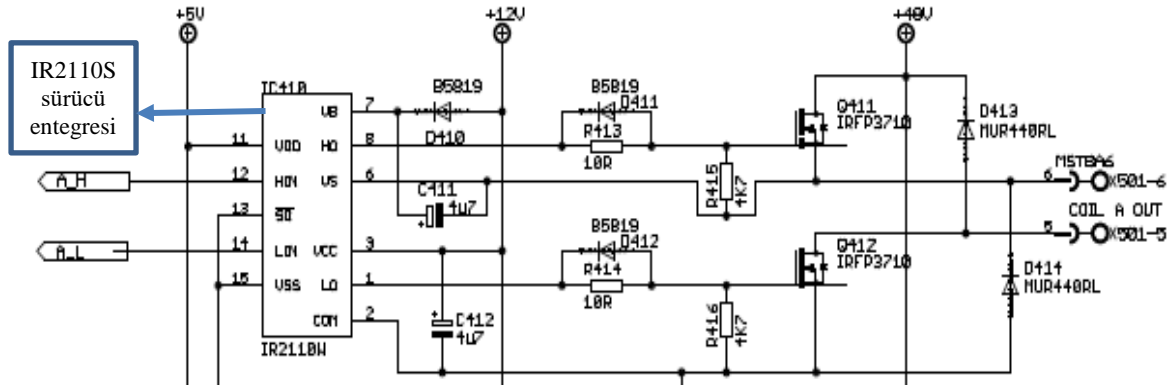
başına dört olmak üzere toplam 12 kontrol ucu gerekmektedir. Ancak, sürücü girişleri ile mikrodenetleyici arasında tasarlanan mantıksal devre ile kontrol edilmesi gereken uç sayısı 6 ya düşürülmüştür. Ayrıca, H köprü elemanlarına uygulanan tetikleme PWM sinyalleri kullanılmıştır. Böylece akım kontrolü gerçekleştirilebilmektedir. Algılayıcıların her bir olası durumu için, rotorun hareket etmesi gereken yöne göre tetikleme sinyalleri her faz bobinine ait H köprülerine iletilmektedir. Hız kontrolü için, algılayıcıların okunması ile sürücüye gönderilen tetikleme sinyalleri arasında süresi ayarlanabilir bir gecikme kullanılmaktadır. DARM için PWM sinyallerinin genlikleri ve frekansları sürücü üzerinden istenilen aralıkta kontrol edilmektedir. Anahtarlama elemanları PWM tekniği ile tetiklenir. Böylece değişken bir faz akımı sağlandığı için değişken bir manyetik akı oluşur. Akımın akım ile değişmesi faz indüktansı karakteristiğini ortaya çıkarır. Örneğin fazlar sırasıyla 10 hz ile anahtarlendiğinde endüktans değerinin kontrolü için enerjilendirilen faz için anahtarlama çıkışlarına 100 Khz frekans yollanabilir. Bu şekilde eyleyicinin hızı anahtarlama elemanının hızına bağlı olarak değişecek, PWM sinyalleri ise istendiği gibi MOSFET tetiklerinin sayısını artıracaktır (Dursun ve Koç, 2013).

Şekil 15’de A, B, C kanalları fazları göstermektedir. A fazının üstüne PWM sinyalleri eklenerek yollanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi A fazı tetiklendiği durumlarda anahtarlama işlemi fazlara göre belirlenmektedir. Ancak MOSFET tetiklemeleri PWM frekansına göre belirlenmektedir.



Şekil 15. Mikrodenetleyicinin çıkış sinyalleri ile PWM sinyallerinin eklenmesi  
*Figure 15. Addition of PWM signals and output signals of microcontroller*

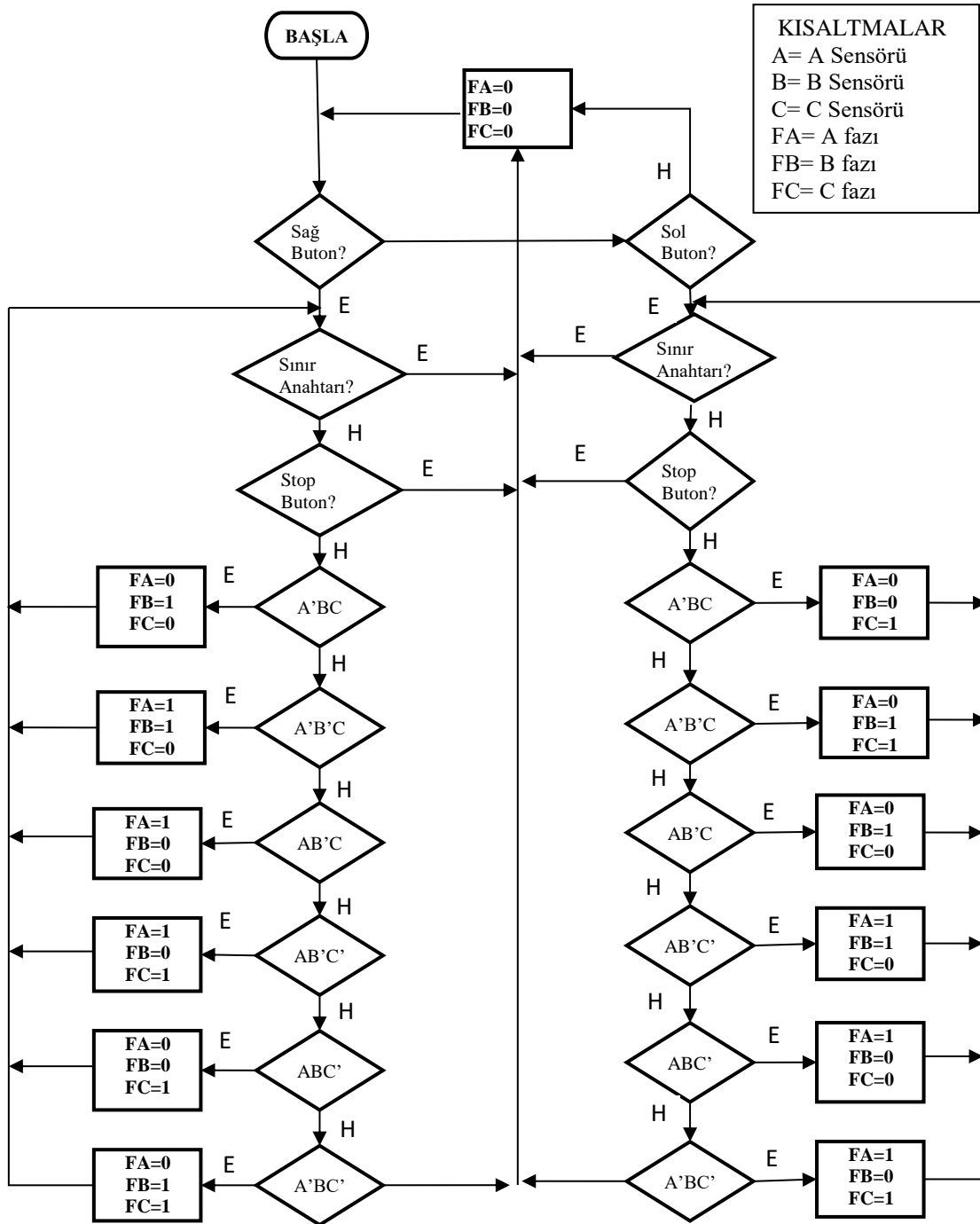
Şekil 16’da bir faz için transistörler ile MOSFET bağlantıları gösterilmiştir. MOSFET Sürücü devresi olarak, IR2110S sürücü entegre devreleri kullanılmıştır. Her bir IR2110S sürücü entegresi, biri yüksek gerilimde, biri düşük gerilime bağlı iki adet N Kanal MOSFET anahtarlama elemanını sürme özelliğine sahiptir.



Şekil 16. MOSFET konvertör sürücü tasarımı

**Figure 16.** Drive design of MOSFET converter

Sürülecek bobinlerde meydana gelebilecek zıt EMK etkilerinden koruma amacıyla serbest geçiş diyotları her bir H köprü çıkışına bağlanmıştır. Sürücü devreleri ile birlikte, H köprüsü devre şeması Şekil 16'da gösterilmiştir. Akım kontrolünü sağlamak ve gerektiğinde akımı sınırlayabilmek amacıyla H köprülerinde darbe genişlik modülasyon sinyalleri (PWM) kullanılmıştır. Motorun sürülmesinde kullanılan programın akış şeması Şekil 17'de gösterilmektedir.



Şekil 17. Motorun sürülme algoritması

**Figure 17.** Algorithm of motor driving

Rotorun sağa ve sola hareketi için gerekli olan A, B, C faz kutuplarının sırasıyla alması gereken değerler Çizelge 2’de gösterildiği sırada olmaktadır. Sağa ve sola hareket için tetikleme sıraları değişmektedir. Her iki yön için tetikleme sıraları Çizelge 2’de ayrı ayrı gösterilmiştir. Çizelgede sensörlere dijital 0 bilgisi faz bobinlerine ise 1 bilgisi geldiğinde aktif olmaktadır.

Çizelge 2. Rotorun sola ve sağa hareketi için faz tetikleme sırası

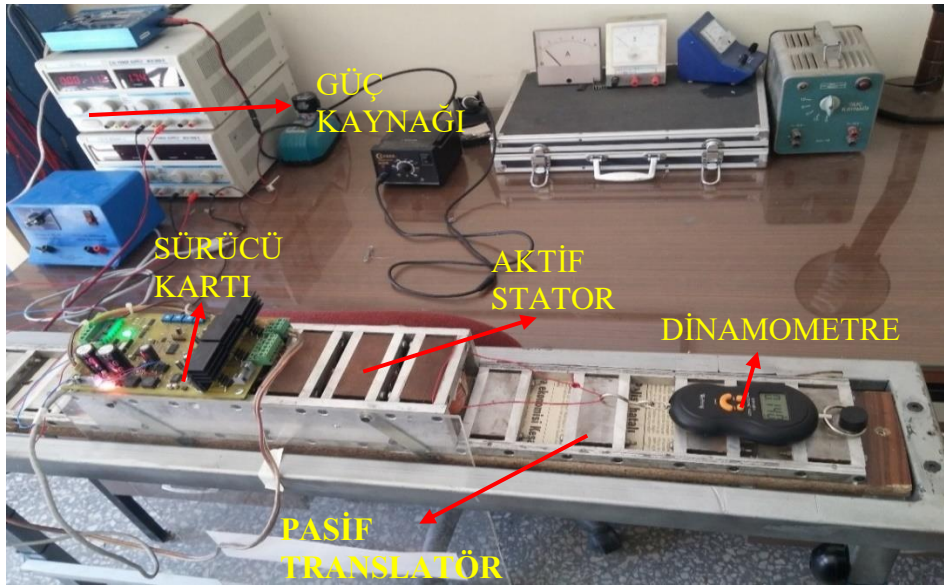
**Table 2.** Phase trigger sequence for rotor left and right movement

	SAĞA Giderken	SOLA Giderken
--	---------------	---------------

Sensörler (0:Aktif)			Faz Bobinleri (1:Aktif)			Faz Bobinleri (1:Aktif)		
A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	1	1	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	1	1	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	1	0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1	1

### 3. Bulgular ve Tartışma

Eyleyicinin kontrol kartı test edildikten sonra uygun gerilim ve akım değerlerinde elde edebileceği kuvvet değerlerini ölçmek için Şekil 18'deki gibi test düzeneği oluşturulmuş ve dinamometre vasıtası ile ölçülen değerler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Eyleyicinin 7,7 amper akım değerinde yaklaşık olarak 346,5 watt'lık güç tükettiği tespit edilmiştir. Kontrol katının yüksek akımdan zarar görmemesi için 8 amperden fazla akım verilmemiştir. Bu değer 46 N kuvvet üretmektedir. Genel olarak kapı hareketi için 30 N kuvvet yeterli görülmektedir. Bu durumda güç 180 W civarında olacaktır. Geleneksel kapılara göre güç tüketimi kıyaslandığında öngörülen eyleyici de verimin daha düşük olduğu görülmektedir. Fakat bu sistem verimlilik için yapılmış bir çalışma değildir. Geleneksel kapılara alternatif olabilecek mekanizmasız bir tahrik sistemidir. Gelecekte yapılacak çalışmalarla verimlilik ve performansta iyileştirmeler yapılacaktır.



Şekil 18. Deney test düzeneği

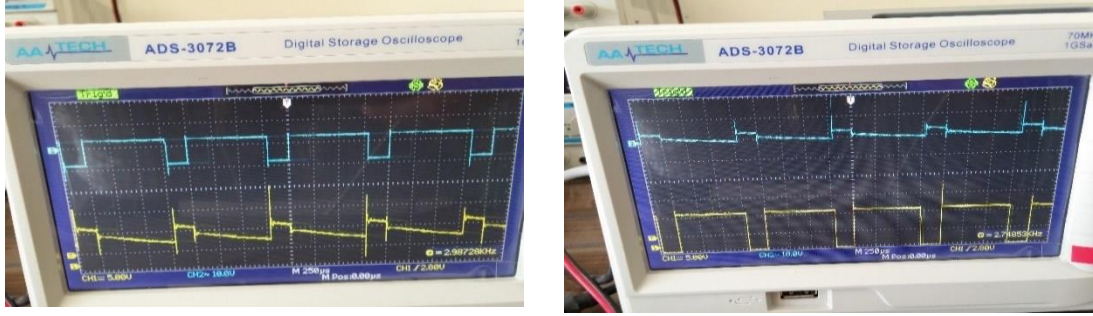
**Figure 18.** Experimental setup

Çizelge 3. Eyleyicinin elde edilen test sonuçları

**Table 3.** Test results obtained from the actuator

GERİLİM	AKIM	KUVVET	GÜÇ
16V	3,2A	9,9N	51,2 W
24V	4,4A	19,6N	105,6 W
34V	5,2A	29,4N	176,8 W
45V	7,7A	46N	346,5 W

Şekil 19’da test edilen eyleyicinin A ve B fazları için ölçülen osiloskop sinyalleri gösterilmiştir. Yapılan ölçümlerde anahtarlama frekansı 4,25 Khz olarak tespit edilmiştir.



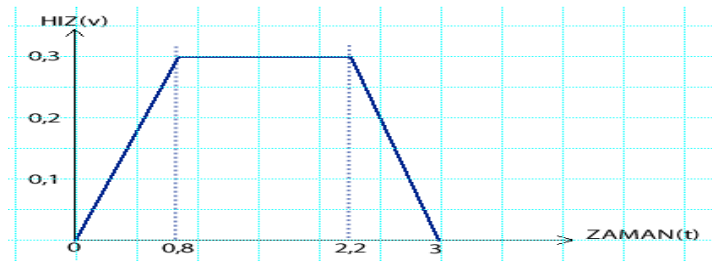
(a)

(b)

Şekil 19. Fazların çıkış sinyalleri a) A fazı çıkış sinyali b) B fazı çıkış sinyali

**Figure 19.** Output signals of phase a) output signal of A phase b) Output signal of B phase

Şekil 20’de görüldüğü gibi otomatik kapının hızlanma ve yavaşlama süreleri 0,8 sn, kapının tamamen açılma süresi ise 3 sn olarak ölçülmüştür. Bu süre zarfında ulaşabildiği maksimum hız ise 0,4 m/sn’dir. Kapının hareket mesafesi ise 0,66 m’dir. Sürücü devresi üzerinden anahtarlama frekansı artırılarak kapının hızının artırılması mümkündür.



Şekil 20. Otomatik kapının hız-zaman grafiği

**Figure 20.** Speed-Time graph of automatic door

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada enine manyetik akıllı EI nüveli bir DARM eyleyicisi elektromekanik sistem olarak otomatik kayar kapıya uygulanmıştır. Eyleyici olarak, otomatik kapı sistemlerinde kullanılabilir enine akıllı 6/4 kutup oranında, 3 fazlı, aktif stator, pasif translatöre sahip, tek yüzlü DARM kullanılmıştır. Sürücü olarak PIC mikrodenetleyici ile kontrol edilen bir elektronik kartın tasarımı, yazılımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sürücüde MOSFET’lerden oluşan H köprü konvertör güç kartı olarak kullanılmıştır. PIC mikrodenetleyici ile MOSFET’ler 3 fazlı olarak sürülmüştür. PWM tekniği ile anahtarlama sağlanmıştır. Elde edilen sistemde prototip olarak otomatik bir kapı sistemine montajı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçlarında 7,7 A akım ve 45 V gerilim değerinde 46 N çekme kuvveti ve 346,5 W güç tüketimi ölçülmüştür. Kayar kapı hareketi için 30 N kuvvet yeterlidir. Dolayısıyla 180 W gücünde bir eyleyici yeterli gözükmektedir. Yapılan testler sonucunda öngörülen tasarımın otomatik kapı sistemlerine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Bu yeni tahrik sisteminin otomatik kapılara uygulanması ve ticarileşmesi mümkün gözükmektedir. Böylece; döner hareketli motorla çalışan otomatik kapı mekanizmalarının karmaşık yapıda olmasından dolayı arıza oranları yüksektir ve bakım gerektirmektedir. Döner motor yerine DARM kullanılması ile mekanizmalar ortadan kalkarak sistemin maliyeti, arıza riski ve bakım ihtiyacı azalacaktır. Gelecekte, öngörülen

sistemin performansının iyileştirilmesi ve veriminin artırılması için çalışmalar yapılacaktır.

**Açıklama:** Bu çalışma; Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlanan “Doğrusal Anahtarlamalı Relüktans Motor İle Sürülen Otomatik Kapının PIC Mikrodenetleyici ile Kontrolü” başlıklı tezden üretilmiştir. Ayrıca 02-04 Kasım 2017 tarihlerinde Tokat’ta düzenlenen ISMSIT 2017 sempozyumunda özet bildiri olarak sunulmuştur.

## Kaynaklar

- Dursun, M. ve Fenercioglu, A., 2011. Velocity Control of Linear Switched Reluctance Motor for prototype Elevator Load. A, PRZEGLAD (Electrical Review), 87(12a):.209-214.
- Dursun M., Koç F., 2013. Linear switched reluctance motor control with PIC18F452 microcontroller. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 21:1107-1119.
- Fenercioglu A., Avşar, Y., 2015. Design and analysis of EI core structured transverse ux linear reluctance actuator, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, (2015) 23: 945-955
- Hirayama, T., Matsumoto R., Hiraishi, T., Kawabata, S., 2015. Drive performance evaluation of linear switched reluctance motor using a current source inverter. Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2015 18th International Conference, Tayland
- Kolomeitsev, L., Kraynov, D., Pakhomin, S., Rednov, F., Kallenbach, E., Kireev, V., Schneider, T., Bocker, J., 2008. Linear switched reluctance motor as a high efficiency propulsion system for railway vehicles. Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, International Symposium, Italy
- Krishnan, R., Lim, H.S., Lim, Lobo, N.S., 2008. Design and Control of a Linear Propulsion System for an Elevator Using Linear Switched Reluctance Motor Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 55, Issue: 2, Page(s): 534 – 542.
- Lachheb, A., Amraoui, L.E., Khediri J., 2017. Control of linear switched reluctance motor for sliding door application. Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET), 2017 International Conference, Tunisia.
- Lee, B.S., Bae, H.K., Vijayraghavan, P., Krishnan, R., 1999. A Linear Switched Reluctance Motor: Converter and Control. Industry Applications Conference Thirty-Fourth IAS Annual Meeting, USA.
- Mahmoud, I., Rehaouia, H., 2014. Thrust force based model for biomedical linear switched reluctance motor and its validation by two dimensional FEM. Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), 2014 15th International Conference, Tunisia.
- Polat, K., 2010. Anahtarlamalı Relüktans Motor İçin Mikrodenetleyici İle Ekonomik Bir Sürücü Gerçekleştirilmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Ravikumar, D., Murty, V.S., Jain, S., 2016. Linear switched reluctance motor for High Speed Transit System. Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), 2016 IEEE Students' Conference, Indonesia.
- Ustkoyuncu, N., Daldaban, F., 2009. A new linear switched reluctance motor with MagLev effect. Electrical and Electronics Engineering, ELECO 2009. International Conference, Türkiye
- Zaafrane, W., Mahmoud, I., Fathalah, M., Rehaouia, H., 2013. Control of linear switched reluctance motor for biomedical application. Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA), 2013 International Conference, Tunisia
- Zhang, R., Ferreira, F. J. E. T., Ge, B., 2011. Transverse-flux linear switched reluctance motor for semi-magnetic suspending rail vehicle. IECON 2011- 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Australia.