

## Elektromanyetik Fırlatıcılı Alan Savunma Sistemi Tasarımı ve Gerçeklenmesi

\*Ömür AKYAZI<sup>1</sup>, M. Orhan BOZDAĞ<sup>2</sup>, A. Sefa AKPINAR<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Abdullah Kanca MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Trabzon

<sup>3</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon  
\*oakyazi@ktu.edu.tr

(Geliş/Received:30.09.2014 Kabul/Accepted:01.03.2015)

### Özet

Bu çalışmada; insanlar için tehlikeli olan askeri veya sivil bölgelerin denetimini ve güvenliğini sağlamak için kullanılan sistemlere alternatif olarak manyetik alan ile çalışan alan savunma sistemi tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem mevcut kullanılan alan savunma sistemlerine karşı yeni bir alternatif sunması beklenmektedir. Çalışmanın amacı mevcut sistemlere göre daha ekonomik, daha verimli, az bakım gerektiren ve iyi kontrol edilebilir bir savunma sistemi oluşturmaktır. Bu bakımdan sistem için gerekli olan elektriksel ve mekaniksel donanımlar tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen sistem lazer güdümlü olup hassasiyeti yüksek ve x eksenini etrafında 360 derece, y eksenini etrafında 180 derece hızlı ve yavaş manevra yapabilmeye yeteneğine sahiptir. Yapılan çalışmada fırlatıcı olarak herhangi bir mekanik itici kullanılmadan sargıların oluşturduğu manyetik alanın etkisiyle çalışan elektromanyetik fırlatıcı kullanılmış ve sargı özelliklerinin fırlatma performansına etkileri incelenmiştir. Sistemde kontrol elemanı olarak PIC 18F452 kullanılmış ve gerekli olan yazılımlar hazırlanmıştır. Ayrıca çalışmada mermi hızını etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak sistemin matematiksel ifadesi açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik Fırlatıcı, Mermi Hızını Etkileyen Faktörler, PIC Mikrodenetleyici.

## Electromagnetic Launcher Area Defense System Design and Implementation

### Abstract

In this study, a space defense system driven by magnetic field is designed as an alternative to systems used to provide security and control of military or civil areas endangered for people and a prototype is realized. It is expected that the system designed will be alternative to defense systems which are being used nowadays. The main goal of this study is to design a defense system, which is more economical, has higher efficiency, need less maintenance and also has stronger controllability than existing systems. Thus, electrical and mechanical parts needed for the system are designed. The system realized is laser guided with high sensitivity and has ability for fast and slow movement 360° around the x-axis and 180° around the Y-axis. In this paper, electromagnetic launcher running with the effect of the magnetic field produced by windings is used as a launcher without any mechanical drive mechanism and effects of winding properties on the launcher performance is discussed. PIC 18F452 is used as a control unit and software needed is prepared. Moreover, the system mathematical expression is clarified in view of the fact that factors affecting bullet speed.

**Keywords:** Electromagnetic Launcher, Factors Affecting Bullet Speed, PIC Microprocessors.

### 1. Giriş

Varlıkları çok eskiye dayanan elektrik ve manyetik alanlar, teknolojinin yeterli olgunluğa ulaşması ile birlikte farklı uygulama alanlarına sahip olabilmişlerdir. Özellikle son yıllardaki güç elektroniği alanındaki gelişmeler, elektromanyetik fırlatıcılar alanındaki çalışmaların artmasını neden olmuştur[1]. Ayrıca

manyetik fırlatıcıların kontrol, hız, verimlilik, enerji vb. pek çok avantajlarından dolayı gelecekte teknolojik gelişmelere paralel olarak askeri ve sivil alanlarda kullanılabileceklerdir. Manyetik fırlatıcı ile ilgili ilk çalışmalar ABD’de değişik amaçlar için yapılmış olup daha sonradan gelişen teknoloji ile birlikte askeri amaçlı çalışmalarda da büyük bir hız kazanmıştır[2-5]. Elektromanyetik fırlatıcılar temelde raylı, sargılı

(bobinli) ve karma (hibrit) olmak üzere üç türe sahiptirler.

Raylı elektromanyetik fırlatıcıların çalışması, metal iki ray arasına yerleştirilmiş cisimlerin üzerinde oluşturulan elektriksel itme kuvveti ile fırlatılması ilkesine dayanmaktadır. Ray malzemesi olarak genellikle bakır kullanılmakla beraber, yüksek etkinlikli raylı silahlar için daha yüksek mekanik dayanımlı, büyük akımları taşıyabilen ve iletkenliği daha yüksek olan özel malzemeler kullanılmaktadır. Raylı fırlatıcılarda ray ömrü, rayların ısınması ve ray oyuk geometrilerinin verimliliğe etkisi vb. birçok konuda çalışmalar devam etmektedir.

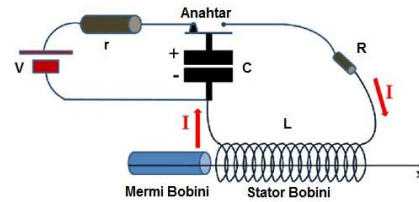
Sargılı (bobinli) elektromanyetik fırlatıcılar, elektriksel olarak beslenen sabit sürücü bobinleri ve fırlatılan mermiden meydana gelmektedir. Sürücü bobininden akım akması, mermi üzerinde itici bir kuvvetin oluşmasına ve merminin ileriye doğru fırlamasına neden olur. Karma (hibrit) elektromanyetik fırlatıcılar yapılarında en az iki farklı yapıyı barındıran sistemlerdir. Diğer sistemlere göre en büyük üstünlüğü daha az akımla aynı sonuçların elde edilmesidir. Bunların dışında asenkron motor prensibine göre çalışan hava nüveli sargılı doğrusal hareketli fırlatıcılar ve ısı enerjisinin oluşturduğu itme kuvveti ile çalışan elektrotermal-kimyasal (ETC) fırlatıcılar da mevcuttur. Elektromanyetik fırlatıcıların kullanım alanları teknolojik gelişmelere paralel olarak özellikle askeri alanlarda gittikçe artmaktadır. Uygulama olarak manyetik fırlatıcılar, uçak gemilerinde uçakların fırlatılmasında, uzun menzilli güdümlü füzelerin fırlatılmasında, denizaltı ve gemilerde torpedo fırlatılmasında, zırhlı sistemlerin zırhlarının tahrip edilmesinde vb. birçok askeri alanda kullanılmaktadır[6-12].

Yapılan çalışmada sargılı (bobinli) elektromanyetik fırlatıcı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen uygulamada elektromanyetik fırlatıcı veya indüksiyon bobin silahı temelde iki kısımdan oluşmakta olup bu kısımlar arasında herhangi bir elektriksel veya mekaniksel bağ bulunmamaktadır. Manyetik kuplaj ile birbirlerine bağlı olan bu kısımlardan sabit olanı sürücü bobinini, hareketli olanı ise mermi bobinini ifade etmektedir[13].

## 2. Elektromanyetik Fırlatıcılar Kuramı

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen elektromanyetik fırlatıcı, temelde bir doğrusal hareketli elektrik makinesi olup, çalışma ilkesi, elektromanyetik teoriye dayanmaktadır[14,15]. Gerçekleştirilmek istenen durum, sabit olan sürücü bobini veya stator bobininde güçlü bir elektromanyetik alan oluşturularak hareket ettirilecek olan mermi bobininin bu elektromanyetik alanı takip etmesini sağlamaktır. Sürücü bobini üzerindeki akımın zamanla değişmesi, hareketli bobin üzerinde akım indüklenmesine neden olur. Bunun neticesinde Lenz Kanunu'na göre iki bobin arasında bir itme kuvveti oluşur. Kuramsal olarak elektromanyetik alanın hareket etme hızında bir sınır olmadığı için, mermi içinde bir hız limiti yoktur [16,17]. Bu tip uygulamaları bu denli ilginç kılan özellik de gelişmeye açık olmasıdır. Bir bobinden akım aktığında bobinin etrafında manyetik alan oluşur ve bobin içinde alan yoğunlaşmasına neden olur. Hareketli olan mermi sargı yanına yerleştirilecek olursa, manyetik akı düşük relüktanslı yolu tercih edeceğinden dolayı manyetik indüksiyon oluşturularak cismi içine çekecektir. Hareket eden elektromanyetik alan ile nesnelerin hareket ettirilmesine yönelik farklı tip uygulamaların yapılması mümkündür. Günlük hayatımızda kullanılan elektrik motorları bunun en genel uygulamalarıdır.

Şekil 1'de gösterilen indüksiyon bobin silahı elektriksel olarak temelde sabit ve hareketli stator ve mermi bobinleri, stator sargısını besleyen kondansatör ile anahtarlama amacıyla kullanılan tristörden oluşmaktadır.



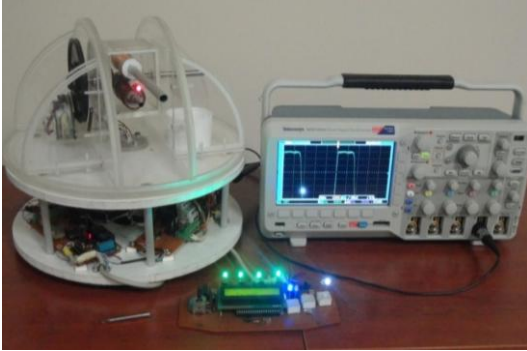
Şekil 1: İndüksiyon bobin silahının temel elektriksel devresi

Şekil 1 deki devre gerçekleştirilen uygulama için oldukça sade olup sistemin tetiklenmesi, konumunun ayarlanması, kontrolü ve benzeri sebeplerden dolayı devreye bazı ilave elemanların bağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen sistemde fırlatıcının x

ekseni etrafında 360 derece ve y ekseninde 180 derece hareket etmesini sağlayan iki adet motor kullanılmıştır. Şekil 1 incelendiğinde fırlatıcıda kullanılan sargılardan dolayı indüktans ve direnç, sargıyı besleyen kapasiteden dolayı seri bir RLC devresine benzemektedir. Bu bakımdan manyetik fırlatıcılar incelenirken RLC devrelerinin özelliklerini dikkate almak gerekir[17]. Manyetik fırlatıcı veya indüksiyon bobin silahı hakkında verilen bu temel bilgilerden sonra uygulaması gerçekleştirilen sistem hakkında bilgi verebiliriz.

### 3. Yapılan Çalışmalar ve Bulgular

Bu çalışmada insanlar için tehlikeli olan belirli bir bölgenin güvenliğini ve denetimini sağlamak için kullanılan sistemlere alternatif olarak geliştirilen daha ekonomik, daha verimli, iyi kontrol edilebilen ve manyetik etki ile çalışan alan savunma sistemi tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Prototipi gerçekleştirilen alan savunma sistemi Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2: Gerçekleştirilen manyetik etkili alan savunma sistemi

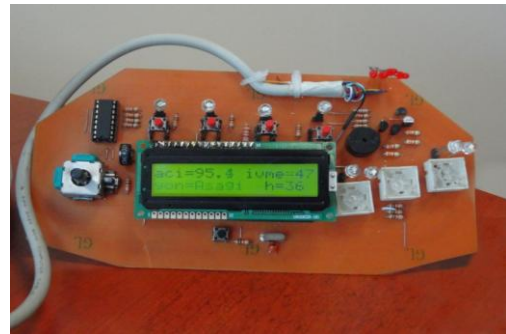
Şekil 2’de gösterilen sistem küçük ölçekli olup yaklaşık 10m yarıçapındaki alanı kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemde iki farklı ivmelendirici sargı kullanılmıştır. Bu sargılar, sistem için belirlenen akım değerini taşıyabilecek kesitte ve yeterli dirence sahip olması gerekir. Kullanılan sargılar  $0.40\text{mm}^2$  ve  $0.70\text{mm}^2$  kesitinde olup sarım sayıları sırasıyla 600 ve 900’dir. Sargılardan anlık olarak 20A-25A civarında akımlar akıtılmıştır. Yapılan çalışmada mermi olarak 5.5cm uzunluğunda 5mm çapında metal cisimler kullanılmıştır. Hedef olarak kullanılan plastik şişe ve teneke kutular üzerinde yapılan deneylerde kesiti ve

sarım sayısı çok olan bobinin daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca bobin kesiti, sipir sayısı, kondansatör değerleri ve anahtarlama elemanı değiştirilerek sistemin kapsama alanı ve gücü artırılabilir. Şekil 3’de sistem için tasarlanan elektronik devreler ve dönme hareketlerini sağlayan düzenekler gösterilmiştir.



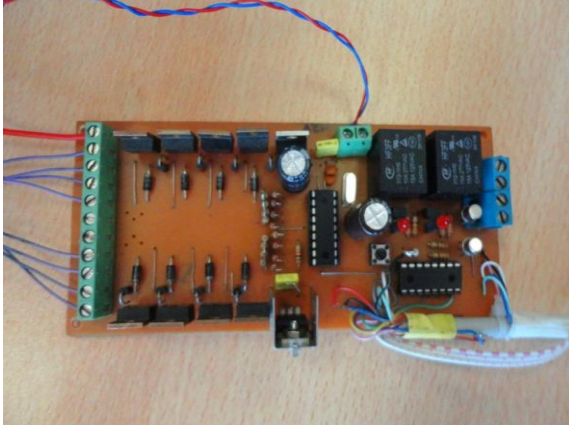
Şekil 3: Tasarlanan elektronik devreler ve dönme hareketini sağlayan düzenekler

Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde tasarlanan manyetik etkili alan savunma sistemi temelinde kontrol devresi, yüksek gerilim kartı (Anahtarlama Devresi), motor sürücü ve alıcı kartı olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu ana bölümlere ek olarak sargıları besleyen kondansatörler, doğrultucu ve namlunun dönmesini sağlayan motorlar da mevcuttur. Sistemin çalışması kontrol devresi üzerindeki joystick ve butonlarla sağlanmaktadır. Sistem lazer güdümlü olup hassasiyeti yüksek, hızlı ve yavaş manevra yapabilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca sistemde sargıları besleyen kondansatörler tek şarj ile 5 kez ateşleme yapabilme ve hızlı şarj olabilme yeteneğine sahiptir. Sistemin temel parçalarından olan, kontrol devresi Şekil 4’te görülmektedir.



Şekil 4: Kontrol devresi

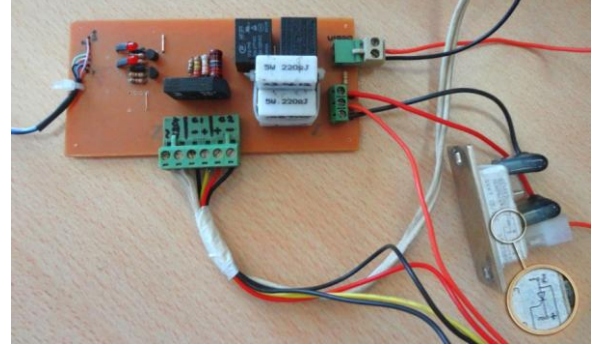
Sistemin çalışması devre üzerindeki joystick ve butonlarla sağlanmaktadır. Şekil 4’de gösterilen kumanda devresi ile sistemdeki bütün faaliyetler uzaktan kontrol edilerek yönetilir. Bu faaliyetlerin en başında kullanıcıdan joystick ile aldığı koordinatları hesaplayarak x ve y eksenindeki motorları harekete geçirir. Diğer bir faaliyet ise sürekli olarak voltaj durumunu kontrol eder ve şarjın istenilen seviyeye ulaştığı anda tetikleme butonunu devreye alır. Ayrıca kart üzerinde motorların hareketlerinin hassasiyetlerini, lazeri, ışıkları ve başka amaçlar için eklenebilecek analog çıkışları kontrol etmek için butonlar mevcuttur. Şekil 5’de motor sürücü ve alıcı kartı devresi görülmektedir.



Şekil 5: Motor sürücü ve alıcı kartı devresi

Bu kartın ana işlevi kullanıcının kumanda üzerinden göndermiş olduğu bilgileri çözümleyerek alıcıların çalışmasını sağlamaktır. Çözümlenen bilgilerden motorlara ait olanlar motor sürücüsü algoritmasında kullanılarak Mosfetler için gerekli tetikleme sinyalleri üretilir ve adım motorlarına yol verilir. Bu sayede sistemin x ve y ekseninde hareketi sağlanmış olur. Çözümlenen diğer bilgi verileri ise analog çıkışlar için anahtarlama elamanlarına gönderilir. Ayrıca tüm sistemin beslemesi bu kart üzerinden regüle edilerek sağlanır.

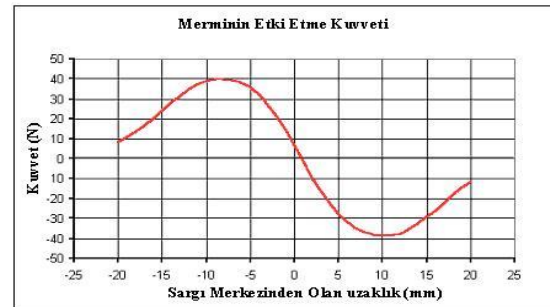
Bu iki temel kısım açıklandıktan sonra sistem için tasarlanan ve manyetik fırlatıcılar için önemli olan yüksek gerilim kartı (anahtarlama devresi) Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6: Yüksek gerilim kartı devresi

Yüksel gerilimin ve anahtarlama elemanının olduğu kısımdır. Kumandadan gelen bilgiler alıcı kartında çözülerek en son bu karta ulaşır. Ayrıca şarj kontrolü için kondansatörlerin gerilim değerleri sürekli olarak bu kart üzerinden geri besleme ile mikrodenetleyicinin analog/ dijital girişine yollanarak fırlatma için kritik bilgilerin elde edilmesini sağlar.

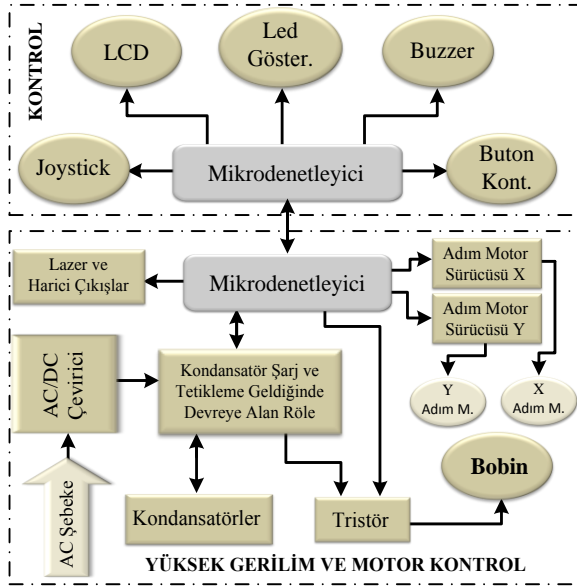
Yapılan çalışmada sargıların tetiklenmesi ve merminin başlangıç konumu önem arz etmektedir. Başlangıçta merminin yaklaşık 1/3’lük kısmı sargı içinde iken sargı enerjilenmeli, tam orta noktada yani sargı ile mermi merkezleri aynı hizaya geldiğinde sargının enerjisi kesilmelidir. Bu suretle merminin maksimum hıza erişmesi sağlanmış olur. Sargılı fırlatıcılarda en iyi sonucu elde etmenin yolu kuvvetin sargı içinde mermi hareketi ile değişimini anlamaktır. Şekil 7’deki grafik, 20mm×10mm alanına sahip yuvarlak burunlu bir mermi üzerinde tipik kuvvet değişiminin göstermektedir. Kuvvet eğrileri neredeyse simetriktir. Fakat merminin simetrisi orta noktanın hemen önünde kuvvetin sıfıra düştüğü manasına gelmektedir[18].



Şekil 7: Sargının merkezinden olan uzaklığa bağlı olarak kuvvetin değişimi

50A/mm<sup>2</sup> sabit akım yoğunluğu ve düz bir şekilde yerleştirilmiş namlu içindeki mermi ile yapılan 21 simülasyonluk bir seri işlem sonucunda kuvvet eğrisi çizilmiştir. Burada önemli olan; bu eğrinin, sargının içinde yarı yolda meydana gelen maksimum kuvveti aşağı yukarı veriyor olmasıdır. Mermi orta noktayı geçerken kuvvet değişimi eğiminin hayli dik olduğuna dikkat edilmelidir. Burada akım darbesinin tamamen söndürülmesi önerilir. Aksi takdirde mermi bizim kaçınmamız gereken şekilde ters yönde bir ivmeye maruz kalacaktır. Prototipi gerçekleştirilen uygulama ile yapılan denemeler de mermi hızı, merminin başlangıç konumuna ve ilk tetikleme anında sargıdan akan akıma bağlı olarak değiştiği, ayrıca merminin sargı içinde hareketi esnasında sargının tekrar tetiklenmesi mermi hızını olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu durum Şekil 7'deki grafikte de görülmektedir. Şekil 7'deki grafikte sargı merkezini gösteren sıfır noktasından önce yapılan tetiklemeler mermiyi istenilen yönde hızlandırırken sıfır noktasında ve sonrasında yapılan tetiklemeler ise mermiyi olumsuz yönde etki etmektedir. Eğer sargı sıfır orta noktasından önce kuvvetin maksimum olduğu noktada tetiklenirse mermiyi etkileyen kuvvet maksimum olur.

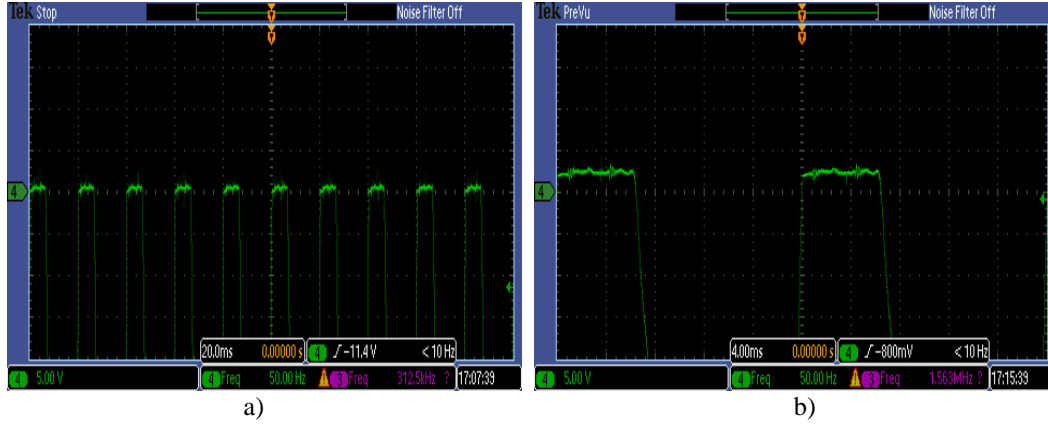
Tasarlanan tüm sistemin simülasyonu Proteus programı ile yapılmıştır. Sistemin blok şeması Şekil 8'de görülmektedir.



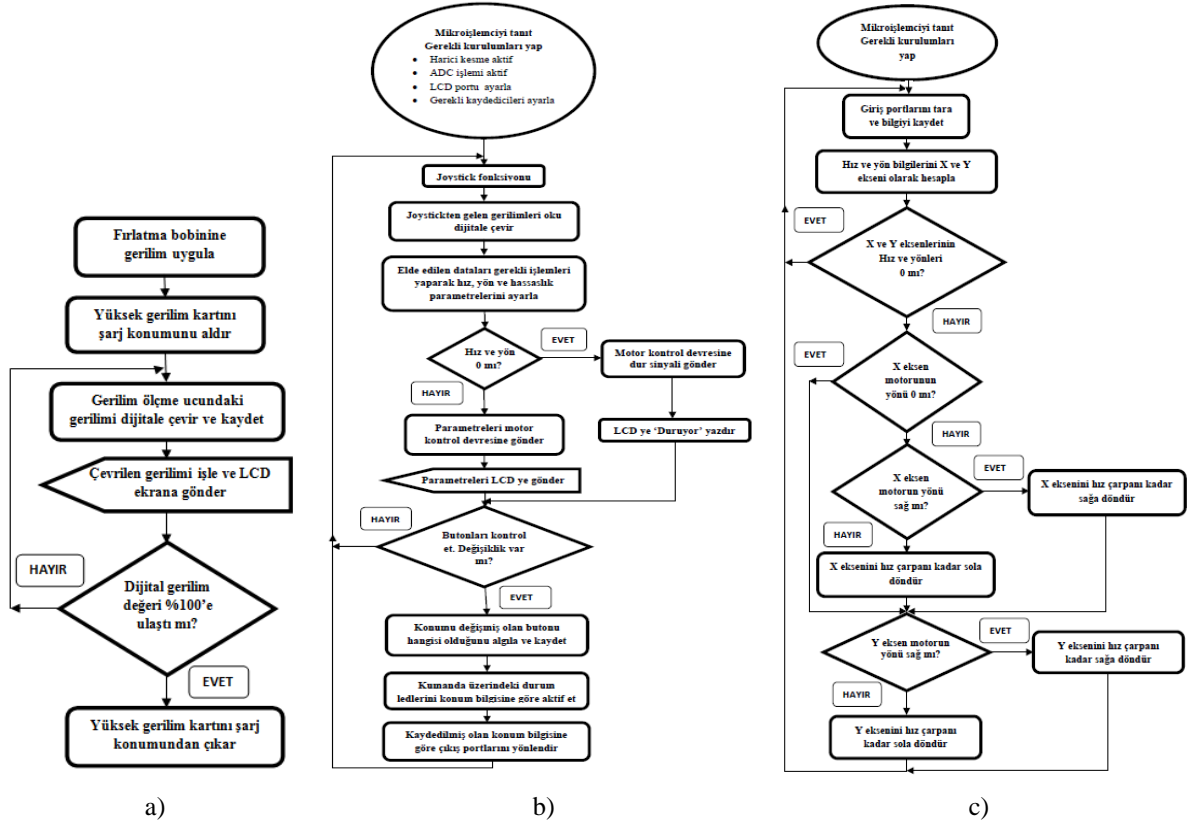
Şekil 8: Sistemin blok şeması

Sistemde kontrol elemanı olarak 18F452 mikrodenetleyici kullanılmıştır. Ayrıca sistemin çalışması ve denetimi gerçekleştiren PIC yazılımı tasarlanmıştır. Kontrol devresinin çalışma mantığını kısaca anlatacak olursak; analog joystick de bulunan 2 adet potansiyometriyi ADC (Analog-sayısal çevirici) sayesinde dijital bilgiye çevirmekte ve elde edilen değerler yön ve hız saptama algoritmasında işlemlere tabi tutularak belirlenmektedir. Yön ve hız parametreleri sıfır olduğunda motorların dönüşü durmaktadır. Eğer sıfır değil ise yön bilgisi ve motor hızı parametreleri motor sürücü devresine gönderilmektedir.

Parametreler hesaplandıklarında ekranda gösterilerek kullanıcı bilgilendirilmektedir. Kontrol devresinde bahsedilmesi gereken kısımlardan bir diğeri ise bobinlere enerji sağlayan kondansatörlerin şarjlarının denetimini gerçekleştiren algoritmadır. Bu yazılım mikroişlemcinin harici kesme özelliği temel alınarak tasarlanmıştır. Bu algoritmada kondansatörlerin gerilim değeri ADC ile dijital olarak çevrilerek okunur. Okunan değer belirlenen kritik şarj değeri ile karşılaştırılır ve eğer bu değer kritik şarj değerinden düşük ise kondansatörler şarj devresine, yüksek ise devreye bağlanır. Bu işlemler gerçekleşirken kumanda devresi üzerindeki LCD ekrandan kullanıcıya şarj durumu hakkında bilgi verilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada tristörün gate ucuna gönderilen tetikleme sinyali ve bu sinyal sonucunda sargı uçlarında oluşan işaretlerin osiloskop görüntüleri Şekil 9'da görülmektedir. Ayrıca sistemin denetimi ve çalışması için tasarlanan akış diyagramları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9: a) Tristör tetikleme sinyali, b) Ateşleme zamanına ait osiloskop görüntüsü



Şekil 10: a) Harici kesme algoritması akış diyagramı b) Kontrol devresi akış diyagramı c) Alıcı devresi akış diyagramı

Gerçekleştirilen çalışmada sargılara uygulanan gerilim yaklaşık 450V'dur. Sargıların özellikleri farklı olduğundan oluşturacakları manyetik alanlar ve dolayısıyla mermi hızları da farklı olacaktır. Sargıların ürettiği kuvvet:

$$F_{\ddot{u}} = B \cdot i \cdot l \quad (1)$$

olup burada;  $F_{\ddot{u}}$ : Üretilen kuvvet,  $B$ : Sargıların oluşturduğu manyetik akı yoğunluğu,  $i$ : Fırlatılacak nesne üzerinden akan girdap akımı ve  $l$ : Fırlatılacak nesnenin boyunu ifade etmektedir. Üretilen bu kuvvetin karşıladığı kuvvetler, "Hareket Denklem" den

$$F_{ii} = F_i + F_s + F_y \quad (2)$$

olup burada: İvme kuvveti  $F_i = M \frac{dv}{dt}$ , Sürtünme kuvveti  $F_s = f \cdot v$ , Yük kuvveti  $F_y = G$

$G$ : Hareket eden nesnenin ağırlığı,  $M$ : Hareket eden nesnenin kütlesi,  $f$ : Hareket eden nesnenin sürtünmesidir. Yerçekimi ivmesi "g" olmak üzere "M" kütlesi;

$$M = \frac{G}{g} \quad (3)$$

olarak ifade edilebilir. Sürtünme kuvvetini ihmal ettiğimizde sargıların oluşturduğu kuvvet:

$$F = M \frac{dv}{dt} + G \quad (4)$$

olacaktır. Ağırlığı silindirik yapıyı dikkate alarak ifade edecek olursak  $G$ ;

$$G = \gamma \cdot \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot l \quad (5)$$

Burada  $\gamma$ : Özgül ağırlık olup birimi  $N/m^3$ 'dür. (3) ve (5) denklemleri (4) denkleminde yerine yazılırsa;

$$F = \frac{\gamma \cdot \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot l}{g} \frac{dv}{dt} + \gamma \cdot \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot l \quad (6)$$

elde edilir. Buradan  $\frac{dv}{dt}$  çekilerek hızın kuvvete, fırlatılacak cismin ağırlığına bağımlılığını inceleyebiliriz. Bu durumda hız,  $V_0$ : İlk hızı olmak üzere;

$$V = \int \frac{F \cdot g - G}{G} dt + V_0 \quad (7)$$

Denklem (7)'den de anlaşılacağı gibi hız kütlenin ağırlığıyla ters orantılı, sargıların oluşturduğu kuvvet ve ilk hızla doğru orantılıdır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada belirli bir bölgenin güvenliğini ve denetimini sağlamak için kullanılan sistemlere alternatif olarak geliştirilen manyetik etki ile çalışan alan savunma sistemi tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem kullanılan alan savunma sistemlerine göre daha ekonomik, daha verimli, kontrol yöntemi bakımından farklılıklar içeren, fazla bakım

gerektirmeyen, değişikliklere ve yeniliklere hızlı cevap verebilen bir yapıya sahiptir. Yapılan deneysel çalışmalarda mermi hızı; sarım sayısına, iletken kesitine, mermi ağırlığına, tetikleme zamanına, merminin başlangıç konumuna ve tetikleme anındaki akım değerine bağlı olduğu anlaşılmış olup matematiksel olarak ifade edilmiştir. Deneysel çalışmalarda tetikleme elemanının hızı, mikrodenetleyici hızına bağlı olduğu ve hızlı anahtarlama yapma esnasında anlık akım değişimlerinden dolayı tetikleme elemanında sorunlar meydana geldiği görülmüştür. Bu bakımdan daha büyük sistemler için uygun tetikleme elemanı ve denetleyici seçilmelidir. Ayrıca sistemin çalışması ve kontrolü için gerekli yazılımlar tasarlanmıştır.

Sonuç olarak gerçekleştirilen deneysel çalışma ile doğaya zarar vermeden insanlar için tehlikeli olan bölgelerin denetimi ve güvenliği elektromanyetik fırlatıcılar kullanılarak sağlanabileceği anlaşılmıştır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Akyazı, Ö., Akpınar, A. Sefa, 2006, Elektromanyetik Fırlatıcılar, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa76.
- [2] T. Sjaenen, M. G. Schneider, M. J. Loeffler, 2011, Rail Gun Muzzle Velocity Control With High Accuracy, Plasma Science, IEEE Transactions on, vol. 39, no. 1, pp. 133-137.
- [3] Roch, M., Hundertmark, S., Loffler, M., Zacharias, P., 2013, First Experiments With The Modular Augmented Staged Electromagnetic Launcher (MASEL), Pulsed Power Conference (PPC), 19th IEE
- [4] Dengwu Wei., Shaoke Liu., Zhenxiang Liu., 2008, Study of a Rail-Coil Hybrid Electromagnetic Launcher, Electrical Machines and Systems ICEMS, International Conference on.
- [5] Güldal, O., 2001, Design of Electrical Machines, NobelAtlas Press, Ankara.
- [6] Gürdal, O., 2000, Electromagnetic Field Theory, Nobel Press, Ankara.
- [7] Fair, H.D, 2001, The Science and Technology of Electric Launch, IEEE Transaction on Magnetics, Vol 37. No 1, 25-32.
- [8] Fair, H. D., 2005, Electromagnetic Launch Science and Technology in the United States Enters a Nev Era, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, pp. 158-164, January.

- [9] Shirong Y., Ying W., Shanbao C., Guohua P., Xuqiong L. and Wei W., 2005, A Novel Type Rail-Coil Hybrid Electromagnetic Launcher, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, January.
- [10] Marshall, R.A, Jiange Zhang, 2012, Rail-Type Emal System, Launcher Technology (EML), 16th International Symposium on.
- [11] Y. Shirong, W. Ying, C. Shanbao, P. Guohua, L. Xuquog, W. Wei, 2005, A Novel Type Rail-Coil Hybrid Electromagnetic Launcher, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, pp. 266-267.
- [12] Coşkun, İ., Kalender, O., 2007, İndüksiyon Bobin Silahında Mermi Gözlem ve Kontrolü, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 22, No 4, S. 893-899.
- [13] Coşkun, İ., Kalender, O., Ege Y., 2006, İndüksiyon Bobin silahı İçin Uygun Stator Bobini Geometrisinin Araştırılması, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Sayı 8, No 2, 40-48.
- [14] Topaloğlu, İ., Gürdal, O., 2013, Lineer Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Tasarımı ve Eşdeğer Devre Modeli Kullanarak Geliştirilmiş Fırlatma Performansı İçin Boyut Optimizasyonu”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Vol 28, No 1, 103-113.
- [15] J. Sun, Y. Lv, Y. Wang, G. Feng, 2005, Simulation and Research of One-Dimensional Coupling Model of Solid Propellant Electrothermal-Chemical Gun, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, pp. 360-363.
- [16] Kaye, R.J., 2005, Operational Requirements and Issues for Coilgun Electromagnetic Launchers, IEEE Trans. on Mag., Vol. 41, No 1, 194-199.
- [17] Coşkun, İ., Kalender, O., 2006, Dört Kademeli Bir İndüksiyon Bobin Silahı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, 141-154.
- [18] Akyazı, Ö., Akpınar, A. Sefa, 2008, Elektromanyetik Fırlatıcılar, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 20/1 sayısı, 117-126, Elazığ.