

## Elektromanyetik Silah Matlab/Simulink Modeli

Mehmet Fatih YASUL<sup>1</sup>, Hasan GÜLER<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2\*</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>1</sup> [yasulfatih@gmail.com](mailto:yasulfatih@gmail.com), <sup>2\*</sup> [hasanguler@firat.edu.tr](mailto:hasanguler@firat.edu.tr)

(Geliş/Received: 14/11/2019;

Kabul/Accepted: 29/05/2020)

**Öz:** Roket ve barut teknolojilerinin pahalılığı, mühimmata getirdiği ek yük, ve dünya genelinde de sınırlı bulunması gibi pek çok nedenden dolayı savunma sanayisinde farklı silah ve mühimmat teknolojileri geliştirilmektedir. Her geçen gün kullanım alanı artan elektromanyetik kuvvet, bu çalışmada bir silah mekanizmasına entegre edilerek bir cisme (mermiye) uygulanıp cismin atılması için gerekli olan itici gücü sağlamaktadır. Yüksek güçlü elektromanyetik silah mekanizması, güç kaynağından aldığı potansiyel elektrik enerjisini manyetik alan yardımıyla kinetik enerjiye dönüştürerek mermiye itme kuvveti oluşturarak yüksek hızda atış yapılmasına imkan vermektedir. Günümüzde savunma sanayi teknolojilerinde yerini almaya başlayan elektromanyetik silah için geleceğin önemli silah türlerinden biri olacağı söylenebilir. Elektromanyetik silah da merminin itilmesi ateşlenmeli bir enerji yerine; daha kontrollü, güvenilir ve kesintisiz bir enerji olan manyetik alan enerjisi yardımıyla sağlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı elektromanyetik silahın elektriksel devresi yardımıyla davranış modelinin MATLAB Simulink'te mermi hızının, aldığı mesafenin, akımın, kondansatör akımlarının ve sistem bileşenlerinin nasıl davranış sergilediğinin analiz edilmesi ve uygulanabilirliğinin gösterilmesidir.

**Anahtar kelimeler:** Elektromanyetik kuvvet, elektromanyetik silah, manyetik silah.

## Electromagnetic Weapon Matlab/Simulink Model

**Abstract:** Weapons and ammunition technologies are being developed in many different technological innovations in defense industry due to many reasons such as the cost of rocket and gunpowder technologies, the additional load it brings to ammunition, the depletion of energy resources and the rapid development of technology throughout the world. Because of easy to control, simple and renewable source of electromagnetic force, it is widely used in many different areas. This study is analyzed that a weapon mechanism with magnetic area which created electromagnetic force on an object (bullet) to provide the necessary force for acting of the object and this system was tested with MATLAB Simulink. The high-power electromagnetic weapon mechanism converts the potential electrical energy from the power source into kinetic energy with the help of magnetic field, creating a repulsion force to any object (bullet), allowing high-speed firing. With the development of today's defense industry technologies, faster, easier to control and wide range of weapons has accelerated. In this paper, it is obvious that it is one of the important weapon types of the future for electromagnetic weapons. In the present technology, instead of a type of energy that is difficult to control, the force of the projectile, fire, gunpowder etc. is provided with the help of a clean, uninterrupted energy source that is easy to control, that is, magnetic field energy. The aim of this study is to determine the behavioral model of the electromagnetic weapon by means of MATLAB Simulink and to analyze the behavior of projectile velocity, power supply, system components, current, voltage and force and to extract the applicable high efficiency.

**Key words:** Electromagnetic force, electromagnetic weapon, magnetic weapon.

### 1. Giriş

Elektromanyetik silah, bobin silahı ve raylı silah olmak üzere iki farklı türe sahiptir. Bobin silahı daha çok düşük enerjili ve hız gerektirmeyen uygulamalarda, raylı silah ise yüksek enerjili ve hız gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı yüksek güçlü bir elektromanyetik silah tasarımı için raylı silah sistemi tercih edilmelidir.

Elektromanyetik silahlar tarih boyunca farklı uygulamalarda kullanılmış olmasına rağmen yeni bir silah türü olarak gösterilmemektedir. İlk elektromanyetik silah 19.yy başlarında da "Paten Elektrikli Savaş Topu" olarak bilinen savaş topudur. Günümüzde dünya genelinde ve ülkemizde bu konu ile ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Fakat bu çalışmaların sonuçları gizli tutulduğundan dolayı elektromanyetik silah üzerindeki bilgi birikimi oldukça azdır.

\* Sorumlu yazar: [hasanguler@firat.edu.tr](mailto:hasanguler@firat.edu.tr) Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0003-1824-6634, <sup>2\*</sup> 0000-0002-9917-3619

Bir elektromanyetik silahın çalışma prensibi, yüksek miktarda elektrik enerjisinin Lorentz Yasasına göre kinetik enerjiye dönüştürülmesi esasına dayanır. Bu mekanizmada güç kaynağından alınan elektrik enerjisi plakalara aktarılır. Aktarılan bu elektrik enerjisi elektromanyetik enerjiye çevrilerek mermi armatürüne bir itme kuvveti oluşturur. Armatür namlu boyunca hızlanır ve bununla birlikte armatüre bağlı mermi de hızlanmaya başlar. Mermi ile armatür silah namlusunda birlikte hareket ederken namlu çıkışından sonra zaman içinde ayrılırlar. Ayrılmanın erken ya da daha geç olma durumları mermi ve armatürün ağırlığına ve hızına bağlıdır. Bu tasarım da mermi ile armatürü silah namlusundan ayrılmadığından dolayı her ikisi tek bir cisim olarak kabul edilmekte ve elektrik devresinde sadece bir direnç olarak gösterilmektedir [1-2].

Plakalardan akım geçtiğinde belirli bir manyetik alan oluşmaktadır. Bu manyetik alan  $\vec{B}$  ile gösterilmektedir. Plakalardan geçen akım  $i$  ve merminin enine genişliği  $\vec{L}$  ile gösterilirse Lorentz Yasası denklemi sayesinde  $F$  kuvvet değeri elde edilebilmektedir. [3].

$$F = i\vec{L} \times \vec{B} \quad (1)$$

Burada plakalardan geçen akım doğru akımdır ve doğru akıma bağlı bir elektrik alan oluşturmaktadır. Fakat bu elektrik alan zamana göre değişmemektedir. Maxwell'in üçüncü yasanına göre, elektrik alan zamana göre değişmediğinden manyetik alan oluşmadığı kabul edilmektedir.

$$\oint E \cdot dl = -\frac{d}{dt} \int B \cdot dA \quad (2)$$

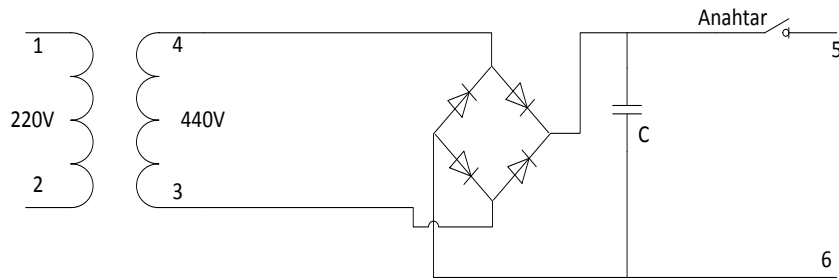
$$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

Eşit olarak dağıtılmış 4'lü kondansatör sayılarına kondansatör grubu adı verilir. Bu grupların her bir çıkışına bir bobin bağlanmaktadır. Böylelikle bu yöntem sayesinde zamana göre değişen akım elde edilmektedir. Elde edilen bu akım zamana göre değişen bir elektrik alan meydana getirmektedir. (2) ve (3) nolu Maxwell denklemlerinden görüldüğü üzere manyetik alan oluşturma koşulu sağlanmaktadır [4].

## 2. Elektromanyetik Silahın Elektriksel Devresi

### 2.1. Doğrultucu Devresi

Elektromanyetik silah için gerekli doğru gerilimi temin etmek için devre yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Alternatif gerilim transformator yardımıyla iki katı oranında yükseltilmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere sistemin çıkışında kontrolsüz bir tam dalga doğru gerilim elde edilmektedir. Fakat bu gerilim dalgalı bir doğru gerilimdir. Doğrultucu çıkışına bir filtre kondansatörü konularak gerilimin dalgalanması azaltılmaktadır [5].



Şekil 1. Elektromanyetik Silah Doğrultma Devresi

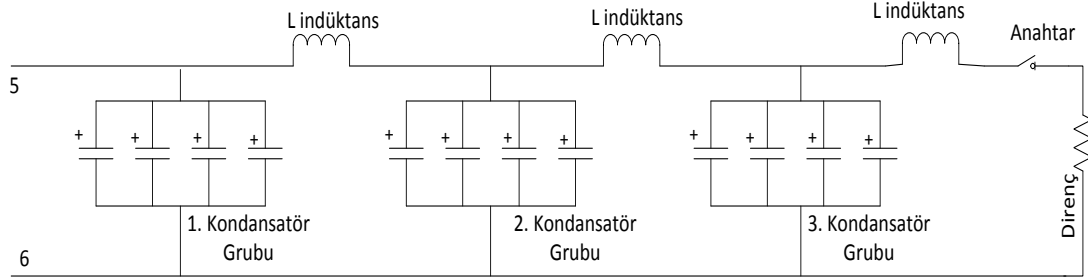
$$C = \frac{I_0 \cdot \pi}{\omega \cdot \Delta V} \quad (4)$$

Denklem (4) de bulunan  $\Delta V$  doğru gerilimdeki dalgalanmayı göstermektedir. Gerilim dalgalanması  $\Delta V$  için küçük bir değer seçildiği takdirde dalgasız bir doğru gerilim elde edilir. Fakat bu ihtiyaç duyulan kondansatör değerini de belirlediğinden dolayı sistemsel maliyet de aynı oranda artar.

Elektriksel devrede filtre kondansatörünün çıkışında direnç ile birlikte anahtar bulunmaktadır. Anahtar açıldığında doğrultucu devresi açık devre yapılarak devre dışı kalması amaçlanmaktadır. Doğrultma devresinin çıkışında, dalgasız bir doğru gerilim elde edilerek 5 ve 6 numaralı uçlardan kondansatör gruplarına bağlantı sağlamaktadır [6].

## 2.2. Elektromanyetik Silahın Elektrik Devresi

Elektromanyetik silah elektrik devre bağlantı şeması Şekil 2 verilmektedir. Elektromanyetik silah devresinin toplam 12 adet kondansatör ve 3 adet bobin bulunmaktadır. Devrede bulunan kondansatörler 3 ana gruba ayrılır. Her bir ana grubun çıkışına bir bobin bağlanmaktadır. Plaka girişindeki tüm bobin değerlerinin mermi hareketinden dolayı uzunluğa bölünmesiyle manyetik alan faktörü elde edilir ve  $L'$  ile gösterilir. Manyetik alan faktörü aynı zamanda elektromanyetik silahın endüktans gradyanıdır ve  $H/m$  ifade edilmektedir [7].



Şekil 2. Elektromanyetik Silahın Elektrik Devre Şeması

## 3. Elektromanyetik Silahın Denklemleri

Elektromanyetik sistemin matlab Simulink modelini çıkarmak için denklem (1) de gösterilen Lorentz Yasasına ait formülden yararlanılabilir. Fakat bu yasa olduğu gibi kullanılamaz. Çünkü bu denklem vektördür ve ray akımı; uzunluk, kesit ve de merminin pozisyonuna bağlıdır. Bu nedenle metre başına Henry cinsinden hesap yaptığımız  $L'$  manyetik alan faktörü bobinini kullanmamız gerekir [8].

$$F = \frac{1}{2} L' i^2 \quad (5)$$

$$F = m \cdot a \quad (6)$$

(5) ve (6) denklemlerinden iki farklı kuvvet formülü bulunur. Bulunan bu denklemleri birbirine eşitlenir ise ivme formülü elde edilir [10].

$$a = \frac{L' i^2}{2m} \quad (7)$$

$$\bar{V} = \frac{2 \cdot E}{\pi} \quad (8)$$

Kondansatör gruplarının çıkışındaki bobin, kapasitelerin deşarj olma süresini ve mermiye etkiyen darbelerin uzunluğunu etkilemektedir. Kondansatörlerin gerilimlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Zira kondansatörlerin giriş geriliminden küçük seçilmesi halinde patlama meydana gelir. Bu nedenden dolayı kondansatör gerilimi denklem (8)'de hesaplanacak değerden büyük olması gerekmektedir. Ayrıca kondansatör bünyelerinde belirli bir enerji depolamakta ve bu enerjiyi plakalara aktarmaktadır. Kondansatör kapasitelerinin yüksek seçilmesi bir avantaj olmasının yanında yüksek maliyet gerektirmesi bu çalışma açısından dezavantaj olarak değerlendirilmektedir [11].

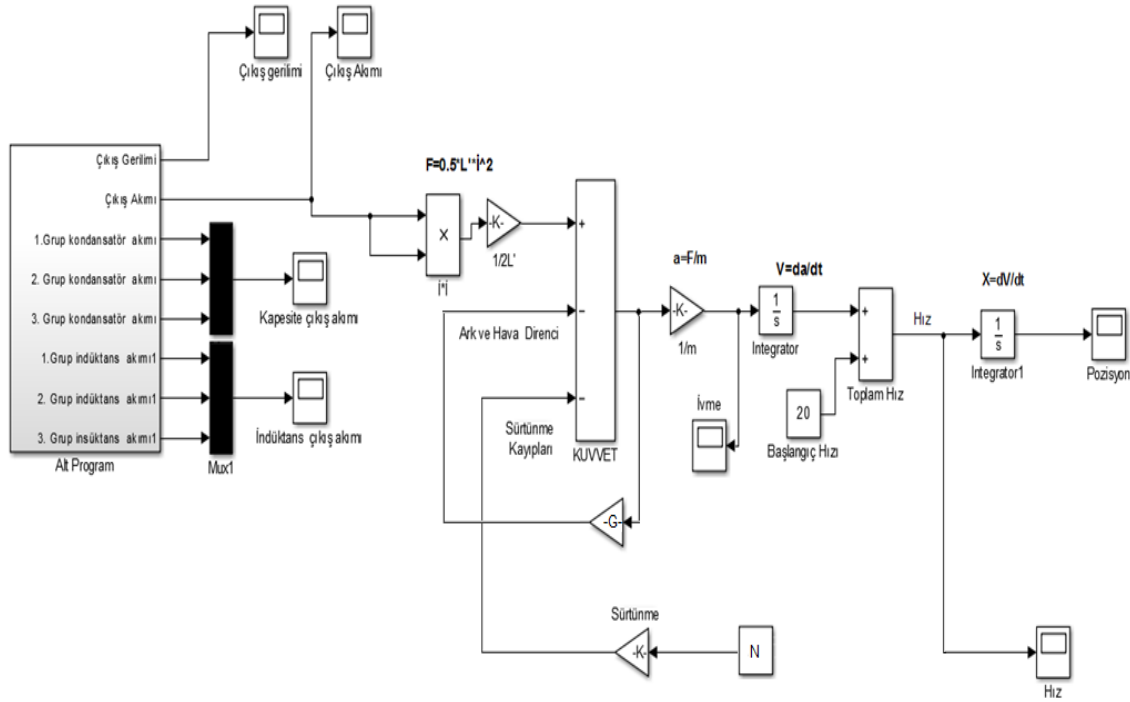
$$E = \frac{1}{2} c \cdot v^2 \quad (9)$$

Denklem (9), devredeki toplam enerji elde edilir. Toplam enerjiden yola çıkarak mermiye etki eden kuvvet bulunur. Sistem de 3 eşit kondansatör grubu vardır ve bu gruptaki kondansatör değerleri de birbirine eşit olduğundan dolayı akımları eşit olmaktadır.

Şekil 2'deki devrede çevre denklemleri direnç üzerindeki akım, devredeki toplam akım olup, bu akım ifadesi kullanılarak plakalardan akım hesaplanır. Bu sonuçlar denklem (5)de yerine yazılır ve kuvvet elde edilir. [12].

#### 4. Elektromanyetik Silah Matlab/Simulink Modeli

Elektromanyetik silahın MATLAB Simulink devre modeli Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 4'teki alt sistem ise çıkış gerilimi ve çıkış akımları elde edilmektedir. Alt sistem de elde edilmiş olan veriler Şekil 3'te kullanılmaktadır. Manyetik alan faktörü ile akımın karesini alarak mermiye etki eden kayıpsız bir kuvvet elde edilir. Hesaplanan kuvveti mermi ve armatür kütlelerine bölünmesiyle merminin ivmesi bulunur. İvmenin zamana göre integrali mermi ve armatürün hızını verecektir.



Şekil 3. MATLAB Simulink Devresi

Hesaplanan hıza göre mermi plaka çıkışından büyük bir hız ile çıkar. Fakat elektrik alan manyetik alana dönüşmesi, merminin ani büyük bir akıma maruz kalmasından daha geç olacağından mermi manyetik alana maruz kalamadan iki plaka arasında kaynak olur. Bu nedenle mermiye küçük bir enjeksiyon yardımıyla hız kazandırılır. Her iki hız toplanarak merminin toplam hızı elde edilir. Toplam hızın integrali alındığında, mermi ve armatürün zamana göre yer değiştirmesi bulunmaktadır.

Kuvvet, kayıplar sıfır kabul edilirse direkt kütleyle bölerek ivme bulunabilir. Fakat gerçek sistemde sürtünme kayıpları, havanın direnci ve ark kayıpları mevcuttur. Bu sebeple sistemdeki kayıplar kuvveti azaltmaktadır. Sürtünme kuvveti ağırlığın oluşturduğu tepki olan N ve epoksi malzemenin sürtünme katsayısına bağlıdır. Bu nedenden sürtünme kuvveti epoksi malzemenin sürtünme katsayısı ile ağırlığın yüzeye yapmış olduğu tepkinin çarpımı sonucu bulunur.

$$F_s = k \cdot N$$

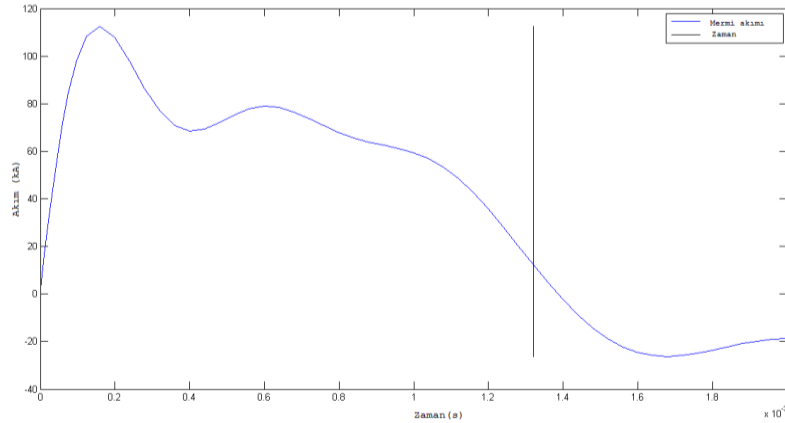
(11)



**Tablo 1.** Giriş ve Çıkış Parametreleri

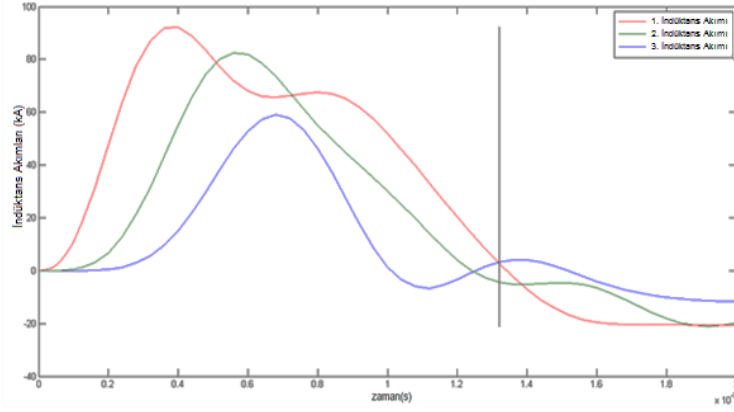
Parametreler	Değerler
Giriş Kapasite Gerilimi	440 V
Kondansatör Kapasite Değeri	30,000 uF
Mermi ve Armatür Ağırlığı	234 gr
Plaka kesiti	100 mm <sup>2</sup>
Plaka uzunluğu	1 m
Epoksi malzeme sürtünme katsayısı	0.34
L' Manyetik Alan Faktörü	0.310 uH/m
Plakaların İndüktansı	0.30 uH
Plaka Direnci	45,36 mΩ
İndüktans Değerleri	0.93 uH
Mermiye Uygulanan Başlangıç Hızı	~20 m/s
Sistem Frekansı	50~60 kHz
Mermimin Namludan Çıkış Hızı	~915.6 m/s

Şekil 5’de elde edilen sonuçlara göre toplam akım 117 kA civarındadır. Bu değer plakaların direnç ve bobin değerlerine göre değişiklik göstermektedir. Kuvvet 2133.7N olarak bulunmuş ve bulunan bu kuvvet kayıpsızdır. Sürtünme kaybı 78.2N civarında bir değer olarak hesaplanmıştır. Hava direnimi ve ark kayıpları sırasıyla 21.33N, 106.65N ve 213.3N olarak kabul edilmiştir.

**Şekil 5.** Mermi Akımının Zamana Göre Değişimi

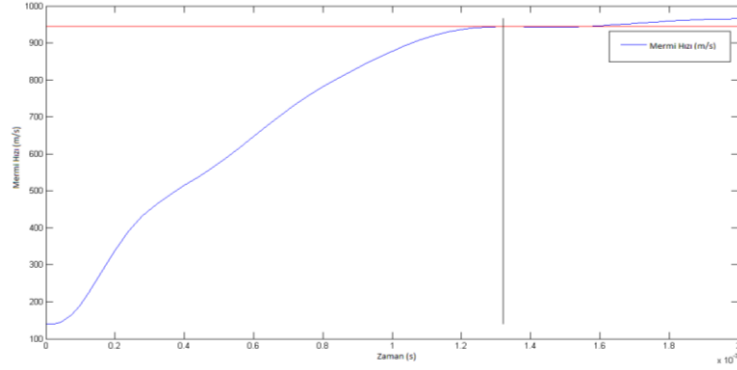
Kayıplar kuvvetten çıkarıldığı takdir de elde edilen bu kuvvet mermi ve armatüre etki eden net kuvettir. Denklemlerde görüldüğü gibi akımın karesi ile kuvvet birbiriyle doğru orantılı olduğundan, akımın daha büyük olması halinde mermiye etkiyen kuvvetin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Akımı arttırmak için plakalardaki direnç değerini olabildiğince küçük seçilmesi gerekmektedir.

Şekil 6’da bobin akım boşalmaları kapasite gruplarının deşarjı olarak kabul edilebilir. Bu deşarj durumu plakalardaki bobin değerlerine bağlantılı olduğundan plakalardaki bobin değerini yeterince küçük seçilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Ayrıca toplam akım değerleri 1.35 ms civarında sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Yani seçilen namlu uzunluğunun ideal olduğu söylenebilir. Namlu uzunluğunun fazla olması halinde kondansatörler 1.35 msn sonra deşarj olacağından mermi halen namluda kalacak ve gereksiz bir sürtünme ile kayıplar daha da artacaktır. Namlunun gerektiğinden kısa olması halinde ise kondansatörler tam deşarj olmadan mermi namludan çıkışı gerçekleştirecek ve kondansatörlerdeki potansiyel enerjinin hepsi kinetik enerjiye dönüşmemiş olacaktır. Bu da elektromanyetik silahın verimsiz kullanılmasına neden olacaktır.



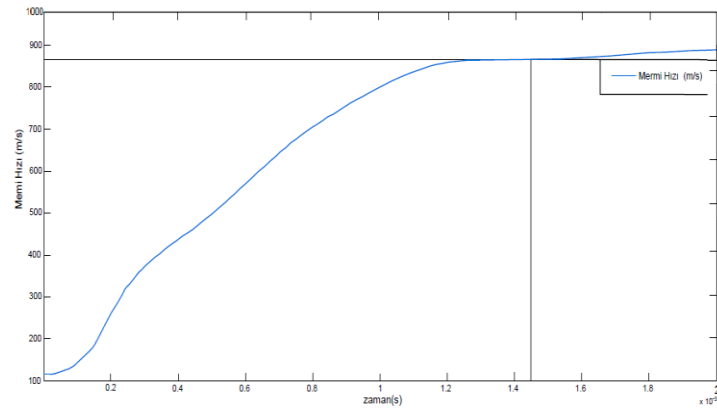
Şekil 6. Bobin Akımlarının Zamana Göre Değişimi

Şekil 7’te görüldüğü gibi mermi hızı 927,225 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu hız namludan çıkma hızı olup merminin maksimum hızı ulaştığı görülmektedir. Burada ark ve hava direnimsiz kayıpları %1 olarak alınmıştır.



Şekil 7. Mermi Hızının Zamana Göre Değişimi (%1)

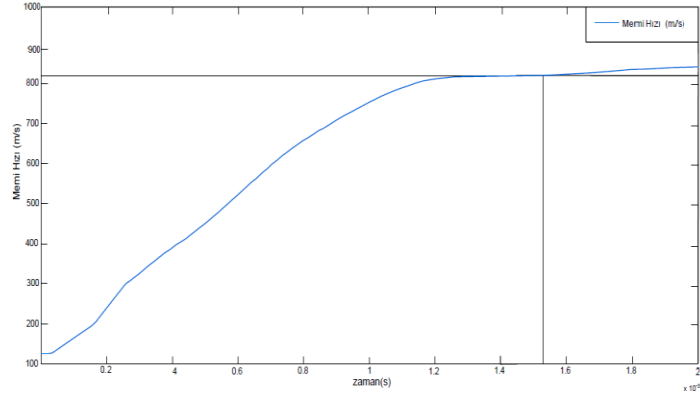
Şekil 8’de ark ve hava direnimsiz kayıplarının %5 olduğu durumdaki mermi hızı görülmektedir. Kayıplar %5 alındığında da mermi hızı 865.8m/s olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Mermi Hızının Zamana Göre Değişimi (%5)

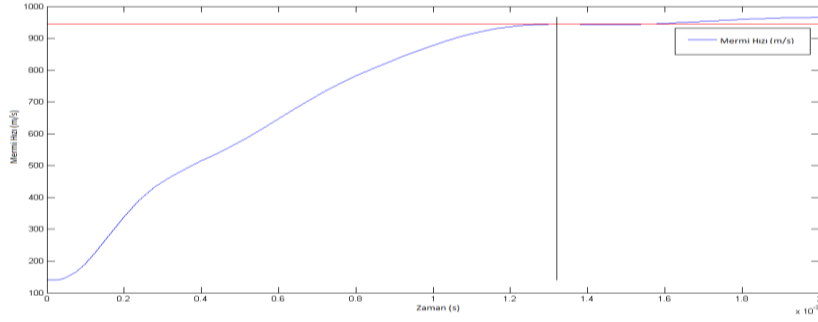
Şekil 9’da ise ark ve hava kayıplarının %10 olduğu durum için mermi hızı görülmektedir. Bu durumdaki mermi hızı 818.4m/s olarak gözlemlenir. Sonuç olarak ark ve hava direnimsiz kayıpları artınca mermi hızının

azaldığı görülmüştür. Fakat bunların yanında kondansatörlerin ürettiği akım değerinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir.



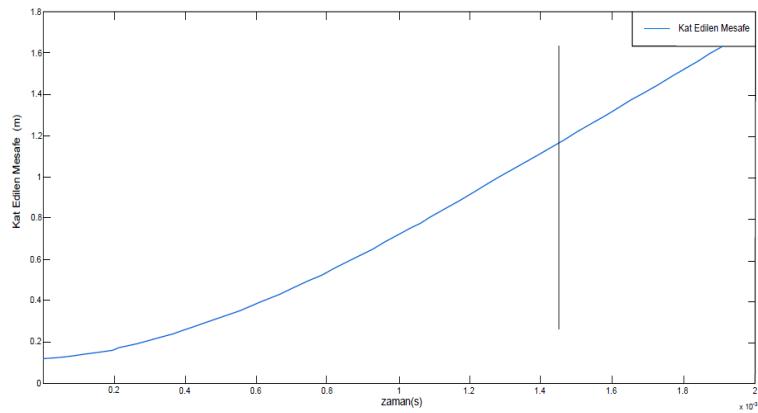
**Şekil 9.** Mermi Hızının Zamana Göre Değişimi (%10)

Şekil 10'da merminin zamana göre değişimi verilmiştir. Merminin 1.35 msn sonra silahın namlusundan çıktığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu değer ark ve hava kayıplarının %1 olduğu durum içindir.



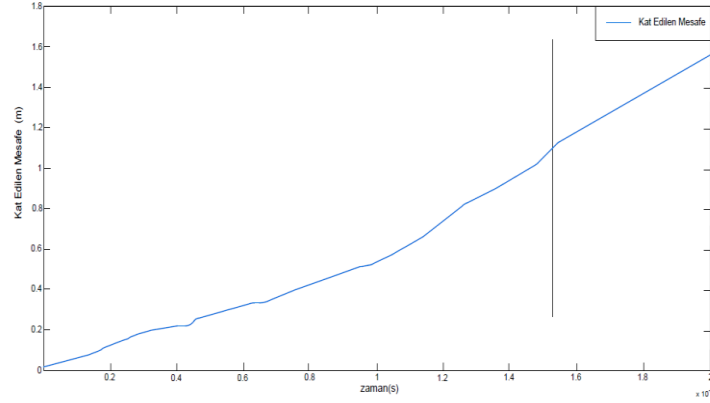
**Şekil 10.** Merminin Zamana Göre Kat Ettiği Mesafe (%1)

Şekil 11 ve Şekil 12 de gözlemlenen merminin zamana göre aldığı mesafe de merminin namlu içindeki süreleri değişmiştir. Kayıpların %10 olduğu durum için merminin namludan çıkış süresi 1.52 msn olarak görülmektedir. Kayıplar arttıkça merminin namludan çıkış süresinin arttığı görülmektedir.



**Şekil 11.** Merminin Zamana Göre Kat Ettiği Mesafe (%5)





Şekil 12. Merminin Zamana Göre Kat Ettiği Mesafe (%10)

Elektromanyetik silahın MATLAB Simulink modelinin oluşturulup sistemi etkileyen parametrelerin değiştirilmesi durumunda sistemin nasıl tepki verdiği incelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma ile manyetik alan etkilerinin metaller üzerindeki etkisi gözlemlenmiş, elektromanyetik silah davranışlarını grafiksel hale getirilerek uygulanabilirlik analizi yapılmıştır. Ayrıca elektromanyetik silahın kayıpları artınca akım, hız ve yer değiştirmenin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 2209-B programı çerçevesinde desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Mcnab IR. Launch to space with an electromagnetic railgun, Inst. for Adv. Technol., Univ. of Texas, Austin, TX, USA, 2003.
- [2] Ma TTH, Tran TK, Yahoui H, Siauve N and Vu HG. Design of Forward-flyback converter based drive with gate voltage limitation for a DC circuit breaker using normally-on SiC JFET, IEEE-2017 Second Conference on DC Microgrids (ICDCM).
- [3] Greca IM and Moreira MA. Mental, Physical and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. Inc. Science Education, 2001, 65,112.
- [4] Nied HA. The Finite-Element Modeling of the Resistance Spot-Welding Process. Weld J, 1974, pp 123-132.
- [5] Tarimer I, Arslan S, Guven EM and Karabas MA. Case Study of a New Spot Welding Electrode Which Has the Best Current Density by Magnetic Analysis Solutions. J Electr Eng-Slovak, 2011, 62(4): 233-238.
- [6] Çakır H ve Kaya A. Tam fizik. İstanbul: Kaya Yayınları, 1992.
- [7] Gilbert S. An evaluation of the Use of Analogy. Simile and Metaphor in Science Texts. J of Res in Scien Teach, 1979, 68,78.
- [8] Eggen P, and Kauchek D. Educational psychology: Windows on classroom (6th ed). Upper Saddle River: Pearson Prentice, 2004, 23,24.
- [9] Fraenkel JRT and Wallen NE. How to design and evaluate research in education (3rd ed). New York: McGraw-Hill. 1996.
- [10] Akyazı Ö ve Akpınar AS. Elektromanyetik Fırlatıcılar, Fen ve Mühendislik Bilgisi Dergisi, Fırat Üniversitesi, 2008, 74-125.
- [11] Knoepfel H. Magnetic Fields: A Comprehensive Theoretical Treatise for Practical Use, Wiley, 2000, 22,67
- [12] İslak BY, Açıkbaş G, Açıkbaş NC. Epoksi Matrisli Kompozitlerde Katı Yağlayıcı İlavesinin Sürtünme Kaybının Azaltılmasına Etkisinin İncelenmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2019, Cilt 8, Sayı 1, 583-5.