

T. C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTROMANYETİK SİLAHLARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE PROTOTİP İMALATI

Ahmet Bülent GÜLVER

KASIM 2018

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında Ahmet Bülent GÜLVER tarafından hazırlanan Elektromanyetik Silahların Çalışma Prensiplerinin Karşılaştırılması Ve Prototip İmalatı adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan (Danışman) : Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR
Üye : Doç. Dr. İsmail ŞAHİN
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muharrem PUL

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

ELEKTROMANYETİK SİLAHLARIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE PROTOTİP İMALATI

GÜLVER Ahmet Bülent

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

Kasım 2018, 98 sayfa

Bu çalışmada; silah sistemleri alanında önemli araştırma konularından bir tanesi olan, elektromanyetik silahlar ve uygulama alanları detaylı incelenmiştir. Elektromanyetik fırlatıcıların çalışma prensiplerinin araştırıldığı ve karşılaştırılmalarının yapıldığı çalışmada, prototipi imal edilen bir sargılı tip taşınabilir fırlatıcının, tasarımdan imalatına kadar geçen süreçleri anlatılmıştır. Kanatsız mermiyle dönme etkili denge sağlaması amacıyla, özel bir namlu ucu dönme mekanizması tasarımı da yapılmıştır. Bu niteliklerdeki elektromanyetik fırlatıcıların gelişmesi tamamlandığında, sevk barutu kullanılmayan, çok yüksek hızlara ulaşabilen, dönme etkili mühimmat atımına uygun ve atış sırasında çok sessiz olan silah sistemlerine ulaşılabileceği görülmüştür. Sürekli gelişen savunma sanayi alanı içerisinde, yakın gelecekte önemli bir yere geleceği tahmin edilen bu sistemin, ülkemiz ekonomisine de önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik fırlatıcılar, Savunma sanayi, Sevk barutu

ABSTRACT

COMPARISON OF WORKING PRINCIPLES OF ELECTROMAGNETIC WEAPONS AND PROTOTYPE PRODUCTION

GÜLVER Ahmet Bülent

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department Of Defense Technologies, Master Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

November 2018, 98 pages

In this study, electromagnetic weapons and application areas, one of the important research topics in the field of weapons systems, were investigated in detail. The study investigated the working principles of the electromagnetic weapons and compared them, explained the processes of a prototype winding type portable weapons, from design to manufacturing, in order to provide effective balance of rotation with the wingless bullet, a special muzzle front rotation mechanism has been designed. When the development of these electromagnetic actuators is completed, it is aimed that the gun systems which are not used, which can reach very high speeds, suitable for turning effective munitions and very quiet during shooting will be achieved. It is thought that this system, expected to come to an important place in the near future, will contribute to the economy of our country.

Keywords: Electromagnetic Lancher, Defence Industry, Shipped Gunpowder

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen hep yanımda olan sevgili aileme, anneme ve babama sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araŐtırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, saygı değer hocam, Sayın Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR'e sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2. ELEKTROMANYETİĞİN TANIMI	11
2.1. Elektrik Alan	11
2.2. Manyetik Alan Ve Elektromanyetiğin Tanımı	14
2.2.1. Manyetik Alan	14
2.2.2. Elektromanyetik Alan	14
2.3. Elektromanyetik Alan Yasaları	15
2.3.1. Coulomb Yasası.....	15
2.3.2. Amper Yasası.....	16
2.3.3. Faraday Yasası	18
2.3.4. Lorentz Kuvveti	19
2.3.5. Sağ El Kuralı.....	20
2.4. Elektromanyetik Fırlatıcıların Hesaplamaları.....	21
2.4.1. Teorik Yöntemler.....	22
2.4.1.1. İletim Hatları Yöntemi	22
2.4.1.1.1. Akım Lifleri Tekniği	23
2.4.1.1.2. Endüktans & Ortak Endüktans Hesabı	25
2.4.1.2. Akım Perdesi Yöntemi.....	25
2.4.1.2.1. Akım Perdesi Ve İletim Hatları Hibrit Yöntemi	26
2.4.1.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	27
2.4.1.4. Zaman Uzayında Sonlu Farklar	28
2.4.2. Raylı Tip Elektromanyetik Silah Hesabı	29
2.4.3. Elektromanyetik Fırlatıcıların Modellenmesinde Kullanılan Programlar	33

2.4.3.1. Vtb'de Modelleme	33
2.4.3.3. 3D Görselleştirme	36
2.4.4. Avantajları	37
2.4.4.1. Zorluklar.....	38
2.4.5. Simülasyon Platformu Ve Modelleme.....	38
2.4.6. Kontrol Avantajıyla Öngörü Algoritmaları	38
2.4.7. ANSYS Modellemesi	39
2.4.8. Bilgisayar Simülasyonu	40
2.4.9. Bazı Özel Yazılımlar	40
2.4.9.1. Lineer İndüksiyon Fırlatıcı Tasarım Yazılımı	40
2.5. Relüktans Fırlatıcının Maxwell Modeli Ve Sonlu Elemanlar Analizi	44
2.6. Modelin Oluşturulması.....	46
2.7. Bilgisayar Yazılımı.....	49
2.8. Mermi Hareketi	50
2.9. Anahtarlama Ve Kontrol	51
3. ELEKTROMANYETİK FIRLATICILARIN ÇEŞİTLERİ.....	54
3.1. Raylı Elektromanyetik Fırlatıcılar.....	54
3.2. Sargılı Tip Elektromanyetik Silahlar.....	59
3.3. Karma Elektromanyetik Fırlatıcılar.....	62
3.4. Doğrusal Hareketli Fırlatıcılar.....	62
3.5. Elektro Termo Kimyasal (Etc) Fırlatıcılar	63
3.6. Elektro Manyetik Fırlatıcıların Avantajları Ve Dezavantajları.....	64
3.6.1. Avantajları	64
3.6.2. Dezavantajları	66
4. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	67
4.1. Karşılaştırma	67
4.2. Geliştirilen Prototip	69
4.2.1. Sargılı Tetik Mekanizması.....	70
4.2.2. Atım Yuvası	71
4.2.3. İvmelendirici Sargılar.....	72
4.2.4. Cam Tüp (Namlu)	76
4.2.5. Optik Gözler (Sensörler).....	77
4.2.6. Güç Kaynağı	78
4.2.7. Mermiler.....	79

4.2.8. Diyot.....	81
4.2.9. Gövde	82
4.2.10. Kondaktör (Solid State)	83
4.3. Dn Etkisi Sistem Tasarımı.....	84
4.4. Parçaların Montajı.....	87
4.5. Test Atışları	87
5.SONUÇ	90
KAYNAKLAR	92



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Elektro Manyetik Kuvveti İle Fırlatılan Çubuk Armatür Kova.....	5
1.2. 1977 Raylı Silah Sistemleri Çalışmaları	8
2.1. Elektrik alan çizgileri	12
2.2. Elektrik alan çizgilerinin etkileşimi	13
2.3. Manyetik alan çizgileri ve etkileşimi	14
2.4. Coulomb Yasası	16
2.5. Amper Kanunu	18
2.6. Faraday yasası	19
2.7. Sağ El Kuralı	20
2.8. Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı Eş Değer Devre Modeli.....	23
2.9. Bobininin Birim Alt Bobinlerden Oluşturulan Yapısı	24
2.10. Akım Perdesi Eş Değeri	26
2.11. Akım Perdesi Yöntemi Hibrit Devre Eş Değeri.....	27
2.12. Elektromanyetik Silah İçin İdeal Sabit Akım.....	29
2.13. Akım Ve Manyetik Alan Etkileşmesi İle Lorentz Kuvveti.....	30
2.14. L Uzunluğundaki Mermi İle Q Yükünün Sürüklenme Hızı	31
2.15. Akımdan Dolayı Oluşan Manyetik Alan.....	31
2.16. VTB'den Bir Simülasyon Sonucu	35
2.17. EMALS Sisteminin Bir Animasyonu.....	37
2.18. PAM Fırlatıcısına Genel Bakış	39
2.19. Hava Ve Vakum Çıkarılan 3B Elektromanyetik Model	39
2.20. Geliştirilmiş Lineer İndüksiyon Fırlatıcı Tasarım Programı Görüntüsü.....	41
2.21. Tasarım Malzemeleri $B-H$ Eğrileri.....	42
2.22. Tasarım Çıkış Parametreleri Grafik Sonuç Ekranı.....	43
2.23. Eşitsel Çalışma Blok Şeması.....	44
2.24. Mermi Hızının Optik Sensörlerle Ölçülmesi.....	44
2.25. Relüktans Fırlatıcının İki Boyutlu Modeli	45
2.26. Relüktans Fırlatıcının Üç Boyutlu Modeli	45
2.27. Malzeme Seçimi.....	46
2.28. Mermi Ağırlığının Programa Girilmesi.....	47

2.29. Sargının Sarım Sayısının Girilmesi.....	47
2.30. Sargının Gerilim, Direnç Ve İndüktansının Girilmesi.	48
2.31. Analizin Zamanlamasının Girilmesi.	48
2.32. Ticari Yazılım Paketi İle Doğrulama	51
2.34. Tasarlanan Kontrol Ve Ölçüm Ekranı.....	52
2.35. NFS uygulamaları için ön EM ray silahı fırlatma paketi.....	53
3.1. Raylı Elektromanyetik Fırlatıcı	55
3.2. Raylı Tip Elektromanyetik Silah Genel Yapısı.....	55
3.3. Gemiler İçin Elektromanyetik Silah Tasarımı.....	56
3.4. Prototip raylı tip elektromanyetik silah	56
3.5. Raylı Fırlatıcının Gösterimi.....	57
3.6. Raylı Fırlatıcının Eşdeğer Devresi	57
3.7. Sargılı Tip Elektromanyetik Silah Genel Yapısı.....	59
3.8. Sargılı tip elektromanyetik silah Prototipi.....	60
3.9. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı Genel Yapı.....	61
3.10. Doğrusal Tip Elektromanyetik Silah Genel Yapısı.....	63
3.11. Elektro Termal-Kimyasal Fırlatıcıların Yapısı.....	64
4.1. Geliştirilen Elektromanyetik Silahın Genel Görünümü	69
4.2. Sargılı Tetik Mekanizması	71
4.3. PPRC Yalıtkan Boru	72
4.4. Atım Yuvası	72
4.5 Tornada Makaranın İşlenmesi	73
4.6. İvmelendirici Sargının İç Ve Dış Çapları.....	74
4.7. Makaranın Sipirlenmesi	74
4.8. İlk İvmelendirici Sargı.....	75
4.9. İkinci İvmelendirici Sargı.....	75
4.10. Son İvmelendirici Sargı.....	75
4.11. Silisli Cam	76
4.12. Cam Tüp (Namlu)	77
4.13. Optik Sensör ve Bi – Stable	78
4.14. Güç Kaynağı.....	79
4.15. Boru Mermi	81
4.16. Sargılı Mermi ve Çubuk Mermi	81
4.17. Diyot.....	82

4.18. Gövde Yapısı.....	83
4.19. Kondaktör.....	84
4.20. Prototipin Yandan Görünümü	85
4.21. Prototipin stten Görünümü	85
4.22. Horoz Şarjör Ve Dn Etki Sistemi.....	86
4.23. Namlu Alt Montajı	87
4.24. Test Atışı	89



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Elektromanyetik Silah Sistemlerinin Karşılaştırılması	68
4.2. Mermilerin Özellikleri	88



SİMGELER DİZİNİ

kW	Kilowatt
kJ	Kilojoule
Kg	Kilogram
kV	Kilovolt
m / s	Metre / Saat
m / sn	Metre / Saniye
g	Yer çekimi
Km	Kilometre
Gr	Gram
Mm	Milimetre
MJ	Mega joule
MW	Mega Watt
Q	Coulomb
π	Pi sayısı
v	Hız
B	Manyetik Alan
I	Akım
N	Sarım sayısı
r	Yarı Çap
R	Direnç
F	Manyetik Kuvvet

1.GİRİŞ

Günümüzde silah sistemleri konusunda yapılan araştırmalar hızla devam etmektedir. Savunma sanayinin stratejik olması ve çok büyük maliyetler içermesi dolayısıyla, hükümetler tarafından büyük bütçeler ayrılarak desteklenmektedir. Silah konusunda yapılan tüm çalışmalar stratejik üstünlük elde etmek ve rakip ülkelerin askeri güçlerinden daha fazla etkinlik kazandırmak amacıyla yapılır. Bu çalışmalar çok yönlü ve değişik alanları içermektedir. Uzay, deniz, kara, hava ve bilişim alanlarında büyük bir rekabet sürmektedir. Tüm bu alanlar içerisinde geliştirilecek yeni silah ve mühimmat çalışmaları büyük bütçelerle ve gizlilikle yürütülür. Yürütülen bu yeni araştırma konularından biri de, manyetik fırlatıcılardır. Bu teknolojiye sahip ülke sayısı az ve kullanılmasından dolayı oluşacak faydaları yüksektir. Türkiye’de içerisinde bulunduğu jeopolitik konumu ve dünya yapılanması içerisindeki rolü gereği güçlü bir savunma sistemine ve silah kapasitesine sahip olmak zorundadır. Bu nedenle geçmiş 10 yıllık bir süreçten beri millileşme kavramı başlamış olup, dışa bağımlılığı gidermenin yanı sıra rakip ülkelere de üstünlük sağlama amaçlı AR - GE çalışmaları büyük bir ivme kazanarak sürmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar tarih boyunca hız kesmeden devam etmiştir.

Eğer tarihe bir göz atarsak elektrikli silahlar konusunda ilk çalışma Amerika’da Benningfield tarafından 1844 yılında yapılmış olan bu silaha “SIVA” adı verilmiştir. Daha detaylı bilimsel çalışmalar 1845 yılında yapılmaya başlandı. Çelik ve demir parçaların fırlatıldığı bu çalışma Dr. Charles G. Pages tarafından Washington’da yapılmıştır [1].

Elektromanyetik fırlatıcıların geliştirilmesinde bilinen çalışmalardan diğeri 1845 yılında Wheatstone tarafından yapılmıştır [2].

İlk ciddi çalışmaların 1845 yılında başladığı görülmektedir [3].

Mermi fırlatılması amacıyla sevk barutu yerine elektrik manyetik gücünü kullanmak yeni bir düşünce değildir. 1846 yılına kadar geriye gidilebilir. 1901'de Norveç'te, 1917'de Fransa'da ve 1944'de Almanya'da bazı bilim adamları tarafından araştırmalar yapıldığı belirtilmiştir [4].

İlk ciddi gayret 1901 yılında Kristian Birkeland tarafından yapılmıştır. Birkeland, deneylerinde bobin içinden demir parçacıklarının çekilerek bir mermi gibi davrandığını gözlemlemiştir. Böylece sürücü bobin dizileri tarafından manyetik olarak etkinleştirilen demir mermi kullanarak, bir yıl içinde ilk elektromanyetik silahını yapmıştır. Birkeland, bu konuda ilk patenti aldıktan sonra ikinci deneyinde mermi olarak katı demir yerine bobin deneyerek araştırmalarına devam etmiştir. Birkeland, araştırmalarında özellikle fırlatıcının elektriksel anahtarlanması konusundaki gelişmeleri dikkate değerdir. Burada sürücü ve mermi bobinlerinin indüktansları birbirine göre denkleştirilmelidir. Bu durumda besleme (sürücü) bobininden kaynaklanan ters elektromanyetik kuvvet, mermi geçerken mermi üzerine uygulanan gerilime denk olması için anahtarlar sıfır akımda açılmalıdır. Birkeland bu çalışmalarında en yüksek 100m/sn'lik mermi hızına ulaşabilmiştir. Bundan daha yüksek hızlar elde edilmesinde yeterli enerjiyi bir sn'lik bir sürede mermiye ulaştırabilecek bir besleme kaynağı gerektiği anlaşılmıştır [2].

1901 yılına kadar yapılan benzer çalışmalarda tasarlanan elektromanyetik fırlatıcılarla demir bir cisim 150 metre uzaklığa kadar fırlatılabildiği belirtilmiştir [3].

Fransa'da 1916 yılında Fauchon-Villeplee ray silahı çalışmalarına başlamıştır. Bu çalışmalarda mermilerle ağaç blokları vurmıştır. Daha sonra 30 mm ve 50 mm'lik mermiler geliştirilmiştir. Birinci dünya savaşından sonra proje iptal edilmiştir. Fauchon-Villeplee çalışmaları için 1916-1919 yılları arasında çeşitli patentler almıştır. Ayrıca Fauchon-Villeplee'nin çalışmaları kitap haline getirilmiş ve yayınlanmıştır. Bu kitapta DC ray silahının prensipleri oldukça açık bir şekilde anlatılmıştır. Elde edilen ray silahının namlu uzunluğu 2 metre, kullanılan mermi uzunluğu 270 mm ve ağırlığı 50 gramdır. Mermilerin 200 m/sn'lik bir hıza ulaşması için 40-50 voltluk bir gerilim ve 5 KA'lık bir akım gerektiğini hesaplamıştır [1].

1918 yılında Fransız mucit Louis Octave, lineer motora benzer ve onun kadar kuvvetli bir elektrikli silah icat etmiştir [5].

Amerika'da 1921 yılında MacLaren'in patent almasının elektromanyetik fırlatıcıların gelişiminde büyük bir katkısı olmuştur. Bu çalışmada MacLaren yüksek frekanslı üç fazlı bir jeneratörün oluşturduğu yürüyen dalga bobin silahı gerçekleştirmiştir [1].

1922'de "Mermi fırlatan elektrikli cihazlar" adıyla projesine patent almıştır. Bu cihaz iki paralel bara, baralardaki akımı kanatlarıyla geçiren mermi ve bu sistemi içerisine alan manyetik alandan oluşuyordu. Baralar ve mermi üzerinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alan mermiyi fırlatıyordu. Silah yüksek enerjiye gereksinim duyduğundan tam olarak geliştirilemeden proje tozlu raflardaki yerini almıştır [5].

1923 yılında Rus bilim adamı Korol'kov Fauchon-Villeplee'nin çalışmalarını analiz ederek bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda fizik ve mühendislik hesaplamaları kullanılarak elektrikli silahların üstünlükleri incelenmiştir [1].

Daha sonra 1936 yılında Edwin Northrup tarafından Amerikan ordusu için elektromanyetik fırlatıcı tasarımı geliştirilmiştir. Bu fırlatıcı yapısı üç fazlı güç kaynakları ile beslenerek silahın namlusu bölmelere ayrılmıştır. Her bir bölme altı bobinden oluşup, bir sonrakine göre derece faz farkı gözetilerek, yürüyen elektromanyetik dalganın mermi üzerinde akım indüklenmesine dayanarak tasarlanmıştır [2].

1940'larda, Deniz Kuvvetleri, indüksiyon motor teknolojisi kullanarak bir elektromanyetik hava aracı fırlatma sistemini tasarlamıştır. İnşa edilmiş ve test edilmiştir. Test makalelerinden biri aslında operasyonel uçakları fırlattı; Bununla birlikte, İkinci Dünya Savaşı'nın sona ermesi ve sistemin maliyetinin yüksek olması nedeniyle elektromanyetik rampa projesi terk edildi [6].

Uçakların taşıyıcılar üzerinde hali hazırda kullanılan uçak fırlatma sistemleri buhar teknolojisine dayanmaktadır. Bu teknoloji önemli dezavantajlar sunmaktadır [7].

Yakıt donatılarının tekrar kullanılabilirliği nadir olarak uygulanmaktadır. Bütün bunlara ilave olarak, kimyasal roketlerin üretimi uzun süreli ve pahalıdır. Bu yüzden gelecekte Uzay taşımacılığı ve Uzay yerleşim bölgelerine yönelik uçuşlarda elektromanyetik fırlatma sistemi(EMFS) teknolojisinin de kullanılmasına çalışılmaktadır. Ancak lançer üzerinde kazanılan ilk hızla fırlatılan EMFS (Electro Magnetic Space Launcher) sistemlerin daha çok kullanılacağı öngörülmektedir [8].

ABD Donanması, 1940'larda elektromanyetik mancınık kabiliyetinin önemli olduğunu öngörmüş ve bir prototip inşa etmiştir. Bununla birlikte, darbeli güç, güç şartlandırma, enerji depolama aygıtları ve kontrol alanlarındaki son teknik gelişmeler saha koşullarına uygun bir elektromanyetik hava taşıtı fırlatma sistemine ihtiyaç duyulmuştur. ABD Deniz Kuvvetleri'nin Kaman Electromagnetics (Hudson, MA) ortaklığında geliştirilen Elektromanyetik Uçak Giriş Kontrol Sistemi'ni (EMALS) sunmaktadır. EMALS'in günümüz tasarımına ve ilgili teknolojilere, ayrıca gemi ve operasyonel etkilere, avantajlara, dezavantajlara ve bugünün ve yarının taşıyıcılarının uyumluluk sorunlarına çözüm üretmeyi hedeflemiştir [9].

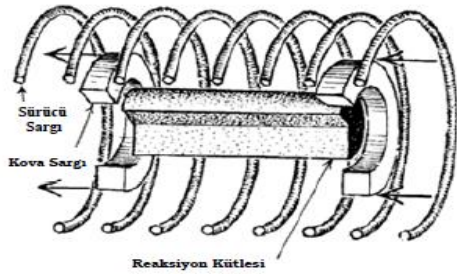
Japonya'da 1942 ile 1944 yılları arasında orduya bağlı teknik araştırma laboratuvarında yapılan çalışmaların sonunda 2 kg'lık mermileri 335 m/s hızında fırlatabilen fırlatıcılar yapılmıştır. Alman bilim adamı Hansler 1943 yılında bir elektrikli silah gerçekleştirmiştir. Daha sonra ray silahı üzerine çalışmış ve 12 voltluk bataryaları kullanarak 48 KJ'luk enerjiye sahip 2 KV'luk güç kaynağı kullanmıştır. Çalışmalarında elde ettiği verileri üç rapor halinde yayınlamıştır [1].

Elektromanyetik silah fikri, 2. Dünya Savaşı sürerken Almanya mühimmat ofisinden Joachim Hansler tarafından elektrikli uçaksavar olarak kullanılması yönünde tekrar canlanmıştır. 1944 yılı sonlarında, Luftwaffe Flak Komutanlığı'nın isteği olan 2000 m/s atış hızında, 0.5 kg patlayıcı içeren şartname üzerinde teorik olarak çalışılmıştır. Tasarlanan silah, bataryalardaki 12,8 cm Flak 40'' silahı ölçülerine yakın olup yapımı gerçekleştirilememiştir. 1947'de yapılan ayrıntılı çalışmalarla bu silahların teorik olmadığı, yeterince enerji verilmesi durumunda pratiğe dönüşeceği tekrar gündeme gelmiş ancak bu enerji Chicago kentinin aydınlatmasının yarısı kadar olduğu için çalışma gerçekleştirilememiştir. 1950'de Avustralyalı fizikçi Mark Oliphant, dünyanın

en büyük (500 megajule) eş kutuplu jeneratör tasarım ve inşaatını başlatmıştır. Bu makine elektromanyetik silah tasarımında bilimsel bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Böylece teori tamamıyla pratiğe dönüşmüş oldu [5].

1966 yılına gelindiğinde Thom ve Norwood tarafından kayan kontaklı fırlatıcılar üretilmiştir. 1966 yılında her bir sürücü bobinin kapasitörlerle beslendiği Winterberg fırlatıcısı tasarlanmıştır. Bu fırlatıcı yapısı bobinlerin ve kapasitörlerin iletim hatları parametreleri kullanılarak modellenmesi üzerine dayandırılmıştır. Buna göre namluyu oluşturan sürücü bobinler ile mermi arasında bir eşzamanlılık gerekli olmayıp, başlangıç anahtarından başka diğer anahtarlar pasiftir [2].

Ay yerleşkeli EMFS (Electro Manyetik Launcher) sistemi teknolojik ilerleme geliştirilmesi hakkındaki O'Neill'in 1977 yılında yapılan ilk laboratuvar denemelerinde, Şekil 1.1' de 20 adet seri bağlanmış sarımlar arasında yaratılan elektromanyetik kuvvetle bir çubuk kova şeklindeki armatür 35 g ivmeyle fırlatılmıştır. Çapı 10 cm, boyu 20 cm uzunluğunda alüminyum telle sarılı çubuk kova, seri halde bağlı akü gurubundan oluşan bir bataryadan elde edilen enerjiyle, dört bakır çubuk ray üzerinde yol almıştır. Bakır raylar sürücü bobinlerin içine yerleştirilmiş olup, çubuk kova ise elastik berilyum yaprakların uçlarında yer alan kömür fırçalarla bakır raylar üzerine konuşturulmuştur. Çubuk kova geçtiği yerlerde mikro anahtarları çalıştırarak sürücü sarımlara ait kapasitörleri harekete geçirmiştir. Deneylerde kova sarımı azotla soğutulularak direnç düşürülmüş ve kovanın 35 g civarında bir ivme ile fırlatılması sağlanmıştır [8].



Şekil 1.1. Elektro Manyetik Kuvveti İle Fırlatılan Çubuk Armatür Kova [8]

Daha sonraları 1979 yılında ise üstün iletkenli sargı kullanılarak 800 g ivmeli Kütle Sürücü 2 tasarlanmıştır. Bu çalışmalarda, kütle sürücü sisteminde, bir yükleme kabı üzerinde yer alan döner kovalarla, faydalı yük ivmelendirilmiş ve hareket ekseninde tutulmuştur. Sistemin gram seviyesindeki düşük taşıma kapasitesi, yılda on milyon adet fırlatma uçuşu gereksinimi önemli bir dezavantaj olarak görülmüştür. İleri aşamalarda, dönmeli kova elemine edilerek, ivmelendirici basitleştirilmiş, hat üzerindeki tutucu kaldırılmış ve uçan cismin üzerinde faydalı yükü artırmak amacıyla sistem revize edilmiştir. Böylelikle senede yapılması gereken fırlatma miktarı, 1000 âdete düşürülmüştür [8].

Bu konuda ilk olarak birkaç gramdan daha ağır kütlelerin yüksek hızlarla fırlatılmasının başarımı 1980 yılında ABD'nin elektromanyetik silah teknolojileri konusunda ulusal programının kurulmasını sağlayarak Strategic Defense Initiative Organization (SDIO) tarafından desteklenmiştir. Öyle ki bu ulusal program on yıl içinde geniş kalibreli elektrik silah sistemini gerçekleştirmeyi amaç edinmiştir. Amerikan ordusu ve Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) ile yapılan işbirliğiyle geleceğin savaş sistemleri için ileri teknolojilerin geliştirilmesi, ileri katı hal radarları, geniş bantlı yarı iletken teknolojisinin geliştirilmesi ve gelişmiş insansız hava savaş sistemleri ve arazi araç sistemleri ele alınmıştır [2].

Bu dönemde öncelikle ABD'nin bilim ve teknolojiye uyguladığı yeni politikalar gereği, bir ilk adım olarak ABD Stratejik Savunma Girişimi Organizasyonu (SDIO), nükleer güç kaynakları ile beslenen çok yüksek hızlı (15 km/s fırlatma hızını aşabilen) elektromanyetik fırlatma teknolojileri üzerindeki araştırmalara odaklanmış olmakla beraber, ABD'nin uzayda silah bulundurmama kararı ile birlikte, çok yüksek hızlı elektromanyetik fırlatıcılarla ilgili çalışmalar yavaşlatılmıştır [10].

1982 yılında Battelle Columbus Laboratuvarı'nda fizibilite çalışması yapılmıştır. Bu çalışmaların iki misyonu bulunmaktadır. Birinci misyonda Dennis K. Davis, nükleer atıklarını uzayda bertaraf etmeyi, ikinci misyonda Eric E. Rice düşük yükseklik yörüngelerindeki uzay istasyonlarına kargo taşımacılığını planlamaktadır. Her iki uygulamada da 2.04 km lançer uzunluğu üzerinden nükleer atıklar için 2500 kg kargo taşımacılığı için 6500 kg kütle fırlatılması öngörülmektedir [8].

EMALS programı, bir taşıyıcıdan uçakları fırlatmak için elektromanyetik bir fırlatıcının başarılı bir şekilde kullanılabilceğini belirleyen bir Kavram Fizibilite Çalışması ile 1982'de başlanılmıştır. 1988 yılında, Deniz Kuvvetleri EMALS ekibi aynı fırlatma motorunu kullanarak elektromanyetik fırlatma, fren ve geri çekmenin fizibilitesini göstermek için kesitin yarısı ve 12 feet uzunluğunda bir alt ölçekli model geliştirilmiştir [6].

Ayrıca ulusal program, uzayda yüksek hızlı silahların balistik füze savunma sisteminin bir parçası olabileceği fikrini geliştirmek amacıyla SDIO tarafından cesaretlendirilmiştir. 1985'lerde ise Amerikan ordusu ve DARPA arazi savaş araçları için gelişmiş zırhlı savaş araçlarını yenilgiye uğratabilecek elektromanyetik fırlatıcı teknolojilerini değerlendirmeye almıştır. Ancak zırhlı araçları tahrip etmek amacıyla fırlatılacak mermilerin uçuşlarının atmosferin yoğun olduğu yerlerde gerçekleşecek olması sebebiyle, fırlatma hızları da sınırlı kalmıştır. Bu durum zırhlı bir aracı tahrip etme yeteneğini zorlaştıran bir etkidir. Bu sebeple daha sonraları elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinden daha yüksek bir verim elde etmek için çeşitli Raylı Elektromanyetik Fırlatıcılar kullanılmıştır. Güç kaynakları olarak kondansatörler ve darbeli alternatörlerle kullanılmıştır [2].

1985'de DARPA, ABD Denizcilik İşletmeleri ve ABD ordusunun gelişmiş zırhlı savaş araçlarını yenilgiye uğratabilecek kapasiteye sahip arazi savaş araçları için elektromanyetik fırlatıcı teknolojilerini değerlendirmeye yönelmesiyle, ABD Savunma Bilimi Biriminin desteği ile ABD'nin araştırmaları tekrar elektromanyetik fırlatıcılar konusuna yönelmiştir [3,10].

1990'lı yıllarda Sandia Ulusal Laboratuvarlarında selonoidal sarılmış bobinler ile sıra dışı tasarımlara sahip bobinli elektromanyetik fırlatıcılar üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan düz-tabakalı mermi, sürücü bobinlere ulaştığı anda anahtarlama devresinden bobinlere akım verilmesi, mermi üzerinde manyetik alanın tersi yönde akım indüklenmesine ve mermiyi iten bir kuvvetin meydana gelmesine neden olmuştur. Mermi tabakasına etki eden kuvvetin manyetik alan çizgilerinin eksen boyunca düz olduğu görüntülenmiş ve bu fırlatıcıya "Yeniden Bağlantılı Silah"

denilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde 150 kg ağırlıklı düz-tabakalı mermi ile 1km/sn hıza, 10 gr ve 5 gr ağırlıklı silindirik mermilerle 335 m/sn hıza ulaşılmıştır [2].

1990' da ABD ordusu ilk kez federal olarak finanse edilen İleri Teknoloji Enstitüsü (IAT) adı ile üniversite tabanlı bir araştırma ve geliştirme merkezini Austin'deki Texas Üniversitesinde kurmuştur [3].

İleri aşamalarda elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinde Şekil 1.2' de yüksek verim amaçlı, iki uzun paralel elektrotlu raylı silahlardan fırlatmalar için sıcak iyonize gaz parçacıklı plazma armatürler yerine katı armatürler, potansiyel güç kaynakları olarak da kondansatörler ve alternatörler kullanılmıştır. Lançer üzerinde maksimum hıza elektriksel olarak depolanabilen enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü ile erişilmesi planlanmıştır. Merminin lançerden çıkış hızı, donanımın elektriksel gerilimi ile doğru orantılı, sarım uzunluğu ile ters orantılı olarak değiştiği teori kısmında ifade edilmektedir [8].



Şekil 1.2. 1977 Raylı Silah Sistemleri Çalışmaları [8]

Ray silahlı tesisi PEGASUS (Sistemlerde Kullanımı İncelemek İçin Elektrik Tabancası Düzenlemesi Programı) 1998'de ISL'de kurulmuştur. 10 MJ kapasitör bankı tarafından tedarik edilen bir DES (Dağıtılmış Enerji Depolama), Bu tesis, 1 kg'lık bir kütle ile

orta derecelerde (40-50 mm) 2000 m / sn 'den daha yüksek hızlara kadar mermileri hızlandırmak için kullanılmaktadır [12].

BAE System Firması, 2008 yılında Amerika'nın Deniz Kuvvetleri Naval Surface Warfare Merkezi'nde mermiyi lançerden 7 Mach hızla fırlatan, 220 mil menzilde hedefi 5 Mach hızla vuran, Elektro-Manyetik Raylı Silah Sistemini (32 MJ LRG) geliştirmeye çalışmıştır. Lançer üzerinde yaratılması gerekli enerji miktarı yaklaşık 50 MJ olarak hesap edilmektedir. Hesaplarda görüldüğü gibi bu enerjiyi sağlayıcı kütle 17,65 kg olarak alınmaktadır. Mermi hızı ise 7 Mach olarak alınmıştır. Bugüne kadar 8-9 MJ azami kapasiteli raylı silah sistemi yapılabilmektedir. Her atış 3 milyon Amper akım çekmektedir. Gelecek için planlanan 64 MJ kapasiteli silahın 6 milyon Amper çekmesi öngörülmektedir. Fırlatma için 64 MJ sistemle yaklaşık 72 MWatt güç kullanılmaktadır. Savaş sürecinde gemi hızı yavaşlatılarak, raylı lançerden dakikada 6 vuruş yapabilmek için kapasitörler ve alternatör üzerinden gelecek 16 MWatt güç kullanımına ihtiyaç bulunmaktadır. Elektromanyetik Fırlatmalı Silah Sistemlerinde hedef üzerindeki tahribat, vuruş hızı yüksek olan merminin, yüksek KE'si ile oluşmaktadır. Son senelerde, "yüksek sıcaklık üstün iletkenleri (HTS)" üzerine yapılan yeni buluşlar, dünya yerleşkeli elektromanyetik fırlatma sistem teknolojilerinin, NASA tarafından tekrar ele alınmasını sağladı. Bugün yüksek sıcaklık üstün iletkeni alternatif olarak kullanımı yapılan başlıca (HTS, High Temperature Superconductor) beş alternatif malzeme bulunmaktadır [8].

Toplu formdaki yüksek sıcaklık süper iletken (HTS) malzeme, elektromanyetik hava aracı fırlatma sistemi için doğrusal senkron motor tasarımı için kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta süper iletken (HTS) malzemelerin icadından sonra, çeşitli alanlarda süper iletkenlik uygulaması birçok araştırmacıya ilgi duyduğu için güç faktörü, güç elektroniği dönüştürme sisteminin tasarımı için çok önemlidir. Bu nedenle EMALS için motorların değerlendirilmesi için en önemli faktörlerden bir tanesi olmuştur [13].

Elektromekanik enerji dönüşüm sistemlerinin çekiş gücü dâhil olmak üzere bazı önemli durumlarda, askeri uygulamalarda benimsenme, göreceli olarak ulaşılabilir güç, enerji ve torkun ünite hacim ve ünite kütlesi başına düşük olması nedeniyle yavaşlatmaktadır. Bununla birlikte, kontrol edilebilirlik, sağlamlık, güvenilirlik, hasar yönetimi, operasyonel kullanılabilirlik, azaltılmış personel kullanımı gibi yararları

yadsınamamaktadır. Bu nedenle, uçak gemileri için elektromanyetik hava taşıtı fırlatma sistemlerine (EMALS) yüksek düzeyde ilgi duyulmaktadır [14].

Geçtiğimiz 40 yıl içinde, insanlık, sıvı yakıtlar veya katı iticiler içeren köklü roket teknolojisini kullanma cesaretini göstermiştir. Bu yaklaşım astronotlar ve kırılğan yükler için avantajlıdır; roket, tam yakıt yükü ile Dünya yüzeyinden yavaşça başlar ve yakıt yakıldığında yükseklik ve hız artmaktadır [15].

ABD'nin 2018 yılında bitirmeyi düşündüğü proje ise seston 20 kat daha hızlı mermi atabilen elektromanyetik silahtır [5].

2020 yıllarının dünyadan uzaya malzeme taşımada kullanılacak elektro raylı manyetik fırlatma sistemleri için çalışmalar 1980'lerde başlamıştır halen devam etmektedir [8].

2. ELEKTROMANYETİĞİN TANIMI

Elektro manyetikliği olan ya da manyetik ile ilişki olan demektir. Her malzemenin elektromanyetikliği farklıdır. Malzemelerde elektromanyetiğin meydana gelişi üç Őekildedir.

- Ferromanyetik Malzemeler
- Ferrimanyetik Malzemeler
- Paramanyetik Malzemeler
- Diamanyetik Malzemeler

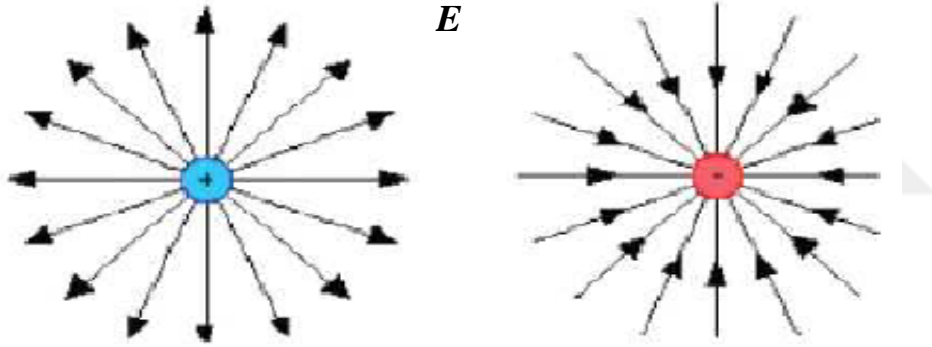
2.1. Elektrik Alan

Elektrikli bir cismin çevresindeki bölgeye elektrik alan adı verilir. Alanın varlığı, herhangi bir noktaya getirilen elektrikli bir cisme etki eden kuvvet yardımıyla anlaşılabilir [17].

Genellikle dinamik gerinim kuvvetlendirmesi olarak adlandırılan çok yüksek genlik ve frekanstaki bir gerginlik, mermi geçişinden dolayı geleneksel bir silah tüpünde gelişmektedir. Bu olgu, hareketli basınç silah tüpündeki dalga yayılım hızına yaklaştığında eğilme dalgalarının rezonansı nedeniyle olur. Mermilerin fırlatılması sırasında hareketli bir manyetik basınç ile indüklenen bir elektromanyetik raylı gücün dinamik tepkisini araştırmak için bir model geliştirildi. Mermi hızı kritik bir değere yaklaştığı rezonans oluşabilir ve merminin geçişi anında ve konumunda rayda yüksek genlik gerilimine ve gerginliğe neden olabilmektedir [18].

Uçak kalkış sistemlerinde kullanılan güçlü fırlatma düzeneğinin elektromanyetik olanlarla değiştirilmesi birçok yazarın dikkatini çekmiştir. Bu sistemlerde kullanılacak iki önemli aday doğrusal daimi mıknatıslı senkron motorlar LPMSM (linear permanent magnet synchronous motor) ve doğrusal indüksiyon motorlarıdır [19].

Şekil 2.1’ de Elektrik alanı E vektörü ile gösteriliyor. E bir vektördür ve yönü vardır. Eksi yük için elektrik alan vektörü E radyal (yükten olan doğrusal uzaklık) olarak eksi yüke doğru yönelmiştir. Artı yük içinse durum, radyal olarak yükten dışarı doğrudur. Bu vektörün anlamı d kadar bir uzaklıkta bulunan artı birim yük üzerine etki eden kuvvetin büyüklüğü ve yönüyle aynı olmasıdır. Yani d kadar uzaklığa konan bir artı birim yükün, ne kadar kuvvet ile nereye doğru hareket edeceğini göstermektedir. Elektrik alan vektörünün şiddeti $1/d^2$ ile orantılı olarak azalır [5,20].



Şekil 2.1. Elektrik alan çizgileri [5,20]

Elektrik alanla kuvvet arasındaki ilişki eşitlik 2.1 de verilmiştir.

$$F = q \cdot E \quad (2.1)$$

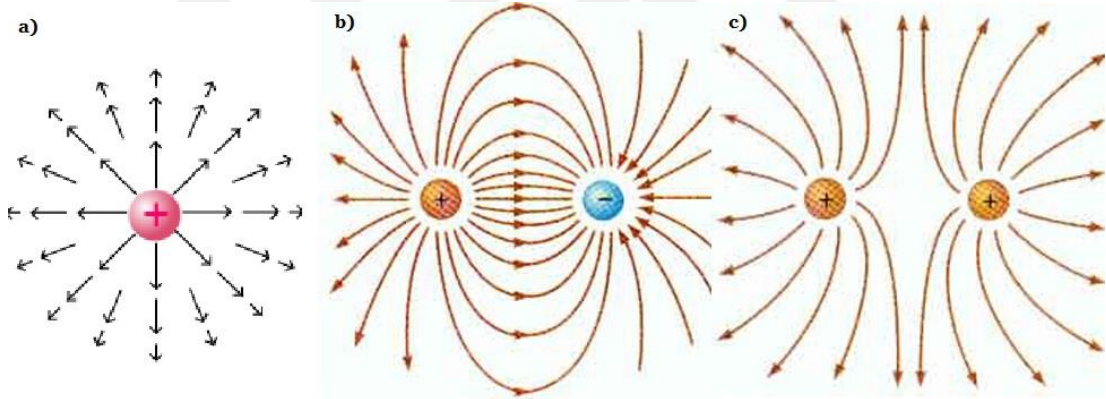
Burada F Newton birimiyle kuvveti, q Coulomb birimiyle yükü ifade etmektedir.

Buna göre:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q}{d^2} \quad (2.2)$$

Burada ϵ ortam geçirgenliğini ifade etmektedir. Bir cismin yükü; çizgisel $dq = \lambda dx$, yüzeysel $dq = \sigma ds$ ve hacimsel $dq = \rho dv$ yük yoğunluklarına bağlı olarak tanımlanabilmektedir.

Elektrik alan vektörü, elektrik alan çizgilerini oluşturur ve çizgilerin nereden nereye doğru gittiğini gösterir. İki zıt kutuplu yük için elektrik alan çizgileri, artıdan çıkıp eksiye son bulur. İki farklı çizgi hiçbir zaman bir diğer çizgiyi kesmez. Aynı kutuplu iki artı veya eksi yük için ise, yüklerden çıkan çizgiler birbirlerini kesmeyecek bir biçimde birbirlerini bükerek ve sonsuzda son bulur. Şekil 2.2' de manyetik çizgiler görülmektedir. Şekillerdeki düzgün ışınlar gibi gösterilen okların elektrik alan çizgilerinin o noktadaki elektrik alanın büyüklüğünü ve yönünü göstermek için kullanılan vektör işaretleridir [5].

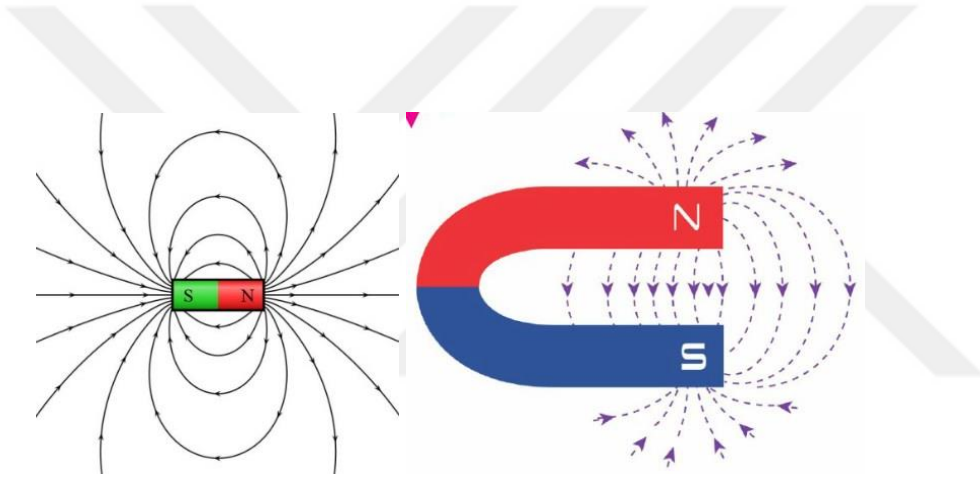


Şekil 2.2. Elektrik alan çizgilerinin etkileşimi [5,20]

2.2. Manyetik Alan Ve Elektromanyetiğin Tanımı

2.2.1. Manyetik Alan

Manyetik alan, günlük yaşamımızda her yerde karşımıza çıkmaktadır. Akım geçiren her şey, manyetik alan oluşturur. Mıknatıslar manyetik alan oluşturur, hatta dünyanın akışkan olan iç kesimleri dahi dünyanın manyetik alanını oluşturmaktadır. Manyetik alan çizgileri her zaman kapalıdır; ama bazı durumlarda manyetik alan çizgileri sanki N kutuplu bir uçtan çıkan ve S kutuplu bir uca doğru hareket eden çizgiler olarak da düşünülebilir. Bu durum, aynı elektrik alan çizgilerinin artı kutuptan eksi kutba yönelmesine benzetilebilir Şekil 2.3’de manyetik alan çizgileri görülmektedir [5].



Şekil 2.3. Manyetik alan çizgileri ve etkileşimi

2.2.2. Elektromanyetik Alan

Manyetik alanın ve elektrik alanın kökenleri yüklere bağlıdır. Gözlemciye göre eğer yüklü parçacıklar hareket etmiyorsa, orada sadece elektrik alan vardır. Eğer yükler hareket halindeyse, yüklü parçacıkların hareketinden ötürü gözlemci elektrik alanın yanı sıra bir de manyetik alanın etkilerini hissedecektir. Faraday ve Maxwell, bu olguların yüklerin gözlemcilere göre hareketlerinden kaynaklandığını ve zamana bağlı olarak değişen manyetik alanın bir elektrik alan oluşturacağını ve aynı zamanda, zamana bağlı olarak değişen elektrik alanın bir manyetik alan oluşturacağını

ispatlayarak formülize ettiler. Elektromanyetik alan, aslında manyetik alanla elektrik alanının birleştirilmiş asıl halidir. Bir yüzeyden geçen manyetik akı aşağıdaki denklemle gösterilmektedir [5].

$$\Phi_B = \oint B \cdot dS \quad (2.3)$$

Burada Φ_B manyetik akıyı ifade etmektedir. Bir q yükü B manyetik alanına v hızıyla girdiğinde yüke Lorentz kuvveti etkir.

Bu kuvvet:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{b}) \quad (2.4)$$

şeklindedir. Bu denklemde v hızdır. Üzerinden akım gecen bir iletkenin dl kadar kısmının manyetik kuvveti:

$$dF = i \cdot dl \times B \quad (2.5)$$

vektörel çarpımı şeklindedir. Eşitlikte akımın ani değeri i ile gösterilmiştir.

2.3. Elektromanyetik Alan Yasaları

2.3.1. Coulomb Yasası

İki yük arasındaki itme ya da çekme kuvveti yüklerin çarpımı ile doğru, yükler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Bu kanun;

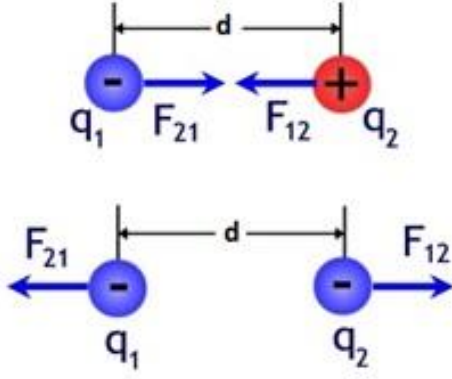
$$F = k \cdot q_1 \cdot q_2 / d^2 \quad (2.6)$$

şeklinde verilir.

Burada k Coulomb sabitidir.

$$k = 1/4\pi\epsilon \quad (2.7)$$

Şeklinde ortamın dielektrik sabitine bağlıdır. k 'nın boşluk için değeri $9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$ 'dir. q_1 ve q_2 Coulomb cinsinden yüklerin değerini, d ise metre cinsinden yükler arası mesafeyi ifade etmektedir. Şekil 2.4' de Coulomb yasası görülmektedir [5].



Şekil 2.4. Coulomb Yasası

2.3.2. Amper Yasası

Üzerinden akım geçen bir iletkenin çevresinde manyetik alan oluşur. Bu durumda manyetik alan iletkenden geçen akımla doğru orantılıdır. Buna Amper kanunu denir ve aşağıdaki formülle gösterilmektedir [5].

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 i \quad (2.8)$$

Burada dl sonsuz küçük yol vektörünü, μ_0 havanın manyetik geçirgenlik sabitini ifade etmektedir. Boşluk için $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Weber/Amper} \cdot \text{Metre}$ 'dir. Üzerinden i akımı geçen düz bir iletkenin d kadar uzağındaki manyetik alan

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi d} \quad (2.9)$$

Formül ile bulunur.

Genişliği b olan ince bir iletken levhadan bir i akımı geçiyorsa, akımın levhadan d kadar uzaklıkta oluşturduğu manyetik alan:

$$B = \frac{\mu_0 i}{\pi b} \tan^{-1} \frac{b}{2d} \quad (2.10)$$

Şeklindedir [5].

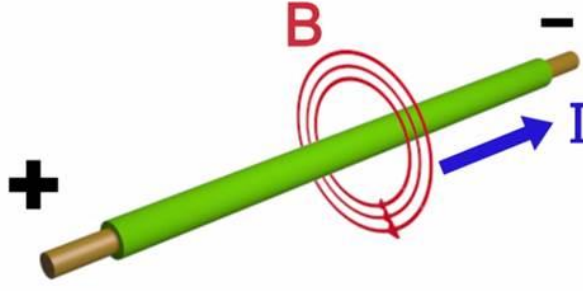
N sarımlı bir solenoidin merkezindeki manyetik alan

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{iN}{r} \quad (2.11)$$

Burada r metre biriminden yarıçapı ifade etmektedir. Manyetik alanın yönü sağ el kuralıyla bulunur. Üzerinden akım gecen ve birbirine paralel iki düz iletken için manyetik kuvvet

$$F = \frac{\mu_0 \cdot l \cdot i_1 \cdot i_2}{2\pi d} \quad (2.12)$$

Şeklindedir. Burada l metre biriminde iletkenin uzunluğunu ifade etmektedir. Akımlar aynı yönlü ise iletkenler birbirini çeker, zıt yönlü ise iterler. Şekil 2.5'de amper yasası görülmektedir [5].



Şekil 2.5. Amper Kanunu

2.3.3. Faraday Yasası

Üzerinden akım geçen iletken bir telin çevresinde manyetik alanın ortaya çıktığı 1819 yılında H.C.Oersted tarafından bulunmuştur. 1831 yılında Henry ve Faraday bir devrede manyetik alanın değiştirilmesiyle de elektrik akımının meydana gelebileceğini ispatlamışlardır. Bu sonuç, elektrik ve manyetizmayı birleştiren temel ilkelerden biridir. Buna göre Faraday yasası; “bir devrede indüklenen elektromotor kuvvetinin büyüklüğü, devreden geçen manyetik akının zamanla değişim hızına eşittir” [5].

Bu yasa;

$$\varepsilon = -d\Phi_B/dt \quad (2.13)$$

Şeklinde olup Faraday’ın indüksiyon yasası olarak bilinilmektedir. İndüksiyon akımının yönü Lenz kanunu ile belirlenir. Şekil 2.6’da Faraday yasası görülmektedir. Lenz kanununa göre, “indüksiyon akımının yönü kendisini meydana getiren sebebe zıttır”. Faraday yasasındaki eksi işaretinin anlamı budur. İletkende indüklenen emk ise

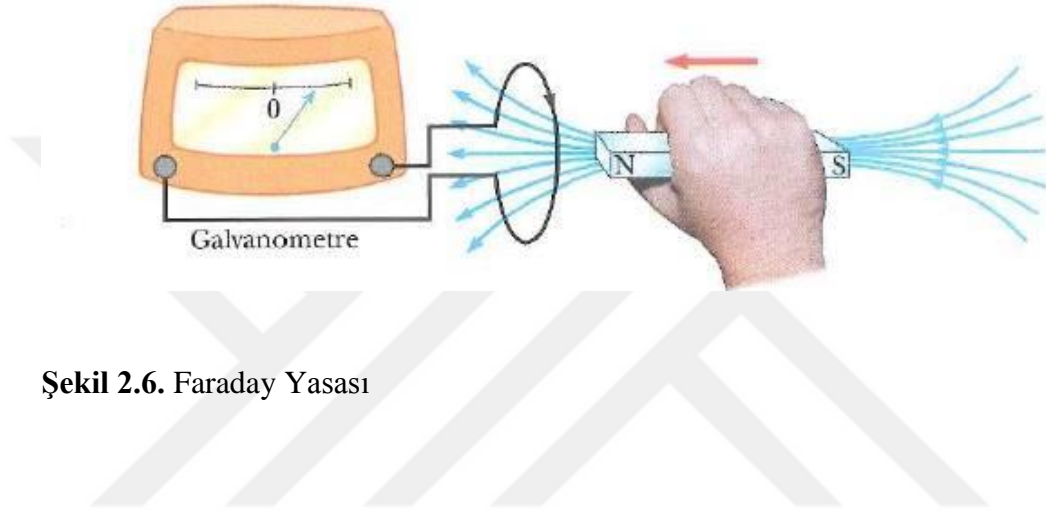
$$\varepsilon = -\vec{B} \cdot \vec{l} \cdot \vec{v} \cdot \sin\theta \quad (2.14)$$

Formülü ile bulunmaktadır. Burada θ , B ile v arasındaki açıdır.

Manyetik alan değişimi bir elektrik alan ürettiğinden dolayı, manyetik alan içerisindeki elektriksel dolanım

$$\oint E \cdot dl = \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.15)$$

Şeklinde indüksiyon emk' sına eşittir [5].



Şekil 2.6. Faraday Yasası

2.3.4. Lorentz Kuvveti

Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz (1853-1928) tarafından geliştirilen yasaya göre hem elektrik hem de manyetik alanın bir arada meydana getirdikleri kuvvet şu şekilde gösterilmektedir [5].

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad (2.16)$$

Yukarıdaki denklemde belirtilen kuvvete Lorentz kuvveti denilmektedir. Ortamda sadece manyetik alan varsa kuvvet, Denklem II-4'teki gibi olmaktadır. Buna göre, akı yoğunluğu içerisinde bu yoğunluk yönüne dik hareket eden elektrik yükü her iki yöne de dik üçüncü boyutta bir kuvvete yol açmaktadır. Elektrik yükü elektrik akım şiddeti cinsinden de ifade edilebilir.

$$qv = Il \quad (2.17)$$

Burada I ile elektrik akımını ifade etmektedir. Manyetik akı yoğunluğu x ekseninde, elektrik akımı z ekseninde ve Lorentz kuvveti y eksen yönünde Kartezyen koordinatlarda bulunmaktadır [5]

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B} \quad (2.18)$$

2.3.5. Sağ El Kuralı

Uzunca bir iletken I akımı geçtiğinde bu iletkenin etrafında manyetik alan oluşur. İletkenden uzaklaşınca d ile orantılı olarak manyetik alan azalır; ama iletkenden herhangi bir sabit d uzaklığı için iletken boyunca manyetik alan sabittir. Manyetik alan şiddeti iletken içinden geçen akımla doğru orantılıdır. Şekil 2.7'deki gibi akım yönü sağ elin başparmağının gösterdiği yön olarak seçilir [5].



Şekil 2.7. Sağ El Kuralı

Akım taşıyan iletkenin etrafında oluşturduğu manyetik alanın yönünü bulmak için sağ el kuralını kullanılır. Sağ el kuralı oldukça pratik bir yöntemdir. Akım taşıyan bir iletken parçasının etrafında oluşturduğu manyetik alan için Sağ El Kuralında; sağ elin kıvrılmış dört parmağı ise manyetik alanın yönünü göstermektedir [5].

2.4. Elektromanyetik Fırlatıcıların Hesaplamaları

Tasarladığımız sistemin hesaplamaları aşağıdaki formüller ile yapılmaktadır.

$$B = K \cdot 4 \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{N}{L}$$

N: Sarım sayısı

İ: Akım Şiddeti

K: Sabit değer (Manyetik alan katsayısı)

$$K = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

$$K = 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

$$B = 10^{-7} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 15 \cdot \frac{600}{6 \cdot 10^{-2}}$$

$$B = 18 \cdot 10^{-2} \frac{wb}{m^2}$$

$$V = I \cdot R$$

V: Volt

İ: Akım (Amper)

R: Telin direnci (Ω)

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

ρ : Öz direnç (Telin cinsine bağlı, (Bakır için = $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$))

L: Telin uzunluğu (cm)

A: Telin kalınlığı (cm^2)

2.4.1. Teorik Yöntemler

Bobinli elektromanyetik fırlatıcının matematiksel modelini incelemek için;

- İletim Hatları yöntemi
- Akım Perdese tekniği
- Sonlu Elemanlar yöntemi [2,3,21]
- Zaman Uzayında Sonlu Farklar yöntemi [21]

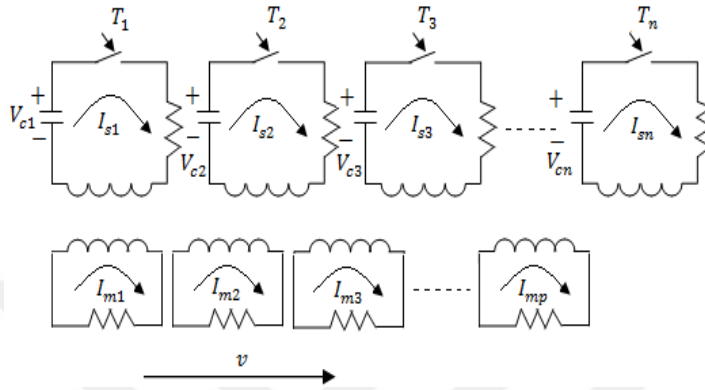
vb. çeşitli analitik ya da sayısal yöntemler kullanılabilir. İletim Hatları yönteminin bu problem için yaklaşık çözümler sunması, Akım Perdese modelinin de sadece birkaç temel durum için geçerli olması ve sonlu elemanlar yöntemi ile fırlatıcı modellenmesinin zaman uzayında zor olması, farklı bir yöntemle bu problemin tespit edilip çözülmesi ve sonuçlarının diğerleri ile karşılaştırılması bakımından önem arz etmektedir. Bununla beraber matematiksel modellerin çözüm kolaylığından dolayı genellikle frekans uzayında sürekli hal durumu için uygulanmasına karşın, Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcının geçici halde (transient) çalışmakta olması, gerçekçi modellenmenin zaman uzayında çözümler gerektirdiğini göstermektedir [2].

Eriyik dokulu YBCO süper iletkenleri, karşılaştırılabilir bakır iletkenlerden daha yüksek akım yoğunlukları taşıyabilir ve bu nedenle, yüksek güç yoğunlukları gerektiren elektromekanik cihazlarda kullanılabilir. Dokulu YBCO süper iletkenlerin avantajı, uçak nakliyecileri için elektromanyetik rampalar gibi büyük sistemlerde daha belirgindir. Genel olarak, bir elektromanyetik rampa, bir veya daha fazla mıknatıs taşıyan bir arabayı (ikincil) çeken ve / veya iten sabit elektro mıknatıslardan (birincil) oluşur [22].

2.4.1.1. İletim Hatları Yöntemi

İletim Hatları yöntemi, devre elemanları kullanılarak fırlatıcının eş değer devresi ile modellenmesine dayanır. Buna örnek olarak kapasitif olarak sürülen çok bölmeli Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı eş değer devre modeli Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

Şekil 2.8'e göre mermi üzerinde indüklenmiş olan akımların eksensel dağılımı tek bir formda olmadığından, birbirlerine göre elektriksel olarak yalıtılmış alt bölümlere ayrılarak, her biri ayrı bir mermi bobini temsil edecek biçimde eş değer devre modellenmiştir [2,3,21].



Şekil 2.8. Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı Eş Değer Devre Modeli [2,3,21]

Mermi bobinlerinin sayısı istenilen doğruluk seviyesine göre değişir. Sürücü bobinlerin sayısı ise fırlatıcı sistemin performansını belirleyen; mermi çıkış hızı, mermi ağırlığı, mermi çapı, namlu boyu vb. koşullara bağlıdır [2,21].

Eş değer devrede sürücü bobinlerin sayısı, mermi bobinlerinin sayısı olarak verilmek üzere, Kirchoff'un gerilim yasası uygulanarak matris formda devre denklemleri elde edilir. İletim Hatları yöntemi özellikle sürücü bobin ile mermi arasındaki ortak indüktansın dinamik olarak hesaplanmasını gerektirdiğinden dolayı kolay bir yöntem değildir [3].

2.4.1.1.1. Akım Lifleri Tekniği

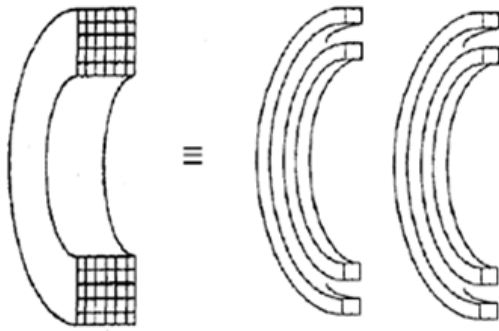
BEMf'in pratik uygulamalarında özellikle sürücü bobinleri olarak çoklu tellerin sarımı ile oluşturulmuş sonlu kesit alanına sahip, birden fazla bobin kullanılmaktadır. Bu durumun iletim Hatları Yöntemi hesaba katılması için Ağ Matrisi (*Mesh Matrix*)

yöntemi kullanılır. Buna göre aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi gerçek bir bobin (sürücü bobini veya mermi bobin eşdeğeri) tekli alt bölümlerden oluşmuş birim bobinlerin toplamı olarak değerlendirilir [21].

İletim Hatları Yönteminin bir diğer uygulaması olan Akım Lifleri Tekniği, aşağıdaki adımlarla ifade edilebilir.

- Sistemin büyük iletken kısımları birim hücre elemanlarına bölünerek akım dağılımının düzenli (uniform) olduğu varsayılır.
- Her hücre elemanı bir akım lifiyle ilişkilendirilir ve onun elektriksel parametreleri (direnç, öz indüktans, ortak indüktans) hesaplanır.
- Sistemin eşdeğer elektriksel parametre ağı oluşturulur.
- Sistemin davranışını düzenleyen elektriksel ve mekaniksel eşitlikleri eşdeğerli ağ temeline göre formülize edilir.
- Denklemler seti sayısal veya analitik bir yöntemle çözülür [2,3].

Şekil 2.9’da sürücü (ya da mermi) bobini eş değeri tekli birim alt bölümlerden oluşmuş birim bobinlerin toplamı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Bobininin Birim Alt Bobinlerden Oluşturulan Yapısı [2,21]

Buradan anlaşılacağı üzere Akım Lifleri tekniği ile çözüm aslında daha önce de bahsedilen İletim Hatları yöntemi ile yapılan çözümden başka bir şey değildir. Bu

nedenle yine dinamik olarak ortak indüktans hesabına ihtiyaç duyduğundan uygulanması zordur [2].

2.4.1.1.2. Endüktans & Ortak Endüktans Hesabı

BEMf'nin İletim Hatları Yöntemi ile modellenmesindeki temel zorluklarda birisi sürücü ve mermi bobinlerinin indüktansları ile kendi aralarında oluşan ortak indüktansların hesaplanmasıdır. İndüktansların hesaplanması için İletim Hatları Yöntemi ile BEMf sisteminde depolanan manyetik enerji ile düşünülerek;

$$L = \frac{\mu_0}{|I_0|^2} \iint_S (H \cdot H^*) ds \quad (2.19)$$

Formülü ile hesaplanabilir. Bu kapsamda BEMf yapısında oluşan manyetik alan büyüklükleri hesaplanarak indüktans ve ortak indüktans değerleri bulunabilir. İndüktans hesapları için bir diğer yaklaşımda Bartky's dönüşümü kullanılarak elde edilmiştir. Eş eksenli olmayan sabit akımlı ve dairesel bobinler arasındaki ortak endüktanslarının hesaplanması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [23].

2.4.1.2. Akım Perdese Yöntemi

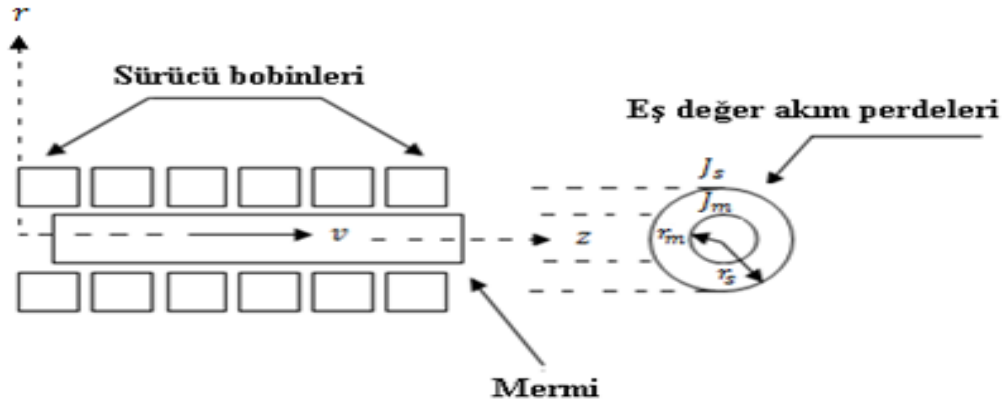
BEMf Akım Perdese eşdeğeri modeli r_{namlu} ve r_{kovan} sırası ile namlu ve kovan yarıçapları olmak üzere, mermi ve kovan yüzeyleri üzerinde endüklenmiş J_{namlu} ve J_{kovan} namlu ve kovan yüzey akımlarının varlığı mantığına dayalıdır. Akım Perdese eşdeğeri öncelikle düzlemsel akım perdese modeli için araştırılmış olmakla beraber, sonraları gerçekçi bir model olarak silindirik akım perdese için incelenmiştir [23].

Akım Perdese Yöntemi sürücü bobin ve mermideki akımlara eşdeğer akım şekil 3,3'deki gibi perdeleri üzerine kuruludur. Elektromanyetik fırlatıcının sürücü bobinleri çok sayıda seri bağlanmış alt bobinler içerdiğinden akım dağılımının düzenli olduğu varsayılabilir. Öte yandan mermi, katı bir iletken olduğundan deri etkisi de göz önünde

bulundurulmalıdır. Bununla beraber sürücü bobin malzemesinden en iyi şekilde yararlanmak için sürücü bobin kalınlığı radyal yönde akım dağılımının düzenli olmasını sağlayacak biçimde seçilmelidir. Akım yoğunluğu sonsuza giderken iletkenin kalınlığının yok olmasıyla, sürücü bobin ve mermideki akım dağılımları yüzey akım perdelerine indirgenebilir [2,3].

Mermide oluşan itme kuvveti mermide indüklenen akım yoğunluğu ile manyetik akı yoğunluğunun radyal bileşeninin çarpımına eşittir [3].

Akım Perdeleri yöntemi özellikle mermide indüklenen akımın sadece yüzeyde aktığı varsayımına bağlı olduğundan mermi kalınlığı ve iletkenlik etkisi deri kalınlığı kapsamında gerçekçi biçimde dikkate alınmadığından, daha gerçekçi modelleme için yetersizdir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi akım perdesidir [2].

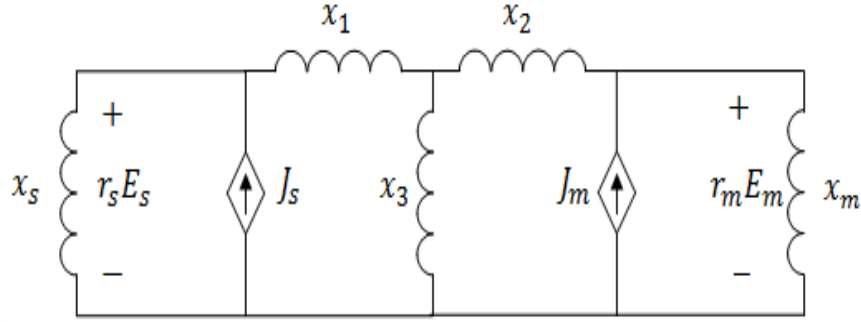


Şekil 2.10. Akım Perdeleri Eş Değeri [2,21]

2.4.1.2.1. Akım Perdeleri Ve İletim Hatları Hibrit Yöntemi

Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı modellenmesinde İletim Hatları yöntemi veya Akım Perdeleri yöntemi tek başına kullanılabilir gibi, bu iki yöntemin bir arada bulunduğu hibrit bir yöntem de ortaya koymak mümkündür. Böylece elektromanyetik parametreler ile devre parametreleri arasında ilişki kurularak fırlatıcı yapısı daha gerçekçi modellenerek, mermiye etki eden kuvvet hesaplanabilir. Bu amaç için

Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcının, İletim Hatları yöntemi ve Akım Perdesi yönteminin birlikte kullanıldığı durumda eş değer devresi Şekil 2.11’de gösterilmiştir [2,23].



Şekil 2.11. Akım Perdesi Yöntemi Hibrit Devre Eş Değeri [2,23]

Akım Perdesi ve İletim Hatları Hibrit yöntemi de her bir yöntem için daha önce bahsedilen dezavantajları nedeni ile zorluklara sahiptir [2].

2.4.1.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar (Finite Element) yöntemi ile ilgili bölgenin alan analizleri, bölgenin alt bölgelere yoğunluğa göre ayrıklaştırılmasıyla elde edilir. Sonlu Elemanlar yöntemi ile ayrıklaştırılmayan bölgelerin analizinde Sınır Elemanlar (Boundary Element) yöntemi kullanılır. Bu yöntemlerin birlikte değerlendirilmesi ile fırlatıcının elektromanyetik ve yapısal büyüklükleri arasında ilişkiler kurulmuştur. Daha sonraları Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı geçici hal davranışlarını analiz etmek amacıyla Sonlu ve Sınır Elemanları yöntemleri birleştirilerek hibrit potansiyeller ile bobinli fırlatıcı modeli analiz edilmiştir. Ayrıca merminin asimetrik ve eğimli durumları için Sonlu Elemanlar yöntemi ile devre eş değeri karşılaştırma amaçlı çalışmalar da yapılmıştır. Sonlu Elemanlar yöntemi ile yapılan Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı modellemesi çalışmalarında ortaya çıkan temel zorluklardan biri merminin hareketinin zaman uzayında analiz edilememesidir. Çünkü klasik Sonlu Elemanlar veya Sınır

Elemanlar yöntemi Helmholtz denkleminin çözümlerini frekans uzayında vermektedir. Bundan dolayı zamana göre değişen ve ivmeli mermi hareketinin modellenebilmesi için mermi konumunun değiştirilerek oluşan yeni problemin her mermi konumu için tekrardan çözümlerin elde edilmesi gerekmektedir [2,3,23].

Bu durumda toplam hesap zamanının yüksek olması bakımından bu durum önemli bir dezavantaj olarak gözükmemektedir [3,23].

Bu nedenle bahsedildiği üzere özellikle ivmeli mermi hareketlerinin direkt zaman uzayında modellenmesi bakımından fırlatıcıların geçici hal (transient) rejimde çalıştıkları da dikkate alınarak Sonlu ve Sınır Elemanları yöntemlerinin zaman uzayı versiyonlarının kullanılması daha uygun olacaktır. Bununla birlikte, hali hazırda literatürde Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcılar için bu tür bir çalışmaya rastlanmamıştır [2].

2.4.1.4. Zaman Uzayında Sonlu Farklar

Elektromanyetik uygulamalarda Zaman Uzayında Sonlu Farklar, ZUSF (Finite Difference Time Domain, FDTD) yöntemi, Maxwell denklemlerindeki zaman ve konum bağımlı analitik türevlerin temelde sayısal merkezi farklar eş değerleri ile değiştirilerek, zamanda iteratif olarak çözümüne dayanır [2,3].

ZUSF yöntemi hangi koordinat sisteminde uygulanırsa uygulanılsın, çözümün yeteri doğrulukta ve fiziksel şartları karşılayabilmesi bakımından belirli temel kıstas ve koşullar altında gerçekleşmesi gerekir. Bu koşullar silindirik koordinatlarda ZUSF yöntemi uygulaması için genel olarak;

- Kararlılık koşulları
- Tekilliğin düzenlenmesi
- Soğurucu Sınır Koşulları

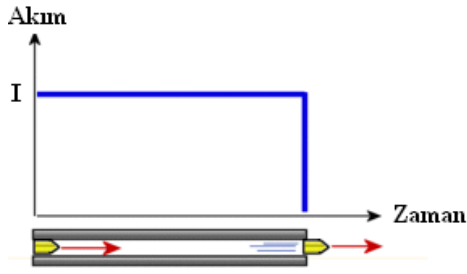
Ve Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı problemine özel olarak;

- Üstel Fark uygulaması
- Kuvazi-Statik yaklaşımı
- Hareketli cisim uygulaması
- Yürüyen dalgalı kaynak uygulaması

Olmak üzere ele alınmalıdır [2].

2.4.2. Raylı Tip Elektromanyetik Silah Hesabı

Teorikte elektromanyetik silah analizini yapmak için ilk yapılması gereken akımın sabit bir değerde olduğunu varsaymaktır. Akım Şekil 2.12'deki gibi olacaktır [5].



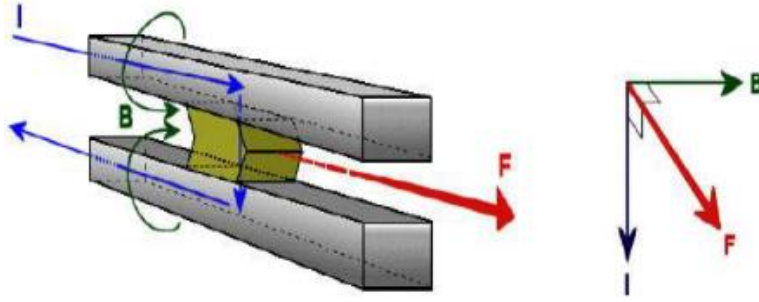
Şekil 2.12. Elektromanyetik Silah İçin İdeal Sabit Akım

Bir raylı fırlatıcıda, elektrik alanın etkisi, manyetik alanın oluşturduğu güçle mukayese edildiğinde çok küçük olduğundan görmezden gelinebilir. Bu yüzden eşitlik 21'de elektrik alanın etkisini yok sayarsak ve mermiye sadece manyetik alanın etkide bulunduğunu kabul edersek, eşitlik şu şekilde elde edilir [5].

$$\vec{F} = q(\vec{v}_d \times \vec{B}) \quad (2.20)$$

Bu denklemde v_d mermi üzerindeki q yükünün sürüklenme hızını belirlemektedir. Raylar üzerinden akım geçtikçe Biot-Savart yasasına göre raylar arasında manyetik

alan meydana gelmektedir. Daha sonra, akım mermiden geçerek mermide de manyetik alan oluşmaktadır. Bu manyetik alanlar arasında Şekil 2.13’de görülmektedir [5].



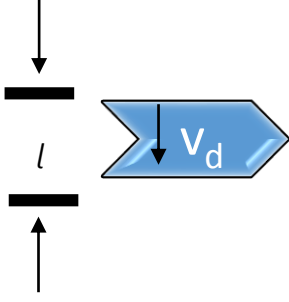
Şekil 2.13. Akım Ve Manyetik Alan Etkileşmesi İle Lorentz Kuvveti [5]

q yükünün hareket etmesinden dolayı kat edeceği yol ve merminin genişliği hesaba katıldığında mermi üzerinden geçmesi gereken akım eşitlikteki gibi yazılabilir, Şekil 2.14’de sürüklenme hızı görülmektedir [5].

Örneğin:

$$q = It = I \frac{l}{v_d} \quad (2.21)$$

$$dq = Idt = I \left(\frac{dx}{v_d} \right) \quad (2.22)$$

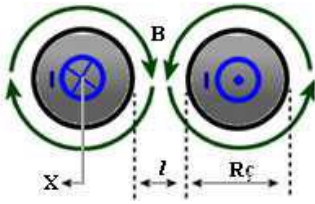


Şekil 2.14. L Uzunluğundaki Mermi İle Q Yükünün Sürüklenme Hızı [5].

Eşitlik 2.21, eşitlik 2.22’de yerine yazıldığında ve mermi yüksekliği çok küçük boyutlarda incelendiğinde izleyen eşitlik elde edilir.

$$d\vec{F} = dq(\vec{v}_d)\vec{B} = \left(I \frac{dx}{v_d}\right) (\vec{v}_d)\vec{B} = \vec{B}I dx \quad (2.23)$$

Eşitlik 2.23 şuan, mermi üzerine sağ el kuralına göre etki eden Lorentz kuvvetinin, akımla ve manyetik alanla olan ilişkisini göstermektedir. Bununla birlikte, özellikle manyetik alan fonksiyonunu çözmek için Biot-Savart yasasından yararlanılmaktadır. Ayrıca su iki varsayımın yapılması gerekmektedir. Akım rayların merkezinden geçer, diğer varsayım ise Dikdörtgen kesitli rayların manyetik karakteristikleri silindirik iletkendeki gibidir. Şekil 2.15’de bu varsayımları göstermektedir [5].



Şekil 2.15. Akımdan Dolayı Oluşan Manyetik Alan [5]

Eşitlikler içerisinde yerine konular ve gerekli integrason işlemleri yapılırsa raylar arasındaki yaklaşık Lorentz kuvveti, izleyen eşitlikteki gibi olur [5].

Geleneksel ray silahı; iki paralel ray ve kayar bir armatürden oluşur. Artırılmış ray silahı; manyetik alanı arttırmak ve armatür kuvvetini arttırmak için seri veya paralel bağlanmış birden fazla ray içerir. Sarmal tabanca iki helisel bobinden oluşur, armatür ve stator, birbirlerini iter veya çeker. Sürgülü temas armatürü, yeni bir stator sargısı bölümüne enerji vererek hareket eder, böylece armatür ve stator her zaman optimum güç üreten konumdadır [24].

Yıllarca, elektromanyetik silahların kullanımı araştırıldı. Raylı tabanca bir çeşit elektromanyetik tabancadır. Bir armatürün elektriksel olarak temas ettiği iki paralel iletken rayından oluşur. Armatür, mermi montajının ayrılmaz bir parçasıdır [25].

Raylı silahların, mermileri 2000 m/sn 'den daha yüksek hızla hızlanma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, bu hıza ulaşmak için gereken ivmeler yüksek akımlar istemektedir. Akım ve dolayısıyla manyetik alan, raylardaki itme kuvvetleri ile sınırlanır [26].

NASA-Langley için büyük modelleri uçuş değerlendirmesinde aşırı hızda artırmak için bir elektromanyetik rampa (EML) tasarlanmıştır. Ray silahı ve Bobin silahı prensipleri kullanılarak iki farklı kavram geliştirilmiştir. Texas Austin Üniversitesi'nde (CEM-UT) Elektromekanik Merkezi, NASA-Langley Araştırma Merkezi için hiper hız bir model test tesisi için bir EML sisteminin fizibilite çalışmasını gerçekleştirdi. Nesneyi atmosferden ve uzaya basitçe fırlatmak, mermiyi, atmosferik sürüklenme nedeniyle düşük hızlı, elips yörüngesine yerleştirir; yakında yüksek bir açı ile dünyaya geri dönmektedir. Bu tür bir fırlatma sistemi mekik tarafından sağlanan alan inşaat tekniklerinden çok daha düşük maliyetlerle çalışacaktır. Uzay havalesi için atölyeler olarak EML tesislerini kullanan uzay mekiği, uzayda yeniden yapılanma için uygulanması mümkün olmayan personel ve büyük boyutlu ekipman gibi öncelikli kargoları aktarabilir. EM alanının başlatılması için diğer uygulamalar güneşin yeryüzündeki nükleer atıklarının bertaraf edilmesi ve yörüngede küçük ve engebeli uyduların depolanması olabilir [27].

Relativistik elektromanyetizma içinde, raylı silahın geri tepme kuvveti, manyetik alan üzerinde etki göstermeli ve alanın enerji momentumunu absorbe etmelidir. Öte

yandan, Ampbre Neumann elektrodinamiği, geri tepme kuvvetlerinin ray kafalarına yerleştirilmesini ve rayları silah ihlaline doğru geri itmesini gerektirir [28].

2.4.3. Elektromanyetik Fırlatıcıların Modellenmesinde Kullanılan Programlar

Elektromanyetik fırlatıcıların tasarlanmasında bir takım bilgisayar programları destek amaçlı kullanılmaktadır. Bunda amaç üretim sırasında oluşacak hataları görerek en aza indirmek, bu sayede doğruya en yakın örnek ürünü hatasız bir şekilde üretmektir. Tasarım modellemede kullanılan bir takım programlar ve yöntemler aşağıda belirtilmiştir [30].

2.4.3.1. Vtb'de Modelleme

THE VIRTUAL TEST BED = SANAL TEST YATAĞI (VTB) yazılımı; çok elektrikli bir geminin tahrik sistemleri gibi yeni nesil elektrik sistemlerinin sanal prototipini destekleyen bir altyapıdır. VTB' yi çok çeşitli soruları cevaplamak için kullanabiliriz [30].

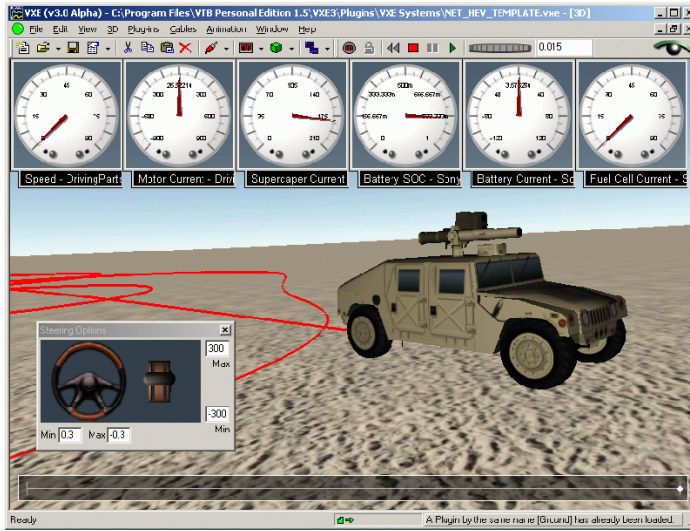
Sanal Test Yatağı (VTB).çalışması, ilk aşamalarında raporların simülasyon ve sanal prototip ortamı olarak kullanılır. Elektromanyetik fırlatıcı sistemi araştırma programı VTB kendisi için anlamlı bir test durumu temsil ettiği için, önemli yan faydaları olur. Sistemlerin farklı bölgelerinde ABD Deniz Kuvvetleri tarafından gerekli şartnameleri, modelleri ve niceliklerinden inşa ediliyor [30].

VTB, bir EMALS için olası birçok değişikliği keşfetmek ve optimal sistemlerde yaklaşmayı kolaylaştırmak için ideal bir araçtır. Proje, toplam sistem kütlesi, toplam sistem hacmi, termal yönetim, güvenilirlik, sağlamlık, artıklık yoluyla sağ kalım ve aynı zamanda akustik, manyetik gibi önemli kriterlere odaklanan çok detaylı bir çalışmada makine tasarımı ve simülasyon deneyimini mümkün kılmaktadır [30].

- Tüm olası motor teknolojileri (indüksiyon, süper iletken bobin, daimi mıknatıs) ve teknik gereksinimlerine en iyi uyan geometriler arasındadır.
- Manyetik alan bileşenleri ve akım taşıyıcı bileşenlerin ideal düzeni nedir? Hangi bölüm taşınmalı ve hangisi sabit olmalıdır.
- Güç koşullandırma alt sisteminde hangi topolojiler, aygıtlar ve yedek yapılar kullanılmalıdır.
- Fiziksel boyutlar, faz sayısı dâhil olmak üzere makinenin ayrıntılı parametreleri nelerdir.

VTB, modüler bir mimari aracılığıyla simülasyonların yapılmasını sağlar. Bu, doğrusal makine tiplerinin, dönüştürücü tiplerinin ve enerji depolama tiplerinin birçok permütasyonuyla birçok sistem yapılandırmasının hızlı bir şekilde araştırılmasına olanak tanır. Proje, VTB ortamının tüm ana özelliklerinden yararlanır. Şekil 2.16' da simülasyon sonrası elde edilen örnek:

- Çok biçimlilik: Herhangi bir modeli en uygun giriş dilini kullanarak tanımlama imkânı
- Üst düzey grafik görselleştirme
- Nesneye yönelik sistem tanımı ve bağlantısı [30]



Şekil 2.16. VTB'den Bir Simülasyon Sonucu [30]

Simülasyon, yalnızca sistem dinamiklerinin simülasyonunu değil aynı zamanda sistemin katı modellemesini ve sistem dinamiklerini görselleştirmeyi içeren güç elektronik sistemlerinin simülasyonu ve sanal prototipi için yeni bir ortam olan Sanal Test Yatağını (VTB) kullanır. EMALS, VTB' nin kendisi için zorlu bir test davasını da temsil ediyor. Hali hazırda tüm bireysel sistem bileşenleri için model geliştirilmektedir. Bazı ön simülasyon sonuçları ve elde edilebilir performans gösteren 3D sistemin simülasyon tarafından yönlendirilen bir animasyonu zaten mevcut. Raylı silah elektromanyetik hızlandırıcı performansını tahmin etmek için Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'nda bir bilgisayar simülasyon kodu geliştirilmiştir. MAGRAC kod adı verilen (manyetik raylı silah hızlandırıcı) bir manyetik akı sıkıştırma akım jeneratörü tarafından yönlendirilen bir raylı silah, modelinin performansıdır. MAGRAC kodu raylı sistem akımlarını belirlemek için doğrusal olmayan zamanla değişen eleman raylı sistem devresinin bir zaman adım çözümü kullanılmaktadır. Bu program sayesinde Los Alamos Ulusal Laboratuvarı ile ortaklaşa yürütülen sekiz raylı sistem testinin bir dizi MAGRAC kodu onaylanmıştır [23].

2.4.3.2. Kontrol Modellemesi

Denetleyici, VTB-Simulink arabirimi kullanılarak modellendi. Denetleyici aşağıdaki gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmıştır:

- Her bağımsız bobin, stator boyunca konumlandırılan mekik konumu sensörleri tarafından ateşlenir.
- Her bir bobinde önceden ayarlanmış akım (itme) seviyeleri bilinmektedir.
- İletişim başarısız olursa veya hasar görürse açık devre çalışması mümkündür.
- İletişim mevcutsa, her bir bobin itme kuvveti, gerekli itme / hız profiline bağlı kalmayı sağlamak için ateşlendiğinde ayarlanır.

Kontrol algoritmaları Simulink'te tasarlanabilir, etkileşimli olarak test edilir ve en sonunda daha iyi simülasyon performansı için derlenir. Motorun modüler yapısı itme kontrolü için hiyerarşik bir yapı gerektirir. İlk simülasyonda her faz için bir H köprüsü konfigurasyonu benimsenmiştir: Bu, tek bir konvertörün 4 farklı sargıya paralel bağlandığı anlamına gelmektedir [30].

2.4.3.3. 3D Görselleştirme

Modelin matematiksel gelişimi ile paralel olarak, VTB' nin görüntüleme uzantısı (VXE) sisteminin bir 3D görünümü uygulandı. Bu, ilginç bir sistem analizi yapmanızı sağlar ve tüm sistem modeli tamamlandığında özellikle değerli olacaktır. şekil 2.17'de yakın görünüm örneği gösterilmektedir [30].



Şekil 2.17. EMALS Sisteminin Bir Animasyonu

2.4.4. Avantajları

Umut verici araştırma yönergeleri mevcut işletim sistemlerinden elde edilen verilerden çıkarılır. Araştırmaya yön verecek operasyonel sistemler olmaksızın, çok güçlü disiplinler arası sistem simülatörlerine başvurulmalıdır. VTB, bir EMALS için olası pek çok varyantın çok çeşitli kombinasyonlarını keşfetmek ve optimal sistemlerde bir araya gelebilmek için ideal bir araçtır. Proje, toplam sistem kütlesi, toplam sistem hacmi, termal yönetim, güvenilirlik, sağlamlık, artıklık yoluyla sağ kalım ve aynı zamanda akustik, manyetik gibi önemli kriterlere odaklanan çok detaylı bir çalışmada makine tasarımı ve simülasyon deneyimini mümkün kılmaktadır [30].

2.4.4.1. Zorluklar

Bir EMALS tasarımında birçok ilginç zorluk vardır. Muhtemel özellikler ve teknik özellikler şunları içerir:

- Maksimum hız: 200 kt, ~ 100 m / s
- Maksimum güç vuruşu: 310 ft, ~ 100 m
- Minimum fren mesafesi: 30 ft
- Hareketli parça: ~ 10m
- Maksimum Enerji: 120 MJ
- Maksimum İtme: 1,3 Mm
- Fırlatma arasındaki minimum süre: 50 s [30]

2.4.5. Simülasyon Platformu Ve Modelleme

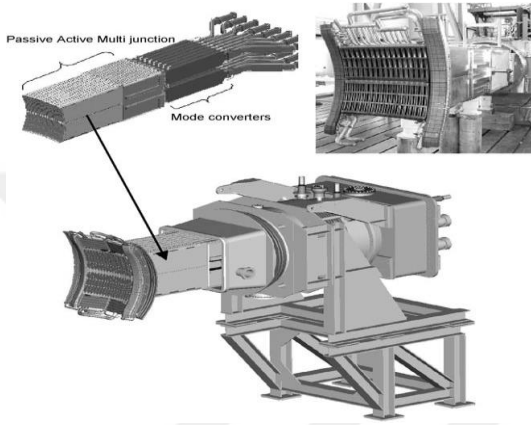
VTB, elektrik devrelerinin tasarımını, analizini ve sanal prototipini destekleyen bir yazılım ortamıdır. Güney Carolina Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde geliştirildi. VTB platformu, EMALS' in modüler yapısına mükemmel bir şekilde uyum sağlayan hiyerarşik modelleme yaklaşımını kullanmamızı sağlayacaktır. Kontrol tasarımının gereksinimlerini karşılamak için modeller VTB' nin yeni sürümüne girilmiştir. EMALS HİST. Kontrol bloğu, histerezis kontrolünü gerçekleştiren ana kontrol bloğunu ve ayrıca invertör bloklarını içermektedir [30].

2.4.6. Kontrol Avantajıyla Öngörü Algoritmaları

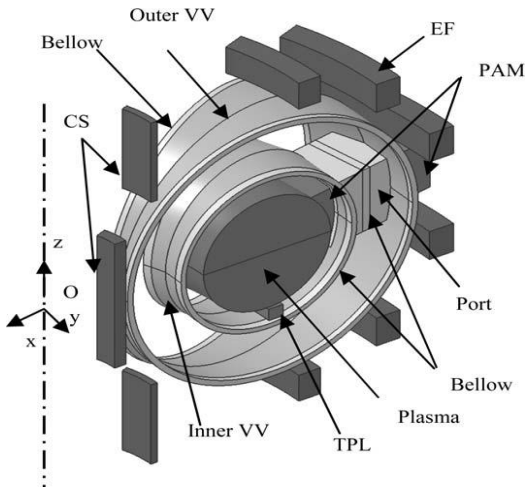
Bu kontrol şemasını uygulamak için, bu kontrol mantığını uygulayan bir VTB sinyal modeli VTB' de yapılmaktadır. VTB simülasyon platformunu kullanarak farklı kontrol stratejileri karşılaştırılabilir. VTB' nin yeni sürümünün özelliklerini gösteren modelleme yaklaşımı da detaylandırılabilir [31].

2.4.7. ANSYS Modellemesi

Tore Supra'nın 3D geometrik ANSYS modeli, Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da gösterildiği gibi, 20°'lik bir makine sektörünü tanımlayan, basitleştirilmiş CATIA modelinde geliştirilmiştir. Ansys modeli yaklaşık 200.000 katı 97 elementten oluşuyor ve sonuçların kalitesi örgüyü rafine ederek test edilmiştir.



Şekil 2.18. PAM Fırlatıcısına Genel Bakış [29]



Şekil 2.19. Hava Ve Vakum Çıkarılan 3B Elektromanyetik Model [29]

Bilgisayar simülasyonları, parçacıklar arası temas algoritmaları kullanan bir 2D eksen simetrik SPH kodu vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmalarda, Lagrangian parçacıklarının temas noktalarındaki gerilimler ve hız doğrusal Riemann çözücü ile hesaplanır. Malzeme dağılımının ve hedef kırığın ana özellikleri simülasyonlarla üretilmiştir [29].

2.4.8. Bilgisayar Simülasyonu

SPH (smooth particle hydrodynamics) method = Düzgün parçacık hidrodinamik yöntemi, darbe süreçlerinin bilgisayar simülasyonu için uygulanmaktadır. Gingold ve Monaghan tarafından geliştirilen standart SPH yöntemi formülasyonu parçacıklar arası iletişim algoritması ile değişir. Parçacıklar arası temas algoritması, SPH etkileşiminde yer alan Lagrangian parçacıkları arasında temas noktasında bir süreksizlik parçalanması meydana geldiği varsayımına dayanmaktadır. Riemann çözümü tarafından belirlenen akışkan temas parametreleri SPH yaklaşımında sunulmuştur. Kütle ve momentum korunum denklemleri kullanılır. Bu denklemler, sapma gerilimi tensörü için elastik bir formda alınır. Sapma hızı tensörü, modifiye edilmiş SPH biçimciliğiyle yaklaştırılır. Hesaplanan elastik gerilimler, öncelikle parçacığın modifiye edilmiş SPH ile yaklaşık dönüş hızı ile katı bir gövde olarak döndürülmesi ve ardından ikincisi, elastik, mükemmel plastik akış tanımlaması için Wilkins metodolojisi ile düzeltilir. Değiştirilmiş SPH yöntemi, çeşitli arıza modellerini kolaylıkla bütünleştirir. Eşik stres ve zamana bağlı ölçütler, parçacıklar arası parametreler açısından doğal olarak kontrol edilir [33].

2.4.9. Bazı Özel Yazılımlar

2.4.9.1. Lineer İndüksiyon Fırlatıcı Tasarım Yazılımı

Lineer indüksiyon fırlatıcı tasarım yazılımının temel yapısı MATLAB GUI ile oluşturulmuştur. Hali hazırda hem endüstride hem de akademide kullanılan birçok yazılım geliştirme programı mevcuttur. Ancak bu yazılımların hiçbirisi MATLAB

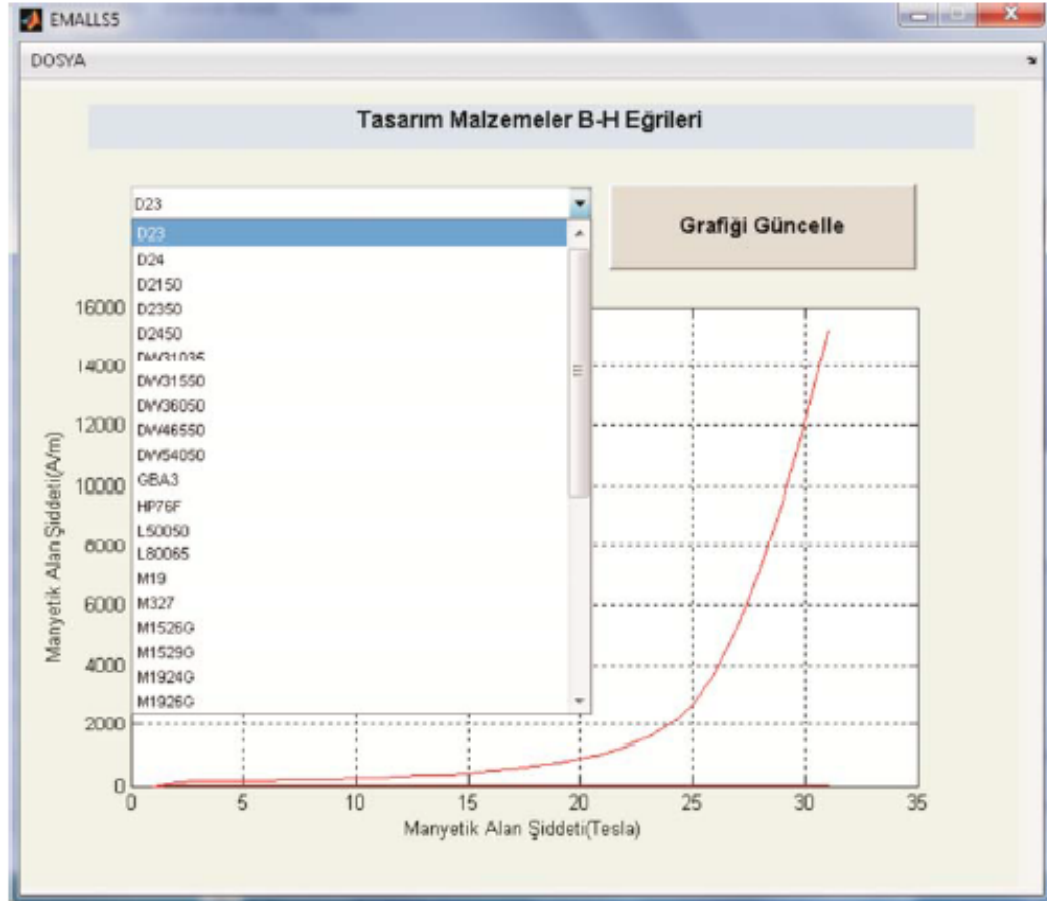
GUI' nin sunduğu ve elektrik makinesi tasarımının ihtiyaç duyduğu karmaşık hesaplamaları yapmak için gereken altyapıyı sunmamaktadır. Hazırlanan yazılım sayesinde tasarımcıya sadece tasarım için gereken giriş parametre değerlerinin girilmesi tasarımı başlatmak için yetmektedir. Bu şekilde tasarım deneyimi az olan veya konuya tam olarak hâkim olmayan tasarımcılar için tasarıma bir kolaylık getirmesi öngörölmüştür. Normal şartlarda çok karmaşık hesaplamalardan sonra elde edilebilen geometrik değerlerden ulaşılabilen makine tasarım sonuç değerleri bu şekilde hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. şekil 2.20'de görölmektedir [32].



şekil 2.20. Linear İndüksiyon Fırlatıcı Tasarım Programı Görüntüsü [32]

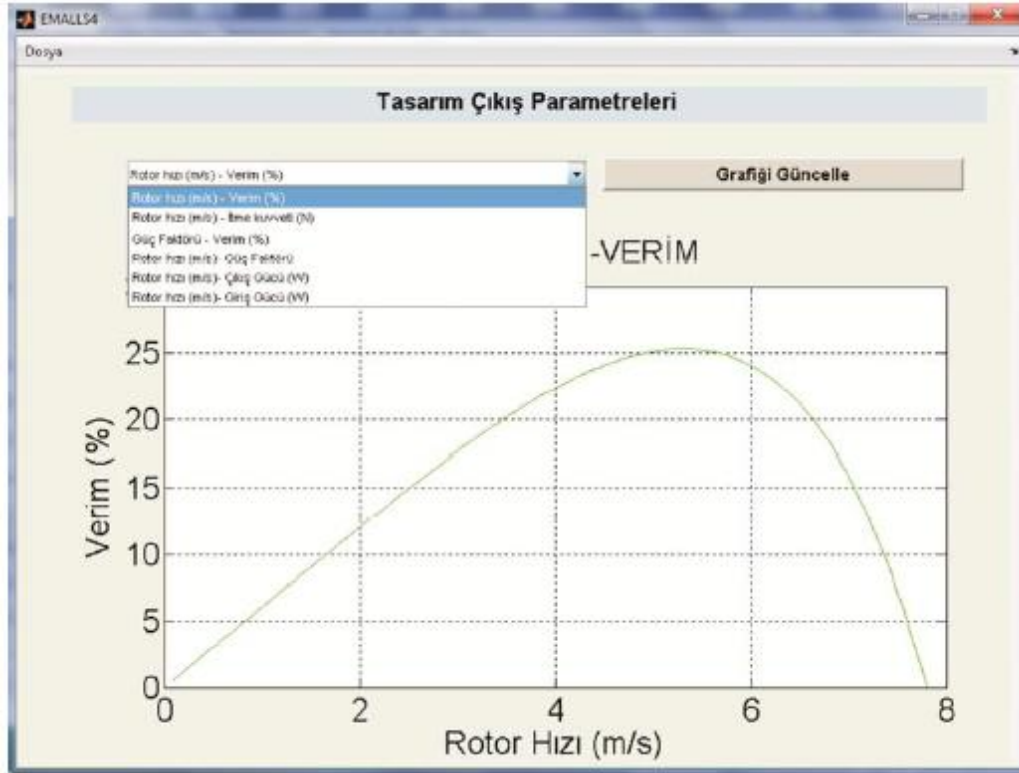
Geliştirilen program beş ana menüden oluşmaktadır. Bunlar Dosya, Tasarım Malzemeleri, Tasarım Sonuçları, Optimizasyon ve Yardım Menüleridir. Dosya Menüesinde tasarımcı yaptığı tasarımı kaydedebilir ya da daha önceden yaptığı bir tasarımı tekrardan açabilir. Tasarım Malzemeleri menüesinde tasarımcı tasarladığı motor için farklı *B-H* değerlerine sahip malzemeleri seçebilmektedir. Tasarım sonuçları menüsünden tasarım sonuçlarını isterse grafik olarak isterse sayısal değer

olarak görüntüleyebilir. Optimizasyon Menüünden optimizasyon ana ekranına ulaşabilir. Tasarlanan formlar her biri kendi içinde alt menülerden oluşmaktadır. Tasarım malzemeleri menüsü programda yapılan tasarıma malzeme atamak ve atanan malzemenin $B-H$ grafiğini görmek için hazırlanmıştır. Burada bulunan malzemeler endüstride sıklıkla elektrik makinaları imalatında kullanılan malzemelerden seçilmiştir. Yüksek geçirgenlikte bir laminasyon çeliği seçilebileceği gibi orta geçirgenlikte bir laminasyon çeliği de seçilebilir. Tasarımcı ayrıca kendi belirlediği özel bir malzemenin $B-H$ değerlerini menüden ilgili bölüme girerek tasarımında kendi malzemesini kullanabilmektedir. B_r değerleri laminasyon çeliği için iki nokta arası interpolasyon ile hesaplanmaktadır. Şekil 2.21’ de $B - H$ eğrisi görülmektedir [32].



Şekil 2.21. Tasarım Malzemeleri $B-H$ Eğrileri [32].

Tasarım sonuçları ekranında çözümlenmiş tasarıma ait geometrik boyut değerleri, oluk ölçüleri, yaklaşık maliyet, kullanılan malzeme miktarı, elektrik parametreleri değerleri verilmektedir. Özellikle elektrik parametre değerleri motorun güç elektroniği sürücü kısmında kullanılabilir. Ayrıca motor performans değerlerine gene bu ekrandan sayısal değer olarak ulaşılabilir. Şekil 2.22’ de tasarım çıkış parametreleri grafik sonucu verilmiştir [32].



Şekil 2.22. Tasarım Çıkış Parametreleri Grafik Sonuç Ekranı [32].

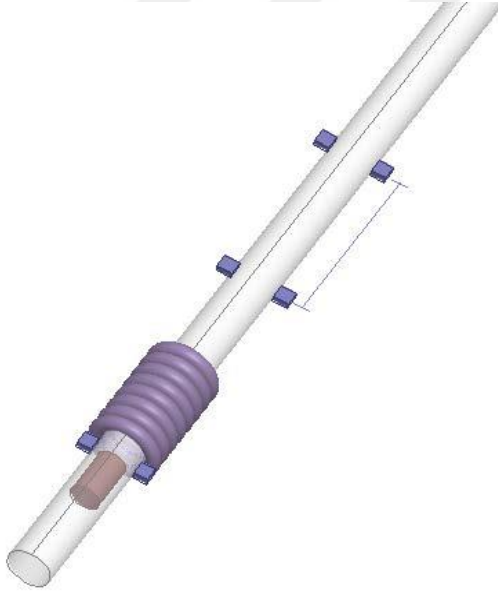
Tasarım Çıkış Parametreleri sonuç sayfasından rotor hızına karşılık verim, itme kuvveti, güç faktörü, çıkış gücü ve giriş gücü değerlerini grafiksel olarak göstermek mümkündür. Bu sayfadan optimizasyon öncesi sadece analitik çözüm sonuçlarını grafiksel olarak gösterilebilmektedir. Analitik tasarım ve optimizasyon sonrası tasarım sonuçları da kıyaslanmaktadır. Şekil 2.23’ de blok çalışması görülmektedir.



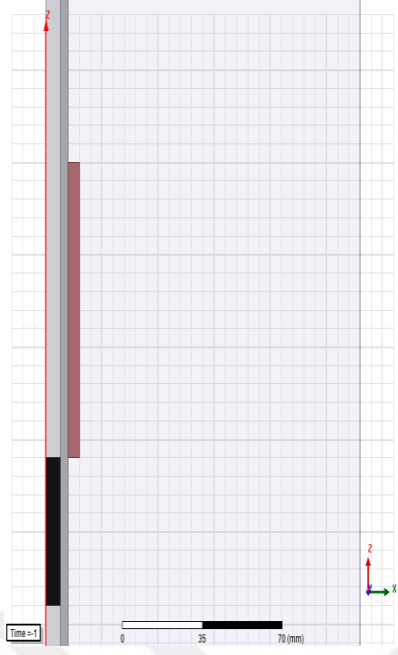
Şekil 2.23. Eşitsel Çalışma Blok Şeması [34]

2.5. Relüktans Fırlatıcının Maxwell Modeli Ve Sonlu Elemanlar Analizi

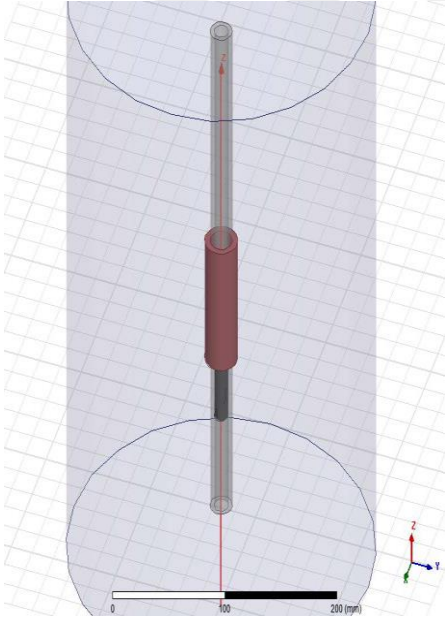
Relüktans fırlatıcı sistemin fiziki olarak gerçekleştirilmesinden önce Maxwell modelinin oluşturulması ve sonlu elemanlar yöntemine göre çözümünün yapılması gereklidir. Bu amaçla bir sargılı relüktans fırlatıcı sisteminin, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapabilen Ansys Maxwell yazılımı ile modeli oluşturulmuş ve analizi yapılır. Şekil 2.24, 2.25 ve 2.26’ da görüldükleri gibi Maxwell modeli ile tasarımları [14].



Şekil 2.24. Mermi Hızının Optik Sensörlerle Ölçülmesi [1]



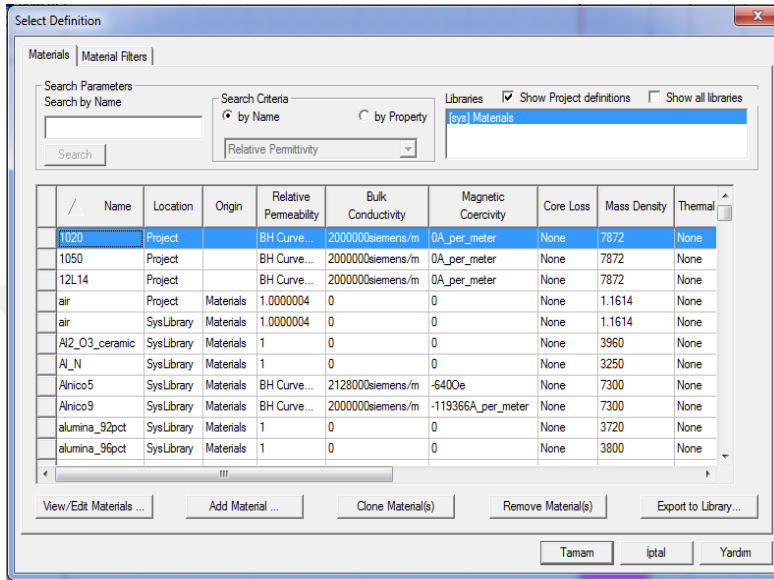
Şekil 2.25. Relüktans Fırlatıcının İki Boyutlu Modeli [1]



Şekil 2.26. Relüktans Fırlatıcının Üç Boyutlu Modeli [1]

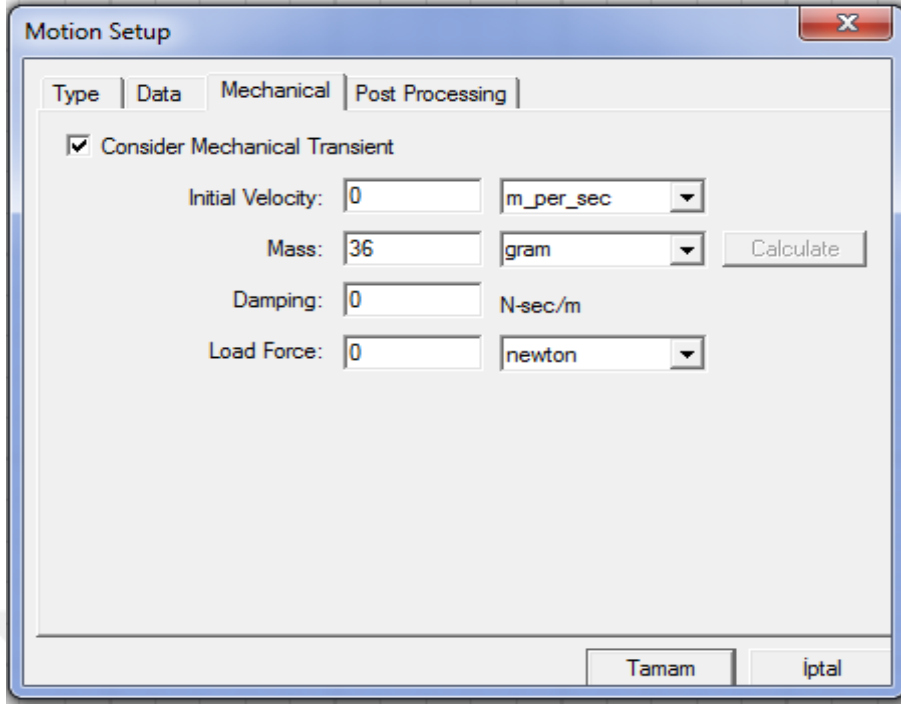
2.6. Modelin Oluşturulması

Model oluşturulurken Maxwell programında Şekil 2.27’de grldği gibi Assign material komutuyla sargı, mermi ve namlunun malzeme cinsi belirlenmektedir [1].

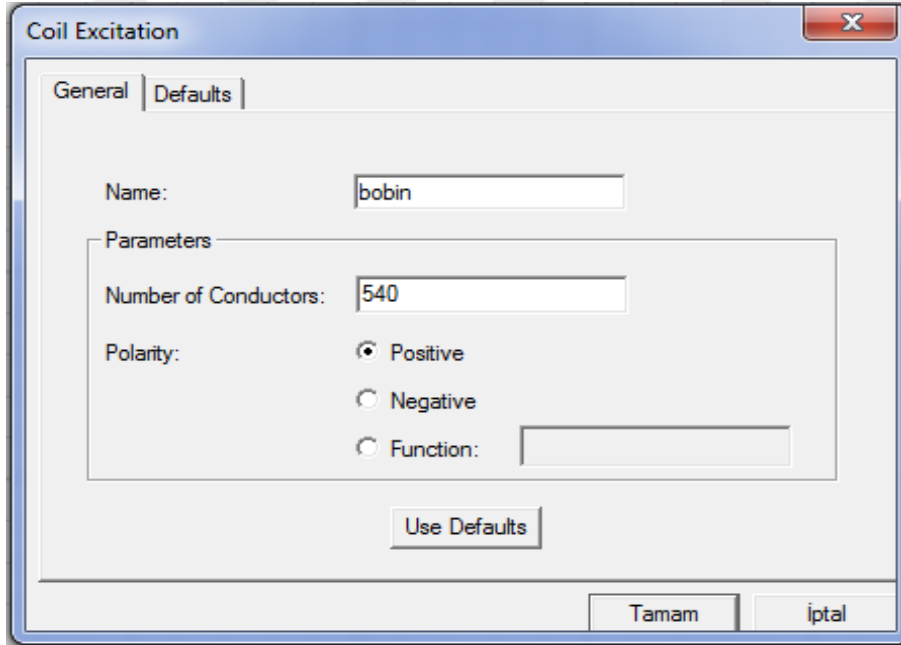


Şekil 2.27. Malzeme Seçimi [1]

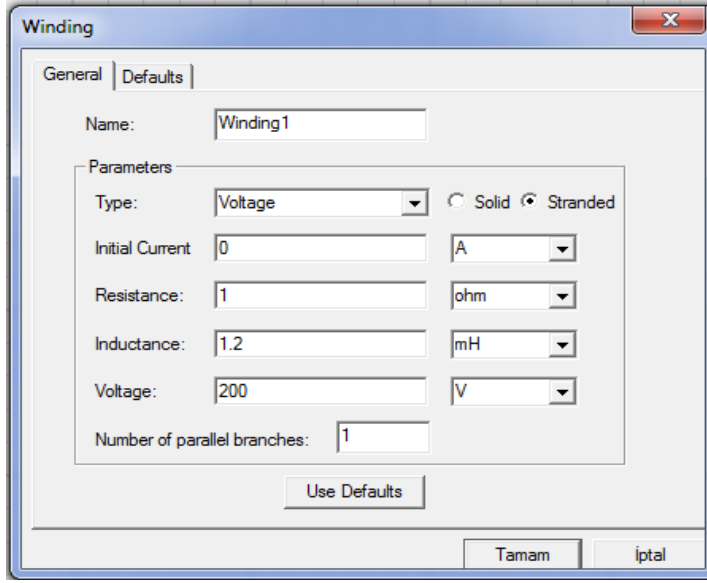
Şekil 2.28 , 2.29 ve 2.30’ da mermi ve sarım ile ilgili bilgiler verilmektedir.



Şekil 2.28. Mermi Ağırlığının Programa Girilmesi [1]

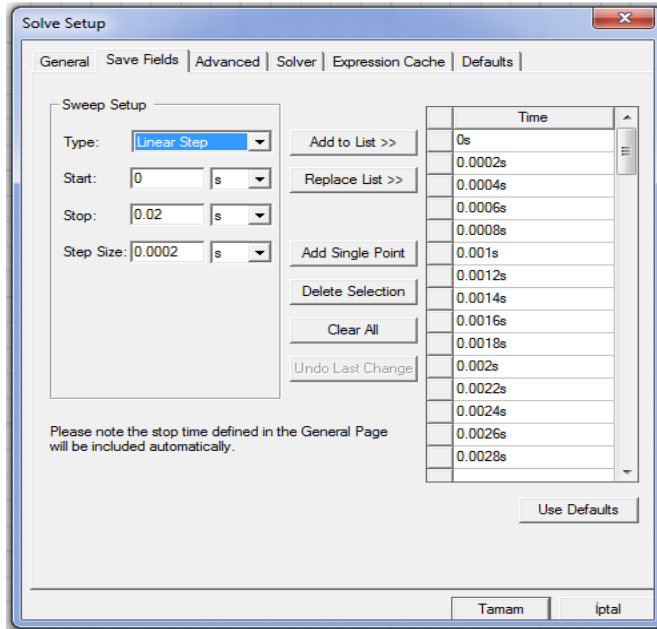


Şekil 2.29. Sargının Sarım Sayısının Girilmesi [1]



Şekil 2.30. Sargının Gerilim, Direnç Ve İndüktansının Girilmesi [1]

Şekil 2.31' de yapılan analiz sonucu girilmektedir.



Şekil 2.31. Analizin Zamanlamasının Girilmesi [1]

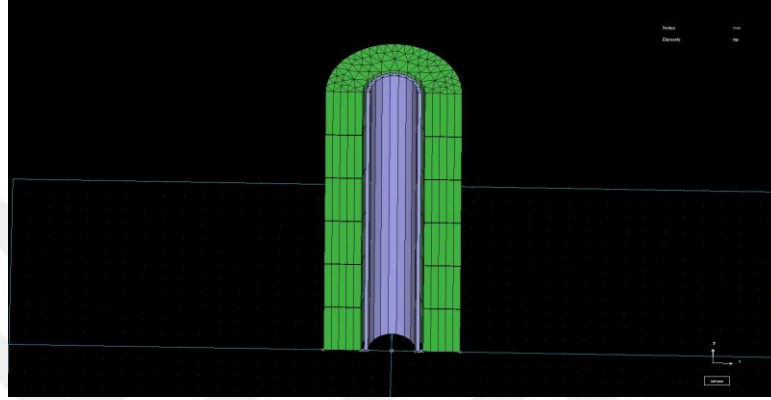
Maxwell programı oluşturulan modelin, sonlu elemanlar yöntemine göre çözümünü yapmaktadır. Fiziksel bir sistem gerçekleştirilmeden önce, bu sistemin modelinin oluşturulması, sistemin gerçekleştirilmesi sırasında karşılaşılabilecek problemlerin önceden tespit edilerek çözülmesi, zaman ve maliyet açısından önemlidir. Maxwell programı, elektromanyetik alanlarla çalışan bütün makinaların analizini yapmaya olanak sağlayan bir programdır. Analiz yaparken sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, çözümü zor olan hesaplamaları kolaylaştırır. Hareketli simülasyonlar yapılarak analizi yapılan makinanın hareketleri gerçek makina inceleniyormuş gibi incelenebilir. Ayrıca incelenen büyüklüklerin değişimlerinin grafikleri de alınabilmektedir. Sistemin tasarımında Ansys Maxwell SEA programından faydalanılmaktadır. Maxwell programı oluşturulan modelin analizini yaparken, iki boyutlu modelleri üç boyutluya çevirip analiz yapmaktadır. O yüzden sistemin iki boyutlu modeli oluşturularak analizi gerçekleştirilir. Analizlerde merminin hızını artırabilmek için, uygulanan gerilim, sargının sarım sayısı, merminin konumu, merminin yapıldığı malzeme, mermi uzunluğu ve tetikleme zamanlaması gibi faktörler incelenmektedir. Tasarım aşamasında elde edilen bulgulardan sonra sistemin yapımı gerçekleştirilmektedir [1].

2.7. Bilgisayar Yazılımı

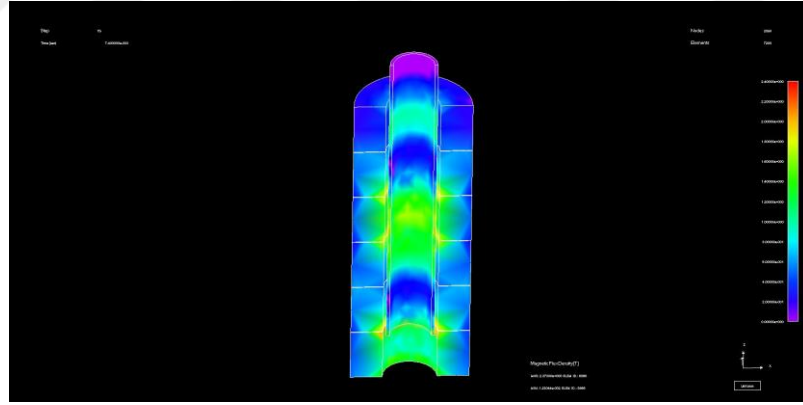
Bilgisayar ekranında bobinlerin hızını gösteren program visual basic programlama dilinde yazılmaktadır. Bilgisayarın veri portundan alınan veri ara yüz ekranında görüntülenir. Hız ölçüm sistemi PIC mikro denetleyicisinin interrupt modu kullanılarak yazılmaktadır. ANSYS, Maxwell, SEA programlarından faydalanılarak tasarlanılır. Maxwell ile analiz iki boyutlu modeli üç boyutlu modele çevirerek yapmaktadır. Kullanılan programlardan sistemin tasarımı gerçekleştirilir [1].

2.8. Mermi Hareketi

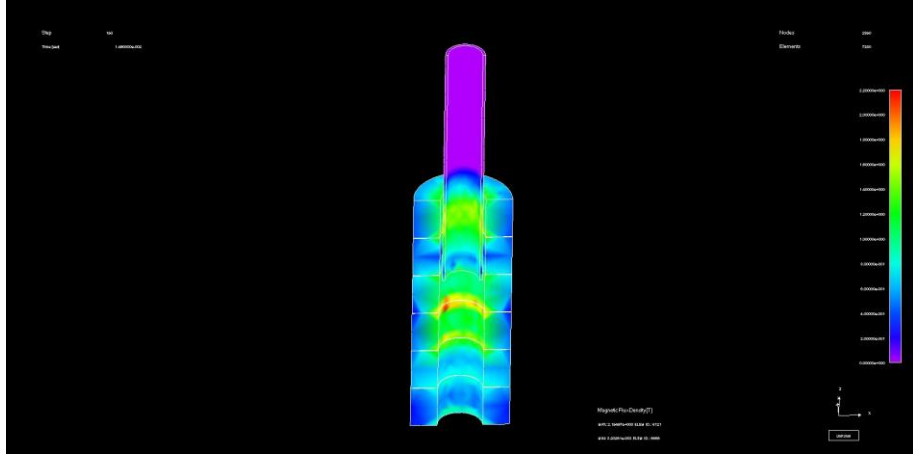
Şekil 2.32 a, b, c 'de ki resimler oluşturulan bu model sonucunda, yürüyen manyetik dalganın oluşumu ve merminin namludan çıkışını asama aşama göstermekte ve dolayısıyla oluşturulan analiz ve tasarım modelini doğrulamaktadır [16].



(a)



(b)



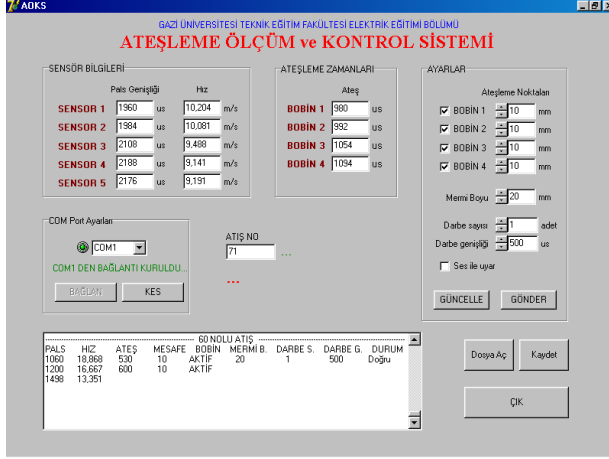
(c)

Şekil 2.32. Ticari Yazılım Paketi İle Doğrulama [16]

Fırlatıcıların analizi için özgün bir nümerik model geliştirilerek, bu modelin gerçek sistemi temsil yeteneği sınanmakta ve fırlatıcı tasarlanarak üretilmektedir [16].

2.9. Anahtarlama Ve Kontrol

İndüksiyon bobin silahını kontrol etmek için PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanılmıştır. Ateşleme Ölçüm ve Kontrol Sistemi (AÖKS) temel olarak, sensör bilgileri, ateşleme zamanları, ayarlar, port ayarları ve ölçüm kayıt alanından oluşmaktadır. Şekil 2.34’de tasarlanan kontrol ve ölçüm ekranıdır [11].



Şekil 2.34. Tasarlanan Kontrol Ve Ölçüm Ekranı [11]

AÖKS tarafından hesaplanan değerler sinyal yakalama özelliği olan 100 MHz'lik dijital osiloskop ile de kaydedilerek karşılaştırılmıştır. Yapılan ölçüm şekil 2.35'de gösterilmektedir. Bir elektrotermal-kimyasal (ETC) tabanca sistemi, geleneksel bir kimyasal silah sisteminin odasına elektrik enerjisi girmek üzere tasarlanmıştır. Doğrudan ve dolaylı yangın tabancaları için geleneksel bir tabancaya göre ETC sistemi kullanmanın çeşitli avantajları vardır. İtici gazların yanma hızı özelliklerine sıcaklık duyarlılığının etkilerinin azaltılması, büyük çaplı ETC ateşlemelerinde deneysel olarak gösterilmiştir [35].

Elektromanyetik (EM) silah teknolojileri yaklaşık iki yıl boyunca DARPA ve ABD Army tarafından geliştirilmiştir. Artan ölümcül uçuş, daha kısa sürede, daha doğru, daha az lojistik ve geliştirilmiş yaşam gibi avantajları söz konusu kara savaş araçları için EM silah sistemlerinin itici gücünün geliştirilmesi gereklidir. EM silahlar potansiyel olarak çok düşük maliyetle orta aralıklarla çok sayıda rehber silah çıkartabilir. Elektromanyetik silahlar, her iki durumda da, mühimmat iletiminin maliyetini düşürebilir ve tepki sürelerini azaltabilir. Bu tür malzemelerle ilişkili önemli lojistik maliyetleri ve çevresel ve güvenlik risklerini ortadan kaldırır. Daha yüksek hızda, yüksek yoğunluklu mermiler kullanımı onu geniş aralıklarla arttırıyor. şekil 2.35' de fırlatma konsepti görölmektedir. Kimyasal patlayıcılar veya roket itici

maddelerin eklenmesi, ortalama yoęunluęu dūřurür ve uęuř gövdesinin boyutunu ve sürüklenmesini arttırır [36].



şekil 2.35. NFS uygulamaları için n EM ray silahı fırlatma paketi konsepti [36]



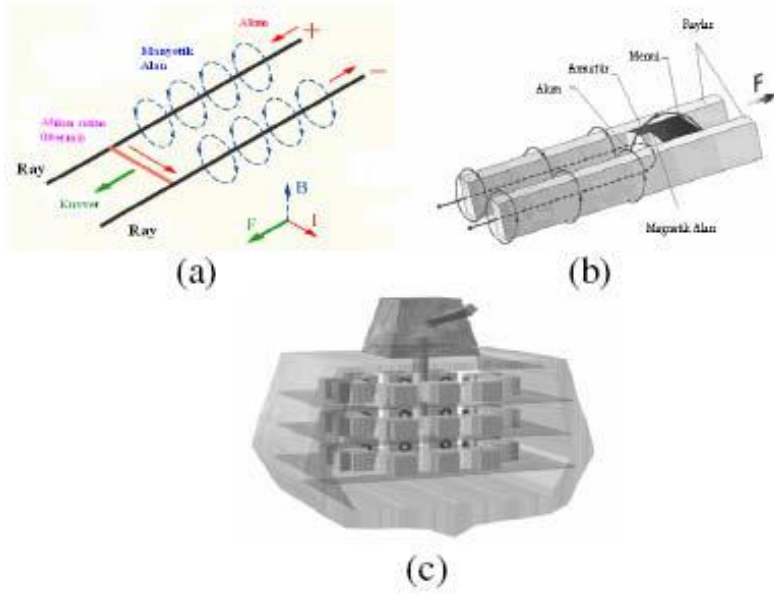
3. ELEKTROMANYETİK FIRLATICILARIN ÇEŞİTLERİ

Elektromanyetik bir fırlatıcıda, manyetik alan armatürü ileri doğru hareket ettiren bir dinamik kuvvet oluşturur. Yönetmelik doğrusal olmayan diferansiyel denklem formülasyonumuzda Maxwell denklemleri ve eğilme denklemi dinamik yük altında raylara uygulanır. Doğrusal olmayan yönetim diferansiyel denklemlerini çözmek için sonlu fark yöntemi kullanılır. Askeri, uçak rampası ve uzay ile ilgili uygulamalar, uygulamalarının bazı örnekleridir. EML'nin en yaygın kullanılan uygulamalardan biri, bir elektromanyetik ray silahıdır [37].

- Raylı Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Karma Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Doğrusal Hareketli Fırlatıcılar
- Elektro Termal-Kimyasal (Etc) Fırlatıcılar [37].

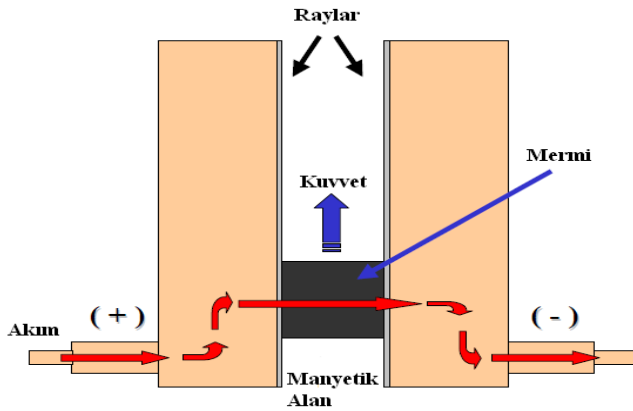
3.1. Raylı Elektromanyetik Fırlatıcılar

Raylı elektromanyetik fırlatıcılar metal iki ray kullanılarak bu raylar arasındaki cismin, üzerinde oluşturulan elektriksel itme kuvveti ile fırlatılması ilkesine dayanır. Ray malzemesi olarak çoğunlukla bakır kullanılmakla beraber, yüksek etkinlikte raylı silahlar için daha yüksek iletkenlikli, daha yüksek mekanik dayanımlı ve devasa amperler mertebesindeki akımları taşıyabilecek daha özel çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Raylı fırlatıcılar konusunda ray direnci ile ilgili olarak raylarda oluşan ısınma nedeni ile ray ömrü, ray oyuk geometrilerinin verimliliğe etkisi vb. birçok konuda çalışmalar devam etmektedir. Şekil 3.1' de raylı fırlatıcıların genel yapısı ve gemilerden güdümlü mermilerin aşırı hızlarda fırlatılarak uzak kıyılarındaki askerlere destek verilmesini sağlayacak örnek bir raylı fırlatıcı gösterilmiştir [5].

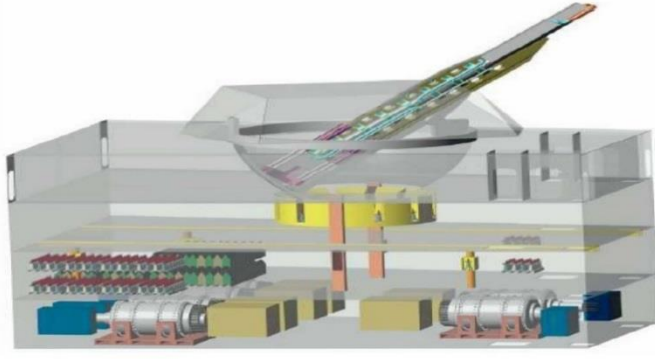


Şekil 3.1. Raylı Elektromanyetik Fırlatıcı [1,5,10,11,38,39]

Şekil 3.2’te raylı silahların genel yapısı ve Şekil 3.3’te gemilerden güdümlü mermilerin yüksek hızlarda fırlatılarak uzak kıyılardaki askerlere destek verilmesini sağlayacak örnek bir raylı silah prototip gösterilmiştir. Şekil 3.4’ de prototip tip elektromanyetik silahın prototipi görülmektedir [5].



Şekil 3.2. Raylı Tip Elektromanyetik Silah Genel Yapısı [5]



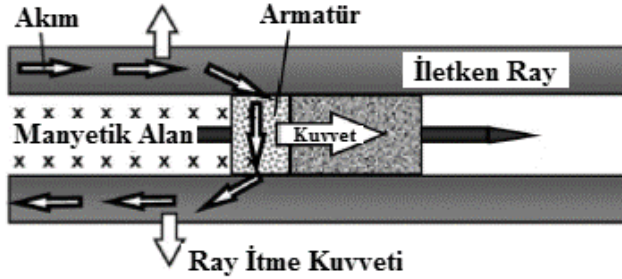
Şekil 3.3. Gemiler İçin Elektromanyetik Silah Tasarımı [5]



Şekil 3.4. Prototip raylı tip elektromanyetik silah [5]

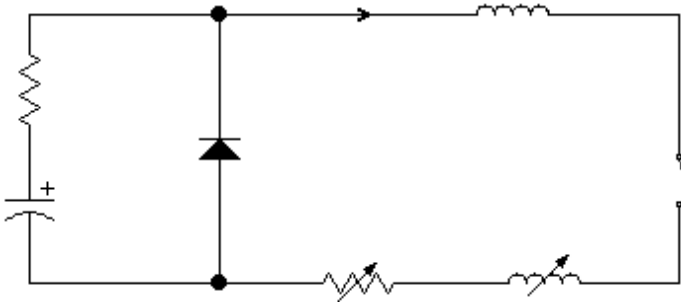
Şekil 3.5’de gösterildiği gibi raylardan bir akım akması için, raylara bir DC kaynak veya kondansatör bağlanır. Armatür rayların arasında köprü oluşturarak akımın akması için gerekli çevrimi sağlamaktadır. Oluşan çevrimden akım aktığında rayların etrafında bir manyetik alan oluşur. Manyetik alan içerisinde akım akan iletkene bir kuvvet etki eder prensibinden armatüre etki eden bir kuvvet oluşur. Oluşan bu kuvvet armatürü hızlandırır ve armatürün önünde bulunan mermide hızlandırılarak fırlatılır. Raylar bir yalıtıcı ile birbirinden elektriksel olarak yalıtılmalıdır ve sağlam bir malzemedен yapılmalıdır. Armatür olarak katı bir metal kullanılabilirdiği gibi, iletken

bir plazma da kullanılabilir. Bu durumda sürtünme azalacağından armatürün hızı ve dolayısıyla merminin hızı daha da artacaktır [1].



Şekil 3.5. Raylı Fırlatıcının Gösterimi [1].

Kondansatörle sürülen raylı fırlatıcının basit bir eşdeğer devresi Şekil 3.6'da görülmektedir. Armatürü simbole eden S anahtarı kapandığında, kondansatör raylar ve armatür üzerinden deşarj olur. Burada kullanılan yüksek güçlü doğrultucu diyot, akımın dalgalanmasını önlemek için kullanılmıştır [1].



Şekil 3.6. Raylı Fırlatıcının Eşdeğer Devresi [1]

Yıllarca elektromanyetik silahların kullanımı araştırıldı. Raylı tabanca bir çeşit elektromanyetik tabancadır. Bir armatürün elektriksel olarak temas ettiği iki paralel iletken rayından oluşur. Armatür, mermi montajının ayrılmaz bir parçasıdır. 1978'de Rashleigh ve Marshall, indüksiyon tahrikli bir ray-silah macro parçacık hızlandırıcısını

imal etmişlerdir. Raylarda akan akım raylar arasında bir manyetik akım yoğunluğu B manyetik alanı oluşturur ve bu manyetik alan armatürde akan akımla etkileşime girer. Elde edilen Lorentz F kuvveti, armatürü raylardaki mermi ile birlikte hızlandırır [25].

ISAS Ray silahı HYPAC'ın, etki deneyleri için, operasyonun $V = 7 \text{ km / sn}$ 'nin üzerinde çok dengeli ve tekrarlanabilir olduğu ve gerçek etki deneyleri için kullanıldığı gösterilmiştir. Ray silahını kullanırken, dezavantajlardan biri, çok sık çalıştırılmaması ve her operasyonun kendisinin de çok pahalı olmasıdır [40].

Düşük elektrik enerjili bir ray sistemi kullanılarak, hızlı hidrojen top enjeksiyonu için elektromanyetik ray silahı sisteminin füzyon plazmalarına uygulanmasını araştırmak için katı hidrojen top hızlandırması testlerini gerçekleştirmişlerdi. Son manyetik olarak sınırlanmış plazma deneylerinde milimetre boyutunda hidrojen izotoplarının milimetre boyutunda dondurulmuş toplarının yüksek hızda püskürtülmesi, parçacıkları plazmalara yakıt olarak vermek için en çekici yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmış ve manyetik sınırlayıcı cihazlarda standart haline gelmiştir. Top enjektörü için temel gerekliliklerden biri, topların daha büyük ve daha sıcak plazmalara daha derin nüfuz edebilmesi için daha yüksek top enjeksiyon hızı sağlamaktır [41].

E.M.F. kullanılan malzemelerin maruz kaldığı etkenlerden bozulmasını bir katı armatür raylı fırlatma sisteminde bakır (stator) iletken raylara alüminyum mermi (veya armatür) tribo materyal çökeltisinin gözlemlerini optik ve tarama ve transmisyon elektron mikroskobu ile açıklar. Alüminyum / bakır ara yüzeyindeki aşırı deformasyon, erozyon ürünü birikimine neden olan dinamik yeniden kristalleştirme ile katı hal akış rejimi oluşturur. Alçak sıcaklık alüminyum deposunun eritilmesi demiryoluna zarar verir ve elektromanyetik davranışın bozulmasına katkıda bulunur [42].

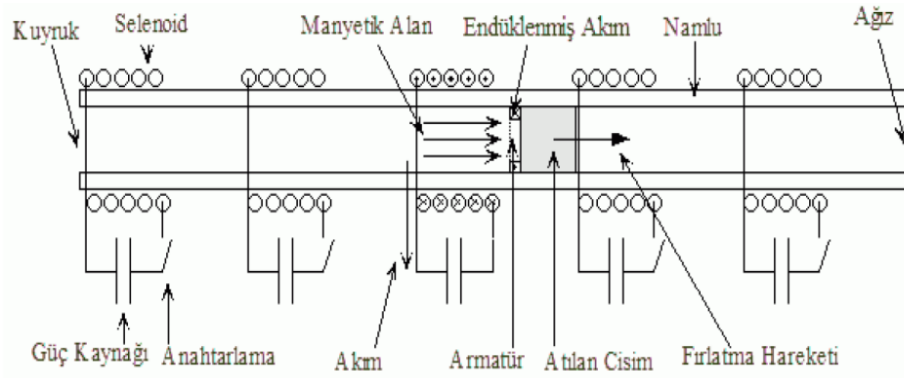
Bir plazma armatürü raylı tüfek ile ilk denemelerden beri, mermi hızları aralığı hemen hemen değiştirilmemiştir. SPH yöntemi özellikle parçalanma problemleri ve büyük bozulmalar içeren problemler için uygundur. İnce duvar tamponlarının aşırı hızda delinmesinin simülasyonu ve yarı sonsuz boşluğun kraterizasyonu için oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, pürüzsüz parçacık hidrodinamik (SPH)

yönteminin mükemmelliği, algoritmanın istikrarını ve tutarlılığını geliştirmeye devam etmektedir [31].

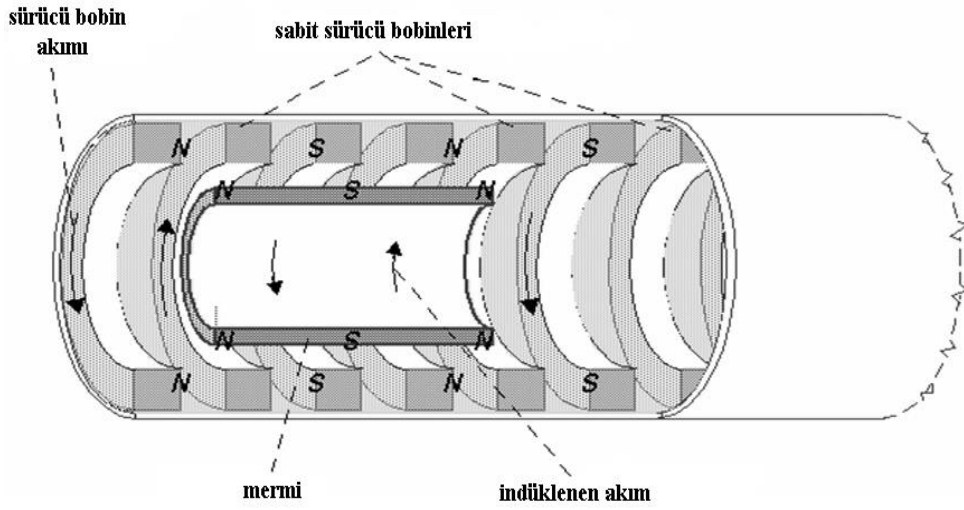
Raylı tüfeklerde dahili fırlatma paket yolculuğunun ölçülmesinde kullanılan geleneksel araçlar, akım taşıyan armatürün manyetik merkezinin geçişini tespit eden manyetik akı sensörlerinin (B-nokta problemleri) kullanılmasını gerektirir. Bu teknik zamanla armatür konumunun kesin ölçümlerini üretir ve uygulama kolaylığı nedeniyle avantajlıdır [43].

3.2. Sargılı Tip Elektromanyetik Silahlar

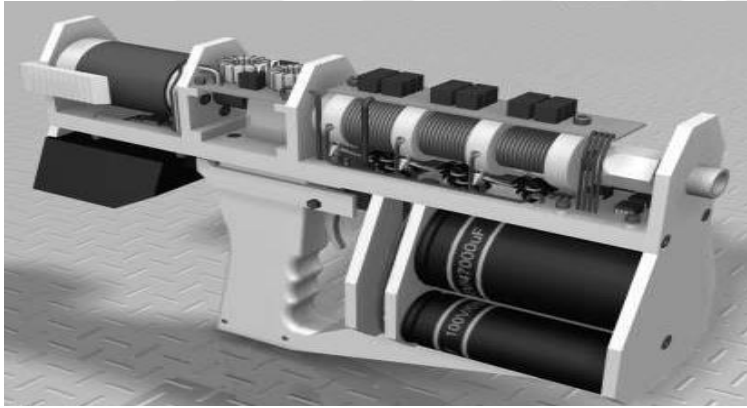
Sargılı fırlatıcılar ardışık sürücü sargılar kullanılarak oluşturulan elektriksel itme kuvveti ile bu sargılar arasındaki cismin fırlatılması ilkesine dayanmaktadır. Sargılı fırlatıcılar daha çok orta hızlarda fakat büyük kütleli cisimlerin fırlatılmasında önemli rol oynamaktadır. Şekil 3.7’de sargılı fırlatıcıların genel yapısı, Şekil 3,8 a ve b’de örnek bir sargılı fırlatıcı silah prototipi görülmektedir [5,38,39].



Şekil 3.7. Sargılı Tip Elektromanyetik Silah Genel Yapısı [5]



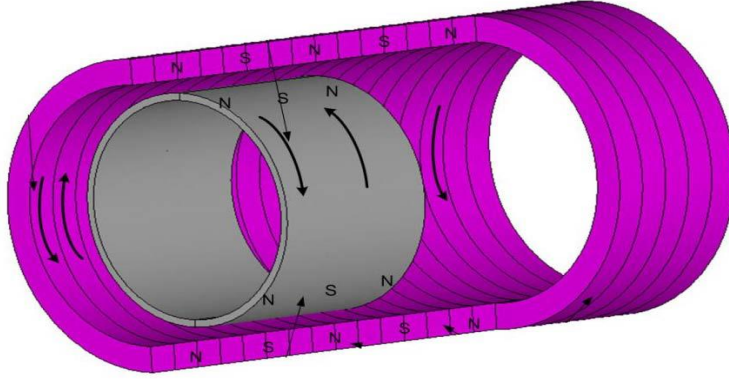
a) Genel Yapı,



b) Silah Prototipi

Şekil 3.8. Sargılı tip elektromanyetik silah Prototipi [5,10,39]

Sargılı fırlatıcıların raylı fırlatıcılara göre temel üstünlükleri mevcut mekanik zorlanmanın daha geniş bir yüzeye yayılmış olması, mermi ve namlu arasındaki temassızlık nedeni ile uzun ömür ve daha yüksek verim olarak sayılabilir. Sargılı fırlatıcılar tek ya da çok bölmeli sargı yapıları kullanılarak üretilebilirler. Şekil 3.9'da sargılı fırlatıcıların genel yapısı gösterilmiştir [38].



Şekil 3.9. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı Genel Yapı [38]

Lineer İndüksiyon Başlatıcı (LIL), indüksiyon motor prensibi ile çalışan bir hava-çekirdekli elektromanyetik bobin fırlatıcısıdır. Namlu oluşturan bobinlerin polifaz uyarımı, baştanbaşa doğru yükselen hızla hareket eden bir elektromanyetik dalga paketi üretmek üzere tasarlanmıştır. Mermi, içi yükü taşıyan boş bir iletken silindirdir. Dalga paketinin alevle göreceli hareketi, itici ve merkezleme kuvvetleri üretmek için uyarıcı manyetik alanla etkileşen mağarada azimuthal akımları indükler. Elektromanyetik lançerleri (EML'ler) esas itibarıyla, sabit veya döner elektrik güç kaynağında depolanan elektromanyetik enerjiyi hareketli mermi kinetik enerjisine dönüştüren özel bir doğrusal elektrik motorları grubudur. EML'lerin başlıca türleri elektromanyetik raylı tüfek, elektromanyetik bobin tabancası, elektrostatik tabanca ve elektro-termokimyasal tabancadır. Kullanım alanı Spiral silahların diğer EML'lere kıyasla sahip olduğu en büyük avantajlardan biri de ağır mermileri hızlandırabilir. Elektromanyetik rampalar, çeşitli enerji, ulaşım, alan ve savunma sistemlerine potansiyel olarak uygulandıkları için son yıllarda büyük ilgi gördü [44].

Mermi hızı kritik bir değere yaklaştıkça rezonans oluşabilir ve merminin geçişi anında ve konumunda rayda yüksek genlik gerilimine ve gerginliğe neden olabilir. Genellikle dinamik gerinim kuvvetlendirmesi olarak adlandırılan çok yüksek genlik ve frekanstaki bir gerginlik, mermi geçişinden dolayı geleneksel bir silah tüpünde gelişir. Bu olgu, hareketli basınç silah tüpündeki dalga yayılım hızına yaklaştığında eğilme dalgalarının rezonansı nedeniyle oluşur [18].

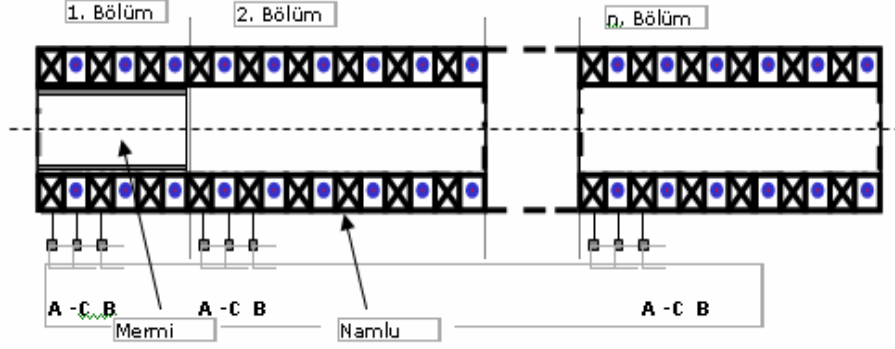
Bobinler, iletken bir armatür ile bir mermiyi hızlandırmak için Lorentz ($J \times B$) kuvveti ile kullanılan elektromanyetik silahlardır. Son yıllarda, güç elektroniğindeki gelişmeler, elektromanyetik bobin tabancalarının uygulamaları alanında önemli ilerleme sağlamıştır. Farklı tip ve farklı çalışma prensiplerine sahip elektromanyetik silahlar arasındaki çok kademeli indüksiyon bobin-tabancaları yakın gelecekte daha fazla beklenen silahlar olarak düşünülebilir. Çalışmamızda, yeni özelliklere sahip bir mikro denetleyici kontrollü dört kademeli indüksiyon bobin-tabancası tasarlanmıştır [45].

3.3. Karma Elektromanyetik Fırlatıcılar

Karma fırlatıcılar, yapılarında hem raylı hem de sargılı fırlatıcıları bulunduran sistemlerdir. Karma fırlatıcılar, yüksek akımlara ihtiyaç duyan raylı fırlatıcılar ve yüksek maliyetlerle yapılan sargılı fırlatıcılara karşın en büyük üstünlüğü aynı sonuçlara ulaşmak için daha az akıma ihtiyaç duymalarıdır. Yine karma fırlatıcıların tasarımları ve üretimlerinin raylı ya da sargılı fırlatıcılara karşı daha basit olduğu belirlenmiştir [1,5,10,38,39].

3.4. Doğrusal Hareketli Fırlatıcılar

Doğrusal hareketli elektromanyetik fırlatıcılar, asenkron motor prensibine göre çalışan hava nüveli sargılı fırlatıcılardır. Namludaki sargılar, çok fazlı (3, 5 veya daha fazla) alternatif akım kaynağından beslenerek namluda hareket eden manyetik alan oluşmasını sağlamaktadır. Mermi kapsülü ise içi boş bir alüminyum tüpten oluşmaktadır. Enerji kaynağı olarak kapasitör grupları veya motor/jeneratör sistemi kullanılmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması için namlu birden fazla bölüme ayrılabilir. Her bölüm farklı frekanslara sahip enerji kaynakları tarafından beslenmektedir. Bir bölümdeki enerji kaynağının frekansı, bir önceki bölümden daha yüksektir. Şekil 3.10'da üç fazlı çok bölmeli bir doğrusal hareketli fırlatıcı yapısı gösterilmiştir [5,10,38,39].

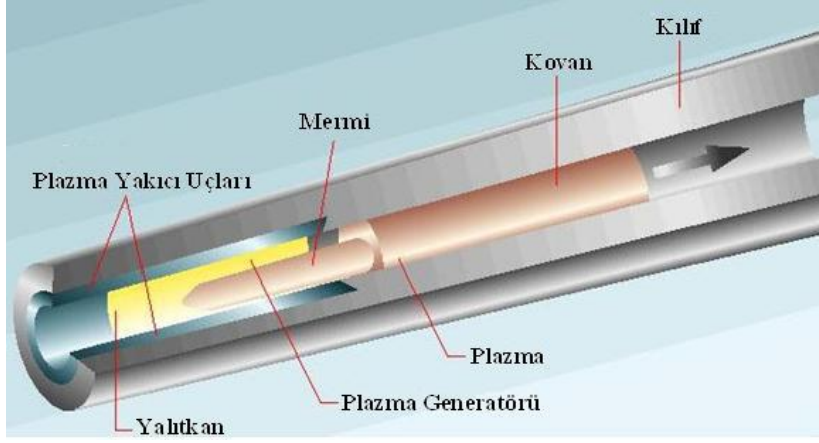


Şekil 3.10. Doğrusal Tip Elektromanyetik Silah Genel Yapısı [5,10,38,39]

3.5. Elektro Termo Kimyasal (Etc) Fırlatıcılar

Yukarda bahsedilen fırlatıcılardan başka elektro termal-kimyasal (ETC) fırlatıcılar da mevcut olup, bu tür fırlatıcılar uygun bir maddenin elektromanyetik enerji ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin oluşturduğu itme kuvveti ile çalışır. Ayrıca ETC'ler ile raylı ve sargılı fırlatıcıların birlikte kullanıldığı karma sistemler mevcuttur [10,38].

Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi Elektro termal silah (onun en basit şekli) geleneksel tüfek tüpünden (elektriksel iletkenler ile desteklenmiş-plazma yakıcıya güç sağlamak için kullanılır, arka tarafa monte edilmiş) oluşmaktadır. Plazma yakıcının Elektrotlarına Akım uygulama ile bir ark üretilir ve bu ark elektrotlar arasına yerleştirilmiş maddeyi plazmanın şekline bağlı olarak yakar (sırayla) yüksek basınç üretir. Kullanılan ortam bir materyaldir ve gazı geleneksel barut gazından düşük moleküler ağırlığa sahiptir. Bunun anlamı fırlatıcı ile birlikte hızlandırılan gaz kütleleri düşebilir ve bundan dolayı yüksek namlu hızına erişilebilir. Fırlatıcı elektriksel olarak ısıtılmış plazmanın basıncı ile hızlandırılır [10].



Şekil 3.11. Elektro Termal-Kimyasal Fırlatıcıların Yapısı [10]

3.6. Elektro Manyetik Fırlatıcıların Avantajları Ve Dezavantajları

Elektro manyetik fırlatıcıların avantajları olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. Teknoloji ilerledikçe dezavantajlar ortadan kalkıp avantajlar göz önüne çıkmaktadır. Bu da geleceğin savunma teknolojisinde elektro manyetik fırlatıcıların önemini arttırmaktadır.

3.6.1. Avantajları

Tipik olarak itici güçlü sistemlerin namlu hızı saniyede 2,000 metre olarak sınırlanmıştır. Bu da doğal olarak fırlatıcıyı namluya süren yaygın gaz kullanımıyla sınırlıdır. Namlular, itici yanma ürünlerinin (normal olarak CO₂ ve NO_x) yüksek genişleme oranı için gereken sıcaklık ve basınçlara kolayca dayanamazlar. Yüksek hızlı sistemler için bir diğer girişimde diferansiyel pistonlar kullanılmaktadır. (geniş olan metan ve oksijen yanmasıyla sürülür, küçük olan ise sürülen gazın basıncı için bağlanır). Bu konuda bazı iyi sonuçlar alınmasına rağmen, kullanılan aletler hala oldukça hantal ve hızları limitlidir. Yörüngesel fırlatma için özel olan bazı uygulamalarda bunlar yeterli olmamıştır. (yeryüzünden çıkış hızı 11,200 m/s) dir. Elektromanyetik fırlatıcılar, tüm hızlandırıcı güçlerini elektromanyetik dalgaların ve güçlü elektrik akımların etkileşimi

ile sağladıkları için nesnelere çok yüksek hızlarda itebilirler. Geleneksel sistemler ve roketler itici kimyasalların yanması ile maddeleri hızlandırır. Gazları yakarak itme yüksek sıcaklık ve basınç getirir (geleneksel sistemlerde) veya yüksek yanan gaz itici gücü oluşturmak için hızı düşürür (geleneksel roketlerde). Yanan gazların içerisindeki moleküllerin boyutuna bağlı olarak itici güç sağlayan yanma ile hız elde edilebilir. Pratik olarak bu sınırlı hız yüksek performanslı sistemler için yaklaşık 2km/sn 'dir (1.5 km/sn kara ordusunun 120 mm'lik tankının hızı olmak üzere). Buna karşın elektromanyetik enerji kullanılması ile oluşturulan sistemler laboratuvar ortamında 6-7 km/sn hızında nesnelere hızlandırmışlardır. Alçak yörüngede nesnelere hızlandırmak için gereken hız ise yaklaşık olarak 6,5 km/sn 'dir. Elektromanyetik raylı bir fırlatıcı için gereken teknoloji yıllardır var, ancak çok yüklü güç gereksinimleri, geçmişteki girişimlerin heyecanını yok etmişti. Hiçbir araç, bu sistemi ateşleyecek veya saklayacak elektrik enerjisine sahip değildi. Son günlerde başta ABD olmak üzere yapılan birçok araştırmanın amacı, onlarca kg'lık bir mermiyi yüzlerce km ötedeki hedefe göndermektir. Bunun için sağlanması gereken yüksek güçler için de çeşitli öneriler mevcuttur. Elektromanyetik silahların barutlu silahlara göre daha birçok avantajı vardır. Doğrudan enerji kullanarak yüksek hızlı mermi fırlatmak en büyük avantajlardandır. Bu silahlar, büyük bir kinetik enerji ile kısa bir sürede uzun menzilli, ses hızından daha hızlı atışlar yapabilmektedir. Günümüzde 9 km/s hızında silahların test atışları yapılmaktadır. Şu an kabul edilen ve teknolojinin gelişmesiyle beraber yapımı gerçekleştirilebilecek elektromanyetik silahların azami hızları 140 km/s olması mümkündür ve bu günümüz barutlu silahların maksimum ulaşacağı hız olan 8.5 km/s hızının kat kat fazlasıdır. Bu silahların diğer bir avantajı ise mermi fırlatma için herhangi bir yakıt veya patlayıcıya ihtiyaç duymamasıdır. Bu etkenin önemli katkıları vardır;

- Mühimmatı işleme, taşıma, depolama sırasında olası kazalarda mürettebatı büyük bir riskten kurtarır.
- Sistemin toplam ağırlığı azalır.
- Fırlatılan merminin boyutu küçüleceğinden özellikle savaş gemileri ve tanklardaki alan yetersizliği problemini çözer.
- Merminin boyutunun azalmasından dolayı merminin ilerleme ve özellikle düşme esnasında rüzgârdan etkilenme oranı da en aza inmiş olur.

- Mermi boyutunun düşmesiyle radarda tespit edilme ihtimali de daha düşüktür.
- Atış esnasında sistemin geri tepmesinin çok az olması da önemli bir avantajdır [39].

3.6.2. Dezavantajları

Elektromanyetik silahların dikkate alınması gereken bazı dezavantajları da vardır. Bunlar; Yüksek miktarda akıma ihtiyaç duyduklarından aşırı ısı meydana gelir. Bu ısı sürtünmeyi artırır ve sisteme zarar verebilir. Isı problemi elektromanyetik silahların ilerlemesinde temel engellerden birisidir.

- Ateşli silahlar daha taşınabilir yapıdadırlar ve genellikle her yerde kullanılabilirler çünkü her mermi kendi yakıtını da içerisinde bulundurur. Diğer taraftan elektromanyetik silahlar yüksek miktarda elektrik enerjisine ihtiyaç duyduklarından gemilerde veya karada sabit yerlerde kullanılabilirler.
- Ateşli silahlar çok hızlı bir şekilde fırlatılmaya hazırlanabilir ancak elektromanyetik silahlarda enerjinin depo edilmesi için bir süre geçmesi gerekmektedir.

Elektromanyetik silahlarda raylar yani namlu, ateşli silahlara göre daha çok yenileme gereksinimi duyarlar [5].

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada, elektromanyetik silah sistemlerinin çalışma yapısı ve sistemlerin karşılaştırılması incelenmesi yapılmıştır. Sargılı tip ve taşınabilir yapıya sahip elektromanyetik bir silah sisteminin prototipinin hazırlanması sırasında, tasarım aşaması ardından sistem bileşenlerinin üretimi ve prototip montajı aşamaları detaylı anlatılmıştır. Çalışma içerisinde sistemde kullanılan elektromanyetik sistemlerin birbirleriyle kıyaslamalı olarak üstünlüklerinin anlatıldığı bir çizelge hazırlanmıştır.

Bu konu savunma sanayi açısından çok önemli olduğu için çalışmaya değer görülmüştür. Elektromanyetik fırlatıcı çeşitlerinden olan sargılı fırlatıcılarda, mermiye hem döner etkisi vermek, aynı zamanda hızını arttırmak için bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemle mermi hem dönerek hem de daha hızlı hareket ederek namluyu terk etmektedir.

4.1. Karşılaştırma

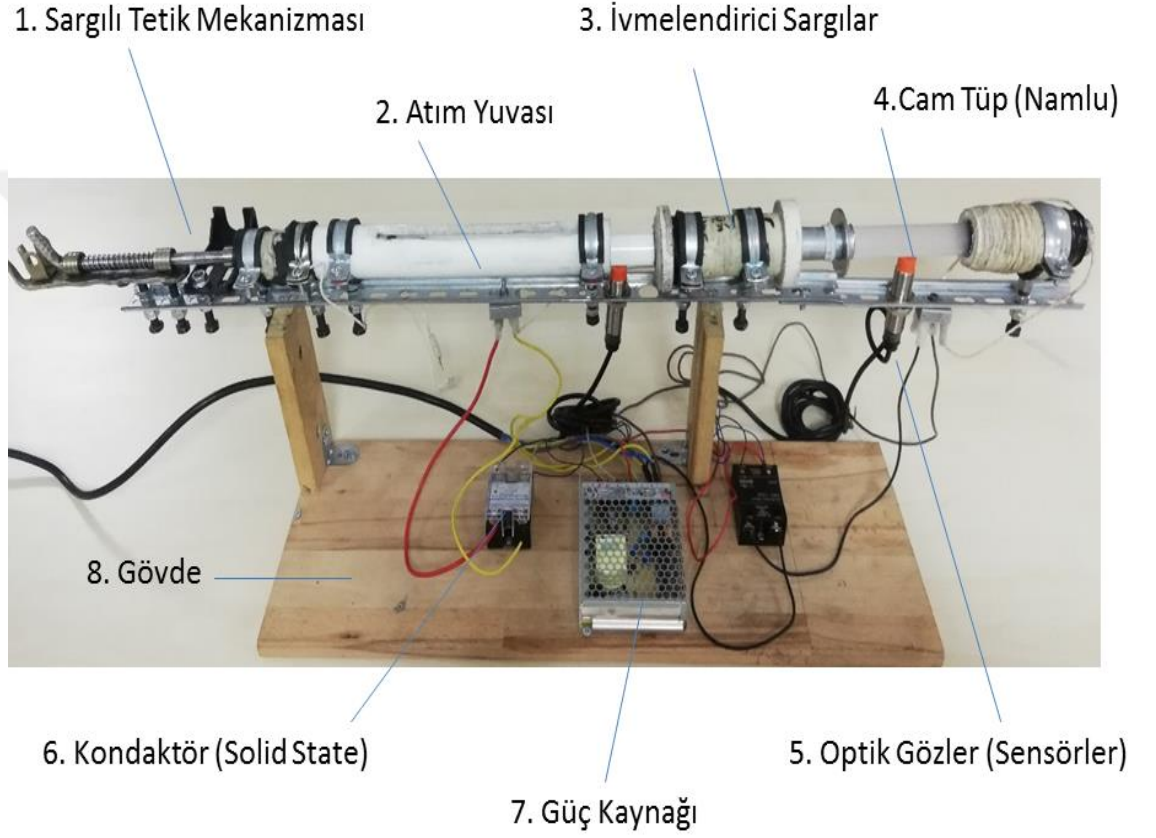
Çizelge 4,1’de elektromanyetik fırlatma sistemlerin karşılaştırıldığı tablo verilmiştir. Karşılaştırma sırasında kullanım yerleri, menzilleri, avantajları ve dezavantajları yönünden karşılaştırılmıştır. Özellikle sargılı mermi atan sistemlerin, raylı sistemden daha çok tercih edildiği görünür. Mobil ve taşıma kapasitesi hafif olan silahlar içerisinde, sargılı tip sistemlerin tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada özellikle piyade sınıfı denilebilecek askeri savunma amaçlı insanlar için hafif taşınabilir bir sargılı prototip üretilmesi hedeflenmiştir. Elektromanyetik fırlatıcı türü olan sargılı fırlatıcılar, diğer silahlara kıyasla daha sessiz ve daha hızlı mermi fırlatan sistemlerdir. Ayrıca bu fırlatıcılardan biri olan raylı fırlatıcılar da askeri uçak gemilerinden uçakların iniş kalkışlarında, insansız hava araçlarının (İHA) fırlatılmasında kullanılmaktadır. Manyetik pist sistemleri kullanılarak uçakların daha kısa mesafede ve daha kısa sürede iniş kalkışları sağlanmaktadır.

Çizelge 4.1. Elektromanyetik Silah Sistemlerinin Karşılaştırılması

Silah Çeşidi	Kullanım Alanı	Menzili	Avantajları	Dezavantajları
Raylı Silah	Gemilerde uçakların iniş kalkışında, İHA, roket, füze gibi savunma araçlarının fırlatılmasında	120 m pistte İniş kalkış, 7-8 m de fırlatılıyor	Çok kısa mesafe gerektirdiği için kullanım avantajı var	Çok yüksek düzeyde elektrik gerekiyor
Sargılı (Bobinli) Silahlar	Uzun menzilli tüfek ve roket atar yerine kullanıyor	Tüfek ve roketlerden daha uzun menzilli	Sessizdir, menzil sınırı yoktur. Sarsma tepme yapmaz. Kullanımı kolaydır	Yüksek düzeyde elektrik gerektirir
Karma	Hem raylı hem de sargılı sistemi barındırır	Raylı ve sargılı silahlarla aynı menzildedir	Tek akım kullanılmaktadır	Büyük olduğu için taşıma sorunu vardır
Doğrusal Hareketli	Tüfek ve roket atar yerine kullanılır	Tüfek ve roketlerden daha uzun menzilli	Daha düzenli atış yapılabilir	Yüksek düzeyde elektrik gerektirir
ETC	Top, tank ve füze gibi silahlarda kullanılır	Uzun menzillidir	Patlayıcının yanma hızını artırır	Yüksek düzeyde elektrik gerektirir

4.2. Geliştirilen Prototip

Şekil 4.1’de prototip olarak geliştirilmiş silahın resmi görülmektedir. Bu silah manyetik sargı sistemi ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.1. Geliştirilen Elektromanyetik Silahın Genel Görünümü

Bu silaha ait önemli parçalar ve bağlantı durumları şekilde gösterilmiştir. Bu parçalar;

- Sargılı Tetik Mekanizması Atım Yuvası
- İvmelendirici Sargılar
- Cam Tüp (Namlu)
- Optik Gözler (Sensörler)
- Kondaktör (Solid State)
- Güç Kaynağı
- Mermiler
- Diyot
- Gövde

4.2.1. Sargılı Tetik Mekanizması

Üzerinde 0.6 mm çapında bakır sargısı mevcuttur. Makaranın boyu 60 mm, bakırın sarıldığı kısım 40 mm, sarım iç çapı 30 mm, dış çapı 60 mm'dir. 1000 spirlik makara sistemidir. Kestamit, tutya, plastik gibi malzemelerden yapılmış ortası delik makara sistemidir. Deliğin ortasında rondela adı verilen metal boru ve borunun içinde de demir çubuk bulunmaktadır. Bu demir çubuk sargının manyetik alan kuvvetinden faydalanarak ileriye doğru hareket etmektedir. Bu hareket sayesinde mermiye ilk hız verilmekte olup elektrik ile çalışır.

Demir çubuğun içinde hareket ettiği rondela sarımda oluşan manyetik alanın şiddetini artırır. Rondela bir nevi nüve (çekirdek) görev yapmaktadır, bu sayede demir çubuğa daha fazla manyetik alan etki eder.

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi sistemin en arkasında mermiye ilk hızı vermek için çalışır. Atım yuvasının önünde ki sargı ile paralel bağlanarak çalışabildiği gibi devre dışı da bırakılabilir.

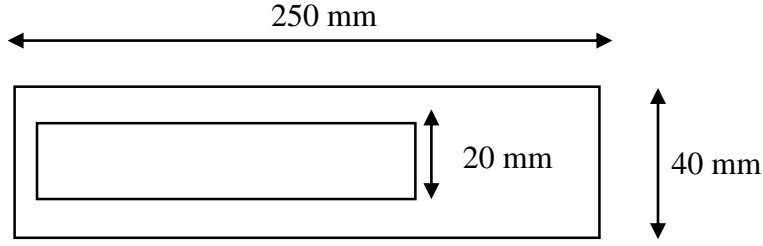


Şekil 4.2. Sargılı Tetik Mekanizması

4.2.2. Atım Yuvası

Merminin yuvalandığı yerdir. Meriye burada ilk hareket verilmektedir, metal olmayan çeşitli malzemelerden yapılır. Boyu 250 mm, dış çapı 40 mm, iç çapı 20 mm olan atım yuvası manyetik alandan etkilenmeyen yalıtkan (paramanyetik) malzeme veya plastik, kestamit, tutyu gibi malzemelerden üretilmektedir. Bunlar işleme kolay hafif malzemelerdir. Şekil 4.4’ de görüldüğü gibi sargılı tetik mekanizmasının önünde ivmelendirici ilk sargının arkasında yer alır. İçinde 18 mm çapında, 200 mm boyunda olabildiği gibi çeşitli şekillerde yapılmış mermileri muhafaza etmektedir. Merminin hareket ettiği atım yuvasının içi pürüzsüz ve kaygan iç zemine sahip olmakla beraber merminin ilk hareketini kolaylaştırır.

Atım yuvası “PPRC” adı verilen plastik malzemedan üretilmiştir. Teknik adı “TS EN İSO 15874 – 2” malzemedir. Yalıtkan bir özelliğe sahip olmakla beraber, işletilmesi kolaydır. Manyetik geçirgen özelliğe sahiptir. Şekil 4.3’ de görülmektedir.



Şekil 4.3. PPRC Yalıtkan Boru



Şekil 4.4. Atım Yuvası

4.2.3. İvmelendirici Sargılar

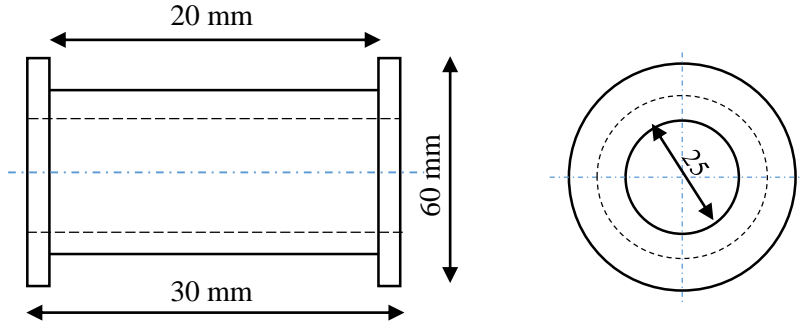
Genellikle kestamit, tutya, plastik gibi malzemeler tornada işlenerek makaraya çevrilmektedir. Bu makaraların ölçüleri şöyledir; boyu 30 mm, sargının yapıldığı kısım 20 mm, makara dış çapı 60 mm, rondelanın yerleştirildiği delik iç çapı 25 mm ölçülerindedir. Sargının yapıldığı bakırın tel çapı 0,5 mm' dir. 1000 – 1200 – 1400 spir sarım sayılarına sahip makaralardan oluşmaktadır. Bu sayede sargı içinde değişik ölçülerde manyetik alan oluşmaktadır. Sarım sayısının artması manyetik alan çizgilerinin makaranın orta kısımda daha fazla çekim kuvveti sağlamaktadır. Bu sayede mermi her sargının içinden geçerken uygulanan kuvvetin artması ile daha da hızlanacaktır. İvmelenme sargılar içinde manyetik alan çizgilerinin sıklaşması ve manyetik kuvvetin artması ile olmaktadır. Bu nedenle bu sargılar “ivmelendirici sargı” adını almaktadır. Sargı içinden geçen akım sarımın direncine bağlı olarak değişir. Bu sargılarda oluşan direnç 9 ohm ile 12 ohm arasındadır. Şekil 4.7. , 4.8. , 4.9. ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi ivmelendirici sargıların ilki atım yuvası ile namlunun birleştiği

noktada, ikincisi namlunun ortasında, sonuncusu namlunun sonunda yer almaktadır. Kestamit, tuya ve plastik gibi malzemelere tornada işlenmesiyle şekil verilmektedir. İşlenecek plastik malzeme torna tezgahında bağlandıktan sonra, kesici katerine bağlanan elmas kesici kullanılarak işlenmiştir Şekil 4.5’ de ivmelendirici makaranın torna tezgahında işlenmesi görülmektedir. .



Şekil 4.5 Tornada Makaranın İşlenmesi

Makaraya torna işleme sonrasında şekil verildikten sonra, bobinler makara üzerine sarılmaktadır. Sargı işlemi 0.5 mm lik bakır telden 800 sarım yapılır. Bu sarım neticesinde 10 ohm direnç elde edilmektedir. Sargıdan geçen voltaj akım ile direnç çarpımına eşittir. Şehir elektriği 220 volt ve sargı direnci de 10 ohm olduğu için sargıdan geçen akım da 22 amper olur. Makaranın iç çapı ne kadar küçük olursa manyetik alan şiddetide artmaktadır. Sargının yapıldığı makaranın üst kısmı da ne kadar küçük olursa sarımların birbiri üstüne sarılması ile sargının dış çapı da artmaktadır. Makara kısa ve geniş bir şekil alır. Makara imalat ölçüleri Şekil 4.6.’da görülmektedir.



Şekil 4.6. İvmelendirici Sargının İç ve Dış Çapları

Tetiğin üretiminde kullanılan sargının içine itici çubuk hassas malzemeden üretilmiştir. Sargı içindeki çubuk yatağı da hassas olan sibob kavalıdır. Çubuğun arkasına eklenen yay sistemi klasik silahlardaki itme görevi yapmaktadır. Yay çubuğu düşük bir güç ile iteklerken sargının manyetik alan şiddeti ile çubuk daha hızlı şekilde kaval içinde hareket etmektedir. Şekil 4.7.' de makara üzerine bakır tel sarım işlemi görülmektedir.



Şekil 4.7. Makaranın Sipirlenmesi

Şekil 4.8, 4.9. ve 4.10' da makaraların sarılmış son şekli görülmektedir



Şekil 4.8. İlk İvmelendirici Sargı



Şekil 4.9. İkinci İvmelendirici Sargı



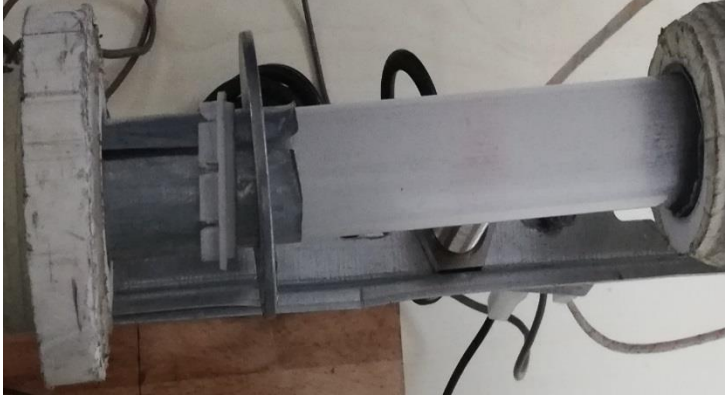
Şekil 4.10. Son İvmelendirici Sargı

4.2.4. Cam Tüp (Namlu)

900 mm uzunluğunda quartz, silis gibi malzemeler ile karıştırılıp üretilen cam tüplerdir. İç çapı 18 mm, dış çapı 23 mm olmaktadır. Saydam görünüme sahip yalıtkan bir malzemedir. Manyetik alanı iletir, yüzey sürtünmesi çok az olmakla beraber metal merminin cam tüp içindeki sürtünmesi en az düzeydedir. Bununla birlikte optik algılayıcıların mermilerin cam tüp içindeki hareketini çok rahat algılamaktadır. Cam tüpler makara sargının oluşturduğu manyetik alanı mermiye daha etkin bir şekilde ilettiği için tercih edilir. Şekil 4.12' de görüldüğü gibi atım yuvasının bitiminde yer alır. İvmelendirici sargıları üzerinde barındırır. Cam tüp silisli malzemeden üretilmiştir. Saydam görünüme sahiptir. Manyetik alanı iletir. Şekil 4.11' de görülmektedir.



Şekil 4.11. Cam Tüp



Şekil 4.12. Cam Tüp (Namlu)

4.2.5. Optik Gözler (Sensörler)

Optik algılayıcılar minimum 4 amper, maksimum 30 amper akıma dayanır, 12 volt ile çalışırlar. 0,5–4,5 mm mesafeden metalleri algılar. Bu algılama ile kondaktör (solid state) lere elektrik verirler. Bu optik gözlerin metal yerine mıknatıs algılayıcı da bulunur. Bunlara bi – stabil adı verilir. Bu bi – stabiller mıknatısın artı (+) eksi (-) kutuplarını algılayarak kondaktöre elektrik verip keser. Optik gözler çeşitli ebatlar da ve çeşitli algılama mesafesinde olup değişik yerlerde algılayıcı olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.13’ de görülen çeşitleri bulunmaktadır. Optik algılayıcılar bobin sargıların 30 mm önünde yer almaktadır. Bu sayede merminin arka ucu optiğin önünden geçer geçmez algılama biter. Mermi bu arada sarımın içinde bulunur. Bu mesafe optiğin elektriği kesme mesafesini ayarlanmasında ve sargının mıknatıslanmasında çok büyük önem arz eder. Eğer optik mermi sargının tam ortasında iken elektriği kesmezse sargı mermiyi tutar, bırakmaz. Bu merminin hızına ters etki yapar. Kondaktör ile güç kaynağı arasına paralel bir şekilde bağlanır.

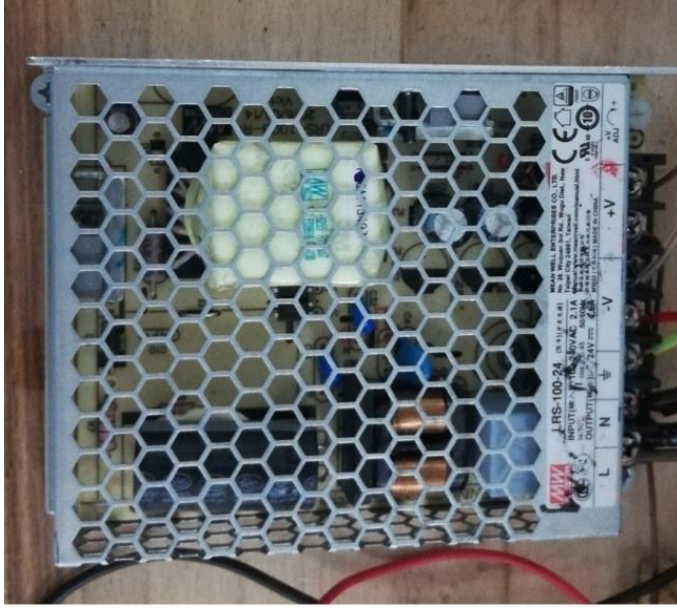


Şekil 4.13. Optik Sensör ve Bi–Stable

Optik sensörler mermiler namı içinde hareket ederken algıladıkları anda kondaktöre elektrik verir, kondaktör ise diyotlara akım iletir. Bu alternatif akım diyotlardan geçerken doğru akıma dönüşmektedir. Diyotlarda doğru akıma dönüşen elektrik sargılara gider. Optikler mermiyi algılama bittikten sonra (mermi optiğin önünden geçmeyi bitirdiğinde) optik mermiyi algıladığı sürece elektriği kondaktöre verir. Algılama bittikten sonra elektrik akımını kondaktöre vermeyi keser.

4.2.6. Güç Kaynağı

Dijital yöntem ile alternatif akımı hem doğru akıma çeviren hem de amperini ve voltajını gerekli düzeye indiren trafo sistemlerine güç kaynağı denir. Alternatif akım girişi yaklaşık olarak 220 volt 15 amper' dir. Doğru akım güç çıkışı sistemin güç ihtiyacına göre değişmekte olup sistemde kullanılan güç kaynağı çıkışı 12 volt 4.5 amperdir. Dijital güç kaynağı diğer sargılı güç kaynakları gibi anlık akım ihtiyacını karşılamaz, dijital olması sebebi ile içindeki kart aşırı akım yüklemesinden dolayı yanmaktadır. Bu nedenle bu güç kaynağı sadece optik göz ve kondaktöre gerekli gücü sağlamaktadır. Sarımlara giden akım diyotlar aracılığıyla doğru akıma çevrilen alternatif akım kaynağı sağlar. Dijital güç kaynakları sargı yerine kart ile akımı düşürüp doğru akıma çevirmektedir. Şekil 4.14' de görülen güç kaynağı iki artı (+) ve iki eksi (-) doğru akım çıkışına sahiptir.



Şekil 4.14. Güç Kaynağı

4.2.7. Mermiler

Ferro manyetik demir malzemeden yapılmış olan mermiler 75 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm uzunluğundadır. Dış çapları 18 mm, iç çapları 12 mm olan boru şeklindedir. Dış yüzeyleri cam tüpün (namlu) iç yüzeyi ile temas halinde olduğu için kaygan bir yapıya sahiptir. Bu sayede namlu içinde maruz kaldığı manyetik alan şiddeti ile daha hızlı hareket etmektedir. Şekil 4.15' de görüldüğü gibi merminin ortası boştur. İçinden rahatlıkla hava geçmektedir. Merminin içinin boru şeklinde tasarlanması ile hava direnci en aza indirilmiş mermi hareket ederken havanın merminin içinden geçmesi sağlanmıştır. Mermi namlu içinde hareket ederken namlu içindeki hava mermi hareketine karşı direnç oluşturmaktadır. Bu direnç merminin önünde basınç oluşturur, arkasında ise vakum oluşturur. Merminin ortasındaki hava boşluğu mermi önündeki hava basıncının ve arkasındaki vakum (çekme) kuvvetini nötrler. Bu da merminin namlu içinde basınç ve vakuma maruz kalmadan daha hızlı hareket etmesini sağlar. Mermilerin ağırlıkları boyutları ile doğru orantılı olarak artmakta bu da merminin değişik hızlarda ve mesafelerde gitmesine sebep olmaktadır.

Bu nedenle değişik şekillerde içi dolu ve etrafı bobin sargılı mermiler tasarlan mermiler denenmektedir. Yapılan diğer mermiler şekilleri itibarı ile optik algılayıcılar aracılığıyla değişik şekillerde hareket etmektedir. Bu mermiler sargılar tarafından çekilmek yerine Şekil 4.16’da görüldüğü gibi sargının ortasında indüklenerek elektro mıknatıs gibi hareket eder. Burada görülen merminin arka kısımdaki yeşil plastik malzeme hem merminin cam ile temasını azaltmakta, hem de mermiye aerodinamik özellik kazandırmaktadır. Plastik malzemenin ortası boştur. Merminin namludan çıkışını kolaylaştırmaktadır.

Mermi kutupları sargı ile aynı kutuplara sahip olduğu için aynı kutuplar birbirlerini iter, zıt kutuplar birbirlerini çeker. Bunun sayesinde mermi elektro mıknatıs özelliği sayesinde üç kuvvet tarafından namlu içinde hareket eder. Sarım sayılarının farklı olması nedeniyle en son sargının uyguladığı maksimum manyetik alan şiddeti sayesinde mermi namluyu en yüksek hız ile terk eder.

Bu sargılı mermilerin diğer boru mermilerden farkı; boru mermiler sarımların içine doğru çekilirken, sargılı mermiler sarımın orta noktasında indüklenerek itme ve çekme kuvvetinin bir arada uygulanması sayesinde daha hızlı hareket etmektedir. Sargıdan geçen akım mermi etrafındaki sargıları ne kadar çok indüklerse mermi de o kadar fazla indüklenir. Bu indüklenme sayesinde mermide oluşan manyetik mıknatıslanma artar ve mermi daha kuvvetli bir şekilde namluyu terk etmektedir.



Şekil 4.15. Boru Mermi



Şekil 4.16. Sargılı Mermi ve Çubuk Mermi

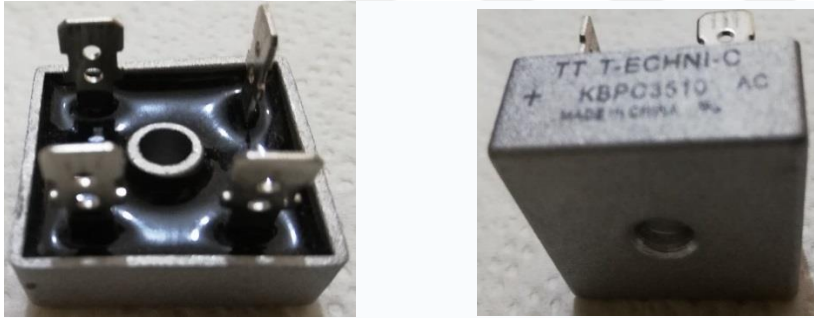
4.2.8. Diyot

Diyot tek yöne elektrik akımını ileten bir devre elemanıdır. Diyotun P kutbuna " Anot ", N kutbuna da " Katot " adı verilir. Diyot N tipi madde ile P tipi maddenin birleşiminden oluşmaktadır. Bu maddeler ilk birleştirildiğinde P tipi maddedeki oyuklarla N tipi maddedeki elektronlar iki maddenin birleşim noktasında buluşarak

birbirlerini nötrlerler ve burada " Nötr " bir bölge oluştururlar. Nötr bölge, kalan diğer elektron ve oyukların birleşmesine engel olur. Diyotlar Şekil 4.17' de görüldüğü gibi 4 portludur. Diyotların çalışma şekillerine göre çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar; doğrultmaç diyot ve sinyal diyotlarıdır.

Doğrultmaç Diyotları; Yüksek akımları taşıyabilen ve yüksek ters tepe gerilimlerine dayanabilen diyotlardır. Bu diyotlar güç kaynakların AC' yi DC' ye dönüştürmek için kullanılır.

Sinyal Diyotları; yüksek frekanslarda çalışmaya duyarlı, düşük akımlarda ve gerilimlerde çalışabilen diyotlardır. Bu diyotlar sayısal (lojik) devre elemanı, radyo frekans (RF) devrelerinde sinyal ayırıcı (demodülatör) olarak kullanılır. Kullanılan diyot doğrultmaç diyotudur. Alternatif akımı doğru akıma çevirmektedir.

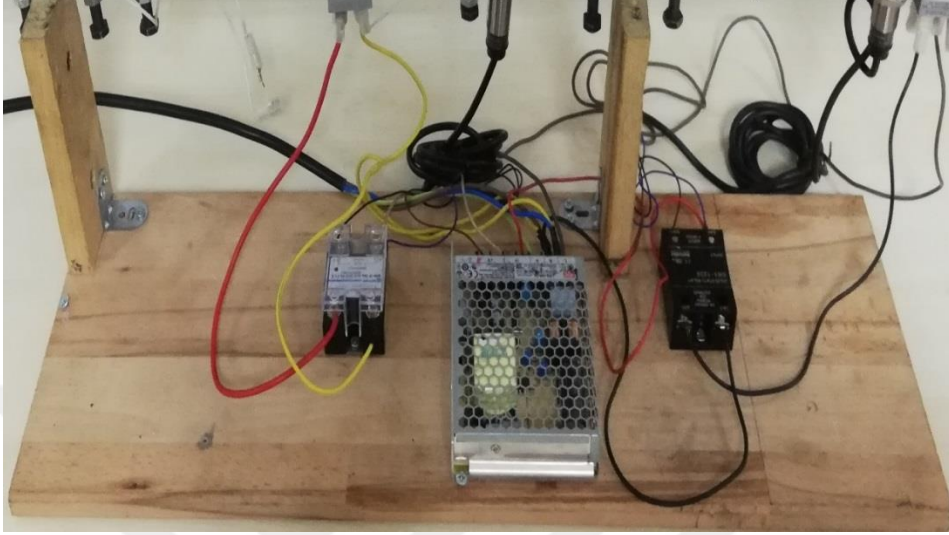


Şekil 4.17. Doğrultmaç Diyot

4.2.9. Gövde

Sistemin ana iskelet yapısını oluşturmaktadır. Yalıtkan yapılaraya sahip olan ağaç, plastik gibi malzemelerden yapılan ve tüm sistemi üzerinde barından düzenektir. Alt kısmı geniş, üzerinde iki adet destek noktası ve destek noktaları arasında bir çubuk demir bulunmaktadır. Tetik, ivmelendirici sargılar, atım yuvası ve namluyu sabitleyen sistemdir. Kolay taşınabilir özellikte olması, hafif ve sağlam olması nedeni ile kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Şekil 4.18' de görüldüğü gibi ahşap malzemeden

yapılmıştır. Üzerine kondaktörler ve güç kaynağı yerleştirilmiştir. Ayrıca destek ünitesi görülmektedir.



Şekil 4.18. Gövde Yapısı

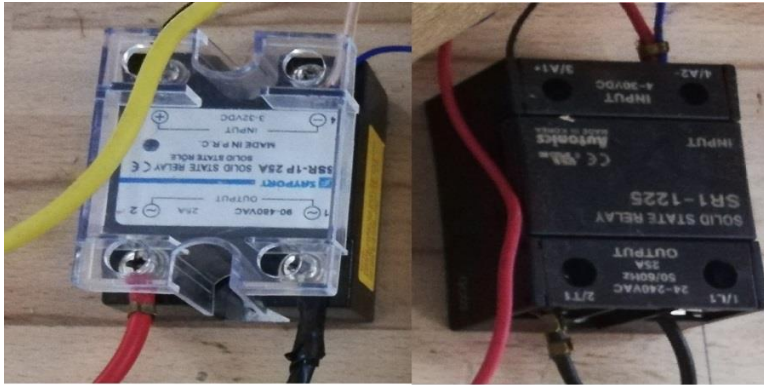
4.2.10. Kondaktör (Solid State)

Solid state, elektronik malzemelerden yapılan bir anahtardır. Klasik kondaktörle aynı görevi yapmaktadır. Kondaktör güç devrelerine sahiptir. Güç devrelerinin anahtarlamasında kullanılır. 1-2 amper gibi küçük akımlardan 1000-2000 amper gibi büyük akımlara dek anahtarlama yapan, monofaze veya trifaze solid state kondaktörler bulunmaktadır.

Bir solid state' de kumanda devresi transistör benzeri elemanın enerjilendirilmesi ile güç devresi transistör benzeri elemanı açık konumdan kapalı konuma gelerek sisteme enerji vermektedir. Kontaktör, bobinine enerji verilerek, kontaklarının açık konumdan kapalı konuma gelmesi gibi bir uygulamadır. Kontaktör, bobin yerine elektronik bir devre elemanının olması, güç kontakları yerine de elektronik devre elemanlarının olmasıdır. Minimum 4 amper, maksimum 30 amper ve 12 volt ile çalışmaktadır. Optik

gözle paralel bağlı olduğu için ortak akım kullanırlar. Kondaktörler alternatif akım kesici özelliğine sahip, akım kesicilerdir.

Optik sensörün elektrik verip kesmesi ile kondaktörler de alternatif akımın diyotlara gitmesini sağlar ve keser. 4 kablo bağlantısı vardır. İki kablo bağlantısı optik sensörlerin bağlandığı doğru akım ile çalışan kısımlardır. Diğer iki kabloya alternatif akım bağlanır. Bu bağlantıda geçen akım maksimum 25 amperdir. Şehir şebeke cereyanı 216 – 242 volt, 14.8 – 16.1 amper arasındadır. Bu sayede kontaktörden geçen akım devreyi yakmamaktadır. Kontaktörden alternatif akım doğrultucu diyotlara iletilmektedir. Alternatif akım kontaktörleri yerine doğru akımı sarımlara ileten doğru akım kontaktörleri mevcuttur. Bunlar maksimum 16 amperi iletir fakat kontaktörün her bir bağlantısı seri bağlanır ise 4 çıkışın birbirine seri bağlanması ile doğru akım kontaktörü 64 amper dayanır. Doğru akım kondaktörü bağlanır ise doğrultucu diyota ve alternatif akıma ihtiyaç kalmamaktadır. Bütün gücü sistem doğru akım kaynağından alabilmektedir. Şekil 4.19’ da görüldüğü gibi optik sensöre ve güç kaynağına seri bağlanır.

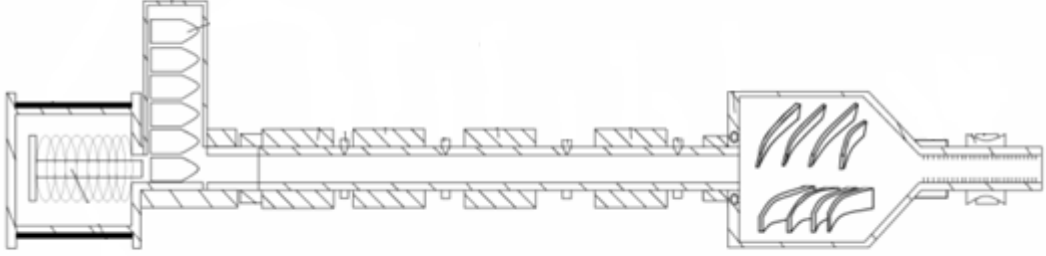


Şekil 4.19. Kondaktör

4.3. Dönü Etkisi Sistem Tasarımı

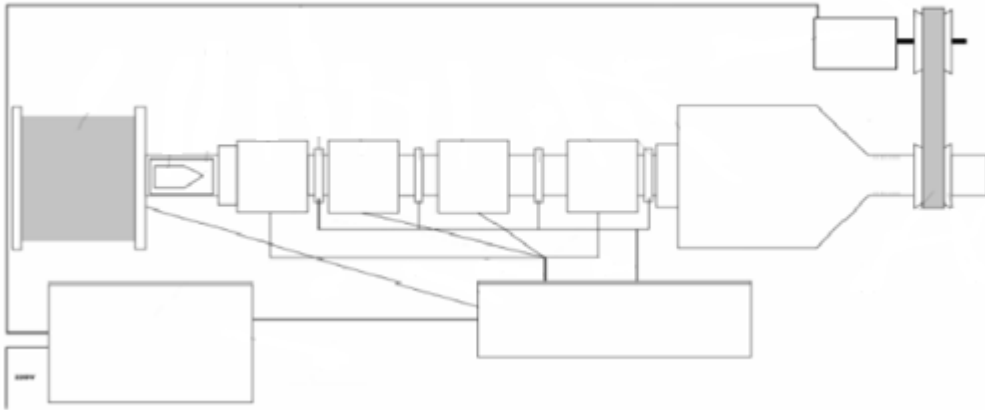
Sistemin verimini artırmak ve mermiye kısmi dönü etkisi sağlanması amacıyla Şekil 4.20’ de görüldüğü gibi namlu ucuna bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem mermiye

dönme etkisi vermekte ve namlu için de merminin hareketini arttırmak için vakum oluşturmaktadır.



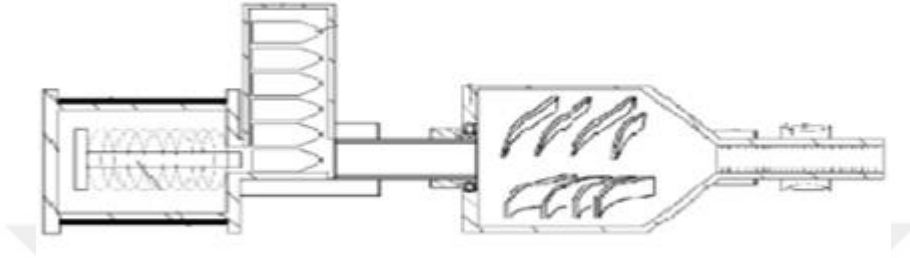
Şekil 4.20. Prototipin Yandan Görünümü

Mermi sistemi terk ettikten sonra da sistem mermiye hava basıncı oluşturarak itme kuvveti sağlamaktadır. Sistemin içinde mermiye dönme etkisi veren fırça yer almaktadır. Şekil 4.21' de görüldüğü gibi fırçalı fan sistemi bulunmaktadır.



Şekil 4.21. Prototipin Üstten Görünümü

Şekil 4.22’ de görüldüğü gibi bu fan sistemi dıştan tahrikli bir motor aracılığıyla dönmesi sağlanmaktadır. Motorun dışarıdan bağlanmasının sebebi, mermiye manyetik kuvvet etkileyerek hızını düşürmemektir. Çünkü motor da elektrik ile çalışan bir sistem olduğu için manyetik alan uygulamaktadır. Motordan dönme etkisi kayış sistemi ile fan sistemine iletilmektedir.



Şekil 4.22. Horoz Şarjör Ve Dönü Etki Sistemi

Bu projeye patent başvurusunda bulunulmuştur. Gizlilik nedeni ile imalattan çekilmiş olup, şu anda tasarım aşamasındadır. Sisteme ait tasarım resimleri mermi tetik mekanizmasının verdiği ilk hareket ile atım yuvasından namluya doğru hareket ederken optik gözlerin kontaktörlere komut vermesi ile bobin sargılar sırasıyla elektriklenir. Elektriklenen sargılar, mermiyi hızlandırır. Hızlanan bu mermilerin daha ivmeli bir şekilde namludan çıkışını sağlamak için tasarlanan fan sistemi mermi önünde oluşan hava direncini en aza indirir. Mermi daha ivmeli bir şekilde hızlanarak fan sisteminden çıkar. Fana takılan motor sistemi 10 ile 15 bin devir arasında dönerek vakum oluşturmaktadır. Bu yüksek vakum hem mermiyi ivmelendirir hem cam tüpü soğutur hem de sargıları soğutur. Bu da sisteme ayrıca bir avantaj sağlar. Atım yuvasının ve namlunun içinde mermi sürtünmesinden dolayı oluşacak parçacıkları da vakum yolu ile dışarıya atar.

4.4. Parçaların Montajı

Yalıtkan gövde üzerine güç kaynağı, kontaktör ve destek çubukları yerleştirilir. Desteklerin üzerine yerleştirilen demir çubuk da vida yöntemi ile sabitlenir. Demir çubuğun üzerinde kelepçelerle sabitlenmiş makaralar, atım yuvası ve ayrıca optik gözler bulunmaktadır. Demir çubuğun üzerindeki makaraların içinde silisli cam tüp ve tetik mekanizması mevcuttur. Merminin atışı sırasında cam tüpün kırılmasını önlemek amacıyla atım yuvasının içine cam tüpün yerleşeceği şekilde kanal açılmaktadır. Bu sayede mermi atım yuvasından çıkarken cam tüpü kırmadan geçmektedir. Optiklerin takılabilmesi için optiğin ucunun girebileceği çapta, çubuğa delik açılmaktadır. Şekil 4.23' de namlu alt montajı ahşap gövdeye bağlanmadan önceki durumudur. Açılan deliğin yeri çok önemlidir. Çünkü mermi sargının tam ortasında iken optik mermiyi görmemeli, bu sebeple optikler sargı uçlarının 30 mm önünde olmalıdır. Diyotlar da demir çubuğun üzerine vidalanır. Diyotların alternatif akım girişine kontaktörden gelen akım bağlanır. Artı (+) eksi (-) uçlarına da makara sargılarının uçları bağlanır.



Şekil 4.23. Namlu Alt Montajı

4.5. Test Atışları

Yapılan test atışında 150 mm uzunluğundaki içi boş boru merminin 100 gram ağırlığında olması nedeniyle 7 metre menzile ulaşmaktadır. 100 mm uzunluğundaki içi boş boru merminin 70 gram ağırlığında olması nedeni ile 10 metre menzile ulaşmaktadır. 75 mm uzunluğundaki içi boş boru merminin 50 gram ağırlığında olması

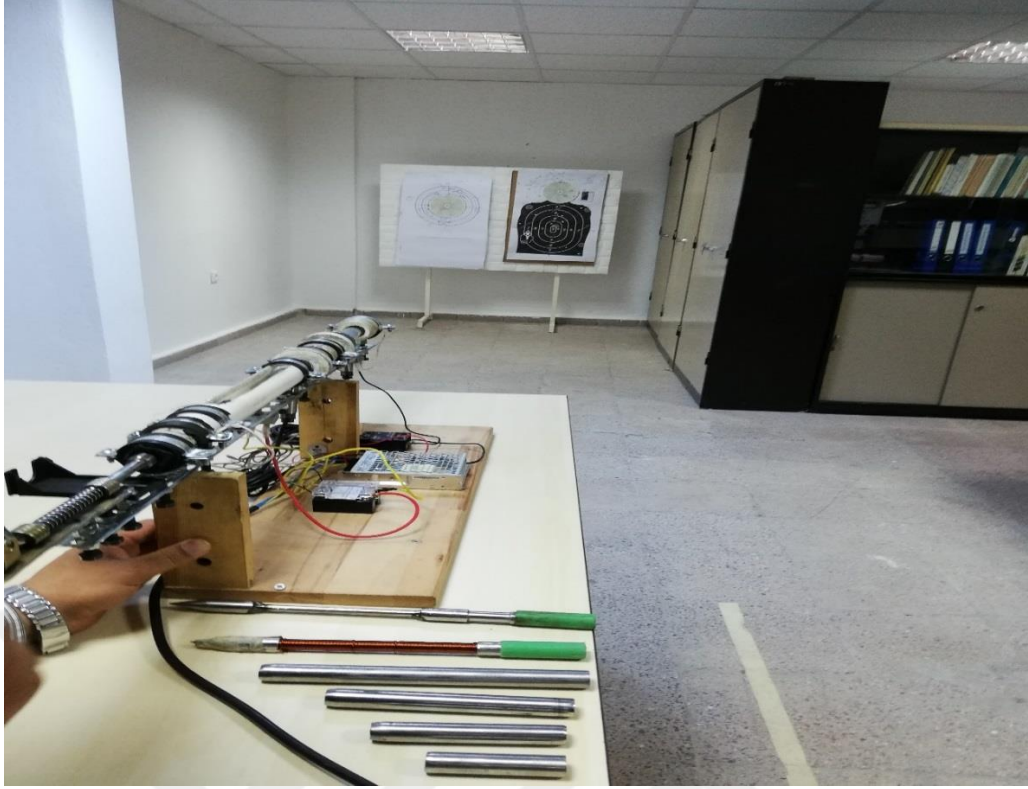
nedeni ile 13 metre menzile ulaşmaktadır. Şekil 4.24' de 12 metreden hedefe yapılan atış görülmektedir.

Sargılı dolu mermiler sarım içinde indüklendikleri için mermi üzerindeki sargılar mermiye mıknatıs özelliği kazandırır. Bu mıknatıslanma özelliği sayesinde sargı içindeki rondela ile mermi aynı yönde kutuplanır. Bu da sargı içinde aynı kutupların bir birlerini itmeleri, zıt kutupların bir birlerini çekmesi ile mermiyi hızlandırır. Bu sayede sargılı mermi boru mermiden 3 kat daha hızlı menzil almaktadır.

Yapılan test atışında 200 mm uzunluğundaki sargılı mermi 250 gram ağırlığında olması nedeniyle 40 metre gitmiştir. Çizelge 4.2.' de mermilerin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.2. Mermilerin Özellikleri

Merminin Şekli	Merminin Uzunluğu (mm)	Merminin İç ve Dış Çapı (mm)	Ağırlık (gr)	Mesafe (m)
Boru	75, 100 ve 150	12 ve 18	50, 75 ve 100	7, 10 ve 13
Sargılı	200	18	250	40



Şekil 4.24. Test Atışı

5.SONUÇ

Ülkemiz bulunduğu jeopolitik konumu ve tarihi misyonundan gelen zorunluluklardan dolayı, savunma alanında sürekli yenilenmek ve güçlenmek zorundadır. Savunma sanayi dünyadaki süper güç olarak adlandırılan ülkeler dahil, bir yarış ve üstünlük sağlama alanı olmaktadır. Bu amaçla, akıllı mühimmatlar, lazer silah sistemleri, insansız araçlar, uydular, füzeler vb., gibi bir çok silah sektöründe kıyasıya bir rekabet yaşanmaktadır. Bu çalışma alanlarından bir tanesi de, sevk barutuna olan ihtiyacın kaldırılması ve yüksek hızlı namlu çıkışı sağlanması amacıyla araştırılan elektromanyetik silah sistemleridir. Elektromanyetik silah sistemlerinin mevcut ateşli silah sistemlerine olan üstünlükleri nedeniyle, geleceğin savunma sistemlerinden bir tanesi olabileceği düşünülmektedir. Bu Sistemlerin uçak gemilerinde, savaş uçaklarının iniş kalkışına kolaylık sağlaması, uzun menzilli füzelerin yüksek hızlarda fırlatılmasına imkân sağlaması ve mermi atan silah çeşitlerinin olması askeri açıdan büyük önem arz etmektedir. Elektromanyetik silah sistemlerinin bu üstün yönleri geliştirilirken, bu sistemlerin çalışması için gereken yüksek elektrik enerjisi büyük bir sorun oluşturmaktadır. Çünkü gerekli enerji, güç kaynaklarıyla sağlanmaktadır. Bu güç kaynakları da, hem gemilerde yer kaplamakta, hem de fazladan ağırlık teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, elektromanyetik silah sistemlerinin çalışma prensipleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir (Çizelge 4.1). Yapılan bu karşılaştırmalarda dikkat çekici olan ortak olumsuzluk olarak, aşırı elektrik ihtiyacı görülmektedir. Uçak gemilerinde ve ağır yük fırlatmak için raylı sistem fırlatıcılar kullanılırken, daha küçük ağırlıktaki cisimleri fırlatmak amacıyla sargılı tip fırlatıcılar tercih edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise, bu tip fırlatıcılar karma kullanılarak, üstün yönleri bir araya getirilmek istenmektedir. Tarihsel gelişim süreci incelendiğinde, bahsedilen olumsuzlukların kısa sürede aşılacağı düşünülmektedir.

Bu aşamada önemli bir eksiklik olarak görülen, namludan çıkan mühimmata dönü etkisi sağlama konusuyla ilgili tasarım yapılmıştır. Yapılan bu tasarıma, TSE kurumuna patent alınmak üzere başvurulmuştur. Patent başvurusu yapılan dönü

sistemiyle uyumlu çalışabilecek bir sargılı tip elektro manyetik silahında, tasarım ve imalat süreçleri bu çalışmada anlatılmıştır. Atım yuvası içerisine yerleştirilen değişik biçimlerdeki örnek mermi biçimleri kullanılarak sisteme ait test atışları gerçekleştirilmiştir.

Elektromanyetik silah sistemleri konusunda yapılan bu çalışmanın ülkemize kazandıracağı faydalar şu maddelerle özetlenebilir:

1. Sevk barutu ihtiyacını ortadan kaldırma,
2. Mermi için, kovan ve kapsül ihtiyacını ortadan kaldırma,
3. Gürültüsüz ve parlamasız atış yapabilme,
4. Yüksek namlu çıkış hızı sağlayabilme,
5. Farklı profile sahip mermileri atabilme,
6. Kanat sistemi olmayan mühimmatlara dönü etkisi sağlayabilme,

Elektromanyetik fırlatıcı sistemler geleceğin silahı olma yolunda hızla ilerlemektedir. Bu alanda yapılacak AR-GE ve lisansüstü çalışmalara fazlasıyla ihtiyaç duyulmaktadır. Elektromanyetik silah sistemleri için güç kaynağı geliştirilmesi, manyetik alan etkisinin kontrolü ve boyutlarının küçültülerek piyadelerin taşıyabileceği hale getirilmesi konuları, bu alanda çalışılması gereken önemli konular olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Sarı, V., Elektromanyetik Fırlatıcıların Farklı Manyetik Özellikteki Çekirdeklerle Performans Analizi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi. Kayseri, 2015.

[2] Yavuz., M. F., Tek Bölmeli Eksenel Simetrik Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcının Zaman Uzayında Sonlu Farklar Yöntemi İle Silindirik Koordinatlarda Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gebze, 2010.

[3] Bıçak, E., Tek Bölmeli Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcının Zaman Uzayında Sonlu Farklar Yöntemi İle Üç Boyutlu Kartezyen Koordinatlarda Isıl Davranışlarının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 2010.

[4] McNab, I., R., Member, S., Stefani, F., Crawford, M., T., Erengil, M., Persad, C., Satapathy, Vanicek, H., Watt, T., and Dampier, C., Development of a Naval Railgun. The University of Texas at Austin West Braker Lane, 2004.

[5] Yıldız, İ., Elektromanyetik Silah Sistemlerinin İncelenmesi Ve Bir Uygulama Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.

[6] Doyle, M., Sulich, G., and Lebron, L., The Benefits of Electromagnetically Launching Aircraft, Naval Engineers Journal, May, 2000.

[7] Quesada, J., R., and Charpentier, J., F., *Finite Difference Study of Unconventional Structures of Permanent-Magnet Linear Machines for Electromagnetic Aircraft Launch System Magnetics*, Vol. 41, No. 1, 477-482, January, 2005.

- [8] İnger E., Elektromanyetik Fırlatıcı Sistemlerinin İrdelenmesi Ve Simülasyonu. Doktora Tezi. Makina Mühendisliği Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [9] Doyle, M., R., Samuel, D., Conway, J., T., Klimowski, R., R., *Naval Air Warfare Center, Aircraft Division, Lakehurst, Nj 08733 Electromagnetic Aircraft Launch System*. *Emals Transactions On Magnetics*, Vol. 31, No. I, 528-533, January, 1995.
- [10] Akyazı, Ö., Elektromanyetik Fırlatıcılar. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik –Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2006.
- [11] Coşkun, İ., Kalender O., *Dört Kademeli Bir İndüksiyon Bobin Silahı Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 4, 893-899, Ankara, 2007.
- [12] Lehmann, P., Peter, H., And Wey, J., *First Experimental Results With The Isl 10 Mj Des Railgun Pegasus Ieee*. *Transactions On Magnetics*, Vol. 37, No. 01, 435-439, January, 2001.
- [13] Stumberger, G., Aydemir, M., T., Žarko, D., and Lipo, T., A., *Design Of A Linear Bulk Superconductor Magnetsynchronous Motor For Electromagnetic Aircraft Launch Systems*. *Applied Superconductivity*, Vol. 14, No. 1, 54-62, March, 2004.
- [14] Monti, A., Patel, K., Patterson, D., And Dougal, R., *Modular Control For Electromagnetic Aircraft Launching System Department Of Electrical Engineering University Of South Carolina, Swearingen Center Columbia, USA*, 2003.

- [15] McNab, I., R., *Launch To Space With An Electromagnetic Railgun Magnetics*. Transactions On Magnetics, Vol. 39, No. 1, 295-304, January, 2003.
- [16] Balıkçı, A., Aksoy, S., Jeneratörle Sürülen Lineer İndüksiyon Bobinli Elektromanyetik Fırlatıcı Tasarımı Ve Uygulaması Proje No: 107e107, Kocaeli, Ocak, 2010.
- [17] Işık F., Elektromanyetik Darbelerden Korunma. Anabilim Dalı: Dap – Disiplinler Arası Programlar Programı: Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [18] Tzeng, J., T., *Dynamic Response Of Electromagnetic Railgun Due To Projectile Movement Magnetics*. Transactions On Magnetics Vol. 39, No. 1, 472-475, January, 2003.
- [19] Stumberger, G., Aydemir, M.,T., Žarko, D., Lipo, T., A., Design and Comparison of Linear Synchronous Motor and Linear Induction Motor for Electromagnetic Aircraft Launch System. Gazi University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ankara, 2003.
- [20] Çınar, K., *Elektromanyetik Alan*. Bilim Ve Teknik, Sayfa:80-81, Ağustos, 2006.
- [21] Patterson, D., Monti, A., Brice, C., Dougal, R., Pettus, R., Srinivas, D., Dilipchandra, K., Bertoncelli, T., Design And Simulation Of An Electromagnetic Aircraft Launch System Department Of Electrical Engineering. University Of South Carolina, Swearingen Center, Columbia, USA, 2002.
- [22] Putman, P., T., Zhou, Y., X., Fang, H., Klawitter, A., And Salama, K., Application Of Institute Of Physics Publishing Superconductor Science And Technology. Superconductor Science and Technology, Vol. 18, Number 2, 6-9, 2004.

[23] Portafaix, C., Catherineau, M., Guilhem, D., Saille, A., *3d Electromagnetic Analyses During Plasma Disruption For The Tore Supra Lower Hybrid Passive Active Multi-Junction Launcher*. Fusion Engineering And Design, Vol. 86 No.839–842. France, 2011.

[24] Engel, T., G., Neri, J., M., And Veracka, M., J., Characterization Of The Velocity Skin Effect In The Surface Layer Of A Railgun Sliding Contact Department Of Electrical And Computer Engineering, University Of Missouri-Columbia, Vol. 44, No.7, Columbia, 2008.

[25] Xu, L., And Geng, Y., Forces Of Rails For Electromagnetic Railguns Mechanical Engineering Institute, Yanshan University, China Applied Mathematical Modelling Vol. 36, 1465–1476, 2012.

[26] Gallant, J., Lehmann, P., Experiments With Brush Projectiles In A Parallel Augmented Railgun. Projectiles French-German Research Institute Of Saint, 2004.

[27] Schroeder, J., M., Gully J., H., Driga, M., D., *Electromagnetic Launchers For Space Applications Fourth Symposium On Electromagnetic Launch Technology*. Magnetics, Vol. 25, No. 1, 504 – 507, 1989.

[28] Phys, Graneau, J., P., letter to the editör reailgun recoil and relativity Center for Electromagnetics Research, Northeastern University, Boston, 14 November, 1986.

[29] Portafaix, C., Catherineau, M., Guilhem, D., Saille, A., *3D electromagnetic analyses during plasma disruption for the Tore Supra lower hybrid passive active multi-junction launcher*, Fusion Engineering and Design, Vol. 86, 839–842, 2011.

[30] Bertonecelli, T., Monti, A., Patterson, D., And ,Dougal, R., *Design And Simulation Of An Electromagnetic Aircraft Launch System*, 2002.

[31] Fortov, V., E., Lebedev, E., F., Luzganov, S.,N., Kozlov, A.,V., Medin, S.,A., Parshikov, A.,N., Polistchook, V.,P., Shurupov, A.,V., *Railgun Experiment And Computer Simulation Of Hypervelocity. Impact of lexan projectile on aluminum target* Institute for High Energy Densities, Moscow, 2006.

[32] Topaloğlu, İ., Gürdal, O., *İnsansız Hava Araçları İçin Lineer Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Tasarımı Ve Optimizasyonu Elektrik Eğitimi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*. Ankara, 2013.

[33] Daldaban, F., Sarı, V., *Bir Relüktans Fırlatıcının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 58140, Sivas, Vol 30, No 4, 605-614, 2015.

[34] Price, J., H., Fulcher, C.,W., Ingram, M., W., Perkins, D., E., Peterson, D., R., Zowarka, R., C., Pappas, Jr., J., A., *Design And Testing Of Solid Armatures For Large-Bore Railguns. Fourth Symposium on Electromagnetic Launch Technology*. Transactions On Magnetics, Vol. 25, No. 1, 467-473, January, 1989.

[35] Taylor, M., J., *Ignition Of Propellant By Metallic Vapour Deposition For An Etc Gun System Ws4 Land And Weapons Systems*, Defence Evaluation And Research Agency, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 26, 137 – 143, 2001.

[36] Walls, W., A., Weldon, W., F., Pratap, S., B., *Center For Electromechanics, The University Of Texas At Austin M. Palmer Science Applications Intemational Corporation Navy Application Of Electromagnetic. Guns To Future Naval Platforms*, Vol. 35, No. 1, 262-267, January, 1999.

[37] Ghassemi, M., Varmazyar, M., *Stress Analysis Of The Rails Of A New High Velocity Armaturedesign In An Electromagnetic Launcher*. K.N. Toosi University Of Technology, Tehran, Iran International Journal Of Impact Engineering, Vol. 35, 1529-1533, 2008.

[38] Başaydın, M., Elektromanyetik Fırlatıcılar İçin Hız Ve İvme Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gebze, 2009.

[39] Yurt, S., C., Yönlendirilmiş Elektromanyetik Enerji Transferi Ve Gerekli Yüksek Güç İçin Toryum Reaktörler. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

[40] Yamori, A., Kawashima, N., Kohno, M., Minami, S., And Teii, S., *High Quality Railgun Hypac For Hypervelocity Impact Experiments*. Int. J. Impact Engineering, Vol. 20, 829-838, 1997.

[41] Onozuka, M., Oda , Y., Azuma, K., Kasai, S., Hasegawa, K., Fusion Engneen. Design High-Speed Hydrogen Pellet Acceleration Using An Electromagnetic Railgun System, 6 November, 1996.

[42] Machadoa, B., I., Murra, L., E., Martineza, E., Gaytana, S., M., Satapathyb Materials Characterization Of Railgun Erosion Phenomena Department Of Metallurgical And Materials Engineering, The University Of Texas, 2011.

[43] Myersa, S., Ramosa, R., Z., *Application of W-band, Doppler Radar to Railgun Velocity Measurements*. Vol. 58, 369-376, 2013.

[44] Balıkçı, A., High Velocity Linear Induction Launchers International Journal Of Impact Engineering, Gebze Institute Of Technology, Kocaeli, 2008.

[45] Coşkun, I., Kalender, O., Ege, Y., Nazlıbilek, S., Optimization Of Parameters Acting On A Projectile Velocity Within Four Stage İnduction Coil-Gun, Gazi University, Department of Electric-Electronics Engineering, Ankara, 2010.

