

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTROMANYETİK FIRLATICI SİSTEMLERİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Furkan Muhammed KIRIKCI

**TEMMUZ 2023
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTROMANYETİK FIRLATICI SİSTEMLERİN İRDELENMESİ

Elektrik Mühendisi Furkan Muhammed KIRIKCI

ORCID :

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 / 06 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 11 / 07 / 2023

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ
ORCID :

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Ülkelerin vazgeçilmez unsuru olan silah sanayisine savunma amaçlı yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Son zamanlarda ise bu yatırımlar daha çok tahribat gücü yüksek barutlu silahlar yerine kamufle atış imkânı sağlayabilen elektromanyetik fırlatıcı sistemler üzerine yapılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin görevi yerine getirebilmesi ve kullanıcı faktörünü aradan çıkarabilmesi için akademi ve endüstride yer alan kuruluşlarda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında, bu tez çalışmasında elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin irdelenmesi ve literatüre farklı bir bakış açılı kaynak oluşturulması amacıyla tasarım modeli oluşturulmuştur. Modelleme MATLAB/Simulink benzetim ortamında yapılmış olup farklı senaryolar üzerinde değerlendirilmiştir. Bu benzetim modeli DA-DA dönüştürücü, atış modeli ve kontrol modelinden oluşmaktadır. Bu çalışmanın ülkemizde lisans ve lisansüstü alanda çalışma yapacak meslektaşlarıma faydalı olmasını içtenlikle diliyorum.

Bu tez çalışmasında danışmanlığımı yaparak bana bilgi ve düşünceleriyle yol gösteren, bana farklı bakış açıları öğreten, beni destekleyen, ilgi, destek ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ' ye teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam boyunca her daim destek olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ömür AKYAZI' ya, başta Arş. Gör. Ahmet ÇİL, Arş. Gör. Fatih AYDIN, Arş. Gör. Emin MOLLAHASANOĞLU ve Miraç ÖZTÜRK olmak üzere bütün Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan, varlığıyla bana güç veren sevgili eşim Kübra KIRIKCI' ya ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan anne ve babama sonsuz teşekkürler.

Bu tezi sevgili kızıma ithaf ediyorum...

Furkan Muhammed KIRIKCI

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Elektromanyetik Fırlatıcı Sistemlerin İrdelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ’ nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/07/2023

Furkan Muhammed KIRIKCI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tezin Amacı.....	3
1.3. Literatürde Yapılan Çalışmalar	3
1.4. Elektromanyetik Alan Kanunları	8
1.4.1. Ampere Yasası.....	8
1.4.2. Biot-Savart Yasası	10
1.5. Elektromanyetik Fırlatıcı Kuramı.....	10
1.6. Atış Kuramı	12
1.6.1. Yük Bankası	14
1.6.2. Sargılı Tip İvmelendirici Bobin.....	15
1.7. Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Çeşitleri	17
1.7.1. Sargılı Manyetik Fırlatıcılar	18
1.7.2. Raylı Manyetik Fırlatıcılar	19
1.7.3. Hibrit Manyetik Fırlatıcılar	20

1.8.	DA-DA Dönüştürücüler	20
1.8.1.	Flyback Dönüştürücü Modeli	21
1.9.	Sonlu Elemanlar Yöntemi	28
1.9.1.	Dört Yüzlü Eleman (Tetrahedra)	29
1.10.	Akustik Konumlandırma Modeli	30
1.10.1.	Sesin Temel Yapısı	31
1.11.	Varlık Tespit Modeli	32
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	34
2.1.	Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Benzetim Modeli	35
2.1.1.	Şarj Devresi Modeli	37
2.1.2.	Statik Anahtarlar İçin Tetikleme Sinyallerinin Üretilmesi	39
2.1.3.	Atış Modeli	40
2.2.	Akustik Konumlandırma Sistem Modeli	43
2.2.1.	Çapraz İlinti Fonksiyonu	49
2.3.	Görüntü İşleme Modeli	50
2.4.	Hız Ölçüm Modeli	51
2.5.	ANSYS Maxwell Fırlatıcı Sistem Modeli	52
2.5.1.	Modelin Oluşturulması	54
3.	BULGULAR	57
3.1.	Atış Senaryo Sonuçlarının İncelenmesi	57
3.1.1.	Senaryo Modeli 1	57
3.1.2.	Senaryo Modeli 2	61
3.1.3.	Senaryo Modeli 3	62
3.1.4.	Senaryo Modeli 4	64
3.2.	Hedef Tanımlama ve Tespit Algoritmalarının Sonuçları	68
4.	TARTIŞMA	70

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 72

6. KAYNAKLAR..... 74

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ELEKTROMANYETİK FIRLATICI SİSTEMLERİN İRDELENMESİ

Furkan Muhammed KIRIKCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ

2023, 77 Sayfa

Bu tez çalışmasında, savunma sanayisinde önemi gün geçtikçe artan elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin teorik modeli, farklı hedef belirleme yöntemleriyle beraber gerçekleştirilerek teorik parametrelerin etkisinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Gerilim kazancı sağlanarak kondansatörlerin şarj-deşarj edildiği bu sistemde, giriş gerilimi 24 volt ve çıkış gerilimi 100-250 volt olacak şekilde, gerilim kazancı flyback dönüştürücü ile sağlanmıştır. Atış modelinde paralel bağlı bulunan kondansatörler ile yükün depolanması sağlanmış ve MATLAB/Simulink yazılım ortamında yüksek akımlarda atışlar yapılmıştır. Ayrıca bobinin manyetik karakteristiği ANSYS/Maxwell benzetim ortamında gösterilmiştir. Atış modelinin hedefi saptaması için; zaman farkı algoritması ile konumu algılayan akustik konumlandırma sistemi ve görüntü işleme tekniği ile hedef varlığını tespit eden tanımlayıcı yapılmıştır. Oluşturulan model ile yapılan atışlarda 2-65 m/s hızlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Fırlatıcı Sistemler, Manyetik Alan, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Flyback Dönüştürücü, Silah Savunma Sanayi

Master Thesis

SUMMARY

DISCUSSION OF ELECTROMAGNETIC LAUNCHER SYSTEMS

Furkan Muhammed KIRIKCI

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Electrical and Electronics Engineering Graduate Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan KAHVECİ

2023, 77 Pages

In this thesis, the aim is to show the effect of the theoretical parameters of electromagnetic launcher systems, whose importance in the defense industry is increasing day by day, by implementing the theoretical model together with different target determination methods. In this system, where capacitors are charged-discharged by providing voltage gain, the voltage gain is provided with a flyback converter, with an input voltage of 24 volts and an output voltage between 100 and 250 volts. In the firing model, the charge is stored with the parallel connected capacitors and the firing with high currents are done in MATLAB/Simulink software environment. In addition, the magnetic characteristic of the coil is shown in the ANSYS/Maxwell simulation program. For the firing model to detect the target; an acoustic positioning system which detects location using time difference algorithm and an identifier that detects target presence using image processing techniques have been designed. By using the created model, the velocities of 2 to 65 m/s have been reached in the shots.

Key Words: Electromagnetic Launcher Systems, Magnetic Field, Finite Element Method, Flyback Converter, Arms Defence Industry

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Elektromanyetik fırlatıcı sistem temel devresi	2
Şekil 1.2. Ampere kanunu sağ el kuralı	9
Şekil 1.3. Sağ vida kuralı ampere kanunu	9
Şekil 1.4. Biot-Savart yasası tanım yönleri	10
Şekil 1.5. Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin a) Açık modeli, b) Kapalı modeli	11
Şekil 1.6. Fırlatıcı sistem atış modeli	13
Şekil 1.7. Gecikmiş sönümlmeli salınım	16
Şekil 1.8. Aşırı sönümlmeli salınım	16
Şekil 1.9. Kritik sönümlmeli salınım	17
Şekil 1.10. Sargılı tip fırlatıcı temel devre yapısı	18
Şekil 1.11. Raylı tip fırlatıcı temel devre yapısı	19
Şekil 1.12. Flyback dönüştürücü genel devre topolojisi.....	21
Şekil 1.13. Flyback dönüştürücü iletim modu.....	23
Şekil 1.14. Flyback dönüştürücü kesim modu.....	26
Şekil 1.15. Sürekli akım modu akım grafiği.....	27
Şekil 1.16. ANSYS 3D bobin manyetik alan analizi.....	29
Şekil 1.17. Dört yüzlü çözüm elemanı (Tetrahedra)	29
Şekil 2.1. Elektromanyetik fırlatıcı sistem ana şema.....	34
Şekil 2.2. Elektromanyetik fırlatıcı sistemin model akış şeması.....	35
Şekil 2.3. Elektromanyetik fırlatıcı sistem devre ana şeması	36
Şekil 2.4. Flyback dönüştürücü modeli MATLAB/Simulink.....	37
Şekil 2.5. Tetikleme sinyallerinin elde edilmesi	40
Şekil 2.6. Tetikleme Modeli	40

Şekil 2.7. Atış Modeli MATLAB/Simulink	41
Şekil 2.8. Akustik konumlandırma sistem modeli.....	44
Şekil 2.9. Akustik konumlandırma sistemi teorik model akış şeması	45
Şekil 2.10. Akustik konumlandırma sistemi deneysel model akış şeması	47
Şekil 2.11. Audacity silah atış ses sinyalleri	48
Şekil 2.12. ANSYS Maxwell 2D elektromanyetik fırlatıcı tasarımı	53
Şekil 2.13. ANSYS Maxwell 3D elektromanyetik fırlatıcı tasarımı	53
Şekil 2.14. ANSYS program arayüzü ile harici uyarma devresi	55
Şekil 3.1. Senaryo 1 - durum 1 akım grafiği	58
Şekil 3.2. Senaryo 1 - durum 2 akım grafiği	58
Şekil 3.3. Senaryo 1 - durum 1 kondansatör şarj-deşarj gerilim grafiği.....	59
Şekil 3.4. Senaryo 1 - durum 2 kondansatör şarj-deşarj gerilim grafiği.....	59
Şekil 3.5. Senaryo 1 - durum 1 mermi çıkış hızı grafiği	60
Şekil 3.6. Senaryo 1 - durum 2 mermi çıkış hızı grafiği	60
Şekil 3.7. Senaryo 2 - durum 2 akım grafiği	61
Şekil 3.8. Senaryo 2 - durum 2 kondansatör şarj-deşarj grafiği	61
Şekil 3.9. Senaryo 2 - durum 2 mermi çıkış hızı grafiği	62
Şekil 3.10. Senaryo 3 - durum 2 akım grafiği	63
Şekil 3.11. Senaryo 3 - durum 2 mermi çıkış hızı grafiği	63
Şekil 3.12. Senaryo 4 MATLAB bobin akımı.....	64
Şekil 3.13. Senaryo 4 MATLAB mermi hızı.....	65
Şekil 3.14. Senaryo 4 ANSYS mermiye etki eden kuvvet	65
Şekil 3.15. Senaryo 4 ANSYS bobin akımı	65
Şekil 3.16. Senaryo 4 ANSYS mermi hızı	66
Şekil 3.17. Senaryo 4 ANSYS electronics manyetik akı yoğunluğu analizi.....	67
Şekil 3.18. Senaryo 4 ANSYS electronics manyetik akı analizi	67

Şekil 3.19. Akustik konumlandırma modeli koordinat eksen sonuçları.....	68
Şekil 3.20. İnsan tespit sistemi çıktı görüntüsü	69



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Flyback devre parametreleri.....	39
Tablo 2.2. Senaryo 1 atış modeli parametreleri.....	42
Tablo 2.3. Senaryo 2 atış modeli parametreleri.....	42
Tablo 2.4. Senaryo 3 atış modeli parametreleri.....	42
Tablo 2.5. Senaryo 4 atış modeli parametreleri.....	43

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
μ	Mikro
μ	Manyetik Bağlı Geçirgenlik
A	Amper
AA	Alternatif Akım
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
C	Sığa
D	Doluluk Oranı
d(x)	Diferansiyel Değişken
DA	Doğru Akım
E	Enerji
F	Farad
F	Kuvvet
FEA	Finite Element Method
F _s	Anahtarlama Frekansı
gr	gram
H	Manyetik Alan Şiddeti
Hz	Hertz
I	Akım
l	İletken Boyu
L	Endüktans
m	Metre
MOSFET	Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
N	Sarım Sayısı
P	Güç
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
Q	Coloumb
r	Yarıçap

R	Direnç
RMS	Efektif Değer
S	Kesit Alanı
sn	Saniye
v	Hız
V	Volt
V _Ç	Çıkış Gerilimi
W	Watt
YOLO	You Only Look Once
π	Pi Sayısı
Ω	Ohm

1. GENEL BİLGİLER

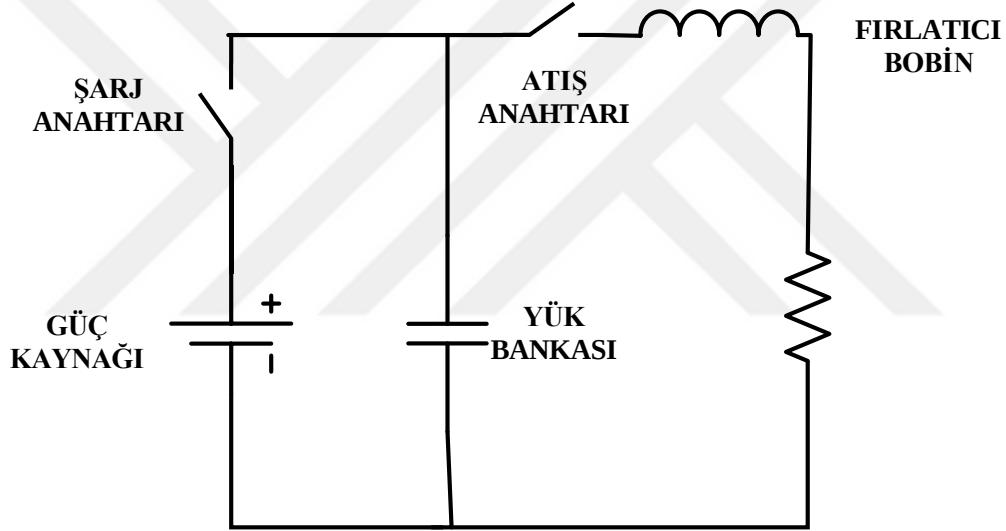
1.1. Giriş

14. yüzyıl' dan itibaren silah sistemlerinde yaşanan gelişmelerle tahribat sistemi insan gücünden kimyasal etkiye geçmiştir. Ok ve yay sistemleri yerine kimyasal tepkimelerle tahribat sağlayan silah sistemleri tarihte kendini göstermiş ve toplumların kaderini belirlemiştir. Ateşli sistemlerde elde edilen mermi hızları saniyede birkaç yüz metre/saniyedir [1]. Daha yüksek mermi hızları elde edebilmek için tepkimeye giren kimyasal madde oranı arttırılmalı ve daha yüksek sıcaklıklara dayanım elde edilmelidir. Bu iki faktör ateşli silahlarda mermi hızını sınırlamaktadır. Ayrıca kimyasal tepkime kaynağının maliyeti ve sistemin bakım masrafları yeni bir teknolojinin açığa çıkma ihtiyacını doğurmuştur. Bu aşamada tarih sahnesine elektromanyetik fırlatıcı sistemler çıkmaktadır. Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerini sadece silah sanayi sektöründe düşünmek ve değerlendirmek doğru değildir. Bu sistemleri elektromanyetik top, uçak fırlatma, hyperloop ulaşım ve uydu fırlatma alanlarında da değerlendirmek gerekir; ancak bu sistemlerin ortak özelliği düşük veya yüksek kütleli nesnelerin hızlandırılması için elektromanyetik kuvvetin kullanılmasıdır [1]. Dünya kaynaklarının gün gittikçe tükendiği bu günlerde insanoğlunun en temel ihtiyacı olan savunmanın ve ulaşımın kimyasal tepkimelerden bağımsız bir şekilde yapılacak olması konunun önemini açığa çıkarmaktadır.

Endüstride yer alan elektrik ve elektronik tabanlı sistemlerin temeli pasif elemanlar olan direnç, kondansatör ve bobinin birbirleriyle olan bağlantılarından meydana gelmektedir. Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin temel mantığı ise kondansatörün uçlarında meydana gelen gerilim değişimine bağlı olarak üzerinde yükün depolanması ve kondansatörlerde depolanan bu yükün bobin üzerinde ani olarak harcanmasına dayanarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemler güç kaynağı ile entegre güç devresi, fırlatma enerjisini sağlayan yükü depolayacak yük bankaları, hızlandırıcı endüktif elemanlar ve sistemi kontrol eden sürme devrelerinden oluşmaktadır.

Tarihteki ilk elektrikle çalışan silah Amerika Birleşik Devletleri' nde Benningfield tarafından 1844 yılında SIVA ismi ile ortaya çıkmıştır [2]. İlk çalışma birkaç gramdan daha ağır kütlelerin yüksek hızlarla fırlatılabileceğini göstermek için yapılmıştı [3]. ABD Ordusu ve İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA) tarafından gerçekleştirilen ilk başarılı

fizibilite gösterimi ardından ABD' nin çalışmaları manyetik olarak kaldırılan trenleri içeren manyetik tahrik, elektromanyetik mancınıklar (katapult) kullanılarak uçakların fırlatılması, metallerin uzaya fırlatılması, küçük mermilerin aşırı yüksek hızlarda fırlatılması, füzyon reaktörleri için yakıt elde etmek amacıyla eritilerek elde edilen ufak topların hızlandırılması vb. birçok konuda yaygınlaşmıştır [4]. Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin gelişimi 19.yüzyıl' dan itibaren daha da hızlanmış ve kullanım amacına bağlı olarak teorik alt yapısı değiştirilmiştir. Düşük boyutlu nesnelerin fırlatılmasıyla başlayan süreçte seri sargılı fırlatıcılar; daha sonra yüksek boyutlu nesnelerin fırlatılmasıyla başlayan süreçte raylı levha tip fırlatıcılar kullanılmaya başlanmıştır; ama iki tip fırlatıcının da teorik devresi benzerdir. Şekil 1.1' de elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin temel devresi gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Elektromanyetik fırlatıcı sistem temel devresi

Güç kaynağı ile yük bankasında bulunan kondansatörler şarj edilir ve yük bankasının uçları arasında bulunan gerilim pasif elemanlar olan direnç ile bobin üzerinden deşarj edilir. Bobin üzerinde meydana gelen anlık akım değişimi; manyetizmanın temel kanunlarından ampere yasası sayesinde değişken bir manyetik alan meydana gelir ve bu alan manyetik geçirgenliği olan kütle üzerinde manyetik kuvvet oluşturarak fırlatma işlemini gerçekleştirir.

Sargılı tip elektromanyetik fırlatıcılar mermi kütlesinin düşük olması ve atışın yüksek hızda olması ihtiyacı nedeni ile silah sanayisi tüfek sektöründe kullanılmaktadır. Fırlatıcı sistemlerin avantajları; barutlu silahların ateşleme sırasında meydana getirdiği barut patlama izinin olmaması, ateşleme esnasında sürtünmeden dolayı sisteme zarar vermemesi, sessiz

atış imkânı sağlaması ve bakım ihtiyacının düşük olmasıdır. Dezavantajları ise barutlu silahlardaki tahribat gücünü sağlayamaması, barutlu silahlara göre daha fazla bileşen bulundurması nedeniyle arıza ihtimalinin yüksek olması ve yüksek menziller sağlayamamasıdır.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında sabit DA gerilim kaynağından DA-DA dönüştürücü üzerinden güç sağlayan sargılı tip elektromanyetik fırlatıcı üzerinde parametrelerin etkisi irdelenmiştir. İrdelenen modelde kaynağın sürekli olarak kullanılmaması için görüntü işleme tekniği ile hedef varlığını tespit eden tanımlayıcı kullanılmıştır. Ayrıca varlığı belirlenen hedefin atış mesafesine girdiğinde sistemin aktif olmasını sağlayan akustik konumlandırma sistemi modellenmiştir. Bu modelin amacı, özellikle savunma amaçlı bölgelere yapılan saldırıların anında otomatik ve hızlı bir şekilde tespit edilerek; saldırıyı gerçekleştiren unsurlara karşı, taktik strateji üstünlüğünün sağlanması ve operatörsüz müdahale edilmesi imkanının sağlanmasını sağlayan akustik konumlandırma sistemi hakkında irdeleme yapmaktır. Literatürde sistemin çalışmasına etki eden parametrelerin gösterilmesine ek olarak sistemin görevi gerçekleştirmesine yardımcı olacak teknikler modellenerek anlatılmıştır. Çalışmada bir manyetik fırlatıcının verimine ve tahribat gücüne etki eden parametreler ile görevi yüksek doğruluk oranı ile gerçekleştirmesine yardımcı olacak modellere etki eden parametrelerin benzetim ortamında çıktıları oluşturulmuştur.

1.3. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Tahribat gücü olan mermileri fırlatma işlemi 1300' lü yıllarda kimyasal tepkimeler metoduyla başlamıştır. Bu teknik ile elde edilen silahların hızları saniyede birkaç yüz metreyi bulmuştur. Daha sonra gelişen teknoloji ile tepkimeye giren maddenin yoğunluğu ve malzeme sıcaklık dayanımı artırılmış ve hız belirli bir limite ulaşmıştır. Bu limitten dolayı kimyasal fırlatıcı sistemlerin hız sınırlamalarının ve diğer sakıncalarının üstesinden gelmek için elektromanyetik fırlatıcılar geliştirilmiştir [5].

İlk bilimsel çalışmalardan biri 1845 yılında Dr. Charles G. Pages tarafından Washington' da yapılmıştır [6]. Charles bu çalışmada çelik ve demir çubuklar fırlatmıştır.

Daha sonra Kristian Birkeland tarafından Norveç’ te 1900’ lü yılların başında yayınlanan bir çalışma yapılmıştır. Birkeland’ ın çalışmaları Egeland tarafından 1989 yılında “Birkeland’ s Electromagnetic Gun: A Historical Review” adıyla literatüre kazandırılmıştır [7].

Birinci dünya savaşının aktif olarak yaşandığı 1916 yılında ise Fransa’ da Fauchon-Villeplee ray silahı çalışmalarına başlamıştır. Fauchon-Villeplee’ nin çalışmaları kitap haline getirilmiş ve yayınlanmıştır [8]. Bu kaynakta DA raylı tip elektromanyetik fırlatıcının prensipleri anlatılmıştır.

Engel ve arkadaşları 2001 yılında tüfek kalibreli raylı tip elektromanyetik fırlatıcının tasarımını gerçekleştirmiştir. 0.5 ile 1 gram arasındaki kütleli mermilerin donanım şekline göre performanslarını incelemişlerdir. Yük bankalarını 450 V ile şarj edip, raylarda 15 kA elde etmişlerdir. Raylardan çıkan mermi hızı 450 m/s olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada Engel ve arkadaşları klasik bir raylı fırlatıcıda merminin maddesel özelliği üzerinden performans incelemesi gerçekleştirmiş ve malzeme geçirgenliğinin etkisini ortaya koymuştur [9].

Dijk ve arkadaşları 2001 yılında tekrarlanan atış görevli raylı tip fırlatıcılarda rayın sistem verimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Raylı tip fırlatıcılarda tekrarlı atış sırasında ortaya çıkan ısı enerjisinden dolayı sistem veriminde düşme olduğunu savunmuşlar ve soğutmalı bir sistem incelemişlerdir. Böylelikle darbeli güç kaynağının enerji yoğunluğunun azaltılabileceğini savunmuşlardır [10].

Akyazı 2006 yılında gerçekleştirdiği tez çalışmasında AA şebeke tabanlı bir güç kaynağı ile seri sargılı bir manyetik fırlatıcı tasarlamıştır. Tasarladığı sistemde sargının özgül kuvvetine etki eden parametreleri göstermiştir. Çalışmasında kullandığı kapasite değerinde paralel bağlantı ile yük artırımını sağlamış ve düşük gerilimde atış imkanını göstermiştir. Mermi malzemesinin hıza olan etkisi ile yarı iletken anahtarlama elemanlarının anahtarlama değerlerinin sistem parametrelerinde temel etken olduğunu savunmuştur [11].

Thomas G. Engel ve arkadaşları 2010 yılında meydana gelen özgül kuvvete etki eden parametreleri incelemişlerdir. Çalışmasında seri sargılı, raylı ve hibrit fırlatıcılardaki endüktans değerinin kuvveti oluşturan akıma etkisini ve akımın da kuvvete olan etkisini teorik olarak incelemiştir. Sonuç olarak özgül kuvvetini akımın doğrusal olmayan bir fonksiyonu olduğu için bobin endüktans değer ve akım arasında akımın artırılmasının kuvvete etkisinin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir [12].

Ahmadali Khatibzadeh ve arkadaşları 2013 yılında sargılı bir fırlatıcı tasarımı gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu, mermi boyutu

ve sargı akımının bobin tasarımındaki etkilerini incelemiştir. Mermi ile namlu arasında yer alan hava aralığını azaltarak mermi hızının artırıldığını göstermiştir. Bu aşamada en verimli sonucu mermi ile bobin arasındaki uzunluk farkını artırarak saptamıştır. Merminin manyetik akı yoğunluğu arttıkça hızının arttığını göstermiştir [13].

Abdo ve arkadaşları 2016 yılında tek kademe sargılı tüfek modelinde bir elektromanyetik fırlatıcının tasarımına etki eden parametrelere ek olarak, pozisyon parametrelerini de incelemiştir. Fırlatıcı sistemin fırlatma işlemini maksimum hızda yapabilmesi için kondansatör gerilimi ile mermi konumu arasında bir bağıntı olduğunu savunmuştur. Bunun için farklı pozisyonlara göre hız deneyi gerçekleştirmiştir. Hızlandırıcı sargı üzerinde sönmölen farklı darbe akımları ve mermi ilk pozisyonları arasında bir yorum getirmiştir. Abdo' ya göre yüksek akımlarda yapılan atışlarda merminin namlu içerisinde daha fazla yer alması gerektiğini, ancak pozisyonun kondansatör gerilimine göre hesap edilmesi gerektiğini göstermiştir [14].

Ege ve arkadaşları 2016 yılında mekanik tetik desteği bulunmayan, optik sensör kontrollü sarmal sargılı elektromanyetik fırlatıcı tasarım çalışması gerçekleştirmiştir. Bobinlerin tetikleme sürelerini değiştirerek mermi performansı üzerinde etkisini incelemiştir. Tetikleme süresi azaldıkça bobinde meydana gelen anlık değişimin artmasından dolayı hızda artış meydana geldiğini ispatlamıştır. Aynı zamanda manyetik geçirgenliği yüksek olan mıknatıs karakteristikli merminin boyu ve çapı artırıldığında akı yoğunluğunun ve mermi hızının azaldığını ispatlamıştır [15].

Wang ve arkadaşları 2016 yılında temel yapı bir fırlatıcıda tetikleme süresinin sistem verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada doğrusal enterpolasyon metodunu kullanarak ölçülen hızı denetleyicide kontrol etmiştir. Sabit mermi hızı elde edebilmek için paralel atış üniteleri oluşturarak bir önceki referans hız verisini işleyip bu üniteleri anahtarlamaaktadır. Sonuç olarak tetikleme zamanlarını enterpolasyon döngüsü içerisinde kontrol edilerek sabit hızlı atış yapılabileceğini göstermiştir [16].

Cun ve arkadaşları 2017 yılında birden fazla seri bağlantılı sargılı fırlatıcıdaki bobinlerin enerji verilme zamanlarının sistem üzerindeki etkisini incelemiştir. Altı adet seri sargılı yapı ile çoklu armatür sürecini analiz etmiştir. Armatürler arasında yer alan kuplaj etkisini bir adet seri sargı ve beş adet seri sargılar arasındaki hız farkından ortaya çıkarmıştır. Çalışmasında deneysel olarak çoklu seviye armatürlerde, armatüre gelen akımın anahtarlama sürelerinin ayarlanmaması durumunda mermi hızının düştüğünü göstermiştir. Birinci

sargıda yer alan merminin başlangıç pozisyonu ve manyetik akısının kesinlikle göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermiştir [17].

Dong ve arkadaşları 2018 yılında çoklu armatürler ile çoklu alan içeren bir fırlatıcı modeli çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın geleneksel fırlatıcılarda yer alan eksenel itme kuvvetinin ve hızın az olması problemini çözebileceğini savunmuştur. Ancak fırlatıcı sistemin çoklu alanda karmaşık bir yapıda olması nedeniyle yük kaynağı olan kondansatörlerin deşarj parametrelerinin hassaslıkla ayarlanması gerektiğini de belirtmiştir. Çalışmasında kondansatör gerilimi ve sığa değerlerinin artırılmasının çıkış hızına olumlu bir etkisi olduğunu; ancak sistem verimine olumsuz bir etki yapabileceğini göstermiştir. Çünkü çoklu armatür yapısında mermi hızı armatür sayısına bağlı olarak artmakta olup, armatürlerin anahtarlama süresi ise oldukça azalmaktadır. Uygun kontrol yönteminin uygulanmamasının sistem üzerindeki etkisini deneysel olarak göstermiştir. Sonuç olarak şarj süresinin kısaltılması ve anahtarlama süresinin uygun aralığa getirilmesi için kondansatörlerin gerilim değerlerinin artırılması, sığa değerlerinin düşürülmesini savunmuştur [18].

Örgüç 2019 yılında gerçekleştirdiği tez çalışmasında, sargılı tip elektromanyetik fırlatıcıyı şebeke tabanlı AA kaynağı ve doğrultucu grubu güç devresi ile beslemiştir. Bu tez çalışmasında değişken olarak yük bankasının gerilim değerini belirlemiştir. Yük bankasındaki kondansatörler seri bağlandığında gerilim değerini artıracığından dolayı atış hızının daha yüksek olacağını savunmuştur. Ayrıca tasarladığı sistemde, mekanik parçaların sistem hızını sürtünme ve manyetik geçirgenlik faktörleri yüzünden etkilediğini eksiklik olarak belirtmiştir [19].

Fan ve arkadaşları 2020 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, yüksek anlık gerilim darbelerinin sistem elemanları üzerindeki olumsuz etkisini yok etmek amacıyla toroidal bağlı bir armatür üzerinde optimizasyon yöntemi ile asenkron darbe deşarj yöntemini önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada asenkron darbe ile senkron darbe deşarj yöntemlerinin arasında büyük bir fark olmadığını görmüştür. İki darbe yöntemi arasındaki girdap akım kaybı farkının fazla olmadığını görmüşlerdir. Asenkron darbe deşarj yönteminin çıkış hızı üzerinde meydana gelebilecek dalgalanmaları azaltabileceğini yeni önerileri ve çalışma planları olarak duyurmuşlardır [20].

Liang ve arkadaşları 2021 yılında fırlatıcı sistem üzerinde yer alan ters kuvvet etkisinin bastırılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Sistem üzerinde yer alan sönümleyici direncin etkisinin varlığını ispatlamış ve meydana gelebilecek ters kuvvetin bastırılması için iki farklı

yöntem önermiştir. Bunlar açık devre anahtarlama ve tüketim direnci değerinin düşürülmesidir. Fırlatma bobininde ters kuvvet meydana geldiği aralıkta bobini açık devre durumuna geçiren Liang, sistem üzerinde meydana gelen ani akım değişim nedeniyle yüksek gerilim indüklendiğini görmüş ve bu yöntem yerine tüketim direnci değerinin bu aralıkta düşürülerek ters kuvvet süresinin azaltılması gerektiğini savunmuştur [21].

Magdy ve arkadaşlarının 2022 yılında Japonya’da gerçekleştirdiği çalışmada ise temel yapı bir fırlatıcıda fırlatma sargısının sarım geometrisinin konik biçimde oluşturulduğundaki performansını incelemiştir. Yaptığı çalışmada farklı gerilim örnekleme değerlerinde konik biçimde sarımın performansı artırdığını gözlemlemiştir. Ayrıca mermi ile sarım arasında artan endüktans farkının hızı artırdığını deneysel uygulama ile savunmuştur [22].

Lu ve arkadaşları 2022 yılında sonlu elemanlar yöntemi (FEA) kullanan paket programların bir boyutlu tasarım hesaplamalarında kullanılan modelinin manyetik doyum ve aplikasyon durumlarını kabul etmediği için doğru olmadığını savunmuş ve kendi matematik modelini oluşturmuştur. Oluşturduğu model algoritmik, devre ve kinematik parametreler içerdiğinden dolayı; hesaplama sürecinin daha net ve mermi hızını etkileyecek olan hava direnci ve sürtünme gibi faktörlerin algoritmaya kolay bir şekilde eklenebildiğini göstermiştir. Ancak oluşturduğu modelin tek seviyeli fırlatıcılarda geçerli olduğunu da eksiklik olarak belirtmiştir [23].

Zhao ve arkadaşları 2023 yılındaki çalışmasında mermi konumunun direnç ve endüktans gradyanları cinsinden eşdeğerinin, fırlatma mekanizması üzerinde hassas bir analitik yaklaşım gerektirdiğini savunmuştur. Ayrıca darbeli güç kaynağındaki enerjinin atış sonrasında sisteme tekrar kazandırılabilmesi için bir köprü diyot sistemi sunmuştur. Şarj ve deşarj esnasında gerilimin sönümlenmesini diyot sayesinde 4 adımlı iletim yolu ayarlamıştır. Yaptığı deneysel çalışmada fırlatıcı verimini %2 artırdığını ispatlamıştır [24].

Wan ve arkadaşlarının 2023 yılında raylı elektromanyetik fırlatma sistemlerinde aşınmanın azaltılması üzerine çalışmıştır. Rayın üzerinde belirlenen soğutma kanallarından geçirilen su ile soğutma sağlanmakta ve aşınma miktarı düşürülmektedir. Ancak yapılan çalışmada kanalların konumunun ray endüktansı üzerinde ters etki bıraktığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı soğutma kanallı ve soğutma kanalsız iki farklı FEA analizi gerçekleştirilerek, ray üzerindeki sönümleme frekansının artırılmasının suyun endüktans üzerindeki etkisini azalttığını gözlemlemiştir [25].

1.4. Elektromanyetik Alan Kanunları

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin çalışma kuramını anlayabilmek için elektromanyetik alan ve elektromanyetik kuvveti oluşturan kanunları bilmek gerekir. Amper kanunu ve Biot-Savart kuvvet kanunu bu bölümlerde incelenecektir. Bu kanunların benzetim sonuçları bobin analizi kısmında gösterilecektir.

1.4.1. Ampere Yasası

Amper kanunu elektromanyetik alanı açıklayan kanundur. 1819 yılında Oersted deneysel olarak akım ile elektromanyetik alan arasındaki ilişkinin varlığını ispat etmiştir. Bu deney aşağıda anlatılmaktadır:

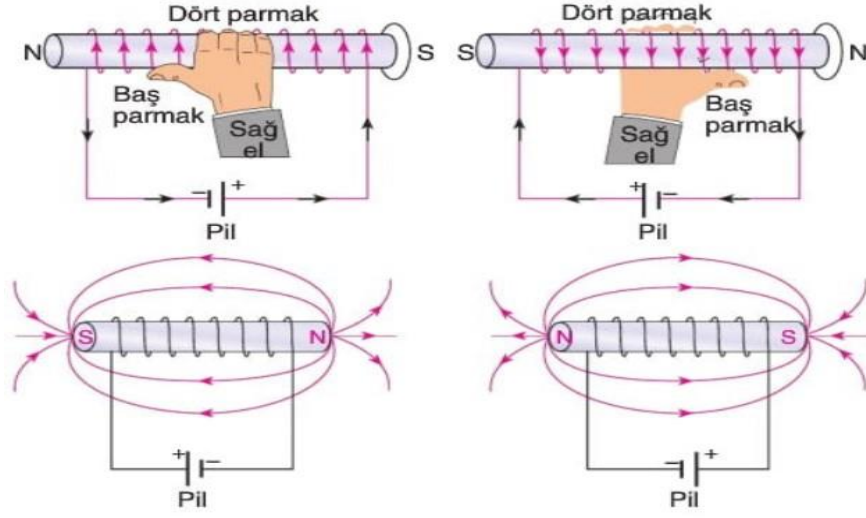
Üzerinden akım geçen bir iletkenin yakınına pusula konulduğunda pusulanın ibresinde sapma meydana gelmektedir. Bu sapma iletken etrafında manyetik alan olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca iletkenin üstüne yerleştirilen pusulanın gösterdiği yön ile, pusulanın iletkenin altına konması halinde gösterdiği yönlerin birbirine zıt olması, manyetik alanın iletken etrafında iletkenle dik açıda bulunan bir düzlemde meydana geldiğini göstermektedir.

Pusulanın ibresinde meydana gelen sapmanın nedeni elektromanyetik alandır. Bu alan iletken üzerinde meydana gelen hareketli elektronlar sayesinde oluşmaktadır. İletken üzerinden geçen akımın değeri ve iletkenin sarım sayısı ile oluşan manyetik alan arasında doğru orantı bulunmaktadır. Eşitlik 1.1' de şekil 1.2' de yer alan kanunu açıklayan denklem verilmektedir.

$$\int H \cdot dl = N * I \quad (1.1)$$

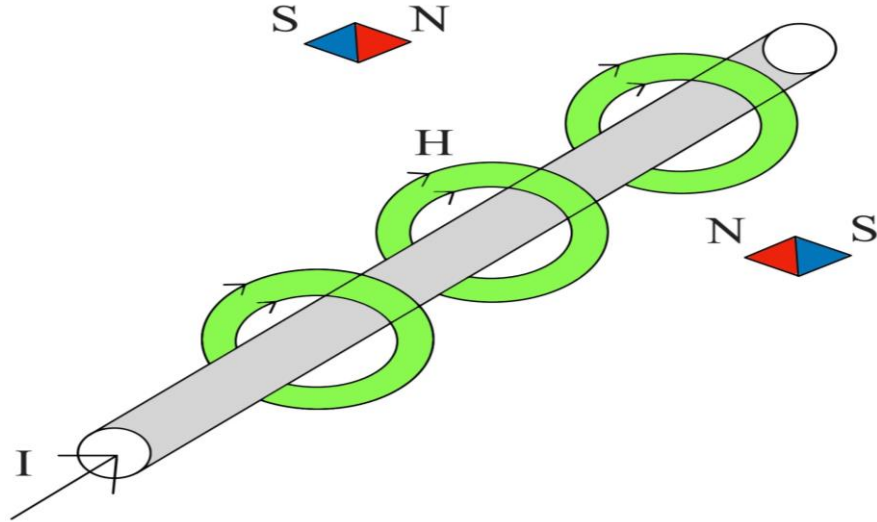
Burada H manyetik alan şiddetini (A/m), dl diferansiyel iletken uzunluk elemanını (m), N sarım sayısını ve I ise bobin akımını (A) sembolize etmektedir. İletken boyunca meydana gelen manyetik alan şiddetinin toplamı, sarım sayısı ile akımın çarpımına eşittir.

Akım ile manyetik alan yönleri iki farklı yöntemle bulunabilir. Bunlardan biri sağ el kuralıdır. Bu yöntemde sağ elin başparmağı akımın yönünü, geri kalan dört parmak ise manyetik alanın yönünü göstermektedir. Şekil 1.2' de sağ el kuralı gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Ampere kanunu sağ el kuralı [26]

Diğer yöntem ise “sağ vida” kuralıdır. Bu yöntemle göre sağ vidanın ilerleme yönü akım yönünü, dönüş yönü ise manyetik alan yönünü işaret eder. Sonuç olarak bir iletkenin akım geçirilirse etrafında manyetik alan meydana gelmektedir. Aynı şekilde iletken manyetik alan verildiğinde de iletken üzerinde bir akım meydana gelmektedir. Şekil 1.3’ de manyetik alan ve pusulanın sapması açık bir şekilde görünmektedir.



Şekil 1.3. Sağ vida kuralı ampere kanunu

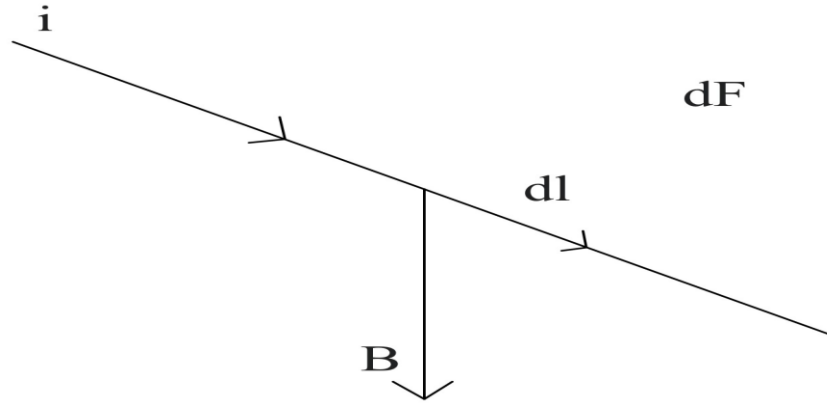
1.4.2. Biot-Savart Yasası

Değişken dl uzunluğundaki iletkenin üzerinden I kadar akım geçirilirse bu telden r kadar uzaklıktaki bir Z noktasında meydana gelen değişken manyetik akı yoğunluğu dB ; akım ve değişken uzunluk ile doğru, uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Bu kanun Biot-Savart olarak adlandırılır ve eşitlik 1.2' de verilmektedir [27].

$$d\vec{B} = \frac{\mu \cdot I}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (1.2)$$

Meydana gelen değişken manyetik akı yoğunluğunun içerisine yerleştirilen bir iletkenin akım geçirildiğinde de iletkeni bir kuvvet etki eder. Bu kuvvet ise iletkeni manyetik alan içerisinde hareket ettirmeye çalışır. İletkene etki eden F kuvvetinin Newton biriminden değeri ise eşitlik 1.3' te, yönü ise şekil 1.4' de verilmektedir.

$$F = (B \times l) \cdot I = \frac{\Phi}{S} \cdot I \cdot l \quad (1.3)$$

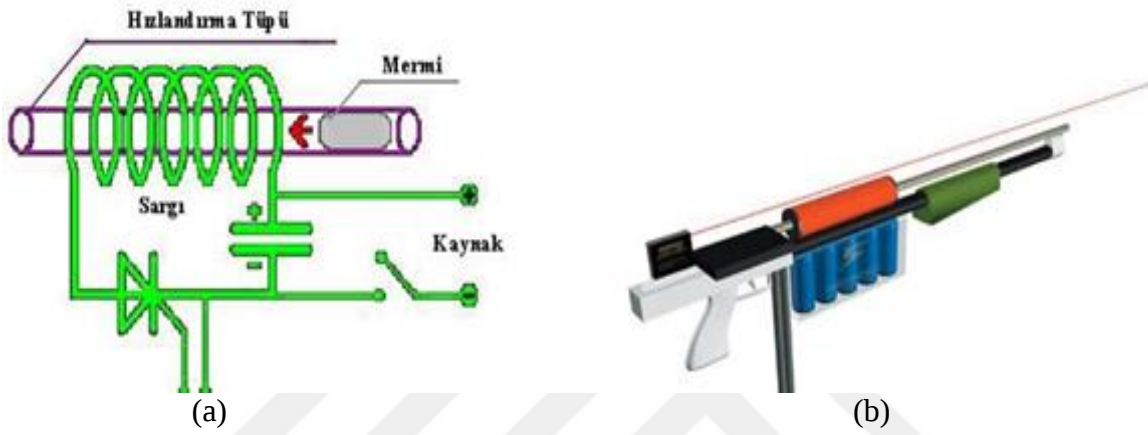


Şekil 1.4. Biot-Savart yasası tanım yönleri

1.5. Elektromanyetik Fırlatıcı Kuramı

Amper, Biot-Savart ve Maxwell denklemleri elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Genliği veya konumu zamanla değişen bir manyetik alan içerisinde manyetik geçirgenliği yüksek olan nesne manyetik alanın genliğinin en yüksek

olduğu noktayı takip ederek yol alması elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin kuramını anlatmaktadır. Kuramsal olarak elektromanyetik alanın hareket etme hızında bir sınır olmadığı için itici kuvvetin hızına ulaşması beklenen durumda, hızlandırılan nesne için de bir hız limiti yoktur. Bu tip uygulamaları bu denli ilginç kılan özellik gelişmeye açık olmasıdır. Şekil 1.5’ de basit bir elektromanyetik fırlatıcının açık ve kapalı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin a) Açık modeli, b) Kapalı modeli [28]

Devrede yer alan pasif kondansatör elemanının üzerinde depolanan yüke bağlı olarak meydana gelen akımın bağıntısı eşitlik 1.4’ de verilmektedir. Kondansatör üzerinde meydana gelen zamana bağlı gerilim değişimi ile sığası ile doğru orantılı olacak şekilde kondansatör içerisinde bir yük depolanacaktır. Bundan dolayı yük bankası denilmektedir. Depolanan yük anahtarlama ile pasif eleman bobin üzerinde sönmünecektir. Kondansatörlerin deşarj olması ile bobin üzerinde akım oluşturulur. Pasif eleman bobin elemanının üzerinde meydana gelen akım değişimine bağlı olarak indüklenen gerilimin bağıntısı eşitlik 1.5’ de verilmektedir. Bobin üzerinde meydana gelen zamana bağlı akım değişimi ve endüktans değeri ile doğru orantılı olacak şekilde bobin üzerinde bir gerilim indükleneyecektir. Eşitlik 1.4’ e göre ($t=1$) zamanında üzerinde yük depolanan kondansatörün uçları arasında bir gerilim değeri bulunmaktadır. Bu gerilim eşitlik 1.5’ e göre bobin üzerinde çok kısa bir dt zamanında sönmünecek olursa bobin üzerindeki di değeri oldukça yüksek olacaktır.

$$i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} \quad (1.4)$$

$$V_L = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (1.5)$$

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerde gerçekleştirilen atışlar kondansatör ile bobinin anahtarlanması ile yapılmaktadır. Elektromanyetik fırlatıcı sistemler güç kaynağı, doğrusal hızlandırıcı ve atış kontrol sisteminden meydana gelmektedir. Elektromanyetik fırlatıcı sistemler yapısı itibarıyla üçe ayrılmaktadır.

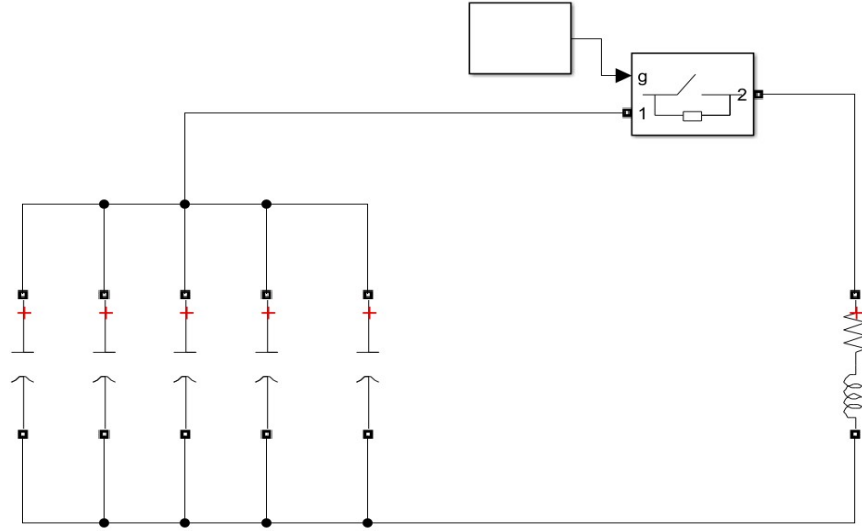
- Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Raylı Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Karma (Hibrit) Elektromanyetik Fırlatıcılar

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin hızlandırıcı armatür yapısına göre çeşitlerini anlatmadan önce, fırlatma sistemlerin atış kuramının anlatılması gerekmektedir.

1.6. Atış Kuramı

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin atış modelinin temeli sönümlü osilatör devrelerine dayanmaktadır. Şekil 1.5' de yer alan açık modeldeki kondansatörlerin şarj devresi aracılığı ile kaynak üzerinden şarj edilmesi gerekmektedir. Yük ile depolanan kondansatörler atış modelinde yer alan hızlandırıcı endüktans üzerinde sönümlenecektir.

Sönümlü bir osilatör döngü içerisinde bulunan ve zamanla kaybolan tepkiye sahip devredir. Bu devrelerin diğer adı RLC devresi olarak geçmektedir. Ancak sönümlenmenin vereceği tepki elektromanyetik fırlatıcılar için önemlidir. Çünkü hızlandırıcı bobin içerisinde yer alan mermiye tek yönde kuvvet etki etmesi gerekmektedir. Kuvveti oluşturan temel etken olan akımın tek bir alternansta meydana gelmesi gerekmektedir. Şekil 1.6' da sargılı fırlatıcının eşdeğer devre atış modeli verilmektedir.



Şekil 1.6. Fırlatıcı sistem atış modeli

Şekil 1.6’ da verilen modelde bulunan anahtar $t=0$ anında kapandığında kondansatör içerisinde bulunan yükler hızlandırıcı sargı üzerinden boşalacak ve bobin üzerinde ivmelendirici bir manyetik alan meydana getirecektir. Eşitlik 1.6 ve 1.7’ de sönümlmeye ait gerilim ve akım denklemleri verilmektedir.

$$I(t) = \frac{V_o}{\beta \cdot L} \cdot e^{\alpha \cdot t} \cdot \sin \beta t \quad (1.6)$$

$$V_o(t) = V_o \cdot e^{-\alpha t} \cdot \cos \beta t \quad (1.7)$$

Burada yer alan α ve β sönümlenme zamanını belirleyen eşitlikler olup, eşitlik 1.8 ve 1.9’ da verilmektedir.

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad (1.8)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L}} \quad (1.9)$$

Sonuç olarak elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin atış performansını belirleyen devre parametrelerinin kondansatör, direnç ve bobine ait olduğu anlaşılmaktadır. Burada yükü

sağlayan kondansatör ile mermiye ivme kazandıran bobinin çalışma karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

1.6.1. Yük Bankası

Fırlatıcı sistemlerde genellikle paralel bağlı şarj kondansatörleri kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde paralel bağlantı ile şarj; seri bağlantı ile deşarj yapılsa da sistem performansı ve güvenilirliği açısından uygun bulunmamaktadır. Seri bağlantı esnasında kondansatör yönlerinin oluşturabileceği etki güvenliği; sığa değerinin düşmesi ile gerilim seviyesini artırmasının ise performansa etkisi göz önüne alınmalıdır.

Kondansatör DA devrelerinde enerji depolama amacıyla kullanılan bir malzemedir. Kondansatörün uçlarında depolanan gerilim, sistemde akustik konumlandırma sisteminden gelen veri ile ivmelendirici sargılar üzerinden boşalmaktadır. Kondansatörlerde depolanacak olan yük eşitlik 1.10' da verilmektedir.

$$Q = C.V \quad (1.10)$$

Burada Q elektrik yükünü (Coloumb), C kondansatörün sığa değerini (Farad) ve V ise gerilim değerini (Volt) sembolize etmektedir. Kondansatörlerde paralel bağlantı esnasında sistemin sığası eşitlik 1.11' de; seri bağlantı esnasındaki sığa ise eşitlik 1.12' de verilmektedir.

$$C_{eş} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (1.11)$$

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (1.12)$$

Kondansatörlerin üzerinde meydana gelen potansiyel enerji eşitlik 1.13' de verilmektedir.

$$E = \frac{1}{2}.C.V^2 \quad (1.13)$$

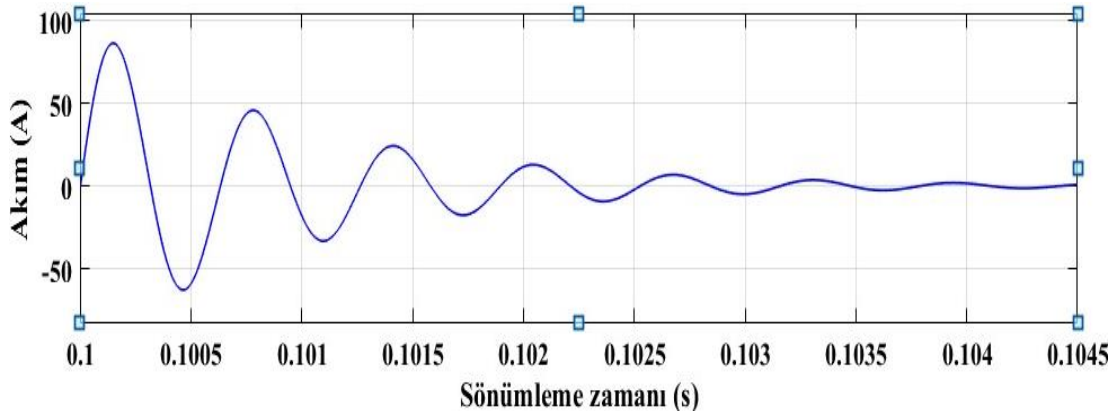
Burada önemli olan kondansatörün plakaları arasında depolanan enerjiyi yüksek tutmaktır. Bundan dolayı C ve V arasındaki parametre seçimini dikkatlice yapmak gerekir. Paralel bağlantıda sığa değeri artarken gerilim değeri sabit kalmaktadır. Bundan dolayı yük bankası paralel bağlantı ile oluşturulmaktadır. Bu sistemde 10 adet kondansatör içeren yük bankası oluşturulmuştur.

1.6.2. Sargılı Tip İvmelendirici Bobin

Kondansatör üzerinde depolanan yükün bobin üzerine aktarılmasını verimli şekilde yapabilmek için RLC devresindeki devre parametrelerini hesaplamak gerekmektedir. Sargı aracılığıyla meydana gelen manyetik alanın mermi üzerinde ivmelendirici etki sağlaması için, bobin üzerinde meydana gelen akım değişiminin yarım periyotta meydana gelmesi gerekmektedir; bobinin yarım periyodundan sonra mermi üzerine ters kuvvet etki edecektir. Aynı zamanda ivmelendirme oranı sargı üzerinde meydana gelen akım ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı devre reaktans değerinin en düşük olduğu rezonans durumu baz alınmalıdır. Bu durum dikkate alınarak sönümlenme zamanını eşitlik 1.14' den hesaplayabiliriz.

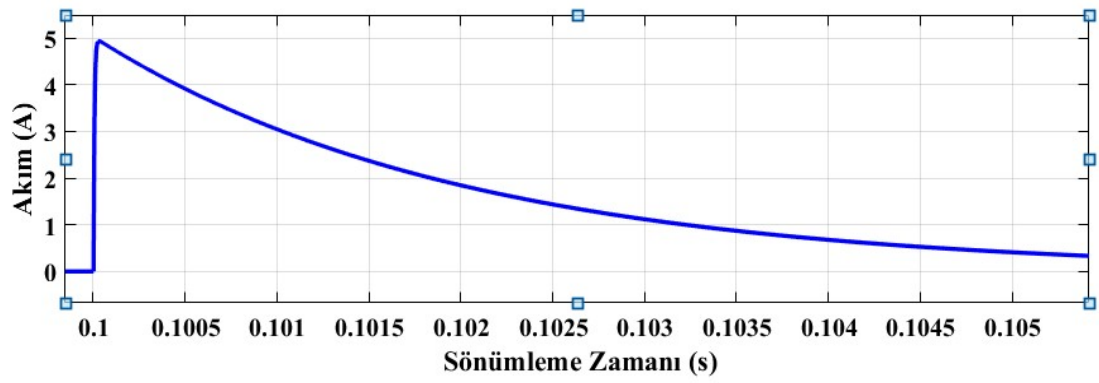
$$T = 2\pi\sqrt{L.C} \quad (1.14)$$

Bobin üzerindeki sönümlenmenin tek yönde olması gerekmektedir, aksi halde bobinin ters uygulayacağı kuvvet yüzünden merminin ivmelenmesi azalabilir ve fırlatma gerçekleşmeyebilir. Bundan dolayı RLC devresi üzerinde kritik sönümleme meydana gelmelidir. Gecikmiş sönümleme durumunda ters kuvvet bulunduğu; aşırı sönümlemeye ise sönümleme zamanının artmasından dolayı fırlatma işlemi gerçekleşmeyebilir. Şekil 1.7' de gecikmiş sönümlemeye; şekil 1.8' de aşırı sönümlemeye ve şekil 1.9' da kritik sönümlemeye dair salınımlar verilmektedir. Eşitlik 1.15, 1.16 ve 1.17' de ise sırasıyla bu sönümlemelere dair devre parametreleri hesabı verilmektedir.



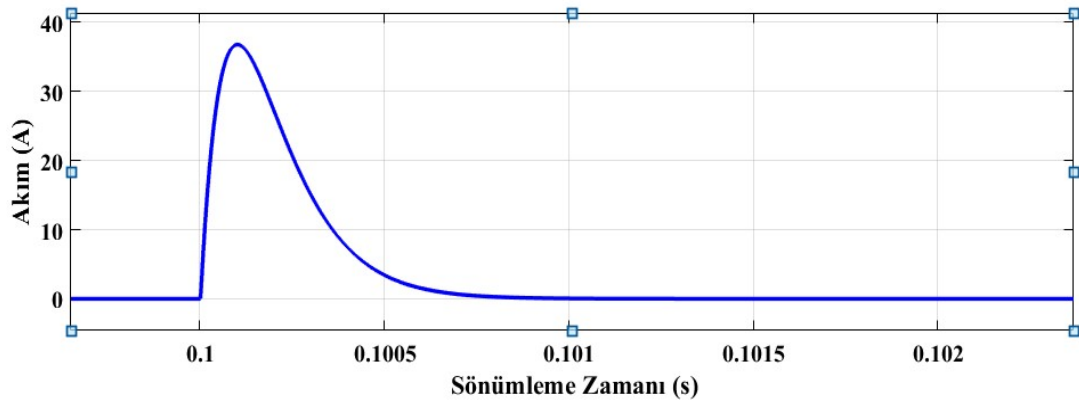
Şekil 1.7. Gecikmiş sönümlemeli salınım

$$R^2 < \frac{4L}{C} \quad (1.15)$$



Şekil 1.8. Aşırı sönümlemeli salınım

$$R^2 > \frac{4L}{C} \quad (1.16)$$



Şekil 1.9. Kritik sönümlmeli salınım

$$R^2 = \frac{4L}{C} \quad (1.17)$$

Şekillerden anlaşılacağı üzere atış modeli oluşturulurken elemanların parametrelerini kritik sönümlmeli salınımına göre ayarlanması elzemdir. Kritik sönümlmeli salınımdaki akımın tepe değeri eşitlik 1.18’ de verilmektedir.

$$I_{max} = \frac{V_o}{e} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (1.18)$$

1.7. Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Çeşitleri

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin atış modelinde yer alan kondansatör ile bobin arasında gerçekleştirilen sıralı anahtarlama ile atış sağlanmaktadır. Bu sistemler, atış modelinde yer alan kondansatörlere gerekli enerjiyi sağlayacak güç kaynağı; mermiye ivmelendirici etki sağlayacak doğrusal hızlandırıcı ile sistemi kontrol edecek olan atış kontrol devrelerinden meydana gelmektedir. Elektromanyetik fırlatıcı sistemler, içerisinde yer alan doğrusal hızlandırıcının malzeme yapısı itibariyle üçe ayrılmaktadır.

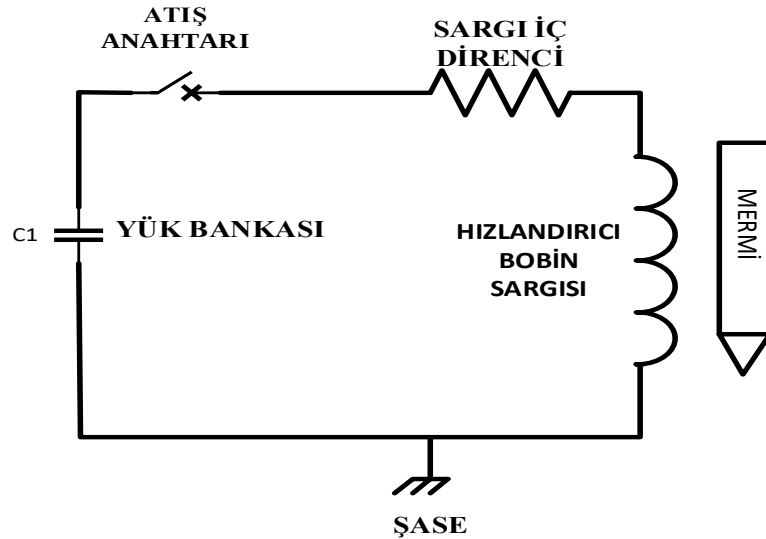
- Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Raylı Elektromanyetik Fırlatıcılar
- Karma (Hibrit) Elektromanyetik Fırlatıcılar

1.7.1. Sargılı Manyetik Fırlatıcılar

Sargılı elektromanyetik fırlatıcılar tek veya seri hızlandırıcı sargılarla oluşturulan manyetik kuvvet ile sargı içerisindeki cismin fırlatılmasını sağlayan sistemlerdir. Sargı ve mermi zıt yönlerde kutuplanması sayesinde fırlatma işlemi gerçekleşmektedir. Sargılı fırlatıcılar daha çok savunma sanayisinde mermi veya top güllesi fırlatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu fırlatıcılarda sarım sayısını artırmak oluşturulan manyetik alanın şiddetini artıracığından dolayı hızı artırdığı kabul edilebilir; ancak yük bankasındaki toplam yükün sargılar arasında paylaşılacağı etkisi unutulmamalıdır.

Sistemin temel yapısı şekil 1.10’ da verilmektedir. Sistem üzerindeki atış anahtarı kapatıldığında kondansatör üzerindeki yük bobin üzerinde sönmünecektir. Hızlandırıcı bobinin içerisinde yer alan iç direnç sayesinde I_1 akımı oluşacak ve bu akımın meydana getirdiği manyetik kuvvet ile mermi üzerinde meydana gelen manyetik kuvvet sayesinde tepki kuvveti oluşacak ve mermi böylelikle ivmeleneyecektir. Üzerinden I kadar akım geçirilen L endüktans değerinde bir bobinin depoladığı enerji bağıntısı eşitlik 1.19’ da verilmektedir.

$$E_{bobin} = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.19)$$

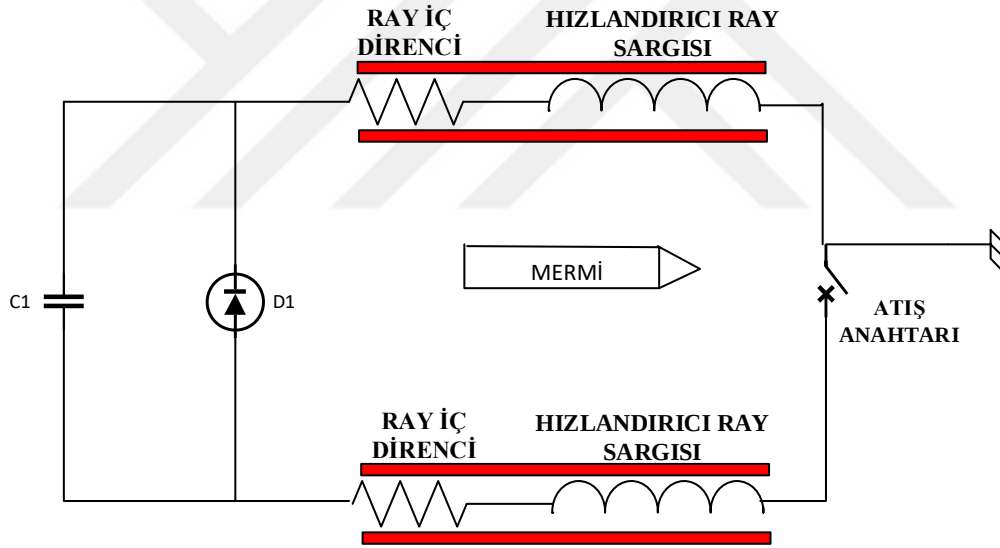


Şekil 1.10. Sargılı tip fırlatıcı temel devre yapısı

1.7.2. Raylı Manyetik Fırlatıcılar

Raylı tip elektromanyetik fırlatıcılarda iki adet çift iletken ray doğru akım kaynağı ile enerjilendirilmektedir. Ray malzemesi olarak genellikle deneysel olarak bakır kullanılmakla beraber, ürün bazlı raylı silah sistemleri için daha yüksek iletkenlik ile mekanik zorlanmalara dayanıklı ve mega amperler taşıyabilecek özel malzemelerle tasarım yapılmaktadır. Raylı fırlatıcılar konusunda ray direncinden kaynaklanan raylarda oluşan ısınma nedeni ile ray ömrü, ray oyuk geometrilerinin verimliliğe etkisi vb. birçok konuda çalışmalar her geçen gün devam etmektedir.

Şekil 1.11’ de raylı tip elektromanyetik fırlatıcının eşdeğer devresi verilmektedir. Ray üzerinde indüklenen gerilim farkının oluşturacağı akımın ters beslemeyle zıt kuvvet üretmemesi ve sönümlenme akımının yönlendirilmesi için yüksek güçlü diyot kullanılmıştır.



Şekil 1.11. Raylı tip fırlatıcı temel devre yapısı

Sargılı tip elektromanyetik fırlatıcıların raylı tip fırlatıcılara göre avantajları bulunmaktadır. Raylı tip elektromanyetik fırlatıcılarda namlu ile mermi arasındaki sürtünmeden dolayı kısa ömür ve verimsizlik söz konusudur. Görevi yüksek tahribat ve uzun ömürlü olarak gerçekleştirilmesi istenen sistemlerde sargılı tip manyetik fırlatıcılar kullanılmaktadır.

1.7.3. Hibrit Manyetik Fırlatıcılar

Hibrit manyetik fırlatıcılar yapısında hızlandırıcı ray ve sargı bobinleri içermektedir. Diğer bölümlerde anlatılan iki farklı tipteki manyetik fırlatıcıların kendi içerisinde paralel bağlanmasıyla oluşturulan bu yapı sayesinde fırlatma işlemi için gerekli olan yüksek akımlar düşürülmektedir. Üç farklı manyetik fırlatıcı arasında kıyaslama yapıldığında; aynı mermi hızını elde etmek için hibrit manyetik fırlatıcılarda kaynaktan çekilen akım azalmaktadır. İvmelendirme için gerekli olan manyetik alan şiddeti iki farklı tip malzeme ile elde edilmekte olup, gerekli toplam akım azalmaktadır. Devrenin toplam akımı düşürüleceğinden dolayı sistem maliyeti de genel ölçüde azalacaktır.

Hibrit elektromanyetik fırlatıcılarda tasarım aşamasında önemli olan husus sargı ve ray akım yönlerinin belirlenmesidir. Ters kuvvet oluşturacak şekilde belirlenirse mermi hareket etmeyecektir. Tasarım aşamasındaki bu zorluk nedeniyle literatürde diğer tip fırlatıcılara göre daha az çalışma bulunduğunu söylenebilir.

1.8. DA-DA Dönüştürücüler

Endüstride ve akademide sabit bir DA gerilimini değişken genlikte bir DA gerilimine, gerilim veya akım kazancı amacıyla değiştirme yapan dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücülerde sadece akım ve gerilimin bileşenleri değiştirilmektedir. Dolayısıyla AA geriliminde çalışan ve dönüştürme oranı sürekli olarak değişen bir transformatörün DA gerilimindeki eşdeğer görevini yerine getiren eleman DA dönüştürücüleridir [29].

DA gerilimi ile çalışan sistemlerde genellikle kaynak sabit gerilimli batarya, akü veya piller olsa da endüstrinin birçok çeşitli bölgesinde gerçek zamanlı uygulamalar için değişken güç kaynakları kullanılmaktadır. Yüksek güç gerektiren sistemlerde DA kaynaklarının paralel ve seri bağlantı kombinasyonu ile gereken güç sağlanabilir. Ancak bu tür sistemlerin tasarımında kullanılan malzemelerin artması, devre yapısının büyümesi ve bu durumun da maliyeti artırması gibi dezavantajları ortaya çıkmaktadır [30]. Farklı gerilim seviyelerindeki çalışmalara farklı büyüklük ve maliyetlerde kombinasyon bağlantılı kaynaklar tasarlamak yerine güç kaynakları ile çalışma yapmak maliyet ve verimlilik açısından önem taşımaktadır. Bundan dolayı DA-DA dönüştürücü ile çalışma gerçekleştirilmiştir.

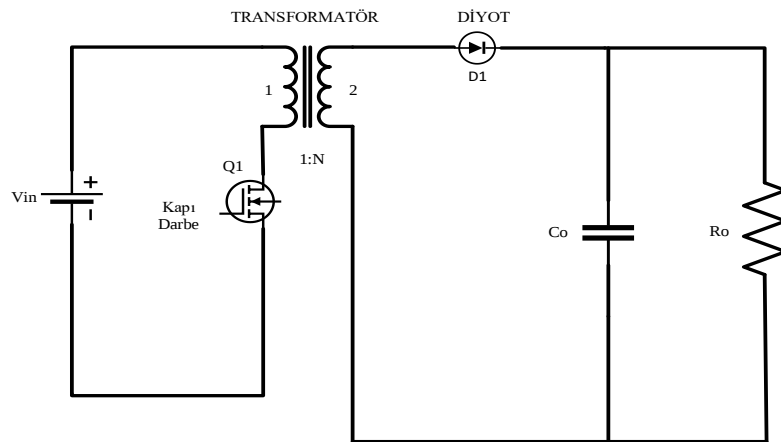
Güç kaynakları lineer ve anahtarlama mod güç kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [31]. Anahtarlama mod güç kaynakları ise çalışma moduna göre dörde

ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında basitliği, düşük maliyeti ve statik anahtar-kuplajlı endüktans izolasyonu nedeniyle Flyback anahtarlama modu seçilmiştir.

1.8.1. Flyback Dönüştürücü Modeli

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerde şarj ve deşarj iki ayrı bağımsız döngü olduğundan dolayı, bu sistemlerde önemli olan çıkış enerjisini belirleyecek gerilim kazancıdır. Bu gerilim kazancını elde edebilmenin farklı yöntemleri bulunmaktadır. AA kaynaklı ve şebeke tabanlı bir güç kaynağı kullanılarak gerilim ayarlaması yapılabilmektedir; ama bu sistemlerde fırlatıcı sistemlerin sabit konumda olması sistemin görev gerçekleştirme olasılığını düşürmektedir. Bundan dolayı tahribat görevli elektromanyetik fırlatıcılarda DA kaynağı kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

DA akım kaynakları düşük gerilimlerde olduğu için fırlatma sistemlerinde gerilim kazancının elde edilmesi gerekmektedir. Ancak DA-DA boost (yükseltici) tip dönüştürücünün tasarım zorlukları ve içerisinde meydana gelen elemanların kayıpları nedeniyle bu alanda seçilmesinin uygun olmayacağına karar verilmiştir. Bu işlem, içerisinde kuplaj elemanı bulundurarak giriş ve çıkışı arasında elektriksel bağlantı bulundurmeyen, klasik Flyback dönüştürücü ile yapılabilmektedir. Yukarıda bahsedilenler göz önüne alınarak, düşük maliyetli ve güvenilir sistem flyback dönüştürücü seçilmiştir. Bir flyback dönüştürücüsünün genel devre topolojisi şekil 1.12’ de verilmektedir.



Şekil 1.12. Flyback dönüştürücü genel devre topolojisi

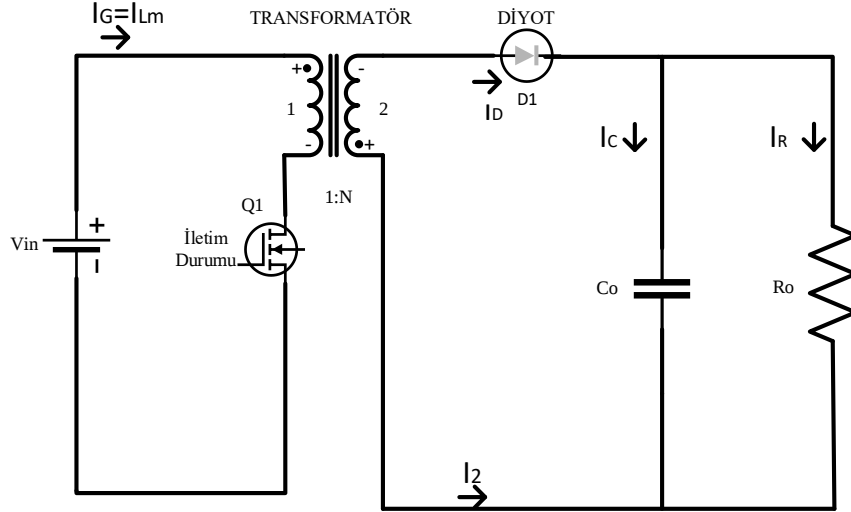
Flyback dönüştürücüler düşürücü ve yükseltici modda çalıştırılabilirler. Kaynaktan çekilen akımın yüksek olmasından dolayı, 350 Watt' a kadar kullanılabilen bu dönüştürücüler içerisinde transformatör modeliyle aynı mantıkta bulunan kuplajlı endüktans bulundurlar. Bu sayede giriş ve çıkış arasında herhangi bir elektriksel bağlantı bulundurmazlar. İçerisinde yer alan statik anahtar sayesinde anahtarlama modda çalışarak, kuplajlı endüktans sürekli olarak güç aktarımında bulunmaz. Endüktans üzerinde yer alan polarite farklılığından dolayı sürekli olarak güç aktarımı sağlanmamaktadır. Endüktans enerjiyi depolayarak döngü içerisinde iletmektedir. Klasik transformatörler AA modunda çalıştırıldıklarından dolayı ağır, büyük ve yüksek maliyetlidir. Flyback dönüştürücülerde ise anahtarlama frekansına bağlı olarak içerisinde bulunan kuplajlı endüktans bu hantal yapıdan bağımsızdır.

Flyback dönüştürücülerdeki amaç çıkış tarafında girişe uygulanan DA geriliminden daha büyük genlikte ortalama değere sahip bir DA gerilimi elde etmektir. Bundan dolayı bir endüktansa; kuplajlı bir transformatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Transformatörün devrede kullanıldığı yer oldukça önemlidir.

Flyback dönüştürücülerde kuplajlı endüktans elemanının manyetik alan enerjisinin değerine göre, sürekli akım ve kesintili akım modu bulunmaktadır. Sürekli akım modunda endüktans üzerindeki akım ve dolayısıyla endüktif enerjiyi oluşturan manyetik alan hiçbir zaman sıfıra inmemektedir. Sistem üzerinde kondansatörlerin şarj akımının kesintiye uğramaması için sürekli akım çalışma modu tercih edilmiş olup, parametreler bu moda göre ayarlanmıştır. Sürekli akım modunda Flyback dönüştürücü tasarımı yapılırken bazı kabullerin yapılması gerekmektedir:

- Çıkış kondansatörünün değeri büyük ve gerilimi sabit olmalıdır.
- Devre sürekli halde çalışmakta ve nüve doyumsuzdur.
- İletim süresi $D.T$, kesim süresi ise $(1-D). T'$ dir.
- Elemanlar ideal (kayıpsız) olarak kabul edilecektir.

Flyback dönüştürücü sürekli akım modunda çalışsa bile enerjinin depolanıp aktarılması için kuplaj elemanının anahtarlama gereklidir. Endüktans elemanı olan kuplajlı transformatör yarı iletken anahtar sayesinde iki modda çalışmaktadır. Bunlar iletim ve kesim modlarıdır. Şekil 1.13' de iletim modu gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Flyback dönüştürücü iletim modu

Birincil bölgede yarı iletken anahtar olan MOSFET iletim modunda DA kaynağının, transformatörün primer uçlarına bağlanmasını ve giriş gerilimi ile transformatör primer geriliminin eşit olmasını sağlamaktadır. Bu ifadeden eşitlik 1.20, 1.21 ve 1.22 çıkarılmaktadır.

$$V_{in} = V_1 = L_m \frac{di_{LM}}{dt} \quad (1.20)$$

$$\frac{di_{LM}}{dt} = \frac{\Delta i_{LM}}{\Delta t} = \frac{V_{in}}{L_m} \quad (1.21)$$

$$\Delta t = D \cdot T \quad (1.22)$$

Burada L_m kuplaj elemanı olarak bulunan transformatörün endüktans değerini ifade etmektedir. Bu eşitliklerden yola çıkarak iletim durumunda bobin üzerinde meydana gelen akım değişimi eşitlik 1.23' de verilmektedir.

$$\Delta i_{LM} = \frac{V_{in} \cdot D \cdot T}{L_m} \quad (1.23)$$

Literatürde kuplaj elemanı olan transformatörün üzerindeki akım dalgalanması, sürekli akım çalışma modunda bobin akımının %40' ı olarak kabul edildiği görülmüştür. Eşitlik 1.23' den kuplaj elemanı olan transformatörün endüktans değeri (L_m) hesaplanacak olursa eşitlik 1.24 elde edilmektedir.

$$L_m = \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta I_{LM} \cdot f} \quad (1.24)$$

Verilen eşitliklerde D anahtarın doluluk oranını, f anahtarlama frekansını (Hz) ve T ise anahtarlama periyodunu (sn) sembolize etmektedir. Transformatör üzerinden geçen akımın değeri ise eşitlik 1.25' den hesaplanmaktadır.

$$I_{LM} = \frac{V_{çıkış}}{(1 - D) \cdot R} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (1.25)$$

Dönüştürücüde yer alan kuplajlı transformatörün sarım oranını doğru belirlemek oldukça önemlidir. Yüksek anahtarlama frekansında istenilen gerilim kazancını sağlamak ve transformatör üzerinden uzun süreli yüksek akım çekilmemesi için ideal oran eşitlik 1.26' dan belirlenmektedir. N_2 ve N_1 transformatörün sarım sayılarını sembolize etmektedir.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_{çıkış}}{V_{giriş}} \cdot \frac{(1 - D)}{D} \quad (1.26)$$

İkincil bölgede ise iletim halinde olan kuplajlı endüktans ters kutuplanacağından dolayı diyot üzerinde negatif bir gerilim oluşmaktadır. Bundan dolayı diyot kesimde olup, sekonder tarafa enerji aktarımı gerçekleşmemekte olup, I_2 ve I_D akımının değeri 0 olacaktır. Diyotun uçları üzerinde yer alan gerilim ifadesi eşitlik 1.27' de verilmektedir.

$$V_D = -V_{\phi} - V_{in} \frac{N_2}{N_1} < 0 \quad (1.27)$$

Enerji primer tarafta endüktans üzerinde depolanır ve bundan dolayı ani gerilim yükselmeleri meydana gelebilir. Primer tarafta bulunan yarı iletken anahtar üzerinde geçici sürede meydana gelen akım ve gerilim stresleri flyback dönüştürücülerin verimlerini

düşürmektedir. Yarı iletken anahtar teknolojisindeki gelişmeler veya flyback dönüştürücülerde oluşturulan farklı topolojiler ile bu sorunlar halledilebilir. Aşağıda bu topolojilerden bazıları verilmektedir:

- Aktif Kenetleyici Eleman Topolojisi
- Çift Çıkış AA ve DA Topolojisi
- Çift Anahtarlamalı Topoloji
- Ayrıştırılmış Topoloji

Yarı iletken anahtarın iletim modunda çalışması durumunda çıkış yükünü, kapasitede biriken yük besleyecektir. Bundan dolayı kapasite değeri tasarımda belirlenirken optimum sınırlar içerisinde büyük seçilmelidir [32]. Kapasite değerini belirlerken bir diğer husus ise gerilim dalgalanması faktörüdür. Kondansatör çıkış geriliminde dalgalanmaya neden olmaktadır. Tasarım aşamasında gerilim dalgalanma değerine bağlı olarak sığa (C) değeri eşitlik 1.28' den belirlenmektedir.

$$\frac{\Delta V_{\text{çıkış}}}{V_{\text{çıkış}}} = \frac{D}{R \cdot C \cdot f} \quad (1.28)$$

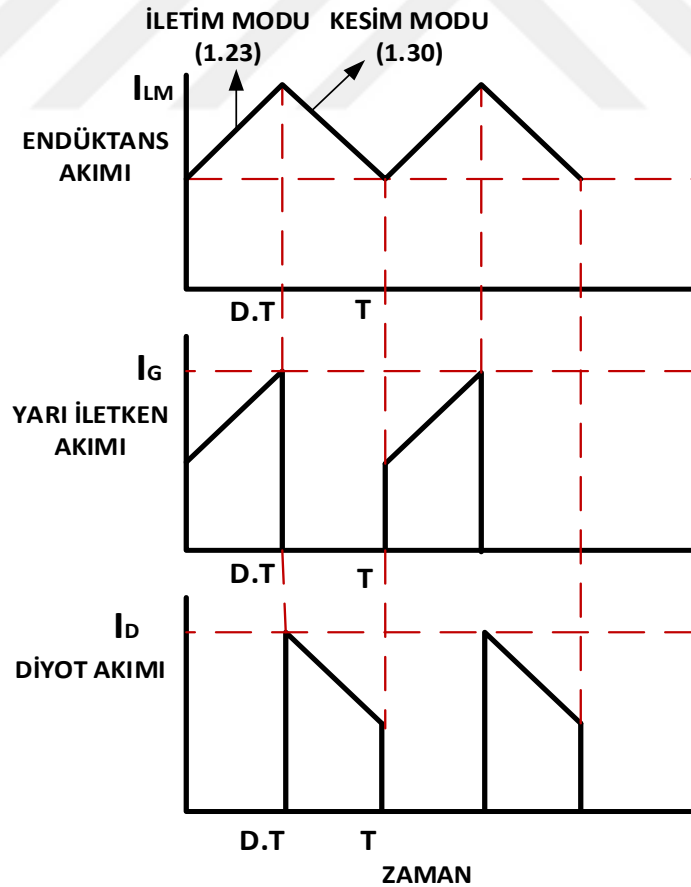
Kondansatörün yük depolaması sonucunda kesintili mod oluşabilir. Bundan dolayı yük aktarımı kesintisiz olarak sağlanmalıdır. Flyback dönüştürücülerde anahtar kesim modunda iken enerji aktarımı başlamaktadır. İletim modundayken transformatörün primer sargısında doyuma yaklaşmış olan endüktans, kesim modunda sekonder kısma enerjisini vererek sistem çıkış kondansatörünü ve yükü beslemektedir. Anahtar tekrar iletim moduna girdiğinde ise çıkış kondansatörü sistemi beslemeye devam edecektir. Flyback dönüştürücülerde bu döngüde çıkış gerilimi sabit tutulmaktadır. Şekil 1.14' de ise Flyback dönüştürücünün kesim modu gösterilmektedir.

$$V_{DS} = V_G - V_1 = V_G + V_C \frac{N_1}{N_2} \quad (1.32)$$

İletim ve kesim modları anlatıldıktan sonra dönüştürücünün giriş ve çıkışı arasındaki ilişkinin kurulması gerekmektedir. Dönüştürücünün sürekli akım modunda çalışabilmesi için endüktans üzerinde depolanan enerjinin sıfıra inmemesi gerekmekte olup, endüktans akımı daima var olmalıdır. Bundan dolayı iletim ve kesim aralıklarında L_M endüktans akımının artış ve azalış miktarları toplamının sıfır olması gerekmektedir. Eşitlik 1.33' de bu bağıntı verilmektedir.

$$\Delta I_{LM_{iletim}} + \Delta I_{LM_{kesim}} = 0 \quad (1.33)$$

Sürekli akım modunun daha iyi anlaşılabilmesi için şekil 1.15' de giriş yarı iletken akımı, çıkış diyot akımı ve endüktans akımını içeren ilişkili akım grafikleri verilmektedir.



Şekil 1.15. Sürekli akım modu akım grafiği

Eşitlik 1.23 ve 1.30' da yer alan akımlar, eşitlik 1.33' de yerine yazılırsa çıkış geriliminin değeri eşitlik 1.34' den bulunmaktadır.

$$V_{\phi} = V_G \cdot \frac{D}{1-D} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (1.34)$$

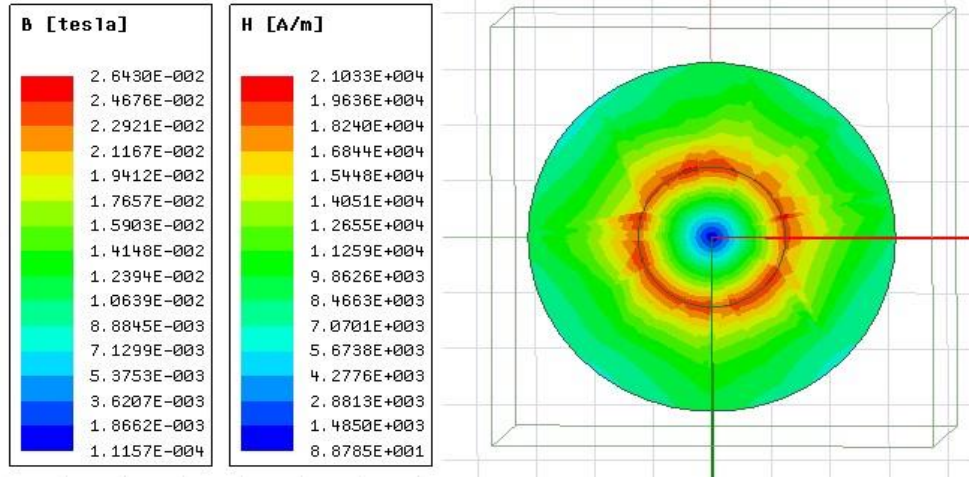
1.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi analiz edilecek olan geometriyi sonlu küçük parçalara ayırarak elde ettiği geometrilerin, matematiksel davranışlarını diferansiyel fark denklemlerle çözen yöntemin adıdır. Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak yapısal analiz problemlerinin çözümü ve akışkanların akış problemlerinin çözümü amacıyla kullanılmıştır. 1970' de Silvester ve Chari' nin “Doyumlu manyetik alan problemlerine sonlu eleman çözümü” adındaki makalesi, uygulamalı elektromanyetizma alanında yeni bir çağ açmıştır. Bu makalede karmaşık geometriler ve manyetik doğrusalsızlık problem yaklaşımını ele alabilecek kapasitede bir formülasyon sunulmaktadır. Peter Silvester ve arkadaşları metodun gelişimine büyük katkıda bulunarak metodun bugün elektrik mühendisliği problemlerine yaygın olarak uygulanmasını sağlamışlardır [33].

Sonlu elemanlar metodunda çözümlenecek alan kümesi birçok sayıda alt kümelerle veya sonlu elemanlara bölünür. Bölünen her elemandaki potansiyel dağılıma bir polinom ile çözümlene getirilir ve daha sonra en uygun çözümlene kriterlerine göre sayısal çözüm elde edilir.

Sayısal metotlarda başta üçgensel tip olarak dörtkenarlı ve curvilinear biçimler şeklinde muhtelif biçimlerde kullanılmaktadır. Elemanların tipi; elemanın biçimi ve deneme fonksiyonunun polinomsal interpolasyon derecesi ile tanımlanır [34].

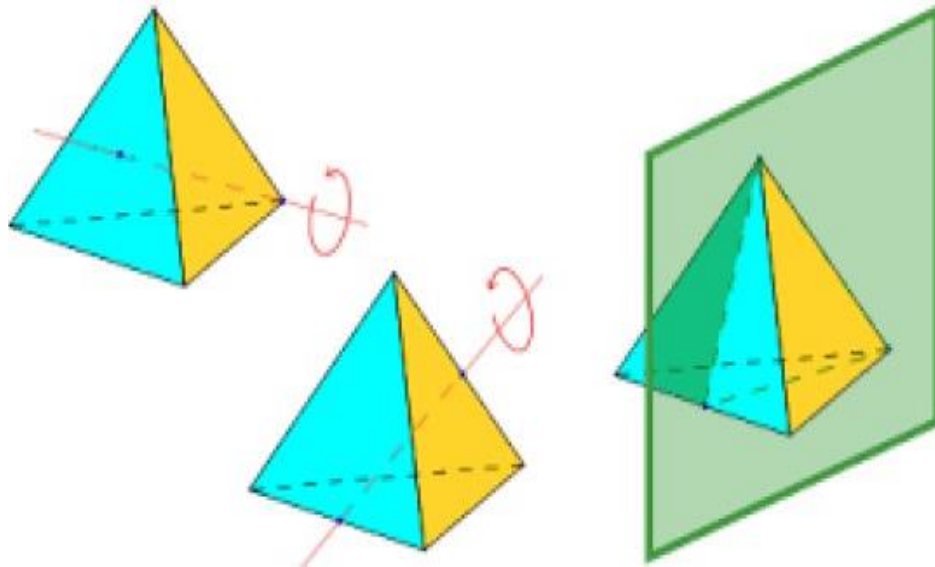
Sonlu elemanlar analizi, geometrisi düzgün olmayan bölgelerde elektrik veya manyetik alanları belirlemek için Maxwell 2D bölümü; elemanı piramite benzeyen çok sayıda dörtyüzlü eleman (tetrahedra) olarak adlandırılan alt bölgelere böler. Her dörtyüzlü elemandaki alan ayrı bir polinomla belirlenir. Bu elemanların toplamı sonlu eleman ağ veya basitçe (*mesh*) olarak ifade edilir. Maxwell' de mesh işlemi oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Hesaplanan sonuçların doğruluğuna mesh işlemi doğrudan etki etmektedir. Şekil 1.16' da ANSYS Electronics programında manyetik alan şiddeti analizi yapılan bobin gösterilmektedir.



Şekil 1.16. ANSYS 3D bobin manyetik alan analizi

1.9.1. Dört Yüzlü Eleman (Tetrahedra)

Şekil 1.17' de bir tetrahedra gösterilmektedir. Elektromanyetik analiz çözümü elde edebilmek için sistem; yeterli küçük değerlere göre boyutlandırılmış (*mesh işlemi*) dört yüzlü elemanlardan oluşmaktadır.



Şekil 1.17. Dört yüzlü çözüm elemanı (Tetrahedra) [35]

Alan çözücü eleman her düğümde ve tüm yüzlerin orta noktalarındaki elektriksel potansiyel değerini programda önbelleğe kaydeder. Alan çözücü elemandaki potansiyel,

ikinci dereceden polinom yaklaşımlarının kullanılmasıyla düğümlerdeki değerlerden bulunur.

Magnetik alan çözücü, çözümlenecek sistemi homojen bir özel çözüm metodu içerisinde H alanlarına böler. Bölünen alanlar içerisindeki her düğümde skaler bir potansiyel değer belirlenir ve özel bir çözüm içinse çözümleyici elemanın kenarlarındaki teğet H 'nin bileşenleri de kullanılabilir.

Eddy akımı alan çözücüsü, çözümü gerçek ve sanal olarak iki parçaya bölmektedir. Eddy akımlarının bulunduğu objeler için sistem direk olarak kaynak akımlarından ve uygulanan her düğümde depo edilen manyetik alandan $H(t)$ ' yi hesaplamaktadır [36].

Sonuç olarak sonlu elemanlar yöntemi, fiziksel olarak büyük cisimlerde hesaplama yapılamayacak parametrelerin küçük belirlenmiş parçalar üzerinden tümevarıma gidilmesidir. Çözümün doğruluğu seçilen dörtyüzlü elemanların her birinin optimum seviyede küçük seçilmesine bağlıdır. Burada çözümlenecek eleman sayısı binler seviyesindedir.

Binlerce çözümlenecek elemanlı ağlar için güçlü bir hesaplamaya ve belleğe ihtiyaç vardır. Bundan dolayı en doğru alan çözümünü elde etmek için yeterli miktarda ağ kullanılması gerekmektedir. Bunun içinse işlem gücü ve bellek miktarı yüksek bilgisayarlar kullanılması gerekmektedir.

1.10. Akustik Konumlandırma Modeli

Silah sistemlerinde kimyasal tepkime sonucu gerçekleşen ateşlemede mermi namludan çıktığı anda sistem, yüksek şiddette ses ve şok dalgası çıkarmaktadır. Silah sistemlerinin meydana getirdiği bu etki ile hedef belirleme sistemleri ortaya çıkmıştır. Akustik tabanlı konumlandırma sistemleri ses ve şok dalgasını alarak sinyal işleme metotlarından geçirerek hedef tespiti yapan görev mekanizmasıdır. Ateşlemenin yapıldığı koordinatları iki veya üç boyutlu olarak yüksek doğruluk oranında ortaya çıkarmaktadır. Sistem genellikle en az 4 adet hassas mikrofona önceden belirlenen geometride, kamufle ve korunaklı olarak yerleştirilmesi ile kullanılmaktadır.

Ülkemizde akustik konumlandırma ile alakalı çalışmalar yakın tarihte henüz yeni başlamıştır [37]. Günümüzde ülkemizin içinde bulunduğu coğrafi konum göz önünde bulundurulursa; sınır, karakol ve askeri bölgelerin korunması ve taktik strateji üstünlüğünün

sağlanması büyük önem taşımaktadır. Çatışma esnasında öncelikli istihbarat ihtiyacı bu sistemin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Akustik konumlandırma sistemlerinin yüksek doğrulukla çalışması için birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Sistem ses sinyalinin işlenip çıktıların fonksiyonuyla sonuç bulmaktadır. Ses hızının ortam sıcaklığı, nem ve basınca göre değiştiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bundan dolayı kullanılacak sistemin hassas ve sinyal iletim süresinin hızlı olması gerekmektedir. Sistem ürün bazlı tasarlandığında koordinatlarda uzak mesafelerde konumlandırılması durumunda, merkeze göre eksenel konumlandırmanın çok iyi yapılması gerekmektedir. Bütün bu hesapların doğru yapılabilmesi için de sesin yapısı, kullanılacak mikrofonların özellikleri, matematiksel modeli, sinyal işleme tekniği, varış farkı algoritması ve konum tespiti konularının iyi işlenmiş olması gerekmektedir.

1.10.1. Sesin Temel Yapısı

Ses titreşimlerden oluşan bir enerji türüdür. Ekolojide sınırsız sayıda ses kaynağı bulunmakta olup her birinin çıkardığı ses birbirinden farklıdır. Bu farklılığı oluşturan iki temel etken bulunmaktadır. Bunlar sesin frekansı ve şiddetidir. Sesin fiziksel yapısı göz önünde bulundurulacak olursa yayılma ortamının maddesel formuna göre hızı değişmektedir. Bu çalışmada hava (gaz) ortamında yayılması incelendiğinden dolayı sadece gaz maddesel formundaki ortama göre hız konusuna değinilecektir.

Sesin hızına etki eden temel üç faktör bulunmaktadır. Bunlar sıcaklık, nem ve basınçtır. Ancak ana faktör sıcaklık olduğundan ve nem ile basıncın hıza etkisinin kat sayısı açısından düşük olduğundan dolayı formülasyonda dikkate alınmayabilir. Eşitlik 1.35 ve eşitlik 1.36' dan ses hızı ölçülebilmektedir.

$$V_{ses} = (331.5 + (0.6 * ^\circ C)) \quad (1.35)$$

$$a = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T^\circ} \quad (1.36)$$

Burada $^\circ C$ sıcaklığı (derece); a ve V_{ses} ses hızını (metre/saniye); γ hız sabitini (hava için 1.4); R gaz sabitini (hava için 287) ve T° ise mutlak sıcaklığı (kelvin) sembolize

etmektedir. Eşitliklerden anlaşılacağı üzere sıcaklık haricinde bulunan girdiler katsayı olduklarından dolayı, ses hızı sıcaklığın karekökü ile doğru orantılıdır.

1.11. Varlık Tespit Modeli

Son zamanlarda yapay zekâ ile derin öğrenme günlük yaşamın her alanına etki etmeye başlamıştır. Yapay zekâ, bilgisayar kontrolünde olan bir makinanın canlılara benzer karar verme yeteneğidir. Derin öğrenme ise canlının beyninin modellendiği algoritmalar ile verilerin işlendiği bir altkümedir. Bu altkümenin ise büyük miktarda veri ile yapılandırılması gerekmektedir. Derin öğrenme sayesinde, eğitime alınan verilerden yeni bir veri kümesi üretilir. Bu veri kümelerinin işlenmesi için ise derin öğrenme alanında birçok algoritma kullanılmaktadır. Derin öğrenme ile varlık tespiti video veya görüntü formatında yapılmaktadır.

Görüntü milyonlarca tüp şeklinde noktalardan meydana gelen veri kümesidir. Bu verilere ise piksel adı verilmektedir. Bir görüntünün kalitesi piksel sayısı ile doğru orantılıdır. Derin öğrenme algoritmalarında yüksek doğruluk oranının sağlanması için işlenecek olan görüntünün kaliteli olması gerekmektedir. Derin öğrenme algoritmaları görüntüyü bilgisayar ortamında matris formunda algılamaktadır. Bundan dolayı çözümlenecek olan giriş matris değerlerinin uygun olması gerekmektedir.

Görüntü formatında varlık tespitinde yüksek analiz hızı ve doğruluğu sağladığından dolayı YOLO (You Only Look Once) algoritması kullanılmıştır. YOLO algoritması görüntü işleme özelliği ile canlı varlıklar haricinde nesne tespitinde de kullanılmaktadır. YOLO sinir ağlarını kullanarak nesne tespiti yapmaktadır.

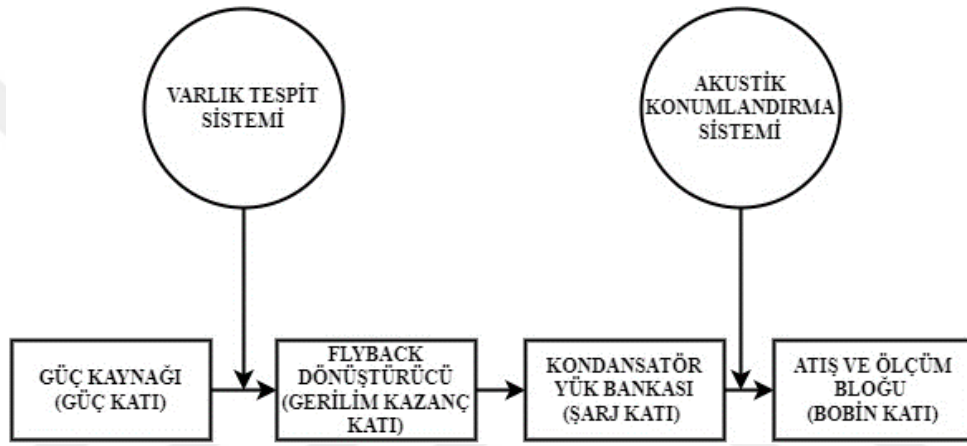
YOLO' nun diğer algoritmalara göre hızlı olmasının nedeni tespit edilecek olan nesneyi tek seferde veri kümesine dahil etmesidir. Görüntüyü sınırlayıcı kutulara bölerek analiz sürecini başlatmaktadır. Daha sonra verilen görüntüyü ızgaralara bölerek, bu ızgaralar içinde nesne varlığını analiz etmektedir. Nesne bulunuyor ise merkez noktasını bularak yükseklik ve genişlik değerlerini çıkarmaktadır. Analiz esnasında sınırlayıcı kutular bulunduğundan dolayı yüksek doğruluk oranı sağlamaktadır. Ancak bir kutu birden fazla ızgara içine dahil olabilir. Bu durumda ise görüntü üzerinde kullanılamayacak olan sınırlı kutular meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı doğruluk oranının artırılması için sınırlayıcı kutuların güven skoru bulunmaktadır. Güven skorları farklı bir algoritma olan Non-Maximum Suppression ile indirgenmektedir. Bu algoritma sınırlayıcı kutulardan güven

skoru yüksek olanları ekrana çizip, veri kümesine dahil etmektedir. Bu yöntem sonlu elemanlar yöntemine benzemektedir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

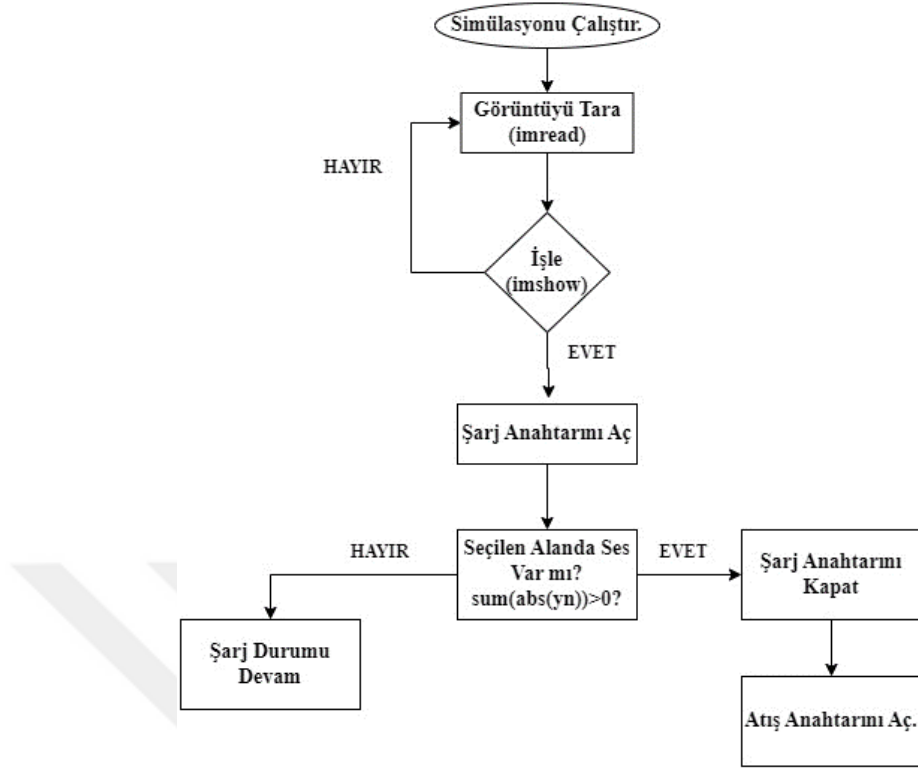
Tezin bu bölümünde irdeleme için tasarlanan modelin tasarım aşamaları ve kullanılan matematiksel modeller tanıtılacaktır. Tasarım aşamasında MATLAB/Simulink, Audacity ve ANSYS Electronics Maxwell olmak üzere üç farklı benzetim programı kullanılmıştır. Tasarlanan modelin ana şeması şekil 2.1’ de ve sistemin çalışmasına dair akış şeması şekil 2.2’ de verilmektedir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik fırlatıcı sistem ana şema

Sistemin güç katı, gerilim kazanç katı, şarj katı ve ölçüm bloğu katı bölüm 1’ de matematiksel olarak modellenmiş olup, bölüm 2’ de MATLAB/Simulink yazılım ortamında benzetim yapılmıştır. Varlık tespit ve akustik konumlandırma sistemi ise, elektromanyetik fırlatıcı sistemlerde hedef tespitinin teorik olarak irdelenmesi için MATLAB/mfile benzetim ortamında matematiksel olarak modellenmiş ve benzetim yapılmıştır.

Şekil 2.2’ de akış şeması yer alan sistem öncelikli olarak hedef algılama algoritması ile insan tespiti için varlık taraması yapmaktadır. Hedef (İnsan) tespiti durumunda sistem üzerindeki şarj anahtarı açılır. Yük bankasında bulunan kondansatörlerin gerilim değerinin dönüştürücü çıkışında ayarlanan değere ulaşması durumunda sistem atışa hazır duruma gelmektedir. Akustik konumlandırma sisteminde ses sinyalleri algılandığı zaman atış yapılmaktadır. Fırlatıcının çalışma parametrelerinden olan bobinin manyetik analizi ise ANSYS/Maxwell benzetim ortamında irdelenmiştir. Tezin bu bölümünün alt başlıklarında, oluşturulan alt modellerin matematiksel benzetimleri anlatılacaktır.



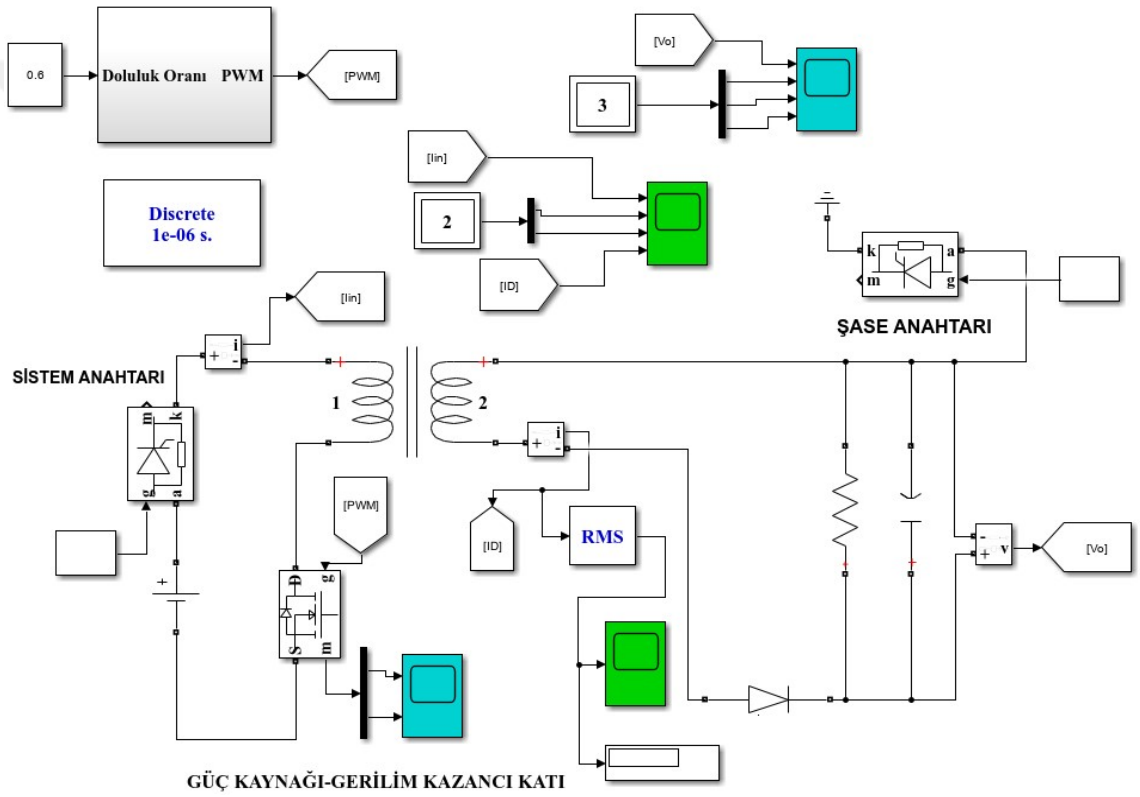
Şekil 2.2. Elektromanyetik fırlatıcı sistemin model akış şeması

2.1. Elektromanyetik Fırlatıcı Sistem Benzetim Modeli

Bu bölümde Simulink' te oluşturulan model alt başlıklar altında anlatılacaktır. Oluşturulan modelde parametre değişikliği yapılarak farklı senaryolar üzerinde irdelemeler yapılmıştır. Başlıklarda senaryolara dair parametreler tablolar halinde verilecektir. MATLAB üzerinden oluşturulan genel devre şeması şekil 2.3' de verilmektedir.

2.1.1. Şarj Devresi Modeli

Yük bankasının uçlarında gerilim depolanması sağlayacak modeldir. Sürekli akım modunda çalışan flyback doğru akım dönüştürücüsünün tasarımı için devre elemanları incelenmiş ve başlık 1.8.1’ de yer alan eşitlikler üzerinden devre parametrelerinin hesaplanması yapılmıştır. İrdelenen dönüştürücünün devre parametrelerinin formülleri eşitlik 1.24, 1.25, 1.26 ve 1.28’ de gösterilmektedir. Şekil 2.4’ de simüle edilen MATLAB modeli verilmektedir.



Şekil 2.4. Flyback dönüştürücü modeli MATLAB/Simulink

Atış senaryoları için istenilen çıkış gerilimi, ayarlanan anahtarlama frekansı ve doluluk oranı belirlendikten sonra eşitlik 1.26’ dan transformatörün sarım sayısı belirlenmektedir. Sarım oranı eşitlik 1.25’ de yer alan kuplaj elemanının akımı ve çıkış gerilimi ile doğru orantılı olduğundan eşitliklerde yer alan doluluk oranının; kaynaktan çekilen akımı azaltacak, dönüştürücü çıkış gerilimini artıracak şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Kuplaj elemanının akımını ise sistemin izin vereceği kadar küçük ayarlanması şarttır. Sistem verimi ve güvenilirliği için kaynaktan çekilen ve yarı iletken anahtar üzerinden geçen

akımın değeri uygun olması gerekmektedir. Eşitlik 1.25' de bu uygun değeri sağlayabilmek için direncin bobin akımını ve eşitlik 1.28' de yer alan dalgalanma miktarını azaltacak bir değerde seçilmesi gerekmektedir.

Kuplaj elemanı olan endüktans değeri ise üzerinde meydana gelecek akım değişimini uygun aralıkta tutacak değerde seçilmesi gerekmektedir. Bunun için eşitlik 1.24' de yer alan anahtarlama frekansının, endüktans değeri ile dalgalanma miktarını uygun aralıkta tutacak değeri sistem için önem taşımaktadır.

Çıkış geriliminde meydana gelen dalgalanma miktarını, sistem çıkışında yer alan kondansatör değeri ayarlamaktadır. Bunun için eşitlik 1.28' de yer alan dalgalanma miktarını önceden belirlenen değere göre uyarlamak gerekir. Bu eşitlikte yer alan direnç, anahtarlama frekansı ve doluluk oranı değerlerinin hassas bir şekilde seçilmiş olması gerekmektedir. Şarj devresinde yer alan parametrelerin hepsi birbiri ilişkili olduğundan herhangi birinin seçiminde diğeri doğrudan etkiye sahiptir.

Farklı atış senaryolarında yer alan dönüştürücülere ait ortak parametreler 24 V giriş gerilimi, %1 çıkış gerilimi dalgalanması değeri, 1kHz anahtarlama frekansı ve 0.6 doluluk oranı değeridir.

Tablo 2.1' de farklı atış senaryolarında yer alan dönüştürücülere ait devre parametreleri verilmektedir. Flyback dönüştürücü sistemde şarj modeli olarak kullanıldığından dolayı devre parametreleri hesaplanırken çıkış gerilimi ile akımı maksimum yapacak değerler göz önünde bulundurulmuştur; ancak bu değerler hesaplanırken piyasada yer alan yarı iletken anahtarlama elemanının anahtarlama gerilimi ve akımı değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Anahtarlama elemanının parametrelerine göre malzeme seçimi yapılırken hesaplanan değerlerin 3 kat daha fazla değerde ele alınması gerekmektedir. Düşük güçlü DA-DA dönüştürücüde kuplajlı endüktans üzerinde enerji depolaması iletim modunda gerçekleşirken, anahtar üzerinden yüksek akım geçmekte; kesim modunda ise anahtar üzerine yüksek gerilim alabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların çoğunun bu konuya değinmiş olması da anahtarlama elemanı seçiminin önemini ortaya koymaktadır. Üzerinde gerilim tutan ve anlık anahtarlamalara bağlı olarak yüksek akım meydana getiren MOSFET yarı iletken anahtarı yerine literatürde yapılan çalışmalarda farklı tip anahtarlarda kullanıldığı görülmüştür.

Tablo 2.1. Flyback devre parametreleri

Flyback Dönüştürücü Devre Parametreleri		
Parametreler	Durum (1)	Durum (2)
Giriş Gerilimi (Volt)	24 V	24 V
Çıkış Gerilimi (Volt)	140-150 V	240-250 V
Sığa Değeri (Farad)	4.5×10^{-4} F	4.3×10^{-4} F
Direnç Değeri (Ohm)	200 Ω	335 Ω
Endüktans Değeri (Henry)	4.965×10^{-3} H	2.757×10^{-3} H
Endüktans Akımı (Amper)	7.25-7.5 A	12.5 A
Güç (Watt)	98-113 W	172-187 W
Sarım Oranı (N_1/N_2)	4	7
Anahtar Gerilim Değeri (V_{DS})	65 V	60 V

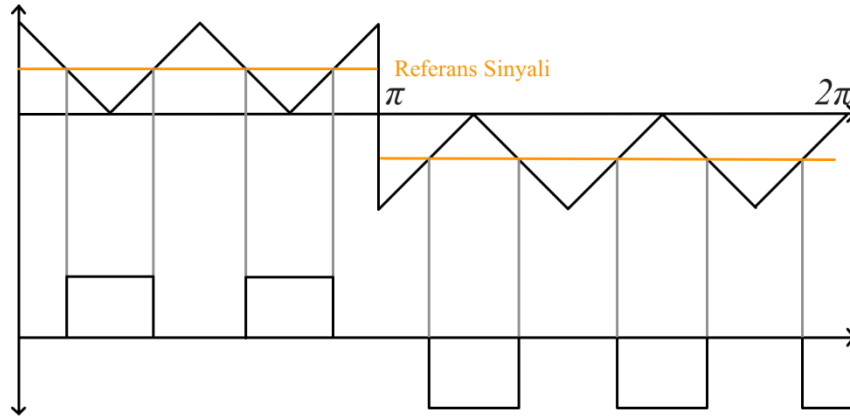
2.1.2. Statik Anahtarlar İçin Tetikleme Sinyallerinin Üretilmesi

Dönüştürücüde yer alan yarı iletken anahtar olan gerilim tetiklemeli eleman MOSFET çeşitli tetikleme yöntemlerini kullanabilir. Bu yöntemlerden en sık kullanılanı Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation-PWM) dur.

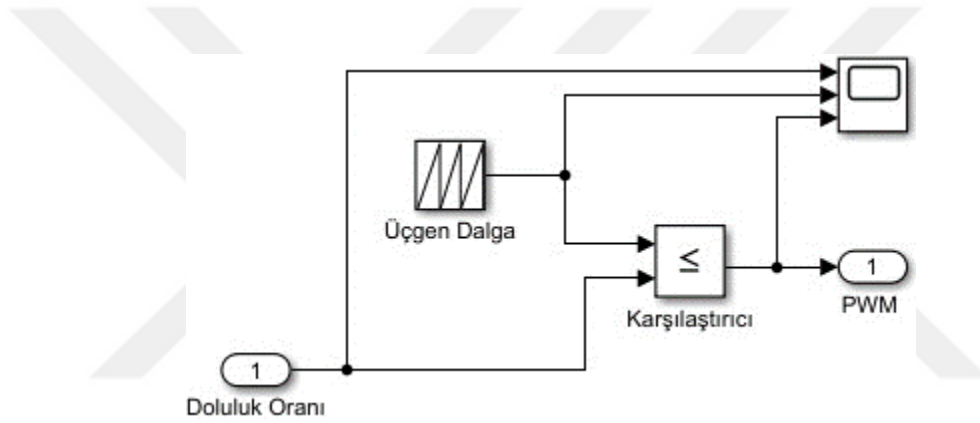
Tetikleme sinyalleri bir referans işaret (sabit değer) ile temel tetikleme sinyallerinin (sinüs, üçgen, kare ve testere vb.) bir karşılaştırıcı ile karşılaştırılması sonucunda oluşmaktadır. Burada referans işaretten bahsedilen sinyal, doluluk oranıdır. Yarı iletken anahtarın tetikleme sinyali ile iletim modunda çalışma oranını doluluk değeri belirlemektedir. Sonuç olarak yarı iletken anahtarların iletimde kalma süresinde, temel tetikleme sinyalinin ne kadarının kullanılacağı doluluk oranı ile belirlenmektedir.

Genellikle birinci dereceden bir sabit veya ikinci dereceden bir polinom ile oluşturulabilir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında model üzerinde birinci dereceden sabit 0.6 kat sayısı seçilmiştir. Doluluk oranı çıkış gerilimi ile doğru orantılıdır.

Tetikleme sinyalinin frekansı ise temel tetikleme sinyalinin anahtarlama frekansına bağlıdır. Anahtarlama frekansını optimal sınırlar içinde seçmek, yarı iletken anahtarlama elemanının görev periyodunu belirlemektedir. Bobin ve kondansatörün çalışma karakteristikleri zamana bağlı bir fonksiyon olduğundan dolayı, anahtarlama frekansının artırılması bu pasif elemanların gerilim ve akım değerlerini değiştirmektedir. Modelde bu faktör göz önüne alınarak anahtarlama frekansı 1kHz seçilmiştir. Şekil 2.5' de tetikleme sinyalinin elde edilme modeli ve şekil 2.6' da MATLAB' de oluşturulan karşılaştırma modeli gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Tetikleme sinyallerinin elde edilmesi

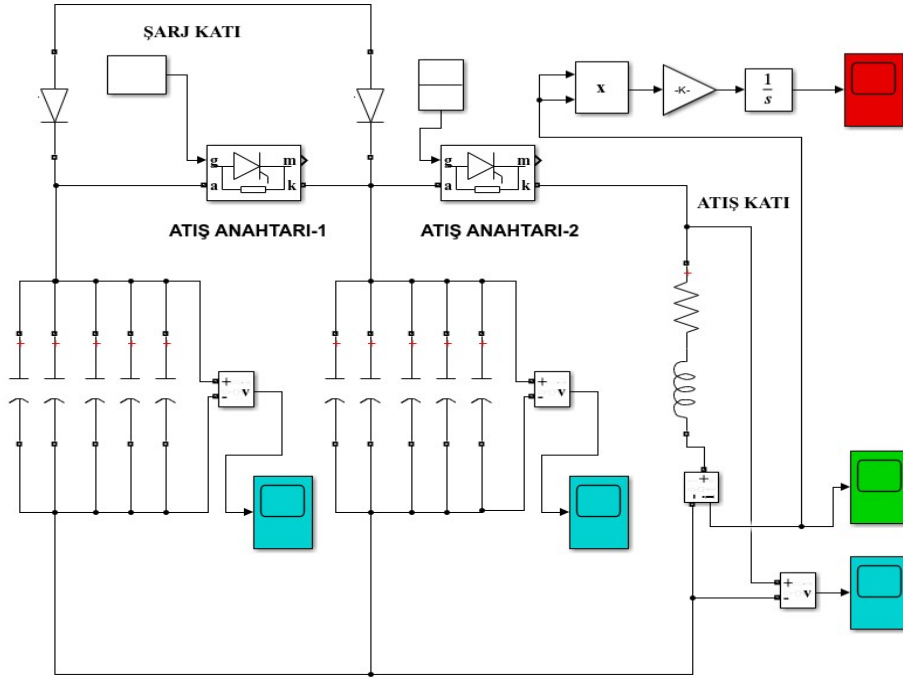


Şekil 2.6. Tetikleme Modeli

Sistemde kullanılan anahtarlama sinyalinin elde edilmesi şekil 2.6’ daki gibidir. Temel taşıyıcı anahtarlama sinyali üçgen dalga formunda seçilmiştir. Referans sinyali ise birinci dereceden sabit seçilerek çıkış sinyalinin anahtarlama frekansı ve eşik değeri ayarlanmaktadır.

2.1.3. Atış Modeli

Yük bankasının uçlarında depolanan enerjinin bobin üzerinde sönmülenererek fırlatma işlemini gerçekleştiren modeldir. Literatürde yapılan atış modelleri incelenmiş ve başlık 1.6’ da yer alan eşitlikler üzerinden atış modeli parametrelerinin hesaplanması yapılmıştır. İrdelenen modellerin parametre formülleri eşitlik 1.10, 1.11, 1.13, 1.14, 1.17 ve 1.18’ de gösterilmektedir. Şekil 2.7’ de benzetimi yapılan atış modeli verilmektedir.



Şekil 2.7. Atış Modeli MATLAB/Simulink

Atış senaryoları oluşturulurken eşitlik 1.17' de belirtilen sönümlenme direnci değerine göre parametreler belirlenmektedir. Öncelikle modelin enerji kaynağı olan kondansatör değerleri belirlenmelidir. Kondansatör değeri şarj süresi ile ters orantılı, mermi hızı ile doğru orantılı olacak şekilde belirlenmelidir. Yük bankasının birden fazla kondansatör ile oluşturulması durumunda, kondansatör sayısı eşitlik 1.11' deki bağıntı ile sistemin toplam enerji değerini sağlayacak olan sığa değeri ise eşitlik 1.13' den belirlenmektedir.

Atış modelinde yer alan ivmelendirici sargının endüktans değeri eşitlik 1.14 ve 1.18' den belirlenmektedir. Endüktans değeri üzerinde sönümlenecek olan akımın tepe değeri ile ters, sönümlenme zamanı ile doğru orantılıdır. Aynı zamanda eşitlik 1.19' da yer alan bobinin enerji değeri ile doğru orantılıdır. Bu bağıntılar dikkate alındığında sistemin endüktans değeri belirlenirken bobin üzerinde depolanacak enerji ile bu enerjinin sönümlenme zamanının dikkate alınması gerekmektedir. Mermi üzerine etki edecek manyetik kuvvetin süresi arttıkça fırlatma hızında artış meydana gelecektir.

Atış modelinde yer alan sönümlenme direncinin değeri eşitlik 1.17' den belirlenmektedir. Direnç değeri belirlenirken kondansatör ve bobin değerinin fırlatma hızına uygun olacak aralıkta bulunması gerekmektedir; ancak sönümlenme direncinin değeri sönümlenme akımını etkileyeceğinden dolayı direnç değeri mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

Literatürde yapılan araştırmalar ve benzetim ortamında yapılan denemeler göz önüne alındığında atış modelinde bulunan parametrelerin öncelik sırası kondansatör, bobin ve direnç olarak yer almaktadır. Bu öncelik sırasının ve parametrelerin ayrı ayrı etkisinin yorumlanması için sistem üzerinde atış senaryoları oluşturulmuştur.

Bu senaryolarda sırasıyla kondansatör gerilim ve sığa değeri ile ivmelendirici sargının endüktans değeri değiştirilecektir. Aynı zamanda literatürdeki güç devresini baz alarak yapılan verim hesaplamalarına bir yorum getirebilmek amacıyla son senaryodaki atış iki farklı benzetim programında gerçekleştirilecektir. Senaryolara ait parametre büyüklükleri tablo 2.2, 2.3, 2.4 ve 2.5’ de verilmektedir.

Tablo 2.2. Senaryo 1 atış modeli parametreleri

Senaryo (1)		
Parametreler	Durum (1)	Durum (2)
Kondansatör Gerilimi (Volt)	145 V	240 V
Kondansatör Sığa Değeri (Farad)	150 mF	150 mF
Direnç Değeri (Ohm)	45 mΩ	45 mΩ
Endüktans Değeri (Henry)	75 μH	75 μH
Ateşleme Periyodu (ms)	22 ms	22 ms

Tablo 2.3. Senaryo 2 atış modeli parametreleri

Senaryo (2)		
Parametreler	Durum (1)	Durum (2)
Kondansatör Gerilimi (Volt)	145 V	85 V
Kondansatör Sığa Değeri (Farad)	150 mF	1500 mF
Direnç Değeri (Ohm)	45 mΩ	14.1 mΩ
Endüktans Değeri (Henry)	75 μH	75 μH
Ateşleme Periyodu (ms)	22 ms	67 ms

Tablo 2.4. Senaryo 3 atış modeli parametreleri

Senaryo (3)		
Parametreler	Durum (1)	Durum (2)
Kondansatör Gerilimi (Volt)	145 V	145 V
Kondansatör Sığa Değeri (Farad)	150 mF	150 mF
Direnç Değeri (Ohm)	45 mΩ	141 mΩ
Endüktans Değeri (Henry)	75 μH	750 μH
Ateşleme Periyodu (ms)	22 ms	67 ms

Tablo 2.5. Senaryo 4 atış modeli parametreleri

Senaryo (4)	
Parametreler	Büyüklikler
Kondansatör Gerilimi (Volt)	5000 V
Kondansatör Sığa Değeri (Farad)	1.2 mF
Direnç Değeri (Ohm)	0.2 Ω
Endüktans Değeri (Henry)	12 μ H
Ateşleme Periyodu (ms)	0.75 ms

Senaryo 4, literatürde yer alan hız ölçüm metotları ile ANSYS/Maxwell çözüm metodunu kıyaslamak için yapılacaktır.

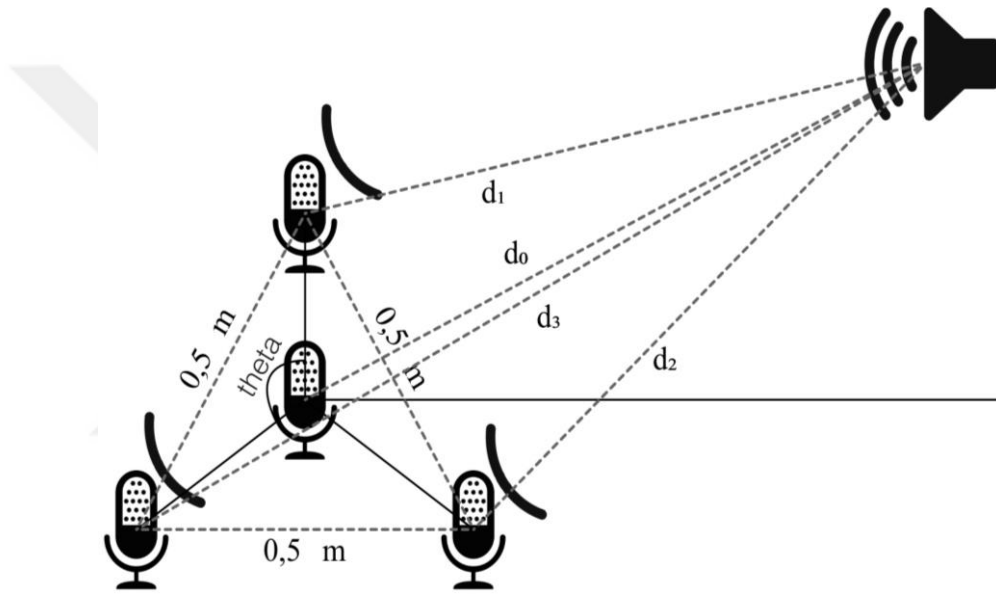
2.2. Akustik Konumlandırma Sistem Modeli

Bu modelde sesin varlığına göre konumun tespit edilmesi için zaman farkı yöntemini kullanan lineer algoritma kullanılmaktadır. Bu tarz sistemlerde sesin algılanması için bir adet referans mikrofonunun etrafına çeşitli geometrik şekillerde mikrofon kombinasyonu konulabilir. İrdeleme ve atış komutunun anahtarlanması amacıyla oluşturulan bu sistemde, yakın mesafe konumlandırma aşamasında dikdörtgen ve üçgen konumlandırma yöntemleri seçilmiş ve mfile yazılım ortamında denenmiştir. Alınan sonuçlar regrasyon analizine koyulduğunda en uygun konumlandırmanın üçgen olduğu belirlenmiştir. Mikrofonlar arasındaki mesafelerin koordinat eksenini düzlemlerinde x ve y değerlerinin 0' dan büyük olması durumunda sinyalin çapraz ilinti fonksiyonunda daha doğru sonuç verdiği saptanmıştır.

Ortada bulunan referans mikrofonunun etrafına çember düzeninde üçgen olacak şekilde 3 adet mikrofon yerleştirilir. Üç mikrofon referans mikrofonuna göre eğik açılarda yerleştirileceğinden dolayı yerleştirilmenin özenle yapılmış bir sabitleme sistemi ile yapılması gerekmektedir. Oluşabilecek milimetrik bir hata, konum doğruluğunu referans koordinat ekseninden uzak mesafelere düşürmektedir. Aynı zamanda sistem maliyetini göz önüne alacak olursak, bu sistemde kullanılması gereken geniş yayılıma sahip condenser mikrofonların artırılması maliyet açısından olumsuz bir etki meydana getirmektedir. Bundan dolayı minimum sayıda ve doğru geometride seçim yapmak önemlidir.

Çalışmanın doğruluğu için ses hızı hesabının yanı sıra mikrofon yerleşim konumu ve matematiksel modeli, malzeme kalitesi, filtre, varış farkı hesabı ve verilerin işleme hızı da önemlidir.

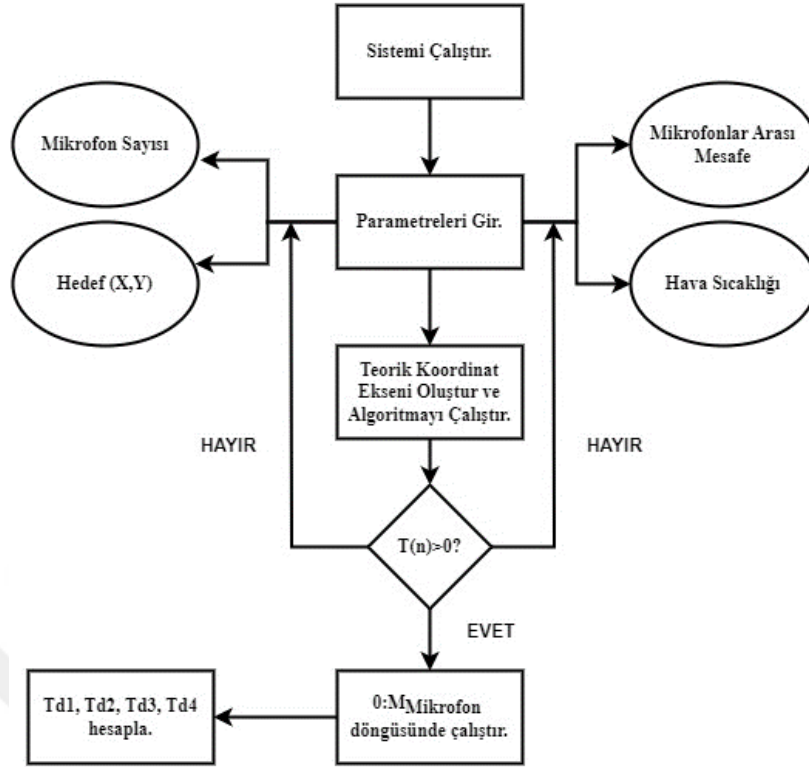
Akustik konumlandırma sistemleri mikrofon geometrisinde, mikrofonlar arası mesafe sistemin konumuna göre değişmektedir. Ancak geometrik model üzerinde yapılan denemelerde bu mesafenin artırılmasının hata payını azalttığı da görülmektedir. Literatür ve piyasadaki araştırmalar incelendiğinde bu mesafenin genellikle 50 cm seçildiği görülmektedir. Şekil 2.8’ de kurulan sistemin modeli görülmektedir.



Şekil 2.8. Akustik konumlandırma sistem modeli

Konumlandırma sisteminde sesin geldiği bölgeye göre algoritmada yer alan işlemler fonksiyonları değişmektedir. Zaman farkı yöntemi ilerideki metinlerde anlatılacaktır. İrdeleme benzetim ortamında teorik ve deneysel yapılacaktır.

Deneysel olarak modellemenin yapılabilmesi için kayıt ses dosyalarının oluşturulması gerekmektedir. Bunun için gerçek zamanlı uygulamada olduğu gibi sesin farklı zamanlarda duyulduğu sisteme tanımlanmalıdır. Tanımlamanın gerçekleştirilebilmesi için teorik kısımda sistemin matematiksel modeli geometrik hesaplamalarla oluşturulmalı ve deneysel kısma bu hesaplanan parametreler ile ses kayıtları oluşturularak başlanmalıdır. Şekil 2.9’ da teorik kısma dair akış şeması bulunmaktadır.



Şekil 2.9. Akustik konumlandırma sistemi teorik model akış şeması

Sisteme öncelikli olarak giriş parametreleri olan mikrofon sayısı ile aralarındaki mesafe, hedefin konumu ve hava sıcaklığı girilmelidir. Hedefin konumunun girilmesinin nedeni deneysel yapılan çalışmanın doğruluğunu ispatlamak içindir. Girilen parametrelere göre matematiksel model üzerinden teorik koordinat eksenini çıkarılmaktadır. Koordinat ekseninde hedeften gelen sesin mikrofonlara göre olan mesafe farkı bulunarak zaman farkları sistemde bulunan bütün mikrofonlar döngüsünde hesaplanmakta olup, bu aşamadan sonra deneysel çalışmaya geçilmektedir. Teorik modelde bulunan matematiksel model aşağıda açıklanmaktadır.

Şekil 2.7’ de gelen sesin 1.bölgeden geldiği kabul edilerekten sistem kurulmaktadır. Akustik konumlandırma sistemi savunma bölgesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Var olan sistemde bir adet referans mikrofonu ile 3 adet konumlandırıcı mikrofon bulunmaktadır. Mikrofonların ses kaynağına olan uzaklıkları d ile sembolize edilmektedir. Mikrofonların yerleştirme konumlarının belirlenmesi eşitlik 2.1, 2.2 ve 2.3’ de verilmektedir.

$$\theta = \frac{360}{M_{mikrofon} - 1} \quad (2.1)$$

$$\beta = \frac{(180 - \theta)}{2} \quad (2.2)$$

$$r_{\text{gerçek}} = \frac{a}{(2 \cdot \cos(\beta))} \quad (2.3)$$

Eşitliklerde θ konumlandırmada mikrofonların dağılım açısını, β ise mikrofonların koordinat eksenleri ile yaptığı açıyı sembolize etmektedir. Sistemde üçgen dağılımda 3 adet mikrofon kullanıldığı için θ değeri 120° ve β değeri ise 30° derecedir. Yarıçap ise mikrofonların konumlandırıldığı dairenin yarıçapını yani ikinci mikrofonunun uzaklığını vermektedir.

Mikrofonların ses kaynağına olan uzaklığı ise $d(n)$ olarak sembolize edilmekte olup eşitlik 2.4' den bulunmaktadır.

$$d(n) = \sqrt{(x_{\text{ses}} - x_{\text{mikrofon}})^2 + (y_{\text{ses}} - y_{\text{mikrofon}})^2} \quad (2.4)$$

Her bir mikrofonun ses kaynağına olan uzaklığı bulunduktan sonra konumlandırma için sesin mikrofonlara olan varış zaman farkının bulunması gerekmektedir. Ses dairesel halkalar şeklinde yayılmaktadır. Sistemdeki mikrofonlara aynı anda ulaşmamaktadır. Bundan dolayı mikrofonların sesi karşılama süreleri farklıdır. Algoritmanın işlemesi ve deneysel olarak çalışma yapılabilmesi için her bir mikrofonun referans mikrofonu göre ses karşılama süresi zaman farklarının hesaplanması gerekmektedir.

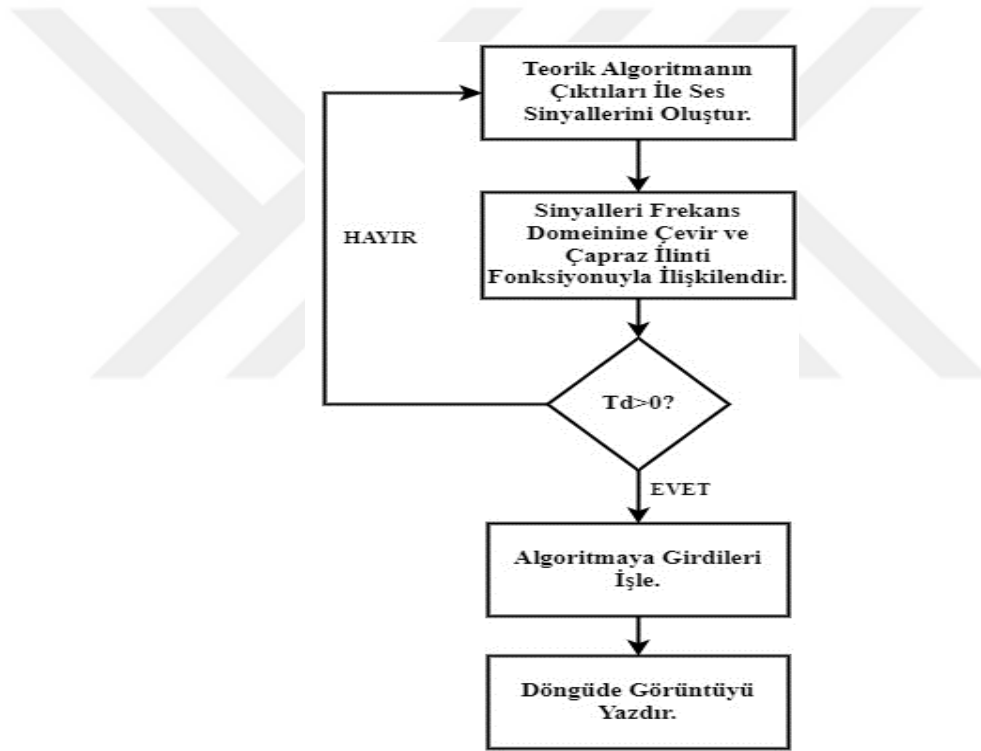
Matematiksel modelde $T(n)$ sesin geliş açısına ve hava sıcaklığındaki hızına bağlı olarak değişen mikrofonlar arasındaki zaman farkının ses hızı ile çarpılmış halidir. Örnek olarak; 1 numaralı mikrofon ile referans mikrofonunun sesi karşılama süreleri arasındaki zaman farkı ile ses hızının çarpımı $T(1)$ i vermektedir. Bu anlatılanlardan yola çıkılarak zaman farkları eşitlik 2.5 ve 2.6' dan hesaplanmaktadır.

$$T(n) = d(\text{referans}) - d(n + 1) \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5’ de elde edilen sonucun sıfırdan büyük çıkması gerekmektedir. Aksi takdirde konumlandırmanın yanlış olduğu anlaşılmakta ve sistem sonuçları hatalı vermektedir. Bulunan mesafe farkı ses hızına bölünerekten zaman farkları bulunmaktadır.

$$t_{\text{fark}} = \frac{T(n)}{\text{Ses hızı}} \quad (2.6)$$

Mikrofonlar arası zaman farkı teorik modelde bulunduktan sonra deneysel çalışmaya MATLAB/mfile üzerinden geçilebilir. Şekil 2.10’ da akustik konumlandırma sistemlerin deneysel akış diyagramı verilmektedir.

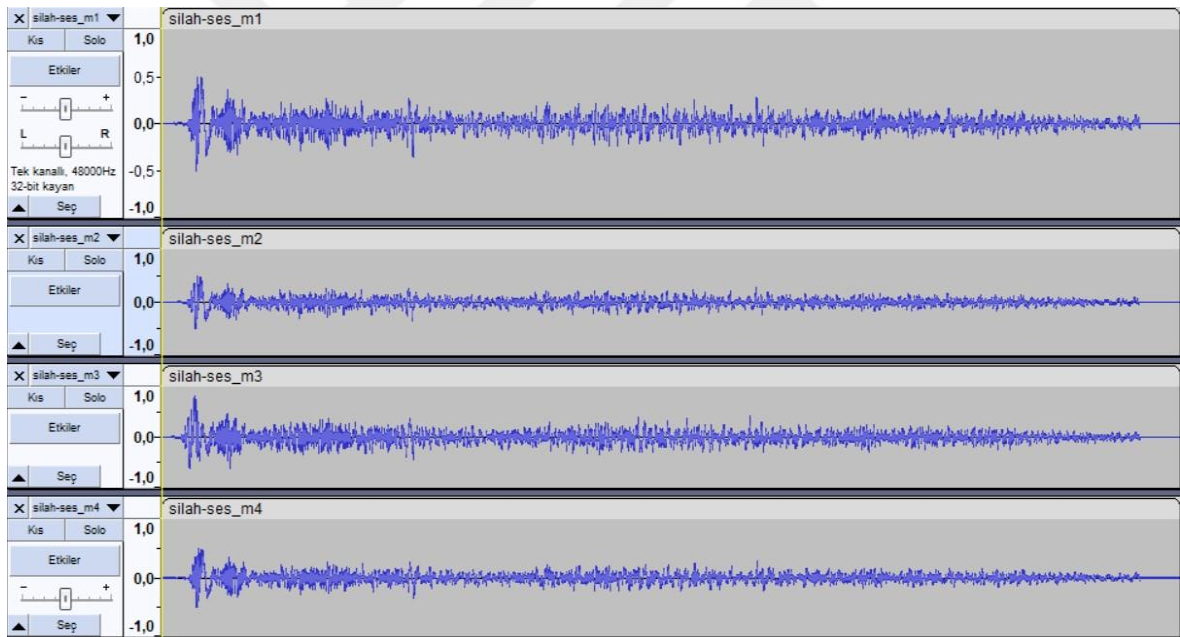


Şekil 2.10. Akustik konumlandırma sistemi deneysel model akış şeması

Silahların ateşlenmesi sonucunda iki farklı akustik ses ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri silah namlusunda ateşlemeyle birlikte oluşan ve her yöne dairesel halkalar şeklinde yayılan 500 Hz civarındaki silah namlu sesi; diğeri ise ses hızından daha yüksek bir hızda oluşan mermi yolunun oluşturduğu 1 kHz- 4 kHz frekans bandındaki şok dalgalarıdır.

Akustik algılayıcı sistemlerde iki farklı akustik ses birbirinin kombinasyonu veya tekil olarak kullanılabilir. Ancak bu tarz sistemlerde konum tespiti yaparken her ikisinin de kullanılması sistemin kullanılabilirliği ve performansına katkı sağlamaktadır. Şok dalgaları, mermi yönünü yani açısını belirlemede; namlu sesi ise hedef konumunun tespiti için daha doğru sonuç vermektedir. Bundan dolayı hedef ayrımı daha kolay yapılabilmektedir [38].

Deneyisel olarak benzetim ortamında uygulama yapabilmek için algoritmaya ses kayıt sinyali dosyalarının işletilmesi gerekmektedir. Mikrofonun gerçek zamanlı kaydedeceği sesin, mikrofonlara zaman farkı ile geleceği süreler teorik uygulamada bulunduğundan dolayı, gerçek zamanlı ses sinyalleri üretebilmemiz mümkündür. Bu işlem Audacity ses uygulaması üzerinden, referans mikrofonundaki ana sese göre verilen zaman farkı ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.11’ de zaman farkı ile oluşturulan ses kayıt dosyaları Audacity üzerinden görüntülenmektedir.



Şekil 2.11. Audacity silah atış ses sinyalleri

Varış zaman farkı hesaplama bu sistemdeki en önemli parçayı oluşturmaktadır. Çünkü konum tespitinin doğruluğu ile algoritma sonucu ortaya çıkan mikrofonlar arası gecikme miktarının doğruluğu aynı orantıdadır.

Algoritma hesaplama yaparken sistemde kullanılacak dört adet mikrofondan alınan “wav” uzantılı ses kayıtları ile konum tespitinde çokça kullanılan “Çapraz İlinti Fonksiyonu”

kullanılarak aralarındaki zaman farkları hesaplanabilmektedir. Ses kayıt dosyaları MATLAB/mfile üzerinden sisteme girdi olarak verilmektedir. MATLAB 'de sesin örnekleme değeri ile şiddet değeri alındıktan sonra sinyal çapraz ilinti fonksiyonu ile ilişkilendirilecektir [39].

2.2.1. Çapraz İlinti Fonksiyonu

Çapraz ilinti fonksiyonu mühendislik anabilim dalında sinyal işlemede kullanılan yöntemlerden biridir. Sinyaller arasında faz farkı ve zaman farkı hesabını yüksek doğrulukla çözümlendiği için konum tespit uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu fonksiyonun girdisi frekans domeini olduğundan dolayı ses sinyallerinin öncelikle Fourier dönüşümlerinin alınarak zaman domeininden, frekans domeinine geçirilmesi gerekmektedir. Fonksiyon eşitlik 2.7 ve 2.8' de verilmektedir.

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g_1(\tau) \cdot g_2^*(t - \tau) \cdot dt \quad (2.7)$$

$$R_{21}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g_2(\tau) \cdot g_1^*(t - \tau) \cdot dt \quad (2.8)$$

Burada $g_1(\tau)$ referans mikrofonunun fourier dönüşümü alınmış halini, $g_2(t - \tau)$ ise gecikme ile gelmiş aynı uzunluktaki aynı sesin fourier dönüşümü alınmış halini simgelemektedir. Gecikmeli ses sinyalinin eşleniği alınıp, birinci ses sinyali ile çarpma işlemi yapıldıktan sonra ortaya çıkan değerlerin ters fourier dönüşümü alınır ve daha sonra frekans domeinindeki değerler tekrar zaman domeinine çevrilir. Burada yapılan çarpma işleminde birinci ses ile eşleniği alınmış ikinci sesin her bir örneği teker teker çarpılarak maksimum genliğin olduğu pozisyon bulunmaya çalışılır. Dolayısıyla $R_{12}(\tau)$ 'yi maksimum yapan pozisyon bizim için gecikme miktarını belirtmektedir.

Fonksiyon sonucunda bulunan zaman farkları teorik uygulamadaki gibi ses hızı ile çarpılarak mesafe farkları da bulunmaktadır. Hedefin deneysel olarak bulunması için bu mesafe farklarının geometrik hesaplara dayalı zaman farkı yöntemi ile algoritmada işlenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak modelde teorik ve deneysel çalışma metotları uygulanmış olup, akustik konumlandırma sistemi iki model arasında bağıntı ile oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin çıktı sonuçları bulgular bölümünde gösterilecektir. Tasarlanan modelin çıktıları simulink arayüzüne aktarıldığından dolayı çapraz ilinti fonksiyonunun sonucu olan, sesin şiddetini belirten y değerine göre sistem üzerinden anahtarlama yapılmaktadır.

2.3. Görüntü İşleme Modeli

Elektromanyetik fırlatıcı modelinde güç kaynağından şarj devresine bağlantının sürekli aktif olması durumunda kaynak geriliminde azalma meydana gelmektedir. Sistemde DA tabanlı kaynak kullanıldığından dolayı, kaynak gerilim seviyesinin %70' in altına düşmemesi gerekmektedir. Bundan dolayı sistemin giriş kısmında anahtarlama yapılması gerekmektedir. Sistem anahtarlama günümüzde şu anda aktif olan YOLO (You Only Look Once) algoritmasının görüntü işleme tekniği ile gerçekleştirilecektir.

MATLAB/mfile' da oluşturulan algoritma çözücüsü olarak YOLO v2 nesne dedektörü kullanılmıştır. Sisteme girdi olarak belirtilen görüntünün giriş boyutunun önceden eğitilmiş dedektörün ağ giriş boyutuna eşit veya büyük olması gerekmektedir. Ayrıca sisteme girdi olarak verilen görüntüler gerçek ve seyrek olmamalıdır. Görüntünün H (piksel yüksekliği), W (piksel genişliği), C (kanal boyutu) ve B (dizideki görüntü sayısı) parametrelerinin uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu uygunluğun oluşturulması görüntü işleme teknikleri ile yapılmaktadır.

YOLO' nun diğer algoritmalarla göre gerçek zamanlı nesne tespitini daha hızlı gerçekleştirdiği yapılan araştırmalar sonucunda anlaşılmaktadır. Bunun nedeni ise görüntüyü tek seferde nöral ağlardan geçirerek görüntüdeki tüm nesnelerin sınıfını ve koordinatlarını değerlendirebiliyor olmasıdır. Bu işlemin temeli, nesne tespitinin tek bir regrasyon problemi olarak değerlendirilmesindendir [40].

Varlık tespiti için sisteme tanıtılan görüntü öncelikle SxS' lik ızgaralara bölünmektedir. Her bir ızgara kendi içinde, alanda nesnenin olup olmadığını, varsa orta noktasının içinde olup olmadığını, orta noktası da içindeyse uzunluğunu, yüksekliğini ve hangi sınıftan olduğunu bulmaktadır. Daha sonra her bir ızgara için tahmin vektörü oluşturmakta olup, her birinde hata fonksiyonlarını değerlendirmektedir. Diğer yöntem ve teknikler incelendiğinde YOLO' nun regrasyon problem çözüm yeteneği kullanarak tespit sonucunun doğruluk oranını artırdığı anlaşılmaktadır.

Algoritmaya girdi olan görüntünün sınıflandırılıp, doğruluk değerinin çıkarılması için sistem üzerinde işleni döngüsünün oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem için MATLAB üzerinden “[bboxes, scores]” döngüsü oluşturulmaktadır [41].

Görüntü algoritmaya uygun hale getirildikten sonra histogram değerlerinin çıkarılması ve döngüye işletilmesi gerekmektedir. Görüntünün sisteme girdi olarak işletilmesi “visualization” komutu ile yapılmaktadır. Histogram değerlerini baz alarak nesne tespiti yapılması “[hog1, visualization]” fonksiyonu ile sağlanabilmektedir.

Görüntünün işlenmesi ve YOLO’ ya tanıtılmasından sonra çözücü içerisinde döngünün oluşturulması ve koşulların belirtilmesi gerekmektedir. Sınıflandırma puanının girdi olarak bulunduğu koşul döngüsünde YOLO puan değerlerini baz olarak çözüm meydana getirmektedir.

Sonuç olarak girdi bulunan görüntü içerisinde histogram ve sınıflandırma puanları çıkarıldıktan sonra bu değerler YOLO v2’ nin döngü fonksiyonları içerisinde işletilerek kişi tespiti yapılmaktadır.

2.4. Hız Ölçüm Modeli

Sistem üzerinde enerji dönüşümü atış modeli üzerinde gerçekleşmektedir. Kondansatörlerde depolanan potansiyel enerji, bobin üzerinde manyetik enerji formuna dönüşmektedir. Bobin içerisinde yer alan mermi manyetik kuvvet aracılığı ile manyetik enerjiyi kinetik enerjisine dönüştürmektedir. Eşitlik 1.13 ve 1.19 sırasıyla kondansatör ve bobin üzerindeki potansiyel enerji bağıntılarını vermektedir. Başlangıç enerjisi olan potansiyel enerji eşitlik 2.9’ da yer alan kinetik enerji formuna dönüşmektedir. Eşitlik 1.19’ da yer alan bobin enerjisinin 2.9’ daki kinetik enerji formuna dönüştürülmesi ile mermi hızı bulunmaktadır. Bu bağıntılar kullanılarak MATLAB/Simulink üzerinden hız ölçüm modeli oluşturulmuştur.

$$E_{Kinetik} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.9)$$

Elektromanyetik fırlatıcı sistemler başlangıç enerjisinin hepsini mermiye kinetik enerji olarak aktaramamaktadır. Atış modeli üzerinde yer alan devre elemanları üzerinde elektriksel kayıplar ile sargı modelinde bulunan kaçak akılar yüzünden sistem üzerinde

kayıplar meydana gelmektedir. Literatürde konu ile alakalı çalışmalar incelendiğinde düşük güçlü uygulamalarda ($\leq 10\text{kW}$) sistem veriminin %1 ile %5 arasında olduğu görülmektedir [42].

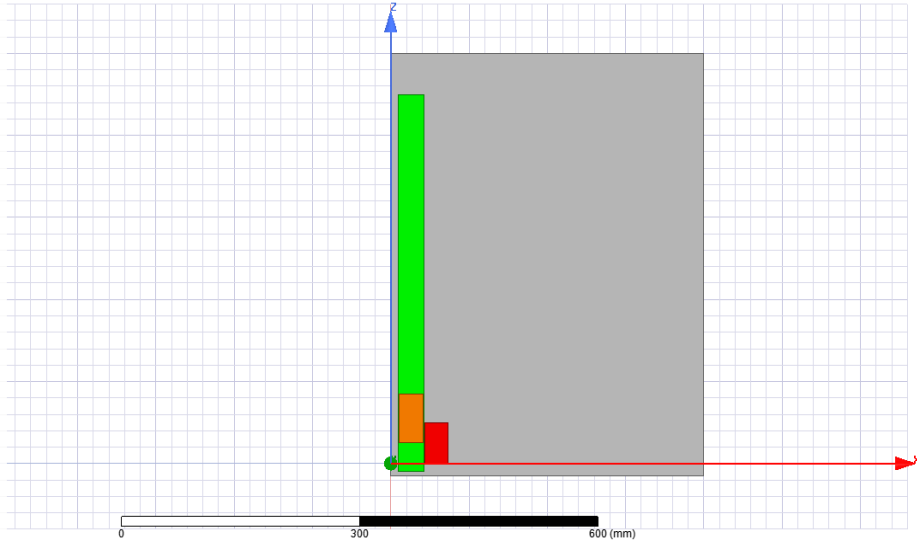
Eşitlik 2.10' da sistem veriminin bağıntısı verilmektedir. MATLAB üzerinden bulunan sonuçların literatüre uygunluğu, ANSYS yazılımı üzerinden benzetim ile test edilmektedir.

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{\frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2} \quad (2.10)$$

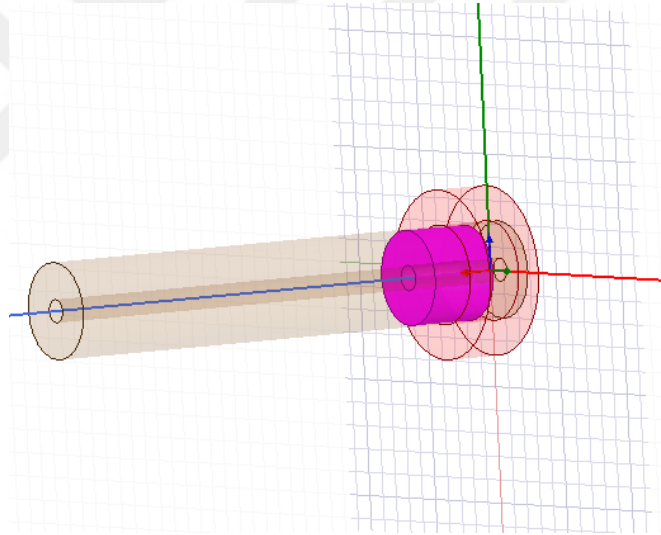
2.5. ANSYS Maxwell Fırlatıcı Sistem Modeli

Flyback dönüştürücü devrelerin gücü yaklaşık olarak 350 W' a kadar çıkabilmektedir. Elektromanyetik fırlatıcı sistemleri daha yüksek gerilim ile irdelemek için MATLAB/Simulink' de yer alan model yeterli olmamıştır. Aynı zamanda fırlatıcı sistemleri yorumlayabilmek için hız ve çıkış akımının yanı sıra manyetik şiddet ve akı yoğunluğunu da göz önünde bulundurmanız gerekmektedir. Bundan dolayı ANSYS Electronics Maxwell benzetim programında bir fırlatma senaryosu hazırlanmıştır.

Bu senaryoda sonlu elemanlar yöntemi ile analiz gerçekleştirerek literatürde yer alan sistem veriminin iki farklı platformda doğrulanması amaçlanmıştır. Programda 2 ve 3 boyutlu tasarım ortamlarında modeller oluşturulmuştur. Literatürde modelin oluşturulması ile alakalı kaynağın oldukça az bulunmasından dolayı yapılan çalışmalar aşamalar halinde belirtilecektir. Oluşturulan 2 ve 3 boyutlu modeller sırasıyla şekil 2.12 ve şekil 2.13' de gösterilmektedir. ANSYS veri tabanında bazı kalıp geometrik şekiller ve bu şekilleri oluşturacak olan materyaller mevcuttur. Fırlatıcı sistemleri dikdörtgen, silindirik, halkasal ve eliptik olarak modellemek mümkündür. Bu tasarımda iki boyutlu ortamda mermi, merminin aldığı yol, tahrik sargıları ve çözüm alanı dikdörtgen ile modellenmiştir. Şekil 2.12' de yeşil alan namluyu, kahverengi alan mermiyi, kırmızı alan tahrik bobinlerini ve gri alan ise sınırlı belirlenen çözüm alanını sembolize etmektedir.



Şekil 2.12. ANSYS Maxwell 2D elektromanyetik fırlatıcı tasarımı



Şekil 2.13. ANSYS Maxwell 3D elektromanyetik fırlatıcı tasarımı

ANSYS üzerinde oluşturulan iki boyutlu her model üç boyutlu sisteme otomatik olarak dönüştürülmektedir. Şekil 2.13’ de yer alan üç boyutlu model şekil 2.12’ de program üzerinden dönüştürülmüştür. Pembe silindirik model mermiyi sembolize etmektedir. Namlu ile mermi arasında 1 mm hava aralığı bulunmaktadır. Sisteme ait fiziksel birinci dereceden büyüklükler olan hız, kuvvet, konum ve akım değerleri iki boyutlu analiz ile manyetik alan şiddeti ise üç boyutlu analizle çözümlenmektedir.

2.5.1. Modelin Oluşturulması

Oluşturulan iki boyutlu modelde sistem dikdörtgen geometrisinde X ve Z koordinat eksenlerindedir. Bobin tabancasının tahrik bobini bakır tel ile sarılmıştır. Merminin malzemesi ise alüminyumdur. Burada sürme devresi, bobin endüktans değeri ve sistem gerilim değeri bölüm 1’ de anlatılan eşitliklerden bulunmaktadır.

İki boyutlu analizde fırlatıcının dinamik performansını analiz etmek için program üzerinde yer alan solution setup sekmesinden geçici analiz (transient) ve X&Z koordinatlarının seçilmesi gerekmektedir.

Sistem üzerinde 4 adet geometrik bölge bulunmaktadır. Bunlar tahrik bobini, armatür (mermi), hareket alanı (namlu) ve çözümleyici alan bölgesidir. Geometrik modeller oluşturulduktan sonra her birine sırasıyla materyal atama seçeneğinden bakır, alüminyum ve vakumlar seçilmelidir.

Burada önemli olan merminin başlangıç pozisyonunun iyi ayarlanmasıdır. Başlangıç pozisyonunun yanlış olması durumunda mermi ters konumda hareket edebilmektedir. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda merminin hızlandırıcı bobin içerisinde, son yarım periyodu veya ilk yarım periyodunda enerji aldığı görülmektedir. İlk yarım periyotta yer alması durumunda bobin üzerinde anahtarlama yapılması gerekmektedir. Bobinin orta noktasından sonra mermiye ters kuvvet etki edeceğinden dolayı bobin akımı kesilmelidir. ANSYS üzerinde anahtarlama modeli oluşturmanın zorluğundan dolayı merminin başlangıç pozisyonu son yarım periyot olarak ayarlanmıştır.

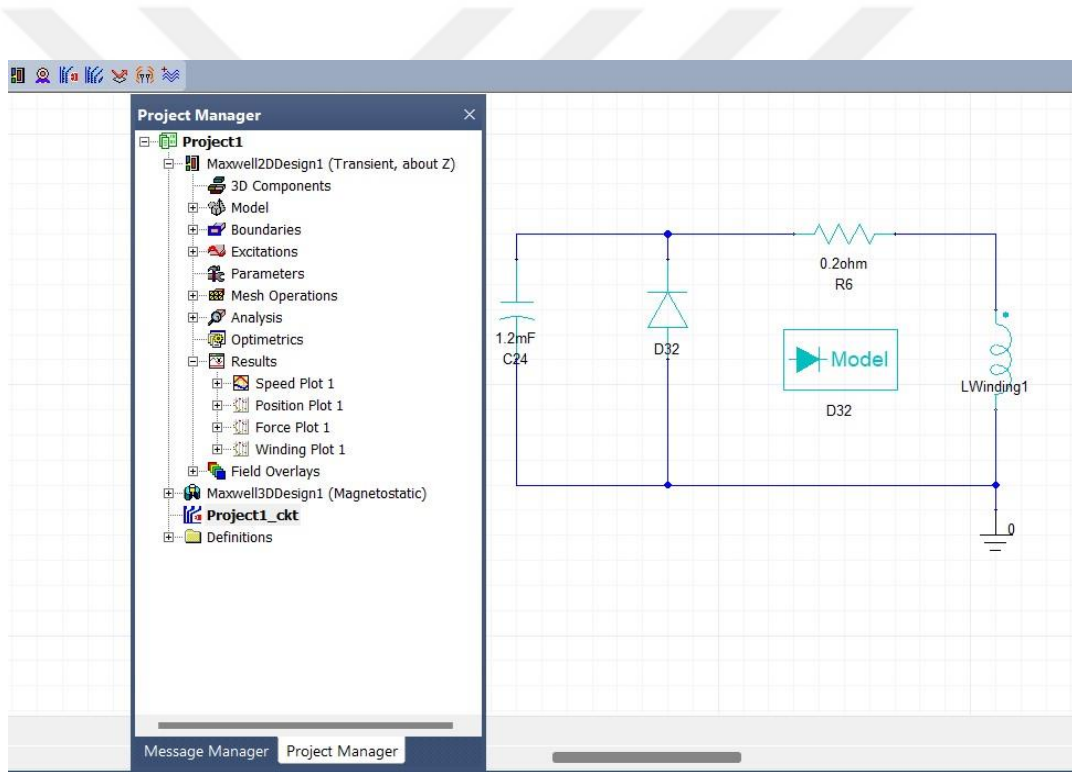
Geometrik olarak sistem modeli oluşturulduktan sonra sistem üzerinde *mesh* ayarları yapılmaktadır. Oluşturulan geometrik modellerin özellikler sekmesinden bu işlem yapılmaktadır. Başlık 1.9’ da yer alan sonlu elemanlar yönteminin çözüm metodunu gerçekleştirmesi için *mesh* ayarları bulunmaktadır. Modeli mesh uzunluklarında yer alan sonlu eleman dörtyüzlü ile analiz edebilmek için her bir ayrı parçaya bu ayar atanmalıdır. Ancak burada temel etken olan malzemenin sonlu eleman sayısının fazla olması analizin doğruluk oranını artırmaktadır. Bundan dolayı bobin elemanının *mesh* (sınırlama) değerinin küçük olması; sonlu eleman sayısının yüksek olması gerekmektedir.

ANSYS programını tasarım arayüzünün üzerinde materyal belirlenmeyen her konum program üzerinde vakum veya hava olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayı model üzerinde boundary (sınırlandırma) ayarının yapılmış olması gerekmektedir. Elektromanyetik fırlatıcı

modelin en dış bölgesi sınır kabul edilerek çözüm bölgesi oluşturulmuştur. Bu çözüm bölgesi programda sonsuz çözümü sınırlaması için boundary ayarının oluşturulması gereken alandır.

Modelde çözüm sınırları oluşturulduktan sonra sargı olarak tanımlanan geometrik şekle bobin sargılarının eklenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı uyarma bölümünde sargı eklentisi yapılmalıdır. Sargı eklentisi yapılırken sargıları tahrik edecek gerilim değeri ANSYS içerisinde sabit değer parametresi veya harici uyarma devresi ile verilebilmektedir. Harici devre MATLAB üzerinden otomatik olarak alınabilir veya Maxwell devre tasarlayıcısından oluşturulabilmektedir.

Bu paragrafa kadar anlatılan parametrelerin yer aldığı arayüz ile Maxwell harici uyarıcı devre şekil 2.14' de beraber verilmektedir.



Şekil 2.14. ANSYS program arayüzü ile harici uyarma devresi

Şekil 2.14' de verilen devrede kondansatör değeri 1.2 mF; direnç değeri 0.2 ohm ve kondansatör gerilim değeri 5000 Volt olarak belirlenmiştir. Bu değerler 12 μ H bobin değerine göre ayarlanmış ve benzetim zamanı 3 ms seçilmiştir. Tasarım bu parametrelere göre oluşturulmuştur.

Tahrik modeli ayarlandıktan sonra mermi parametrelerinin sisteme tanıtılması gerekmektedir. Aksi takdirde mermi sistem üzerinde hareketsiz nesne olarak

algılanmaktadır. Bu işlem hareket alanı üzerinde band koşulu atanarak gerçekleştirilmektedir. Bu koşul atandıktan sonra içerisinde merminin kütlesi ile namlu boyunun girilmesi gerekmektedir.

Modele ait bütün parametreler girildikten sonra analiz bölümüne analiz modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu modelde benzetim başlangıç zamanı ile örneklem değerleri belirlenmektedir.



3. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde tasarlanan ve modeli yapılan elektromanyetik fırlatıcı sisteminin MATLAB/Simulink ve ANSYS Maxwell ortamından elde edilmiş sonuçları ile hedef tespit algoritmasının sonuçları sunulacaktır. İlk olarak MATLAB/Simulink üzerinden oluşturulan senaryolara ait sonuçlar verilecektir. Daha sonra ANSYS/Maxwell üzerinden yapılan senaryo sonuçları paylaşılacaktır. Bu bölümün en son başlığında da hedef tespit ve algılama algoritmalarının çıktı sonuçları verilecektir.

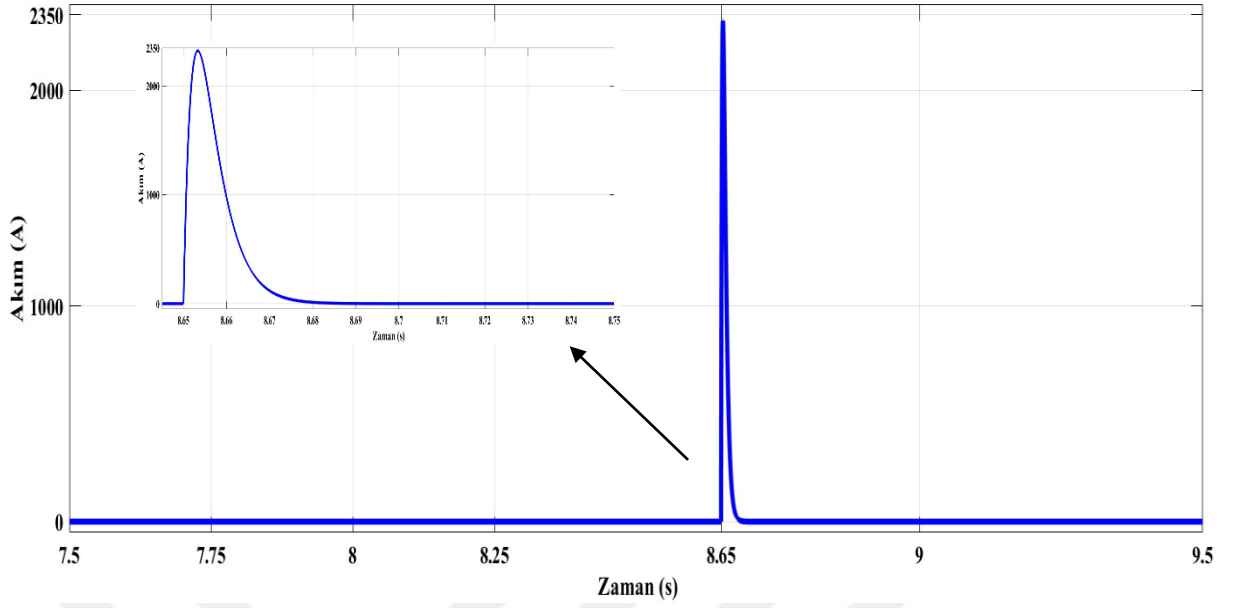
Bu bölümde yer alan devre parametreleri başlık 1.6 ve 1.8.1' de yer alan eşitliklere göre belirlenmiştir. Senaryolarda istenilen parametre değişimine bağlı olarak benzetim zamanı değiştirilmiş olup bölüm içinde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

3.1. Atış Senaryo Sonuçlarının İncelenmesi

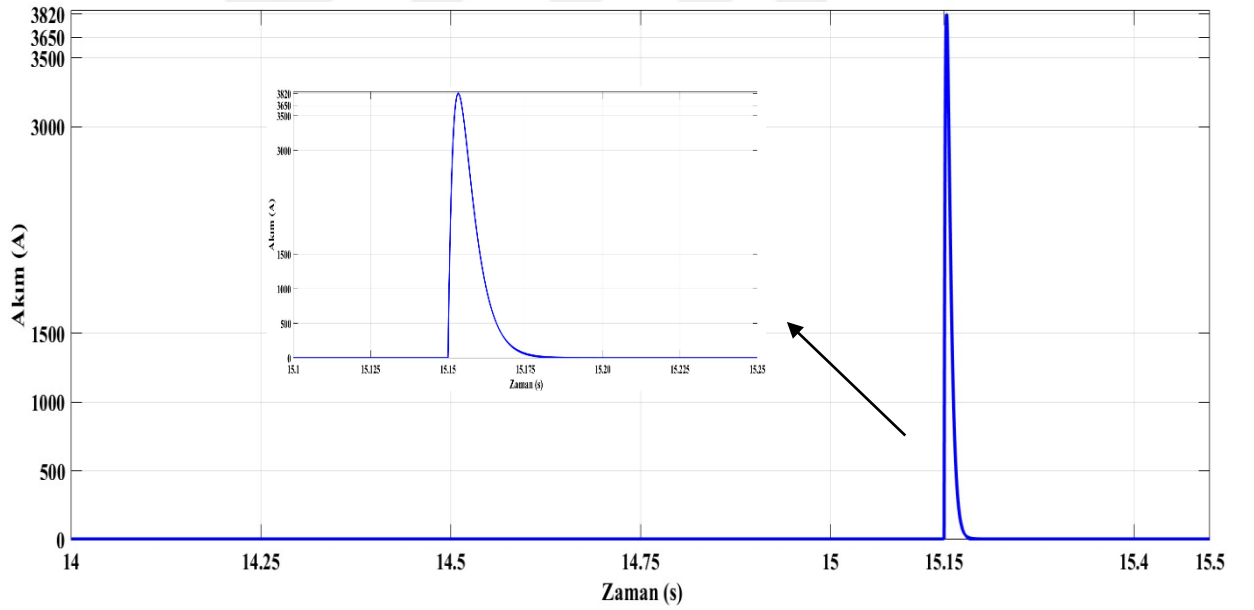
Sistem parametreleri hakkında bir yorum getirebilmek için ikinci bölümde yer alan tablo 2.2, 2.3 ve 2.4 Simulink modelinde; tablo 2.5 ise ANSYS ve MATLAB modelinde oluşturulmuş ve sonuçları alınmıştır. Sonuçlar bu bölümde alt başlıklar altında incelenecektir. Tablo 2.3 ve 2.4 incelendiğinde yer alan senaryodaki karşılaştırma 1 durumundaki parametre ve sonuçlarının senaryo 1' de yer alan durum 1' in sonuçları ile aynı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı senaryo 2 ve 3' ün 1.durum sonucu tekrar verilmeyecek olup, şekle atıf yapılacaktır.

3.1.1. Senaryo Modeli 1

Bu modelde bütün parametreler sabit tutularak kondansatörlerin şarj gerilim değeri 145 Volt' dan 240 Volt' a çıkarılmıştır. Atış kuramında gerilim değerinin etkisi irdelenecektir. Güç katında yer alan dönüştürücünün düşük güçlü olmasından dolayı, kondansatör şarj geriliminin artırılması durumunda şarj süresinde artış meydana gelecektir. Kondansatörler için gerekli olan şarj süresi uyarlanarak benzetim gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1 ve 3.2' de sırasıyla durum 1 ve 2' ye ait akım grafikleri verilmektedir. Akım tetikleme durumu verilen grafiklerin, sönümlenme karakteristikleri oklarla gösterilmektedir.



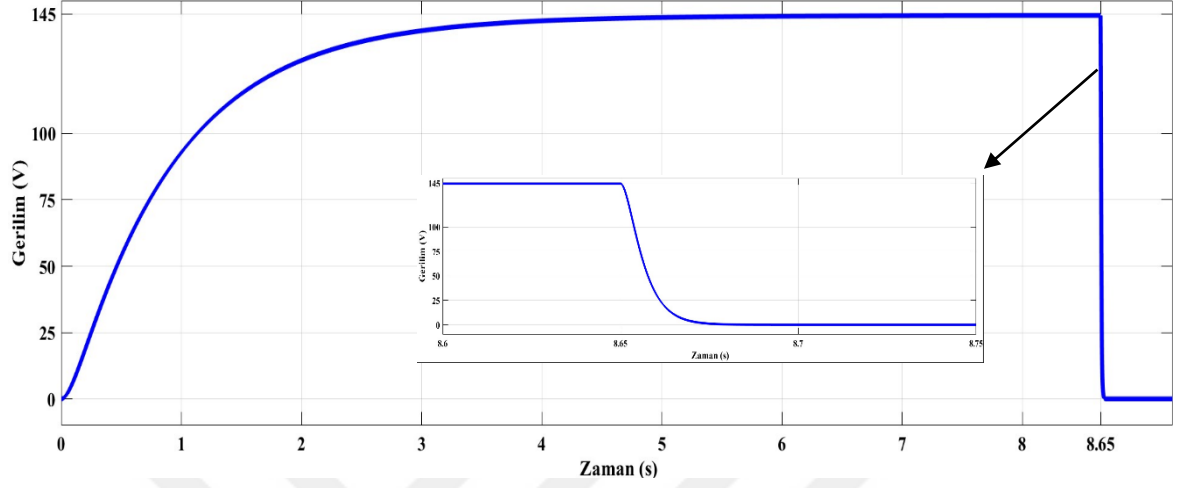
Şekil 3.1. Senaryo 1 - durum 1 akım grafiği



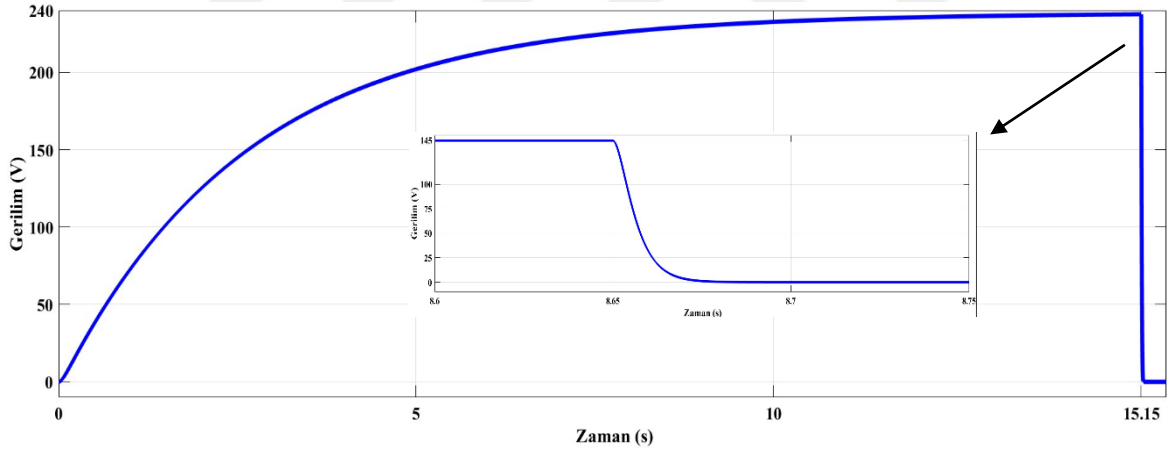
Şekil 3.2. Senaryo 1 - durum 2 akım grafiği

Kondansatörlerin gerilim değeri artırıldığında bobin üzerinde meydana gelen akımın tepe değerinin 2350 A' den 3820 A' e kadar arttığı görülmektedir. Eşitlik 1.18' de yer alan bağıntıya göre iki değer arasında birinci dereceden doğru orantı bulunmaktadır. Bobin üzerinde sönmölen akımın tepe değeri arttıkça eşitlik 1.19' a göre, bobin enerjisinin artması ve böylelikle hızın artması beklenmektedir. Şekil 3.3 ve 3.4' de sırasıyla modelde

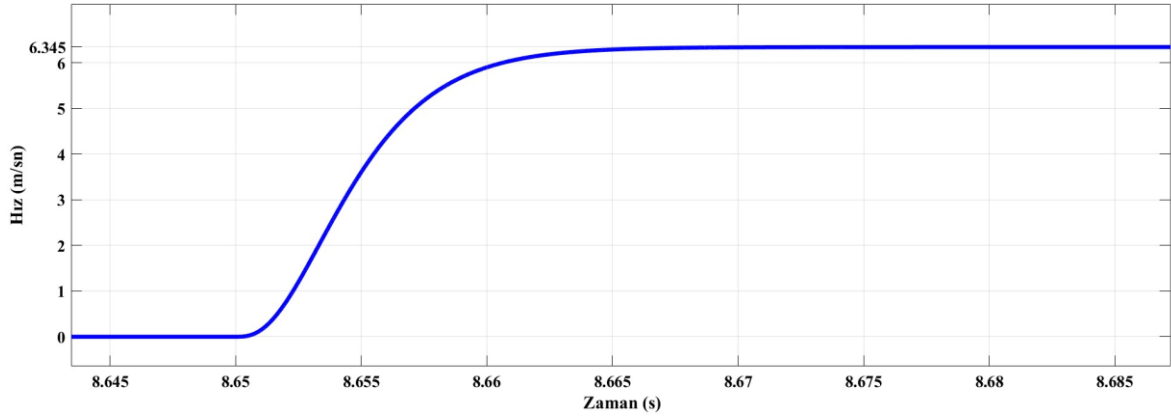
bulunan kondansatörlerin şarj-deşarj eğrileri; şekil 3.5 ve 3.6’ da ise sırasıyla durum 1 ve 2 modelinde bulunan fırlatıcı sistemlerdeki merminin çıkış hızları gösterilmektedir.



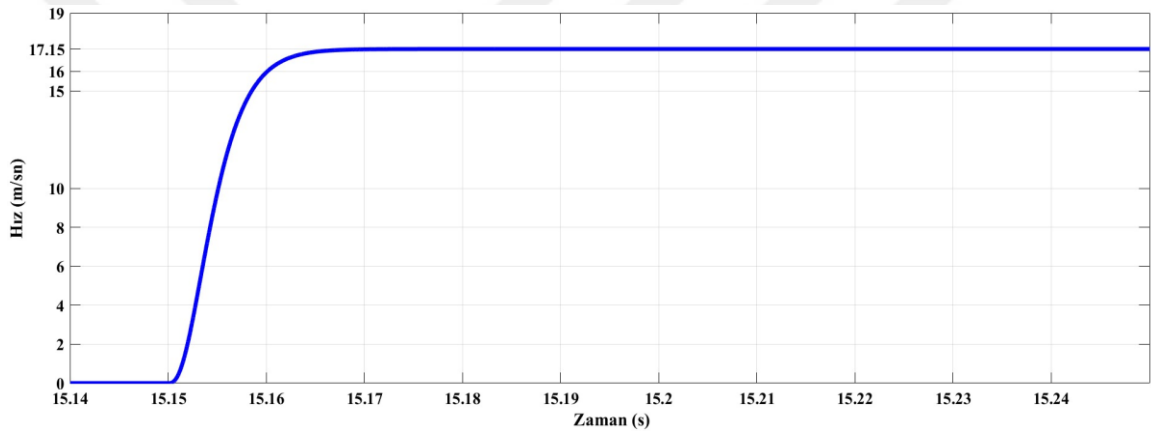
Şekil 3.3. Senaryo 1 - durum 1 kondansatör şarj-deşarj gerilim grafiği



Şekil 3.4. Senaryo 1 - durum 2 kondansatör şarj-deşarj gerilim grafiği



Şekil 3.5. Senaryo 1 - durum 1 mermi çıkış hızı grafiği



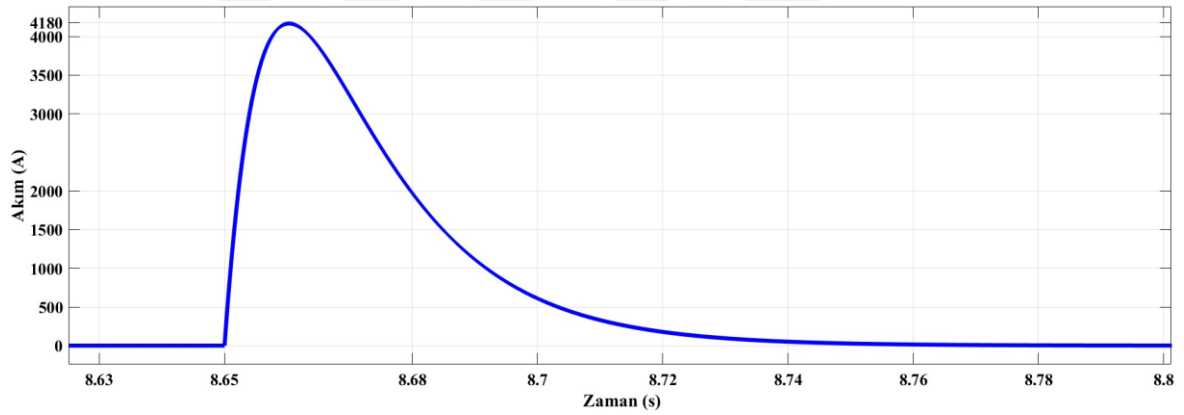
Şekil 3.6. Senaryo 1 - durum 2 mermi çıkış hızı grafiği

Senaryo 1 başarı ile gerçekleştirilmiştir. Yük bankasının gerilim değerini 145 V'dan 240 V' a artırdığımızda kondansatörün uçlarında depolanan potansiyel enerji artacak ve bobin enerjisinde artış meydana gelecektir. Sonuç olarak da merminin çıkış hızında grafiklerde görüldüğü üzere 6.345 m/sn' den 17.15 m/sn' ye yükselme gerçekleşmektedir. Eşitlik 1.13, 2.9 ve 2.10 göz önünde bulundurularak durum 1 ve 2 arasında 1 gramlık mermi üzerinden verim karşılaştırması yapıldığında; düşük gerilim kademelerinde gerilimde %65' lik bir oranda artış sağlandığında sistem veriminde %2.2 'lik bir puan artışı olduğu görülmektedir.

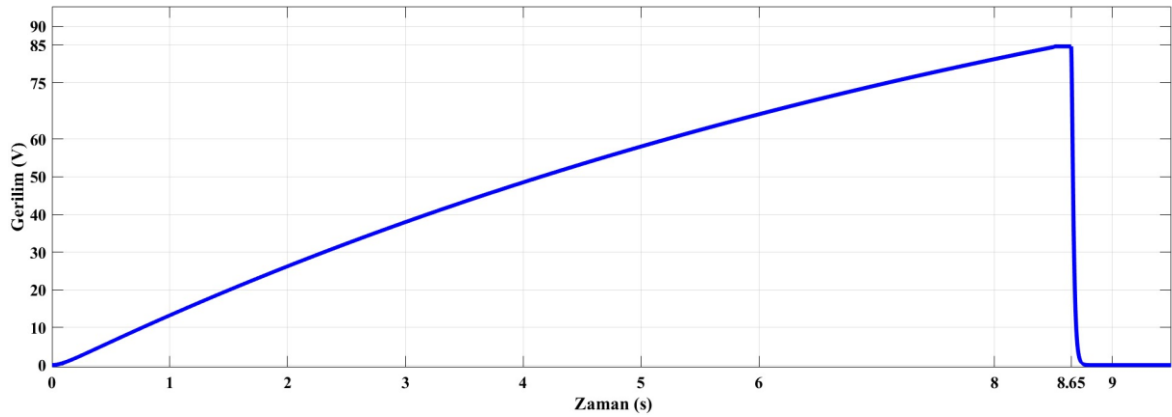
3.1.2. Senaryo Modeli 2

Bu senaryoda atış modelinde yer alan kondansatörün sığa değeri 10 katına çıkarılmıştır. Kondansatör sığa değerinin değişmesine bağlı olarak, kritik sönümlenme durumundaki sönümlenme direnci değeri de değiştirilmiştir. Senaryonun durumları arasında karşılaştırma yapabilmek için şarj süresi senaryo 1 durum 1’ de yer alan dönüştürücünün devre parametrelerini baz alarak sabit tutulacak ve kondansatörlerin sığa değerinin artmasına bağlı olarak şarj gerilim değeri düşecektir. Sonuç olarak senaryoda, sığa değerindeki artış ile gerilim değerindeki azalış oranına bağlı olarak sistem verimindeki değişim incelenecektir.

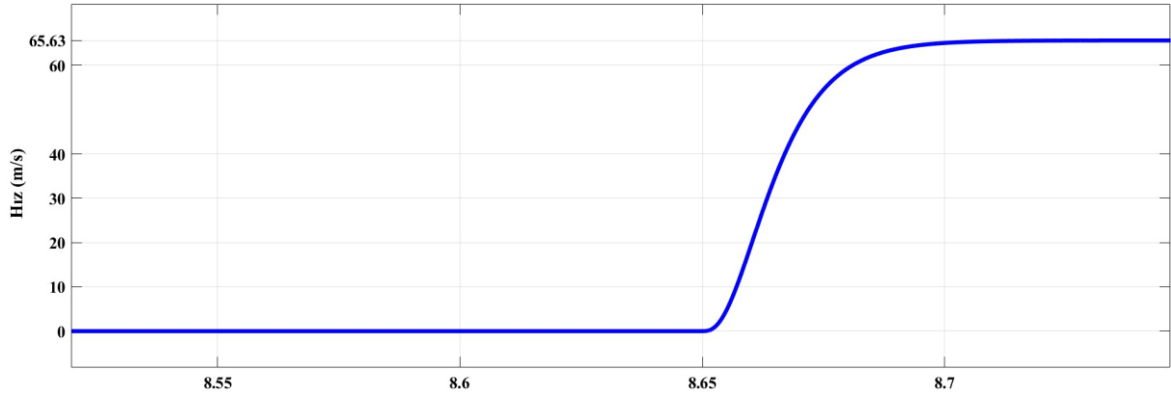
Şekil 3.7’ de durum 2’ ye ait olan sönümlenme akımı grafiği, şekil 3.8’ de kondansatörlerin şarj-deşarj gerilim grafiği ve şekil 3.9’ da ise çıkış hızı grafiği verilmektedir.



Şekil 3.7. Senaryo 2 - durum 2 akım grafiği



Şekil 3.8. Senaryo 2 - durum 2 kondansatör şarj-deşarj grafiği



Şekil 3.9. Senaryo 2 - durum 2 mermi çıkış hızı grafiği

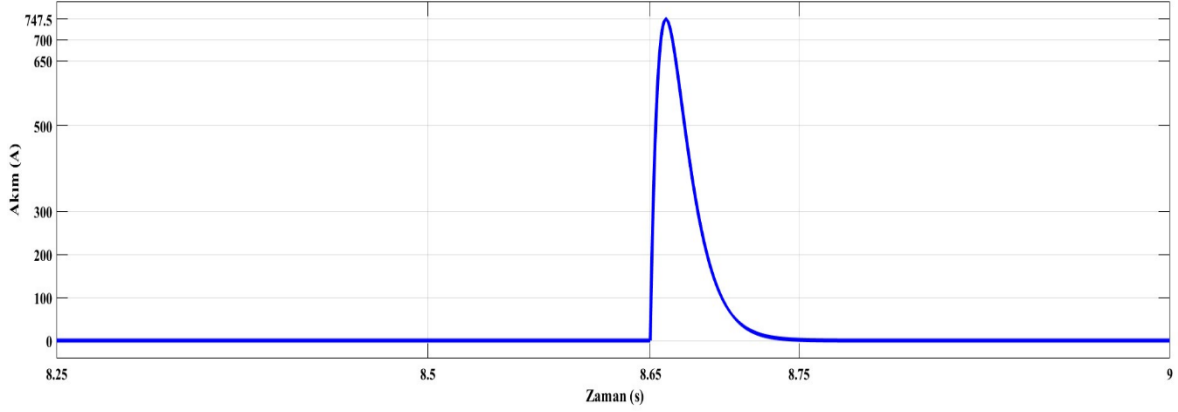
Bu senaryodaki durum 1 önceki senaryoda yer alan durum 1 parametreleri ile aynı olduğu için şekil 3.1, 3.3 ve 3.5 grafikleri baz alınmaktadır. Kondansatörlerin gerilim değeri azaltılıp, sığa değeri artırıldığında bobin üzerinde meydana gelen akımın tepe değerinin 4180 A'ye kadar arttığı görülmektedir. Eşitlik 1.18' de yer alan bağıntıya göre iki değer arasında birinci dereceden doğru orantı bulunmaktadır. Bobin üzerinde sönmölenen akımın tepe değeri arttıkça eşitlik 1.19' a göre, bobin enerjisinin artması ve böylelikle hızın artması beklenmektedir.

Senaryo 2 başarı ile gerçekleştirilmiştir. Yük bankasının gerilim değerinde %40' lık bir düşüş yaşanmasına rağmen kondansatörün uçlarında depolanan potansiyel enerji artacak ve bobin enerjisinde artış meydana gelecektir. Çünkü sığa değerinde 10 katlık bir artış meydana gelmesi eşitlik 1.13' de yer alan enerji değerini artırmaktadır. Sonuç olarak merminin çıkış hızında grafikte görüldüğü üzere 65.63 m/sn' ye yükselme gerçekleşmektedir. Eşitlik 1.13 ve 2.9 göz önünde bulundurularak durum 1 ve 2 arasında 1 gramlık mermi üzerinden verim karşılaştırması yapıldığında; %40' lık gerilim düşüşü ile 10 kat sığa artışı sağlandığında sistem veriminde %38.5 iyileşme görülmüştür.

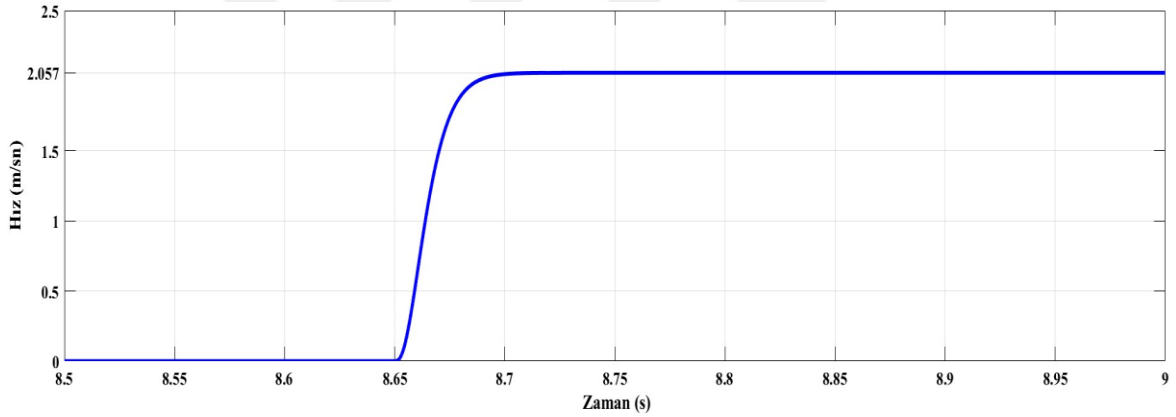
3.1.3. Senaryo Modeli 3

Bu senaryoda atış modelinde yer alan bobinin endüktans değeri 10 katına çıkarılmıştır. Bobinin endüktans değerinin değişmesine bağlı olarak, kritik sönmöleme durumundaki sönmöleme direnci değeri de değiştirilmiştir.

Şekil 3.10' da durum 2' ye ait olan sönümleme akımı grafiği, şekil 3.11' de ise mermi çıkış hızı grafiği verilmektedir.



Şekil 3.10. Senaryo 3 - durum 2 akım grafiği



Şekil 3.11. Senaryo 3 - durum 2 mermi çıkış hızı grafiği

Bu senaryodaki durum 1 birinci senaryoda yer alan durum 1 parametreleri ile aynı olduğu için şekil 3.1, 3.3 ve 3.5 grafikleri temel alınmaktadır. Bobinin endüktans değeri artırıldığında, üzerinde meydana gelen akımın tepe değerinin 747.5 A'e kadar azaldığı görülmektedir. Eşitlik 1.18' de yer alan bağıntıya göre iki değer arasında birinci dereceden ters orantı bulunmaktadır. Bobin üzerinde sönümlenen akımın tepe değeri azaldıkça eşitlik 1.19' a göre, bobin enerjisinin azalmakta ve böylelikle hızın azalması beklenmektedir.

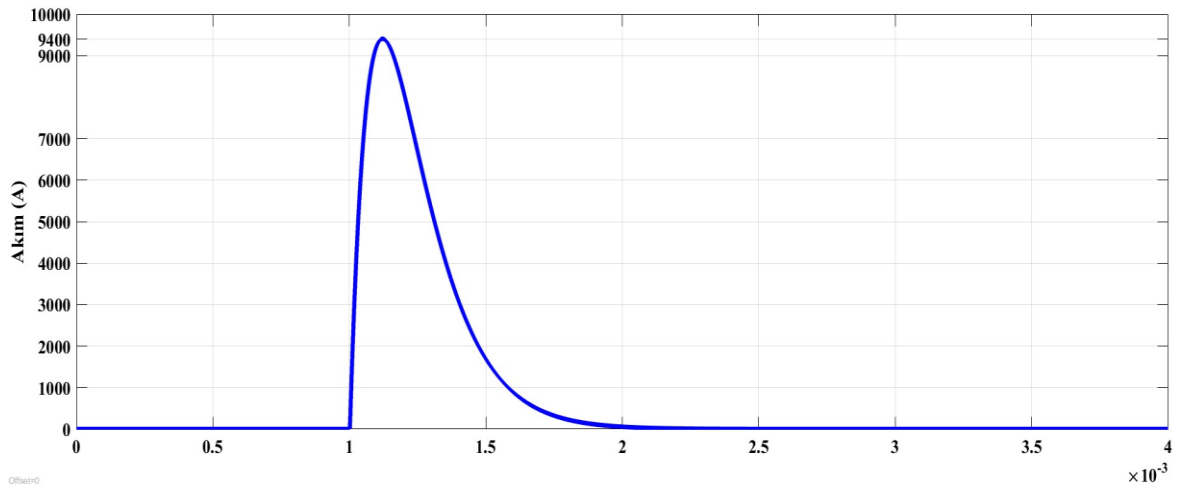
Senaryo 3 başarı ile gerçekleştirilmiştir. İvmelendirici sargının endüktans değerinin 10 katına çıkması durumunda bobin üzerinde meydana gelen akım değeri azalacak ve bobin enerjisinde azalış meydana gelecektir. Sonuç olarak merminin çıkış hızında grafiklerde

belirtildiği gibi 2.057 m/sn' ye kadar azalış gerçekleşmektedir. Eşitlik 1.13 ve 2.9 göz önünde bulundurularak durum 1 ve 2 arasında 1 gramlık mermi üzerinden verim karşılaştırması yapıldığında, endüktans değerinin 10 katına çıkması durumunda sistem veriminde %1' lik bir azalma görülmüştür.

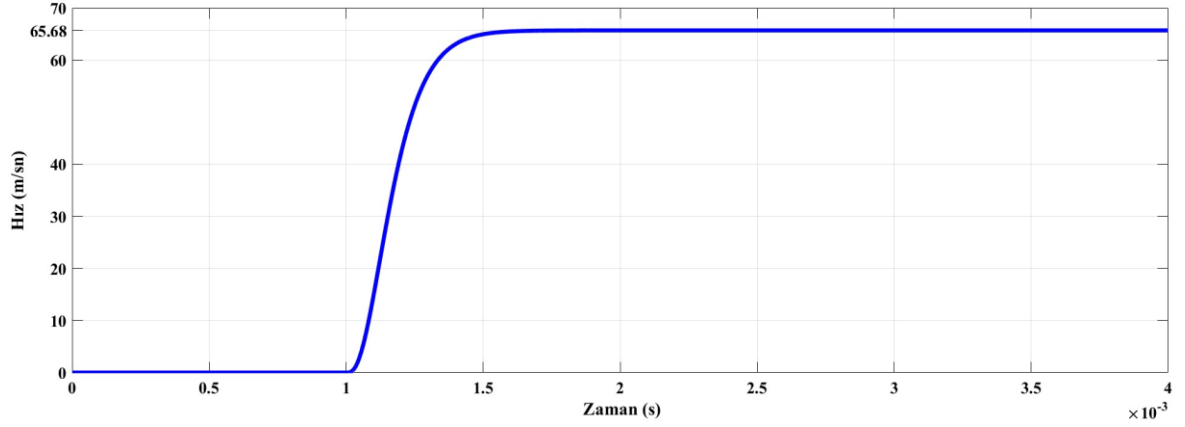
3.1.4. Senaryo Modeli 4

Bu senaryoda literatürde bulunan matematiksel hız ölçüm modelinin manyetik fırlatıcı sistemler üzerindeki doğruluk oranının incelenmesi amaçlanmıştır. Senaryo parametreleri MATLAB/Simulink ve ANSYS Maxwell üzerinden değerlendirilmiştir. Senaryoda yer alan gerilim değeri Flyback dönüştürücü ile sağlanamayacağından dolayı MATLAB üzerinden şekil 1.5 ve 1.10' da yer alan temel devre formatında test düzeneği oluşturulmuştur. Sonuç olarak senaryoda aynı parametrelere bağlı olarak literatürde bulunan matematiksel ölçüm modelinin hız hesabına yorum getirilecektir.

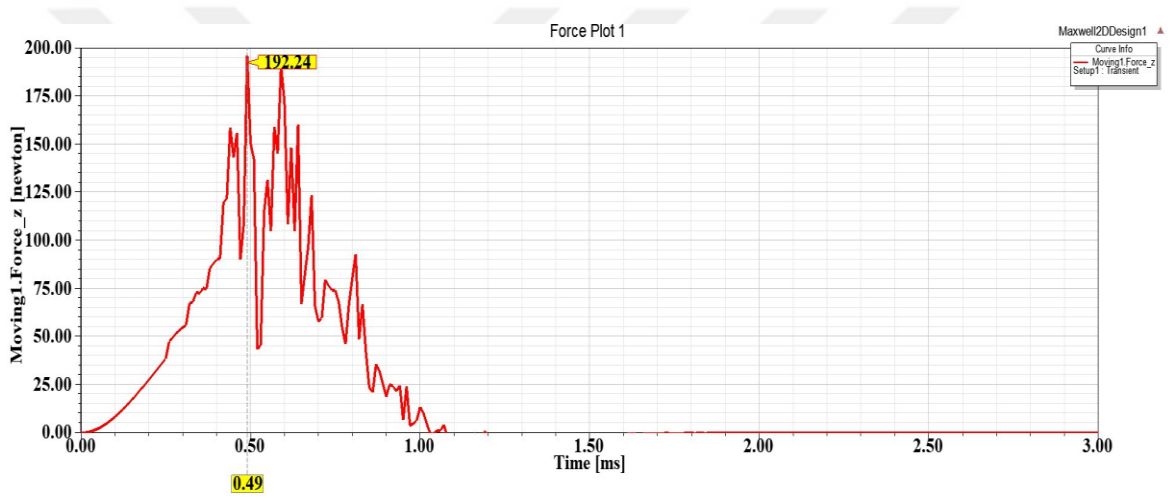
Şekil 3.12 ve 3.13' de Simulink' de oluşturulan modele dair sırasıyla bobin akımı ve hız grafiği; şekil 3.14, 3.15 ve 3.16' da ise ANSYS Maxwell' de oluşturulan modele dair sırasıyla kuvvet, bobin akımı ve hız grafikleri verilmektedir.



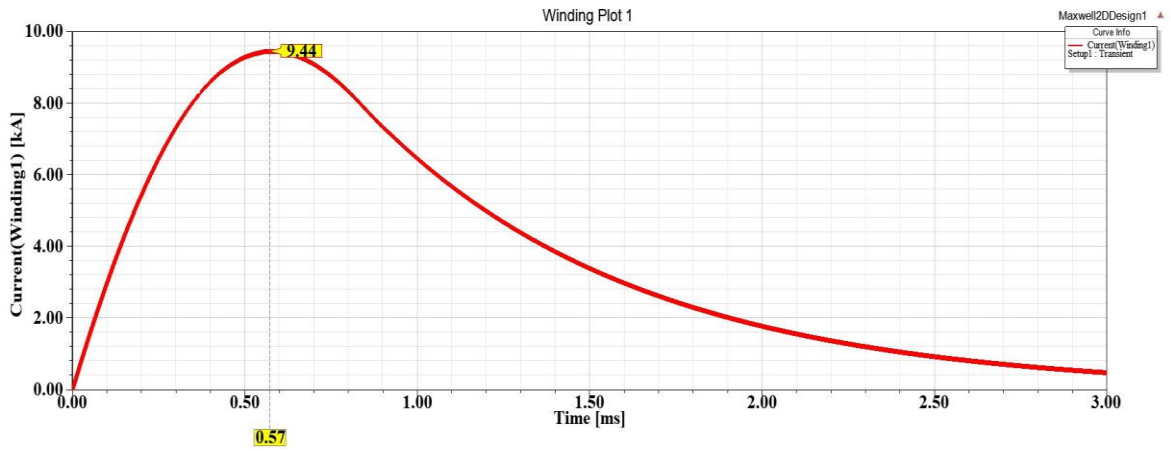
Şekil 3.12. Senaryo 4 MATLAB bobin akımı



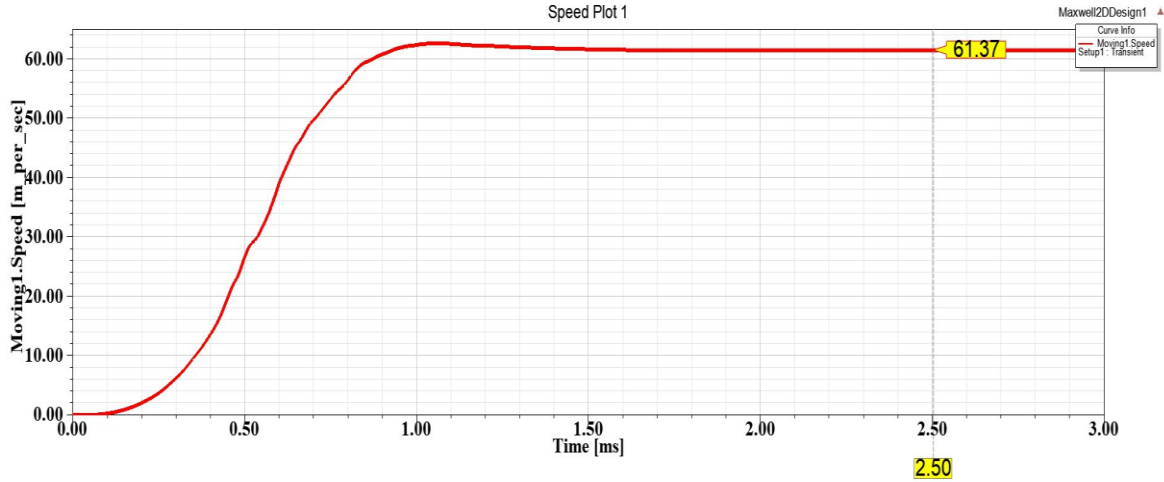
Şekil 3.13. Senaryo 4 MATLAB mermi hızı



Şekil 3.14. Senaryo 4 ANSYS mermiye etki eden kuvvet



Şekil 3.15. Senaryo 4 ANSYS bobin akımı



Şekil 3.16. Senaryo 4 ANSYS mermi hızı

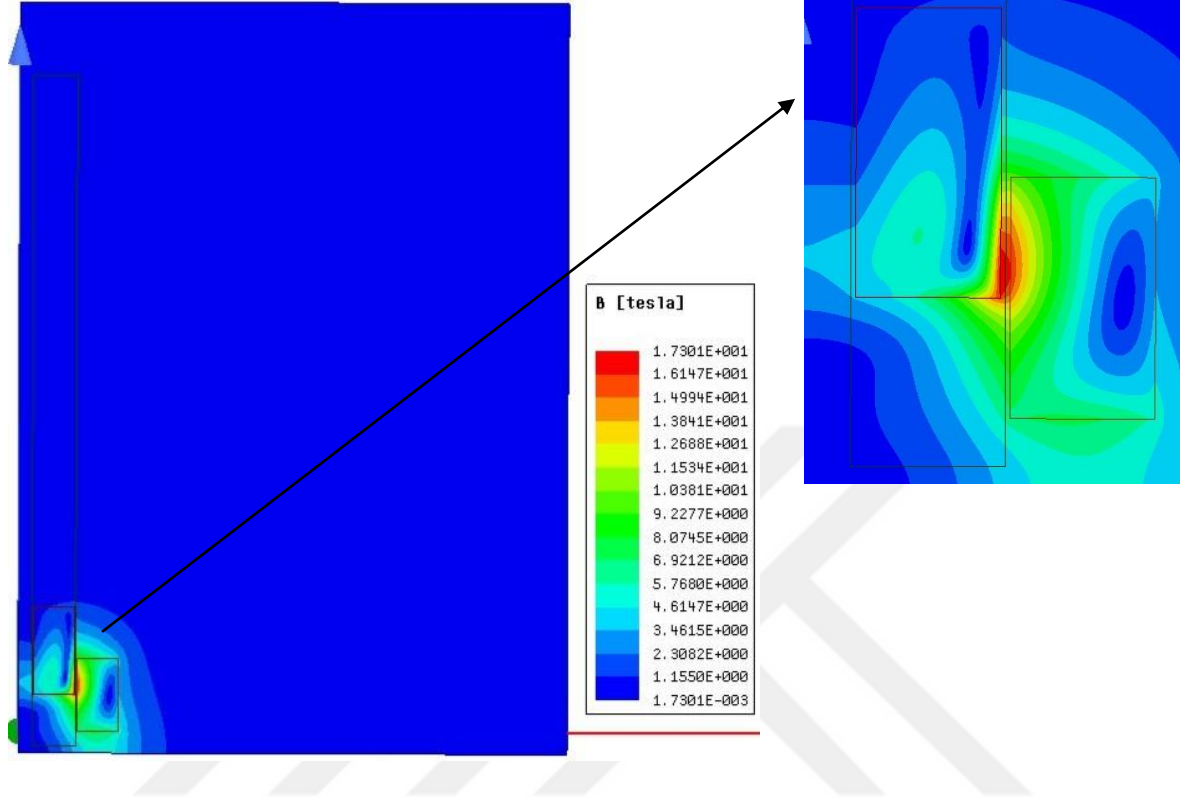
Bu senaryoda 2 farklı programda kullanılan parametreler aynı olmasına rağmen mermi hızında farklılık tespit edilmiştir. ANSYS hesaplama aşamasında enerji parametrelerinin yanı sıra, elektromanyetik alan parametrelerini de işlem içinde bulundurduğundan dolayı elektromanyetik fırlatıcı sistemlerde analiz için en uygun program görülmektedir.

Senaryo 4 başarı ile gerçekleştirilmiştir. Literatürde bulunan matematiksel hız ölçüm metodu ile yapılan ölçümde ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak elektromanyetik alan parametrelerini işlem içine dahil edilerek yapılan ölçüm kıyaslandığında hız da 65.68 m/sn'den 61.37 m/sn'ye kadar %7' lik bir düşüş meydana gelmiştir. Çünkü ANSYS ile yapılan hız ölçüm metodunda mermi, namlu ve hava aralığı parametreleri bulunmakta olup, kaçak akı değerleri ölçüme dahil edilmektedir. Bu senaryoda 1 mm bulunan hava aralığının sistem üzerine etkisi gösterilmektedir.

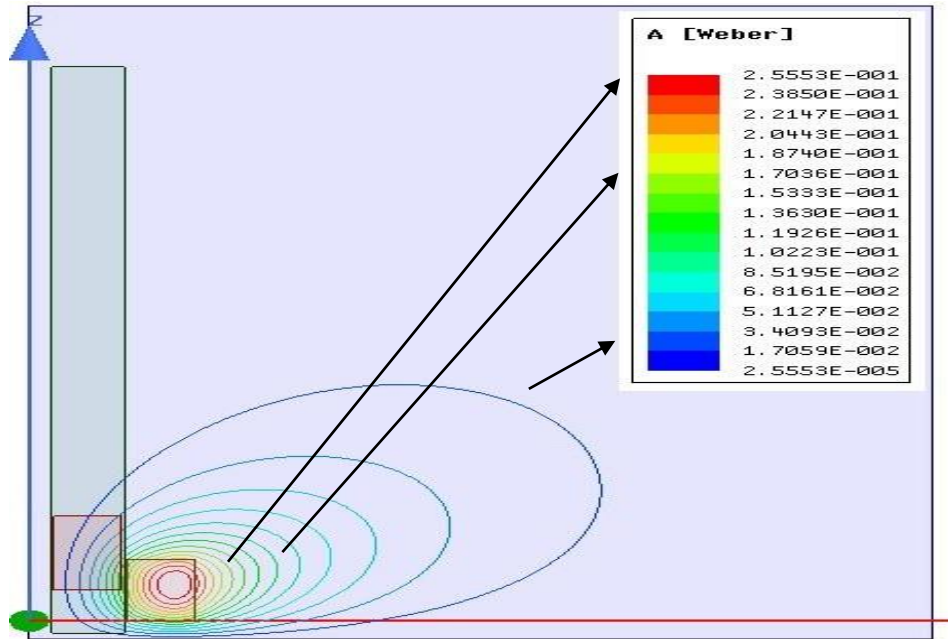
MATLAB üzerinden yapılan test modelindeki ölçümde sistem verimi %14.379, ANSYS üzerinde yapılan ölçüm modelinde ise sistem verimi %12.554 bulunmuştur. ANSYS programının kullandığı hız ölçüm metodu baz alındığında literatürde bulunan ölçüm metodunda %7' lik bir hata payı olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan farklı gerilim kademelerindeki çalışmalar baz alınarak 2 farklı test modelinde denendiğinde bu oranın %5 ile %11 arasında olduğu görülmektedir.

ANSYS/Maxwell benzetim programında iki boyutlu arayüzde yapılan manyetik analize ait akı yoğunluğu ve çizgileri şekil 3.17 ve 3.18' de verilmektedir. Şekil 3.17 incelendiğinde sargılarda meydana gelen manyetik alanın, merminin yarım periyotluk

boyutuna etki ettiği gör÷lmektedir. Aynı zamanda şekil 3.18’ de yer alan manyetik akı çizgileri ise mermi üzerinde itki kuvveti oluşturmaktadır.



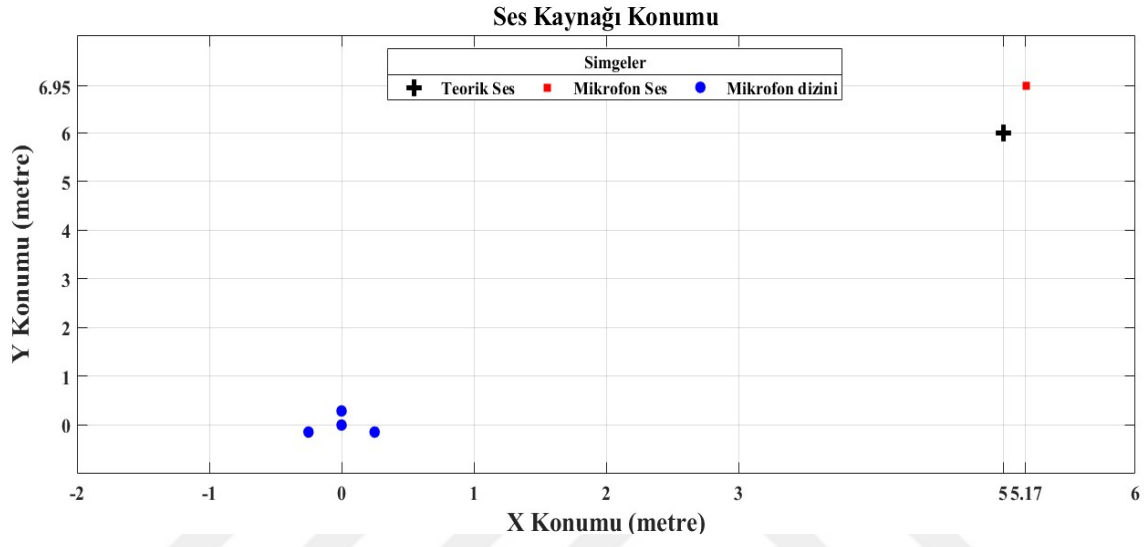
şekil 3.17. Senaryo 4 ANSYS electronics manyetik akı yoğunluğu analizi



şekil 3.18. Senaryo 4 ANSYS electronics manyetik akı analizi

3.2. Hedef Tanımlama ve Tespit Algoritmalarının Sonuçları

Elektromanyetik fırlatıcı sistemin parametrelerine dair bulgular verildikten sonra bu bölümde, hedef tanım ve tespit yapan modellerin sonuçları verilmektedir. Şekil 3.19’ da akustik konumlandırma modelinin MATLAB/mfile çıktı sonuçları verilmektedir.



Şekil 3.19. Akustik konumlandırma modeli koordinat eksen sonuçları

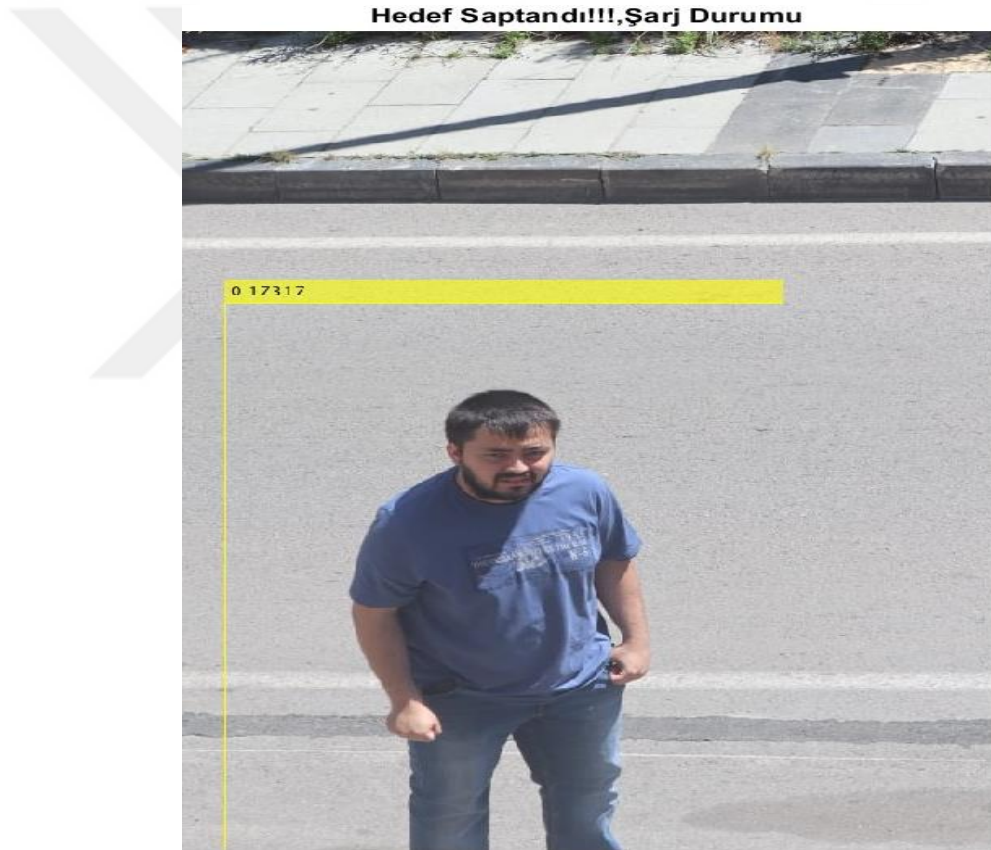
Şekil 3.19’ da orijin noktasında bulunan noktalar mikrofonları, + sembolü teorik modelde tanımlanan ses kaynağını ve kırmızı kare sembolü ise ses sinyalinin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan hedefi sembol etmektedir. Teorik modelde tasarlanan sistem temel alındığında sistemin orijine olan uzaklığında %10’ luk artış oranında bir sapma meydana gelmiştir. Hedef açısında ise 3.354 derecelik ve %6’ lık artış oranında bir sapma meydana gelmiştir. Tablo 2.6’ da ise konumlandırma sistemine ait teorik ve deneysel çıktılar verilmektedir.

Tablo 2.6. Akustik konumlandırma çıktı parametreleri

Parametreler	Teorik Model	Deneysel Model
Zaman Farkları (ms) [1 2 3]	[0.6352 0.126 -0.783]	[0.6431 0.080 -0.781]
Örneklem Değeri	0	48000
Sinyal Veri Değeri	0	6600

Çıktı parametrelerine göre akustik konumlandırma sisteminde yer alan mikrofonların ses karşılama zaman farklarının birbirine yakın değerlerde bulunması zaman farkı yöntemini kullanan algoritmanın çapraz ilinti fonksiyonuyla beraber yüksek doğruluk oranında kullanılabileceğini göstermektedir.

Şekil 3.20’ de ise varlık tespit sisteminin çıktı sonuç görüntüsü verilmektedir. Bu sistemde nesne dedektörünün giriş verileri insana göre uyarlandığında çıktı sonucunda M (tespit edilen insan sayısı);1 ve sınıflandırma puanı [scores] değeri; 0.1732 olarak verilmektedir. Bu veriler simulink’ e aktarıldığından dolayı anahtarlama bu verilerle yapılmaktadır.



Şekil 3.20. İnsan tespit sistemi çıktı görüntüsü

4. TARTIŞMA

Elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin MATLAB/Simulink ve ANSYS Maxwell yazılım ortamında oluşturulan benzetim modellerinde elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde yapılacaktır. Karşılaştırma elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin atış modelinde yer alan parametreler, literatürde yer alan hız ölçüm metotları ve zaman farkı yöntemi ile çalışan algoritmada kullanılan fonksiyon üzerine yapılacaktır. Elde edilen sonuçlar, bulgular kısmında paylaşılmış olup bu bölümde elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin verimini artırmaya yönelik bir yorum getirilecektir.

Parametre karşılaştırması ilk önce benzetimi elde edilen modelde gerilim değerinin artırılması üzerinden yapılacaktır. Şekil 3.5 ve 3.6' da senaryo çıktısı olan hız değerleri verilmektedir. Bu senaryoda açık bir şekilde görülmektedir ki; elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin yük bankasında yer alan kondansatörlerin gerilim değeri arttıkça mermiye etki eden kuvvetin artması nedeniyle mermi hızı artmaktadır. Ancak bu parametre değişikliğinin DA kaynağından çekilen akımı artırmasından dolayı kaynağın gerilim seviyesini daha hızlı düşüreceği aşikârdır. Ayrıca güç katında kullanılan yarı iletken anahtarlama elamanlarının gerilim ve akım değerlerini artıracığından dolayı sistemin maliyetini artırmakta olup, sistem güvenilirliğini düşürmektedir. Bundan dolayı DA taban kaynaklı portatif sistemlerde yüksek gerilim kazancı hız artırmak için etkili bir çözüm yöntemi değildir.

Bir sonraki senaryoda ise durum 1 ve durum 2' nin güç katındaki devre parametrelerini ve benzetim zamanı sabit tutularak sığa değerinin artırılması değerlendirilecektir. Şekil 3.5 ve 3.9' da senaryo çıktısı olan hız değerleri verilmektedir. Bu senaryo ile bir önceki senaryo karşılaştırıldığında, kondansatörün sığa değeri artırılıp aynı şarj süresinde atış yapıldığında bir önceki senaryo çıktılarına göre hız değişiminin daha fazla olduğu görülmektedir. Kondansatörlerin gerilim değerlerinin artırılmasından ziyade sığa değerlerinin artırılmasının önemi ortaya çıkmıştır. Düşük güçlü sistemlerde sabit şarj süresinde, düşük gerilimlerde yüksek hızlı atış yapabilmenin yöntemi bu senaryoda ortaya çıkmıştır. Ancak portatif sistemlerde yeterli tahribat gücünü sağlayabilmek için şarj süresinin uzayacağı aşikârdır. Bu noktada güç elektroniğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı portatif sistemlerde sığa değerini artırmak güç katı için olumlu bir etkiyken, görev süresi açısından etkili bir çözüm yöntemi değildir.

Üçüncü senaryoda ise durum 1 ve durum 2' nin güç katındaki devre parametrelerini ve benzetim zamanı sabit tutularak endüktans değerinin artırılması değerlendirilecektir. Şekil 3.5 ve 3.11' de senaryo çıktısı olan hız değerleri verilmektedir. Bu senaryoda yer alan durumlar karşılaştırıldığında, ivmelendirici sargının endüktans değerinin artırılıp aynı şarj süresinde atış yapıldığında hız miktarının azaldığı görülmektedir. Bobinin endüktans değerinin olabildiğince düşük tutulması gerektiğinin önemi bu senaryoda ortaya çıkmaktadır. Ancak endüktans değerinin düşürülmesi için sarım çapının azaltılması gerekmektedir. Bu noktada ise bobinajın önemi ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı sargılı fırlatıcılarda endüktans değerini düşük tutmak mermi hızı açısından olumlu bir etkiyen, tahribat gücü açısından etkili bir çözüm yöntemi değildir.

Son senaryoda ise elektromanyetik fırlatıcı sistemin katlarında yer alan parametreler sabit tutularak iki farklı benzetim programında çıktıları karşılaştırılacaktır. Şekil 3.13 ve 3.16' da senaryo çıktısı olan hız değerleri verilmektedir. MATLAB yazılımı üzerinden oluşturulan model literatürde kullanılan ve paylaşılan modelle aynıdır. Matematiksel modelleme üzerine kurulan hız ölçüm sisteminde enerjinin dönüşümü ilkesi benimsenmiştir. ANSYS Maxwell üzerinden oluşturulan model ise elektromanyetik alan yasalarını kullanmaktadır. Literatürde yapılan model ve tanımlamalarda, enerji dönüşümü sırasında mermiye etki eden kuvvetin parametresi olan akının değerlendirmeye alınmaması mermi hızının yanlış hesaplanmasına neden olmaktadır. Düşük güçlü sistemlerde bu hız farkı tek haneli rakamlar olsa da sistem güvenilirliği açısından tehlike arz etmektedir. ANSYS üzerinden alınan sonuçlarda mermiye etki eden kuvvetin tüm bileşenleri hesaplamaya dahil edildiğinden dolayı doğruluk oranı yüksektir.

Zaman farkı yöntemini kullanan algoritmanın çıktıları üzerinden kullanılan yöntem irdelenecektir. Teorik ve sinyal işleme modellerinde konum sonuçlarının birbirine yakın çıkması algoritmanın yüksek doğruluk oranında çalıştığını göstermektedir. Algoritmanın açısı ve mesafe sonuçlarının teorik modele göre düşük oranlarda farklı çıkmasının nedenleri bulunmaktadır. Benzetim ortamında gerçekleştirilen sinyal işleme metodu için oluşturulan ses kayıtlarının kaynak programı bu hatanın nedenlerinden biridir. Teorik olarak hesaplanan zaman farkları değerlerinin aynısı program üzerinde oluşturulamamaktadır. Program sesin periyot ekseninde kaydırılmasını 4 haneli rakamlarla sınırlandırmıştır. Bundan dolayı zaman farklarında küçük sapmalar meydana gelmektedir. Bir diğer neden ise algoritmada kullanılan konumlandırma metodunun giriş parametreleri sayısının fazla olmasıdır. Parametrelerde olacak en küçük hatalar birleşerek çıktı üzerindeki hata değerini büyütebilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında güç katında 350 W' a kadar kullanılabilen flyback dönüştürücü ile atış modeli bulunan elektromanyetik fırlatıcı sistem tasarlanmıştır. Aynı zamanda görevin gerçekleşmesine yardımcı olacak hedef tespit sistemleri de oluşturulmuştur. Hedef tespit sisteminde kullanılan algoritmalar lineer ve YOLO v2' dir. Modellenen elektromanyetik fırlatıcının parametre değerleri değiştirilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda elektromanyetik fırlatıcı sistemlerin performansını belirleyen temel etkenin atış modelinde yer alan RLC devre elemanları olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda elektromanyetik fırlatıcı sistemlerde itki kuvvetini oluşturan manyetik akının sistem verimine etkisi gözlemlenmiştir. Sistem veriminin artırılması için, sistem üzerindeki kaçak akıların azaltılması gerekmektedir. Bundan dolayı bu sistemlerde sargı ve mermi haricinde kullanılacak olan malzemelerin manyetik yalıtkan olması gerektiği sonucu çıkarılmaktadır.

Atış modelinde yer alan devre parametrelerinin uygun değerlerde seçilmesi sistem verimi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma sonucunda atış modelinde yer alan sığa değerinin sistem maliyetini ve şarj süresini olumsuz etkilemeyecek oranda yüksek seçilmesi gerekmektedir. İvmelendirici sargının endüktans değerinin ise sistemde yer alan direnç değerini düşürecek bir değerde seçilmesi gerekmektedir. Böylece bobin üzerinden geçen akım değeri yükselecek ve üzerindeki akım değişim miktarı ($I/Sönümleme\ Zamanı$) artacaktır. Bundan dolayı ivmelendirici sargının endüktans değeri, fırlatılacak nesnenin geometrik uzunluklarına uygun olacak şekilde küçük tutulmalıdır.

Fırlatıcı sistemin portatif olarak yapılabilmesi için arada yer alan güç dönüştürücüsünün veriminin yüksek olması gerekmektedir. Bunun için DA-DA dönüştürücü topolojisi haricinde AA içeren topolojilerle çalışma yapılarak, verim karşılaştırılması hakkındaki çalışmalar önerilmektedir. Ancak burada önemli olan nokta anahtarlama elemanlarının akım ve gerilim streslerinin azaltılmasıdır. Bunun için bu çalışmada kullanılan dönüştürücüye ek olarak, kenetleyici modda ani gerilim değişimlerini kontrol eden devreler yapılabilir.

Ayrıca ANSYS üzerinden yapılan benzetimlerde mermi konumunun sistemin çalışmasını direk olarak etkilediği görülmüştür. Bundan dolayı merminin konumunu kontrol edecek sensörler kullanılması sistemde yer alan anahtarlama basitleştirecektir.

Modelde kullanılan hedef tespit sisteminin temeli olan zaman farkı yöntemi kullanan algoritmanın farklı geometrilerde benzetiminin yapılması önerilmektedir. Akustik konumlandırma sistemlerinin yüksek doğrulukla çalışabilmesi için algoritmanın giriş parametreleri sayısının yüksek doğruluk oranında artırılması gerekmektedir.



6. KAYNAKLAR

1. www.savunmasanayiidergilik.com/tr/HaberDergilik/Elektromanyetik-firlatma-teknolojileri. 13 Mart 2023.
2. McNab, I. R., Early electric gun resarch, IEEE Transaction on Magnetics, 35, 1 (1999) 250-261.
3. Fair, H.D., Indroduction, IEEE Transaction on Magnetics, 22, 1 (1986), 1379.
4. Akyazı, Ö., Elektromanyetik Fırlatıcılar, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2006.
5. Görgüç, Ö., Elektromanyetik Fırlatıcı Tasarımı ve Namlu Çıkış Hızı Ölçüm Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2019.
6. Pages, C. G., New Electromagnetic Engine, (American) Journal of Science and Arts, 49, (1845) 131-135.
7. Egeland, A., Birkeland 's Electromagnetic Gun: A Historical Review, IEEE Transactions on Plasma Science, 17, 2 (1989) 73-82.
8. Fauchon, A., and Villeplee, L. O., Canons Electriques, Published by Berger-Levrault, Nancy, Paris, Strasbourg, January 1920.
9. Engel, T. G. and Nunnally, W. C., All-Electric Rifle-Caliber Launcher With Permanent Magnet Augmentation, In IEEE Transactions On Magnetics, 37, (2001).
10. Van Dijk, E., Koops, M. and Van Gelder, P., High-Efficient Electromagnetic Launch System Using Energy Recovery, Pulsed Power Plasma Science, 28th IEEE International Conference on Plasma Science and 13th IEEE International Pulsed Power Conference, 2001, Diggest of Papers (Cat. No.01CH37251), 2, 1209–1212
11. Akyazı, Ö., Elektromanyetik Fırlatıcılar, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2006.
12. Engel, T. G., Veracka, M. J. and Neri, J. M., The Specific-Force Performance Parameter For Electromagnetic Launchers, IEEE Transactions on Plasma Science, 38, 2 (2010) 194-198.
13. Khatibzadeh, A. and Besmi, M.R., Improve Dimension of Projectile For Increasing Efficiency of Electromagnetic Launcher, Power Electronics, Drive Systems and Techologies Concerence, Feb 13-14, 2013, Iran.

14. Abdo, T.M., Elrefai, A. L., Adly, A. A. and Mahgoub, O. A., Performance analysis of coil-gun electromagnetic launcher using a finite element coupled model, 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 2016, 506-511, Egypt.
15. Ege, Y., Kabadayi, M., Kalender, O., Coramik, M., Citak, H., Yuruklu, E. and Dalcı, A., A New Electromagnetic Helical Coilgun Launcher Design Based on LabVIEW, IEEE Transactions on Plasma Science, 44, 7 (2016) 1208-1218.
16. Wang, M., Cao, Y., Wang, C., Wang, H. and Chen, J., Trigger Control Research of Electromagnetic Coil Launcher Based on Real-Time Velocity Measurement, IEEE Transactions on Plasma Science, 44, 5 (2016) 885–888.
17. Xiao-Cun, G., Song-Cheng, L., Jun-Yong, L. and Zhou, R., The Launch Performance Analysis of the Electromagnetic Coil Launcher Continuous Launch Process With Multiple Armature, in IEEE Transactions on Plasma Science, 45, 7 (2017) 1519-1525.
18. Dong, L., Li, S., Xie, H., Zhang, Q. and Liu, J., Influence of Capacitor Parameters on Launch Performance of Multipole Field Reconnection Electromagnetic Launchers, in IEEE Transactions on Plasma Science, 46, 7 (2018) 2642-2646.
19. Görgüç, Ö., Elektromanyetik Fırlatıcı Tasarımı ve Namlu Çıkış Hızı Ölçüm Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 2019.
20. Fan, G., Wang, Y., Wang, P., Hu, Y. and Yan, Z., Research on the Armature Structure Optimization of the Toroidal Reconnected Electromagnetic Launcher, in IEEE Transactions on Plasma Science, 48, 6 (2020) 2294-2300.
21. Liang, C., Xiang, H., Yuan, X., Qiao, Z. and Lv, Q. A., Reverse Force Suppression Method of Reluctance Coil Launcher Based on Consumption Resistor, in IEEE Access, 9, (2021) 62770-62778.
22. Mohamed Abdo, M. M., Fanni, M., Miyashita, T. And Ahmed, S. M., The Effect of Coil Geometry and Winding Method on the Electromagnetic Launcher Performance, IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), October 2022.
23. Lu, M., Zhang, J., Yi, X. And Zhuang, Z., Advanced Mathematical Calculation Model of Single-Stage RCG, IEEE Transactions on Plasma Science, 50, 4 (2022) 1026–1031.
24. Zhao, J., Li, H., Zhao, B., Liu, J., Kong, L. and Zhang, P., An Improved Pulsed Power Supply Circuit for Reluctance Electromagnetic Launcher Based on Bridge-Type Capacitor Circuit, IEEE Transactions on Plasma Science, 2023.
25. Wan, X., Yang, S., Li, Y. and Li, B., Inductance Gradient in Electromagnetic Launcher Under Channel Cooling Condition, IEEE Transactions on Plasma Science, 2023.
26. <https://www.eokultv.com/elektromiknatis/6322/sag-el-kurali> 03 Nisan 2023.

27. Köksal, A. ve Saka, B., Mühendislik Elektromanyetiğin Temelleri, Palme Yayıncılık, 2006.
28. Akyazı, Ö., Bozdağ, O., Akpınar, A.S., Elektromanyetik Fırlatıcılı Alan Savunma Sistemi Tasarımı ve Gerçeklenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27, 2 (2015) 43-50.
29. Rashid, M. H., Güç Elektroniği Yarı iletken Elemanlar, Devreler ve Uygulamaları, Sunter, S. ve Aydemir, M. T., 4. Basımdan Çeviri, 210–279, 740–839, Nobel Yayın Evi, Ankara, 2015.
30. Çorapsız, M. R., Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Komütasyon Moment Dalgalanmalarının Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018.
31. Kanthimathi, R. and Kamala, J., Analysis of Different Flyback Converter Topologies, International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC), Pune, India, 2015, 1248-1252.
32. <https://www.youtube.com/watch?v=z9aXkUaLCS8> Güç Elektroniği Ders Kayıtları Doç. Dr. Mustafa Engin Başoğlu. 10 Aralık 2022
33. Gürdal, O., Elektrik Makinalarının Tasarımı, Atlas Yayın Dağıtım, Ankara, 2001, 535.
34. Öner, Y., Sabit Mıknatıslı Küresel Motorun Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Manyetik Analizi, Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 189, Ankara, 2004.
35. https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%B6rt_y%C3%BCz%C3%BC, 13 Aralık 2022.
36. Ansoft Corporation, Maxwell 3D – Technical Notes 2002., 656-718.
37. Kaushik, Balakrishnan, Don, N., and Krish, A., A Review Of The Role Of Acoustic Sensors In The Modern Battlefield. 11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2005.
38. Özüğür, Ö. ve Leblebicioğlu, M. K., Akustik Algılayıcı Ağının Optimizasyonu ile Ateşli Silah Konumunun Tespit Edilmesi, Journal of Defense Sciences/Savunma Bilimleri Dergisi, 15, 2 (2016).
39. Urruela, A., Sala, J. ve Riba, J., Average Performance Analysis of Circular and Hyperbolic Geo Location, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 55, 1 (2006) 52–66.
40. <https://medium.com/deep-learning-turkiye/yolo-algoritmas%C4%B1n%C4%B1-anlamak-290f2152808f> 13 Nisan 2023.

41. Dalal, N. And Triggs, B., Histograms of Oriented Gradients for Human Detection, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2005, 1, 886–893.
42. İnger, E., Elektromanyetik Fırlatıcı Sistemlerin İrdelenmesi ve Simülasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.



ÖZGEÇMİŞ

Furkan Muhammed KIRIKCI, Liseyi Bornova Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2014'te Lisans öğrenimine Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinde başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi 'nde Yüksek Lisans Eğitimine başladı ve Mart 2020 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde araştırma görevlisi olarak görevine başladı. Lisansüstü eğitimini 2021 yılında yatay geçiş yaparak görev yaptığı yer olan Karadeniz Teknik Üniversitesi' nde devam ettirdi. Evli ve 1 çocuk babasıdır. Üniversitede elektrik makinaları ve güç elektroniği anabilim dalında çalışmaktadır.

Yayınlar

1. Kırıkcı, F. M., Öztürk, M., ve Kahveci, H., AA Ev Yüklerini Besleyen Fotovoltaik/Batarya Sisteminin Matlab/Simulink Modeli ve Simülasyonu, ICAENS, 2022
2. ÖZTÜRK, M., KAHVECİ, H. ve KIRIKCI, F. M. İki Yönlü Çift Aktif Köprülü DA-DA Dönüştürücünün Tasarımı ve Kontrolü, ELECO 2022.