

T.C.
MİLLİ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ASKERİ ELEKTRONİK SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK HARP PROGRAMI

ÖRGÜ AĞ TOPOLOJİSİ TABANLI BİR TAHRİP
SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

M.Halit ALDEMİR

1981111

Tez Danışmanı

Dr.Öğr. Üyesi Serkan GÜRKAN

ANKARA

HAZİRAN 2021

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve ç) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 70 sayfalık kısmına ilişkin, 11/06/2021 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

1- Kaynakça hariç

2- Alıntılar hariç

3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Mevlana Halit ALDEMİR

11/06/2021

ETİK BEYAN

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Türk Silahlı Kuvvetleri, Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Mevlana Halit ALDEMİR

11/06/2021

Aziz Şehitlerimiz, Kahraman Gazilerimiz ve Sevgili Aileme...



ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında modern teknolojik gelişmeler doğrultusunda günümüz elektrikli kapsül tahrip sistemlerinin eksiklikleri göz önünde bulundurularak özgün bir kablosuz tahribat sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma; elektrik, elektronik, yazılım, haberleşme ve malzeme bilimi gibi çok disiplinli bir yapıya sahiptir.

Çalışmanın yürütülmesi sırasında ve öncesinde bilgi, tecrübe ve yönlendirmeleri ile her aşamada maddi manevi desteğini esirgemeyen tez danışmanım ve değerli komutanım Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜRKAN'a, çalışmanın her anını uzaktan da olsa takip edip destekleyen sevgili aileme ayrıca zorlu zamanlarda iş yükümü paylaşan, manevi desteklerini eksik etmeyen Kara Astsubay MYO Elektronik Haberleşme Teknolojisi Bölümünde görev yapan değerli çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ankara; Haziran 2021

Mevlana Halit ALDEMİR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU	
ETİK BEYANI	
İTHAF	
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
ÖZ	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Patlayıcıların ve Özellikleri.....	5
2.2. Tahrip Sistemleri ve Özellikleri	7
2.3. Elektronik Tahrip Sistem Teknolojileri.....	16
2.4. Kablolulu ve Kablosuz Haberleşme Topolojileri	20
2.5. Problemin Tanımı ve Literatür Araştırması	25
2.5.1. Problemin Tanımı.....	26
2.5.2. Literatür Taraması	27
3. SİSTEM TASARIMI	31
3.1. Alıcı Ünite	32
3.2. Verici Ünite	36
3.3. Mobil Aygıt Katmanı ve Kullanıcı Arayüzü	38
3.4. Şarj Ünitesi	41
3.5. Sistem Maliyeti.....	42
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
4.1. Mobil Aygıt-Verici-Alıcı Mesafe Testleri	43
4.2. Tekil Alıcı Tahrip Testleri.....	45
4.3. Çok Alıcılı Tahrip Testleri	46

4.3.1. Doğrusal Sıralama Tahrip Testleri	46
4.3.2. Verici Merkezli Tahrip Testi	47
4.3.3. Farklı Ortam ve Senaryo Şartlarında Tahrip Testleri.....	48
4.3.4 Eğimli Alan Testleri	53
4.4. Ünitelere Ait Enerji Tüketimleri	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKÇA	57
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: MKE Tarafından Üretilen Elektrikli Kapsüllerin Özellikleri.....	12
Tablo 2.2: Kapsül Tiplerine Göre Ateşleme Değerleri.....	13
Tablo 2.3: Elektronik Gecikme Devresinin Performans Sonuçları.....	28
Tablo 2.4: Tasarlanan Kapsül Devresinin Türetilmiş Özellikleri.....	30
Tablo 3.1: Sistemi Oluşturan Birimlerin Maliyetleri.....	42
Tablo 4.1: Mobil Aygıt-Verici-Alıcı Mesafe Test Sonuçları.....	45
Tablo 4.2: Verici-Alıcı Ünite Batarya Verisi ve Boşta Çalışma Süreleri.....	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Kablolu Kapsül Ateşleme Sistemleri (a) Detomax V2, (b) Digishot, (c) HB-50 Handblaster II.	3
Şekil 1.2: Kablosuz Kapsül Ateşleme Sistemleri (a) Propology 8 CH RF Detonator, (b) Alpha Fire RF Detonator, (c) Detomax RF Detonator.	3
Şekil 2.1: Tahribat İşleminin Bileşenleri.	5
Şekil 2.2: (a) Amonyum Nitrat, (b) Nitroselüloz.	5
Şekil 2.3: Trinitrotoluenin.	6
Şekil 2.4: Birincil ve İkincil Patlayıcıların Kapsül İçerisindeki Konumları.	7
Şekil 2.5: (a) Elektrikli Kapsülün Basitleştirilmiş Yapısı (b) Alüminyum Dış Kaplı Elektrikli Kapsül (c) Bakır Dış Kaplı Elektrikli Kapsül.	9
Şekil 2.6: Kibrit Başının Yapısı.	10
Şekil 2.7: Elektrikli Kapsül Çeşitleri.	11
Şekil 2.8: Kapsülün Ateşlenme Süreleri.	11
Şekil 2.9: Kapsüllerin Test Edilmesinde Kullanılan Bazı Ölçüm Cihazları.	15
Şekil 2.10: Kaydedici ve Manyeto Görüntüsü.	17
Şekil 2.11: Elektronik ve Elektrikli Kapsüllerin Karşılaştırmalı Yapısı.	17
Şekil 2.12: Tipik Elektronik Tahrip Sistemleri.	18
Şekil 2.13: Kablosuz Kontrollü Tahrip Sistemi Ekipmanları.	19
Şekil 2.14: Uzaktan Kontrollü Tahrip Sistemleri.	20
Şekil 2.15: Yol (Bus) Topoloji.	21
Şekil 2.16: Halka (Ring) Topoloji.	22
Şekil 2.17: Yıldız (Star) Topoloji.	22
Şekil 2.18: Ağaç (Tree) Topoloji.	23
Şekil 2.19: Örgü / Karmaşık(Mesh) Topoloji.	24
Şekil 2.20: Alıcı ve Verici Üniteler Arası Örgü Ağı.	26
Şekil 2.21: Ateşleme Devresinin Çıkış Dalga Biçimi.	28
Şekil 3.1: Geliştirilen Sisteme Ait Blok Şema.	31

Şekil 3.2: Geliştirilen Sistemin Tamamına Ait Görüntüler.	32
Şekil 3.3: Alıcı Üniteye Ait Devre Şeması.	33
Şekil 3.4: Alıcı Üniteye Ait Görüntüler (a) Devre Kartı Alttan Görünüm (b) Devre Kartı Üstten Görünüm (c) Prototip Alıcı Ünite Görünümü.....	33
Şekil 3.5: Alıcı Ünite Merkezi Kontrol Birimi İçin Geliştirilen Gömülü Yazılıma Ait Akış Şeması.	34
Şekil 3.6: ESP8266 Görünümleri (a) ESP8266 Modülü (b) ESP8266 Uygulama Geliştirme Kartı.	35
Şekil 3.7: ESP8266-07 Terminal Yapısı.....	35
Şekil 3.8: Verici Üniteye Ait Devre Şeması.	37
Şekil 3.9: Verici Üniteye Ait Görüntüler Alıcı Üniteye Ait Görüntüler (a) Devre Kartı Alttan Görünüm (b) Devre Kartı Üstten Görünüm (c) Prototip Alıcı Ünite Görünümü.	38
Şekil 3.10: ESP32 Görünümleri (a) ESP32 Geliştirme Kartı (b) Port Yapısı.	38
Şekil 3.11: Kullanıcı Arayüzü Ekran Görüntüleri (a) “Bluetooth Connection” Ekranı (b) “Password” Ekranı (c) “Mesh Ignition System” Ekranı.....	40
Şekil 3.12: “Mesh Ignition System” Alt Menülerine Ait Görüntüler (a) “Define Receiver” Karşılama Ekranı (b) “Define Receiver” Numara Atama Ekranı (c) “Explode All Receivers” Ekranı.	40
Şekil 3.13: Şarj Ünitesine Ait Devre Şeması.....	41
Şekil 3.14: Şarj Ünitesine Ait Görüntüler (a) Devre kartı üstten görünüm (b) Prototip Şarj Ünitesinin Görünümü (c) Şarj Ünitesine Yerleştirilmiş Bir Alıcı Ünitenin Görünümü.....	42
Şekil 4.1: Mesafe Testi İçin Kullanılan Düzenekler (a) Mobil Aygıt-Verici Mesafesi (b) Verici-Alıcı Mesafesi (c) Alıcı-Alıcı Mesafesi.....	44
Şekil 4.2: Tekil Alıcı Tahrip Testi İçin Kullanılan Düzenek.....	45
Şekil 4.3: Tahrip Esnasında Alıcıya Bağlı Kibrit Başından Elde Edilen Sinyal Görüntüsü.	46
Şekil 4.4: Verici Ünite Ve Alıcı Ünitelerin Doğrusal Konumlandırılması.	47
Şekil 4.5: Verici Merkezli Tahrip Testi Düzeneği (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.....	48
Şekil 4.6: Verici Ünite Ve Dört Alıcı Ünitenin Kapalı Alanda, Dört Alıcı Ünitenin Meskûn Mahal Açık Alanda Bulunduğu Durumda Tahrip Testleri İçin	

Kullanılan Düzenek (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.	49
Şekil 4.7: Verici Ünite Ve Dört Alıcı Ünitenin Meskûn Mahal Açık Alanda, Dört Alıcı Ünitenin Kapalı Alanda Bulunduğu Durumda Tahrip Testlerinde Kullanılan Düzenek (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.	50
Şekil 4.8: Meskûn Mahalde Farklı Konumlandırmalarda Tahrip Testleri: Test 1 Düzenegi (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.	51
Şekil 4.9: Meskûn Mahalde Farklı Konumlandırmalarda Tahrip Testleri: Test 2 Düzenegi (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.	52
Şekil 4.10: Eğimli Alanda Tahrip Testi Düzenegi.....	53

SEMBOL LİSTESİ

- E** : Enerji (Joule veya watt-saniye)
V : Voltaj (Volt)
I : Akım (Amper)
t : Süre (Saniye)
K : Ateşleme İmpulsı (mJ/ohm veya mWs/ohm)
E_a : Manyeto tarafından 5ms içinde devreye sağlanan enerji, Joule
C : Manyetonun sığası, Farad
R : Direnç (Ohm)
GPa : Basınç (Newton / mm²)

KISALTMALAR

NONEL	: Non – Electric (Elektriksiz)
SCB	: Semi Conductor Bridge (Yarı İletken Köprü)
ICI	: Imperial Chemical Industries (Birleşik Krallık Kimya Endüstrisi)
PETN	: Pentaerythritol Tetranitrate (Pentaeritritol Tetranitrat)
EKAS	: Elektrikli Kapsül Ateşleme Sistemi
MKEK	: Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu
ASIC	: Application Specific Integrated Circuit (Uygulamaya Özel Entegre Devre)
EAS	: Elektronik Ateşleme Sistemi
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
MAU	: Multistation Access Unit (Çok İstasyonlu Erişim Birimi)
STP	: Shielded Twisted Pair (Korumalı Bükümlü Çift)
UTP	: Unshielded Twisted Pair (Korumasız Bükümlü Çift)
WAN	: Wide Area Network (Geniş Alan Ağı)
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekanslı Tanımlama)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
CDU	: Capacitor Discharge Unit (Kapasitör Deşarj Birimi)
EDD	: Electronic Delay Detonator (Elektronik Gecikmeli Kapsül)
IOT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
IPEX	: 2.4GHz 6dBi Anten
GPIO	: General Purpose Input-Output (Genel Maksatlı Giriş-Çıkış)
GND	: Ground (Toprak)
ADC	: Analog to Digital Converter (Analogtan Dijitale Dönüştürücü)
DAC	: Digital to Analog Converter (Dijitalden Analoga Dönüştürücü)
I2C	: Inter Integrated Circuit Bus (Dâhili Devre Veri Yolu)
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevresel Arayüz)

MIT	: Massachusetts Institute of Technology
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
MIS	: Mesh Initiation System (Ađ Başlatma Sistemi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genlik Modülasyonu)
SPD	: Short Period Delay (Kısa Gecikme Periyotlu)
LPD	: Long Period Delay (Uzun Gecikme Periyotlu)
MDI	: Modern Demolitions Initiator (Modern Yıkım Başlatıcı)
GPa	: Gigapascal
ANFO	: Amonyum Nitrat-Fuel Oil
IDE	: Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)



ÖZ

Örgü Ağ Topolojisi Tabanlı Bir Tahrip Sisteminin Gerçekleştirilmesi

Mevlana Halit ALDEMİR

Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü

Balıkesir, Haziran 2021

Emniyet, maliyet ve kullanım kolaylığı gibi sebeplerden dolayı piroteknik ateşleme sistemlerinin yerini günümüzde elektrikli kapsüller almıştır. Elektrikli kapsüllerin kullanılması ile, tahrip sahalarında meydana gelebilecek kazalar azaltılabilir, düşük güçler ile tahribatlar gerçekleştirilebilir, programlanabilir gecikmeli tahribat çalışmaları yapılabilir. Elektrikli kapsüllerin kablosuz tahribatı ile hem sivil hem de askeri alanda bir çok avantaj sağlanabilir. Kablosuz elektrikli kapsül tahribatında yıldız topoloji tabanlı sistemler hali hazırda kullanılan ticari sistemlerdir. Bu çalışmada; düşük maliyetler ve küçük boyutlu sistemler ile daha uzun mesafelerde tahribatlar gerçekleştirebilmek için mikrodenetleyicilerin kullanıldığı örgü ağ topolojisi tabanlı bir tahrip sistemi gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında, sekiz adet alıcı ünite, bir adet verici ünite ve kullanıcı mobil arayüz katmanından oluşan bir tahribat sistemi tasarlanarak prototip üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Ateşleyici, Patlayıcı Madde İmhası, Kablosuz Haberleşme, Elektronik Ateşleme Sistemi, Gömülü Sistemler, Balistik

Bilim Kodu: 90518

Sayfa Sayısı: 70

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Ü. Serkan GÜRKAN

ABSTRACT

Design of a Mesh Topology Based Initiation System

Mevlana Halit ALDEMİR

Turkish National Defense University, Alparslan Defence Science Institute

Balıkesir, June 2021

For reasons such as safety, cost and ease of use, pyrotechnic ignition systems have been replaced by electric detonators today. With the use of electrical capsules, accidents which may occur in destruction sites can be reduced, destructions can be carried out with low powers, and programmable delayed destruction studies can be carried out. With the wireless destruction of electric detonators, many advantages can be achieved in both civilian and military fields. Star topology-based systems are currently used commercial systems in wireless electrical detonator destruction. In this study, a mesh network topology-based destruction system using microcontrollers has been implemented in order to perform longer distances with low costs and small size systems. Within the scope of the thesis, a destruction system consisting of eight receiver units, a transmitter unit and a user mobile interface layer was designed and prototype was produced.

Keywords: Ignition, Disposal of Explosives, Wireless Communication, Electronic Ignition System, Embedded Systems, Ballistic

Science Code: 90518

Pages: 70

Supervisor : Dr.Öğr.Ü. Serkan GÜRKAN

1. GİRİŞ

Patlayıcılar, katı haldeyken kısa sürede gaz haline geçebilen ve bu geçiş esnasında yüksek miktarlarda ısı, şok ve ses etkisi ile etrafta fiziksel etkiler oluşturabilen kimyasal maddelerdir (Deviren, 2019). Patlayıcılar, günümüzde sivil ve askeri birçok alanda kullanılmaktadır. Sivil alanda; maden ocaklarının açılması, büyük yapıların tahrip edilmesi, yıkılması ve barajlarda tahribat işlemleri en sık karşılaşılan uygulamalardır. Bunun yanında eğlence ve gösteri amaçlı kullanımı da mevcuttur. Askeri alanda ise; geçitlerin açılması, belirlenen hedeflerin tahrip edilmesi gibi uygulamalarla karşılaşılmaktadır. Patlayıcıların yasal olarak kullanımının yanı sıra terör grupları tarafından yasadışı kullanımı da söz konusudur. Türkiye Cumhuriyeti'nde, patlayıcıların üretimi, ambalajlanması, taşınması, saklanması, depolanması, ithali, satışı, kullanılması, yok edilmesi, denetimi gibi hususlar (87/12028) sayılı “Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük” (TAEK, 1999) ile belirlenmiştir.

Isınma veya şok tesiri ile yapısında kimyasal değişiklik meydana gelen, tahrip anında ani gaz yayılımı ile ekzotermik reaksiyon verebilen, ani yüksek basınç oluşturabilen, ayrıca çevresine büyük miktarda enerji yayan katı, sıvı veya gaz halindeki kimyasal maddelere, patlayıcı madde denir (Kar, 2021). Patlayıcıların gelişimi uzun bir geçmişe dayanır. İçeriğinde petrol, sönmemiş kireç ve kükürt olduğu tahmin edilen “Yunan Ateşi”, geçmişte yedinci yüzyılda kullanılmıştır. Daha sonra dokuzuncu yüzyılda Çin’de barut icat edilmiştir. Patlayıcıların ortaya çıkmasında önemli bir mihenk taşı olan kara barut suya karşı hassastır, yoğun duman çıkarır ve çok güçlü olmayan bir maddedir. Bu zayıflıklara rağmen 1864 yılında İtalyan bilim insanı Ascario Sobrero yüksek patlayıcı nitrogliserini keşfedene kadar barut yüzyıllar boyu kullanılmıştır. 1862 yılında İsveçli mucit Immanuel Nobel nitrogliserinin endüstriyel üretiminin önünü açmıştır. Sonraki süreçte oğlu Alfred Nobel, patlayıcıları kontrol edilebilir hale getiren cıva fulminat yüklü metal bir kapsül olan ilk patlayıcıyı icat etmiştir. İyi bir

katı patlayıcı, patladığında santimetrekaire başına 1010 watt gücünde bir enerji yayabilir. Tahrip ile 20 GPa üzerinde bir basınç ve 3000 °C'nin üzerinde bir sıcaklık üretilebilir (EKERMEN, 2021). Patlayıcılar sadece güçlü değil, aynı zamanda birçok enerji türüne göre ucuzdur. Tahrip basıncı ve hızı, tahribatın oluştuğu noktadan uzaklaştıkça azalacak şekilde etki göstermektedir.

Ateşleme cihazlarının geliştirilmesine ise 1800'ü yıllarda başlanmıştır. 1830 yılında Moses Shaw elektrik ile çalışan bir sistem kurarak kıvılcım ile barutun ateşlenmesini sağladı. 1831 yılında William Bickford uygun şekilde su geçirmez bir tür tekstil kılıflara sarılmış ve baruttan oluşan bir çekirdeğe sahip ateşleme kapsülünü tanıttı. Yine aynı yıl içerisinde Robert Hare bir elektrikli ateşleme köprü teli yöntemini geliştirdi. 1860'lı yıllarda Alfred Nobel nitrogliserin esaslı patlayıcıların ateşlenmesine yönelik, barut ve daha sonra da parlayan cıva içeren kapsüller için bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem ilk ticari kapsül olmuştur. 1946 yılında gecikmeli tahrip kapsülleri saniye ve milisaniye cinsinden gecikme aralıklarına sahip olacak şekilde üretilmiştir. 1960 yılında NONEL (elektriksiz) kapsüller ile ilgili çalışmalara Nitro Nobel tarafından başlanmış ve 1968 yılında laboratuvar ortamında ilk başarılı deneme gerçekleştirilmiştir. 1973 yılında, gelişmiş zamanlama sağlayan ve bu sayede gürültü veya sarsıntı seviyelerini azaltan NONEL piyasaya sürülmüştür. Son olarak günümüzde kullanılan modern elektronik tahrip sistemlerinin ilk örneği 1986 yılında ICI (Imperial Chemical Industries) tarafından tanıtılmıştır.

Ülkemizde ve dünyada kablolu veya kablosuz elektrikli kapsül tahrip sistemlerinin birçok örneğini görebilmekteyiz. Kablolu kapsül ateşleme sistemlerinde, sistem ile kapsül arasında kablo ile bir fiziki bağlantı bulunur. Sistem içerisinde bulunan bir kondansatörün şarj edilmesi ve istenilen anda kondansatör içerisine şarj edilen enerjinin kapsül üzerinden boşaltılması ve tahribatın gerçekleştirilmesi esastır.

Ticari kablolu kapsül ateşleme sistemlerine Şekil 1.1'de verilen Detomax V2, Digishot ve HB-50 Handiblast II örnek olarak gösterilebilir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 1.1: Kablolü Kapsül Ateşleme Sistemleri (a) Detomax V2, (b) Digishot, (c) HB-50 Handblaster II.

Kablosuz tahribat sistemlerinde ise, kapsül ile sistem arasında kablosuz bir bağlantı söz konusudur. Kapsül radyo frekans tabanlı bir alıcı ünite üzerinden kontrol edilir ve kapsülün ihtiyaç duyduğu enerji alıcı ünite tarafından sağlanır. Hali hazırda ticari olarak üretilen ve kullanıma sunulan kablosuz kapsül tahribat sistemleri incelendiğinde tamamının yıldız topolojisi tabanlı olduğu görülmüştür.

Kablosuz kapsül ateşleme sistemlerine Şekil 1.2’te verilen Propology 8 kanallı programlanabilir RF Detonator, Alpha Fire RF Detonator ve Detomax RF Detonator örnek olarak gösterilebilir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 1.2: Kablosuz Kapsül Ateşleme Sistemleri (a) Propology 8 CH RF Detonator, (b) Alpha Fire RF Detonator, (c) Detomax RF Detonator.

Bu çalışmada, örgü ağ topolojisi kullanılarak, WiFi ve bluetooth desteğine sahip, kablosuz mobil ağ cihazları ile kontrol edilebilen radyo frekans (RF) kontrollü bir elektronik ateşleme sistemi (Electronic Detonating System - EDS) tasarlanarak prototipi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın amacı Fesp; tahrip işlemleri sırasında yaşanan kazaları azaltmak, tahrip işlemlerinde güvenli mesafe sağlamak için yeni bir yaklaşım önermek ve maliyet etkin bir tahrip sistemi gerçekleştirmektir.

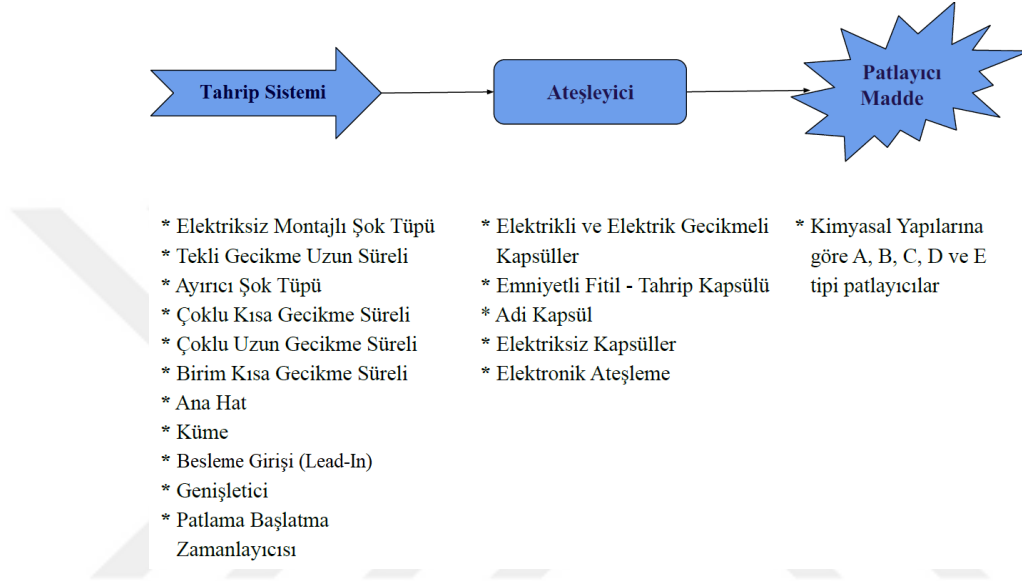
Tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde patlayıcılar ve patlayıcıların tarihçesi ele alınmıştır. İkinci bölümde tahrip sistemlerinin tarihçesi ve kavramsal temeller incelenmiştir. Üçüncü bölümde, sistem tasarımında kullanılan yöntem ve materyaller ortaya konmuş, sistemi oluşturan bileşenlere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, prototip üretimi yapılan sistem üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.



2. KURAMSAL TEMELLER ve LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Patlayıcıların ve Özellikleri

Tipik bir tahribat işleminin bileşenleri Şekil 2.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1: Tahribat İşleminin Bileşenleri.

Patlayıcılar yapılarına ve kullanım alanlarına göre beş kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar A,B,C,D ve E tipi olarak kategorize edilmiştir (EKERMEN, 2021).

A tipi patlayıcı maddeler; başta nitrogliserin olmak üzere sıvı organik nitrat veya benzeri bileşimler ile elde edilen karışımlardır. Nitroselüloz, amonyum nitrat veya bunların dışında kalan inorganik nitratlardan (aromatik nitrat türevleri, talaş, alüminyum tozu gibi yanıcı maddeler) oluşurlar. Fiziksel yapıları toz, hamur, jelatin şeklinde ve elastiktir.



(a)

(b)

Şekil 2.2: (a) Amonyum Nitrat, (b) Nitroselüloz.

B tipi patlayıcı maddeler; trinitrotoluenin (TNT) amonyum nitrat veya diğer inorganik nitratlar, talaş, alüminyum tozu karışımları ile yapılmaktadırlar. Amonyum nitrat veya diğer inorganik nitratların patlayıcı olmayan karışımları bu gruptadır. B tipi patlayıcılar nitrogliserin ve benzeri sıvı organik nitratları veya kloratları içermez.



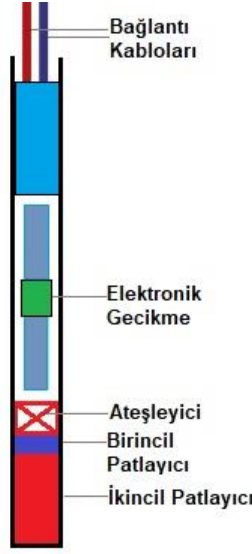
Şekil 2.3: Trinitrotoluenin.

C tipi patlayıcı maddeler; potasyum ya da sodyum kloratın veya potasyum, sodyum ya da amonyum perkloratın organik nitrotürevleri, talaş, alüminyum tozu veya hidrokarbon gibi yanıcı maddelerin karışımından oluşan maddelerdir. Bu tip patlayıcılar, nitrogliserin ya da benzeri sıvı organik nitratları içermezler (EKERMEN, 2021).

D tipi patlayıcı maddeler; hidrokarbon ve alüminyum tozu gibi yanıcı maddelerle organik nitratlı bileşenlerin karışımıdır. D tipi patlayıcılar, nitrogliserin, sıvı organik nitratlar, kloratlar ya da amonyum nitrat içermez. Plastik patlayıcılar bu gruptadır.

E tipi patlayıcı maddeler; ana terkip maddesi su olan, bir kısmı ya da tamamı çözelti şeklinde olan, yüksek oranlarda amonyum nitrat ya da diğer oksijen verici maddelerden oluşan patlayıcı maddelerdir. Trinitrotoluen (TNT), hidrokarbonlar veya alüminyum tozu gibi nitrotürevleri içerirler. Emülsiyon patlayıcılar, bulamaç türü ve su jelli patlayıcılar bu gruptadır (EKERMEN, 2021).

Bunun yanında kullanım yerlerine göre askeri ve sivil alanda farklı kategoride patlayıcılar vardır. Askeri uygulamalarda savunma amacıyla kullanılan patlayıcıların başlıcaları PETN, RDX, TNT ve HMX'tir. Sivil uygulamalarda kullanılan patlayıcıların başlıcaları ise dinamit, ANFO (Amonyum Nitrat-Fuel Oil), emülsiyon patlayıcılar ve patlatma kapsülleridir. Kapsül içerisindeki öncelik sırasına göre daha az enerji ile aktive edilmesi mümkün olan birincil patlayıcı, sonrasında ise yüksek patlayıcı ile birincil patlayıcı arasındaki bölümde yer alan ikincil patlayıcı mevcuttur.



Şekil 2.4: Birincil ve İkincil Patlayıcıların Kapsül İçerisindeki Konumları.

Birincil patlayıcılar; ısı, şok ve sürtünmeye karşı son derece hassas, ancak güç açısından en düşük seviyede olan patlayıcı maddelerdir. Hafif bir darbeye, alevle ya da elektrik akımından oluşan ısı ile patlayabilirler. İlk ateşlemeyi başlatmak ve şoku ikincil patlayıcıya iletmekte kullanılırlar. Kurşun azid, kurşun stiftinat, cıva fulminat gibi maddeler örnek verilebilir. İkincil (yemleme) patlayıcılar; infilak dizisinde birincil patlayıcılar ile ana dolgu patlayıcılar arasında olan patlayıcılardır. Birincil patlayıcılar ile infilak ettirilirler. Ana dolgu, yüksek patlayıcıları infilak ettirecek yeterli güçtedir. Büyük miktarda ana dolgunun infilakı gerektiğinde yardımcı bir yemlemeden yararlanılabilir (EKERMEN, 2021).

2.2. Tahrip Sistemleri ve Özellikleri

Tahrip sistemleri, kapsül fiziki olarak bağlı olan ve kapsüle ilk enerjinin ulaşmasını sağlayan yapılardır. 1831 yılında William Bickford'un emniyetli fitili bulmasına kadar geçen sürede, barutu ateşlemek için birçok metot kullanılmıştır (Calling, 2021). Emniyetli fitilin icadı ile patlatma işlemi için barutun emniyetle ateşlenmesi mümkün olmuştur. 1850'li yıllarda nitrogliserinin, 1860'lı yıllarda dinamitin yoğun şekilde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte barutun emniyetli fitil ile ateşlenmesi yeterli olmamıştır ve emniyetli fitil ile beraber kapsül kullanımı zorunlu bir hal almıştır. 1867'de Alfred Nobel tarafından cıva fulminatın patlatma başlığı adını verdiği ateşleyiciyi bulmasıyla birlikte barut ve dinamitin emniyetli şekilde ateşlenebilmesi mümkün olmuştur (Alabaş, Velat; Derya, Metehan; Kılıç, Ümit; Us, 2012).

Günümüzde askeri ve sivil maksatlarla kullanılan kapsüllerin büyük kısmı Alfred Nobel'in bu düşüncesinden hareketle geliştirilmiştir. Ateşleme emniyeti, güvenlik, sarsıntı ve diğer ihtiyaçlara karşılık vermek için ateşleyici sistemler sürekli gelişim halindedir. İçerisinde bulunduğumuz zamanlarda da tahrip sistemlerinin gelişimine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Uygulama alanında patlayıcıyı harekete geçirmek ve böylelikle beklenen ısı, şok ve ses etkisini ortaya çıkarmak için ateşleme sistemlerine ihtiyaç vardır. Ateşleyici, patlayıcı endüstrisinde patlamayı başlatmak için kullanılan aygıtı tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Pande v.d. 2015). Uygulamalarda patlayıcıları harekete geçirmek için farklı tip ateşleyiciler kullanılabilir (Bickes 1996).

Elektrikli kapsüller; elektrik ile ateşlenebilen, içerisine kibrit başı yerleştirilmiş ateşleyicilerdir. Elektrikli kapsüllerin ateşlenmesinde enerji kaynağı olarak batarya kullanılabilmesi gibi, ardışıl ve emniyetli ateşlemeler için Elektrikli Kapsül Ateşleme Sistemi (EKAS) tercih edilir. EKAS'leri birden çok elektrikli kapsülün seri, paralel veya karışık bağlantılar ile imhasına olanak tanır. EKAS'lerinde kapsüle uygulanacak ateşleme darbe enerjisi öncelikle bir kondansatörde depolanır ve istenilen zamanda depolanan bu enerji kapsül üzerinden boşaltılarak patlama gerçekleştirilir. Enerjinin depolaması esnasında kapsüle harici akım akmaması ve kaza önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. EKAS'leri kısa sürede, yüksek akımlı enerjiyi kapsüle aktararak gecikmesiz olarak kabul edilebilecek bir patlama gerçekleştirir.

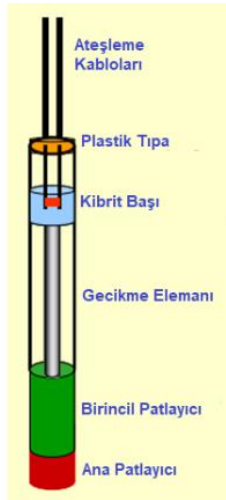
Elektrikli kapsülün ateşlenmesi ile amaçlanan, PETN / TETRIL'in ateşlenmesi ve bununla beraber asıl ateşlenmek istenen TNT kalıbı gibi patlayıcıların infilak etmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin açığa çıkarılmasıdır. Kibrit başı birkaç amper akım ile ateşlenebilen kimyasallardır. Kibrit başının ateşlenmesi ile açığı çıkan enerji TNT veya PETN / TETRIL'i doğrudan ateşlemek için yetersizdir. Bu yüzden kibrit başından açığa çıkan enerji öncelikle kurşun azodür / cıva fülminatı ateşler. Ardından önce PETN / TETRIL ve nihai olarak TNT kalıbı ateşlenmiş olur.

Elektrikli kapsüllerin kullanımı sırasında kazara ateşlenmesinden kaynaklı kazalar nedeniyle zaman içerisinde duyarlılıkları azaltılarak değişik türlere ayrılmış ve bugün bu şekilde kullanıma sunulmaktadır. Kibrit başı direnci değiştirilerek duyarlılıkları kontrol edilen elektrikli kapsüller genel olarak üç ana başlıkta sınıflandırılabilir:

1. Hassas (Sensitive) elektrikli kapsüller,
2. Duyarsız (Insensitive) kapsüller ve
3. Çok duyarsız (High insensitive) kapsüller.

Bu sınıflamada 1. gruptaki kapsüller her türlü elektriksel tehlikeye açıktır. Oysa 2. gruptaki kapsüller belli değerlere kadar statik elektriğe dirençlidir. 3. gruptaki kapsüller ise elektriksel yüklü atmosferik koşullarda, demiryollarının ya da yüksek gerilim hatlarının yakınlarında ve vericilerin yakınlarında kullanılırlar. Bu sınıflama, değişik ülkelerdeki üreticilerin ürettiği elektrikli kapsüllere farklı isimler verilerek yapılmıştır. Örneğin Almanya'da ve Avusturya'da önde gelen kapsül üretici firmalar hassas kapsül grubundaki bu kapsülleri "A Tipi" kapsüller olarak adlandırmıştır (Bağcaz, A. Timur; Kılıç, 2012). Duyarsız kapsüller Almanya'da "U Tipi" (Unempfindlich) olarak bilinirken Schaffler firması bu grubu "F Tipi" (Fiduz) olarak sunmuştur. Çok duyarsız grup ise Almanya'da "HU Tipi" (Hochunempfindlich) olarak bilinirken Schaffler firması bu grubu "P Tipi" (Polex) olarak isimlendirmiştir (Bağcaz, A. Timur; Kılıç, 2012).

Elektrikli kapsüllerin üretim süreci, oldukça zahmetli ve hassastır. Kullanılan yerin özelliği ve amacına göre gecikmeli, gecikmesiz, alüminyum kovanlı, bakır kovanlı gibi çeşitleri üretilmektedir.



(a)



(b)



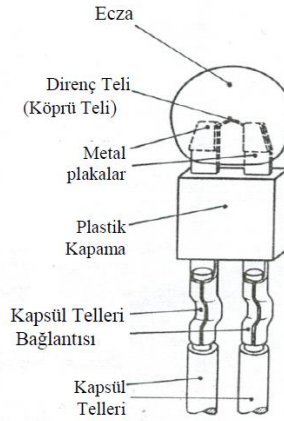
(c)

Şekil 2.5: (a) Elektrikli Kapsülün Basitleştirilmiş Yapısı (b) Alüminyum Dış Kaplı Elektrikli Kapsül (c) Bakır Dış Kaplı Elektrikli Kapsül.

Kapsül kovanı, kapsüle ait tüm yapıyı içinde barındırır ve alüminyum veya bakırdan yapılır. İkisinin de işlevleri aynı olmasına karşın aralarındaki fark bakır kovanlı

kapsüllerin grizulu, gazlı ocaklarda kullanılmasıdır. Bunun sebebi ise kapsülün ateşlenmesi sonrasında bakırın reaksiyona girmemesi ve çabuk soğumasıdır. Alüminyum ise patlatma endüstrisinde enerjiyi artıran bir yakıt olarak kullanılır. Dolayısıyla ateşlenme sonrası alüminyum kovan reaksiyonu devam ettirir ve sıcak akkor halini bir müddet daha korur. Örneğin, metanın patlayabilmesi için 650°C ısıya 10sn süre maruz kalması yeterlidir. Dolayısıyla ateşlendikten sonra bakır kapsüller çabuk soğuyarak metana tahrip fırsatı vermezken alüminyum kovanlı kapsüller bu riske açıktır.

Elektrikli kapsüllerin ateşlenmesi ile ilgili en önemli yapı olan kibrit başı, iki metal plaka ve bunları birbirine bağlayan krom-nikel köprü telin bir ecza ile kaplanması ile üretilmektedir. Köprü telinin direnci kapsülün direnç grubunu belirlemektedir.



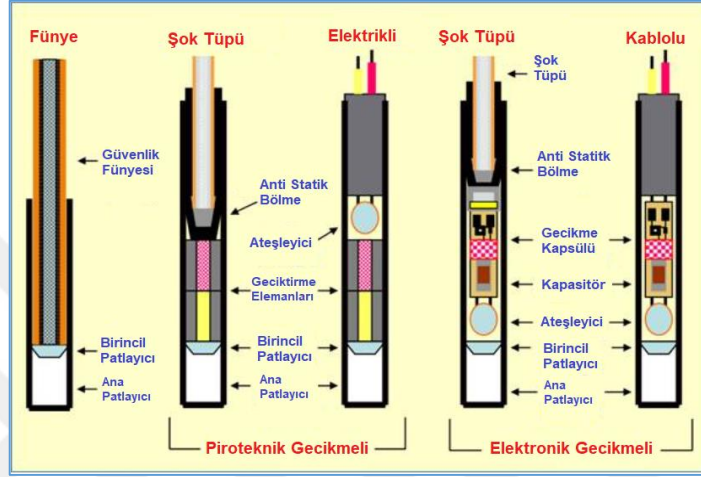
Şekil 2.6: Kibrit Başının Yapısı.

(Bağcaz, A. Timur; Kılıç, 2012)

Ateşlemede kullanılan ateşleyici çeşitleri kapsül, piroteknik şok tüpü, piroteknik elektrikli kapsül, elektrikli gecikmeli şok tüpü, elektrikli gecikmeli kapsüller olarak sıralanabilir.

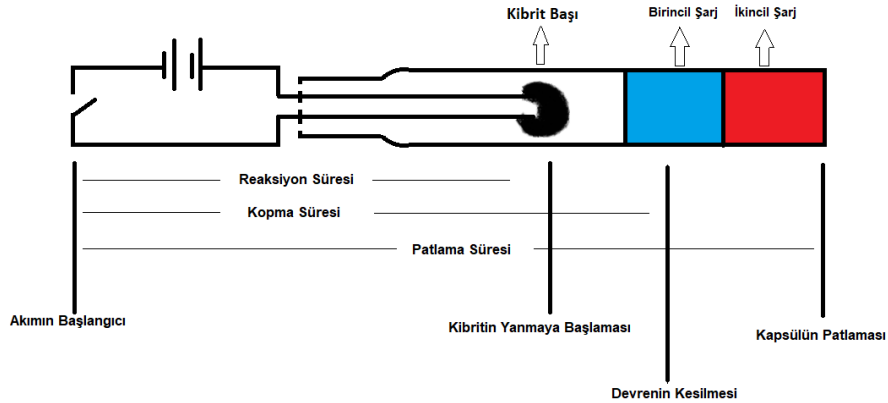
Tipik bir ticari elektronik kapsül bazen ticari bir elektrikli kapsül ile karıştırılabilir. Çünkü kapsül kovanının ve uçların yapısı genellikle aynı fiziksel şekil ve boyutta olabilir. İki teknoloji arasındaki temel fark; çoğu durumda bir elektronik kapsülün, elektrikli kapsüllerde bulunan sadece soyulmuş ve şönlü tellerin aksine, güvenilir bağlantıları kolaylaştırmak için kablo uçlarının ucunda bir konektör içerecek olmasıdır. Bazı elektronik kapsül teknolojileri, kapsülü elektrikli veya elektronik kapsüllerden ayırmaya yardımcı olabilecek özel olarak tasarlanmış bir kablo ucu kullanır. Ayrıca, bazı elektronik kapsüllerin, diğer geleneksel kapsüllerden ayırt edilmesine yardımcı olacak şekilde ünitenin ucuna takılı bir konektörü bulunur.

Elektronik patlatıcılar, uygulamaya veya üreticiye bağlı olarak bir alüminyum kabuk veya bir bakır alaşımlı kabuk kullanabilir. Ancak genel görünüm herhangi bir ticari üniteye benzer olacaktır. Elektronik kapsüllerin uzunluğu üreticiden üreticiye değişebilir. Ancak dış çaplar genellikle diğer tüm standart ticari kapsüllerle (elektrikli ve elektriksiz) aynıdır. Elektronik kapsüller ayrıca standart döküm güçlendiricilerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır, bazı tasarımlarda yüksek dinamik basınç riskinin olabileceği yerlerde kullanılmak üzere özel olarak dizayn edilmiştir.



Şekil 2.7: Elektrikli Kapsül Çeşitleri.

Elektrikli kapsüller, elektrik enerjisinin uygulanmasını takiben köprü telin ısınarak kendisini kaplayan eczayı ateşlemesi ve yanan eczanın da gecikme elemanını veya birincil şarjı ateşlemesi sonucu ana şarjın tahribi prensibine göre çalışırlar.



Şekil 2.8: Kapsülün Ateşlenme Süreleri.

Kapsülün ateşlenmesi sürecinde Şekil 2.8'den de görülebileceği üzere belirli süre zarflarında kademeli olarak belirli olaylar gerçekleşmektedir. Bunlar reaksiyon süresi, kopma süresi ve tahrip süresidir.

Enerjinin verilmesinden kibrit başının ateşlenmesine kadar geçen zaman dilimi reaksiyon süresidir. Kibrit başındaki direnç telinin ısınarak kendini çevreleyen eczayı başlatabilmesi için belirli miktarda akımın belirli bir süre direnç telinden geçirilmesi gerekir. Sistemden geçen akımın belli bir ısı değerine ulaştırdığı köprü teli, enerji kotasını dolduran eczayı ateşler. Bu sırada ihtiyaç duyulan zaman dilimi genellikle birkaç milisaniyedir.

Dynamit Nobel firması, A-tipi kapsüller (1 – 2 ohm kibrit başı direncine sahiptirler) için bu süreyi 1A akım koşullarında 2ms olarak vermektedir (Bağcaz, A. Timur; Kılıç, 2012). Bu firma, aynı tip kapsülün reaksiyon süresinin, 3A akım koşullarında, 1ms civarına düştüğünü bildirmektedir. Kapsüllerin reaksiyon süreleri üretim sapmalarından dolayı çok küçük değişiklikler gösterir. Sisteme uygulanan akım büyüdükçe bu süre azalmaktadır ama ark yapma riskine dikkat etmek gerekir. Ülkemizde MKE tarafından üretilen elektrikli kapsüllere ait özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: MKE Tarafından Üretilen Elektrikli Kapsüllerin Özellikleri.

Elektrikli Kapsül Tipi	Sınıf	Kibrit başı direnci (Ω)	Ateşlenme Darbe Enerjisi mWs/ Ω	Ateşlenmeme Darbe Enerjisi mWs/ Ω	Emniyet Sınırı (A)	Ateşlenme Akımı (A)
Aluminyum	1	1,2-1,8	3	0,8	0,18	1
	2	0,4-0,8	16	2,8	0,45	1,5
Bakır	1	1,2-1,8	3	0,8	0,18	1
	2	0,4-0,8	16	2,8	0,45	1,5

Sınıf 1 elektrikli kapsüllerin 1 A akımdan itibaren ateşlendiği ve 3 mWs/ Ω 'luk enerjiye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. 0,18 A akım ve 0,8 mWs/ Ω 'luk enerjinin altındaki değerlerde sınıf 1 kapsülün ateşlenmediği görülmektedir. 0,18 A ile 1 A akım değerleri ve 0,8 mWs/ Ω ile 3 mWs/ Ω enerji aralıkları sınıf 1 elektrikli kapsüller için kararsız bölgedir. Bu bölgede sınıf 1 elektrikli kapsülün ateşlenmesi veya ateşlenmemesi garanti edilemez.

Sınıf 2 elektrikli kapsüllerin 1,5 A akımdan itibaren ateşlendiği ve 16 mWs/ Ω 'luk enerjiye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. 0,45 A akım ve 2,8 mWs/ Ω 'luk enerjinin

altındaki değerlerde sınıf 2 kapsülün ateşlenmediği görülmektedir. 0,45 A ile 1,5 A akım değerleri ve 2,8 mWs/Ω ile 16 mWs/Ω enerji aralıkları sınıf 2 elektrikli kapsüller için kararsız bölgedir. Bu bölgede sınıf 2 elektrikli kapsülün ateşlenmesi veya ateşlenmemesi garanti edilemez. Emniyetli bir EKAS'den beklenen en önemli özellik, kararsız bölgelerin dışında akım ve enerji sağlamasıdır. Bu kapsamda; ateşleme esnasında ihtiyaç duyulan akım ve enerji değerinin olabildiğince üzerinde, bekleme ve test durumlarında emniyet sınırlarının olabildiğince altında akım ve enerji üretilmesi önemlidir. Kopma süresi ise akımın ilk uygulanmaya başlaması ile devrenin kesilmesi arasındaki zaman dilimini tanımlar. Devrenin kesilmesi birincil şarjın ateşlenmesi ya da köprü telinin erimesi ile meydana gelir. Tahrip süresi, akımın ilk uygulanmaya başlaması ile kapsülün ateşlenmesi arasındaki zaman dilimini tanımlar. Bu süre hemen hemen kopma süresine eşit ya da çok küçük bir süre fazla olabilir.

Elektrikli kapsüller, yeterli miktarda ve sürede uygun akıma maruz kaldığında güvenli bir şekilde ateşlenirler. Bu değerler çeşitli kapsül tipleri için değişim gösterir. Tablo 2.2'de Alman Dynamit Nobel firmasının kapsüllerine ait ateşlenme enerjisi verileri görülmektedir. Tablo 2.2'de verilen veriler ışığında, Alman Dynamit Nobel firmasının A-Tipi kapsülleri ile MKE Kapsül Fabrikası'nda üretilen elektrikli kapsüllerin benzer elektriksel özelliklere sahip olduğu görülebilir.

Tablo 2.2: Kapsül Tiplerine Göre Ateşleme Değerleri.

Kapsül Tipi	Kibrit başı Direnci (Ohm)	Ateş Olmayan Durum Akımı (A)	Ateş Durumu Akımı (A)	Ateşleme İmpulsı (mJ/ohm)
A-Tipi (Hassas)	0,9-1,6	0,18	0,8	3
U-Tipi (Duyarsız Kapsül)	0,5-0,9	0,45	1,5	16
HU-Tipi (Çok Duyarsız Kapsül)	0,1-0,2	4	25	2500

<https://www.akgunpatlayici.com/urunler/mke-urunleri/atesleme-kapsulleri>

Ateşleme enerjisi kapsüllerin hassaslık derecesi hakkında kesin bilgi veremez. Çünkü ateşleme enerjisinin büyük kısmı kapsül kabloları, uzatma kabloları, bağlantı kabloları, bağlantı tarafından tüketilir ve sadece az bir kısmı kibrit başını ateşlemek için kullanılır. Bundan dolayı devre direncinin bir ohm direnç başına ateşleme enerjisini ifade eden ateşleme impulsı belirlenmiştir.

$$E = V \times I \times t \quad (2.1)$$

E: Ateşleme Enerjisi [J & W.s]

V: Voltaj [V]

I: Akım [A]

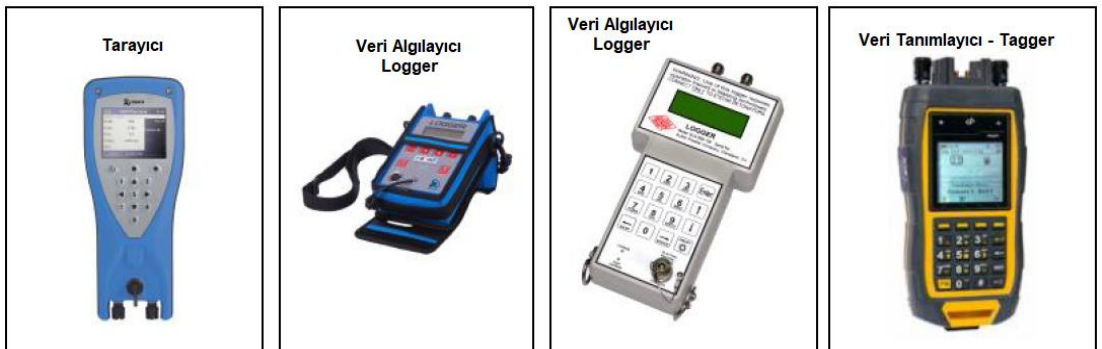
t: Süre [s]

$$K = \frac{E}{R} = I^2 \times t \quad (2.2)$$

K: Ateşleme İmpulsı (mJ/ohm & mWs/ohm)

Denklem 2.2'de bulunan ateşleme impuls değeri elektrikli kapsüllerin hassaslığının göstergesidir.

Elektrikli kapsüllerin kullanımından önce uygun test cihazı ile kontrol edilmeleri gerekmektedir. Ayrıca, devre bağlantıları bittikten sonra da bu kontrol yapılmalı ve daha sonra devre ateşleme kablosuna bağlanmalıdır. Bu ölçüm işlemleri sırasında devre direncini de gösteren ohmmetrelerin kullanılması daha doğrudur. Çünkü sadece devrenin sürekliliğini gösteren cihazlar herhangi bir kısa devre veya akım kaçağı durumunu açığa çıkarmaya yardım edemezler. Bu nedenle devrenin direncini de gösteren ölçüm cihazlarını tercih etmek en doğru davranıştır. Bu ölçüm cihazları kapsül ile devreyi test ederken mA'ler seviyesinde bir ölçüm akımı üretirler. MKE Kapsül Fabrikası Müdürlüğü'nün ürettiği ve ülkemizde kullanılan kapsüllerin ateşleme olmayan durum akım değeri 0,18 A DC değere sahiptir. Ancak bu değer 300 saniyelik süre müddetince emniyetlidir ve bu süre aşıldıktan sonra yine tahribat oluşma riski bulunmaktadır. MKE Kapsül Fabrikası Müdürlüğü, ürettiği kapsüller için ölçüm akımınının 10 mA'i geçmemesini önermektedir (Deviren, 2019). Kapsül test akımı parametresinin düşük değerde olması, emniyet kriteri açısından ölçüm ekipmanı seçiminde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur.



Şekil 2.9: Kapsüllerin Test Edilmesinde Kullanılan Bazı Ölçüm Cihazları.

Tüm kontrol, test ve bağlantıları yapılmış, kullanıma hazır haldeki bir devreyi ateşlemek için en güvenli yol kapasitörlü manyetoların kullanılmasıdır. Bununla birlikte hala bazı yer altı madenlerinde ve tünellerde doğrudan şebeke hattından ateşleme yapılmaktadır. Hangi enerji kaynağı kullanılırsa kullanılsın beklenti birkaç milisaniye içerisinde devredeki tüm kapsülleri ateşleyecek kadar enerji üretmesidir (Explosives, 2015). Devrenin ateşlemesi genel olarak iki yol ile yapılır. İlki şebeke gerilimi kullanılarak yapılan ateşleme iken ikincisi ise manyetolar kullanılarak yapılan ateşleme yöntemidir. Şebeke gerilimi kullanılarak yapılan ateşleme günümüzde pek tercih edilmemektedir. Hatta Almanya’da bu yöntem güvenli olmadığı gerekçesi ile yasaklanmıştır.

Ohm yasası güç kaynaklarından yapılan ateşleme koşulları için uygulanabilir, ancak kapasitörlü manyetoların kullanıldığı durumlarda hesaplamalar daha karmaşık olabilmektedir. Kapasitörlü manyetolar enerjiyi kondansatörlerde depolayıp bir anda boşaltırlar. Bu nedenle başlangıç akımı yüksek olmakla birlikte çok hızlı bir şekilde düşüş eğilimindedir. Dolayısıyla sabit minimum akım konsepti kullanılamaz.

Aşağıdaki prosedür ile verilen hesaplamada manyetoyla devreye sağlanan efektif akım hesaplanabilir. Hesaplamanın amacı, değişken akımı eşdeğer DC akımına dönüştürmektir ki bu eşdeğer akım 5ms içinde devreye aynı elektrik enerjisini sağlar. Eşdeğer akım efektif akım olarak bilinir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir

DC manyetodan sağlanacak toplam enerji;

$$E = \frac{1}{2} \times C \times V^2 \quad (2.3)$$

5ms içerisinde devreye sağlanan enerji, E_d ;

$$E_d = E \times (1 - e^{-0,01/(R \times C)}) \quad (2.4)$$

Devreye sağlanan enerji ile yaratılan efektif akım, I ;

$$I^2 = E_d / (0,005 \times R) \quad (2.5)$$

E: Manyetoda depolanan enerji [J]

E_d : Manyeto tarafından 5ms içinde devreye sağlanan enerji [J]

C: Manyetonun sığası [C]

V: Manyeto üzerinde biriken yükün voltajı [V]

I: 5ms içindeki enerjiyi sağlayacak olan efektif akım [A]

R: Toplam direnç (devrenin direnci + manyetonun iç direnci) [Ohm]

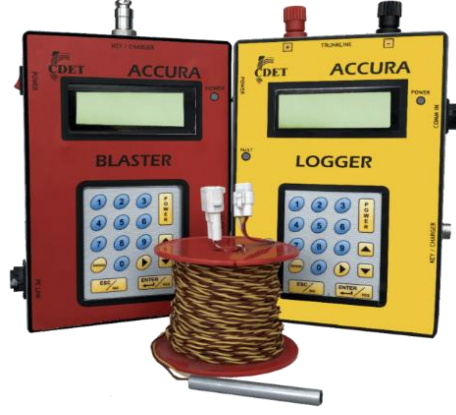
Uygulamada, güvenlik açısından güç kaynağı olarak manyeto kullanmak ve bunların bakımını yaparak iyi durumda tutmak daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

2.3. Elektronik Tahrip Sistem Teknolojileri

Elektronik kapsüller tamamen programlanabilme özelliğine sahip sayısal kapsüllerdir ve içeriğinde bir işlemci ihtiva ederler. Tüm elektronik kapsüller fabrika çıkışında kodlanan bir tanımlama kimliğine (ID) sahiptirler. Tanımlama kimliği, tahrip ağına yerleştirilen kapsüller ile tahrip donanımları arasındaki veri haberleşmesinin temel parametresidir. Tanımlama kimliği sayesinde, tahrip ağına bulunan kapsüllerden istenilen kapsülün test, programlama ve tahribi gerçekleştirilebilir. Elektronik kapsüller, tahribat sinyalinin gönderilmesinin ardından bireysel işlem yaparlar. Yani tahrip anına kadar, tahrip donanımının kontrolünde olan elektronik kapsül, ateşleme sinyalinin gelmesinin ardından kendi kontrolünü ele alır. Bu işlemleri gerçekleştirebilmesi için her elektronik kapsülün içeriğinde enerji depolayıcı donanım ve işlemci tarafından kontrol edilen bir zamanlayıcı donanım bulunur.

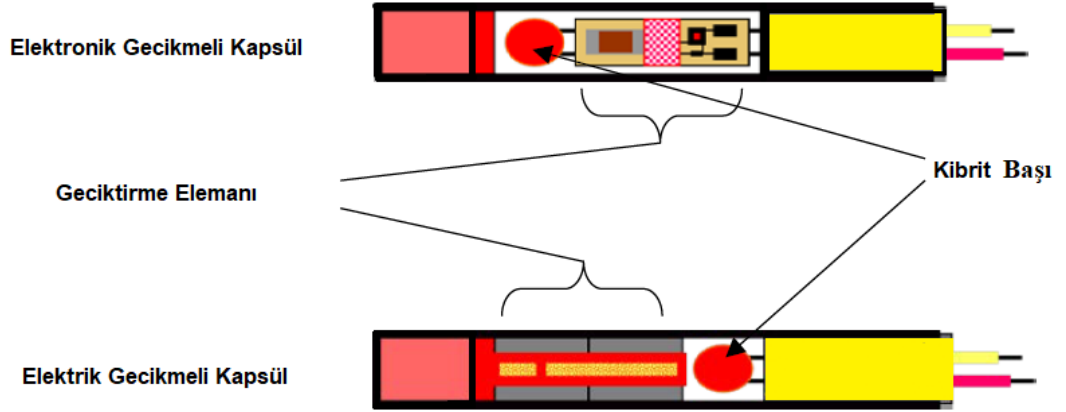
Elektronik kapsül tahribat donanımının iki önemli bileşeni kaydedici (logger) ve manyeto (blaster)'dur. Kaydedici, elektronik kapsüllerin gecikme sürelerini atamak ve test süreçlerini kontrol etmek için kullanılan bir bileşendir. Kaydedici, elektronik kapsüle ait tanımlama kimliği ile gecikme verilerini okuyarak kayıt yapar. Manyeto ise tahribat süreçlerinin programlanmasını, testlerin gerçekleştirilmesini ve tahribatların başlatılmasını sağlar. Örnek bir kaydedici ve manyetoya ait görüntüler Şekil 2.10'da verilmiştir.

Kaydedici, manyeto ve elektronik kapsüller arasındaki bağlantılar çiftli bakır kablolar ile yapılır.



Şekil 2.10: Kaydedici ve Manyeto Görüntüsü.

Elektrikli kapsül ve elektronik kapsül arasındaki temel fark kibrit başına yapılan bağlantıdır. Bir elektronik kapsülün iç tasarımı ve yapısı, bu teknolojiyi diğerlerinden ayıran unsurdur. Çünkü gecikme zamanlaması, genellikle bir çelik veya metal kılıf içinde kaplanan piroteknik bir geciktirme bileşimine karşı bir devre kartı ve işlemci teknolojisi ile sağlanır. Spesifik yapı, üreticiden üreticiye farklılık gösterebilir, ancak tüm elektronik kapsüllerin birleştirici bir özelliği, bir ASIC (Application Specific Integrated Circuit - Uygulamaya Özel Entegre Devre) veya mikroişlemciye ek olarak elektronik bileşenlerle doldurulmuş bir devre kartının varlığıdır. Diğer bir önemli fark, geciktirme elemanına veya elektronik zamanlama devresine göre köprünün veya kibrit başı teknolojisinin konumudur.



Şekil 2.11: Elektronik ve Elektrikli Kapsüllerin Karşılaştırmalı Yapısı.

Bir elektronik ve elektrikli patlatıcıdaki "kibrit başının" yerlerindeki farklılık, iki kritik sebepten dolayıdır. Birincisi; dahili olarak yanan "geciktirme elemanı", bitişikteki şoka veya dinamik basınçlara maruz kalabilir. Bu basınçların piroteknik geciktirme elemanları ile elektronik geciktirme elemanları üzerinde farklı etkileri olabilir. Kullanıcılar, bu dinamik basınçlardan farklı şekilde etkilenebileceklerinden, kullanılan

kapsül ürünlerinin tasarım kabiliyetini anlamalıdır. İkincisi; bir elektrikli kapsülün kablo uçları doğrudan "kibrit başına" bağlanır ve statik, kaçak akım, RF ve diğer yabancı elektrik enerjisi kaynaklarına göre çok farklı koruma gereksinimlerine tabidir. Bu nedenle SLP 20 geliştirilmiştir ve yalnızca elektrikli kapsüllere uygulanmalıdır (Explosives, 2015).

Tüm elektronik sistemlerde olduğu gibi, her üretici kendi sistemine özel bir ateşleme cihazı kullanmalıdır. Ateşleme cihazları, güvenilir sistem seviyesi testleri, son programlama, şarj etme ve ateşlemesini sağlamak için izlenmesi gereken benzersiz tasarım özellikleriyle iletişim protokollerine sahiptir. Sadece tam yetkili ve eğitilmiş personel tarafından kullanılmalı gerekmektedir.



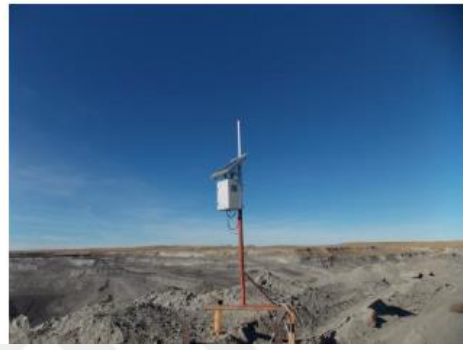
Şekil 2.12: Tipik Elektronik Tahrip Sistemleri.

Elektronik ateşleme sistemleri genel olarak üç ana grup altında incelenmektedir. Standart elektronik ateşleme sistemleri, kablosuz uzaktan kontrollü elektronik ateşleme sistemleri ve yer altı ateşleme sistemleri.

Günümüzde, tahrip gecikmesine göre serbestçe programlanabilen ve aynı zamanda bu gecikmeye göre çok hassas olan elektronik patlatıcılar mevcuttur. Bu nedenle elektronik patlatıcılar, önceden belirlenmiş ve kesin bir zaman aralığında patlatılmak üzere özel patlatma deliklerinin gerekli olduğu çok delikli tahrip operasyonlarında son derece kullanışlıdır. Zamanlama dizisi önceden bilinmektedir ve patlatıcının genel patlatma sırasındaki konumuna bağlı olarak ayrı ayrı patlatıcılar halinde programlanmıştır. Genel olarak, elektronik tahribat sistemleri söz konusu olduğunda, kapsül programlaması için kullanılan iki temel teknik vardır. Birincisinde, elektronik patlatıcılar, patlatma modelindeki konumlarına göre ayrı ateşleme süreleri ile programlanır. Bu, önerilen patlatma tasarımını dikkate alarak bir operatörün bazı kasıtlı eylemlerini gerektirir. Bu, taşınabilir bir programlama aletinde bir tahrip

gecikme süresinin girilmesini ve bu gecikme süresinin, programlama aracı ile kapsül arasında bir tür iletişim yoluyla ilgili patlatıcıya aktarılmasını içerir.

Elektronik kapsüllerin programlanması için ikinci teknik, kapsüllerin göreceli konumlarının belirlenmesini sağlamak için elektrik bağlantılarına dayanır. Örneğin, bir patlatma hattı üzerindeki birinci kapsülün programlandığı ve sonraki kapsüller için ardışıl programlamaların yapıldığı sistemler mevcuttur. Özetle, bir tahrip sistemi planlamasındaki her bir patlatıcısının bir operatör tarafından ziyaret edilmesi gerekmez, ancak her zaman sistemin çalışması için bir dizi elektrik bağlantısının yapılması gereklidir.



Şekil 2.13: Kablosuz Kontrollü Tahrip Sistemi Ekipmanları.

Günümüzde EAS (Elektronik Ateşleme Sistemi) teknolojisi günden güne kullanıcıya yeni özellikler sunarak gelişimine devam etmektedir. Bu gelişim aşamasında kazanılan birtakım nitelikler vardır. Kullanıcılara patlatmanın etki ve tahrip alanını hesaplayabilen, mevcut programlama süresi, test özellikleri ve programlama ile ateşleme metodolojisi açısından eksiksiz operasyonel çözümler sunulmaktadır. Bunlardan sonuncusu uzaktan ateşleme imkanıdır. Kullanıcı ekipmanını patlatma protokolüne dahil etme yeteneğine sahip olunmuştur. Kablolü tahrip sistemlerinde olduğu gibi, "şarjlı tahrip" özelliği kullanılarak kablosuz bir arayüze izin veren elektronik tahrip sistemleri mevcuttur. Bu sistemler, tahribatın tam ölçekli testini, programlanmasını ve ateşlenmesini sağlamak için mümkün olan en yüksek düzeyde iletişim güvenilirliği ile tasarlanmıştır. Bununla birlikte, kullanıcılar her zaman tam olarak eğitilmeli ve bu sistemlerin yeteneklerini ve sınırlamalarını anladıklarından emin olunmalıdır. Mesafe sınırlamaları, hava koşulları, saha gereksinimleri, RF gürültüsü gibi etkenler iletişim güvenilirliğinde önemli bir rol oynayabilir. Kullanıcılar kullanmadan önce her zaman sistemi test etmeli ve doğrulamalıdır. Herhangi bir tahrip sistemi kullanımında olduğu gibi, bağlantıdan önce tahrip alanı temizlenmelidir.

Uzaktan ateşleme cihazları bir alanı temizlerken ek zorluklar ortaya çıkabilir, bu nedenle uzaktan iletişim sistemleri herhangi bir tahrip devresine bağlanmadan önce muhakkak test edilmeli ve doğrulanmalıdırlar.



Şekil 2.14: Uzaktan Kontrollü Tahrip Sistemleri.

2.4. Kablolu ve Kablosuz Haberleşme Topolojileri

Haberleşme topolojisi bir ağda bulunan haberleşme aygıtlarının yerleşiminin, bağlantılarının ve veri iletiminin ne şekilde gerçekleşeceğini belirlediği yapıya verilen isimdir. Fiziksel topoloji (fiziksel katman), ağın fiziksel olarak görünümünü belirlerken mantıksal topoloji (veri iletim katmanı), ağdaki veri akışının nasıl olacağını belirlemektedir (KOÇAK, 2006).

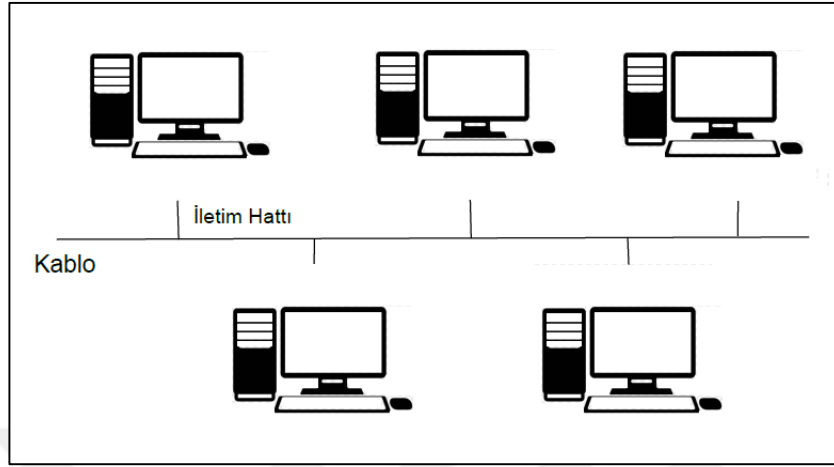
Haberleşme topolojisi türleri aşağıda sıralandığı şekildedir;

- Yol (Bus) Topolojisi
- Halka (Ring) Topolojisi
- Yıldız (Star) Topolojisi
- Ağaç (Tree) Topolojisi
- Karmaşık/Örgü (Mesh) Topolojisi (TÜRK, 2016)

Topolojilerin özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

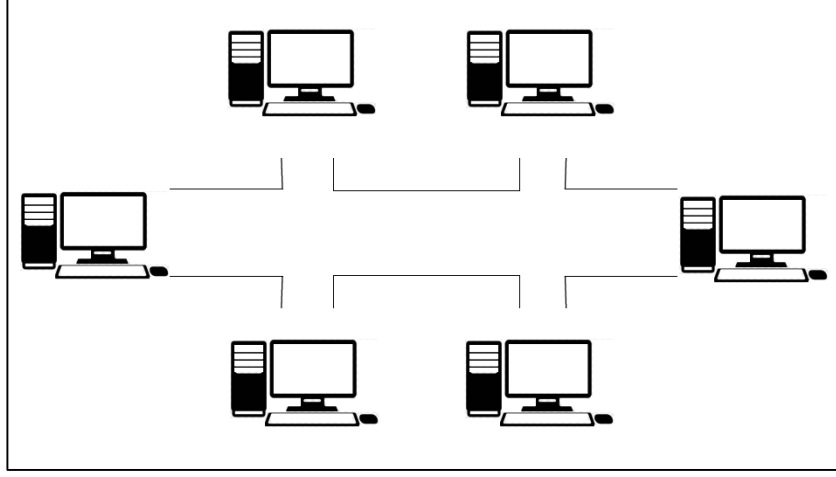
a) Yol Topolojisi: Bütün cihazların tek bir kablo aracılığı ile birbirine bağlandıkları topoloji türüdür. Ağ üzerine haberleşme aygıtlarının bağlantı kolaylığı, kısa mesafeli kablo kullanım imkânı gibi temel avantajları vardır. Sistemde bir hata meydana geldiği zaman hatanın yerinin tespit edilmesinde zorluk yaşanması, hattın sonunda bir sonlandırıcı elemana ihtiyaç duyulması, ana bağlantı kablosunda fiziki bir kopukluk

meydana geldiğinde tüm ağın bu durumdan etkilenmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bir genel ay üzerinde çözümün bir parçası olarak kullanılabilen bu yapı, tek olarak bir ağ ihtiyacının giderilmesi için tercih edilmemektedir.



Şekil 2.15: Yol (Bus) Topoloji.

b) Halka Topoloji: Bu topoloji türü temel olarak daire şeklinde düğümlerin birbirine bağlanması ile oluşturulmaktadır ve topolojiler arasında en az tercih edilendir. Halkada veri akışı tek yönlüdür. Halka topolojide merkezde çok istasyonlu erişim birimi (MAU) adı verilen cihaz ve ağa bağlanmış cihazlar bulunur. Ağ bağlantılarında çift burulmuş kablo (UTP kablo) yada optik kablolar kullanılır. Bu topolojide ağa dahil haberleşme aygıtları kendilerine ulaşan verileri iletmek üzere görevlendirilmişlerdir. Ağda sonlandırma elemanına ihtiyaç duyulmaz. Uygulamada yaygın şekilde rastlanılan tipi IBM firması tarafından geliştirilen “token ring” yapısıdır. Bu yapının mimarisi gereği, ağdaki herhangi bir terminalden yayınlanan veri halka içerisindeki tüm aygıtları dolaşır ve hedeflenen adrese ulaşıldığında veri transferi tamamlanır. Bu topolojinin en önemli avantajları; yüksek ağ performansı, ağ içerisinde veri çakışmalarının yaşanmaması ve tüm terminallerin veriye erişme haklarının eşit olmasıdır. Kurulum maliyetlerinin yüksek olması, ağda meydana gelecek fiziki kopukluklardan tüm ağın etkilenmesi, ve karmaşık yapısı bu topolojinin dezavantajları olarak sıralanabilir.

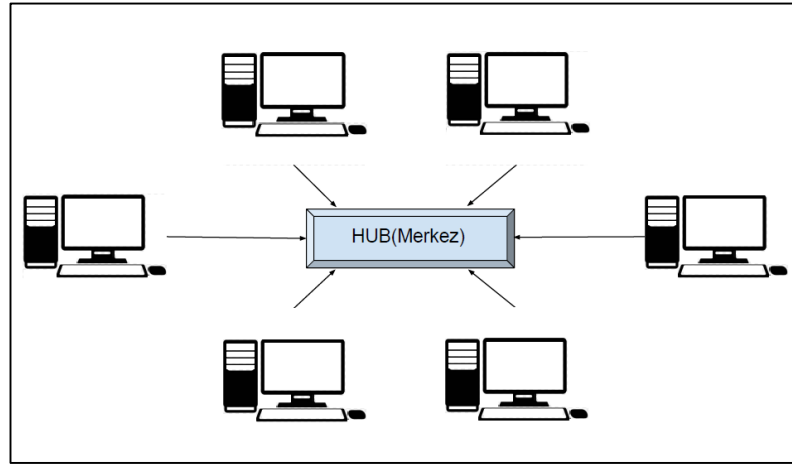


Şekil 2.16: Halka (Ring) Topoloji.

c) Yıldız Topoloji : Ağ çözümlerinde en sık kullanılan ve tercih edilen toplojidir. Merkezde bir anahtar (hub/switch) bulunur ve haberleşme aygıtları bu anahtar üzerinden birbirleriyle haberleşirler. Ağdaki herhangi bir aygıt veri yayınladığında, veri öncelikle anahtara ulaşır ve dağıtımını anahtar tarafından gerçekleştirilir. Anahtarda meydana gelen bir hata veya arıza ağın tamamında sorunlar yaşanmasına sebep olur.

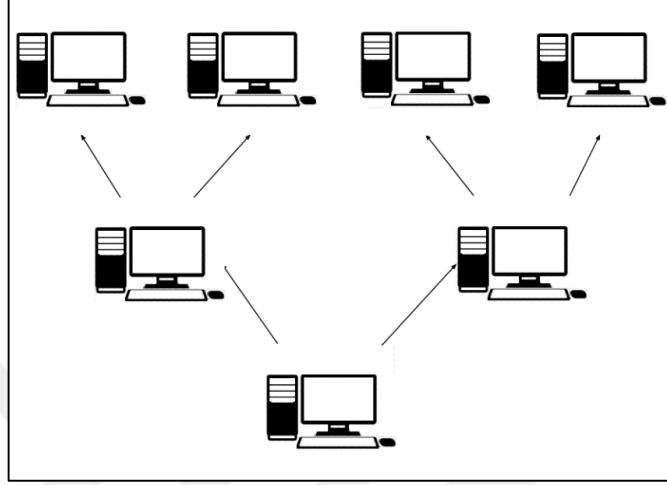
Kablolu yıldız topolojisinin tercih edildiği ağlarda ekseriyetle UTP kablolama gerçekleştirilir. Anahtar ile aygıt arasındaki mesafenin 100 metreyi aşmamasına dikkat edilir. Zira 100 metreyi aşan mesafelerde önemli ölçüde performans düşüşleri yaşanır ve veri kayıpları yaşanabilir.

Kolay kurulum, diğer toplojilere nazaran düşük kurulum maliyeti, kolay işletme, aygıtlara erişim kolaylığı, hata denetim kolaylığı, ağa yeni aygıt eklemenin kolay olması, aygıtlardan herhangi birisinde meydana gelen hatanın ağdaki diğer aygıtları etkilememesi gibi hususlar yıldız topolojinin avantajları olarak sıralanabilir.



Şekil 2.17: Yıldız (Star) Topoloji.

d) Ağaç Topoloji : Karma bir topoloji çeşidi olan ağaç topolojisi; yıldız ve yol topolojilerinin temel özelliklerinin kullanımı sonucunda oluşturulan topoloji çeşididir. Bir ağaç üzerinden tasvir edilmek istenirse; ağaçta bulunan dallar değişik topolojilerdeki ağları temsil ederken, ağacın gövdesi bunların birbirine bağlantısı gösterilebilir. Herhangi bir merkezi bağlantıya veya düğüme ihtiyaç duyulmaz.



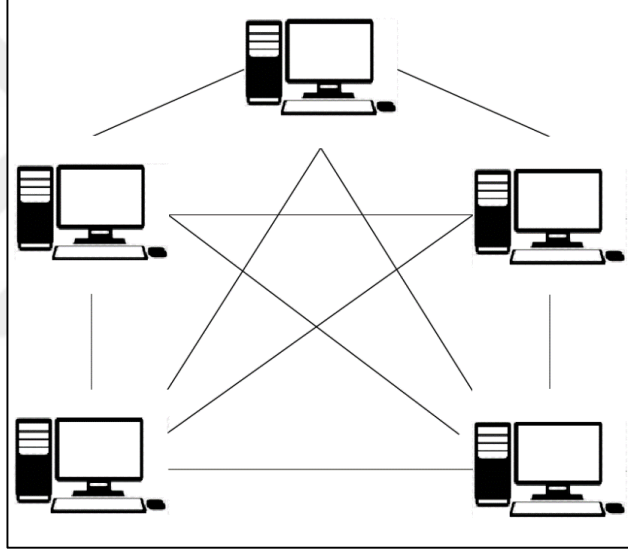
Şekil 2.18: Ağaç (Tree) Topoloji.

e) Örgü/Karmaşık (Mesh) Topoloji: Bu çalışmada kullanılan topoloji çeşidi olan örgü ağ topolojisi; ağdaki her cihazın özel bir noktadan birbirine fiziksel bir bağ ile bağlı olduğu topoloji çeşididir. Sayısal olarak bağlantılar arasındaki ilişkiyi ifade etmek gerekirse; n adet ağ için (n-1) cihaz ile bağlantı sağlanır. n adet cihaz bulunan bir sistemdeki örgü bağlantı sayısı $n*(n-1)/2$ adettir. Bu yapıdaki ağlarda kesintisiz iletişim vardır. Bu özellik baz alındığında tezde karmaşık ağ topolojisinin seçilmesinin verim açısından en doğru karar olacağı kıymetlendirilmiştir. Örgü ağ topolojisinin kullanıldığı yerler iletişimin kesilmesinin kesinlikle istenmediği yerlerdir. Sıklıkla WAN (Wide Area Network – Geniş Alan Ağı) üzerinde kullanılır. LAN (Local Area Network – Yerel Alan Ağı) üzerinde kullanıldığında ise tüm düğümlerin birbirine bağlı olması gerekli değildir (Groth & Skandier, 2005). Bu yapıyı kullanırken kullanım alanına ve projeye göre seçim yapmak gerekir. Çünkü uygulamaya bağlı olarak önemli avantajlar ve dezavantajlar oluşabilmektedir (Wählisch, 2010).

Örgü ağ topolojisinde; her istasyon uçtan uca bağlantı ile diğer istasyonlara bağlanır ve çoklu bir yapı oluşturulur. Bu sayede bağlantı kopma riski ortadan kalkar ve istenen verinin hedefe ulaştırılması için örgü ağındaki herhangi diğer bir istasyon kullanılabilir.

Örgü ağ topolojisinde trafik sorunu bulunmadığından güvenilir ve sağlam bir topolojidir. Ayrıca noktadan noktaya bağlantı olduğu için ağa izinsiz erişilmesi mümkün olmamaktadır. Noktadan noktaya bağlantı vardır ve bu nedenle yetkisiz erişim mümkün değildir. Sistem sürekli kontrol altındadır ve geri dönüşler alınmaktadır. Bu nedenle arıza tespiti kolaydır.

Eğer ağdaki düğüm sayısı az ve ağın bulunduğu ortam da küçük olursa bağlantı sayısı olması gerekenden fazla olacaktır ve bu durum ağ hızının yavaşlamasına sebep olacaktır. Ağdaki her istasyon birbiri ile bağlanması gerektiğinden, gereken giriş ve çıkış noktaları sayısında büyük artışlar meydana gelebilmektedir. Bir başka dezavantaj ise ölçeklenebilirlik sorunudur. Çünkü bir cihaz özel bir noktadan noktaya bağlantıya sahiptir çok sayıda cihaza bağlanamaz.



Şekil 2.19: Örgü / Karmaşık(Mesh) Topoloji.

Kablosuz örgü ağ, erişim noktaları olan çeşitli kablosuz düğümleri içerir. Ağdaki her bir düğüm, verileri aktarmak için bir yönlendirme düğümü görevi görür. Düğüm, ağın merkezi olmak zorunda değildir. Böyle bir durumda verilerin yalnızca komşu düğüme iletilmesi mümkündür. Bu, ağ yapısının basit ve kolay olmasını sağlar. Kablosuz örgü ağı uzak mesafelerdeki bağlantılarda da kullanılabilir. Belirli bir frekans aralığında düşük maliyetle daha az hareketlilik sağlayan bir mimaridir. Yapı oluşturulurken en kısa atlamaların veri iletimini büyük mesafelere taşımada etkisinin büyük olduğu tahmin edilmektedir. Kaynak ve hedef arasındaki düğümler, topolojiye dayalı olarak rota tahmininde kararlar almak ve verileri iletmek için işbirliği içinde çalışan bir yönlendirme noktası görevi görür. Kablosuz örgü ağı, ağdaki düğüm ekleme veya silme işleminden ziyade ağ topolojilerinin geri kalanına kıyasla daha

fazla kararlılık sağlamasıyla fark yaratır. Örgü ağının alt yapısında, veri iletme ve alma işlemi ağ geçidi yoluyla yapılırken, ağın geri kalanında bu işlem düğüm çiftleri aracılığı ile yapılır. Bu iletişimde düşük performans ile sonuçlanan yüksek bir hareketlilik olduğunda, ağlardaki bağlantı kopma sıklığı daha yüksektir.

Kablosuz örgü ağlardaki ağ düğümleri işlevselliklerine göre üç ana gruba ayrılırlar:

- Altyapı Ağ Mimarisi (Infrastructure Mesh Architecture)
- İstemcilere Dayanan Ağ Mimarisi (Mesh Architecture Based on Clients)
- Hibrit Ağ Mimarisi (Hybrid Mesh Architecture) (Parvin, 2018)

2.5. Problemin Tanımı ve Literatür Araştırması

Bilimsel araştırmanın ilk basamağı olan problem tanımlama kısmı; üzerine çalışılacak konu ilgili detaylı alan araştırması yapıp, tecrübe ve gözlemlerden faydalanıldıktan sonra varsayım ve hipotezler ortaya konularak geçmiş çalışmalardaki sınırlılıklar veya eksikleri gidermek amacı ile yapılır. Bu bağlamda problem tanımlarken gerekli ilkeler ve metodolojiler doğrultusunda ilk olarak çalışma yapılacak alan net bir şekilde belirlenmiştir. Problem kaynağı olabilecek durumlar şunlardır;

- Kişisel deneyimler,
- Kuramdan dedüksiyon (tümdengelim) yapma,
- Literatür taraması,
- Güncel teknolojik veya sosyal sorunlar,
- Pratik durumlar (Balcı, 2020)

Bu bağlamda tez konusu belirlenirken, haberleşme ağları ve tahrip sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Kavramdan özele doğru inilirken şu sorulara cevaplar aranmıştır:

- Tahrip sistemi elemanları nelerdir ve tahrip işlemi ne şekillerde yapılmaktadır?
- Tahrip sistemlerinde mevcut olan aksaklıklar, sınırlamalar ve ihtiyaçlar nelerdir, ne gibi modernizasyon ve iyileştirme işlemleri yapılabilir?
- Tahrip sisteminde kullanılan haberleşme yöntemleri nelerdir?
- Tahrip işleminde alıcı sayısı ve kullanma alanı mesafesi haberleşme kalitesini nasıl etkiler?

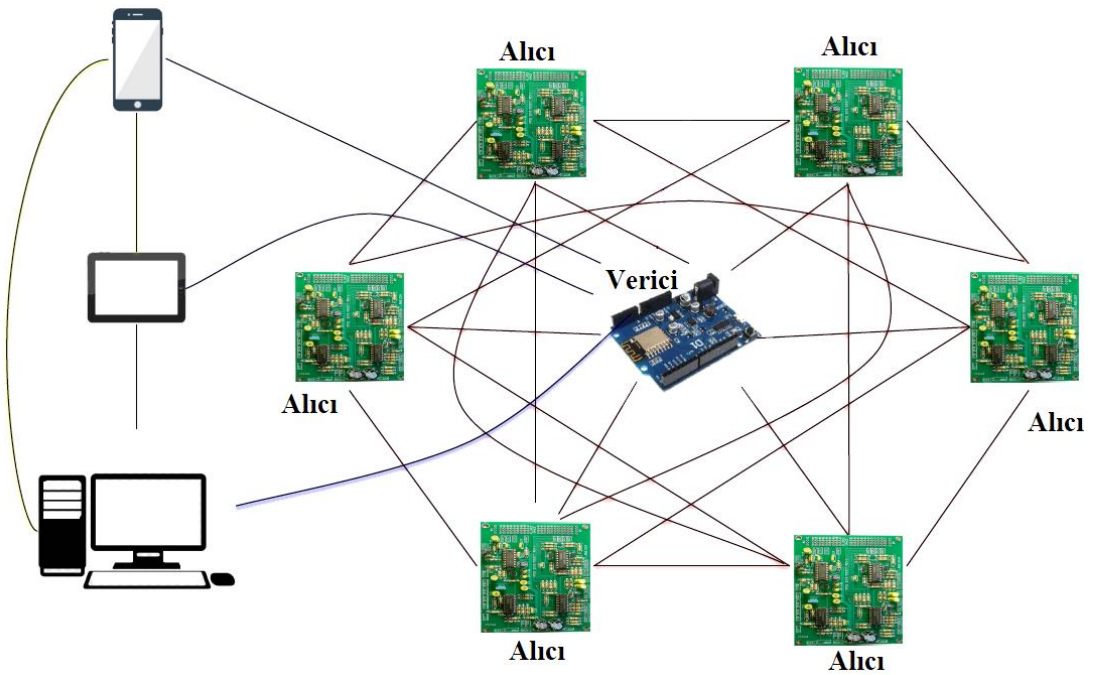
- Üretim yapılırken en modern teknolojiler (3-D Printer & IOT-Nesnelerin İnterneti) ile nasıl bir entegrasyon yapılabilir?

2.5.1. Problemin Tanımı

Ülkemizde ve dünyada elektrikli kapsüllerin kullanımı sırasında meydana gelen ölümlü kaza sayısı azımsanmayacak düzeydedir ve bunların çoğu devrenin tahrip olması üzerine kontrol sırasında oluşan kazalardır. Bu nedenle diğer patlayıcılarda olduğu gibi elektrikli kapsülleri iyi tanımak, potansiyel risklerini bilerek bilinçli hareket etmek bu ürünlerin kullanımından kaynaklı kazaları en aza indirmeye katkı sağlayacaktır (Bağcaz, A. Timur; Kılıç, 2012).

Tahrip sistemlerinin kullanım alanları göz önüne alındığında ticari, askeri, yıkım çalışmaları, madencilik, eğlence gösterileri gibi insanlar ile çoğunlukla direk temas halinde olunan yerlerdir. Bu durumda tasarlanacak sistemde her türlü koşulda çalışabilen güvenlik zafiyeti bulunmayan, ayrıca zaman, enerji, can ve mal kayıpların önüne geçecek şekilde bir tasarımın yapılması hedeflenmiştir.

Tez kapsamında patlayıcı ateşleme devresi geleneksel yöntemler ile tasarlanmıştır. Bu tasarım yapılırken sistemin kullanılacağı yerin özellikleri göz önüne alınarak doğru kapsül, kimyasal ve donanım seçimi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan alıcı ve verici üniteler arası örgü ağı Şekil 2.20’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.20: Alıcı ve Verici Üniteler Arası Örgü Ağı.

Tez çalışmasında ana hedef, tasarlanan tahrip devresini kablosuz bir haberleşme ağı ile kontrol edip, vericiden gönderilen komutların sistem bileşenleri arasında sorunsuz ve kesintisiz bir şekilde dolaşımını sağlamak, bununla beraber alıcı üniteler arasında kurulan örgü ağ sayesinde tahrip mesafesini artırmaktır. Çalışmadaki bir diğer hedef ise en az 1500 metre mesafedeki tekil elektrikli kapsülün tahrip edilebileceği, düşük test akımına sahip bir sistem geliştirmek olmuştur.

2.5.2. Literatür Taraması

Tahribat sistemleri, ateşleyiciler ve elektrikli kapsüller ile ilgili önceki çalışmalar üzerine yapılan taramalar sonucunda; patlatma ekipmanları ve yöntemlerine bağlı olarak oluşan hedef noktada ve çevresinde oluşan istenmeyen kırılma ve çatlaklar, patlayıcı ve ateşleyicilerin kullanıldığı uygulama alanları, SCB (yarı iletken köprü) kapsülü, gecikmeli SCB kapsüllerin madenlerde kullanımı, programlanabilir elektrikli gecikmeli kapsül, elektronik zamanlı kapsül tasarımı ile ilgili konular üzerinde durulduğu görülmüştür. Bunun yanında elektronik tahrip sistemlerinin yaygınlaşmasıyla beraber, kablosuz patlatma üzerine yapılan çalışmalar da mevcuttur. Literatürde kablolu ve kablosuz tahrip sistemi çalışmalarının bulunduğu, kablosuz tahrip sistemlerinde yıldız topolojisinin tercih edildiği, ancak örgü ağ topolojisinin kullanıldığı bir tahrip sistemi çalışması yapılmadığı görülmüştür.

James Say 2017 yılında tamamladığı tezinde yer altı madenlerinde kablosuz patlama ve yıkım uygulamaları üzerine incelemeler yapmıştır (James, 2017). Avustralya'nın Queensland eyaletindeki bir maden ocağında kablolu ve kablosuz patlatma testleri yapılmış ve sonuçlar incelendiğinde bazı önemli sonuçlar elde edilmiştir. Testlerde kablosuz tahrip işleminin kabloluya göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. (James, 2017)

Virendra Kumar ve arkadaşları, 2012 yılında geliştirdikleri SCB tabanlı elektrikli gecikmeli kapsül üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada elektronik gecikmeli kapsül (EDD) ile piroteknik (geleneksel) gecikmeli kapsülün karşılaştırmasını yapmışlardır (Kumar & Nema, 2012). Bu çalışmada pyro gecikmeli ürünlerin üretiminin zor olduğu ve gecikme doğruluğunun çok zayıf olduğu, ayrıca zorlu çevre koşullarına maruz kaldıklarında karakteristiklerinin bozulabildiği belirtilmiştir. Bu durumun çok sayıda kazaya neden olduğu ve gelecekte de olabileceği tespit edilmiştir. Özellikle askeri alandaki birçok uygulamada programlanabilir elektronik zamanlayıcılar

kullanılmaktadır. Virendra Kumar ve ekibi bu çalışmalarında askeri alanda kullanıma uygun mikrodenetleyici gecikmeli bir ateşleme devresi geliştirmişlerdir.

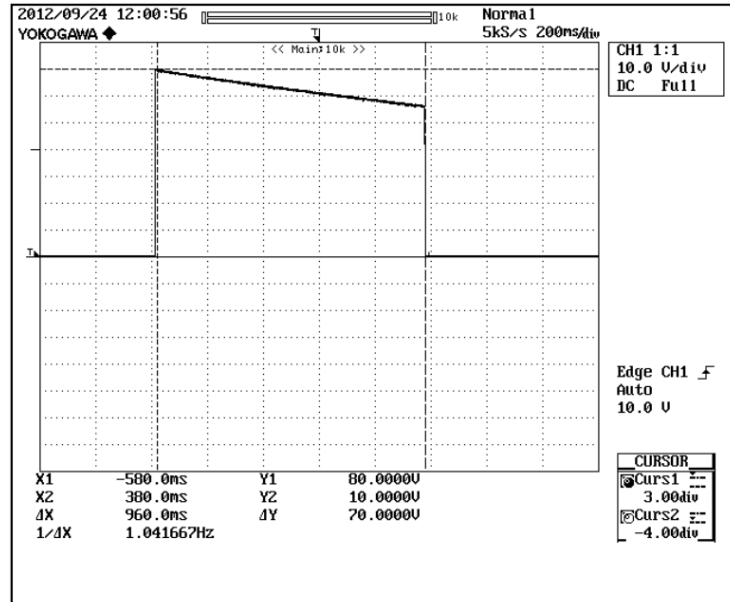
Gecikme devresi kapsamlı laboratuvar testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3: Elektronik Gecikme Devresinin Performans Sonuçları.

Besleme Gerilimi (V)	Demeraj Akımı (mA)	Darbe Gerilimi (V)	Darbe Genişliği (ms)	Darbe Sıklığı (sn)	Hata (%)
1.5	19	Darbe Yok	---	---	Darbe çıkışının yaklaşık %4'ü olan 0.1 saniyelik değişim gözlenmiştir.
2.0	27-28	45-48	950	24.0	
2.5	32-33	69	960	24.1	
3.0	36-37	70	960	24.0	
3.5	39-40	71	960	24.0	
4.0	42-43	71	980	24.0	
5.0	50-52	71	980	24.1	
6.0	58-59	71	980	24.1	
7.0	65-66	71	980	24.0	

(Kumar & Nema, 2012)'den uyarlanmıştır.

Ateşleme devresinin Şekil 2.21'de verilen çıkış dalga biçimi darbe süresinin kararlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.21: Ateşleme Devresinin Çıkış Dalga Biçimi.

(Kumar & Nema, 2012)

2014 yılında Kara ve arkadaşları tarafından yayınlanan bildiride en yeni nesil elektronik sistemlerin güvenliği, sürdürülebilirliği ve gelişen teknolojilere yapacağı katkı üzerinde durulmuştur (Kara et al., 2014). Bu bildiride dijital tahrip sistemlerinin

sivil ve askeri alanlarda kullanımının yeni bir adım olduğu belirtilmiştir. Bildiride RFID (Radyo Frekansı ile tanımlama), GPS (Küresel Konumlama Sistemi), çoklu patlatma (multiblasting), senkron patlatma (synchroblasting) ve kablosuz ağlardan bahsedilmiştir. Geçtiğimiz yıllarda yüksek maliyetlere sahip olmasına karşın, günümüzde yaygınlaşan dijital teknolojiler sayesinde bu teknolojileri tahrip endüstrisinde kullanmak makul maliyetlere ulaşmıştır.

Elektrikli kapsüller ile ilgili olarak yapılan bir diğerk çalışma 2013 yılında Ankit Pundhir ve arkadaşlarına aittir. Gerçekleştirilen çalışmada elektronik gecikmeli kapsül üzerine çalışılmıştır (Ankit, Pundhir; Sagar, Khajure; Rajesh, Tiwary; Mukesh, 2013). Patlayıcıları tahrip etmek için elektrikli ve vurmali olmak üzere iki tür kapsül olduğu, vurmali kapsülün patlatıcıyı harekete geçirmek için mekanik güç ile tepki verdiği belirtilmiştir. Elektrikli kapsül ise bir patlatıcıyı etkinleştirmek için önceden tanımlanan elektrik sinyaline yanıt vermektedir. Çalışmada, oluşabilecek olumsuz durumlardan bahsedilmiştir. Bunlar; elektrostatik boşalma veya radyo frekansı gürültüsü nedeniyle kazara başlatma, devrenin yanlış ateşlenmesi, devrenin gecikmesi veya algoritmasının bozulması gibi tehlikelerdir. Bu nedenle felaketleri önlemek için düşük enerjili, güvenilir ve tamamen güvenli bir başlatıcı sisteme ihtiyaç vardır. Ateşleme devresi güvenli başlatma içindir ve geciktirme devresi, kapsülü doğru ve güvenilir bir şekilde tetiklemek içindir. Çalışma kapsamında patlayıcıyı başlatma, ateşleme devresi ve gecikme mantık devresi için entegre çip tasarlanmıştır.

Programlanabilir gecikmeli kapsül tahrip sistemleri ile ilgili başka bir çalışmada Paliwal ve arkadaşları SCB tabanlı programlanabilir gecikmeli kapsülün tasarımı ve test sonuçlarını yayınlamışlardır (Paliwal et al., 2013). 3 Volt Li-ion pil ile çalışan ve boyut olarak küçültülen devre farklı uygulamalarda farklı gecikmeler sağlayabilecek yapıda ve programlanabilir olarak tasarlanmıştır. Ateşleme iki aşamada gerçekleşmiştir. Kondansatörün deşarj ünitesini şarj etmek için 3 Volt besleme gerilimi 32 Volta yükseltilmiştir. İstenilen seviyede şarj sağlandıktan sonra anahtarı açmak için bir tetikleme darbesi verilmektedir ve SCB ateşlenmektedir. Eğer SCB birincil tetikleme darbesinde çalışmaz ise, ateşleme ünitesi tekrar daha yüksek bir seviyeye şarj edilerek önceden ayarlanmış gecikmeden sonra ikincil bir tetikleme darbesi verir. Sistem programlanabilir ve bir arayüz ile kontrol edilebilir şekilde tasarlandığı için tüm gecikmeler, gerilim akım parametreleri, şarj seviyeleri devamlı olarak kontrol ve takip altındadır.

Tasarlanan sisteme ait bazı elektriksel özellikler Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Tasarlanan Kapsül Devresinin Türetilmiş Özellikleri.

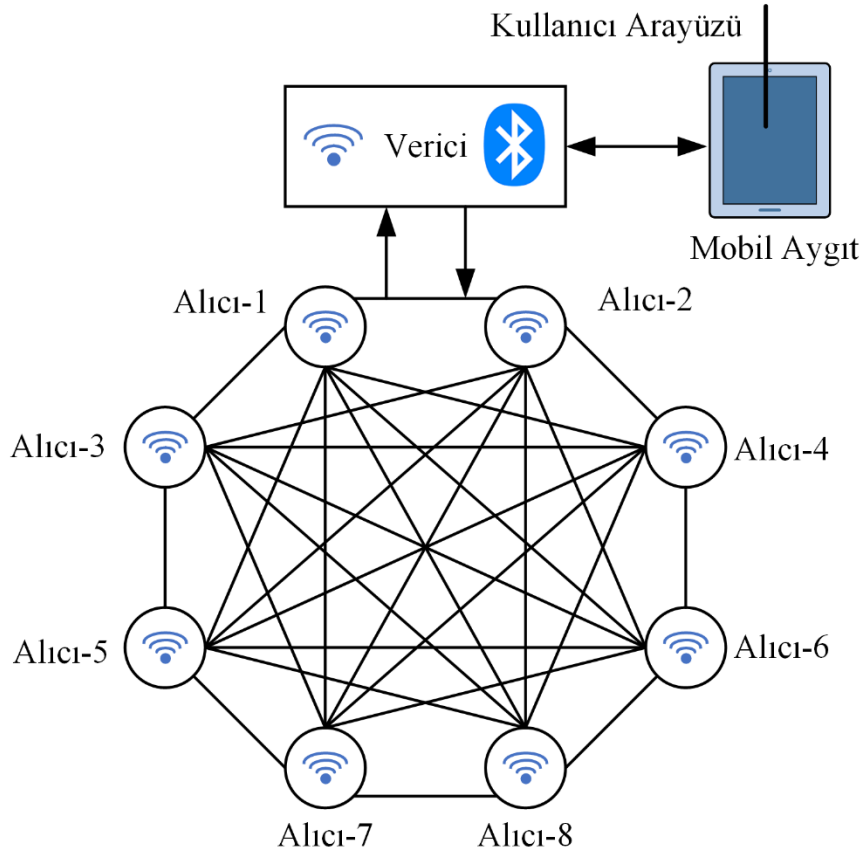
Birincil Ateşleme Voltajı	28V-32V
İkincil Ateşleme Voltajı	>32V
Birincil Tetikleme	4 sn
İkincil Tetikleme	6 sn
Tetikleme Penceresi	40 ms
Gecikme Doğruluğu	±10 ms
SCB (Yarı İletken Köprü) Akım Darbesi	>3A
SCB Akım Darbe Süresi	1.25 ms
SCB ESD (Elektrostatik Deşarj) Koruması	Var
SCB RF Koruması	Var
PCB (Baskı Devre Kartı) Boyutu	5mm X 28mm
Batarya	CR2032
Batarya Akımı	2 saniyeden daha az sürede azami 50mA
Batarya Boşalma Süresi	4 saat

(Paliwal et al., 2013)'den uyarlanmıştır.

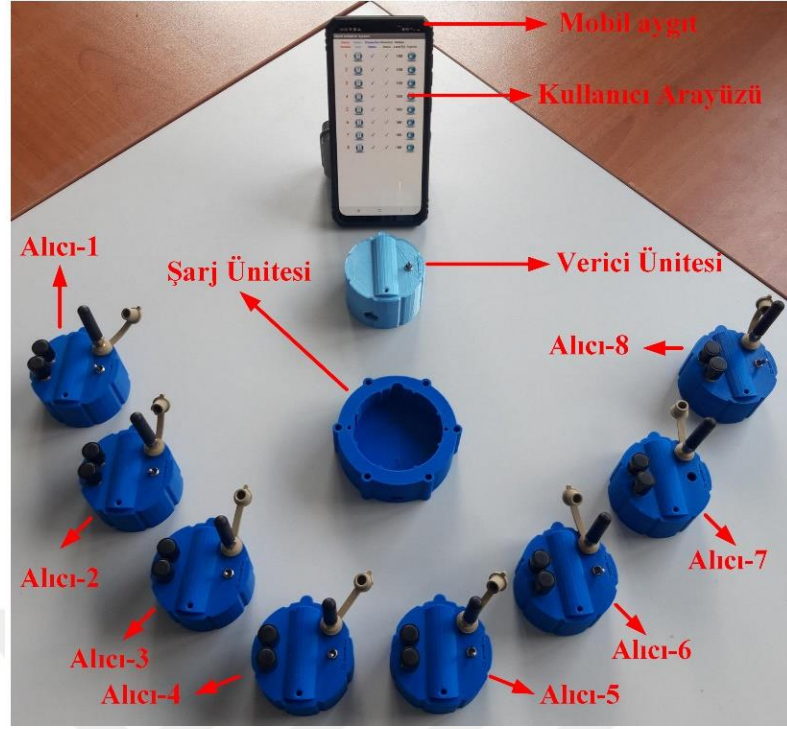
Bağımsız patlayıcı danışmanı Charles Pretorius tarafından yayımlanan başka bir makalede elektronik geciktirmeli kapsüllerin taş ocağı ve madencilik operasyonlarına değer katmak için nasıl kullanılacağını göstermek hedeflenmiştir (Pretorius, 2009). Elektronik geciktirmeli kapsül sistemlerinin 1989'dan günümüze kadar gelişim gösterdiği, ancak 2009 yılından itibaren ticari ve askeri uygulamalarda kullanımının arttığının altı çizilmiştir. Son yıllarda bu mevcut sistemler kabul edilebilir bir güvenlik seviyesine ulaşmıştır. Bunun yanında elektronik geciktirmeli kapsül kullanmanın faydaları artık piyasa tarafından çok daha iyi anlaşılmıştır. Elektronik geciktirmeli kapsül kullanımı operasyonel anlamda da çeşitli kazanımlar sunmaktadır. Bunlardan bazıları; doğru patlatma tasarımı ve patlama planlaması ile genel kârlılığın artırılması, uygulanabilirliğin artırılması ve operasyonun ekonomik ömrünün uzaması şeklinde ifade edilmiştir.

3. SİSTEM TASARIMI

Patlayıcıların ve ateşleyicilerin temel parametreleri ile kablosuz haberleşme prensiplerinin değerlendirilmesi neticesinde geliştirilen, örgü ağ topolojisinin kullanıldığı mikrodenetleyici tabanlı tahrip sistemine ait blok şema ve görüntüler sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Geliştirilen sistem elektronik donanım olarak 1 verici, 8 alıcı ve 1 şarj ünitesinden oluşmaktadır. Ayrıca sistemin mobil aygıtlar tarafından kontrol edilmesini sağlayan katmanda bir kullanıcı arayüzü yer almaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, sistemi oluşturan tüm elektronik donanım ile yazılım bileşenlerine ait ayrıntılara ve tasarım ilkelerine yer verilmiştir.



Şekil 3.1: Geliştirilen Sisteme Ait Blok Şema.

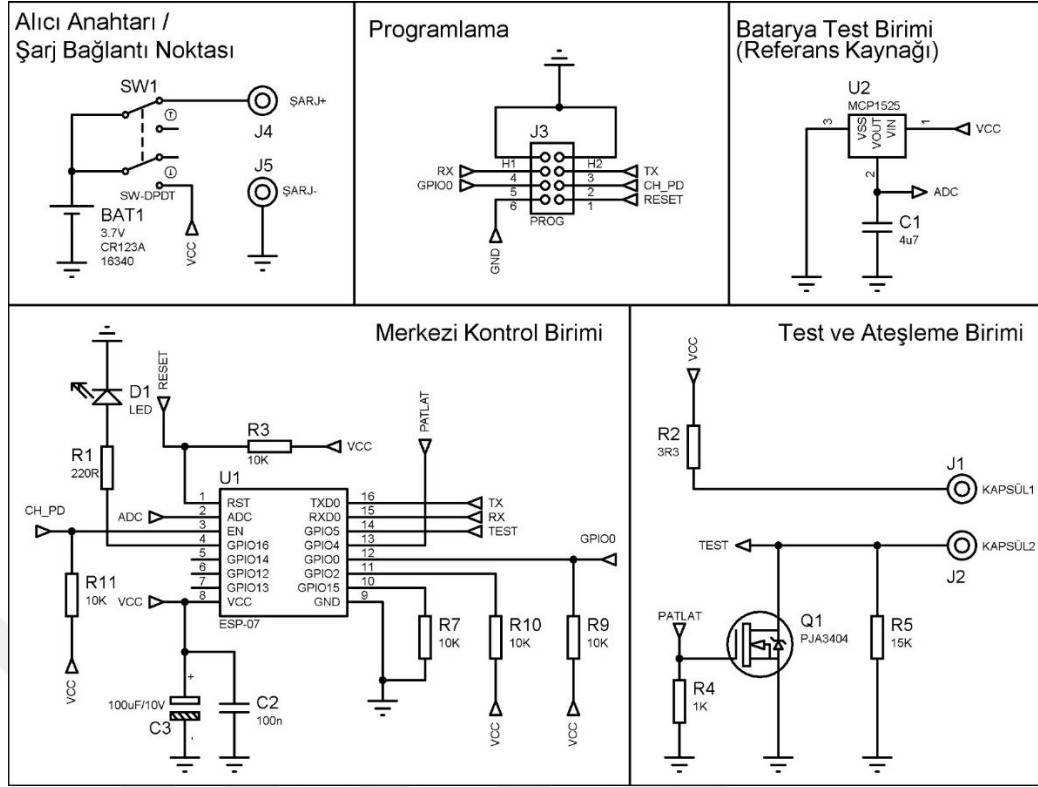


Şekil 3.2: Geliştirilen Sistemin Tamamına Ait Görüntüler.

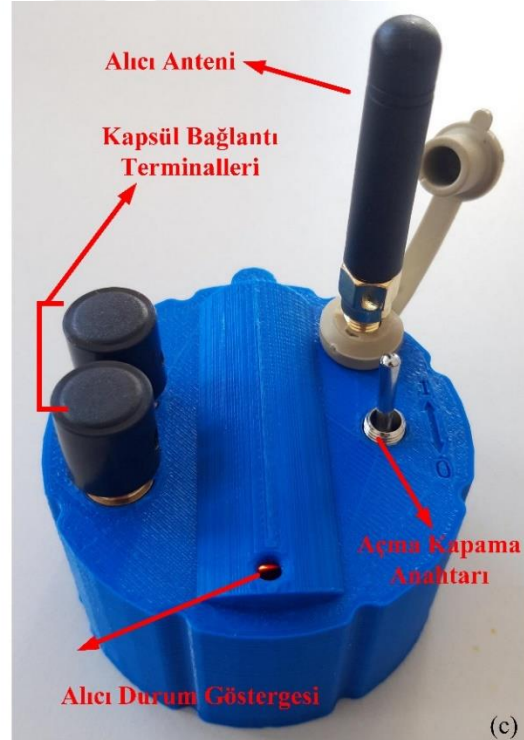
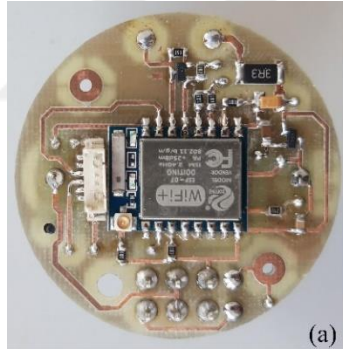
3.1. Alıcı Ünite

Geliştirilen sistemde, verici ünitelerden gelen komutlar doğrultusunda test, tahrip, batarya durum değerlendirme işlevlerini yerine getiren ve gerçekleştirilen işlemlerin sonucunu vericiye geri bildiren alıcı ünite yer almaktadır. Alıcı ünitenin temel görevi ateşleyiciyi güvenli şekilde tahrip etmek için ihtiyaç duyulan enerjiyi üretmek ve verici ünitelerden komut geldiğinde tahrip işlevini yerine getirmektir. Bahsedilen bu işlemleri gerçekleştirmek üzere ESP8266 mikrodenetleyici tabanlı bir elektronik donanım geliştirilmiştir. Geliştirilen donanıma ait devre şeması Şekil 3.3'te, 1 alıcıya ait görüntüler ise Şekil 3.4'te verilmiştir.

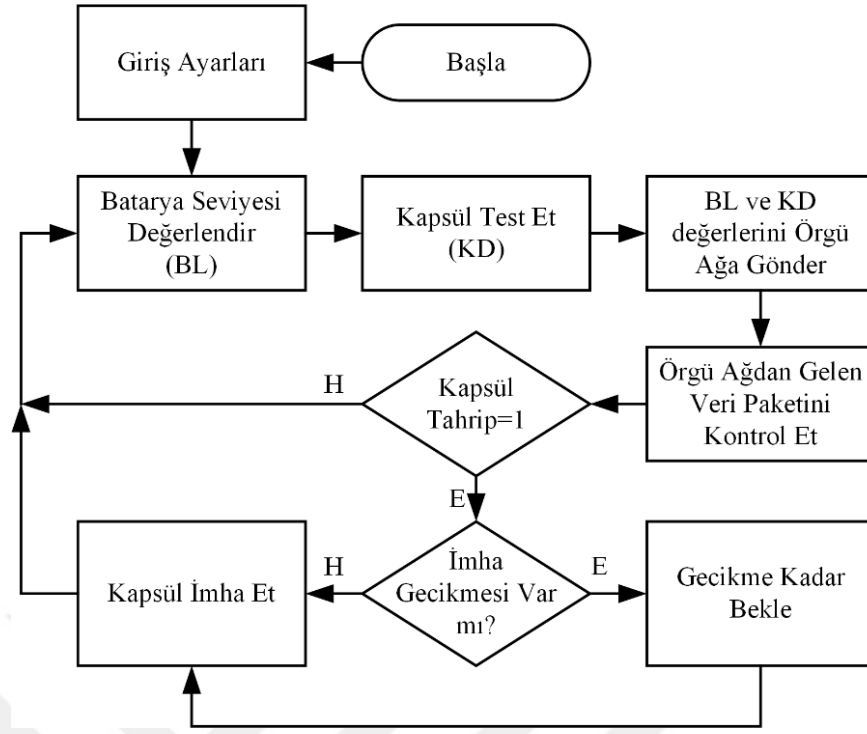
Alıcı ünitenin merkezi kontrol birimi ESP8266 tabanlıdır. Şekil 3.3'te ESP-07 olarak belirtilen devre elemanı, harici anten bağlantısına imkân veren ESP8266 mikrodenetleyicisini tanımlamaktadır. Tez çalışması kapsamında merkezi kontrol biriminde yürütülmek üzere Arduino IDE (Integrated Development Environment-Entegre Geliştirme Ortamı) üzerinde gömülü bir yazılım geliştirilmiştir. Alıcı ünite gömülü yazılımına ait kaynak kodlar Ek 1'de, akış şeması ise Şekil 3.5'te verilmiştir. Alıcı ünite kod geliştirme safhasında, örgü ağ bağlantısını gerçekleştirmek üzere açık kaynak "painlessMesh.h" kütüphanesi kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Alıcı Üniteye Ait Devre Şeması.

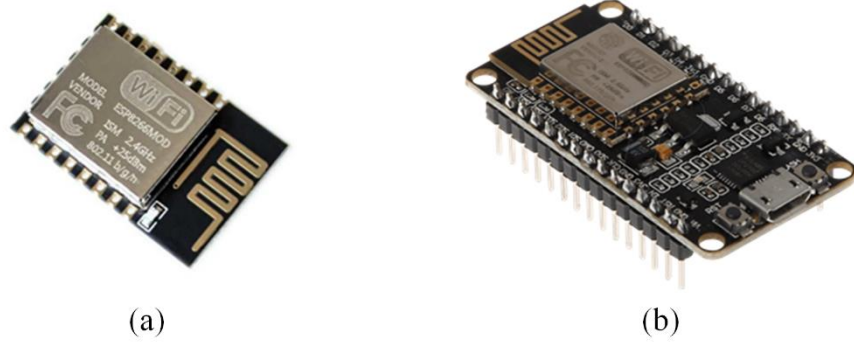


Şekil 3.4: Alıcı Üniteye Ait Görüntüler (a) Devre Kartı Altın Görünüm (b) Devre Kartı Üstten Görünüm (c) Prototip Alıcı Ünite Görünümü.



Şekil 3.5: Alıcı Ünite Merkezi Kontrol Birimi İçin Geliştirilen Gömülü Yazılıma Ait Akış Şeması.

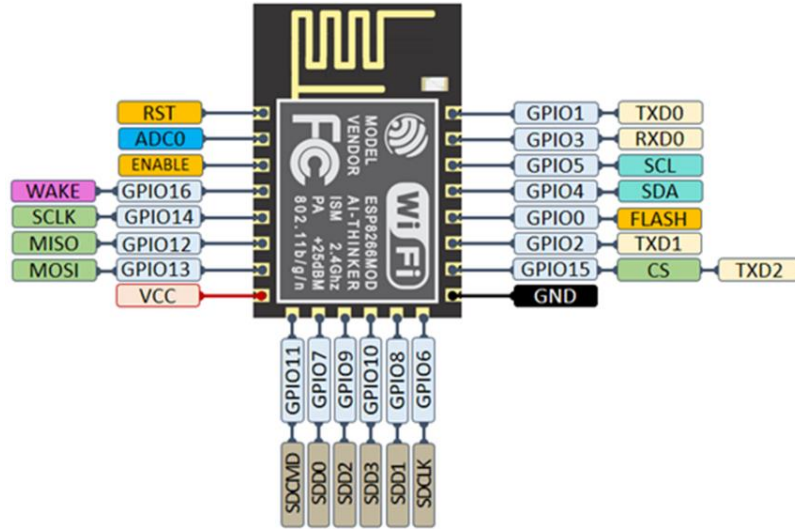
ESP8266 özellikle nesnelerin interneti (Internet Of Things - IOT) uygulamalarında yaygın olarak kullanılan, Espressif System firması tarafından temeli atılan ve AI-Thinker firması tarafından 2014 yılında modül haline getirilen bir mikrodenetleyici tabanlı haberleşme modülüdür. ESP8266 herhangi bir mikrodenetleyici ile uyumlu bir şekilde çalışabilme ve internet üzerinden veri haberleşmesi yapabilme kabiliyetlerinin yanı sıra küçük boyut ve düşük maliyeti nedeniyle IOT uygulamalarında son yıllarda oldukça fazla tercih edilmektedir. Modül, WiFi üzerinden bağlantı noktasına erişim sağlamak için istemci, bağlantı noktası oluşturmak için erişim noktası veya hem istemci hem de erişim noktası olarak kullanılabilir. ESP8266'nin anten bağlantı türlerine göre ESP-01'den ESP-14'e kadar farklı tipleri bulunmaktadır. Bu çalışmada IPEX anten bağlantı tercihi bulunan ESP-07 tercih edilmiştir. Bazı ESP8266 modülüne ve uygulama geliştirme kartına ait görüntüler Şekil 3.6 (a) ve (b)'de verilmiştir. ESP8266 modülünün kullanım alanlarına örnek olarak akıllı ev uygulamaları, endüstriyel kablosuz kontrol sistemleri, kablosuz kamera, sensör ağları, giyilebilir elektronik sistemler verilebilir.



Şekil 3.6: ESP8266 Görünümleri (a) ESP8266 Modülü (b) ESP8266 Uygulama Geliştirme Kartı.

ESP8266, AT komut seti ile programlanmış şekilde kullanıcıya sunulur ve bu sayede birlikte kullanıldığı kartın tüm haberleşme yeteneklerini kullanabilir. İstendiği takdirde modülün bellek ve işlemcisi üzerinde kod geliştirilebilir. Sahip olduğu genel maksatlı programlanabilir GPIO (giriş-çıkış) terminalleri aracılığıyla sensörlerle ve diğer elektronik donanımlarla uyumlu çalışabilir. ESP8266 özel yazılımlar için kullanılacak 80Mhz düşük güçlü 32 bit işlemci içermekte olup, ayrıca herhangi bir harici denetleyici kullanmadan küçük boyutlu WEB sayfalarını çalıştırabilme imkânı sunar (Ai Thinker, 2017).

Tez çalışmasında kullanılan ESP8266-07 modülüne ait terminal yapısı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7: ESP8266-07 Terminal Yapısı.

<https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-reference-gpios/>

Alıcı ünitenin batarya test biriminde MCP1525 referans kaynağı yer almaktadır. MCP1525 2,5V’luk sabit ve kararlı gerilim üretebilen bir referans kaynağıdır. Sistemde, alıcı ünite batarya gerilimi bu referans kaynağının girişine, referans kaynağı çıkışı ise ESP8266’nin analog girişine uygulanır. Batarya gerilimi ile referans kaynağı

arasında oluşan gerilim farkı ESP8266’da değerlendirilerek batarya seviyesi belirlenmiş olur.

Test ve ateşleme biriminde bulunan Q1, R2, J1, J2 ve R4 elemanları, tahrip işlemini gerçekleştirmek üzere kullanılmıştır. PJA3404 mosfetinin kapı terminaline, ESP8266’dan uyarım ulaştığında bataryanın sağlamış olduğu gerilim R2, J1, J2 ve Q1 üzerinden akan bir akım oluşturur ve bu akım da J1-J2 terminallerine bağlı olan kapsülün tahrip olmasını sağlar. Kapsülün varlığını ve sağlamlığını kontrol etmek üzere R2, J1, J2 ve R5 devre elemanları kullanılmıştır. J1-J2 arasında kapsül bağlı olmadığı durumlarda “TEST” terminalinde GND (toprak) seviyesinde bir gerilim elde edilir, bu durum ESP8266 tarafından sayısal “DÜŞÜK” olarak algılanır ve kapsülün alıcıya bağlı olmadığı veya bağlı ise de arızalı olduğu sonucu çıkarılır. J1-J2 arasında kapsül bağlı ise R2, J1, J2, R5 doğrultusunda değeri en fazla 280 μ A olan bir akım akar. Bu durumda, “TEST” terminalinde “Vcc” seviyesine yakın bir gerilim elde edilir, bu durum ESP8266 tarafından sayısal “YÜKSEK” olarak algılanır ve sağlam bir kapsülün alıcıya bağlı olduğu sonucu çıkarılır. Kapsülden akan bu test akımı kapsülün emniyet sınırlarının altındadır ve kapsülü ateşlemez.

3.2. Verici Ünite

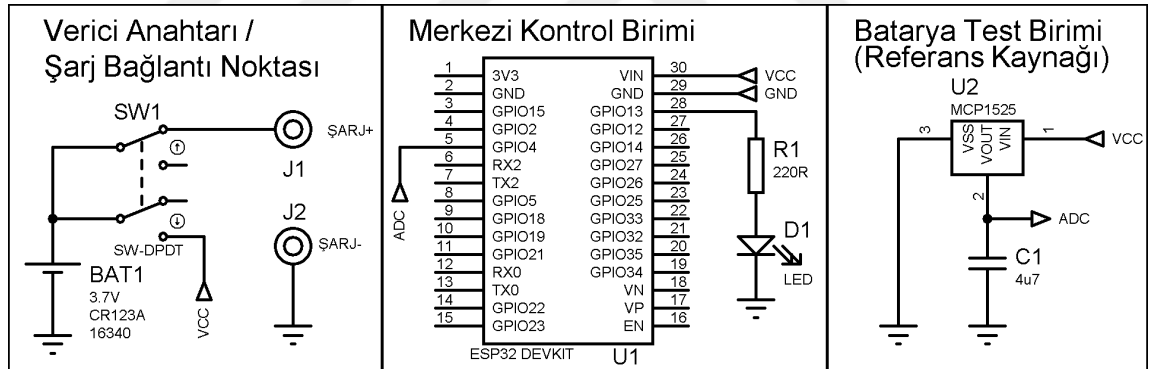
Mobil aygıt katmanı ile alıcı üniteler arasındaki iletişimi sağlayan birim verici ünitesidir. Alıcı üniteler arasında kurulan örgü ağın bir üyesi olarak ağa dahil olan verici ünitesi, aynı zamanda bluetooth üzerinden mobil aygıt ile de iletişim içerisindedir. Bu yapı sayesinde alıcılardan toplanan veriler anında mobil aygıtta aktarılabilir veya mobil aygıttan alıcılara dağıtılacak verilerin anlık dağıtımı gerçekleştirilebilir. Geliştirilen verici ünitesine ait devre şeması ve görüntüler sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmiştir.

Verici ünitesinde merkezi kontrol birimi olarak ESP32 mikrodenetleyicisi tercih edilmiştir. ESP32; Espressif firmasının ürettiği, çeşitli IOT uygulamaları için entegre WiFi ve bluetooth bağlantısına sahip, ESP8266’ya göre daha zengin özelliklere sahip yerleşik çip yapısına sahip bir mikrodenetleyicidir. Uyku modunda düşük güç tüketimine sahip olmasından dolayı düşük güç tüketimli uygulamalar için kullanıma elverişlidir. Çift çekirdekli yapısı sayesinde, çoklu işlemleri aynı anda yapabilme kabiliyetine sahiptir. ESP32’nin kullanıldığı bir geliştirme kartına ait görüntü ve port yapısına ait blok şema Şekil 3.10’da verilmiştir. ESP32, 80 ile 240 Mhz arasında

ayarlanabilir saat hızına sahiptir. Ayrıca dâhili hafıza boyutu bazı 16 Mb'a kadar çıkabilmektedir. ESP32 üzerinde, ESP8266'ya göre daha genel maksatlı giriş-çıkış portu bulunmaktadır. Fakat bu portların tamamını GPIO olarak kullanmak mümkün değildir. Çoğu mikrodenetleyici kartlarında bulunan ADC (Analogtan Sayısala Dönüştürücü-Analog to Digital Converter), SPI (Seri Çevresel Kontrol Arabirimi-Serial Peripheral Interface), I2C (Inter Integrated Circuit Bus) ve DAC (Sayısalan Analoga Dönüştürücü-Digital to Analog Converter) gibi donanımlar ESP32 üzerinde de mevcuttur (Espressif, 2021).

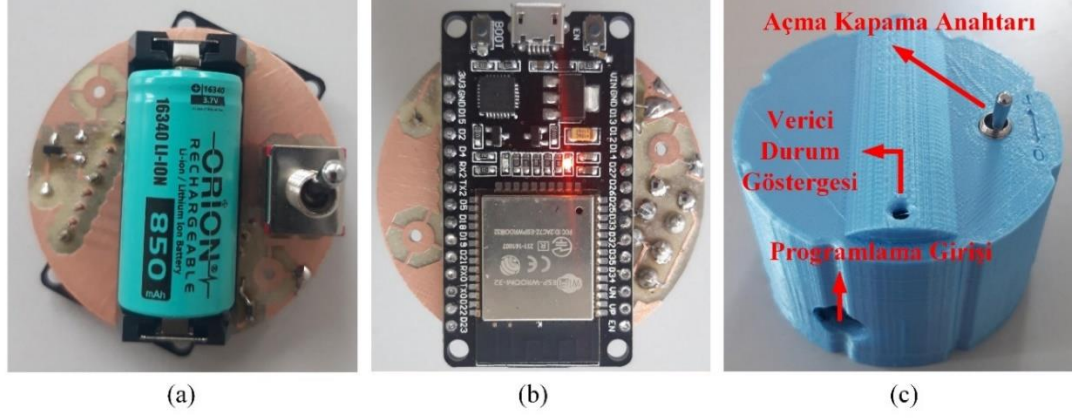
ESP32 üzerindeki tüm giriş-çıkış portları PWM (Pulse Width Modulation) olarak kullanılabilir. PWM kullanmak için frekans, kanal ve kanalın kullanılacağı manuel port gibi ayarların yapılması gerekmektedir ve ADC ise 12 bit'e kadar kullanılabilir. PWM'de olduğu gibi I2C haberleşmesi için de tüm portlar kullanılabilir. Bunlara ek olarak ESP32 üzerinde 4 adet SPI ve 1 adet 2 kanallı DAC portu vardır.

Çalışmamızda verici üniteye ESP32 tercih edilmesinin en önemli nedeni, üzerinde yerleşik WIFI ve Bluetooth özelliklerinin bir arada bulunmasıdır.

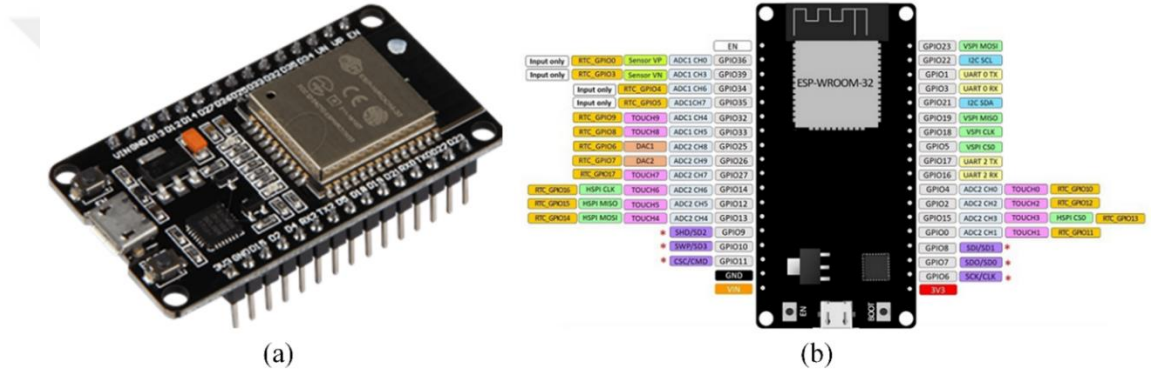


Şekil 3.8: Verici Üniteye Ait Devre Şeması.

Verici üniteye ait merkezi kontrol biriminde yürütülmek üzere Arduino IDE üzerinde gömülü bir yazılım geliştirilmiştir. Verici ünite gömülü yazılımına ait kaynak kodlar Ek 2'de verilmiştir. Verici üniteye kod geliştirme safhasında, örgü ağ bağlantısını gerçekleştirmek üzere açık kaynak "painlessMesh.h" kütüphanesi kullanılmıştır



Şekil 3.9: Verici Üniteye Ait Görüntüler Alıcı Üniteye Ait Görüntüler (a) Devre Kartı Alttan Görünüm (b) Devre Kartı Üstten Görünüm (c) Prototip Alıcı Ünite Görünümü.



Şekil 3.10: ESP32 Görünümleri (a) ESP32 Geliştirme Kartı (b) Port Yapısı.

3.3. Mobil Aygıt Katmanı ve Kullanıcı Arayüzü

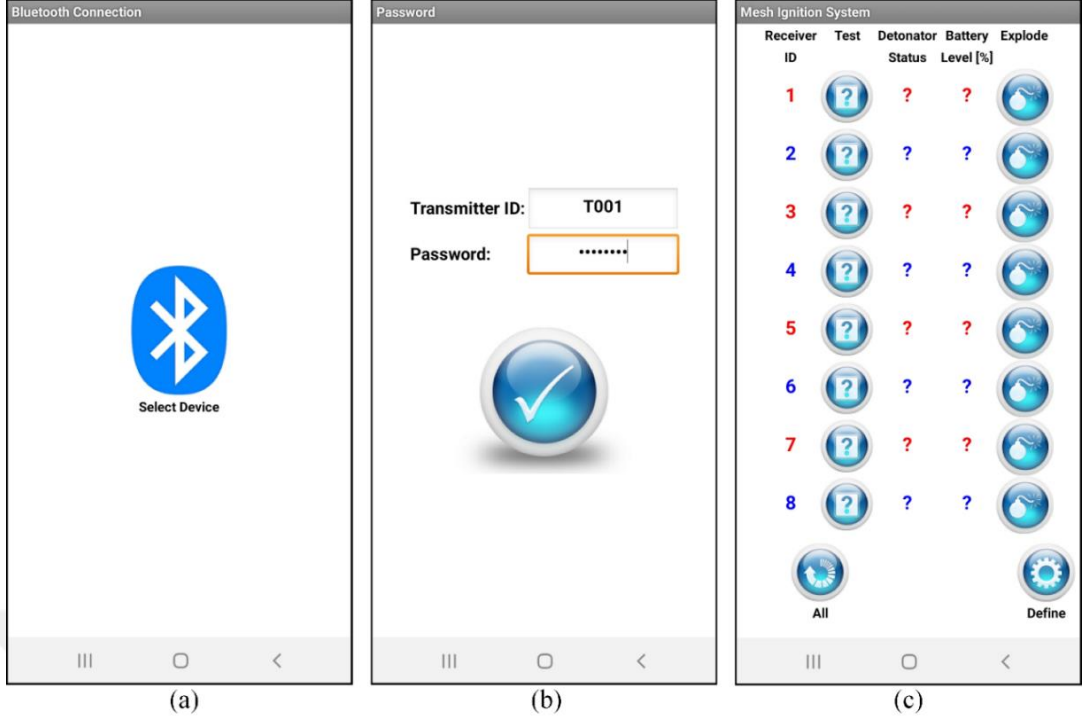
Geliştirilen sisteme güvenli şekilde giriş yapmak, alıcı aygıtları tanımlamak, alıcı ünitelerin örgü ağ içerisindeki görevlerini belirlemek için bir mobil ağ katmanı tasarlanmıştır. Mobil ağ katmanı mobil telefon veya tablet bilgisayar olabilir. Mobil ağ katmanında çalışmak üzere “MIT App Inventor” platformunda bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Mobil aygıt kullanıcı arayüzüne ait blok kaynak kodlar Ek 3’te verilmiştir.

MIT (Massachusetts Institute of Technology) App Inventor ilk olarak Google tarafından çıkarılan, daha sonra destekleriyle geliştirilen açık kaynaklı (open source) bir WEB uygulaması platformudur. App Inventor, 15 Aralık 2010 tarihinden itibaren ücretsiz olarak kamuoyuna sunulmuştur. 2013 yılında MIT App Inventor-2 adıyla günümüzdeki halini alan versiyon yayınlanmıştır. Uygulama şu anda 6 milyonun üzerinde kullanıcıya hizmet vermektedir (MIT, 2021). MIT App Inventor; üst düzey

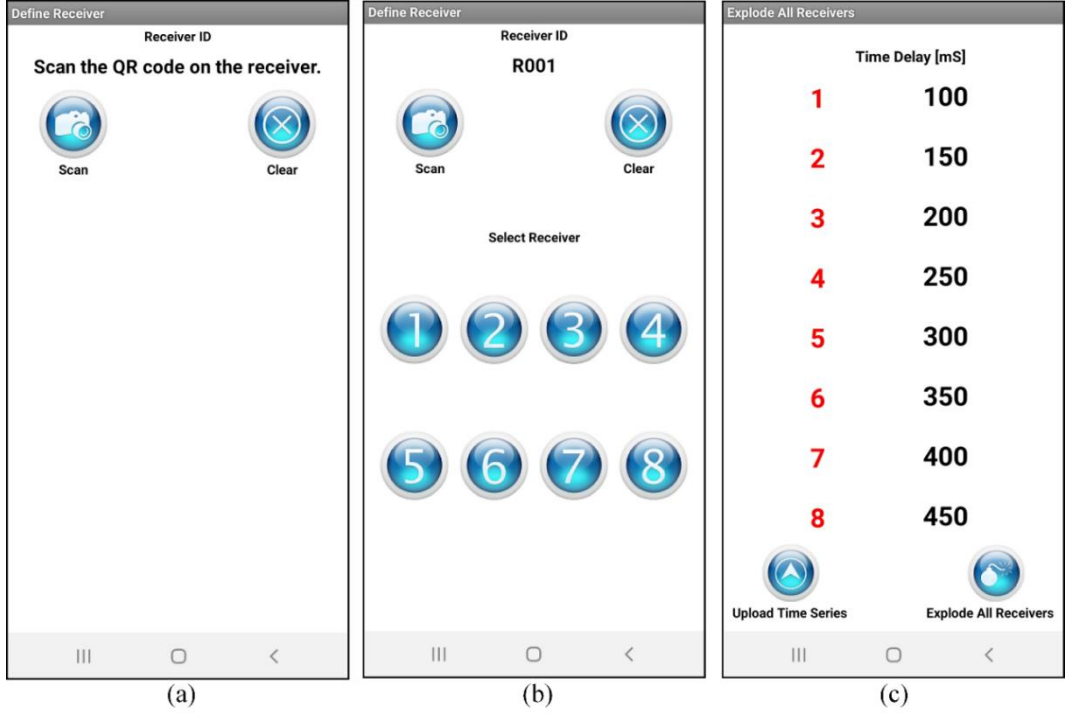
yazılım bilgisi gerektirmeden, temel kodlama mantığını bilen herhangi bir birey tarafından kullanılabilen, sürükle-bırak konseptinin tercih edildiği, Android işletim sistemi için mobil uygulamalar tasarlanmasına imkân tanıyan bir platformdur.

Mobil aygıt katmanında çalışmak üzere tasarlanan ve “Mesh Initiation System (MIS)” adı verilen kullanıcı arayüzü 3 temel menüden oluşmaktadır. Temel menülere ait ekran görüntüleri Şekil 3.11’de verilmiştir. “Bluetooth Connection” menüsü MIS arayüzü ilk çalıştırıldığında kullanıcı karşısına çıkan menüdür. Bu menüde bluetooth simgesi seçildiğinde beliren tercihlerden aktif verici ünitelerinin kimlikleri görüntülenebilir ve seçilebilir. Uygun verici ünite tercihi yapılması durumunda bir sonraki menü olan “Password” ekranına geçiş yapılır. “Password” menüsünde verici üniteye ait kimlik numarası ve şifre girişi yapılır. Doğru kimlik ve şifre girişinin ardından “Mesh Ignition System” olarak adlandırılan ve alıcı ünitelerin kontrol edildiği menüye geçiş yapılır. “Mesh Ignition System” menüsünde 8 alıcının bağlantı durumları “Test” butonu ile kontrol edilebilir. İlgili alıcıya ait “Test” butonunun tercih edilmesiyle birlikte alıcı ile bağlantı kurulur ve alıcıya kapsül bağlı olma durumu “Detonator Status” sütununda, batarya durumu ise “Battery Level [%]” sütununda görüntülenir. Herhangi bir alıcıya kapsül bağlı ve batarya durumu uygun ise “Explode” butonu seçilerek tahrip gerçekleştirilebilir.

“Mesh Ignition System” menüsünün 3 alt menüsü bulunmaktadır. “Mesh Ignition System” menüsünün alt menü görüntüleri Şekil 3.12’de verilmiştir. “Mesh Ignition System” menüsünde “Define” butonu tercih edildiğinde “Define Receiver” menüsü ekranda belirir. Bu menüde herhangi bir alıcı ünite “Mesh Ignition System” menüsündeki herhangi bir numaraya tanımlanabilir. “Define Receiver” menüsünde “Scan” butonu tercih edildiğinde bir kare kod tarama uygulaması çalışır ve alıcı ünitelerin üzerinde bulunan kare kodun okunması ile Şekil 3.12(b)’de verilen ekran görüntüsü belirir. Bu menüde alıcının kimlik numarası bulunmaktadır ve 1’den 8’e kadar rakamlardan istenilen bir tanesi seçilerek alıcı ünite “Mesh Ignition System” menüsündeki istenilen butona tanımlanmış olur. Sisteme tanımlı tüm alıcılar üzerinde işlem yapılmak istendiğinde “Mesh Ignition System” menüsünde “All” butonu tercih edilir ve Şekil 3.12(c)’de verilen menü çağırılır. Bu menüde alıcı ünitelerin tahribi için 0-1000 milisaniye aralığında bağlı zaman gecikmeleri girilebilir ve “Explode All Receives” butonu tercih edilerek tanımlı tüm alıcılar belirlenen zaman aralıklarıyla tahrip edilebilir.



Şekil 3.11: Kullanıcı Arayüzü Ekran Görüntüleri (a) “Bluetooth Connection” Ekranı (b) “Password” Ekranı (c) “Mesh Ignition System” Ekranı.



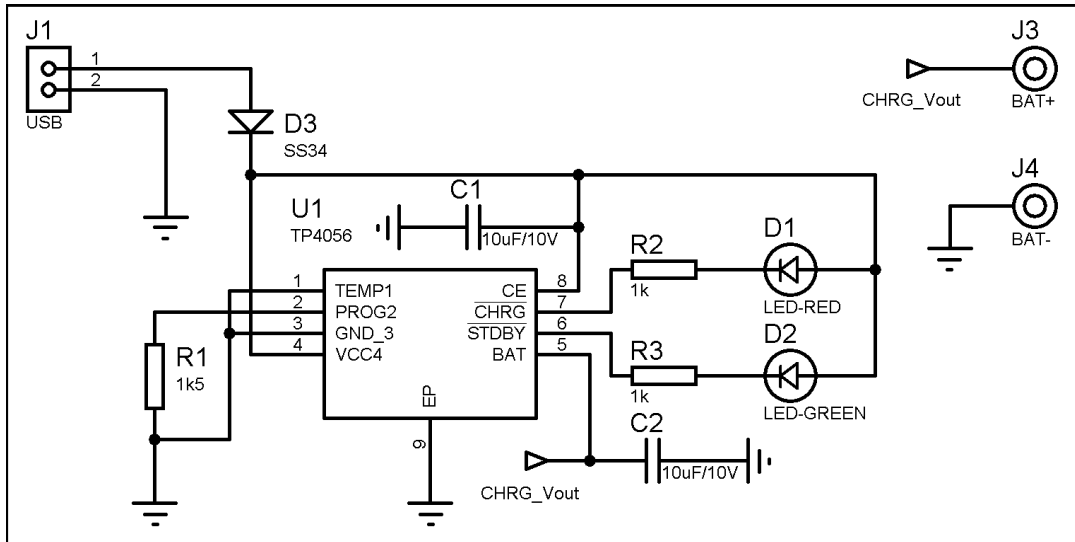
Şekil 3.12: “Mesh Ignition System” Alt Menülerine Ait Görüntüler (a) “Define Receiver” Karşılama Ekranı (b) “Define Receiver” Numara Atama Ekranı (c) “Explode All Receivers” Ekranı.

3.4. Şarj Ünitesi

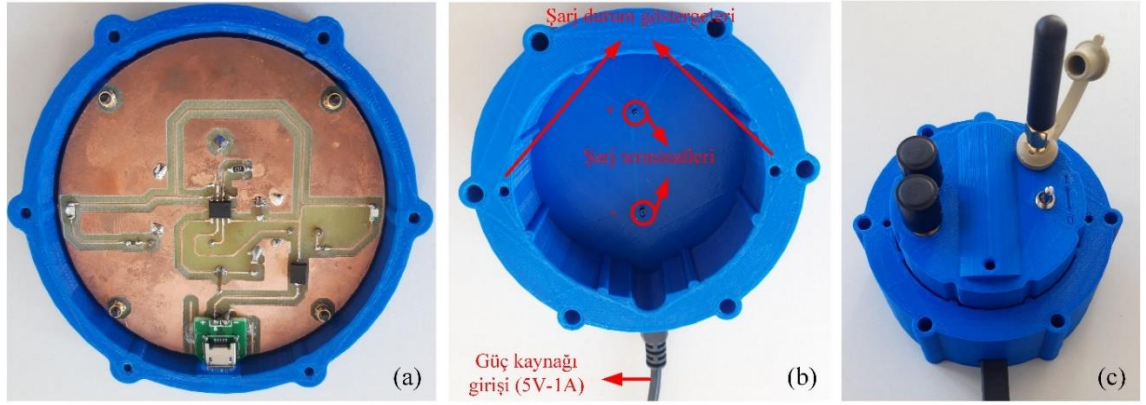
Alıcı ve verici ünitelerin beslemesi 3.7V – 850 mAh değerlerine sahip şarj edilebilir bir Li-Ion batarya ile sağlanmaktadır. Hem alıcı hem de verici ünitelerin üzerinde bataryaların şarj edilebilmesini sağlayan terminaller bulunmaktadır. Bu terminaller tasarlanan ünitesinde bulunan terminallerle temas ettiğinde şarj işlemi başlar, şarj işleminin hangi safhada olduğu, şarj ünitesi üzerinde bulunan LED (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot) göstergeler ile kullanıcıya bildirilir. Şarj ünitesinde güvenli şarj işlemi için TP4056 şarj entegresi tercih edilmiştir.

TP4056 lineer şarj entegresi 4.2 V- 3.6 V gerilim üreten bataryaları şarj etmek için tasarlanmıştır. Şarj gerilimi 4.2 V olarak belirlenmiştir ve şarj akımı harici olarak tek bir dirençle programlanabilir. Programlanan akım değeri 1/10'a düştüğünde entegre otomatik olarak şarj döngüsünü sonlandırır. Bunların yanında TP4056 lineer şarj entegresinde akım izleme, düşük voltaj kilitlemesi, otomatik şarj, şarj sonlandırma özellikleri ve giriş voltajı varlığını gösteren iki adet mevcut durum portu bulunmaktadır (NanJing Top Power ASIC Corp, 2019).

Alıcı ve verici üniteler için tasarlanan şarj ünitesine ait devre şeması ve görünümler sırasıyla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.13: Şarj Ünitesine Ait Devre Şeması.



Şekil 3.14: Şarj Ünitesine Ait Görüntüler (a) Devre kartı üstten görünüm (b) Prototip Şarj Ünitesinin Görünümü (c) Şarj Ünitesine Yerleştirilmiş Bir Alıcı Ünitenin Görünümü.

3.5. Sistem Maliyeti

Sistemi oluşturan verici, alıcı, şarj üniteleri yerli piyasadan kolaylıkla temin edilebilecek elektronik bileşenler ile imal edilmiştir. Ayrıca kullanılan elektronik bileşenlerin genel maksatlı olmasından kaynaklı sistem maliyeti oldukça düşük gerçekleşmiştir. Mobil aygıt hariç olmak üzere, Mayıs 2021 tarihi itibarıyla sistemi oluşturan ünitelere ait maliyetler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Sistemi Oluşturan Birimlerin Maliyetleri

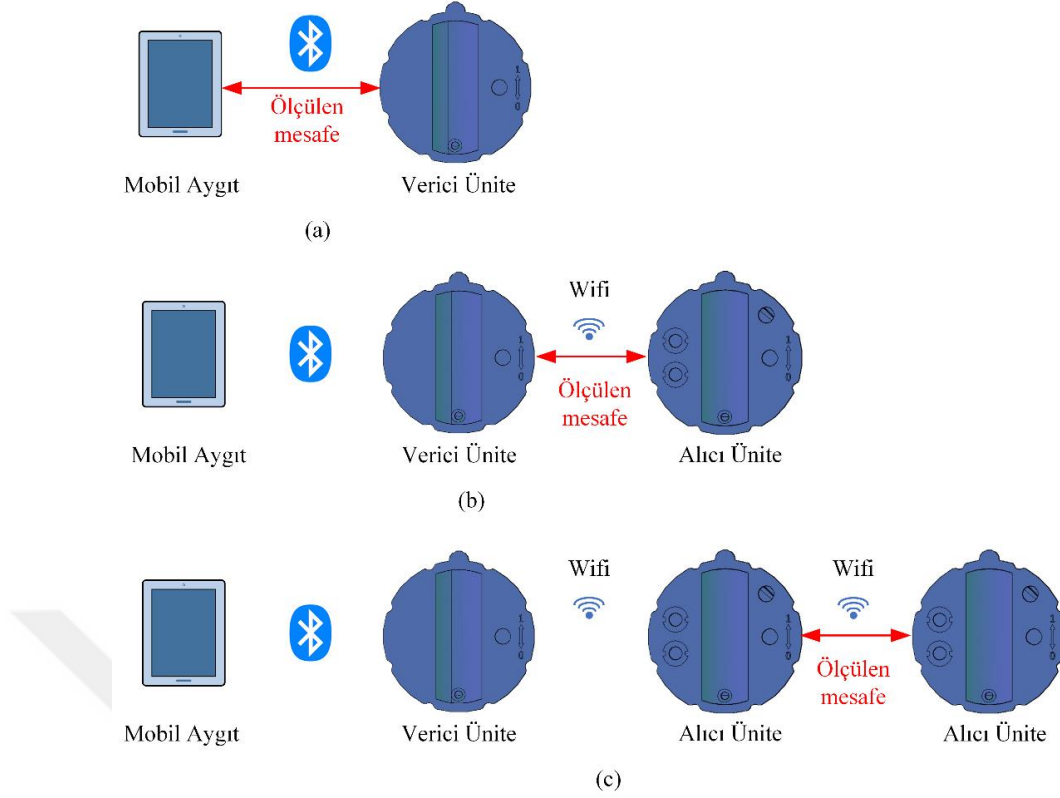
Ünite Adı	Adedi	Birim Maliyeti (\$)	Tutarı (\$)
Verici Ünite	1	18,25	18,25
Alıcı Ünite	8	12,80	102,40
Şarj Ünitesi	1	6,25	6,25
Genel Toplam			126,9

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tasarımı prototipi gerçekleştirilen sistemin hedeflenen işlevleri yerine getirme durumunun test edilmesi için bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar dört ana safhada ele alınmıştır. Birinci safhada mobil aygıt, verici ünite ve alıcı üniteler arasındaki sağlıklı haberleşme mesafesi testleri yapılırken, ikinci safhada tekil alıcı testleri gerçekleştirilmiş, üçüncü aşamada verici-alıcı azami iletişim mesafesini aşmadan tahrip testleri yapılmıştır. Son olarak ise örgü ağ testleri gerçekleştirilmiş ve haberleşme kabiliyetleri test edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda alıcı ve verici üniteler arasında haberleşmede herhangi bir prüze rastlanmamış, mobil aygıt ile kolay bir şekilde kontrolü yapıp sistemden geri dönüşler alınarak anlık takip başarılı ile sağlanmış ve hedeflenen doğrultuda çalışmanın amacına ulaştığı sonucuna varılmıştır. Dört aşamada gerçekleşen deneysel çalışma süreci ve elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.

4.1. Mobil Aygıt-Verici-Alıcı Mesafe Testleri

Sistem tasarımı bölümünde de bahsedildiği üzere; mobil aygıt, verici ve alıcı üniteler radyo frekans haberleşmesi gerçekleştirilmektedir. Mobil aygıt yalnızca verici ünite ile haberleşirken, verici ünite hem mobil aygıt hem de alıcılar ile iletişim kurabilmektedir. Sistemin en iyi performansta ve hedeflenen işlevsellikte çalışmasını sağlamak için üniteler arasındaki haberleşme mesafelerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Bu bilgiden hareketle kullanılan mobil aygıt-verici-alıcı üniteler arası mesafenin test edilmesi için Şekil 4.1’de verilen düzenekler kullanılarak mesafe testleri gerçekleştirilmiş, Tablo 4.1’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.1: Mesafe Testi İçin Kullanılan Düzenekler (a) Mobil Aygıt-Verici Mesafesi (b) Verici-Alıcı Mesafesi (c) Alıcı-Alıcı Mesafesi.

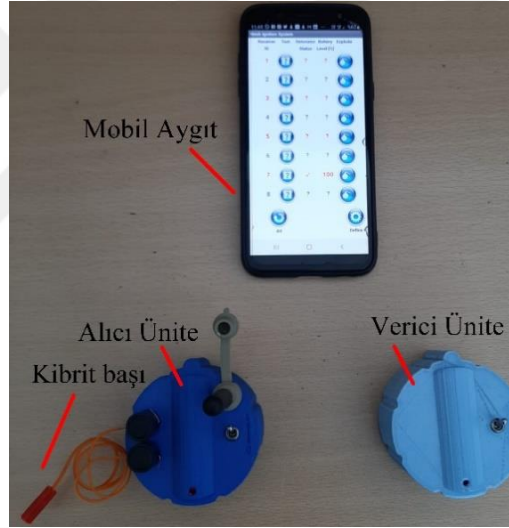
Bu safhada gerçekleştirilen testler 25° C hava sıcaklığında ve açık görüşün olduğu ortamlarda gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.1'deki kapalı alan iki katlı 250 metre uzunluğunda bir betonarme yapının içerisini, meskûn mahal üzerinde çelik konstrüksiyon ve betonarme yapıların yoğunlukla bulunduğu bir dış ortamı, açık alan ise üzerinde bir yapı bulunmayan ve seyrek şekilde ağaçlarla örtülü düzlük bir dış ortamı ifade etmektedir. Tablo 4.1'de verilen mesafeler gerçekleştirilen testler için ortalama sonuçları içermektedir. Yani herhangi bir ortamda farklı doğrultulardan gerçekleştirilen testler neticesinde elde edilen sonuçların ortalamaları tabloda yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar mobil aygıt, verici ve alıcı ünitelerde kullanılan haberleşme modüllerinin veri sayfalarında ifade edilen iletişim mesafeleri ile uyumludur.

Tablo 4.1: Mobil Aygıt-Verici-Alıcı Mesafe Test Sonuçları.

	Kapalı Alan Mesafesi [metre]	Meskûn Mahal Mesafesi [metre]	Açık Alan Mesafesi [metre]
Mobil Aygıt-Verici	25	30	30
Verici-Alıcı	70	100	170
Alıcı-Alıcı	100	150	240

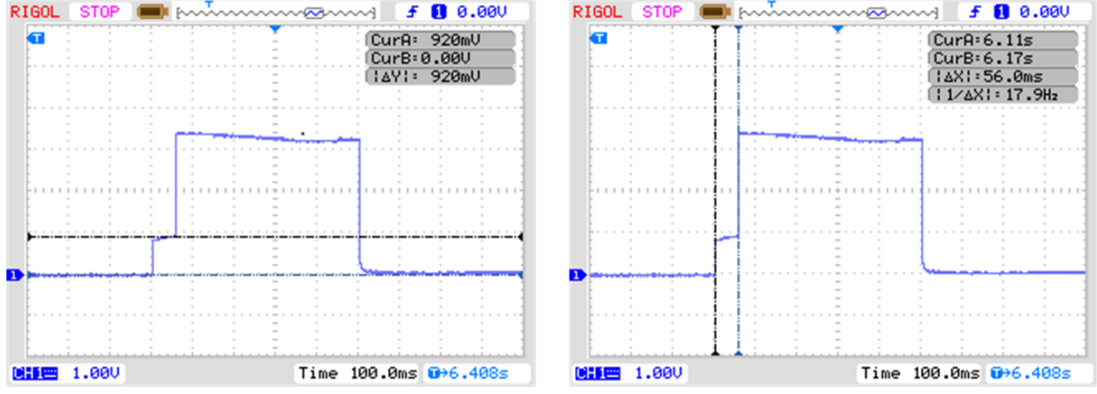
4.2. Tekil Alıcı Tahrip Testleri

Bu bölümdeki testler alıcı ünitelerin tek tek test edilmesini ve kapsül tahrip edebilme kabiliyetlerinin test edilmesini içermektedir. Alıcıların fonksiyon testlerinde her alıcı için Şekil 4.2'deki gibi bir düzenek kurulmuş, alıcı çıkışlarına kibrit başı bağlantısı yapılmıştır. Kibrit başı, eğitim kapsülü olarak da anılan, elektrikli kapsüllerin tahribi için ilk ateşlemeyi gerçekleştiren elektrikli bir ateşleyicidir.



Şekil 4.2: Tekil Alıcı Tahrip Testi İçin Kullanılan Düzenek.

Tekil alıcı tahrip testlerinde; mobil aygıt üzerinde çalışan arayüzden test edilecek alıcının durum testleri gerçekleştirilmiş, alıcı batarya durumunun uygun olduğu, kibrit başının takılı ve sağlam olduğu bilgisinin alınmasının ardından tahrip komutu oluşturulmuştur. Alıcı ünite tarafından tahrip komutunun alınmasıyla birlikte kibrit başının tahribi gerçekleşmiştir. Tahrip esnasında kibrit başından elde edilen sinyal görüntüleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Tahrip Esnasında Alıcıya Bağlı Kibrit Başından Elde Edilen Sinyal Görüntüsü.

Şekil 4.3 incelendiğinde, alıcının tahrip komutunu işleme almasından 56 mS sonra kibrit başının tamamen tahrip olduğu, tahribat süresince kibrit başında 920 mV gerilim düştüğü görülmektedir. Tahribatın gerçekleşmesinin ardından 3,2 V olan tahrip geriliminin bir süre daha kibrit başına uygulandığı ve ardından çıkış geriliminin 0 V olduğu görülmektedir.

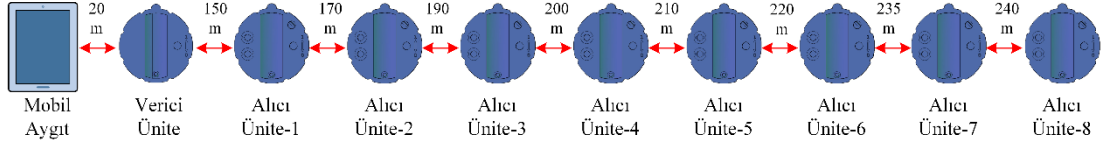
Bu bölümde gerçekleştirilen testlerde prototip imalatı gerçekleştirilen sekiz alıcının tamamının test ve tahrip fonksiyonlarını başarı ile gerçekleştirdikleri görülmüştür.

4.3. Çok Alıclı Tahrip Testleri

Bu bölümdeki testler alıcı-verici ve alıcı-alıcı arası azami haberleşme mesafeleri dikkate alınarak doğrusal veya örgü ağı şeklinde konumlandırılan alıcı ünitelerin toplu olarak, farklı ortam ve farklı senaryolar altında test edilmesini ve kapsül tahrip edebilme kabiliyetlerinin test edilmesini içermektedir.

4.3.1. Doğrusal Sıralama Tahrip Testleri

Açık alan ve açık görüşün olduğu bir bölgede yapılan bu testlerin amacı, doğrusal bir düzlem üzerine yerleştirilen 1’den 8’e kadar numaralandırılmış 8 alıcının kapsül tahrip yeteneklerinin ve örgü ağ topolojisinin değerlendirilmesidir. Bu maksatla iki farklı test gerçekleştirilmiş, testlerde kullanılan temel düzenek Şekil 4.4’te verilmiştir. Doğrusal konumlandırma yapılırken alıcı üniteler arası azami mesafenin aşılmasına dikkat edilmiş, verici ünite ile ilk alıcı ünite arası 150 metre, diğer alıcı üniteler arasında ise 220 metre ile 240 metre arasında değişen mesafeler belirlenmiştir.



Şekil 4.4: Verici Ünite Ve Alıcı Ünitelerin Doğrusal Konumlandırılması.

a) Doğrusal Konumlandırmada Verici Üniteye En Uzak Mesafedeki Alıcı Üniteye Bağlı Kapsülün Tahrip Testi

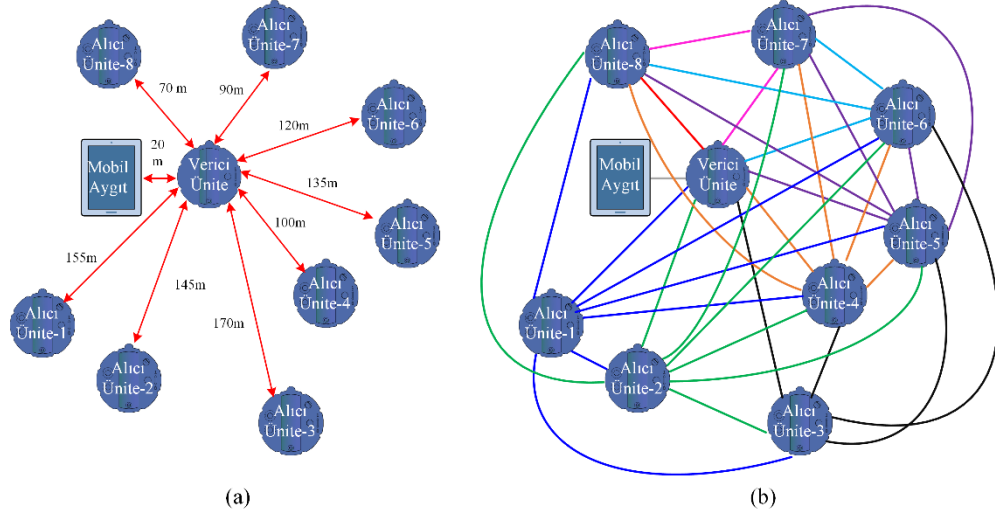
Verici üniteye en Uzak mesafedeki alıcı üniteye bağlı kapsülün tahrip testi kapsamında Şekil 4.2’de verilen test düzeneği kurulmuş, alıcı ünite-8’e kapsül iritibatlandırılmış, diğer alıcılara ise kapsül bağlantısı yapılmamıştır. Verici ile alıcı ünite-8 arası mesafe 1615 metredir. Bu şartlar altında mobil aygıttan gönderilen tahrip komutu ile alıcı ünite-8’e bağlı kapsül başarı ile tahrip edilmiştir. Gerçekleştirilen bu test ile açık alan iletişim mesafesi en fazla 240 metre olan tekil tahrip aygıtlarının örgü ağ topolojisi içerisinde kullanılmasıyla 1615 metre mesafeli tahrip işleminin gerçekleştirilebildiği ortaya konmuştur.

b) Doğrusal Konumlandırmada Tüm Alıcıların Tahrip Testi

Doğrusal konumlandırmada tüm alıcıların tahrip testi kapsamında, Şekil 4.2’de verilen düzenek hazırlanmış ve 1’den 8’e kadar numaralandırılmış tüm alıcı ünitelere kapsül bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar altında mobil aygıttan gönderilen tümünü tahrip et komutu ile beraber tüm alıcılara bağlı kapsüller başarı ile tahrip edilmiştir. Bu test ile doğrusal konumlandırılmış alıcı aygıtlardan tümünün tahrip edilebildiği, dizi halindeki alıcı aygıtlardan arada bulunan herhangi birisinin daha erken tahrip olması nedeniyle alıcıların tamamının tahrip edilmesine engel bir durum olmadığı ortaya konmuştur.

4.3.2. Verici Merkezli Tahrip Testi

Verici merkezli tahrip testinde mobil aygıt ve verici ünite merkezde, alıcı üniteler ise merkeze farklı uzaklıklarda olacak şekilde açık alanda konumlandırılmışlardır. Bu test kapsamında kullanılan örnek düzenek Şekil 4.5’te verilmiştir. Örgü ağ oluşturacak şekilde yerleştirilen alıcı ünitelerin konumlandırılmaları esnasında azami mesafelerin aşılmamasına dikkat edilmiş, verici ünite ile her bir alıcı ünite arasında 90 metre ile 230 metre arasında mesafeler belirlenmiştir. Verici merkezli tahrip testleri neticesinde alıcı ünitelere bağlı kapsüllerin tamamı başarı ile tahrip edilmiştir. Şekil 4.5 (b)’den görüleceği üzere, alıcı ve verici üniteler arasında bir örgü ağ oluşmuştur.

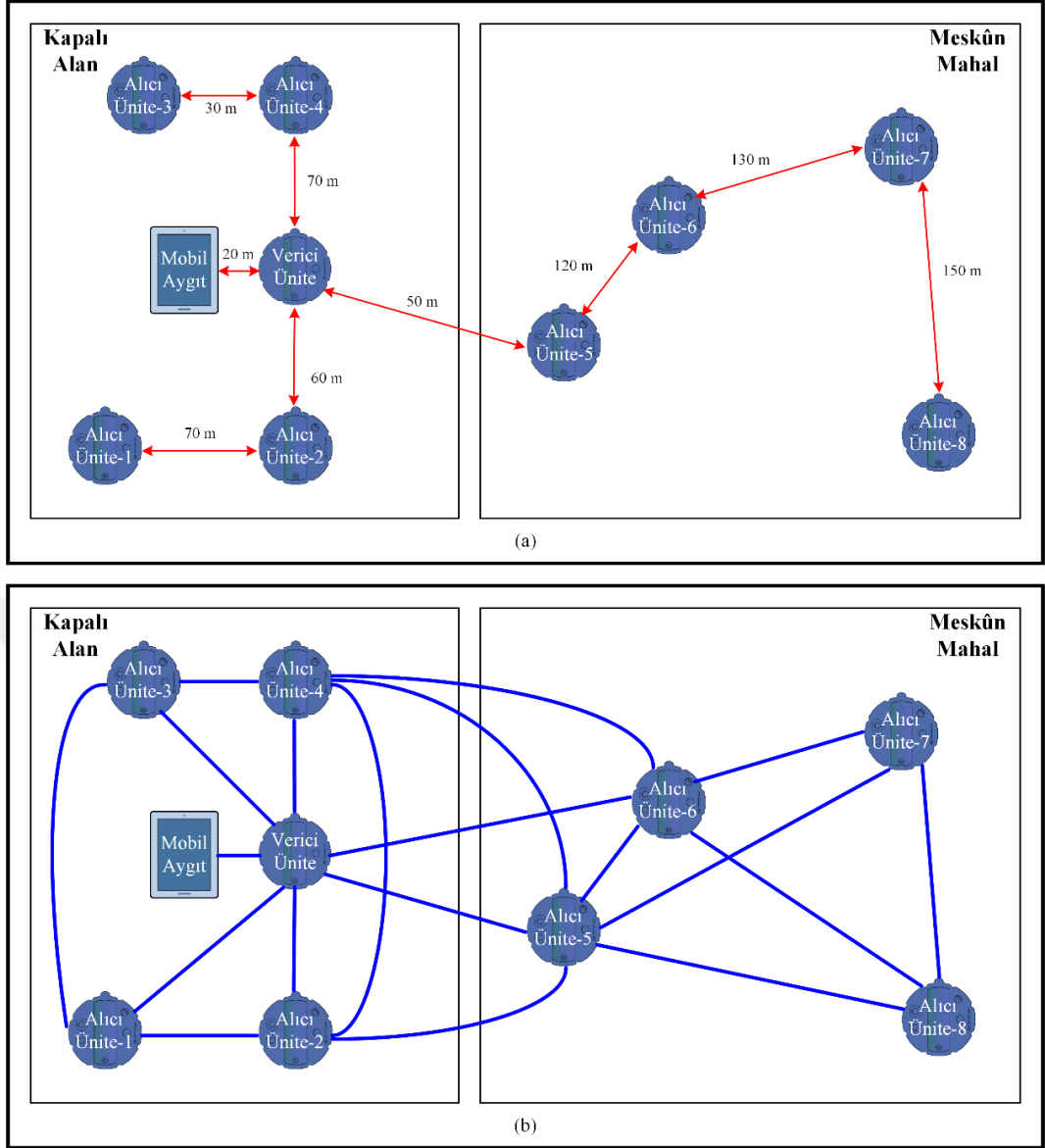


Şekil 4.5: Verici Merkezli Tahrip Testi Düzenegi (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.

4.3.3. Farklı Ortam ve Senaryo Şartlarında Tahrip Testleri

a) Verici Ünite ve Dört Alıcı Ünitelerin Kapalı Alanda, Dört Alıcı Ünitelerin Meskûn Mahal Açık Alanda Bulunduğu Durumda Tahrip Testleri

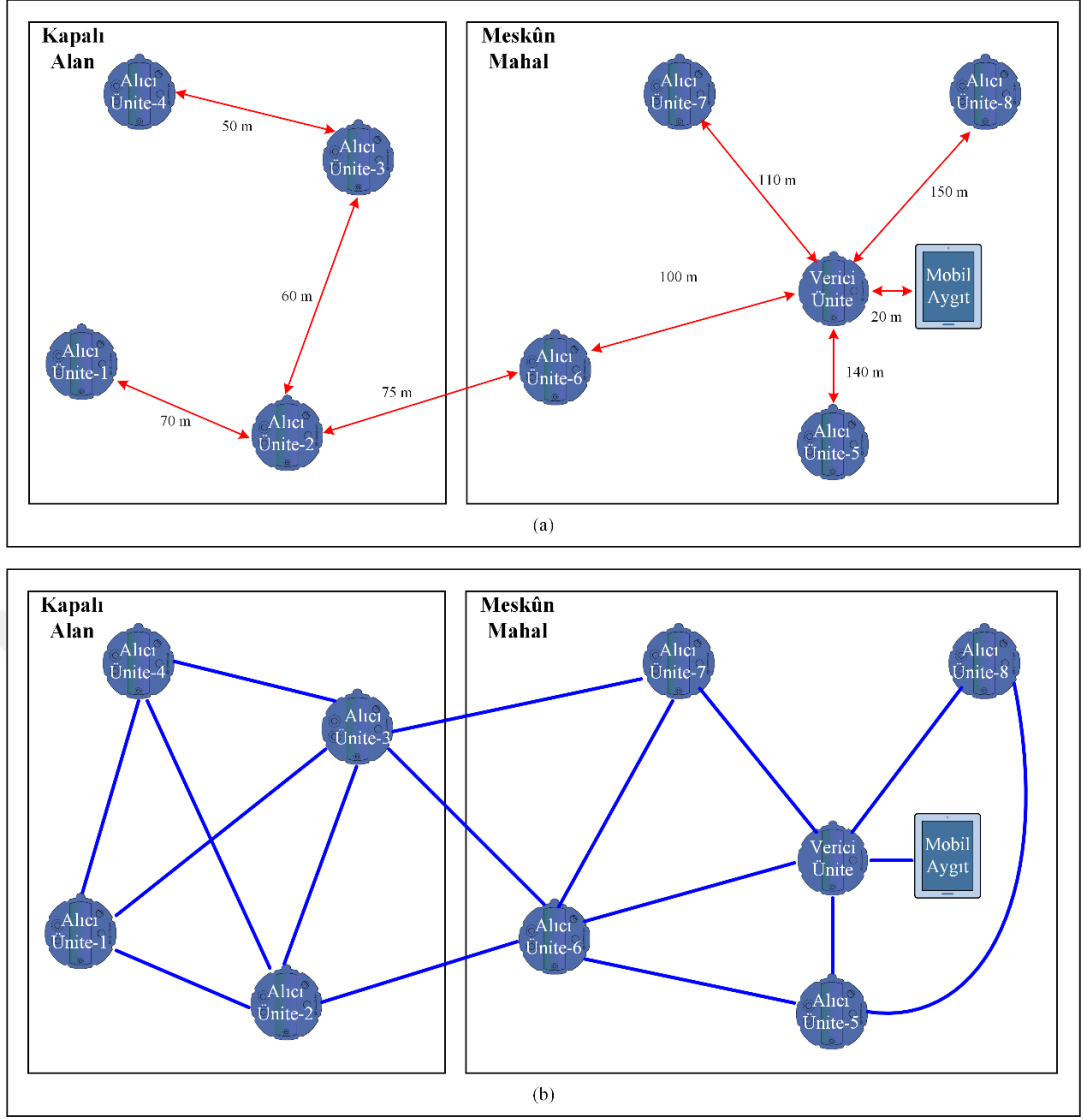
Bu bölümdeki deneysel çalışmalarda mobil aygıt, verici ünite ve dört adet alıcı ünite kapalı alana, kalan dört alıcı meskûn mahalde açık alana Şekil 4.6’de verildiği gibi konumlandırılmıştır. Alıcı ve verici ünitelerin konumlandırılmasında diğer tüm testlerde olduğu gibi azami iletişim mesafelerine dikkat edilmiş, 30 ile 150 metre arasında mesafeler belirlenmiştir. Gerçekleştirilen testler neticesinde alıcı ünitelere bağlı kapsüllerin tamamı başarı ile tahrip edilmiştir. Şekil 4.6 (b)’den görüleceği üzere, alıcı ve verici üniteler arasında bir örgü ağ oluşmuştur.



Şekil 4.6: Verici Ünite Ve Dört Alıcı Ünitenin Kapalı Alanda, Dört Alıcı Ünitenin Meskûn Mahal Açık Alanda Bulunduğu Durumda Tahrip Testleri İçin Kullanılan Düzenek (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.

b) Verici Ünite ve Dört Alıcı Ünitenin Meskûn Mahal Açık Alanda, Dört Alıcı Ünitenin Kapalı Alanda Bulunduğu Durumda Tahrip Testleri

Bu bölümdeki deneysel çalışmalarda mobil aygıt, verici ünite ve dört adet alıcı ünite meskûn mahalde açık alana, kalan dört alıcı kapalı alana Şekil 4.7’de verildiği gibi konumlandırılmıştır. Alıcı ve verici ünitelerin konumlandırılmasında diğer tüm testlerde olduğu gibi azami iletişim mesafelerine dikkat edilmiş, 70 ile 220 metre arasında mesafeler belirlenmiştir. Gerçekleştirilen testler neticesinde alıcı ünitelere bağlı kapsüllerin tamamı başarı ile tahrip edilmiştir. Şekil 4.7 (b)’den görüleceği üzere, alıcı ve verici üniteler arasında bir örgü ağ oluşmuştur.



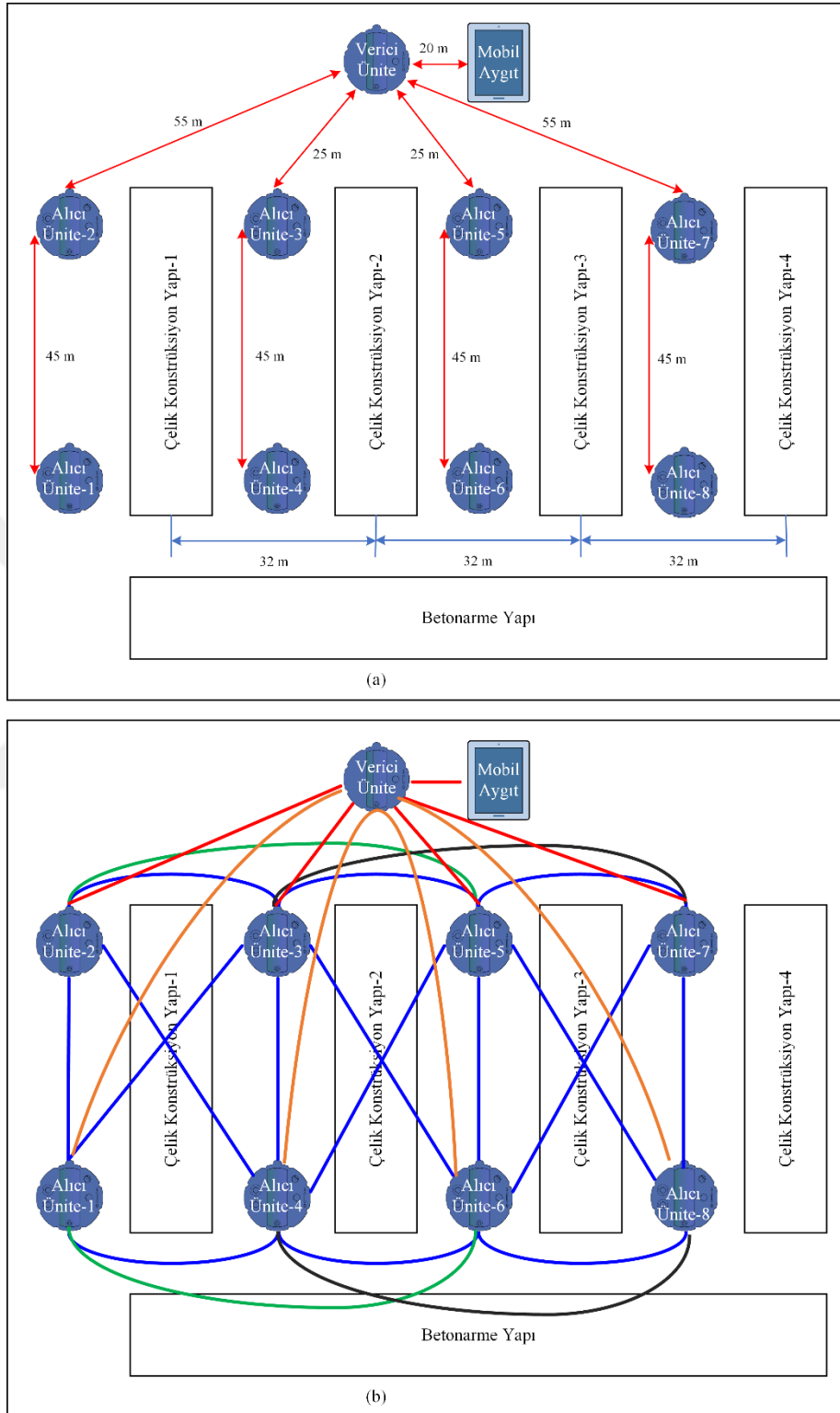
Şekil 4.7: Verici Ünite Ve Dört Alıcı Ünitenin Meskûn Mahal Açık Alanda, Dört Alıcı Ünitenin Kapalı Alanda Bulunduğu Durumda Tahrip Testlerinde Kullanılan Düzenek (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.

c) Meskûn Mahalde Farklı Konumlandırmalarda Tahrip Testleri

Verici ünite ve alıcı ünitelerin tamamının, betonarme ve çelik konstrüksiyon yapıların yoğun bulunduğu meskûn mahalde açık alana konumlandırılmasıyla gerçekleştirilen testlerde, iki farklı senaryo için düzenekler oluşturulmuştur.

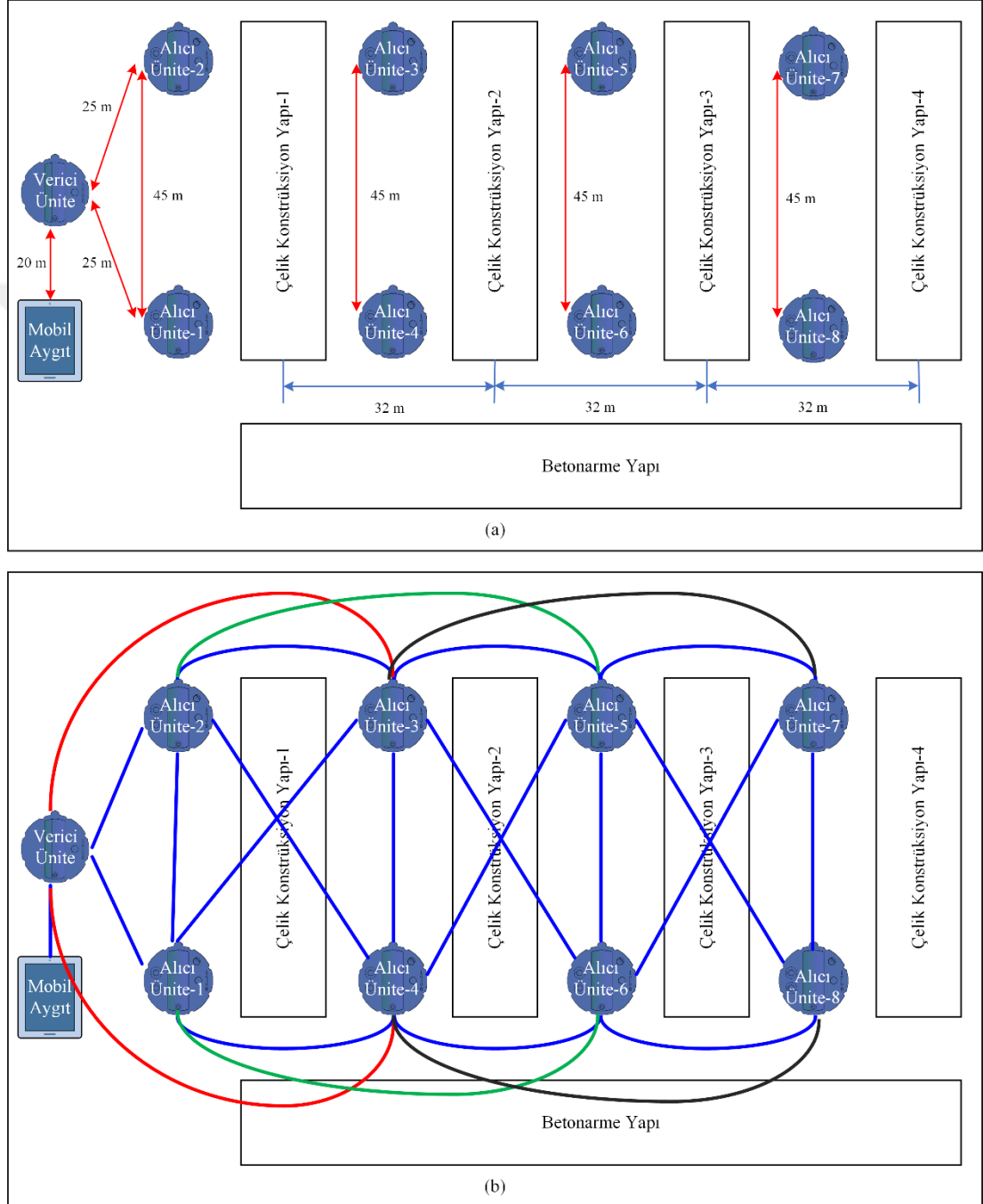
Bu bölümdeki ilk test çalışmasında Şekil 4.8’de verilen düzenek oluşturulmuş ve alıcı üniteler çelik konstrüksiyon yapıların arasına ikişer adet olacak şekilde, verici ünite ve mobil aygıt ise alıcı ünitelere simetrik olacak şekilde yapıların dışına konumlandırılmıştır. Belirlenen mesafeler azami mesafeleri geçmediğinden tüm

alıcılara bağlı kapsüller başarı ile tahrip edilmiştir. Şekil 4.8 (b)'den görüleceği üzere, alıcı ve verici üniteler arasında bir örgü ağ oluşmuştur.



Şekil 4.8: Meskûn Mahalde Farklı Konumlandırmalarda Tahrip Testleri: Test 1 Düzenegi (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.

İkinci test çalışmasında Şekil 4.9'da verilen düzenek oluşturulmuş ve alıcı üniteler çelik konstrüksiyon yapıların arasına ikişer adet olacak şekilde, verici ünite ve mobil aygıt ise 1 ve 2 numaralı alıcı ünitelere en yakın, 7 ve 8 numaralı alıcılara en uzak olacak şekilde yapıların dışına konumlandırılmıştır. Belirlenen mesafeler azami mesafeleri geçmediğinden tüm alıcılara bağlı kapsüller başarı ile tahrip edilmiştir.

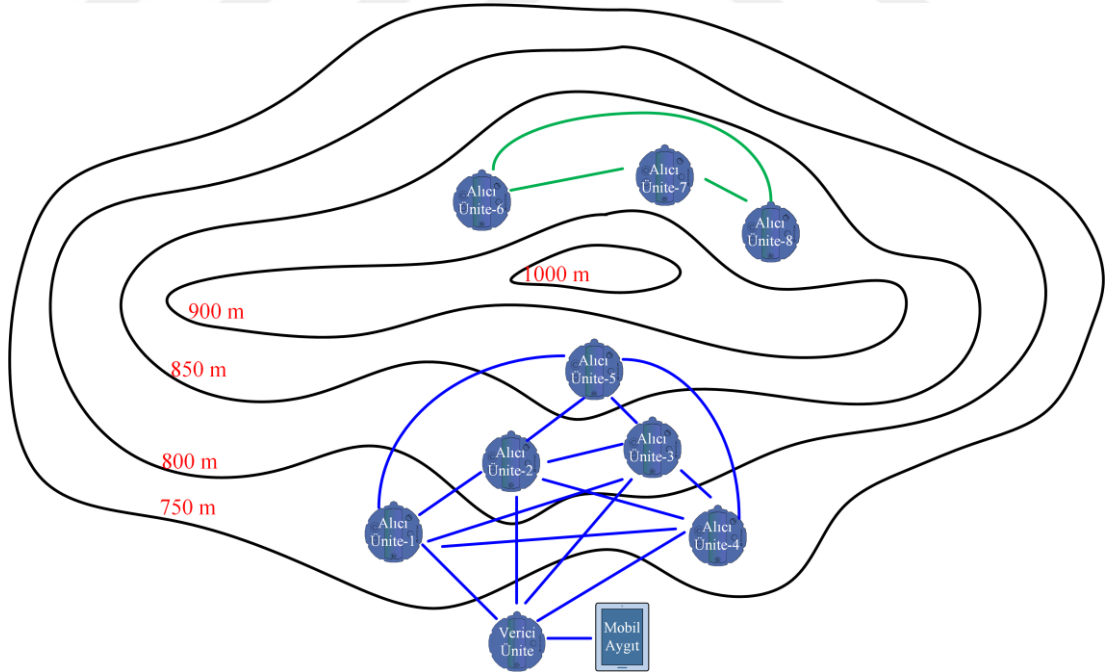


Şekil 4.9: Meskûn Mahalde Farklı Konumlandırmalarda Tahrip Testleri: Test 2 Düzenği (a) Üniteler Arası Mesafeler (b) Üniteler Arasında Kurulan Bağlantılar.

4.3.4 Eğimli Alan Testleri

Eğimli alan testleri için yüksekliği 750 metre ile 1000 metre arasında değişiklik gösteren bir tepe seçilmiş ve sisteme ait üniteler Şekil 4.10'daki gibi yerleştirilmiştir. Tüm alıcı ünitelere eğitim kapsülü bağlanmış ve mobil aygıttan verilen "Explode All" komutuna verilen tepkiler incelenmiştir. Gerçekleştirilen deney sonucunda 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı alıcılara bağlı kapsüllerin tahrip edildiği, 6, 7 ve 8 numaralı alıcılara bağlı kapsüllerin tahrip edilemediği görülmüştür. Üniteler arasında oluşan ağ bağlantıları incelendiğinde Şekil 4.10'daki gibi verici ünite ile 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı alıcılar arasında örgü ağ olduğu ancak 6, 7, 8 numaralı alıcıların kendi aralarında ağ oluşturmalarına rağmen verici ile ağ oluşturamadıkları görülmüştür. Bu duruma 850 metre münhane çizgisi ile 1000 metre münhane çizgisi arasındaki eğimin sebep olduğu değerlendirilmiştir.

Şekil 4.10'da gösterildiği gibi 5 numaralı alıcı ünite 850 metre münhane çizgisinden 1000 metre münhane çizgisine taşındığında tüm alıcılara bağlı kapsüllerin başarılı şekilde tahrip edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.10: Eğimli Alanda Tahrip Testi Düzenegi.

4.4. Ünitelere Ait Enerji Tüketimleri

Tasarlanan kablosuz tahrip sisteminde alıcı ve verici ünitelerin enerjileri şarj edilebilir bir Li-Ion bir batarya ile sağlanmaktadır. Bu kapsamda ünitelerin sahada kullanımı sırasında çalışma sürelerinin dikkate alınması gerekmektedir. 1 saat gibi kısa bir sürede boş durumdan tam dolu duruma gelen bataryanın alıcı üniteye boşta çalışma (stand by) süresi 10 saat 30 dakika ve verici üniteye 8 saattir. Sistem tam kurulu durumda verici ve alıcı üniteler haberleşme halindeyken ve haberleşmenin olmadığı durumda süreler aynı şekildedir. Alıcı verici üniteler arası mesafe ve alıcı sayısı bu süreyi etkilememektedir. Bataryanın şarj işlemi TP4056 programlanabilir lineer şarj entegresi ile sağlanmaktadır ve TP4056 4.2 V – 3.6 V gerilim üretirken 850 mAh akım değerine sahiptir. Akım değeri programlandığı değerinde birine düştüğünde şarj işlemi otomatik olarak sona ermektedir (NanJing Top Power ASIC Corp, 2019).

Verici ünite ve alıcı ünitelerin tam batarya dolu durumda iken boşta çalışma süreleri ile kullanılan bataryaya ait akım, gerilim ve darbe frekansı verileri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Verici-Alıcı Ünite Batarya Verisi ve Boşta Çalışma Süreleri.

Alıcı Ünite Boşta Çalışma Süresi	10 saat 30 dakika
Verici Ünite Boşta Çalışma Süresi	8 saat
Kibrit Baş Tetikleme Süresi	56 ms
Batarya Türü	Şarj Edilebilir Li-Ion
Batarya Şarj Entegresi	TP4056
Darbe Frekansı	17.9 Hz
Batarya Akımı	2 saniyeden daha az sürede azami 850mAh

Yapılan testler neticesinde alıcı ünitenin ortalama güç tüketimi 81 mW, verici ünitenin güç tüketimi 106,25 mW olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, örgü ağ topolojisi tabanlı kablosuz bir tahrip sisteminin prototip tasarımı gerçekleştirilip deneysel olarak analizleri ve testleri yapılmış, bunun neticesinde Bluetooth ve WiFi desteği ile çoklu alıcıyı kablosuz bir şekilde kontrol edebilen, kullanıcı arayüzüne sahip, programlanabilir, sistem geri dönüşüne sahip, optimizasyonu ve sürdürülebilirliği yüksek bir tahrip sistemi ortaya konulmuştur. Geliştirilen sistemdeki ünitelerin maliyetlerinin düşük, boyutlarının küçük ve güç tüketiminin az olması nedenleriyle maliyet etkin bir sistem olduğu değerlendirilmektedir. Geliştirilen sistem üzerinde farklı koşul, ortam ve zamanlarda yapılan testler neticesinde azami 1615 metre mesafedeki alıcıya ait kapsülün tahrip edilebildiği görülmüştür. Verici ünite, alıcı ünite ve mobil aygıt için farklı ortamlarda sağlıklı iletişim mesafeleri farklılık göstermektedir. Yapılan testler neticesinde mobil aygıt ve verici ünite arası iletişim mesafesi; kapalı alanda 25 metre, meskûn mahalde ve açık alanda 30 metredir. Verici ünite ve alıcı ünite arasındaki iletişim mesafesi; kapalı alanda 70 metre, meskûn mahalde 100 metre, açık alanda ise 170 metre iken alıcı üniteler arası iletişim mesafesi kapalı alanda 100 metre, meskûn mahalde 150 metre, açık alanda ise 240 metre olarak tespit edilmiştir. Sistemin boşa çalışma süreleri verici için 8 saat, alıcı için ise 10 saat 30 dakika olarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler göz önünde bulundurularak bilimsel araştırma ve geliştirme yapacak kişilere aşağıdaki öneriler yapılabilir;

- Azami tahrip mesafesini belirleyen iki önemli parametre; alıcı ünite sayısı ve iletişim modülünün çıkış gücüdür. Azami tahrip mesafesinin artırılması, daha yüksek çıkış gücüne sahip bir iletişim modülü kullanımı veya alıcı sayısının artırılması ile mümkün olacaktır.
- Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde, tahrip sistemlerinde haberleşme yöntemi olarak örgü ağ topolojisi kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Gelecek çalışmalarda hem örgü ağı hem de çalışmanın ihtiyaç ve amacı doğrultusunda hibrit haberleşme topolojilerinin sorunsuz bir şekilde kullanılabileceği öngörülmektedir.
- Alıcı ünite, verici ünite ve mobil aygıtın aralarındaki iletişim mesafeleri her ortamda aynı olmamaktadır. Bu çalışmada Tablo 4.1’de verilen açık alan, kapalı alan ve meskûn mahalde iletişim mesafeleri, yapılacak çalışmadaki kullanım

alanına ve amacına göre göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı iletişim modülleri tercih edildiğinde de yine iletişim mesafesi farklılıklarının ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

- Sivil ve askeri alanda yaygın olarak kullanılan patlayıcı maddeleri kullanırken bu patlayıcıların kişilere ve çevresine olabilecek zararlı etkileri göz ardı edilmemelidir. Patlayıcı maddelerin kullanım esasları hakkında bilgili olunmalı, saklama ve koruma koşulları bilinmeli, patlatma faaliyetinde izlenecek yol hakkında testler ve planlamalar yapılmalıdır.



KAYNAKÇA

- Ai Thinker. (2017). *ESP 07 WiFi Module*. https://docs.ai-thinker.com/_media/esp8266/docs/esp-07s_product_specification_en.pdf
- Alabaş, Velat; Derya, Metehan; Kılıç, Ümit; Us, M. (2012). *Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Gelişimi ve Türkiye 'deki Örnek Uygulamalar Development of Electronic Initiation Systems And Trials In Turkey*. 13. <http://www.madser.com.tr/dosyalar/Elektronik-Atesleme-Sistemlerinin-Gelisimi-ve-Turkiyedeki-Ornek-Uygulamalar.pdf>
- Ankit, Pundhir; Sagar, Khajure; Rajesh, Tiwary; Mukesh, K. R. (2013). *E&TC DEPT, AIT Pune PROGRAMMABLE ELECTRONIC DELAY DETONATOR*. University of Pune.
- Bağcaz, A. Timur; Kılıç, Ü. (2012). Elektrikli Kapsüllerin Güvenli Olarak Ateşlenmesi İçin Bazı Detaylar Details For Firing Electrical Detonators Safely. *Details For Firing Electrical Detonators Safely, Elektrikli Kapsüller*, 11.
- Balcı, A. (2020). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntem, Teknik ve İlkeler. *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntem, Teknik ve İlkeler*. <https://doi.org/10.14527/9789756802403>
- Calling, C. (2021). *William Bickford, inventor of the safety fuse*. <https://www.cornwall-calling.co.uk/famous-cornish-people/bickford.htm>
- Deviren, T. (2019). *Patlayıcı maddelerin bertarafı*. MKEK. https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/40f14c3d80e1f71_ek.pdf
- EKERMEN, E. N. (2021). *Patlayıcı ve yüksek patlayıcı maddelerin özellikleri, sınıflandırılması ve patlama etkileri*. https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/5d9f44cfbfd5a1a_ek.pdf
- Espressif. (2021). *ESP32 Series Datasheet*. Espressif Systems. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Explosives, I. of. (2015). *Explosives Engineering. Explosives*, 35.
- Groth, D. T. S., & Skandier, T. (2005). *Network+ Study Guide, Fourth Edition*. Sybex. In *Inc.. ISBN 0-7821-4406-3*. SYBEX.
- James, S. (2017). *Wireless Blasting in Sublevel Caving Mines*. In *Design* (Issue June). The University of Queensland.
- Kar, H. (2021). *Temel kimya dersi -4*. 31. <http://www.mku.edu.tr/files/1062-a6949a7d-222f-4707-8fd3-987ed20f2441.pdf>
- Kara, S., Adamson, W. R., Reisz, W. J., & Trousselle, R. (2014). The latest

generation of the electronic system enhanced safety and productivity. *Procedia Engineering*, 83, 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.052>

KOÇAK, E. (2006). *Ağ Sistemleri*. Karabük Üniversitesi.
https://web.karabuk.edu.tr/emelkocak/indir/MTM406/Ağ_topolojileri_ve_TCP-IP_protokolü.pdf

Kumar, V., & Nema, S. K. (2012). *SCB BASED MINIATURE ELECTRONIC DELAY DETONATOR*. 6–8.

MIT. (2021). *MIT APP Inventor*. <https://appinventor.mit.edu/about-us>

NanJing Top Power ASIC Corp. (2019). TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8. *Data Sheet*, 3.
<https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>

Paliwal, A., Gawade, S., Kumar, V., & Shaligram, A. (2013). *Miniature Programmable Delay Detonator Circuit*. 2–4.

Parvin, J. R. (2018). *An Overview of Wireless Mesh Networks*. Intechopen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.83414>

Pretorius, B. C. (2009). Electronic Delay Detonators. *Quarry Management*, February, 15–23.

TAEK. (1999). Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi Ve Benzerlerinin Üretimi İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul Ve Esaslarna İlişkin Tüzük. *Resmi Gazete*, 25(Usul ve Esas Tüzüğü).
<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/2.5.8712028.pdf>

TÜRK, T. (2016). *Ağ Topolojileri*. <https://immibilisim.com/blog/139/ag-topolojileri>

Wählisch, M. (2010). Modeling the network topology. *Modeling and Tools for Network Simulation*, 471–486. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12331-3_22

Ek 1 - devam.

```
void sendMessage() ;
    Task taskSendMessage( TASK_SECOND * 1 , TASK_FOREVER, &sendMessage );
void sendMessage() {
    String msg =tx_msg;
    mesh.sendBroadcast( msg );
    taskSendMessage.setInterval( random( TASK_SECOND * 1, TASK_SECOND * 5 ));
    tx_msg="XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX";}
void receivedCallback( uint32_t from, String &msg ) {
    Serial.printf(msg.c_str());
    SerialBT.println(msg.c_str());}
void newConnectionCallback(uint32_t nodeId) {Serial.printf("--> startHere: New Connection, nodeId = %u\n", nodeId);}
void changedConnectionCallback() {Serial.printf("Changed connections\n");}
void nodeTimeAdjustedCallback(int32_t offset) {Serial.printf("Adjusted time %u. Offset = %d\n", mesh.getNodeTime(),offset);}
void setup() {
    pinMode(pilot,OUTPUT);
    digitalWrite(pilot,LOW);
    delay(200);
    digitalWrite(pilot,HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(pilot,LOW);
    delay(200);
    digitalWrite(pilot,HIGH);
    delay(200);}
```

Ek 1 - devam.

```
digitalWrite(pilot,LOW);
delay(200);
digitalWrite(pilot,HIGH);
delay(200);
Serial.begin(115200);
SerialBT.begin(transmitter_id);
Serial.println("The device started, now you can pair it with bluetooth!");
string_depo=transmitter_id+transmitter_password;
while (!SerialBT.find("PSWRDT001MSUKAMYO")) { }
SerialBT.println("pswrd_ok");
mesh.setDebugMsgTypes( ERROR | STARTUP );
mesh.init( MESH_PREFIX, MESH_PASSWORD, &userScheduler, MESH_PORT );
mesh.onReceive(&receivedCallback);
mesh.onNewConnection(&newConnectionCallback);
mesh.onChangedConnections(&changedConnectionCallback);
mesh.onNodeTimeAdjusted(&nodeTimeAdjustedCallback);
userScheduler.addTask( taskSendMessage );
taskSendMessage.enable();}
void loop() {
  while (!SerialBT.find("Command_")) { mesh.update();}
  sayac_char=0;
  while (sayac_char<34){
    if (SerialBT.available(>0){
```

Ek 1 - devam.

```
storage[sayac_char]=(SerialBT.read());
sayac_char++;}
Serial.println(storage);
if (storage[0]=='E'){
    tx_msg="R"; tx_msg +=storage[2]; tx_msg +=storage[3]; tx_msg +=storage[4];tx_msg += "_E"; Serial.println(tx_msg);}
mesh.update();}
```

Ek 2. Alıcı Ünite Gömülü Yazılımına Ait Kaynak Kodlar

```
#include "painlessMesh.h"
#define MESH_PREFIX "MECH_DETONATOR"
#define MESH_PASSWORD "12345678"
#define MESH_PORT 5555
const int pilot=16;
const int patlat=4;
const int test=5;
String receiver_id="R001"; //R001 1 numaralı alıcı ünitenin ID'sidir.
int bat_level_int=0;
String bat_level_str="000";
String rx_msg;
Scheduler userScheduler;
painlessMesh mesh;
void sendMessage() ;
Task taskSendMessage( TASK_SECOND * 1 , TASK_FOREVER, &sendMessage );
void sendMessage() {
bat_level_int=map(analogRead(A0),0,1023,0,100);
if (bat_level_int<0) {bat_level_str="000";}
if ((bat_level_int<10)&&(bat_level_int>=0)) {bat_level_str="00";bat_level_str +=String(bat_level_int);}
```

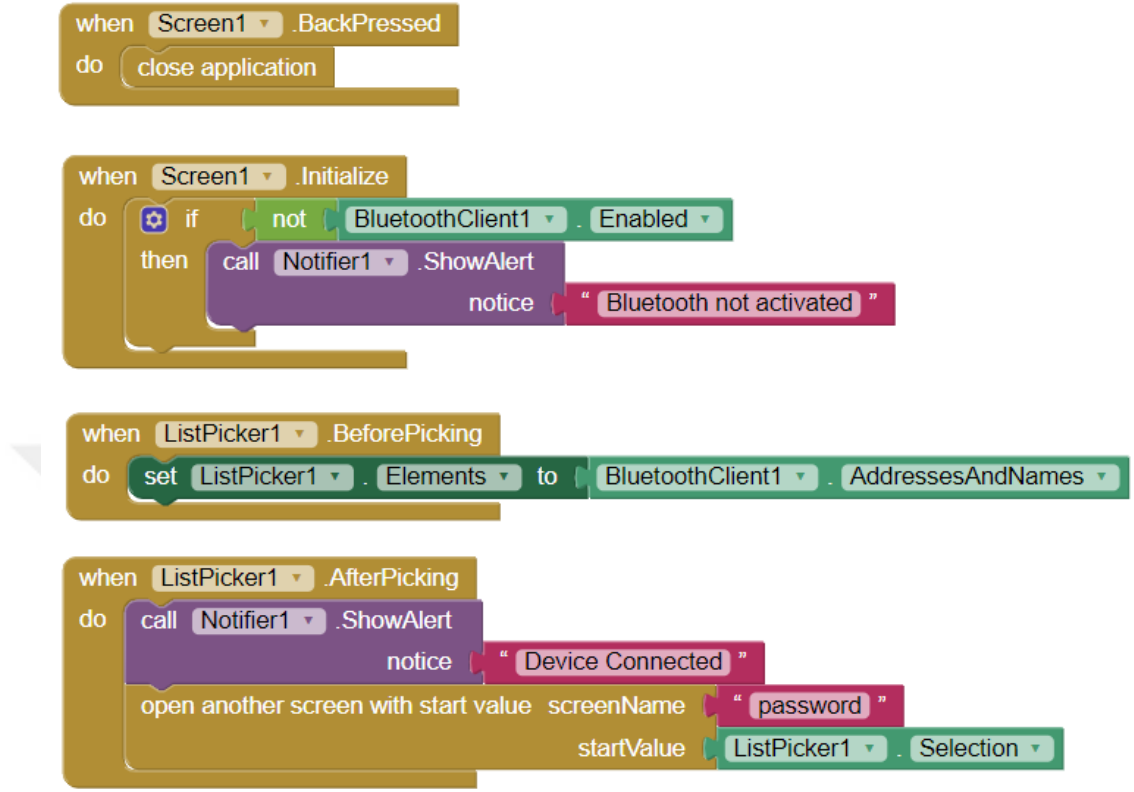
Ek 2 - devam.

```
if ((bat_level_int<100)&&(bat_level_int>=10)) {bat_level_str="0";bat_level_str +=String(bat_level_int);}
if (bat_level_int>=100) {bat_level_str="100";}
if (digitalRead(test)==HIGH) {digitalWrite(pilot,HIGH);}
    else    {digitalWrite(pilot,LOW);}
String msg ="Response_";
msg +=receiver_id;
msg += '_';
msg +=digitalRead(test);
msg += '_';
msg +=bat_level_str;
msg +='\n';
mesh.sendBroadcast( msg );
taskSendMessage.setInterval( random( TASK_SECOND * 1, TASK_SECOND * 5 ));}
void receivedCallback( uint32_t from, String &msg ) {
Serial.printf(msg.c_str());
Serial.println("");
if ((msg.c_str()[0]==receiver_id[0])&& (msg.c_str()[1]==receiver_id[1])&& (msg.c_str()[2]==receiver_id[2])&&
(msg.c_str()[3]==receiver_id[3])&& (msg.c_str()[5]=='E')){
Serial.println("Explode");digitalWrite(patlat,HIGH);delay(500);digitalWrite(patlat,LOW);}
if ((msg.c_str()[0]=='R')&& (msg.c_str()[1]=='A')&& (msg.c_str()[2]=='L')&& (msg.c_str()[3]=='L')&& (msg.c_str()[4]=='_')&&
(msg.c_str()[5]=='E')) {Serial.println("Explode");digitalWrite(patlat,HIGH);delay(500);digitalWrite(patlat,LOW);} }
void newConnectionCallback(uint32_t nodeId) {Serial.printf("--> startHere: New Connection, nodeId = %u\n", nodeId);}
```

Ek 2 - devam.

```
void changedConnectionCallback() {Serial.printf("Changed connections\n");}
void nodeTimeAdjustedCallback(int32_t offset){Serial.printf("Adjusted time %u. Offset = %d\n", mesh.getNodeTime(),offset);}
void setup(){
pinMode(patlat, OUTPUT);
pinMode(pilot, OUTPUT);
pinMode(test, INPUT);
Serial.begin(115200);
Serial.begin(115200);
mesh.setDebugMsgTypes( ERROR | STARTUP );
mesh.init( MESH_PREFIX, MESH_PASSWORD, &userScheduler, MESH_PORT );
mesh.onReceive(&receivedCallback);
mesh.onNewConnection(&newConnectionCallback);
mesh.onChangedConnections(&changedConnectionCallback);
mesh.onNodeTimeAdjusted(&nodeTimeAdjustedCallback);
userScheduler.addTask( taskSendMessage );
taskSendMessage.enable();}
void loop() {
mesh.update();}
```

Ek 3. Mobil Aygıt Kullanıcı Arayüzüne Ait Blok Kaynak Kodlar



“Bluetooth Connection Screen” Ekranına Ait Blok Kaynak Kodları.

Ek 3 - devam.

```
when password .BackPressed
do close application

initialize global BT_data to ""

when password .Initialize
do if call BluetoothClient1 .Connect address get start value
then set TextBox1 . Text to ""

when Button1 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText text join "PSWRD"
    TextBox1 . Text
    PasswordTextBox1 . Text
    "\n"

when Clock1 .Timer
do if BluetoothClient1 .IsConnected and call BluetoothClient1 .BytesAvailableToReceive > 0
then set global BT_data to call BluetoothClient1 .ReceiveText numberOfBytes call BluetoothClient1 .BytesAvailableToReceive
if contains text get global BT_data piece "pswrd_ok"
then call Notifier1 .ShowAlert notice "Password Accepted"
set TextBox1 . Text to ""
set PasswordTextBox1 . Text to ""
call BluetoothClient1 .Disconnect
open another screen with start value screenName "main" startValue get start value
else call Notifier1 .ShowAlert notice "Password Denied"
set TextBox1 . Text to ""
set PasswordTextBox1 . Text to ""
set global BT_data to ""
```

“Password” Ekranına Ait Ait Blok Kaynak Kodları.

Ek 3 – devam.

```
initialize global QR_code to ""
initialize global BT_data to ""

when receiver_define BackPressed
do call BluetoothClient1 Disconnect
open another screen with start value screenName main startValue get start value

when Button2 Click
do set TextBox1 Text to ""

when receiver_define Initialize
do if call BluetoothClient1 Connect address get start value
then set TableArrangement1 Visible to false
set HorizontalArrangement3 Visible to false

when Button1 Click
do call BarcodeScanner1 DoScan

when BarcodeScanner1 AfterScan
result
do set global QR_code to BarcodeScanner1 Result
set TextBox1 Text to get global QR_code
if compare texts BarcodeScanner1 Result ""
then set TableArrangement1 Visible to true
set HorizontalArrangement3 Visible to true

when Clock1 Timer
do if compare texts TextBox1 Text "Scan the QR code on the receiver."
then set TextBox1 Text to "Scan the QR code on the receiver."
set TableArrangement1 Visible to false
set HorizontalArrangement3 Visible to false
```

```
when Button3 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"001"
get global QR_code
""

when Button4 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"002"
get global QR_code
""

when Button5 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"003"
get global QR_code
""

when Button7 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"005"
get global QR_code
""

when Button8 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"006"
get global QR_code
""

when Button9 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"007"
get global QR_code
""

when Button10 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"008"
get global QR_code
""
```

```
when Clock2 Timer
do if BluetoothClient1 isConnected and call BluetoothClient1 BytesAvailableToReceive > 0
then set global BT_data to call BluetoothClient1 ReceiveText
numberOfBytes call BluetoothClient1 BytesAvailableToReceive
if contains text get global BT_data "defined ok"
then call Notifier1 ShowAlert
notice Receiver Defined
set TextBox1 Text to ""
set global BT_data to ""

when Button6 Click
do call BluetoothClient1 SendText
text join Command
[""
"004"
get global QR_code
""
```

“Define Receiver” Ekranına Ait Ait Blok Kaynak Kodları.

Ek 3 – devam.

```

when [ ] BackPressed
do
  set TableArrangement1 .Visible to false
  set TableArrangement2 .Visible to false
  set TableArrangement3 .Visible to false
  set TableArrangement4 .Visible to false
  call BluetoothClient1 .Disconnect
  open another screen with start value screenName main
  startValue get start value
  
```

```

when [ ] Initialize
do
  if call BluetoothClient1 .Connect
  then
    set TableArrangement1 .Visible to true
    set TableArrangement2 .Visible to true
    set TableArrangement3 .Visible to true
    set TableArrangement4 .Visible to true
  
```

```

initialize global Delay_bt to 0

when Button1 .Click
do
  if length TextBox1 .Text = 3
  then set global delay_bt to 0 join TextBox1 .Text
  if length TextBox1 .Text = 2
  then set global delay_bt to 0 join TextBox1 .Text
  if length TextBox1 .Text = 1
  then set global delay_bt to 0 join TextBox1 .Text
  if length TextBox1 .Text = 0
  then set global delay_bt to 0 join TextBox1 .Text
  if length TextBox2 .Text = 3
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox2 .Text
  if length TextBox2 .Text = 2
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox2 .Text
  if length TextBox2 .Text = 1
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox2 .Text
  if length TextBox2 .Text = 0
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox2 .Text
  if length TextBox3 .Text = 3
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox3 .Text
  if length TextBox3 .Text = 2
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox3 .Text
  if length TextBox3 .Text = 1
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox3 .Text
  if length TextBox3 .Text = 0
  then set global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox3 .Text
  
```

```

when TextBox1 .GotFocus
do set TextBox1 .Text to 0

when TextBox2 .GotFocus
do set TextBox2 .Text to 0

when TextBox3 .GotFocus
do set TextBox3 .Text to 0

when TextBox4 .GotFocus
do set TextBox4 .Text to 0

when TextBox5 .GotFocus
do set TextBox5 .Text to 0

when TextBox6 .GotFocus
do set TextBox6 .Text to 0

when TextBox7 .GotFocus
do set TextBox7 .Text to 0

when TextBox8 .GotFocus
do set TextBox8 .Text to 0
  
```

```

when Button2 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
  text 0 join Command2
  ALL
  In
  
```

```

when Button2 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
  text 0 join Command2
  ALL
  In
  
```

```

when Clock1 .Timer
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    if length TextBox1 .Text > 3
    then set TextBox1 .Text to 0
    if length TextBox2 .Text > 3
    then set TextBox2 .Text to 0
    if length TextBox3 .Text > 3
    then set TextBox3 .Text to 0
    if length TextBox4 .Text > 3
    then set TextBox4 .Text to 0
    if length TextBox5 .Text > 3
    then set TextBox5 .Text to 0
    if length TextBox6 .Text > 3
    then set TextBox6 .Text to 0
    if length TextBox7 .Text > 3
    then set TextBox7 .Text to 0
    if length TextBox8 .Text > 3
    then set TextBox8 .Text to 0
  
```

```

if length TextBox4 .Text = 3
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox4 .Text

if length TextBox4 .Text = 2
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox4 .Text

if length TextBox4 .Text = 1
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox4 .Text

if length TextBox4 .Text = 0
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox4 .Text

if length TextBox5 .Text = 3
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox5 .Text

if length TextBox5 .Text = 2
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox5 .Text

if length TextBox5 .Text = 1
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox5 .Text

if length TextBox5 .Text = 0
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join TextBox5 .Text

if length TextBox6 .Text = 3
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox6 .Text

if length TextBox6 .Text = 2
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox6 .Text

if length TextBox6 .Text = 1
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox6 .Text

if length TextBox6 .Text = 0
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox6 .Text

if length TextBox7 .Text = 3
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox7 .Text

if length TextBox7 .Text = 2
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox7 .Text

if length TextBox7 .Text = 1
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox7 .Text

if length TextBox7 .Text = 0
then set global delay_bt to 0 join get global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join global delay_bt to 0 join TextBox7 .Text
  
```

“Explode All Receivers” Ekranına Ait Ait Blok Kaynak Kodları.