

## Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye Geliştirilmesi

Ömer Çağrı YAVUZ<sup>1\*</sup>, Furkan ERKAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trabzon Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 61335, Trabzon

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 25240, Erzurum

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6655-3754>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5707-8886>

\*Sorumlu yazar: omercagriyavuz@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 20.12.2023

Kabul tarihi: 17.03.2024

Online Yayınlanma: 16.09.2024

#### Anahtar Kelimeler:

El bombası

Fünye

İvmelenme ve şok sensörleri

Mesafe tespit sistemleri

### ÖZ

Günümüzde kullanılan el bombaları, çalışma prensibine bağlı olarak kullanıcılar için hayati tehlikeler içermektedir. Bu çalışma kapsamında Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde yer alan el bombalarından farklı olarak mesafe kontrollü, infilak optimizasyonu sağlayan Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen sistemle istenmeyen durumlarda bombanın infilak etmesinin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen sistem, konvansiyonel el bombasının fünyesini ortadan kaldırarak, olumsuz dış etkenlerden (fiziksel, manyetik, termal vb.) etkilenmeyen, mikro saniye tabanlı ark ateşleme yapabilen, kullanıcının atış gücüne bağlı olarak infilak zamanını tayin edebilen, kazara veya hatalı yapılan atışlarda patlamayı iptal edebilen yeni nesil fünye geliştirmeyi kapsamaktadır. Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye ile sunulan hedefler doğrultusunda yüksek başarımla elde edilerek yeni nesil bir el bombası fünyesi ürünü ile tamamlanmıştır. M67 parça tesirli savunma tipi el bombası gövdesine birebir uyum sağlayan yeni nesil fünye ürünü için gerçekleştirilen tüm testlerden başarıyla geçmiş ve Türk Silahlı Kuvvetlerinin mühimmat standartlarına uygun hale gelmek üzere mühimmat konusunda etkin ve yetkin kişi, kurum ve kuruluşlara sunuma hazır halde beklemektedir.

## Development of Distance Control and Electronic Firing Supported Fuse

### Research Article

#### Article History:

Received: 20.12.2023

Accepted: 17.03.2024

Published online: 16.09.2024

#### Keywords:

Hand grenade

Fuse

Acceleration and shock sensors

Distance detection systems

### ABSTRACT

Current hand grenades used today pose potential life-threatening risks to users based on their operational principles. Within the scope of this study, the aim is to develop a Distance Control and Electronic Ignition Support Fuse that provides explosion optimization unlike the hand grenades present in the inventory of the Turkish Armed Forces. The objective is to prevent unwanted detonation of the bomb through the developed system. This system aims to eliminate the conventional hand grenade's fuse by creating a new-generation detonator that remains unaffected by adverse external factors (physical, magnetic, thermal, etc.). It is capable of microsecond-based arc firing, allows determination of explosion time based on the user's firing strength, and can cancel detonation in cases of accidental or erroneous firing. The development encompasses creating a new-generation detonator with high performance according to the objectives presented by the Distance Control and Electronic Ignition Support Fuse, culminating in a new-generation hand grenade detonator product. The new detonator, which perfectly fits the M67 fragmentation hand grenade body, has successfully passed all tests and is ready for presentation to competent individuals, institutions, and organizations responsible for ammunition.

## 1. Giriş

Günümüzde kullanılan el bombalarının çalışma prensibi; ateşleme levyesi serbest bırakıldığında, horoz yayının, üzerinde depolanan potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirerek horozu çarpma kapağına doğru hareket ettirmesi, çarpma kapağına çarpan horozun, kimyasal geciktiriciyi aktif etmesi, aktif edilen kimyasal geciktiricinin ise patlayıcıyı saniyeye bağımlı bir şekilde infilak ettirmesi şeklindedir (Hogg, 1998). El bombalarına ait bu çalışma prensibi, el bombasının icat edildiği ilk andan itibaren çok minimal ölçülerde teknik iyileştirmelerle geliştirilmiş olmasına rağmen kullanan personel için devam eden hayati tehlikeler içermektedir.

El bombaları, bir patlayıcı madde, bir ateşleyici mekanizma ve bir metal ya da plastik borudan oluşur. Patlayıcı madde olarak, genellikle amonyum nitrat, TNT, C-4 veya diğer benzer patlayıcılar kullanılır. Ateşleyici mekanizma ise, genellikle basit bir fitil veya zaman ayarlı bir cihazdır (Rottman, 2015). Kullanımı sırasında el bombalarının kontrollü patlatılması çok zordur. Bu durum ciddi yaralanmalara ve can kayıplarına yol açmaktadır (Lee ve Chen, 2004).

2000 yılı itibarıyla Çin, İsrail, Almanya ve Hindistan gibi ülkelerin yıllara göre askeri harcamaları önemli ölçüde artış göstermektedir (The World Bank, 2022). Benzer şekilde ülkemizde de askeri harcamaların ve Ar-Ge faaliyetlerine ayrılan bütçenin artış gösterdiği belirtilmektedir (Has ve Çınar, 2022). Ek olarak teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanılan teçhizat ve mühimmatlar da gün geçtikçe gelişme göstermektedir. Örnek olarak geçmişte metal küre içerisine yerleştirilen barutun fitil yardımıyla ateşlenmesiyle elde edilen el bombaları, yerini zırhlı araçlar için bile tehlike oluşturabilen tahrip gücü yüksek Sovyet yapımı RKG-3 anti tank el bombası gibi mühimmatlara bırakmıştır (Harvey, 1993). Fakat bu tür bombalarda kullanılan ateşleme tekniği, askeri alanda kullanılan emniyet fitilinin yanma reaksiyonunun değişen koşullara bağlı oluşu ve çeşitli fiziksel kuvvetlerden olumsuz etkilenmesi sebebiyle büyük bir güvenlik zafiyetine neden olarak ciddi yaralanmalara ve ölümlere yol açmaktadır (Mei ve ark., 2016). 2016-2019 yılları arasında gerçekleşen 267 askeri iş kazasında 162 askeri personel hayatını kaybetmiştir. Bu kazalarda eğitimde yaşanan kazalar ve bomba patlamalarında hayatını kaybeden askeri personelin sayısı yüksektir (Karadağ ve Dayıoğlu, 2022). Bu tür olayların önüne geçilmesi amaçlanarak güvenlik zafiyetinin minimum seviyeye indirilmesine yönelik bir takım önlemler alınması ve bu önlemlerin uygulanması önem arz etmektedir. Bu doğrultuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örnek bir çalışmada su altı tehditlerine odaklanılarak derinlik aktivasyonu ile güvenli bir ara yüz sunan bir mühimmat geliştirilmiştir. Zaman ve hedef derinlik başta olmak üzere beklenen örüntülerin gerçekleşmesine bağlı olarak ateşleme sağlanmaktadır. Ateşleme sağlanması için mevcut durumda gerekli niteliklerin sağlanması gerekmektedir. Bu durum mühimmat kullanan personelin güvenliği açısından önemli görülmektedir (Soto ve ark., 2009). Başka bir çalışmada güvenlik araçları içeren elektronik bir el bombası geliştirilmiştir. Fırlatılma durumunda cismin hareketi ve ivmesini tespit etmek amacıyla bir ivmeölçer kullanılmıştır. Ayrıca patlama bileşeninin kontrolünün sağlanması amacıyla

kontrolör geliştirilmiştir. Geliştirilen ürün temel olarak güç kaynağı, fünye, kontrolör, ivmeölçer ve patlama ünitesinden oluşmaktadır (Henry ve ark., 2017). Bir başka çalışmada da mevcut el bombalarının büyüklüğü, güvenlik zaafiyeti ve patlama sırasında parçaların öldürücülüğü gibi sorunlara odaklanılarak yeni bir model tasarlanmıştır. Bahsedilen sorunlar doğrultusunda mevcut el bombalarından farklı olarak ek bir kilitleme tokası tasarlanmıştır. Tasarlanan modelin doğrulanması amacıyla bir simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Ek olarak bağlantı yapısının güvenliği, kırılma testi ve dağılan parçalar için güvenlik testi yapılmıştır. Çalışma sonucunda bomba ağırlığının yüzde 40'a yakın bir oranda azaltıldığı, güvenli fırlatma imkânı sunulduğu, güvenlik gerekliliklerinin karşılandığı vurgulanmıştır (Yang ve ark., 2020). Yine benzer bir çalışmada uzaktan kontrollü otomatik bir el bombası geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde el bombasının elden çıkmasıyla patlamasını sağlayan buton ve istenen şartların sağlanması durumunda ateşlemeyi sağlayan fünye bulunmaktadır. Ayrıca askeri eğitimlerde sensörler yardımıyla dijital ve fiziksel etkiler üreten bir aktivasyon cihazı bulunmaktadır (Pachpore, 2021).

Çeşitli optimizasyon problemlerini optimize etmek için yeni bir evrimsel algoritma sunmayı amaçlayan başka bir çalışmada da El Bombası Patlama Metodu sunulmuştur. Sunulan yöntem temelde patlama esnasında ortaya saçılan şarapnel parçalarının tahrip ettiği nesnelere odaklanmaktadır. Patlama uzunluğu, şarapnel parçası başına verilen tahribata odaklanılarak el bombalarının atılması için en uygun bölgenin bulunması amaçlanmaktadır. Patlama bölgesinde bulunan nesnenin yok edilmesi, amaç fonksiyonunun uygunluğunu ifade etmektedir (Ahrari ve Atai, 2010).

Bir başka çalışmada savunma sanayiine yönelik kamikaze drone uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen proje silahlı ve silahsız olarak iki farklı şekilde planlanmıştır. Silahsız versiyonda ağırlığın kısıtlı olması sebebiyle daha uzun bir uçuş süresi sunulmaktadır. Silahlı olarak planlanan ikinci versiyonda ise cihaza el bombası yerleştirilerek hedeflerin imha edilmesi amaçlanmaktadır (Sakarya ve Alkan, 2021).

Geliştirilen Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye ile Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde yer alan el bombalarından farklı olarak mesafe kontrolü yeteneği ile zenginleştirilmiş, üstün tahrip algoritması ile infilak optimizasyonu sağlanan, yazılım ve donanım desteği ile istenmeyen durumlarda bombanın infilak etmesinin önüne geçilerek güvenliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Konvansiyonel bir savunma tipi el bombasında, infilakın gerçekleşebilmesi için personelin öncelikle emniyet pimini çıkartması, ardından bombayı hedeflediği bölgeye fırlatana kadar ateşleme levyesini sıkarak horozun mandaldan çıkmasını engellemesi ve bombayı hedef bölgeye doğru fırlatması ve hemen akabinde siper alması gerekmektedir. Konvansiyonel el bombasının icat edildiği andan günümüze kadar, kalıtsal mirası olan zamana veya darbeye bağımlı çalışma prensibi bulunmaktadır. Bu tertibat yerine olumsuz dış etkenlerden etkilenmeyen, mikro saniye tabanlı ark ateşlemesi yapabilen, kullanıcının atış gücüne bağlı olarak infilak zamanını tayin edebilen, kazara veya hatalı yapılan atışlarda patlamayı iptal edebilen yeni nesil fünye geliştirilmesi amaçlanmıştır.

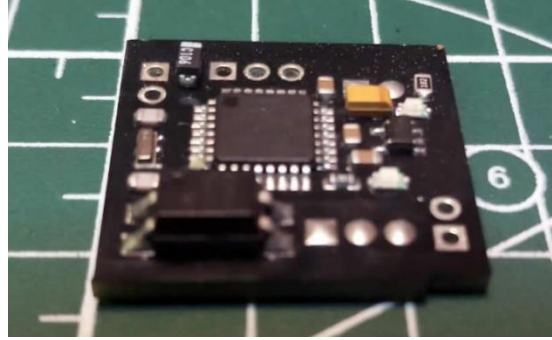
## 2. Materyal ve Metot

Günümüzde ordu envanterleri incelendiğinde personelin kullanımına sunulan bütün el bombaları; profesyonel orduların kullanıma yönelik olarak 1914 yılında fünyesinin ve gövdesinin yeniden revize edilmesi ve ufak tefek iyileştirmeler yapılması haricinde en büyük gelişmeyi kimya alanında yaşamıştır. Kimya alanındaki bu gelişmeler el bombalarının iki ana materyaline odaklanmıştır. İlki fünyelerin içindeki, fitil olarak adlandırılan ve patlamanın en önemli etkeni olarak kabul edilen zamanlamayı kontrol eden geciktiricidir. Fitiller kimyasal olarak farklı gruplara ayrılrsa da el bombalarında genellikle askeri tür olarak kabul edilen siyah fitiller kullanılmaktadır. Fakat muhteviyatındaki kimyasallar sebebi ile çeşitli ortam ve koşullarda (aşırı nem, düşük/yüksek ısı, aşırı basınç, su altı, yüksek irtifa, aşındırıcı gazlar vb.) kararsızlaşarak istenilenden çok daha farklı ve genellikle olumsuz tepkiler verebilmektedirler. İkinci olarak el bombası ana gövdesi içerisinde muhafaza edilen patlayıcı kimyasal bloktur. Bu kimyasal blok üzerinde yapılan geliştirmeler (duyarsızlaştırma) oldukça başarılı sonuçlar vererek mühimmatın daha istikrarlı ve performanslı kullanılmasını sağlamıştır. El bombaları ile yapılan Araştırma-Geliştirme faaliyetleri büyük oranda patlayıcı kimyasal blok üzerine odaklandığı için geri kalan tertibat üzerinde çok fazla ilerleme kaydedilememiştir. Bu çalışmada günümüzde konvansiyonel el bombalarında kullanılan kimyasal/mechanik çalışma prensibine dayalı fünye tertibatının yerine tamamen elektronik olarak çalışan yeni nesil fünye sistemi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu doğrultuda personelin can güvenliğini tehdit eden kimyasal/mechanik fünyelerin kararsız çalışma prensibinin ortadan kaldırılmasıyla birlikte mühimmatların modernize edilmesi amaçlanmaktadır.

Geliştirilen sistemde fünyesi, yeni nesil fünye ile değiştirilmiş olan el bombasının aktifleştirilmesi için taşıyan personelin sistemin çalışmasını sağlayacak olan butonun koruma kapağını açarak butona basması gerekmektedir. Mevcut sistemin içerisinde bulunan ivme/hareket sensörü, kullanıcının el bombası üzerine uyguladığı harekete bağlı gücü, sistem aktif olduğu andan itibaren 7 saniye boyunca izleyerek ürettiği verileri mikrodenetleyiciye anlık olarak gönderir. Personel bu 7 saniye içerisinde el bombasını önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatmazsa mikrodenetleyici ivme/hareket sensöründen aldığı veri doğrultusunda el bombasının herhangi bir hedefe doğru atılmadığına karar vererek sistemi otomatik olarak kapatır. Personel ilk 7 saniye içerisinde el bombasını önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatırsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veriler doğrultusunda el bombasının fırlatıldığına karar verir ve yeni bir zaman sayacı başlatır. Bu sayaç; herhangi bir insanın el bombası kütesine ve şekline sahip bir cismi, el bombaları için güvenli mesafe olarak kabul edilen 15 metre uzaklığa en az kaç saniyede fırlatabildiği verisi kullanılarak oluşturulan bir geri sayım süresidir. Geliştirilen sistemde bu sayaç; iptal sayacı olarak isimlendirilmiştir. Mikrodenetleyici el bombası fırlatıldığında iptal sayacını devreye sokar. Eğer iptal sayacı geri sayımını bitirmeden el bombası hedeflenen bölge yerine herhangi katı bir cisme (duvar, ağaç vb.) çarparak yön değiştirirse veya olası bir senaryoda personel el bombasını elinden düşürürse ivme/şok sensörü tarafından el bombasının ivmesindeki bu değişiklik mikrodenetleyiciye iletilir, mikrodenetleyicinin sistemi kapatması sağlanır. Personel ilk 7 saniye içerisinde el bombasını önceden

belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatırsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veriler doğrultusunda el bombasının fırlatıldığına karar verir ve iptal sayacını başlatır. El bombası, iptal sayacının geri sayımını bitirdiği durumda herhangi istenmeyen bir nesneye çarpmadıysa mikrodenetleyici bu sefer infilak moduna geçer ve bombanın hedeflenen bölgeye (veya yakınına) çarpma anında ivme/şok sensörünün el bombasının ivmesindeki bu değişimi algılamasıyla gönderdiği veriyi işleyerek nihai varış noktasına geldiği belirlenerek ateşleme modülünü aktif hale getirilir ve el bombasının patlaması sağlanır. Bahsedilen sistemin geliştirilmesinde 17 temel materyal kullanılmıştır. Bu materyaller ve her bir bileşenin sistem içerisindeki görevi aşağıda sunulmuştur.

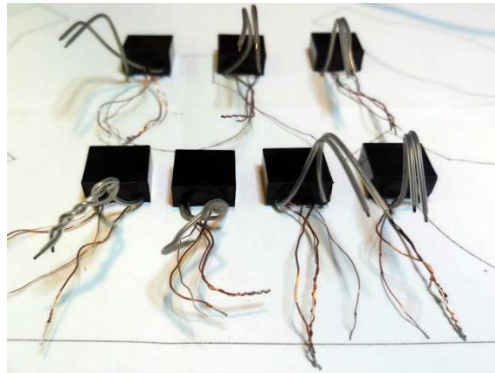
**Ana Devre Kartı:** İvme/şok algılama sensörü kontrol devre kartını ve ateşleme modülü kontrol devre kartını yöneten mikrodenetleyici, güç regülatörlerini, elektronik aktif/pasif filtre bileşenlerini, ikiz akım mosfetlerini, bildirim ışığı bileşenlerini, bildirim sesi bileşenini ve mikrodenetleyici bataryasını ihtiva eden ana devre kartıdır. Çalışmada kullanılan devre kartı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ana devre kartı

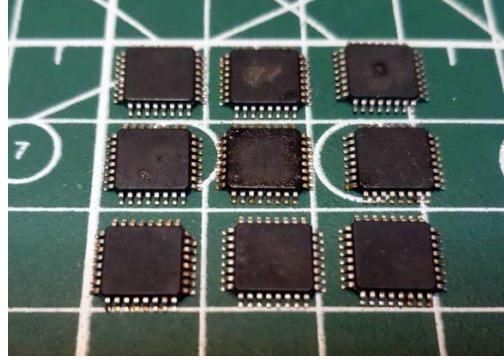
**İvme/Şok Algılama Sensörü Kontrol Devre Kartı:** İvme/Şok algılama sensörünü ve sensörün sağlıklı çalışması için ihtiyaç duyduğu aktif/pasif bileşenleri ihtiva eden devre kartıdır.

**Ark Ateşleme Modülü Kontrol Devre Kartı:** Ark ateşleme modülünün sağlıklı çalışabilmesi için, pasif elektronik bileşenleri ve ark ateşleme bataryasını ihtiva eden devre kartıdır. Çalışmada kullanılan modüller Şekil 2’de verilmiştir.



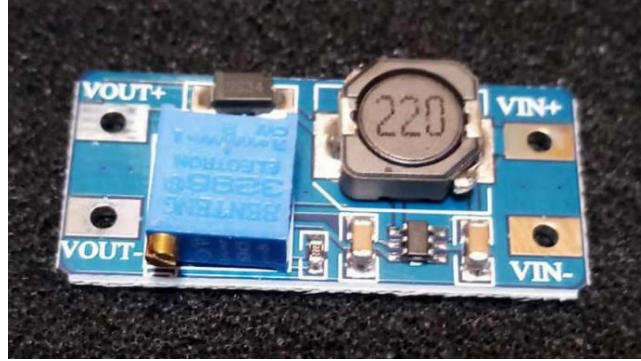
Şekil 2. Ark ateşleme modülleri

**Mikrodenetleyici:** Sistemin sağlıklı ve senkronize çalışabilmesini sağlayabilmek amacıyla, içerisinde sisteme özel olarak üretilmiş ve test edilmiş gömülü sistem yazılımını ihtiva eden ve sisteme bağlı tüm modülleri kontrol eden ana işlem bileşenidir. Bu bileşen Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Mikrodenetleyici bileşeni

**Güç Regülatörleri:** Şekil 4’te sunulan füyve sistemine bağlı tüm aktif bileşenlere stabil enerji gönderilmesinden sorumlu güç düzenleyici bileşenlerdir. Sistem 3.7 ve 5 volt olmak üzere iki farklı doğru akım değeri ile çalışmaktadır.



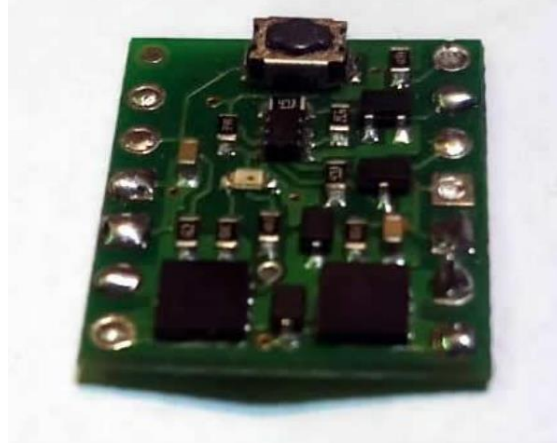
Şekil 4. Güç regülatör bileşeni

**Elektronik Aktif/Pasif Filtre Bileşenleri:** Mikrodenetleyicinin, ivme/şok sensörünün ve ark ateşleme kontrol ünitesinin sağlıklı çalışabilmesini sağlayan bant geçiren ve bant durduran filtre devresinin ana bileşenleridir.

**Statik Elektrik İzolatör Bileşenleri:** Ark ateşleme modülünün çalışması sırasında sensör ve ana kontrol devresinin kilitlenmesini veya kontrol dışı yeniden başlatılmasını (Resetleme) engelleyen elektronik yalıtım bileşenidir.

**Ark Ateşleme Modülü:** El bombasının ihtiva ettiği patlayıcı bloğunun infilakını sağlamakla yükümlü ana bileşendir. Bu bileşen çalışma komutunu Ark Ateşleme kontrol devresinden almaktadır.

**İkiz Akım Mosfetleri:** P Kanal ve N kanal olmak üzere iki mosfet bileşeninden oluşmaktadır. Fünne sisteminin tek bir buton ile aktif/pasif olmasını ve güç tasarrufu amacıyla yazılım komutu ile donanımsal olarak kendisini kapatmasını sağlayan bileşen Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Mosfet devre kartı

**Bildirim Işığı Bileşenleri:** Fünne sisteminin aktif/pasif durumda olduğunun tespiti amacıyla kullanılan led bileşenidir.

**Bildirim Sesi Bileşeni:** Fünne sistemi patlayıcı blok olmadan çalıştırılmak istendiğinde infilakın gerçekleşip gerçekleşmediğini kullanıcıya bildiren buzzer bileşenidir.

**İvme/Şok Algılama Sensörü:** Kullanıcının el bombasını fırlatması anında ve el bombasının hava hariç herhangi bir yüzey ile teması anında oluşan ivmeyi x, y ve z eksenlerinde doğrusal veya açısal olarak ayrı ayrı ölçebilen ana veri sensörüdür.

**Ark Ateşleme Modülü Bataryası:** Fünne sisteminin elektronik bileşenlerinin ark ateşleme modülünün zararlı etkisinden izolasyonunu sağlamak ve ark ateşleme modülünün çok daha güçlü bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla sadece ark ateşleme kontrol devresine bağlı olan bataryadır. 3.7 volt, 400 mAH ve ½ C değerine sahip olan bu batarya güç regülatör bileşenleri tarafından 5 volt değerine yükseltilmektedir.

**Mikrodenetleyici Bataryası:** Ana devre kartı ve ivme/şok algılama sensörü kontrol devre kartına güç sağlamak amacıyla sistemde kullanılan süper kapasitör bileşenidir.

**M67 Savunma Tipi El Bombası Fünne Kasası:** M67 el bombasında standart olarak kullanılan M214 Fünnesi temel alınarak Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünne sisteminin muhafaza kasası yeniden tasarlanmış ve üretimi tamamlanmıştır.

**M67 Savunma Tipi El Bombası Kasası:** Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünne sistemini, patlayıcı bloğu ve şarapnel ceplerini ihtiva eden bomba ana gövdesidir. Çalışma kapsamında M67 El bombası modellenerek üretimi gerçekleştirilmiştir.

**Açma/Kapatma Butonu:** Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünne sisteminin aktif veya pasif duruma geçmesini sağlayan butondur.

Geliştirilen sistemde; yeni nesil fünyenin aktif edilmesi için butona basılması gerekir. Sonrasında sistemin içerisinde bulunan ivme/şok sensörü, kullanıcının el bombası üzerine uyguladığı harekete bağlı gücü, sistem aktif olduğu andan itibaren saniye biriminde zamanı yazılımsal olarak ayarlanabilen bir süre boyunca izleyerek ürettiği verileri mikrodenetleyiciye anlık olarak gönderir. Saniye biriminde zamanı yazılımsal olarak ayarlanabilen bu süre içerisinde el bombası, önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatılmazsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veri doğrultusunda sistem otomatik olarak kapatılmaktadır. Ancak el bombasını önceden belirlenmiş bir ivme eşik değerinin üzerindeki kuvvetle fırlatırsa mikrodenetleyici ivme/şok sensöründen aldığı veriler doğrultusunda saniye temelli yeni bir zaman sayacı başlatır. İptal sayacı olarak isimlendirilen bu sayaç; herhangi bir insanın el bombası kütesine ve şekline sahip bir cisim, el bombaları için güvenli mesafe olarak kabul edilen 30 metre uzaklığa en az kaç saniyede fırlatabildiği verisi kullanılarak oluşturulan bir geri sayım süresidir. El bombası fırlatıldığında iptal sayacı devreye sokulmaktadır. El bombası sayım tamamlanmadan hedeflenen bölge yerine herhangi bir cisme (duvar, ağaç vb.) çarparak yön değiştirirse veya olası bir senaryoda personel el bombasını elinden düşürürse ivme/şok sensörü tarafından el bombasının ivmesindeki bu değişiklik mikrodenetleyiciye iletilmekte ve mikrodenetleyici tarafından sistem kapatılmaktadır. Bu durumdan farklı olarak geri sayım tamamlandığında el bombasının nihai hedefe ulaşmasıyla ark ateşleme modülü aktif hale getirilerek el bombasının patlaması sağlanır.

Geliştirilen sistemin çalışma senaryoları baz alınarak örneklem çalışma grubu olarak M67 el bombası ve M214 fünye türü modelinde kullanılmak üzere ivme/şok sensörleri, mikrodenetleyiciler, regülatör bileşenleri, batarya bileşenleri, ark ateşleme modülü bileşenleri ve üretilen devre kartı bileşenleri tanımlanmıştır. Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünye çalışmasında, araştırma deseni olarak nicel araştırma deseni üst başlığıyla tam deneysel ve tek denekli araştırma deseni kullanılmıştır. Veri toplama yöntemi sürekli, araçla (bilgisayar) ve katılarak yapılan gözlemdir. Bu bağlamda prototipi üretilen atışa hazır ürünler rastgele özelliklere sahip atıcılara verilmiş ve prototip ile araç (bilgisayar) arasında kablosuz veri bağlantısı gerçekleştirilerek atıcıya fırlatma komutu verilmiştir. Eylem sonucunda toplanan nicel veriler ürün geliştirme sürecinde kullanılmıştır.

Fünyenin çalışma anından infilak anına veya infilakı iptal ederek kendini kapatma anına kadar olan süreçte ivme/şok sensörü verileri, mikrodenetleyici içerisinde bulunan gömülü sistem yazılımının sağlıklı ve operasyona uygun şekilde çalışmasını sağlayan değişkenlere ait veriler, el bombasının fırlatılma hızı verisi, el bombasının fırlatılma ivmesi verisi, el bombasının havada geçirdiği mili saniye cinsinden zaman verisi, el bombasının atış profili verisi (eğik atış, dik atış, yatay atış vb.), el bombasının hava hariç herhangi bir yüzeye temas anındaki ivme ve zaman verisi, el bombasının aktif durumda olduğu süre boyunca tespit edilen çevresel elektromanyetik alan kuvvet verisi, el bombasının aktif durumda olduğu süre boyunca tespit edilen iç ve dış sıcaklık verisi ve el bombasının aktif durumda olduğu süre boyunca tespit edilen batarya verileri veri analiz sürecinin amacı olarak tanımlanmıştır.

Fünyenin çalışma anından infilak anına veya infilakı iptal ederek kendini kapatma anına kadar olan süreçte amaçlanan verilerin kablosuz olarak elde edilmesini sağlamak amacıyla Bluetooth, Radyo



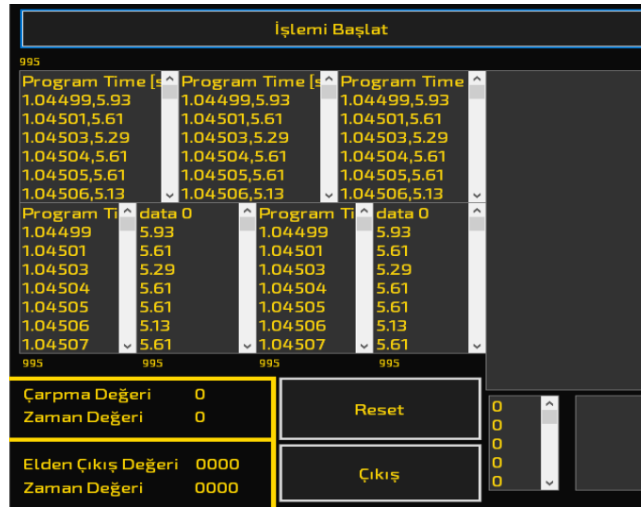
Frekans ve Wi-Fi (Wireless Fidelity) iletişim kanalları ayrı ayrı kullanılmış ve ilgili veriler bilgisayar sisteminde kayıt altına alınmıştır. Amaçlanan verilerin kayıt altına alınması işleminin ardından verilerin değerlendirilme sürecine uygunluğunun tespiti aşamasında proje ekibi tarafından bu konuya özel olarak üretilmiş bir yazılım kullanılmış ve veriler analiz için gerekli temizlenme ve formatlanma sürecine dâhil edilmiştir. Uygunluğu tespit edilen veriler proje ekibi tarafından analiz edilmiş, gömülü sistem algoritmaları ve elektronik tasarım ve değişiklikler, yapılan bu analizler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Yukarıda bahsi geçen ilk dört madde de yapılan işlemler toplam test atış sayısı olan 1075 defa tekrar edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

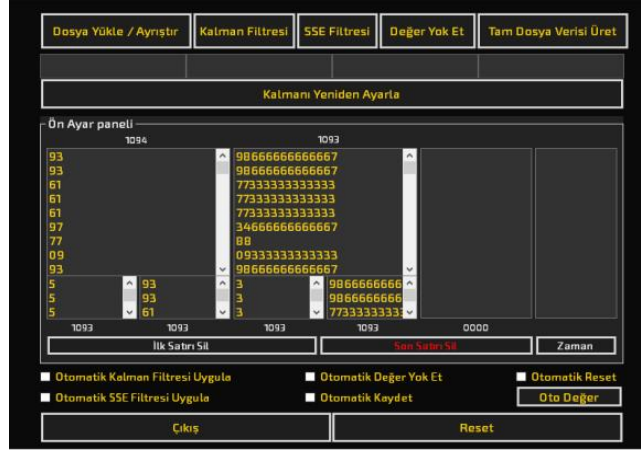
Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünnye projesinde elde edilen veriler, proje ekibi tarafından özel olarak üretilen veri işleme yazılımı tarafından optimize ve analiz edilmiştir. Veri işleme yazılımına ait paneller Şekil 6, 7 ve 8’de verilmiştir.



Şekil 6. Veri işleme yazılımı ana paneli



Şekil 7. Filtre paneli



Şekil 8. Olay tespit paneli

Çalışmanın başlangıcından itibaren geçen altı aylık süreçte analiz edilen veriler, laboratuvar ortamında bulunan ivme/şok sensörü, mikrodenetleyici, regülatör ve ark ateşleme modülünün elektromanyetik girişim (Electromagnetic Interference, EMI) ve elektronik elemanların elektromanyetik uyumluluk (Electromagnetic Compatibility, EMC) seviyelerini kapsamaktadır.

Sonraki altı aylık süreçte mikrodenetleyici ve ark ateşleme modülü bileşeninde, kullanılması planlanan bileşenlerin piyasada stoklarının azalması ve maliyetlerinin artması sebebiyle değişikliğe gidilmiştir. Değiştirilen bileşenlerin tespit ve temin işlemlerinin ardından test süreci tamamlanmıştır. Bu süreçte elektromanyetik girişim (Electromagnetic Interference, EMI), elektronik elemanların elektromanyetik uyumluluk (Electromagnetic Compatibility, EMC), güç üretimi, ark mesafesi, kapasite, senkronizasyon ve stres testleri yapılmıştır. Aynı dönemde projede kullanılması planlanan ivme/şok sensörü bileşeninin performans ve veri istikrar sorunları sebebiyle aynı marka ve model ivme şok sensörünün 10 ve 15G tetik değerli dijital versiyonu tespit ve temin edilmiştir. Temin sürecinde gerek tedarik firması gerek lojistik firması kaynaklı çeşitli engellemeler ile karşılaşılması, ürünün teminini geciktirmiştir. Bu sebeple ilgili sensör yurt içi piyasadan tedarik edilmiştir. İlgili sensör 2023 yılı itibariyle Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından üretilmektedir.

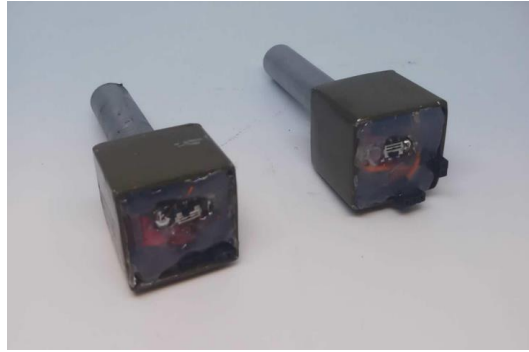
Sistem geliştirme aşamasında ateşleme modülünün planlanan şekilde sisteme dahil edilmesinin ciddi güvenlik sorunlarına sebep olabileceği belirlenmiştir. Bu sebeple ark ateşleme modülünün hem çevresel etkenlerden hem de fünye sisteminden yalıtılmasına yönelik çeşitli girişimler başlatılmıştır. Ayrıca ark ateşleme modülüne enerji sağlayan sistem bataryasının, tüm sistemi çalıştırmak için yeterli olmadığı tespit edilerek sisteme ek bir batarya dahil edilmiştir. Aynı dönemde sipariş edilen 10G ve 15G değerlerine sahip şok sensörlerinin temini tamamlanmış olup ilgili sensörlerin, iç ve dış mekân elektromanyetik girişim (EMI Electromagnetic Interference) ve elektromanyetik uyumluluk (EMCElectromagnetic Compatibility) testleri başarıyla tamamlanmıştır. Temin edilen sensörlerin uygulanan şoku sadece tek yönlü (one-direction) algılamasının sorun teşkil etme potansiyeli gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın başlangıcından itibaren istikrarlı veri üretimi, fiziksel

boyutu ve maliyeti sebebiyle kullanımı tercih edilen sensörlerin, çok eksenli algılama yapabilen aktif türde ve analog çıkışa sahip yeni bir sensör ile değiştirilmesine karar verilmiştir.

Çalışmanın son kısmında ark ateşleme modülünün izolasyon problemi büyük oranda çözülmüş, batarya güç problemi tamamen ortadan kaldırılmış ve alternatif sensör temini tamamlanmıştır. Aynı zaman dilimi içerisinde M67 el bombasının fünye ve gövde imalatı tamamlanmıştır. İmalat sürecinde toplamda 52 tasarım gerçekleştirilmiştir. Yüksek adetli tasarımı tamamlanan M67 el bombası, fiziki olarak hem ergonomi hem de fonksiyon açısından çeşitli test ve geliştirmelere tabi tutulmuştur. Test ve geliştirme sürecinin ardından en uygun fiziki tasarım tespit edilmiş ve üretim süreci standart M67 el bombası gövdesinin geliştirilmesi ile başarıyla tamamlanmıştır. Tamamlanan el bombası Şekil 9’da, testlerde kullanılan örnek füyeler de Şekil 10’da sunulmuştur.



**Şekil 9.** Üretilen füyenin M67 el bombasına entegre edilmiş hali



**Şekil 10.** Testlerde kullanılan örnek fünye

Geliştirme sürecinde yeni temin edilen veya değiştirilen elektronik bileşenleri destekleyen yeni bir gömülü sistem yazılımı üretilmiş ve sistem içerisinde bulunan mikrodenetleyici bileşenine entegre edilmiştir.

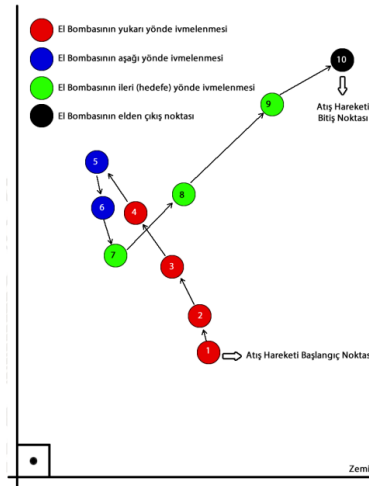
Yeni yazılımın entegrasyonu sonrası bağıl değişkenlerin kalibrasyonuna yönelik test atışları yapılmıştır. Çalışmanın planlama aşamasında ortaya konulan gereksinimler yapılan test atışlarıyla test edilmiş ve yüksek başarımlar sağlanmıştır. Aynı dönem içerisinde “Makine ve Kimya Endüstrisi (MKE) A.Ş.” den talep edilen boş el bombası gövdesinin temin süreci tamamlanmış ve geliştirilen füyenin bağlantı

bölümü ilgili kurum tarafından tahsis edilen MOD46 el bombasına uygun bir şekilde yeniden tasarlanmıştır. MKE tarafından sağlanan boş gövdeler Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. MKE tarafından sağlanan boş gövde

Fünye sisteminde yapılan minör ve majör değişikliklerin ardından 1075 defa tekrarlanan el bombası atış testlerinde üretimi tamamlanan fünyenin çalışma anından elden çıkış anına kadar olan süre zarfında fiziksel ortamda izlediği yollar geliştirilen veri görselleştirme yazılımı kullanılarak analize tabi tutulmuş ve el bombasının istikrarlı olarak ayakta ve ileri doğru atışlarda her zaman aynı atış profilini sergilediği gözlemlenmiştir. Sergilenen profil Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. El bombası eğik atış profili

Bu durum el bombasının atıcının elinden çıkma anının, havada geçirdiği zamanın (TOF/ Time of Flight) ve hedefe temas anının tam olarak tespit edilmesini sağlayarak fünye sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışmasına büyük katkı sağlamıştır.

#### 4. Sonuç

Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde yer alan el bombalarından farklı olarak mesafe kontrolü yeteneği ile zenginleştirilmiş, üstün tahrip algoritması ile infilak optimizasyonu sağlanan, yazılım ve donanım desteği ile istenmeyen durumlarda bombanın infilak etmesinin önüne geçilerek güvenliğin sağlanması amaçlanarak geliştirilen Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünje sistemiyle planlama aşamasında yer alan hedeflere ürünün yetenekleri bakımından tamamen ulaşılmıştır. Ancak planlama aşamasında kullanılması planlanan elektronik bileşenlerde ciddi değişiklikler yapılmış, birçok bileşen alternatifleri ile değiştirilmiş, çalışması öngörülen bileşenlerin saha (kontROLSÜZ ve dış etkenlere açık) ortamında çalışmadığı veya hatalı çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda çalışma, planlama aşamasında sunulan elektronik bileşenlerin kullanımıyla elektronik ateşleme destekli fakat mesafe kontrollü olmayan bir ürün ile sonuçlanacaktır.

Çalışmanın gerçekleştirilme süresi boyunca elektronik bileşenlerde yapılan köklü değişiklikler, tasarımsal iyileştirmeler, yazılımsal geliştirmeler ve sahada yapılan yüksek adetli kalibrasyon test atışları neticesinde tamamlanma süresinin sonunda sunulan hedeflere tamamen ulaşılmıştır. Çalışmada öngörülemeyen en büyük iki sorun ivme/şok sensörü ve batarya güç yetersizliğidir. İvme/şok sensörünün tespiti konusunda, sensörün üretici firmasının piyasaya sunduğu üretimi tamamen kendi kontrolünde olan sensöre ait teknik bilgilerin eksikliği, üçüncü şahıslara satışının gerçekleştirilmesi hususundaki hassasiyet ve isteksizlik, zaman ve kaynak harcayan problem süreçlerine sebebiyet vermiştir. Yazılım kategorisinde üretilen ürünlerin elektronik bileşenlere tam bağımlılığı sebebiyle değiştirilen her bir elektronik bileşen yazılım türünde olan tüm ürünlerin değiştirilmesine ve yeniden üretilmesine neden olmuştur. Elektronik bileşen kaynaklı bu durum, planlanan tamamlanma süresinin uzamasıyla birlikte bütçenin aşılmasına sebep olmuştur.

Çalışmada öngörülemeyen diğer bir sorun ise bataryanın güç yetersizliği problemidir. Üretimi tamamlanan ürün tamamen elektronik olduğu için elektrik enerjisine tam bağımlı bir şekilde çalışmaktadır. Bu durum sistemde kullanılması planlanan bataryanın güç kapasitesini sistem için yetersiz hale getirmiş ve ilk etapta çoğu elektronik bileşenin kararsız çalışmasına sebep olmuştur. Fünje sisteminin fiziksel boyut bakımından oldukça küçük bir hacim kaplaması sebebiyle daha güçlü bir batarya sistem içerisinde kullanılamamış bunun yerine süper kapasitör ile soruna alternatif bir çözüm getirilmiştir. Ayrıca üretimi tamamlanan fünje, Türkiye Cumhuriyeti Millî Savunma Bakanlığında talep ve temin edilen MOD46 savunma tipi el bombalarının fünje dış sistemine tam uyum sağlamamıştır. Bunun sebebi MOD46 el bombalarının temin sürecinde ki yaşanan gecikmedir. Üretimi tamamlanan fünje ürününün mevcut dış yapısı 0.3 mm kalınlaştırılarak MOD46 el bombası dış sistemine tam uyum sağlayabilmektedir.

Mesafe Kontrol ve Elektronik Ateşleme Destekli Fünje ile sunulan hedefler konusunda tam başarı sağlayarak yeni nesil bir el bombası fünjesi ürünü ile tamamlanmıştır. M67 parça tesirli savunma tipi el bombası gövdesine birebir uyum sağlayan yeni nesil fünje ürünü için gerçekleştirilen tüm testlerden başarıyla geçmiş ve Türk Silahlı Kuvvetlerinin mühimmat standartlarına uygun hale gelmek üzere

mühimmat konusunda etkin ve yetkin kişi, kurum ve kuruluşlara sunuma hazır halde beklemektedir. Üretilen fûnye sisteminin araştırma-geliştirme faaliyetinin devamı neticesinde söz konusu el bombası fûnyesinin sadece cephe hattında değil aynı zamanda meskûn mahalde de kullanılabilir hale getirilmesi mümkün görülmektedir. El bombasının sunuma hazır hali Şekil 13'te sunulmuştur.



**Şekil 13.** El bombasının sunuma hazır hali

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP, Proje Numarası: 10189) tarafından desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

Ahrari A., Atai AA. Grenade explosion method—a novel tool for optimization of multimodal functions. *Applied Soft Computing* 2010; 10(4): 1132-1140.

Harvey AD. The hand grenade in the first world war. *The RUSI Journal* 1993; 138(1): 44-47.

Has B., Çınar S. Türkiye'de askeri harcamalar ve ekonomik büyüme: eşbütünleşme ve nedensellik analizi. *Avrupa Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 2022; 9(2): 256-270.

- Henry C., Elder JH, Martin E. Electronically activated hand grenade. United States Patent Application Publication 2017; US 0234666 A1.
- Hogg IV. Ammunition: Small arms, grenades and projected munitions. Greenhill Books, London, United Kingdom; 1998.
- Karadağ T., Dayıoğlu H. Askeri birliklerde meydana gelen iş kazalarının ay, yıl, mevsim, coğrafi bölgesi açısında kıyaslanması. Assam 2022; 9(20): 35-48.
- Lee HM., Chen WC. A Kinematic analysis of grenade throwing. Journal Of Medical Sciences-Taipei 2004; 24(5): 243-248.
- Mei Z., Mei C., Tao Y., Yao L. Study of risk factors, organization method, and risk assessment in troops' live hand grenade training. In International Conference on Man-Machine-Environment System Engineering 2016; 481-487, Springer, Singapore.
- Pachpore P., Arora S., Sharma, P. A System of automated hand grenade with remote detonation and human sensor based detonation capability. QuickCompany, 44/2021, Application ID:202111048551.
- Rottman GL. The hand grenade. Bloomsbury Publishing, London, United Kingdom; 2015.
- Sakarya E., Alkan A. Savunma sanayiinde kullanılabilecek kamikaze iha uygulaması. Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi 2021; 2(1): 24-28.
- Soto G., Calvin C., Haddon M., Shultz J. Underwater grenade. United States Patent Application Publication 2009; US 2009/0260534 A1.
- The World Bank. Military expenditure. [https://data.worldbank.org/indicator/MS.MIL.XPND.CD?end=2020&locations=IN-CN-IL-FR-SA-RU-DE&name\\_desc=true&start=2000](https://data.worldbank.org/indicator/MS.MIL.XPND.CD?end=2020&locations=IN-CN-IL-FR-SA-RU-DE&name_desc=true&start=2000). 27 Eylül 2022.
- Yang D., Ma Y., Zhao F. Layout and test of stun grenade of a certain mode. In Journal of Physics: Conference Series 2020; 1578(1): 012168.