



Yangın Söndürme İçin Alternatif Bir Tasarım: Akıllı Yangın Söndürme Bombası

Murat Toptaş^{1*}, Mehmet Yılmaz²

ÖZ

Yangınlar başta ormanlar olmak üzere, gaz ve petrol nakil hatları, kimyasal madde ve mühimmat depolama alanları gibi birçok noktada ortaya çıkabilmektedir. Bu durumlarla mücadelede günümüzde kullanılmakta olan karadan ve havadan yangınlarla mücadele yöntemleri çoğu durumda etkisiz kalmaktadır. Bu çalışmada havadan yangınlarla mücadele operasyonlarında kullanılacak bir ürünün tasarımı önerilmiştir. Akıllı Yangın Söndürme Bombası olarak adlandırılan bu tasarım yeni ve etkili bir üründür. Bu ürün NATO üyesi ülkelerin envanterlerinde bulunan bir harp mühimmatı türü olan MK-82 (havadan yere genel maksat bombası) tip mühimmatın tasarımına benzer bir tasarıma sahiptir. Havacılık ve yangın söndürme endüstrisine kazandırılması amaçlanan akıllı yangın söndürme bombasının mesken alanları dışındaki açık saha yangınlarında etkin bir şekilde kullanılması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın söndürme, yangın söndürme bombası, akıllı yangın söndürme mühimmatı, havadan yangınlarla mücadele

An Alternative Design for Fire Extinguishing: Smart Fire Extinguishing Bomb

ABSTRACT

Fires can occur at many points such as gas and oil transmission lines, chemical substance and ammunition storage areas, especially in forests. The land and aerial firefighting methods, which are used today in combating these situations, are ineffective in most cases. In this study, the design of a product that can be used in aerial firefighting operations is proposed. This design, called Smart Fire Extinguisher, is a new and effective product. This product has a design similar to the MK-82 (air-to-ground general purpose grenade) type ammunition, a war ammunition type found in the inventory of NATO member countries. It is expected that the smart firefighting bomb, which is intended to be brought to the aviation and firefighting industry, will be used effectively in open field fires outside of residential areas.

Keywords: Fire extinguishing, fire extinguishing bomb, smart fire extinguishing ammunition, aerial fire fighting

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 22.04.2021

Kabul/Accepted : 31.08.2021

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Battalgazi, Malatya
murat.toptas@inonu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9368-5675

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Battalgazi, Malatya,
m.yilmaz@inonu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5025-1842



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Aerial firefighting methods are complementary to land firefighting methods. In this method, extinguishing agents such as water, foam and soil are left on fires from an air vehicle. However, the the right amount of extinguishing material does not reach its target because of the air resistance and airflows caused by the heated air, it flows caused by the heated air. This study aims to solve this problem and bring a new product to the firefighting industry. The designed and developed product was named as smart fire extinguishing bomb.

Objectives

The idea of a fire extinguishing bomb emerged as a result of the necessity of a product that would strengthen the methods of air firefighting and significantly increase the effectiveness of this method. It has been decided that the requirements and design criteria of the product are as follows: (a) The product to be designed should eliminate some design and capacity deficiencies of similar products that have emerged in this field before it and serve the same purpose and should be able to meet the needs in a significant amount. (b) The product will be used in fires that occur at points such as forest, oil and gas transmission lines, ammunition and chemical storage areas that occur in open areas other than residential areas. (c) In the design of the product, the products previously known in the firefighting sector and used in aviation should be taken as a reference, that is, the product should have certain standards accepted in the aviation and firefighting industry. (d) The product should contain an extinguishing agent in its body and, if possible, the extinguishing agent should also have a cooling feature. In addition, this substance should not have any toxicity that may harm living health and the environment. (e) The product should be able to work with new types of extinguishing chemicals that may arise in the future in the fire extinguishing sector. (f) The product must have an aerodynamic structure that can be thrown from aircraft and must be able to move to its target quickly and unguided (by the free fall method). (g) The design of the product should not necessitate any significant modification to the aircraft for its installation on or in aircraft. (h) The product must have a construction with strength values that can safely transfer the extinguishing material contained in it up to the fire point in all weather conditions. (i) It should include the design of a simple mechanism that will distribute the extinguishing material to the environment in a fast and accurate amount. (j) It should be used separately for forest fires both at an appropriate point on the flames and for fires continuing on the ground. (k) In order not to cause any possible accidents, the product should have some automatic control mechanisms both during its presence in the aircraft and after it is released while moving towards the point of duty. (l) Upon leaving the aircraft, the product should be able to fulfill its mission autonomously for the entire time until it fulfills its mission. (m) The cost of the product must be competitive compared to other quenching methods. (n) The product must be environmentally friendly.

Methods

The product was named as smart fire extinguishing bomb, taking into account a number of electronic equipment and software that makes the product autonomous. The smart fire extinguishing bomb consists of the following parts: (a) bomb body, (b) wings, (c) nose cone, (d) extinguishing agent, (e) explosive substance, (f) fuze, (g) electronic equipment, and (h) software. In order to realize the design goals and requirements, the product was designed with the dimensions of MK-82 air-to-ground general-purpose NATO ammunition. To design and create the three dimensional product, a computer-aided design software (Catia V.5) was used. Structural, flow and explosion analyses of the product were performed with ANSYS software. The software of the product was written in the C programming language.

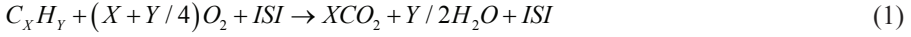
Results and Discussion

Smart fire extinguishing bomb is a new product for both the firefighting industry and the aviation industry. If the product goes into mass production, a combat tool that will make significant contributions in fighting fires will be obtained. Extinguisher-coolant can be left on the fire in the right amount, so that while the fires are extinguished, there will be no damage to the environment due to the use of excessive chemicals. In addition, considering both the efficiency of the product and the speed factors of the aircraft, fires can be controlled without spreading over large areas as before.

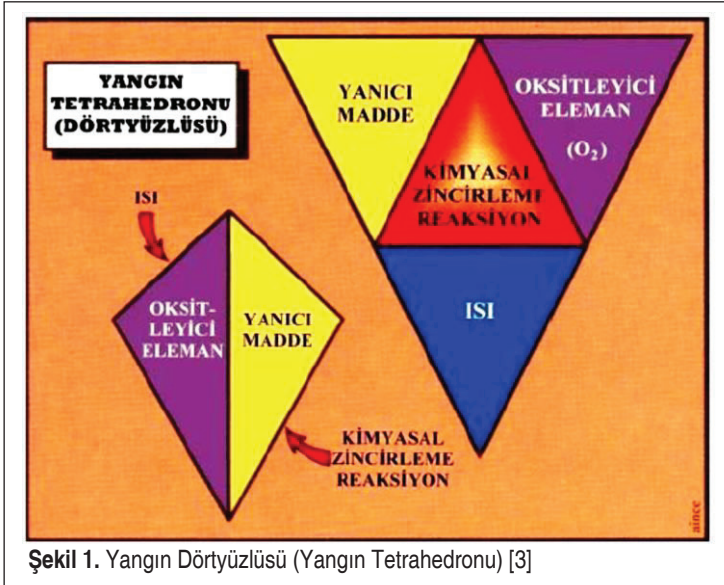
1. GİRİŞ

Yanma, yanıcı maddelerin ateşle tutuşturulmasından sonra oksijenle beslenerek hızlı bir şekilde reaksiyona girmesi ile yanıcı madde içinde depolanmış bulunan enerjinin, ısı enerjisi biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir işlemdir. Bu işlem sırasında çıkan enerji, genellikle sıcak gazlar şeklinde olmasına rağmen, çok küçük miktarlarda elektromanyetik (ışık), elektrik (serbest iyonlar ve elektronlar) ve mekanik (ses) enerjiler şeklinde de ortaya çıkmaktadır [1]. Yüksek sıcaklığa sebep olan yangın ise katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması olayıdır [2]. Yangın, hukuki olarak “Tehlike doğuran, söndürülemediği sürece mala, cana ve sağlığa zarar meydana getiren kontrol dışı yanma olayıdır” şeklinde tanımlanmaktadır [3].

Yangın, ekzotermik kimyasal yanma sürecinde bir malzemenin hızlı oksitlenmesidir, ışık, ısı ve farklı reaksiyon ürünleri açığa çıkarır [3]:



Reaksiyon tutuşma sıcaklığına kadar endotermik safhadadır, bu noktadan sonra ekzotermiktir. Isı kaynağı çekilse bile reaksiyon kendini besler [3]. Alev, yangının gözlenebilir kısmıdır. Yangının meydana gelebilmesi için dört unsurun bir arada olması gerekmektedir. Bu unsurlar yanıcı madde, oksitleyici eleman, ısı ve kimyasal zincir reaksiyonudur. Unsurlardan herhangi birisinin bulunmaması veya yeterli miktarda olmaması halinde yanma olayı meydana gelmez. Buna yangın dörtyüzlüsü (yangın tetrahedronu) adı verilmektedir (Şekil 1). Yerinde ve doğru oranlarda tüm bu unsurlardan yoksun bırakılırsa yangın var olamaz.



Şekil 1. Yangın Dörtyüzlüsü (Yangın Tetrahedronu) [3]

**Tablo 1.** Yangının Türleri [3, 4]

Yangın Sınıfı	Tipi
A Sınıfı	Normal olarak kor şeklinde yanan genellikle organik yapıdaki katı madde yangınlarını kapsar (Ahşap, Kâğıt, Plastik).
B Sınıfı	Sıvı veya sıvılaşabilen katı madde yangınlarını kapsar (benzin, tiner, yağ).
C Sınıfı	Gaz yangınlarını kapsar (metan, propan, bütan, LPG, asetilen, havagazı, doğalgaz vb.).
D Sınıfı	Metal yangınlarını kapsar (lityum, magnezyum, titanyum vb.).
E Sınıfı	Enerji verilmiş elektrik kabloları veya ekipmanı yangınlarını (akım taşıyan kablo, elektrik motoru, bilgisayarlar ve elektronik cihazlar) kapsar.
F Sınıfı	Bitkisel ve hayvansal pişirme yağlarının yangınlarını kapsar (yemeklik yağ, gres).

Yangının türü yanmakta olan maddeye göre değişir. A, B, C, D, E ve F sınıfı yangınlar olmak üzere altı sınıf yangın bulunmaktadır (Tablo 1).

Yangınlar başta ormanlar olmak üzere, gaz ve petrol nakil hatları, kimyasal madde ve mühimmat depolama alanları gibi birçok noktada ortaya çıkabilmekte ve çoğu durumda geride ciddi hasarlar bırakmaktadır. Bu durumlarla mücadelede günümüzde kullanılmakta olan karadan ve havadan yangınlarla mücadele yöntemleri çoğu durumda etkisiz kalmaktadır. Bu çalışmada havadan yangınlarla mücadele amacıyla kullanılabilir yeni bir ürünün tasarım önerilmiştir. Akıllı Yangın Söndürme Bombası (AYSB) olarak adlandırılan bu tasarım yangınlarla havadan mücadele yöntemlerinde kullanılabilir yeni ve etkili bir üründür. Bu ürün NATO üyesi ülkelerin envanterinde bulunan bir harp mühimmatı olan MK-82 (havadan yere genel maksat bombası) tip mühimmatın tasarımına benzer tasarıma sahiptir. Tasarım ölçülerinin var olan bir harp mühimmatına benzemesi onu hava araçları üzerinde herhangi bir iyileştirme veya değiştirme yapmadan doğrudan hava aracına yükleme imkânı vermektedir. Havacılık ve yangın söndürme endüstrisine kazandırılması amaçlanan akıllı yangın söndürme bombasının mesken alanları dışındaki petrokimya tesisleri, petrol ve gaz iletim hatları ve mühimmat depoları gibi açık saha yangınlarında etkin bir şekilde kullanılması beklenmektedir.

2. YANGINLARLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Günümüzde yangınlarla mücadelede karadan ve havadan müdahale yöntemleri kullanılmaktadır. Bu iki yöntem birbirlerinin alternatifi olmayıp her biri diğerinin etkinliğini artıran, eksikliklerini tamamlayan ve yangınların zamanında söndürülebilmesi için ortaya çıkmış müdahale yöntemleridir. Karadan müdahale yöntemlerinde iş makineleri olan kamyon, pikap, arazöz benzeri motorlu araçların gücünden yararlanılmaktadır [3]. Karadan müdahale yöntemi coğrafi koşullara bağlı olarak yürütülmektedir.

Bu nedenle yangının meydana geldiği ve ulaşılması zor yerlerde bu yöntem yetersiz kalmaktadır.

Havadan müdahale yöntemi ise coğrafi koşullardan bağımsız olarak yangınlara müdahale imkânı sağlamaktadır. Bu müdahale yönteminde kara personelinin nakli yanında söndürücü madde ile yangının bombardımanı da gerçekleştirilebilmektedir. Yukarıdan yapılan bombardımanda hava araçlarından yangın üzerine su, köpük, jel veya yanmayı geciktirici bazı maddeler atılır [5]. Bu söndürücüler genel olarak yangın noktasının 60 m kadar üzerinden bırakılırlar [6]. 60 metreden daha yüksekten bırakılan söndürücü maddeler hava direnci ve yangın üzerinde meydana gelen hava akımları nedeni ile hedefine ulaşamamaktadır. Daha alçaktan yapılacak uçuşlarda ise hava araçlarının yükselen alevlerden etkilenmeleri söz konusudur. Ayrıca alçak uçuşlar sırasında bırakılan söndürücü maddelerin uyguladığı çarpma kuvveti ile bazı ölümlü kazaların yaşandığı da kimi ülkelerin yangın söndürme teşkilatları tarafından rapor edilmiştir. Havadan yangınlara müdahale yöntemlerini güçlendirmek ve bu yöntemin etkinliğini artırmak için bir takım araçlar geliştirilmekte veya mevcut araçlar yangın söndürme faaliyetlerinde kullanılmak üzere modifiye edilmektedir.

2.1 Yangınlarla Havadan Müdahalede Kullanılan Hava Araçları

2.1.1 Yangın Söndürme Uçakları

Uçaklar ilk olarak 1950'li yıllarda Kanada ve ABD'de yangınlarla mücadelede kullanılmaya başlanmış olup bugün tüm dünyada söndürme faaliyetlerinde etkin olarak kullanılmaktadır (Şekil 2). Uçağın hız avantajı, arazi koşullarından bağımsız olması ve tüm yangın alanını yukarıdan gözlemleyebilme yeteneği, bu yangınla mücadele yönteminin kısa sürede başarılı olmasını sağlamıştır.



Şekil 2. Yangın Söndürme Faaliyetinde Kullanılmakta Olan Uçaklar

2.1.2 Yangın Söndürme Helikopterleri

Helikopterler yangın söndürme faaliyetinde kullanılan bir diğer hava aracıdır. Söndürücü madde taşıma şekillerine göre mücadelede kullanılan helikopterler iki çeşittir (Şekil 3). İlkinde helikopter içerisinde söndürücü maddenin taşındığı bir tank mevcuttur ve genellikle buna helitank adı verilir. Söndürücü madde bu tanka helikopter yerde iken pompalanır veya son yıllarda geliştirilen bir teknik olan pompanın helikopter



üzerinde olduğu ve bir su kaynağı üzerine yaklaşan helikopterin bir hortum vasıtası ile suyu kaynağından vakumlayarak helitankına doldurduğu yöntemdir. Diğer türü ise helikopter içerisinde bir tank yerine helikoptere bağlı ve kova adı verilen büyükçe bir haznenin olduğu durumdur. Helikopter bir su kaynağı üzerinde alçak uçuş yaparak kovayı suya daldırır ve tekrar yükselerek bu suyu yangın bölgesine intikal ettirir.



Şekil 3. Los Angeles İtfaiyesine Ait Sikorsky S-70C Tip Tanklı Bir Helikopter ve Kovalı Helikopterler

Ülkemizde orman yangınlarıyla mücadelede helikopter kullanımı ilk defa 1986 yılında kiralama yöntemi ile olmuştur. 1987 yılında ise 6 adet helikopter satın alınarak 14 pilot ile 7 makinist sözleşmeli olarak istihdam edilmiştir [7].

2.1.3 Yangın Söndürme Dronları

Dron teknolojisinin ortaya çıkması ve gelişimi ile birlikte dronlar trafik, sağlık, askeri ve çeşitli mühendislik alanlarında birçok projede kullanılmaya başlanmıştır. Dronların büyük bir etkiye sahip olabileceği uygulama alanlarından birisinin de yangınla mücadele olduğu vurgulanmış ve dronların yangın söndürme faaliyetlerinde kullanımını etkileyen farklı yönler incelenmiştir. Acil durum yönetim döngüsünün farklı aşamalarında dronların potansiyel kullanımının bir analizi yapılmıştır [8]. Champagnie ve Simonis [9] yangın söndürme topunu tutmak için dört pervaneye bağlı bir kafes ve bir ray içeren yenilikçi bir tasarım ortaya koymuştur. 2020 yılında Çin’de özel sektöre ait bir firma (Ehang) tarafından büyük boyutlarda ve tamamen otonom olarak çalışabilen bir yangın söndürme dronunun (EHang 216F) imalatı gerçekleştirilerek bölgenin itfaiye teşkilatına teslim edilmiştir (Şekil 4). Bu drone 130 km/h hıza ulaşabilmekte ve tam yükte 21 dakika havada kalabilmektedir. Yangın istasyonu çevresinde



Şekil 4. Ehang 216F (Çin Menşeli) Yangın Söndürme Dronu [10]

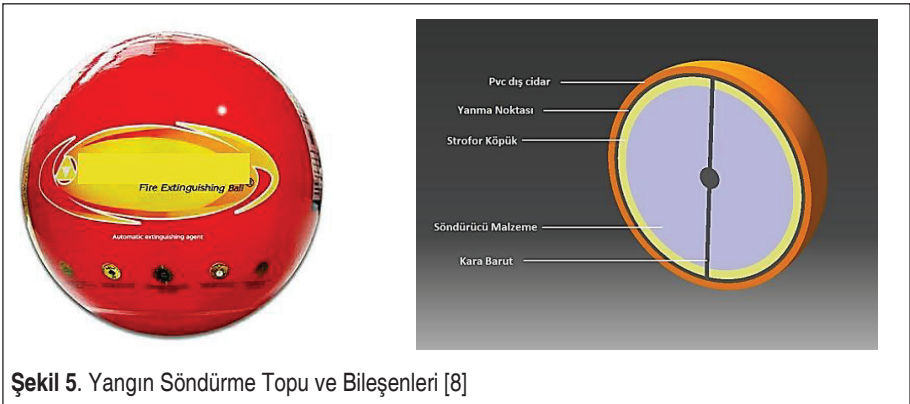
bulunan 5 km çaplı alan içerisinde ortaya çıkması muhtemel tüm yangınlara havadan hızlıca erişerek söndürme görevini yerine getirebilmektedir.

2.2 Havadan Müdahalede Kullanılan Diğer Araçlar

2.2.1 Yangın Söndürme Bombaları (Topları)

İçerisinde söndürücü sıvılar içeren yangın söndürme küreleri 19. yüzyılda Avrupa’da kullanılmıştır. O dönemde üretilen küreler camdan imal edilmişlerdir. Yangın üzerine fırlatılan cam küre kırılır ve söndürücü sıvı yangını sönmeye zorlardı. Daha sonra Alman mühendis Malay Modak [11], geniş doğal alanlara yayılan yangınları kontrol etmek amacıyla sıkıştırılmış karbondioksit ve nitrojenle doldurulmuş ve cam yerine pleksiglastan üretilen kürelerin yanma alanlarına bırakıldığında yangın söndürücü gazlar salgılayarak etkili yangın söndürücüler olarak hizmet edebileceğini öne sürmüştür. Günümüzde ise yangın söndürme topları adı verilen PVC ile sarılmış strofor köpük bir çepere sahip, içerisinde söndürücü madde olarak mono amonyum fosfat ve söndürücü maddeyi dağıtmakla yükümlü bir miktar barut bulunan toplar mevcuttur (Şekil 5). Bu toplar içerisinde genellikle 1 kg kadar söndürücü madde olup topların toplam ağırlıkları 1.5 kg’ın altındadır.

Yangınlara havadan yapılan müdahale yangınların söndürülmesinde karadan yapılan müdahaleye destek olan oldukça önemli bir yöntem olmakla birlikte, söndürücü elemanların yeterli miktarda, doğru noktalara ve güvenli bir mesafeden bırakılması çözülmeyi bekleyen önemli bir sorundur. Bu problemin çözümü amacıyla farklı ülkelerde bir takım çalışmalar yürütülmüştür. Bunlardan biri 2004 yılında Rusya’da geliştirilen ve ASP-500 adı verilen üründür. Bu ürün söndürücü bir maddenin varil benzeri ve polietilenden imal edilmiş silindirik bir yapı içerisinde yangın üzerine bırakılmasını esas almaktadır [12]. Yangın bölgesinde yere çarpan yapı içerisinde bulunan dağıtıcı mekanizma söndürücü malzemenin etrafa saçılmasını sağlamaktadır. Ancak ürünün birçok dezavantajı bulunmaktadır Bunlardan en dikkat çekici olanı sistemin





çalışabilmesi için yere çarpma zorunluluğunun bulunmasıdır. Ağaç benzeri engellerin bulunduğu yangın alanlarında engellere çarpan söndürücü madde yeteri kadar uzağa ulaşamamakta ve etkisini yitirmektedir. Ayrıca özellikle orman yangınlarında alevlerin bir kısmı ağaçların tepe noktalarında bir ağaçtan diğerine atlamaktadır. Buna benzer tasarımsal birçok eksiklik, ürünü, yangın üzerine bırakılan basit söndürücü madde paketlerine dönüştürmüştür.

2.2.2 Yangın Söndürme Roketleri

Yangınlarla havadan mücadele amacıyla geliştirilen bir diğer ürün 2017 yılında Çin’de ortaya çıkmıştır. Ürün esasında itfaiye aracı veya drone üzerinde bulunan kaideye monteli çok namlulu bir roketatardan ateşlenir (Şekil 6). 3.6 kg ağırlığında söndürücü madde ihtiva eden roketler maksimum 300 m ötede bulunan ve en fazla 60 m³ hacme sahip kapalı hacimlerde ortaya çıkan yangınları söndürmek için tasarlanmışlardır [13]. Bu ürün katı yakıtlı bir roket motoruna sahip karadan karaya bir sevk roketi kullanmaktadır. Katı yakıtlı roket motorları ateşlendiklerinde tüm yakıt bitene kadar yanmayı sürdürürler. Yanmakta olan bir roketi yangın bölgesine ateşlemenin oldukça olumsuz neticeleri olabilir. Ayrıca 3.6 kg bir söndürücü maddeyi hedefine sevk etmek için bunun 10 katı kadar ağırlıkta ve ucuz olmayan roket yakıtı kullanılmaktadır. Roket üzerinde hedeflemede kullanılan bir takım lazer sensörler ve tüm mekanizma hesaplandığında 60 m³ bir hacimde meydana gelen bir yangının söndürülmesi için bu ürün oldukça maliyetli bir çözümler sunmaktadır.

Literatür taraması yangın söndürme roketlerine ilişkin birkaç patent alındığını göstermektedir [14-16]. Regan [14] tarafından 2007 yılında “yangın geciktirici akıllı bomba” ismi ile alınan patent, yangın alanındaki mevcut oksijeni absorbe eden kimyasal toprak taşıyan bir ürüne ilişkindir. Ürün bir uçak tarafından bir orman yangını üzerine bırakılır. Daha spesifik olarak buluş, çok sayıda alt mühimmat içeren bir dağıtıcı, füze veya roketten oluşan mühimmat ile ilgilidir. Her bir mühimmat, füyve üzerindeki altimetre aktüatörleri aracılığıyla hedef bölge üzerinde önceden belirlenmiş bir yükseklikte patlatmak üzere çalıştırılır ve her dağıtıcı, mühimmatın coğrafi konumuna göre mühimmat yükünü dağıtmak için tetiklenir. Dodla [15] tarafından 2014 yılında Kanada’da alınan patent “anti yangın füzesi” ismini taşımaktadır. Ürün, alevlerin yayılımını geciktirmek ve yangınları etkili bir şekilde söndürmek amacıyla geliştirilen bir yangınla mücadele cihazıdır. Katı yakıtlı roket motoru taşıyan füzeler hedeflerine bu motorun itkisi ile yaklaşırlar ve genellikle roketlerin taşıdıkları söndürücü kimyasal miktarı çok azdır. 2018 yılında Çin Halk cumhuriyeti BEIJING SHENGTAI FIRE FIGHTING EQUIPMENT CO LTD tarafından uzaktan yangın söndürme sistemi (remote fire extinguishing systems) başlığı ile bir faydalı model alınmıştır [16]. Faydalı model, roket taşıyıcı yükleyici de dâhil olmak üzere uzaktan yangın söndürme sistemlerini açıklar. Katı yakıtlı roket motoru bulunduran roketler çok sayıda yangın söndürme bombasını taşıyan çok namlulu bir roket atardır. Engebeli dağ ormanlarında meydana gelen yangınlar için geliştirilmiştir.



Şekil 6. İtfaiye Aracı Üzerinde Bulunan Kaideye Yüklenmiş Yangın Söndürme Roketleri [13]

3. ALTERNATİF BİR TASARIM: AKILLI YANGIN SÖNDÜRME BOMBASI

Yangın söndürme bombası fikri havadan yangınlara yapılan müdahale yöntemlerini güçlendirecek ve bu yöntemin etkinliğini önemli ölçüde arttıracak bir ürünün gerekliliği neticesinde ortaya çıkmıştır. Ürünün gereklilik ve tasarım kriterlerinin şu şekilde olmasına karar verilmiştir;

- a) Tasarımı yapılacak olan ürün kendinden önce bu alanda ortaya çıkmış olan ve aynı amaca hizmet etmekte olan benzer ürünlerin bir takım tasarım ve kapasite eksikliklerini gidermeli, ihtiyaca önemli miktarda cevap verebilmelidir.
- b) Ürün yerleşim alanları dışındaki açık alanlarda meydana gelen orman, petrol ve gaz nakil hatları, mühimmat ve kimyasal depolama alanları gibi noktalarda ortaya çıkan yangınlarda kullanılacaktır.
- c) Ürünün tasarımında yangın söndürme sektöründe daha önce bilinen ve havacılıkta kullanılan ürünler referans alınmalı yani ürün havacılık ve yangın söndürme sektöründe kabul görmüş belirli standartlara sahip olmalıdır.
- d) Ürün, kendi içerisinde söndürücü madde ihtiva etmeli mümkünse söndürücü maddenin aynı zamanda soğutucu özelliği de bulunmalıdır. Ayrıca bu maddenin canlı sağlığına ve çevreye zarar verebilecek herhangi bir toksisitesi de bulunmamalıdır.
- e) Ürün yangın söndürme sektöründe ileride ortaya çıkabilecek yeni tip söndürücü kimyasallarla da çalışabilmelidir.



- f) Ürün hava araçlarından atılabilir nitelikte bir aerodinamik yapıya sahip olmalı ve hedefine hızlı ve güdümsüz olarak (serbest düşme yöntemi ile) ilerleyebilmelidir.
- g) Ürünün tasarımı onun hava araçları üzerine veya içerisine montajı için hava araçları üzerinde ciddi anlamda bir değişiklik yapılmasına gerek bırakmamalıdır
- h) Ürün, içerisinde barındırdığı söndürücü malzemeyi her tür hava koşulunda yangın noktasına kadar güvenle transfer edebilecek mukavemet değerlerinde bir konstrüksiyona sahip olmalıdır.
- i) Söndürücü malzemeyi ortama hızlı ve doğru miktarda dağıtacak basit bir mekanizmanın tasarımını içermelidir.
- j) Orman yangınlarında hem alevlerin üzerinde uygun bir noktada ve hem de zeminde devam etmekte olan yangınlar için ayrı ayrı kullanılabilir.
- k) Olması muhtemel bir takım kazalara sebebiyet vermemek için ürün gerek hava aracında bulunduğu esnada ve gerekse bırakıldıktan sonra görev noktasına doğru ilerlerken bir takım otomatik denetim mekanizmalarına sahip olmalıdır.
- l) Hava aracından ayrılması akabinde görevini icra edinceye kadar olan tüm zaman boyunca ürün görevini otonom olarak yerine getirebilmelidir.
- m) Ürünün imalatı yapılırken gerek ürünün konstrüksiyonu ve gerekse söndürücü malzeme ve diğer tüm alt sistemlerin imalatında yüksek oranda yerlilik ve geri dönüştürülebilirlik olmalıdır.
- n) Ürünün maliyeti diğer söndürme yöntemlerine kıyasla rekabetçi olabilmelidir.
- o) Ürün çevreci olmalıdır.

4. YANGIN SÖNDÜRME BOMBASININ TASARIMI

Yukarıda sayılan tüm şartları yerine getirebilmesi amacıyla NATO üyesi ülkelerin hava kuvvetlerine ait mühimmat envanterlerinde bulunan ve havadan yere genel maksat bombası olarak isimlendirilmiş olan Mark serisi (MK-82, 83, 84) (Şekil 7) serbest düşüm mühimmatlarının ölçüleri referans alınarak, gerçek harp mühimmatından tamamen farklı ve yangın söndürmede kullanılabilecek yeni bir ürünün tasarımına gidilmiştir.



Şekil 7. Mark Serisi Bir Genel Maksat Mühimmatına Ait Görsel

Ürün sahip olduğu bir takım elektronik ekipman ve ürünü otonom hale getiren yazılım da dikkate alınarak “akıllı yangın söndürme bombası (AYSB)” olarak isimlendirilmiştir. Buna göre AYSB şu kısımlardan meydana gelmektedir:

- a) Bomba gövdesi
- b) Kanatlar
- c) Burun konisi
- d) Söndürücü madde
- e) Patlayıcı madde
- f) Fünye
- g) Elektronik ekipmanlar
- h) Yazılım.

4.1 Bomba Gövdesi

AYSB tasarlanırken ölçülerinin kullanımda olan bir bombadan alınmasının birçok avantajı olmuştur. Bunlardan ilki ürünün boyutlarının hava araçları için uygun olmasıdır. Ayrıca ürünün araca yüklenmesini sağlayan süspansiyon askılarının cinsi, iki askı arasında bırakılması gereken aralık ölçüleri gibi birçok problem tasarım başlamadan önce çözüm bulmuştur. Yine de harp mühimmatının tüm ölçüleri bire bir taklit edilmemiş, ürünün görev amacına uygun olarak bir takım tasarım iyileştirmeleri yapılmıştır. Bunları kısaca şu şekilde özetlemek mümkündür. Öncelikle Mark serisi harp mühimmatlarına ait gövde şarapnel etkisi meydana getirerek hedef bölgede en fazla tahribatı meydana getirmek üzere döküm malzemenen üretilmektedirler. AYSB’de ise böyle bir ihtiyaç ve durum söz konusu değildir. Gövdenin üretimi kolay, ucuz, hızlı ve geri dönüştürülebilir bir termoplastikten yapılmıştır. Gövde, burun ve kuyruk konilerinin bağlandığı ayrıca ürünün hava aracına bağlandığı süspansiyon askılarını da ihtiva eden elemandır. Söndürücü madde ürün gövdesi içerisinde taşınmaktadır ve bu maddenin kolay ve hızlı bir şekilde yangın alanına dağılmasını sağlayacak bir tasarıma sahiptir.

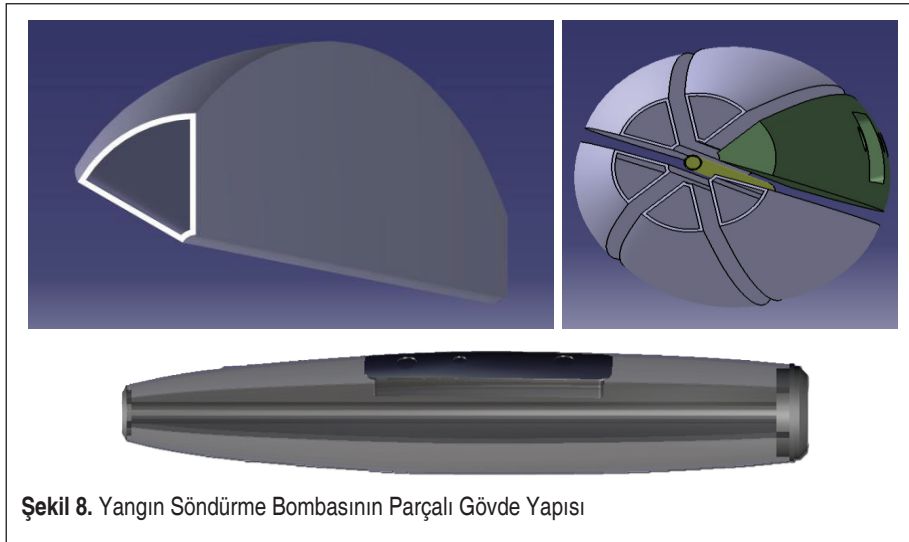
AYSB içerisinde bulunan söndürücü malzeme patlayıcı kullanılarak yangın bölgesine dağıtılmaktadır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen patlama analizleri Ansys 16.0 Explicit modülü ile gerçekleştirilmiştir. Analizler, silindirik formda bir patlayıcı etrafına dilimli ve dilimsiz yapıda iki ayrı gövde için yapılmıştır. Her iki gövde yapısı da söndürücü-soğutucu malzemeyi simüle etmesi maksadı ile kum malzeme kullanılarak yapılmıştır. Patlayıcı cinsi olarak TNT, saçılımı gözlemlenen malzeme kum ve dış cidar S-tip cam elyafından seçilmiştir. Detonasyon noktası kuyruk tarafından (arka kısımdan) verilmiş patlama bitiş süresi olarak 0.1 saniye olarak girilmiştir. Bu analiz-



ler, gövdenin tek parça yerine birden fazla parçadan oluşacak şekilde dilimli bir yapıda olmasının söndürücü malzemenin çok daha etkili olacak bir şablonu takip ederek yangın ortamına saçılacağını göstermiştir. Bu nedenle bombaya ait gövde yapısının aralarında 60'ar derece açı bulunan altı parçanın merkezi bir silindir etrafında dizilimi ile meydana getirilmesinin uygun olacağına karar verilmiştir (Şekil 8). Bundan az olacak segment sayısı istenilen şablonu sağlayamamakta, fazla sayı ise üretim ve çalışma mekanizması açısından bir takım problemlere neden olmaktadır. Parçalardan her biri 1504 mm uzunluğa sahip olup içlerinde söndürücü maddelerin konulmasına imkân sağlayan boşluklara sahiptir. Altı parça bir araya geldiğinde merkezde 32 mm çapında silindirik bir boşluk ortaya çıkmaktadır. Burası patlayıcı madde haznesidir. Altı boşluklu yapıdan beşi söndürücü madde haznesi altıncısı ise AYSB'nin otonom görev yapmasını sağlayan bir takım elektronik donanımların (devre kartları ve batarya gibi) yerleştirildiği haznedir.

4.2 Kanatlar

Harp mühimmatlarının birçoğu üzerinde kanatlar bulunur. Alçak irtifada gerçekleştirilen saldırılarda hava araçları tarafından atılan mühimmatın patlaması neticesinde ortaya çıkan patlayıcı etkisiyle (blast effect) hava araçları kendi attıkları mühimmatın dolayı hasar görebilmektedirler. Bunun önüne geçebilmek için harp mühimmatları üzerine bombanın inişini yavaşlatarak hava aracının patlamadan kaçmasına izin veren geciktiriciler, paraşütler veya açılır yüzgeçler takılır (Şekil 9). Ayrıca mühimmatın sürüklenme kuvvetini azaltmak ve mühimmatın daha istikrarlı bir seyir izleyerek öngörülen yatay atış yörüngesini takip etmesini sağlamak amacıyla bombalar üzeri-

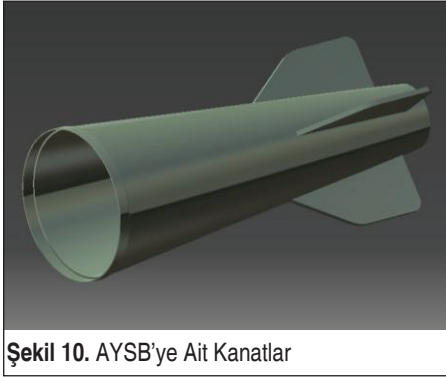


Şekil 8. Yangın Söndürme Bombasının Parçalı Gövde Yapısı



Şekil 9. Paveway II İsimli Mühimmata Ait Yavaşlatma Elemanları [14]

ne kanatlar takılmaktadır. Tüm bu amaçlarla AYSB üzerine de kanatlar eklenmiştir (Şekil 10). 90° ar derece açı ile konumlandırılmış dört adet sacdan imal edilmiş kanat kuyruk kısmında bulunan koni üzerine konumlandırılmışlardır. Kanatlar NACA benzeri herhangi bir profil yapısına sahip değildir.



Şekil 10. AYSB'ye Ait Kanatlar



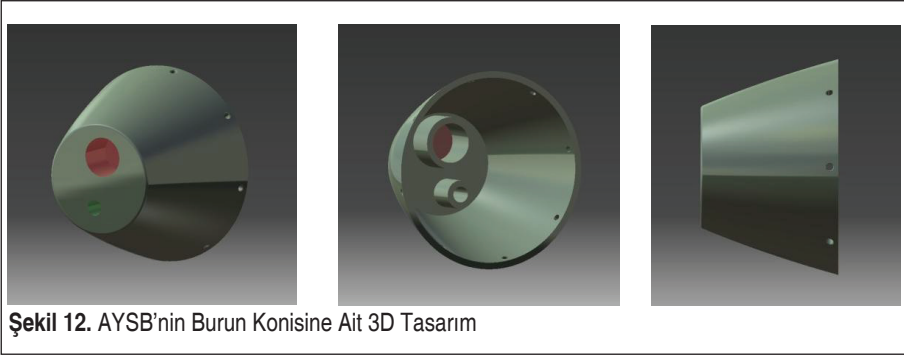
Şekil 11. MK-82'ye Ait Konik Kanat

4.3 Burun Konisi

Bir akışkan içerisinde hareket etmekte olan cisimler akışkanın teması neticesinde hareketlerine zıt yönde bir direnç kuvveti ile karşılaşılır. Bu direnç için sürükleme kuvveti tabiri kullanılır ve sürükleme kuvvetleri akışkan içerisinde hareket etmeye çalışan nesnelerin performanslarını olumsuz yönde etkilerler. Sürükleme kuvveti tüm hava araçları, roketler, ateşli silahlardan çıkan mermi çekirdekleri veya su altında hareket etmekte olan denizaltı benzeri her araca etkir. Çoğu durumda sürükleme kuvvetleri aracın takip etmesi gereken yörüngeden sapmasına neden olur. Sürükleme kuvvetlerinin araçlar üzerindeki etkileri anlaşıldığından beri mühendisler bu olumsuz etkileri kırmak amacıyla aracın akışkan ile ilk temas ettiği noktalar üzerinde bir takım



düzenlemelere gitme gereği duymuşlardır. Burun kısmının koniye yakın geometrilerde tasarlanması da yapılan bu çalışmalardan biridir. Havacılık sektörü için oldukça önemli hale gelen bu iyileştirme faaliyetine burun konisi tasarımı denir. Konu ile ilgili yapılan literatür araştırmaları çok farklı şekillerde burun konisi tiplerinin üretildiğini ve bu konunun oldukça detaylı çalışıldığını göstermektedir. AYSB'ye ait burun konisi kesik tip (truncated nose cone) bir burun konisidir (Şekil 12). Burun konisinin bu şekilde seçilmesinin nedeni ürünün üzerinde bulunması gereken mesafe algılama ve çarpma sensörlerinin bombanın en ön kısmında bir düzlem üzerinde ve dış ortama ile temasta bulunması zorunluluğudur. Burun konisi içerisinde alev algılama, mesafe ölçüm ve çarpma sensörleri bulunmaktadır. AYSB burun konisi fiber katkılı Naylon 12 malzemeden imal edilmiştir.



4.4 Söndürücü - Soğutucu Malzeme

AYSB içerisinde üretimi ülkemizde yapılmakta olan, bor minerali katkılı ve toksisitesi olmayan toz formda bir kimyasal bulunur (Tablo 2). Bu kimyasal madde sektörde bilinen diğer yangın söndürücülerden farklı olarak soğutma görevi de görmektedir. Bu maddenin orman yangınlarında kullanılan ve toz formda olan tipine ait testlerde malzemenin üzerine atıldığı alevleri söndürmesinin akabinde yanan yüzeyin sıcaklığını çok kısa bir zaman aralığında (10 saniye gibi) 450 °C'den oda sıcaklıklarına kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu kimyasal madde yerli ve özel bir şirket tarafından üretilmiş patentli bir üründür. Bu ürün şirkete ait test laboratuvarlarında Ekim 2018 ve Ocak 2019 yıllarında test edilerek sonuçlar görsel olarak kayıt altına alınmıştır [18]. Yangınlarla mücadelede söndürülmüş yangının soğutulmaması neticesinde tekrar alev alma ve yangının devam ettiği durumlar göz önüne alındığında AYSB'nin söndürücü maddeye bağlı olarak sahip olacağı bu özelliğin önemi büyüktür. Tek seferde yangını söndürerek aynı zamanda soğutma faaliyetini de tamamlayabilmek birçok açıdan yangınlarla mücadelede belki de şu an için ulaşılabilecek en iyi noktadır. Ürünün farklı yangın tipleri için (kimyasal madde kaynaklı ve metal yangınları gibi) olanları da ülkemizde üretimde olup AYSB içerisinde aynı şekilde kullanılabilir.

Tablo 2. Söndürücü – Soğutucu Malzemenin Bileşim İçeriği [18]

Bileşen	CAS No	Konsantrasyon
Borakspendahidrat	12179-04-3	%10-20
Silikat	112926-00-8	< %2

4.5 Patlayıcı Madde

AYSB dilimleri gövdeyi oluşturmak üzere bir araya getirildiklerinde yapının merkezinde 32 mm çapında ve gövde boyunca uzanan bir silindirik boşluk ortaya çıkmaktadır. Bu boşluk söndürücü-soğutucu maddenin bomba gövdesini yırtarak dışarı çıkmasını sağlayacak olan patlayıcı maddenin bulunduğu haznedir. Bilgisayar ortamında yapılan sanal patlama analizleri neticesinde patlayıcı tipi olarak dinamit seçilmiştir. Patlayıcı maddeye ait teknik özellikler Tablo 3’te verilmiştir.

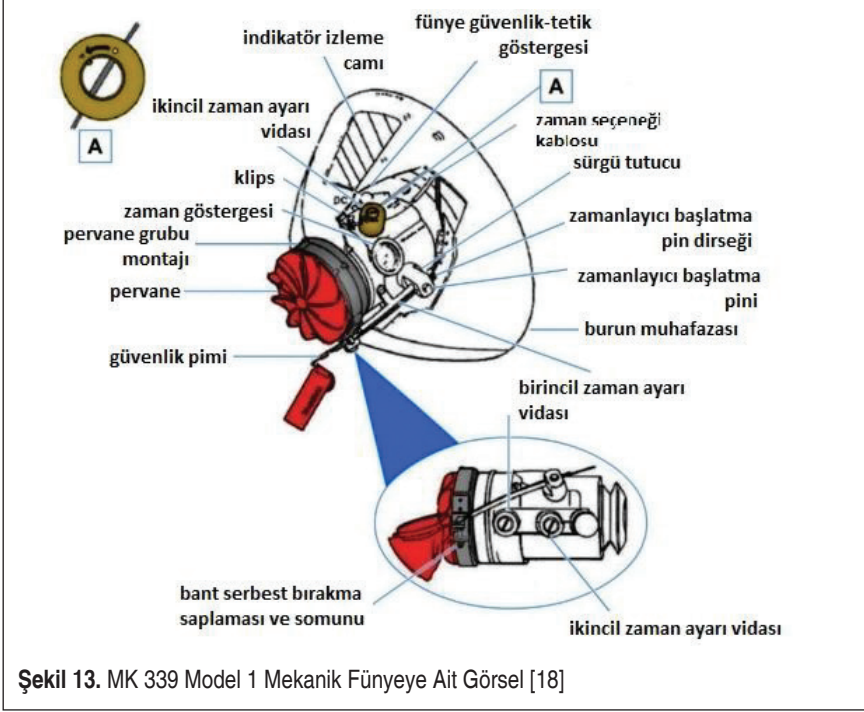
Tablo 3. Dinamite ait 40 mm Çelik Boru İçindeki Test Sonuçları [16]

Detonasyon hızı (m/s)	6000
Enerji (MJ/kg)	4,5
Suya Direnç	Kuvvetli
Yoğunluk (g/)	1.15-1.25
Gaz hacmi (L)	917

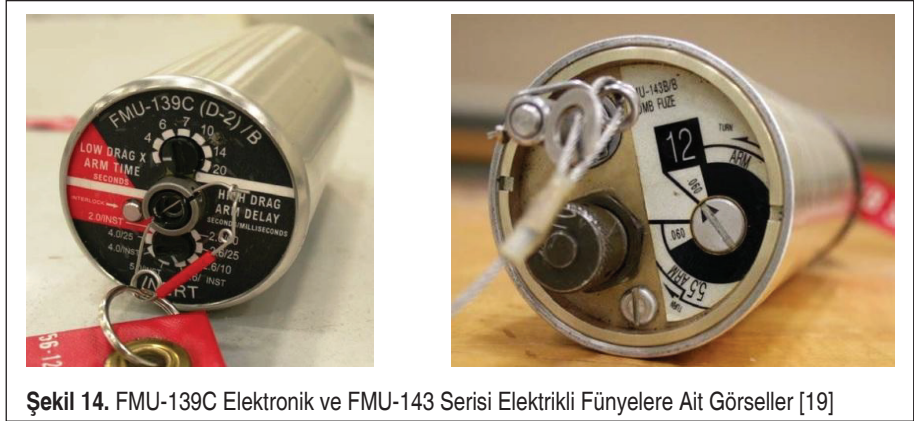
4.6 Fünye

Bombalar bir fünye ile patlatılırlar. Fünyeler belirli koşullar sağlandığında kısa bir zaman aralığı içerisinde (gecikme milisaniyelerle ifade edilir) bombanın patlamasını sağlayacak enerjiyi ortaya çıkaran elemanlardır. Fünye içerisinde patlama zincir reaksiyonunu başlatıcı hassas patlayıcı maddeler (PETN, RDX, Pentolite gibi) bulunur [17]. Fünyeler genel olarak mekanik ve elektrikli fünyeler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Mekanik fünyeler bir tel yardımı ile tetiklenirler. Tel çoğunlukla kurulu bir mekanizmayı serbest bırakmak için kullanılır. Serbest kalan mekanizma dönerek bir kinetik enerji üretir ve bu sayede fünye tetiklenmiş olur (Şekil 13).

Elektrikli fünyeler de mekanik fünyelere benzer birçok eleman barındırır. Ancak elektrikli fünyelerde tetikleme işi bir elektrik sinyali veya veri gönderimi vasıtasıyla olmaktadır. Hava araçlarından atılan mühimmatlar için bu durum, güvenlik gerekçeleri nedeniyle mühimmatın hava aracından ayrıldığı anda gerçekleşir. Günümüzde kullanılmakta olan modern fünyelere aslında birer elektronik ekipman demek uygun



olur. AYSB'ye ait patlayıcı madde de FMU-139C tip elektronik fünyeye benzer elektronik bir elemanla patlatılacaktır (Şekil 14).



4.7 Elektronik Donanım

AYSB'nin görevini icra edebilmesi için bombanın yüklü olduğu hava aracından ayrıldığı, anlık ivmesini, açılma hızını, hedef bölgedeki alevleri, yere yaklaştığında yer

ile arasında kalan mesafeyi, ayrıca zemine temas ettiğini (çarpma) algılayabilmesi gerekir. Bu amaçla AYSB üzerinde altı eksen ivme ve gyro sensörleri, çarpma ve alev algılama benzeri bir takım sensörler bulunur. Sensörlerden gelen verilerin işlendiği bir algoritmanın olduğu denetleyici bir kart da AYSB üzerinde mevcuttur. Denetleyici kart ve sensörlerin güç gereksinimi 12V 1.3A bir bataryadan karşılanmaktadır.

4.8 Yazılım

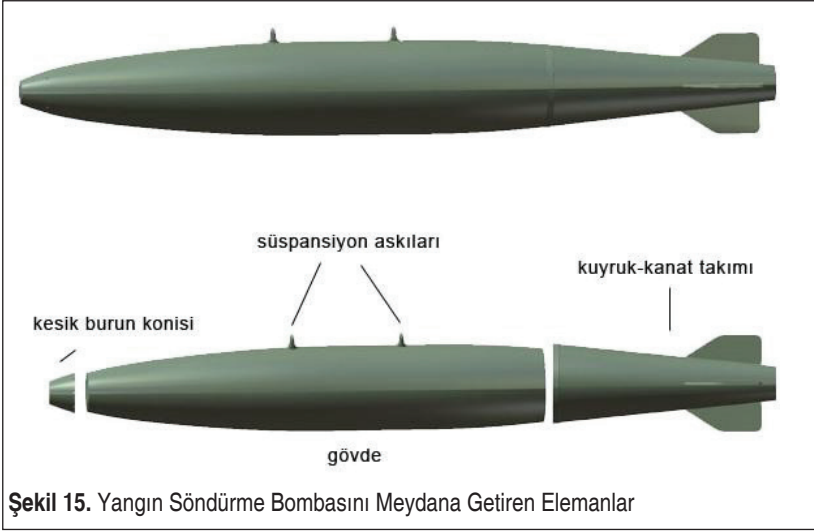
AYSB'nin görevini tam anlamıyla icra edebilmesi için bir takım otonom kararlar alabilmesi şarttır. AYSB bu kararları alırken sensörlerinden almış olduğu verileri hızlı ve doğru bir biçimde yorumlayan bir yazılım algoritmasına başvurur. Bu yazılım C programlama dili ile yazılmıştır. Algoritma kısaca şu şekilde çalışır;

- a) Öncelikle pilot tarafından gelen sinyale bağlı olarak AYSB'ler yukarı bir noktada mı yoksa zemine çarparak mı patlayacak bu belirlenir. Yani bombaları görev türüne göre işaretlenir.
- b) AYSB'nin hava aracından ayrılıp ayrılmadığı denetlenir.
- c) Hava aracından ayrıldığı onaylanan bombanın kısa bir zaman sonra sensörleri aktif hale gelir ve denetçi kart bu sensörlerden gelen verileri kısa zaman aralıklarında yorumlar. Böylece bombanın hızı, açısı ve yangın bölgesine olan mesafesi hakkında bilgi edinilir.
- d) Yukarıda patlatılacak bombalar için alev sensörleri ve mesafe sensörlerine ait veriler yorumlanır.
- e) Zeminde patlayacaklar bombalar için çarpma ve mesafe sensörlerinden gelen sinyale bakılır.
- f) Uygun görülen noktada veya çarpmaya bağlı olarak gelen sinyal ile elektronik fünye aktif hale getirilir ve tetik sinyali gönderilerek mühimmat patlatılır.

AYSB tasarımının geliştirilmesi amacıyla çeşitli teorik/sayısal çalışmalar yapmakta-
yız. Bu kapsamda insansız bir hava aracına yüklü AYSB'nin, araca ait maksimum hız koşullarında ortaya çıkaracağı sürüklenme katsayısının tespiti, AYSB'nin gövdesi üzerinde ortaya çıkacak basınç ve hız profillerinin belirlenerek görselleştirilmesi amaçlarıyla sayısal çalışmalar yapılmış ve sonuçlar [23] nolu kaynakta yayınlanmıştır. Ayrıca farklı burun konisi tasarımlarının akıllı yangın söndürme mühimmatının yörüngesi ve vuruş açısı üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçlar [24] nolu kaynakta yayınlanmıştır.

5. YANGIN SÖNDÜRME BOMBASININ İMALATI

Yangın söndürme bombasını meydana getiren elemanlar Şekil 15'de gösterilmiştir.



Şekil 15. Yangın Söndürme Bombasını Meydana Getiren Elemanlar

5.1 Burun Konisinin İmalatı

AYSB'ye ait burun konisinin ilk örnek imalatı döküm polyamidin (kestamid) torna ve freze tezgâhlarında işlenmesi ile elde edilmiştir. Seri üretiminin ise granül polikarbonatın kalıp içerisine enjeksiyon yöntemi ile sıkıştırılmasıyla yapılması düşünülmektedir.

5.2 Gövdenin İmalatı

AYSB gövdesinin de yine burun konisinde olduğu gibi polikarbonat malzemeden yapılması düşünülmektedir. Ancak burada yöntem plastik enjeksiyon yöntemi değil şişirme metodudur. İmalat malzemesi olarak polikarbonatın tercihinde şu hususlar öne çıkmıştır.

- Polikarbonat plastik çok dayanıklı bir malzemedir. Ürünlerin yüksek performanslı olması istenildiğinde tercih edilen bir malzemedir.
- Mükemmel mekanik, fiziksel özellikler ve üstün işlenebilirlik özelliklerine sahiptir.
- Polikarbonat, yüksek darbe direnci sayesinde, güvenilirlik ve yüksek performans sağlar.
- Polikarbonat hafif bir malzeme olduğu için hava araçlarında kullanımı uygundur.
- Polikarbonat plastik mükemmel ısı direnç sağladığından dolayı diğer plastik türlerine nazaran daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilir.

- f) Granül polikarbonatın 2021 yılı itibari ile kilogram fiyatı 2 dolar civarındır. Bombaya ait boş gövde ve burun toplam ağırlığının 20 kg'ı dahi bulmadığı düşünülürse bu ucuz plastik türü enjeksiyon yöntemi ile imal edilecek AYSB'lerin birim maliyetlerini ciddi oranda azaltacaktır.
- g) Polikarbonatdan imal edilen ürünler mekanik veya hammadde olarak %100 geri dönüştürülebilir ve çöp yakma tesislerinde enerji geri kazanımı sağlanabilir.

5.3 Kanat ve Koni İmalatı

Gerek ilk örnek ve gerekse seri üretimde kanat ve bağlı olduğu koni kısmının sac malzemenin şekillendirilmesi ve kanatların bu malzeme üzerine çözülemez bir bağlantı türü olan kaynak yöntemi ile eklenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

5.4 Elemanların Montajı

Burun konisi ve kanat takımı gövdeye vidalar ile bağlanır. Gövdeyi meydana getiren dilimler ise birbirlerine yapıştırıcı malzeme ile bağlanarak akıllı yangın söndürme bombasını oluştururlar.

6. MALİYET VE FAYDA ANALİZİ

Bir adet AYSB'nın üretilmesi ve montajının yapılması için gerekli maliyetler hesaplanmıştır. Çarpma etkisi ile çalışacak AYSB'nın bir adedinin üretimine ait maliyet analizi Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'deki fiyatlar, her ürün için 3 fiyat teklifi alınıp fiyatların ortalaması alınarak elde edilen fiyatları göstermektedir. Maliyet analizinin enflasyon oranından daha az etkilenmesi için fiyatlar \$ cinsinden verilmiştir. Görüldüğü gibi bir adet AYSB'nın perakende fiyatlar ile üretim maliyeti yaklaşık 372 \$'dır.

Diğer taraftan Tepe AYSB'nda alev algılama ve mesafe sensörleri kullanılarak AYSB havada istenilen koordinatta patlatılmaktadır. Tepe AYSB'nda ek olarak alev algılama ve mesafe sensörleri kullanıldığından AYSB'nın maliyeti artmaktadır. Bu sensörlerin maliyetleri göz önüne alındığında Tepe AYSB'nın maliyeti çarpma etkisi ile çalışan AYSB'nın maliyetinden yaklaşık %50 daha fazla çıkmaktadır. Bu durumda bir adet Tepe AYSB için üretim maliyeti yaklaşık 560 \$ olmaktadır.

AYSB'nın maliyeti, hava araçlarından yangın üzerine su, köpük, jel veya yanmayı geciktirici bazı maddelerin atıldığı diğer havadan müdahale yöntemlerinden daha yüksek olmaktadır. İleri ve akıllı teknolojilerin kullanıldığı AYSB'nın maliyetinin diğer klasik yöntemlere göre olan maliyetten daha yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Ancak AYSB'nı diğer havadan müdahale yöntemleri ile karşılaştırırken "maliyeti" ile birlikte "yangın söndürme etkinliği"nin göz önüne alınması ve "fayda analizi"nin yapılması oldukça önemlidir. Aşağıda öz olarak AYSB'na ait fayda analizi verilmiştir:



Tablo 4. Çarpma Etkisi İle Çalışan AYSB'nın Üretiminde Kullanılan Malzemelere Ait Perakende Fiyatlar

No	Malzeme Cinsi	Kullanıldığı Yer / İşlevi	Birimi	Miktarı	Fiyatı (\$)	Tutarı (\$)
1	% 15 cam elyaf takviyeli polikarbonat hammadde	Gövde imalatı	kg	18	2.70	48.60
2	Bor esaslı söndürücü / soğutucu madde	Söndürme / Soğutma	kg	50	1.50	75.00
3	Süspansiyon askısı	Bombayı taşıyan askı	adet	2	2.00	4.00
4	Bağlantı soketleri	Kart, sensörler ve enerji kaynağı arasında	adet	5	1.00	5.00
5	12V 1.3A kuru tip akü	Enerji kaynağı	adet	1	4.25	4.25
6	Mikroişlemci ve kart	Uçuş-görev kontrol	adet	1	41.00	41.00
7	Darbe sensörü	Burun kısmında çarpma algılama	adet	1	14.00	14.00
8	6 eksen ivme ve gyro sensörü (MPU6050)	Bomba ivme ve açış algılama	adet	1	3.00	3.00
9	Dinamit patlayıcı	Söndürücü maddelerin saçılımı	kg	1.8	65.00	117.00
10	Montaj & Üretim maliyeti	Ürünün montajı	adet	1	60.00	60.00
Toplam						371.85

- AYSB, havadan yangınlara müdahalede kullanılmak üzere tasarlanmış inovatif bir üründür. AYSB, karada yangınlara müdahalede kullanılan söndürme tüpleri veya benzeri ürünlerin alternatifi değildir.
- AYSB, hava araçlarından yangın üzerine bırakılan, su, toprak veya fosfat temelli kimyasallar yerine kullanılacaktır. Hava aracının zaten kullanılacağı bu tür operasyonlarda AYSB ile söndürücü/soğutucu madde doğru miktarda, doğru noktalara emniyetli mesafeden atılarak yangınların önüne geçilmiş olacaktır. Böylece AYSB söz konusu maddelerden çok daha etkili bir söndürme ve soğutma sağlayacaktır. Tüm bunlar yangınların oluşturacağı can ve mal kayıpları ile ekolojik zararlar göz önüne alındığında önemli mali kazanımlar sağlayacaktır.
- Mühimmat depoları ve benzeri noktalarda ortaya çıkan yangınlarda şarapnel ve patlama etkisi nedeni ile yangın bölgelerine yaklaşılacaktır. Bu yangın-

larda itfaiyecilerin, kara ve hava araçlarının patlamakta olan mühimmat alanına yangınların söndürülmesi amacıyla gönderilmesi çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Ayrıca hava araçları kırım geçirebilir. Bu durumlarda söndürücü materyalin geleneksel yöntemler ile hava araçları kullanılarak yangın bölgesi üzerine bırakılması mümkün olmadığından söndürücü maddenin güvenli bir mesafeden yangın bölgesine sevk edilmesi gerekir. Günümüzde bu görevi yerine getirebilecek dünyada geliştirilmiş hiçbir yöntem bulunmamaktadır. AYSB, bu tip görevleri ifa etmek amacıyla tasarlanmış inovatif bir üründür. AYSB, yangın bölgesine belirli bir yükseklikten yatay atış hareketi yapacak şekilde güvenli bir mesafeden bırakılmakta, böylece hava aracı patlama ve yangının devam ettiği bölgeye girmeden uzaktan, söndürücü maddeler ile yangını bombardıman etmektedir.

- d) Sınırlarımız dışında ülkemize petrol ve doğalgaz taşıyan nakil hatlarında bir takım teknik nedenler ve/veya sabotaj nedeni ile çıkan yangınlarda ülke itfaiyesinin bölgeye gönderilmesi mümkün değildir. Başka alternatiflerin bulunmadığı bu gibi durumlarda AYSB, yangınları söndürmek amacıyla kullanılabilir. Bu ise önemli lojistik ve mali kazanımlar sağlayabilir.
- e) Sabotaj ile gerçekleştirilen orman yangınları genellikle eş zamanlı olarak ve çoklu noktalarda ortaya çıkmaktadır. Bu durumlarda mevcut söndürme araçları ve insan gücü birden fazla bölgeye dağılarak söndürme güç ve kapasitesinin bölünmesine yol açmakta ve yangını kontrol altına almak zorlaşmaktadır. Bu tür yangınlarda AYSB'leri taşıyan hava araçları arazi şartlarından bağımsız olarak gökyüzünde tüm bölgeyi gözlemleyebilecek ve sabote edilen her noktaya AYSB'lerini atarak etkin bir söndürme faaliyeti gerçekleştirecektir. Böylece sabotaj ile elde edilmesi amaçlanan yangına müdahale etkinliğini azaltma planları devre dışı bırakılacak, can/mal kayıpları engellenecek ve ülkemizin maddi/manevi kaynaklarının heba edilmesi önlenecektir.
- f) Başta orman yangınları olmak üzere, birçok yangın türü artık insansız hava araçları (İHA) ile tespit ve takip edilmektedir. İHA'ların havada kalma süreleri ve uçuş maliyetleri helikopter ve uçak benzeri pilotlu sistemlere göre çok daha avantajlıdır. Bu nedenle AYSB'lerini taşıyacak hava aracı olarak uçaklar yerine İHA'ların kullanılması önemli mali kazanımlar sağlayabilir.
- g) İHA'lar yangınlarla mücadelede tespit, müdahale ve söndürme süresini kısaltmaktadırlar. Orman Genel Müdürlüğü yurt içi imkânlarla üretilen birkaç çeşit İHA'yı envanterine katarak bu amaçla kullanmaya başlamıştır. Bu teknolojinin kullanımı ile birlikte 2003 yılında 40 dakika olan yangına müdahale süresi 2019'da 12 dakikaya kadar indirilebilmiştir [25]. Akıllı yangın söndürme bombaları İHA'lar ile taşınabilir. Bu gerçekleştiğinde yangını tespit eden İHA'lar yangın bölgesine anında müdahale imkânı kazanacaklardır. Yangınların büyümesini



önleyecek bu erken müdahale yangın söndürme faaliyetlerinin maliyetini oldukça azaltacaktır.

7. SONUÇLAR

Akıllı yangın söndürme bombası hem yangın söndürme sektörü ve hemde havacılık sektörü için yeni bir üründür. Ürünün seri üretime geçmesi durumunda yangınlarla mücadelede önemli katkılar sağlayacak bir mücadele aracı elde edilmiş olacaktır. Söndürücü-soğutucu madde doğru miktarlarda yangın üzerine bırakılabilecek böylece yangınlar söndürülürken çevreye fazlaca kimyasal madde kullanımı kaynaklı bir takım zararlar verilmemiş olacaktır. Ayrıca gerek ürünün etkinliği ve gerekse hava araçlarının hız faktörleri göz önüne alındığında yangınlar eskiden olduğu kadar çok büyük alanlara yayılmadan kontrol altına alınabileceklerdir. Benzer bir ürünün dünyada henüz kullanılmıyor olması bu alanda ülkemizi öncü konuma getirecektir. Ülkemize ait olan bu yerli ürünün yurtdışına satışı neticesinde ciddi bir döviz girdisi sağlanacaktır.

Ürünün geliştirilmesi önünde herhangi bir problem bulunmamakla birlikte, gövde malzemesinin farklı seçenekler ile de denenmesi, farklı tip hava araçları için farklı büyüklüklerde ürün tasarımlarının yapılması, söndürücü-soğutucu malzemenin saçılım şablonunun iyileştirilmesi gibi konular, üzerinde daha fazla çalışılması gereken başlıklardır.

TEŞEKKÜR

Bu makalede önerilen tasarım, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı tarafından düzenlenen 2242 Üniversite Öğrencileri Araştırma Proje Yarışmaları'na Savunma, Uzay ve Havacılık kategorisinden katılmış, 17-22 Eylül 2019 tarihleri arasında yapılan Final Yarışması'nda Türkiye İkincilik Ödülü kazanmıştır. Tasarım için Türk Patent ve Marka Kurumu'na patent başvurusu yapılmıştır. Patent başvurusuna desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. **Eyriboyun, M.** 2009. "Yanma ders notları", Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 1-3.
2. **Genç, R., Pekey, H.** 2014. "Endüstriyel Tesislerde Ortaya Çıkabilecek Yangın Risklerinin Bir Değerlendirmesi: Kocaeli Örneği", Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi (EJOIR), Cilt:2 Özel Sayı, 55-66
3. **İnce, A.** 2019. "Yangına Karşı Alınacak Güvenlik Tedbirleri", <http://www.abdurrahmanince.net>, son erişim tarihi. 21.04.2021
4. Ege Linyit İşletmeleri. 2020. "Yangın Güvenliği, Eli Yangın Söndürme Kursu Ders Notu", http://www.eli.gov.tr/depo/yanigin_guvenligi_ders_notlari.pdf, son erişim tarihi 21.04.2021

5. **Alder, R.** (1990). "Fighting Bush fires from the air", Institute of Fire Engineers, Aralık 1990, Adelaide, Avustralya.
6. **Dowling, S.** 2015. "The jaw-dropping missions of firefighting pilots," <https://www.bbc.com/future/article/20150821-the-jaw-dropping-missions-of-fire-fighting-pilots> son erişim tarihi: 22.04.2021
7. **Küçükosmanoğlu, A.** (1993). "Türkiye Orman Yangınlarına Ait Bazı Verilerin Değerlendirilmesi", İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 43, 94.
8. **Radu, V. T.** 2019. "Use of drones for firefighting operations. Master Thesis Report", Aalborg University, Esbjerg, Denmark.
9. **Champagnie, B., Simonis, A.** 2013. "EML 4905 Senior Design Project Prepared in Partial Fulfillment of the Highway Wind Turbines".
10. EHang Company. 2020. "EHang Launches Intelligent Aerial Firefighting Solution", <https://www.ehang.com/news/670.html> son erişim tarihi: 22.04.2021
11. **Arthur H. P.** 2009. "Bombing Forest Fires: A Proposed Technology," Environmental Conservation, Volume 11, Issue 2, Summer 1984, sayfa 183
12. **Korenkov, Vladimir K.** 2004. "ASP-500 Fire-extinguishing Air System", Revue Militaire Suisse, 149, 32.
13. **Lei, Z.** 2017. "Chinese rockets aimed at high-rise fires", https://www.chinadaily.com.cn/china/2017-02/14/content_28190425.htm son erişim tarihi 22.04.2021
14. **Regan, C.** 2007. "Fire Retardent Smart Bombs. United States Patent Application", US 2007/0007021 A1.
15. **Dodla, J. E.** 2014. "Anti-Fire Missile. Canadian Patent Application", CA 2802582 A1 2014/07/10.
16. BEIJING SHENGTAI FIRE FIGHTING EQUIPMENT CO LTD. 2018. "Remote fire extinguishing systems", CN 207101684 U. 2018.03.16.
17. **Monniaux, D.** 2007. "Enhanced GBU-12, and a Laser-Guided Training Round", Paris Havacılık Fuarı, Fransa
18. Demircan Yangın. 2018. "Fireborex çok Amaçlı D tip Kuru Kimyasal Toz MSDS", Demircan Yangın Sistemleri San. Tic. LTD. Şti İzmir, Türkiye.
19. Nitro Teknik Patlayıcı Maddeler San. Tic. A.Ş. 2020. "Teknik Patlayıcı Teknik Patlayıcı Madde Elektronik Kataloğu", <http://www.teknikpatlayici.com.tr/upload/dosya/teknikpatlayici-tr-katalog.pdf> son erişim tarihi 22.04.2021
20. National Park Service. 1999. "Handbook for the Storage, Transportation, and Use of Explosives", www.nps.gov/parkhistory/online_books/nps/explosives son erişim tarihi 22.04.2021
21. NAVEDTRA. 2001. "Aviation Ordnanceman", 14313, Naval Education And Training Professional Development And Technology Center, Dallas, ABD



22. CNATT. 2006. “Bombs, Fuzes, and Associated Components”, Center for Naval Aviation Technical Training, Dallas, ABD.
23. **Toptaş M, Yılmaz M** 2021. “Akıllı yangın söndürme mühimmatının sayısal analizi”, JAV, 5(1): 22-35.
24. **Toptaş M, Yılmaz M**. 2021. “Effects of Different Nose Cone Designs on Trajectory and Impact Angle of Smart Fire Extinguishing Ammunition NATURENGS”, MTU Journal of Engineering and Natural Sciences 2:2 (2021) 1-15.
25. **Çalkaya, M.** 2021. “Orman Yangınlarıyla Mücadelede İHA Atağı”, <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/orman-yanginlariyla-mucadelede-iha-atagi/2269156>
26. **Özada Yangın.** 2021. “Yangın Söndürme Topu”, <http://www.ozadayangin.com/portfolio-item/yangin-sondurme-topu>