

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVADAN YERE AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATİ
TASARIMI VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat TOPTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

ARALIK 2021

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVADAN YERE AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATİ
TASARIMI VE İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat TOPTAŞ
(36193618017)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

ARALIK 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Tezimin ortaya çıkmasında ve hazırlanma sürecinde çok büyük emekleri ve katkıları olan ayrıca tüm bu süreç boyunca karşılaştığım her olumsuz durumda beni destekleyerek çalışma konumuzun olgunlaşmasını sağlayan, bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a,

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince tezime ve bana vermiş oldukları destek ve katkılarından dolayı İnönü Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Ahmet KIZILAY başta olmak üzere değerli Rektör Yardımcısı Sayın Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN hocama,

Teze konu olan Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatını, 2019 Üniversiteler Arası Proje Yarışmasında Türkiye ikinciliği başarısı ile ödüllendiren TÜBİTAK'a,

Projenin hayata geçirilmesi hususunda bir takım destek ve girişimleri olan Sn. Cumhurbaşkanı Yardımcısı Hasan Doğan Bey'e, Savunma Sanayii Başkan yardımcısı Serdar Demirel'e, SSB Uçak Daire Başkanı Abdurrahman Şeref Can ve TAI İHA Sistemleri Genel Müdür Yardımcısı Dr. Ömer YILDIZ Bey'e konuya olan katkılarından dolayı,

Yine projemizi İstanbul'da düzenlemiş oldukları Teknofest'e davet ederek bizlere projemizi sergileme imkanı sunan Türkiye Teknoloji Takımı Vakfı'na,

Tüm eğitim hayatım boyunca yapmış olduğum her çalışmada beni maddi ve manevi olarak destekleyen kıymetli babam ve anneme, kardeşlerim Ferhat ve Çağatay'a,

Ayrıca, sahip olduğu tecrübelerle bana destek olarak tezimin son halini almasında katkıları olan sevgili nişanlım Yüksek Kimya Mühendisi Yeliz AKBULUT'a

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Havadan Yere Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatı Tasarımı Ve İmalatı” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Murat TOPTAŞ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Tezin amaçları.....	4
1.3 Araştırma yaklaşımı	6
1.4 Tezin Organizasyonu	6
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	8
2.1 Yangın.....	8
2.2 Yangın Söndürmede Kullanılan Maddeler	9
2.2.1 Su	10
2.2.2 Kum	10
2.2.3 Karbondioksit (CO ₂).....	10
2.2.4 Kuru kimyasal tozlar.....	12
2.2.5 Köpük.....	12
2.2.6 Halonlar (halojenleşmiş hidrokarbonlar)	13
2.2.7 FM-200 (hepta floropropan)	13
2.2.8 Inergen gazı (argon, azot, karbondioksit karışımı)	14
2.2.9 Naf serisi gazlar (HCFC) hidroklorocarbon	14
2.2.10 Bor	14
2.3 Havadan Yangınla Mücadele Yöntemleri.....	15
2.3.1 Helikopterler ile havadan yangınla mücadele.....	16
2.3.2 Uçaklar ile havadan yangınla mücadele	16
2.3.3 Dronlar ile havadan yangınla mücadele.....	17
2.3.4 Roketatarlar ile havadan yangınla mücadele	20
2.3.5 Diğer havadan yangınla mücadele yöntemleri.....	21
2.3.6 Yangın söndürme bombaları (topları).....	23
3. AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATININ GEREKLİLİK VE TASARIM KRİTERLERİ	24
4. MALZEME VE YÖNTEM	26
4.1 Giriş	26
4.2 Matematiksel Modelleme ve Sayısal Simülasyon	26
4.2.1 Ansys fluent	27
4.2.2 Catia	27
4.2.3 SpaceClaim	28
4.3 AYSM'nın 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması	28
4.4 Sanal Rüzgâr Tünelinin Oluşturulması	29
4.5 Korunum Denklemleri ve Türbülans Modelleri	30
4.5.1 Spalart Allmaras (S-A) modeli	31
4.5.2 Standart k-ε modeli	31
4.5.3 SST k-ω türbülans modeli.....	32
4.6 Sayısal Çözümleme.....	34

4.7 Mühimmat Yörüngesi ve Vuruş Açısı Hesaplamaları	36
4.8 Söndürücü Maddenin Uzaklaşma Hızının Hesaplanması	37
4.9 Burun Konisi Tasarımı.....	38
5. AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATININ TASARIMI	42
5.1 Gövde.....	44
5.2 Burun Konisi.....	45
5.3 Kuyruk - Kanat Takımı.....	49
5.4 Söndürücü - Soğutucu Malzeme.....	50
5.5 Patlayıcı	51
5.6 Fünye	51
5.7 Elektronik Donanım.....	53
5.8 Yazılım.....	53
6. AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATININ İMALATI.....	55
6.1 AYSM'nın İmalatı	55
6.1.1 Gövdenin imalatı.....	55
6.1.2 Burun konisinin imalatı	57
6.1.3 Kuyruk-kanat takımının imalatı.....	58
6.2 AYSM'nın Montajı.....	58
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	60
7.1 Analiz Koşulları.....	60
7.2 Uygun Ağ Yapısının ve Türbülans Modelinin Belirlenmesi	60
7.3 Statik Basınç Dağılımı	62
7.4 Hız Dağılımı	64
7.5 Mühimmat Yörüngesi ve Vuruş Açısı	66
7.6 Söndürücü Maddenin Uzaklaşma Hızı	68
7.7 Burun Konisi Tasarımı.....	69
7.7.1 Sürükleme katsayıları	69
7.7.2 Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı	70
7.8 Maliyet ve Fayda Analizi.....	73
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
8.1 Sonuçlar	78
8.2 Öneriler	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 : Yangın Türleri	9
Çizelge 2.2 : Yangınları söndürme yöntemleri.	10
Çizelge 2.3 : Yangın söndürmede kullanılan maddeler ve bu maddelerin içeriği.	11
Çizelge 4.1 : Bazı patlayıcılara ait Gurney sabitleri	38
Çizelge 5.1 : Söndürücü – soğutucu malzemenin bileşimi.	51
Çizelge 5.2 : Dinamite ait 40 mm çelik boru içindeki test sonuçları	51
Çizelge 7.1 : Analiz parametreleri	60
Çizelge 7.2 : y^+ değerlerine göre tahmini ilk katman kalınlıkları.	60
Çizelge 7.3 : SST k- ω türbülans modeli sonuçları.	62
Çizelge 7.4 : Çeşitli atım hızları ve yükseklikleri için mühimmatın yatayda aldığı yol.	68
Çizelge 7.5 : Farklı tip burun konilerinin sürüklenme katsayıları.	71
Çizelge 7.6 : Küresel olarak köreltilmiş burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı.....	72
Çizelge 7.7 : Küresel olarak köreltilmiş tanjant ogive burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı.	72
Çizelge 7.8 : Kesik tip tanjant ogive burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı.....	73
Çizelge 7.9 : Farklı burun konisi tiplerinin vuruş açısı için tek yönlü varyans analizi sonuçları.	73
Çizelge 7.10 : Farklı burun konisi tiplerinin vuruş hızı için tek yönlü varyans analizi sonuçları.	73
Çizelge 7.11: Çarpma etkisi ile çalışan AYSB'nın üretiminde kullanılan malzemelere ait perakende fiyatlar	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Akıllı yangın söndürme mühimmatını (AYSM) meydana getiren elemanlar.	5
Şekil 2.1 : Yangın dörtyüzlüsü	9
Şekil 2.2 : Los Angeles itfaiyesine ait Sikorsky S-70C tip tanklı bir helikopter ve kovalı helikopterler.	16
Şekil 2.3 : Yangın söndürme faaliyetinde kullanılmakta olan uçaklar.	17
Şekil 2.4 : Champagnie ve Simonis tarafından tasarlanan kafesli ve ray sistemli Quadcopter	18
Şekil 2.5 : İlah ve Alshbatat tarafından tasarlanan yangın söndürme sistemi.....	18
Şekil 2.6 : Cervantes ve diğerleri tarafından tasarlanan itfaiye dronu olarak önerilen kavramsal tasarım prototipi	19
Şekil 2.7 : Ehang 216F (Çin menşeli) yangın söndürme dronu	20
Şekil 2.8 : Hexacopter dronu çerçeve konfigürasyonu	20
Şekil 2.9 : İtfaiye aracı üzerinde bulunan kaideye yüklenmiş yangın söndürü roketleri. ...	21
Şekil 2.10 : Yangın Söndürme Topu ve Bileşenleri.....	23
Şekil 4.1 : MK-82 tipi havadan yere genel maksat mühimmatının metrik boyutları.....	28
Şekil 4.2 : Üç boyutlu tasarım uygulaması ile oluşturulan AYSM modeli.....	29
Şekil 4.3 : Sanal rüzgâr tüneli mahfazasının önden görünümü.....	30
Şekil 4.4 : Farklı akış bölgeleri için y^+ aralıkları	35
Şekil 4.5 : Silindirik şekle sahip mühimmat.	37
Şekil 4.6 : İncelenen burun konisi tipleri.	38
Şekil 4.7 : Küresel olarak köreltilmiş konik burun koni profili ve parametreleri	39
Şekil 4.8 : Küresel olarak köreltilmiş teğet sivri burun koni profili ve parametreleri	40
Şekil 4.9 : Kesik teğet sivri burun koni profili ve parametreleri	40
Şekil 5.1 : Mark serisi bir genel maksat mühimmatına ait görsel.	42
Şekil 5.2 : Akıllı yangın söndürme mühimmatı (AYSM) ve düşük sürüklenme kuvvetli genel-amaçlı Mark 82 bombası.....	42
Şekil 5.3 : AYSM-82 yangın söndürme mühimmatına ait ölçüler.....	43
Şekil 5.4 : AYSM gövdesi.	45
Şekil 5.5 : AYSM'nin dilimli gövde yapısı.	45
Şekil 5.6 : Küresel-küt konik tip burun konisi.	46
Şekil 5.7 : Küresel küt teğetsel ogive tip burun konisi.	46
Şekil 5.8 : Kesik teğetsel ogive tip burun konisi.....	46
Şekil 5.9 : AYSM dairesel dağılım şablonu.....	47
Şekil 5.10 : AYSM eliptik dağılım şablonu.	48
Şekil 5.11 : Mühimmat gövdesi üzerindeki farklı burun koni tasarımları.	48
Şekil 5.12 : AYSM'nin burun konisine ait 3D tasarım.	49
Şekil 5.13 : Hava araçları üzerindeki kanatlar.	49
Şekil 5.14 : AYSM'nin kuyruk - kanat takımı.	50
Şekil 5.15 : AYSM ve kuyruk - kanat takımı.	50
Şekil 5.16 : MK 339 model 1 mekanik füyeye ait görsel	52
Şekil 5.17 : FMU-139C elektronik ve FMU-143 serisi elektrikli füyeler.....	52
Şekil 5.18 : AYSM'nin elektronik bileşenleri.	53
Şekil 5.19 : AYSM yazılımı için çalışma planı.	54
Şekil 6.1 : Yangın söndürme mühimmatını meydana getiren elemanlar.	55
Şekil 6.2 : AYSM'nin dilimli gövde yapısı.	56

Şekil 6.3 : AYSM'nin burun konisine ait 3D tasarım.....	58
Şekil 6.4 : AYSM'nin kuyruk - kanat takımı.....	58
Şekil 6.5 : AYSM gövdesinin montajlı durumu.	59
Şekil 7.1 : AYSM'ye ait ağ yapıları ve inflation katmanları.	61
Şekil 7.2 : AYSM gövdesi üzerindeki statik basınç dağılımı.	63
Şekil 7.3 : AYSM gövdesi üzerindeki hız dağılımları.	65
Şekil 7.4 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=50$ m/s, yükseklik=500 m).....	66
Şekil 7.5 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=83.3$ m/s, yükseklik=300 m).....	67
Şekil 7.6 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=83.3$ m/s, height=500 m).	67
Şekil 7.7 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=100$ m/s, height=500 m).	68
Şekil 7.8 : Burun konilerine ait ağ yapıları ve inflation katmanları.....	70
Şekil 7.9 : Burun konileri sürüklenme katsayıları.....	72

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

C_p	: Özgöl ısı, J/kg.K
F₁	: Karışım fonksiyonu
g	: Yer çekimi ivmesi, m/s ²
k_i	: Isı iletimi katsayısı, W/m.K
k	: Türbülans kinetik enerjisi, m ² /s ²
P	: Basınç, Pa
q	: Isı akısı, W/m ²
Re	: Reynolds sayısı (=VLc/v)
T	: Sıcaklık, K
u	: x yönündeki hız, m/s
$\bar{u}$	: X yönündeki ortalama hız, m/s
u'	: Hızın x yönündeki salınım değeri, m/s
v	: Y yönündeki hız, m/s
$\bar{v}$	: Y yönündeki ortalama hız, m/s
kt	: Türbülanslı eddy iletkenliği
y'	: Hızın y yönündeki salınım değeri, m/s
k	: Türbülans kinetik enerjisi m ² .s ⁻²
v	: Kinematik viskozite, m ² /s
ε	: Türbülans kinetik enerji yayılma hızı, m ² /s ³
μ	: Dinamik viskozite, Pa.s
μ_t	: Türbülanslı eddy viskozitesi, Pa.s
ρ	: Yoğunluk, kg/m ³
ω	: Türbülans kinetik enerji özgül yayılma hızı
Φ	: Türbülans kinetik enerji üretimi
V_∞	: Akış hızı m/s
L_c	: Mühimmat uzunluğu m
C_f	: Yüzey sürtünme katsayısı
T_w	: Cidar kayma gerilmesi kg/m.s ²
U*	: Sürtünme hızı m/s
y	: İlk inflation katmanı kalınlığı m
CNATT	: Center for Naval Aviation Technical Training
EOSB	: Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi

GICHD : Geneva International Centre for Humanitarian Demining

NAVEDTRA : Naval Education and Training Professional Development and Technology

NPS : National Park Service

UNODA : United Nations Office for Disarmament Affairs



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVADAN YERE AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATI TASARIMI VE İMALATI

MURAT TOPTAŞ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

84 + xi sayfa

2021

Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Bu tezde havadan yangınlarla mücadele operasyonlarında kullanılabilecek yeni bir ürünün tasarımı önerilmiştir. *Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatı* (AYSM) olarak adlandırılan bu ürün, NATO mühimmatı olan MK-82 tip havadan yere genel maksat mühimmatının ölçülerinde tasarlanmıştır. Mühimmat içerisinde yerli bir ürün olan ve bor minerali katkılı söndürücü-soğutucu madde kullanılmıştır. Havacılık ve yangın söndürme endüstrisine kazandırılması amaçlanan AYSM'nin mesken alanları dışındaki açık saha yangınlarında etkin bir şekilde kullanılması beklenmektedir.

AYSM'nin tasarımı Catia V.5 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. AYSM'nin yapısal, akış ve patlama analizleri Ansys Fluent 16.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Otonom görev için gerekli yazılım C programlama dili ile yazılmıştır. AYSM'nin yapısı gövde, burun konisi, kuyruk-kanat takımı, söndürücü - soğutucu malzeme, patlayıcı, fünye, elektronik donanım ve yazılımdan oluşmaktadır. Üç farklı burun konisi tasarımı yapılarak en uygun burun konisi tipi belirlenmiştir. İnsansız bir hava aracına yüklü mühimmatın, araca ait maksimum hız koşullarında ortaya çıkaracağı sürüklenme katsayısı HAD analizi ile belirlenmiştir. Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı hesaplamaları yapılmış ayrıca söndürücü maddenin uzaklaşma hızı hesaplanmıştır.

AYSM'nin sürüklenme katsayısı 0.14633 olarak bulunmuştur. Sürtünme katsayısı, küresel olarak körleştirilmiş konik burun konisi için 0.136, küresel olarak köreltilmiş teğet sivri uçlu burun konisi için 0.138 ve kesik teğet uçlu burun konisi için 0.154 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yangın Söndürme, Havadan Yangınlarla Mücadele, Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN AND MANUFACTURING OF AIR-TO-GROUND SMART FIRE EXTINGUISHING AMMUNITION

MURAT TOPTAŞ

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Mechanical Engineering

84 + xi page

2021

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

In this thesis, the design of a new product that can be used in aerial firefighting operations is proposed. This product, called Smart Fire Extinguishing Ammunition (SFEA), is designed in the dimensions of MK-82 type air-to-ground general purpose NATO ammunition. Boron mineral added extinguisher-cooling agent, which is a domestic product, was used in ammunition. SFEA, which is aimed to be brought to the aviation and fire extinguishing industry, is expected to be used effectively in open field fires outside of residential areas.

In the design of SFEA Catia V.5 software was used. Structural, flow and explosion analyzes of SFEA were performed with Ansys Fluent 16.0 software. The software required for the autonomous task of ammunition is written in the C programming language. The structure of SFEA consists of fuselage, nose cone, tail-wing set, extinguisher - cooling material, explosive, detonator, electronic hardware and software. Three different nose cone designs were made and the most suitable nose cone type was determined. The drag coefficient that will be generated by the ammunition loaded on an unmanned aerial vehicle at maximum speed conditions of the vehicle was determined by CFD analysis. Ammunition trajectory and strike angle calculations were made and the rate of removal of the extinguishing agent was calculated.

The drag coefficient of SFEA was found to be 0.14633. The friction coefficient was determined as 0.136 for the spherically blunted conical nose cone, 0.138 for the spherically blunted tangential pointed nose cone, and 0.154 for the truncated tangential nose cone.

Keywords: Fire Extinguishing, Aerial Fire Fighting, Smart Fire Extinguishing Ammunition, Computational Fluid Dynamics (HAD).

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Yanma, oksijenli ortamda yanıcı maddelerin tutuşması ile başlayan ve yanıcı madde içinde depolanmış bulunan enerjinin, ısı enerjisi biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir reaksiyondur. Bu reaksiyon sırasında açığa çıkan enerji, genellikle sıcak gazlar şeklinde olmakla birlikte, çok küçük miktarlarda elektromanyetik (ışık), elektrik (serbest iyonlar ve elektronlar) ve mekanik (ses) enerjide açığa çıkmaktadır (Eyriboyun, 2009). Yüksek sıcaklığa sebep olan yangın ise katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması olayıdır. Bir yangının başlayabilmesi ve devam edebilmesi 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. Yerinde ve doğru oranlarda tüm bu unsurlardan yoksun bırakılırsa yangın var olamaz. Yangın, başlangıç, büyüme, yayılma, korlaşma ve sönme aşamaları şeklinde dört evreden oluşur.

Yangınlar çok ciddi ekonomik kayıplar oluşturmakta ve kimi zaman can kayıplarına da neden olmaktadır. Yangınlar ormanlar, petro-kimya tesisleri, gaz ve petrol nakil hatları, kimyasal madde ve mühimmat depoları, fabrika ve yerleşim alanları gibi birçok noktada ortaya çıkabilmekte ve çoğu durumda geride ciddi hasarlar bırakmaktadır. Özellikle ormanlar için birinci dereceden tehlike unsuru yangınlardır. Avrupa Orman Yangınları Bilgi Sistemi (EFFIS)'nde yer alan bir rapora göre 2000 ile 2017 yılları arasında Avrupa ve ülkemizde meydana gelen orman yangınlarında 8.5 milyon hektar ormanlık alan yanmıştır. Bu rakam her yıl yaklaşık olarak yarım milyon hektara denk gelmektedir. Bu olaylar neticesinde 611 sivil ve itfaiyeci hayatını kaybetmiş ve 54 milyon euroya yakın da ekonomik kayıp meydana gelmiştir (Rego ve diğ, 2018).

Yangınlarla mücadele günümüzde karadan ve havadan mücadele olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Karadan yapılan mücadele de insan gücünden yararlanılması yanında, kamyonlar, pikaplar, itafiye araçları ve iş makineleri gibi geleneksel araçlar kullanılmaktadır (Küçükosmanoğlu, 1993). Ancak bu müdahale yöntemi büyük ölçüde coğrafi koşullara bağlı olduğu için yangının meydana geldiği yerde ulaşılması zor alanlarda yetersizdir. Havadan mücadele ise 1950'li yıllardan sonra Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya

ıkan ve mücadelede uçak, helikopter benzeri hava araçlarının kullanımını esas alan bir mücadele yöntemidir.

Yangınlara havadan müdahale yöntemi özellikle hava araçlarının sahip olduğu hız faktörü ve arazi Şartlarından bağımsız olarak havadan gözlem ve müdahale Őansını vermesi gibi nedenlerden ötürü oldukça etkili bir yöntem olarak ne çıkmaktadır (Pulicinski ve Gould, 2007). Bu yöntemin etkinliğini daha da arttırmak amacıyla özellikle hava araçları üzerinde bazı iyileŐtirmelerin yapıldığı, daha da ötesi son yıllarda hava araçlarının özellikle yangınlarla mücadele için özel olarak tasarlanmaya baŐlandıėı görülmektedir. Ayrıca bu yöntemin kullanılmaya başladığı ilk zamanların aksine bugün hava araçlarından yangın bölgesi üzerine su veya topraktan başka bir takım söndürücü maddeler de atılmaya başlanmıştır. Bu maddeler genel olarak fosfat esaslı kimyasallar, köpük, jel veya toz formda yangın söndürme kimyasalları Őeklinededir (Alder, 1990). Bu maddelerin hava araçlarından yangın bölgesi üzerine bırakılması olayı yangın bölgesinin söndürücü ve soğutucu maddeler ile bombardıman edilmesi olarak adlandırılır.

Orman yangınlarında hava araçları genellikle ağaç tepe yüksekliklerinin 60 metre kadar yukarısına kadar alçalarak yangın bölgesini bombardıman etmeye baŐlarlar (Dowling, 2015). Bu noktadan daha yüksek irtifalardan bırakılacak söndürücü madde gerek yangın bölgesi üzerinde meydana gelen sıcaklık kaynaklı hava akımları ve gerekse hava direnci gibi nedenlerden ötürü yangın bölgesine ulaŐmadan havada dağılmakta ve metrekaresine düŐmesi gerekenden çok daha az miktarda maddenin bölgeye inmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla söndürücü madde etkinliği azalmaktadır. Tersı durumda yani hava aracının yangın bölgesi üzerine daha fazla yaklaŐması durumunda ise hava aracının yangından etkilenerak kırım geçirmesi veya söndürücü maddenin çarpma etkisi ile bölgeye ulaŐması neticesinde söndürme iŐlevinden çok söndürücünün sahip olduğu ağırlık nedeni ile bir takım zararlar ortaya çıkmaktadır.

Yangınlarla havadan yapılan mücadele yönteminde kullanılan söndürücü ve soğutucu materyallerin yeterli miktarda, doğru bir konumda ve güvenli bir mesafeden bırakılması meselesi çözülmeyi bekleyen önemli problemlerdir. Bu sorunları çözmek amacıyla farklı ülkelerde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalıŐmalardan ilki 2004 yılında Rusya’da ortaya çıkmıştır. ÇalıŐmaya konu olan ürünün ismi ASP-500’dr (Korenkov ve Vladimir, 2004). Esasında polietilen malzemeden üretilen ve varil Şeklinde silindir bir tank içerisine 500 kg kadar söndürücü malzeme doldurulmuŐtur. Bu tank yangın bölgesine bir hava aracı ile yukarıdan atılmakta ve yere çarpan tank içerisinde bulunan patlayıcı infilak ederek

söndürücü maddenin dağılması sağlanmaktadır. Proje test aşamasından sonra hayata geçmemiştir. Bunun başlıca nedeni tasarım ve çalışma prensibinde yapılmış olan bazı hatalardır. Öncelikle ürünün aerodinamik bir yapısı bulunmamaktadır. Bırakıldıktan sonra rüzgâr direncinden çokça etkilenmekte ve doğru hedefi bulamamaktadır. Bir diğer problem ise çalışma şekli ile alakalıdır. Ürün sadece yere çarptığında aktive olabilmektedir. Ancak yangın sadece zemin de ilerlemez. Bu konuda yapılan diğer bir çalışma ise 2017 yılında Çin’de ortaya çıkmıştır. Yangın söndürme roketleri diyebileceğimiz bu ürün çok namlulu roket atar benzeri bir sistemin itfaiye aracı gibi bir kaide üzerine monte edilmesinden ibarettir. Roketler maksimum 300 metre mesafedeki en fazla 60 m³ kapalı alanda meydana gelen yangınlara 3.6 kg söndürücü malzemeyi taşımaktadırlar (Lei, 2017). Bu ürün de bir önceki gibi birçok problem ihtiva eden bir tasarıma sahiptir. Bunlardan ilki roketlerin doğal olarak katı yakıtlı birer roket motoru taşımasıdır. Bu motorlar birkez ateşlendiklerinde ihtiva ettikleri yakıt bitene kadar yanmaya devam ederler. Yangın bölgesi üzerine bu türden yanıcı ve patlayıcı bir malzemenin gönderilmesi, üstelik bunun kapalı alanlara atılması mevcut olan felaketi daha da kötü bir hale getirebilir. Ayrıca 3.6 kg bir söndürücü malzemeyi hedefine gönderebilmek için bunun on katı kadar bir roket yakıtı kullanılması gerekir. Hedefleme için kullanılan ve roketlerin burun kısmına yerleştirilmiş olan bir takım sensörlerin de toplam maliyeti düşünüldüğünde aslında bu projenin de efektif olmadığı görülmektedir. Ayrıca bu proje açık alanlarda meydana gelen yangınlarda kullanılamamaktadır.

Bu durumlarla mücadelede günümüzde kullanılmakta olan karadan ve havadan yangınlarla mücadele yöntemleri çoğu durumda etkisiz kalmaktadır. Bu çalışmada havadan yangınlarla mücadele amacıyla kullanılabilecek yeni ve etkili bir ürün tasarlanmış ve imalat karakteristikleri belirlenmiştir. Bu ürün, ürünü otonom yapan bir dizi elektronik ekipman ve yazılım dikkate alınarak akıllı yangın söndürme mühimmatı (AYSM) olarak adlandırılmıştır. Bundan sonraki bölümlerde “Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatı” yerine sadece “AYSM” ifadesi kullanılacaktır. 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 mühimmatının mesken alanları dışındaki ormanlar, petro-kimya tesisleri, petrol ve gaz nakil hatları ve

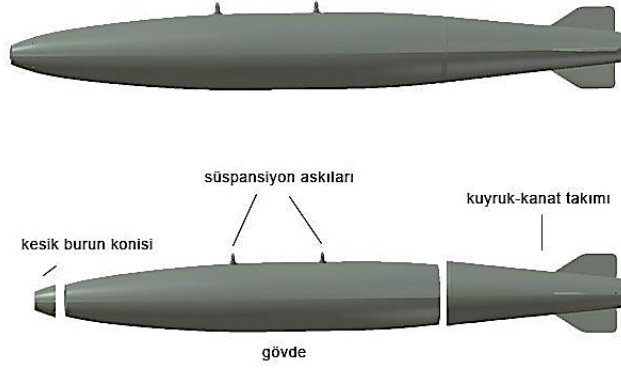
mühimmat depoları gibi açık saha yangınlarında etkin bir şekilde kullanılması beklenmektedir.

Akıllı yangın söndürme mühimmatı, hem yangınla mücadele endüstrisi hem de havacılık endüstrisi için yeni bir üründür. Ürünün seri üretime geçmesi halinde yangınla mücadelede önemli katkılar sağlayacak bir savaş aracı elde edilecektir. Söndürücü-soğutucu doğru miktarda ateşe bırakılabilecek, böylece yangınlar söndürülürken aşırı kimyasal kullanımından dolayı çevreye herhangi bir zarar gelmeyecektir. Ayrıca hem ürünün verimliliği hem de uçağın hız faktörleri göz önünde bulundurularak yangınlar eskisi gibi geniş alanlara yayılmadan kontrol edilebilecektir.

1.2 Tezin amaçları

Bu tezin amacı yangınlara havadan müdahale yöntemlerinde kullanılabilecek ve daha önce tasarlanmamış, etkin bir ürün olan akıllı yangın söndürücü mühimmatının tasarımını yapmak ve imalat karakteristiklerini belirlemektir. Kullanımının pratikliğini ve ucuz olmasını sağlamak maksadıyla mühimmat bir NATO mühimmatı olan MK-82 tip havadan yere genel maksat mühimmatının ölçüleri referans alınarak oluşturulmuştur. Bu sayede bu mühimmatı kullanan hava araçları üzerinde herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan söndürücü bombanın yüklemesi yapılabilecektir. Ürünün hedefi yerleşim alanları dışında ormanlar, petro-kimya tesisleri, petrol ve gaz nakil hatları ve mühimmat depoları gibi açık alan yangınlarıdır. AYSM'nin amacı ihtiva ettiği söndürücü maddenin hava koşullarından etkilenmeksizin yangın noktasına minimum sapma ile ulaştırılmasını sağlamaktır. Ürün sahip olduğu sensörler ve yazılım sayesinde hava aracından atıldıktan sonra görevini yapacağı en uygun noktayı kendisi belirleyebilecektir.

Akıllı yangın söndürme mühimmatı gövde, burun konisi, kuyruk-kanat takımı, söndürücü - soğutucu malzeme, patlayıcı, fûnye, elektronik donanım ve yazılımdan oluşmaktadır. Şekil 1.1 akıllı yangın söndürme mühimmatını meydana getiren elemanları göstermektedir.



Şekil 1.1 : Akıllı yangın söndürme mühimmatını (AYSM) meydana getiren elemanlar.

Çalışmada şunlar yapılmıştır:

- (a) AYSM'nin gereklilik ve tasarım kriterleri belirlenmiştir.
- (b) AYSM gövde, burun konisi, kuyruk-kanat takımı, söndürücü-soğutucu malzeme, patlayıcı, fünye, elektronik donanım ve yazılımdan oluşmaktadır. Herbir eleman tasarlanmış ve karakteristikleri belirlenmiştir.
- (c) Farklı burun konisi tasarımlarının hangisinin AYSM'nin gereklilik ve tasarım kriterlerini daha iyi karşıladığını belirlemek amacıyla üç farklı burun konisi tasarımı yapılmış ve en uygun burun konisi tipi belirlenmiştir.
- (d) HAD analizi ile AYSM sayısal olarak modellenmiştir.
- (e) HAD analizinde korunum denklemleri farklı türbülans modelleri kullanılarak Ansys Fluent yazılımı yardımıyla çözülmüştür. Türbülans modelleri olarak SpalartAllmaras (S-A) modeli, standart k- ϵ modeli ve SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. En doğru sonucu veren türbülans modeli belirlenmiştir.
- (f) İnsansız bir hava aracına yüklü mühimmatın, araca ait maksimum hız koşullarında ortaya çıkaracağı sürüklenme katsayısı HAD analizi ile belirlenmiştir.
- (g) Hava aracının ulaşacağı maksimum hız büyüklüğü için AYSM'nin gövdesi üzerinde ortaya çıkacak basınç ve hız profilleri HAD analizi ile elde edilmiştir.
- (h) Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı hesaplamaları yapılmış ayrıca söndürücü maddenin uzaklaşma hızı hesaplanmıştır. Mühimmat yörüngeleri farklı direnç katsayısı değerleri için çizilmiştir.
- (i) AYSM'nin imalat karakteristikleri belirlenmiştir.

1.3 Araştırma yaklaşımı

Ürün, ürünü otonom yapan bir dizi elektronik ekipman ve yazılım dikkate alınarak akıllı yangın söndürme mühimmatı olarak adlandırıldı. Akıllı yangın söndürme mühimmatı şu parçalardan oluşur: (a) bomba gövdesi, (b) kanatlar, (c) burun konisi, (d) söndürme maddesi, (e) patlayıcı madde, (f) fünye, (g) elektronik ekipman ve (h) yazılım. Tasarım hedeflerini ve gereksinimlerini gerçekleştirmek için ürün, MK-82 havadan karaya genel maksatlı NATO mühimmatı boyutlarında tasarlandı. Üç boyutlu ürünü tasarlamak ve oluşturmak için bilgisayar destekli bir tasarım yazılımı (Catia V.5) kullanıldı. Ürünün yapısal, akış ve patlama analizleri ANSYS yazılımı ile yapıldı. Ürünün yazılımı C programlama dilinde yazılmıştır.

Korunum denklemleri, farklı türbülans modelleri kullanılarak sonlu elemanlar esasına dayalı olan Ansys Fluent 16.0 yazılımı yardımıyla çözülmüştür. Bilgisayar ortamında sanal bir rüzgâr tüneli kurulmuş farklı y^+ değerleri kullanılarak mühimmata ait ağ optimizasyonu yapılmıştır. Türbülans modelleri olarak Spalart Allmaras (S-A), standart k- ϵ ve SST k- ω türbülans modelleri kullanılmıştır.

1.4 Tezin Organizasyonu

Bu çalışmada, yangınlara havadan müdahale yöntemlerinde kullanılabilecek ve daha önce tasarlanmamış yeni ve etkin bir ürünün tasarımı gerçekleştirilmiş ve imalat karakteristikleri belirlenmiştir.

Tez “1. Giriş”, “2. Literatür Taraması”, 3. Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatının Gereklik ve Tasarım Kriterleri”, “4. Malzeme ve Yöntem”, “5. Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatının Tasarımı”, “6. Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatının İmalatı”, “7. Bulgular ve Tartışma” ve “8. Sonuç ve Öneriler” olmak üzere sekiz bölümden oluşmaktadır.

Tezin ilk ve şu anki bölümü, çalışmanın amacını ve kapsamını, araştırma yaklaşımını ve tezin organizasyonunu tanıtmaktadır.

İkinci bölümde, araştırma alanına ilişkin arka plan çalışmaları, tezin ana odağına göre değerlendirilmektedir. Literatür taraması üç ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yangın, yangın türleri ve yangın söndürme yöntemleri özetlenmiştir. İkinci bölümde yangın söndürme maddeleri ve teknolojik gelişimleri irdelenmiştir. Üçüncü bölümde havadan

yangınla mücadele yöntemlerine öz olarak yer verilmiş ve bu bağlamdaki çalışmalar özetlenmiştir.

Üçüncü bölüm AYSM'nin gereklilik ve tasarım kriterlerini içermektedir.

Dördüncü bölüm, metodolojiyi eş zamanlı olarak tanımlamayı ve uygulamayı amaçlamaktadır. Bu bölümün amacı, önerilen metodolojiyi işlevsel çerçeve içinde göstermektir.

Beşinci bölüm, bu çalışmanın ana uygulama bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölümde tasarımı gerçekleştirilen AYSM'nin yapısı ve çalışma prensibiyle ilgili ayrıntılar verilmiştir.

Altıncı bölüm AYSM'nin imalatı karakteristiklerini içermektedir.

Tezin yedinci bölümünde tasarımı gerçekleştirilen AYSM için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi ve bulguları ayrıntılı olarak tartışılmış ve tezin amaçlarına ilişkin genel sonuçlar ve tartışma tamamlanmıştır.

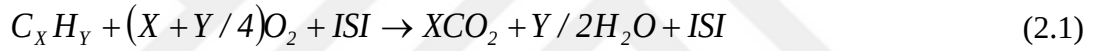
Tezin sekizinci, dolayısıyla son bölümü sonuçlara ve tavsiyelere ayrılmıştır. Bu bölüm elde edilen bulguları öz olarak verir, bu çalışma tarafından önerilen metodolojiyi özetler ve tezin eksikliklerini ve ileri çalışma önerilerini tartışır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Yangın

Yanma, yanıcı maddelerin ateşle tutuşturulmasından sonra oksijenle beslenerek hızlı bir şekilde reaksiyona girmesi sonucu, 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 (Eyriboyun, 2009). Yüksek sıcaklığa sebep olan yangın ise katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması olayıdır (Genç ve Pekey, 2014). Yangın, hukuki olarak “Tehlike doğuran, söndürülemediği sürece mala, cana ve sağlığa zarar meydana getiren kontrol dışı yanma olayıdır” şeklinde tanımlanmaktadır (İnce, 2019).

Yangın, ekzotermik kimyasal yanma sürecinde bir malzemenin hızlı oksitlenmesidir, ışık, ısı ve farklı reaksiyon ürünleri açığa çıkarır (İnce, 2019):



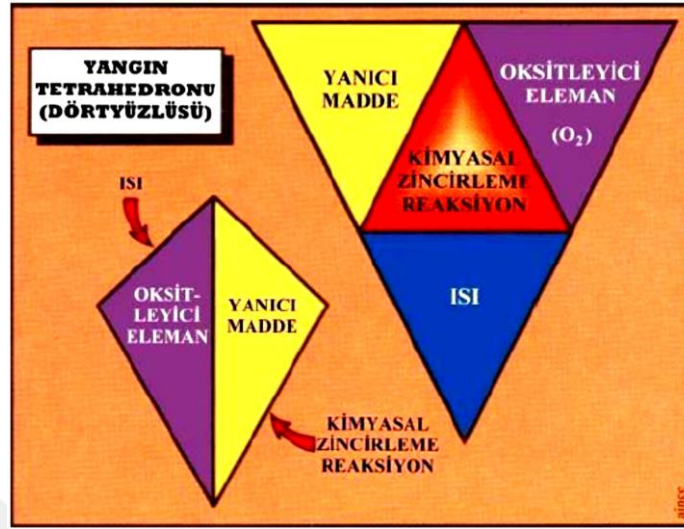
Reaksiyon tutuşma sıcaklığına kadar endotermik safhadadır, bu noktadan sonra ekzotermiktir. Isı kaynağı çekilse bile reaksiyon kendini besler (İnce, 2019). Alev, yangının gözlenebilir kısmıdır. Yangının meydana gelebilmesi için dört unsurun bir arada olması gerekmektedir. Bu unsurlar yanıcı madde, oksitleyici 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 2.1). Yerinde ve doğru oranlarda tüm bu unsurlardan yoksun bırakılırsa yangın var olamaz.

Yangının türü yanmakta olan maddeye göre değişir. TS EN 2 ve TS EN 2/A1'e göre A, B, C, D, E ve F sınıfı yangınlar olmak üzere altı sınıf yangın bulunmaktadır (Çizelge 2.1).

Yangın, yanma adı verilen ve yakıt ve oksijen kombinasyonunun yanı sıra bir ateşleme kaynağı gerektiren kimyasal bir reaksiyonun sonucudur. Söndürme; yanmayı meydana getiren unsurlardan en az bir tanesi saf dışı edilerek gerçekleştirilir. Yangınları söndürmede kullanılan dört yaygın teknik bulunmaktadır (Çizelge 2.2) :

- (a) Yanan malzemenin soğutulması,
- (b) Hava ikmalinin kesilmesi,

- (c) Yanıcı maddeyi ortadan kaldırma,
- (d) Alev inhibitörlerinin kullanılması.



Şekil 2.1 : Yangın dörtyüzlüsü (yangın tetrahedronu) (İnce, 2019).

Çizelge 2.1 : Yangın Türleri (İnce, 2019).

Yangın Sınıfı	Tipi
A Sınıfı	Normal olarak kor şeklinde yanan genellikle organik yapıdaki katı madde yangınlarını kapsar (Ahşap, Kâğıt, Plastik).
B Sınıfı	Sıvı veya sıvılaşılabilen 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, hayvansal ve bazı endüstriyel yağların yangınını kapsar (yemeklik yağ, gres)

2.2 Yangın Söndürmede Kullanılan Maddeler

Yangın söndürmede kullanılan maddeler ve bu maddelerin içeriği Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Yangınları söndürme yöntemleri.

Yöntem	Karakteristikleri
Soğutarak Söndürme	- Su kullanılarak soğutma, - Yanıcı maddeyi dağıtmak, - Hava üflenmesi.
Havayı Kesme	- Örtme, - Boğma, - Oksijeni azaltma.
Yanıcı Maddeyi Ortadan Kaldırma	- Yanıcı maddeyi yangından ayırmak, - Yangın ile yanıcı madde arasında boşluk meydana getirmek
Alev İnhibitörlerinin Kullanılması	

2.2.1 Su

Büyük miktarlarda ve kolayca elde edilebilmesi, ucuzluğu ve soğutma etkisi suyun en yaygın kullanılan söndürme maddesi olmasını sağlamıştır. A sınıfı yangınların ideal söndürücüsüdür. İletken olduğu için B veya C sınıfı yangınlarda kullanılamaz. Su, yangınlarda; solid (kesintisiz) ve pulvarize (sprey) olarak kullanılmaktadır. Su bazlı yangın söndürücüler genellikle depolar, okullar, ofisler vb. yerlerde kullanılır (EOSB. 2014).

2.2.2 Kum

Yanıcı maddenin oksijen ile ilişkisinin kesilerek söndürülmesinde kullanılır. Kullanma sırasında kumun yanıcı maddeyi tamamen örtmesi gerekmektedir (EOSB. 2014).

2.2.3 Karbondioksit (CO₂)

Akaryakıt ve elektrik kaynaklı yangınlar da kullanılacak CO₂ yanıcı olmayıp kimyevi maddelerle pek kolay birleşmez. Gaz halinde olduğu için ateşin üzerine kolayca dağılarak yanıcı maddenin üzerini kaplar. Yanıcı madde üzerine kendi tazyiki ile püskürür, elektriği iletmez, yalıtıcıdır. Karbondioksit pratik olarak yalnız boğma etkisi gösterir. Havadan 1.5 kat daha ağır olduğundan zeminden itibaren alevli yangının üzerine yayılır ve oksijenin girmesini engeller. Karbondioksit'in soğutma etkisi önemsizdir. Yangının başlangıç safhasında kullanılması durumunda, yanma ısısı yangın çevrimini (zincirleme reaksiyon) sağlayamayacağından etkili olduğu bilinmektedir (EOSB. 2014).

Çizelge 2.3 : Yangın söndürmede kullanılan maddeler ve bu maddelerin içeriği.

	Madde	Özellikleri	Dezavantajları
1	Su	Isıyı giderir. A Sınıfı yangınlarda etkilidir. Ucuzdur Boldur. Toksik değildir.	Elektriği iletir. B sınıfı yangınları yayabilir. Soğuk iklimlerde donar. Kirleticileri akan su olarak taşıyabilir.
2	Kum	Örtme	
3	CO ₂ ve diğer inert gazlar	Oksijeni% 15'in altına düşürür. B ve C sınıfı yangınlarda etkilidir. Artık oluşmaz. Nispeten inerttir.	Genel olarak toplam taşıma sistemi için hacimce % 35'den büyük konsantrasyon gereklidir. Hacimce % 4 oranından büyük konsantrasyon onlar insanlar için toksiktir. Derin yangınlarda için en iyi söndürücü madde değildir (konsantrasyonu 20 dakikadan daha uzun süre koruyun) Hızla dağılır - yeniden alevlenmeye izin verir. Bazı elektronik bileşenlerde sıcaklığı düşürme / soğutma etkisine sahiptir. Buhar yoğunluğu = 1.5 (çukurlarda ve alçak alanlarda toplanır)
4	Kuru Kimyasal Tozlar	Parlayıcı sıvı yangınlarında ve elektrikten kaynaklı olarak gelişen yangınların söndürülmesinde kullanılmaktadır	Uzak mesafelere püskürtülmesi zordur, örtücülükleri fazla değildir, uzun süreli olarak yağlı yüzeyler üzerinde bekletildiklerinde yüzeyde bozulma meydana getiriler.
5	Köpük	Örtü görevi görerek duman zehirlenmelerini önler. Yakıt yangınlarına karşı oldukça etkilidir.	Saklama koşulları ve müdahale durumunun ne şekilde olacağı ve zamanı önemlidir. Bunlar için eğitim verilmelidir.
6	Halonlar (Halojenleşmiş Hidrokarbonlar)	Metal yangınları hariç tüm yangın tiplerinde kullanılabilir.	Metal yangınlarında etkisizdirler.
7	FM-200 (Hepta floropropan)	Data işleme ve telekomünikasyon tesislerinde bulunan yangın söndürme sistemlerinde ve birçok yanıcı sıvı ve gazın söndürülmesinde kullanılır.	Yüksek sıcaklıklarda heptafloropropan ayrışır ve hidrojen florür üretir. Belirli bir konsantrasyonun üzerinde bu madde insan sağlığı için oldukça tehlikelidir.
8	Inert Gazlar (Argon, Azot, CO ₂ karışımı)	Her tür A, B, C ve gaz yangınları	Sadece kapalı alan yangınlarında kullanılabilir. Çünkü çevre hacmin yangının söndürülmesi için bu gazları tutabilmesi gerekir.
9	Naf serisi gazlar (HCFC) Hidroklorocarbon	A, B, C sınıfı yangınlar	Ozon tabakasına ciddi zararlar vermektedir.
10	Bor Minerali	Borakspendahidrat (%10-%20)	Her tür A, B, C ve gaz yangınları
11	Potasyum Asetat Bazlı Ajanlar (Sınıf K)	Yanan yağlar üzerinde soğutma ve kabuk oluşturma kabiliyeti bulunur	Akciğerler için zararlıdır. Maske kullanımını gerektirir.
12	Kuru Tozlar	Bakır, Sodyum Klorit, Kum (Sınıf D)	Akciğerler için zararlıdır. Maske kullanımını gerektirir.
13	D tozu	Silikatlar katılmış Sodyum Klorür (NaCl) (sofra tuzu)	Akciğerler için zararlıdır. Maske kullanımını gerektirir.

Karbondioksit, yangını durdurmak için oksijeni giderir, ancak menzili sınırlıdır. Çevre dostudur ve kalıntı bırakmaz, bu nedenle temizlik gerekmez. Karbondioksitli söndürücüler genellikle bilgisayar odaları, laboratuvarlar, gıda depolama alanları, işleme tesisleri vb. Kirlenmeye duyarlı yerlerde kullanılır (Gielle. t.y).

2.2.4 Kuru kimyasal tozlar

B ve C sınıfı yangınlar için kullanılan tozlar, sodyum bikarbonat asıllı tozlardır. A, B, C sınıfa yangınlarda kullanılan tozlar ise amonyum fosfat asıllı bileşiklerden meydana gelmektedir. Kuru kimyasal tozlar, akaryakıt yangınlarında, elektrikle çalışan makinelerin yangınlarında kullanılmaktadır. Kuru kimyasal tozlar; özel kimyasal maddelerin çeşitli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmekte, özel üretim teknikleri sayesinde de kolay püskürtülmeleri, katılaşmamaları ve suya dayanıklı olmaları sağlanmaktadır. Bu maddeler içinde en çok kullanılanları ise stearatlar, trikalsiyum fosfattır. Bu iki madde, tozun rutubetle toprak haline gelmesine engel olmak amacıyla kullanılır. Çünkü sodyum bikarbonat bileşikleri, havanın rutubetini emerler, yani hidroskopiktirler, durdukları yerde ıslanıp topaklaşırlar. Kuru kimyasal tozlar, yanma işlemini ancak reaksiyona müdahale ederek durdurabilmektedirler. Yanma olayının devam edebilmesi için yanan yerde açığa çıkan bazı maddelerin birbirleriyle birleşerek reaksiyonlar meydana getirmesi şarttır. İşte kuru kimyevi tozlar açığa çıkan bu maddelerin birleşmesini engellemekte yanma zincirinin oluşmamasını sağlamaktadır. Böylece de yangın genişleyememekte kısa zamanda sönmektedir. Kuru kimyasal tozların bu özelliği yangınların söndürmedeki en etkili özelliğidir. Bu reaksiyonun çok büyük bir kısmı yüzeyde meydana gelir. Bu yüzeyin artırılması müdahalenin daha etkili olması demektir (EOSB, 2014). Kuru kimyasal toz çeşitleri aşağıda verilmiştir (EOSB, 2014):

- (a) “BC” tipi kuru kimyasal tozlar,
- (b) “ABC” tipi kuru kimyasal tozlar: Mono amonyum fosfat ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) maddesidir. Çok maksatlı olarak A, B ve C sınıfı yangınlarda etkilidir.
- (c) “D” tipi kuru kimyasal tozlar.

2.2.5 Köpük

Köpük kimyasal bileşiktir. Basıncılı su ile karıştığında, karışım köpük yapıcıdan tazyikle geçerken hava ile karışır ve köpüğü meydana getirir. Köpük; yangın yüzeyini battaniye gibi tamamen kaplar, hava ile teması keser, ayrıca soğutma özelliği vardır. Bu nedenle iyi bir

söndürücüdür. Köpük bir battaniye gibidir. Bu köpük yanıcı ile birebir temastadır. Köpük; su, hava ve konsantre köpüğün karışması sonucunda meydana gelir ve püskürtüldüğünde su ile birlikte baloncukların da çıkması sağlanır. Köpüğün etkinliğinin sürekli olabilmesi için yanan madde üzerine sürekli şekilde uygulanması gereklidir. Su ile elde ederken, köpük nozuldan çıkana kadar yangına tutulmamalıdır. Köpük, hiçbir zaman elektrik devreleri üzerine sıkılmamalıdır. Köpük; A ve B sınıfı yangınlarda kullanılmaktadır. A sınıfı yangınlarda alevlere uygulanan suyun sadece % 10' unun söndürücü etkisi vardır. Geri kalan ise yanıcıların üzerinde akar gider. Köpük ise yanıcıya yapışarak temas halinde kalır ve yangını söndürür (EOSB, 2014). Köpük çeşitleri şunlardır (EOSB, 2014):

- (a) Kimyasal köpük,
- (b) Protein esaslı köpük,
- (c) Sentetik köpük.

Köpük, yangını evcilleştirmek için yanıcı sıvılar üzerinde yüzer ve tekrar parlamaları önlemeye yardımcı olur. Etkilenen alanı temizlemek için yıkanmalı ve buharlaşmaya bırakılmalıdır. Köpüklü yangın söndürücüler genellikle garajlarda, evlerde, araçlarda, atölyelerde vb. kullanılır (EOSB, 2014).

2.2.6 Halonlar (halojenleşmiş hidrokarbonlar)

Halon adı, halojenleşmiş hidrokarbon karşılığı olup Halon-1211 (bromoklorodiflorometan; “CF₂ClBr”) ve Halon-1301 (bromotriflorometan; “CBrF₃”) olarak bilinirler ve normal koşullarda gaz halindedirler. Halon gazları, metal yangınları hariç diğer tüm yangın çeşitlerinde kullanılmaktadır. Halon gazlarının söndürücü konsantrasyonları düşük olup (% 5-7) bunun da nedeni, meydana gelen reaksiyon sonucunda bromun (Br) devamlı serbest kalarak tekrar tekrar reaksiyona girmesindendir. Halonun söndürme kabiliyeti karbondioksit göre yaklaşık olarak 3 misli daha fazladır. Kullanımı ozon tabakasına zarar verdiği için sınırlandırılmıştır. Halon'un üretimi ABD'de 1 Ocak 1994'te Temiz Hava Yasası uyarınca durdurulmuş olsa da, geri dönüştürülmüş Halon ve Halon yangın söndürücülerinin satın alınması ve kullanılması hala yasaldir (EOSB, 2014).

2.2.7 FM-200 (hepta floropropan)

Halon gazının 1993 yılından itibaren üretilmeyeceğine karar verilmesinden sonra İngiliz ve Amerikan firmaları ortaklaşa bir araştırmaya karar vermişlerdir. Bu araştırmaya daha sonra

kimyasal madde üretimi yapan firmalar da katılmış ve 5 yıl süreli çalışmanın sonucu olarak FM-200 gazı gerekli tüm onaylar alınarak kullanılışına başlanılmış ve bu gaza uygun olarak üretilen mekanik donanım ile GX 20 sistemi oluşturulmuştur. Kimyasal formülü HCF 227 ile belirlenen FM-200 gazı “Heptafluoropropane” olarak isimlendirilir. FM-200TM gazı; renksiz ve kokusuz bir gazdır. Halona benzer olarak 25 bar basınç altında tüplere doldurularak sıvı halde depolanabilir. FM-200 gazı temiz bir söndürme elemanı olup özellikle elektrikli ve elektronik donanımların bulunduğu hacimlerde kullanıldığında, kullanım sonrası temizlik ihtiyacı doğurmamaktadır. FM-200 gazının kimyasal yapısı, hiçbir iletkenlik özelliği göstermez. Bu nedenle yüksek gerilim üniteleri veya bunların kullanıldığı sistemlerin korunmalarında da etkin bir söndürücü eleman olarak kullanılır (EOSB, 2014).

2.2.8 Inergen gazı (argon, azot, karbondioksit karışımı)

Inergen; kimyasal reaksiyona girmeyen, hiçbir korozif özellik taşımayan insan sağlığına dost ve atmosferde bol miktarda bulunan gazların belirli oranlarda karışımı yoluyla elde edilen özel bir söndürücüdür. İnergen, ortamdaki oksijen konsantrasyonunu yanma sınırının altına çekerek yangını boğar ve kısa sürede söndürür. Ortamdaki oksijen konsantrasyonu, yanma için alt sınır olan %15’dir. İnergen gazı, kapalı hacim koruma esaslı kullanılır. Bu sistemde mahallin tamamını yangından korumak mümkündür. Köpük veya CO₂ sistemlerindeki gibi açık ve geniş mahallerin sadece bir bölümünü korumak yanlış bir uygulama olacaktır. Her tür A, B, C ve gaz yangınlarına inergen gazı ile müdahale edilebilir (EOSB, 2014).

2.2.9 Naf serisi gazlar (HCFC) hidroklorocarbon

Halon yerine üretilmiş kapalı hacim korumada kullanılan taşınabilir tüplerde sıvılaştırılmış gazlardır. A, B, C sınıfı yangınlar için iyi bir söndürücüdür. Elektrik ve elektronik sistemlerin yangına karşı korunmasında kullanılan iletken olmayan bir gazdır. Herhangi bir atık bırakmaz ve paslanmaya neden olmaz. İnsan sağlığına tehdit oluşturmaz (EOSB, 2014).

2.2.10 Bor

Muhteviyatında farklı oranlarda bor oksit içeren doğal bileşiklere bor mineralleri adı verilmektedir. Tabiatta 230’dan fazla çeşitte bor minerali bulunur. Bu mineral başta nano teknoloji olmak üzere, askeri, otomotiv, enerji, tarım nükleer uygulamalar, uzay ve hava araçlarının yapısı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yangın söndürme sektöründe ise bor mineralinden dünyada ilk kez Türkiye’de soğutma özelliğide bulunan bir yangın söndürücü

madde üretilmiştir. Bu madde yüksek ısı ve metal yangınları dahil birçok yangında oldukça etkili olarak kullanılmaktadır.

2.3 Havadan Yangınla Mücadele Yöntemleri

Günümüzde yangınlarla mücadelede karadan ve havadan müdahale yöntemleri kullanılmaktadır. Bu iki yöntem birbirlerinin alternatifi olmayıp her biri diğerinin etkinliğini arttıran, eksikliklerini tamamlayan ve yangınların zamanında söndürülebilmesi için ortaya çıkmış müdahale yöntemleridir. Karadan müdahale yöntemlerinde sıklıkla kamyon, pikap, arazöz ve iş makineleri benzeri motorlu araçların gücünden yararlanılmaktadır (Küçükosmanoğlu, 1993). 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 yangınlarla mücadelede uçak ve helikopter benzeri hava araçlarının kullanıldığı ve karadan yapılan müdahaleye yardımcı olan bir diğer yöntemdir. Bu yöntemin sahip olduğu avantajlar kısaca hava araçlarının sahip olduğu hız, arazi şartlarından bağımsızlık ve tüm yangın alanını yukarıdan gözlemleyebilme imkânı şeklinde özetlenebilir (Pulicinski ve Gould, 2007).

Havadan müdahale yöntemi iki şekilde olmaktadır. İlk yöntem yangın söndürme faaliyetlerinin izlendiği ve koordinasyonun sağlandığı havadan destek faaliyetleridir. İkinci yöntem ise doğrudan müdahalenin yapıldığı yöntemdir. Burada itfaiye personelinin nakli veya söndürücü madde ile yangının bombardımanı gerçekleştirilmektedir. Hava araçları ile yukarıdan yapılan bombardımanda yangın üzerine su, köpük, jel veya yanmayı geciktirici bazı maddeler atılmaktadır (Alder, 1990). Bu maddeler orman yangınlarında genel olarak ağaç tepe noktasından 60 m kadar daha yüksekten yangın üzerine bırakılmaktadırlar (Dowling, 2015). 60 metreden daha yüksekten bırakılan söndürücü maddelerin tamamı 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, mücadelede hava söndürme araçları kullanan 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.

2.3.1 Helikopterler ile havadan yangınla mücadele

Helikopterler yangın söndürme faaliyetinde yaygın olarak kullanılan bir hava aracıdır. Söndürücü madde taşıma şekillerine göre mücadelede kullanılan helikopterler iki çeşittir (Şekil 2.2). 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 yöntemidir. 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 2.2 : Los Angeles itfaiyesine 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 (Küçükosmanoğlu, 1993).

2.3.2 Uçaklar ile havadan yangınla mücadele

Uçaklar ilk olarak 1950’li yıllarda Kanada ve ABD’de yangınlarla mücadelede kullanılmaya başlanmış olup bugün tüm dünyada söndürme faaliyetlerinde etkin olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Uçağın hız avantajı, arazi koşullarından bağımsız olması ve tüm yangın alanını yukarıdan gözlemleyebilme yeteneği, bu yangınla mücadele yönteminin kısa sürede başarılı olmasını sağlamıştır.



Şekil 2.3 : Yangın söndürme faaliyetinde kullanılmakta olan uçaklar.

2.3.3 Dronlar ile havadan yangınla mücadele

Dron teknolojisinin ortaya çıkması ve gelişimi ile birlikte dronlar trafik, sağlık, askeri ve çeşitli mühendislik alanlarında birçok projede kullanılmaya başlanmıştır.

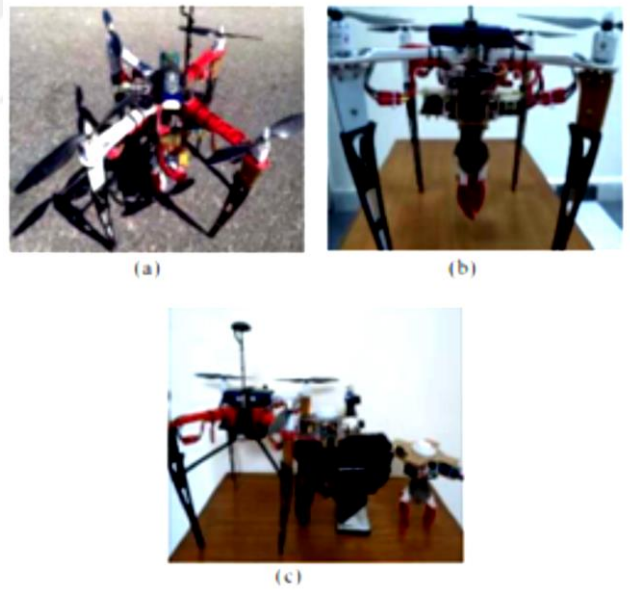
Radu (2009) “İHA'ların yangınla mücadele operasyonları için kullanımı” başlıklı bir yüksek lisans tezi yapmıştır. Dronların büyük bir etkiye sahip olabileceği uygulama alanlarından birisinin de yangınla mücadele olduğu vurgulanmış ve dronların yangın söndürme faaliyetlerinde kullanımını etkileyen farklı yönler incelenmiştir. Danimarka Falck Fire Services bünyesindeki birkaç karar vericiyle yüz yüze veya e-posta yoluyla görüşmeler gerçekleştirilerek itfaiye sektöründeki uzmanların insansız hava araçlarının mevcut uygulama aşaması, faydaları, olası kullanımı, sınırlamaları ve gelecekteki beklentileri hakkındaki görüşleri vurgulanmıştır. Ayrıca, AB içindeki çeşitli ülkelerdeki yasal gelişmelerin mevcut aşamasını analiz etmek ve yangınla mücadele amaçlı gereksinimleri karşılayabilecek herhangi bir insansız hava aracı olup olmadığını belirlemek için inceleme yapılmıştır. Acil durum yönetim döngüsünün farklı aşamalarında dronların potansiyel kullanımının şematik bir analizi verilmiştir. Ayrıca drone düşme riskinin nedenlerini, sonuçlarını ve engellerini tanımlayan Bow-Tie modeli anlatılmıştır.

Champagnie ve Simonis (2013) yangın söndürme topunu tutmak için dört pervaneye bağlı bir kafes ve bir ray içeren yenilikçi bir quadcopter tasarımı ortaya koymuştur. Ilah ve Alshbatat (2018) yangın söndürmek amacıyla bir yük bırakma mekanizması içeren bir dron tasarlamıştır (Şekil 2.5). Dron, radyo sinyali yoluyla dronun uzaktan kumandası üzerindeki tetik düğmesine bağlı olarak açılıp kapanan iki mekanik pençeden oluşan bir robot içermektedir. Yangın söndürme topuunda söndürme maddesi olarak monoamonyum fosfat kullanılmaktadır ve alçı ve kauçuk bazlı yapıştırıcı içeren hafif bir karışım kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.4 : Champagnie ve Simonis tarafından tasarlanan kafesli ve ray sistemli Quadcopter (Radu, 2019).

Araştırmacılar tasarımlarının geliştirerek, yangın söndürme topunu 20 metreye kadar fırlatabilen bir “Otomatik Elektrik Yaylı Silah” geliştirmiştir. Bu, dronun, itfaiye aracı platformunun sınırlı yüksekliği nedeniyle itfaiyecilerin erişiminin uzak olduğu çok katlı binalarda yangınla mücadele etmesine izin vermektedir. Mevcut prototip bir seferde sadece bir top taşıyabildiğinden, 4 top tutabilen bir tepsi ile farklı bir tasarım önerilmiştir.



Şekil 2.5 : Ilah ve Alshbatat tarafından tasarlanan yangın söndürme sistemi (Radu, 2019). Cervantes ve diğ. (2018) on metre karelik bir alanda yangınları söndürme yeteneğine sahip yükleri taşıyabilen bir hexacopter geliştirmişlerdir (Şekil 2.6). Drone, uçuş ve motor kontrolörleri, motorlar, verici ve alıcı, pil ve pervaneler, GPS'e bağlı kablosuz verici ve alıcı ile yükü serbest bırakmak için bir servomotor tarafından harekete geçirilen bir dağıtıcı (dispenser) içermektedir. Drone, 3 kg ağırlığa sahip 2 yangın söndürücü bombası dâhil

olmak üzere 7 kg ağırlığındadır. Dronu çeşitli deneylerde test edilmiş ve daha iyi stabilite sağladıkları için pervanelerin boyutunun 8 inç olması gerektiği sonucuna varılmıştır (Radu, 2019).



Şekil 2.6 : Cervantes ve diğerleri tarafından tasarlanan itfaiye dronu olarak önerilen kavramsal tasarım prototipi (Radu, 2019).

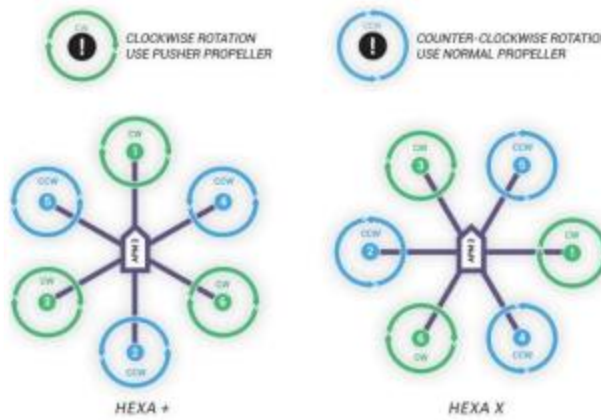
Köz (2019) yangın topu kullanarak yangın söndüren bir quadrocopter tasarlamış ve prototipinin imalatını yapmıştır. Quadrocopter, yerleşim yerlerinde çıkan yangınlara anlık müdahalede bulunarak baça/çatı yangınlarında kullanılması için tasarlanmış ve X şeklinde şase kullanılmıştır. Yangına anlık müdahalede bulunulması için quadrocopterin ağırlık merkezine yerleştirilen ve uzaktan kumanda ile açılması sağlanan hazne içerisine, yangın söndürücü toz konularak simüle edilmiştir. Ayrıca daha büyük çaplı yangınlarda kullanılmak üzere yangın topu kullanılması tasarlanmıştır. Yangın topu, 1300 g ağırlığında 14.5 cm çapa sahip dairesel şekilli ve dış yüzeyi straforla kaplı içerisinde mono amonyum fosfat barındıran yangın söndürücü ekipmandır (Şekil 2.7). Yangın esnasında sıcaklıkla temas ederek ortalama 3 ile 5 s arasında patlayarak 8.3 m³'lük bir alana müdahale ederek yangını söndürür. Tasarlanan ve prototip imalatı yapılan quadrocopterin, yangınlara gerekli müdahalenin zamanında yapılmasında trafik yoğunluğu, dar sokaklar ve bina önlerine park edilen araçların engel olması nedeniyle müdahale edilemeyen yangınlara müdahale imkanı vereceği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, yangın topunun ağırlığını göz önünde bulundurarak uygun taşıma kapasitesine sahip motorlar, elektronik hız kontrolcüler ve pervaneler kullanılarak tasarımlar yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

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 2.8). Bu drone 130 km/sa hıza ulaşabilmekte ve tam yükte 21 dakika havada kalabilmektedir. Yangın istasyonu çevresinde bulunan 5 km çaplı alan içerisinde ortaya çıkması muhtemel tüm yangınlara havadan hızlıca erişerek söndürme görevini yerine getirebilmektedir (EHang, t.y).



Şekil 2.7 : Ehang 216F (Çin menşeli) yangın söndürme dronu (EHang, t.y).

Patil ve diğ. (Radu, 2019) toz haline getirilmiş CO₂'den oluşan yangın söndürme topunu taşıyan bir Hexacopter dronu tasarlamışlardır. Yangın söndürme topları, yer istasyonundan çalışan bir kilide sahip olan gimbal tarafından tutulmaktadır. Ağır yükler için tasarlanmış olan hexacopter dronunda, stabilite için üçü saat yönünde ve üçü saat yönünün tersine olmak üzere altı adet 680kv motor kullanılmıştır.



Şekil 2.8 : Hexacopter dronu çerçeve konfigürasyonu (Radu, 2019).

2.3.4 Roketatarlar ile havadan yangınla mücadele

Yangınlarla havadan mücadele amacıyla geliştirilen bir diğer ürün 2017 yılında Çin’de ortaya çıkmıştır. Ürün esasında kaideye monteli çok namlulu bir roketatardır (Şekil 2.9). 3.6

kg ağırlığında söndürücü madde ihtiva eden roketler maksimum 300 m ötede bulunan 60 m³ hacme sahip kapalı hacimlerde ortaya çıkan yangınları söndürmek için tasarlanmışlardır (Lei, 2017). Bu ürün katı yakıtlı bir roket motoruna sahip karadan karaya bir sevk roketi kullanmaktadır. Katı yakıtlı roket motorları bir kez ateşlendiklerinde ihtiva ettikleri 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 bir yakıt 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 çözüm sunmaktadır. Ayrıca kapalı alanlara bu türden roketlerin ateşlenmesinin getirebileceği güvenlik risklerini hesaplayabilmek de oldukça zordur.



Şekil 2.9 : İtfaiye aracı üzerinde bulunan kaideye yüklenmiş yangın söndürü roketleri (Lei, 2017).

2.3.5 Diğer havadan yangınla mücadele yöntemleri

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 çeşitli 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 (Korenkov ve Vladimir, 2004). Yangın bölgesinde yere çarpan yapı içerisinde bulunan dağıtıcı mekanizma

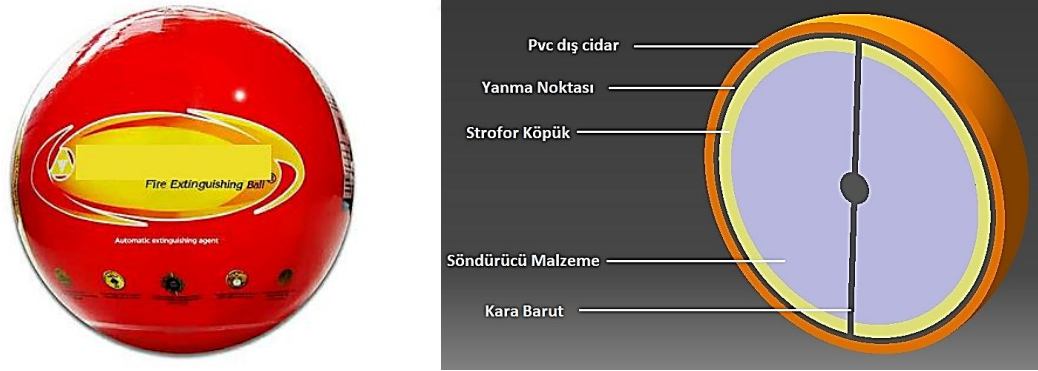
söndürücü malzemenin etrafa saçılmasını sağlamaktadır. Ancak ürünün birçok dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan en dikkat çekici olanı sistemin çalışabilmesi için yere çarpma zorunluluğunun bulunmasıdır. Ağaç benzeri engellerin bulunduğu yangın alanlarında engellere çarpan söndürücü madde yeteri kadar 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.

Alman mühendis Malay Modak, geniş doğal alanlara yayılan yangınları kontrol etmek için 'bomba' yaklaşımı kavramını geliştirdi (Arthur, 2009). Modak, sıkıştırılmış karbondioksit ve nitrojenle doldurulmuş pleksiglas kürelerin yanma alanlarına bırakıldığında yangın söndürücü gazlar salgılayarak etkili yangın söndürücüler olarak hizmet edebileceğini öne sürmüştür. Modak'ın önerisi, havadan yangın söndürme çabalarının verimliliğini artırma açısından bilimsel ilgi çekicidir. Geleneksel yaklaşım olan suyun uçaklardan yayılması, yangına nispeten yakın olması gereken kaynaklardan yangınla mücadele uçaklarının yoğun şekilde yüklenmesini gerektirir. Düşen su genellikle hedefini ıskalar veya söndürmeyi amaçladığı alevlerin ısısıyla hızla dağılır. Bir yangınla mücadele uçağı yangına yaklaştıkça görev daha tehlikeli hale gelir. Yüksek olasılıkla alevlerin en sıcak kısmına ulaşana kadar serbest bırakılmayacak ve yangına doğrudan atılabilen katı söndürücü kapları fikri bu nedenle çekicidir. Modak'ın yaklaşımında, küçük yeryüzü uydularına benzeyen yüzlerce pleksiglas 'bomba' (topların yuvarlanmasını önlemek için çıkıntılı çubuklarla birlikte) basit bir şekilde yangınla mücadele uçaklarının ambarlarına yüklenebilir ve noktasal olarak belirlenen alanlara bırakılabilir. 'Bombalar' yangının kalbine ulaşana kadar bozunmayacaktır, bu sırada patlayacak ve alevlerin üzerine karbondioksit katmanlarının yayılmasına ve ayrıca yanmayı geciktirmek veya yavaşlatmak için azot gazı atıl bir atmosfer oluşturmaya yardımcı olacaklardır. Bomba yaklaşımının en büyük dezavantajı malzeme ve paradır. Modak'ın önerdiği, esas olarak, yangın dışı koşullar altında sıkıştırılmış gazları içerecek kadar güçlü, tek kullanımlık bir yangın söndürücü sistemidir. Doğru malzemeleri doğru fiyata bulmak zor olabilir; Yetersiz malzeme ve kötü bomba tasarımı, maliyetli ve potansiyel olarak feci sonuçlarla birlikte cihazların erken patlaması anlamına gelir. Aynı zamanda, yüksek mukavemetli bombalar büyük olasılıkla çok pahalı olacaktır. Önerilen nitelikteki yangın söndürme bombaları üzerine laboratuvar ölçeğinde bazı çalışmaların değerli olabileceği anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar, termal olarak etkinleşen yangın söndürme sistemlerinin etkili bileşenleri olduklarını ve hatta başka geniş kapsamlı uygulamalara sahip

olduklarını makul bir şekilde kanıtlayabilir. Örneğin Modak, bombalarının su üzerindeki yağ tabakası yangınlarını söndürmek, ev ve bina yangın söndürücüleri ve hatta asit yağmuru kontrolü için kullanılabileceğini öne sürmektedir (Arthur, 2009).

2.3.6 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 (Arthur, 2009), 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.



Şekil 2.10 : Yangın Söndürme Topu ve Bileşenleri.

3. AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATININ GEREKLİLİK VE TASARIM KRİTERLERİ

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 kullanılabilmedir.

- (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. MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Giriş

Bu çalışmanın amacı, üçüncü bölümde gereklilik ve tasarım kriterleri verilen AYSM'nın üç boyutlu modelini oluşturmak, mühimmat için bir matematiksel model geliştirmek, HAD analizi yaparak sürüklenme katsayısını belirlemek, mühimmat üzerindeki basınç ve hız dağılımlarını elde etmek, mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı hesaplamalarını yapmak, farklı burun konisi tipleri arasından en uygun konfigürasyonu belirlemek ve mühimmatın imalat karakteristiklerini detaylandırmaktır. Mevcut araştırma çalışmasının metodolojisi sayısal çalışmaları içermektedir.

Üç boyutlu bir katı model oluşturmak için bilgisayar destekli bir tasarım uygulaması olan Catia V5.R.21 kullanılmıştır. HAD analizi sonlu elemanlar yöntemini kullanan Ansys Fluent 16.0 yazılımı ile yapılmıştır. Sanal rüzgâr tüneli, SpaceClaim yazılımı ile oluşturulmuştur.

4.2 Matematiksel Modelleme ve Sayısal Simülasyon

Mühendisliğin temel amacı cihazları, süreçleri ve sistemleri tasarlamaktır. Matematiksel modeller, matematik açısından gerçek bir cihazın, sürecin veya fiziksel sistemin davranışını temsil eder. Matematiksel modelleme, belirli mantıksal meta ilkeleri izleyen yapılandırılmış bir süreçtir. Modellemedeki adımlar, modelin ihtiyacını tanımayı ve aranacak bilgileri tanımlamayı, mevcut bilgileri toplamayı, fenomeni ve ilgili fiziksel yasayı tanımlamayı, denklemleri oluşturmayı, doğrulama yoluyla modeli doğrulamayı ve modelin uygulanabilirliğini doğrulamayı içerir. Modelleri formüle etmek için boyutsal homojenlik, soyutlama ve ölçekleme, korunum ilkeleri, doğrusallık vb. bazı matematiksel teknikler kullanılmaktadır (Nahar, 2017).

Kısmi diferansiyel denklemler (KDD), genellikle bir fiziksel fenomeni matematiksel olarak tanımlamak için kullanılır. Bu KDD'ler, bilgisayarda temsil edilebilen ve daha sonra bir algoritma üzerine inşa edilmiş bir bilgisayar programı tarafından işlenebilen bir "sayısal analog" dönüştürülür. Matematiksel bir modeli sayısal olarak çözmek için fiziksel modelin ayrıklaştırılması gerekir. Sonlu farklar yöntemi (finite difference method), sonlu hacim yöntemi (finite volume method), sonlu elemanlar yöntemi (finite element method), sınır eleman yöntemi (boundary element method) ve sınır hacmi yöntemi (boundary volume

method) gibi çeşitli ayırıklaştırma yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada hesaplamalar, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan, Ansys-Fluent 16.0 (Fluent, 2006) HAD yazılımı ile yapılmıştır.

4.2.1 Ansys fluent

Ansys Fluent yazılımı geniş fiziksel modelleme yeteneğine sahip olup akış, türbülans, ısı transferi hesaplarının yanı sıra uçak kanadı üzerinden olan akıştan bir endüstriyel fırın içerisindeki yanmaya, kabarcık kolonlarından petrol kulelerine, kan akışından yarı iletken üretimine, temiz oda tasarımından atık su arıtma tesislerine kadar farklı endüstriyel alanlarda analiz imkanlarına sahiptir. Ayrıca silindir içindeki yanma, aeroakustik, turbomakineler ve çok fazlı akışları analiz imkânı veren özel modeller, yazılımın kullanıldığı alanları arttırmakta ve bir çok mühendislik problemine çözüm imkanı sağlamaktadır (Ansys Inc, 2020).

Ansys Fluent, sonlu hacimler tabanlı bir HAD yazılımıdır. Fluent, sıkıştırılamaz (düşük subsonik), orta sıkıştırılabilir (transonik) ve yüksek sıkıştırılabilir (süpersonik ve hipersonik) akışlar için HAD çözücüsüdür. Yakınsamayı hızlandıran çoklu ağ metoduyla beraber çoklu çözücü seçenekleri ile Fluent geniş hız rejimleri aralıklarında optimum çözüm etkinliği ve hassasiyeti getirmektedir. Fluent'deki fiziksel modellerin zenginliği, laminar, geçiş ve türbülanslı akışların, ısı transferinin, kimyasal tepkimelerin, çokfazlı akışların ve diğer olguların sayısal ağ esnekliği ve çözüm tabanlı ağ uyarlaması ile hassas çözülmesine olanak sağlamaktadır (Savaş, 2015).

Bu yazılım kullanılarak bir uçak kanadı üzerindeki akıştan tutunda bir fırında meydana gelen yanmaya, damarlar içerisindeki kan akışı veya bir petrol platformundaki petrol akışına kadar oldukça geniş bir yelpazede ortaya çıkan gerçek durumları oldukça doğru bir şekilde analiz ve simüle edilebilmektedir (Ansys Fluent brochure, 14.0).

4.2.2 Catia

Catia (“Katya” olarak okunur) Fransız bir havacılık şirketi olan Dassault Aviation (Avions Marcel Dassault) tarafından kendi tasarımlarını geliştirmek amacıyla 1977 yılından beri geliştirmeye başladığı ve günümüzde başta havacılık ve otomobil endüstrisi olmak üzere, gemi inşa ve daha birçok alanda kullanılan bir eşgüdümlü üç boyutlu etkileşimli uygulamadır. 1981 yılından beri yazılımın diğer firma ve sektörler IBM tarafından pazarlaması yapılmakta olup ülkemizin askeri ve sivil amaçlı hava araçları, elektronik

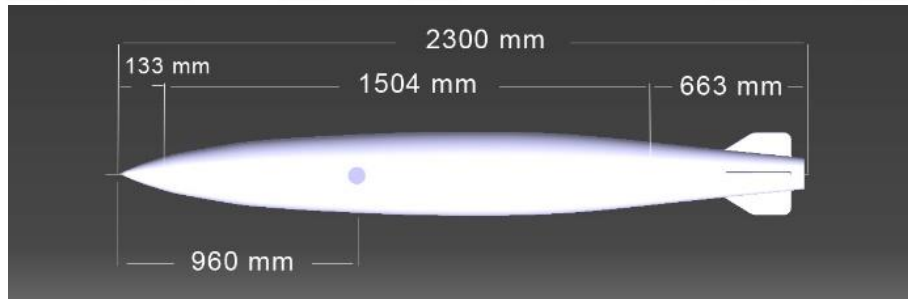
malzeme ve füze-roket ihtiyaçlarının üretildiği kurumlar olan TUSAŞ Havacılık, Aselsan ve Roketsan gibi kurumlarda da modelleme ve üretim amacıyla Catia yazılımı kullanılmaktadır. En güncel sürümü olan Catia V.6 (Sürüm 6) yazılımı piyasaya sürülmüş olmakla birlikte tüm dünyada lisanslı olarak en çok kullanılan sürüm 2021 yılı itibarı ile Catia V.5 tir.

4.2.3 SpaceClaim

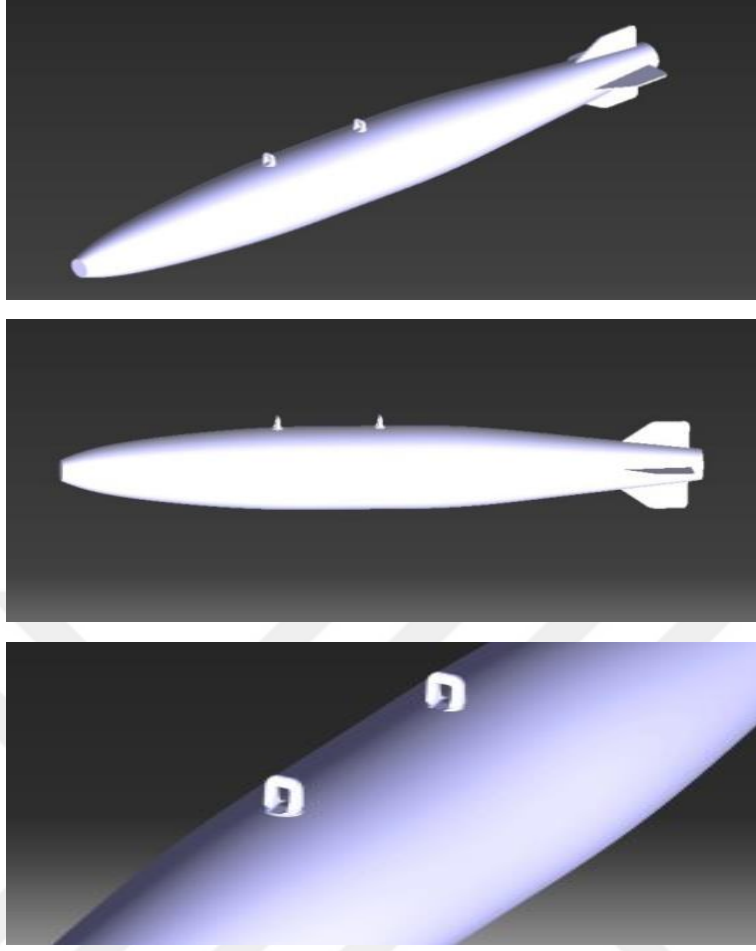
SpaceClaim de bir üç boyutlu modelleme yazılımıdır. Yazılım fonksiyonları bakımından Catia kadar kapsamlı ve detaylı modüllere sahip olmamakla birlikte, özellikle katı modelleme yaparken kullanımı Catia'dan çok daha seridir. Bu yazılım Ansys analiz yazılımı ile birlikte gelir ve mühendislik alanında kullanılan hemen hemen her türlü tasarım yazılımına ait çıktıları açabilir.

4.3 AYSM'nın 3 Boyutlu Modelinin Oluşturulması

AYSM, NATO mühimmatı olan havadan karaya genel maksatlı mühimmat tipi MK-82'nin boyutlarına göre oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Üç boyutlu bir katı model oluşturmak için bilgisayar destekli bir tasarım uygulaması (Catia V5.R.21) kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 : MK-82 tipi havadan yere genel maksat mühimmatının metrik boyutları.



Şekil 4.2 : Üç boyutlu tasarım uygulaması ile oluşturulan AYSM modeli.

4.4 Sanal Rüzgâr Tünelinin Oluşturulması

Rüzgâr tünelleri, hava ile havada uçan bir cisim arasındaki etkileşimi taklit etmek için kullanılan geometrilerdir. Bilgisayar ortamında analiz yapmak için tünel geometrisinin boyutları ve şekli belirlenerek sanal bir rüzgâr tüneli tasarlanmalıdır. HAD analizinde, bu geometri genellikle "mahfaza (enclosure)" olarak adlandırılır. Analizde kullanılacak rüzgâr tüneli geometrisi dikdörtgen prizma olarak seçilmiştir. Literatür taraması neticesinde, sanal rüzgâr tüneli mahfaza uzunluğunun AYSM uzunluğunun 6 katı ve genişliğinin ise AYSM genişliğinin 4 katı olacak şekilde tasarlanmasının yeterli ve uygun olacağı görülmüştür (Houghton, 2014). Bu mahfaza SpaceClaim HAD yazılımı ile oluşturulmuş ve üçte biri modelin önünde, üçte ikisi ise modelin arkasında olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Sanal rüzgâr tüneli mahfazasının önden görünümü.

4.5 Korunum Denklemleri ve Türbülans Modelleri

Sayısal çözümlemede akışın türbülanslı, üç boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimde olduğu kabul edilmiştir. Ansys Fluent yazılımı, türbülans modellemesinde Eddy viskozitesi yaklaşımıyla, değişkenlerin ortalama değeriyle salınım değerlerinin toplamı olarak göz önüne alındığı Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemlerini kullanmaktadır. Bu yaklaşımda hız bileşenleri aşağıdaki gibi ortalama değerleriyle salınım değerlerinin (çalkantı) toplamı şeklinde ifade edilirler (Geçim ve diğ, 2008):

$$u = \bar{u} + u' \quad v = \bar{v} + v' \quad (4.1)$$

Türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimdeki akışı ifade eden süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kartezyen koordinatlarda aşağıdaki gibidir (Geçim ve diğ, 2008):

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial(\bar{\rho}u)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}v)}{\partial y} = 0 \quad (4.2)$$

x-Momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\bar{\rho}uu)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}vu)}{\partial y} = & -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

y-Momentum denklemi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\bar{\rho}uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho}vv)}{\partial y} = & \rho g - \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\overline{\rho u C_p T}) + \frac{\partial}{\partial y}(\overline{\rho v C_p T}) = \frac{\partial}{\partial x} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \right) \quad (4.5)$$

Bu denklemlerde k_t türbülanslı eddy iletkenliği ve μ_t türbülanslı eddy viskozitesidir. Bu çalışmada korunum denklemleri farklı türbülans modelleri kullanılarak sonlu elemanlar esasına dayalı olan Ansys Fluent yazılımı yardımıyla incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan türbülans modelleri Spalart Allmaras (S-A) modeli, standart k-ε modeli ve SST k-ω türbülans modelidir. Bu modeller aşağıda kısaca açıklanmıştır.

4.5.1 Spalart Allmaras (S-A) modeli

Spalart-Allmaras (S-A) modeli, kinematik eddy türbülans viskozitesi için modellenmiş taşıma denklemini çözen tek denklemlilik bir RANS modelidir. Modifiye edilmiş formdayken, eddy viskozitesinin cidar yakınında çözülmesi kolaydır. Spalart-Allmaras modeli, duvarla sınırlı akışları içeren havacılık uygulamaları için özel olarak tasarlanmıştır ve ters basınç gradyanlarına maruz kalan sınır tabakaları için iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca turbomakine uygulamalarında da popülerlik kazanmaktadır.

Orijinal biçiminde, model, etkin düşük-Reynolds sayılı bir modeldir ve sınır tabakanın viskoziteden etkilenen bölgesinin uygun şekilde çözülmesini gerektirir ($y^+ \sim 1$ ağırlar). Spalart-Allmaras modeli aerodinamik akışlar için geliştirilmiştir. Genel endüstriyel akışlar için kalibre edilmemiştir ve bazı serbest kayma akışları için, özellikle düzlem ve yuvarlak jet akışları için nispeten daha büyük hatalar üretir. Her tür karmaşık mühendislik akışlarına uygulanabilirliği konusunda iddialı bir model değildir. Homojen, izotropik türbülansın sönümlenmesini belirlemede güvenilir değildir (Fluent, 2006).

4.5.2 Standart k-ε modeli

k-epsilon türbülans modeli türbülanslı akış koşullarında ortalama akış özelliklerini simüle etmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği'nde kullanılan en yaygın modeldir. Standart k-ε modeli, k ve ε'yi çözen temel iki-transport denklemlilik bir modeldir. Bu iki denklem modeli türbülanslı enerjinin taşınımı ve yayılması gibi etkilerini hesaba katmaya yarar. Katsayılar deneysel olarak türetilmiştir; yalnızca tam türbülanslı akışlar için geçerlidir. Viskoz ısıtma, kaldırma kuvveti ve sıkıştırılabilirliği hesaba katan seçenekler diğer k – ε modellerinde dikkate alınmaktadır (Fluent, 2006). Standart k-ε modelinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve onun yayılma hızı (ε) olmak üzere türbülans viskozitesi ve türbülans iletkenliği şu şekilde ifade edilir (Geçim ve diğ, 2008):

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.6)$$

$$k_t = \frac{\mu_t C_p}{\sigma_t} \quad (4.7)$$

Standart k-ε türbülans modelinde iki boyutlu daimi akış için türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerjisi yayılma hızı (ε) denklemleri şu şekilde ifade edilmektedir (Launder ve Spalding, 1974):

$$\frac{\partial \overline{\rho u k}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho v k}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \mu_t \Phi - \rho \varepsilon + \frac{C_4 \beta \mu_t}{\sigma_t} \left(g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \overline{\rho u \varepsilon}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho v \varepsilon}}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) \\ &+ C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \Phi - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{C_\mu (1 - C_3) \beta \rho k}{\sigma_t} \left(g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (4.9)$$

(4.8 ve 4.9) nolu denklemlerindeki türbülans kinetik enerji üretimi (Φ) şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)^2 \quad (4.10)$$

Türbülans model sabitleri ise $C_\mu=0.09$, $C_1=1.44$, $C_2=1.92$, $C_3=1.0$, $C_4=0.0$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.30$ ve $\sigma_t=0.9$ şeklindedir.

4.5.3 SST k-ω türbülans modeli

SST k-ω türbülans modeli, birçok aerodinamik uygulama için kullanılan iki denklemlilik eddy-viskozite modelidir. Wilcox k-ω modeli, viskoz alt katmandaki akışı simüle etmek için çok uygundur. k-ε modeli ise duvardan uzak bölgelerdeki akış davranışını tahmin etmek için idealdir. SST (shear stress transport) formülasyonu, Wilcox k-ω ve k-epsilon modellerini birleştiren hibrit bir modeldir. Bir harmanlama işlevi kullanarak duvarların yakınında kullanım için orijinal Wilcox modelini ve duvarlardan uzakta standart k-ε modelini birleştirir. Bu, uygun modelin akış alanı boyunca kullanılmasını sağlar. Sınır tabakanın iç kısımlarında k-ω formülasyonunun kullanılması, modeli viskoz alt tabaka boyunca duvara kadar doğrudan kullanılabilir hale getirir; dolayısıyla SST k-ω modeli herhangi bir ekstra sönümleme fonksiyonu olmaksızın düşük-Re türbülans modeli olarak

kullanılabilir. SST formülasyonu ayrıca serbest akışta k-ε davranışına geçer ve böylece modelin giriş serbest akış türbülans özelliklerine fazla duyarlı olması şeklindeki yaygın k-ω problemini önler. SST k-ω modeli, ters basınç gradyanlı ve ayrılma bölgesi akışlarda iyi sonuçlar vermektedir. SST k-ω modeli, durma bölgeleri ve yüksek ivmeli bölgeler gibi büyük normal gerinmeye sahip bölgelerde biraz fazla yüksek türbülans seviyeleri üretir. Bu eğilim, normal k-ε modelinkinden çok daha az belirgindir (Menter, 1994; Wilcox 1998).

k-ω modelinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerji özgül yayılma hızı viskozitesi şu şekilde ifade edilir (Geçim ve diğ, 2008; Wilcox 1998):

$$\omega = \frac{\varepsilon}{C_\mu k} \quad (4.11)$$

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \quad (4.12)$$

k-ω türbülans modelinde iki boyutlu daimi akış için türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans kinetik enerji özgül yayılma hızı (ω) denklemleri şu şekilde ifade edilmektedir (Geçim ve diğ, 2008; Wilcox 1998):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \overline{\rho k}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho k}}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right) \\ &+ \mu_t \Phi - C_\mu \rho k \omega + \frac{C_4 \beta \mu_t}{\sigma_k} \left(g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \overline{\rho \omega}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho \omega}}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \\ &+ \gamma \rho \Phi - \beta' \rho \omega^2 + \frac{(1 - C_3) \beta \rho}{\sigma_t} \left(g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (4.14)$$

Bu modeldeki sabitler ise $\sigma_k=2.0$, $\sigma_\omega=2.0$, $\gamma=0.555$ ve $\beta'=0.075$ şeklindedir.

SST türbülans modeli k-ω ve k-ε modellerinin avantajlarını birleştirmiştir. SST k-ω türbülans modelinde denklem (4.13)'de yer alan $P_t=\mu_t\Phi$ terimi yerine $P_t=\min(\mu_t\Phi, C_{lim}\varepsilon)$ terimi kullanılmaktadır. Ayrıca bu modelde türbülans kinetik enerji özgül yayılma hızı denkleminde fazladan

$$\frac{(1 - F_1) 2 \rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \left[\frac{\partial k}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y} \right] \quad (4.15)$$

terimi bulunmaktadır. Burada F_1 karışım fonksiyonu olup bu değer duvara yakın bölgelerde 1, uzak bölgelerde 0 olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyon sayesinde SST türbülans modeli duvara yakın bölgelerde $k-\omega$ ve duvardan uzak bölgelerde $k-\varepsilon$ modeli gibi davranmakta, model katsayısı aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$\varphi = F_1\varphi_1 + (1 - F_1)\varphi_2 \quad (4.16)$$

Burada φ_1 ve φ_2 terimleri sırasıyla $k-\omega$ ve $k-\varepsilon$ model katsayılarıdır. Model katsayıları $C_{\text{lim}}=10^{15}$, $k-\omega$ için $\sigma_k=1.176$, $\sigma_\omega=2.0$, $\gamma=0.5532$ ve $\beta'=0.075$; $k-\varepsilon$ için $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\omega=1.168$, $\gamma=0.4403$ ve $\beta'=0.0828$ şeklindedir (Geçim ve diğ, 2008; Wilcox 1998).

4.6 Sayısal Çözümleme

HAD analizleri yapılırken sınır tabakanın doğru modellenmesi oldukça önemlidir. Çünkü hız ve sıcaklık gradyanları sınır tabaka içerisinde meydana gelir. AYSM yüzeyinden akmakta olan akışkan, AYSM ile aynı hıza sahiptir. AYSM'nin normali olan yönünde ilerlendiğinde akışkan katmanlarının hızı giderek artar. Sınır tabaka içerisinde farklı hızlarda akan akışkan tabakaları arasında kayma gerilmeleri meydana gelir. Bunun nedeni viskozite ve türbülansların neden olduğu momentum değişimleridir. Dolayısıyla bu bölge doğru belirlenmediğinde bilgisayar ortamında yapılacak olan analiz sonuçları gerçek koşullarla eşleşmeyecektir. Özetle sınır tabaka hassas bir şekilde modellenmelidir. Bu amaçla ANSYS Fluent analiz yazılımı içerisinde sınır tabakanın istenilen sayı ve kalınlıkta katmanlara ayrılabilmesini sağlayan inflation tabakaları seçeneği bulunur. Bu tabakanın ilk kalınlığının belirlenmesi için sırasıyla aşağıdaki formüllere dayalı hesaplamalar yapılmıştır.

Öncelikle Reynolds sayısı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_\infty \cdot L_c}{\mu}$$

(4.17)

Yüzey sürtünme katsayısı (C_f) Reynolds sayısına bağlıdır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Fluent, 2006):

$$C_f = [2 \cdot \log_{10}(Re_x) - 0.65]^{-2.3} \quad (4.18)$$

Yüzey sürtünme katsayısı kullanılarak cidar kayma gerilmesi (4.19) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\tau_w = C_f \cdot \rho \frac{V_\infty^2}{2} \quad (4.19)$$

Sürtünme hızı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

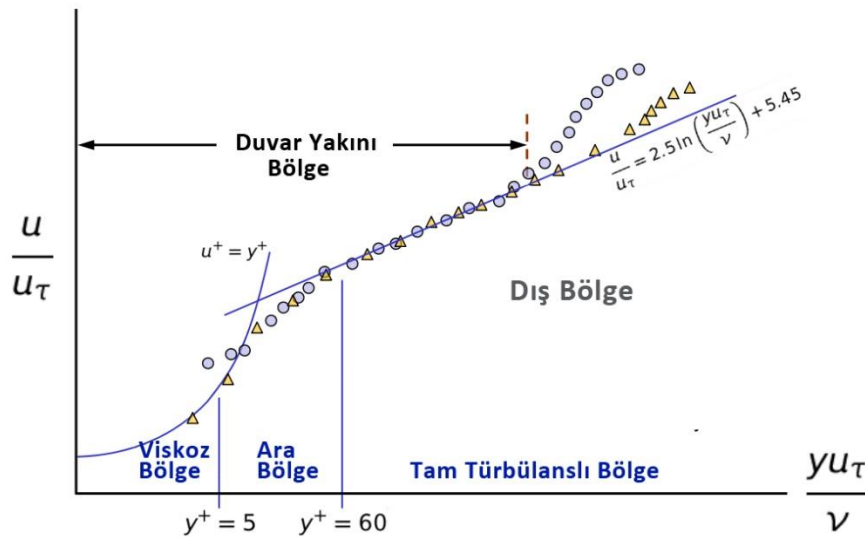
$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (4.20)$$

Tüm bu hesaplamalardan sonra Şekil 4.4'e göre bir y^+ aralığı belirlenmiştir. Reynolds sayısına bağlı olarak, analizin türbülans kaynaklı kayma gerilmelerinin baskın olduğu tam türbülanslı bölgede yapılması gerektiği görülmüştür. En uygun y^+ değerini birbirleriyle karşılaştırarak belirlemek için beş farklı (60, 90, 120, 180, 240) değer seçilmiştir.

Inflation tabakasına ait ilk kalınlığı belirleyebilmek amacıyla yukarıda seçilen her y^+ değeri için (4.21) no'lu denklem ayrı ayrı çözülmüştür:

$$y = \frac{y^+ \cdot \mu}{\rho \cdot U_*} \quad (4.21)$$

Elde edilen sonuçlar her y^+ değeri için inflation katmanının ilk kalınlığıdır. Toplam katman sayısı 11 ve her katman arasındaki büyüme oranı 1.2 olacak şekilde ağ yapıları oluşturulmuştur. Ağ yapıları meydana getirilirken ortagonal ve skewness kalite değer aralıklarına riayet edilmiştir.



Şekil 4.4 : Farklı akış bölgeleri için y^+ aralıkları (Fluent, 2006).

Beş farklı y^+ değeri için ağ yapıları oluşturulduktan sonra RANS (Reynolds-Averaged Navier Stokes) modellerinden birisi olan Spalart Allmaras modeli ile sürüklenme katsayıları,

vertex basınçları ve statik basınçlar hesaplanmıştır. Sonuçlar arasında en küçük hata oranına bakılarak en doğru y^+ değeri belirlenmiştir. En doğru y^+ değeri için analiz, standart k- ϵ ve SST k- ω türbülans modelleri için tekrarlanmıştır. Üç farklı türbülans modeli için hesaplanan sonuçlar Avustralya Savunma Bilim ve Teknoloji Departmanı tarafından yayınlanan bir dökümandan (Aerodynamic Database for the MK-82 General Purpose Low Drag Bomb (Krishnamoorthy ve Glass, 1997)) alınan verilerle karşılaştırılarak bir doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

4.7 Mühimmat Yörüngesi ve Vuruş Açısı Hesaplamaları

Hava aracından serbest bırakılan AYSM'nın hareketi ve yolu, Newton'un ikinci hareket yasası ile tanımlanabilir. Hava aracından bırakılan söndürücü mühimmatın sürüklenme kuvveti etkisi altında izleyeceği yörünge, kuvvet eşitlikleri ile ifade edilirse aşağıdaki denklemler elde edilir. Burada mühimmatın ilerleme yönü "+x" ve düşme yönü (yerçekimi yönü) "-y" olarak alınmıştır:

$$F_x = ma_x = -m \left(\frac{V_x}{V} \right) b V^2 \quad (4.22)$$

$$F_y = ma_y = -mg + m \left(\frac{V_y}{V} \right) b V^2 \quad (4.23)$$

$$b = C_d \rho_a A / m \quad (4.24)$$

b : hava direnci (m^{-1})

m : mühimmat kütlesi (kg)

ρ_a : hava yoğunluğu (kg/m^3)

A : mühimmat kesit alanı (m^2)

C_d : sürüklenme katsayısı

(4.22) ve (4.23) denklemlerinde eşitliğin her iki tarafında bulunan kütlelerin (m) sadeleştirilmesi, a_x yerine dV_x/dt , a_y yerine dV_y/dt ve $dt=\Delta t$ yazılması ile aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$V_x(t + \Delta t) = V_x(t) - b V_x V \Delta t \quad (4.25)$$

$$V_y(t + \Delta t) = V_y(t) - g \Delta t - b V_y V \Delta t \quad (4.26)$$

(4.25) ve (4.26) denklemleri bir hesaplama tablosuna girildiğinde farklı y yükseklikleri ve C_d sürüklenme katsayıları için V_x , V_y hızları, x yönünde bombanın aldığı yol, vuruş açısı ve toplam seyir süresi hesaplanabilmektedir. Bulunmuş olan V_x ve V_y hızları kullanılarak vuruş açısı (θ) şu eşitlikle hesaplanır:

$$\theta = \tan^{-1}(V_y/V_x) \quad (4.27)$$

4.8 Söndürücü Maddenin Uzaklaşma Hızının Hesaplanması

Mühimmatın uygun irtifada patlaması ile söndürücü malzemenin dağılım şeklini belirlemek için üçüncü eksenindeki hız vektörünün de bilinmesi gerekir. Bu amaçla silindirik şekle sahip bir mühimmatın (Şekil 4.5) patlaması sonucu ortaya çıkan şarapnel hızını veren Gurney denklemi kullanılabilir. Silindirik şekle sahip bir mühimmat için Gurney denklemi (Genç ve Pekey, 2014):

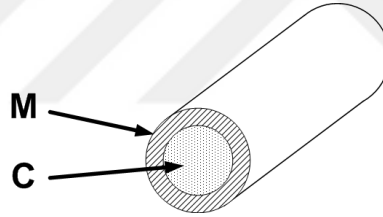
$$V\sqrt{2E} = \left[\left(M/C_{exp} \right) + 1/2 \right]^{-0.5} \quad (4.28)$$

V : Şarapnelin ilk hızı (m/s)

$\sqrt{2E}$: Patlayıcı türü için Gurney katsayısı

M : Şarapnel kütlesi (kg)

C_{exp} : Patlayıcı kütlesi (kg)



Şekil 4.5 : Silindirik şekle sahip mühimmat.

Çizelge 4.1’de bazı patlayıcılara ait Gurney sabitleri verilmiştir. $\sqrt{2E}$ değeri genel olarak patlayıcıların detonasyon hızlarının 1/3’üne çok yakın bir değerdedir. Ancak tam doğru değer için patlayıcının bağıl etki faktörü (R.E. relative equivalent) değerine bakmak gereklidir. Bağıl etki faktörü aynı miktarda patlayıcının enerji değerinin TNT’nin sahip olduğu enerji değerine oranıdır. AYSM’nda patlayıcı olarak dinamit kullanılacaktır. Buna göre:

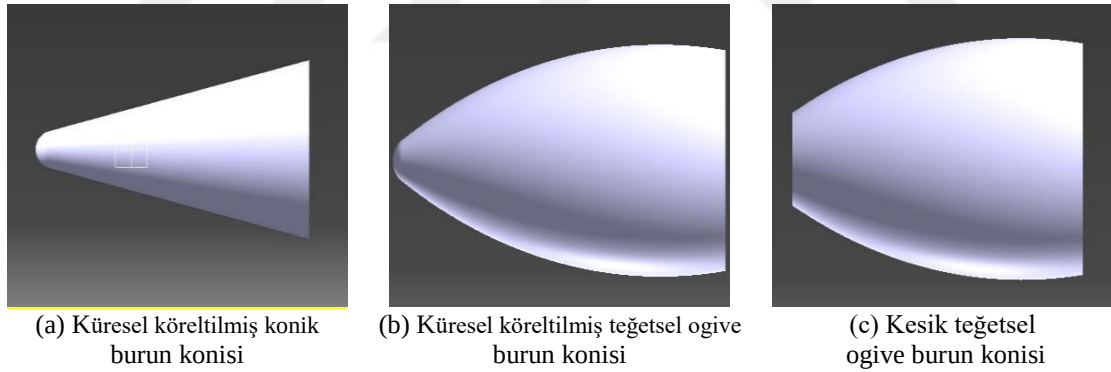
$$R.E. = \frac{E_{dinamit}}{E_{TNT}} \quad (4.29)$$

Çizelge 4.1 : Bazı patlayıcılara ait Gurney sabitleri (UNODA, 2015).

Patlayıcı	Yoğunluk (kg/m ³)	Detonasyon Hızı (m/s)	Gurney Sabiti $\sqrt{2E}$ (m/s)
Octol 75/25	1.81	8.640	2896
PETN	1.78	8.260	2926
RDX	1.81	8.700	2926
RDX/TNT 60/40 (Cyclotol)	1.68	7.800	2402
Tetryl	1.71	7.570	2499
TNT	1.61	6.900	2438
Tritonal	1.70	5.480	2316

4.9 Burun Konisi Tasarımı

Literatürde farklı aerodinamik özelliklere sahip çeşitli burun konisi tipleri ve performansları araştırılmıştır. AYSM'nin kendisinden beklenen amaçları gerçekleştirmesini ve düşük sürüklenme katsayısı oluşturmalarını sağlayacak şekilde üç burun konisi türü seçilmiş ve mühimmata uyacak şekilde tasarlanmıştır. İncelenen burun konileri, küresel köreltilmiş konik (spherically blunted conic), küresel köreltilmiş teğetsel ogive (spherically blunted tangent ogive) ve kesik teğetsel ogive (truncated tangent ogive) tip burun konileridir (4.6).



Şekil 4.6 : İncelenen burun konisi tipleri.

Küresel olarak köreltilmiş konik burun konileri, konik konilerin bir küre ile köreltilmesiyle oluşturulur (Şekil 4.7). Kürenin koni ile birleştiği nokta (teğet noktası) aşağıdaki denklemlerden bulunabilir (GICHHD, 2017):

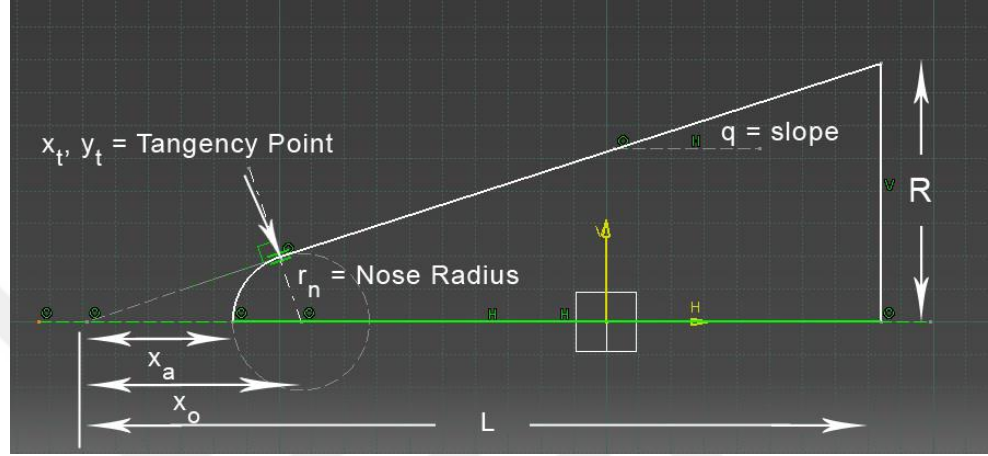
$$x_t = \frac{L^2}{R} \sqrt{\frac{r_n^2}{R^2 + L^2}} \quad (4.30)$$

$$y_t = \frac{x_t R}{L} \quad (4.31)$$

burada “L” burun konisinin toplam uzunluğu, R tabanın yarıçapı, r_n köreltilme için kullanılan kürenin yarıçapıdır. Köreltilme küresinin merkez noktası (x_o) ve tepe noktası (x_a) sırasıyla (4.30) ve (4.31) denklemleri kullanılarak bulunabilir:

$$x_o = x_t + \sqrt{r_n^2 - y_t^2} \quad (4.32)$$

$$x_a = x_o - r_n \quad (4.33)$$



Şekil 4.7 : Küresel olarak köreltilmiş konik burun koni profili ve parametreleri (Crowell ve Gary, 1996).

İncelenen ikinci burun konisi türü, küresel olarak köreltilmiş teğetsel sivri burun konisidir (Şekil 4.8). Teğet ogive şekil profilleri füze, bomba veya uçak gövdesi tabanındaki burun konisinin eğrisine teğet olacak şekilde bir daire parçası tarafından oluşturulur. Eğer bu burun konisi profili, bir küre parçası ile kapatılarak köreltilmiş ise kürenin koni ile birleştiği nokta (teğet noktası) (Şekil 4.8) aşağıdaki denklemlerden bulunabilir:

$$\rho = \frac{R^2 + L^2}{2R} \quad (4.34)$$

$$y = \sqrt{\rho^2 - (L - x)^2} + R - \rho \quad (4.35)$$

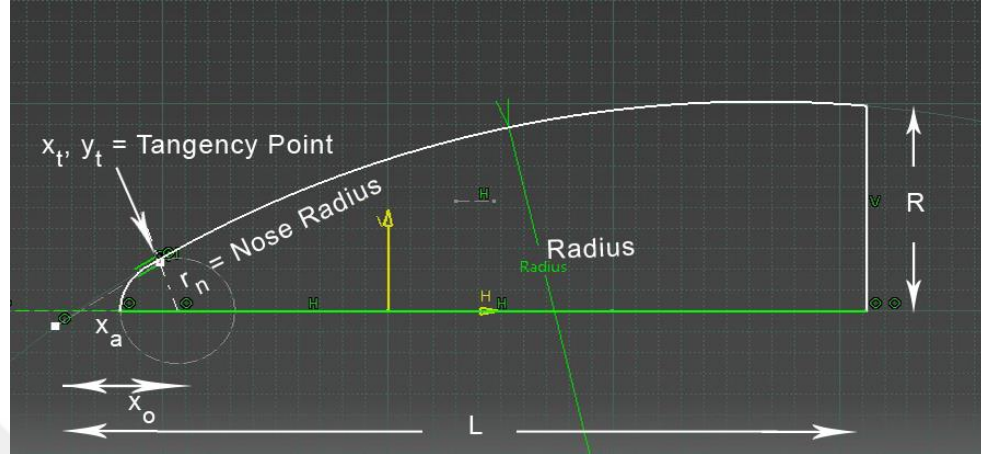
$$x_o = L - \sqrt{(\rho - r_n)^2 - (\rho - r)^2} \quad (4.36)$$

$$y_t = \frac{r_n(\rho - R)}{\rho - r_n} \quad (4.37)$$

$$x_t = x_o - \sqrt{r_n^2 - y_t^2} \quad (4.38)$$

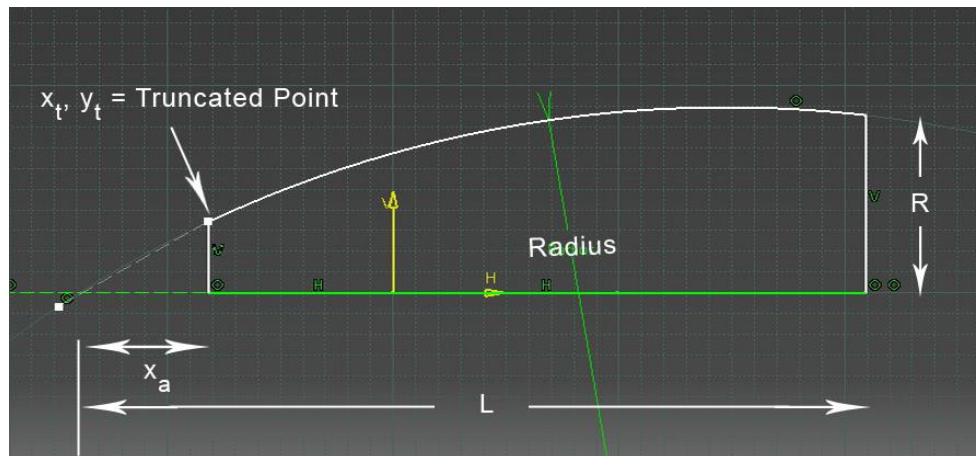
Tepe noktası ise küresel olarak köreltilmiş konik burun konisi için olan denklem kullanılarak bulunabilir:

$$x_a = x_0 - r_n \quad (4.39)$$



Şekil 4.8 : Küresel olarak köreltilmiş teğet sivri burun koni profili ve parametreleri (Crowell ve Gary, 1996).

İncelenen üçüncü tip burun konisi, kesik teğet sivri burun konileridir (Şekil 4.9). Bu burun konisi tipi küresel olarak köreltilmiş teğet ogive burun konisi ile aynıdır, tek farkı burun kısmının küresel olarak köreltilmemesi, belli bir uzunluktan sonra direkt olarak kesilmesidir. Köreltilmiş teğet sivri burun konisi için tasarım denklemleri küresel olarak köreltilmiş konik burun konisi ile aynıdır ancak tek fark tepesi kesik teğet uçlu burun konilerinin uçtan x_a uzaklıktan kesilmesi ve herhangi bir geometrik şekille köreltilmemesidir (Şekil 4.8).



Şekil 4.9 : Kesik teğet sivri burun koni profili ve parametreleri (Crowell ve Gary, 1996).

(4.30)-(4.39) denklemleri kullanılarak, her bir burun konisi için x ve y koordinatları belirlenmiştir. Daha sonra bu koordinatlar bir 3B tasarım yazılımı Catia V5.R.20'na aktarılarak nesnelerin katı modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan katı modeller AYSM'nın gövdesine monte edilmiştir. Burun konisi tasarımı ve elde edilen modellere ilişkin ayrıntılı bilgi 5.2 *Burun Konisi* bölümünde verilmiştir.



5. AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATININ TASARIMI

AYSM'nın gereklilik ve tasarım kriterleri üçüncü bölümde verilmiştir. Bu kriterleri karşılayabilmesi amacıyla NATO üyesi ülkelerin hava kuvvetlerine ait mühimmat envanterlerinde bulunan ve havadan yere genel maksat bombası olarak isimlendirilmiş olan Mark serisi (MK-82, MK-83, MK-84) serbest düşüm mühimmatlarının ölçüleri referans alınarak, gerçek harp mühimmatından tamamen farklı ve yangın söndürmek amacıyla kullanılabilecek yeni bir ürün tasarlanmıştır. Şekil 5.1 Mark serisi bir genel maksat mühimmatına ait görseli vermektedir. Şekil 5.2'de AYSM ve düşük sürüklenme kuvvetli genel-amaçlı Mark 82 bombası gösterilmiştir. Tasarlanan ürün sahip olduğu çeşitli elektronik ekipman ve ürünü otonom hale getiren yazılım da dikkate alınarak "akıllı yangın söndürme mühimmatı (AYSM)" olarak isimlendirilmiştir. Tasarlanan ürün MK-82 tip havadan yere genel maksat mühimmatının ölçüleri referans alınarak oluşturulmuştur ve "AYSM-82" olarak adlandırılmıştır (82 kodu buradan gelmektedir). AYSM-82 yangın söndürme mühimmatına ait ölçüler Şekil 5.3'de verilmiştir. Tezde "AYSM-82" yerine sadece "AYSM" ifadesi kullanılacaktır.



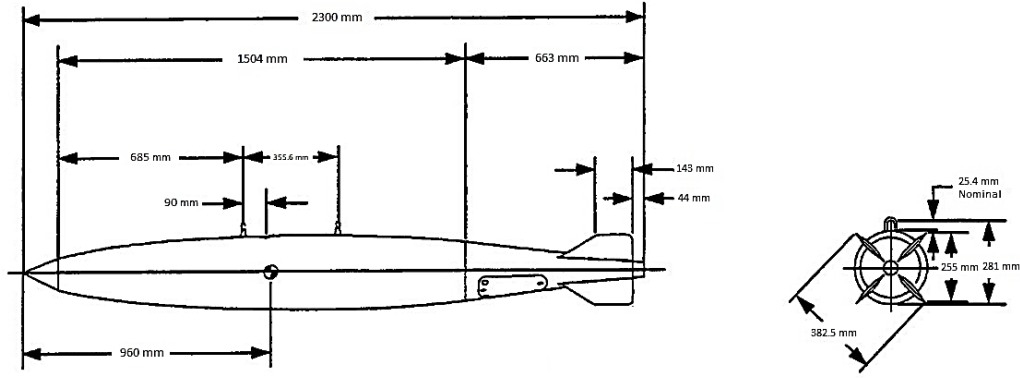
Şekil 5.1 : Mark serisi bir genel maksat mühimmatına ait görsel.



(a) Akıllı Yangın Söndürme Mühimmatı (AYSM).

(b) Düşük sürüklenme kuvvetli genel amaçlı Mark 82 bombası.

Şekil 5.2 : Akıllı yangın söndürme mühimmatı (AYSM) ve düşük sürüklenme kuvvetli genel-amaçlı Mark 82 bombası.



Şekil 5.3 : AYSM-82 yangın söndürme mühimmatına ait ölçüler.

AYSM tasarlanırken ölçülerinin kullanımda olan bir mühimmattan alınmasının bazı avantajları olmuştur:

- (a) AYSM'nın ölçüleri kullanımda olan bir mühimmattan alındığından ürünün boyutları hava araçları için uygundur.
- (b) Ürünün hava aracına yüklenmesini sağlayan süspansiyon askılarının cinsi, iki askı arasında bırakılması gereken aralık ölçüleri gibi birçok problem tasarım başlamadan önce çözüm bulmuştur.

Bununla birlikte, harp mühimmatının yangın söndürme amacıyla kullanılabilmesi için mühimmat üzerinde bazı tasarım değişiklikleri yapılmıştır:

- (a) Mark serisi harp mühimmatlarına ait gövde şarapnel etkisi meydana getirerek hedef bölgede en fazla tahribatı meydana getirmek üzere döküm malzemeden üretilmektedirler. AYSM'nda ise böyle bir ihtiyaç ve durum söz konusu değildir. Bu nedenle gövde malzemesi olarak üretimi kolay, ucuz ve hızlı geri dönüştürülebilir bir termoplastik kullanılmıştır.
- (b) AYSM gövdesine burun ve kuyruk konileri bağlanmakta, ayrıca gövde üzerinde süspansiyon askıları da bulunmaktadır. Söndürücü-soğutucu malzeme mühimmat gövdesi içerisinde taşınmaktadır. Bu nedenle gövde, söndürücü-soğutucu malzemenin kolay ve hızlı bir şekilde yangın alanına dağılmasını sağlayacak şekilde parçalı olarak tasarlanmıştır.

AYSM'nı meydana getiren elemanlar şunlardır:

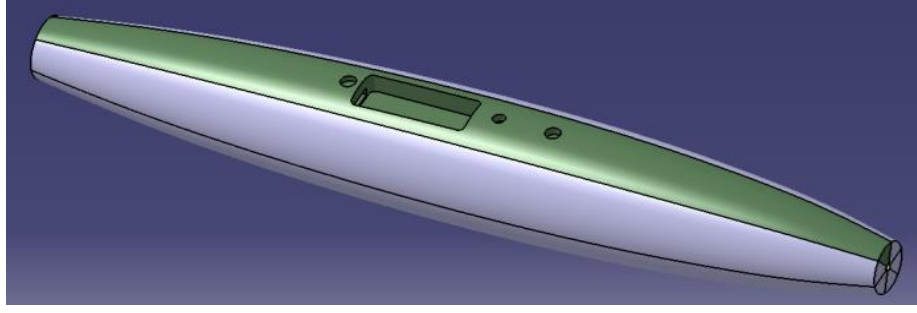
- (a) Gövde,
- (b) Burun konisi,
- (c) Kuyruk-kanat takımı,

- (d) Söndürücü-soğutucu malzeme,
- (e) Patlayıcı,
- (f) Fünye,
- (g) Elektronik donanım,
- (h) Yazılım.

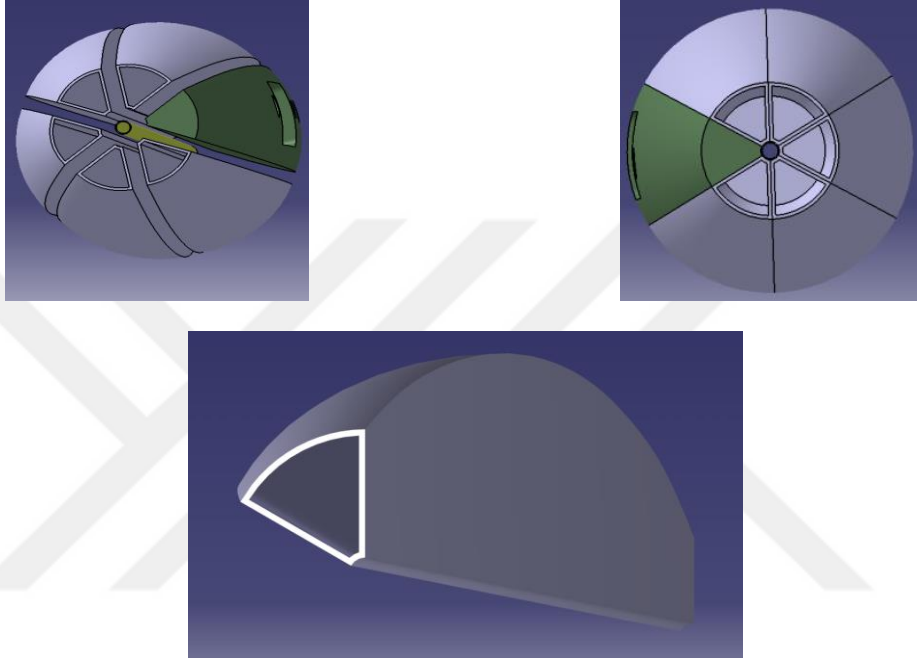
Üç boyutlu mühimmatı tasarlamak ve oluşturmak için Catia V.5 yazılımı kullanılmıştır. Mühimmatın yapısal, akış ve patlama analizleri ANSYS yazılımı ile yapılmıştır. Ürünün yazılımı C programlama dilinde yazılmıştır. Aşağıda AYSM'yi meydana getiren elemanlara ait tasarım ayrıntıları verilmiştir.

5.1 Gövde

AYSM içerisinde bulunan söndürücü malzeme patlayıcı kullanılarak yangın bölgesine dağıtılmaktadır. ANSYS Explicit kullanılarak gerçekleştirilen patlama analizleri, 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 mühimmata ait gövde yapısının, 60° açığa sahip altı dilimin merkezi bir silindir etrafında dizilimi ile meydana getirilmesinin uygun olacağına karar verilmiştir. Şekil 5.4 tasarlanan AYSM gövdesini göstermektedir. AYSM'nin dilimli gövde yapısı Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Bundan az olacak dilim sayısı istenilen şablonu sağlayamamakta, fazla sayı ise üretim ve çalışma mekanizması açısından çeşitli problemlere neden olmaktadır. 1504 mm uzunluğa sahip her bir dilimin içindeki boşluklara söndürücü madde konulmaktadır. Altı dilim bir araya geldiğinde merkezde 32 mm çapında silindirik bir boşluk ortaya çıkmaktadır. Merkezdeki bu boşluk, patlayıcı madde haznesi görevini yapmaktadır. Altı dilimli yapıdan beşi söndürücü madde haznesi, altıncısı ise AYSM'nin otonom görev yapmasını sağlayan elektronik donanımın (devre kartları, batarya vb.) yerleştirildiği haznedir. Burun konisi ve kuyruk-kanat takımı gövdeye civatalar ile bağlanmaktadır.



Şekil 5.4 : AYSM gövdesi.



Şekil 5.5 : AYSM'nin dilimli gövde yapısı.

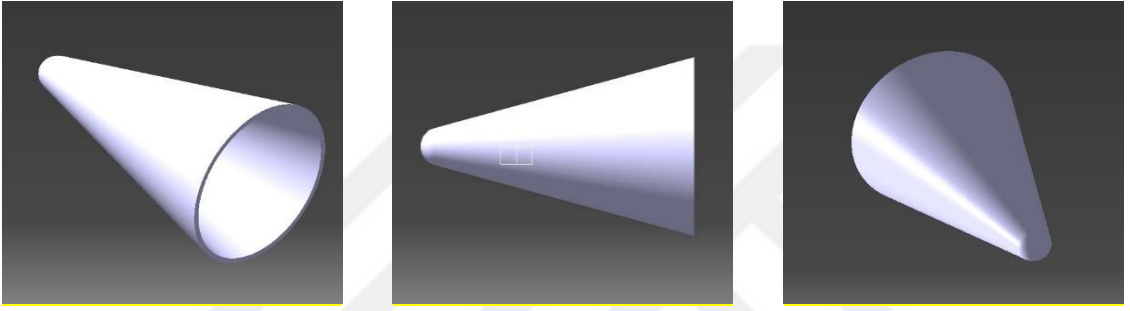
5.2 Burun Konisi

Cisimler bir akışkan içinde hareket ettiklerinde hareketlerine zıt yönde bir direnç ile karşılaşılır. Akan bir akışkanın bir cisme akış yönünde uyguladığı bu kuvvete sürüklenme kuvveti/direnç kuvveti denir. Sürüklenme kuvveti tüm hava araçları, roketler, ateşli silahlardan çıkan mermi çekirdekleri veya su altında hareket etmekte olan denizaltı benzeri her araca etkir. Sürüklenme kuvveti akışkan içerisinde hareket etmeye çalışan nesnelerin performanslarını olumsuz yönde etkilerler. Çoğu durumda sürüklenme kuvvetleri hava aracının takip etmesi gereken yörüngeden sapmasına neden olurlar.

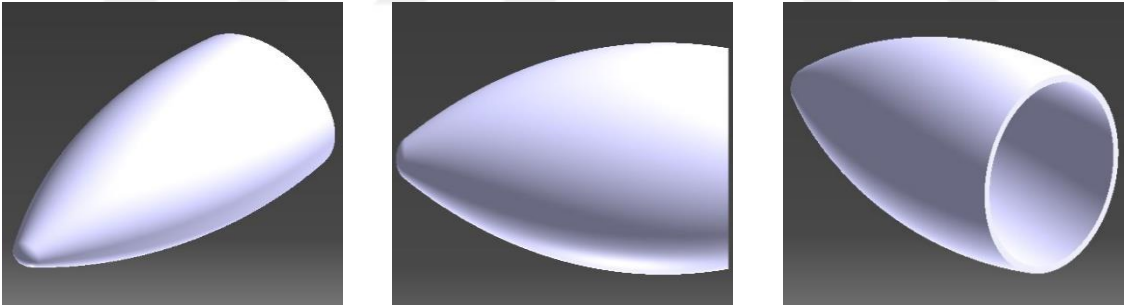
Akışkan içinde hareket ederken cismin etkilere maruz kalan en önemli kısmı burun konileridir. Burun konisi, bir füze, bomba veya uçağın koni şeklindeki uç kısmıdır. Burun koni profilleri, üzerinden akan akışkanın aerodinamik karakteristikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Subha ve diğ, 2020). Çünkü basınç ve sürtünme dirençlerinden kaynaklanan

direnç kuvvetlerini ilk karşılayan parçalardır. Burun konileri, yaklaşan hava akışının davranışını düzenlemeye ve sürüklemeyi en aza indirmeye hizmet eder. Ancak, 0.8 Mach altındaki hızlarda, her tür burun konisi için basınç direnci sıfırdır ve ana direnç faktörü sürtünme direncidir (Iyer ve Pant, 2020). Sürüklenme kuvvetlerini azaltmak ve tasarımın performansını artırmak için en uygun burun konisi tipi seçilmelidir.

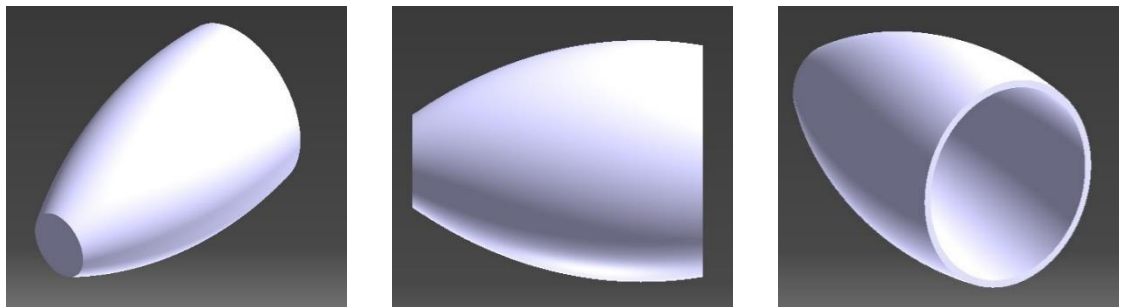
Literatür taraması burun konisine ilişkin çok sayıda araştırma yapıldığını ve farklı tasarımlara sahip burun konilerinin üretildiğini göstermektedir. Bu tasarımlar arasında küresel küt konik (spherically blunted conic) (Şekil 5.6), küresel küt teğetsel ogive (spherically blunted tangent ogive) (Şekil 5.7) ve kesik teğetsel ogive (truncated tangent ogive) tip burun konileri sayılabilir (Şekil 5.8).



Şekil 5.6 : Küresel-küt konik tip burun konisi.



Şekil 5.7 : Küresel küt teğetsel ogive tip burun konisi.



Şekil 5.8 : Kesik teğetsel ogive tip burun konisi.

AYSM yangının türü ne olursa olsun işini başarıyla gerçekleştirmelidir. Bu nedenle söndürme maddesi yangın üzerine farklı şekillerde yayılmalıdır. Bu sonuca ulaşmanın bir yolu, mühimmatı farklı açılardan alev üzerine göndermektir. Şekil 5.9 ve 5.10 farklı yangın türleri için AYSM'nın etki açılarının ve söndürücü maddenin dağılımının nasıl olması gerektiğini göstermektedir.

Literatür taraması yapılarak AYSM'nın gereklilik ve tasarım kriterlerini sağlayabilecek üç burun konisi tipi seçilmiştir. Bunlar küresel küt konik tip burun konisi (Şekil 5.6), küresel küt teğetsel ogive tip burun konisi (Şekil 5.7) ve kesik teğetsel ogive tip burun konisidir (Şekil 5.8). (4.30-4.39) denklemleri kullanılarak her bir burun konisi için x ve y koordinatları belirlenmiş, daha sonra bu koordinatlar Catia V5.R.20 yazılımına aktarılarak burun konilerinin katı modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan katı modeller, AYSM'nın gövdesine monte edilmiştir (Şekil 5.11).

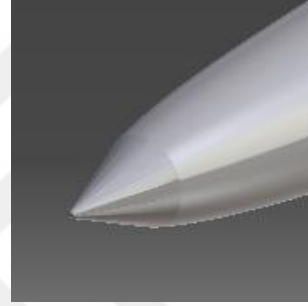
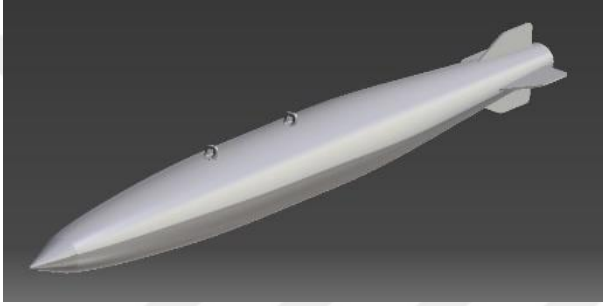
AYSM'nın burun konisi içerisinde alev algılama, mesafe ölçüm ve çarpma sensörleri bulunmaktadır. Mühimmat üzerinde bulunması gereken bu sensörlerin mühimmatın en ön kısmında bir düzlem üzerinde ve dış ortam ile temasta bulunması zorunluluğu vardır. AYSM burun konisi, alev algılama, mesafe ölçüm ve çarpma sensörlerinin burun konisine yerleştirilmesi için gerekli yeterli alana sahip olmalıdır. Bu tasarım kriteri de göz önüne alınarak analiz ve hesaplamalar yapıldığında en uygun burun konisi tipinin kesik tip (truncated nose cone) burun konisi olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle AYSM'na ait burun konisi, kesik tip burun konisi olarak tasarlanmıştır (Şekil 5.12). AYSM ilk prototipinin burun konisi fiber katkılı Nylon 12 malzemeden imal edilecektir.



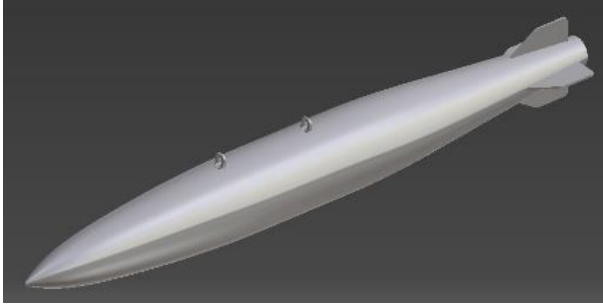
Şekil 5.9 : AYSM dairesel dağılım şablonu.



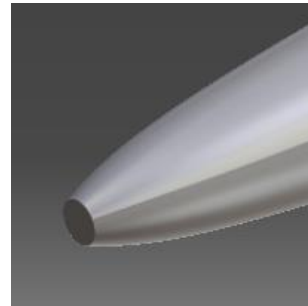
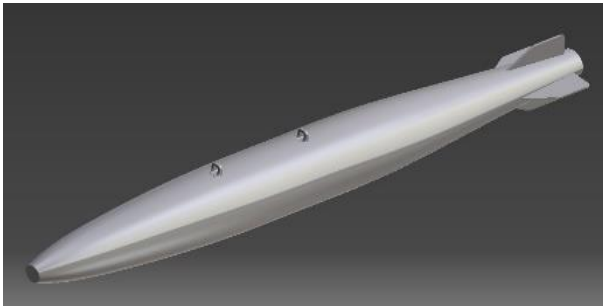
Şekil 5.10 : AYSM eliptik dağılım şablonu.



(a) Küresel köreltilmiş konik burun konisi

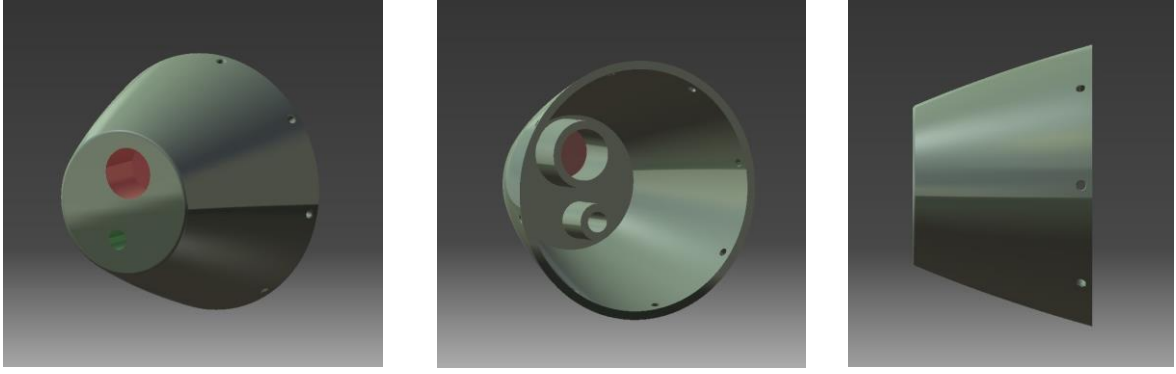


(b) Küresel köreltilmiş teğet sivri burun konisi



(c) Kesik teğet sivri burun konisi

Şekil 5.11 : Mühimmat gövdesi üzerindeki farklı burun koni tasarımları.



Şekil 5.12 : AYSM'nin burun konisine ait 3D tasarım.

5.3 Kuyruk - Kanat Takımı

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 mühimmattan 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 5.13). Ayrıca mühimmatın sürüklenme kuvvetini azaltmak ve mühimmatın daha istikrarlı bir seyir izleyerek öngörülen yatay atış yörüngesini takip etmesini sağlamak maksadıyla bombalar üzerine kanatlar takılmaktadır. Tüm bu amaçlarla AYSM üzerine de kanatlar eklenmiştir (Şekil 5.14). AYSM üzerinde sacdan imal edilmiş dört adet kanat bulunmaktadır. Bu kanatlar aralarındaki açı 90° olacak şekilde kuyruk konisi üzerine yerleştirilmişlerdir (Şekil 5.15). Kanatlar düz olup aerodinamik bir profil yapısına sahip değildir.

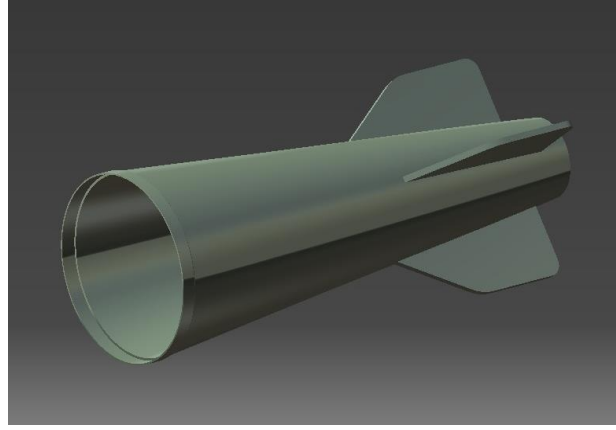


(a) Paveway II isimli mühimmata ait yavaşlatma elemanları (Gielle, t.y)

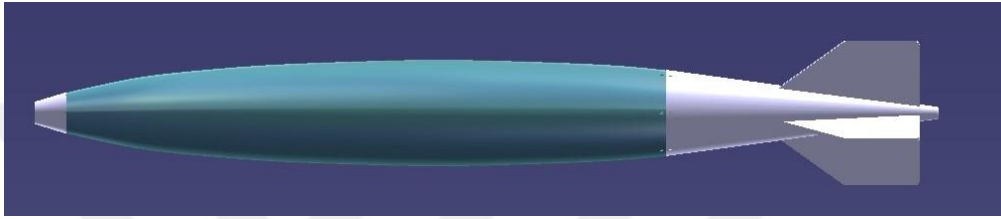


(b) MK-82'ye ait konik kanat (Kaynak, 2021).

Şekil 5.13 : Hava araçları üzerindeki kanatlar.



Şekil 5.14 : AYSM'nın kuyruk - kanat takımı.



Şekil 5.15 : AYSM ve kuyruk - kanat takımı.

5.4 Söndürücü - Soğutucu Malzeme

AYSM söndürme hazneleri içerisinde toz formda, bor esaslı bir söndürücü malzeme kullanılacaktır. Söndürücü malzemenin bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir. Üretimi yurt içinde yapılan bu ürünün mineral yapısından ötürü kanserojen ve toksisite özelliği yoktur. Yangın söndürücü birçok kimyasal, alevlerin hava ile temasını keserek yangını sönmeye zorlamaktadır. Bu duruma yangını boğma adı verilir. Ancak boğma sonrasında soğutma çalışması yapılamayan yangınların birçoğu oksijenin ortama girmesi ile tekrar alevlenirler. AYSM'nda kullanılacak bor esaslı toz formda söndürücü malzeme ise boğmanın akabinde hızlı bir soğutmayı da sağlamaktadır. 450 °C'ye ulaşan birçok yangını 10 saniye kadar kısa bir zaman aralığında 24 °C sıcaklıklarına düşüren bu malzeme özellikle orman yangınlarında oldukça etkilidir. Yangınlarla mücadelede söndürülmüş yangının soğutulamaması neticesinde tekrar alev alma ve yangının devam ettiği durumlar göz önüne alındığında AYSM'nın söndürücü maddeye bağlı olarak sahip olacağı bu özelliğin önemi büyüktür.

Ürünün farklı yangın tipleri için (kimyasal madde kaynaklı ve metal yangınları gibi) olanları da ülkemizde üretimde olup AYSM içerisinde aynı şekilde kullanılabilir. Bir diğer toz formda olan malzeme türü ise metal yangınlarında etkili bor esaslı bir maddedir. Bu madde de ilk maddenin tüm özelliklerini taşımakla birlikte 1500 °C ve üzerindeki yangınlarda oldukça etkilidir. 1500 °C sıcaklığı yine 10 saniye gibi kısa bir zaman aralığında

oda sıcaklıklarına düşürdüğü görülmüştür. Yerli olarak üretilen bu ürün de yangın söndürme mühimmatı içerisinde güvenle kullanılabilir.

Sadece dolumu yapılan söndürücü maddenin değiştirilmesi suretiyle AYSM her tür yangında kullanılabilme özelliğine sahip olacaktır.

Çizelge 5.1 : Söndürücü – soğutucu malzemenin bileşimi.

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

5.5 Patlayıcı

AYSM içerisinde söndürücü maddenin yangın bölgesinde veya alevlerin üzerinde patlayarak belirli bir alana dağılmasını sağlayan patlayıcı bir madde bulunacaktır. AYSM 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 mühimmat gövdesini yırtarak dışarı çıkmasını sağlayacak olan patlayıcı maddenin konulduğu haznedir. Bilgisayar ortamında yapılan sanal patlama analizleri neticesinde patlayıcı tipi olarak dinamit seçilmiştir. Bu tercihin yapılmasında dinamitin sivil bir patlayıcı olması, askeri patlayıcılara göre görece daha kolay ve daha ucuz tedariki de etkili olmuştur. Patlayıcı maddeye ait teknik özellikler Çizelge 5.2’de verilmiştir. Patlayıcı elektrikli bir fûnye marifetiyle detone edilir.

Çizelge 5.2 : Dinamite ait 40 mm çelik boru içindeki test sonuçları (Nitro Teknik, 2020).

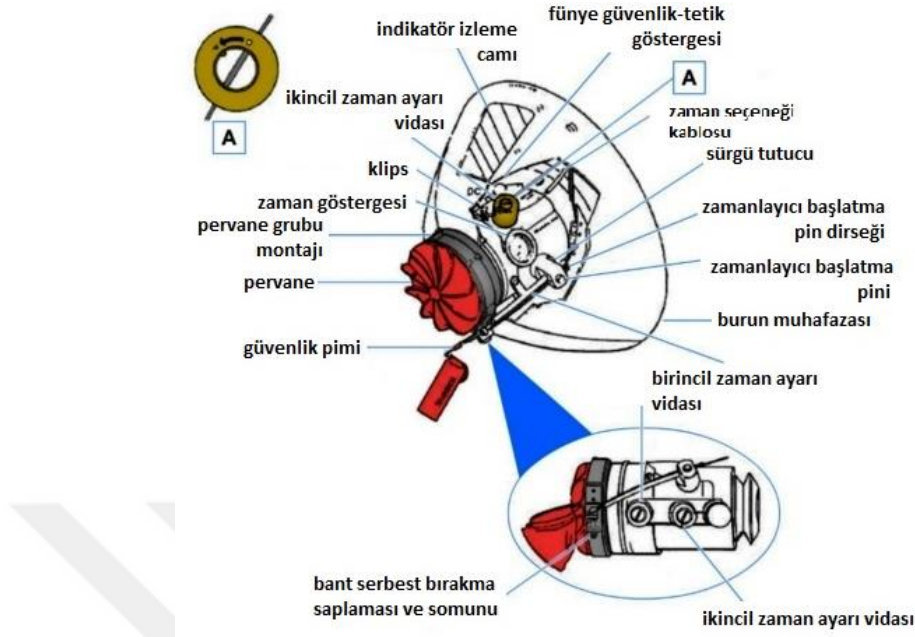
Bileşen	CAS No
Detonasyon hızı (m/s)	6000
Enerji (MJ/kg)	4.5
Suya Direnç	Kuvvetli
Yoğunluk (g/cm^3)	1.15-1.25
Gaz hacmi (L)	917

5.6 Fûnye

Bombalar bir fûnye ile patlatılırlar. Fûnyeler belirli koşullar sağlandığında kısa bir zaman aralığı içerisinde (gecikme milisaniyelerle ifade edilir) bombanın patlamasını sağlayacak enerjiyi ortaya çıkaran elemanlardır. Fûnye içerisinde patlama zincir reaksiyonunu başlatıcı hassas patlayıcı maddeler (PETN, RDX, Pentolite gibi) bulunur (NPS, 1999).

Fûnyeler genel olarak mekanik ve elektrikli fûnyeler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Mekanik fûnyeler bir tel yardımı ile tetiklenirler. Tel yoğunlukla kurulu bir mekanizmayı serbest

bırakmak için kullanılır. Serbest kalan mekanizma dönerek bir kinetik enerji üretir ve bu sayede fünye tetiklenmiş olur (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 : MK 339 model 1 mekanik fünyeye ait görsel (NAVEDTRA, 2001).

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 tetikleme işi, güvenlik gerekçeleri nedeniyle mühimmatın hava aracından ayrıldığı anda gerçekleşir. Günümüzde kullanılmakta olan modern fünyelere aslında birer elektronik ekipman demek uygun olur.

AYSM'na ait patlayıcı madde FMU-139C tip elektronik fünyeye benzer elektronik bir elemanla patlatılacaktır (Şekil 5.17). Uygun patlama noktasının belirlenmesinin akabinde

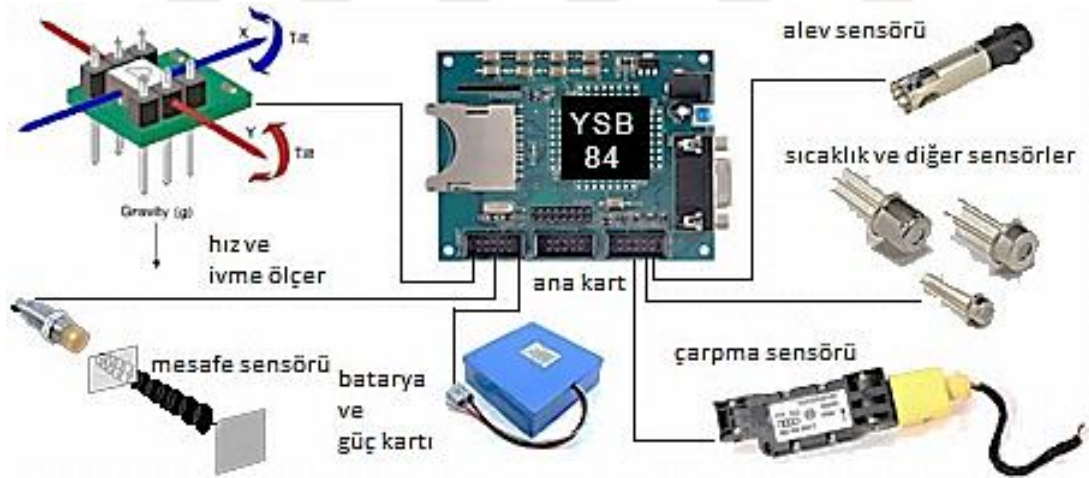


Şekil 5.17 : FMU-139C elektronik ve FMU-143 serisi elektrikli fünyeler (CNATT, 2006).

mikro işlemciden detonasyon kartına gönderilen sinyal ile patlatma rölesi bağlı bulunduğu kondansatör üzerinden çektiği yükü patlayıcıya aktaracak ve patlama gerçekleşmiş olacaktır.

5.7 Elektronik Donanım

AYSM'nın görevini icra edebilmesi için mühimmatın yüklü olduğu hava aracından ayrıldığını, anlık ivmesini, açısal hızını, hedef bölgedeki alevleri, yere yaklaştığında yer ile arasında kalan mesafeyi, ayrıca zemine temas ettiğini (çarpma) algılayabilmesi gerekir. Bu amaçla AYSM üzerinde alev, mesafe, çarpma, altı eksen ivme ve gyro sensörleri vb. bulunur. Bu sensörlerden alev, sıcaklık, mesafe ve darbe ölçümü yapanlar mühimmatın burun kısmına yerleştirilecek olup diğer sensörler taşıma dilimi içerisinde oluşturulan hazne içerisinde yer alacaktır. AYSM üzerinde sensörlerden gelen verilerin işlendiği bir algoritmanın olduğu denetleyici bir kart bulunacaktır. AYSM içerisinde 32Bit bir mikro işlemciye (ARM Cortex-M3) sahip 84 MHz hızında bir anakartın kullanılması düşünülmektedir. Tüm giriş sensörleri ve çıkış röle kartları bu anakarta bağlı olacaktır. Denetleyici kart ve sensörlerin güç gereksinimi 12V 1.3A bir bataryadan karşılanacaktır. AYSM'nın elektronik bileşenleri Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



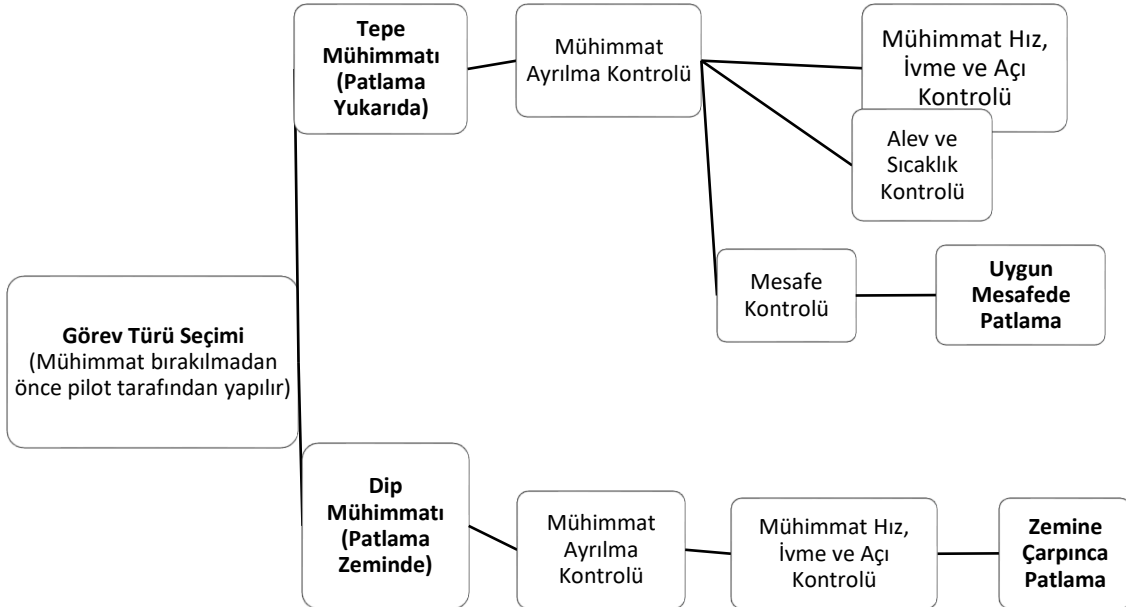
Şekil 5.18 : AYSM'nın elektronik bileşenleri.

5.8 Yazılım

AYSM'nin görevini tam anlamıyla icra edebilmesi için bir takım otonom kararlar alabilmesi şarttır. AYSM bu kararları alırken sensörlerinden almış olduğu verileri hızlı ve doğru bir biçimde yorumlayan bir yazılım algoritmasına başvurur. Bu yazılım C programlama dili ile yazılmıştır. Şekil 5.19 AYSM yazılımı için çalışma planını göstermektedir. Algoritma kısaca şu şekilde çalışır:

- (a) Öncelikle pilot tarafından gelen sinyale bağlı olarak AYSM'ların yukarı bir noktada mı yoksa zemine çarparak mı patlayacakları belirlenir. Başka bir deyişle mühimmatlar görev türüne göre işaretlenir.
- (b) AYSM'nın hava aracından ayrılıp ayrılmadığı denetlenir.
- (c) Hava aracından ayrıldığı onaylanan mühimmatın sensörleri kısa bir zaman sonra aktif hale gelir ve denetleyici kart bu sensörlerden gelen verileri kısa zaman aralıklarında yorumlar. Böylece mühimmatın hızı, açısı ve yangın bölgesine olan mesafesi hakkında bilgi edinilir.
- (d) Yukarıda patlatılacak mühimmatlar için alev sensörleri ve mesafe sensörlerine ait veriler yorumlanır.
- (e) Zeminde patlayacaklar mühimmatlar 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.

Ayrıca program algoritması içerisinde mühimmatın zamansız bir patlama ile hava aracına ve personele zarar vermesinin önüne geçebilmek amacıyla mühimmatın hava aracından ayrıldığını, belirli bir hız ve açı kazandığını, alev ve sıcaklık ile bulunduğunu sensörleri vasıtası ile sürekli olarak (0.01s aralıklarla) denetleyen bir denetim kurgusu mevcut olacaktır.



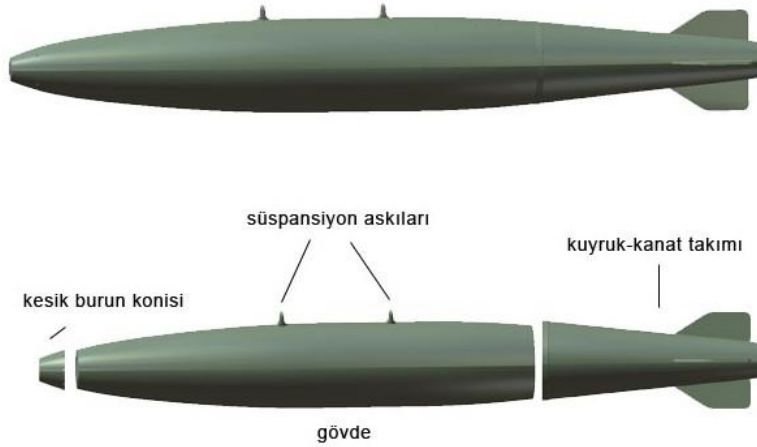
Şekil 5.19 : AYSM yazılımı için çalışma planı.

6. AKILLI YANGIN SÖNDÜRME MÜHİMMATININ İMALATI

Akıllı yangın söndürme mühimmatı,

- (a) gövde,
- (b) burun konisi,
- (c) kuyruk-kanat takımı,
- (d) söndürücü - soğutucu malzeme,
- (e) patlayıcı,
- (f) fünye,
- (g) elektronik donanım ve
- (h) yazılımdan oluşmaktadır.

AYSM'nı meydana getiren elemanlar Şekil 6.1'de gösterilmiştir. AYSM'nın imalat ve montaj karakteristikleri aşağıda açıklanmıştır.

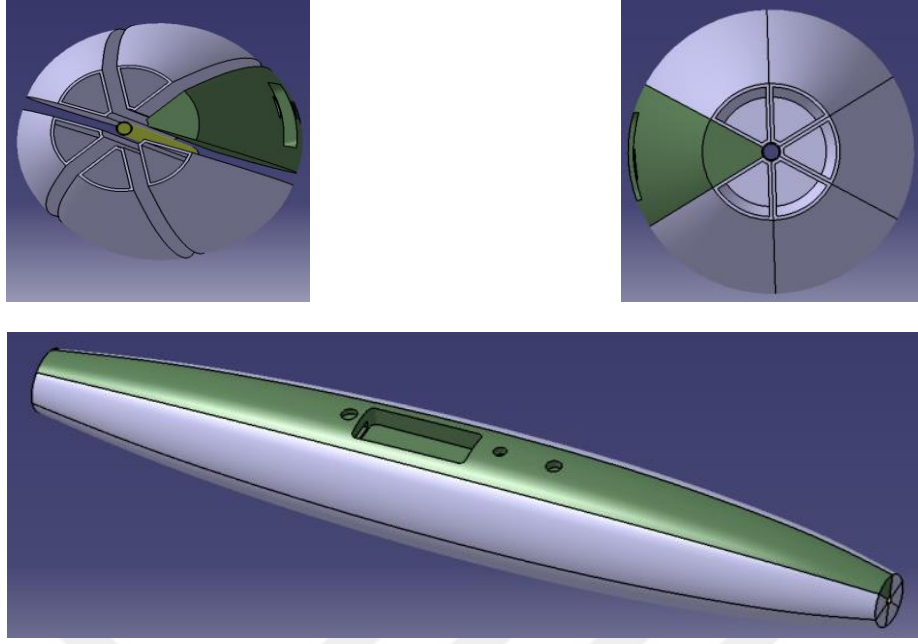


Şekil 6.1 : Yangın söndürme mühimmatını meydana getiren elemanlar.

6.1 AYSM'nın İmalatı

6.1.1 Gövdenin imalatı

AYSM'nın gövde yapısı 60° açığa sahip 1504 mm uzunluğu olan 6 parçanın merkezi bir silindir etrafında dizilimi ile meydana gelmiştir (Şekil 6.2). Bu dilimlerin içindeki boşluklara söndürücü - soğutucu malzeme konulmaktadır. Altı dilim bir araya geldiğinde merkezde 32 mm çapında silindirik bir boşluk ortaya çıkmaktadır. Merkezdeki bu boşluk, patlayıcı madde haznesi görevini yapmaktadır. Altı dilimli yapıdan beşi söndürücü madde haznesi, altıncısı ise AYSM'nın otonom görev yapmasını sağlayan elektronik donanımın (devre kartları, batarya vb.) yerleştirildiği haznedir. Burun konisi ve kuyruk-kanat takımı gövdeye monte edilmektedir.



Şekil 6.2 : AYSM'nın dilimli gövde yapısı.

İmalat sektöründe kullanılan binlerce tür plastik bulunmakla birlikte sanayide en çok kullanılan bazı plastik çeşitleri şunlardır:

- (a) polyamid (PA),
- (b) polikarbonat (PC),
- (c) polietilen (PE),
- (d) polipropilen (PP),
- (e) polivinil klorür (PVC) ve
- (f) akrilonitril bütadien stiren (ABS).

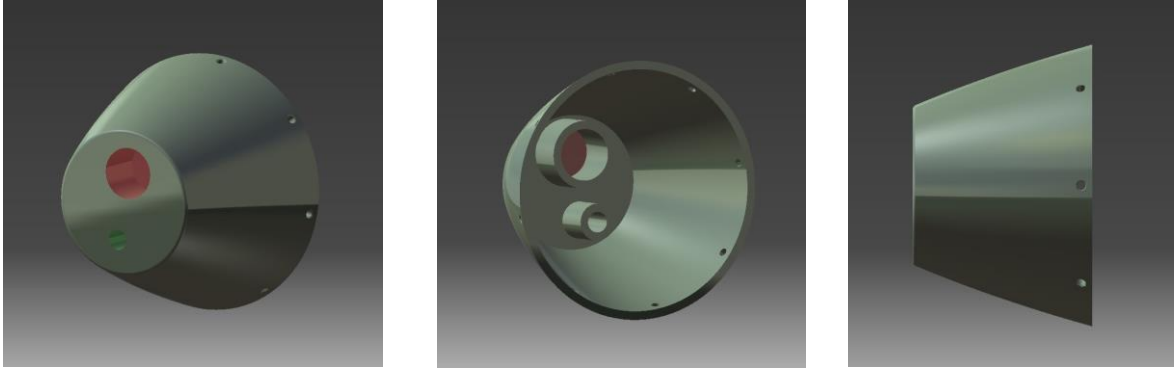
Polikarbonat (PC), kimyasal yapısında karbon ihtiva eden bir termoplastik çeşididir. Mühendislik alanında kullanılan, sağlam ve tokluk değeri yüksek bir malzemedir. Talaşlı imalat yöntemi ile işlenebilir, kalıplanabilir veya ısıtılma ile şekillendirilebilir bir malzemedir. Akrilik ile karşılaştırıldığında hem daha dayanıklı ve hem de akrilik malzemeye nazaran daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir. Isı ile işlenmiş polikarbonat malzemeler genellikle tamamen amorf yapı gösterirler (Djurner ve diğ, 1978). 147 °C sıcaklıkta erimeye başlayan polikarbonat, 152 °C sıcaklığa ulaşıldığında tamamen akıcı hale geçmeye başlamaktadır (Djurner ve diğ, t.y., City Plastics, t.y.). Polikarbonat, diğer plastik türlerine nazaran çatlama veya kırılmaya karşı daha dayanıklı bir malzeme türü olduğundan oda sıcaklığında metal levhalar gibi işlenebilmektedir. Elektrik yalıtkanlığına sahip olması bu malzemenin yalıtkanlık gerektiren alanlarda metal levhalar yerine kullanılabilmesini sağlar. Uçak kokpit camları, otomobil farları veya gözlük camları gibi şeffaflık da gerektiren bir çok uygulamada polietilen malzeme sıklıkla kullanılmaktadır (Polikarbondeposu, 2021).

MK-82 harp mühimmatının gövdesi, şarapnel etkisi yaratacak şekilde tek parça kırılğan demirden üretilmiştir. AYSM gövdesinin polikarbonat malzemeden enjeksiyon yöntemi ile imal edilmesi düşünülmektedir. İmalat malzemesi olarak polikarbonatın tercihinde şu hususlar öne çıkmıştır:

- (a) Polikarbonat plastik çok dayanıklı bir malzemedir. Ürünlerin yüksek performanslı olması istenildiğinde tercih edilen bir malzemedir.
- (b) Mükemmel mekanik, fiziksel özellikler ve üstün işlenebilirlik özelliklerine sahiptir.
- (c) Polikarbonat, yüksek darbe direnci sayesinde, güvenilirlik ve yüksek performans sağlar.
- (d) Polikarbonat hafif bir malzeme olduğu için hava araçlarında kullanımı uygundur.
- (e) 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. Mühimmata ait boş gövde ve burun toplam ağırlığının 20 kg'ı dahi bulmadığı düşünülürse bu ucuz plastik türü enjeksiyon yöntemi ile imal edilecek AYSM'nın 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.

6.1.2 Burun konisinin imalatı

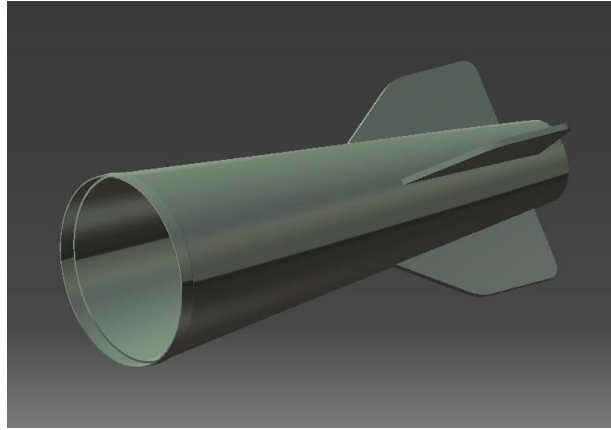
Burun konileri hava araçlarında hava direnci ile ilk karşılaşan elemanlardır. AYSM'nın burun konisi içerisinde alev algılama, mesafe ölçüm ve çarpma sensörleri bulunmaktadır. Mühimmat üzerinde bulunması gereken bu sensörlerin mühimmatın en ön kısmında bir düzlem üzerinde ve dış ortam ile temasta bulunması zorunluluğu vardır. Bu nedenle AYSM'na ait burun konisi, kesik tip (truncated nose cone) bir burun konisi olarak tasarlanmıştır (Şekil 6.3). AYSM'ye ait ilk prototipin burun konisi fiber katkılı Nylon 12 malzemeden MJF teknolojisine sahip bir 3D printer ile imal edilecektir. Burun konsisinin seri üretiminin ise granül polikarbonatın kalıp içerisine enjeksiyon yöntemi ile sıkıştırılmasıyla yapılması düşünülmektedir.



Şekil 6.3 : AYSM'nin burun konisine ait 3D tasarımı.

6.1.3 Kuyruk-kanat takımının imalatı

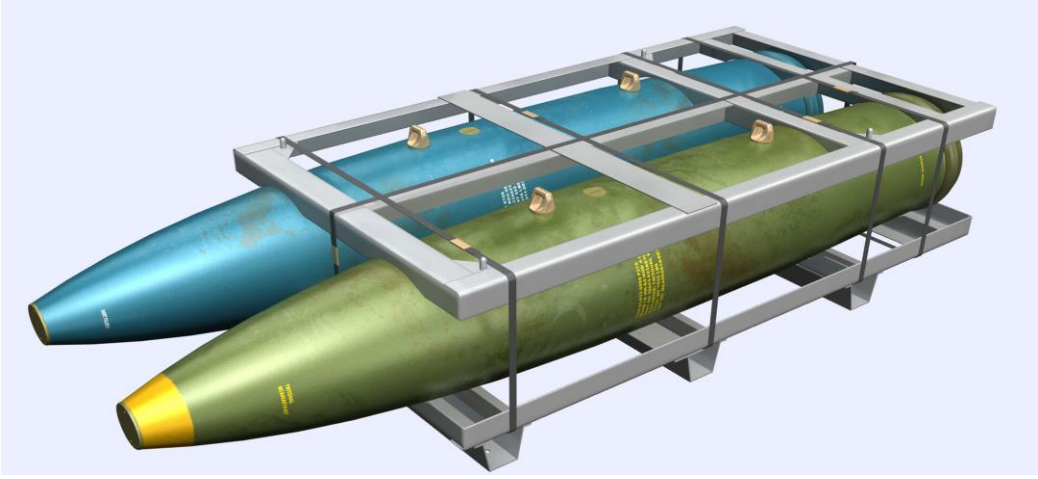
AYSM üzerinde sacdan imal edilmiş dört adet kanat bulunmaktadır. Bu kanatlar aralarındaki açı 90° olacak şekilde kuyruk konisi üzerine yerleştirilmektedir (Şekil 6.4). Kanatlar düz olup aerodinamik bir profil yapısına sahip değildir. Mühimmata ait kanatlar 6 mm kalınlığında ST-37 sac levhadan plazma kesici kullanılarak kesilecektir. Keskin köşelere ait gerekli yuvarlatmalar yapıldıktan sonra kanat yüzeyleri korozyona karşı boyanacaktır. Kanatlar sac malzemenin şekillendirilmesi suretiyle ortaya çıkarılan konik bir yapı üzerine kaynak yapılarak yerleştirileceklerdir. Koni ve kanatlardan oluşan bu takıma kuyruk-kanat takımı adı verilmiş olup bu takım gövdeye vidalarla monte edilmektedir.



Şekil 6.4 : AYSM'nin kuyruk - kanat takımı.

6.2 AYSM'nin Montajı

Burun konisi ve kuyruk-kanat takımı gövdeye civatalar ile bağlanmaktadır. Gövdeyi meydana getiren dilimler ise birbirlerine yapıştırıcı malzeme ile bağlanarak akıllı yangın söndürme mühimmatını oluştururlar. AYSM'nin montajlı durumu Şekil 6.5'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : AYSM gövdesinin montajlı durumu.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1 Analiz Koşulları

Analiz, insansız bir hava aracına ait maksimum seyahat koşulları için yapılmıştır (Çizelge 7.1). Bu koşullarda AYSM üzerindeki akışın Reynolds sayısı 1.3×10^7 olarak hesaplanmıştır. Bu ise akışın tam türbülanslı bir akış olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.1 : Analiz parametreleri

Parametre	Değerler
Serbest akım hızı (m/s)	86
Yoğunluk (kg/m^3)	1.205
Dinamik viskozite (kg/m.s)	1.82×10^{-5}
Mühimmat uzunluğu (m)	2.3
Mach sayısı	0.25

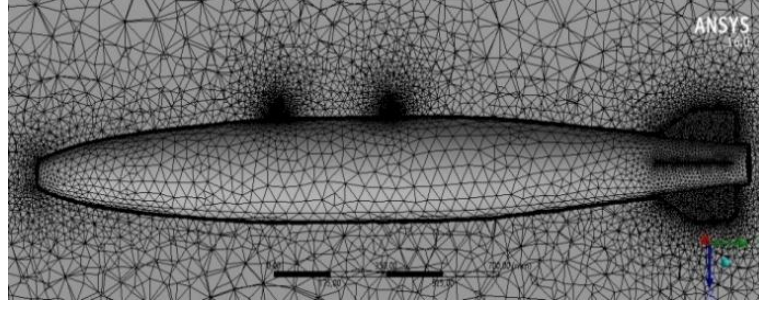
7.2 Uygun Ağ Yapısının ve Türbülans Modelinin Belirlenmesi

(4.21) denklemi kullanılarak farklı y^+ değerleri için inflation katmanlarının hesaplanan ilk katman kalınlıkları Çizelge 7.2'de verilmiştir. Elde edilen ağ yapıları Şekil 7.1'de gösterilmiştir.

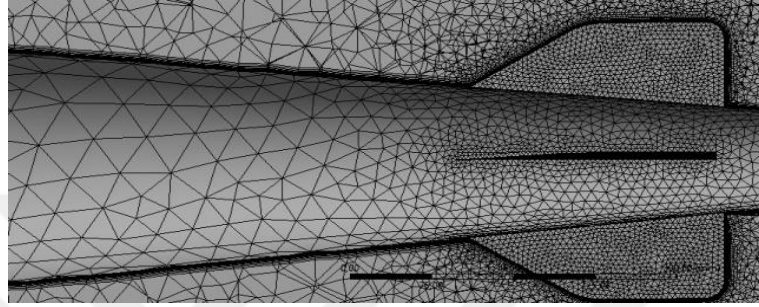
Spalart Allmaras RANS türbülans modeli kullanılarak sürüklenme katsayıları, vertex basınçları ve statik basınçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre optimum y^+ değerinin 60 olduğu belirlenmiştir. Spalart Allmaras RANS türbülans modeli dışında Standart k- ϵ ve SST k- ω türbülans modelleri kullanılarak sürüklenme katsayıları, vertex basınçları ve statik basınçlar elde edilmiştir. Standart k- ϵ ve SST k- ω türbülans modelleri ile çözümleme yapılırken y^+ değeri olarak optimum değer olan 60 değeri seçilmiştir.

Çizelge 7.2 : y^+ değerlerine göre tahmini ilk katman kalınlıkları.

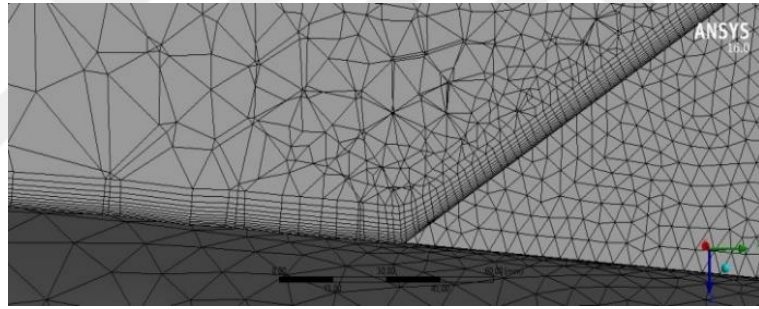
y^+	Hesaplanan ilk katman kalınlıkları (y) (mm)
240	1.20
180	0.90
120	0.60
90	0.45
60	0.30



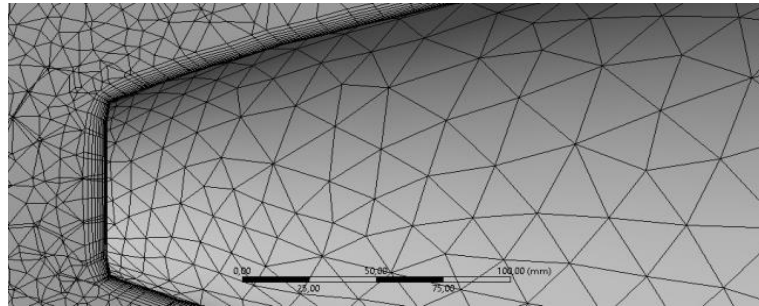
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.1 : AYSM'ye ait ağ yapıları ve inflation katmanları.

Sürüklenme katsayıları MK-82 mühimmatı için literatürde olan C_d direnç katsayıları ile karşılaştırılmış ve en uygun türbülans modelin SST $k-\omega$ türbülans modeli olduğu

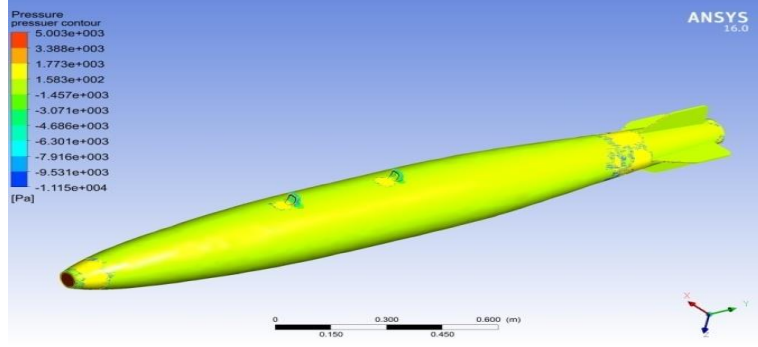
belirlenmiştir (Krishnamoorthy ve diğ, 1997). SST k- ω türbülans modeli kullanılarak elde edilen direnç katsayısı, vertex basıncı ve statik basınç değerleri Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.3 : SST k- ω türbülans modeli sonuçları.

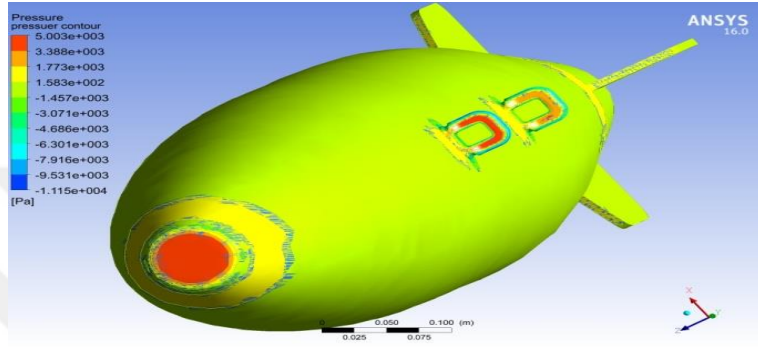
Parametre	SST k - ω
Direnç Katsayısı (C_d)	0.14633
Vertex Basıncı (Pa)	4806.10
	-9978.93
Statik Basınç (Pa)	4853.77

7.3 Statik Basınç Dağılımı

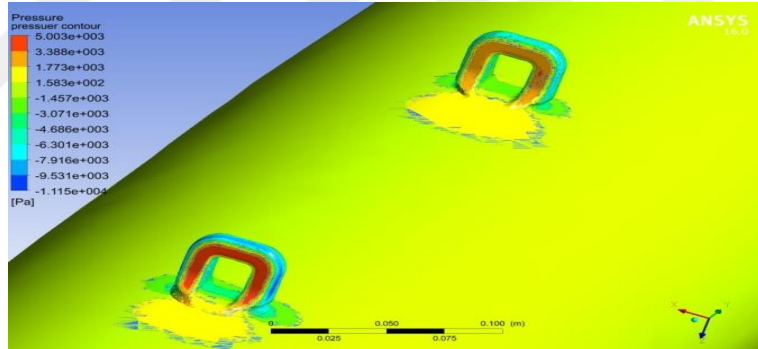
Mühimmat gövdesi üzerindeki basınç dağılımının incelenmesi oldukça önemlidir. Toplam direnç katsayısı, sürtünme direnç katsayısı ve basınç direnci katsayısının toplamına eşittir. Mühimmat gövdesi üzerindeki basınç dağılımı basınç direncinin büyüklüğünü belirler. AYSM gövdesi üzerindeki statik basınç dağılımı Şekil 7.2’de verilmiştir. Bernoulli ilkesi, sürtünmesiz bir akış boyunca, hızda gerçekleşen bir artışın aynı anda ya basınçta ya da akışkanın potansiyel enerjisinde azalmaya neden olduğunu ifade eder. Şekil 7.2a-d’den hızın düşük olduğu yerlerde basıncın arttığı görülmektedir. Mühimmatın ön bölgesi basıncın en yüksek olduğu bölgedir. Mühimmat etrafındaki basınç dağılımı incelendiğinde burun kısmı ve süspansiyon askılarının akışa dönük ön yüzlerinde basıncın çok yükseldiği ve bu bölgelerde durma noktası olduğu görülmektedir ($\sim 5 \times 10^3$ Pa) (Şekil 7.2b). Süspansiyon askılarının içerisinde bulunan boşluklardan ve askıların üst kısımlarından geçen akış hızlanmakta ve bunun sonucu oluşan basınç en düşük olmaktadır ($\sim -9.5 \times 10^3$ Pa) (Şekil 7.2c). Ayrıca kanat bölgesinde kanatçıkların ön yüzeylerinde basınç artmakta ($\sim 1.7 \times 10^3$ Pa), ancak bu artış burun kısmı ve süspansiyon askılarının akışa dönük ön yüzlerindeki kadar yüksek olmamaktadır (Şekil 7.2d).



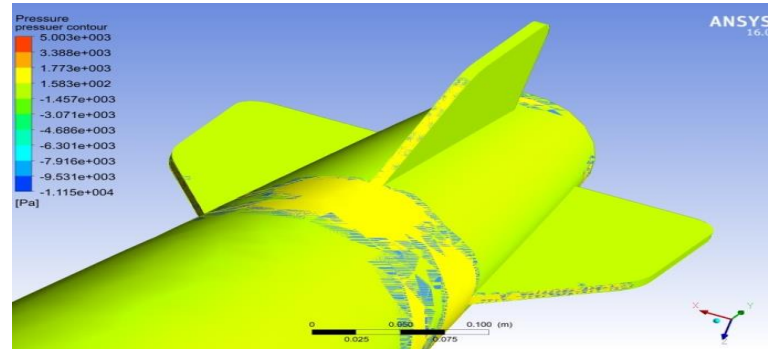
(a)



(b)



(c)

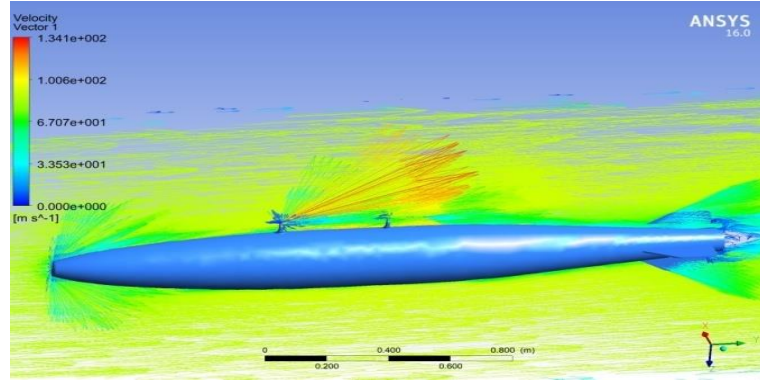


(d)

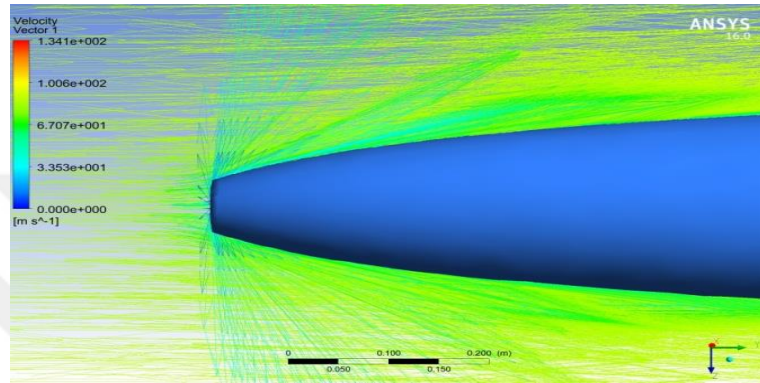
Şekil 7.2 : AYSM gövdesi üzerindeki statik basınç dağılımı.

7.4 Hız Dağılımı

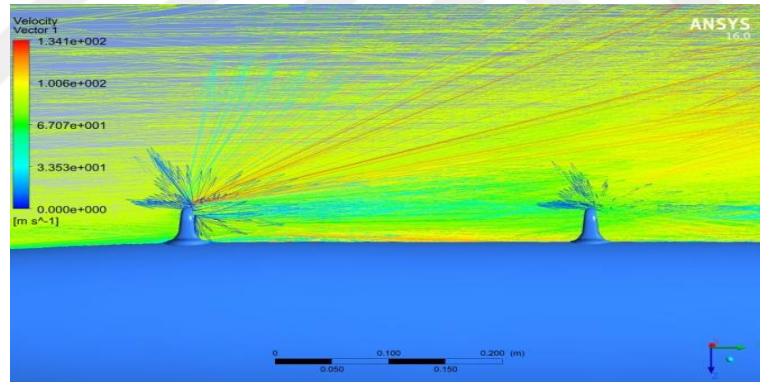
Bernoulli ilkesi, sürtünmesiz bir akış boyunca toplam enerjinin korunacağını, hızın arttığı yerde basıncın düşeceğini ve tersi olarak da basıncın arttığı yerde hızın azalacağını belirtmektedir. Kısaca ifade etmek gerekirse, basınç dağılımı ile hız dağılımı ters orantılıdır. AYSM gövdesi üzerindeki hız dağılımı Şekil 7.3'de verilmiştir. Akış alanı içinde, AYSM'ndan çok uzaktaki akışa serbest akış denir. Henüz mühimmatın hareket alanına girmemiş hava akımları paralel durumdadır, hareket alanı içindekiler kompleks hareket sergilerler. Mühimmat geometrisi göz önüne alındığında hızın en yüksek olduğu bölge beklenildiği gibi mühimmatın burun ve kuyruk kısmı dışındaki gövde bölgesidir. En yüksek hızlar süspansiyon askıları civarında elde edilmektedir (Şekil 7.3a). Burun kısmı üzerindeki hız dağılımı Şekil 7.3b'de, süspansiyon askıları etrafındaki hız dağılımı Şekil 7.3c'de, kuyruk kısmı etrafındaki hız dağılımı Şekil 7.3d'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Basıncın çok yüksek olduğu burun kısmının ön taraflarında hızın oldukça düşük olduğu görülmektedir (Şekil 7.3b). Süspansiyon askılarının içerisinde bulunan boşluklardan ve askıların üst kısmından geçen akış oldukça hızlanmaktadır ($\sim 1.3 \times 10^2$ m/s) (Şekil 7.3c). Şekil 7.3d'den görüldüğü gibi kanat bölgesinde kanatçıkların ön yüzeylerinde hız oldukça düşmektedir. Şekil 7.3d'de ayrıca kuyruk kısmının etrafında oluşan ayrılma bölgesi ve ard izi bölgesi gösterilmiştir. Bu bölgelerin incelenmesi özellikle ard izi bölgesinde hızın düşük olduğunu ve kompleks davranış sergilediğini göstermektedir. Ancak mühimmatın aerodinamik tasarımı ayrılma ve ard izi bölgelerinin büyük olmasını engellemiş ve böylece basınç direncinin yüksek olmasına mani olmuştur.



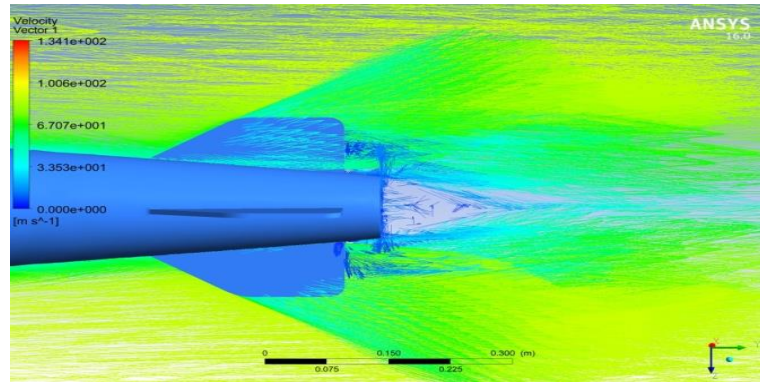
(a)



(b)



(c)



(d)

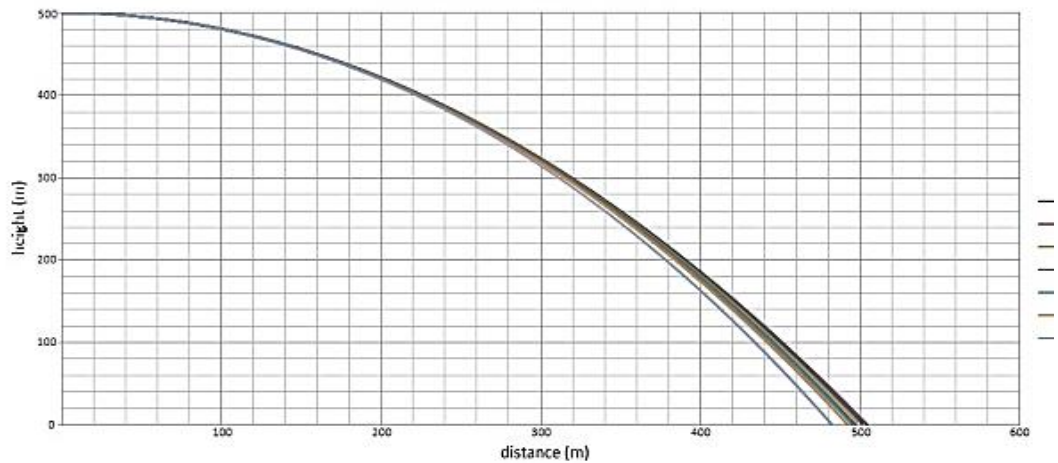
Şekil 7.3 : AYSM gövdesi üzerindeki hız dağılımları.

7.5 Mühimmat Yörüngesi ve Vuruş Açısı

Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı hesaplamaları (4.7) bölümünde açıklanan yöntem kullanılarak yapılmıştır. Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı hesaplamaları yapılarak farklı yükseklik ve atım hızları için yangın söndürme mühimmatının takip edeceği yörüngeler belirlenmiştir. Bu yörüngeler farklı direnç katsayısı değerleri için çizilmiştir. Yükseklik olarak 300 m ve 500 m, atım hızı olarak ise 50 m/s, 83.3 m/s ve 100 m/s kullanılmıştır.

500 m yükseklik ve 50 m/s yatay atım hızı için mühimmat yörüngesi Şekil 7.4’de gösterilmiştir. Şekilden şu sonuçlar çıkarılabilir:

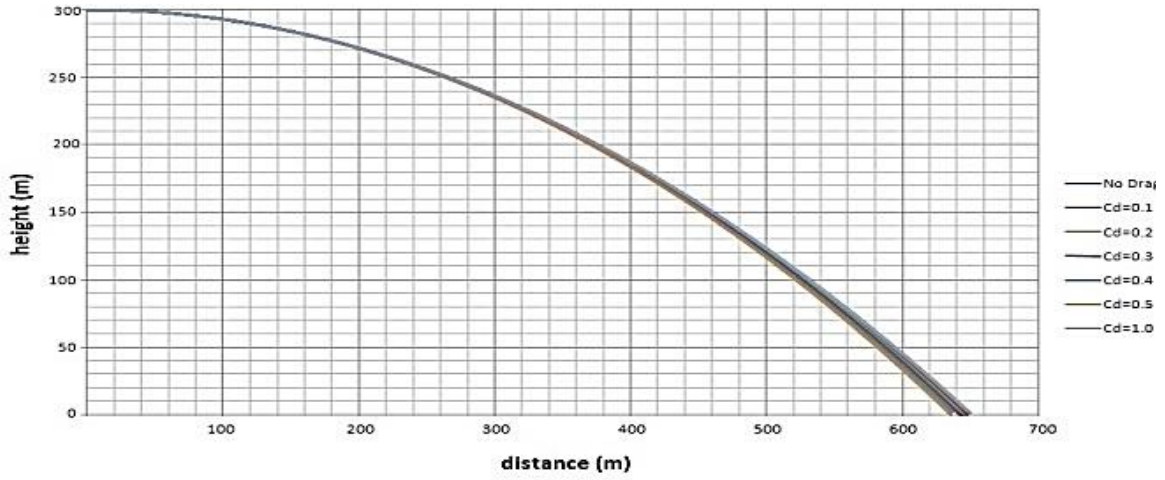
- Mühimmat yatay olarak 480-505 m uzaklığa düşmektedir.
- Direnç katsayısı arttıkça mühimmatın aldığı yol azalmaktadır.
- Şekilden mühimmatın dip ve tepe patlamaları için vuruş açılarını hesaplamak mümkün olmaktadır.



Şekil 7.4 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM’nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=50$ m/s, yükseklik=500 m).

Şekil 7.5 yüksekliğin 300 m ve yatay atım hızının 83.3 m/s olduğu durum için mühimmat yörüngesini vermektedir. Bu durumda mühimmat yatay olarak 630-650 m uzaklığa düşmektedir. Direnç katsayısı arttıkça mühimmatın aldığı yolun azaldığı bulunmuştur. Şekil 7.6’da aynı yatay atım hızı için mühimmat 500 m’den bırakıldığında elde edilen mühimmat yörüngesi gösterilmiştir. Bu durumda mühimmat yatay olarak 790-840 m uzaklığa düşmektedir. Bu sonuç aynı atım hızları için atım yüksekliği arttığında mühimmatın yatay olarak aldığı yolun önemli ölçüde arttığını göstermektedir. 500 m yükseklik ve 100 m/s yatay

atım hızı için mühimmat yörüngesi Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Bu durumda için mühimmat yatay olarak 940-1010 m uzaklığa düşmektedir.

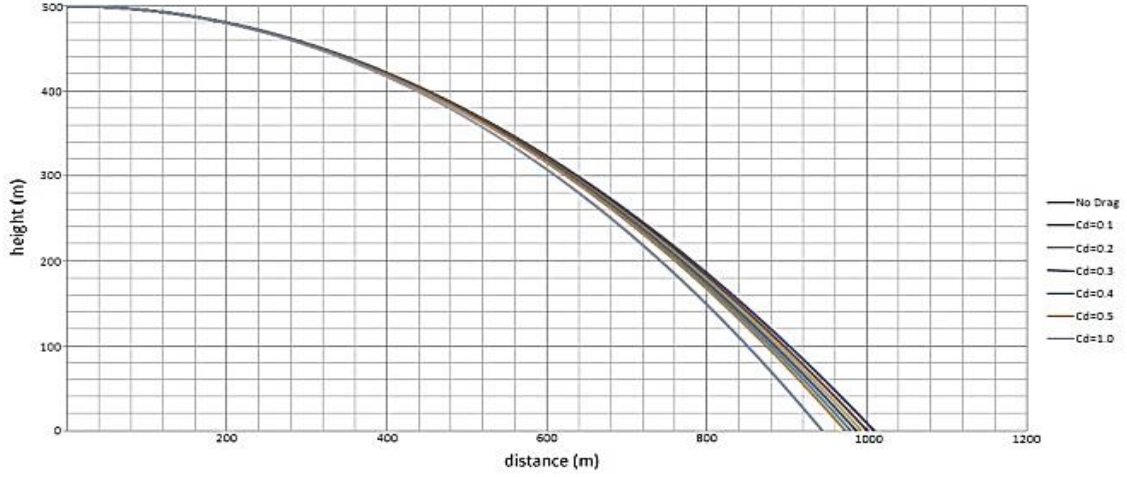


Şekil 7.5 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=83.3$ m/s, yükseklik=300 m).



Şekil 7.6 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=83.3$ m/s, height=500 m).

İncelenen atım hızları ve yükseklikler için mühimmatın yatay olarak aldığı yolların karşılaştırılması Çizelge 7.4’de verilmiştir. V_{xo} atım hızı, h atım yüksekliği ve C_d direnç katsayısı mühimmatın yatay olarak aldığı yolu önemli ölçüde etkilemektedir. Bu parametrelerden mühimmatın yatay olarak aldığı yolu en az etkileyen parametrenin C_d direnç katsayısı, en fazla etkileyen parametrenin ise V_{xo} atım hızı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.7 : Farklı yükseklik ve atım hızlarında AYSM'nin takip ettiği yörünge ($V_{xo}=100$ m/s, height=500 m).

Çizelge 7.4 : Çeşitli atım hızları ve yükseklikleri için mühimmatın yatayda aldığı yol.

Atım Hızı ve Yüksekliği	Mühimmatın Yatay Olarak Aldığı Yol (m)
Atım Hızı $V_{xo}=50$ m/s Yükseklik $h=500$ m	480-505
Atım Hızı $V_{xo}=83.3$ m/s Yükseklik $h=300$ m	630-650
Atım Hızı $V_{xo}=83.3$ m/s Yükseklik $h=500$ m	790-840
Atım Hızı $V_{xo}=100$ m/s Yükseklik $h=500$ m	940-1010

7.6 Söndürücü Maddenin Uzaklaşma Hızı

AYSM içerisinde toplam uzunluğu 1500 mm olan 32 mm çapında ve reaksiyon enerjisi değeri 4.696 MJ/kg olan jelâtin dinamit kullanılmıştır. Bu değer ve TNT'nin enerji değeri (4.184 MJ/kg) (4.29) nolu denklemde yerine yazıldığında (UNODA, 2015);

$$R.E. = \frac{4.696 \text{ MJ/kg}}{4.184 \text{ MJ/kg}} = 1.122$$

elde edilir. Buna göre AYSM'nda kullanılan patlayıcının bağıl etki faktörü 1.122'dir. Buradan patlayıcı ağırlığının TNT eşdeğeri hesaplanabilir:

$$m_{TNT \text{ esdegeri}} = (R.E.) (m_{\text{dinamit}}) \quad (7.1)$$

$$m_{TNT \text{ esdegeri}} = (1.122) (1.815 \text{ kg}) = 2.036 \text{ kg TNT}$$

Patlayıcılar için Gurney sabitlerinin verildiği Çizelge 4.1'den TNT için 2438 m/s değeri okunarak, 572 kg bomba ağırlığı ve 2.036 kg patlayıcı ağırlığı için (4.28) no'lu denklemde yerine konulduğunda patlama sırasında söndürücü maddenin uzaklaşma hızı elde edilmiş olur:

$$(V)(2438 \text{ m/s}) = [(572 \text{ kg} / 2.036 \text{ kg}) + 1/2]^{-0.5}$$

$$V = 145 \text{ m/s}$$

Bu değer söndürücü maddenin z yönünde uzaklaşma hızıdır. Daha önce bulunan x ve y yönlerindeki hız bileşenleri ile vektörel olarak toplandığında söndürücü maddenin saçılım yönü ve şiddeti hakkında yeterli bilgiye sahip olunmaktadır.

7.7 Burun Konisi Tasarımı

AYSM'nın kendisinden beklenen amaçları gerçekleştirmesini ve düşük sürüklenme katsayısı oluşturmasını sağlayacak şekilde üç burun konisi türü seçilmiş ve mühimmata uyacak şekilde tasarlanmıştır. Araştırılan burun konileri, küresel küt konik (spherically blunted conic), küresel küt teğetsel ogive (spherically blunted tangent ogive) ve kesik teğetsel ogive (truncated tangent ogive) tip burun konileridir (Şekil 5.6-5.8). (4.30)-(4.39) denklemleri kullanılarak, her bir burun konisi için x ve y koordinatları belirlenmiştir. Daha sonra bu koordinatlar bir 3B tasarım yazılımı Catia V5.R.20'na aktararak nesnelerin katı modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan katı modeller AYSM'nın gövdesine monte edilmiştir. Bu modeller Şekil 5.11'de verilmiştir. Geometrilere ilişkili oluşturulan ağ yapıları ve şişirme katmanları Şekil 7.8'de verilmiştir.

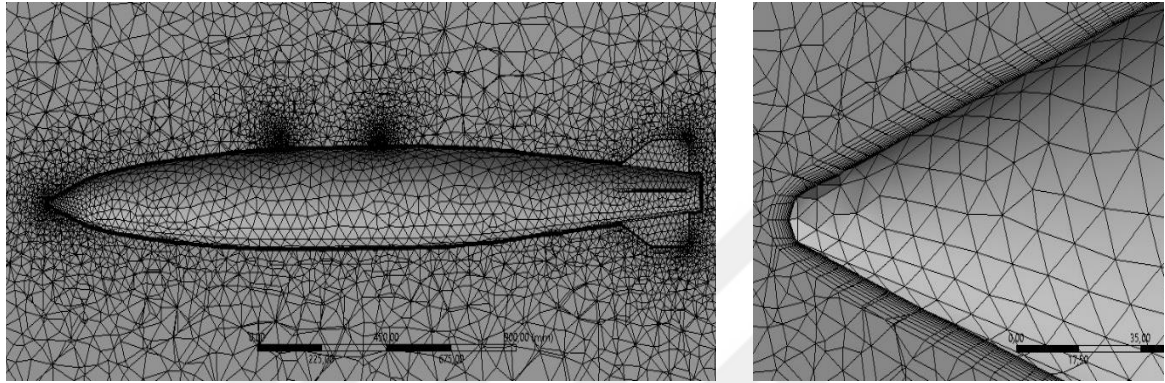
Akış analizi sonucunda her bir burun konisi tipi için sürüklenme katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sürüklenme katsayıları ile farklı hızlardan, atış açılarından ve irtifalardan atılan mühimmatlar için çarpma hızı ve çarpma açısı hesaplamaları yapılmıştır.

7.7.1 Sürüklenme katsayıları

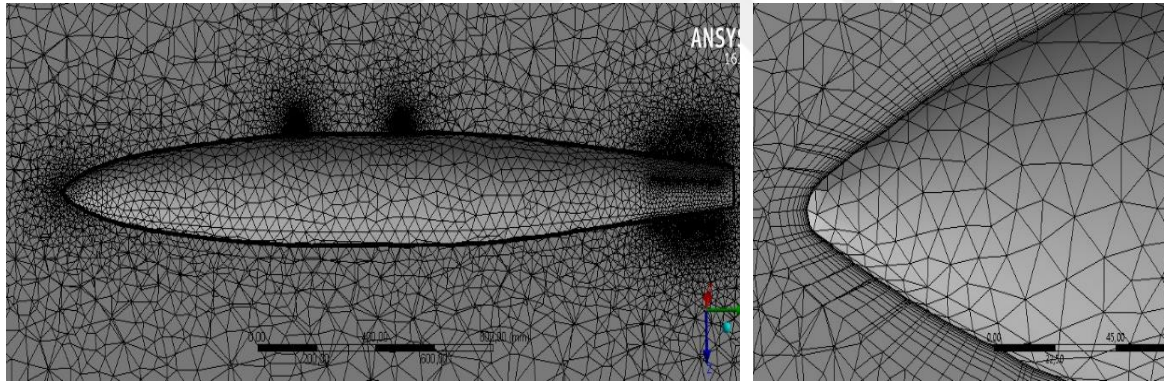
Ansys Fluent yazılımı kullanılarak yapılan HAD analizi sonucunda üç burun konisinin her biri için sürüklenme katsayıları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sürtünme katsayıları Çizelge 7.5 ve Şekil 7.9'da verilmiştir.

7.7.2 Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı

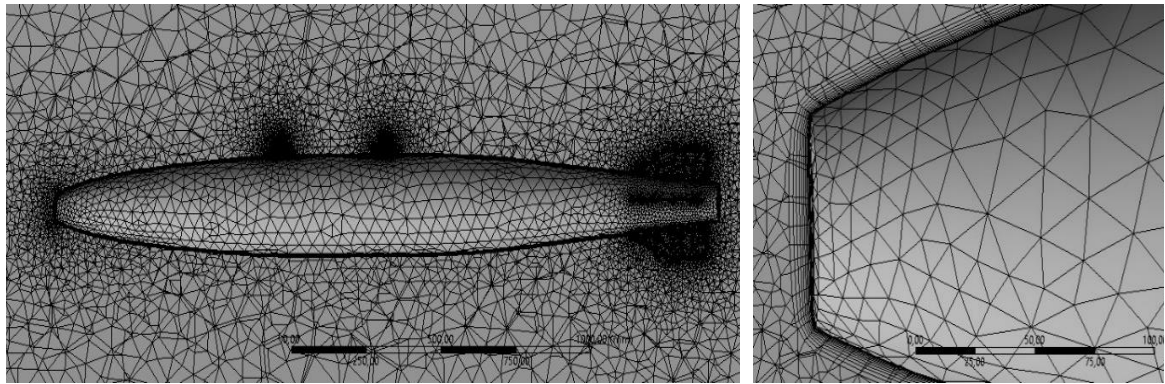
Elde edilen sürüklenme katsayıları ile farklı hızlardan, atış açılarından ve irtifalardan atılan mühimmatlar için çarpma hızı ve çarpma açısı hesaplamaları yapılmıştır. Çizelge 7.6’da spherically blunted conic burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı, Çizelge 7.7’de spherically blunted tangent ogive burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı ve Çizelge 7.8’de truncated tangent ogive burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı verilmiştir.



(a) küresel olarak körleştirilmiş konik burun konisi.



(b) küresel olarak köreltilmiş sivri uçlu burun konisi.

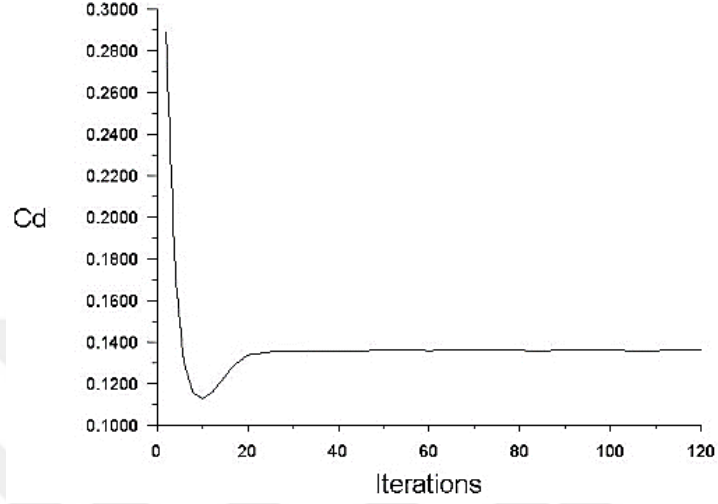


(c) kesik burun konisi.

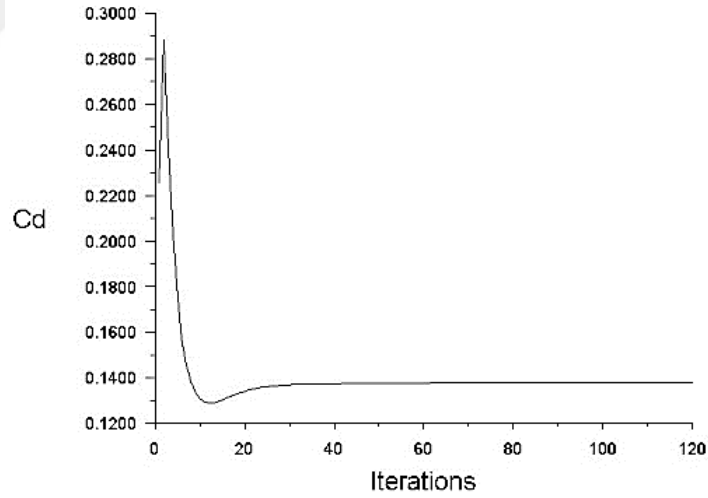
Şekil 7.8 : Burun konilerine ait ağ yapıları ve inflation katmanları

Çizelge 7.5 : Farklı tip burun konilerinin sürüklenme katsayıları.

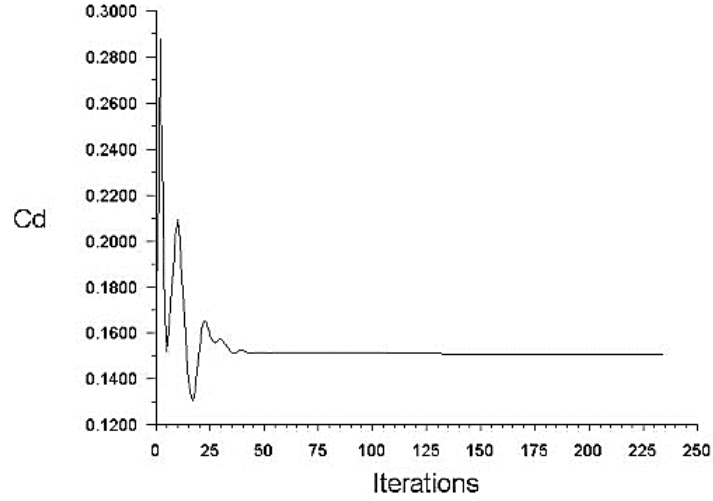
Burun Konisi Tipi	Sürüklenme Katsayıları (C_d)
Küresel Olarak Köretilmiş Konik	0.136
Küresel Olarak Köretilmiş Ogive	0.138
Kesik Tip	0.152



(a) küresel olarak köretilmiş konik burun konisi.



(b) küresel olarak köretilmiş sivri uçlu burun konisi.



(c) kesik burun konisi.

Şekil 7.9 : Burun konileri sürüklenme katsayıları.

Çizelge 7.6 : Küresel olarak köreltilmiş burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı.

Hava Taşıtı Hızı (m/s)	Vuruş Açısı (derece)	Yükseklik (m)	Vuruş Hızı (m/s)	Vuruş Açısı	Uzaklık (m)
25	0	180	63,61	69,16	244
50	0	180	70,92	56,95	367
75	0	180	76,41	51,08	469
50	-15	180	71,52	56,29	301
50	0	180	70,92	56,95	367
50	15	180	71,35	60,52	421
50	0	180	70,92	56,95	367
50	0	300	85,04	64,59	463
50	0	500	104,90	71,00	581

Çizelge 7.7 : Küresel olarak köreltilmiş tanjant ogive burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı.

Hava Taşıtı Hızı (m/s)	Vuruş Açısı (derece)	Yükseklik (m)	Vuruş Hızı (m/s)	Vuruş Açısı	Uzaklık (m)
25	0	180	63,49	69,15	251
50	0	180	84,83	64,61	471
75	0	180	105,70	51,00	474
50	-15	180	71,53	56,4	296
50	0	180	70,77	56,97	360
50	15	180	71,10	60,50	412
50	0	180	70,77	56,97	360
50	0	300	84,83	64,61	471
50	0	500	104,86	71,08	570

Çizelge 7.8 : Kesik tip tanjant ogive burun konisine ait mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı.

Hava Taşıtı Hızı (m/s)	Vuruş Açısı (derece)	Yükseklik (m)	Vuruş Hızı (m/s)	Vuruş Açısı	Uzaklık (m)
25	0	180	63,33	56,4	217
50	0	180	70,11	57,69	337
75	0	180	74,54	52,65	433
50	-15	180	70,92	56,92	278
50	0	180	70,11	57,69	337
50	15	180	70,58	61,40	383
50	0	180	70,11	57,69	337
50	0	300	84,52	65,5	424
50	0	500	104,11	71,78	528

Farklı burun konisi tasarımlarının çarpma açısı ve çarpma hızı üzerindeki etkisini sayısal olarak göstermek için Minitab yazılımı kullanılarak sonuçlar üzerinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Çizelge 7.9 farklı burun konisi tiplerinin vuruş açısı için tek yönlü varyans analizi sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 7.10'da farklı burun konisi tiplerinin vuruş hızı için tek yönlü varyans analizi sonuçları verilmiştir. ANOVA analizinde p değerlerinin 0.05'ten büyük olması nedeniyle, burun konisi farkının çarpma açısı ve çarpma hızı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çizelge 7.9 : Farklı burun konisi tiplerinin vuruş açısı için tek yönlü varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Burun Konisi Tipi	2	10.31	5.153	0.13	0.879
Hata	24	956.41	39.850		
Toplam	26	966.72			

Çizelge 7.10 : Farklı burun konisi tiplerinin vuruş hızı için tek yönlü varyans analizi sonuçları.

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Burun Konisi Tipi	2	159.1	79.56	0.45	0.645
Hata	24	4282.7	178.45		
Toplam	26	4441.9			

7.8 Maliyet ve Fayda Analizi

Bir adet AYSB'nın üretilmesi ve montajının yapılması için gerekli maliyetler hesaplanmıştır. Çarpma etkisi ile çalışacak AYSB'nın bir adedinin üretimine ait maliyet analizi Çizelge 7.11'de verilmiştir. Çizelge 7.11'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.

Çizelge 7.11: Çarpma etkisi ile 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 açı 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

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:

- (a) AYSB, havadan yangınlara müdahalede kullanılmak üzere tasarlanmış inovatif bir üründür. AYSB, karada yangınlara müdahalede kullanılan söndürme tüpleri veya benzeri ürünlerin alternatifi değildir.

- (b) 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.
- (c) Mühimmat depoları ve benzeri noktalarda ortaya çıkan yangınlarda şarapnel ve patlama etkisi nedeni ile yangın bölgelerine yaklaşılammamaktadır. Bu yangınlarda 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'ları taşıyan hava araçları arazi şartlarından bağımsız olarak gökyüzünde tüm bölgeyi gözlemleyebilecek ve sabote edilen her noktaya AYSB'larını 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.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezinde yangınlarla havadan mücadelede kullanılabilecek ve daha önce tasarlanmamış, etkin bir ürün olan akıllı yangın söndürücü mühimmatının (AYSM) tasarımı yapılmış ve imalat karakteristikleri belirlenmiştir. AYSM, NATO üyesi ülkelerin envanterinde bulunan bir harp mühimmatı olan MK-82 (havadan yere genel maksat bombası) tip mühimmattan esinlenerek tasarlanmıştır. AYSM ölçülerinin var olan bir harp mühimmatına benzemesi onu hava araçları üzerinde herhangi bir iyileştirme veya değiştirme yapmadan doğrudan hava aracına yükleme imkânı vermektedir. Üç boyutlu mühimmatı tasarlamak ve oluşturmak için Catia V.5 yazılımı kullanılmıştır. Mühimmatın yapısal, akış ve patlama analizleri ANSYS yazılımı ile yapılmıştır. Ürünün yazılımı C programlama dilinde yazılmıştır.

Tez kapsamında aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır:

- (j) AYSM'nin gereklilik ve tasarım kriterleri belirlenmiştir.
- (k) AYSM gövde, burun konisi, kuyruk-kanat takımı, söndürücü-soğutucu malzeme, patlayıcı, fünye, elektronik donanım ve yazılımdan oluşmaktadır. Herbir eleman tasarlanmış ve karakteristikleri belirlenmiştir.
- (l) Farklı burun konisi tasarımlarının hangisinin AYSM'nin gereklilik ve tasarım kriterlerini daha iyi karşıladığını belirlemek amacıyla üç farklı burun konisi tasarımı yapılmış ve en uygun burun konisi tipi belirlenmiştir.
- (m) HAD analizi ile AYSM sayısal olarak modellenmiştir.
- (n) HAD analizinde korunum denklemleri farklı türbülans modelleri kullanılarak Ansys Fluent yazılımı yardımıyla çözülmüştür. Türbülans modelleri olarak SpalartAllmaras (S-A) modeli, standart k- ϵ modeli ve SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. En doğru sonucu veren türbülans modeli belirlenmiştir.
- (o) İnsansız bir hava aracına yüklü mühimmatın, araca ait maksimum hız koşullarında ortaya çıkaracağı sürüklenme katsayısı HAD analizi ile belirlenmiştir.
- (p) Hava aracının ulaşacağı maksimum hız büyüklüğü için AYSM'nin gövdesi üzerinde ortaya çıkacak basınç ve hız profilleri HAD analizi ile elde edilmiştir.
- (q) Mühimmat yörüngesi ve vuruş açısı hesaplamaları yapılmış ayrıca söndürücü maddenin uzaklaşma hızı hesaplanmıştır. Mühimmat yörüngeleri farklı direnç

katsayısı değerleri için çizilmiştir.

(r) AYSM'nın imalat karakteristikleri belirlenmiştir.

8.1 Sonuçlar

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- (a) Bir ağ yapısı oluşturulurken inflation katmanının ilk katman kalınlığının belirlenmesinde boyutsuz y^+ değeri oldukça önemlidir ve doğru değer kullanılmalıdır.
- (b) Sayısal analiz çalışmalarında türbülans modelleri olarak SpalartAllmaras (S-A) modeli, standart $k-\epsilon$ modeli ve SST $k-\omega$ türbülans modeli kullanılmış, bu türbülans modellerinden SST $k-\omega$ türbülans modeli en doğru sonucu vermiştir.
- (c) SST $k-\omega$ türbülans modeli kullanılarak maksimum uçuş hızı için mühimmat gövdesi üzerinde meydana oluşan basınç ve hız profilleri elde edilmiştir. Mühimmatın aerodinamik tasarımı ayrılma ve ard izi bölgelerinin büyük olmasını engellemiş ve böylece basınç direncinin yüksek olmasına mani olmuştur.
- (d) C_d direnç katsayısı arttıkça mühimmatın aldığı yol azalmaktadır.
- (e) Atım yüksekliği arttığında mühimmatın yatay olarak aldığı yol artmaktadır.
- (f) Atım hızının mühimmatın yatay olarak aldığı yolu oldukça etkilediği belirlenmiştir.
- (g) Mühimmatın yatay olarak aldığı yolu en az etkileyen parametrenin C_d direnç katsayısı, en fazla etkileyen parametrenin ise V_{x0} atım hızı olduğu belirlenmiştir.
- (h) V_{x0} atım hızı, h atım yüksekliği ve C_d direnç katsayısına bağlı olarak mühimmat yatay olarak 480-1010 m uzaklığa düşmektedir.
- (i) Mühimmat içerisinde kullanılan 1.815 kg dinamit patlayıcı için söndürücü madde uzaklaşma hızının 145 m/s olduğu hesaplanmıştır.
- (j) Küresel küt konik (spherically blunted conic), küresel küt teğetsel ogive (spherically blunted tangent ogive) ve kesik teğetsel ogive (truncated tangent ogive) tip burun konileri olmak üzere üç farklı burun konisi incelenmiştir. ANOVA analizi, burun konisi farkının çarpma açısı ve çarpma hızı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir. AYSM'nın burun konisi içerisinde alev algılama, mesafe ölçüm ve çarpma sensörleri vb. bulunması ve bu sensörlerin mühimmatın en ön kısmında bir düzlem üzerinde ve dış ortam ile temasta bulunması zorunluluğu olması nedeniyle

burun konisi olarak kesik tip (truncated nose cone) bir burun konisi seçilmiştir.

- (k) AYSM 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.
- (l) AYSM için maliyet analizi yapılmış ve iki ayrı özelliğe sahip bomba türü için iki ayrı fiyat elde edilmiştir. buna göre; yangın bölgesine düştüğünde burun kısmında bulunan çarpma sensörü vasıtası ile patlayarak söndürücü-soğutucu malzemeyi saçan tür için bir adet bomba maliyeti 371.85 ABD dolarıdır. Yangını havadan algılayarak tepe noktasında patlamanın gerçekleştiği bomba maliyeti ise yüzde elli kadar daha fazla olarak 560 ABD doları olarak hesaplanmıştır.

8.2 Öneriler

Bu yüksek lisans tezinde yangınlarla havadan mücadelede kullanılabilecek ve daha önce tasarlanmamış, etkin bir ürün olan akıllı yangın söndürücü mühimmatının (AYSM) tasarımı yapılmış ve imalat karakteristikleri belirlenmiştir.

Yerleşim alanları dışında bulunan ormanlar, petrokimya tesisleri, petrol-gaz iletim hatları ve mühimmat depoları gibi alanlarda meydana gelen açık alan yangınlarına karşı etkili bir mücadele aracı bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen AYSM'nin bu açığı kapatacağı ve sivil savunma / havacılık alanını yeni bir ürün ile tanıştıracacağı düşünülmektedir. Geliştirilen mühimmatın yaygınlaşması ve seri üretime geçilerek imalatının gerçekleştirilebilmesi için aşağıdakilerin önerilmesi uygun bulunmuştur:

- (a) Gövde malzemesi için farklı seçenekler kullanılabilir.
- (b) Farklı tip hava araçları için farklı büyüklüklerde mühimmatlar tasarlanabilir.
- (c) Söndürücü-soğutucu malzemenin saçılım şablonunun iyileştirilmesi için ayrıntılı

alışmalar yapılabilir.

- (d) Pilotun kullanacağı insan-makine arayüz yazılımı, patlama noktasının belirlenmesi, kullanılacak sensörler ve koordinasyonunu sağlayan yazılım ile ilgili ayrıntılı çalışmalar yapılabilir.
- (e) Geometrik, yapısal ve imalat karakteristikleri belirlenen AYSM için ekonomik analiz yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Alder, R.** (1990). Fighting Bush fires from the air. Conference of the Institute of Fire Engineers, Adelaide, Australia.
- Ansys Inc.** (2020). R1-Theory Guide, 2021. Southpointe 2600 Drive Canonsburg, PA 15317, ABD.
- Arthur, H. P.** (2009). Bombing Forest Fires: A Proposed Technology. Environmental Conservation, Volume 11, Issue 2, Summer 1984, pp. 183
- Bayer.** (t.y.). Bayer Polycarbonate Resins. Erişim: 5 Temmuz 2021, https://web.archive.org/web/20100210070124/http://www.bayermaterialscience.com/faq_pcs/index.html
- City Plastics.** (t.y.). Polycarbonate. Erişim 5 Temmuz 2021, <https://web.archive.org/web/20181016161442/http://www.cityplastics.com.au/materials-polycarbonate>
- CNATT.** (2006). Bombs, Fuzes, and Associated Components. Center for Naval Aviation Technical Training, Dallas, ABD.
- Crowell S. & Gary A.** (1996). The descriptive geometry of nose cones. Retrieved March 24, 2021, from https://web.archive.org/web/20110411143013/http://www.if.sc.usp.br/~projeto/sulfos/artigos/NoseCone_EQN2.PDF
- Djurner, K., Manson, J. A. & Rigdahl, M.** (1978), Crystallization of polycarbonate during injection molding at high pressures, J. Polym. Sci. B Polym. Lett. Ed., 16: 419-424. <https://doi.org/10.1002/pol.1978.130160806>
- Dowling, S.** (2015). The jaw-dropping missions of fire-fighting pilots. BBC Future. Retrived July 5, 2021, from <https://www.bbc.com/future/article/20150821-the-jaw-dropping-missions-of-fire-fighting-pilots>.
- EHang.** (t.y.). EHang Launches Intelligent Aerial Firefighting Solution. Erişim: 5 Temmuz 2021, <https://www.ehang.com/news/670.html>
- EOSB.** (2014). Yangın Savunma Ders Notu. Erişim: 5 Temmuz 2021, <https://www.eosb.org.tr/userfiles/files/dersnotu2014.pdf>
- Eyriboyun M.** (2009). *Yangın Ders Notları*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 1-3
- Fluent.** (2006). Fluent User's Guide. Lebanon, NH: Fluent Incorporated.
- Geçim, S., Pulat, E., İşman, M. K. & Etemoğlu, A. E.** (2008). Çarpın dikdörtgen bir hava jetinde türbölans modellerinin karşılaştırılması ve ilgili parametrelerin ısı transferine etkileri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 13, Sayı 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.
- GICHD.** (2017). Characterisation of Explosive Weapons Study, Annex E – Mk 82 Aircraft Bomb. Geneva, Switzerland: Geneva International Centre for Humanitarian Demining,

- Gielle.** (t.y). Fire Extinguishing Agents. Erişim: 5 Temmuz 2021, https://www.gielle.it/fire_extinguishing_agents.htm
- Houghton H.** (2014). F1 in Schools Car Design Simulation Tutorial. Autodesk Flow Design, pp.5.
- Iyer, A. R. & Pant, A.** (2020). A Review On Nose Cone Designs for Different Flight Regimes, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 07 Issue: 08, 3546-3554.
- İnce, A.** (2019). Yangına Karşı Alınacak Güvenlik Tedbirleri, Erişim 21 Mart 2021 <http://www.abdurrahmanince.net>
- Korenkov, V. K.** (2004). ASP-500 Fire-extinguishing Air System [Electronic version]. Revue Militaire Suisse, 149, 32.
- Krishnamoorthy, L. V., Kirk, D. R. & R. Glass.** (1997). Aerodynamic Database for the Mk 82 General Purpose Low Drag Bomb. Canberra (Australia), Defence Science and Technology Organization.
- Küçükosmanoğlu, A.** (1993). *Türkiye Orman Yangınlarına Ait Bazı Verilerin Değerlendirilmesi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 43, 94.
- Launder, B.E. & D.B. Spalding.** (1974). The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Volume 3, Issue 2, 269-289.
- Lei, Z.** (2017). Chinese rockets aimed at high-rise fires. China Daily. Retrived July 5, 2021, from https://www.chinadaily.com.cn/china/2017-02/14/content_28190425.htm.
- Menter, F. R.** (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. AIAA Journal, 32, 1598–1605.
- Nahar, A.** (2017). Numerical Investigation and Modelling of Solar Photovoltaic/Thermal Systems (Phd Thesis). Institute of Graduate Studies, University of Malaya, Kuala Lumpur.
- NAVEDTRA.** (2001). Aviation Ordnanceman, 14313. Naval Education And Training Professional Development And Technology Center, Dallas, ABD.
- Nitro Teknik.** (2020). Teknik Patlayıcı Teknik Patlayıcı Madde Elektronik Kataloğu. Erişim: 22 Mart 2021, <http://www.teknikpatlayici.com.tr/upload/dosya/teknikpatlayici-tr-katalog.pdf> son erişim tarihi 22.04.2021
- NPS.** (1999). Handbook for the Storage, Transportation, and Use of Explosives Retrieved from www.nps.gov/parkhistory/online_books/nps/explosives
- Polikarbondeposu.** (2021). Solid Polikarbon Özellikleri. Erişim: 5 temmuz 2021, <http://www.polikarbondeposu.com/tr-TR/solid-polikarbon-ozellikleri/4/27/27/81>
- Pulicinski, M. & Gould, J.** (2007). The Effectiveness and Efficiency of Aerial Firefighting in Australia (Rapor No.A0701). Melbourne, Australia.: University of Melbourne, Department of Environment and Conservation.

- Radu, V. T.** (2019). Use of drones for firefighting operations(Master's thesis). Aalborg University, Esbjerg, Denmark.
- Rego, F.M.C.C., Rodriguez, J. M. M., Calzada, V. R. V. & Xanthopoulos, Gavriil** (2018). *Forest Fires- Sparking fire smart policies in the EU*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Savaş, E.** (2015). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı (Fluent) Kullanılarak Bir İşyerinde Yangın Acil Durumunda Duman Tahliyesi Modellenmesi (Uzmanlık Tezi). Ankara.
- Subha, R., Drozario, A. M., & Sreeshin, M.** (2020). Study on Various Types of Nose Cone Profiles at Supersonic Speed through Analytical, Experimental and Numerical Simulation Methods, Journal of Xidian University. 14. 10.37896/jxu14.6/312. VOLUME 14, ISSUE 6, 2020. 2651-2675.
- UNODA.** (2015). International Ammunition Technical Guideline (2nd ed.). New York, NY: United Nations Headquarters.
- Wilcox, D. C.** (1998). Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models. AIAA Journal, 26, 1299–1310.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Murat TOPTAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2021, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- Şubat 2019 dan beri İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- **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), 1-15.
- **Toptaş, M. & Yılmaz, M. (2021).** Akıllı yangın söndürme mühimmatının sayısal analizi. J. Aviat 2021, 5 (1), 22-35.
- **Toptaş, M. & Yılmaz, M. (2021).** Yangın söndürme için alternatif bir tasarım: akıllı yangın söndürme bombası. Mühendis ve Makina, 62 (705), 806-829.
- **Toptaş, M. & Yılmaz, M. (2021, March).** Design and Prototyping of Air-to-Ground Smart Fire Extinguisher Ammunition. In 5th International Anatolian Energy Symposium (pp. 337-345). 24-26 March 2021, Karadeniz Technical University, Trabzon/Turkey.
- **Toptaş, M. & Yılmaz, M. (2021, Juy).** Design of Smart Fire Extinguishing Ammunition. In TOKYO SUMMIT 4th International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences (pp. 428-425). July 29-31, Tokyo/Japan.
- Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılan çalışmalara ilişkin Türk Patent ve Marka Kurumu'na “**Yangın Söndürme Bombası ve Yangın Söndürme Bombası Uygulama Yöntemi**” isimli patent başvurusu yapılmıştır (Patent Başvuru No: 2019/15809).