

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**120 MM HAVAN TOPU NAMLUSUNUN VE BU NAMLU
ÜZERİNDE YAPILACAK GEOMETRİK DEĞİŞİKLİKLER
SONRASINDA NAMLUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Melih ULUTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EYLÜL, 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**120 MM HAVAN TOPU NAMLUSUNUN VE BU NAMLU ÜZERİNDE
YAPILACAK GEOMETRİK DEĞİŞİKLİKLER SONRASINDA
NAMLUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Melih ULUTAŞ

Danışman
Doç. Dr. Haşim PIHTILI

EYLÜL, 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: 120 mm Havan Topu Namlusunun ve Bu Namlu Üzerinde Yapılacak Geometrik Değişiklikler Sonrasında Namlunun Mekanik Özelliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Yazarı: Melih ULUTAŞ

İlk Teslim Tarihi: 2.5.2021

Savunma Tarihi: 21.9.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Doç. Dr. Haşim PIHTILI
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Onayladım

Başkan: Prof. Dr. Mete Onur KAMAN
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Onayladım

Üye: Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ
İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “120 mm Havan Topu Namlusunun ve Bu Namlu Üzerinde Yapılacak Geometrik Değişiklikler Sonrasında Namlunun Mekanik Özelliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

ELAĞIĞ, 2021

Melih ULUTAŞ



ÖNSÖZ

Bu bitirme çalışmasında, Sayp projesi neticesinde Fırat Üniversitesi-Aselsan Şirketin’de yapmış olduğum 120 mm Havan Topu Namlusunun Solidworks ve Ansys analizi sonucunda elde ettiğim bilgileri dikkatinize sunmaktayım.

Bu çalışmayı hazırlarken geçirdiğim süreçte benden yardımlarını esirgemeyen Aselsan Şirketi, çalışanlarına ve yönetimine teşekkürü bir borç bilirim.

Bu yüksek lisans çalışmasının gerçekleştirilmesinde değerli bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, güler yüzü ve samimiyetiyle kıymetli zamanını ayırıp sabırla dinleyen, her türlü konuda varlığını, sevgisini ve desteğinin benimle olacağına inandığım danışman hocam Doç. Dr. Haşim PIHTILI’ ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Sayısal analizlerin yürütülmesi kısmında bana yardımcı olan meslektaşım Makine Mühendisi Barış KARAMANOĞLU’ na teşekkür ederim.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve hayatımın her aşamasında yanımda olup bana güç veren değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Melih ULUTAŞ

ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BEYAN	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	1
2. HAVAN TOPU HAKKINDA GENEL BİLGİLER	9
2.1. 120 mm Havan Topu Namlusunun Genel Özellikleri	10
2.2. 120 mm Havan Topu Namlusunun Kısımları	11
2.3. Sevk Barutları	12
2.3.1. 120 mm Havan Topunda Kullanılan Sevk Barutu ve Özellikleri	13
2.4. Mühimmat Tipleri	13
2.4.1. Kartuş Mühimmat	13
2.4.2. Hartuç Mühimmat	14
2.4.3. Sabit Hartuç Mühimmat	14
2.4.4. Keseli Mühimmat	14
2.4.5. 120 mm Havan Topu Namlusunda Kullanılan Mühimmat ve Özellikleri	14
3. TEORİK BİLGİLER.....	17
3.1. Yanma	17
3.2. Yanma Hızı Ve Yanma Yüzdesi	17
3.3. Yanma Esnasında Meydana Gelen Gaz Hacmi ve Sıcaklık	18
3.4. Isı Transferi	19
3.4.1. İletim.....	20
3.4.2. Taşınım ve Işınım	20
3.5. Namlu Cidarındaki Sıcaklık Değişimi	22
3.6. Termo-mekanik gerilmeler.....	24
4. HAVAN TOPUNUN MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ	28
4.1. SolidWorks Hakkında Genel Bilgiler	28
4.2. ANSYS ve Sonlu Elemanlar Metodu Hakkında Genel Bilgiler	28
4.2.1. OtofretajEtkisi.	28
4.2.2. Hasar.....	28
4.2.3. Diğer Kabuller	29
4.3. Modelin Oluşturulması	29
4.4. Namlu içerisindeki Enerji Değerleri	32
4.5. Havan Topu NamlusununMeshlenmesi	34
4.6. Havan Topunda Yanma Sonucu Elde Edilen Gerilme Değerleri ve Malzeme Özellikleri.....	36
4.7. ANSYS Sonlu Elemanlar Metodu İle Termo-Mekanik Analiz İncelenmesi.....	37

5. SONUÇ VE YORUM.....	55
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

120 mm Havan Topu Namlusunun ve Bu Namlu Üzerinde Yapılacak Geometrik Değişiklikler Sonrasında Namlunun Mekanik Özelliklerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Melih ULUTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Eylül 2021, Sayfa x+59

Bu çalışmada, savunma sanayisinde önemli bir role sahip olan 120 mm havan topunun güncelleme yoluna gidilmiştir. 120 mm havan topunun hedefi vurabilmesi için üzerinde bulunan vida dişleri yardımıyla gerekli olan açı verilerek hedefe nişan alınmaktadır. Hedefin bu şekilde belirlenmesi ise çok zaman aldığından dolayı, Aselsan tarafından yeni geliştirilen havan topunun, en kısa süre içerisinde ve daha kolay bir şekilde ayarlanabilmesi için mekanik olarak açı verilmesi yerine vida dişlerini kaldırarak sisteme otomatik açı veren hidrolik mekanizmanın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, havan topu hem kendi etrafında 360° dönebilen hem de istenilen açya ayarlanabilen ve tamamen otomatik bir sisteme dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu nedenlerden dolayı Aselsan 120 mm havan topunun üzerinde bulunan vida dişlerinin kaldırılması üzerine bir çalışma başlatmış ve SAYP projesi kapsamında, tez çalışması ortak olarak yürütülmüştür.

Yapılan bu çalışma, iki kademede gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, hali hazırda kullanılan vida dişli 120 mm havan topunun atış esnasında etki eden gerilmeler için termo-mekanik analizlerin ANSYS Workbench sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Daha sonra havan topu üzerindeki vida dişleri kaldırıldıktan sonraki durumu için aynı gerilmeler etkisi altında ANSYS Workbench programında incelenip elde edilen sonuçlar iki havan topu arasında karşılaştırılmış ve vida dişlerinin kaldırılmasının güvenli olup olmadığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havan topu, Havan Namlusu, Namlu, İç Balistik

ABSTRACT

Numerical Investigation of 120 mm Mortar Barrel and Mechanical Properties of Barrel After This Barrel Process Geometrical Changes

Melih ULUTAŞ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering
Sep 2021, Page x+59

This has been made to update the 120 mm mortar, which has an important role in the defense industry. In order for the 120 mm mortar to hit its target, the screw on it is aimed at the target by giving there quired angle. As the target takes a lot of time from this list, it was targeted by Aselsan for the hydraulic mechanisms that angle the system by removing the screw threads instead of the angle mechanically so that the new high mortar can be adjusted in the shortest time and easier. In this way, it is aimed to transform the mortar into a system that can rotate 360 C and can be adjusted to the desired angle. For these reasons, Aselsan has started a study on there moval of screw gears on the 120 mm mortar and within the scope of the SAYP project, this is the foundation as a master's degree.

This study has been carried out in two stages. First, all the regressions of the currently used 120mm mortar with screw, which affect the firing application, were examined by Ansys finite element method. Secondly, for the condition of the screw gears after their removal on the pestle, the same stresses were applied to Ansys and all the results obtained were compared between the two mortars and with all the data obtained, it was examined whether it was safer to move the screw gears.

Keywords: Mortar, Mortar Barrel, Barrel, Internal Ballistics

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Havan topu 120 mm	9
Şekil 2.2.	Havan topuna ait kısımlar	11
Şekil 2.3.	Vida dişleri kesiti	12
Şekil 2.4.	Sevk barutu	13
Şekil 2.5.	Kartuş mühimmat.	14
Şekil 2.6.	Keseli Mühimmat.	15
Şekil 2.7.	Havan topu mühimmatı	15
Şekil 3.1.	Orantı sabiti ve yanma yüzdesi arasındaki ilişki	18
Şekil 3.2.	Silindirik koordinatlarda üç boyutlu birim eleman.	20
Şekil 3.3.	Temsili namlu ve kesiti	21
Şekil 3.4.	Namlu cidarına etkiyen basınç ve sıcaklıklar	24
Şekil 3.5.	Doğrusal enerji dağılımı	27
Şekil 4.1.	120 mm havan topunun teknik resmi	30
Şekil 4.2.	120 mm havan topu modeli	30
Şekil 4.3.	Mühimmat yüklü havan topu modeli	31
Şekil 4.4.	120 mm vida dişleri kaldırılmış havan topu modeli	31
Şekil 4.5.	Mühimmatın namluyu terk etme süresi.	34
Şekil 4.6.	Vida dişli namlu mesh sayısı ve görünümü	35
Şekil 4.7.	Vida dişli havan topuna ait mesh işlemi	35
Şekil 4.8.	Vida dişlerinin meshi	36
Şekil 4.9.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunun meshi	36
Şekil 4.10.	Namlu boyunca ısı akış dağılımı	37
Şekil 4.11.	Vida dişli havan topu namlusunun birinci bölge ısı akış dağılımı	38
Şekil 4.12.	Vida dişsiz havan topu namlusunun birinci bölge ısı akış dağılımı	38
Şekil 4.13.	Vida dişli havan topu namlusunun ikinci bölge ısı akış dağılımı	39
Şekil 4.14.	Vida dişsiz havan topu namlusunun ikinci bölge ısı akış dağılımı	39
Şekil 4.15.	Vida dişli havan topu namlusunun üçüncü bölge ısı akış dağılımı	40
Şekil 4.16.	Vida dişsiz havan topu namlusunun üçüncü bölge ısı akış dağılımı	40
Şekil 4.17.	Vida dişli havan topu namlusunun dördüncü bölge ısı akış dağılımı	41
Şekil 4.18.	Vida dişsiz havan topu namlusunun dördüncü bölge ısı akış dağılımı	41
Şekil 4.19.	Vida dişli havan topunda meydana gelen sıcaklık dağılımı	42
Şekil 4.20.	Vida dişli havan topunda meydana gelen sıcaklık-zaman dağılım grafiği	42
Şekil 4.21.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunda meydana gelen sıcaklık dağılımı	43
Şekil 4.22.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunda meydana gelen sıcaklık-zaman dağılım grafiği	43
Şekil 4.23.	Namlu boyunca oluşan maksimum sıcaklık	44
Şekil 4.24.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam ısı akısı miktarı	44

Şekil 4.25.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen toplam ısı akısı miktarı..	45
Şekil 4.26.	Namlu sabitleme noktası.....	45
Şekil 4.27.	Basınç-zaman sınır şartları.....	46
Şekil 4.28.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon dağılımı	47
Şekil 4.29.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon -zaman dağılım grafiği	47
Şekil 4.30.	Vida dişlerin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon dağılımı	48
Şekil 4.31.	Vida dişlerin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon- zaman dağılım grafiği	48
Şekil 4.32.	Toplam deformasyon miktarının karşılaştırması	49
Şekil 4.33.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme dağılımı .	49
Şekil 4.34.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme oranı-zaman grafiği.....	50
Şekil 4.35.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme oranı dağılımı	50
Şekil 4.36.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme -zaman dağılım grafiği	51
Şekil 4.37.	Eşlenik elastik şekil değiştirme oranının ile mesafe arasındaki karşılaştırma grafiği	51
Şekil 4.38.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme dağılımı	52
Şekil 4.39.	Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme-zaman dağılım grafiği	52
Şekil 4.40.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme dağılımı	53
Şekil 4.41.	Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme-zaman dağılım grafiği	53
Şekil 4.42.	Namlu boyunca oluşan maksimum eşlenik gerilme.....	54

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Sevk barutu özellikleri	13
Tablo 2.2. Havan topu mühimmat özellikleri	16
Tablo 4.1. Namlu içerisindeki enerji dağılımı.....	32
Tablo 4.2. İç balistik toplam enerji dağılımı	33
Tablo 4.3. 120 mm havan topu namlusunda oluşan enerji dağılımı	33
Tablo 4.4. 32CrMoV1210 Malzemesinin mekanik özellikleri	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

D	: Balistik boyut
E	: Elastisite modülü
F	: Orantı sabiti
h	: Isı taşınım katsayısı
k	: Isı iletim katsayısı
N_u	: Nusselt sayısı
P	: Basınç
P_i	: Gaz basıncı
P_o	: Atmosfer basıncı
R	: Gaz sabiti
Re	: Reynold sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
S	: Yanan barut kalınlığı
T	: Sıcaklık
T_g	: Gaz sıcaklığı
T_i	: Namlu iç cidar sıcaklığı
T_o	: Namlu dış cidar sıcaklığı
V	: Hacim
V_{Top}	: Zamanla değişen toplam namlu hacmi
$\emptyset$	: Yanma yüzdesi
η	: Co-volume
v	: Barut gazı genişleme hızı
μ	: Dinamik viskozite
ρ	: Yoğunluk
α	: Isıl genişleme katsayısı
σ_r	: Radyal gerilme
σ_θ	: Teğetsel gerilme
σ_z	: Eksenel gerilme
ν	: Poisson oranı
ε_r	: Radyal şekil değiştirme oranı
ε_θ	: Teğetsel şekil değiştirme oranı
ε_z	: Eksenel şekil değiştirme oranı

Kısaltmalar

FE	: Finite Element (Sonlu Eleman)
UFF	: Universal File Format (Evrensel Dosya Formatı)
FRF	: Frequency Response Function (Frekans Tepki Fonksiyonu)
FFT	: Fast Fourier Transform (Fourier Dönüşümü)
SVD	: Singular Value Decomposition (Tekil Değer Ayrışımı)

1. GİRİŞ

Türkiye bulunduğu jeopolitik konumu nedeni ile savunma sanayinin gelişmesinde önemli bir ilerleme sağlamıştır ve ilerlemeye de devam etmektedir. Böylece, savunma sanayide kullanılan ürünleri yerli üretime geçilmeye başlayarak, yeni üretim teknolojileri kullanılıp katma değeri yüksek ihracat potansiyeli olan ürünler üretilip mevcut ürünleri de en verimli şekilde güncelleme yapılmaktadır.

Savunma sanayisinde önemli bir role sahip olan, 120 mm havan topu, savaşta ve barışta ülke bütünlüğünü korumak için kullanılan vazgeçilmez ateşli bir silah olup, yıllardır Türk Silahlı Kuvvetlerinin envanterinde bulunmaktadır.

MKE(Makina Kimya Enstitüsü) tarafından üretilen ve halen daha kullanılan 120 mm havan topları, Aselsan tarafından günümüz koşullarına ve teknolojik gelişmelere göre üretimi ve modernizesi yapılmaktadır. Aselsan, AHS-120 modelini geliştirip otomatik namlu yönlendirme ve otomatik mühimmat yükleme özellikleri eklenmiştir. 120 mm havan topu, kendi alanında bulunan en büyük ateşli silahı sınıfını kapsamaktadır. Atış için mühimmat, üst açı derecesiyle atış yapan bir silahtır. Üstten, yani namlu ağzından elle doldurur ve tek tek atış yapar. Bundan dolayı, 120 mm havan topu direk hedefe atılmaz belirli bir açı verildikten sonra hedefe havadan düşer.

Havan toplarının menzili en az 1500 m en fazla ise 8000 m olarak kullanılmaktadır. Bu menzile sahip bir havan topunun tasarımı oldukça önemlidir.

1.1. Literatür Taraması

Esen ve Koç [2], 35 mm uçaksavar namlusunun atış esnasındaki dinamik analizinin üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada 35 mm çapında ve 3240 mm boyundaki bir uçaksavar namlusunun, dinamik davranışlarını incelemiştir. Çalışmada, patlama anında oluşan şok dalgaları hariç tutularak mermi çekirdeği namlunun dinamik etkileşimi ile sınırlandırılmıştır. Namlunun katı modellemesi SOLIDWORKS programıyla oluşturulmuş olup namluya ait doğal frekanslar ve model şekilleri MATLAB programında ve ANSYS programında oluşturularak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Özcan [3], çalışmasında, kısa namlulu ateşli silahlarda iç balistiğe bağlı mukavemet durumunu incelemiştir. Bu çalışma içerisinde, polimer yapıya sahip, 9 mm kalibrelik 86 mm namlu uzunluğuna ve altı yiv sete sahip silah namlusunun sonlu elemanlar yöntemi ile mukavemet analizleri yapılarak, optimal namlu tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Bu amaca varabilmek için mermi ve namlunun 3B tasarımları yapılmış ve ANSYS Workbench Explicit Dynamics modülüne aktarılmıştır. Yapılan analiz ve araştırma neticesinde elde edilen namluyu terk etme hızı deneysel verilerle doğrulanmış olup, fark %1.82'dir. Dolayısıyla pahalı deney

düzeneklerine ihtiyaç duymadan namlu tasarımlarının yapılması ve iyileştirmelerinin doğrulanması için sonlu elemanlar paket programlarının kullanarak bunun doğruluğunu göstermiştir.

Huang [4], çalışmasında, 105 mm top namlusunu modelleyip hacim enerji yoğunluğu metodu ve sonlu elemanlar analizi uygulamıştır. Bu çalışmada, namlularda oluşan patlamaya bağlı hasar analizi yapmıştır. 105 mm top namlusunun ateşlendikten 80 μ s sonra enerji yoğunluğu metodunu uygulayarak yaklaşık 727 MPa basınçta parçalandığını gözlemlemiştir. Elde edilen parçalanmaların zamana göre davranışının tahminlerini yaparak gerekli sonuçları çalışmasında açıklamıştır.

Öztürk [5], ANSYS Fluent programını kullanarak çalışmasında hesaplamalı akışkanlar mekaniği yöntemini, namlu tasarımının geri tepme üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada problemin dış modelini oluşturduktan sonra geri tepme kuvvetinin azaltılması amacıyla hazırlanan modeller ile karşılaştırma analizleri uygulanmıştır. Bulduğu sonuçların ateşli silahlar üzerinde uygulanabilecek Ar-Ge çalışmalarının faydalanabileceği belirtmiştir.

Tawfik [6] çalışmasında ise, sonlu elemanlar modelinin öz değer yönteminden yararlanarak bir merminin hareket hali durumunda ki etkisinin Euler-Bernoulli çubuğunun kararlılığını ortaya çıkarmıştır. Hesaplamalarına göre çubuğun öz değerleri merminin kütlesi, hızı ve konumuna göre değiştiği için sistemin en küçük öz değeri sıfıra (kararsızlık oluşana) ulaşana kadar farklı hızlar, kütleler ve konumlardaki öz değerleri olduğunu bulmuştur. Sonrasında, farklı hız ve kütle oranlarındaki çubuğun dinamiğini Newmark algoritmasını kullanarak incelemiştir. Tawfik, bu çalışmada, namlunun kararlılığının arttırmak için kademeli namlu kullanımlarında namlu çapının küçük bir miktarda artırılmasıyla olduğunu gözlemlemiştir.

Sönmez [7], yaptığı çalışmada, obüs namlusu yanma odasında kıatış esnasında ortaya çıkan gerilmelerin matematiksel modellenmesi ve analizini ele almıştır. Sönmez, aynı zamanda Türkiye’de üretilmekte olan, ağır silah sınıfına giren Kundağı Motorlu Obüs namlusu üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada, atış esnasında namludaki en fazla gerilmenin olduğu namlu yanma odasına etki eden gerilmelerin matematiksel modelini elde etmiştir. Ayrıca, farklı malzemelerden imal edilen namluların yanma odalarına etki eden gerilme değerleri ve yanma odalarındaki toplam deformasyon değerleri zamana bağlı olarak yapılan analizler neticesinde elde etme amacıyla farklı sevk barutlarının kullanıldığı atışlardan elde edilen anlık namlu iç basınç değerleri kullanmıştır. Sönmez, üç farklı namlu malzemesi ve üç farklı sevk barutu kullanmıştır. Farklı malzemelerin, farklı sevk barutları kullanıldığı zamanki davranışları, namlu yanma odasındaki gerilmelerin büyüklükleri ve deformasyonları karşılaştırılarak optimum namlu malzemesi seçilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla çalışmasında obüs atışlarında en fazla kullanılan üç farklı sevk barutu olan, M4A2, M119A1 ve M203 sevk barutlarını kullanmıştır. M4A2 sevk barutu namlu yanma odasında yandığı zaman çıkan maksimum basınç miktarının 148.3 MPa olduğu ve

M203 sevk barutunda da 269 MPa değerlerini ölçmüştür. Dökme demir malzemesinden yapılan namlu yanma odasının, M4A2 sevk barutunun yanması sonucu ortaya çıkan basınca dayanabileceğini yapılan bu çalışmalar sonucu tespit etmiştir. Ancak, M119A1 ve M203 sevk barutlarının yanmaları sonucu ortaya çıkardıkları basınçlara dayanamayacağı M119A1 ve M203 sevk barutlarının yanmaları sonucu ortaya çıkan gerilme değerlerinin dökme demirin kırılma noktası olan 400 MPa'ı geçmesinden dolayı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, temperlenmiş çelik malzemeden ve titanyum alaşımlı çelik malzemeden yapılan namlu yanma odalarının ise her üç sevk barutunun yanması sonucu çıkan basınca ve oluşan gerilmelere dayanabileceğini tespit etmiş ve çalışmasını sonuçlandırmıştır.

Deng ve arkadaşları çalışmalarında, namlunun içinde oluşan basınç altındaki davranışlarını doğrusal olmayan süreksiz sonlu elemanlar metodu kullanarak 5.56 mm çaptaki tüfek mermisini ateşledikten sonra incelemişlerdir. Vallier-Heydenreich metodunu kullanarak namlu basıncını formüle etmek ve girdi yapmak için kullanmışlardır. Simülasyon sonucunda bu metod ile mermi ve namlunun gerilmesinin yanı sıra, mermi hızının ve dönüşünün de hesaplanabileceğini bulmuşlardır. Aynı zamanda namlu ağızındaki merminin hızını deneysel verilerle karşılaştırmış ve tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmalarındaki simülasyonun daha sonraki namlu tasarım araştırmalarında zaman kazandırabileceğini belirtmişlerdir [8].

Özgüder [9], M101 top namlusuna ait iç balistik davranışlarını ele alan çalışma düzenlemiştir. Bu çalışmasının asıl amacı, M101 top namlusunun ağırlığından dolayı bunun yerine başka bir malzeme seçerek hafifletmektir. Çalışmasını ANSYS yardımı ile iterasyonlar halinde ağırlığını hafifletip, ateşleme sonrası gerilme dayanımlarını inceleyip güvenli olup olmadığını hesaplamıştır. İlk önce, M101 havan topunu Catia'da 3D olarak çizilmiştir. Bu havan topunda, ateşlemenin yani patlamanın olacağı alanın cidar kalınlığı artırılıp diğer namlu alanlarının cidar kalınlığı azaltılmıştır. Birinci iterasyon da ağırlığı 459.77 kg'dan 212.532 kg'a düşürülmüştür. İkinci iterasyon da ise 212.532 kg'dan 115.949 kg'a düşürülmüştür. 1980 mm uzunluğundaki top namlusu 20 eşit parçaya bölünmüş ve ANSYS programı yardımıyla ateşlemenin olduğu bölüm incelenmiştir. Vallier-Heydenreich balistik çözümünden faydalandığını vurgulayarak ateşlemenin olduğu bölümü incelemek için ve diğer bölümlerdeki basınç hız sıcaklık gibi değerlerin hangi değerlerde olduğunu belirlemenin bu tür çalışmalar için önemini belirtmiştir. Vallier-Heydenreich balistik çözümü kullanıldığında, bir silahta namlu çapı, mermi kütlesi, ilk hız, barut kütlesi, namlu boyu ve piezometrik verimini, bilinen bir sistem için, gaz basıncının maksimum olduğu andaki mermi hızını, basıncını ve zamanını hesaplamak üzere, piezometrik verime bağlı olarak bulunabileceğini vurgulamıştır. Bu şekilde, çalışmasında bu yöntemi kullanabilmek için de girdi olarak M1 barutunu seçmiştir. Diğer girdiler için ise, Prodas programına veriler girilerek gaz basıncının maksimum olduğu değerler alınmış ve Prodas yardım ile alınan değerler gaz basıncının maksimum olduğu ateşleme alanı olduğu belirlenmiştir. Bu tür

araştırmalarda; ağır namlulu silahlarda yanma odasına giren seri atış yapan toplarda, top mermisinin kendinden önceki yapılan atış sıcaklığından etkilenmediği kabul edildiğinden buna dayanarak, çalışmada ısının düşük sıcaklığı 60-800°C arasında olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada, ANSYS'de ateşlemenin olduğu alana yer çekimi ivmesi (980.665 cm/s^2) namlunun kama tarafı sabit olduğundan kama tarafı ankastre giriş alınmıştır. Seçilen malzemenin akma noktası 1150 MPa olup yapılan ANSYS sonuçlarında ise, patlamanın olduğu alanda maksimum 250 MPa'lık bir gerilme olduğu bunun da akma noktasından çok uzak bir değer olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmanın ikinci iterasyonda ise cidar iyice inceltildiğinde yapılan analiz sonuçlarında 1150 MPa değerini zorladığı görülmüştür. Sonuç olarak, Özgüder bu çalışmada, elde edilen sonuçlar namlunun malzemesi değiştirilip, cidar kalınlığı inceltildiğini zaman akma değerinin çok altında olduğu görmüştür. Diğer bir önemli sonuç ise, namlunun ağırlık merkezinin kayması namlunun ağırlığı azaltıldığında yol açtığı görülmüş ve bu tür çalışma yapılırken, bu hususun dikkate alınmasını belirtmiştir.

Babaei [10], çalışmada M24 silah namlusunu ele almıştır. Silah ateşlendikten sonra oluşan basıncın namluda oluşturacağı deformasyonları incelenmiştir. Çalışmada kullanılan, M24 silahına ait namlu uzunluğunu 500 mm olarak almıştır. Sayısal hesaplamada, zamana dayalı basınç denklemi yardımı ile maksimum olan basınç değerini hesaplamış ve namluda sürtünmeden dolayı meydana gelen eksenel kuvvetlerin analiz sonuçlarını etkilemeyeceğini kabul etmiştir. Patlamanın olduğu alanda meydana gelen radyal kuvvet değeri girerek, gerilme analizlerini ANSYS yardımı ile elde etmiştir. Çalışma sonrasında çalışmada seçilen malzemenin akma noktasını geçtiği ve patlamanın olduğu alanda ciddi bir deformasyon olduğu tespit edilmiştir.

Xavier [11], çalışmada, bir merminin ateşleme sonrası oluşturduğu akışı ANSYS CFD hesaplamalı akışkanlar mekaniğini kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, kendinden sonra atılacak merminin hedef yönünü etkilediğini ve ateşleme sonrası akışın çok güçlü olduğunu gözlemlemiştir. Bundan dolayı, merminin namludan çıktıktan sonraki zaman içerisindeki oluşan aerodinamiğini incelemek için, deneylerinde türbülanslı akış etkilerini dikkate alarak yapmıştır. Deneysel çözümleme olarak Spalart-Allmaras modeli ile çözümleme sağlamıştır. Burada, ilk olarak ANSYS programında kontrol hacmi alanı oluşturulmuştur. Çalışmada, kontrol hacminin sınırları ise, x yönünde 600 mm y yönünde 267 mm olarak kullanılmıştır. Bunun için de patlama dalgasını tam inceleyebilmek için farklı noktalardan basınç değerlerini almıştır. Çalışma sonucunda merminin arkasındaki gaz, daha yoğun bir dalgaya yol açtığından daha güçlü bir ikinci patlama ürettiğini gözlemiştir. Bununla birlikte, düşük basınç ve sıcaklık koşulları mermi akış alanını önemli ölçüde etkilediğini belirterek bunun sonucu olarak patlama gücünün azaldığını ifade etmiştir.

Işık [12] ise, bir parametrik modelleme belirleyerek, hız dağılımını, namlu içi basınç dağılımını, sıcaklık seviyesini ısı transfer miktarını, parametrik olarak modelleme üzerine bir

çalışma yapmıştır. Etki eden basınç için Lagrange yaklaşımı ile hesaplanmış ve elde edilen formül ile namlu içerisindeki basınç dağılımını bulmuştur. Burada silindirik koordinatlarda üç boyutlu zamana bağlı ısı transferi denklemi ile hesaplanmasını, namlu içerisindeki ısı transferini hesaplamak için ön görülmüştür. Bunun için ise, bulunan parametrik formülleri kıyaslamak için bir deney düzeneği kurmuştur. Kullanılan bu deney düzeneğinde 7.62x51 mm NATO mühimmatı kullanılmış, 10 kez atış yapılmıştır, NATO standartlarına uygunluğu için ilk olarak +21°C’de üç farklı barut-mermi kullanılarak atış testi yapmıştır. Elde edilen sonuçlar ile parametrik modeller karşılaştırıldığında % 1’lik bir hata payı olduğu görülmüştür. Daha sonra NATO standartları gereği +54 ile -54°C arasında atışlar yapılmış, sıcaklık artıkça namluda oluşan basıncın hızın arttığı görülmüş ve çıkan sonuçlar parametrik model sonuçlarla ile nerede ise aynı değerleri verdiğini görmüştür. Sonuç olarak silah namlusu tasarlarken basınç dağılımı hız dağılımı sıcaklık dağılımı gibi değerler ile parametrik değerlerin hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Şentürk [13], çalışmasında, boyutları bilinen bir namlunun üzerine etki eden basınç ve sıcaklık değerlerinin hesaplanması üzerine çalışmıştır. Çalışmasında, ANSYS sonlu elemanlar programı kullanarak söz konusu olan değerleri kullanılarak seri atış durumundaki namlunun, termo-mekanik gerilme analizini yapmıştır. Termal kamera ile namlu dış yüzeyi için hesaplanan sıcaklık değerleri, analitik yöntemlerle ise termo-mekanik gerilmeler doğrulanmıştır. Termal kamerada testler yapılırken, ortam sıcaklığı 15°C ve namlu sıcaklığı ise 16°C olarak belirlenmiştir. Yapılan tek atışlardan sonrası elde edilenler; namlu dış sıcaklığı 24-25°C’ye çıktığı gözlenmiş ve bundan dolayı, seri atışlara geçmek için namlu basınçlı hava ile her defasında soğutulmuştur. Soğutmadan sonra, seri atış için başlangıcındaki namlunun sıcaklığı 13°C’ye indiği gözlemlenmiştir. Namlu dışına etki eden ısı taşınım katsayısı ise ortalama 25 W/m²K olarak kabul edilmiştir. Tez çalışmasında seri atış yapan bir silaha, sevk yakıtının yanmasıyla birlikte namlu içinde oluşan maksimum basınç değerlerini deneysel olarak çalışmıştır. Bu çalışmasında, Vallier-Heydenreich metodunu kullanarak namlu boyunca zamana bağlı olarak hesaplamıştır. Ayrıca, namlu içindeki gaz sıcaklığı değerleri namlunun her bir bölümü için Noble-Abel denklemini kullanarak, hesaplamıştır. Çalışma sonunda, elde edilen sıcaklık verileri ve ısı taşınım değerleri ANSYS sonlu elemanlar programında çizilen ve 19 parçadan oluşan 3D namluya girilerek, her bir atış için namlu iç ve dış sıcaklık değerleri bulunmuştur. Seri atış yapan silahların namluları çok kısa bir süre içinde yüksek sıcaklıklara ulaştıkları için namluda termal gerilmelerin yanı sıra, mekanik gerilmelerin de oluştuğunu tespit etmiştir. Daha sonra, ANSYS programını kullanarak bu gerilmeleri incelemek için, namluda oluşan basınç ve sıcaklık değerlerini kullanılarak termo-mekanik gerilmeleri hesaplanmıştır.

Güngör [14], metal matris sarılmış namlu üzerinde, yüksek mukavemetli çelikten oluşan namlu yerine çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda öncelikli olarak çelikten üretilmiş namlu haznesine iç basınç uygulanarak mukavemeti ve yapısal analizi çalışılmıştır. Sonrasında ise

izotropik metal matris kompozit namlu üzerine sıkı geçme yöntemi ile monte edilerek çelikten üretilen namlunun gösterdiği mukavemet değerlerini yakalayacak çapın tespiti amacıyla en iyilemeye gidilmiştir.

Akbulut [15], çalışmasının sonunda doğal soğutmalı namlunun çoklu atış görevi için yeterliliğini incelemiştir. Ağır silah namlularında, seri atışlar yapıldığında, sevk barutunun yanması ile birlikte ortaya çıkan gazlardan namlu iç çeperine fazla miktarda ısı transferi gerçekleşmektedir. Isı transferi gerçekleşmesi ile birlikte namluda erozyon ve aşınma miktarları artmaktadır. Aynı zamanda ısınan namlu cook-off (sıcaklıktan mühimmatın kendiliğinden ateş alması) riskini de tetiklemektedir. Isınma sorununu önlemeye yönelik zorlanmış konveksiyonla soğutma tekniği ağır silahlarda uygulanmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak tanımlanan sınır koşulları altında 155 mm'lik doğal ve aktif soğutmalı namluların tek ve seri atışlardaki sıcaklık dağılımları, sonlu elemanlar programı olan ANSYS Mechanical modülü ile sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önceden yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar ile doğrulanmıştır. Hesaplamalarda değişken termo fiziksel özellikler kullanılarak sıcaklık dağılımına olan etkileri gösterilmiştir. Sabit özellik kabulünün genel olarak atışlar sonundaki iç yüzey sıcaklığına etkisinin olmadığı görülmüştür. Sıvı soğutmalı namlularda parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; yarım dairesel, yarım elips ve dikdörtgen kanal geometrilerinde hesaplamalar yapılmıştır. Kanal geometrisinin sıcaklık değerleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Kanal sayısı ve soğutucu akışkan hızının artmasının atışlar esnasındaki sıcaklık değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak etkilerinin giderek azaldığı ve son değerlere yaklaşıldıkça hissedilmediği gözlemlenmiştir. Bunlara ilave olarak, nano akışkanın soğutucu akışkan olarak kullanıldığı sistemler için analizler gerçekleştirilmiştir. Suyun kullanıldığı sistemlere göre %3'lük iyileştirme sağlanmıştır. Son olarak çoklu atış görevlerinde doğal ve aktif soğutmalı namlulardaki sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Akbulut, böylece bu çalışmanın sonunda doğal soğutmalı namlunun çoklu atış görevi için yetersiz olduğu sonucuna varmıştır.

Büyükçivelek [16], silah namlusu titreşimlerinin kontrolü ve analizi ile ilgili çalışma yapmıştır. Modern savaş tankları enkoder ve cayo verilerini kullanan silah stabilizasyon sistemleri kullanılmaktadırlar. Bu sistemler her ne kadar çok hassas ve güvenilir de olsalar, namlunun serbest ucundan gelen bir veri kullanmazlar ve silah namlusunu rijit bir kiriş elemanı olarak kabul ederler. Bu sistemler namlunun dönüş ekseninden gelen veriyi stabilizasyonu sağlamada kullanırlar. Elde edilen sonuca göre mevcut silah stabilizasyon sistemleriyle namlu ucu yer değiştirmeleri kontrol edilememektedir. Günümüzde üretilmekte olan mevcut tankların ve modern savaş tanklarında modernizasyonunda daha uzun silah namluları kullanılmaya başlanmıştır. Kısa namlular uzun namlulara göre daha yakın bir atış menzili ve vuruş anında daha az kinetik enerji avantajı sunar. Ancak uzun namlulu ve kısa namlulu iki tank ile yapılmış olan

saha testlerinde iki tank da sahada hareket ettirilmiş ve yerden rastgele titreşime maruz kaldıklarında uzun namlulu tankın atış başarısında büyük ölçüde azalma gözlemlenmiştir. Atış hassasiyetindeki bu düşüşün nedeni olarak uzun namlunun uzatılmış boyundan dolayı, değişen dinamik karakteristiği görülmektedir. Boyu uzatılarak dinamik karakteristiği değiştirilmiş uzun namlulu silah titreşim altında daha fazla titremekte ve yer değişme olmaktadır; bu da ilk atımda vuruş ihtimalini düşürmektedir. Namlu ucunda artan yer değiştirmenin bir diğer etkisi de merminin sapma açısını arttırmak olarak görülmüştür. Sapma açısı merminin hedefi vurma anında hedefle yaptığı açıdır. Sapma açısının artması merminin etkinliğini azaltmaktadır. Namlu ucunda meydana gelen eğilmenin kontrol altına alınması için kullanılabilecek olası çözümlerden biri ayarlı titreşim emici kullanımıdır. Bu çalışmada üretilecek bir uzun tank namlusu üzerine uygun ayarlı titreşim emici uygulaması üzerine çalışılmıştır. Çalışmada kısa namlulu tanka yerden gelen titreşim seviyeleri ve tipi uzun namlulu tanka uygulanmıştır. Bu amaçla ilk olarak kısa silah namlusu sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiş ve bu model deneysel modal analiz ile doğrulanmıştır. Bu sayede sonlu elemanlar modelinde izlenen metot doğrulanmış ve henüz üretilmemiş olan uzun namlunun sonlu elemanlar ile doğru olarak modellenenebilmesine olanak sağlanmıştır. İki namlunun da sonlu eleman modelleri elde edildikten sonra bu modellerin dinamik karakteristikleri incelenmiş, karşılaştırılmış ve uzun namlunun dinamik karakteristiğini iyileştirecek ayarlı titreşim emici tasarımı yapılmıştır [16].

Gegaregian ve Costa çalışmalarında, hafif silah sistemlerini araştırarak, hafif silah sistemleri için mevcut buluşa göre bir havan tasarımı elde edilmiştir. Bu buluşun havanın, mevcut havanlardan önemli bir ölçüde minimum olduğu sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda, mevcut buluşun havanı, mermilerin ateşlenmesi sırasında bütün havan takımının hareketini önemli ölçüde azaltan bir sönümleme mekanizması sağlamaktadır [17].

Swab ve Wereszczak çalışmalarında, gelişmiş seramiklerin ısı ve mekanik özellikleri hakkında bir çalışmalarını silah namlusu uygulamaları için yapmışlardır. Piyasada var olan seramik malzeme tedarik edilerek potansiyel uygulama amacıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, malzeme olarak bir zirkonya, alümina ve SiAlON'un yanı sıra üç silisyum karbür ve iki silisyum nitrit kullanılmıştır. Ön değerlendirme kuvvetleri, Vickers sertliğini, özgül ısıyı, ısı iletkenliği ve doğrusal ısı genleşme katsayısı belirlenmiş ve tüm güç verileri üzerinde sansürlü bir Weibull analizi yapılmıştır. Elde edilen bu veritabanları kullanılarak, performansı tahmin etmek, ileri düzeyde değerlendirme ve en iyi silah namlusu tasarımlarını belirlemek için yeni programın modelleme ve tasarımlarını kullanmak için geliştirmişlerdir [18].

Yohannes Asfaw çalışmasında amaç, havan mermisi tasarlamak ve imal etmektir. Böylece bu tezin temel amacı, bir havan mermisi balistik modeli geliştirmek ve sonlu elemanlar analiz paketi ANSYS tarafından harç maddesinin performansını ölçmektir [22].

MKE(Makina Kimya Enstitüsü) tarafından üretilen ve halen daha kullanılan 120 mm havan toplarının namlu ucundan itibaren ateşleme kısmına yakın bölge vida dişlerinden ibarettir. Yapılan bu çalışmada havan topunun üzerindeki vida dişlerinin kaldırılması sonucunda atış esnasında namluya etki eden tüm gerilmeler bilgisayar paket programları yardımı ile incelenecektir. Buradan elde edilen sonuçların vida dişli ile vida dişlerinin kaldırılması durumunda çıkan sonuçlar ile karşılaştırılacaktır. Sayısal çalışma sonucunda, elde edilen veriler güvenli ve emniyetli ise vida dişleri kaldırılabilir.



2. HAVAN TOPU HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Havan, piyade birliklerinin kullandığı, üst aç grubu ile atış yapabilen, namlu ağzından elle tek tek doldurulan, bazı modellerinde mermi namlu içi dibindeki iğneye çarpar çarpmaz otomatik olarak ateşlenen (81 mm UT-1, 81 mm M-1, 106 mm orta havan ve 60 mm havanı gibi), bazı modellerinde ise top ve obüslerdekine benzer ateşleme ipinin çekilmesiyle ateşlenen (120 mm tosam hy-12 havanı gibi) piyade birliklerinin ateş destek silahlarıdır. Üst aç grubu tabirini basitçe açıklamak gerekirse; namludan çıkan mühimmat doğrudan hedefe yönelik değildir, önce yükselip sonra aniden yukarıdan hedefe düşmesi olarak tanımlanabilir. Bu şekilde, tepelerin veya yüksek binaların arkasında aşırı frekanslı atışlar yapabilme özelliğine sahiptir. Bu üst aç grubunun oluşum sebebi ve en önemli avantajıdır. Dezavantajı ise merminin hedefe varış süresinin uzun olması, isabet oranının düşük olması ve atmosferik hava şartlarından daha fazla etkilenmesi olarak tanımlayabiliriz.

Günümüzde kullanılan 120 mm havan topu Şekil 2.1’de ki gibidir.



Şekil 2.1. Havan topu 120 mm [1].

Havanlar destekledikleri birliklerin daha da arkalarında bulunurlar. Havan birlikleri bir ateş idare unsuru (gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için), bir ileri gözetleyici unsuru (ateş idareye ateş altına alınması gereken hedef hakkında bilgi vermek için) ve bir de havanları kullanan atış unsurlarından oluşmaktadır. Havanlar normal şartlarda ateş altına aldıkları hedefleri görmezler, kimi zaman 5000 m veya daha uzağa bile atış yapabilirler. Ancak gerektiğinde basit usuller

kullanarak hedefi görerek de ateş edebilirler. 60 mm komando havanları daima görerek atış yapmazlar, görmeyerek de atış yapabilirler. Havanların oluşum bölgeleri; namlu, namlunun altında bulunan döşeme, namlunun ortasına sabitlenmiş ve ayakta durmasını sağlayan çatal ayak ve gerekli nişan esaslarının girilebilmesi için bir nişan aletinden oluşmaktadır. Havanların en önemli özellikleri portatif olmaları, süratle atışa başlayabilmeleridir. Bu sebepten dolayı temelde toplardan bir farkları olmamasına rağmen topçular yerine piyadeler tarafından kullanılırlar. Muharebelerde ön safta bulunan piyadelerin acil ateş desteği ihtiyacına topçuların reaksiyon süreleri çok uzun olacağından; kendi bünyelerindeki havanlarla bu işi derhal yaparlar. Havanlar yapıları gereği portatif olmaları (toplar gibi tonlarca ağırlıkta olmamaları); atış kabiliyetlerine olumsuz etki etmektedir; ancak bu durum havanların yüksek sayıdaki hızlı atım adetleriyle giderilmeye çalışılır. Havanlar, hedeflerini görmedikleri için geometrideki açıları kullanarak ateş ederler. (Birbirlerini görenlerin birbirleriyle olan açısal ilişkileri ve bulunduğu konumların değerlemesiyle hangi açı ve hangi barut miktarıyla atış yapılacağı tespit edilir.) Çok yüksek maliyetlere mal olan, çok işgücü gerektiren ve çok karışık sistemlere sahip top ve obüslere nazaran, dünya piyade muharebelerinde havanların başarı öyküleri sayılamayacak kadar çoktur. Havan silah sistemlerinin en önemli parçası ise onu kullanan mürettebatıdır; çünkü etkili havan atışı için eğitimin önemi diğer her şeyden daha önemlidir. Zırhlı araçlara da havan topu sistemi yerleştirilmiştir. Bunların bir kısmı havana sadece taşıyıcılık ederken, bir kısmı ise otomatik sistemlerle donatılmış olup, hem mermiyi otomatik yükler hem de hesaplamaları otomatik yaparlar. Ancak piyade harekâtının temel mantığı her yerde bir zırhlı aracı kabul görmediğinden bu gibi sistemler ekseri zırhlı birliklerce kullanılır.

2.1. 120 mm Havan Topu Namlusunun Genel Özellikleri

Namlu çapı 119.9 mm olup, ismini de yine namlu çapından almaktadır. Namlu dış çapı ise, 160 mm'dir. Namlunun uzunluğu 1.89 m olup, sistemin toplam uzunluğu ise 3.1 m'dir. Toplam ağırlığı 620 kg olup, namlunun ağırlığı ise 143 kg'dır. Döşeme ağırlığı 152 kg'dır. Azami atış mesafesi 8000 m'dir. Namlu içinde toplam 40 adet yive ve set bulunmaktadır. Bu diğer havan topu türlerinden ayıran en önemli özelliktir. Gerek 60 mm'lik, gerekse 81 mm'lik havanlarda yiv ve set bulunmamaktadır. Yiv ve set atılan merminin dönerek gitmesini sağladığından hem hedeften sapması az olmakta hem de hızın artarak gitmesini sağlamaktadır. Dakikada yapabileceği atım sayısı ise, 7 atımdır. Bu tür havan topunun, oldukça büyük olması ve tekerlekli olması sebebiyle ancak bir araç yardımı ile taşınabilmektedir. Atabileceği mermileri ise, sis mermisi, aydınlatma mermisi, tahrip mermisi ve eğitim mermisidir. Yine, 81 mm'lik ve 106 mm'lik havanlar da olduğu gibi bir ileri gözetleyici ve bir de hesaplama merkezi tarafından

yönlendirilerek hedefe atış yaptırılır. Aselsan tarafından, 120 mm'lik havan topunun araçta taşınan ve otomatik doldurmalı ve hedef ayarlaması yapan havan topunu geliştirmiştir [1].

2.2. 120 mm Havan Topu Namlusunun Kısımları

Aselsan tarafından üretilen havan topunun kısımları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

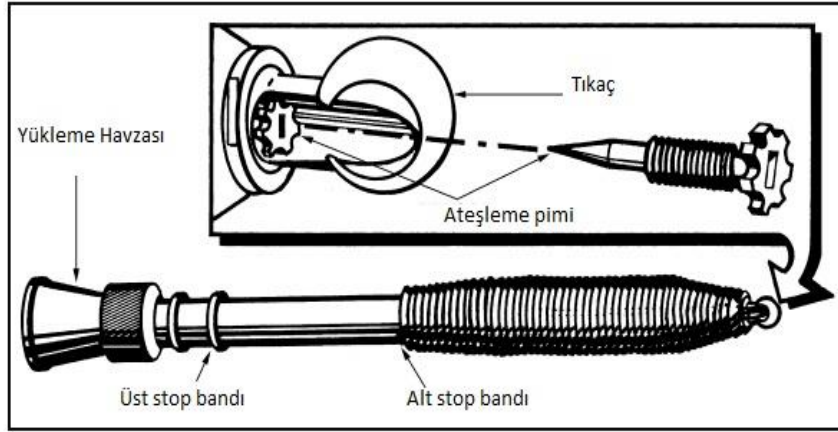


Şekil 2.2. Havan topuna ait kısımlar [19].

Şekil 2.2. de görüldüğü gibi, dört bölümden oluşan havan topunun kısımları şu şekildedir,

- Havan topu yükleme havası: Sevk barutlarının yükleme yapıldığı kısımdır.
- Vida dişi: Namluya açı vermeye yardımcı olur ve namlunun nişan almasını sağlar.
- Dayanak: Namlunun açısını korumasında yardımcı olur ve namlunun patlama sırasında geri tepme kuvvetini dengeler.
- Taban: Namluyu sabitleme yeridir.
- Vida dişleri bölümü: Trapez vida dişlerinden kesit alındığında aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Trapez vida dişlerinin kesiti Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Vida dişleri kesiti [19].

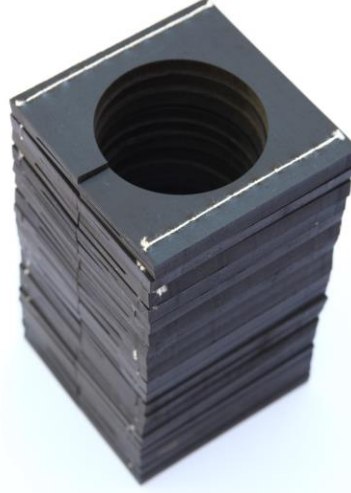
Top düzeneği, alt ucunda bir ateşleme pimine sahiptir ve makat tapası ile kapatılmış namludan oluşmaktadır. Alt stop ve üst stop bandı namluya verilecek açığı sınırlandırmada yardımcı olmaktadır.

2.3. Sevk Barutları

Patlayıcı maddeler, gaz ve yüksek ısı üretmek için ısıнын etkisi altında yanacak kimyasal karışımlardır. Bir maddenin patlayıcı sayılabilmesi için bu niteliklere sahip olmalıdır. Patlayıcıların yanma hızına göre yüksek hızlı patlayıcılar ve düşük hızlı patlayıcılar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Yüksek hızlı patlayıcılarda moleküller aniden parçalanır. Düşük hızlı patlayıcılar da yanma, kontrollü olup yavaştır. Düşük hızlı patlayıcılarda yanma şeklinde, yüksek hızlı patlayıcılarda ise patlama olur. Yanma hızlarının; düşük hızlı patlayıcılarda yanma hızı ~ 0.3 mm/sn, yüksek hızlı patlayıcılarda ise patlama hızı ~ 800 m/sn'dir. Bundan dolayı, yüksek hızlı patlayıcılar ateşli silahlarda kullanılmazlar aksi takdirde patlama sonucu meydana gelen yüksek basınç namlunun infilak etmesine sebep olur. Ateşli silahlarda enerji kaynağı olarak düşük hızlı patlayıcılar / barutlar (sevk barutları) kullanılır.

2.3.1. 120 mm Havan Topunda Kullanılan Sevk Barutu ve Özellikleri

Havan topu namlusunun atış esnasında ki en önemli etmenlerden birisi Şekil 2.4’de ki sevk barutudur. 120 mm havan topu namlusunun barut hakkı 10’dur.



Şekil 2.4. Sevk barutu

120 mm havan topu namlusunun iç basınç değeri, sevk barutunun patlama esnasındaki oluşturduğu basınçtır. Kullanılan barut özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Sevk barutu özellikleri [14]

Hız (m/sn)	Basınç Maksimum (MPa)
362-368	114.2

2.4. Mühimmat Tipleri

Mühimmat, itici barutun mühimmat haznesine püskürtülme şekline göre sınıflandırılır. Bu barutlar; hartuç, kartuş, sabit hartuç ve keseli mühimmat olarak adlandırılır[20].

2.4.1. Kartuş Mühimmat

Kartuş mühimmatta kovan içine sevk barutu yerleştirilmiştir. Mühimmatın kısımlarından olan tapa, mermi kapsül, sevk barutu birbirinden ayrılmayacak şekilde birleştirilmiştir. Hafif silahların, uçaksavarların mermileri bu şekilde hazırlanmaktadır. Otomatik silahlarda bu tür mermilerin kullanılma zorunluğu vardır. Şeride dizme ve şarjöre yerleştirme yönünden pratiklik sağlar ve taşınması kolaydır [4].

Kartuş mühimmat örnekleri Şekil 2.5’de ki gibidir.



Şekil 2.5. Kartuş mühimmat [21].

2.4.2. Hartuç Mühimmat

Hartuç mühimmatta da sevk barutları kartuş mühimmattaki gibi kovanın içinde bulunur. Mermi ve kovan birbirinden ayrılabilirdiği gibi barut hakkı ayarı da yapılabilir. Hafif top ve obüslerde kullanılır [4].

2.4.3. Sabit Hartuç Mühimmat

Sabit hartuç mühimmatta hartuç mühimmatta olduğu gibi barut hakkı yapmak mümkün değildir. Ayrıca, mermi ve kovanın da birbirinden ayrılması mümkün değildir. Bazı tank mühimmatı taşıma kolaylığı sağlaması amacıyla bu şekilde imal edilmektedir [4].

2.4.4. Keseli Mühimmat

Keseli mühimmatta kovan bulunmamaktadır. Sevk barutları ise, keseler içerisinde. Tam atımın unsurlarından olan fünye, mermi, tapa ve sevk barutu ayrı ayrı bulundurulur. Bu unsurlar atıştan önce silah üstünde birleştirilir. Özellikle, ağır top ve obüs mühimmatı taşıma ve doldurma kolaylığı sağlaması açısından bu şekilde üretilmektedir [4].

Keseli mühimmat Şekil 2.6’ da görüldüğü gibidir.



Şekil 2.6. Keseli Mühimmat [21].

2.4.5. 120 mm Havan Topu Namlusunda Kullanılan Mühimmat ve Özellikleri

120 mm havan topu namlusunda kullanılan mühimmat Şekil 2.7' de ki mühimmattır.



Şekil 2.7. Havan topu mühimmatı [21]

Tablo 2.2'de gösterilen havan topu mühimmatının özellikleri patlama esnasında açığa çıkan enerji miktarını hesaplamak için kullanılacaktır.

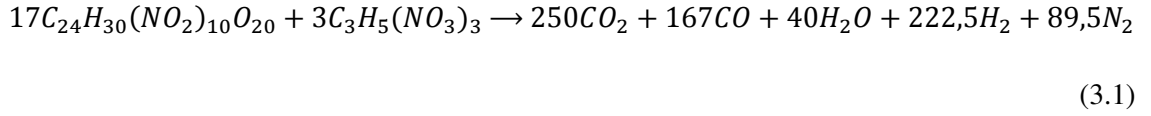
Tablo 2.2. Havan topu mühimmat özellikleri [21]

Tam Atım Ağırlık	18 kg
Tam Atım Boy	827 mm
Azami Menzil	8180 m
İmla Maddesi	TNT
Tapa	M557 veya VT7250
Nato Stok Numarası	M557 Tapalı:1315270001790
Nato Stok Numarası	VT250 Tapalı:1315270012720
Kullanıldığı Silah	TOSAM HY-12 ve 120 MM HY1-12 Yivli Havanlar
İlk Hız	365 m/s

3. TEORİK BİLGİLER

3.1. Yanma

Kullanılan sevk yakıtlarının kimyasal bileşimi olan, çift bazlı 300-850 µm boyutundaki yaklaşık %85 nitroselüloz ve %15 nitrogliserinin yanması sonucu oluşan ürünler Denklem (3.1)'de gösterilmiştir [13].



3.2. Yanma Hızı ve Yanma Yüzdesi

Sevk yakıtları değişik şekillerde daneler ve şeritler halinde üretilir. Bu danelerin geometrisi yanma hızını doğrudan etkiler. Barut daneleri sadece yüzeyden yandıkları için, yüzey alanı değiştikçe yanma hızı değişmektedir. Küre veya silindir şeklindeki bir barut danesi yandıkça yüzey alanı zamanla küçülür. Bu özellikteki danelerden meydana gelmiş sevk yakıtları, azalan yanma yüzeyli sevk yakıtları olarak adlandırılır. Barut kapalı bir kap içerisinde yakılırsa, ortaya çıkan yüksek basınç ve sıcaklık nedeniyle alev bölgesinde kimyasal reaksiyona girerek gazla dönüşme hızlanır. Sonuç olarak, yanma bölgesindeki basınç ve sıcaklık artışı yanma hızını artırmaktadır. Yanma hızı, yanma reaksiyonunun barut danesi içerisinde ilerleme hızı olarak açıklanabilir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir. Burada β ve n ifadeleri sevk yakıtının karakteristik özelliklerine göre değişiklik gösteren katsayılarıdır ve deneysel olarak elde edilirler [13].

$$\frac{dS}{dt} = \beta P^n \quad (3.2)$$

Bir sevk yakıt danesinin yanmaya başladıktan sonra balistik boyutu D zamanla azalır. Yanma başladıktan herhangi bir zaman sonraki orantı sabiti f , balistik boyutun kalan oranını verir. Orantı sabiti Denklem (3.3) ile ifade edilir.

$$f = \frac{D-S}{D} \quad (3.3)$$

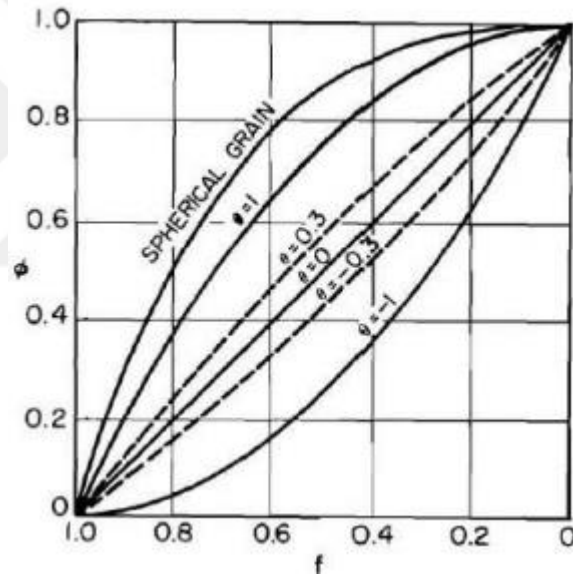
Orantı sabiti f , yanma başlamadan önce 1 iken, yanma bittiğinde 0 olur. Balistik boyuttaki azalma miktarı S ile orantı sabiti f zamanla değiştiği için bu terimlerin zamana göre türevi alınacak olursa;

$$f = 1 - \frac{S}{D}$$

$$\frac{df}{dt} = -\frac{1}{D} \cdot \frac{dS}{dt} = \frac{\beta P^n}{D} \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir.

Yanan barutun başlangıç barutuna hacimsel oranını veren ifadeye barutun yanma yüzdesi ϕ denir. İlişki Şekil 3.1’de gösterildiği gibi geometriktir ve kullanılan barut danelerinin şekline bağlıdır. Küresel barutlarda orantı sabiti ve yanma yüzdesi arasındaki ilişki Denklem (3.5) ile ifade edilir.



Şekil 3.1. Orantı sabiti ve yanma yüzdesi arasındaki ilişki [13]

$$\phi = 1 - f^3 \quad (3.5)$$

3.3. Yanma Esnasında Meydana Gelen Gaz Hacmi ve Sıcaklık

Moleküllerin hacmi, bulundukları hacme göre ihmal edilebilecek kadar küçük olan, moleküller arası çekme ve itme kuvveti bulunmayan ve moleküller arası çarpışmaların esnek olduğu gaz modeline ideal gaz denir. En genel ifadesi $PV = nRT$ şeklindedir. Bu ifade, ideal bir gaz için basınç, sıcaklık, hacim ve mol sayısı arasındaki ilişkiyi verir. Fakat, sevk yakıtının yanması sonucu açığa çıkan gazlar tam olarak bu denkleme uygun davranmazlar. Bunun sebebi

ise, kapalı hacimde, çok yüksek basınç altında bir miktar gazın yoğunlaşıp gaz hacmini düşürmesidir. Sonuç olarak, ideal gaz denklemi, kapalı bir hacim içinde yanmış sevk yakıtları için değişir. Bu denklem Noble-Abel denklemi (3.6) olarak bilinir. Burada m_B barut kütlesi, R gaz sabiti, T_g gaz sıcaklığı, V_{Top} ise toplam hacimden barut danelerinin hacminin çıkartılmış halidir.

$$PV_{Top} = m_g RT_g \quad (3.6)$$

Namlu içerisindeki hacim hesaplanırken yanmakta olan sevk yakıtlarının kütleleri de dikkate alındığında yanma esnasındaki gaz hacmi Denklem (3.7) ile ifade edilir.

$$v_{+\Delta P} = V_H + \frac{\pi d^2}{4} x - m_B \left(\phi_n + \frac{1-\phi}{p} \right) \quad (3.7)$$

Burada V_H yanma odası (hazne), $\pi d^2 x$ merminin hareketiyle birlikte değişen namlu hacmi, n sıkıştırılmayan hacim (co-volume), ϕ ise barutun yanma yüzdesini ifade eder. Noble-Abel denklemi değişen hacme göre düzenlenirse oluşan yeni Denklem (3.8) ile ifade edilir. Ortaya çıkan gazın kütlesi yanan barut miktarı ($m_B \phi = m_g$) kadardır.

$$P \left[V_H + \frac{\pi d^2}{4} x - m_B \left(\phi_n + \frac{1-\phi}{p} \right) \right] = m_B RT_g \phi \quad (3.8)$$

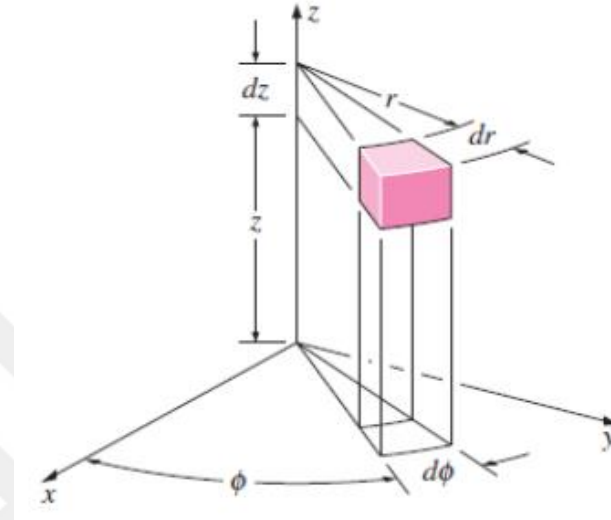
3.4. Isı Transferi

Sevk yakıtının yanmasıyla ortaya çıkan ve çok hızlı bir şekilde hareket eden gazların namlu içerisindeki basınç ve sıcaklığı mermi hareketiyle birlikte sürekli değişir. Bu değişimle birlikte Şekil 3'teki temsili namluda gösterildiği gibi namlu boyunca ısı taşınımı, ısı iletimi ve ışıyım ile ısı transferi gerçekleşir. İlk olarak namlu içerisindeki gaz karışımından namlu iç çeperine taşınım olur. Daha sonra, namlu iç çeperinden dış çeperine iletim gerçekleşir. En son ise, namlu dış çeperinden ortama taşınım ile beraber ışıyım ile ısı transferi gerçekleşir [23].

3.4.1. İletim

Aşağıdaki birim elemanda gösterildiği gibi, üç boyutlu silindirik koordinatlarda en genel haliyle yazılmış ısı iletimi Denklem (3.9) ile gösterilmiştir.

Silindirik koordinatlarda üç boyutlu olarak birim eleman gösterimi Şekil 3.2' de ki gibidir.



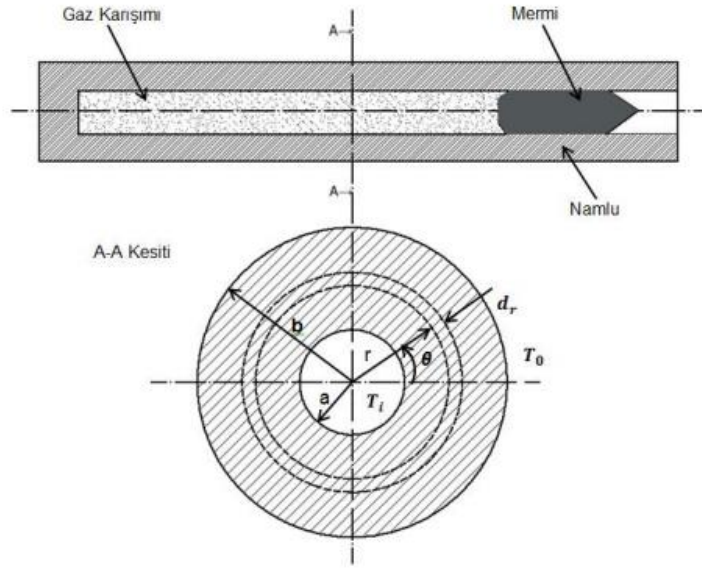
Şekil 3.2. Silindirik koordinatlarda üç boyutlu birim eleman [13].

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.9)$$

3.4.2. Taşınım ve Işınım

Namlu içindeki gazların namlu iç çeperine yaptıkları taşınım ile ısı transferi Denklem (3.10) ile ifade edilir.

$$h_g(T_g - T_i) = -k \frac{\partial r}{\partial r} \Big|_{r=a} \quad (3.10)$$



Şekil 3.3. Temsili namlu ve kesiti

Namlu dış çeperinden ortama yapılan taşınım ve ısınım ise Denklem (3.11) ile ifade edilir.

$$h_{hava}(T_0 - T_{\infty}) + \varepsilon\sigma(T_0^4 - T_{\infty}^4) = -k \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=b} \quad (3.11)$$

Değişen sıcaklıkla birlikte gazların yoğunluğu ve ısı transfer katsayıları da namlu boyunca sabit kalmaz. Gazların yoğunluğu Denklem (3.12) ile hesaplanır.

$$p = \frac{\rho}{RT} \quad (3.12)$$

Reynolds sayısı ise Denklem (3.13) ile hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (3.13)$$

Namlu içerisindeki akış, türbülanslı borulardaki akış modeline uyduğundan aşağıda yazılan formüldeki Nusselt sayısı Dittus-Boelter eşitliği olarak bilinen Denklem (3.14) ile ifade edilir.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (3.14)$$

Sevk yakıtlarının (3.1) denkleminde ifade edilen reaksiyon denkleminde göre yanması sonucu ortaya çıkan gaz ürünlerinin ortalama sıcaklık değerindeki dinamik viskozitesi (μ), Prandtl sayısı (Pr) ve ısı iletim katsayısı (k) değerleri, ilgili termodinamik tablolarından okunup aşağıda mol sayılarına bağlı olarak verilen ifadede (β) yerine konularak hesaplanmaktadır.

$$\beta = \frac{250\beta_{CO_2} + 167\beta_{CO} + 40\beta_{H_2O} + 222.5\beta_{H_2} + 89.5\beta_{N_2}}{\text{Toplam Mol Sayısı}} \quad (3.15)$$

Isı taşınım katsayısı ise Denklem (3.15) kullanılarak hesaplanır.

$$h = \frac{kNu}{d} \quad (3.16)$$

3.5. Namlu Cidarındaki Sıcaklık Değişimi

Namlu iç cidarından dış cidarına doğru gerçekleşen namlu et kalınlığı boyunca ısı transferi (3.9) denkleminin çözümü ile elde edilmektedir. Bu denklemde namlunun her bir bölümü ayrı ayrı değerlendirildiğinden ısı transferi, radyal yönde hesaplanmış, teğetsel ve eksenel yöndeki ısı transferi ise, ihmal edilmiştir. Ayrıca, denklemin zamandan bağımsız olduğu ve başlangıçta ısı üretiminin olmadığı ($\ddot{q} = 0$) kabul edilmiştir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi T_i namlu iç cidar sıcaklığı, T_0 namlu dış cidar sıcaklığı, r namlu cidarının herhangi bir noktasına olan uzaklık, k ısı iletim katsayısı, a ve b ise namlunun iç ve dış yarıçaplarıdır.

Namlu kesiti için bir boyutlu ısı transfer Denklem (3.17) ile ifade edilmiştir.

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(kr \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (3.17)$$

$$\frac{d}{dr} \left(kr \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) integre edilirse;

$$\left(kr \frac{dT}{dr} \right) = C_1 \quad (3.19)$$

elde edilir.

$$\frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{k} \frac{1}{r} \quad (3.20)$$

Denklem (3.20) integre edilirse;

$$T(r) = C_1 \ln r + C_2 \quad (3.21)$$

elde edilir.

Namlu iç ve dış sıcaklıklarını bulmak için,

$$r = a \rightarrow T(a) = T_i = C_1 \ln a + C_2 \quad (3.22)$$

$$r = b \rightarrow T(b) = T_0 = C_1 \ln b + C_2 \quad (3.23)$$

ise;

$$T_i - C_1 \ln a = T_0 - C_1 \ln b \quad (3.24)$$

$$(T_i - T_0) = C_1 \ln \left(\frac{a}{b} \right) \quad (3.25)$$

$$C_1 = \frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \quad (3.26)$$

elde edilir. C_1 (3.22) denkleminde yerine yazılırsa;

$$T_i = \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln a + C_2 \quad (3.27)$$

elde edilir.

(3.27) denkleminde C_2 çekilirse Denklem (3.28) elde edilir.

$$C_2 = T_i - \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln a \quad (3.28)$$

Bulunan C_1 ve C_2 değerleri Denklem (3.21)'de yerine yazılırsa;

$$T(r) = \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln r + T_i - \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln a \quad (3.29)$$

elde edilir. Denklem (3.29) düzenlenirse;

$$T(r) = T_i + \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln \frac{r}{a} \quad (3.30)$$

elde edilir.

Başka bir yöntemle çıkarım yapacak olursak;

$$C_2 = T_0 - \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln b \quad (3.31)$$

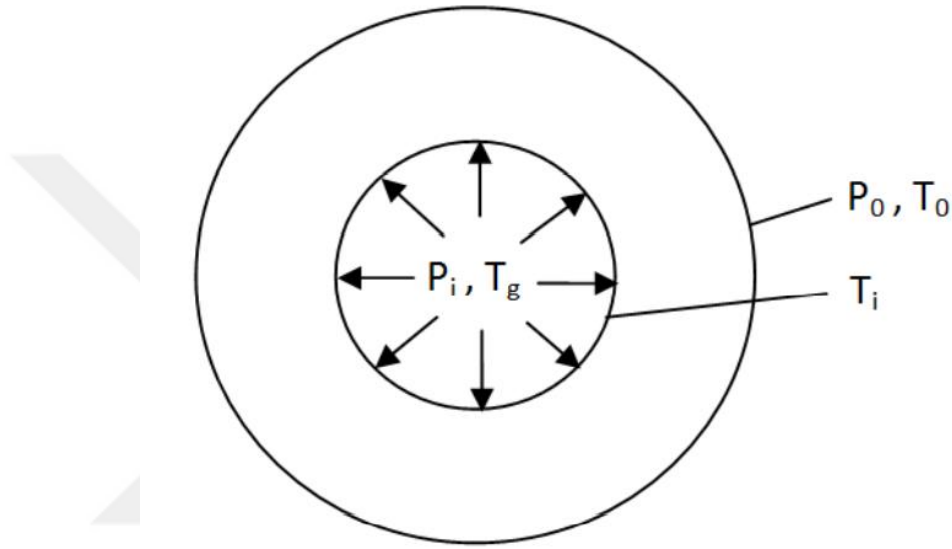
$$T(r) = \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln r + T_i - \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln b \quad (3.32)$$

$$T(r) = T_i + \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \left(\frac{a}{b} \right)} \right) \ln \frac{r}{b} \quad (3.33)$$

olarak bulunur.

3.6. Termo-mekanik gerilmeler

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi bir namlu kesiti, atış esnasında ortaya çıkan basınç ve sıcaklıktan dolayı hem mekanik, hem de termal gerilmelere maruz kalmaktadır. Namlu iç cidarından dış cidarına doğru değişen sıcaklık ve basınç dikkate alındığında termo-mekanik gerilmeler meydana gelir. Söz konusu gerilmeler Denklem (3.34), Denklem (3.35), Denklem (3.36) ve Denklem (3.37) ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.4. Namlu cidarına etkiyen basınç ve sıcaklıklar

Aşağıdaki hesaplamalarda kullanılan semboller; gaz basıncı (P_i) , atmosfer basıncı (P_0) , gaz sıcaklığı (T_g) , namlu iç cidar sıcaklığı (T_i) , namlu dış cidar sıcaklığı (T_0) , elastisite modülü (E) , ısı genleşme katsayısı (α) , radyal gerilme (σ_r) , teğetsel gerilme (σ_θ) , poisson oranı (ν) , radyal şekil değiştirme oranı (ε_r) , teğetsel şekil değiştirme oranı (ε_θ) şeklinde ifade edilmiştir. Namlu içinde oluşan sıcaklık ve basınçtan dolayı radyal, teğetsel ve eksenel şekil değiştirme oluşur. Bu şekil değiştirmeler aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu\sigma_\theta - \nu\sigma_z) + \alpha T \quad (3.34)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \nu\sigma_r - \nu\sigma_z) + \alpha T \quad (3.35)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu\sigma_r - \nu\sigma_\theta) + \alpha T = \varepsilon_0 \quad (3.36)$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + E(\varepsilon_0 - \alpha T) \quad (3.37)$$

Silindir iç yüzeyine etki eden iç basınçtan dolayı yüklemenin aksi simetrik olduğu kabul edilebilir. Bu sebeple eksenel yöndeki şekil değiştirme oranı sabit kaldığı ve dolayısıyla kayma gerilmelerinin olmadığı varsayılmıştır.

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_\theta - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) + E(\varepsilon_0 - \alpha T))] \quad (3.38)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [(1 - \nu^2)\sigma_r - \nu(1 + \nu)\sigma_\theta - \nu\varepsilon_0 E + (1 + \nu)E\alpha T] \quad (3.39)$$

şeklindedir.

Şekil değiştirme oranı-yer değiştirme arasındaki genel uyumluluk denklemi (3.40) ile ifade edilir.

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \varepsilon_u = \frac{u}{r} \quad (3.40)$$

“Airy” gerilme denklemi (3.41) ile ifade edilir [13].

$$\sigma_r = \frac{\phi}{r}, \sigma_\theta = \frac{d\phi}{dr} \quad (3.41)$$

Radyal ve teğetsel gerilme denklemleri;

$$\begin{aligned} \sigma_r = & \frac{P_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1 - \nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{4(1 - \nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} + \frac{b^2}{(n^2 - 1)r^2} \left[-P_i + \frac{E\alpha\Delta T}{2(1 - \nu)} \right] \\ & - \frac{E\alpha}{2(1 - \nu)} \left[T_0 - \frac{\Delta T}{\ln n} \left(\ln \frac{r}{b} - \frac{1}{2} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.42)$$

$$\begin{aligned} \sigma_\theta = & \frac{P_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1 - \nu)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{4(1 - \nu)} \frac{\Delta T}{\ln n} + \frac{b^2}{(n^2 - 1)r^2} \left[-P_i + \frac{E\alpha\Delta T}{2} \right] \\ & - \frac{E\alpha}{2(1 - \nu)} \left[T_0 - \frac{1}{2} \frac{\Delta T}{\ln \frac{a}{b}} \right] - \frac{1}{2(1 - \nu)} \frac{E\alpha\Delta T}{\ln \frac{a}{b}} \left(1 + \ln \frac{r}{b} \right) \end{aligned} \quad (3.43)$$

Şeklinde yazılabilir.

Eksenel yönde gerilme denklemleri;

$$\begin{aligned} \sigma_z = v \left[\frac{2Pi}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{(1-v)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{E\alpha}{2(1-v)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{E\alpha T_0}{(1-v)} + \frac{E\alpha \Delta T}{(1-v) \ln n} \ln \frac{r}{b} \right] \\ + E \left[\alpha T_0 + \frac{\alpha \Delta T}{2(1-v) \ln n} - \frac{\alpha \Delta T a^2}{(1-v)(b^2 - a^2)} \right. \\ \left. - \left(\frac{2vPi}{E(n^2 - 1)} + \frac{v\alpha}{(1-v)} \frac{n^2 T_0 - T_i}{n^2 - 1} + \frac{v\alpha}{2(1-v)} \frac{\Delta T}{\ln n} - \frac{v\alpha T_0}{(1-v)} \right) \right. \\ \left. - \alpha \left(T_0 + \left(\frac{T_i - T_0}{\ln \frac{a}{b}} \right) \ln \frac{r}{b} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.44)$$

Olarak tanımlanır.

Denklem (3.42), (3.43), (3.44) ile ifade edilen sırasıyla radyal, teğetsel ve eksenel yöndeki gerilmeler denklemleri (3.45) ile gösterilen von-Mises hipotezine göre hesaplanıp eşdeğer gerilme elde edilebilir.

$$2\sigma_E^2 = (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 \quad (3.45)$$

Isıl yük hesabı için önce kinetik enerji miktarı hesaplanır;

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{2} \times 18 \times 365^2 = 1199025 \text{ J} \quad (3.46)$$

Kütle mühimmat ağırlığı olup hız ise mühimmatın ilk hızıdır. Tablo (2.2)' de verilen değerlerdir.

Bu kinetik enerji miktarı namı içinde açığa çıkan enerji oranlarına göre dağılımı yapılp Tablo (4.3)'de ki değerler ile oran-orantı kurulursa termal enerji miktarı yaklaşık olarak 920000 J olarak hesaplanır.

Joule olarak çıkan termal enerji miktarını, Watt olarak dönüşümü yapılırsa;

Birinci bölge için (Patlama Bölgesi);

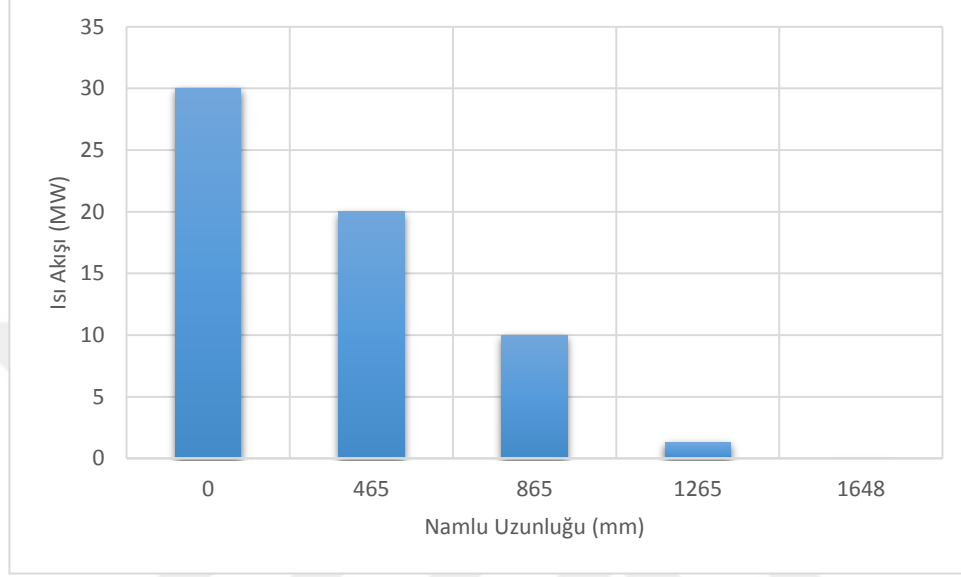
$$P = \frac{E}{t} \quad (3.47)$$

Termal enerji olarak açığa çıkan güç miktarı Denklem (3.48) ile elde edildi.

$$P = \frac{920000}{0.015} \cong 61.3 \text{ MW} \quad (3.48)$$

olarak hesaplanır.

Bunun sonucunda 4 farklı bölge için enerji dağılımı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Doğrusal enerji dağılımı

Toplam değer olan 61.3 MW sadece patlama bölgesine verilebilirdi, ancak ısı transferi namlu boyunca gerçekleşeceği için doğrusal bir kabul yapılmıştır.

4. HAVAN TOPUNUN MODELLENMESİ VE ANALİZLERİ

4.1. SolidWorks Hakkında Genel Bilgiler

SolidWorks, 2B ve 3B katı modelleri basit, hızlı ve verimli bir şekilde oluşturmak için kullanılan bir CAD yazılımıdır. Diğer CAD programları gibi, gerçek belirli hedeflere odaklanır ve böylece benzersiz bir ekosistem oluşturur. 1995 yılından beri sürekli geliştirilen ve geniş bir kullanıcı tabanı kazanan SolidWorks, temelde Windows işletim sistemi ile kullanılabilen ilk 3B modelleme programıdır.

4.2. ANSYS ve Sonlu Elemanlar Metodu Hakkında Genel Bilgiler

Bilgisayar destekli mühendislik araştırmalarında, analiz ve simüle edilebilen bilgisayar destekli bir mühendislik programıdır. ANSYS programları, mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı disiplinlerde etkili araştırmalar için kullanılmaktadır. ANSYS programı bir sonlu elemanlar yöntemi olup, ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) programlarından birisidir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, analiz edilmesi zor olan karmaşık geometrik şekillere sahip nesneler, analiz için, sırasıyla küçük parçalara ve birden çok parçaya bölünüp elde edilen veriler birleştirilerek sonlu eleman analizinin sonuçlarının tek ve tutarlı bir analiz sonucu elde edilir.

4.2.1. Otofretaj Etkisi

Otofretajlı namlu ön gerilmeli olup yüksek basınç dayanımı artırılmış namludur. Otofretaj işlemi, malzemelerin özelliğinden yararlanılarak namluya elastik sınırı üstünde mekanik hidrostatik bir basınç uygulanarak namlu malzemesinin mukavemetinin bir miktar arttırılmasına ve namlu kesitine gelen gerilmelerin kesit boyunca eşit bir dağılım göstermesine dayanan bir yöntemdir. Bu işlem namlu boyunca veya sadece yüksek basınç bölgesinde uygulanan, kesitin iç bölgelerinde plastik deformasyon oluşturulan bir ön gerilme uygulamasıdır. Bu işlem sonunda otofretajlı namlunun kesitinde meydana gelen gerilme değerleri aşağı çekilmiş ve daha dengeli dağılımı sağlanmış olur.

4.2.2. Hasar

Hasar, bir yapının veya yapı elemanının amaçlanan işlevini yerine getirememesi anlamına gelir. Bileşen üzerindeki "aşırı basınç" nedeniyle bileşende hasar oluşur. Aşırı yüklenmiş bileşenlerin hasar görmesinin iki nedeni vardır.

Bunlar;

- Elemanın dayanımı gereken dayanımdan küçüktür.
- Elemana etki eden yük, elemanın taşıyabileceği yükten daha büyüktür.

Güncel teknolojide hasar analizi ve önlenmesi tüm mühendislik dallarının kapsamına girmektedir.

Bu beklentiler şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek emniyet ve geliştirilmiş güvenilirlik,
- Yüksek performans ve verimlilik,
- Çevreye zararının minimuma indirilmesidir.

Tüm bu modeller ve yöntemler bilimsel yöntemlere dayanmaktadır. Bunlar, problem belirleme, hipotezler oluşturmak, veri toplamak ve birleştirmek, hipotezleri test etmek ve sonuçları belirlemektir.

4.2.3. Diğer Kabuller

Bir sonlu eleman modeli oluşturulurken bazı varsayımlar yapılarak sistem basitleştirilir ve ona göre çözüm yapılır. Bunula birlikte, bu basitleştirmeler programın analiz süresini azaltırken çıktıların olabildiğince gerçek sonuçlara yakın kalması sağlanmaktadır.

Bu varsayımlar şöyle sıralanabilir:

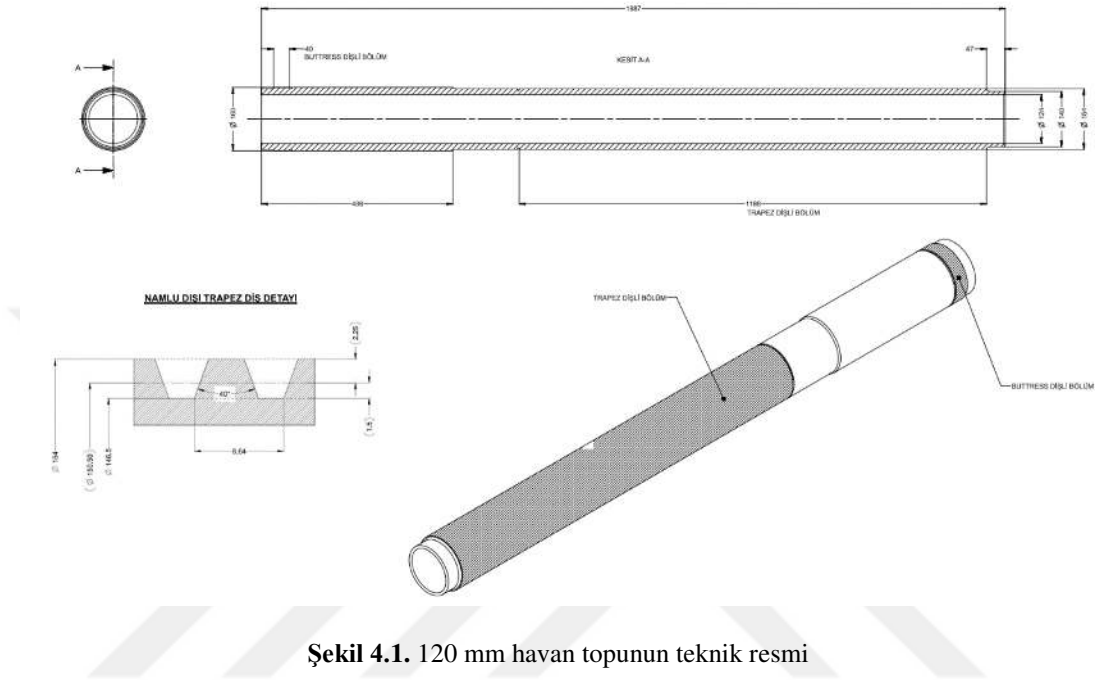
- Namlu modal etkileri göz ardı edilmiştir (Silahın seri atış yapmayacağı öngörülmüştür).
- Mermi namluyu terk ettikten sonra da içeride bir miktar gaz kalmakta ve bu gazlar basınç oluşturmaktadır. Ancak oluşan bu basınç patlama anındaki basınca göre çok daha az olduğundan mukavemet hesaplarında hesaba katılmamıştır.
- Namlunun kama tarafına yakın kısmı “0”olarak referans alınmıştır.
- Patlama etkisinin hedefte lineer bir basınç etkisi yarattığı ve malzemede deformasyona neden olmadığı varsayılmıştır.
- Namlunun akma mukavemeti ele alınırken otofretaj etkisi göz ardı edilmiştir.
- Namlu uzunluğu boyunca ısı geçişi doğrusal olarak kabul edildi.

4.3. Modelin Oluşturulması

Havan topu Namlusu, ANSYS programında analiz edilmeden önce SolidWorks3B modelleme programında teknik resim bilgisiyle iki farklı namlu modeli oluşturulup bu iki

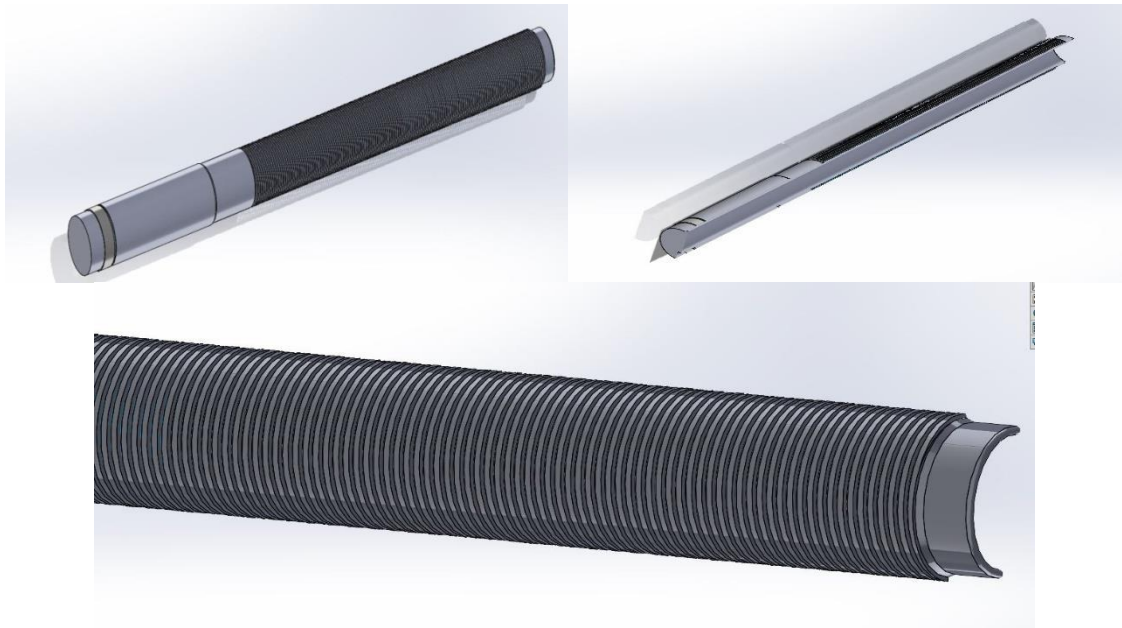
namlunun karşılaştırılması gerçekleştirilecektir. Namlu iç çapı 119.9 mm, namlu dış çapı 160 mm, namlu uzunluğu 1900 mm, et kalınlığı 40 mm'dir.

120 mm havan topu namlusunun ve üstünde ki vida dişlerinin teknik resim gösterimi Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. 120 mm havan topunun teknik resmi

SolidWorks 3B programında teknik resim bilgileriyle Şekil 4.2' de ki mevcut havan topu namlusu modeli oluşturulmuştur.



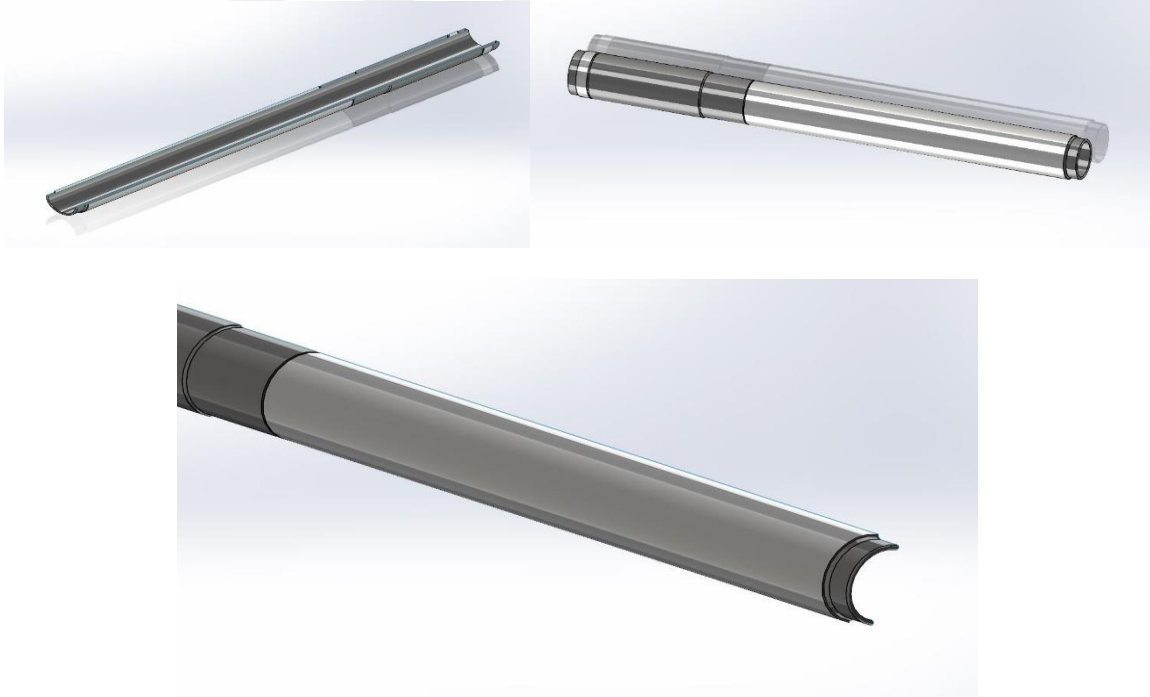
Şekil 4.2. 120 mm havan topu modeli

Mühimmat yüklü havan topu namlusunun modeli Şekil 4.3'te ki gibidir.



Şekil 4.3. Mühimmat yüklü havan topu modeli

Vida dişlerini kaldırıp incelememiz gereken havan topu namlu modeli Şekil 4.4' de ki gibidir.



Şekil 4.4. 120 mm vida dişleri kaldırılmış havan topu modeli

Analizlerde kullanılacak namlu 120 mm olup, bu aynı zamanda, merminin ilerlediği namlunun iç çapıdır.

Namlu yanma odasındaki gazın yanmasıyla, yüksek basınç oluşur ve böylece mermi namlu içerisinde ilerler. Sevk barutunun yanmaya başladığı bölüme yanma odası denir. Namlu içerisinde en büyük basınç bu kısımda meydana geldiği için namlu yanma odaları namlu tasarımında en kritik yer olarak belirlenir. Ayrıca, namlunun ateşlenmesi sonucunda, merminin namluyu terk ettiği sırada da geri tepme kuvveti oluşur. Bu sebepten dolayı, bu tez çalışmasında namluya etki eden gerilmeler ve meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir.

Bu çalışmada, incelenecek olan havan topunda meydana gelen termo-mekanik analiz yapılmıştır. Bunun asıl amacı, namludaki vida dişleri kaldırıldığında namlunun ateşlenmesi ile namluda meydana gelebilecek termo-mekanik etkilerini incelemek ve kıyaslamaktır.

4.4. Namlu içerisindeki Enerji Değerleri

Literatür taraması sonuçlarına bakıldığında bu tür yapılan çalışmalarda en çok, namlu içerisindeki enerji dağılımı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Böylece, bu tür çalışmalar referans alınarak analiz için, gerekli hesaplamalar bu oranlar üzerinden yapılmış olup sonuçlar bunlara göre değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1. Namlu içerisindeki enerji dağılımı [22]

Namluda Oluşan Enerji	J	%
Öteleme Enerjisi	736495.6	30.79
Dönme Enerjisi	265.7	0
Gazların Kinetik Enerjisi	368247.8	15.39
Geri Tepme Enerjisi	-	-
Silahın Termal Enerjisi	593640	24.8
Artık Enerji	693025	28.97
Total	2391741	100

Asfaw [22], 120mm havan topu mühimmat analizi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Barut enerjisinin dağılım yüzdesi tablosu Tablo 4.1’de verilmiştir.

Asfaw, çalışmasında mühimmatın ilk hızı olarak 284 m/sn almıştır. Kinetik enerji hesaplandığında tabloda verilen 736,495j değerine yakın olduğu görülmüştür. Toplam enerjinin %30,79’u kinetik enerji için harcanmaktadır. Namluya aktarılan termal enerjinin 593,640j ve toplam enerjinin %24.8’ini harcamaktadır.

Güngör [14], yaptığı çalışmada Tablo 4.2’ de toplam enerjinin dağılım yüzdesi verilmiştir.

Tablo 4.2. İç balistik toplam enerji dağılımı [14]

Namluda Oluşan Enerji	%
Mermi Çekirdeğinin Dönüşü	0.2
Namlu İçindeki Sürtünme	3
Namlu İçindeki Gazların Hareketi	3
Geri Tepme	0.1
Namlu ve Kovanın Isınması	21
Gazların Isınması	42

Yapılan literatür araştırmalarından sonuç olarak, MKE(Makine Kimya Enstitüsü)'nin belirttiği mermi ilk hızı (365 m/sn) ve ağırlığı (18 kg) ile Denklem (3.46) ile kinetik enerji hesaplanmıştır. Tablolarda verilen dağılım yüzdelerinden namluya termal olarak geçiş yapan ısı miktarı hesaplanmıştır. Namluya geçiş yapan enerjinin, toplam enerjiye oranı %23 olarak alınmıştır. Bu enerji yaklaşık 920 kJ'dür.

Tablo 4.3. de yapılan hesaplamalar sonucu çıkan enerji değerleri verilmiştir.

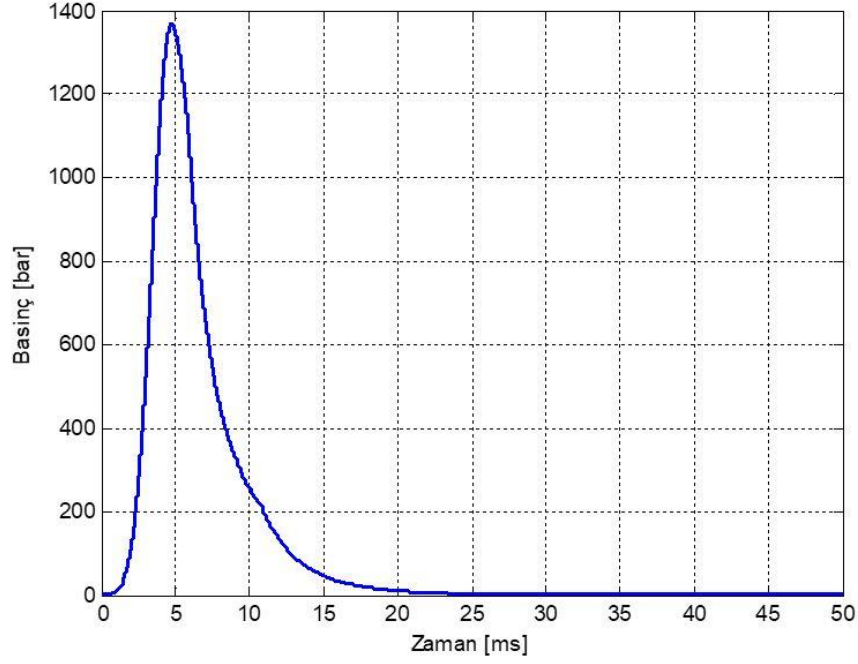
Tablo 4.3. 120 mm havan topu namlusunda oluşan enerji dağılımı

	Enerji Miktarı(%)	J
Kinetik Enerji	30	1199025
Termal Enerji	23	919252.5
Artık Enerji	29	1159057.5
Gaz Enerjisi	15	599512.5
Kayıp Enerji	3	119902.5
TOPLAM	100	3996750

Bu değerler, ANSYS programında termal analiz için girdi olarak kullanılacaktır.

Patlama süresi tespiti için;

Yapılan literatür araştırmalarında benzer basınç zaman grafiklerine rastlanmıştır. Şekil 4.5. te bu grafik belirtilmiştir. Basınç zaman grafikleri aynı zamanda reaksiyon süresini göstermektedir. Termal iletim için geçen süre reaksiyon süresidir. Çalışmamızda bu süre 15 ms olarak alınmıştır. Barut çeşidi ve ortam koşullarına göre bu süre farklılık gösterebilir. Termal enerjinin bu süre (patlama periyodu) zarfında sisteme iletiildiği kabul edilmiştir.



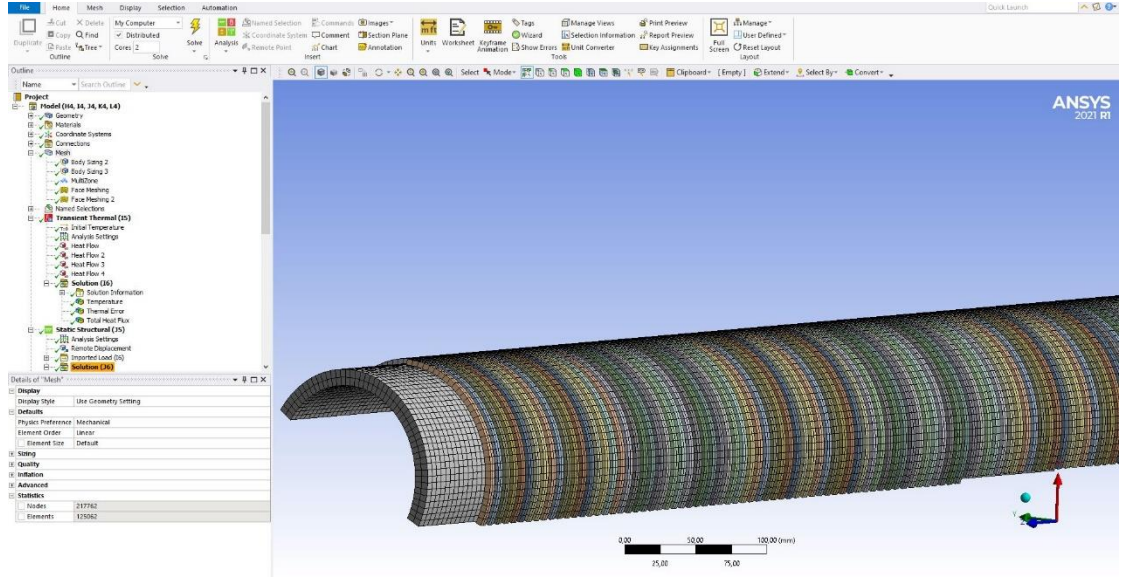
Şekil 4.5. Mühimmatın namluyu terk etme süresi [22].

Şekil 4.5’deki grafikte mühimmatın namluyu terk etme süresi görülmektedir. Bu süre yaklaşık olarak 0.015 sn olarak kabul edilmiştir.

4.5. Havan Topu Namlusunun Meshlenmesi

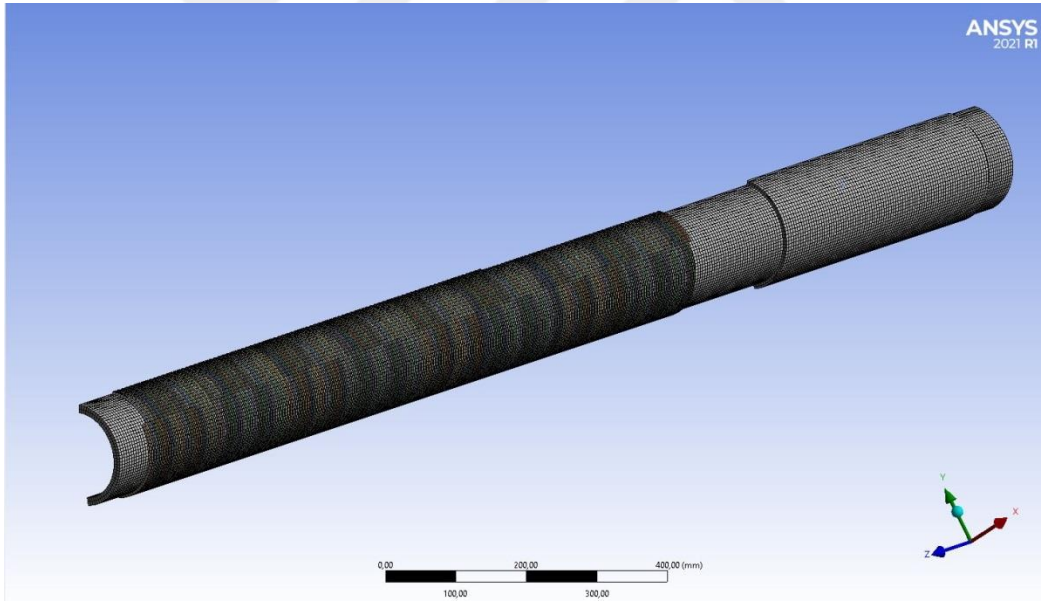
SolidWorks programında çizilen model analiz edilmek üzere ANSYS ’e aktarıldıktan sonra namlu, meshleme işlemi yapılmıştır. Analiz sonuçları üzerinde büyük etkinin meshleme sürecinden kaynaklandığı düşünüldüğünde bu süreç önemlidir. Trapez dişli havan topunun meshleme işlemi ikiye ayrılmıştır. İlk olarak havan topu namlu kısmı meshlenmiş, sonra trapez vida dişleri meshlenip ve daha sonra da her iki kısım birleştirilmiştir.

Vida dişli havan topu namlusunun mesh sayısı ve görünümü şekil 4.6’ da ki gibi ANSYS program çıktısı olarak gösterilmiştir.



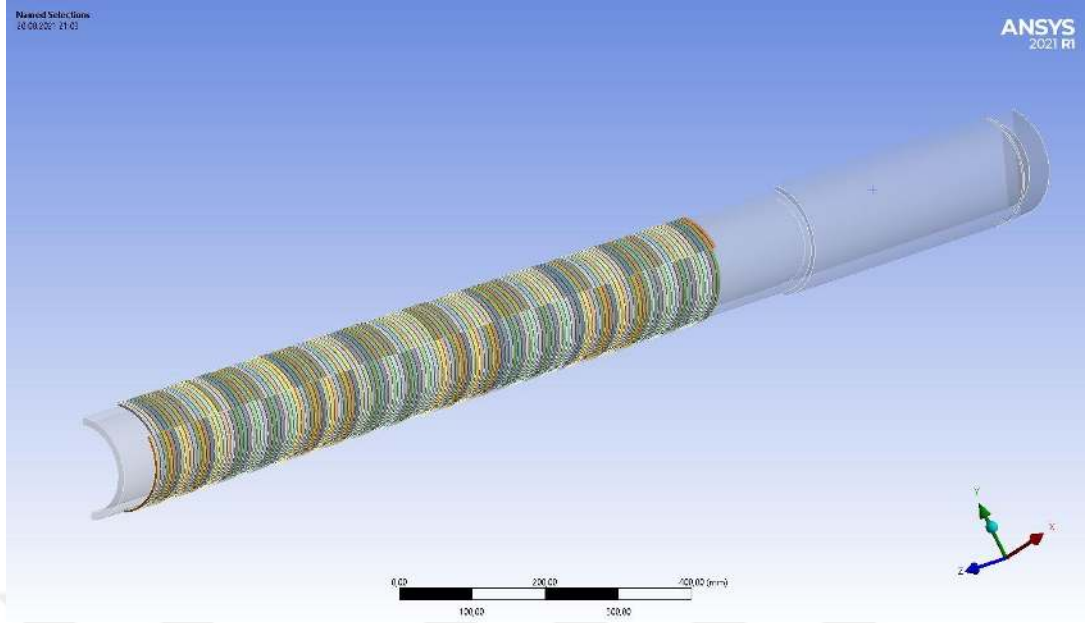
Şekil 4.6. Vida dişli namlu mesh sayısı ve görünümü

Vida dişli havan topu namlusunun yüzeyinde ki mesh gösterimi Şekil 4.7’ de gösterilmiştir.



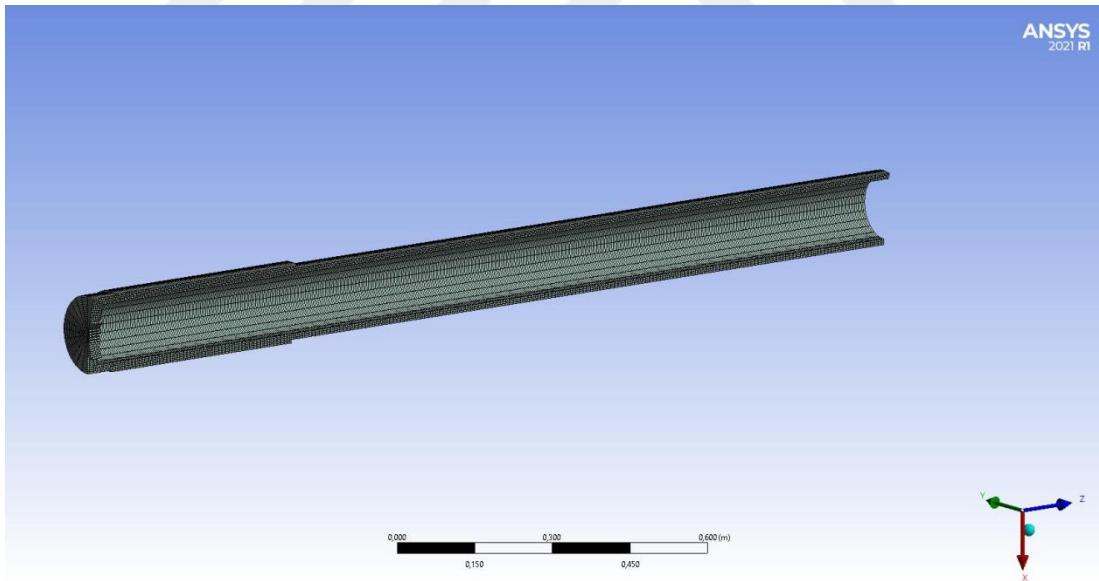
Şekil 4.7. Vida dişli havan topuna ait mesh işlemi

Havan topu namlusundan ayrı bir şekilde vida dişleri Şekil 4.8’ de ki gibi meshlenmiştir. Bu meshlemenin sebebi mesh etkisini ve sonuçları daha iyi analiz edebilmektir.



Şekil 4.8. Vida dişlerinin meshi

Şekil 4.9’ da gösterilen namlu yüzeyinde ki vida dişlerini kaldırdıktan sonra ki meshleme işlemidir.



Şekil 4.9. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunun meshi

4.6. Havan Topunda Yanma Sonucu Elde Edilen Gerilme Değerleri ve Malzeme Özellikleri

Namlu içerisinde en büyük basınç ateşlemenin başladığı yanma odasında meydana gelir. Aslında yanma, zamana bağlı bir patlama durumudur. Bu değer, 120 mm havan topunda 300000 N’den küçük olarak ölçülmüştür [21].

Bu tez çalışmasındaki analizlerde, en yüksek patlama değerine sahip M209 sevk barutu ve malzeme olarak da, 32CrMoV1210 çeliği kullanılmıştır. Namlu malzemesinin genel mekanik özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

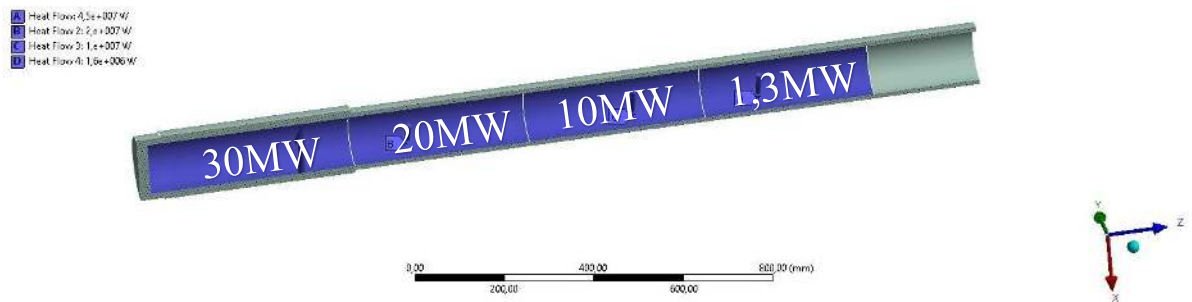
Tablo 4.4. 32CrMoV1210 Malzemesinin mekanik özellikleri [14]

Akma mukavemeti minimum	900 MPa
Çekme mukavemeti minimum	1000 MPa
Uzama, minimum	8 %
Sertlik	32-38 HRC

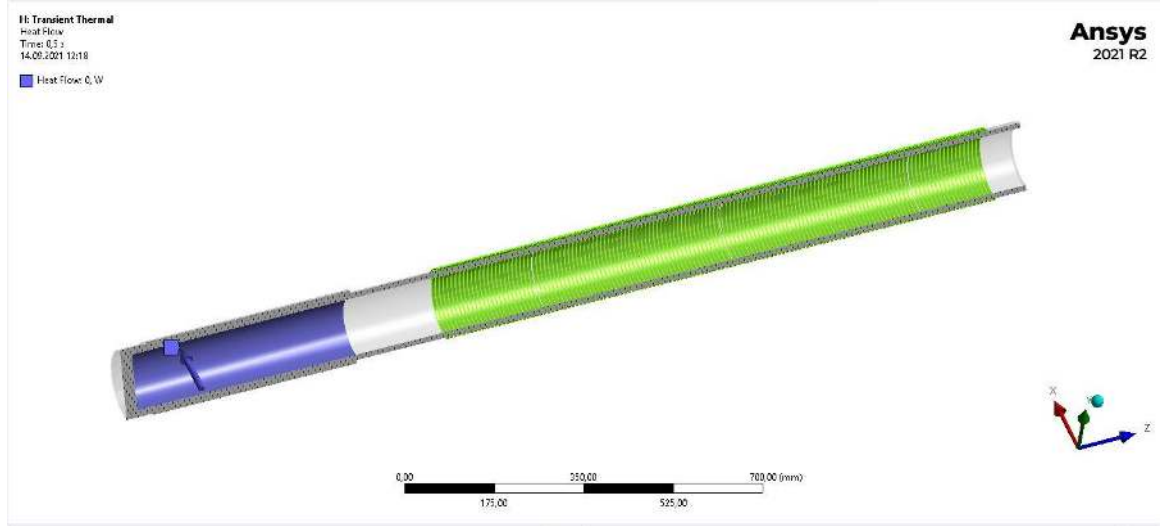
4.7. ANSYS Sonlu Elemanlar Metodu yardımıyla Termo-Mekanik Analizi

Bu çalışma kapsamında, termo-mekanik bir analiz yapılacağından dolayı, namluya geçen enerji miktarı ve bu enerjinin uygulandığı süre verilmiştir. Bu etkinin ise, ANSYS termo-mekanik analiz ısı akışı olarak yansıtılması gerekir. Joule ve ısı akışı dönüşüm formülü (3.47) de verilmiştir. Tablo 4.3'te verilen termal enerji 920 kJ, zaman 15 ms olarak alındığında hesaplanan ısı akışı 61.3 MW'olarak hesaplanmıştır.

Termal etkende ısı transferi, namlu boyunca gerçekleşmektedir. Namlu boyunca ısı dağılım grafiği bulunmadığından, doğrusal bir azalış kabul edilmiştir (Şekil 3.5). Şekil 4.10'da, 61.3 MW'lık ısı akış değeri, namlu iç yüzeyinde belirli yüzeyler oluşturularak doğrusal bir azalış etkisinde dağıtılmıştır. Deneysel veriler ile bu dağılım daha düzgün hale getirilebilmektedir. Deneysel veriler uygulandığında vida dişli ve vida dişsiz tasarımda oluşan sıcaklık dağılım farkları değişecektir. Analiz sonuçlarından okunan sıcaklık değerlerindeki farkın sebebi, ısı akış dağılımının doğrusal olarak kabul edilmesidir. Dağıtma işlemi esnasında mühimmat tasarımı da baz alınmıştır. Görselde görülen namlu ucunda kalan boş kısma ortam sıcaklık değeri verilmiştir. Ortam sıcaklığı, 22 °C olarak kabul edilmiştir.

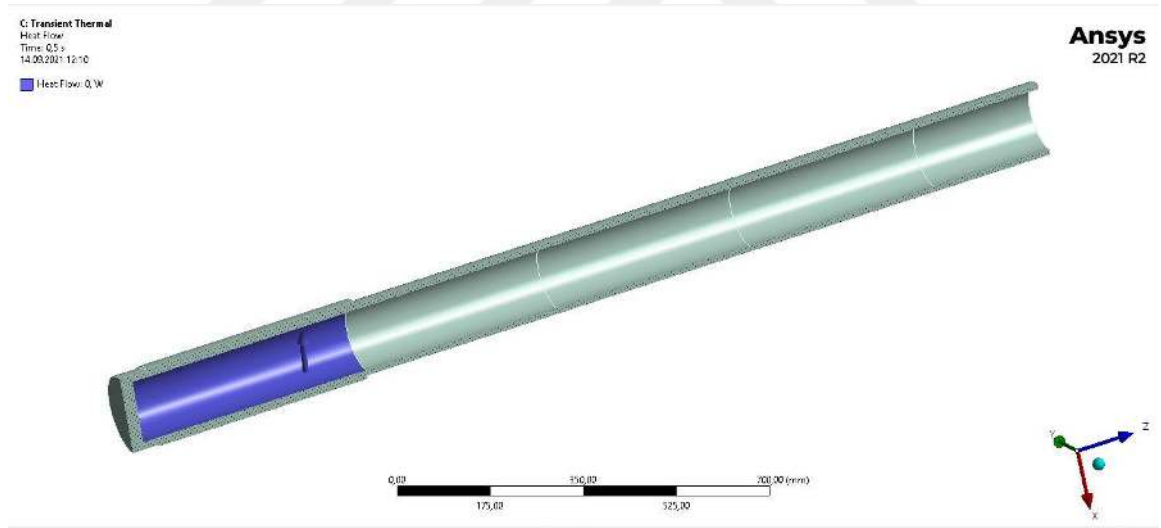


Şekil 4.10. Namlu boyunca ısı akış dağılımı



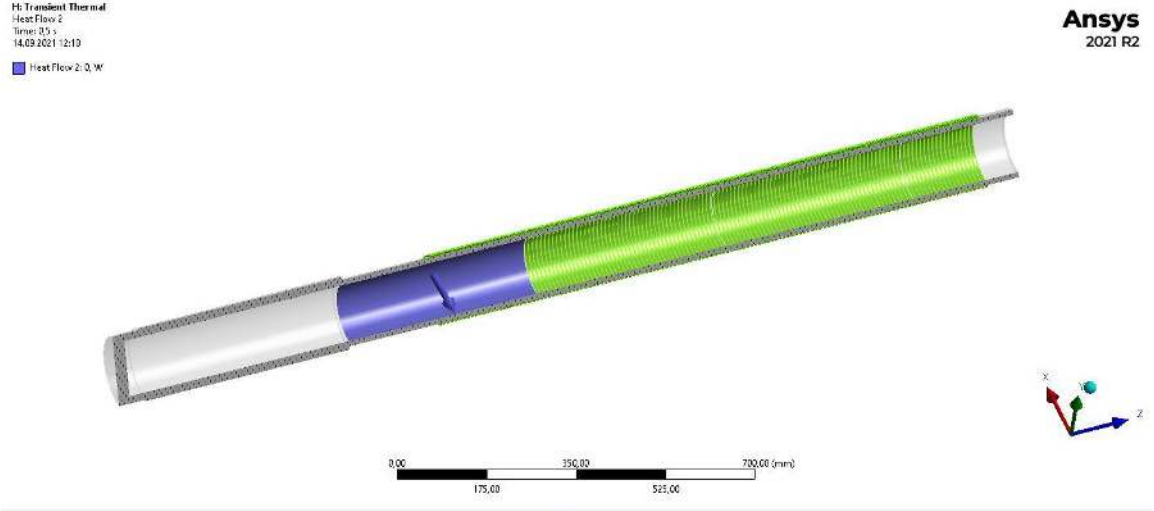
Şekil 4.11. Vida dişli havan topu namlusunun birinci bölge ısı akış dağılımı

Şekil 4.11’ de görüldüğü gibi patlama odasına (1. Bölge), $3 \cdot 10^7$ W bir enerji miktarı etki ettirildi. Bu değer, patlama anında açığa çıkan enerji miktarıdır. Vida dişsiz havan topuna da Şekil 4.12’de aynı enerji miktarı etki ettirilerek çözümler yapıldı.



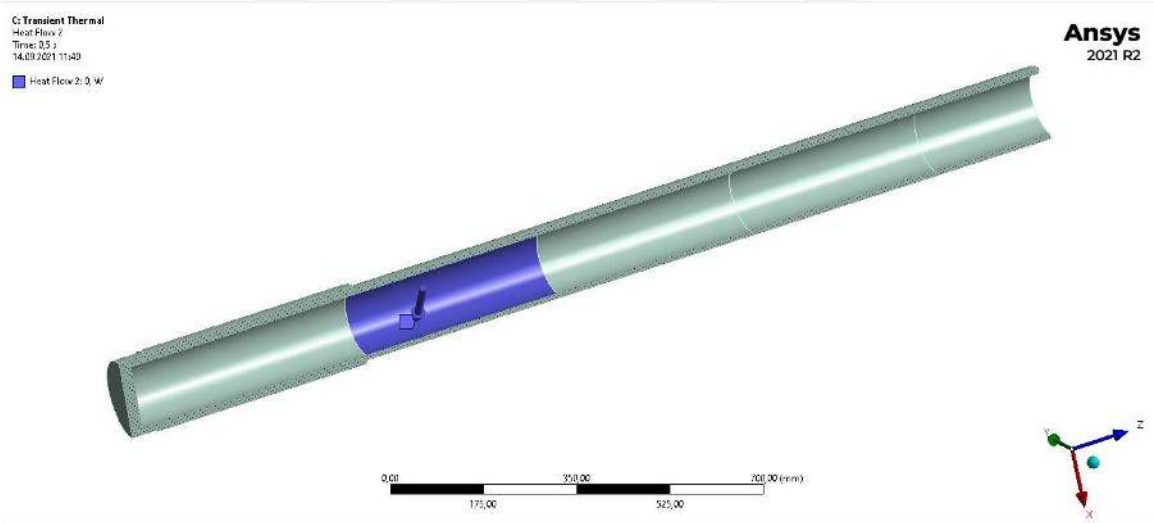
Şekil 4.12. Vida dişsiz havan topu namlusunun birinci bölge ısı akış dağılımı

Namlu dört eşit parçaya bölündüğünden, ikinci kısma etki eden enerji miktarı ise, $2 \cdot 10^7$ W olarak bulunmuştur. Bu değer, vida dişli havan topu namlusu ile vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusu analizleri için girdi olarak kullanıldı. Vida dişli havan topu namlusunun enerji verilen bölgesi Şekil 4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Vida dişli havan topu namlusunun ikinci bölge ısı akış dağılımı

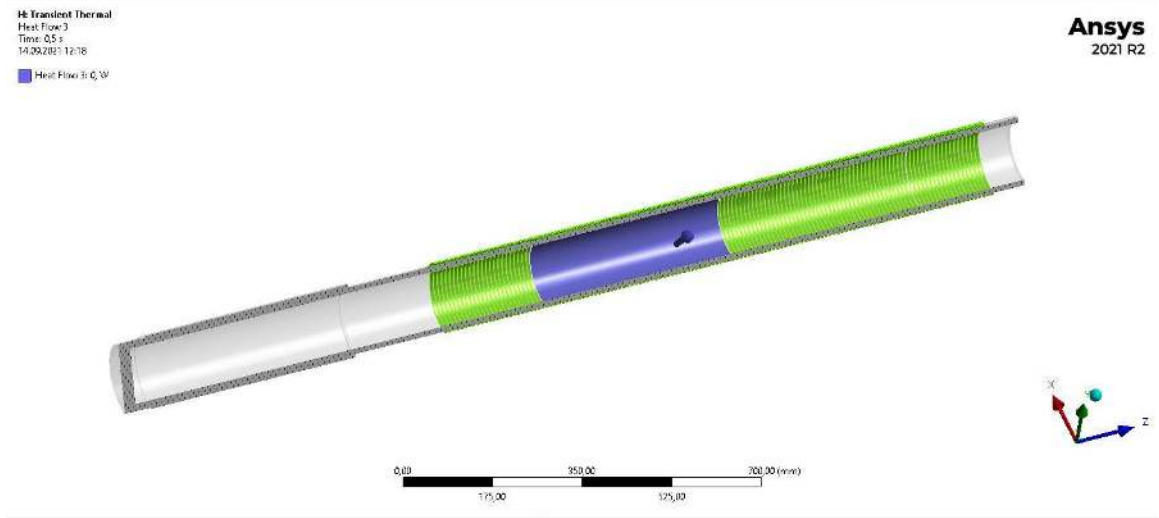
Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusu için Şekil 4.14’te ki bölgeye güç değeri vida dişliyle aynı girilmiştir.



Şekil 4.14. Vida dişsiz havan topu namlusunun ikinci bölge ısı akış dağılımı

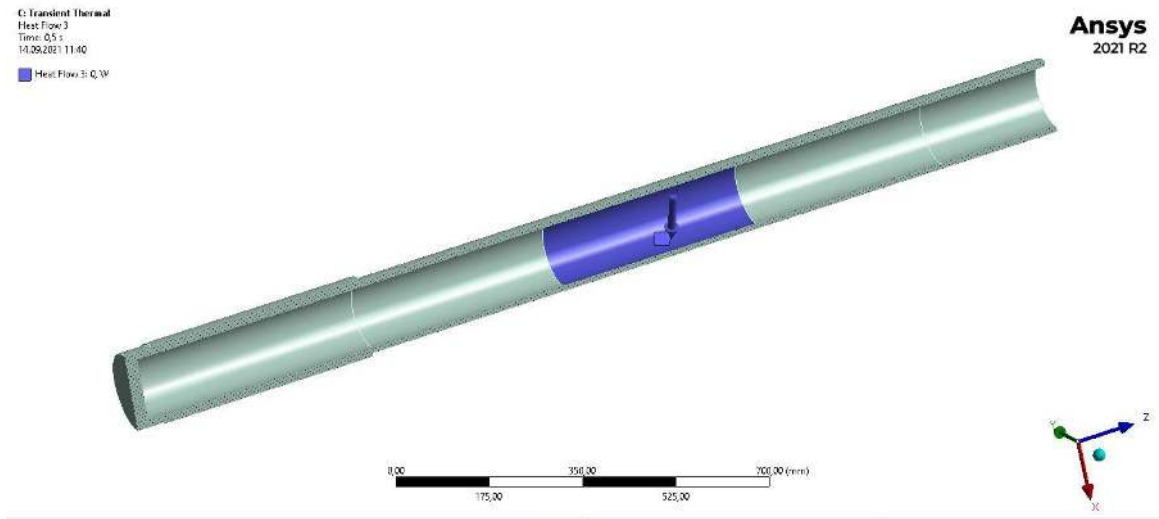
Namlunun üçüncü kısmına etki eden enerji miktarı ise, 1.10^7 W olarak bulunmuştur. Bu değer, vida dişli havan topu namlusu ve vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusu için girdi olarak kullanıldı.

Şekil 4.15 vida dişli havan topu namlusunun 3. Bölge gösterimidir.



Şekil 4.15. Vida dişli havan topu namlusunun üçüncü bölge ısı akış dağılımı

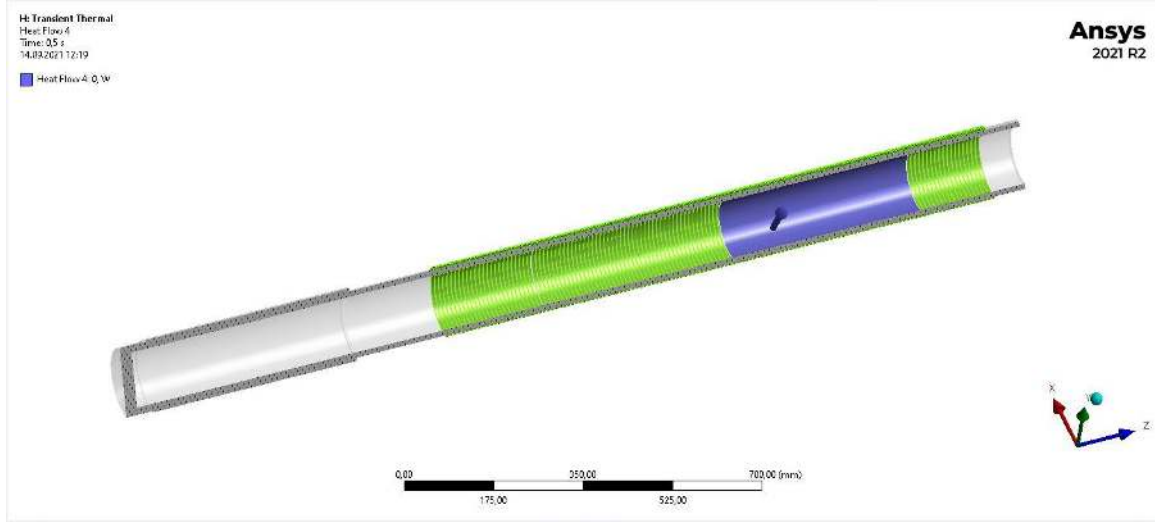
Vida dişsiz havan topu namlusunda Şekil 4.16’da gösterilen bölgeye vida dişli havan topu namlusuyla aynı değer girilmiştir.



Şekil 4.16. Vida dişsiz havan topu namlusunun üçüncü bölge ısı akış dağılımı

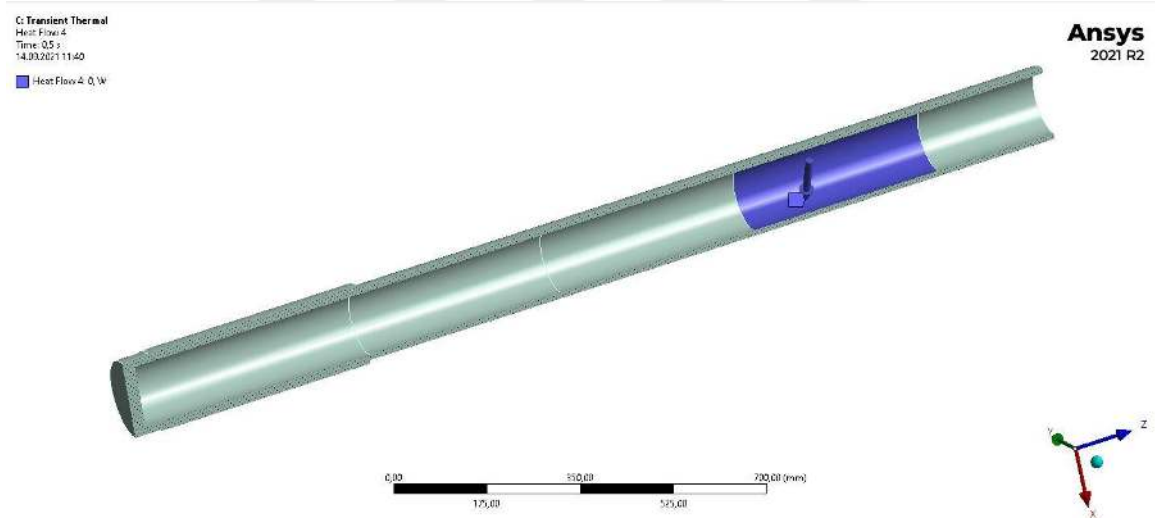
Namlunun dördüncü kısmına etki eden enerji ise, $1.3 \cdot 10^6$ W olarak hesaplanmıştır. Bu değer, vida dişli havan topu namlusu ile vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusu analizi için girdi olarak kullanılmıştır.

Vida dişli havan topu namlusu için uygulanan enerji miktarının gösterimi Şekil 4.17’de ki gibidir.



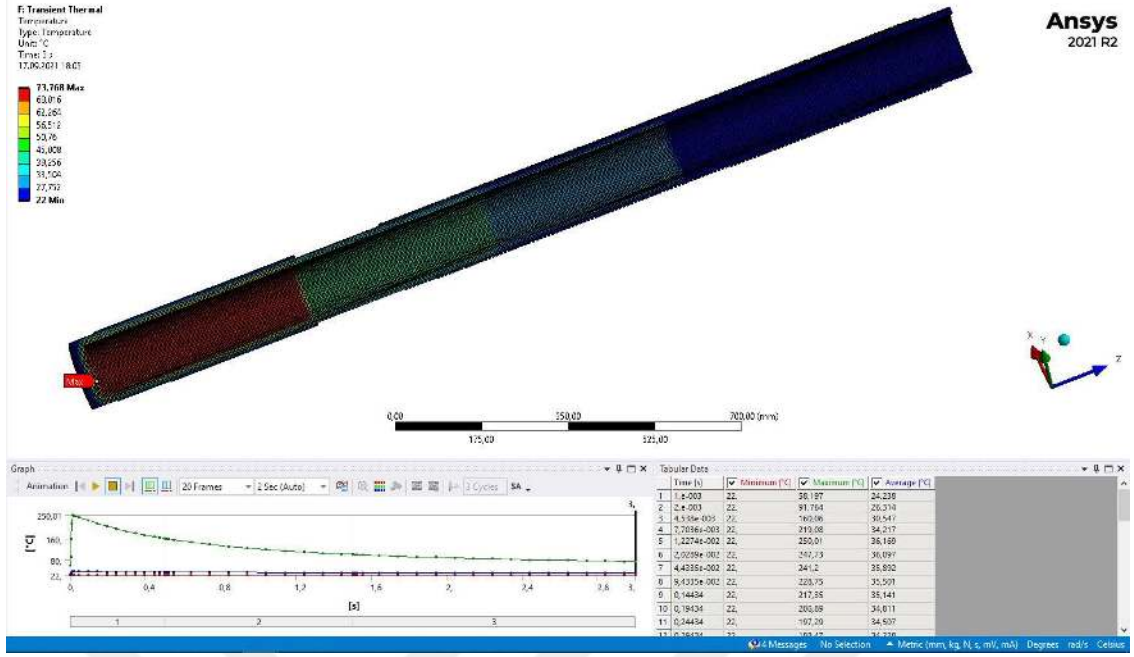
Şekil 4.17. Vida dişli havan topu namlusunun dördüncü bölge ısı akış dağılımı

Vida dişlerinin kaldırdığı havan topu namlusuna uygulanan enerji bölgesi Şekil 4.18’de ki gibidir.



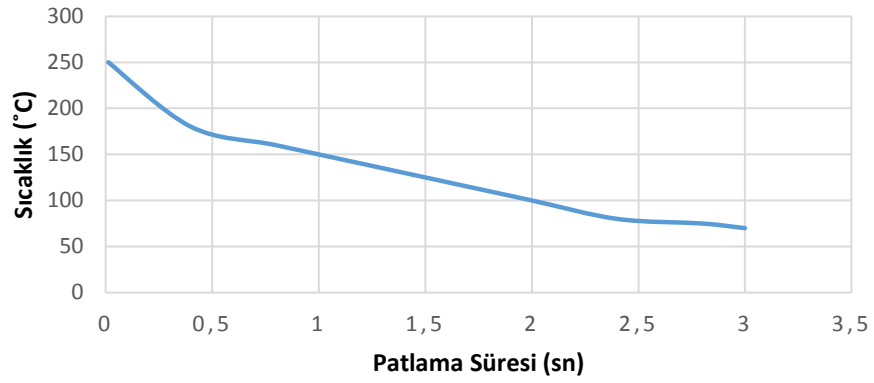
Şekil 4.18. Vida dişsiz havan topu namlusunun dördüncü bölge ısı akış dağılımı

Bu değerlerin girilmesi ile yapılan analiz sonucunda, grafik incelendiğinde maksimum sıcaklık değeri Şekil 4.19’da ki vida dişli havan topunda 250 °C, vida dişsiz havan topu namlu tasarımında ise, Şekil 4.21’de 496,14 °C olduğu görülmüştür. Arada oluşan bu fark ısı akış dağılımının doğrusal kullanımı ile ilgilidir. Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, ısı akış dağılımı deneysel veriler elde edilerek kullanılması durumunda, daha doğru sonuçların çıkacağı bir gerçektir.

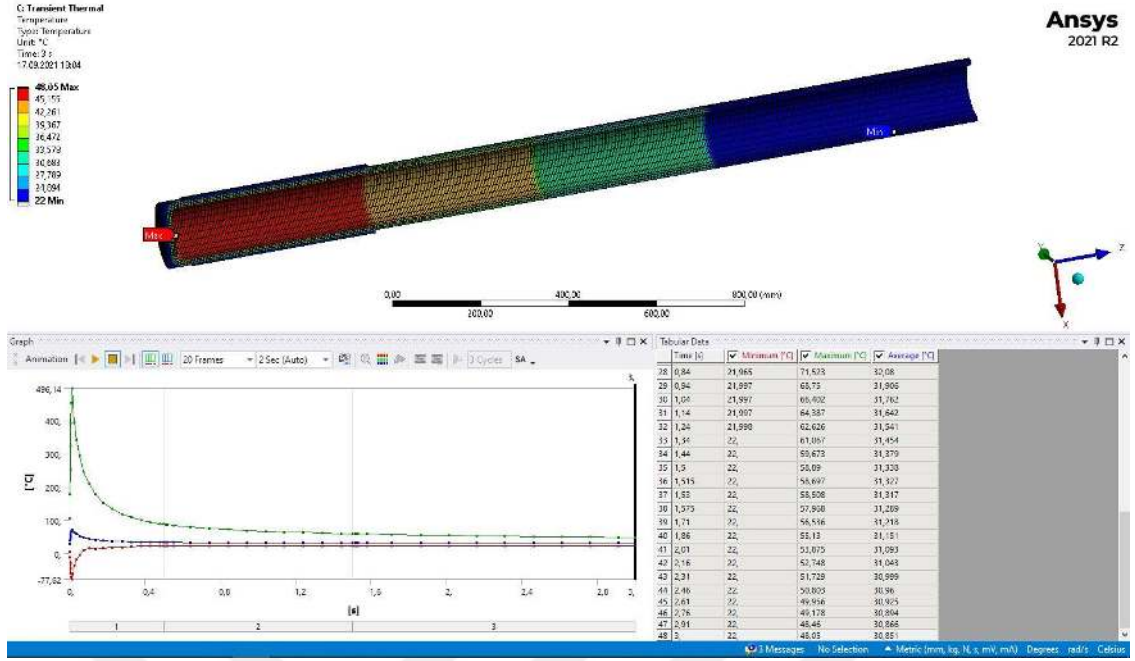


Şekil 4.19. Vida dişli havan topunda meydana gelen sıcaklık dağılımı

Vida dişli havan topu namlusunun sıcaklık dağılım grafiği Şekil 4.20’de ki gibidir.

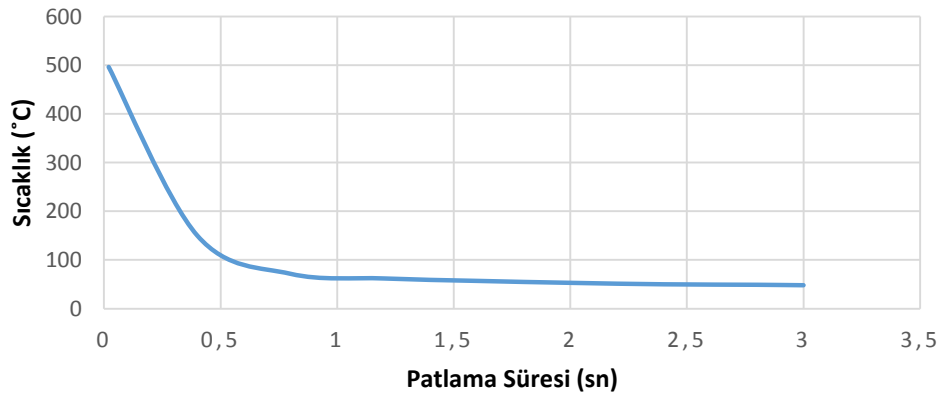


Şekil 4.20. Vida dişli havan topunda meydana gelen sıcaklık-zaman dağılım grafiği



Şekil 4.21. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunda meydana gelen sıcaklık dağılımı

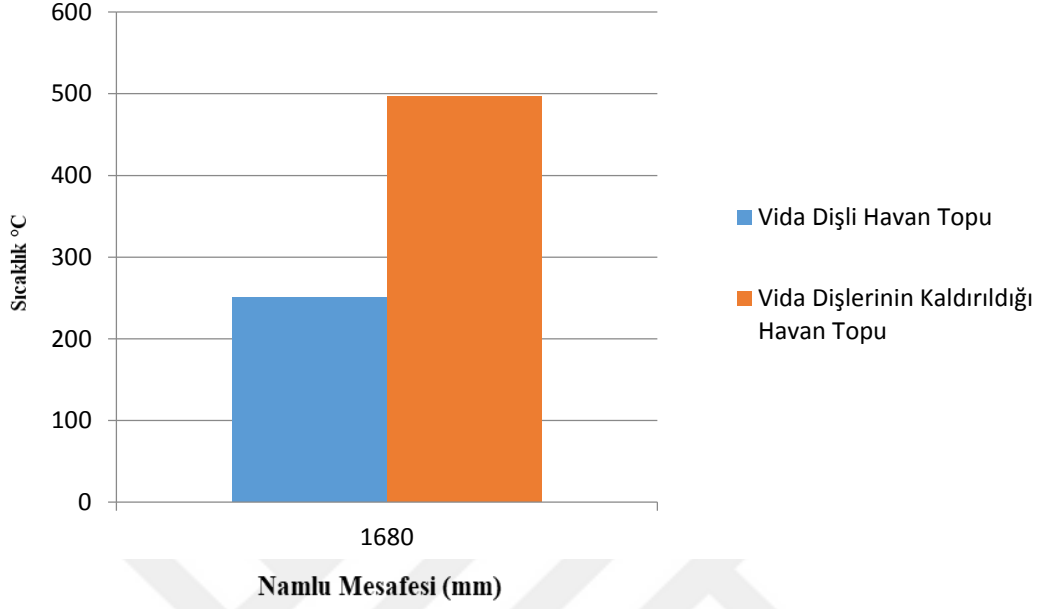
Vida dişlerinin kaldırıldığı havan toplusu sıcaklık dağılım grafiği Şekil 4.22’ de ki gibidir.



Şekil 4.22. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunda meydana gelen sıcaklık-zaman dağılım grafiği

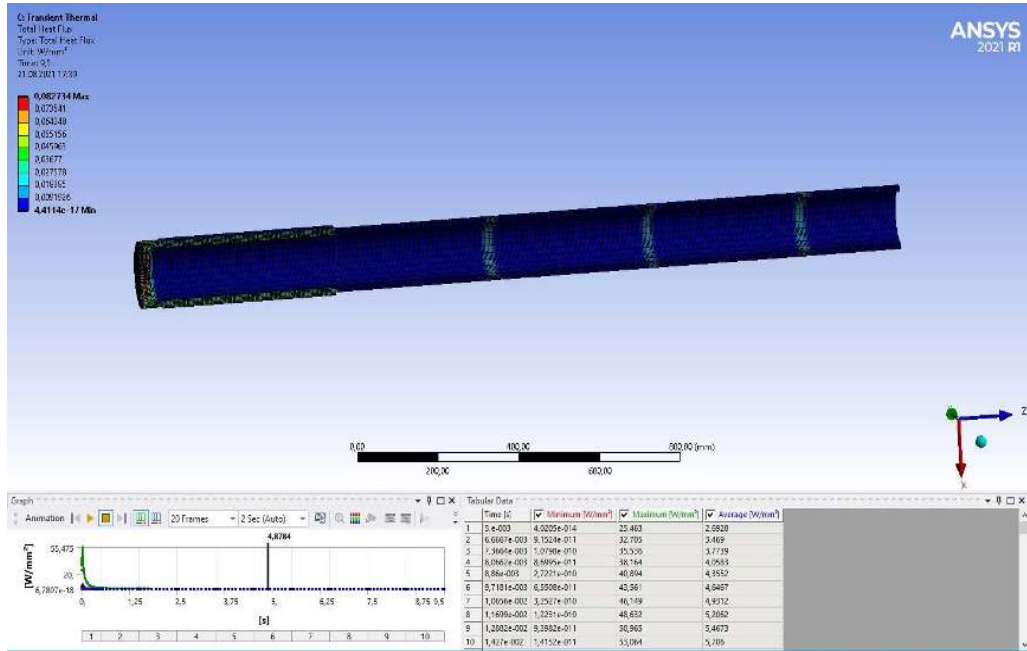
Vida dişli havan toplu namlusu ve vida dişsiz havan toplu namlusu karşılaştırıldığında sıcaklık farkının olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yapılan doğrusal dağılım sonucunda oluşmaktadır. Yapılan analiz zamana bağlı bir analiz olduğundan dolayı iterasyon başlangıcında sıcaklık farkı görülebilir. Ancak, analiz ilerleyen iterasyonlarında, bu durumun oluşmadığı görülmektedir. Zamana bağlı analizlerde, time-step, ısı akış dağılımı gibi analiz ayarları bu duruma neden olabilmektedir.

Vida dişli havan topu namlusunun ve vida dişlerinin kaldırdığı havan topu namlusunun sıcaklık değerleri kıyaslanması şekil 4.23'deki grafikte verilmiştir.



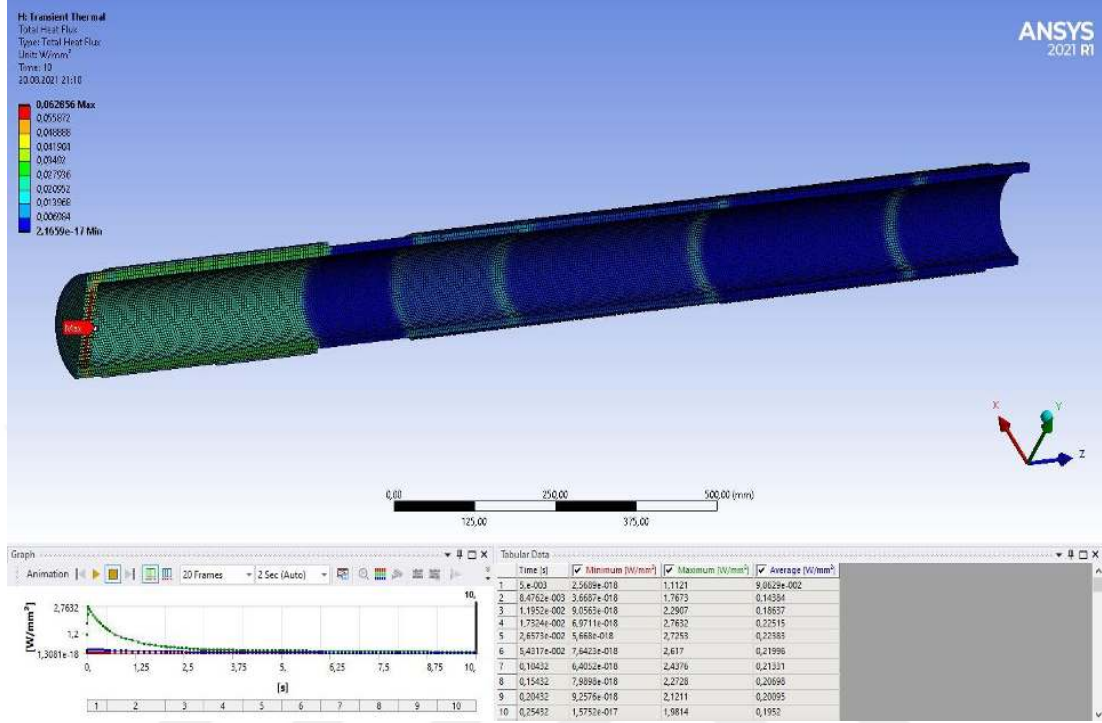
Şekil 4.23. Namlu boyunca oluşan maksimum sıcaklık

Vida dişli havan topu namlusunun, toplam ısı akısı miktarı bakımından incelendiğinde Şekil 4.24'te ki değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.24. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam ısı akısı miktarı

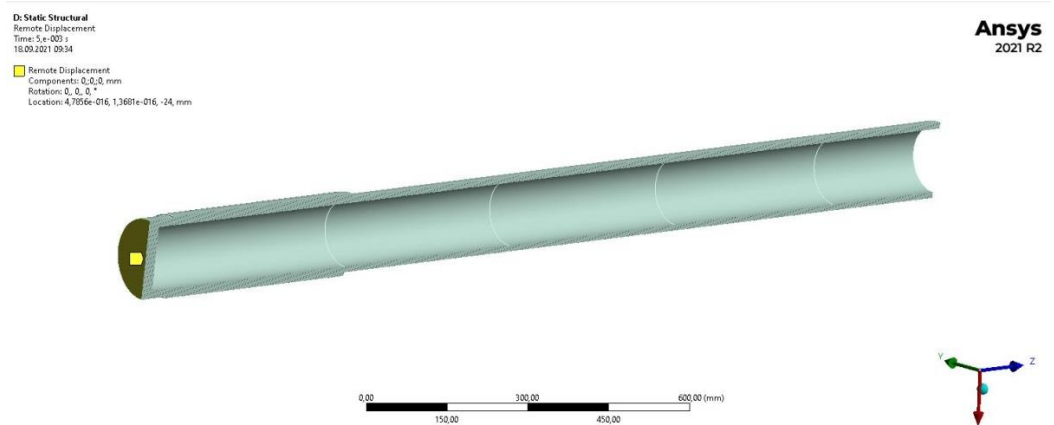
Havan topu, toplam ısı akısı miktarı yönünden incelendiğinde, Şekil 4.24’ de görüleceği üzere maksimum 0.0827 W/mm^2 ve minimum değeri $4.414 \times 10^{-17} \text{ W/mm}^2$ olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.25. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen toplam ısı akısı miktarı

Şekil 4.25 incelendiğinde çıkan sonuçlar maksimum 0.062 W/mm^2 ve minimum ise $2.165 \cdot 10^{-17} \text{ W/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

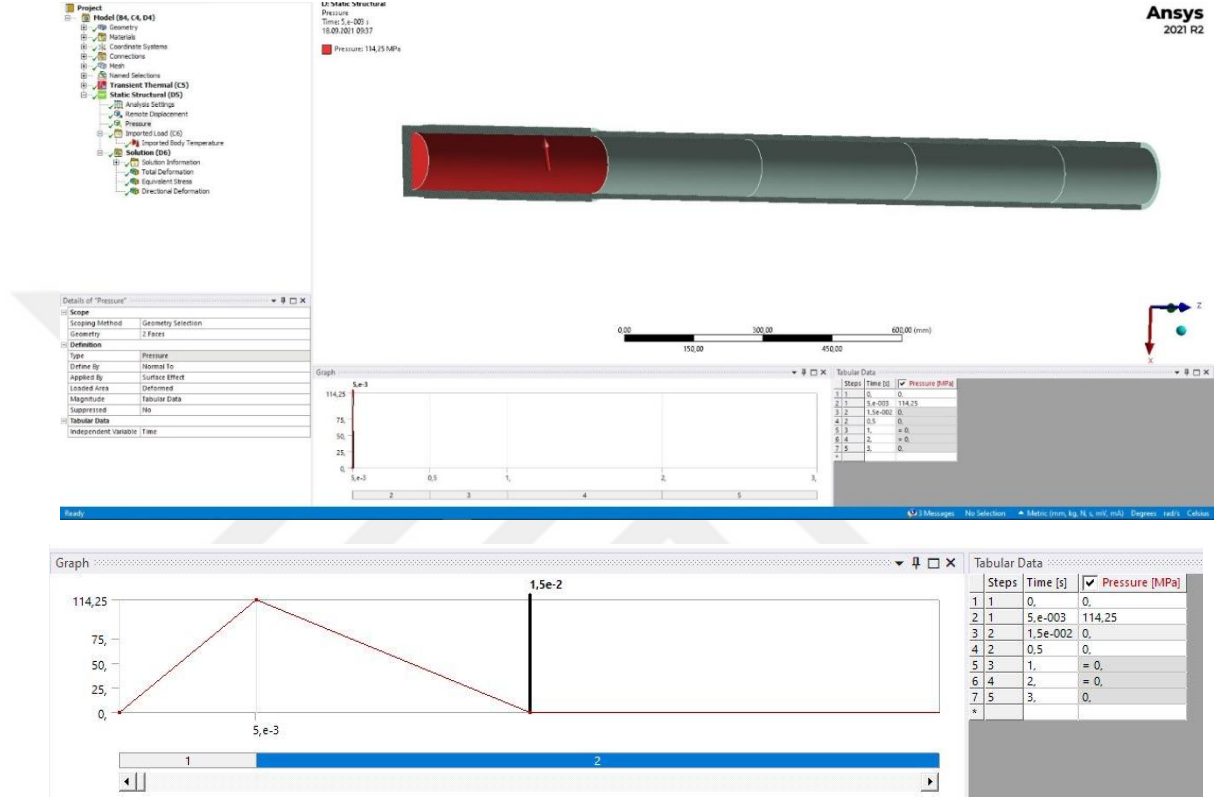
Termal analiz verilerinin yapısal analize aktarılırken namlu için, $U_Z=0$, $U_Y=0$, $U_X=0$ sabitleme noktası olarak Şekil 4.26 ‘de verilen durum kullanılmıştır.



Şekil 4.26. Namlu sabitleme noktası

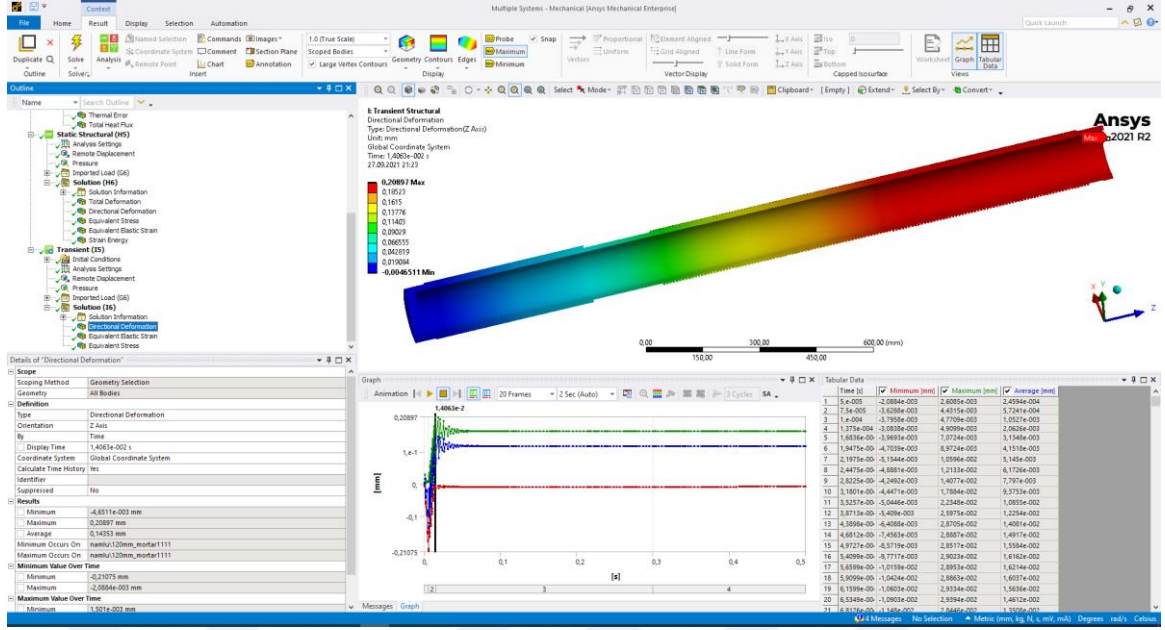
Patlama sonucu oluşan basınç etkisi, Şekil 4.5'teki basınç zaman grafiğinde verilen basıncın etki ettiği 5 ms' de maksimum değer ve 15 ms sonucunda minimum değerine ulaşacak şekilde yanma bölgesi (1. Bölge), namlu iç yüzeyine uygulanmıştır. Analiz süresi olarak, termal analizde kullanılan 3 sn girilmiştir.

Şekil 4.27' de sınır şartları belirtilmiştir.



Şekil 4.27. Basınç-zaman sınır şartları

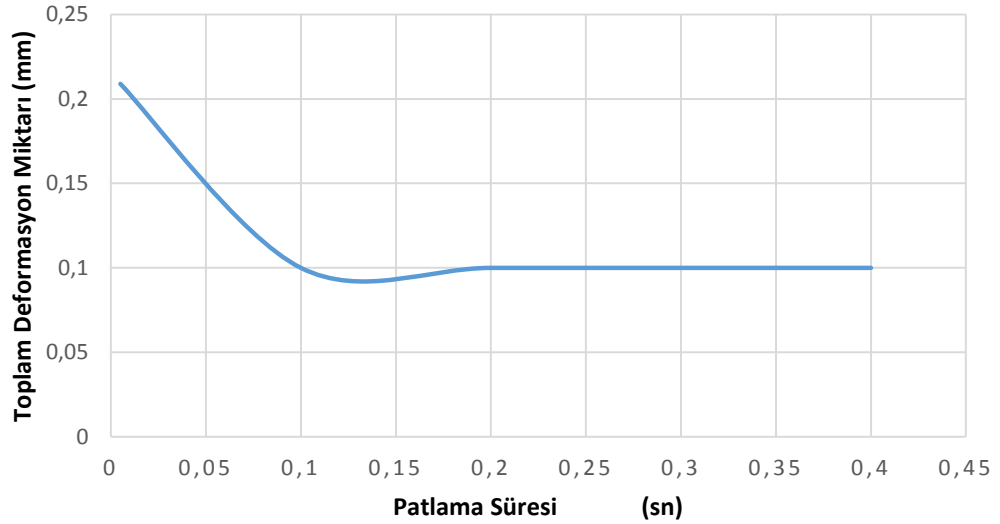
Yapısal analiz sonucunda vida dişli ve vida dişsiz olarak alınan iki farklı tasarımın von-Mises gerilmeleri, şekil değiştirme oranı değerleri ve toplam deformasyonları verilmiştir.



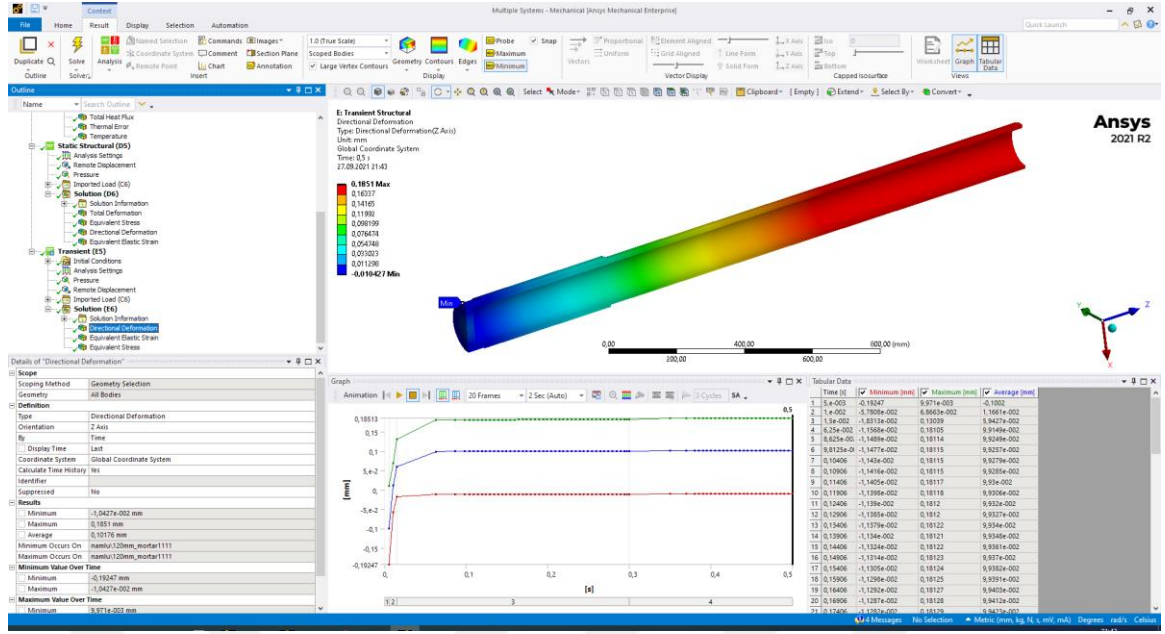
Şekil 4.28. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon dağılımı

Şekil 4.28’de görüleceği üzere, vida dişli havan topu namlusunun termo-mekanik analiz sonucu deformasyon dağılımı 0.2089 mm’dir.

Zamana bağlı toplam deformasyon miktarının dağılım grafiği Şekil 4.29’ da gösterilmiştir.

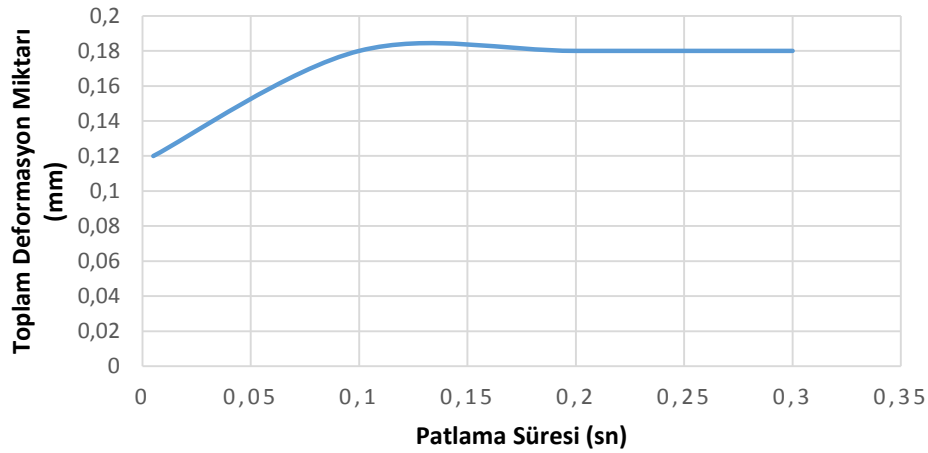


Şekil 4.29. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon -zaman dağılım grafiği



Şekil 4.30. Vida dişlerin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon dağılımı

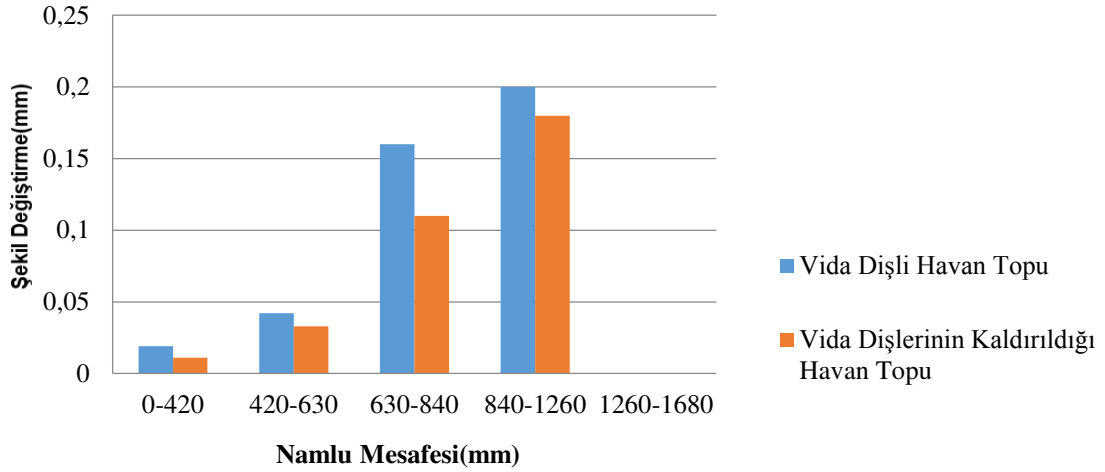
Zamana bağlı toplam deformasyon miktarının dağılım grafiği Şekil 4.31’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Vida dişlerin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon- zaman dağılım grafiği

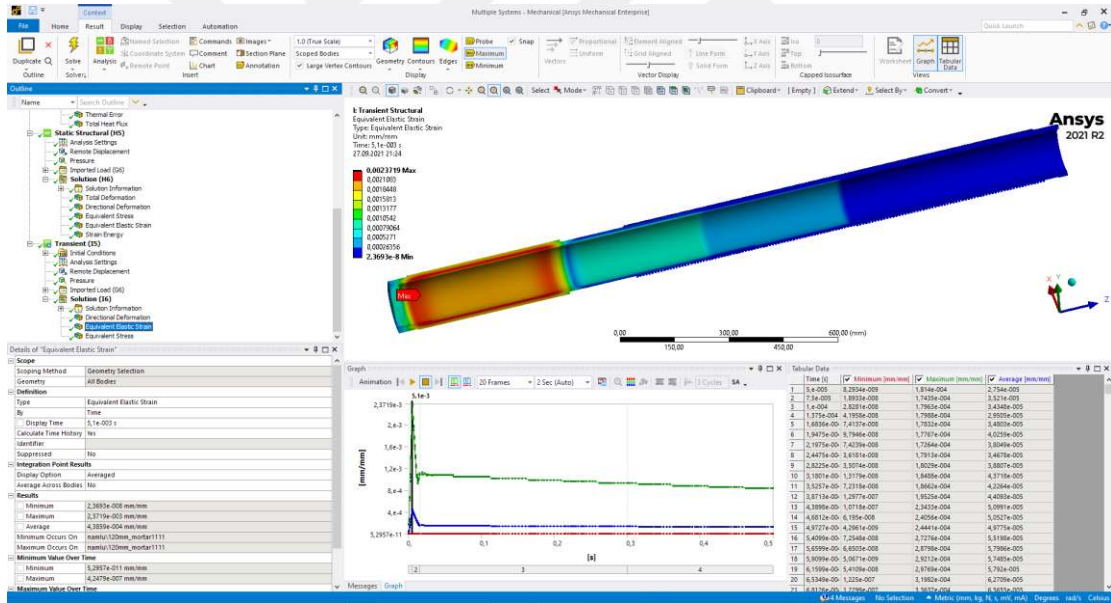
Şekil 4.30 incelendiğinde ise, toplam deformasyon dağılımı 0.1851 mm olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu iki değerin birbiriyle karşılaştırılması ise, Şekil 4.32’de görülmektedir.

TOPLAM DEFORMASYON ANALİZİ



Şekil 4.32. Toplam deformasyon miktarının karşılaştırması

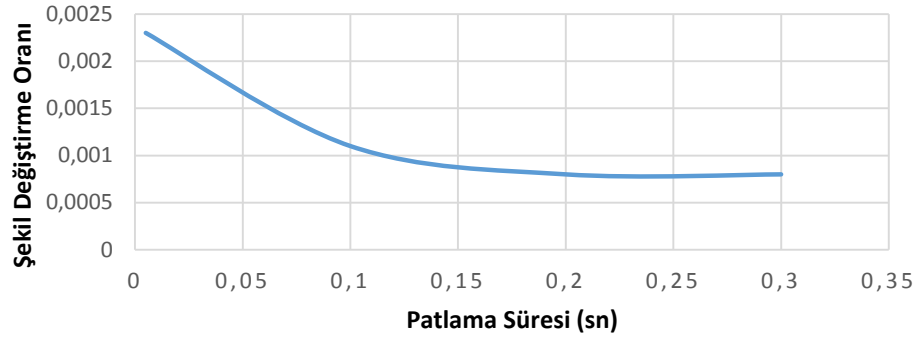
Eşlenik elastik gerilme ve şekil değiştirme oranının incelenmesi ile Şekil 4.33’de ki sonuç değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.33. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme dağılımı

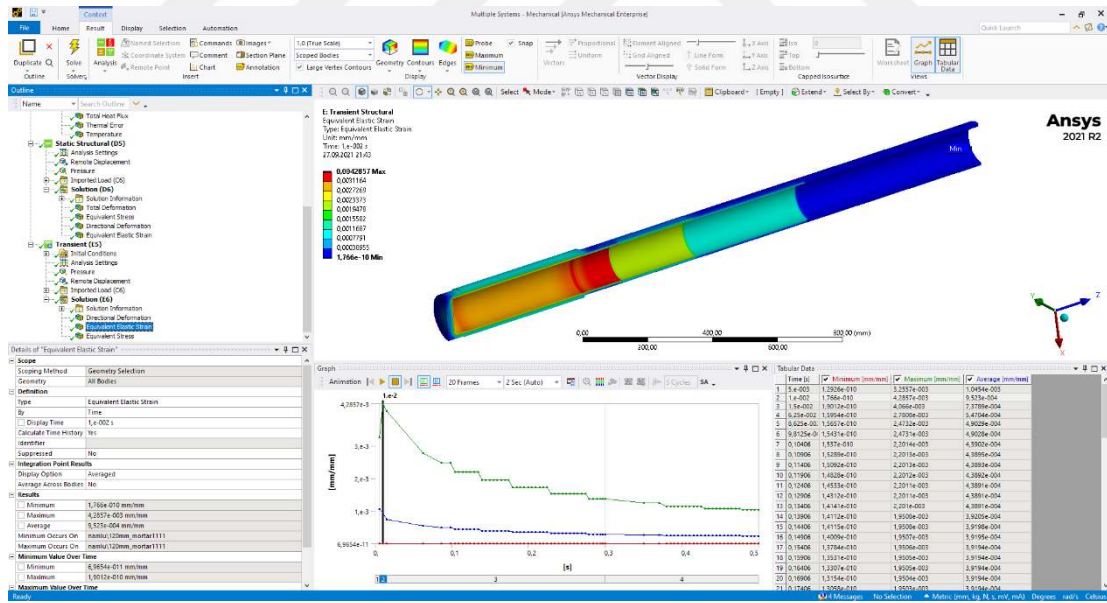
Zamana bağlı şekil değiştirme miktarının dağılım grafiği Şekil 4.34’ te gösterilmiştir.

ŞEKİL DEĞİŞTİRME ORANI



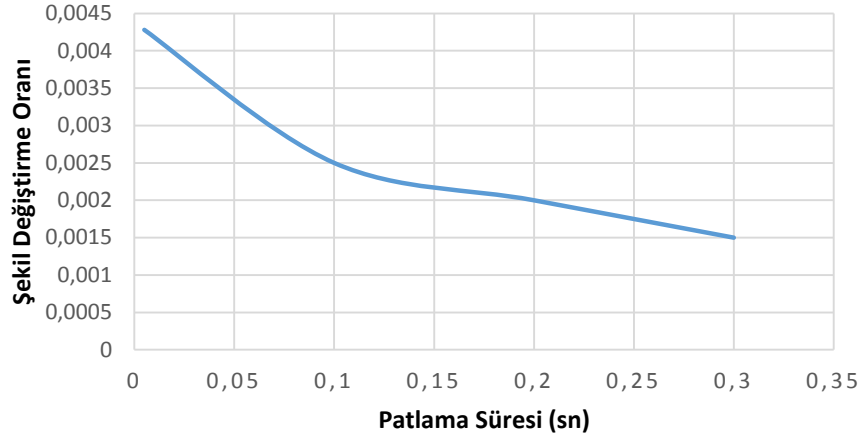
Şekil 4.34. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme oranı-zaman grafiği

Şekil 4.33 incelendiğinde, vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam eşlenik şekil değiştirme oranı miktarı, 0.002371 olduğu görülmektedir. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen değerler ise şekil 4.35’te verilmiştir.



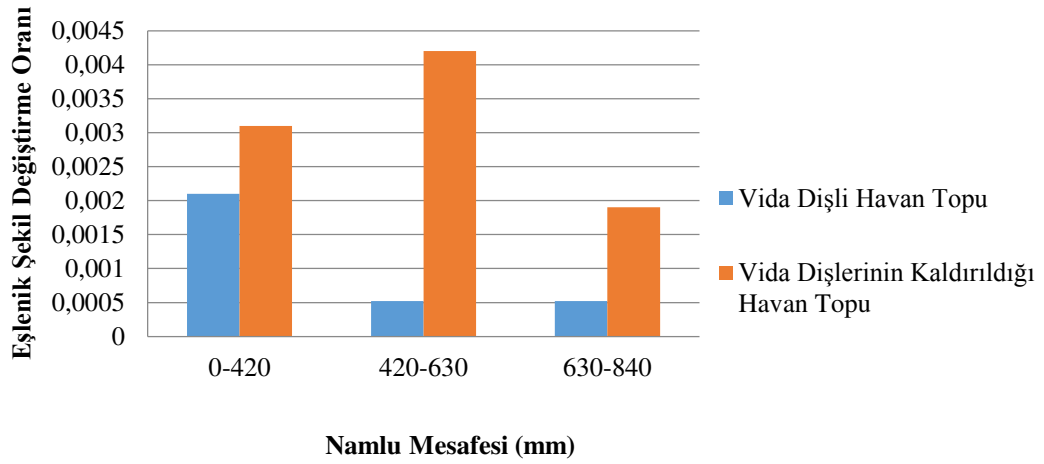
Şekil 4.35. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme oranı dağılımı

Vida dişleri kaldırıldığı zaman eşlenik toplam şekil değiştirme oranı 0.004285 olarak bulunmuştur. Grafik dağılımı Şekil 4.36’da verilmiştir.

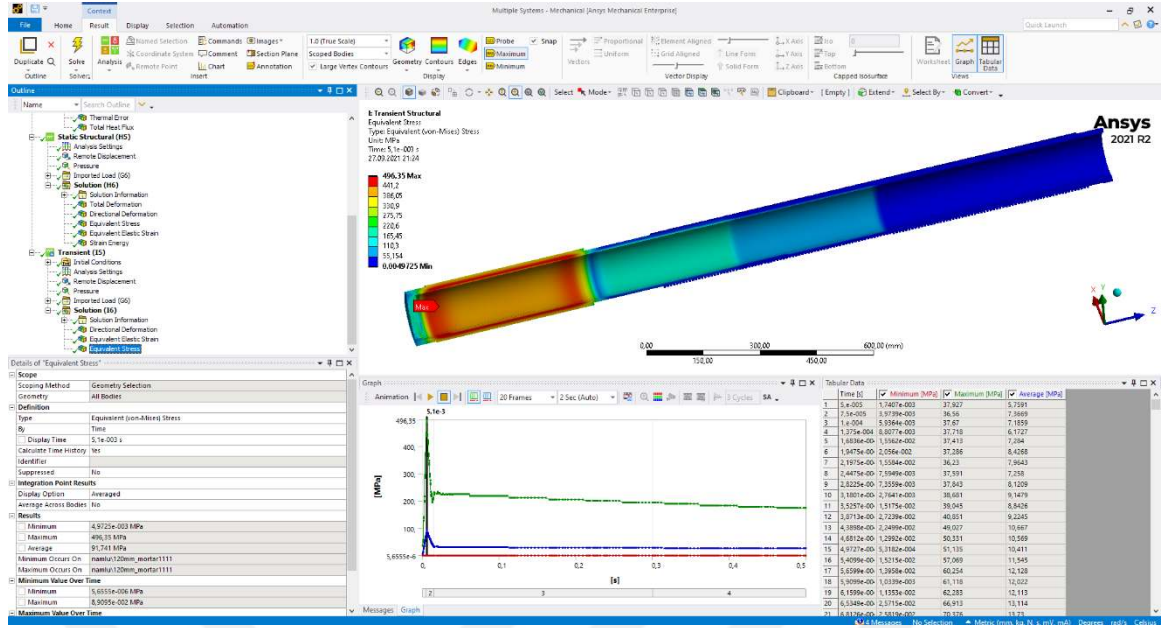


Şekil 4.36. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik toplam şekil değiştirme -zaman dağılım grafiği

Şekil değiştirme oranı bakımından sonuçların bir biriyle kıyaslanması, şekil 4.37’de görülmektedir.

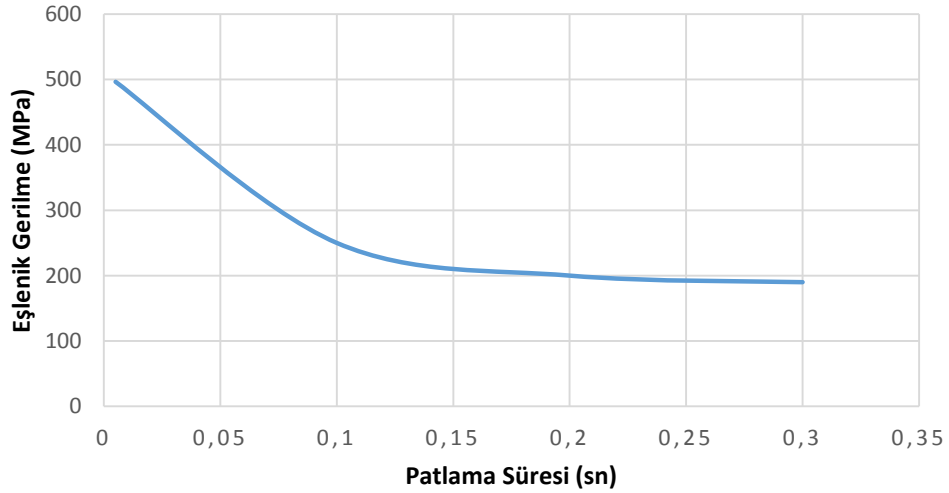


Şekil 4.37. Eşlenik elastik şekil değiştirme oranının ile mesafe arasındaki karşılaştırma grafiği



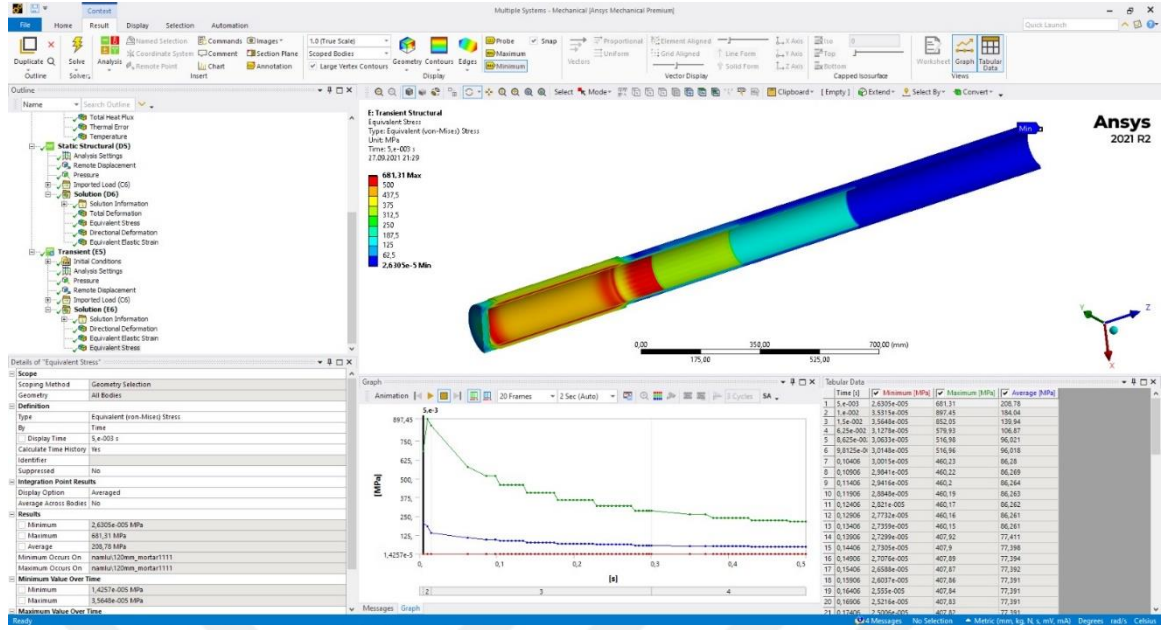
Şekil 4.38. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme dağılımı

Zamana bağlı eşlenik gerilme miktarının dağılım grafiği Şekil 4.39’ da gösterilmiştir.



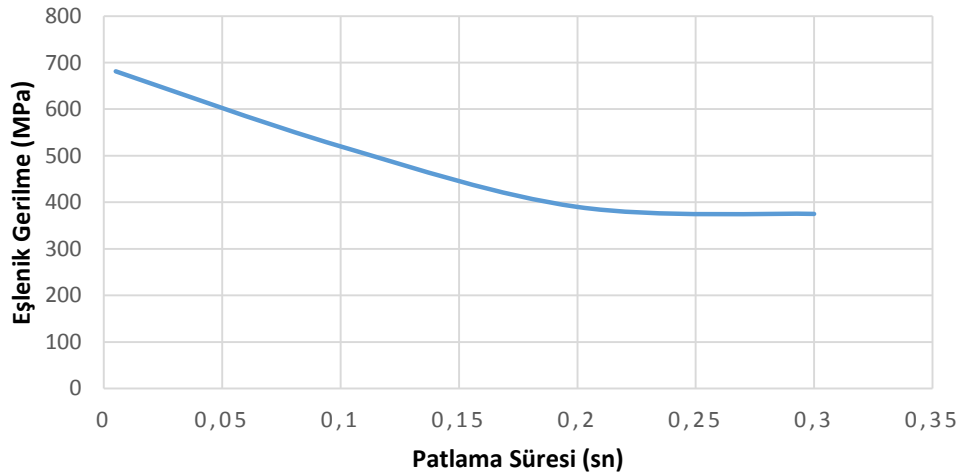
Şekil 4.39. Vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme-zaman dağılım grafiği

Şekil 4.38 incelediğinde maksimum eşdeğer gerilme değeri, 496.35 MPa olarak okunmaktadır. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusu incelendiğinde ise, çıkan değerlerin sonuçları Şekil 4.40’da görülmektedir.



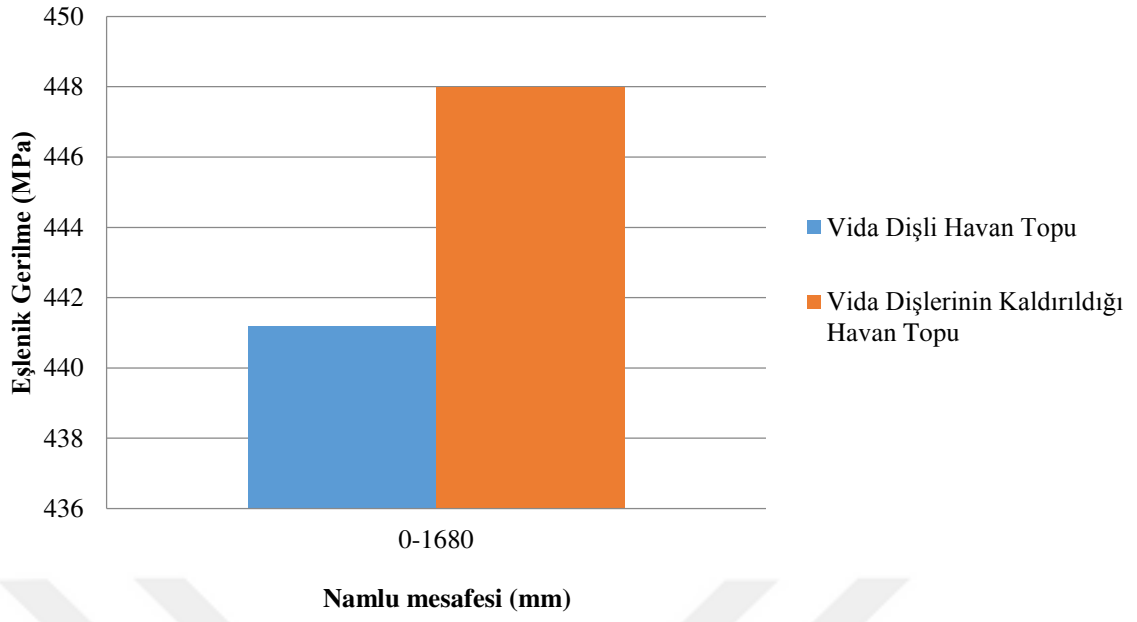
Şekil 4.40. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme dağılımı

Zamana bağlı eşlenik gerilme miktarının dağılım grafiği Şekil 4.41’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda meydana gelen eşlenik gerilme-zaman dağılım grafiği

Şekil 4.40 incelendiğinde eşlenik maksimum gerilme değeri, 681.31 MPa olarak elde edilmiştir. Her iki havan topu namlusu için yapılan analiz sonuç değerleri, Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42. Namlu boyunca oluşan maksimum eşlenik gerilme

5. SONUÇ VE YORUM

Savunma sanayinde standart olarak kullanılan, Trapez vida dişli 120 mm havan topu namlusu ile üzerindeki trapez vidaların kaldırıldıktan sonra meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Yapılan bu analizler, iki kademede gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, hali hazırda kullanılan vida dişli 120 mm havan topunun atış esnasında etki eden gerilmeler için termomekanik analizlerin ANSYS Workbench sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Daha sonra, havan topu üzerindeki vida dişleri kaldırıldıktan sonraki topun atış esnasındaki durumu için aynı gerilmeler, ANSYS Workbench programında incelenip çıkan sonuçlar ele alınmış ve gerekli yorumlar şu şekilde açıklanmıştır.

- Vida dişli havan topu namlusunun ve vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusu üzerinde yapılan termal analiz sonucunda, sıcaklık olarak iki namluda da farklı değerler elde edilmiştir. Vida dişli havan topu namlusunda elde edilen maksimum sıcaklık değeri, 250 °C olarak bulunmuştur.

Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda ise maksimum 496.14 °C olarak çıkmıştır. Bu artışın sebebi, vida dişli havan topunda vida sistemi bir soğutucu kanat görevi yaptığından sıcaklık değeri düşük çıkmaktadır. Bununla birlikte, vida dişleri kaldırıldığında soğutma tam olarak yapılamadığından dolayı namludaki sıcaklık değeri yüksek çıkmaktadır. Ancak, bir havan topunda bu sıcaklık kalıcı olmadığından ve çok hızlı bir şekilde soğuduğundan dolayı namlu üzerinde kalıcı bir hasar oluşturmadığı çıkan gerilme sonuçlarından gözlenmektedir.

- Toplam ısı akılarına bakıldığında ise, vida dişli havan topu namlusunun toplam akısı, 0.062 W/mm² değeri elde edilmiştir.

Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda ise bu değer, 0.082W/mm² olarak elde edilmiştir.

Bunun sebebi de şu şekilde açıklanabilir. Vidanın kaldırılması ile sıcaklık miktarı namluda daha fazla olmasından ve vidalıya göre daha uzun süre kalıcı olmasından dolayı ısı akısı yüksek çıkmaktadır.

- Vida dişli havan topu namlusu ve vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunun termal yükler altında statik analiz kısımlarının incelenmesi sonucunda, toplam deformasyon bakımından, vida dişli havan topu namlusunda meydana gelen toplam deformasyon miktarı, 0.2089 mm olarak elde edilmiştir.

Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda ise bu değer, 0.1851 mm olarak bulunmuştur.

Aynı şekilde bu sonuç için de şu söylenebilir. Havan topu üzerindeki vidanın kaldırılması ile sıcaklık miktarı namluda daha fazla olacağından ve aynı şekilde vidalıya göre daha uzun süre kalıcı olmasından dolayı deformasyon miktarı yüksek çıkmıştır.

- Toplam şekil değiştirme oranı için vida dişli havan topu namlusundaki değeri 0.002371, ve vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda ise 0.004285 değeri bulunmuştur. Bu sonuç değerleri için de yukarıda bahsedilen sebep sonuç ilişkisi söylenebilir.
- von-Mises gerilmeleri incelendiğinde ise vida dişli havan topu namlusunda, 496.35 MPa olarak hesaplanmıştır.

Vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda ise, 681.31 MPa olarak hesaplanmıştır.

von-Mises gerilme sonuç değerler için şu söylenebilir. Vidalıdaki Havan topu namlusuna ait dış çap, vidanın kaldırılması sonucundaki çaptan daha fazla olduğundan dolayı gerilme değeri yüksek çıkmıştır. Yani namlu et kalınlığı düştüğünden dolayı von-Mises değerleri vidasız havan topu namlusunda daha yüksek çıkmıştır.

Havan topu namlusuna ait malzemenin akma mukavemeti 900 MPa olduğu için, hem vidalı hem de vidasız namlu için çıkan sonuçların emniyetli olduğu ve bu şekilde kullanılmasında herhangi bir sakıncasının olmayacağı analiz sonuç değerlerden görülmektedir.

Çalışmada elde edilen bu sonuçlara ait değerler, sadece Termo-Mekanik analiz için elde edilen sonuçlardır.

Sonuç olarak, analizler genel olarak incelendiğinde yapılan ilk termal analiz sonucunda vida dişlerinin kaldırıldığı namluda sıcaklık dağılımı daha yüksek çıkmıştır. Statik bakımından analizler incelendiğinde ise, aynı şekilde vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi yukarıda açıklandığı üzere, vida dişli havan topunda bulunan trapez vida dişlerinin namluda kanat görevi gördüğü yani aynı zamanda soğutma işlemi yapmaktadır. Bu bakımından, namluda daha iyi bir ısı transferini sağladığından dolayı sıcaklık dağılımı vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusundan daha yüksek çıkmıştır.

Sıcaklık dağılımının vida dişlerinin kaldırıldığı havan topunda daha yüksek çıktığından dolayı, vida dişlerinin kaldırıldığı havan topu namlusunda yapılan statik analiz sonuçları da bundan dolayı daha yüksek çıkmıştır.

Elde edilen tüm bu sonuçlar incelediğinde ve bu sonuçların, daha önce yapılan literatürdeki çalışmalar ile kıyaslandığında böyle bir çalışmanın yapılması uygun olduğu gözlenmiş ve her iki namluda meydana gelen toplam deformasyonlar, kesme gerilmeleri, kayma gerilmeleri kabul edilebilir değerler arasında kaldığı görülmektedir.

120 mm havan topu namlusu üzerinde bulunan trapez vida dişlerinin kaldırılması ile, namluda mekanik-mukavemet bakımından herhangi bir olumsuz durumun ortaya çıkmadığı

analiz sonuçlarından görölmüş ve bundan dolayı kullanılmasında emniyetli ve güvenilir olduğu ortaya çıkmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] SSB, Savunma Sanayi Başkanlığı, <http://www.ssb.gov.tr> web sitesi.
- [2] Esen, M. (2012). *35 mm Uçaksavar Namlusunun Atış Esnasındaki Dinamik Analizi*, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [3] Özcan, B. (2019). *Kısa Namlulu Ateşli Silahlarda İç Balistiğe Bağlı Mukavemet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [4] Huang, W. (1993). *Transient Stress and Failure Analysis of 105 mm Gun Barrel Caused by Projectile Premature*, A Thesis Presented to the Graduate Committee of Lehigh University in Candidacy for the Degree of Master of Science, Lehigh University.
- [5] Öztürk, Y. (2014). *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemiyle Namlu Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [6] Tawfik, M., *Dynamics and Stability of Stepped Gun Barrels with Moving Bullets*, Mechanical Engineering Department, British University in Egypt, El-Shorouk City, Cairo 11837, Egypt.
- [7] Sönmez, U. (2009). *Obus Namlusu Yanma Odasında Atış Esnasında Ortaya Çıkan Gerilmelerin Matematiksel Modellenmesi Ve Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [8] Deng, S., Sun, H.K., Chiu, C.J. ve Chen, K.C. (2014). *Transient Finite Element for In-bore Analysis of 9 mm Pistols*, Applied Mathematical Modelling, 38, 2673-2688,
- [9] Özgüder, O. (2017). *Namlu İçi Balistik Davranışın Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi*, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Ankara.
- [10] Babaei, H. (2015). *Stress Analysis of Gun Barrel Subjected to Dynamic Pressure*, International Journal of Mechanical Engineering and Applications, Vol. 3, No. 4, pp. 71-80.
- [11] Sathish, X. (2011). *Numerical Analysis Of Gun Barrel Pressure Blast Using Dynamic Mesh*, Adaption Embry-Riddle Aeronautical University Daytona Beach, Florida Fall.
- [12] Işık, H. (2016). 14. Savunma Bilimleri Dergisi, The Journal of Defense Sciences,
- [13] Şentürk, A. (2015). *Namlu İç Balistiği ve Termo-Mekanik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Komutanlığı Savunma Bilimleri Enstitüsü.
- [14] Güngör, O. (2010). *Metal Matriks Kompozit Sarılmış Namlu Haznesi Yapısal Analizi ve Çap Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [15] Akbulut, M. (2016). *Ağır Silah Namlularında Zorlanmış Konveksiyon ile Soğutmanın Sayısal İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [16] Büyükcivelek, F. (2011). *Silah Namlusu Titreşimlerinin Analizi ve Kontrolü*, Yüksek lisans, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [17] Gegaregian, A. (1994). *Lightweight Gun Systems*, Lockheed Missiles & Space Company, Sunnyvale, Calif.
- [18] Swab J, Wereszczak A. (2005). *Mechanical and Thermal Properties of Advanced Ceramics for Gun Barrel Applications*, Army Research Lab Aberdeen Proving Ground Md Weapons and Materials Research Directorate
- [19] Assav Defence Industry <http://assav.com.tr/>, Erişim:
- [20] MSM GRUP <https://www.msm.sk>, Erişim:

- [21] Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu Ürün Katalogları, <http://mkek.gov.tr>, 29.06.2021.
- [22] Asfaw, Y. (2008). “*Structural Design and Analysis of an Existing Aerodynamically Optimised Mortar Shell*”, Academic Dissertation, University of Addis Ababa
- [23] Çengel, Y. Isı ve Kütle Transferi



ÖZGEÇMİŞ

Melih ULUTAŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

ARAŞTIRMACI BİLGİLERİ

[REDACTED]
[REDACTED]

EĞİTİM BİLGİLERİ

[REDACTED]
[REDACTED]

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

✓ AUTOCAD, SOLIDWORKS, ANSYS, MICROSOFT OFFICE

İŞ DENEYİMİ

YİRMİÜÇ MAKİNA OTOMOTİV MÜHENDİSLİK

AR-GE LTD.ŞTİ., Proje Yürütücüsü 01.07.2017-15.04.2019

HAKNUR YAPI DENETİM-Kontrol Mühendisi

06.11.2018-Devam

SMH İŞ MAKİNALARI-Servis Mühendisi

10.11.2019-Devam