

**NAMLU CİDARI BOYUTLANDIRILMASINA
İÇ BALİSTİK DAVRANIŞIN ETKİSİ**

Onur GÜNDÜZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2011
ANKARA**

Onur GÜNDÜZER tarafından hazırlanan "NAMLU CİDARI BOYUTLANDIRILMASINA İÇ BALİSTİK DAVRANIŞIN ETKİSİ" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mahmut ÖZBAY
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmet ÇELİKTEN
Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Osman Selim TÜRKBAŞ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Yusuf USTA
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Barış KALAYCIOĞLU
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, K.Ü.

Tarih :21/10/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Onur GÜNDÜZER

**NAMLU CİDARI BOYUTLANDIRILMASINA
İÇ BALİSTİK DAVRANIŞIN ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Onur GÜNDÜZER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2011**

ÖZET

Günümüz savunma sanayi ürünlerinde dayanıklılığın yanı sıra hafiflik de son derece önem taşımaktadır. Bu, daha hafif bir malzeme seçimiyle ilgili olduğu kadar optimum boyutlarla da ilgilidir. Bu bağlamda optimum boyutları güvenli bir şekilde elde edebilmek için silah tasarımı ve sonrasında sistemin analizi vazgeçilmez aşamalardan biridir. Bu çalışmada uzunluğu ve iç çap değeri bilinen M101 top namlusu 1,25 emniyet katsayısı ile 270 kilogramdan 115,95 kilografa hafifletilmiştir. Hafifleştirme sırasında analitik yöntemlerle çözümlenmesi oldukça zor olan namlu cidar kalınlığının patlama sonucu oluşan basınç değerleriyle eksen boyunca hesaplanması ve optimizasyonu hedeflenmiştir. Namlu, ait olduğu sistemden ayrılamayacağı için silah sistemi, alt sistemleriyle anlatılmıştır. Ayrıca iç balistik temel denklemlerine değinilmiş, mühimmat ve silah sistemleri sınıflandırılmış, optimizasyon kavramı açıklanmış, analiz adımlarında izlenen metot ve kabuller verilmiştir. Bu doğrultuda, seçilen mühimmata ait basınç değerleri “PRODAS” programıyla elde edilmiştir. Namlu tasarımı, 3 boyutlu tasarım programı olan “CATIA” da yapılmış ve tasarlanan model sonlu elemanlar paket programı “ANSYS WORKBENCH”e aktarılmıştır. Model burada çözümlenerek gerilme dağılımında kritik yerler (gerilmenin yığıldığı yerler) belirlenmiş ve bu yüksek gerilme değerlerine göre namlu cidar

kalınlığı, emniyet faktörü ve otofretaj katkısı hesaba katılarak optimize edilmiştir. Çözüm yapılırken elde edilen basınçlar değerlendirilmiş, modele bu basınç değerlerinin doğru verilebilmesi için algoritmalar çalışılmış ve sonuçta gerçek patlama olayını temsil edebilecek bir sistem oluşturulmuştur. Balistik değerler Vallier-Heydenreich yöntemiyle, gerilme değerleri ise Lamé denklemleriyle tekrar analiz edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmış ve oluşan farkların sebepleri tartışılmıştır. Bu çalışmayla, namlu malzemesi, kalibresi, uzunluğu ile mühimmata ait parametreleri belli olan sistemlerin namlu cidarı optimizasyonuna yönelik akademik çalışmalara yol gösterici bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.012
Anahtar Kelimeler : Balistik, eksplisit, namlu
Sayfa Adedi : 129
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mahmut ÖZBAY

**THE EFFECT OF INTERNAL BALLISTIC BEHAVIOUR
TO THE SIZING OF THE BARREL WALL**

(M.Sc. Thesis)

Onur GÜNDÜZER

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2011

ABSTRACT

The durability, as well as lightness, have an important place in today's defence industry products. This is mostly related with the choosing of light material and optimum dimensions. In this sense, to acquire dimensions safely, gun design and the analysis of the system are both part of the indispensable process steps. In this study M101's gun barrel is lightened from 270 kgs to 115,95 kgs with 1,25 safety factor whose length and interior diameter are certain. During the lightening the aim is to calculate and optimize barrel thickness through the barrel axis with the pressures values after the explosion, which is hard to solve by analytical methods. As the barrel can not be distinguished from the system it belongs, the weapon system is explained with sub systems. In addition, the fundamental equations of interior ballistics are mentioned, ammunition and gun systems are classified, the term of "optimization" is explained and analyzing steps of the methods and assumptions are followed and given. In this sense, pressure values of selected munition are obtained with the "PRODAS" programme. The barrel is designed by "CATIA" which is a 3D design programme and the model is transferred to the "ANSYS WORKBENCH" finite element software. The model here is solved and critical locations in the

distribution of stresses are determined. According to these high stress values, barrel thickness is optimized with safety factor and contribution of Autofrettage Process. During the analysis, the obtained pressure values are evaluated and studied algorithms to input these values in to the model correctly. Finally, a system is created that could represent a real explosion situation. Ballistic values re-analyzed with Vallier-Heydenreich method and stress values are re-analyzed with using Lamé Equations. Then the results are compared with each other and discussed about the reasons of differences. In this way, an approach is developed to lead academic studies which are about the optimization of barrel thickness in the systems whose barrel material, caliber, length and ammunition parameters are certain.

Science Code : 914.1.012
Key Words : Ballistic, explicit, barrel
Page Number : 129
Adviser : Prof. Dr. Mahmut ÖZBAY

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof.Dr. Mahmut ÖZBAY'a, bilgilerinden faydalandığım "MKE Kurumu Ar-Ge ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı Sistem Mühendisliği Őube Müdürü" M. Fevzi KANDEMİR'e, Kimya Mühendisi Deniz ÖZTÖRÜN'e, Uzman Ar-Ge Mühendisi İbrahim ULUTÜRK'e, Makine Mühendisi meslektaşlarım İrfan ÖZSERT ve M.Volkan KAYA'ya, Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi Enes YALÇIN'a, balistik konusunda yardımlarını esirgemeyen Fizik Yüksek Mühendisi Erkan TİRYAKI, Fizik Mühendisi Funda YILDIRIM'a, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eőim Esra GÜNDÜZER ve aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
2. BALİSTİK BİLİMİ VE TARİHİ GELİŞİMİ	3
2.1. Balistik Tipleri	5
2.1.1. İç balistik (Internal ballistic)	5
2.1.2. Dış balistik (Eksternal ballistic)	10
2.1.3. Terminal balistik	11
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	12
4. ATEŞLİ SİLAHLAR	17
4.1. Ağır Silah Sınıflandırması	17
4.2. Büyük Kalibre Mühimmat Sınıflandırması	19
4.3. Silah Ana Sistemi	20
4.3.1. Mermi (Fişek)	22
4.3.2. Kama sistemi	25
4.3.3. Ağız baskısı	25

	Sayfa
4.3.4. Ateşleme mekanizması	25
4.3.5. Geri tepme ve irca sistemi.....	25
4.3.6. Beşik	26
4.3.7. Kundak sistemi.....	26
4.3.8. Alt kundak	26
4.3.9. Üst kundak	27
4.3.10. Kundak kolları sistemi.....	27
4.3.11. Namlu	27
5. İÇTEN BASINCA MARUZ KALIN CİDARLI SİLİNDİRİK KAPLAR.....	34
6. İÇ BALİSTİK ANALİZİ.....	39
6.1. İç Balistik Analiz Yöntemi.....	39
6.1.1. İç balistik hesap programı	39
6.2. Namlu Özellikleri.....	39
6.3. Mühimmat Özellikleri	40
6.4. İç Balistik Analiz Sonuçları.....	41
6.4.1. Konum-zaman grafiği	42
6.4.2. Hız – zaman grafiği	44
6.4.3. Sıcaklık – zaman grafiği	46
6.4.4. Basınç – konum grafiği.....	48
6.4.5. Hız – konum grafiği	50
6.4.6. Sıcaklık – konum grafiği	52
6.4.7. Basınç – zaman grafiği.....	54
6.5. Vallier-Heydenreich Balistik Çözümü.....	56

	Sayfa
7. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	60
7.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	60
7.1.1. Sonlu elemanlar analiz programı	61
7.2. Çözüm Kabulleri	62
7.2.1. Emniyet katsayısı	62
7.2.2. Otofretaj etkisi	62
7.2.3. Zaman integrasyon yöntemleri	63
7.2.4. Hasar	64
7.2.5. Malzeme özellikleri	66
7.2.6. Basıncın etki edeceği yer ve süresi	67
7.2.7. Diğer kabuller	75
7.3. Sınır Şartları	76
7.3.1. Yer çekimi ivmesi	76
7.3.2. Sistem yaklaşımı	76
7.3.3. Çözüm ağı	77
7.4. Optimizasyon	78
7.4.1. Optimizasyon problemlerinin uygulama alanları	78
7.5. Analizler	80
7.5.1. İlk yaklaşım için analizler	80
7.5.2. 1. iterasyon için analizler	82
7.5.3. 2. iterasyon için analizler	84
7.6. Namlu Cidar Kalınlığının Lame Denklemi İle	86
Uygunluğunun Tespiti	

	Sayfa
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	94
EKLER	98
EK-1. İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri.....	99
EK-2. Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri	109
EK-3. İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Silahlarda kullanılan barutların özellikleri	24
Çizelge 6.1. Prodas programının namlu uzunluğu ve iç çap değeriyle ilgili arayüzü	40
Çizelge 6.2. Prodas programının barut değerleriyle ilgili arayüzü	40
Çizelge 6.3. M1 mühimmatının barut özellikleri	41
Çizelge 6.4. Namlu içi konum-zaman değerleri.....	43
Çizelge 6.5. Namlu içi hız - zaman değerleri.....	45
Çizelge 6.6. Namlu içi sıcaklık – zaman değerleri.....	47
Çizelge 6.7. Namlu içi basınç – konum değerleri	49
Çizelge 6.8. Namlu içi hız – konum değerleri.....	51
Çizelge 6.9. Namlu içi sıcaklık – konum değerleri.....	53
Çizelge 6.10. Namlu içi basınç – zaman değerleri	55
Çizelge 6.11. Heydenreich balistik tablosu	57
Çizelge 7.1. İmplicit ve eksplisit yöntemlerinin karşılaştırılması	64
Çizelge 7.2. Von-Mises ve Tresca Kriterlerinin karşılaştırılması	65
Çizelge 7.3. 4340 çeliğinin kimyasal bileşenleri	66
Çizelge 7.4. Merminin konumuna göre 0-2 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi	67
Çizelge 7.5. Merminin konumuna göre 2-5 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi	68
Çizelge 7.6. Merminin konumuna göre 5-10 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi	68

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.7. Merminin konumuna göre 10-15 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	69
Çizelge 7.8. Merminin konumuna göre 15-20 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi	69
Çizelge 7.9. Merminin konumuna göre 20-25 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	70
Çizelge 7.10. Merminin konumuna göre 25-30 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi	70
Çizelge 7.11. Merminin konumuna göre 30-35 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	71
Çizelge 7.12. Merminin konumuna göre 35-40 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	71
Çizelge 7.13. Merminin konumuna göre 40-50 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	72
Çizelge 7.14. Merminin konumuna göre 50-60 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	72
Çizelge 7.15. Merminin konumuna göre 60-70 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	72
Çizelge 7.16. Merminin konumuna göre 70-80 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	73
Çizelge 7.17. Merminin konumuna göre 80-90 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	73
Çizelge 7.18. Merminin konumuna göre 90-100 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	73
Çizelge 7.19. Merminin konumuna göre 100-120 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	74
Çizelge 7.20. Merminin konumuna göre 120-140 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	74
Çizelge 7.21. Merminin konumuna göre 140-160 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	74

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.22. Merminin konumuna göre 160-180 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	74
Çizelge 7.23. Merminin konumuna göre 180-198 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi.....	74
Çizelge 7.24. Namlunun ağırlık ve ilgili parametreleri	80
Çizelge 7.25. Namlunun 1. İterasyon sonundaki ağırlık ve ilgili parametreleri.....	83
Çizelge 7.26. Namlunun 2. iterasyon sonundaki ağırlık ve ilgili parametreleri.....	85
Çizelge 7.27. Ansys ve Lame çözümü karşılaştırma tablosu	87
Çizelge 8.1. Namlu ağırlıkları karşılaştırması.....	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Boyutsuz anlık basınç yükünün zamana bağlı değişimi	14
Şekil 6.1. Namlu içi konum - zaman grafiği	42
Şekil 6.2. Namlu içi hız – zaman grafiği	44
Şekil 6.3. Namlu içi sıcaklık – zaman grafiği	46
Şekil 6.4. Namlu içi basınç – konum grafiği	48
Şekil 6.5. Namlu içi hız – konum grafiği	50
Şekil 6.6 Namlu içi sıcaklık – konum grafiği	52
Şekil 6.7. Namlu içi basınç – zaman grafiği	54
Şekil 7.1. İlk yaklaşım için maksimum gerilme grafiği	81
Şekil 7.2. 1. iterasyon sonundaki maksimum gerilme grafiği.....	82
Şekil 7.3. 2. iterasyon sonundaki maksimum gerilme grafiği.....	84
Şekil 7.4. Lame denklemi – eksplisit gerilme değerleri karşılaştırma grafiği.....	88
Şekil 8.1. Namlulardaki gerilme değerleri karşılaştırma grafiği	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. İç balistik modeli	8
Resim 3.1. Namlu içi mesafe – basınç ilişkisi (psi-inç)	12
Resim 3.2. Namlunun bölümlendirilmesi	13
Resim 4.1. Havan topu ve mühimmatları	19
Resim 4.2. Tank topu ve mühimmatları	20
Resim 4.3. Obüs ve mühimmatları.....	20
Resim 4.4. Çekili obüse ait alt sistemler	21
Resim 4.5. Sevk çemberi	23
Resim 4.6. Namlu kesiti	28
Resim 4.7. Namlu-kamapayı vidalı bağlantısı	28
Resim 4.8. Yiv – set görünümü	32
Resim 5.1. Birim eleman üzerindeki gerilmeler	36
Resim 5.2. Silindir cidarı üzerinde gerilmelerin değişimi	37
Resim 7.1. Namlu parçasına etki eden faktörler	77
Resim 7.2. Namlu parçasının örülmüş hali	77
Resim 7.3. Namlunun cad modeli	80
Resim 7.4. İlk namlu için kesit resmi	81
Resim 7.5. Namlunun kesit resmi ve bazı ölçüleri.....	81
Resim 7.6. 1.İterasyon için kesit resmi.....	82
Resim 7.7. Namlunun 1.iterasyon sonundaki cad modeli	83
Resim 7.8. Namlunun 1. İterasyon sonundaki kesit resmi ve bazı ölçüleri...	83

Resim	Sayfa
Resim 7.9. 2.İterasyon için kesit resmi.....	84
Resim 7.10. Namlunun 2.iterasyon sonundaki cad modeli	85
Resim 7.11. Namlunun 2. İterasyon sonundaki kesit resmi ve bazı ölçüleri.	85
Resim 8.1. İlk olarak ele alınan namlu modeli.....	89
Resim 8.2. 1.iterasyon sonundaki namlu modeli.....	89
Resim 8.3. 2. İterasyon sonundaki namlu modeli.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
A	Namlu kesit alanı, m ²
°C	Sıcaklık (Santigrat derece)
D_i	Namlu İç çapı, mm
D_o	Namlu Dış Çapı, mm
dV	Diferansiyel eleman hacmi, m ³
E_k	Kinetik enerji, joule
F	Kuvvet, N
/	Yanma odasının uzunluğu, m
K	R ₂ 'nin R ₁ 'e oranı, boyutsuz
L	Namlu boyu (Yanma odası sonrası), m
m_g	Mermi ardındaki gaz kütlesi, kg
m_p	Mermi ağırlığı, kg
m_B	Barut ağırlığı, kg
P_o	Ortalama gaz basıncı, MPa
P_m	Maksimum gaz basıncı, MPa
P_e	Namlu ağzındaki basınç, MPa
R	İdeal gaz sabiti
R₁	Namlu iç çapı, mm
R₂	Namlu dış çapı, mm
T	Mutlak sıcaklık (Kelvin)
T_i	Gazın ilk sıcaklığı (Kelvin)
t	Zaman, ms
t_e	Merminin namlu içinde geçirdiği süre, ms
U_o	Namlu ağzı mermi çıkış hızı, m/s
X	Yer değiştirme, cm

Simge	Açıklama
V	İdeal gaz hacmi, m ³
V_m	Merminin hızı, m/s
V_c	Yanma odası hacmi, m ³
Q	Sisteme eklenen enerji, joule
ΔU	İç enerjideki değişim, joule
W	Sisteme yapılan iş, joule
γ	Gazın özgül ısı oranı
η_p	Piezometrik verim
X_e	Namlu boyu, m
σ_t	Teğetsel Gerilme, MPa
σ_r	Radyal Gerilme, MPa
σ_e	Eksenel Gerilme, MPa
σ_E	Eşdeğer Gerilme, MPa
Σ η, θη, Φη, T η	Vallier - Heydenreich balistik faktörleri

1. GİRİŞ

Savunma sanayimizin çağdaş ülkeler düzeyine ulaşamayışı nedeniyle ülkemiz uzun yıllar teknolojide dışa bağımlı kalmıştır. Özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra Marshall projesi olarak da bilinen eskimiş, hizmet dışı kalmış teknolojilerin NATO ülkelerine hibe projesi bu ülkelerin kalkınmasına büyük zararlar vermiştir. 1964 Kıbrıs Bunalımı ve 1974 Kıbrıs Barış Harekâtıyla ülkemize ambargo uygulanmış ve bu dönemden sonra ulusal sanayinin önemi anlaşılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda çeşitli yollarla teknolojilere sahip olunmuş ve üretim yapılmıştır. Teknoloji transferi veya tersine mühendislik yaparak sahip olunan bu teknolojilerin aslında Marshall projesinin devamı niteliğinde olduğu açıktır. Bunu aşabilmek için, özellikle son yıllarda yapılan özgün tasarım ve mühendislik faaliyetlerinde artma çabasına girilmiş, milli projeler devreye sokulmuş, bilgi paketlerinin ülkemize ait olması için çalışmalar başlatılmıştır. Tasarım, analiz, malzeme ve imalat bilgisiyle gerekli alt yapıya sahip olunması sonucunda özgün ürünler ortaya çıkacak ve savunma sanayine esas katkı o zaman yapılabilecektir.

Yurt dışından satın alınan her silah ülke ekonomisinde büyük döviz kaybına neden olmakta ve dışa bağımlı kalmanın getirdiği siyasi ve stratejik mahsurlarla karşı karşıya kalınmaktadır. Bu açıdan silah teknolojisi konusunda üniversitelere, teknoloji enstitülerine ve ar-ge kuruluşlarına büyük görev düşmektedir.

Balistik konusunda yabancı ülkelerde yapılmış çalışmalar bulunmasına rağmen, bu eserlerden dilimize çevrilmiş olanların sayısı sınırlıdır. Silah ve mühimmat üretimi yapan kamu kurumu ve özel sektörler patent altında çalışma yapmaktadırlar. Silah ve mühimmatın lisanslı tasarımı ve üretimi yapılmadığından, balistik dalında da danışılacak kurum sayısı azdır. Bu yüzden de yapılan literatür araştırmaları çok sınırlı kalmıştır. Bunun en önemli nedeni, yüksek hızda deneysel çalışmanın özellikle ölçme hassasiyeti açısından çeşitli zorluklar içermesi ve dolayısıyla yeni çalışmalara temel

oluşturacak verisel altyapının eksikliğidir. Diğer bir nedeni ise konunun askeri gizlilik içermesidir.

Bu tezde uzunluğu ve iç çap değeri bilinen M101 top namlusu 1,25 emniyet katsayısı ile 270 kilogramdan 2 iterasyon yapılarak 115,95 kilografa hafifletilmiştir. Hafifleştirme sırasında analitik yöntemlerle çözümlenmesi oldukça zor olan namlu cidar kalınlığının patlama sonucu oluşan basınç değerleriyle, eksen boyunca hesaplanması ve optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, seçilen mühimmata ait basınç değerleri “PRODAS” programıyla elde edilmiştir. Namlu tasarımı 3 boyutlu tasarım programı olan “CATIA” da yapılmış ve tasarlanan model sonlu elemanlar paket programı “ANSYS WORKBENCH”e aktarılmıştır. Model burada çözümlenerek gerilme dağılımında kritik yerler (gerilmenin yığıldığı yerler) belirlenmiş ve bu yüksek gerilme değerlerine göre namlu cidar kalınlığı, emniyet faktörü ve otofretaj katkısı hesaba katılarak hesaplanmıştır. Çözüm yapılırken elde edilen basınçlar değerlendirilmiş, modele bu basınç değerlerinin doğru verilebilmesi için algoritmalar çalışılmış ve sonuçta gerçek patlama olayını temsil edebilecek bir sistem oluşturulmuştur. Balistik değerler Vallier-Heydenreich yöntemiyle, gerilme değerleri ise Lamé denklemiyle tekrar analiz edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmış ve oluşan farkların sebepleri tartışılmıştır.

2. BALİSTİK BİLİMİ VE TARİHİ GELİŞİMİ

Balistik sözcüğünün, Yunanca 'ballein' (fırlatmak) kelimesinden türetildiği, başka bir rivayete göre de Fransızca "Balistique" sözcüğünden geldiği ifade edilmektedir. "Balistik" için farklı tanımlar yapılmıştır. Genel anlamıyla atılmış merminin hareketini inceleyen bir bilim dalıdır [1]. Bir başka tanıma göre de, uzaya fırlatılan cisimlerin, özellikle mermilerin bir silahın içindeki ve dışındaki hareketlerini ve hedef üzerindeki etkisini inceleyen bilimdir [2].

Balistik biliminin tarihi ilk kez barut kullanımı ile başlamaktadır. Çinlilerin 10. yüzyıldan önceki yıllarda güherçile esaslı barut kullandıkları 12. Yüzyılda Müslüman Endülüslerin, İspanya'da, kolayca tutuşabilen tozlarla uğraştıkları, Hindistan'da eski Sanskritçe yazılara göre 13. yüzyılda barutun kullanılmış olduğuna dair görüşler ileri sürülmüştür. Ancak, barutun önce kimler tarafından bulunduğu ve hangi amaçla kullanıldığı tam olarak netlik kazanamamıştır [1]. İç balistiğin tarihçesi, kara barutun kullanılmaya başlanması ile başlamasına rağmen, ilk inceleme tarihi henüz tam olarak tespit edilememiştir. 1346 yılında İngiltere ile Fransa arasındaki savaşta kullanıldığı bilinmektedir [3].

1742'de Benjamin Robins balistik sarkacı icat etmiş ve bu sarkaç ile silahların namlu ağzı çıkış hızlarını tespit etmiştir. "Yeni Atış Tekniği Prensipleri" adlı kitabında iç balistiğin temel problemlerini incelemiş ve basınç değerleri için namlu çıkış hızlarını hesaplamıştır. 1792'de Amerikalı Count Rumfort ilk defa deneysel olarak barut gazının basıncını ölçmüştür. Deney sonuçlarından gaz basıncı ile gaz yoğunluğu arasında ilişki olduğunu tespit etmiştir. Rumfort'un basınç, yoğunluk ilişkisi ve barut tam olarak yandıktan sonra merminin harekete geçeceği kabul edilerek yapılan 18. yüzyıl sonundaki çalışmalarında basınç değişimi ile atış mesafesinin değişimi hesaplanmıştır. Basınç, mühimmat uçuş yörüngesinin hesaplanması sonucundan namlu ağzı çıkış hızı hesaplanarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [4].

Fransız Piobert 1839'da kendisine ait yanma kanununu açıklamıştır. Bu kanun yalnızca kara barut için geçerli olmuş ancak iki veya daha çok bazlı barutlar ile paralellik göstermiştir. Piobert namı içindeki gaz hareketlerinin yaklaşık çözümünü vermiştir. Aynı zamanda bu konu ile ilgili olarak Lagrange'da Fransız devrimi boyunca ilgilenmiştir. Ayrıca Piobert silah sistemleri üzerindeki etki tepki kuvvetleri üzerinde de çalışmıştır. 1857'de Amerikalı General Rodman barut gazı basıncını, basınç masterları kullanarak ölçmeyi başarmıştır. Kama tarafına açılan bir çentiğe bakır veya kurşun doldurulduktan sonra ateşleme yapılmış ve gaz basıncının etkisi ile ezilen bakır veya kurşunun ezilme miktarından maksimum gaz basınç kuvvetini hesaplamıştır. Aynı zamanda bu deney ile kapalı kap içindeki basınç, yoğunluk ilişkisini de ortaya çıkarmıştır. Rodman bununla beraber barutun verimli bir şekilde yanabilmesi için barut tanelerinin olması gereken şekilleri ile de çalışmıştır. 1860'da Andrew Noble tarafından masterlar geliştirilmiş ve bu masterlar ile daha doğru basınç ölçümleri yapılmıştır. Noble ile Frederick Abel sabit hacimde basınç – yoğunluk ilişkisini ifade etmişlerdir. Barutun yanma enerji eşitliği 1864'de Resal tarafından verilmiştir. Bu ifade iç balistiğin termodinamik modelinin temelini oluşturmaktadır [4].

Bugünkü anlamda balistik biliminin temelleri 1800'lü yılların ortalarında ortaya çıkmıştır. Bu tarihlerde belirlenen prensipler daha sonraki yıllarda giderek geliştirilmiş ve 20. yüzyılın başlarında balistik bir bilim olarak ortaya çıkmıştır. 1835 yılında Londra'da Hery Goddard adlı bir polis, mermi çekirdeği mukayesesi yapan ilk kişi olmuştur. Olaydan elde edilen ve çentik taşıyan mermi çekirdeği ile kendisinin döktüğü ve hepsinde aynı çentiği taşıyan mermi çekirdeklerinin benzerliğini karşılaştırarak katilin yakalanmasını sağlamıştır. 1863 yılında Amerikan iç savaşında Virginia Chancellorsville'de Komutan General Stonewall Jackson'un umulmadık bir şekilde yaralanıp ölmesi olayında, elde edilen mermi çekirdeğinin şekil ve çapından tanımlanmıştır. Bu mermi çekirdeğinin incelenmesinde 67 kalibre (0,675 inç çaplı) ve yuvarlak şekilli olduğu görülmüş, bu tip mermi çekirdeklerinin eski tip piyade tüfeklerinde olduğu, General Stonewall Jackson'un kendi

askerlerinden biri tarafından kazara vurulduğu anlaşılmıştır. 1900'lerin ilk yıllarında balistik bilimi, mermi çekirdekleri ve mermi kovanlarının, atıldığı silah ile ilişkilendirilmesine olanak sağlayacak seviyeye ulaşmıştır. 1909-1923 yılında Paris Üniversitesi'nde Adli Tıp Profesörü olan V. Balthazard, mermi çekirdeklerinin belli bir silahtan atıldığını tanımlayan bir yöntem yayınlamıştır. Bu yöntemde deneme atışlarından elde edilen ve olaydan gelen mermi çekirdekleri üzerindeki set izlerinin fotoğrafları çekilmiş ve büyütülerek karşılaştırılmıştır. Balthazard, aynı zamanda silahın iğnesi, tırnağı, çıkartıcısı, mermi yatağının arka yüzünün (tabla) bıraktığı izlerin karşılaştırılmasına dayanan yöntemle, fotoğraflar yardımıyla kovanın hangi silahtan atıldığının tespit edilebileceğini ileri sürmüştür. 1925 yılında Newyork'ta, mermi kovanı ayırımında ilk defa mukayese mikroskobu kullanılmış olup, günümüzde halen standart bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Daha sonra aynı kişiler namlunun içini inceleyen ve setlerin kıvrımını ölçmeye yarayan 'Helixometer'i geliştirmişlerdir. Adli balistik terimi de, o dönemlerde Goddard tarafından kullanılmıştır. Bu yıllardan itibaren balistik bilimi teknoloji ile birlikte hızla ilerlemiştir [1].

II. Dünya savaşı sonrasında karmaşık matematiksel modeller ortaya çıkmıştır. Ancak birçok sadeleştirmeden dolayı bu modeller kullanılmaya elverişli olmamıştır. Bilgisayar programlarının gelişmesi ile silah sistemleri daha doğru hesaplanmıştır [4].

2.1. Balistik Tipleri

Balistik, iç balistik, dış balistik ve terminal balistik olmak üzere üçe ayrılır.

2.1.1. İç balistik (Internal ballistic)

Silahlarda ateşlemenin başlamasından, merminin silah namlusunu terk edişine kadar meydana gelen olayların tümüne iç balistik denir. İç balistiğin temel görevi mermi, namlu ağzını terk ederken, mermiye istenen bir ilk hız ve

dönü kazandırmaktır. İç balistiğin temel denklemleri, hareket denklemleri, hal denklemleri, enerji dengesi, sürtünme kuvveti ve mermi çekirdeğinin dönmesi, ısı kaybı ve mermi çekirdeğinin dönme enerjisi olarak verilir [5].

Hareket denklemi

Namlu içerisinde barutun yanması ve mermi çekirdeğinin hareket etmesi, termodinamik, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile ilgilidir. Namlu içinde çekirdeğin hareketi Newton Hareket Kanununa uymaktadır [6].

Hal denklemi

Barut gazlarının hal denklemi, gazların yoğunluğu, sıcaklığı ve basıncı arasındaki bağıntıdır. Namlu içerisindeki yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle, barut gazları ideal gaz kanuna uymazlar. Barut gazları için sıkıştırılabilirlik etkisinin de göz önüne alındığı “Ampirik” formül geçerlidir. Ancak bu formülün yerine daha basit olan “Abel Hal Denklemi” uygulanabilir [6].

Enerji dengesi

Barutun yanması sonucunda ortaya çıkan enerji, mermi çekirdeğinin kinetik enerjisini, namlu içerisinde çekirdeğin arkasından hareket eden gaz partiküllerinin kinetik enerjisini, çekirdek ile namlu arasındaki sürtünme kayıplarını, mermi çekirdeğinin dönme enerjisini namludan atmosfere yayılan ısı kaybını karşılar [6].

Sürtünme kuvveti ve mermi çekirdeğinin dönmesi

Mermi çekirdeğine dönme hareketini, namlu içinde bulunan “yiv-set” ler verir ve çekirdeğin arkasındaki basıncın sızmasını önler. Namlu ile sevk çemberi arasında belli bir toleransla sıkı geçme hali mevcuttur. Dolayısıyla mermi çekirdeğinin arkasındaki gaz basıncının bir kısmı, çekirdeğin döndürülmesi

sırasında, setlerdeki sıkı geçme ve sürtünme kuvvetinin yenilmesine harcanır [6].

Isı kaybı

Barutun yanması sonucu ortaya çıkan ısının bir kısmı, soğuk olan mermi çekirdeğinin ısınmasında kullanılır. Isı kaybı oranı atışın yapıldığı ortamın sıcaklığına ve atımlar arasındaki zaman aralığına bağlıdır [6].

Mermi çekirdeğinin dönme enerjisi

Çekirdeğin dönüşü dengeli ise, dönme hareketi çekirdeğe “yiv-set”ler tarafından sağlanmıştır. Enerjinin bir kısmının dönmeye harcanması nedeniyle de merminin ivmelenmesi için gerekli kuvvet azalmıştır [6].

Namlu iç balistiğin fiziksel modellenmesi

Mühimmatın kimyasal enerjisi namluda gaz, dolayısıyla kinetik enerjiye dönüşür ve bunu basınç yükselmesi izler. Namlu içindeki fiziksel olayları ideal gaz denkleminde yola çıkarak ifade edelim.

$$pV = m_g RT \quad (2.1)$$

Bu ideal gaz denkleminde silah içindeki gazın durumunu belirleyebiliriz. Termodinamiğin 2. Yasası şöyledir.

$$Q = \Delta U + W + \text{Kayıplar} \quad (2.2)$$

Sisteme enerji eklendiğinde “Q”, iç enerji arttığında “ ΔU ”, sisteme iş yapılırsa “W” pozitif, kayıplar negatif olacaktır. Yapılan işi tanımlarsak,

$$W = \int F \cdot dx \quad (2.3)$$

Kuvvet ve basınç terimlerini eşitliğe eklersek,

$$F = p \cdot A \quad (2.4)$$

$$W = \int p A dx \quad (2.5)$$

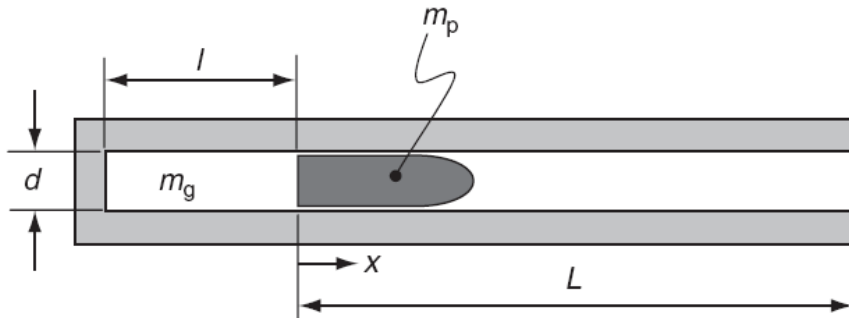
A, yüzeyin kesiti, dx diferansiyel elemanın uzunluğu ise elemanın hacmi dV şöyle ifade edilir:

$$dV = A \cdot dx \quad (2.6)$$

(2.5) denkleminde yerine koyarsak,

$$W = \int p dV \quad (2.7)$$

Namlu iç balistik modelini basitçe şematize edelim (Resim 2.1).



Resim 2.1. İç balistik modeli

Silah sistemi şekilde adyabatik ve sürtünmesiz olarak kabul edilmiştir. Yanma odası hacmini hesaplırsak,

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} l \quad (2.8)$$

Burada merminin hayali bir yay ile sıkıştırıldığını ve potansiyel enerji depoladığını varsayalım. Sistem adyabatik ve sürtünmesiz kabul edildiği için (2.2) denklemini aşağıdaki gibi sadeleştirebiliriz.

$$0 = \Delta U + W \quad (2.9)$$

Mermi ateşlendikten sonra (2.1) denklemini (2.7) denkleminde düzenlenirse,

$$W = \int m_g R T \frac{dV}{V} \quad (2.10)$$

(2.10) denklemini mermiye yapılan işi hacmin bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Burada mermiyle itilen gaz ağırlıksızdır. Bu yüzden burada enerji harcanmamaktadır. (2.10) denklemindeki sıcaklık ifadesini kaldırdığımızda kapalı bir sistem için mutlak sıcaklık T , gazın ilk sıcaklığı T_i ise,

$$T = T_i \left(\frac{V_c}{V} \right)^{(\gamma-1)} \quad (2.11)$$

(2.11) denklemini (2.10) da yerine koyarsak,

$$W = m_g R T_i V_c^{(\gamma-1)} \int_{V_c}^V V^{-\gamma} dV \quad (2.12)$$

Şimdiye kadar düzenlenen formüller hacimsel formüllerdi. Bunları mesafeye göre düzenlememiz gerekmektedir. Çünkü balistikte önemli olan mesafe-basınç ilişkisidir. İç çapın namlu boyunca sabit kaldığı bilindiğine göre (2.9) eşitliği (2.12) eşitliğinde düzenlenirse,

$$W = m_g RT_i I^{(\gamma-1)} \int_0^L (I+x)^{-\gamma} dx$$

(2.13)

İntegrali açarsak,

$$W = \frac{m_g RT_i I^{(\gamma-1)}}{(1-\gamma)} [(I+L)^{(1-\gamma)} - I^{(1-\gamma)}] \quad (2.14)$$

Mermi için kinetik enerji denkleminde,

$$E_k = \frac{1}{2} m_p v_m^2 \quad (2.15)$$

Tüm enerjinin kayıpsız kinetik enerjiye dönüştüğünü kabul edersek (2.14) ve (2.15) denklemlerini aşağıdaki gibi yazabiliriz,

$$E_k = \frac{1}{2} m_p v_m^2 = \frac{m_g RT_i I^{(\gamma-1)}}{(1-\gamma)} [(I+L)^{(1-\gamma)} - I^{(1-\gamma)}] \quad (2.16)$$

(2.16) denklemini kullanarak namlu ağzı mermi çıkış hızını (2.17) denklemiyle tahmin edebiliriz.

$$v_m = \sqrt{2 \frac{m_g RT_i I^{(\gamma-1)}}{m_p (1-\gamma)} [(I+L)^{(1-\gamma)} - I^{(1-\gamma)}]} \quad (2.17)$$

2.1.2. Dış balistik (Eksternal ballistic)

Mermi çekirdeğinin namluyu terk ettikten hedefe çarpıncaya kadar geçen zaman içinde meydana gelen olaylarla, yani mermi çekirdeğinin yörüngesi ve bu yörünge üzerindeki hareketi ile ilgilenir. Hava direnci, yer çekimi etkisi,

mermi çekirdeğinin düşüşü, sapması ve dengesi gibi konular dış balistiğin konuları arasındadır [1].

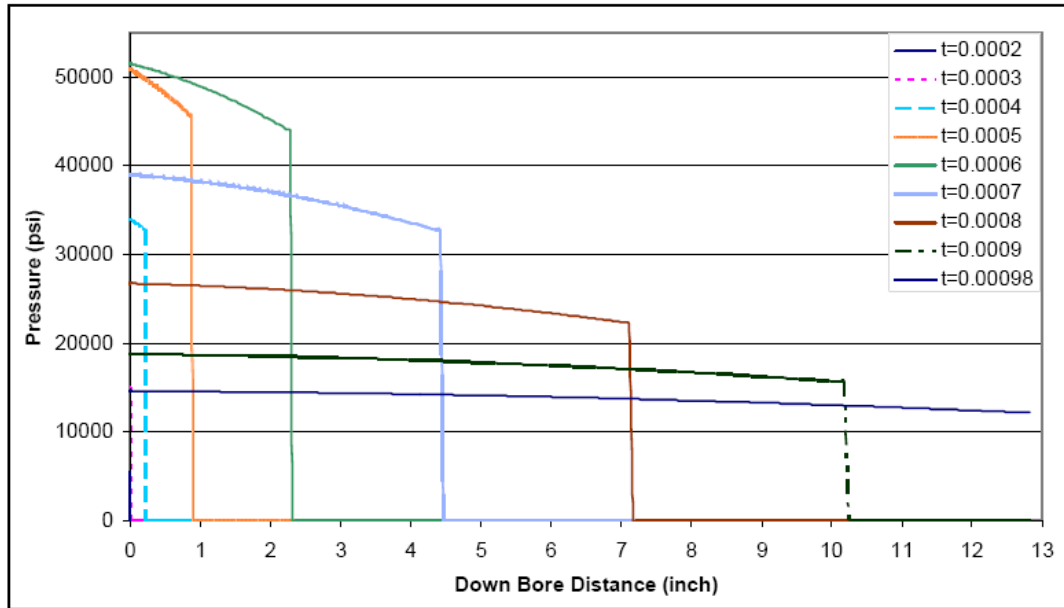
2.1.3. Terminal balistik

Mermilerin hedef üzerinde meydana getirdiği etkilerin incelendiği balistik türüdür. Bu etkiler, zırhlı hedeflerin delinmesi, hedefte parça tesiri, hedefte patlama etkisi, hedefte yangın tesiri, hedefin aydınlatılması, sis, zehirli gaz ve radyoaktif etkilerdir. Hedef balistiği olarak da tanımlanır [6].

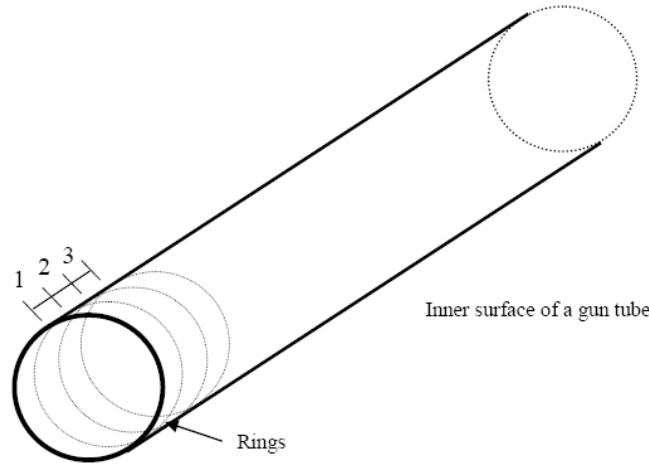
3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Amerikan askeri araştırma laboratuvarlarında yapılan çalışmalar göstermiştir ki, zamana bağlı namlu içi basınç çalışmalarında sonlu elemanlar programına girdi oluşturması amacıyla bir bilgisayar programı basınçları hesaplamak için kullanılmıştır.

Namlu basınçlandırmasında basınç değerleri balistik kodlardan alınmış, namlu içinde küçük ilerlemelerle Resim 3.1'de basınç - zaman eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra basınç eğrileri Resim 3.2'de ki gibi namlunun iç yüzeyi ile eşleştirilip İstenen zaman aralıkları programa girilmiş ve çözdürülmüştür [7].



Resim 3.1. Namlu içi mesafe – basınç ilişkisi (psi-inç) [7]



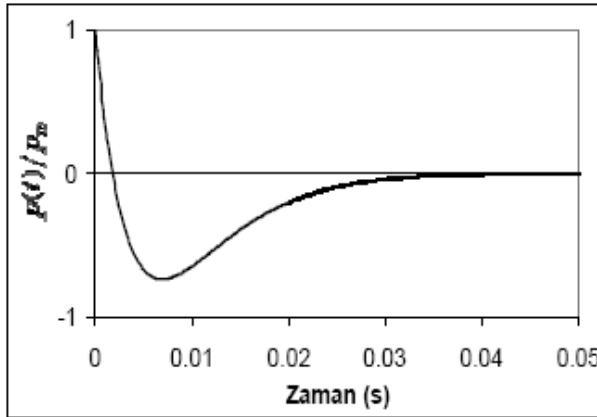
Resim 3.2. Namlunun bölümlendirilmesi [7]

Başka bir çalışmada ise mermi atım yolunun tasarımı, belirlenen basınç altında çalışılmıştır. Ansys programının Ls-Dyna modülü namlu içi zamana bağlı dinamik analizin çözümü için kullanılmıştır. Namlu çıkış hızı, ağırlığın %25 fazla olmasından dolayı hedeflenenden % 85 daha az olmuştur. Malzemede namlu içi hareket sırasında deformasyon olmadığı öngörülmüştür. Testler 3 ayrı ağırlıktaki mühimmatla gerçekleştirilmiş, ağırlığın sistemdeki etkileri incelenmiş ve elde edilen değerler tartışılmıştır. Örneğin, 1. düzenek için, ateşlemeden 2,1 milisaniye sonra basınç maksimum düzeye ulaşmıştır ve merminin hareketi namluda 5 milisaniye sürmüştür. Namlu çıkış hızı ise 1500m/s olarak hesaplanmıştır. 2. testteki namlunun 1 milimetrelik cidar artımı maksimum Von Misses gerilmesini azaltmıştır ve yine kalıcı deformasyon yaratmadığı varsayımı yapılmıştır. 3. testte kullanılan daha kalın cidarlı namluda Von-Misses gerilmeleri azalmıştır [8].

Haydar Uyanık ve Zafer Kazancı yapmış oldukları çalışmada, patlama ve anlık basınç yükü gibi zamana bağlı dış uyarımlar altındaki elastik yapıların dinamik cevabının tasarımda oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışma kapsamında anlık basınç yüklerinin atmosferde şok veya patlama dalgası şeklinde ortaya çıktığı, şok veya patlama dalgasının ise patlama

kaynağından üretilen sıcak gazların çevresindeki atmosferi kuvvetli bir şekilde geri itmesiyle oluştuğu vurgulanmıştır. Patlama dalgası şiddetine bağlı olarak yakın ve uzak çevresindeki yapılara değişik boyutlarda hasar verdiği anlatılmıştır [9].

Türkmen çalışmasında, patlama kaynağının yapının yakınında olduğunda basınç yükünün hem zamana bağlı hem de yapı üzerinde konuma bağlı düzgün olmayan sinüzoidal bir dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Patlama kaynağının yapıdan yeteri kadar uzakta olduğu durumlarda ise yapı üzerindeki basınç dağılımı Şekil 3.1'de ki gibi zamana bağlı düzgün yayılı basınç yükü olarak kabul edilebilir hale gelmektedir [10].



Şekil 3.1. Boyutsuz anlık basınç yükünün zamana bağlı değişimi [10]

Bir diğer çalışmada anlık basınç yükü etkisindeki plakanın zamana bağlı dinamik hareketinin çözümü için maksimum basınç değeri 0,001 MPa ve zaman adımı 0,1 milisaniye alınarak çözüm elde edilmiştir. Ayrıca plaka Ansys yazılımı ile de modellenmiş ve plığın serbest kenar orta noktasının zamana bağlı deplasman hareketi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [11].

Underwood ve arkadaşları sonlu fark modelleriyle zamana bağlı yanma ve konveksiyon katsayısı datalarını balistik kodlardan alarak tek boyutlu ısı akışı için kullanmışlardır. Ayrıca Underwood namli ekseninde oluşan sıcaklığı belirlemek için sonlu elemanlar metodundan faydalanmış, termal ve kayma gerilmelerini tahmin etmiştir. Bu gerilmeler dökme malzemeli top namlusunda erozyon ve çatlak gelişimi açısından değerlendirilmiştir [12].

Bundy tarafından yapılan bilgisayar simülasyonunda ise top namlusunun iç sıcaklığı belirlenmiş, gerçek atışlardaki verilerle karşılaştırılmıştır. Ancak yaptığı simülasyonun detaylarını anlatmamıştır. Deneysel çalışmada değişik namlularda namli içine dört değişik ekseninde iki çeşit termocouple yerleştirmiştir. Karşılaştırmalarda hata veren kısımları mühimmatın doğal yapısına bağlamıştır [13].

South ve Carter iki eksenli transient ve asimetric olarak 120 mm M256 top namlusunu modellemişlerdir. Bu modellemeyi istenen bir an ve mesafede iç ve dış yüzeylerinin sıcaklıklarını belirlemede kullanmışlar ve sıcaklığı zamanın bir fonksiyonu olarak almışlardır [14].

Simkins top namlusunun yüzeyinde balistik olaydan sonra mermiyi saran dinamik basınç dalgalarının etkilerini doğrulamak için çalışmıştır. En düşük hata oranıyla kalın duvarlı silindirlerde sistemin dinamik cevabını balistik yaklaşımı içinde incelemiştir [15].

Shephard çalışmasında balistik olay esnasında oluşan gazın dinamiğini incelemiş, patlamaların düzensizliğini ve basınç dalgalanması yaptığını anlatmıştır. Analizi basitleştirmek için basınç dalgaları ihmal edilmiş ve ortalama bir basınç değeri kullanılmıştır. Shephard ayrıca patlama sonrası oluşan basınç gerilmelerinin termal gerilmelerden çok daha fazla bir büyüklüğe sahip olduğunu göstermiştir. Bunu da ısı transferinin zamana göre basınç etkisinden daha yavaş olmasına bağlamıştır [16].

Koh ve arkadaşları, oluşan yüksek basıncın kama sisteminde yorulmaya etkisini simüle etmişlerdir. Bunun için sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Bu modelde kama sisteminin iç çapına balistik yükler etki ettirilmiştir. Sonuçta gerilme oluşan yerler daha ileri çalışmalar için belirlenmiş ve tekrarlı yükleri kama sistemine yorulmayı görmek için vermiştir. Daha sonra, çıkan sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve %15 lik bir hata payıyla yorulma ömrünü hesaplamışlardır [17].

4. ATEŞLİ SİLAHLAR

Barut gaz basıncı etkisi ile mermi veya mermi çekirdeği adı verilen özel şekil ve nitelikteki maddeleri uzak mesafelere atan aletlere ateşli silah denmektedir [18].

Günümüz silahlarının (tabanca ve makineli tüfekler) temel çalışma prensibi hemen hemen aynıdır. İlk başta elle kurulan mekanizma bir mermiyi hazneye alır, ardından tetiğe basıldığında horoz iğneye çarpar ve fişeğin içindeki barut ateşlenir. Barutun oluşturduğu basınçla çekirdek, namlu içerisindeki yivler sayesinde dönerek çıkar ve dönme sonucu oluşan jirasyon dengesi yardımıyla hedefe sapmadan gider. Bu esnada haznedeki basıncın bir kısmı mekanizmayı geri itmede kullanılır. Geri gelen mekanizma kurulan yay gücüyle tekrar ileri hareket ederek yeni bir mermiyi hazneye alır ve ikinci atışa hazır hale gelir [19].

4.1. Ağır Silah Sınıflandırması

Ağır silah, hafif silahlardan veya piyade silahlarından daha büyük çaplı, mürettebat tarafından kullanılan top, obüs veya roketatar gibi modern savaş silahlarına verilen isimdir. Namlusu 60 kalibreden (0,6 inç veya 15 mm) büyük olan silahlar ağır silah, daha küçük namlulular ise hafif silah olarak adlandırılır [20].

Ağır silahlar arazide kullanımlarına bağlı olarak, dağ topları veya obüsleri, tank ve tanksavar topları ve uçaksavar silahları gibi birçok özel sınıfa ayrılırlar. Her sınıfın kendine has ihtiyaçları ve ateşleme usulleri vardır. Ağır silahlar kullanılan bir diğer sınıflandırmaya göre de, toplar, obüsler, havanlar ve roketatarlar olarak ayrılır. Aynı çaptaki ağır silahlardan uzun namlulu, uzun menzilli ve mermi yolu daha yatay olanlara top, namlusu ve menzili daha kısa ve mermi yolu yumuşak yay çizenlere obüs, çok kısa namlulu kısa menzilli ve yüksek bir açıyla ateşlendiği için mermi yolu firkete biçiminde olanlara havan

adı verilir. Hem top hem de obüs özelliği taşıyan ara tipler ise obüs-top olarak adlandırılır [21].

Mermi kompleksi uçuş yolu ve silah sistemi,

1-Havan, yüksek açı grupları

2-Obüs, orta ve yüksek açı grupları

3-Top, tank topu, düz ve orta açı grupları olarak ayrılır.

Havan, yivli veya yivsiz olmak üzere iki tiptir ve kısa namlulu, sabit iğneli bir ağır silah çeşididir. Günümüzde 60 mm, 81 mm, 82 mm, 106 mm ve 120 mm'lik havanlar kullanılmaktadır. Düşük hazne basınçlı, ince ve hafif bir namlusu bulunan havanın, menzili diğer ağır silah türlerine kıyasla kısadır. Havanlar tek barut hakkı ile kullanılırlar [22].

Obüsler ve toplar görerek veya görmeyerek yüksek açılarda ateş edebilen ateşli silahlardır. İkisi arasındaki ayırım çok belirgin değildir. 1980'li yıllara kadar namlu uzunluğu/namlu çapı oranı 20'den küçük silahlar havan, 20 ile 30 arası olanlar obüs, 30'dan büyük olanlar top olarak adlandırılmaktaydı. Günümüzde üst açı grubu atışlarda iki veya daha çok farklı barut hakkıyla aynı noktayı vurabilen topçu silahları obüs olarak adlandırılmaktadır. Karada kullanılan obüsler 105 ile 203 mm arasında değişen çaplara sahiptirler ve hareket kabiliyetlerine göre ikiye ayrılırlar. Başka bir araçla çekilenler çekili obüs, kendi motoru ile yol alan ve genellikle paletli olanlar kundağı motorlu obüsler olarak adlandırılırlar. Bu ikisi arasında kısa mesafeleri kendi motoruyla gidebilen Panter gibi kendi yardımcı motoruna sahip çekili obüsler de bulunmaktadır [22].

Tank, ana görevi doğrudan ateş gücü kullanımıyla düşman kuvvetlerine saldırmak olan, paletli ve zırhlı bir savaş aracıdır. Tankları diğer savaş araçlarından ayıran özellikleri ağır bir zırha, yüksek ateş gücüne ve her türlü arazide hızla gidecek şekilde tasarlanmış sürüş takımlarına sahip olmalarıdır. Her ne kadar masraflı ve lojistik açıdan çaba gerektiren araçlar olsalar da,

yer hedeflerine saldırma yeteneği ve piyadelerin moralini çökertmesi nedeniyle modern orduların vazgeçilmez unsurlarındandır. Zırhlarına ve hareket yeteneklerine rağmen omuz üstünden ateşlenen anti-tank füzelerine, mayınlara, topçu ateşine ve hava saldırısına karşı zayıftırlar. Tanklar ilk defa I. Dünya Savaşı'nda, siper harbi çıkmazını yok etmek için kullanılmış ve zamanla savaş alanında klasik süvari görevlerini üstlenmişlerdir [22].

4.2. Büyük Kalibre Mühimmat Sınıflandırması

Personele, malzemeye veya askeri hedeflere zarar vermek için bir yere yerleştirilen, atılan ve havadan bırakılan, güdümlü olarak veya diğer bir şekilde yönetilen patlayıcı veya kimyevi, biyolojik ve radyolojik bir maddeyi veya maddeleri ihtiva eden harp malzemelerine mühimmat denir.

Büyük Kalibre Mühimmat STANAG 4224'e göre 40 mm ve üstü çapa sahip mühimmatlardır.

Resim 4.1'de havan topu ve mühimmatları, Resim 4.2'de tank topu ve mühimmatları ve Resim 4.3'de obüs ve mühimmatları görölmektedir.



Resim 4.1. Havan topu ve mühimmatları



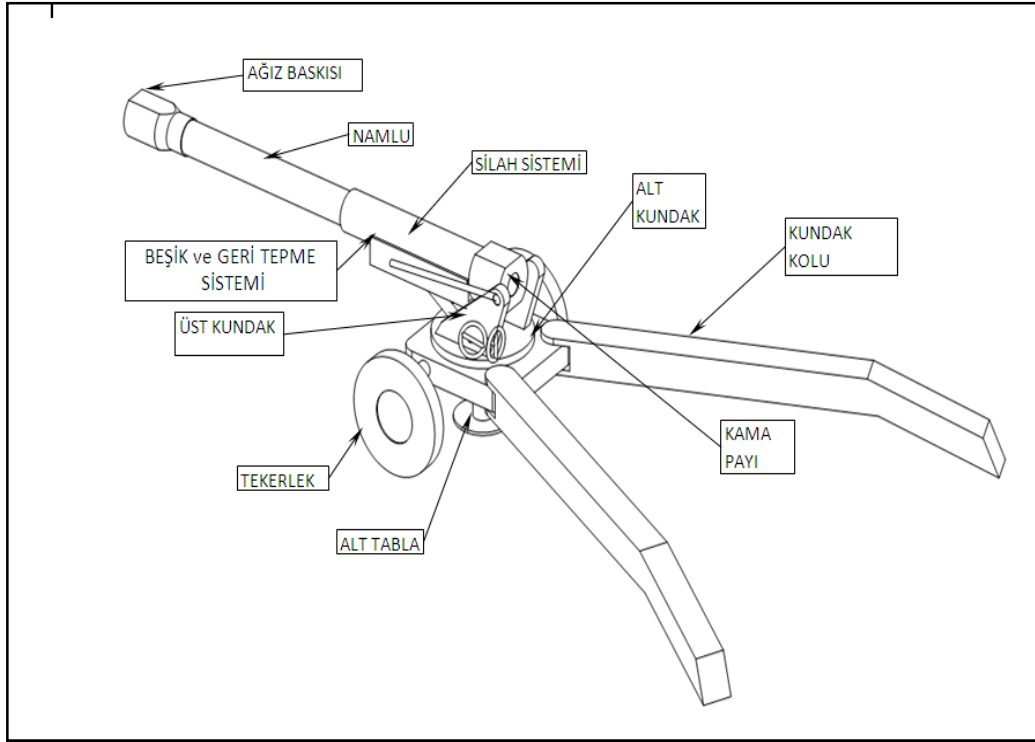
Resim 4.2. Tank topu ve mühimmatları



Resim 4.3. Obüs ve mühimmatları

4.3. Silah Ana Sistemi

İçinde namlu, kama sistemi, kama, kama payı, kama açma/kapama ve kilit mekanizmaları, kovan çıkarma mekanizması (kovanlı mühimmat ise), ateşleme mekanizması, ağız baskısı, alt-üst kundak, kundak kolları, geri tepme ve irca sistemiyle beşiği kapsayan ana sistemdir (Resim 4.4). Temel olarak kapalı bir hacimde mühimmatın ateşlenmesi ve mermiye ilk hız kazandırılması fonksiyonunu yerine getirir. Aynı zamanda, içinde barındırdığı diğer alt sistemlerle atış sırasında meydana gelen geri tepme hareketinin frenlenmesi, atıştan sonra kovanın çıkarılması ve geri tepen kütlelerin tekrar atış konumuna gelerek sonraki atışa hazırlanması fonksiyonlarını yerine getirir.



Resim 4.4. Çekili obüze ait alt sistemler

Sistemi şu alt kısımlara bölebiliriz:

- Mermi (Mühimmat)
- Kama sistemi
- Ağız baskısı
- Ateşleme mekanizması
- Geri tepme ve irca sistemi
- Beşik
- Kundak sistemi
- Kundak kolları sistemi
- Namlu
- Silah sistemi
- Üst Kundak
- Alt Kundak
- Yükseliş Tertibatı
- Yana Dönüş Tertibatı

4.3.1. Mermi (Fişek)

Ateşli silahlarda canlı ve cansız hedefler üzerinde tahribat yapmak amacıyla kullanılan çekirdek, barut, kapsül ve kovandan oluşan aksamların bütünüdür. Farklı olmalarına rağmen halk arasında birbirleri yerine kullanılan fişek, mermi ve kurşun gibi terimler sadece ülkemizde değil bütün dünya ülkelerinde de iç içe girip karışmıştır. Aslında “fişek” denilince, tüm unsurları bir arada ve ateşlemeye elverişli dört ayrı bölümün (çekirdek, barut, kapsül ve kovan) bir araya getirilmiş şekli anlaşılmalıdır. Bunlardan bir tanesinin eksik olması halinde fişegın varlığından söz edilemez. Mermi denilince, fişegın ucunda bulunan “çekirdek” anlaşılmalıdır. Kurşun ise çekirdeğın yapısında kullanılan “metal” kısımdır [23].

Kovan

Kovan, barutu, çekirdeğı ve kapsülü bir arada tutan, onları dış etkilerden koruyan, genelde pirinçten yapılmış silindir şeklindeki parçadır [23]. Namlunun soğuması için gerekli ısının bir miktarı atıştan sonra kovanla beraber dışarı atılır.

Sevk çemberi

Mühimmat, üzerinde sarılı olarak bulunan sevk çemberi ile yiv setlere tutunur. Bu sayede gerisine gaz kaçması önlenirken hızlanma için gereken ilk direnç sağlanır ve namlu yükseldiğinde mühimmat geriye kaymaz (Resim 4.5).



Resim 4.5. Sevk çemberi

Kapsül

Kovanın alt (tabla) kısmında bulunur ve içeriye doğru girintilidir. İçerisinde kurşun, antimon ve baryum bileşiklerinden biri veya birkaçı bulunur. Bunlar çok kolay alev alabilen maddelerdir. Silahın tetiği çekildiğinde iğnesi kapsüle çarpar. Çarpmanın etkisiyle alev alan bu maddeler önündeki baruta kıvılcım vermiş olur [23].

Barut

Barut, kolay alev alabilen, yanıcı, sıkışık ortamda yandığında ise patlayıcı olan katı bir maddedir. Barut ne kadar kuru ise o nispette çabuk yanar. Rutubetli barutun yanma hızı daha ağırdır. Barutun cinsi, tanelerinin şekli ve ebadı değişikçe tutuşma ve yanma da değişir [23]. Silahlarda kullanılan barutların özellikleri Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Silahlarda kullanılan barutların özellikleri [19]

	Kara Barut	Nitroselüloz	Nitrogliserin
Enerji (J/g)	2650	3500	4800
Çıkan Gaz Hacmi (lt/g)	0,3	0,9	0,8
Patlama Sıcaklığı (°C)	2500	2500-3000	3000-3800
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	300	170	160
Yanma Hızı (mm/s, 1 Atm)	1,8	0,07	0,15
Kalıntı Oranı (%)	60	1	1

Yanma odasında barutun tamamen yanması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin dağılımı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi olmaktadır:

Merminin hareketi için harcanan enerji	: % 32,4
Merminin dönmesi için harcanan enerji	: % 0,14
Silahın geri tepmesi için harcanan enerji	: % 0,12
Namlunun ısı kaybı ile giden enerji	: % 22,4
Mermiyi ısıtan enerji	: % 2
Barut gazları ile kullanılmadan çıkan enerji	: % 43

Merminin dönmesi ve silahın geri tepmesi için harcanan enerjiler ihmal edilebilir düzeydedir. Barut gazlarından daha fazla faydalanmak verimi arttıracaktır [5].

Çap ve kalibre

Bir namluda karşılıklı iki set arasında kalan mesafeye “çap” adı verilir. İsimlendirmelerde milimetre (6,35 mm, 7,65 mm, 9 mm v.b.) veya kalibre sistemi kullanılır [23].

4.3.2. Kama sistemi

Kama sisteminin temel fonksiyonu mühimmat yükleme ve atış, atış sonrasında kovan çıkarma (kovanlı mühimmatsa) ve yeniden yükleme işlevleri için namlunun arka kısmında yer alan yanma odasını kapamak ve açmaktır.

4.3.3. Ağız baskısı

Geri tepmesi yüksek top, obüs vb. ateşli silahlarda geri tepmeyi hafifletmek ve namlu ağzından çıkan alevi azaltmak için kullanılan namlu parçasıdır. Namlu ağız baskısı geri tepmeyi azaltırken sistem ağırlığının azaltılmasına da önemli katkı sağlar. Tek bir parçadan oluşan ağız baskısının yapısı, namludan çıkan gazları yatay olarak namlunun her iki yanına yönlendirecek şekilde namlu eksenine hemen hemen dik olarak konumlandırılmış yönlendirici kanatçıklar ve ortada merminin geçişine izin verecek bir boşluktan oluşmaktadır.

4.3.4. Ateşleme mekanizması

Kovanın arka kısmında bulunan kapsülü tetikleyerek ateşlemeyi başlatan mekanizmadır. Genellikle kama içerisinde bulunur.

4.3.5. Geri tepme ve irca sistemi

Geri tepme mekanizmasının amacı, çok kısa bir süre (5–20 ms) içerisinde barutun yanması ile hazne içerisinde oluşan yüksek balistik kuvvetlerin daha uzun bir zaman aralığında (0,2–0,8 s) ve şiddeti düşürülmüş bir kuvvet olarak sisteme iletilmesini sağlamaktır. İrca sistemi, hidro-pnömatik elemanlardan oluşan bir silindir-piston sistemidir. Geri tepen kütleyi yerine getirirken sistemi de kurar [22].

Tank ve obüs gibi ağır silahlarda, atış esnasında barutun patlamasıyla hazne içerisinde büyük bir basınç oluşmakta ve bu basınç neticesinde gövdeye büyük kuvvetler gelmektedir. Geri tepme mekanizmaları, bu tip ağır silahlarda oluşan yüksek balistik kuvvetlerin yapıya etkisinin azaltılmış bir biçimde etki etmesini sağlar [20].

4.3.6. Beşik

Beşik, namlu, kama sistemi, geri tepme ve irca sistemini üzerinde barındıran, bağlantı elemanlarıyla taşıyıcı sisteme bağlanan ve geri tepme kuvvetlerini taşıyıcı sisteme aktaran bir yapıdadır. Geri tepme ve irca hareketi sırasında geri tepen kütleyle kılavuzluk eder.

4.3.7. Kundak sistemi

Üst kundakla birlikte silah sistemini üzerinde taşıyan, namlunun yatay ve düşey düzlemde yönlendirilmesini sağlayan, atıştan doğan yükleri zemine ve kundak kollarına ileten sistemdir. İki ana bileşen ve diğer yardımcı bileşenlerden oluşur. Ana bileşenleri alt kundak ve üst kundaktır. Diğer bileşenler ise alt kundağın zeminle irtibatını sağlayan alt tabla (opsiyonel), namlu yönlendirmeye yardımcı olan yan ve yükseliş mekanizmaları ve dengeleme sistemleridir.

4.3.8. Alt kundak

Ana taşıyıcı elemanlardan biridir. Atış konumunda atış yüklerini alt tabla ve kundak kollarına iletir. Taşıma (çeki) durumunda yol ve arazi koşullarından kaynaklanacak dinamik yüklere maruz kalır. Üzerinde, üst kundak yataklanmıştır.

4.3.9. Üst kundak

Alt kundak üzerinde dönebilecek şekilde yataklanmıştır. Beşik ara yüzünden gelen atış yüklerini alt kundağa iletir.

4.3.10. Kundak kolları sistemi

Alt kundağa bağlanmış, atış sırasında sistemin dengede kalmasını sağlamak üzere geriye ve bir miktar yana doğru uzanan, taşıma konumunda sistemin çekici araca bağlanmasını sağlayan sistemdir. Atış esnasında kundak kollarının ucunda yer alan mahmuzlar sayesinde zeminde kaymayı engelleyen bir irtibat sağlanmış olur. Kundak kolları, atış sırasında güçlü bir destek, yol durumunda ise taşıma kolaylığı sağlamak üzere açılıp kapanabilir veya yekpare yapıdadır.

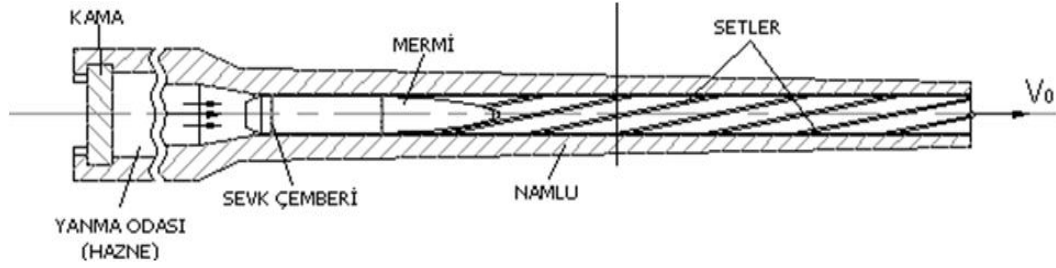
4.3.11. Namlu

Namlu, bir silahın ana elemanıdır. Prensipte olarak bir ucu açık diğer ucu kapalı değişken basınç ve sıcaklığa maruz bir boru olarak düşünülebilir. Namlu barutun yerleştirilmesi ve yanması için gerekli yanma odası hacmine, merminin dönerek stabilize kazanması için gerekli yiv-set'lere ve barut gazı enerjisinin mermiye aktarıldığı bir silindirik boya sahiptir [6].

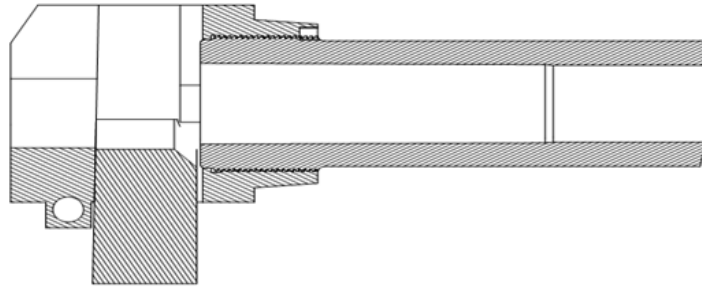
Namlu içyapısı, balistik özellikler bakımından mühimmata bağlı olarak şekillendirilip boyutlandırılır. Bu özellikler arasında namlu kalibre ölçüsü (set üstü çapı), yiv derinliği, yiv genişliği, yivlerin helis açısı ve yanma odası boyutları önemli parametrelerdir (Resim 4.6). Yanma odası boyutlandırılırken mühimmata ait kovanın atıştan sonra genişerek yanma odası içinde sıkışmasına izin vermeyecek bir tasarım yaklaşımı izlenir. Dış yapı yine silindirik olup, mukavemet ve diğer mekanik gereksinimlere bağlı olarak değişen et kalınlığındadır. Namlunun yüksek basınca maruz kalan arka kısmında et kalınlığını belirleyen en önemli etken mekanik dayanım

unsurudur. Basıncın nispeten düşük olduğu ilerleyen kısımlarda, dış yapı, daha ziyade yataklama, bağlantı gereksinimleri ve titreşim gibi diğer faktörler dikkate alınarak şekillendirilir.

Namlunun her iki ucundaki bağlantılar genellikle vidalı bağlantılardır. Bunlardan birincisi (Resim 4.7) kamapayı ile olan bağlantı olup doğrudan namlu dış yüzeyine ve karşılığında kamapayı iç yüzeyine vida açılarak yapılan bir uygulamadır. Ağız baskısı-namlu bağlantısında vidalı bağlantı tipi genel uygulamadır.



Resim 4.6. Namlu kesiti



Resim 4.7. Namlu-kamapayı vidalı bağlantısı

Namlu dizaynı

Namlu tasarımı, verilen bir basınç eğrisine göre namlunun boyutlandırılması veya malzeme özelliklerinin belirlenmesine göre yapılabileceği gibi verilen bir namlu et kalınlığı ve malzeme için müsaade edilen basınç eğrisinin tespiti olarak da yapılabilir [5]. Namlu için gerekli ana parametreler olarak merminin şeklini, boyutunu, ağırlığını ve namlu çıkış hızını söyleyebiliriz. Namlu dizaynında iç balistik eğrilerden yararlanır. Yanma odasının maksimum basıncına göre namlu dizaynı yapmak mümkündür. Ancak cidarlar her yerde aynı kalınlıkta olacağından ve ağırlığı olumsuz yönde etkileyeceğinden balistik eğriler yardımıyla namlu içinde mühimmattan ileri gelen basınca karşılık, bu basıncı karşılayabilecek cidar kalınlığı tasarımının yapılması gerekir. Namlu içindeki gaz basıncının namluda meydana getirdiği gerilmeler, elastik limitinden fazla olamaz. Namlu cidar kalınlığı hesaplanırken, namlunun işlenmesi için gerekli et kalınlığı ve kullanım için gerekli toleranslar da göz önüne alınmalıdır [6].

Silah namluları ilk zamanlar yekpare, bronz ya da pik döküm halinde yapılmaktaydı. Bu tip namlularda mukavemet artırımı sadece namlu cidar kalınlığının artmasıyla elde edilmekteydi. Belli bir et kalınlığından sonra mukavemet önemli ölçüde artmazken sistemin ağırlığı artmaktaydı. Bundan ötürü namlular özel alaşımlı çeliklerden dövme olarak imal edilmeye başlandı [5].

Namlulardaki gelişmeler

Bir ateşli silahın imalat işlemleri sırasında sert bir çelik çubuk, çelik bir namlu haline getirilmek için bir uçtan diğer uca kadar delinir. Ardından namlunun iç tarafı ateşleme işlemi denilen çevrilme ile tam olarak düz hale getirilir. Yivsiz namlu, bu şekilde yapılır ve yuvarlak, küresel kurşun bir mermi bu namludan ateşlenebilir. Bu silahın en büyük dezavantajı kullanılan küresel mermi namlu çapında olsa bile namluya tam olarak uymaz. Yanan barutla oluşan basınçlı

gazların önemli bir kısmı küresel merminin kenarlarından ön tarafa geçerek silahın etkinliğini azaltır [24].

16. yy. da savaşılan askerler açısından namlu ağzından silahın doldurulması işleminin kısa bir süre sonra pratik olmadığı görüldü. Bu nedenle namlunun dip kısmından doldurulabilen ve birkaç defa ateşlenebilen silahların yapımına girildi. Bu sistemde ayrı bölümler önce dolduruluyordu. Daha sonra bu kısım namlu dibine yerleştiriliyordu. Namlu dibinden doldurma konusunda yapılan çalışmalar, bir eksen etrafına yerleştirilen birkaç namludan oluşan bir silahın yapımına yol açtı. 18. yy'ın erken ve orta dönemlerinde savunma için kullanılan bu silahlar heybetli görünümde olan el silahları idi. Bu silahlar 14 gram veya daha fazla ağırlıkta olan bir mermiyi atabilen 15-20 cm uzunluğunda bir namluya sahiptiler. Bu el silahlarının ilkinde ilk atıştan sonra namlu kısmı el ile döndürülerek daha sonraki atışlar için dolu bir namlunun pozisyonuna getiriliyordu. Üst üste bir çift namlunun bulunması, ayrı ayrı ve yeniden doldurmaksızın dört atışın yapılmasına olanak sağlıyordu [24].

Yanan barutun basınç etkisinden daha fazla yararlanmak için namlunun boyu uzatılmıştır. Ancak burada da bazı komplikasyonlarla karşılaşmıştır. Mermi taklalar atarak çabucak hızını kaybetmiş ve uzun namlulu silah kullanışsız duruma düşmüştür. Namlulardaki en büyük gelişme namlu içine yiv ve setlerin açılması ile oluşmuştur. İlk kayıtlara 1450 ile 1500 yılları arasında rastlanmıştır. Almanya ile Avusturya'dan çıkarak yayıldığı görülmüştür. Yaygın olarak kullanımı seneler sonra gerçekleşmiş ve şekilleri değişerek günümüze kadar gelmiştir. Böylece mermi, kat ettiği yolun büyük çoğunluğu boyunca takla atmadan ve sallanmadan yol almaya başlamıştır. Merminin kendi çevresinde dönüşü, namlu uzunluğundan bağımsız olarak uzun mesafelerde bile mermiye etkinlik kazandırmıştır. Namlu içindeki yivler, şu anda genellikle namlunun içerisine bir kere de spiral oluklar açan bir matkap aracılığı ile yapılmaktadır. İşlem sırasında çelik namlunun içerisindeki çok küçük sert parçalar matkabin kesici ucuna zarar vermekte ve bu zararın oluşturduğu iz, bu namlu içersindeki tüm yiv boyunca devam etmektedir.

Böylece her yiv oluşu, içerisinde matkabın kesici ucuna uyan bir dizi iz oluşturur. Bu izler matkabın her kullanımında değişmekte, ayrıca aynı namlu içerisindeki her yivde de değişmektedir. Bu nedenle aynı imalatçı tarafından üretilen iki silah namlusundaki izlerin şeklinin aynı olması mümkün değildir. Böyle bir namludan geçen merminin yüzeyinde karakteristik çizgiler oluşacaktır [24].

Orta çağda, 15 veya daha fazla namlusu olan birkaç silah yapıldı. Bununla birlikte bu silahların çoğunda namlu sayısı altıdan azdı. Bunların çoğunda modern, tek veya çift namlulu silahların çapının yaklaşık olarak, yarısı kadar olan bir namlu çapı bulunuyordu. Çok sayıda namlusu bulunan bu eski silahlara günümüzde “Pepperbox” denilmektedir. Bu Pepperbox silahlarının dezavantajı, tetik çekildiğinde namlunun otomatik olarak dönmemesinin yanı sıra horozunun kalkarak, hedefin görülmesini zorlaştırmasıydı. Samuel Colt 1835 yılında nişan alma sorununu çözdü. Colt, bölümler ihtiva eden, silindiri bulunan ancak silahın namlusunun sabit kaldığı bir tabanca (revolver) geliştirdi. Samuel Colt bunu, silindiri döndüren ve her atıştan sonra aynı hizada kilitlenen bir iç mekanizma geliştirerek sağladı. En büyük dezavantajı silindirin önünden, her bölümün barut ve mermi ile doldurulmasıydı. Arka tarafta her bir bölümün baş kısmında küçük bir kapsül yer alıyordu, Bu yapı da işlemi yavaşlatıyordu. Pepperbox tipindeki ilk Fransız revolveri 1851 yılında yapılan Lefauchaux idi. Yapımından hemen sonra arkadan doldurulan mermilerle birlikte birçok revolver ortaya çıktı. 1900’lü yıllarda en fazla gelişimi bu toplu tabancalar (revolver) gösterdi. Bundan sonraki gelişimleri ise pek fazla değildi. Manufrance gibi 0,25 kalibrelik otomatik silahlar ortaya çıktı. I. Dünya Savaşı’ndan önce Colt 0,45 modeli ve Luger gibi daha geliştirilmiş silahlardan bazıları yapıldı [24].

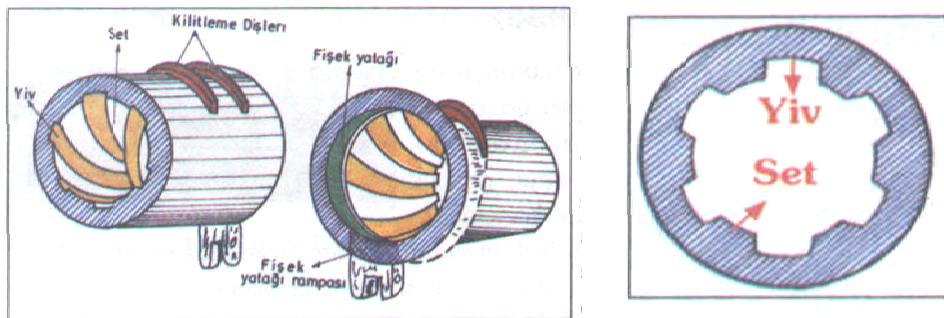
İkinci dünya savaşından sonra keşfedilen ve silahların namlu ucuna takılan susturucu (silencer) denilen alet patlamanın sesini hafifletmiş, ancak, atış mesafesi tayinin güçleştirmiştir [24].

Namluya etki eden parametreler

Bir silahın etkinliği, namlusunun hassasiyeti ile sınırlıdır. Namlu hassasiyetinin ölçüsü, namluyu terk eden merminin lineer ve dönme hızlarının her atış sonunda aynı olmasıdır. Namlu ömrü de namluyu terk eden mermi hızının değişimi ile tanımlanır. Bir namlunun balistik çevrimi çok kısadır. Atış birkaç milisaniye içinde tamamlanır. Bu süre içinde namlu çok yüksek bir basınç, sıcaklık ve geri tepme kuvveti etkisi altında kalır. Bu süre içinde mermi ve namlu arasında da sürtünme nedeniyle erozyon meydana gelir. Çok kısa zaman içinde ard arda atışlar ile uzun süreli çok fazla atım yapılması namlunun yıpranmasına neden olur ve mermi ilk hızı düşer. Dolayısıyla namlu hassasiyeti düşer [6]. Namluya genel olarak, barut gazından gelen enerji ve mermi etkileri etkimektedir (Sevk çemberi basıncı, Yiv – set momenti, Geri tepme kuvvetleri, Titreşim vb.).

Yiv ve setler

Yiv, namlunun iç kısmında helezon şeklinde açılan girintilere, set ise yivlere karşı namlunun iç kısmında bulunan çıkıntılara denir (Resim 4.8).



Resim 4.8. Yiv – set görünümü [23]

Yiv – set sayesinde namlu ile mermi çekirdeği arasındaki sürtünme azaldığı gibi, çekirdek de kendi ekseni etrafında dönme hareketi kazanır. Bu da düzgün ilerleyişı sağlarken, mühimmatın takla atmasını engeller [23].

5. İÇTEN BASINCA MARUZ KALIN CİDARLI SİLİNDİRİK KAPLAR

Üniform olarak dağılmış P iç basıncının etkisinde olan içi boş bir silindirin Resim 5.1'de r yarıçaplı birim elemanı detaylandırılmış, Resim 5.2'de ise cidar üzerindeki gerilme değişimleri gösterilmiştir. Kalın cidarlı silindirin tasarım şekli nedeniyle σ_L aksenal gerilmesi ihmal edilebilir ve bu nedenle sistem, asal gerilmeleri σ_H ve σ_R olan düzlem gerilme haline maruz bir sistem olarak ele alınabilir. Sistemde meydana gelen deformasyonlar silindir eksenine göre simetriktir. Asal gerilmeler aşağıda verilmiştir [39].

$$\varepsilon_H = \frac{\sigma_H}{E} - \frac{V\sigma_R}{E} = \frac{1}{E}(\sigma_H - V\sigma_R) \quad (5.1)$$

$$\varepsilon_R = \frac{\sigma_R}{E} - \frac{V\sigma_H}{E} = \frac{1}{E}(\sigma_R - V\sigma_H) \quad (5.2)$$

$$\varepsilon_L = -\frac{V\sigma_H}{E} - \frac{V\sigma_R}{E} = -\frac{\nu}{E}(\sigma_R + \sigma_H) \quad (5.3)$$

Yapılan kabule göre hem gerilmeler hem de birim şekil değiştirmeler için negatif (-) işaret basıyı, pozitif (+) işaret çekiği göstermektedir. Elemanter Lamé denklemleri:

$$\sigma_H = A - \frac{B}{r^2} \quad (5.4)$$

$$\sigma_R = A + \frac{B}{r^2} \quad (5.5)$$

Burada A ve B sabitlerdir. A ve B sabitlerini bulmak için şu sınır şartları dikkate alınır. $r = R_1$ de $\sigma_R = -P$ (işaretin negatif olması basınç olduğunu

gösterir) ve $r = R_2$ de atmosfer basıncı (p 'ye oranla küçük olması nedeniyle ihmal edilebilir) yani $\sigma_R = 0$ dir.

$$r = R_1 \text{ de: } \sigma_R = -P = A + \frac{B}{R_1^2}$$

$$r = R_2 \text{ de: } \sigma_R = 0 = A + \frac{B}{R_2^2}$$

Bu iki denklem çözüldüğünde A ve B aşağıdaki gibi elde edilir,

$$A = \frac{pR_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \qquad B = -\frac{pR_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}$$

$$\sigma_R = \frac{pR_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 - \frac{R_2^2}{r^2} \right)$$

veya

$$\sigma_R = \frac{p}{K^2 - 1} \left(1 - \frac{R_2^2}{r^2} \right)$$

A ve B (5.5) denkleminde yerine yazılırsa:

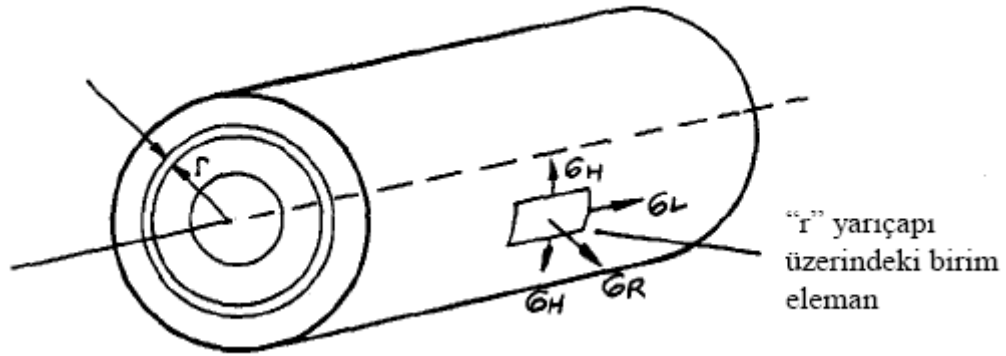
$$\sigma_H = \frac{pR_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 + \frac{R_2^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_H = \frac{p}{K^2 - 1} \left(1 + \frac{R_2^2}{r^2} \right)$$

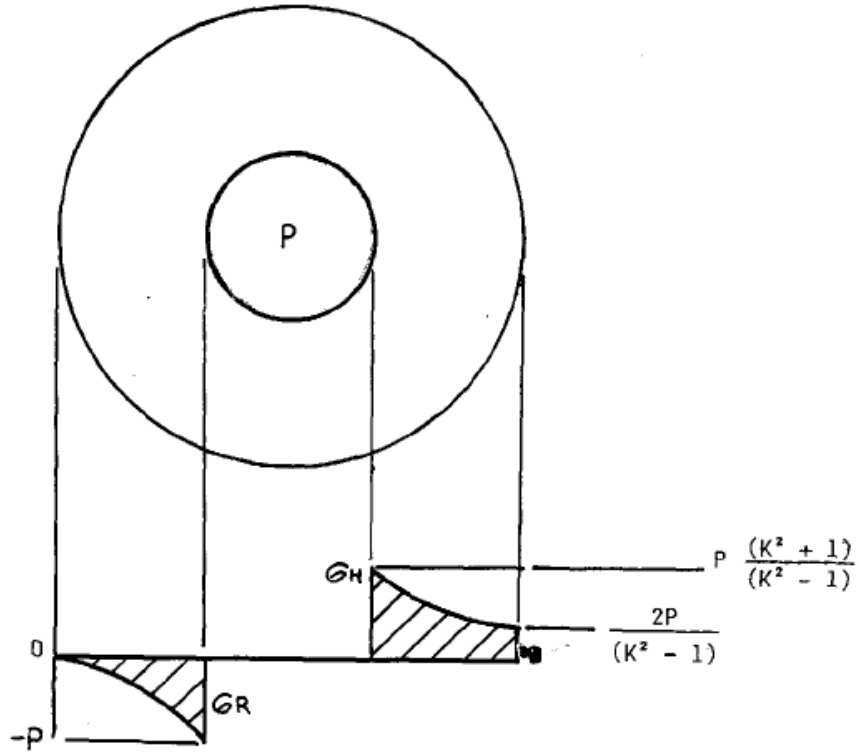
(5.7)

(5.7) denklemindeki pozitif işaret σ_H 'in her yerde çeki olduğunu gösterirken, (5.6) denklemindeki negatif işaret σ_R 'nin her yerde bası olduğunu gösterir.

Ayrıca σ_R 'nin en büyük değeri iç yarı çapta (R_1 'de) meydana gelir ve burada $\sigma_R = -p$ dir. σ_R 'nin en küçük değeri dış yarı çapta (R_2 'de) meydana gelir ve burada $\sigma_R = 0$ dir.



Resim 5.1. Birim eleman üzerindeki gerilmeler [39]



Resim 5.2. Silindir cidarı üzerinde gerilmelerin değişimi [39]

σ_H 'in 'in en büyük değeri iç yarı çapta (R_1 'de) meydana gelir ve burada

$$\sigma_H = P \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \text{ dir.}$$

σ 'nın en küçük değeri dış yarı çapta ($2R$ 'de) meydana gelir ve burada

$$\sigma_H = \frac{2p}{K^2 - 1} \text{ dir.}$$

İç basıncın etkisinde olan ve aksenal olarak bir yüklemeye maruz kalmayan bir silindirde, maksimum kayma gerilmesi iç yarı çapta meydana gelir.

Yani Maksimum kayma gerilmesi (τ_{\max}) = $\frac{1}{2}x$ (iki asal gerilmenin farkı)

$$= \frac{\sigma_R - \sigma_H}{2}$$

σ_R ve σ_H yerine yazılırsa,

$$\tau_{\max} = \frac{pR_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \quad (5.8)$$

elde edilir.

6. İÇ BALİSTİK ANALİZİ

6.1. İç Balistik Analiz Yöntemi

İç balistik analizlerde kullanılacak olan namlunun 3 boyutlu tasarımı Catia v5 programı ile yapılmıştır. Catia, cad/cam/cae konularında çözüm sağlayan bir yazılımdır. Bu program ile mekanik tasarım çözümleri, yüzey tasarımı, analiz ve benzetim çözümleri, imalat çözümleri, takım donanım ve sistem mühendisliği çözümleri yapılabilmektedir [25].

Hesaplama kapsamında sonlu elemanlar analizi programına girdi oluşturacak değerler, şekil ve çizelgeler halinde alınmıştır. Namlu tasarımında gerekli olan basınç, namlu ağız hızı ve sıcaklık gibi değerleri elde edebilmek için klasik M1 mühimmatının belirlenen namlu için iç balistik analizleri yapılmıştır. Analiz yapılmadan önce literatür araştırması yapılmış ve ulaşılmış basınç ve hız değerleri bu tip sistemler için belirlenmiştir.

6.1.1. İç balistik hesap programı

İç Balistik hesaplamalar için Prodas V3 programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde belirlenen barut haklarında ve özelliklerinde girilecek namlu parametrelerine bağlı olarak iç balistik analizler yapılabilmektedir [26]. Programa, literatürde elde edilmiş değerler girilerek hedef “target” değere iterasyonlarla yaklaşılmıştır. Bu programın çıktıları sonlu elemanlar programına girdi oluşturmaktadır.

6.2. Namlu Özellikleri

M101 topunun namlu uzunluğu Çizelge 6.1’de 1980 mm, namlu iç çapı ise 105 mm olarak alınmıştır.

Çizelge 6.1. Prodas programının namlu uzunluğu ve iç çap değeriyle ilgili arayüzü [26]

Gun Tube Definition		
ChamberVolume	2507.380	cm ³
Barrel Length	1980.000	mm
Gun Barrel Bore	105.004	mm

6.3. Mühimmat Özellikleri

14,984 kg ağırlığındaki klasik M1 Mühimmatı kullanılarak balistik çözüm uygulanmıştır. Çizelge 6.2'de mühimmatın çıkış hızı, namlu içi maksimum basınç değeri ve Çizelge 6.3'de M1 mühimmatında kullanılan barutun özellikleri görülmektedir. "Lock" sütun başlığının sağında bulunan iki kolonda mühimmata ait barut haklarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Prodas programının barut değerleriyle ilgili arayüzü [26]

PRODAS - [105 M1 Cartridge.pr3 - Baer-Frankle]																																																																																																												
File Edit Analysis Support Tools Windows Help																																																																																																												
Setup Gun Tube Definition Ignitor Definition Propellant Definition Band/Resistance Profile Formatted Results Tabular Results Plotted Results																																																																																																												
Velocity Match Parameters		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Units</th> <th>Lock</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Density</td> <td>gm/cm³</td> <td>1.5695</td> <td>1.5695</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>SpecificHeatRatio</td> <td>User</td> <td>1.2450</td> <td>1.2450</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Impetus</td> <td>MJ/kg</td> <td>0.9117</td> <td>0.9117</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Covolume</td> <td>cm³/gm</td> <td>User</td> <td>1.1045</td> <td>1.1045</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Flame Temperature</td> <td>C</td> <td>2143.8500</td> <td>2143.8500</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>ChargeWeight</td> <td>kg</td> <td>User</td> <td>1.0390</td> <td>0.3140</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>BurnRateExponent</td> <td>User</td> <td>0.8500</td> <td>0.8500</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>FinalBurnRateCoefficient</td> <td>cm/sec/bar</td> <td>User</td> <td>.13369E-01</td> <td>.11099E-01</td> <td>.00000E+00</td> </tr> <tr> <td>PropellantType</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>TimeDelay</td> <td>msec</td> <td>User</td> <td>10.0000</td> <td>10.0000</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>InitialBurnRateCoefficient</td> <td>cm/sec/bar</td> <td>User</td> <td>.13369E-01</td> <td>.11099E-01</td> <td>.00000E+00</td> </tr> <tr> <td>PropellantWeb</td> <td>mm</td> <td>User</td> <td>0.8534</td> <td>0.3998</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>GrainDiaThickness</td> <td>mm</td> <td>User</td> <td>4.1758</td> <td>1.0536</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>PerforationDataSlotWidth</td> <td>mm</td> <td></td> <td>0.2540</td> <td>0.2540</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>GrainLength</td> <td>mm</td> <td></td> <td>8.8900</td> <td>8.8900</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>DeterrentConstant</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>NumberOfPerforations</td> <td></td> <td></td> <td>7</td> <td>1</td> <td>n</td> </tr> </tbody> </table>					Units	Lock				Density	gm/cm ³	1.5695	1.5695	0.0000	SpecificHeatRatio	User	1.2450	1.2450	0.0000	Impetus	MJ/kg	0.9117	0.9117	0.0000	Covolume	cm ³ /gm	User	1.1045	1.1045	0.0000	Flame Temperature	C	2143.8500	2143.8500	0.0000	ChargeWeight	kg	User	1.0390	0.3140	0.0000	BurnRateExponent	User	0.8500	0.8500	0.0000	FinalBurnRateCoefficient	cm/sec/bar	User	.13369E-01	.11099E-01	.00000E+00	PropellantType			1	2	0	TimeDelay	msec	User	10.0000	10.0000	0.0000	InitialBurnRateCoefficient	cm/sec/bar	User	.13369E-01	.11099E-01	.00000E+00	PropellantWeb	mm	User	0.8534	0.3998	0.0000	GrainDiaThickness	mm	User	4.1758	1.0536	0.0000	PerforationDataSlotWidth	mm		0.2540	0.2540	0.0000	GrainLength	mm		8.8900	8.8900	0.0000	DeterrentConstant			0.0000	0.0000	0.0000	NumberOfPerforations			7	1	n
Units	Lock																																																																																																											
Density	gm/cm ³	1.5695	1.5695	0.0000																																																																																																								
SpecificHeatRatio	User	1.2450	1.2450	0.0000																																																																																																								
Impetus	MJ/kg	0.9117	0.9117	0.0000																																																																																																								
Covolume	cm ³ /gm	User	1.1045	1.1045	0.0000																																																																																																							
Flame Temperature	C	2143.8500	2143.8500	0.0000																																																																																																								
ChargeWeight	kg	User	1.0390	0.3140	0.0000																																																																																																							
BurnRateExponent	User	0.8500	0.8500	0.0000																																																																																																								
FinalBurnRateCoefficient	cm/sec/bar	User	.13369E-01	.11099E-01	.00000E+00																																																																																																							
PropellantType			1	2	0																																																																																																							
TimeDelay	msec	User	10.0000	10.0000	0.0000																																																																																																							
InitialBurnRateCoefficient	cm/sec/bar	User	.13369E-01	.11099E-01	.00000E+00																																																																																																							
PropellantWeb	mm	User	0.8534	0.3998	0.0000																																																																																																							
GrainDiaThickness	mm	User	4.1758	1.0536	0.0000																																																																																																							
PerforationDataSlotWidth	mm		0.2540	0.2540	0.0000																																																																																																							
GrainLength	mm		8.8900	8.8900	0.0000																																																																																																							
DeterrentConstant			0.0000	0.0000	0.0000																																																																																																							
NumberOfPerforations			7	1	n																																																																																																							
Target Muzzle Velocity	472.400	m/sec																																																																																																										
Results Muzzle Velocity	472.36200	m/sec																																																																																																										
Pressure Match Parameters																																																																																																												
Target Breech Pressure	240.	Mpa																																																																																																										
Results Peak Breech Pressure	222.71100	Mpa																																																																																																										
Run Baer-Frankle Analysis																																																																																																												

Çizelge 6.3. M1 mühimmatının barut özellikleri [26]

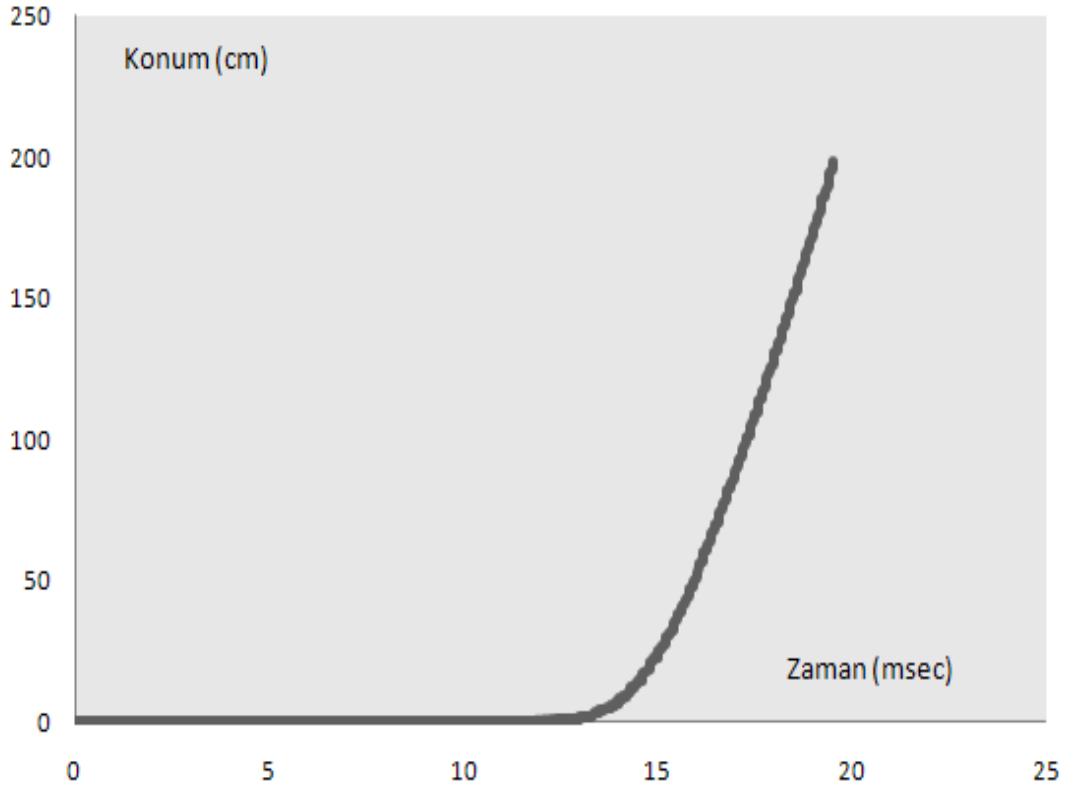
PARAMETRENİN ADI	Birimler	M1 BARUTU Parametrenin Değeri	M1 BARUTU Parametrenin Değeri
Yoğunluk	(g/cm ³)	1.5695	1.5695
Öz Isılar Oranı	----	1.2450	1.2450
Impetus	(MJ/kg)	0.9117	0.9117
Kovolum	(cm ³ /g)	1.1045	1.1045
Tutuşma Sıcaklığı	(C)	2143.8500	2143.8500
Barut Ağırlığı	(Kg)	0.314	1.039
Yanma Hızı Eksponenti	----	0.8500	0.8500
Son Yanma Hızı Sabiti	(cm/sec/bar)	0.011099	0.013369
Barut Tipi	----	2	1
Gecikme Zamanı	(Msec)	10.0000	10.000
İlk Yanma Hızı Sabiti	(cm/sec/bar)	0.011099	0.013369
Barut Örgü Kalınlığı	(mm)	0.3998	0.8534
Tanecik Çapı Kalınlığı	(mm)	1.0536	4.1758
Tanecik Delik Çapı	(mm)	0.2540	0.2540
Tanecik Uzunluğu	(mm)	8.8900	8.8900
Önleyici Sabit	----	0.0000	0.0000
Delik Sayısı	----	1	7

6.4. İç Balistik Analiz Sonuçları

M1 mühimmatının kullanıldığı bu analizde elde edilen sonuçlar ve grafikler aşağıda verilmiştir.

Namlu Ağız Çıkış Hızı	= 472,36 m/s
Maksimum Basınç Değeri	= 222,711MPa
Mühimmat Başlangıç Sıcaklık Değeri	= 3126,9 °C
Mühimmat Son Sıcaklık Değeri	= 1302,7 °C

6.4.1. Konum - zaman grafiği



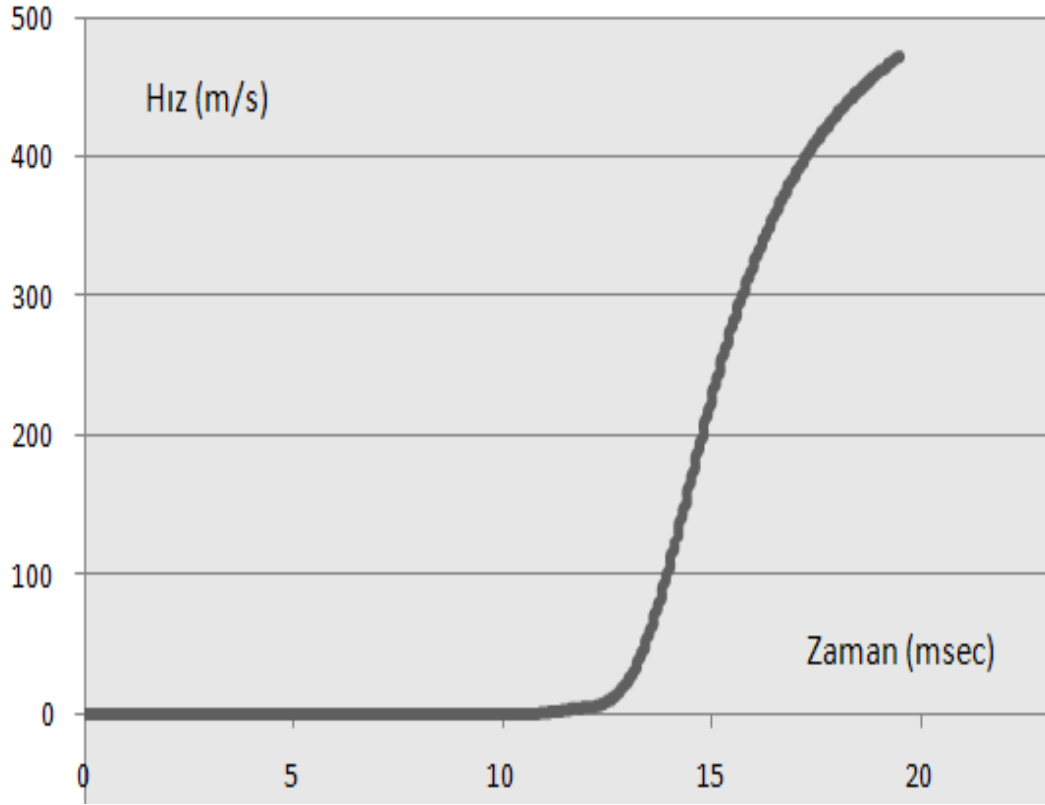
Şekil 6.1. Namlu içi konum - zaman grafiği

Mühimmat, 13-14 milisaniyelik zaman diliminde sevk çemberi üzerinde yivset açmaya harcanan kuvveti yenmeye çalışmaktadır. Bu kuvvetten kurtulduktan sonra namlunun geri kalan kısmını çok kısa bir sürede alır ve sistemi ateşlendikten yaklaşık 19,5 milisaniye sonra terk eder. Bu sürenin yaklaşık 6-7 milisaniyesinde hareketlidir. Namlu içi konum – zaman değerleri Çizelge 6.4’de görülmektedir.

Çizelge 6.4. Namlu içi konum-zaman değerleri

t	x	t	x	t	x	t	x	t	x	t	x	t	x	t	x	t	x
0,0	0	2,3	0	4,6	0	6,9	0	9,2	0	11,6	0	12,9	1	15,2	29	17,5	107
0,0	0	2,3	0	4,6	0	6,9	0	9,3	0	11,6	0	13,0	1	15,2	30	17,5	109
0,1	0	2,4	0	4,6	0	7,0	0	9,3	0	11,6	0	13,0	1	15,3	31	17,6	110
0,1	0	2,4	0	4,7	0	7,0	0	9,4	0	11,7	0	13,0	2	15,3	32	17,6	112
0,2	0	2,4	0	4,7	0	7,0	0	9,4	0	11,7	0	13,1	2	15,4	33	17,6	114
0,2	0	2,5	0	4,8	0	7,1	0	9,4	0	11,8	0	13,1	2	15,4	34	17,7	115
0,2	0	2,5	0	4,8	0	7,1	0	9,5	0	11,8	0	13,2	2	15,4	35	17,7	117
0,3	0	2,6	0	4,8	0	7,2	0	9,5	0	11,8	0	13,2	2	15,5	37	17,8	119
0,3	0	2,6	0	4,9	0	7,2	0	9,6	0	11,9	0	13,2	2	15,5	38	17,8	120
0,4	0	2,6	0	4,9	0	7,2	0	9,6	0	11,9	0	13,3	2	15,6	39	17,8	122
0,4	0	2,7	0	5,0	0	7,3	0	9,6	0	12,0	0	13,3	2	15,6	40	17,9	124
0,4	0	2,7	0	5,0	0	7,3	0	9,7	0	12,0	0	13,4	3	15,6	41	17,9	125
0,5	0	2,8	0	5,0	0	7,4	0	9,7	0	12,0	0	13,4	3	15,7	42	18,0	127
0,5	0	2,8	0	5,1	0	7,4	0	9,8	0	12,1	0	13,4	3	15,7	43	18,0	129
0,6	0	2,8	0	5,1	0	7,4	0	9,8	0	12,1	0	13,5	3	15,8	45	18,0	131
0,6	0	2,9	0	5,2	0	7,5	0	9,8	0	12,2	0	13,5	4	15,8	46	18,1	132
0,6	0	2,9	0	5,2	0	7,5	0	9,9	0	12,2	0	13,6	4	15,8	47	18,1	134
0,7	0	3,0	0	5,2	0	7,6	0	9,9	0	12,2	0	13,6	4	15,9	48	18,2	136
0,7	0	3,0	0	5,3	0	7,6	0	10,0	0	12,3	0	13,6	4	15,9	50	18,2	138
0,8	0	3,0	0	5,3	0	7,6	0	10,0	0	12,3	0	13,7	5	16,0	51	18,2	139
0,8	0	3,1	0	5,4	0	7,7	0	10,0	0	12,4	1	13,7	5	16,0	52	18,3	141
0,8	0	3,1	0	5,4	0	7,7	0	10,1	0	12,4	1	13,8	5	16,0	53	18,3	143
0,9	0	3,2	0	5,4	0	7,8	0	10,1	0	12,4	1	13,8	6	16,1	55	18,4	145
0,9	0	3,2	0	5,5	0	7,8	0	10,2	0	11,6	0	13,8	6	16,1	56	18,4	146
1,0	0	3,2	0	5,5	0	7,8	0	10,2	0	11,6	0	13,9	6	16,2	57	18,4	148
1,0	0	3,3	0	5,6	0	7,9	0	10,2	0	11,6	0	13,9	7	16,2	59	18,5	150
1,0	0	3,3	0	5,6	0	7,9	0	10,3	0	11,7	0	14,0	7	16,2	60	18,5	152
1,1	0	3,4	0	5,6	0	8,0	0	10,3	0	11,7	0	14,0	8	16,3	61	18,6	153
1,1	0	3,4	0	5,7	0	8,0	0	10,4	0	11,8	0	14,0	8	16,3	63	18,6	155
1,2	0	3,4	0	5,7	0	8,0	0	10,4	0	11,8	0	14,1	8	16,4	64	18,6	157
1,2	0	3,5	0	5,8	0	8,1	0	10,4	0	11,8	0	14,1	9	16,4	66	18,7	159
1,2	0	3,5	0	5,8	0	8,1	0	10,5	0	11,9	0	14,2	9	16,4	67	18,7	161
1,3	0	3,6	0	5,8	0	8,2	0	10,5	0	11,9	0	14,2	10	16,5	68	18,8	163
1,3	0	3,6	0	5,9	0	8,2	0	10,6	0	12,0	0	14,2	10	16,5	70	18,8	164
1,4	0	3,6	0	5,9	0	8,2	0	10,6	0	12,0	0	14,3	11	16,6	71	18,8	166
1,4	0	3,7	0	6,0	0	8,3	0	10,6	0	12,0	0	14,3	12	16,6	73	18,9	168
1,4	0	3,7	0	6,0	0	8,4	0	10,7	0	12,1	0	14,4	12	16,6	74	18,9	170
1,5	0	3,8	0	6,0	0	8,4	0	10,7	0	12,1	0	14,4	13	16,7	76	19,0	172
1,5	0	3,8	0	6,1	0	8,4	0	10,8	0	12,2	0	14,4	13	16,7	77	19,0	173
1,6	0	3,8	0	6,1	0	8,5	0	10,8	0	12,2	0	14,5	14	16,8	79	19,0	175
1,6	0	3,9	0	6,2	0	8,5	0	10,8	0	12,2	0	14,5	15	16,8	80	19,1	177
1,6	0	3,9	0	6,2	0	8,6	0	10,9	0	12,3	0	14,6	15	16,8	82	19,1	179
1,7	0	4,0	0	6,3	0	8,6	0	10,9	0	12,3	0	14,6	16	16,9	83	19,2	181
1,7	0	4,0	0	6,3	0	8,6	0	11,0	0	12,4	1	14,6	17	16,9	85	19,2	183
1,8	0	4,0	0	6,4	0	8,7	0	11,0	0	12,4	1	14,7	18	17,0	86	19,2	185
1,8	0	4,1	0	6,4	0	8,7	0	11,0	0	12,4	1	14,7	18	17,0	88	19,3	186
1,8	0	4,1	0	6,4	0	8,8	0	11,1	0	12,5	1	14,8	19	17,0	89	19,3	188
1,9	0	4,2	0	6,5	0	8,8	0	11,1	0	12,5	1	14,8	20	17,1	91	19,4	190
1,9	0	4,2	0	6,5	0	8,8	0	11,2	0	12,6	1	14,8	21	17,1	93	19,4	192
2,0	0	4,2	0	6,6	0	8,9	0	11,2	0	12,6	1	14,9	22	17,2	94	19,4	194
2,0	0	4,3	0	6,6	0	8,9	0	11,2	0	12,6	1	14,9	23	17,2	96	19,5	196
2,0	0	4,3	0	6,6	0	9,0	0	11,3	0	12,7	1	15,0	23	17,2	97	19,5	198
2,1	0	4,4	0	6,7	0	9,0	0	11,3	0	12,7	1	15,0	24	17,3	99		
2,1	0	4,4	0	6,7	0	9,0	0	11,4	0	12,8	1	15,0	25	17,3	101		
2,2	0	4,4	0	6,8	0	9,1	0	11,4	0	12,8	1	15,1	26	17,4	102		
2,2	0	4,5	0	6,8	0	9,1	0	11,4	0	12,8	1	15,1	27	17,4	104		

6.4.2. Hız – zaman grafiği



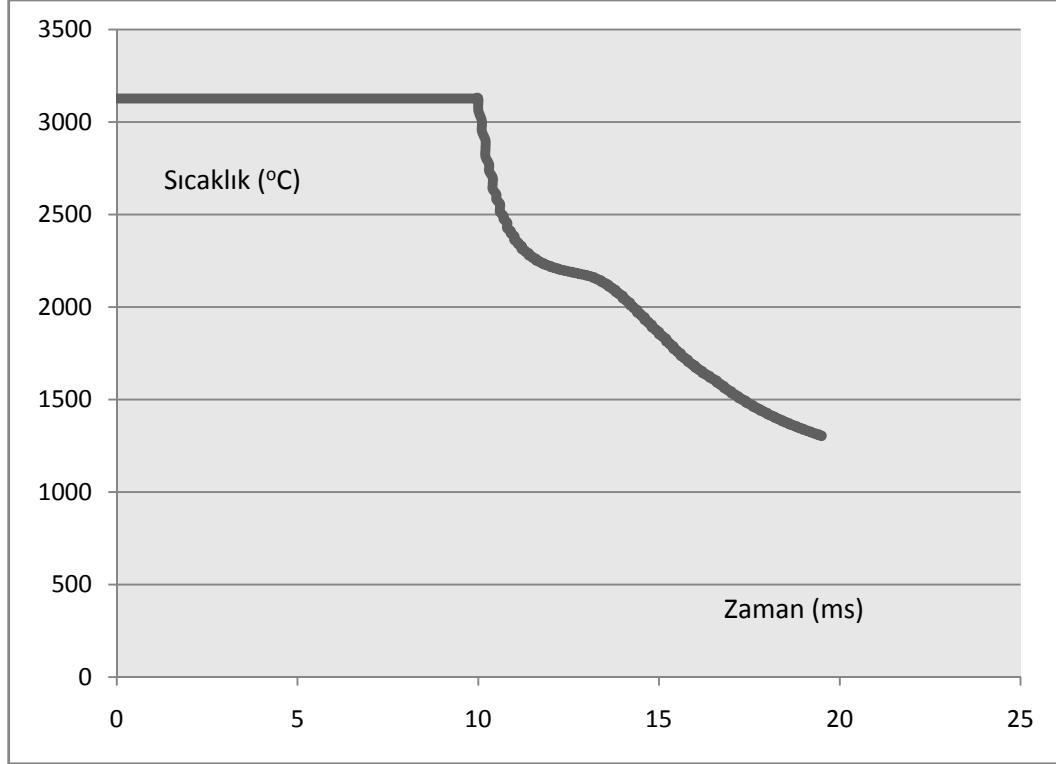
Şekil 6.2. Namlu içi hız – zaman grafiği

12-13 milisaniyelik dilimde mühimmat hareketsiz olduğundan hızı sıfırdır. Mermi, barut yanmaya başladıktan ve üzerine etkiyen kuvvetleri yendikten sonra namludan çıkış yapana kadar hızlanır, 472 m/s ile namludan çıkış yapar. Namlu içi hız – zaman değerleri Çizelge 6.5’de görülmektedir.

Çizelge 6.5. Namlu içi hız - zaman değerleri

t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v
0,0	0	4,5	0	9,0	0	12,6	11	14,4	156	16,2	338	17,8	421	18,8	456
0,1	0	4,6	0	9,1	0	12,6	12	14,4	161	16,2	340	17,8	423	18,9	457
0,2	0	4,7	0	9,2	0	12,7	13	14,5	166	16,3	343	17,8	424	18,9	458
0,3	0	4,8	0	9,3	0	12,7	14	14,5	171	16,3	346	17,9	426	19,0	460
0,4	0	4,9	0	9,4	0	12,8	16	14,6	176	16,4	349	17,9	427	19,0	461
0,5	0	5,0	0	9,5	0	12,8	17	14,6	180	16,4	352	18,0	429	19,1	462
0,6	0	5,1	0	9,6	0	12,8	18	14,6	185	16,2	338	18,0	430	19,2	464
0,7	0	5,2	0	9,7	0	12,9	20	14,7	190	16,2	340	18,0	432	19,2	466
0,8	0	5,3	0	9,8	0	12,9	21	14,7	195	16,3	343	18,1	433	19,3	467
0,9	0	5,4	0	9,9	0	13,0	23	14,8	199	16,3	346	18,1	434	19,4	470
1,0	0	5,5	0	10,0	0	13,0	24	14,8	204	16,4	349	18,2	436	19,5	472
1,1	0	5,6	0	10,1	0	13,0	26	14,8	209	16,4	352	18,2	437		
1,2	0	5,7	0	10,2	0	13,1	28	14,9	214	16,4	354	18,2	438		
1,3	0	5,8	0	10,3	0	13,1	30	14,9	218	16,5	357	18,3	440		
1,4	0	5,9	0	10,4	0	13,2	33	15,0	223	16,5	359	18,3	441		
1,5	0	6,0	0	10,5	0	13,2	35	15,0	227	16,6	362	18,4	442		
1,6	0	6,1	0	10,6	0	13,2	38	15,0	232	16,6	364	18,4	443		
1,7	0	6,2	0	10,7	0	13,3	41	15,1	236	16,6	367	18,4	445		
1,8	0	6,3	0	10,8	0	13,3	44	15,1	241	16,7	369	18,5	446		
1,9	0	6,4	0	10,9	1	13,4	47	15,2	245	16,7	372	18,5	447		
2,0	0	6,5	0	11,0	1	13,4	50	15,2	249	16,8	374	18,6	448		
2,1	0	6,6	0	11,1	1	13,4	53	15,2	254	16,8	376	18,6	449		
2,2	0	6,7	0	11,1	2	13,5	57	15,3	258	16,8	379	18,6	450		
2,3	0	6,8	0	11,3	2	13,5	60	15,3	262	16,9	381	18,7	452		
2,4	0	6,9	0	11,4	2	13,6	64	15,4	266	16,9	383	18,7	453		
2,5	0	7,0	0	11,4	3	13,6	67	15,4	270	17,0	385	18,8	454		
2,6	0	7,1	0	11,5	3	13,6	71	15,4	274	17,0	387	18,2	438		
2,7	0	7,2	0	11,6	3	13,7	75	15,5	278	17,0	389	18,3	440		
2,8	0	7,3	0	11,6	4	13,7	79	15,5	282	17,1	391	18,3	441		
2,9	0	7,4	0	11,7	4	13,8	83	15,6	285	17,1	393	18,4	442		
3,0	0	7,5	0	11,8	4	13,8	87	15,6	289	17,2	395	18,4	443		
3,1	0	7,6	0	11,9	4	13,8	91	15,6	293	17,2	397	18,4	445		
3,2	0	7,7	0	11,9	5	13,9	96	15,7	296	17,2	399	18,5	446		
3,3	0	7,8	0	12,0	5	13,9	100	15,7	300	17,3	401	18,5	447		
3,4	0	7,9	0	12,1	5	14,0	105	15,8	303	17,3	403	18,6	448		
3,5	0	8,0	0	12,2	5	14,0	109	15,8	306	17,4	405	18,6	449		
3,6	0	8,1	0	12,2	6	14,0	114	15,8	310	17,4	406	18,6	450		
3,7	0	8,2	0	12,3	6	14,1	118	15,9	313	17,4	408	18,7	452		
3,8	0	8,3	0	12,3	7	14,1	123	15,9	316	17,5	410	18,7	453		
3,9	0	8,4	0	12,4	7	14,2	128	16,0	320	17,5	412	18,8	454		
4,0	0	8,5	0	12,4	8	14,2	132	16,0	323	17,6	413	18,6	450		
4,1	0	8,6	0	12,4	8	14,2	137	16,0	326	17,6	415	18,7	452		
4,2	0	8,7	0	12,5	9	14,3	142	16,1	329	17,6	417	18,7	453		
4,3	0	8,8	0	12,5	10	14,3	147	16,1	332	17,7	418	18,8	454		
4,4	0	8,9	0	12,6	10	14,4	151	16,2	335	17,7	420	18,8	455		

6.4.3. Sıcaklık – zaman grafiği



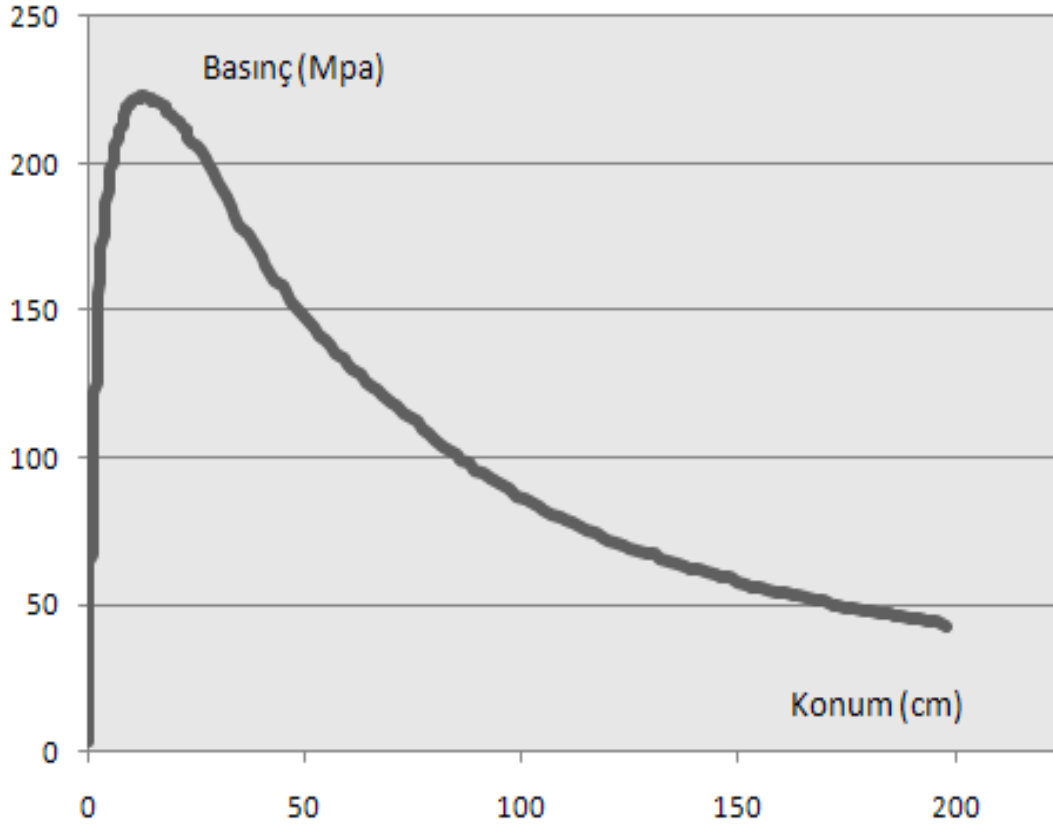
Şekil 6.3. Namlu içi sıcaklık – zaman grafiği

Barutun yanmasıyla beraber mühimmatta yaklaşık 3120-3130 derecelik bir sıcaklık oluşur. Oluşan bu sıcaklık anlık bir sıcaklıktır. Mühimmat, yanan barut azaldığından ve ısı transferi neticesinde sıcaklığı azalarak namluyu terk eder. Bu süreçte oluşan ısının az bir kısmı da namluya geçer. Namlu içi sıcaklık – zaman değerleri Çizelge 6.6'da görülmektedir.

Çizelge 6.6. Namlu içi sıcaklık – zaman değerleri

t	°c	t	°c	t	°c	t	°c	t	°c	t	°c
0,0	3127	5,8	3127	10,6	2513	13,0	2173	15,3	1805	17,6	1466
0,1	3127	5,9	3127	10,7	2493	13,0	2171	15,3	1797	17,6	1461
0,2	3127	6,0	3127	10,7	2475	13,0	2169	15,4	1789	17,7	1457
0,3	3127	6,1	3127	10,8	2457	13,1	2167	15,4	1781	17,7	1452
0,4	3127	6,2	3127	10,8	2441	13,1	2165	15,4	1773	17,8	1448
0,5	3127	6,3	3127	10,8	2425	13,2	2162	15,5	1766	17,8	1444
0,6	3127	6,4	3127	10,9	2411	13,2	2159	15,5	1758	17,8	1440
0,7	3127	6,5	3127	10,9	2397	13,2	2156	15,6	1751	17,9	1436
0,8	3127	6,6	3127	11,0	2384	13,3	2152	15,6	1743	17,9	1432
0,9	3127	6,7	3127	11,0	2372	13,3	2148	15,6	1736	18,0	1428
1,0	3127	6,8	3127	11,0	2361	13,4	2144	15,7	1729	18,0	1424
1,1	3127	6,9	3127	11,1	2350	13,4	2140	15,7	1722	18,0	1420
1,2	3127	7,0	3127	11,1	2340	13,4	2136	15,8	1716	18,1	1416
1,3	3127	7,1	3127	11,2	2331	13,5	2131	15,8	1709	18,1	1412
1,4	3127	7,2	3127	11,2	2322	13,5	2126	15,8	1703	18,2	1408
1,5	3127	7,3	3127	11,2	2313	13,6	2121	15,9	1696	18,2	1404
1,6	3127	7,4	3127	11,3	2305	13,6	2116	15,9	1690	18,2	1401
1,7	3127	7,5	3127	11,3	2298	13,6	2111	16,0	1684	18,3	1397
1,8	3127	7,6	3127	11,4	2291	13,7	2105	16,0	1678	18,3	1394
1,9	3127	7,7	3127	11,4	2284	13,7	2099	16,0	1672	18,4	1390
2,0	3127	7,8	3127	11,4	2278	13,8	2093	16,1	1666	18,4	1386
2,1	3127	7,9	3127	11,5	2272	13,8	2087	16,1	1660	18,4	1383
2,2	3127	8,0	3127	11,5	2266	13,8	2081	16,2	1654	18,5	1380
2,3	3127	8,1	3127	11,6	2261	13,9	2074	16,2	1649	18,5	1376
2,4	3127	8,2	3127	11,6	2256	13,9	2068	16,2	1643	18,6	1373
2,5	3127	8,3	3127	11,6	2251	14,0	2061	16,3	1638	18,6	1370
2,6	3127	8,4	3127	11,7	2247	14,0	2054	16,3	1633	18,6	1366
2,7	3127	8,5	3127	11,7	2242	14,0	2046	16,4	1628	18,7	1363
2,8	3127	8,6	3127	11,8	2238	14,1	2039	16,4	1623	18,7	1360
2,9	3127	8,7	3127	11,8	2235	14,1	2032	16,4	1618	18,8	1357
3,1	3127	8,9	3127	11,9	2228	14,2	2016	16,5	1608	18,8	1351
3,2	3127	9,0	3127	11,9	2225	14,2	2009	16,6	1603	18,9	1348
3,3	3127	9,1	3127	12,0	2222	14,3	2001	16,6	1597	18,9	1344
3,4	3127	9,2	3127	12,0	2219	14,3	1993	16,6	1591	19,0	1342
3,5	3127	9,3	3127	12,0	2216	14,4	1985	16,7	1585	19,0	1339
3,7	3127	9,5	3127	12,1	2211	14,4	1969	16,8	1573	19,1	1333
3,8	3127	9,6	3127	12,2	2209	14,5	1962	16,8	1567	19,1	1330
3,9	3127	9,7	3127	12,2	2207	14,5	1954	16,8	1562	19,2	1327
4,0	3127	9,8	3127	12,2	2204	14,6	1946	16,9	1556	19,2	1324
4,1	3127	9,9	3127	12,3	2202	14,6	1938	16,9	1550	19,2	1322
4,2	3127	10,0	3127	12,3	2200	14,6	1930	17,0	1545	19,3	1319
4,3	3127	10,0	3064	12,4	2198	14,7	1922	17,0	1539	19,3	1316
4,4	3127	10,1	3005	12,4	2197	14,7	1914	17,0	1534	19,4	1314
4,5	3127	10,1	2951	12,4	2195	14,8	1906	17,1	1529	19,4	1311
4,6	3127	10,2	2901	12,5	2193	14,8	1898	17,1	1524	19,4	1308
4,8	3127	10,2	2812	12,6	2190	14,9	1882	17,2	1513	19,5	1303
4,9	3127	10,3	2772	12,6	2188	14,9	1875	17,2	1508		
5,0	3127	10,3	2735	12,6	2186	15,0	1867	17,3	1503		
5,1	3127	10,4	2700	12,7	2185	15,0	1860	17,3	1498		
5,2	3127	10,4	2667	12,7	2183	15,0	1852	17,4	1494		
5,3	3127	10,4	2637	12,8	2181	15,1	1845	17,4	1489		
5,4	3127	10,5	2609	12,8	2180	15,1	1838	17,4	1484		
5,5	3127	10,5	2582	12,8	2178	15,2	1830	17,5	1479		
5,6	3127	10,6	2558	12,9	2176	15,2	1822	17,5	1475		
5,7	3127	10,6	2535	12,9	2175	15,2	1813	17,6	1470		

6.4.4. Basınç – konum grafiği



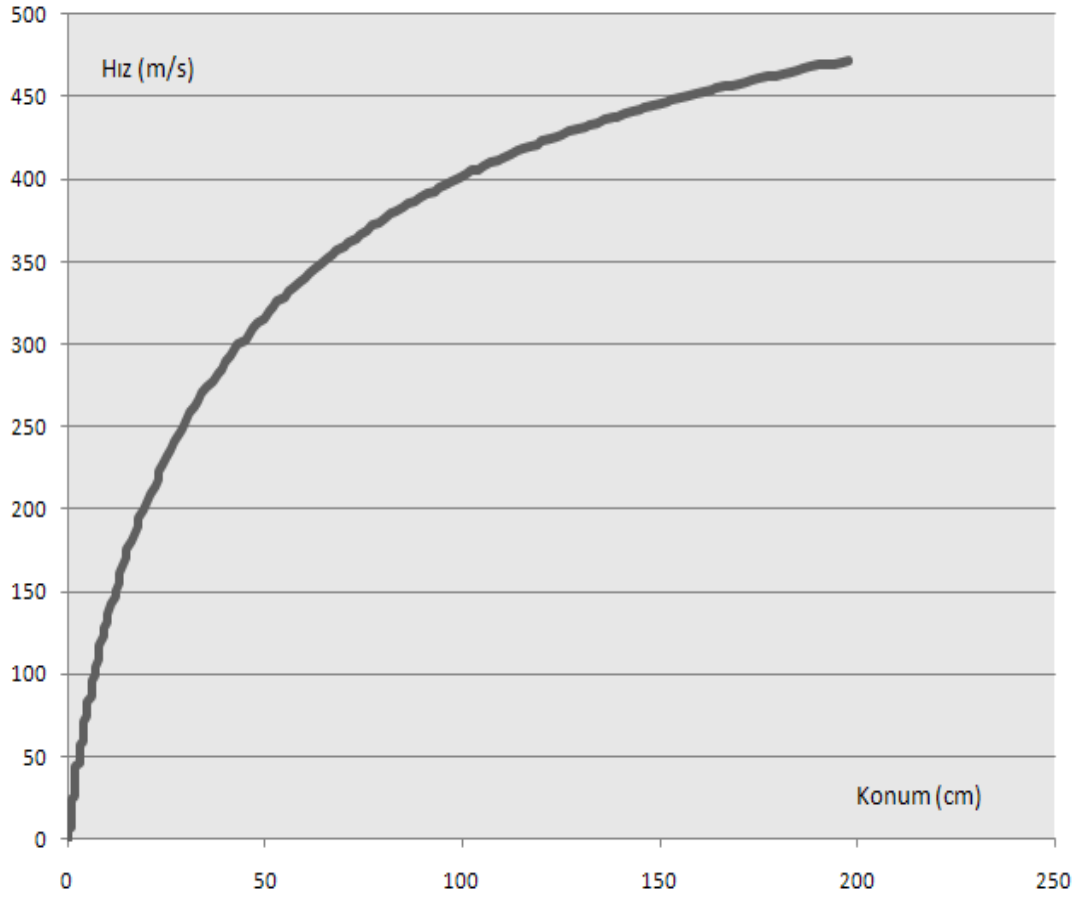
Şekil 6.4. Namlu içi basınç – konum grafiği

Merminin hareketi, ardında oluşan basınçla olur. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi namlu içinde ki basınç, mermi namlu içinde ilerlerken bir noktaya kadar artmakta, daha sonra ise yükselişine göre daha yavaş bir biçimde düşmektedir. $X=0$ konumunda ki basınç artışı ise merminin sevk çemberine yiv set açılmaya zorlanmasından kaynaklanır. Bu sürede basınç artmakta ancak hacim sabit kalmaktadır. Bu basınç etkisi mermiye bir ön direnç vermiş ve mühimmatın hızlanmasına katkı yapmıştır. İçeride oluşan en yüksek basınç 223 MPa, merminin sistemden çıkarken ki basınç ise yaklaşık 43 MPa olmuştur. Namlu içi basınç – konum değerleri Çizelge 6.7'de görülmektedir.

Çizelge 6.7. Namlu içi basınç – konum değerleri

x	p	x	p	x	p	x	p	x	p	x	p	x	p
0	4	0	41	2	151	18	219	55	140	107	81	168	51
0	5	0	43	2	156	18	218	56	138	109	80	170	51
0	6	0	45	3	160	19	217	57	135	110	79	172	50
0	7	0	46	3	164	20	215	59	134	112	78	173	50
0	8	0	48	3	168	21	214	60	132	114	76	175	49
0	9	0	51	3	172	22	212	61	130	115	75	177	49
0	10	0	53	4	176	23	211	63	128	117	74	179	48
0	11	0	55	4	180	23	209	64	126	119	73	181	48
0	12	0	57	4	184	24	207	66	124	120	72	183	47
0	12	0	60	4	187	25	206	67	123	122	71	185	47
0	13	0	62	5	191	26	204	68	121	124	70	186	46
0	14	0	65	5	194	27	202	70	119	125	69	188	46
0	14	1	67	5	198	28	200	71	118	127	68	190	45
0	15	1	70	6	201	29	197	73	115	129	67	192	45
0	16	1	73	6	203	30	194	74	114	131	67	194	44
0	17	1	76	6	206	31	191	76	112	132	66	196	44
0	17	1	79	7	209	32	188	77	110	134	65	198	43
0	18	1	82	7	211	33	185	79	108	136	64		
0	19	1	85	8	213	34	182	80	106	138	63		
0	20	1	88	8	215	35	179	82	104	139	62		
0	21	1	92	8	217	37	176	83	103	141	62		
0	22	1	95	9	218	38	173	85	101	143	61		
0	23	1	99	9	219	39	171	86	99	145	60		
0	24	1	102	10	220	40	168	88	98	146	59		
0	25	1	106	10	221	41	165	89	96	148	59		
0	26	1	110	11	222	42	163	91	95	150	58		
0	28	1	114	12	222	43	160	93	93	152	57		
0	29	1	118	12	223	45	158	94	92	153	56		
0	30	1	122	13	223	46	155	96	90	155	56		
0	32	2	126	13	223	47	153	97	89	157	55		
0	33	2	130	14	222	48	151	99	87	159	54		
0	34	2	134	15	222	50	148	101	86	161	54		
0	36	2	139	15	221	51	146	102	85	163	53		
0	38	2	143	16	221	52	144	104	83	164	53		
0	39	2	147	17	220	53	142	105	82	166	52		

6.4.5. Hız – konum grafiği



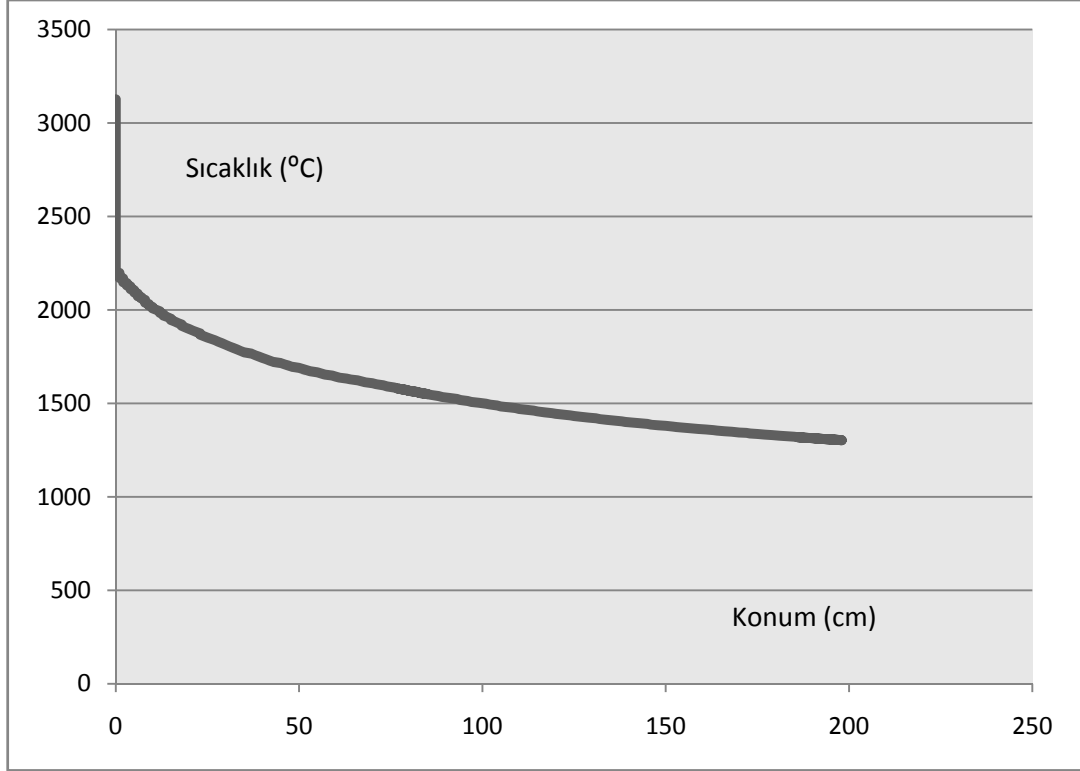
Şekil 6.5. Namlu içi hız – konum grafiği

Şekil 6.5’de mühimmat namlu içinde yol aldıkça hızı da azalarak artmakta ve namluyu 472 m/s lik bir hız ile terk etmektedir. Namlu içi hız – konum değerleri Çizelge 6.8’de görölmektedir.

Çizelge 6.8. Namlu içi hız – konum değerleri

x	v	x	v	x	v	x	v	x	v	x	v
0	0	3	50	17	185	48	313	93	393	145	442
0	1	3	53	18	190	50	316	94	395	146	443
0	2	3	57	18	195	51	320	96	397	148	445
0	3	4	60	19	199	52	323	97	399	150	446
0	4	4	64	20	204	53	326	99	401	152	447
0	5	4	67	21	209	55	329	101	403	153	448
0	6	4	71	22	214	56	332	102	405	155	449
1	7	5	75	23	218	57	335	104	406	157	450
1	8	5	79	23	223	59	338	105	408	159	452
1	9	5	83	24	227	60	340	107	410	161	453
1	10	6	87	25	232	61	343	109	412	163	454
1	11	6	91	26	236	63	346	110	413	164	455
1	12	6	96	27	241	64	349	112	415	166	456
1	13	7	100	28	245	66	352	114	417	168	457
1	14	7	105	29	249	67	354	115	418	170	458
1	16	8	109	30	254	68	357	117	420	172	459
1	17	8	114	31	258	70	359	119	421	173	460
1	18	8	118	32	262	71	362	120	423	175	461
1	20	9	123	33	266	73	364	122	424	177	462
1	21	9	128	34	270	74	367	124	426	179	463
1	23	10	132	35	274	76	369	125	427	181	464
1	24	10	137	37	278	77	372	127	429	183	465
2	26	11	142	38	282	79	374	129	430	185	466
2	28	12	147	39	285	80	376	131	432	186	467
2	30	12	151	40	289	82	379	132	433	188	468
2	33	13	156	41	293	83	381	134	434	190	469
2	35	13	161	42	296	85	383	136	436	192	470
2	38	14	166	43	300	86	385	138	437	194	470
2	41	15	171	45	303	88	387	139	438	196	471
2	44	15	176	46	306	89	389	141	440	198	472
3	47	16	180	47	310	91	391	143	441		

6.4.6. Sıcaklık – konum grafiği



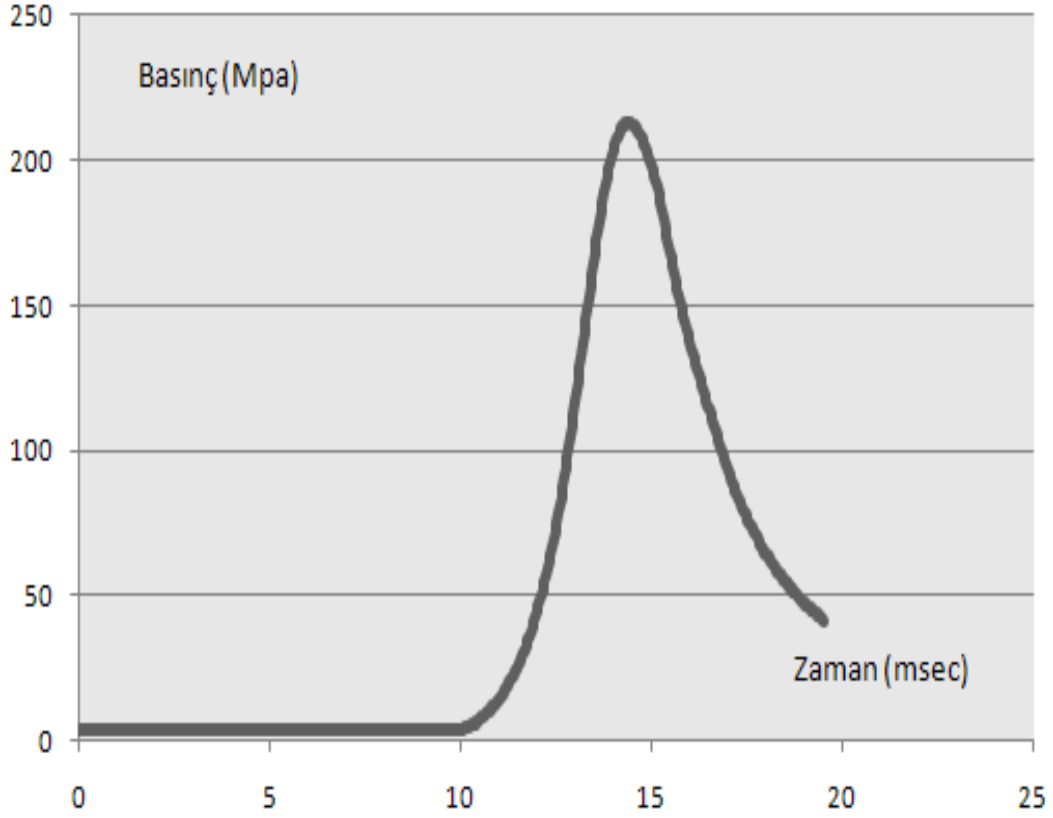
Şekil 6.6 Namlu içi sıcaklık – konum grafiği

Şekil 6.6'da $X=0$ noktasında mermi, barutun yanmasıyla (harekete başlamadan önce) 3126,9 derecelik bir sıcaklığa ulaşmıştır. Aldığı yola bağlı olarak sıcaklığı düşmüş, namluyu terk ederken de 1303 °C olmuştur. Namlu içi sıcaklık – konum değerleri Çizelge 6.9'da görülmektedir.

Çizelge 6.9. Namlu içi sıcaklık – konum değerleri

X	°C	X	°C	X	°C	X	°C	X	°C	X	°C
0	3127	0	2247	3	2144	25	1852	77	1579	138	1404
0	3064	0	2242	3	2140	26	1845	79	1573	139	1401
0	3005	0	2238	3	2136	27	1838	80	1567	141	1397
0	2951	0	2235	3	2131	28	1830	82	1562	143	1394
0	2901	0	2231	4	2126	29	1822	83	1556	145	1390
0	2855	0	2228	4	2121	30	1813	85	1550	146	1386
0	2812	0	2225	4	2116	31	1805	77	1579	148	1383
0	2772	0	2222	4	2111	32	1797	79	1573	150	1380
0	2735	0	2219	5	2105	33	1789	80	1567	152	1376
0	2700	0	2216	5	2099	34	1781	82	1562	153	1373
0	2667	0	2214	5	2093	35	1773	83	1556	155	1370
0	2637	0	2211	6	2087	37	1766	85	1550	157	1366
0	2609	0	2209	6	2081	38	1758	86	1545	159	1363
0	2582	0	2207	6	2074	39	1751	88	1539	161	1360
0	2558	0	2204	7	2068	40	1743	89	1534	163	1357
0	2535	0	2202	7	2061	41	1736	91	1529	164	1354
0	2513	0	2200	8	2054	42	1729	93	1524	166	1351
0	2493	1	2198	8	2046	43	1722	94	1518	168	1348
0	2475	1	2197	8	2039	45	1716	96	1513	170	1344
0	2457	1	2195	9	2032	46	1709	97	1508	172	1342
0	2441	1	2193	9	2024	47	1703	99	1503	173	1339
0	2425	1	2191	10	2016	48	1696	101	1498	175	1336
0	2411	1	2190	10	2009	50	1690	102	1494	177	1333
0	2397	1	2188	11	2001	51	1684	104	1489	179	1330
0	2384	1	2186	12	1993	52	1678	105	1484	181	1327
0	2372	1	2185	12	1985	53	1672	107	1479	183	1324
0	2361	1	2183	13	1977	55	1666	109	1475	185	1322
0	2350	1	2181	13	1969	56	1660	110	1470	186	1319
0	2340	1	2180	14	1962	57	1654	112	1466	188	1316
0	2331	1	2178	15	1954	59	1649	114	1461	190	1314
0	2322	1	2176	15	1946	60	1643	115	1457	192	1311
0	2313	1	2175	16	1938	61	1638	117	1452	194	1308
0	2305	1	2173	17	1930	63	1633	119	1448	196	1306
0	2298	1	2171	18	1922	64	1628	120	1444	198	1303
0	2291	2	2169	18	1914	66	1623	122	1440	198	1303
0	2284	2	2167	19	1906	67	1618	124	1436	186	1319
0	2278	2	2165	20	1898	68	1613	125	1432	188	1316
0	2272	2	2162	21	1890	70	1608	127	1428	190	1314
0	2266	2	2159	22	1882	71	1603	129	1424	192	1311
0	2261	2	2156	23	1875	73	1597	131	1420	194	1308
0	2256	2	2152	23	1867	74	1591	132	1416	196	1306
0	2251	2	2148	24	1860	76	1585	134	1412	198	1303

6.4.7. Basınç – zaman grafiği



Şekil 6.7. Namlu içi basınç – zaman grafiği

Şekil 6.7’de ilk 10 milisaniyelik bölümde mühimmat, sevk çemberi ve yiv set kuvvetini yenmeye çalışmaktadır. Bu etkilerden kurtulduktan sonra maksimum basınç değerine çok kısa bir sürede ulaşmıştır. Çizelge 6.10’da namlu içi basınç – zaman değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.10. Namlu içi basınç – zaman değerleri

p	t	p	t	p	t	p	t	p	t
3,791	0	52,54	12,16	212,268	14,28	118,874	16,4	54,651	18,52
4,034	10,08	54,743	12,2	212,718	14,32	117,212	16,44	53,995	18,56
4,289	10,12	57,025	12,24	212,987	14,36	115,586	16,48	53,352	18,6
4,555	10,16	59,387	12,28	213,082	14,4	113,995	16,52	52,72	18,64
4,834	10,2	61,832	12,32	213,006	14,44	112,438	16,56	52,101	18,68
5,126	10,24	64,361	12,36	212,768	14,48	110,488	16,6	51,494	18,72
5,432	10,28	66,976	12,4	212,375	14,52	108,648	16,64	50,898	18,76
5,751	10,32	69,677	12,44	211,833	14,56	106,785	16,68	50,313	18,8
6,086	10,36	72,465	12,48	211,149	14,6	104,967	16,72	49,739	18,84
6,523	10,4	75,342	12,52	210,332	14,64	103,192	16,76	49,175	18,88
6,897	10,44	78,308	12,56	209,39	14,68	101,46	16,8	48,622	18,92
7,288	10,48	81,363	12,6	208,33	14,72	99,768	16,84	48,079	18,96
7,697	10,52	84,508	12,64	207,162	14,76	98,117	16,88	47,547	19
8,126	10,56	87,741	12,68	205,894	14,8	96,505	16,92	47,023	19,04
8,574	10,6	91,063	12,72	204,536	14,84	94,931	16,96	46,509	19,08
9,042	10,64	94,473	12,76	203,095	14,88	93,393	17	46,005	19,12
9,532	10,68	97,968	12,8	201,578	14,92	91,892	17,04	45,509	19,16
10,043	10,72	101,547	12,84	199,993	14,96	90,426	17,08	45,022	19,2
10,578	10,76	105,206	12,88	198,346	15	88,994	17,12	44,544	19,24
11,136	10,8	108,944	12,92	196,644	15,04	87,595	17,16	44,074	19,28
11,719	10,84	112,756	12,96	194,893	15,08	86,229	17,2	43,613	19,32
12,328	10,88	116,639	13	193,1	15,12	84,894	17,24	43,159	19,36
12,963	10,92	120,586	13,04	191,182	15,16	83,59	17,28	42,714	19,4
13,626	10,96	124,585	13,08	188,23	15,2	82,315	17,32	42,275	19,44
14,317	11	128,619	13,12	185,31	15,24	81,07	17,36	41,845	19,48
15,038	11,04	132,674	13,16	182,422	15,28	79,853	17,4	41,422	19,52
15,789	11,08	136,744	13,2	179,568	15,32	78,663	17,44	41,361	19,526
16,571	11,12	140,822	13,24	176,751	15,36	77,499	17,48		
17,387	11,16	144,896	13,28	173,972	15,4	76,361	17,52		
18,236	11,2	148,954	13,32	171,234	15,44	75,248	17,56		
19,121	11,24	152,982	13,36	168,539	15,48	74,16	17,6		
20,041	11,28	156,966	13,4	165,887	15,52	73,096	17,64		
20,999	11,32	160,895	13,44	163,28	15,56	72,055	17,68		
21,996	11,36	164,76	13,48	160,718	15,6	71,037	17,72		
23,034	11,4	168,548	13,52	158,201	15,64	70,042	17,76		
24,112	11,44	172,247	13,56	155,731	15,68	69,068	17,8		
25,234	11,48	175,843	13,6	153,307	15,72	68,114	17,84		
26,4	11,52	179,325	13,64	150,93	15,76	67,182	17,88		
27,613	11,56	182,681	13,68	148,598	15,8	66,27	17,92		
28,872	11,6	185,899	13,72	146,313	15,84	65,376	17,96		
30,181	11,64	188,968	13,76	144,073	15,88	64,502	18		
31,541	11,68	191,879	13,8	141,879	15,92	63,646	18,04		
32,954	11,72	194,622	13,84	139,73	15,96	62,809	18,08		
34,422	11,76	197,188	13,88	137,625	16	61,988	18,12		
35,945	11,8	199,571	13,92	135,564	16,04	61,185	18,16		
37,527	11,84	201,763	13,96	133,546	16,08	60,398	18,2		
39,17	11,88	203,76	14	131,571	16,12	59,628	18,24		
40,875	11,92	205,562	14,04	129,637	16,16	58,873	18,28		
42,644	11,96	207,167	14,08	127,745	16,2	58,133	18,32		
44,48	12	208,576	14,12	125,893	16,24	57,409	18,36		
46,386	12,04	209,789	14,16	124,081	16,28	56,699	18,4		
48,363	12,08	210,807	14,2	122,307	16,32	56,003	18,44		
50,414	12,12	211,632	14,24	120,572	16,36	55,32	18,48		

6.5. Vallier-Heydenreich Balistik Çözümü

Heydenreich, bir silahta mermi kütlesi, namlu çapı, namlu boyu, ilk hız, barut kütlesi ve piezometrik verimi bilinen bir sistemde, gaz basıncının maksimum olduğu andaki mermi hızını, zamanı ve basıncı hesaplamak üzere, piezometrik verime bağlı olarak bazı formüller geliştirmiştir [5].

Basıncı:

$$P_0 = \left[\frac{m_p + 0.5m_B}{2x_e A} \right] U_0^2 \quad (6.1)$$

Piezometrik verim:

$$\eta_p = \frac{P_0}{P_m} \quad (6.2)$$

Gaz basıncının maksimum olduğu anda, merminin namlu içinde almış olduğu yol:

$$X_1 = X_e \Sigma(\eta_p) \quad (6.3)$$

Geçen zaman:

$$t_1 = \frac{2X_e}{U_2} \theta(\eta_p) \quad (6.4)$$

Hız:

$$U_1 = U_0 \Phi(\eta_p) \quad (6.5)$$

Namlu ağız basıncı:

$$P_e = P_o \pi(\eta) \quad (6.6)$$

Formülleri ile hesaplanabilir.

$\Sigma(\eta)$, $\theta(\eta)$, $\Phi(\eta)$, $\Pi(\eta)$, $T(\eta)$ balistik faktörleri Çizelge 6.11'den piezometrik verim değerine göre bulunur ve formüllerde yerine konur.

Çizelge 6.11. Heydenreich balistik tablosu [5]

η	$\Sigma(\eta)$	$\theta(\eta)$	$\Phi(\eta)$	$\Pi(\eta)$	$T(\eta)$
0.20	0.0262	0.150	0.322	0.274	0.744
0.25	0.0360	0.196	0.337	0.306	0.792
0.30	0.0471	0.246	0.352	0.338	0.842
0.35	0.0597	0.300	0.367	0.368	0.893
0.40	0.0740	0.358	0.383	0.400	0.946
0.45	0.0903	0.420	0.399	0.432	1.000
0.50	0.1090	0.487	0.416	0.465	1.056
0.55	0.132	0.560	0.435	0.501	1.116
0.60	0.160	0.642	0.457	0.541	1.180
0.65	0.192	0.734	0.482	0.585	1.249
0.70	0.231	0.835	0.511	0.635	1.322
0.75	0.283	0.958	0.546	0.697	1.406
0.80	0.360	1.115	0.592	0.779	1.507

Namluda maksimum basınç oluşurken ki değerler hesaplanmak istenirse:

Namlu çapı	: 105 mm
Mermi ağırlığı	: 14,984 kg
Barut ağırlığı	: 1,353kg
Mermi ilk hızı	: 472m/s
Maksimum basınç	: 223 MPa
Namlu boyu	: 1,98 m
Namlu delik alanı	: 0,00865 m ²

$$P_0 = \left[\frac{14,984 + 0,5 \cdot 1,353}{2 \cdot 1,98 \cdot 0,00865} \right] 472^2 = 101,8 \text{ Mpa}$$

$$\eta_p = \frac{101,8}{223} = 0,457$$

Gaz basıncı maksimum değerine ulaşıncaya kadar merminin:

- Namlu içinde aldığı yol

$\eta = 0,457$ için çizelge (5.11)'den $\Sigma(\eta) = 0,0903$ alınırsa

$$X_1 = 0,0903 \cdot 1,98 = 17 \text{ cm}$$

İç balistik tablodan bakıldığında bu değer 13.cm olduğu görülmüştür.

- Namlu içinde hareketli olduğu süre

$\eta = 0,457$ için çizelge (5.11)'den $\theta(\eta) = 0,42$ alınırsa

$$t_1 = \frac{2 \cdot 1,98}{472} \cdot 0,42 = 3,5 \text{ ms}$$

İç Balistik tablodan bakıldığında değer 2,3 ms olduğu görülmüştür.

- Namlu içindeki hızı

$\eta = 0,457$ için çizelge (5.11)'den $\Phi(\eta) = 0,399$

$$U_1 = 472 \cdot 0,399 = 188 \text{ m / s}$$

İç balistik tablolardan bu hızın yaklaşık 166 m/s olduğu çıkarılmaktadır.

Ayrıca namlu ağzındaki gaz basıncı değeri:

$$P_e = P_0 \pi(\eta)$$

çizelge (5.11)'den $\eta = 0,457$ için $\pi(\eta) = 0,432$ alınırsa

$$P_e = 101,8 \cdot 0,432 = 44 \text{ Mpa}$$

İç balistik tablodan namlu ağzındaki basınç değeri yaklaşık olarak 43 MPa olmuştur.

Namlu içinde merminin geçirdiği toplam hareketli süre:

$$t_e = \frac{2X_e}{U_o} T(\eta)$$

çizelge (5.11)'den $\eta=0.457$ için $T(\eta)= 1$ alınırsa

$$t_e = \frac{2.1,98}{472} = 8,3ms$$

İç balistik tablolardan bakıldığında ise bu değer yaklaşık 8,4 ms olmuştur.

Prodas programıyla elde edilen sonuçlar ile Heydenreich yöntemi kullanılarak yapılan hesaplamalar Çizelge 6.12'deki gibidir.

Çizelge 6.12. Prodas ve Heydenreich sonuç karşılaştırma tablosu

	Prodas	Heydenreich
Gaz basıncı maksimum değerine ulaşmaya kadar merminin namlunun içinde aldığı yol (cm)	13	17
Gaz basıncı maksimum değerine ulaşmaya kadar merminin namlu içinde hareketli olduğu süre (ms)	2,3	3,5
Gaz basıncı maksimum değerine ulaşmaya kadar merminin namlu içindeki hızı (m/s)	166	188
Namlu ağzındaki gaz basıncı değeri (MPa)	43	44
Namlu içinde merminin geçirdiği toplam hareketli süre (ms)	8,4	8,3

7. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

7.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık geometrili bir şeklin, malzemenin özelliklerine göre, değişik geometrili bölmelerle ve formüllerle problemi çözme yöntemidir. Sayısal metotlar olmasaydı, pratik mühendislik problemlerini yeteri derecede hassasiyette çözmek imkânsız olacaktı. Sürekli ortam mekaniği problemlerinin analizinde kullanılan bu yöntemlerin esas aldığı prensip, problemin fiziksel büyüklükleri arasında ki bağı ifade eden denklemlerin son derece küçük bir bölgesinde oluşturulabilmesidir. Bu şekilde gerçek yapının davranışı birbirine bağlı küçük bölgelerde oluşturulan denklemlerin topluluğu ile incelenmektedir. Yapıyı küçük parçalara bölmek ve bu parçaları birleştiren bağları oluşturmakla, fiziksel büyüklüklerin (gerilme analizi probleminde gerilme ve yer değiştirmenin) yapı içindeki değişimini yeteri hassasiyetle hesaplamak mümkündür. Bu bölgelerin sayısı arttıkça çözümün hassasiyeti artmaktadır. Sonlu eleman yöntemi, bir nümerik yöntem olup, özellikle katı cisimlerin mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde bilgisayar ortamında kullanılan gelişmiş bir yöntemdir [27].

Sonlu elemanlar analizi, bir dizaynı, belirli yük koşullarında simüle edip bu yüklere sistemin tepkisini bulmanın bir yöntemidir. Dizaynın modellenmesi, elemanlar adı verilen sonlu sayıdaki bloklarla yapılır. Her elemanın yüklemeye vereceği tepkiyi ifade eden bir denklemi vardır. Bu elemanların tepkilerinin toplamı, dizaynın yüklemeye vereceği tepkiyi oluşturur. Elemanlar sonlu sayıda bilinmeyen içerdiğinden, sonlu elemanlar ismi buradan gelir [28].

Sonlu elemanlar yönteminin yerinde ve doğru uygulanması için yapılması gereken en önemli iş, çözümü yapılması planlanan problemin tip ve özelliklerinin tespit edilmesidir. Sonlu elemanlar yöntemi doğada gerçekleşen

herhangi bir olayın matematiksel ifadesini çözmeye yarar. Dolayısıyla yöntemin yerinde uygulanması için bu problemin gerekli özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu, ayrıca problemi çözmek için kullanılacak sonlu elemanlar yöntemine dayalı yazılımın ve algoritmanın seçilmesi için de çok büyük önem taşımaktadır. Problem incelenirken dikkat edilecek özellikler şunlardır [29].

- i. Problemin lineerliği
- ii. Problemin statik veya dinamik olup olmadığı
- iii. Temas durumları

7.1.1. Sonlu elemanlar analiz programı

Modelin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi için ANSYS 12.1 programı kullanılmıştır. Ansys kendi içinde özelleşmiş modülleri olan bir sonlu elemanlar programıdır.

ANSYS programı 1970'li yıllardan beri Amerika'daki Swanson Analysis System şirketi tarafından geliştirilen bir sonlu elemanlar analiz sistemidir. Bu yazılım sayesinde, yapılması çok zor işlemler kolayca ve kısa sürede gerçekleştirilerek ve çözümün görselleştirilmesi ile de sonuçların daha anlaşılır olması sağlanmaktadır. Sonlu eleman yöntemine dayalı programların analizlerde takip ettikleri işlem sırası genel olarak hemen hemen aynıdır [30].

Katı modellemesi tamamlanmış bir ürünün analiz ve optimizasyon işlemleri ANSYS ve benzeri analiz programları ile dijital ortamda henüz ürün üretilmeden yapılabilmektedir. Bu işlemler firmaların yeni ürünlere geçişlerinde minimum maliyet ve zaman kaybı ile tasarım yapmalarına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla bir ürünün kaliteli ve minimum maliyetli olması için gerekli dizayn şartları bu program sayesinde bulunabilmektedir.

En çok karşılaşılan durum ise ürünlerin malzeme ağırlıklarındaki iyileştirmelerdir [31].

7.2. Çözüm Kabulleri

7.2.1. Emniyet katsayısı

Konstrüksiyonda kullanılan elemanların daima elastik durumda tutulması ve kalıcı şekil değiştirmelerin oluşmasının önlenmesi için yüklerden dolayı elemanlarda ortaya çıkacak gerilmelerin orantı sınırının altında tutulması istenir. Tasarım aşamasında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Malzemeler için emniyet gerilmesi, akma mukavemetinin, bir emniyet katsayısına bölünmesiyle belirlenir. Emniyet katsayısı çok büyük seçildiği durumlarda malzeme ve işçilik kaybına neden olan büyük kesitli parçalar elde edilir. Çok küçük seçildiği durumda, kopma ihtimali doğar. Emniyet katsayısını seçilmesi için kesin bir yöntem yoktur [30]. Mukavemet hesapları yapılırken emniyet katsayısı 1,25 olarak seçilmiştir.

7.2.2. Otofretaj etkisi

Otofretajlı namlu ön gerilmeli olup yüksek basınca 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 ofofretajlı namlunun kesitinde meydana gelen gerilme değerleri aşağı çekilmiş ve daha dengeli dağılması sağlanmış olur [6].

Analizi yapılacak namlunun otofretajlı namlu olduğu düşünülerek, analiz sonucunda gerilmelerin %20 - %30 arasında düşük bir değerde çıkması beklenilmektedir [32].

7.2.3. Zaman integrasyon yöntemleri

Başlıca iki tip zaman integrasyon yöntemi vardır. Bunlar ekspilisit (açık zaman integrasyon) ve impilisit (kapalı zaman integrasyon) yöntemleridir.

Ekspilisit yöntem

Ekspilisit zaman integrasyon yöntemi merkezi farklar metoduna dayanır. Ekspilisit yöntem sistemin n anındaki dengesinden direk zaman integrasyonu ile çözüm yapar. Sistemin denge denklemi, t_n zamanındaki çözümü bilinen bir n anında kurulur ve t_{n+1} zamanında çözümü bilinmeyen $n+1$ anındaki sistemin çözümü bulunmaya çalışılır. Merkezi farklar metodu koşullu kararlı bir yöntemdir. Yani zaman adımı belli bir kritik değeri aşmamalıdır [33].

Ekspilisit iterasyon birçok sonlu elemanlar çözüm algoritmasından çok daha hızlı çözüme ulaşır. Bu yüzden, çok eleman içeren ve zaman basamağı sık nonlineer problemlerde tercih edilir Bu yöntem sabit ortalama ivme kabulüne dayanır [29].

İmpilisit yöntem

İmpilisit yöntem “Newmark” metodunu kullanır. Bu yöntem her zaman adımında $(n+1)$ anındaki sistemin dengesi için çözüm yapar [33].

İmpilisit ve ekspilisit yöntemlerin en önemli farkı, ekspilisit yöntemin sistemin n anındaki dengesi için, impilisit yöntemin ise $n+1$ anındaki dengesi için çözüm yapmasıdır. Çizelge 7.1’de detaylı bir şekilde iki yöntem arasındaki farklar

verilmiştir [33]. Sonlu elemanlar analizi sırasında patlama etkisinin kısa bir süre sürdüğü bilindiği için eksplisit yöntem kullanılmıştır.

Çizelge 7.1. İmpilisit ve eksplisit yöntemlerinin karşılaştırılması [33]

İmpilisit Yöntem	Ekspilisit Yöntem
Büyük zaman adımlarına izin verir ve denge denklemleri her zaman adımının sonunda kesin şekilde sağlanır.	Sistemin kararlılığının sağlanması için zaman adımı çok küçük değerlerle sınırlandırılır ve çözüm karardır. Hemen hemen her problem için çözüm verebilir.
Temas şartlarının ani değiştiği durumlarda yakınsama problemi verebilir.	Zaman adımı başına daha az hesap gerekir. Büyük deformasyonlara maruz kalan elemanlar çözülebilir.
Her zaman adımı için pek çok denge iterasyonu gerektirir ve her bir iterasyon için bir dizi lineer denklem sistemi çözmek gerekir.	Ekspilisit yöntem büyük sac şekil verme problemlerini çözmekte etkilidir. Fakat geri yaylanmadan sonraki geometriyi hesaplamak zor olabilir.
Rijit yüzeylerle çok sayıda düğümün etkileşimini çözmekte uygun değildir. Fakat geri yaylanma (springback) hesabını çok iyi ele almaktadır.	Çarpma ve patlama gibi yüksek hızlı problemler başarıyla analiz edilebilir.
Genellikle yükün yavaş uygulandığı ve statik problemlerde etkilidirler ve atalet etkileri hesaba katılmaz.	

7.2.4. Hasar

Hasar, bir yapının veya yapı elemanının kendisinden beklenen işlevleri yerine getiremez hale gelmesidir. Bir elemanda hasar, elemanın “aşırı zorlanması” sonucunda meydana gelir. Aşırı zorlanmış elemanda hasar iki nedenle ortaya çıkar. Bunlar:

- Elemanın dayanımı gereken dayanımdan küçüktür,
- Elemana etkiyen yükler elemanın taşıyabileceği yükten daha büyüktür.

Günümüz teknolojisinde hasar analizi ve önlenmesi mühendislik dallarının tümünün ilgi alanına girmiştir [34]. Bu beklentiler şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek emniyet ve geliştirilmiş güvenilirlik,
- Yüksek performans ve verimlilik,
- Çevreye kötü etkisinin en aza indirilmesidir.

Bu model ve yöntemlerin hepsi bilimsel metotlara dayanmaktadır. Bunlar, problemi tanımlama, hipotez oluşturma, veri toplama ve birleştirme, hipotezi test etme ve sonuçları belirlemedir [35].

Hasar kriteri seçimi

Hasar kriteri seçiminde iki genel akma kriteri mevcuttur. Bunlar von-mises ve tresca kriterleridir [36]. Çizelge 7.2'de karşılaştırma tablosu verilmiştir.

Çizelge 7.2. Von-Mises ve Tresca Kriterlerinin karşılaştırılması [36]

Von – Mises	Tresca
Gerilme farklarını kullanır.	Matematik açısından daha basittir.
Daima kareler vardır ve işaretten bağımsızdır. Bu yüzden pratiktir.	Gerilmelerin (+), (-) olması önemlidir.
Tüm gerilmelere bağlıdır.	Pratik çalışmalarda çok kullanılır.
Teorik çalışmalarda tercih edilir.	Mühendislik çalışmalarında tercih edilir.

Yapılan çalışmanın teorik olması ve literatürde kullanımının yaygın olması sebebiyle Von-Mises hasar kriteri kullanılmıştır.

7.2.5. Malzeme özellikleri

Namlu malzemesi olarak 35NiCrMoV12-5 olarak da bilinen, 4340 çeliği tercih edilmiştir. Kimyasal bileşenleri Çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. 4340 çeliğinin kimyasal bileşenleri [34]

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	V%
0,30-0,40	0,15-0,35	0,40-0,70	0,015	0,015	1,00-1,40	0,35-0,60	2,50-3,50	0,08-0,20

AISI 4340 ısıtılabilir ve işlenebilir düşük alaşımlı bir çeliktir. Nemli alaşım elemanları nikel, krom ve molibdendir. Bu malzeme uygun şartlarda ısıtılabilir ve işlenebilir durumda yüksek dayanımın elde edilebilme kapasitesi bulunan ve yüksek tokluk değerine sahip bir malzeme olarak bilinir.

Tipik kullanım alanları tasarım malzemesi olarak uçak iniş takımı dişlileri, güç iletim dişlileri, miller ve diğer makine parçalarıdır. Bu açıdan dikkate alındığında daha çok darbe direncinin önemli olduğu uygulamalarda da kullanım alanı bulmaktadır [34].

Kullanılan malzemenin, yoğunluğu $7,850 \text{ g/cm}^3$, kopma mukavemeti 1320 MPa, akma mukavemeti 1150 MPa, elastisite modülü 200 Gpa ve poisson oranı 0,30'dur.

7.2.6. Basıncın etki edeceği yer ve süresi

Namluda yanma sırasında ortaya çıkan ve prodas programından alınan veriler doğrultusunda sistemin zamanla değişen basınç yüklerine maruz kaldığı görülmektedir.

Namlu, basıncın fazla olduğu bölgeler de daha kalın, az olduğu bölgeler de ise daha ince cidarlı tasarlanmıştır. Namlu tasarımında maksimum gaz basıncı esas alınarak namlu ucuna doğru azalan basınca göre tasarım yapılmıştır [6]. Çözüm yapılırken namlu, 0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100, 100-120, 120-140, 140-160, 160-180 ve 180-198 santimetre olmak üzere toplam 20 parçaya bölünmüştür. Bölünen her bir parçanın ne kadar süreyle hangi basınca maruz kalacağı prodasdan alınan değerler girilerek sonlu elemanlar programına tanıtılmıştır (Çizelge 7.4 - Çizelge 7.23).

Çizelge 7.4. Merminin konumuna göre 0-2 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman (s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	0	0
0,0130	156	2
0,0137	198	5
0,0142	223	10
0,0145	221	15
0,0148	215	20
0,0150	206	25
0,0152	194	30
0,0154	179	35
0,0156	168	40
0,0159	148	50
0,0162	132	60
0,0165	119	70
0,0168	106	80
0,0170	96	90
0,0173	87	100
0,0178	72	120
0,0182	62	140
0,0187	54	160
0,0191	48	180
0,0195	43	198

Çizelge 7.5. Merminin konumuna göre 2-5 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman (s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	156	2
0,0007	198	5
0,0012	223	10
0,0015	221	15
0,0018	215	20
0,0020	206	25
0,0022	194	30
0,0024	179	35
0,0026	168	40
0,0029	148	50
0,0032	132	60
0,0035	119	70
0,0038	106	80
0,0040	96	90
0,0043	87	100
0,0048	72	120
0,0052	62	140
0,0057	54	160
0,0061	48	180
0,0065	43	198

Çizelge 7.6. Merminin konumuna göre 5-10 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	198	5
0,0005	223	10
0,0008	221	15
0,0011	215	20
0,0013	206	25
0,0015	194	30
0,0017	179	35
0,0019	168	40
0,0022	148	50
0,0025	132	60
0,0028	119	70
0,0031	106	80
0,0033	96	90
0,0036	87	100
0,0041	72	120
0,0045	62	140
0,0050	54	160
0,0054	48	180
0,0058	43	198

Çizelge 7.7. Merminin konumuna göre 10-15 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	223	10
0,0003	221	15
0,0006	215	20
0,0008	206	25
0,0010	194	30
0,0012	179	35
0,0014	168	40
0,0017	148	50
0,0020	132	60
0,0023	119	70
0,0026	106	80
0,0028	96	90
0,0031	87	100
0,0036	72	120
0,0040	62	140
0,0045	54	160
0,0049	48	180
0,0053	43	198

Çizelge 7.8. Merminin konumuna göre 15-20 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	221	15
0,0003	215	20
0,0005	206	25
0,0007	194	30
0,0009	179	35
0,0011	168	40
0,0014	148	50
0,0017	132	60
0,0020	119	70
0,0023	106	80
0,0025	96	90
0,0028	87	100
0,0033	72	120
0,0037	62	140
0,0042	54	160
0,0046	48	180
0,0050	43	198

Çizelge 7.9. Merminin konumuna göre 20-25 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	215	20
0,0002	206	25
0,0004	194	30
0,0006	179	35
0,0008	168	40
0,0011	148	50
0,0014	132	60
0,0017	119	70
0,0020	106	80
0,0022	96	90
0,0025	87	100
0,0030	72	120
0,0034	62	140
0,0039	54	160
0,0043	48	180
0,0047	43	198

Çizelge 7.10. Merminin konumuna göre 25-30 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	206	25
0,0002	194	30
0,0004	179	35
0,0006	168	40
0,0009	148	50
0,0012	132	60
0,0015	119	70
0,0018	106	80
0,0020	96	90
0,0023	87	100
0,0028	72	120
0,0032	62	140
0,0037	54	160
0,0041	48	180
0,0045	43	198

Çizelge 7.11. Merminin konumuna göre 30-35 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	194	30
0,0002	179	35
0,0004	168	40
0,0007	148	50
0,0010	132	60
0,0013	119	70
0,0016	106	80
0,0018	96	90
0,0021	87	100
0,0026	72	120
0,0030	62	140
0,0035	54	160
0,0039	48	180
0,0043	43	198

Çizelge 7.12. Merminin konumuna göre 35-40 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	179	35
0,0002	168	40
0,0005	148	50
0,0008	132	60
0,0011	119	70
0,0014	106	80
0,0016	96	90
0,0019	87	100
0,0024	72	120
0,0028	62	140
0,0033	54	160
0,0037	48	180
0,0041	43	198

Çizelge 7.13. Merminin konumuna göre 40-50 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	168	40
0,0003	148	50
0,0006	132	60
0,0009	119	70
0,0012	106	80
0,0014	96	90
0,0017	87	100
0,0022	72	120
0,0026	62	140
0,0031	54	160
0,0035	48	180
0,0039	43	198

Çizelge 7.14. Merminin konumuna göre 50-60 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	148	50
0,0003	132	60
0,0006	119	70
0,0009	106	80
0,0011	96	90
0,0014	87	100
0,0019	72	120
0,0023	62	140
0,0028	54	160
0,0032	48	180
0,0036	43	198

Çizelge 7.15. Merminin konumuna göre 60-70 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	132	60
0,0003	119	70
0,0006	106	80
0,0008	96	90
0,0011	87	100
0,0016	72	120
0,0020	62	140
0,0025	54	160
0,0029	48	180
0,0033	43	198

Çizelge 7.16. Merminin konumuna göre 70-80 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	119	70
0,0003	106	80
0,0005	96	90
0,0008	87	100
0,0013	72	120
0,0017	62	140
0,0022	54	160
0,0026	48	180
0,0030	43	198

Çizelge 7.17. Merminin konumuna göre 80-90 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	106	80
0,0002	96	90
0,0005	87	100
0,0010	72	120
0,0014	62	140
0,0019	54	160
0,0023	48	180
0,0027	43	198

Çizelge 7.18. Merminin konumuna göre 90-100 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	96	90
0,0003	87	100
0,0008	72	120
0,0012	62	140
0,0017	54	160
0,0021	48	180
0,0025	43	198

Çizelge 7.19. Merminin konumuna göre 100-120 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	87	100
0,0005	72	120
0,0009	62	140
0,0014	54	160
0,0018	48	180
0,0022	43	198

Çizelge 7.20. Merminin konumuna göre 120-140 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	72	120
0,0004	62	140
0,0009	54	160
0,0013	48	180
0,0017	43	198

Çizelge 7.21. Merminin konumuna göre 140-160 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	62	140
0,0005	54	160
0,0009	48	180
0,0013	43	198

Çizelge 7.22. Merminin konumuna göre 160-180 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	54	160
0,0004	48	180
0,0008	43	198

Çizelge 7.23. Merminin konumuna göre 180-198 cm aralığındaki zamana bağlı basınç değişimi

Zaman(s)	Basınç (MPa)	Merminin konumu (cm)
0	48	180
0,0004	43	198

7.2.7. Diğer kabuller

Sonlu elemanlar modeli kurulurken ve çözüm yapılırken bazı kabuller yapılarak sistem basitleştirilmiştir. Bu basitleştirmeler programın analiz süresini azaltırken çıktılarının olabildiğince gerçek sonuçlara yakın kalması sağlanmıştır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

- Namlu modal etkileri göz ardı edilmiştir (Silahın seri atış yapmayacağı öngörülmüştür).
- Mühimmatın prodas programı çıktısı itibariyle 2000 - 3100 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı görülmektedir. Ancak bu sıcaklık namluya bu seviyede etki etmemektedir. Çünkü mühimmatın namlu içindeki hareket süresi kısadır ve sıcaklık – konum grafiğine göre namlu sıcaklık değerleri namlu ucuna doğru düşme eğilimindedir. Bununla beraber oluşan ısının bir kısmı barut gazı ve mühimmat ile dışarı atılmaktadır. Ayrıca kovanlı mühimmat kullanıldığı varsayıldığı için ısının bir kısmı da kovanla dışarı çıkmaktadır. Bunun dışında namlu dış yüzeyinin soğuk olması itibariyle ısı geçişi yaşanmakta ve namlu içi de bu sayede soğumaktadır. Namlu içi sıcaklığın yüksek olması, içeri konan mühimmatın kendini ateşlemesine olanak sağlayacağından namlu içinin 150-160 santigrat dereceyi geçmemesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki seri atış yapan toplarda yanma odasına sürülen mühimmat, kendinden önce yapılan atışın sıcaklığından etkilenmemektedir. Bu bilgiler doğrultusunda mühimmattan namluya geçen ısının çok düşük olduğu ve namlunun 60-80 santigrat derece arasında olduğu varsayılmıştır.

Namlu çelikleri 315 derecenin üzerinde mukavemet kaybederler. Gereğinden fazla kalın yapılan bir namluda termal gerilme oluşmaz dolayısıyla namlu akma noktası daha düşük bir malzemedan yapılabilir. Önemli olan ısı etkisiyle tahrip olmayan ve aynı zamanda yeterli mukavemete sahip namlu malzemesinin seçilmesidir [6]. Bu bilgiler eşliğinde namlu malzemesinin

mukavemet değerleri, namlunun sıcaklıktan etkilenmeyeceği kabul edilerek oda koşullarındaki gibi alınmıştır.

- 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. Ancak otofretaj etkisinin mukavemeti, ortalama %20 - %30 dolaylarında arttırdığı bilinmektedir. Bununla beraber güvenlik katsayısının da büyük kalibre namlularda 1,25 dolaylarında alındığı varsayılırsa bu iki etmen birbirini ntrleyeceğinden salt namlu çeliğinin akma mukavemeti değerlendirmelerde ana kriter olmuştur (1150 MPa).

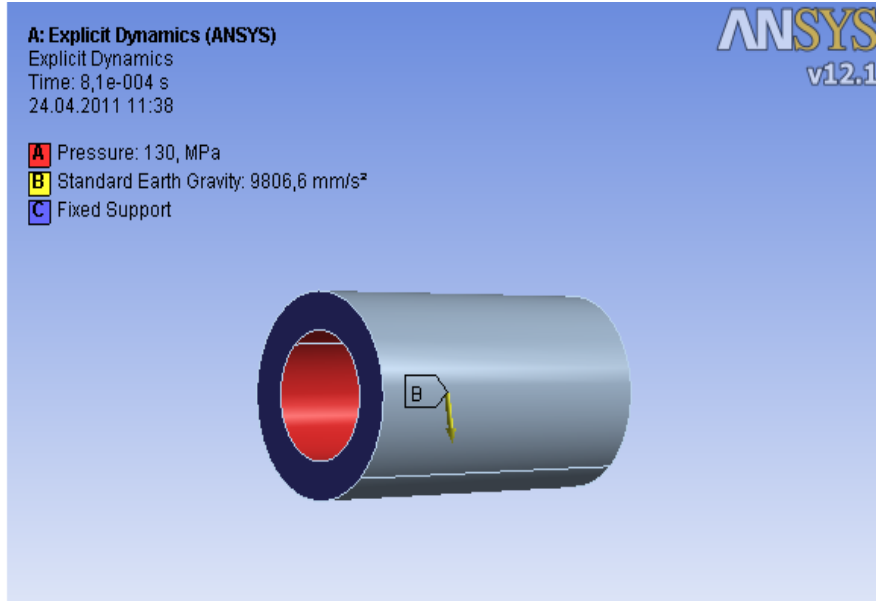
7.3. Sınır Şartları

7.3.1. Yer ekimi ivmesi

Namluya standart yerçekimi ivmesi olarak $9806,6 \text{ mm/s}^2$ uygulanmıştır.

7.3.2. Sistem yaklaşımı

Namlu, kama tarafından sabit olacağı için ankastre kiriş özelliği göstereceği belirlenmiş ve namlu parçasını ele aliş yönüne göre yüzey sabitlenmiştir. Resim 7.1’de namlu parçasına etki eden faktörler grlmektedir.

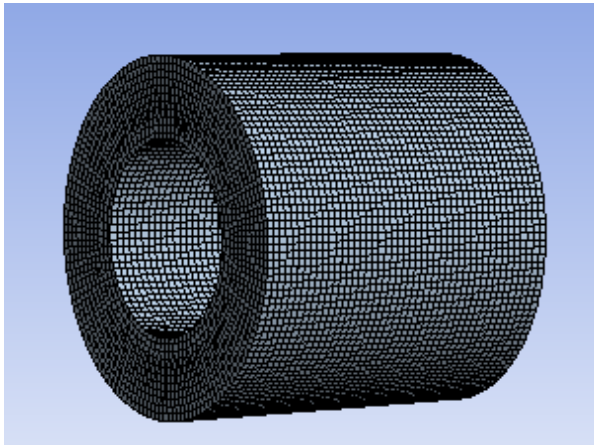


Resim 7.1. Namlu parçasına etki eden faktörler

A. Basınç B. Standart yerçekimi ivmesi C. Sabitlenmiş yüzey

7.3.3. Çözüm ağı

Ele alınan sistem, solid 186 süper elemanıyla quadratik (hegza) mesh atılarak örülmüştür (Resim 7.2). Bu yaklaşımla hem çözüm süresi, hem de çözülen düğüm sayısı azaltılmıştır.



Resim 7.2. Namlu parçasının örülmüş hali

7.4. Optimizasyon

Optimizasyon matematiksel olarak, bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren durumların bulunması işlemidir şeklinde tanımlanabilir. Optimizasyon tipik olarak bir problemin en iyi sonucunu bulmaya çalışır. Bu nedenle modelleme açısından yönlendirici modeller diye anılırlar. Çünkü bir hareket planını veya en iyi tasarımı nasıl elde edeceğimizi anlatmak için kullanılırlar. Optimizasyon mühendislikte ise, verilen koşullar altında en iyi sonucu elde etme işlemidir şeklinde tanımlanabilir [31].

Matematikçiler, optimizasyon kavramını, "bir probleme en iyi mümkün çözüm bulma süreci olarak" tanımlamaktadır. Matematikte, bu süreç genellikle bir fonksiyonun değerinin verilen kısıtlar altında maksimize veya minimize edilmesinden oluşur [37].

7.4.1. Optimizasyon problemlerinin uygulama alanları

Mühendislikte sık karşılaşılan bazı optimizasyon problemleri için aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Uçak ve uzay yapılarının minimum ağırlık için tasarımı
- Uzay taşıtlarının optimum yörüngelerinin bulunması
- Köprüler, kuleler, elik çerçeveler, baca ve çatı gibi inşaat yapılarının minimum maliyet için tasarımı
- Yapıların deprem, rzgr ve diğer tip düzensiz yüklemelerinde minimum ağırlık için tasarımı
- Mekanizmalar, kamlar, dişliler ve diğer makine elemanlarının optimum tasarımı
- Metal kesme işlemlerinde işleme şartlarının minimum maliyet için seçimi

- Konveyör, kren gibi malzeme taşıyıcı ekipmanların tasarımı
- Motor, jeneratör ve transformatör gibi elektrik makinelerinin optimum tasarımı
- Farklı şehirlerarasında seyahat eden satış elemanının en kısa rotasının bulunması
- Kimyasal işlem ekipmanları ve ürünlerin optimum tasarımı
- İşletme maliyetini azaltmak için bakım planlaması ve ekipman değişimi.

Herhangi bir mühendislik sisteminin tasarımında, imalatında veya bakımında mühendisler birçok aşamada teknolojik ve idari kararlar alırlar. Bunlar:

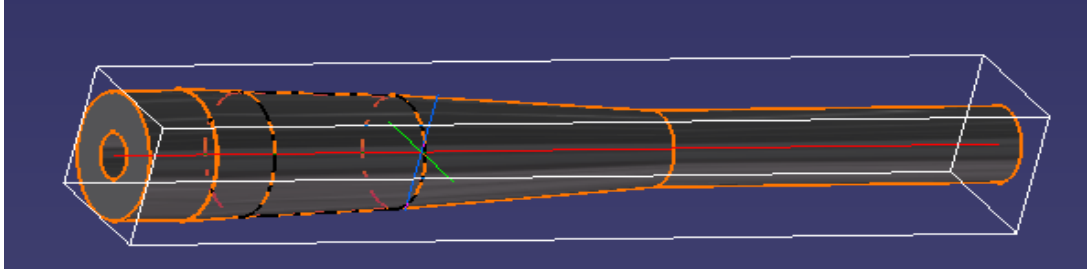
- Maliyetin minimum olması
- Ağırlığının minimum olması
- Verimin ve gücün maksimum olması
- Depolanan enerjinin maksimum olması gibi kararlardır.

Bu kararlar belli değişkenlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilirse, yapılacak tasarım "optimum tasarım problemi" adını alır [38].

7.5. Analizler

7.5.1. İlk yaklaşım için analizler

Serbest olarak çizilmiş ve ilk kez analizi yapılacak namlunun (Resim 7.3) bölünen her bir parçası üzerine, hesaplanan süre aralıklarında basınç etki ettirilmiş ve Von Mises gerilme değerleri hesaplatılmıştır. Çizelge 7.24'de namlunun ağırlık ve ilgili parametreleri verilmiştir.

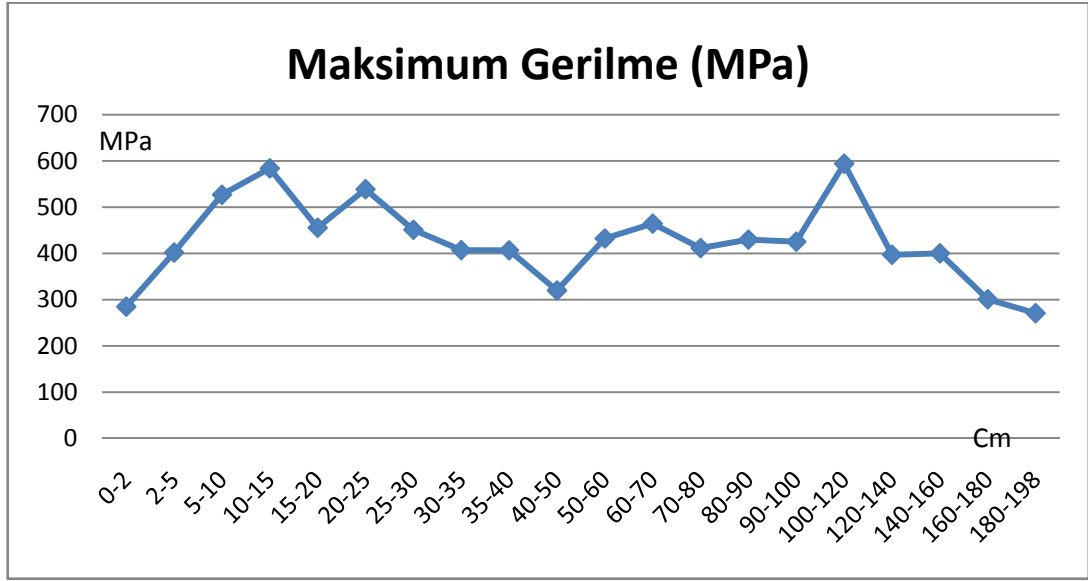


Resim 7.3. Namlunun cad modeli

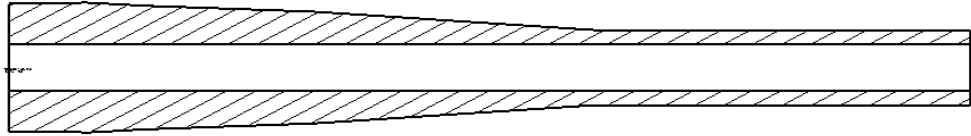
Çizelge 7.24. Namlunun ağırlık ve ilgili parametreleri

Characteristics	
Volume	0,059m3
Area	2,07m2
Mass	459,778kg
Density	7850kg_m3

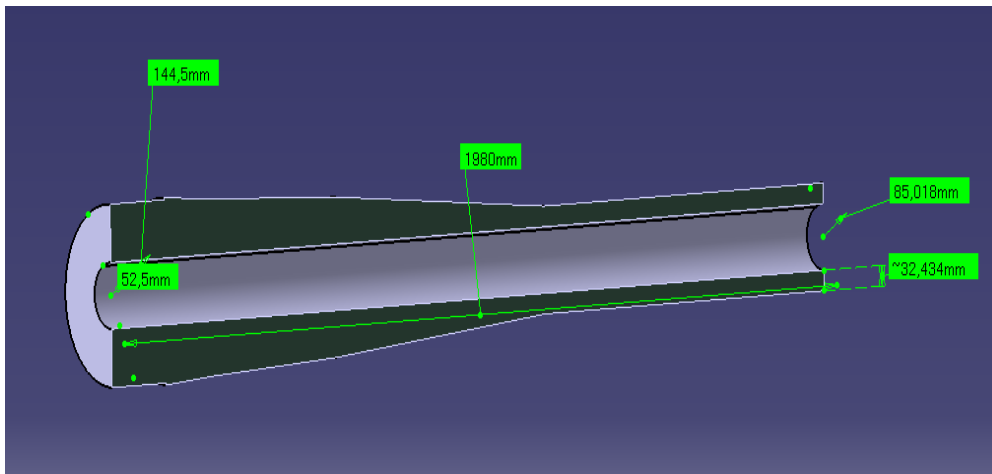
Şekil 7.1 ve Resim 7.4'de namlu kesitine denk gelen gerilme değerleri, Resim 7.5'de ilk namlu için kesit resmi ve bazı ölçüleri verilmiştir.



Şekil 7.1. İlk yaklaşım için maksimum gerilme grafiği



Resim 7.4. İlk namlu için kesit resmi



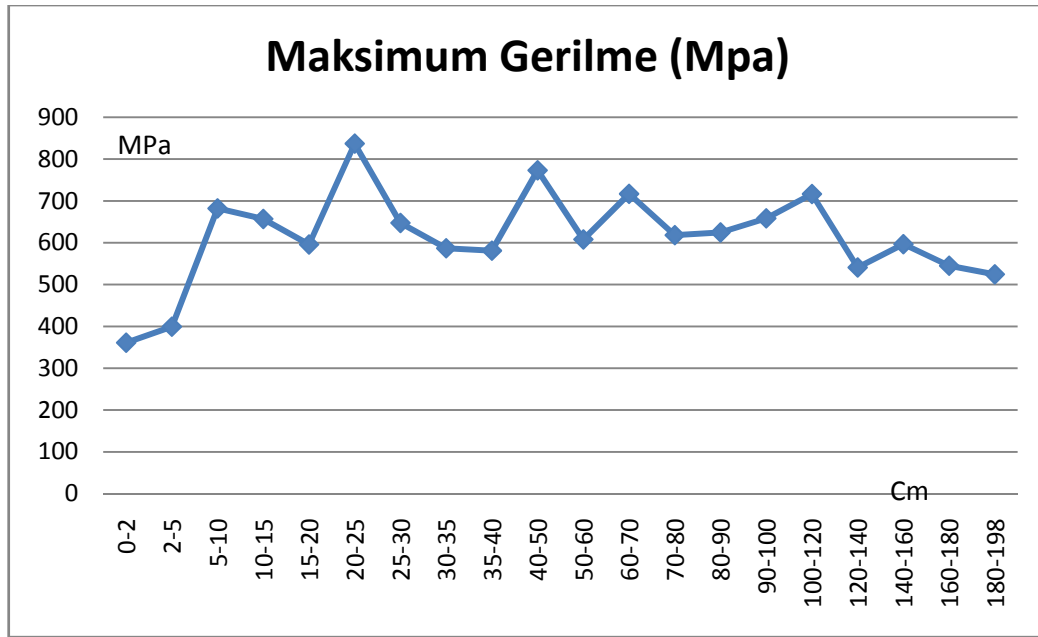
Resim 7.5. Namlunun kesit resmi ve bazı ölçüleri

İlk yaklaşım için yapılan analizde namlu ağırlığının yaklaşık 460 kg olduğu, gerilme değerlerine bakılarak da 1150 MPa olan malzeme akma sınırının

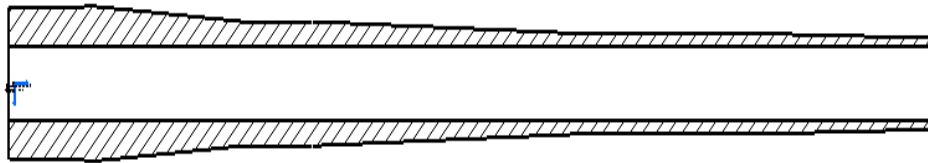
hiçbir bölgede aşılmadığı görülmektedir. Namlu en kalın yerinde 144,5 mm, en ince yerinde ise yaklaşık 32,43 mm dir. Bu sonuçlar doğrultusunda namluyu hafifletmek için iterasyon yapılmıştır.

7.5.2. 1. iterasyon için analizler

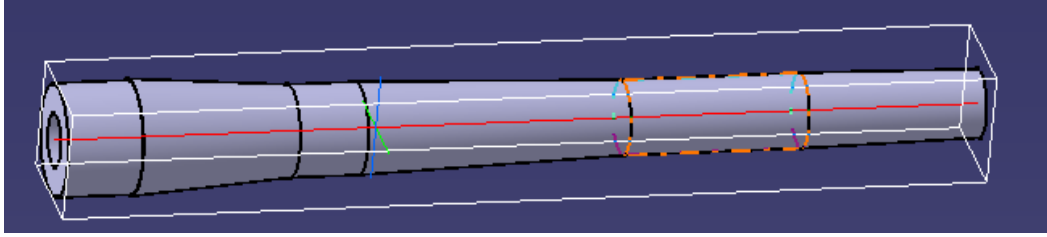
Bu iterasyonda, namlunun cidarı inceltilerek tekrar analize sokulmuş, çıkan değerler yorumlamıştır. Şekil 7.2 ve Resim 7.6'da namlu kesitine denk gelen gerilme değerleri, Resim 7.7'de namlu cad modeli, Çizelge 7.25'de namlunun ağırlık ve ilgili parametreleri ve Resim 7.8'de namlunun kesit resmi ve bazı ölçüleri verilmiştir.



Şekil 7.2. 1. iterasyon sonundaki maksimum gerilme grafiği



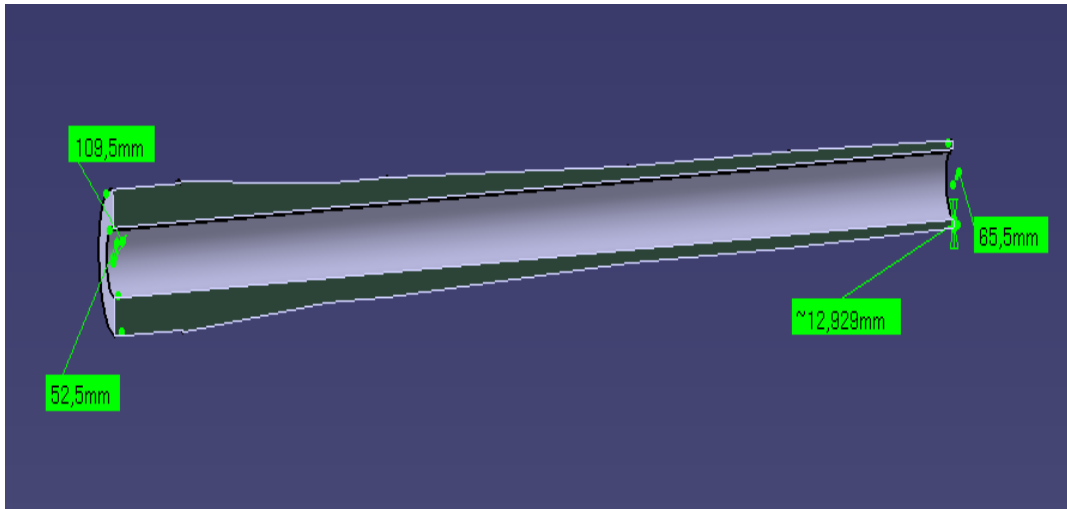
Resim 7.6. 1. iterasyon için kesit resmi



Resim 7.7. Namlunun 1.iterasyon sonundaki cad modeli

Çizelge 7.25. Namlunun 1. İterasyon sonundaki ağırlık ve ilgili parametreleri

Characteristics	
Volume	0,027m ³
Area	1,724m ²
Mass	212,532kg
Density	7850kg m ³

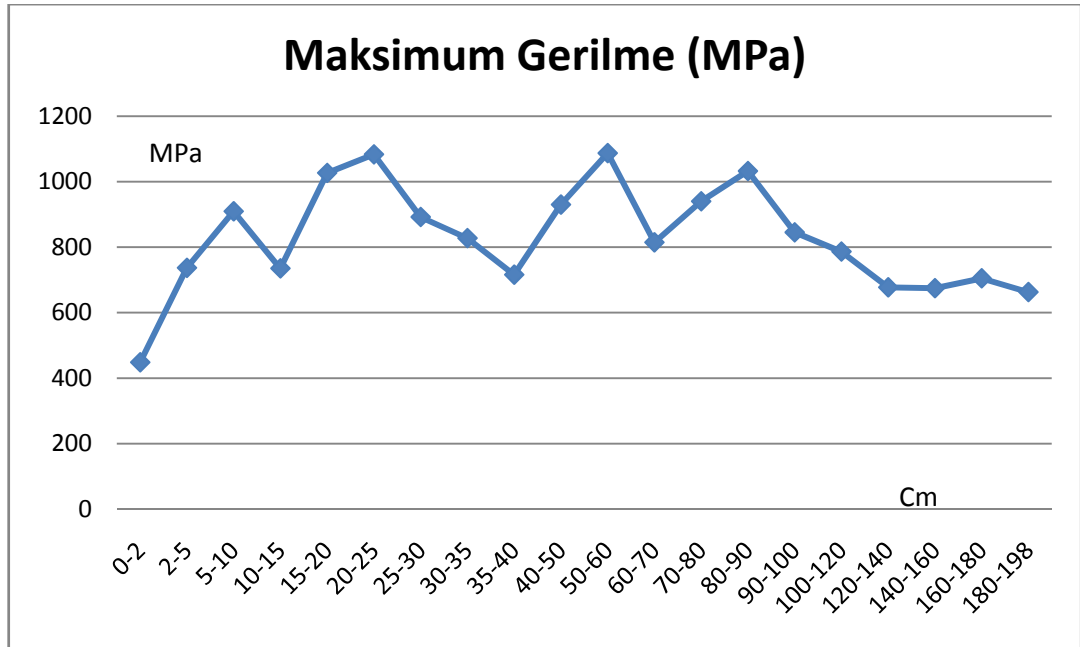


Resim 7.8. Namlunun 1. İterasyon sonundaki kesit resmi ve bazı ölçüleri

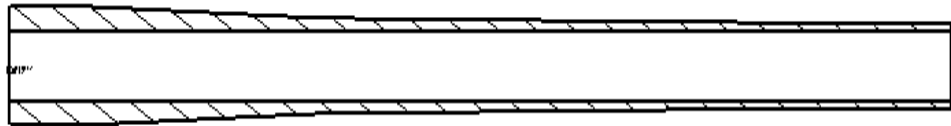
1. iterasyon için yapılan analizde namlu ağırlığının 459,77 kg'dan 212.53 kg'a düştüğü, gerilme değerlerinin ise biraz daha arttığı gözlemlenmiştir. 1150 MPa olan malzeme akma sınırının yine hiç bir bölgede aşılmadığı görülmektedir. Namlunun en kalın yeri 109,5 mm, en ince yeri ise 12,929 mm olmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda namlunun inceltmesi için bir iterasyon daha yapılmıştır.

7.5.3. 2. iterasyon için analizler

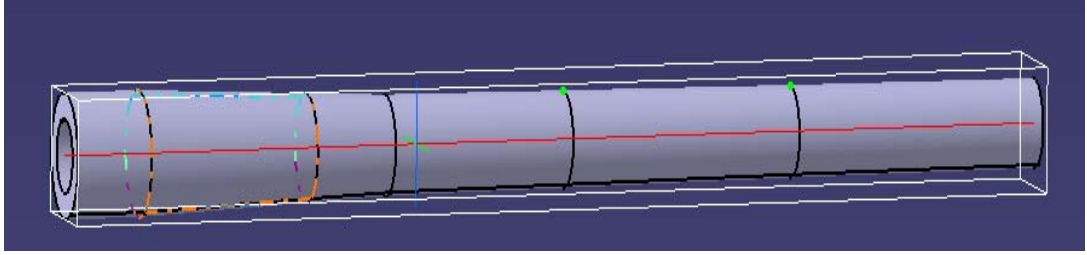
2. iterasyonda, 1. İterasyon sonunda elde edilen gerilmeler değerlendirilmiş, cidarı inceltilen namlu tekrar inceltilerek analiz edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Şekil 7.3 ve Resim 7.9'da namlu kesitine denk gelen gerilme değerleri verilmiştir. Ayrıca Resim 7.10'de namlunun 2.iterasyon sonundaki cad modeli, Çizelge 7.26'da ağırlık parametreleri ve Resim 7.11'de namlunun kesit resmi ve bazı ölçüleri görülmektedir.



Şekil 7.3. 2. iterasyon sonundaki maksimum gerilme grafiği



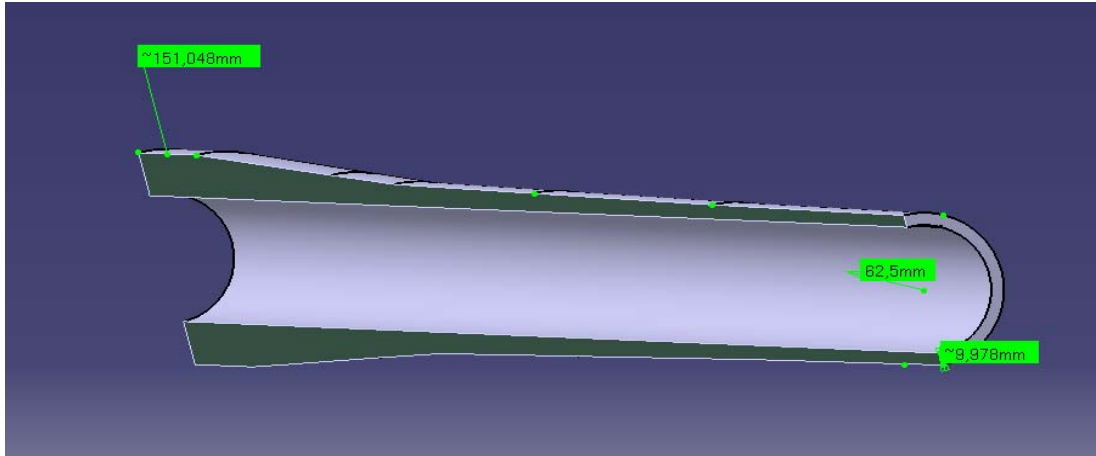
Resim 7.3. 2. İterasyon için kesit resmi



Resim 7.10. Namlunun 2.iterasyon sonundaki cad modeli

Çizelge 7.26. Namlunun 2. iterasyon sonundaki ağırlık ve ilgili parametreleri

Measure Inertia	
Description	
Volume	
Characteristics	
Volume	0,015m ³
Area	1,558m ²
Mass	115,949kg
Density	7850kg_m ³



Resim 7.4. Namlunun 2. İterasyon sonundaki kesit resmi ve bazı ölçüleri

2. iterasyon için yapılan analizde namlu ağırlığının 212,5 kg'dan 115,949 kg'a düştüğü, gerilme değerlerinin ise 1. İterasyona göre arttığı görülmüştür. 1150 MPa olan malzeme akma sınırına bazı bölgelerde yaklaşmıştır. Bu yüzden buralarda daha fazla inceltmeye gerek duyulmamıştır. Gerilme değerlerinin nispeten daha düşük olduğu bölgelerde ise kısıtlamalardan dolayı fazladan hafifleştirme yapılmamış ve model nihai halini almıştır.

7.6. Namlu Cidar Kalınlığının Lamé Denklemi İle Uygunluğunun Tespiti

Namlular atış esnasında gaz basıncı, mermi ve namlu arasındaki sıkı geçme ve sıcaklığın meydana getirdiği 3 ana gerilmeye maruz kalırlar. Bu üç gerilme bir arada veya tek tek olabilir. Sıkı geçme gerilmeleri namlu monoblok olduğu için, sıcaklığın meydana getirdiği gerilmeler ise silahın seri atış yapmayacağı için göz ardı edilmiştir. Gerilmeler,

σ_t = Teğetsel Gerilme

σ_r = Radyal Gerilme

σ_e = Eksenel Gerilmeler olarak ayrılırlar.

Bu gerilmeler gerilme enerjisi teorisinde incelenecek olursa,

$$2 \sigma_E^2 = (\sigma_t - \sigma_r) + (\sigma_r - \sigma_e) + (\sigma_e - \sigma_t) \quad (7.1)$$

Eşdeğer gerilme (σ_E) elastik bölgede kalmak zorundadır. Bir ucu açık silindirlere eksenel gerilme "0" olduğundan (7.1) denklemi,

$$\sigma_E^2 = \sigma_t^2 + \sigma_r^2 - (\sigma_e \cdot \sigma_t) \quad (7.2)$$

olur.

Lamé Denkleminden

$$n = \frac{D_o}{D_i} \quad (7.3)$$

kabul edersek

$$\sigma_{t \max} = p \frac{n^2 + 1}{n^2 - 1} \quad (7.4)$$

$$\sigma_{r \max} = -p \quad (7.5)$$

olur.

Basıncın maksimum olduğu andaki namlu cidar kalınlığına (13.cm'de) bakarsak,

$$D_o = 176,608 \text{ mm}$$

$$D_i = 105 \text{ mm}$$

$$P = 223 \text{ MPa}$$

$$(7.3) \text{ denkleminde, } n = \frac{176,608}{105} = 1,682$$

$$(7.4) \text{ denkleminde } \sigma_{t \max} = 223 \frac{1,682^2 + 1}{1,682^2 - 1} = 467 \text{ Mpa}$$

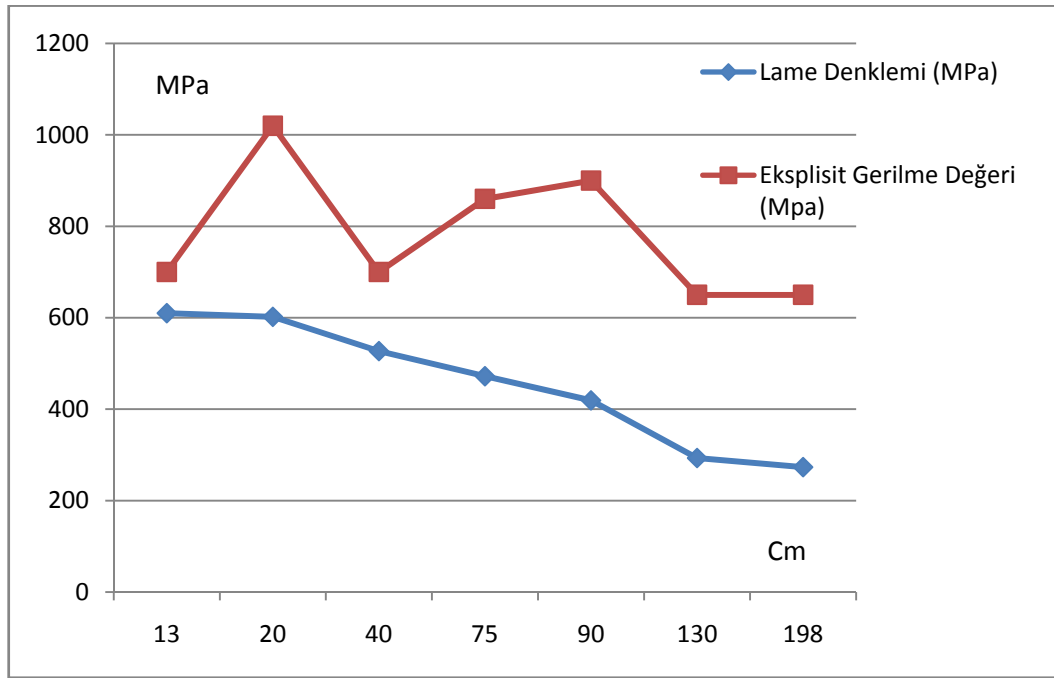
$$(7.5) \text{ denkleminde } \sigma_{r \max} = -223 \text{ Mpa}$$

$$(7.2) \text{ denkleminde } \sigma^2 e = 467^2 + 223^2 + (467 \cdot 223) = 610 \text{ Mpa}$$

Namlunun 13.cm'sinde (basıncın en yüksek olduğu kritik nokta) Lamé denkleminde yaklaşık olarak 610 MPa lık bir gerilme değeri bulunmuştur. Ayrıca, çizelge 7.27'de namlunun değişen cidar kalınlıklarına göre gerilme değerleri Ansys ve Lamé denklemleri ile hesaplanmış, Şekil 7.4'de de bir karşılaştırma grafiği hazırlanmıştır.

Çizelge 7.27. Ansys ve Lamé çözümü karşılaştırma tablosu

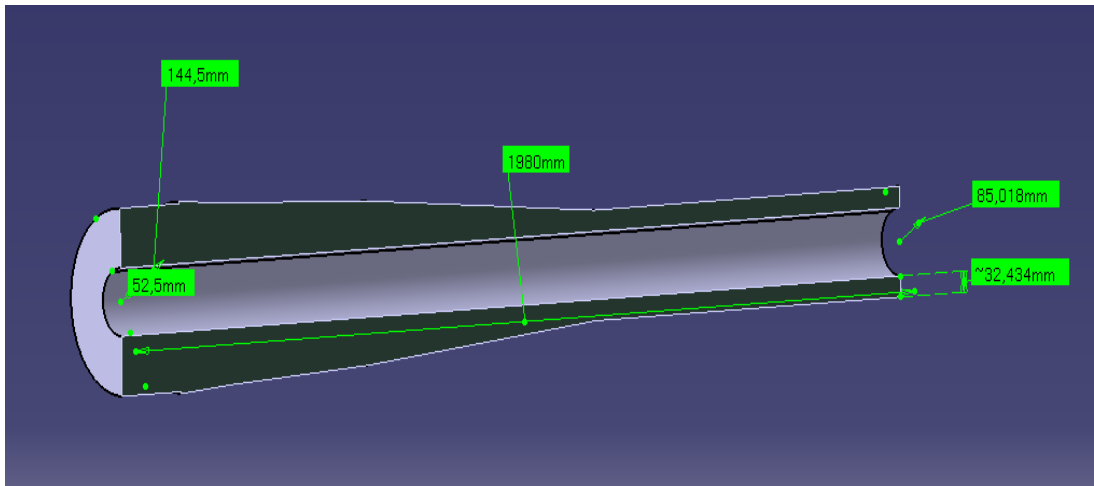
Mesafe (cm)	13	20	40	75	90	130	198
İç Çap (mm)	105	105	105	105	105	105	105
Dış Çap (mm)	176,608	173,13	159,918	139,88	137,674	137,674	125
Oluşan Basınç (MPa)	223	215	168	113	96	67	43
Ansys Gerilme Değeri (MPa)	700	1020	700	860	900	650	650
Lamé Gerilme Değeri (MPa)	610	602	527	472	419	293	273



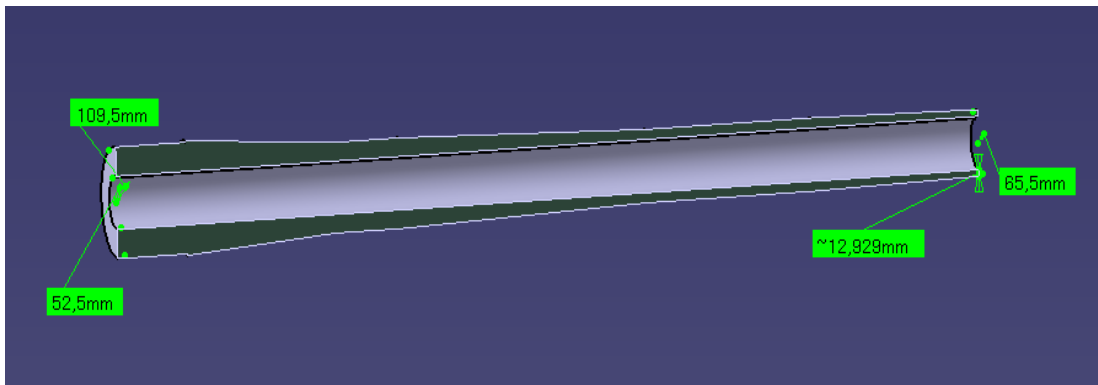
Şekil 7.4. Lamé denklemi – eksplisit gerilme değerleri karşılaştırma grafiği

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

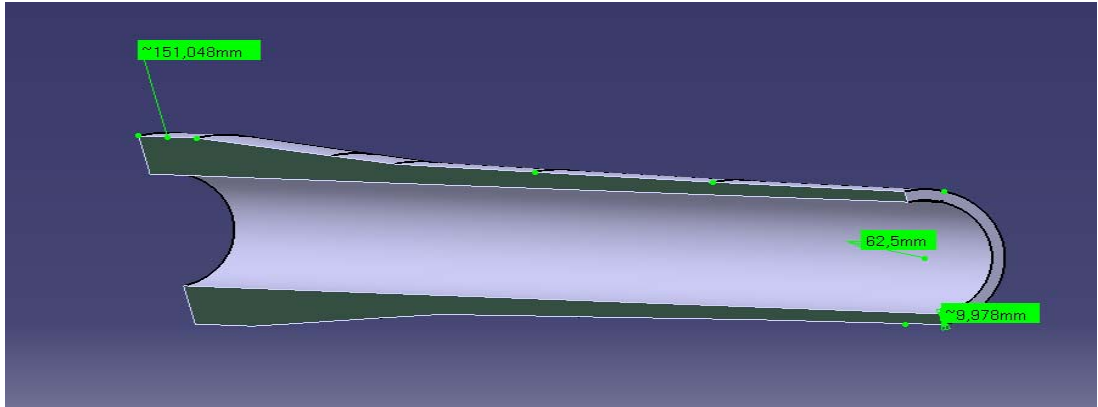
Tez kapsamında Prodas programından elde edilen veriler sonlu elemanlar analizi programı Ansys'de, Catia'da oluşturulan modellerle Von-Misses hasar kriteri baz alınarak dinamik eksplisit olarak zamana bağlı çözülmüş ve çıkan sonuçlara göre M101 top namlusu cidarı iki iterasyonda inceltilerek hafifleştirilmiştir. İterasyonlardan önceki ve sonraki modeller Resim 8.1, Resim 8.2 ve Resim 8.3'de, ağırlık karşılaştırması Çizelge 8.1'de ve namlularda oluşan maksimum gerilme değerlerinin karşılaştırma grafiği Şekil 8.1'de görülmektedir.



Resim 8.1. İlk olarak ele alınan namlu modeli



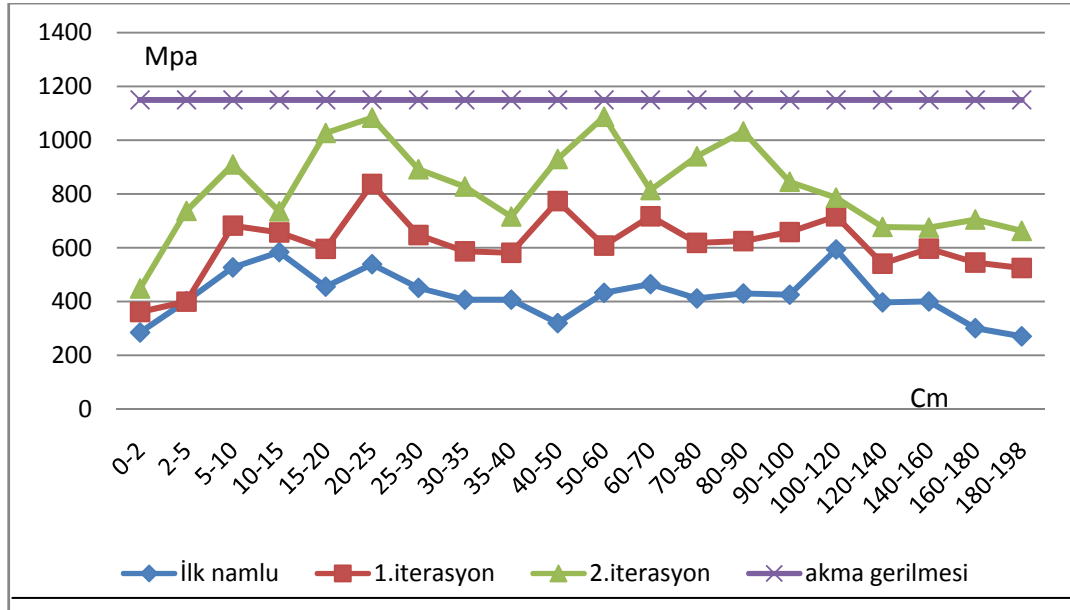
Resim 8.2. 1.iterasyon sonundaki namlu modeli



Resim 8.3. 2. İterasyon sonundaki namlu modeli

Çizelge 8.1. Namlu ağırlıkları karşılaştırması

	İlk namlu	1.iterasyon	2. İterasyon
Ağırlık (Kg)	459,778	212,532	115,949



Şekil 8.1. Namlulardaki gerilme değerleri karşılaştırma grafiği

İç balistik hesaplamalar esnasında namlu ve mühimmat parametrelerine bağlı olarak balistik çözüm sunan Heydenrich balistik tablosu kullanılmış ve Prodas çıktılarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasında büyük farklar olmadığı, bazı yerlerde yakın sonuçların çıktığı görülmüştür. Oluşan farkların

ise ölçüm hataları, matematiksel yuvarlamalar ve atış sırasında değişken olan namlu ve mühimmat parametrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Namlu cidarı optimizasyonu çalışmasında ilk kez çizilen namlunun gerilme değerlerine bakılmış ve değerlerin akma sınırının altında olduğu, buna ek olarak namlunun 459,77 kilogram olduğu görülmüştür. Bu yüzden namlu cidarını inceltmek için iterasyona gerek duyulmuştur.

Yapılan 1. iterasyon sonunda ağırlık 212.5 kg'a inerken gerilme değerlerine bakıldığında namlunun biraz daha hafifletilebileceği öngörülmüş ve bir iterasyona daha ihtiyaç duyulmuştur. 2. İterason sonunda ağırlık 115,949 kg'a düşmüştür. Gerilme değerleri incelendiğinde namlu cidarının bazı bölümlerinin biraz daha inceltilebileceği görülmüştür. Ancak aşırı inceltme sonucu daha da hafifleşecek namlu, sistemin dengesi için kritiklik teşkil edeceğinden daha fazla inceltme yapılmamıştır. Özellikle, ilk 15 cm'lik kısımda gerilme değerlerinin halen düşük olduğu görülmektedir (450-900 MPa). Ana sistemin ağırlık merkezinin tekerlere yakın olması istendiği için bu bölgede yapılacak aşırı hafifletme ağırlık merkezinin yerini olumsuz yönde değiştireceği gibi ana sistemin ağırlığını da azaltacak, denge bozulabilecek, yapılacak atışlarda şahlanma ve devrilme problemleri görülebilecektir. Buna ek olarak namlunun ağırlık merkezinin, ağız baskısı tarafına yakın olması, sehim etkisini arttıracak ve silahın uzun süreli performansını etkileyecektir. Bununla beraber ağırlık merkezinin kamaya yakın olması dağılıma olumlu etki yapacaktır. Bu yüzden 0-15 cm'lik bölge, denge sorunu, sehim problemi ve dağılım gibi nedenlerden dolayı biraz daha kalın bırakılmıştır.

Namlunun uç kısımlarında da bir parça inceltme yapılabileceği görülmektedir. Buralarda oluşan gerilmeler 700 MPa civarındadır. Ancak, namlu üretim teknikleri değerlendirildiğinde inilebilecek minimum et kalınlığının 9-10 mm olması ve ağız baskısı montajı için de bir kalınlık bulunması gerektiğinden uç kısımlarda daha fazla inceltmeye gidilmemiştir.

Basıncın maksimum olduğu bölge için sonlu elemanlar analizi programında bulunan dış çap değerinin lame denkleminde yerine koyularak çözümü yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde 610 MPa olan gerilme değerinin 1150 MPa olan malzemenin emniyetli akma gerilmesinin altında kalarak elastik bölgeyi aşmadığı görülmüştür. Sonlu elemanlar analizinde ise bu gerilme yaklaşık 700 MPa dır. Diğer cidar kalınlıkları için tekrarlanan işlemlerde de gerilmelerin sonlu elemanlar analizi sonucu belirlenen gerilme değerlerinden küçük çıktığı görülmüştür. Buna göre Lame denklemiyle çözülen sistemin güvenlik katsayısının daha yüksek ve gerilmelerin elastik bölgede kaldığı söylenebilir. İki yöntem arasında ki gerilme farkının ise, sonlu elemanlar analizi yönteminde basıncın zamanla değişkenliği, Lame denkleminde ise anlık basınç sonuçlarının zamandan bağımsız hesaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada M101 top namlusu, M1 mühimmatının yanma sırasında namlu boyunca oluşturduğu iç balistik basınç eğrisine göre 1,25 emniyet katsayısıyla ve yapılan kabuller eşliğinde zamana bağlı olarak dinamik analiz edilmiş, iki iterasyonla optime edilerek 270 kilogram'dan 115,949 kilograma düşürülmüş ve namlu cidarı optimazsyonuna yönelik ileri çalışmalara yol gösterici bir algoritma geliştirilmiştir.

Öneriler

Tasarımı yaparken namlu sistemini ana sistemden ayıramayacağımız için, namlunun diğer sistemlerle olan etkileşimi dikkate alınmalıdır. Namlu, ağırlık olarak silah sisteminde önemli bir paya sahiptir. Atış yapılırken hareketli olan namlu, silahın dengesini anlık olarak değiştirebileceğinden sistemin, düz, yükselişli, veya yancalı atış ve taşıma gibi durumlarında ki statik ve dinamik analizlerinin yapılması ve sistemi dengede tutacak bir yaklaşımın geliştirilmesi önemlidir. Ayrıca sistemde geri tepen kütle ne kadar fazla ise diğer alt sistemlere gelecek basınç etkisinde o kadar az olacaktır. Bu yüzden bazı sistemlerde birinci iterasyondaki gibi bir kalınlık ve ağırlık uygun

olabileceği gibi bazı sistemlerde de ikinci iterasyonda olduğu gibi fazladan inceltme istenen performansı sağlayabilecektir. Ayrıca dakikadaki atım sayısı çok istenen sistemlerde namlunun termal ve modal etkileri de hesaplanmalı ve ona göre bir yaklaşım geliştirilmelidir. Önemli olan namlu tasarımını sistemin bütününe uygun şekilde yaparak sistemden en fazla faydayı alabilmektir.

KAYNAKLAR

1. Çelikel, A., "Av Tüfeği Namlu Uzunluğunun Saçma Dağılımına Etkisi ve Atış Mesafesinin Belirlenmesinde Önemi", Tıpta Uzmanlık Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Adli Tıp Anabilim Dalı**, Eskişehir, 3-4 (2008).
2. İnternet: caginpolicisi "Balistik" <http://www.caginpolicisi.com.tr/v1/> (08.07.2011).
3. Gök, Ş., "Dış Balistik Analizi", Yüksek lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 8 (2006).
4. Özer, G., "Dış Balistik Analizinde İzdüşüm Alanı etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale, 9-10 (2008).
5. Öztürk, A.R., "İç Balistik (Genişletilmiş İkinci Baskı)", **Ankara**, 71, 74, (1984).
6. Akçay, M., "Balistik", **Ankara**, 90-94, 157,172, 176, 194, 281 (2010).
7. Chen, M., "High Fidelity In-Bore Pressure Modeling", **11th. International Ls-Dyna users conference**, ABD, 20 (2010).
8. Michael, M., Chen, D., "Structural Design And Analysis Of Hit-To-Kill Projectile", **9th. International Ls-Dyna users conference**, ABD, 2 (2006).
9. Uyanık, H., Kazancı, Z., "Anlık Basınç Yüğü Etkisi Altındaki Konsol Bir Plağın Dinamik Analizi", **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 1(3): 9-17 (2004).
10. Türkmen, H. S., "Katmanlı Kompozit Panellerin Anlık Basınç Yüğüne Dinamik Cevabı", Doktora tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, (1997).
11. Uyanık, H., Mecitoğlu, Z., "Anlık Basınç Yüğü Etkisi Altındaki Katmanlı Kompozit Bir Plağın Titreşimlerinin Kontrolü", **İtü Dergisi**, 6(4): 61-73 (2007).
12. Underwood, J. H., Troiano, E., Mulligan, C. P., Vigilante, G. N., "Effect of CR or TA Coating Thickness on Near-Bore Temperatures and Coating Interface Stress for Cannon Firing Conditions", **2006 Pressure Vessels & Piping Conference and the Eleventh International**

- Conference on Pressure Vessel Technology**, Kanada, 841-846 (2006).
- 13 Bundy, M. L., Conroy, P. J., Simulated and Experimental In-Wall Temperatures for 120mm Ammunition, **Defense Science Journal**, 46-(4): 223-232 (1996).
 - 14 South J. T., Carter, R. H., "Thermal Analysis of an M256 120-mm Cannon, Technical Report", **Army Research Laboratory ARL-TR-3594, Aberdeen**, 2005.
 - 15 Simkins, T. E., "Amplification of Flexural Waves in Gun Tubes", **Journal of Sound and Vibration**, 172(4): 145-154 (1994).
 - 16 Shepherd, J. E., "Structural Response of Piping to Internal Gas Detonation PVP2006-ICPVT-11", **2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference**, Kanada, (2006).
 - 17 Koh, S. K., Na, E. G., Baek, T. H., Kang, K. J., Ahn, S. T., Han, T. H., "Fatigue Life Simulation of a High Pressure Breech System", **Key Engineering Materials**, 326-328:1027-1030 (2006).
 18. İnternet : Kriminal " Ateşli Silah " <http://kriminal.iem.gov.tr> (08.07.2011).
 19. Çayıroğlu, İ., Dizdar, E.N, "Kapsülsüz ve Barutsuz Mermi Atan Hafif Silah Tasarımı", **Teknoloji**, 7: 339-340 (2004).
 20. Tuncer, D.G., Alli, H., "Ağır Silahların Geri Tepme Mekanizmalarının Tasarımında İç Balistik Modelin Oluşturulması Ve Kama Kuvvetinin Hesaplanması", **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, Balıkesir, 413-414 (2010).
 21. İnternet: wikipedia "Ağır silahlar" <http://www.wikipedia.com.tr> (08.07.2011).
 22. Taşkiran, E., "Ağır Silahlardaki Geri Tepme Mekanizmalarının Dinamiği Üzerine" Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-3 (2010).
 23. Özdemir, G., "2004-2005 Yıllarında Adli Tıp Kurumu Trabzon Grup Başkanlığı'nda Otopsileri Yapılan Ateşli Silah Yaralanmasına Bağlı Ölüm Olguların İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri**, Trabzon, 5-8(2007).
 24. Alim, Y., "Aynı Marka Farklı Seri Numaralı Tabancalarda Çıkan Mermi Çekirdeğinin Hangi Tabancaya Ait Olduğunun Saptanması İçin Yapılan

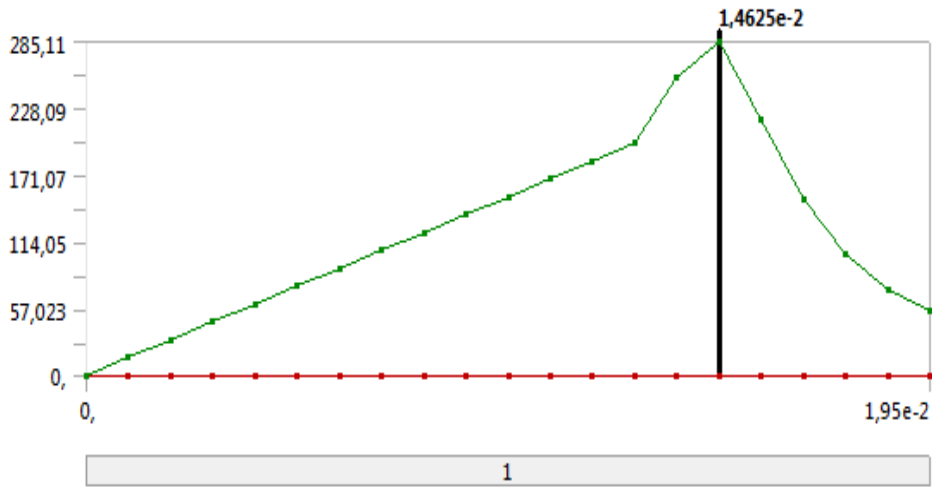
- Balistik Analizler”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 24-25 (2009).
25. İnternet: 3ds “Catia” <http://www.3ds.com/products/catia> (08.07.2011).
 26. İnternet: prodas “prodas” <http://www.prodac.com/> (08.07.2011).
 27. Külekçi, U., E., “Çimento Döner Fırını Destek Galesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Gerilme Analizi Ve Gerilme Yığılımlarının Azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 14-15 (2003).
 28. Çetin, M., S., “Derin Çekme İle Soğuk Şekillendirmenin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Edirne, 49 (2007).
 29. Ayyıldız, A., “Buzdolabı Düşürme Testinin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Nonlineer Analizi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması”, Yüksek lisans Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 28, 35 (2006).
 30. Karahan, M., “İki Kademeli Teleskopik Vincin Tasarım Ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, 19, 26-27 (2007).
 31. Sipahi, E., “Dip Klepesinin Ansys İle Dizayn Optimizasyonu”, Yüksek lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 2, (2004).
 32. Ali, A., R., Ghosh, N., Alam, T., “Optimum Design of Pressure Vessel Subjected to Autofrettage Process”, **World Academy of Science**, 668-673 (2010).
 33. Gümrük, R., “Şekil Verme İşleminin Çarpma Performansına Etkilerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 19-23 (2006).
 34. İnternet: engr.sjsu.edu “failure analys” <http://www.engr.sjsu.edu/> (08.07.2011).
 35. Varol, H., “Av ve Spor Tüfeklerin İçin Kritik Parçaların Hasar Analizi”, Yüksek lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 2 (2008).
 36. Ay, İ., “Gerçek Gerilme – Gerçek Uzama Eğrileri İçin Yaklaşık Denklemler, İmalat Yöntemleri 2” 13-15.

37. İnternet: tubitak “Matematik programlama”
<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/matematik/kuralim.htm>
(08.07.2011).
38. Özbakiş, M., ”Debriyaj Sistemlerinde Kullanılan Diyafram Yayların Karakteristiğinin İncelenmesi Ve Optimizasyonu”, Yüksek lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 25-26 (2008).
39. Asmaz, K. “Kalın Cidarlı Silindir”, Laboratuvar Föyü, **Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı**, İstanbul, 7-10 (2006).

EKLER

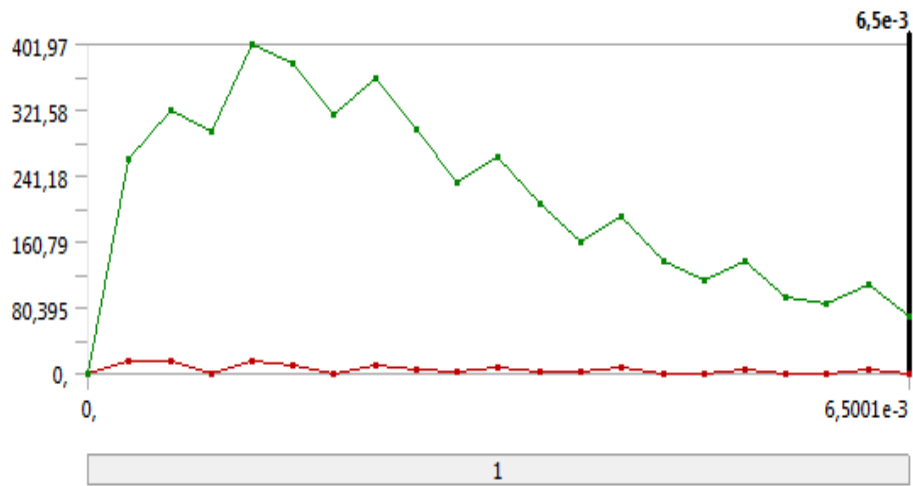
EK-1. İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

0 - 2 cm



Şekil 1.1. 0-2 cm arası için gerilme grafiği

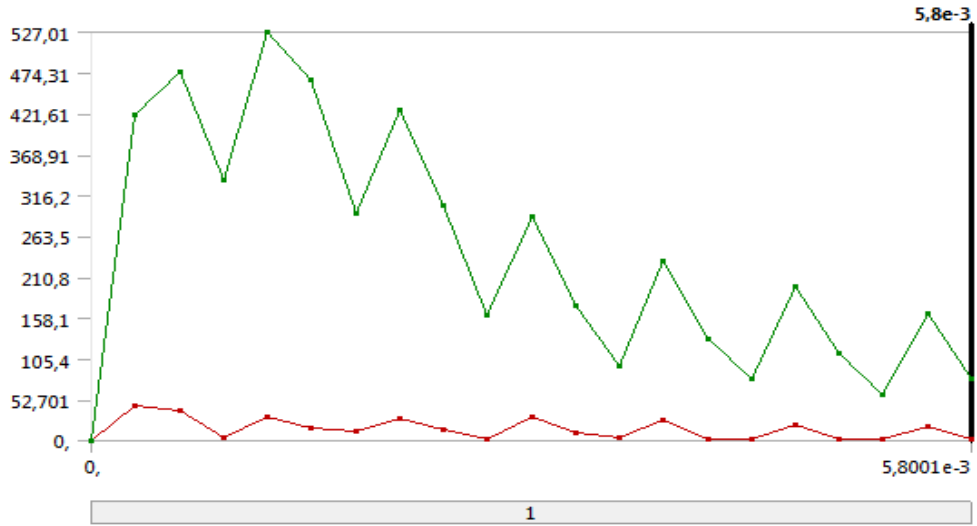
2 – 5 cm arası



Şekil 1.2. 2-5 cm arası gerilme grafiği

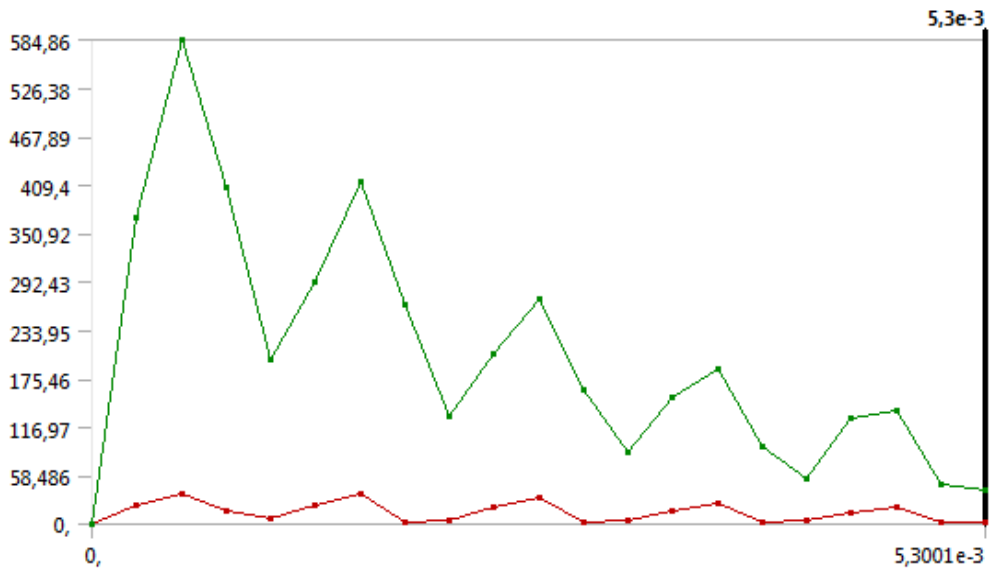
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

5 - 10 cm arası



Şekil 1.3. 5-10 cm arası gerilme grafiği

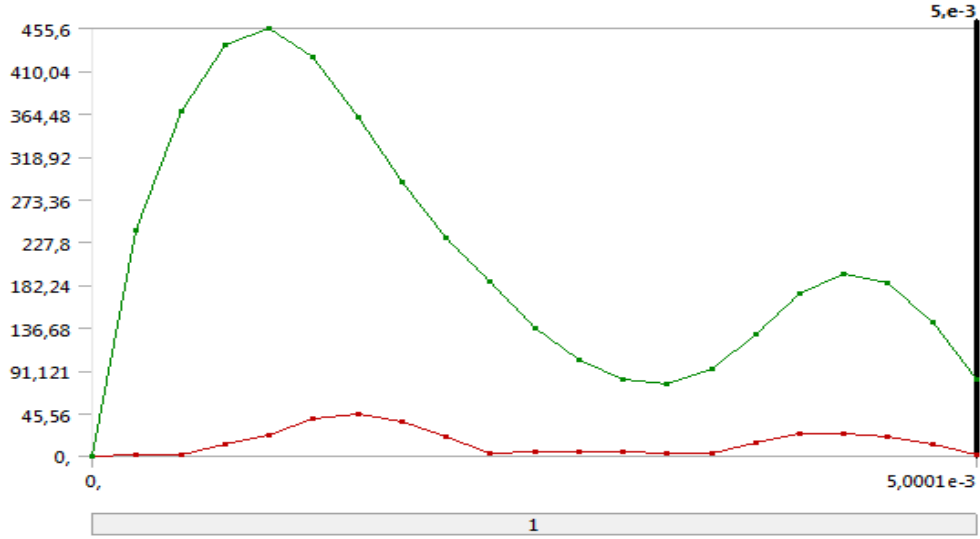
10-15 cm arası



Şekil 1.4. 10-15 cm arası gerilme grafiği

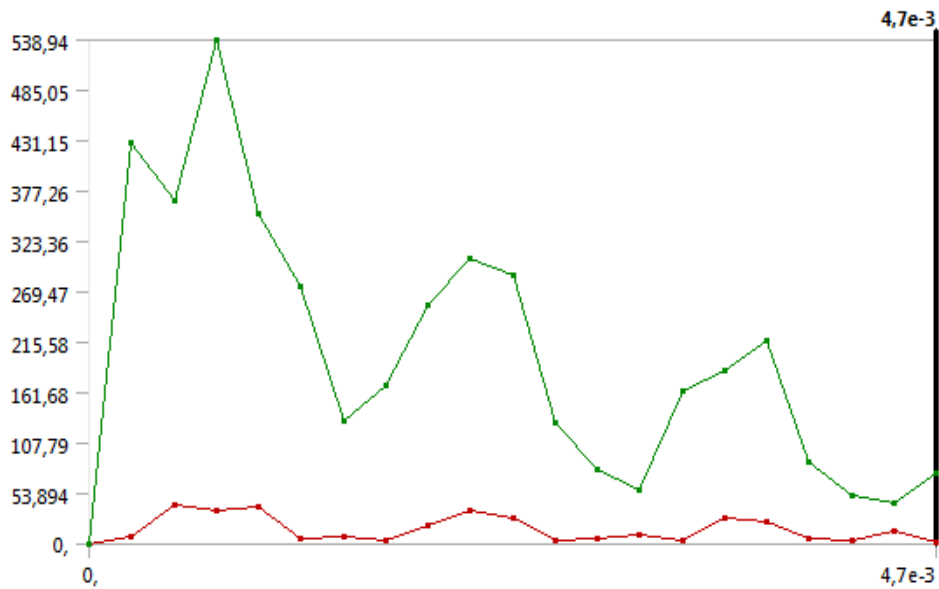
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

15-20 cm arası



Şekil 1.5. 15-20 cm arası gerilme grafiği

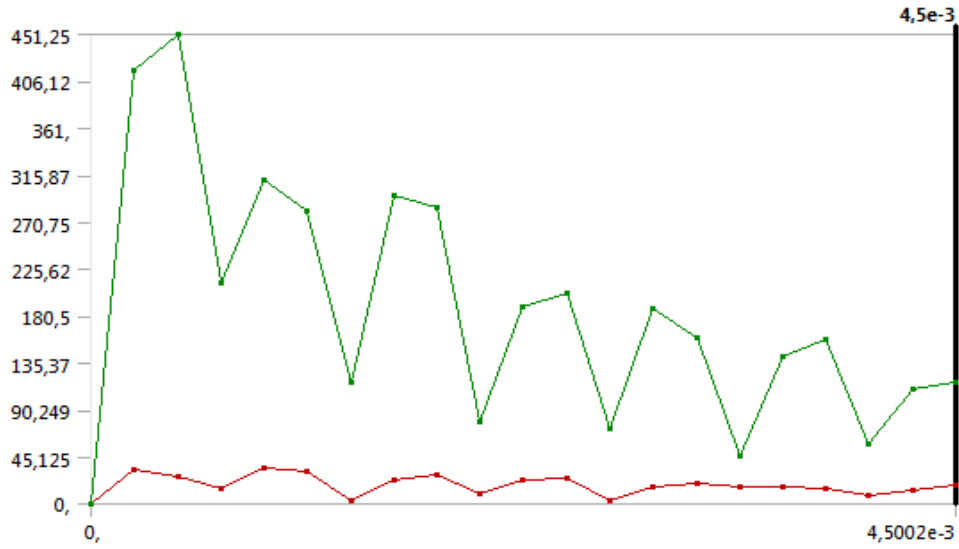
20-25 cm arası



Şekil 1.6. 20-25 cm arası gerilme grafiği

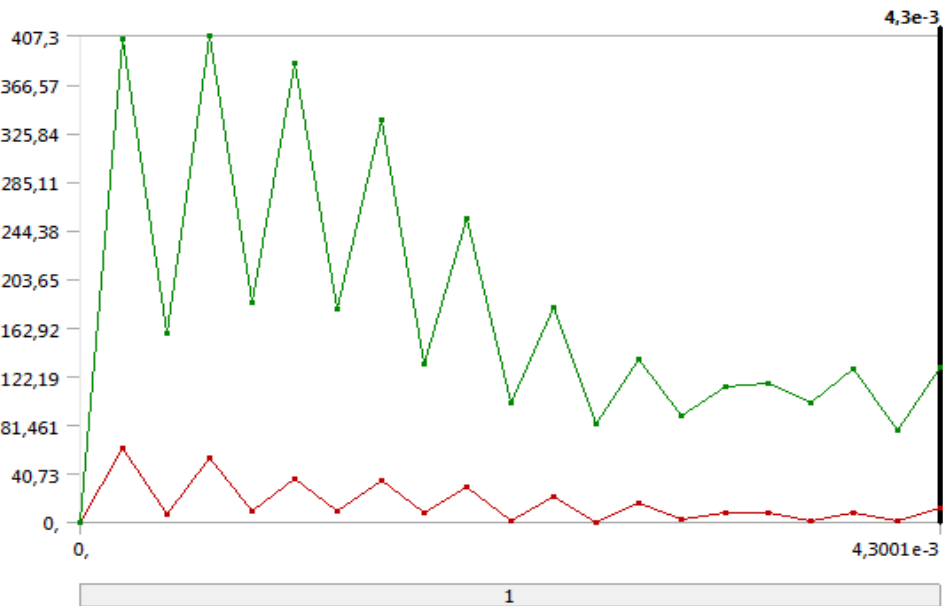
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

25-30 cm arası



Şekil 1.7. 25-30 cm arası gerilme grafiği

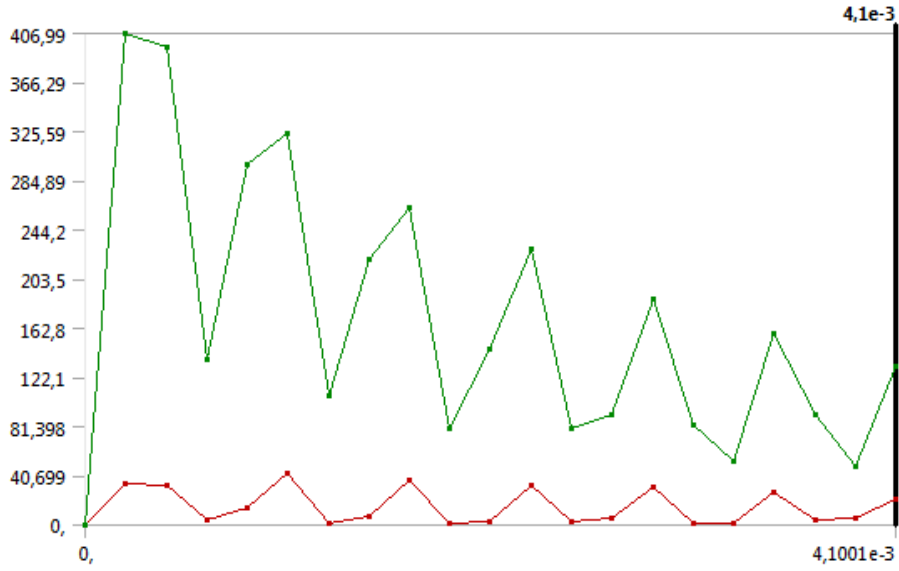
30-35 cm arası



Şekil 1.8. 30-35 cm arası gerilme grafiği

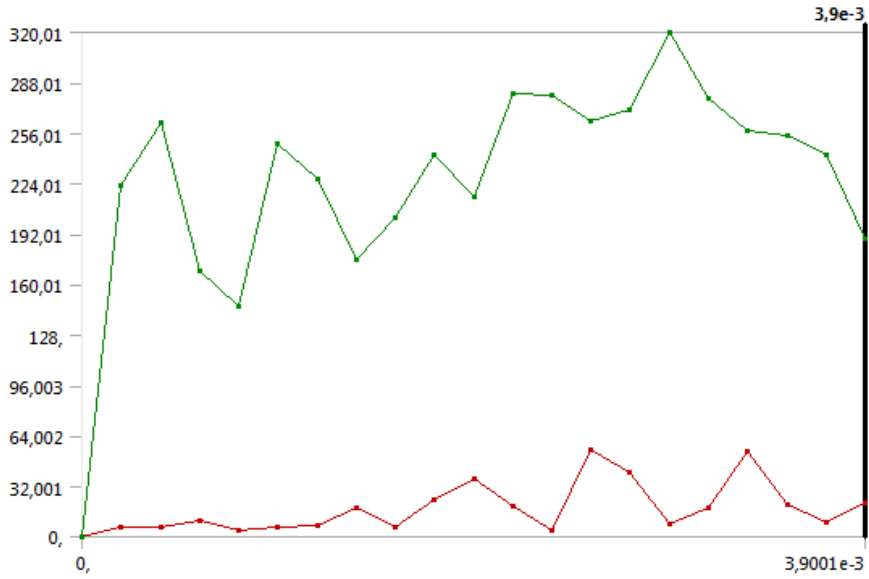
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

35-40 cm arası



Şekil 1.9. 35-40 cm arası gerilme grafiği

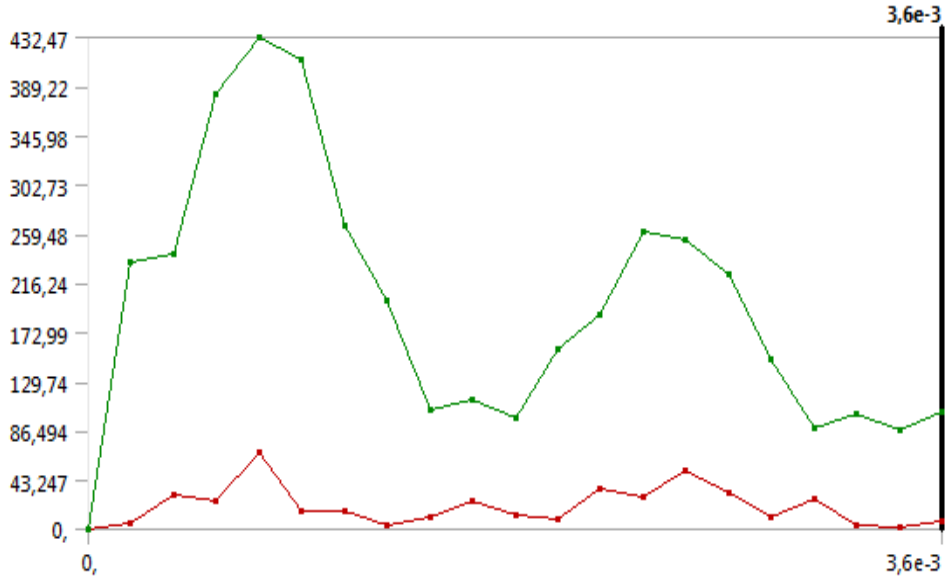
40-50 cm arası



Şekil 1.10. 40-50 cm arası gerilme grafiği

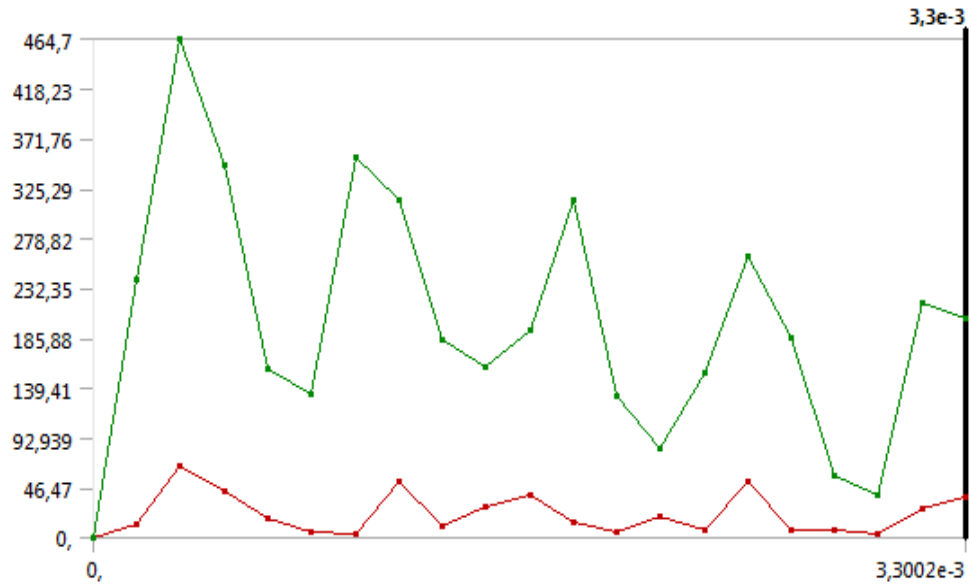
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

50-60 cm arası



Şekil 1.11. 50-60 cm arası gerilme grafiği

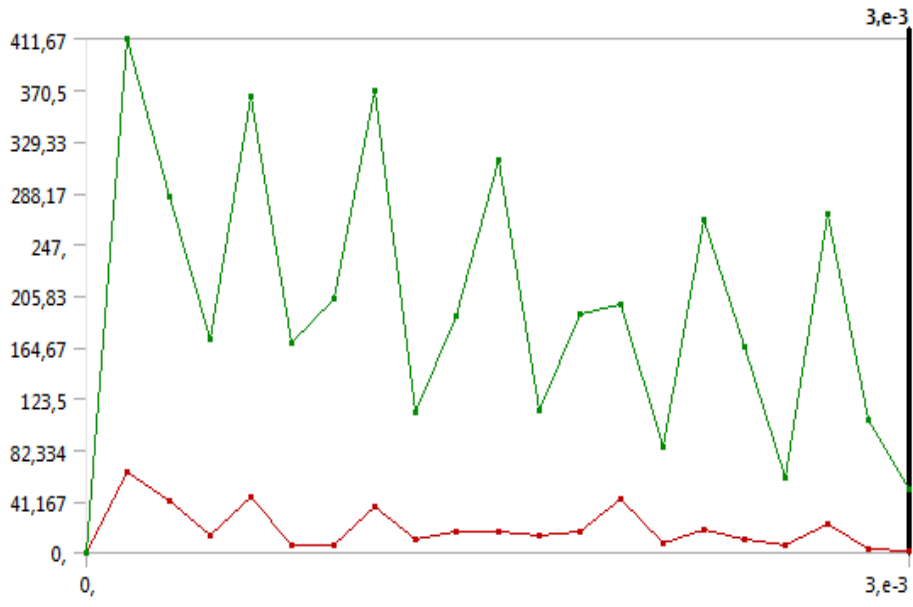
60-70 cm arası



Şekil 1.12. 60-70 cm arası gerilme grafiği

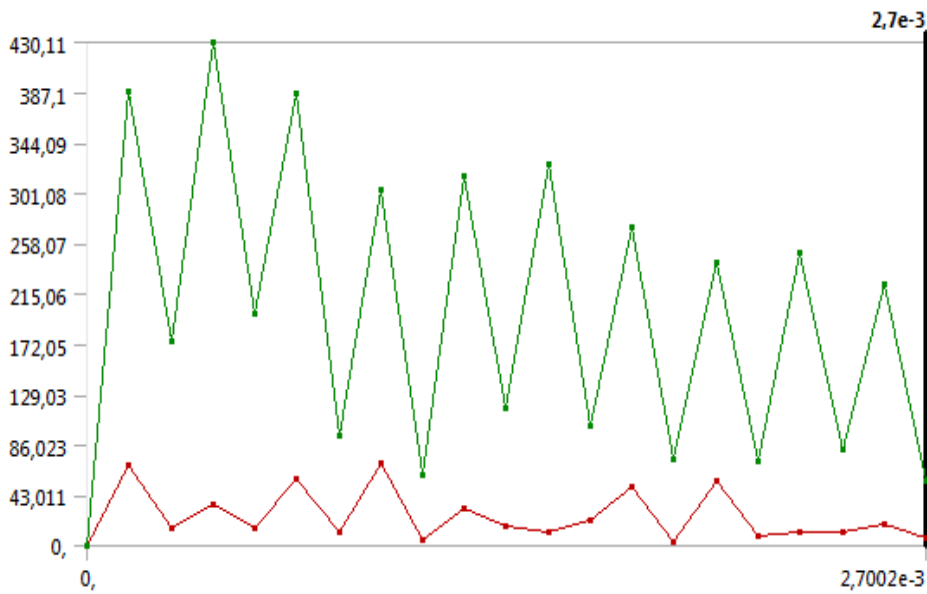
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

70-80 cm arası



Şekil 1.13. 70-80 cm arası gerilme grafiği

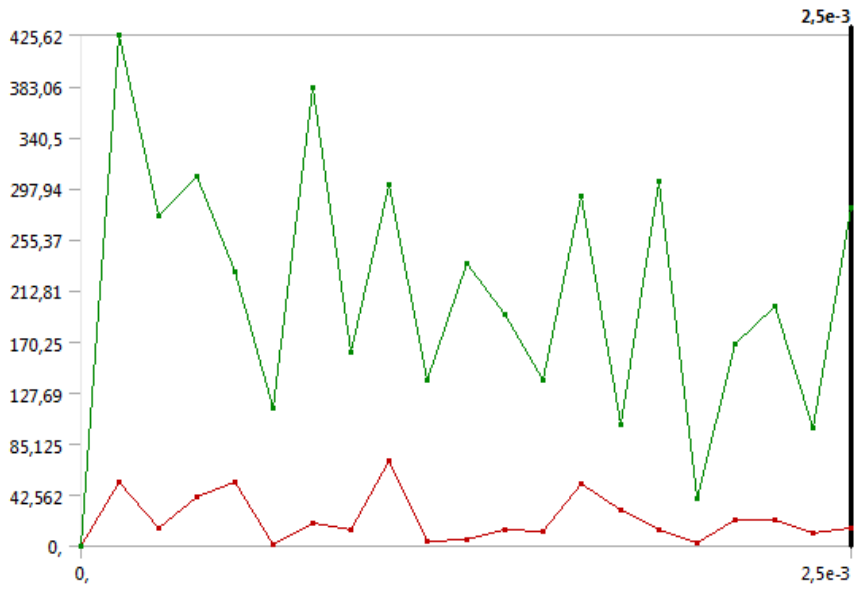
80-90 cm arası



Şekil 1.14. 80-90 cm arası gerilme grafiği

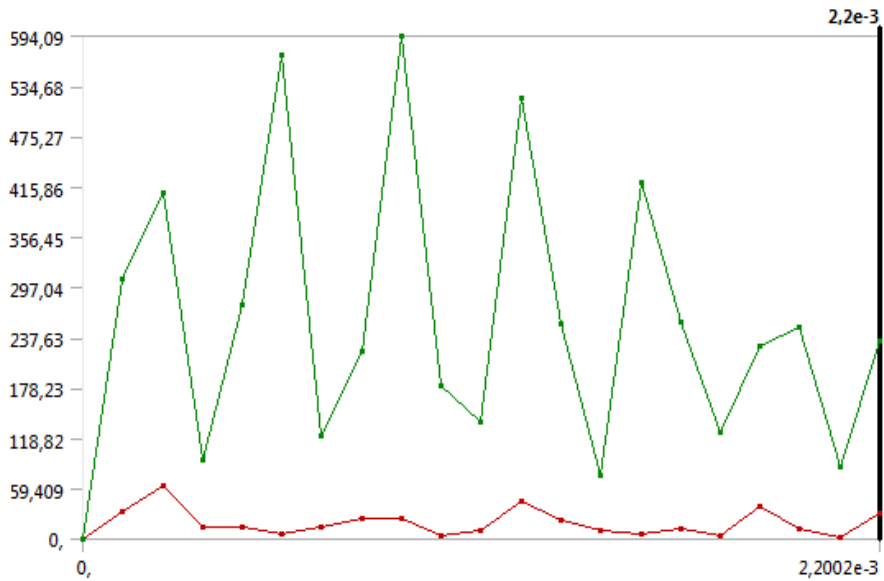
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

90-100 cm arası



Şekil 1.15. 90-100 cm arası gerilme grafiği

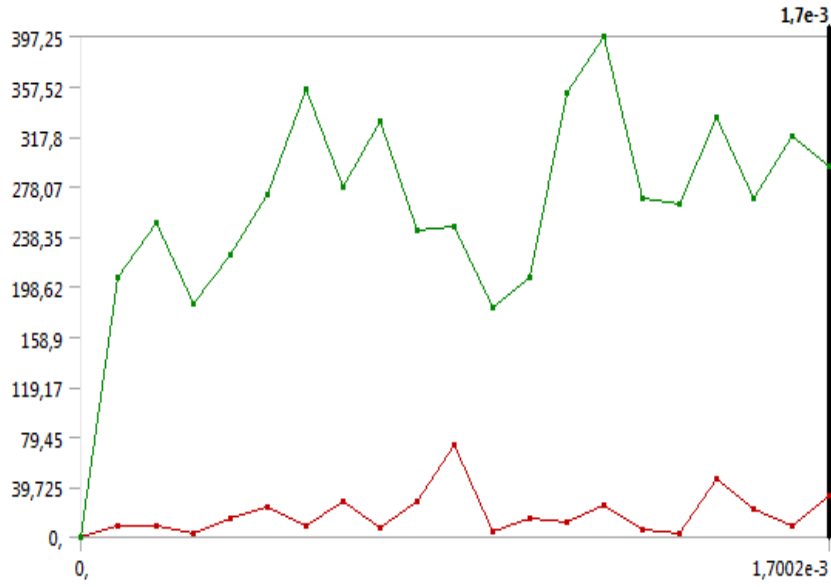
100-120 cm arası



Şekil 1.16. 100-120 cm arası gerilme grafiği

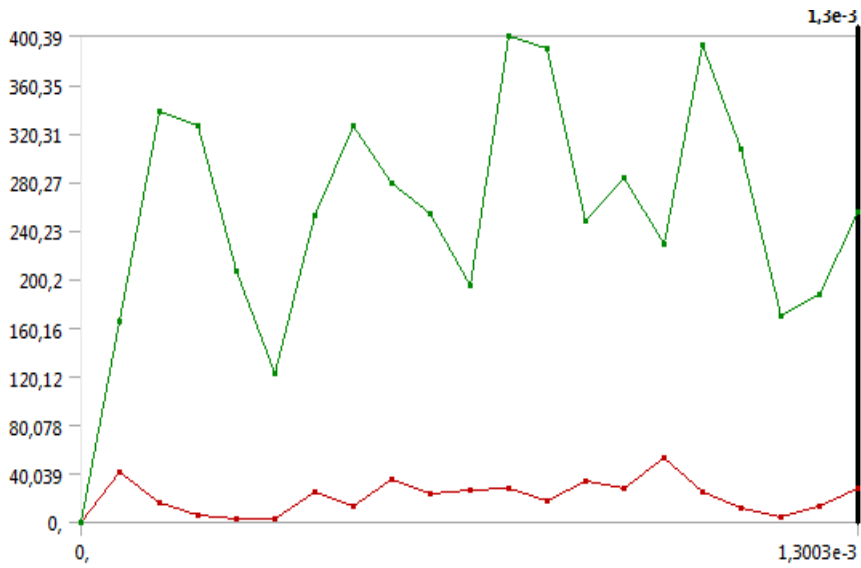
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

120-140 cm arası



Şekil 1.17. 120-140 cm arası gerilme grafiği

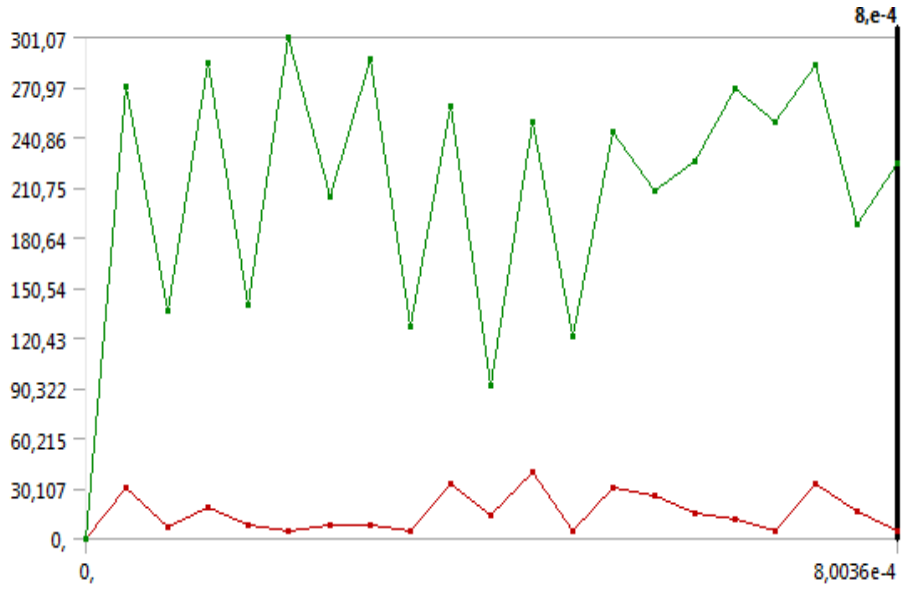
140-160 cm arası



Şekil 1.18. 140-160 cm arası gerilme grafiği

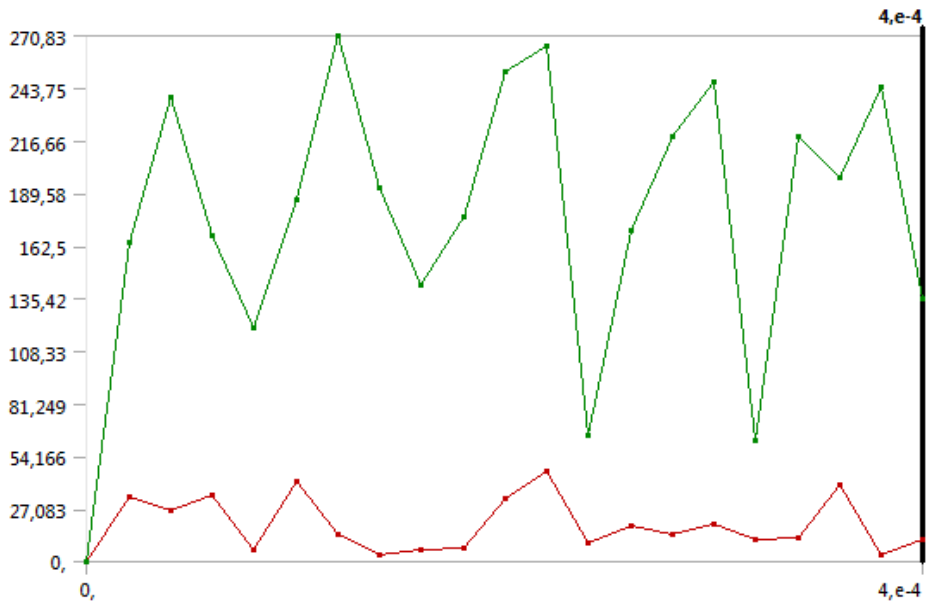
EK-1.(Devam) İlk yaklaşım için sonlu elemanlar analiz grafikleri

160-180 cm arası



Şekil 1.19. 160-180 cm arası gerilme grafiği

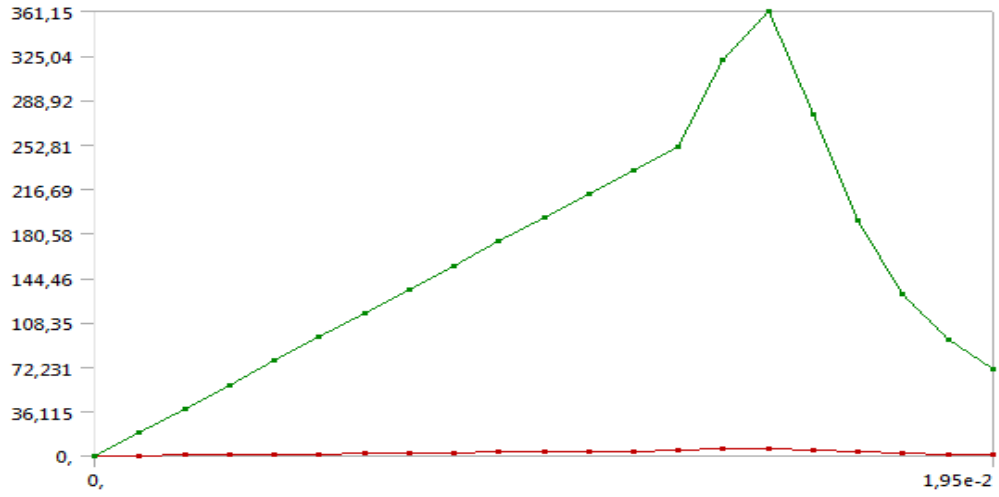
180-198 cm arası



Şekil 1.20. 180-198 cm arası gerilme grafiği

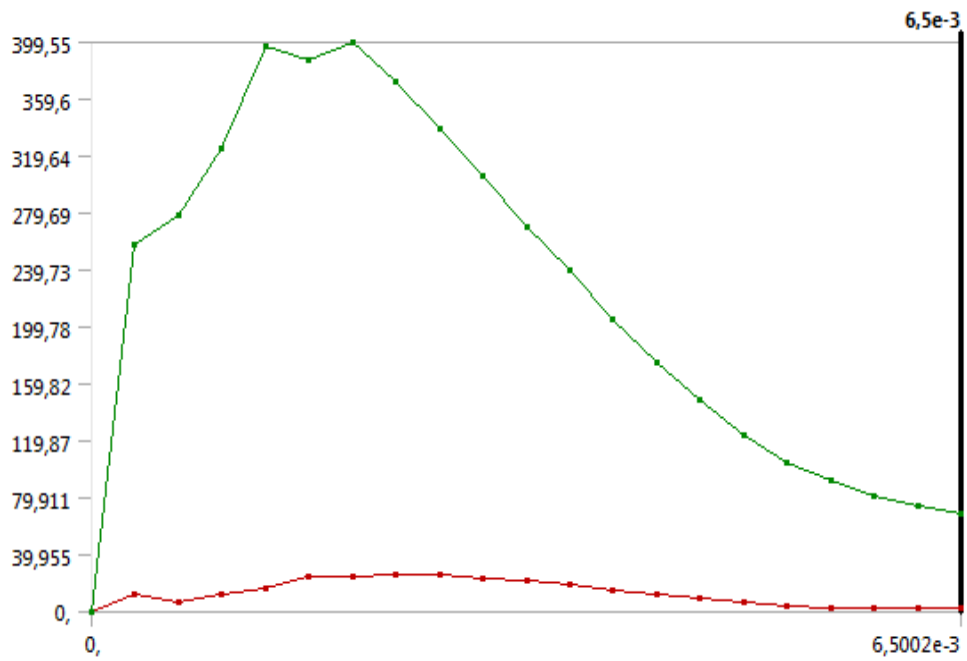
EK-2. Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

0-2 cm arası



Şekil 2.1. 0-2 cm arası gerilme grafiği

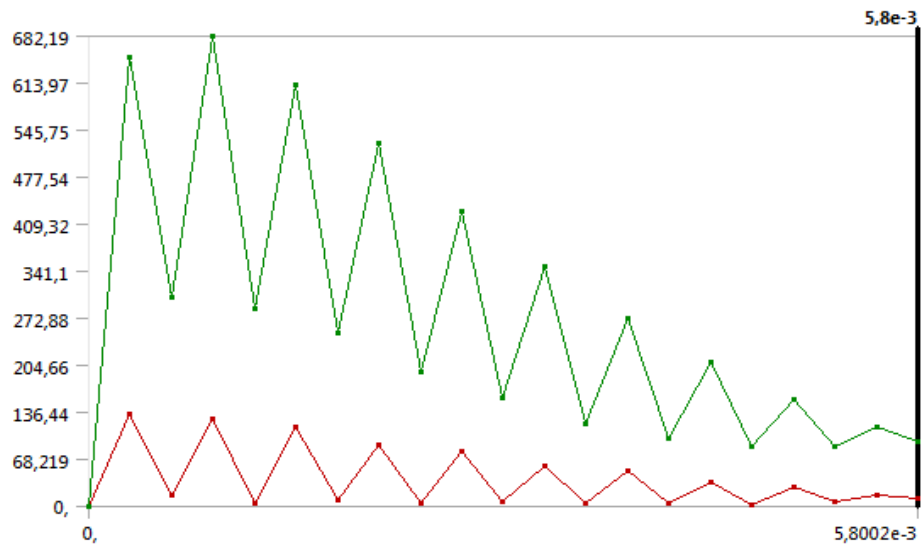
2-5 cm arası



Şekil 2.2. 2-5 cm arası gerilme grafiği

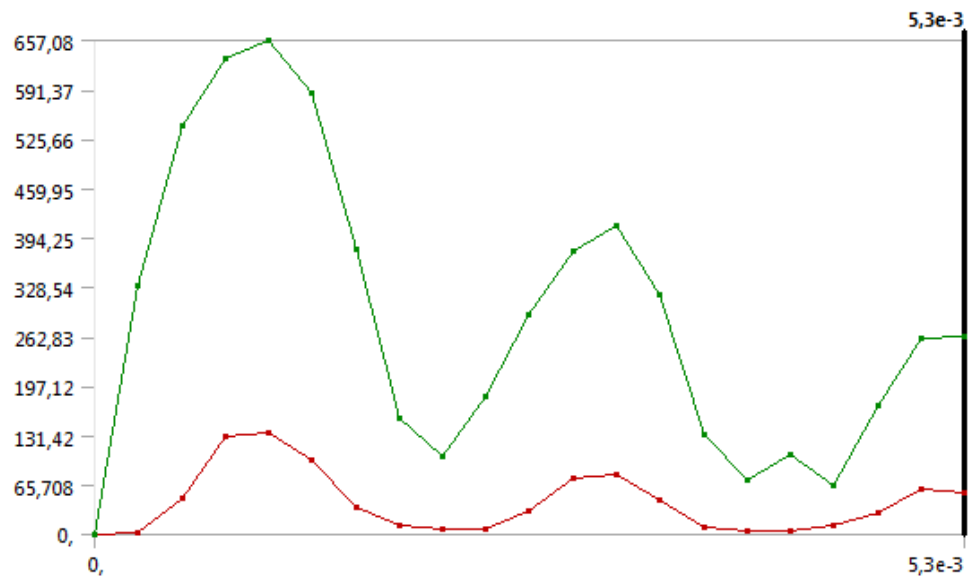
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

5-10 cm arası



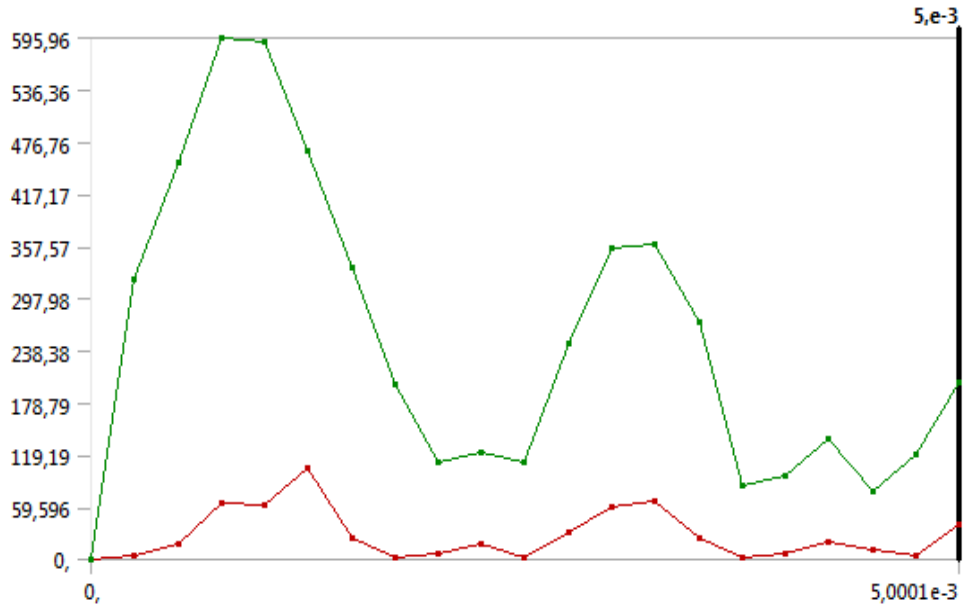
Şekil 2.1. 5-10 cm arası gerilme grafiği

10-15 cm arası



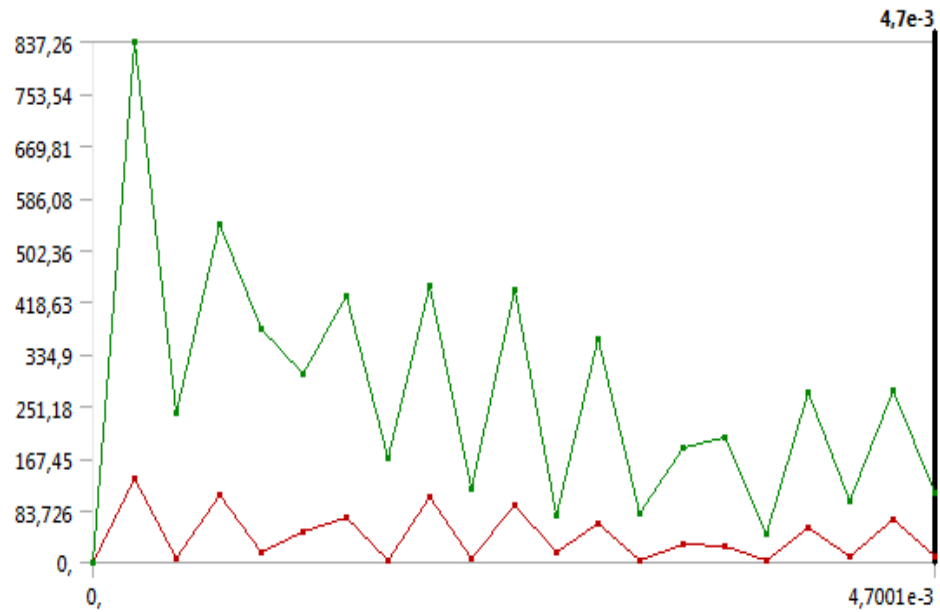
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

15-20 cm arası



Şekil 2.1. 15-20 cm arası gerilme grafiği

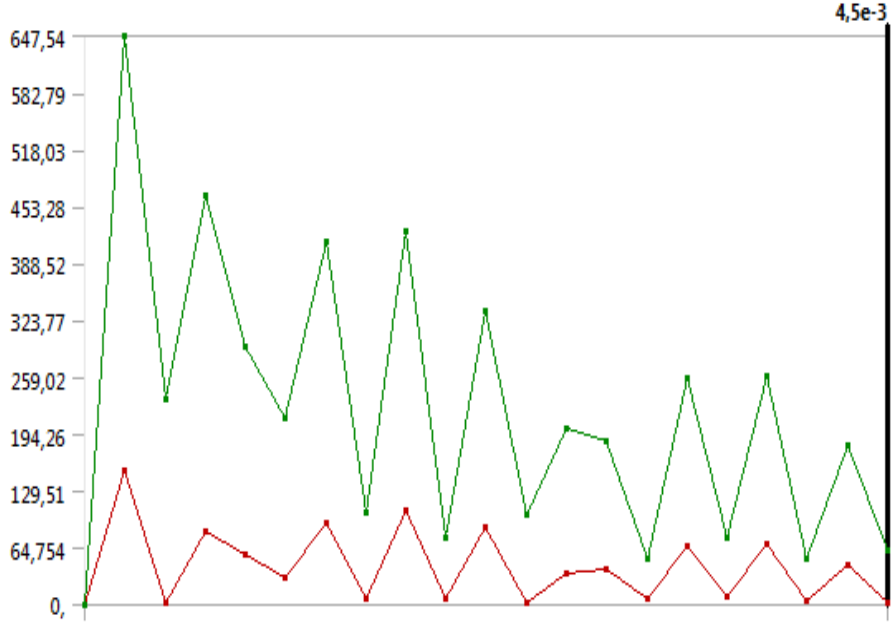
20-25 cm arası



Şekil 2.2. 20-25 cm arası gerilme grafiği

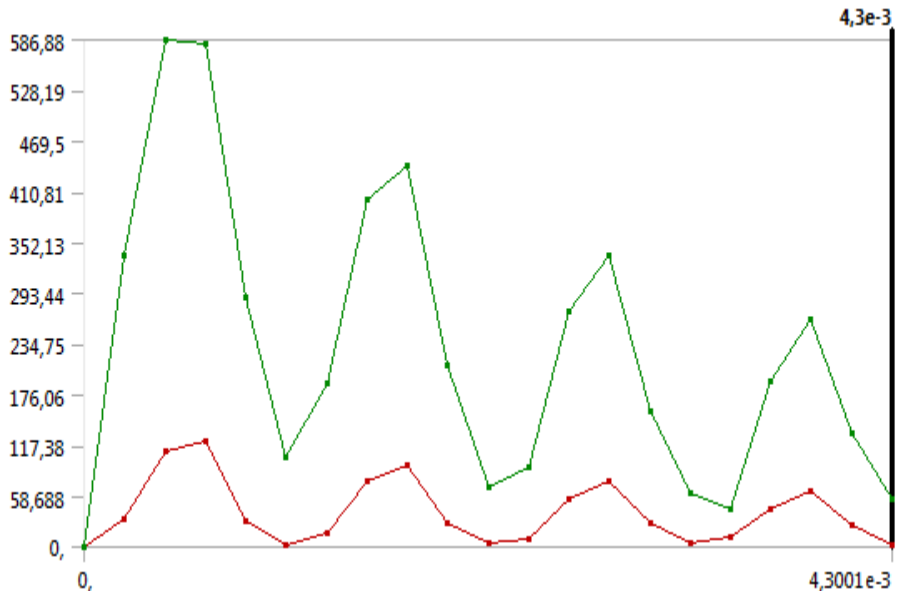
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

25-30 cm arası



Şekil 2.1. 25-30 cm arası gerilme grafiği

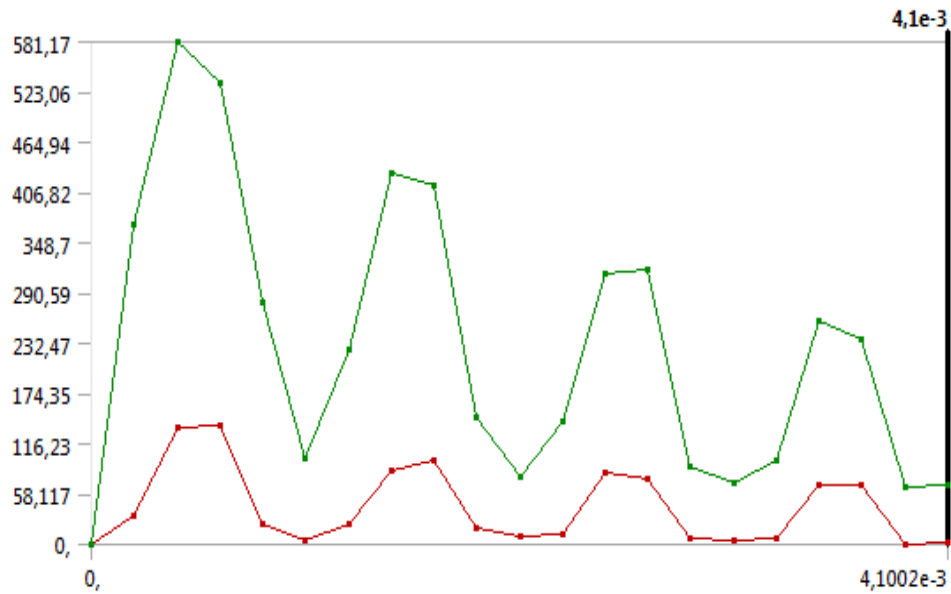
30-35 cm arası



Şekil 2.2. 30-35 cm arası gerilme grafiği

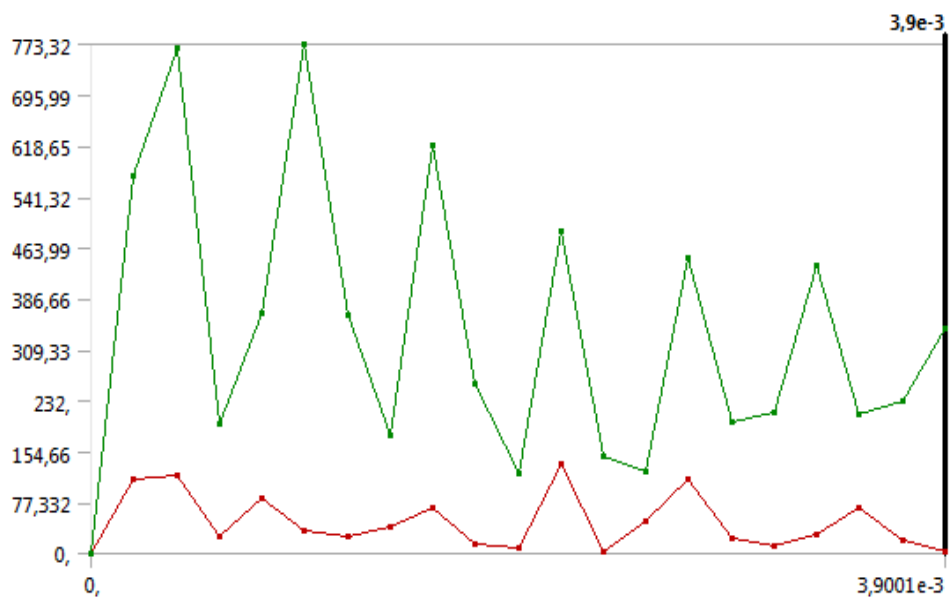
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

35-40 cm arası



Şekil 2.1. 35-40 cm arası gerilme grafiği

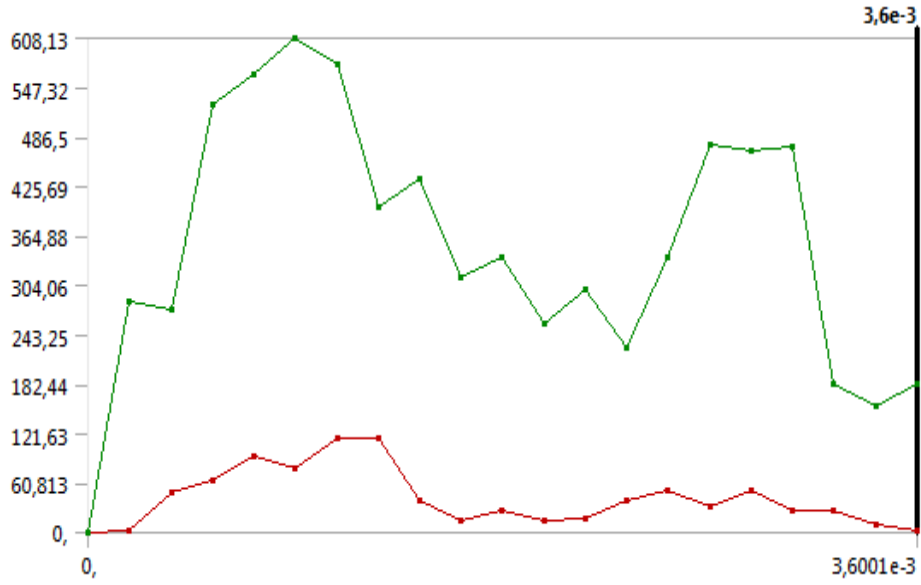
40-50 cm arası



Şekil 2.2. 40-50 cm arası gerilme grafiği

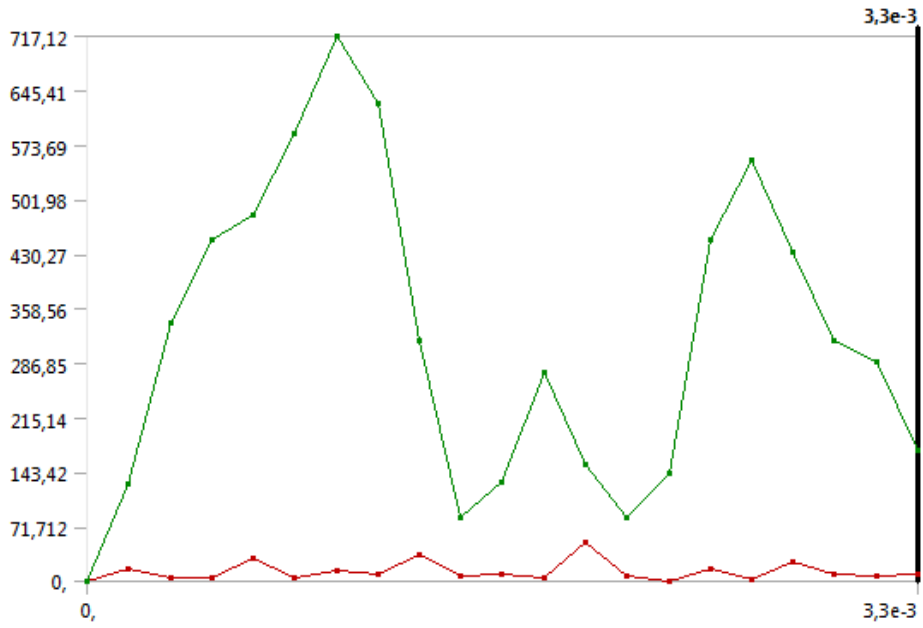
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

50-60 cm arası



Şekil 2.1. 50-60 cm arası gerilme grafiği

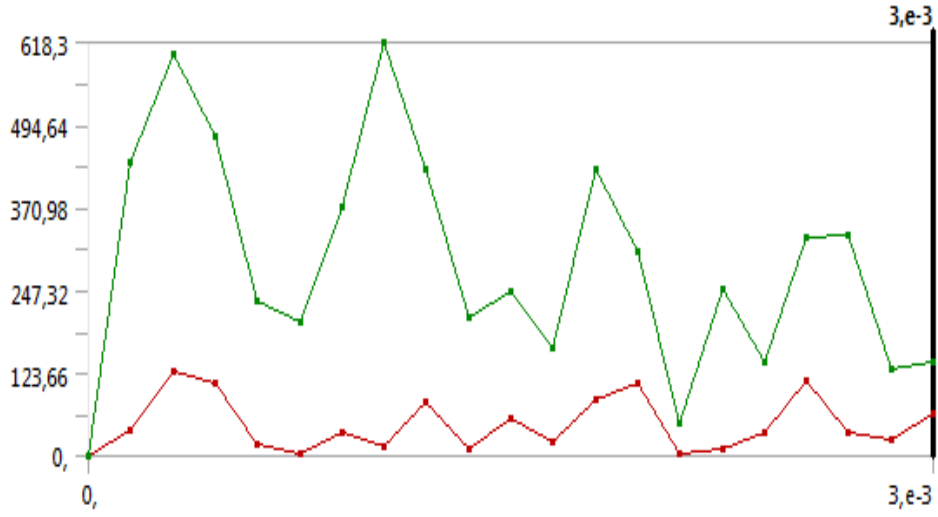
60-70 cm arası



Şekil 2.2. 60-70 cm arası gerilme grafiği

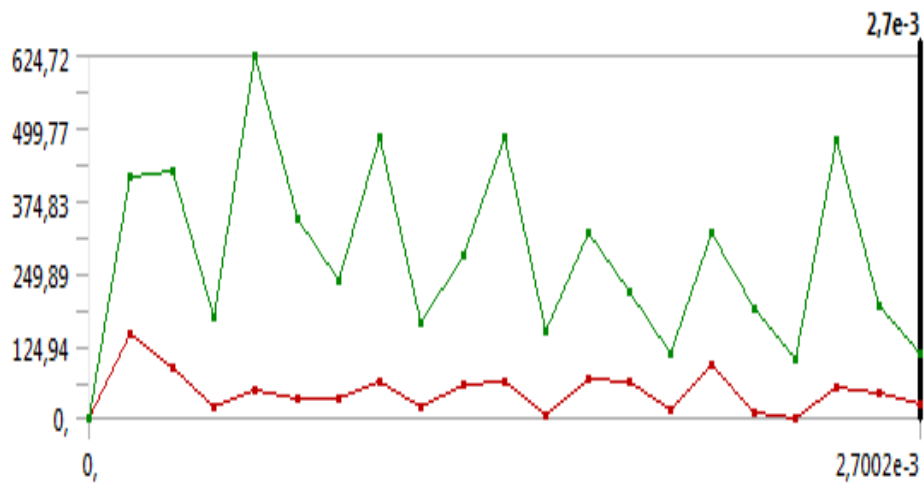
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

70-80 cm arası



Şekil 2.1. 70-80 cm arası gerilme grafiği

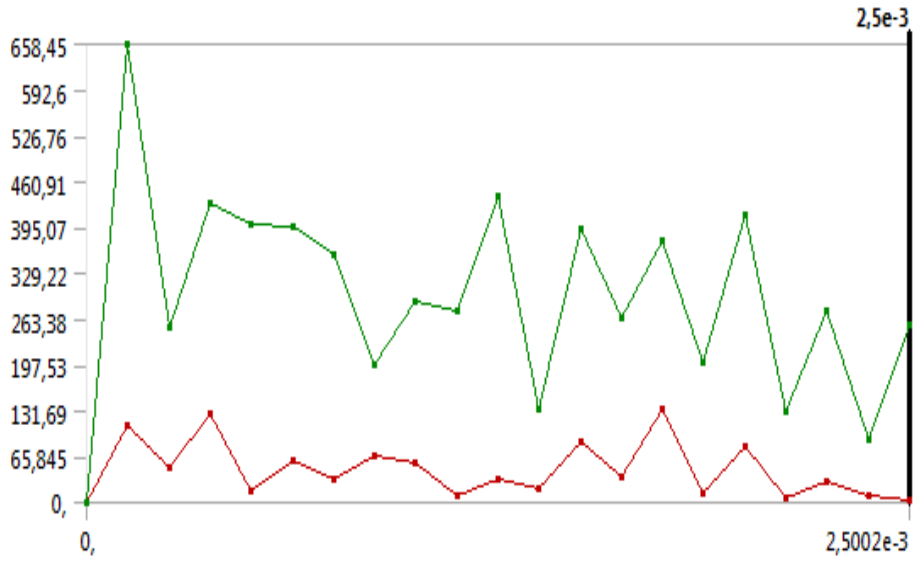
80-90 cm arası



Şekil 2.2. 80-90 cm arası gerilme grafiği

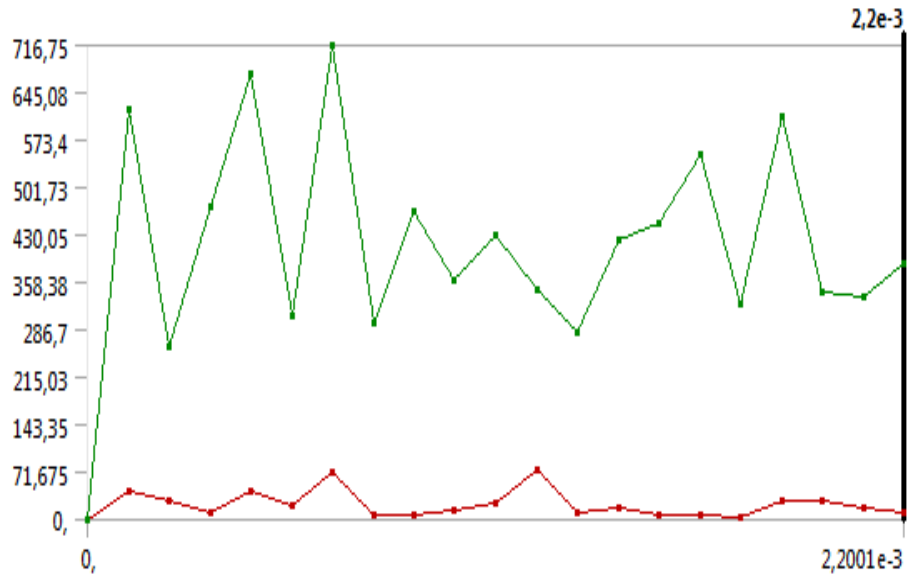
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

90-100 cm arası



Şekil 2.1. 90-100 cm arası gerilme grafiği

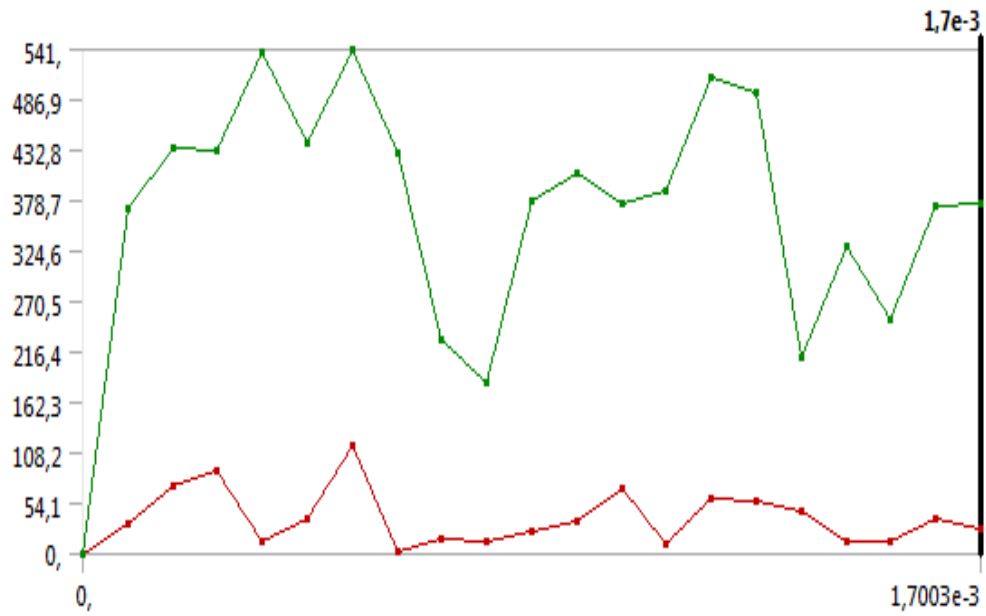
100-120 cm arası



Şekil 2.2. 100-120 cm arası gerilme grafiği

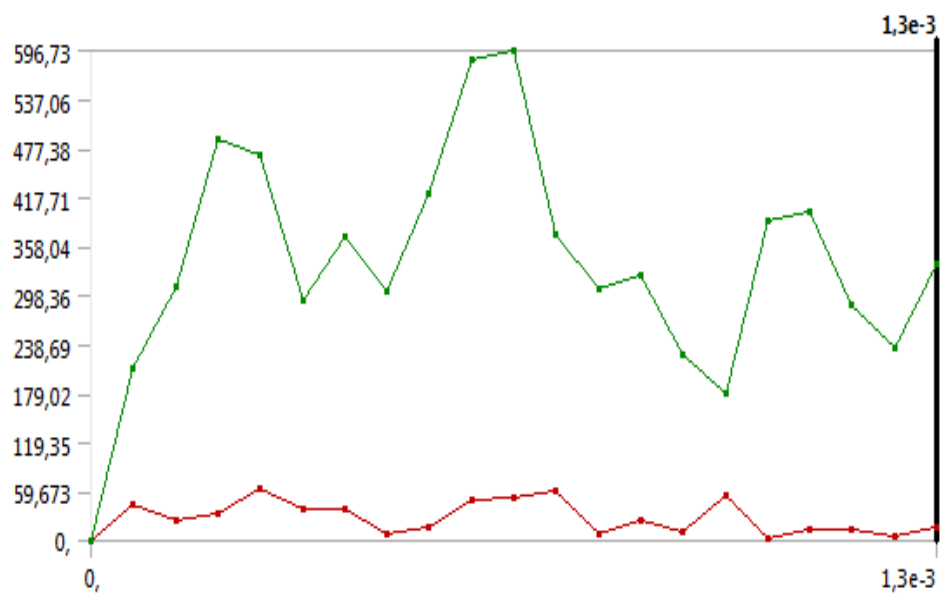
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

120-140 cm arası



Şekil 2.1. 120-140 cm arası gerilme grafiği

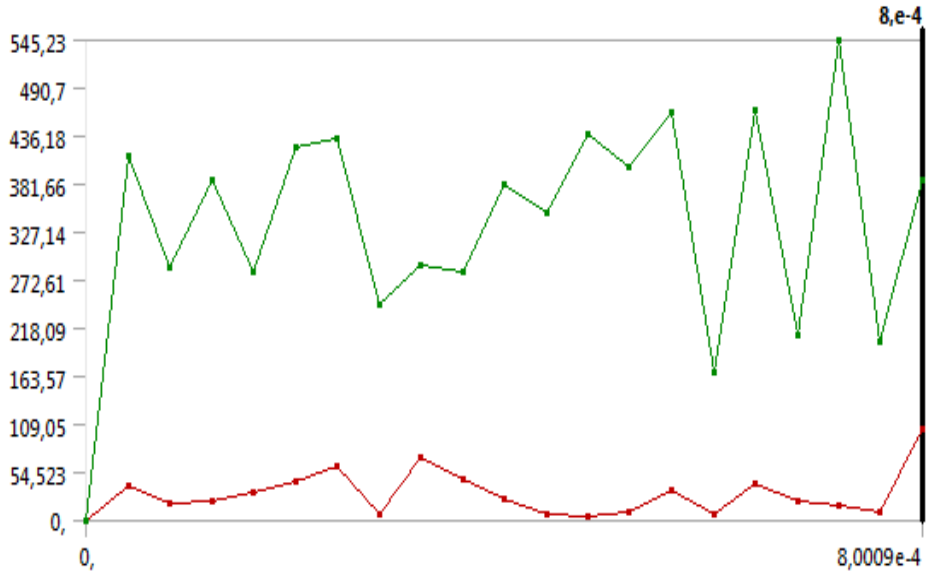
140-160 cm arası



Şekil 2.2. 140-160 cm arası gerilme grafiği

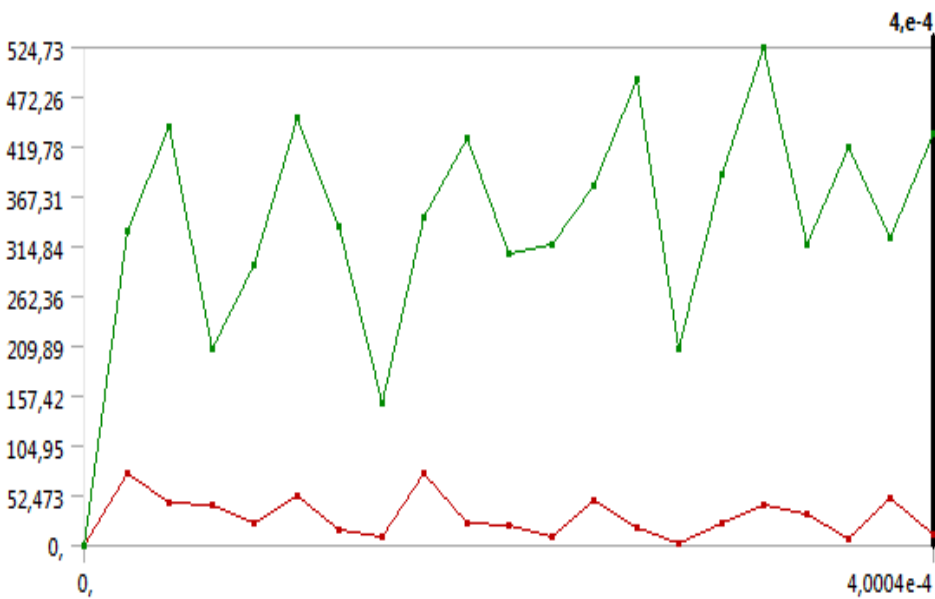
EK-2.(Devam) Birinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

160-180 cm arası



Şekil 2.1. 160-180 cm arası gerilme grafiği

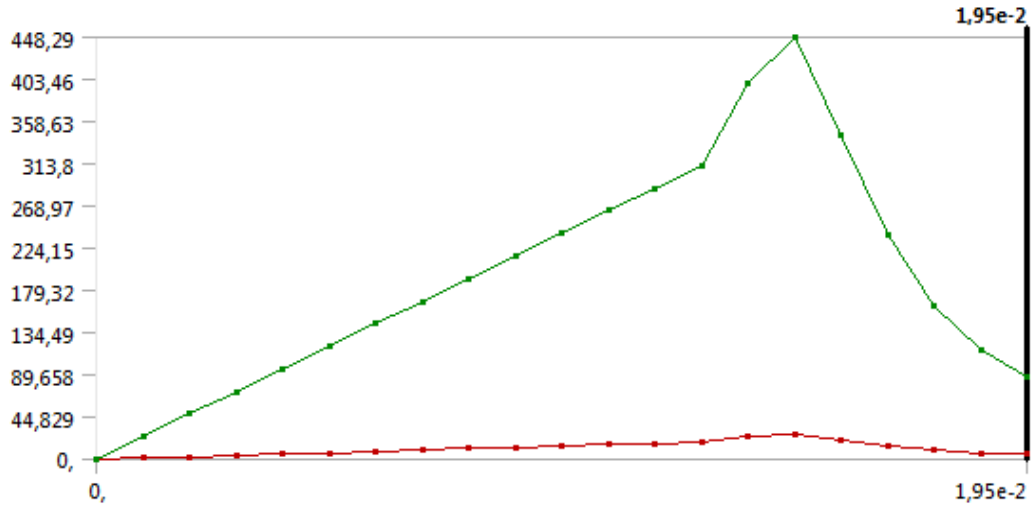
180-198 cm arası



Şekil 2.2. 180-198 cm arası gerilme grafiği

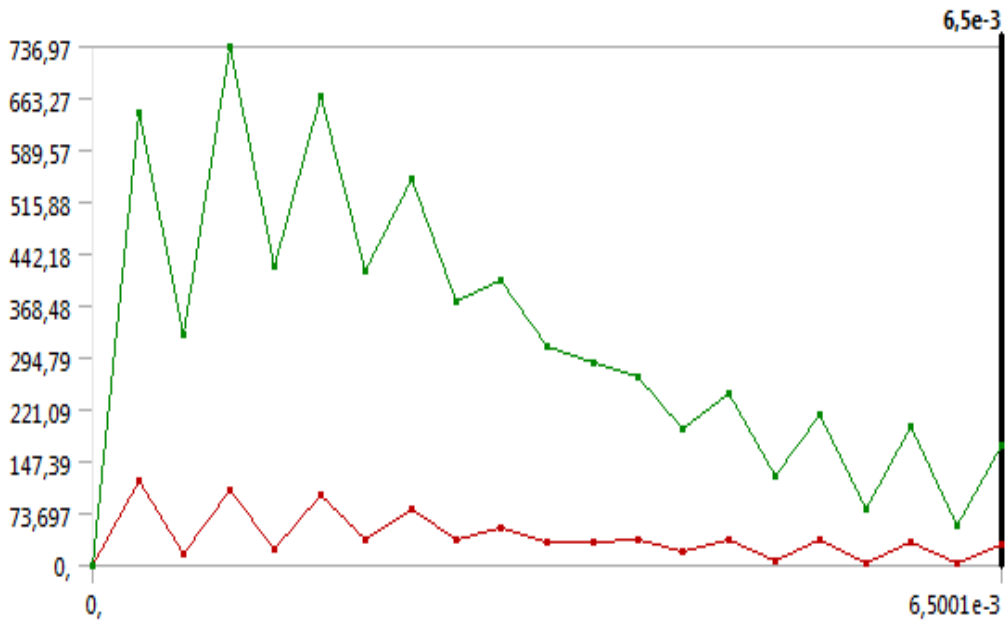
EK-3. İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

0-2 cm arası



Şekil 3.1. 0-2 cm arası gerilme grafiği

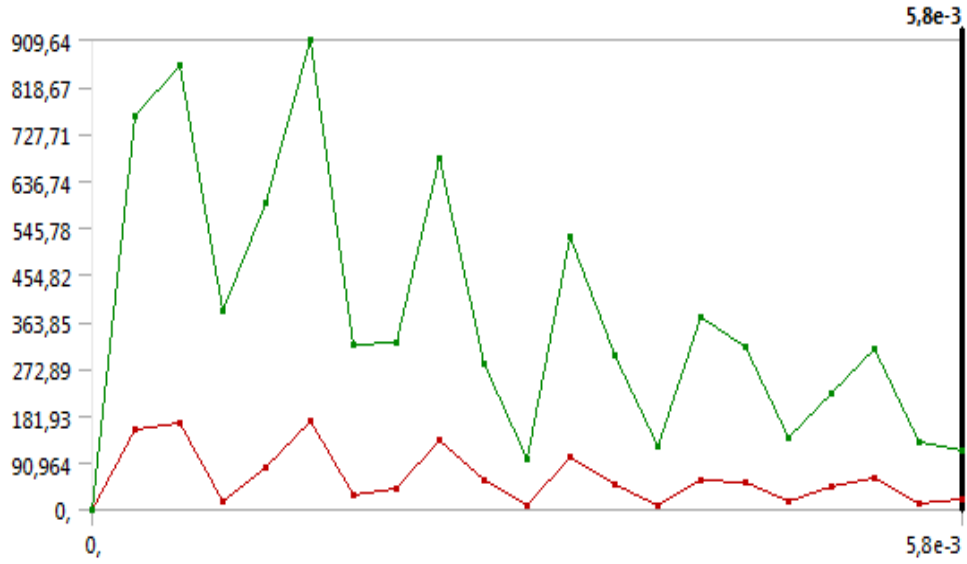
2-5 cm arası



Şekil 3.2. 2-5 cm arası gerilme grafiği

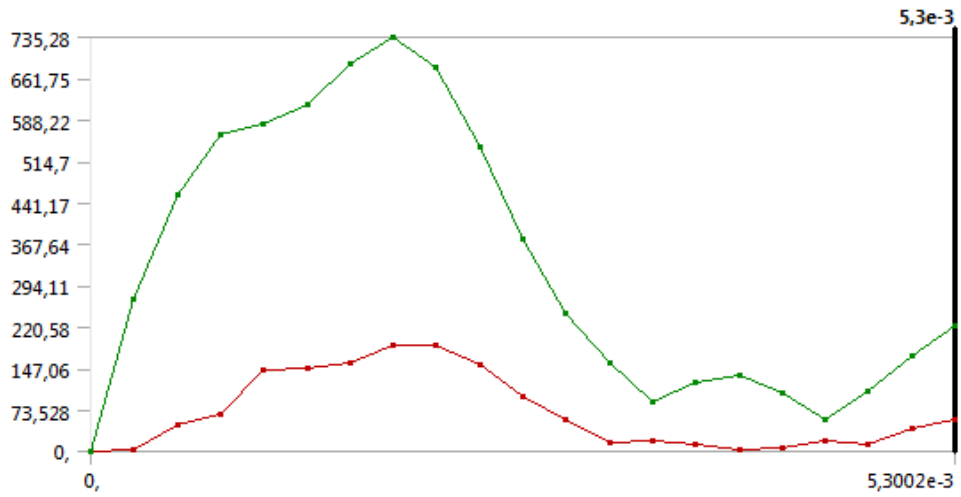
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

5-10 cm arası



Şekil 3.1. 5-10 cm arası gerilme grafiği

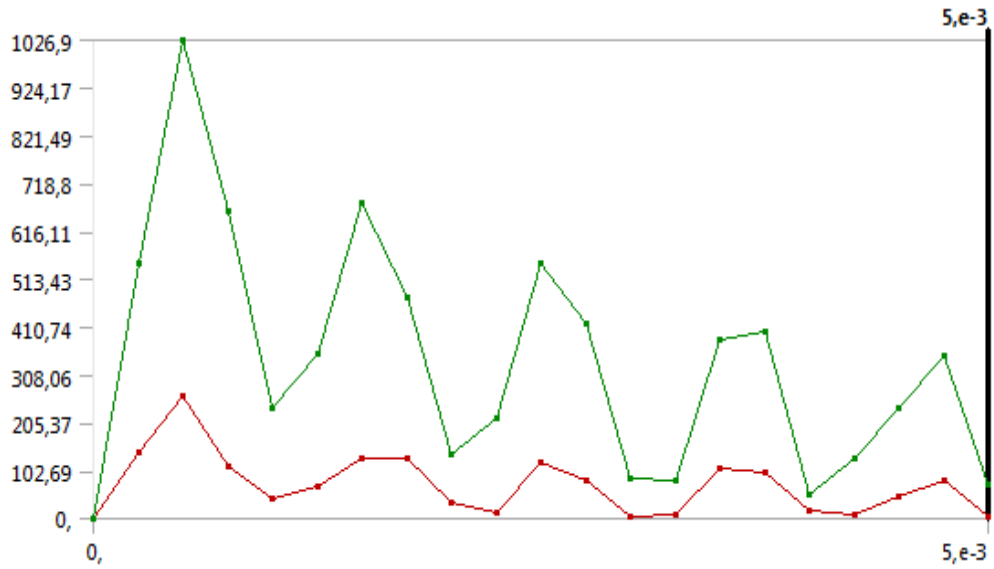
10-15 cm arası



Şekil 3.2. 10-15 cm arası gerilme grafiği

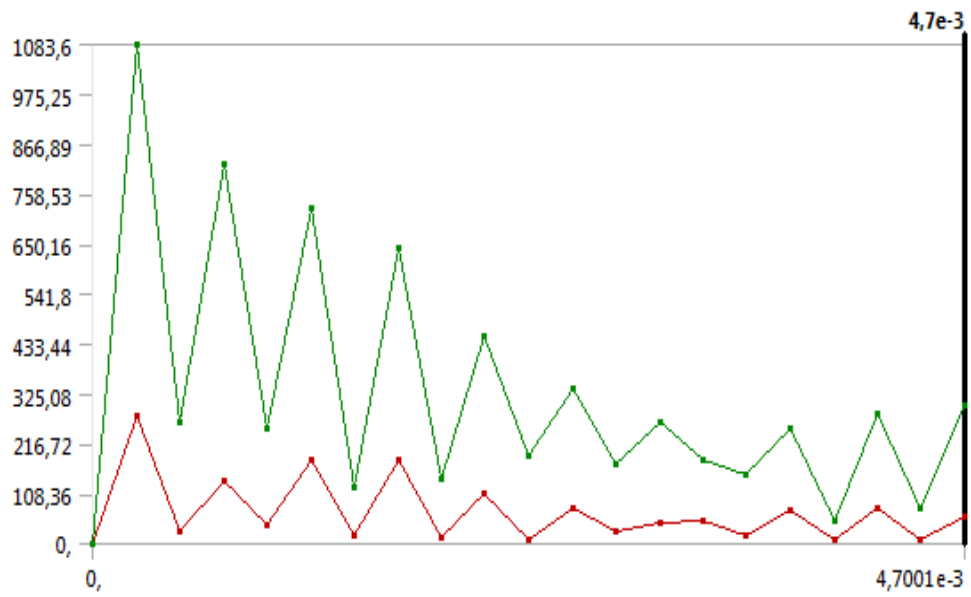
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

15-20 cm arası



Şekil 3.1. 15-20 cm arası gerilme grafiği

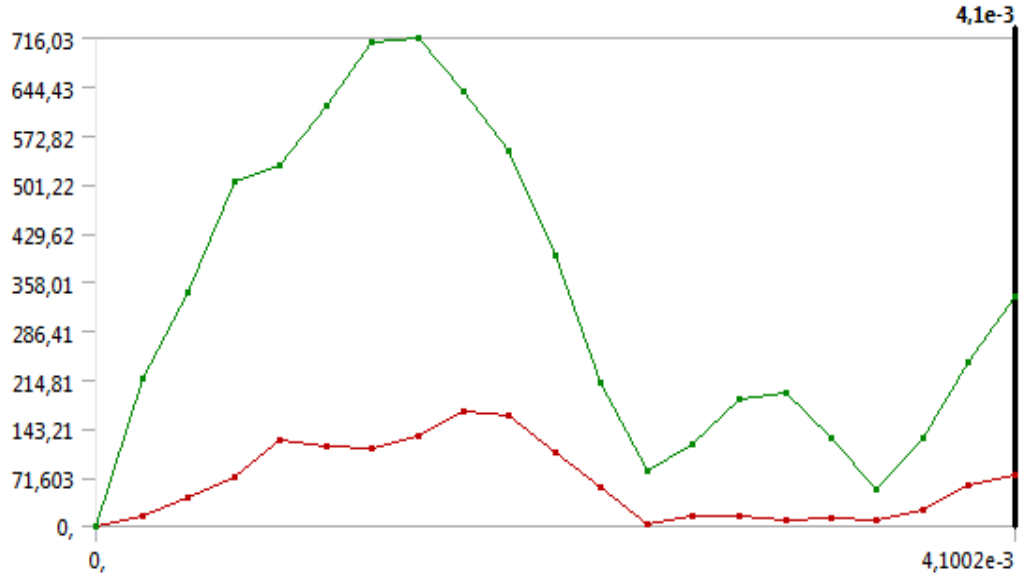
20-25 cm arası



Şekil 3.2. 20-25 cm arası gerilme grafiği

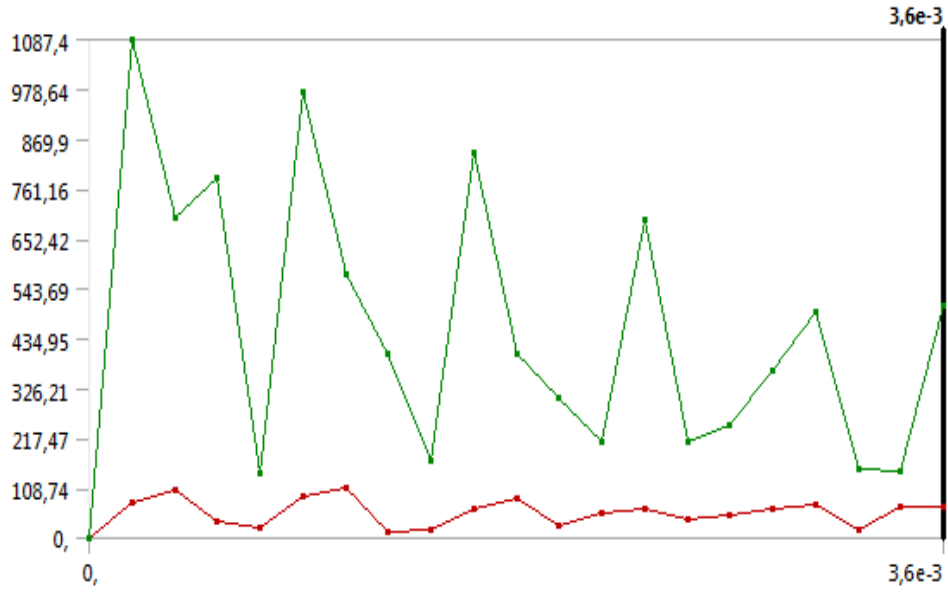
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

35-40 cm arası



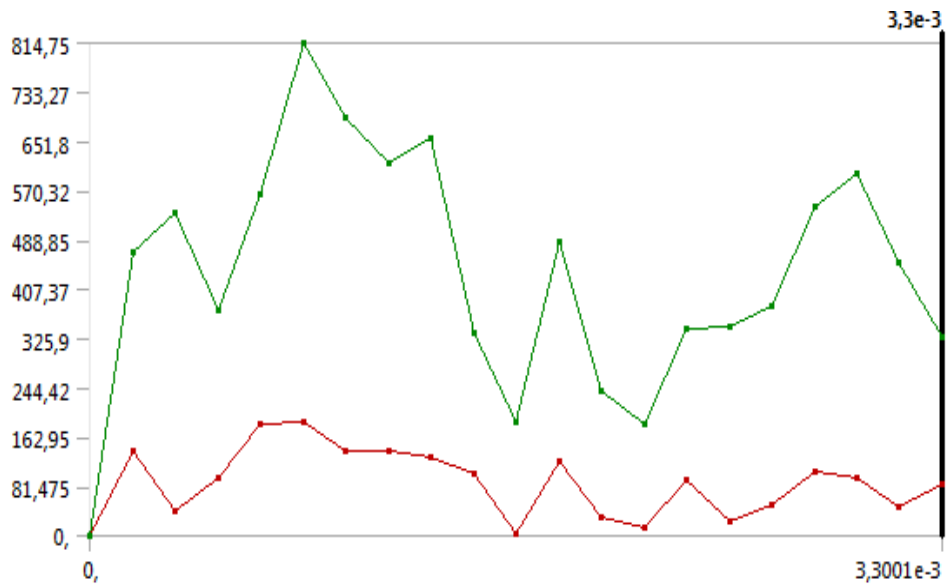
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

50-60 cm arası



Şekil 3.1. 50-60 cm arası gerilme grafiği

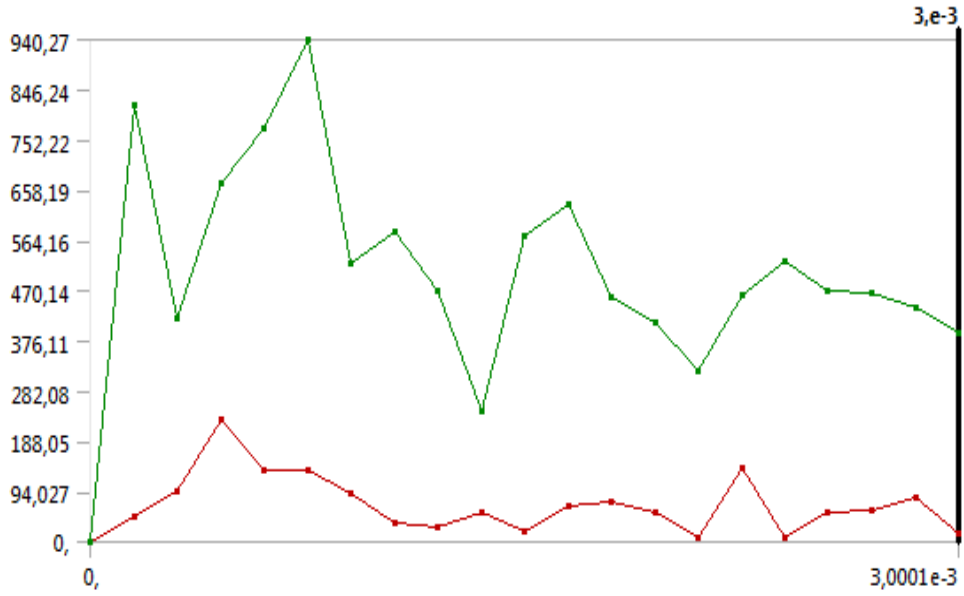
60-70 cm arası



Şekil 3.2. 60-70 cm arası gerilme grafiği

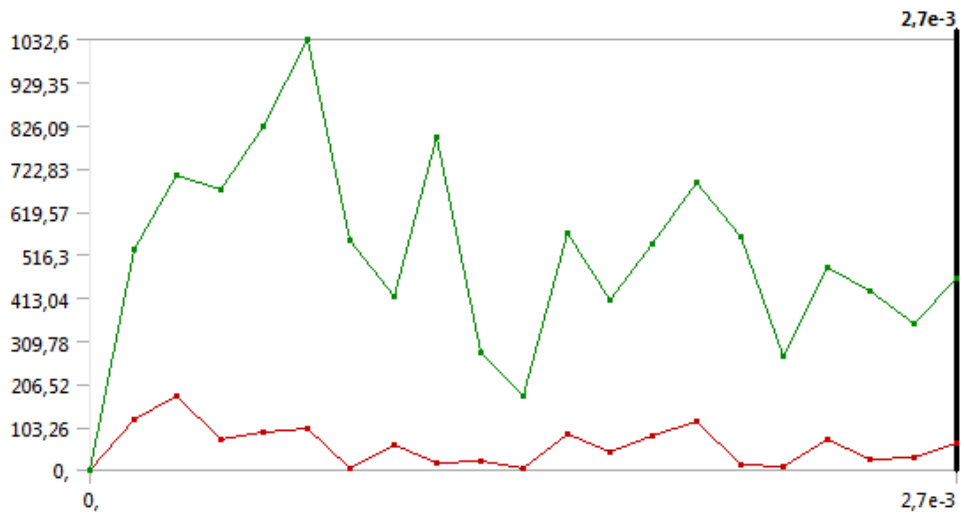
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

70-80 cm arası



Şekil 3.1. 70-80 cm arası gerilme grafiği

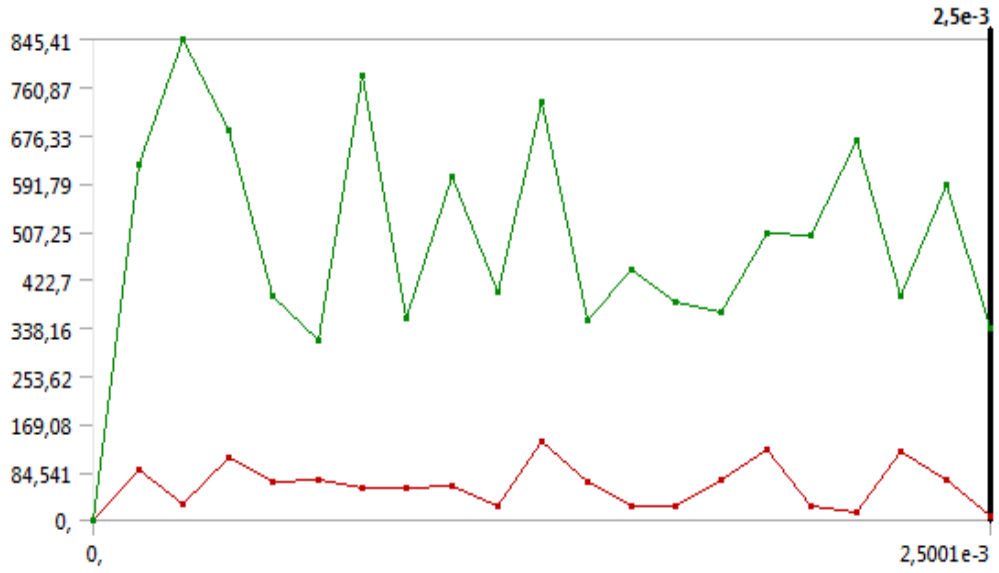
80-90 cm arası



Şekil 3.2. 80-90 cm arası gerilme grafiği

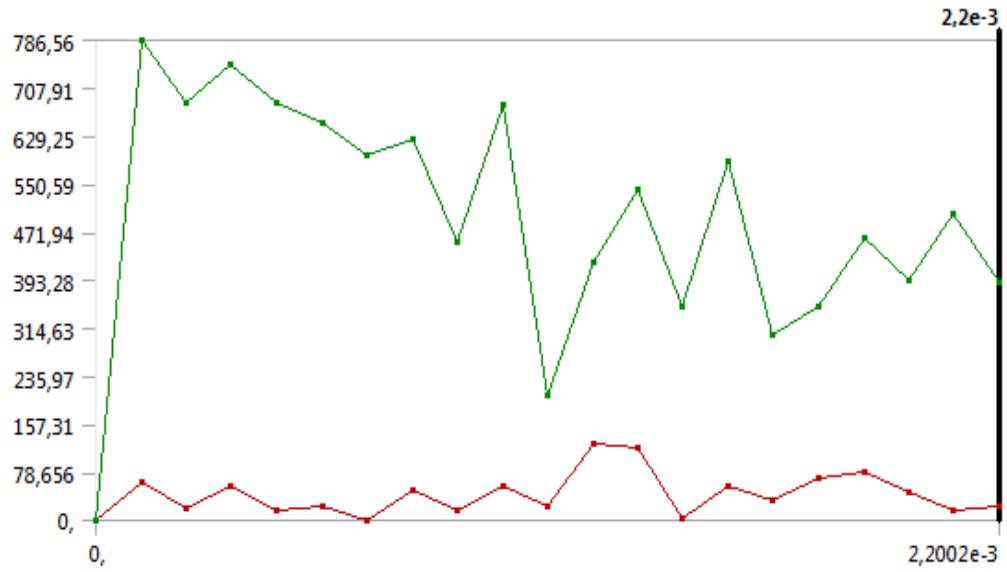
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

90-100 arası



Şekil 3.1. 90-100 cm arası gerilme grafiği

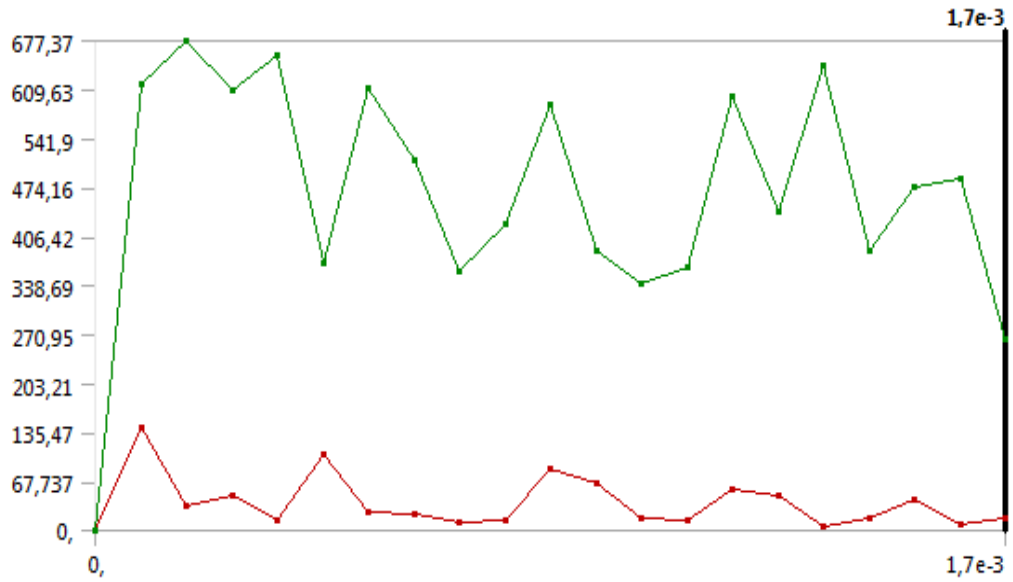
100-120 cm arası



Şekil 3.2. 100-120 cm arası gerilme grafiği

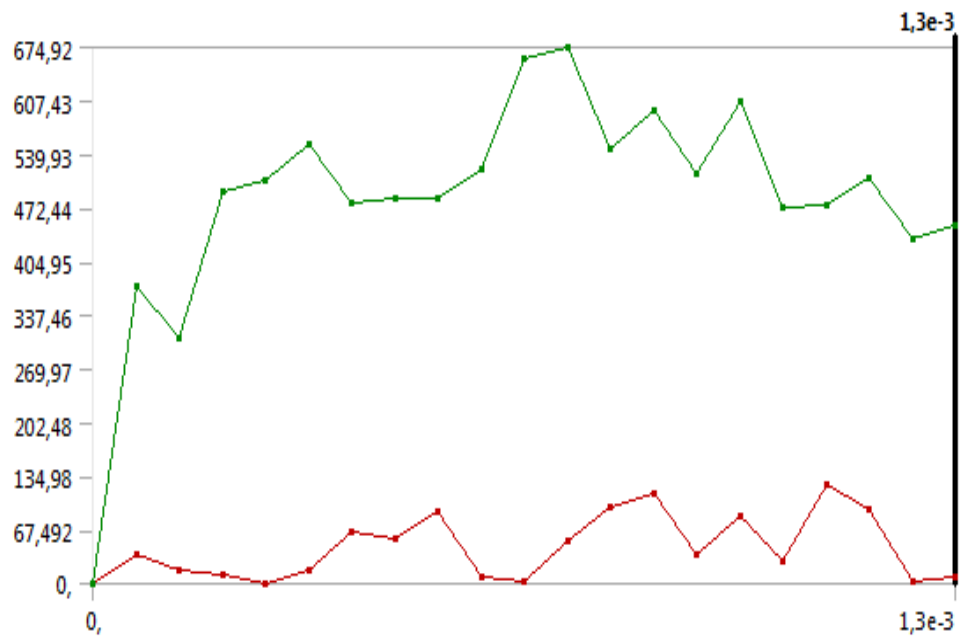
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

120-140 cm arası



Şekil 3.1. 120-140 cm arası gerilme grafiği

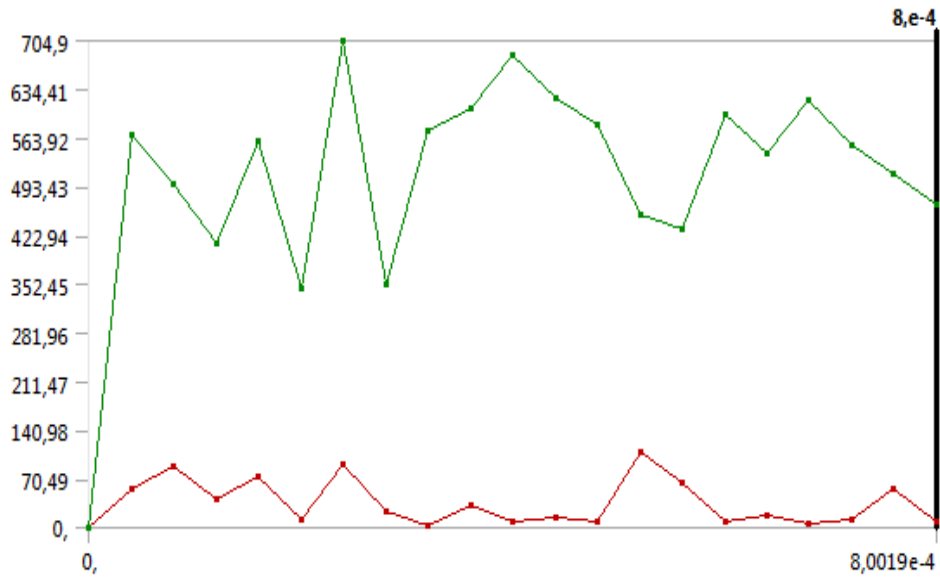
140-160 cm arası



Şekil 3.2. 140-160 cm arası gerilme grafiği

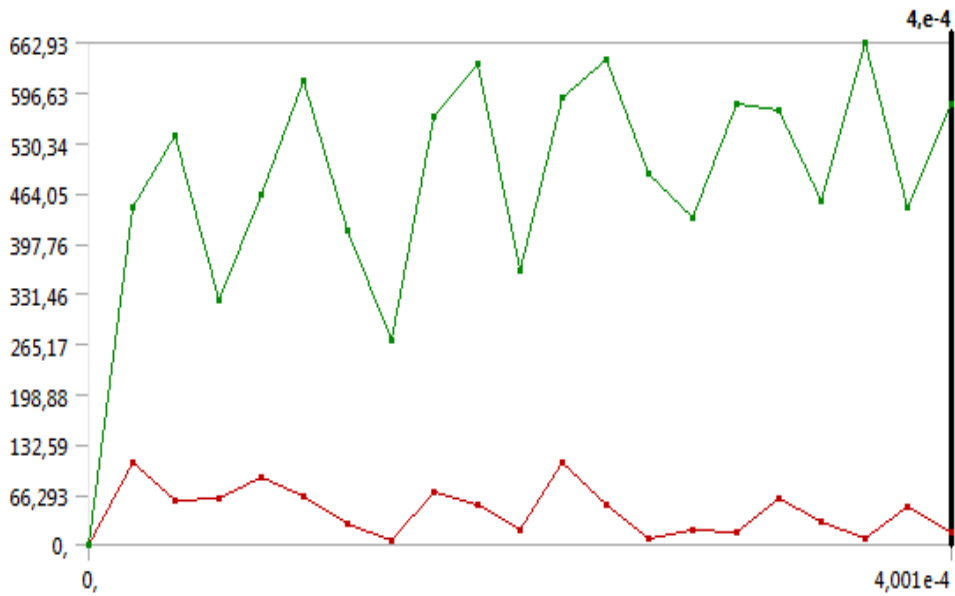
EK-3.(Devam) İkinci iterasyon için sonlu elemanlar analiz grafikleri

160-180 cm arası



Şekil 3.1. 160-180 cm arası gerilme grafiği

180-198 cm arası



Şekil 3.2. 180-198 cm arası gerilme grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNDÜZER, Onur
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.12.1984 Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 296 16 32
Faks : -
e-mail : onurgunduzer@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	2007
Lise	Gölbaşı Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2011	MKE Kurumu	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce