

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

**TETİK MEKANİZMASINA GELEN DİNAMİK KUVVETLERİN**  
**SONLU ELAMANLAR METODUYLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Mak. Müh. Ayhan ABAŞ**

**Tez Danışmanı:**  
**Yrd. Doç. Dr. Hakan ARSLAN**

**MAYIS 2011**

## ÖZET

TETİK MEKANİZMASINA GELEN DİNAMİK KUVVETLERİN

SONLU ELAMANLAR METODUYLA İNCELENMESİ

ABAŞ, Ayhan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç.Dr. Hakan ARSLAN

Mayıs 2011,76 sayfa

Sonlu Elamanlar programı(ABAQUS) kullanılarak silah ve içindeki mekanizmanın tasarımı ve modellenmesi yapılacak, başlangıç ve sınır şartları uygulanarak bu modelin analizi yapılacaktır. Analizde mekanizmaya fişğin patlaması ile oluşan basınçlı gazın bir piston mili vasıtasıyla etki ettirdiği kuvvetler, sürtünme kuvvetleri, silah tamponundan gelen sönümleyici kuvvet ve yerine getiren yay tarafından kuvvetler dikkate alınacaktır.

Analiz için yapılan modellemede, silah mekanizmasının ağırlığı, geri tepmeye olan etkisi, irca yayının karakteristikleri ve mekanizmanın hareket uzunluğunun dinamik etkisi modele dahil edilmiştir. Ayrıca mekanizmanın hareketini etkileyen silah tamponunun modellenmesinde, tamponun içindeki granüllerin eylemsizlik etkisi de modelde dikkate alınmıştır.

Mekanizmanın konumu, hızı ve ivmesinin zamana bağılı değişimi silah tasarımında en önemli konulardır. Bu çalışma ile silah mekanizmasının konum, hız ve ivmelerinin zamana bağılı değişiminin incelenmesi, silahın dakikada atacağı mermi sayısının bulunması, uygulanması gereken piston kuvvetinin ve yerine getiren yayın karakteristiğinin elde edilmesi hedeflenmektedir. Bulunan sonuçlardan yapılan tasarımın istenen özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Silah mekanizması, Sonlu elemanlar analizi, Dinamik analiz

## **ABSTRACT**

### **ANALYSİNG OF DYNAMİC FORCES THAT EFFECT TRİGGER MECHANİSM BY USİNG FİNETE ELEMENT METHOD**

**ABAŞ, Ayhan**

**Kırıkkale University**

**Graduate School Of Natural And Applied Sciences**

**Depertman of Mech.Eng.,M.Sc.Thesis**

**Supervisor: Assoc. Yrd. Doç.Dr. Hakan Arslan**

**May 2011,76 pages**

By using Finite Element program (ABAQUS) , the design and modeling of bolt in the weapon and the weapons will be done with this purpose and Analysis of this model will be done by applying the initial and the boundary conditions. The damping forces and the spring forces from the buffer arms, the friction forces, the forces which the compressed gases which cause by the explosion of cartridge in the weapon make impact by means of the piston rod, will be considered in this analysis,

In the modeling for analysis, The dynamic effect of the length of motion of the mechanism, the effect of recoil, the weight of the mechanism of the gun have been included in the model.

Time dependent changes of position, velocity and acceleration of the bolt are the most important issues in the design of weapons. Examination of time dependent change of position, velocity and acceleration of the mechanism of the gun, finding per minute number of rounds of gun, piston force to be applied and obtaining

characteristics of recoil spring is targeted with this work. Results of the design has shown that the design possesses desired properties.

**KEY WORDS:** Bolt, Finite element analysis, Dynamics analysis

## ÖNSÖZ

Günümüzde piyade tüfeklerin geliştirilmesinde bilgisayar tasarım ve analizleri çok önemli bir yer tutmaktadır. Yerli silah geliştirmelerinde dışa bağımlılığın azaltılması, tamamen özgün modellerin geliştirilmesi için; çok iyi bir teknik araştırma, üniversite akademik teşviklerin olması, ileri seviye tasarım ve analiz programların bilgisi gerekmektedir. Bu tür çalışmalarda zamanı, emeğini ortaya koyacak, teknolojiyi takip edecek kalifiye elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür akademik teşvikler ülkemizin yerli silah modellerin geliştirilmesinde çok önemli katkı sağlamaktadır.

Türk savunma sanayisinin milli imkanlar dahilinde gelişmesi için bu alanlarda araştırma yapmamızı teşvik eden sayın Prof.Dr. Veli ÇELİK, Prof.Dr. Ali ERİŞEN, Doç.Dr. Hüsnü DİRİKOLU, Doç.Dr. Sadettin ORHAN'a teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışmamda hiç bir yardımını, bilgisini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan Arslan'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca MKE Mühimmat Fabrikası AR-GE mühendislerinden Makine Yük. Müh. Onur Güngör Bey'e, yardımlarından dolayı teşekkürlerimi iletirim.

Mayıs 2011

Ayhan ABAŞ

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>ÖNSÖZ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	x
<b>KISALTMALAR</b> .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Mekanizmanın Tanımı.....	1
1.2. Piyade Tüfeklerinde Kullanılan Mekanizmalar.....	2
1.3. Günümüzde Kullanılan Piyade Tüfeklerindeki Mekanizmalar.....	4
1.3.1. Scar-L Otomatik Piyade Tüfeği.....	4
1.3.2. HK-417 Otomatik Piyade Tüfeği.....	5
1.3.3. G-36 Otomatik Piyade Tüfeği.....	6
1.3.4. M-16 (Sr-25 Versiyonu) Otomatik Piyade Tüfeği.....	7
1.4. Literatür Araştırması.....	8
<b>2. MATERYAL METOT</b> .....	12
2.1. Mekanizmanın Hareketinin Teorik Olarak Modellenmesi.....	12
2.2. Analizle İlgili Genel Açıklamalar.....	15
2.3. Mekanizma Kuvvet Tanımlaması ve Uygulanması.....	18
2.4. Malzeme Tanımı.....	20
2.5. Temas(Sürtünme).....	21

2.6.	Yerine Getiren Yay(İcra Yayı).....	22
2.7.	Sonlu Elemanlar Metodu.....	24
2.7.1.	Sonlu Elemanlar Metodunun Kısa Tarihi .....	25
2.7.2.	Uygulama Alanları.....	25
2.7.3.	Sonlu Elamanlar Yönteminin Problemlerde Uygulanması.....	26
2.7.4.	Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri.....	27
2.7.5.	ABAQUS/CAE Sonlu Elemanlar Paket Programı .....	29
2.7.6.	Programın Bölümleri .....	29
2.7.7.	Ön İşlem Süreci (Preprocessor) .....	32
2.7.8.	Programın Çalıştırılması .....	33
2.7.9.	Katı Modelin Oluşturulması .....	33
2.7.10.	Malzemenin Tanımlanması.....	36
2.7.11.	Montaj(Assembly) Menüsü .....	38
2.7.12.	Adım (Step) Menüsü.....	39
2.7.13.	Etkileşim (Interaction) Tanımlanması .....	40
2.7.14.	Sınır Şartların ve Yüklerin Tanımlanması ve Parçaya Uygulanması .....	41
2.7.15.	Modelin Küçük Parçalara (Mesh) Bölünmesi .....	42
2.7.16.	İş (Job) Menüsü .....	43
2.7.17.	Analiz Sonrası İşlemler (Postprocessor) Menüsü .....	44
2.7.18.	Birimler.....	46
<b>3.</b>	<b>TAMPON VE YERİNE GETİREN YAYIN( İRCA YAYININ)</b>	
	<b>ABAQUS'TE MODELLENMESİ.....</b>	<b>47</b>
3.1.	Tamponun Modellenmesi .....	47
3.2.	Yerine Getiren Yay Modellenmesi .....	51
<b>4.</b>	<b>MEKANİZMA GÖVDESİNİN TASARIMI VE SONLU ELAMANLAR</b>	
	<b>METODUYLA DİNAMİK ANALİZİ .....</b>	<b>55</b>
4.1.	Mekanizma Gövdesinin Modellenmesi ve Analiz Ortamına Alınması.....	55
4.2.	Mekanizma Gövdesinin Analiz Ortamında Sınır Şartlarının Tanımlanması .....	55
4.3.	Mekanizma Gövdesinin Tampon İrca Yayı İle Montaj Edilip Çözüme Verilmesi .....	61
4.4.	Modelin Bir Bütün Olarak Analizi .....	62
<b>5.</b>	<b>BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>64</b>
<b>6.</b>	<b>SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>72</b>
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>74</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>77</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
1.2. Scar-L Otomatik Piyade Tüfeği.....	4
1.3. HK- 417 Otomatik Piyade Tüfeği Özellikleri.....	5
1.4. G-36 Otomatik Piyade Tüfeği Özellikleri.....	6
1.5. M-16(SR-25 Versiyonu) Otomatik Piyade Tüfeği Özellikleri.....	7
2.1. Analizde Silah Parçaları İçin Tanımlanan Malzeme Özellikleri.....	20
2.2. Yerine Getiren Yay Sabitinin Özellikleri.....	22
2.3. Abaqus Analiz Programında Birim Tablosu.....	46

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

### Sayfa

1.1	Piyade tüfekleri için mekanizma gövdesi .....	1
1.2	Scar-L Otomatik Piyade Tüfeği .....	4
1.3	HK-417 Otomatik Piyade Tüfeği .....	5
1.4	G-36 Otomatik Piyade Tüfeği .....	6
1.5	M-16( SR-25 versiyonu) Otomatik Piyade Tüfeği .....	7
2.1	Yerine getiren yay-mekanizma gövdesi-tampon katı modeli .....	12
2.2	Yerine getiren yay-mekanizma gövdesi-tampon titreşim modeli .....	13
2.3	Mekanizma Gövdesine Uygulanan Kuvvet Zaman Grafiği .....	14
2.4	Silah mekanizmasının dinamik analizi için kullanılan yazılımların olan bağıntıları .....	17
2.5	STAR-CCM+ Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile hesaplanmış gaz pistonuna etki eden kuvvetin zamana bağlı değişimi .....	19
2.6	Kinetik sürtünme ile statik sürtünme arasındaki bağıntı .....	21
2.7	Yerine getiren yay (icra yayı) katı modeli .....	22
2.8	Çözüme verilmeden önce komple modelin son hali .....	23
2.9	Sonlu elemanlar metodu eleman tipleri .....	24
2.10	Bir boyutlu bir sonlu eleman .....	27
2.11	Üçgen tipi sonlu eleman örneği .....	28
2.12	İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar .....	28
2.13	ABAQUS/CAE ana penceresi .....	30
2.14	ABAQUS/CAE açılış penceresi .....	33
2.15	ABAQUS/CAE katı model oluşturma .....	34
2.16	ABAQUS/CAE çizim alanı .....	35
2.17	ABAQUS/CAE de cad modelin Abaqus ortamına alınması .....	36
2.18	Malzeme giriş penceresi .....	37
2.19	ABAQUS/CAE malzeme özelliklerin tanımlanması .....	38
2.20	ABAQUS/CAE montaj penceresi .....	39
2.21	Adım (Step) menüsü .....	40
2.22	Etkileşim Menüsü .....	41
2.23	Yükleme ve Sınır Şartlar Menüleri .....	41
2.24	Parçanın dilimlenmesi .....	42
2.25	Eleman tipi seçme menüsü .....	43
2.26	İs Menüsü .....	44
2.27	Sonuçların Görüntülenmesi Menüsü .....	45
2.28	Abaqus Analiz Kısa Özeti .....	46
3.1	Tampon modelinin CATIA tasarım ortamında tasarlanmış katı modeli .....	48

3.2	SE modelindeki bilyeli tampon modeli. Yarım tampon görünüş için erleştirilmiş çelik bilyalar.....	49
3.3	Çelik balyalar kümesi tampon iç yüzeyine yerleştirecek şekilde dizaynı 108 adet.....	50
3.4	Çelik bilyaların modeline yerleştirmiş hali.....	50
3.5	Tampon modelinin düzgün mesh tanımlaması .....	51
3.6	Yerine getiren yay-Tampon –Mekanizma CAD modeli.....	51
3.7	Yerine getiren yay model oluşturma.....	52
3.8	Yerine getiren yay tampon bağlantısı .....	52
3.9	Yerine getiren yay-Tampon sonlu elemanlar boyutuna ayrılması .....	53
3.10	Yerine getiren yay- Tampon çözüme verilmeden son hali .....	53
3.11	Analiz sonucunda Tampon kısmında meydana gelen gerilmeler .....	54
3.12	Analiz sonucunda Tampon içindeki granüllerin serbest dağılımı.....	54
4.1	Mekanizma gövdesinin CAD modeli.....	55
4.2	Mekanizma gövdesinin yoğunluğunun tanımlanması.....	56
4.3	Mekanizma gövdesinin Elastisite modülü ve Poisson oranının tanımlanması ....	57
4.4	Mekanizma gövdesinin malzeme tanımlamasından sonraki görünümü .....	57
4.5	Mekanizma gövdesinin hareket etmesi için kuvvet tanımlanması.....	58
4.6	Mekanizma gövdesinin başına uygulanan kuvvet .....	58
4.7	Mekanizma sonlu elemanman boyutunun tanımlanması .....	59
4.8	Mekanizma gövdesinin mesh( sonlu elemanlar boyutuna) ayrılması.....	59
4.9	Mekanizma gövdesinin en düzenli elemanlar boyutu orphon meshlere ayrılması.....	60
4.10	Mekanizma gövdesi ve mekanizma başı kompleksi .....	60
4.11	Mekanizma gövdesi-tampon icra yayı SE modeli için son hali.....	61
4.12	Analiz sonucunda modelin tamamı .....	62
4.13	Analiz sonucunda tampon içindeki granüllerin serbest dağılımı .....	62
4.14	Mekanizma başına gelen kuvvetin oluşturduğu gerilme dağılımı .....	63
4.15	Mekanizma gövdesi başına gelen kuvvetin oluşturduğu gerilim dağılımı farklı görüş açısı .....	63
5.1	Mekanizma gövdesinin yer değiştirme zaman grafiği .....	64
5.2	Mekanizma hızının zamana bağlı değişimi.....	65
5.3	Mekanizma gövdesinin ivme –zaman a (s) bağlı değişimi .....	66
5.4	Dipçik kuvvet zaman grafiği.....	67
5.5	Mekanizma sürtünmeden dolayı kaybolan enerji zaman grafiği .....	68
5.6	Yerine getiren yaya uygulanan kuvvet- zamana grafiği .....	69
5.7	Yerine getiren yay ve tampon gövdesinin yer değiştirme (mm)-zamana (s) bağlı değişimi .....	60
5.8	Yerine getiren yayda depolanan potasiyel enerji-zaman grafiği.....	71

## KISALTMALAR

**ABAQUS CAE** :Computer Aided Engineering(Bilgisayar destekli mühendislik)

**PRODAS** :Balistik programı

**STAR-CCM** :Gaz akışkanları hesaplama programı

**SEM** :Sonlu Elemanlar Metodu

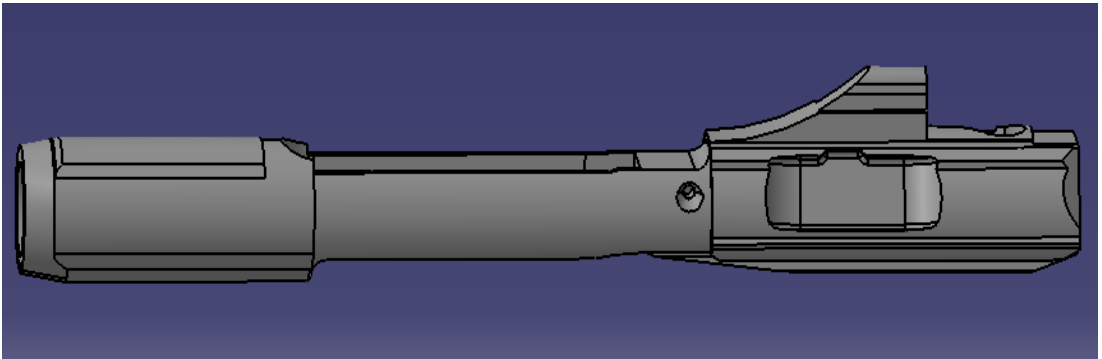
**CAD** :Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi günümüzdeki modern piyade tüfeklerinde en önemli özellik çalışma sistemidir. Piyade tüfeklerin mermi ateşlediği sırada tutukluluk yapmasının en büyük sebeplerinden biri mekanizma gövdesinin hareketidir. Mekanizma gövdesinin ağırlığı, ergonomik tasarımı ve mekanizma başına gelen dinamik kuvvetlerin incelenmesi, üzerinde durulması gereken çok önemli bir konudur.

### 1.1. Mekanizmanın Tanımı

Mekanizmalar yarı otomatik ve tam otomatik tüfeklerde fişegin gaz basıncı ile otomatik olarak doldurulmasında kullanılan en önemli mekanik parçalardır. Mekanizmaların diğer silah tiplerinde de farklı şekilleri olmaktadır. Mekanizma, silah gövdesi içerisinde piston milinden gelen zamanla değişen dinamik kuvvetin etkisi ile yüksek hız ve ivme ile hareket ederken sürtünmelere maruz kalır. Sürtünme neticesinde aşınma söz konusudur. Darbeli yük altında çalıştığından kırılmalar da görülebilmektedir.



**Şekil 1.1 :** Piyade tüfekleri için mekanizma gövdesi

Fişğin patlamasıyla gaz basıncının etkisi ile piston milinin mekanizma başına çarpması sonucu mekanizma, geri doğru itilir. Yerine getiren yay sıkışır ve tekrar mekanizmayı ileri doğru hareket ettirir. Gaz basıncı yüksek bir ivme ile piston miline iletilir. Piston mili de bu basıncı mekanizmaya etki ettirerek yüksek bir ivme ile tahrik eder. Mekanizma, tampon içindeki granüllerin eylemsizlik kuvveti ve yerine getiren yayın sıkışması ile etkiyen kuvvet ile durdurulur. Sıkışan yay, mekanizmaya ters yönde kuvvet etki ettirerek, namluya doğru hareket ettirir.

Mekanizmalarda, geri tepmenin azaltılması için çeşitli tasarım iyileştirmeleri gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi mekanizmayla hareket eden silah tamponu ve bu tamponun içindeki granüllerdir. Ayrıca, silahların dakikadaki atım sayısını belirlemede mekanizmanın atalet etkisi dikkate alınır. Bunun yansısı şarjörden merminin alınmasında, boş kovanın dışarı atılmasında, tetik sistemin kurulmasında mekanizmadan yararlanır. Bu nedenle mekanizmanın dinamik hareketini etkileyen kuvvetlerin artması silahın atış sırasında tutukluk yapmasına yol açmaktadır.

Mekanizma; mekanizma gövdesi, mekanizma başı, iğne, iğne yayı olarak bir bütün olarak ele alınır, fakat bu çalışmada analiz yaparken sadece mekanizma gövdesi ele alınarak, ağırlık olarak mekanizma ve mekanizma başının ağırlığı birlikte dikkate alınacaktır.

## **1.2. Piyade Tüfeklerinde Kullanılan Mekanizmalar**

Günümüzde modern ordularda en çok kullanan silahlar genelde gaz basınç sistemli döner mekanizmalı olup, modern piyade tüfeklerinde kullanılan bir çalışma şeklidir. Piyade tüfekleri namluda bulunan bir gaz deliğinden geriye kaçan gazların gaz borusu veya piston yardımı ile mekanizmayı döndürerek kilidin açılması ve

serbest kalan mekanizmanın geriye gitmesi prensibi ile çalışır. Eskiden bulunmuş olmasına rağmen geliştirilerek bugünkü halini almıştır. Bu tür çalışma sistemleri kullanan silah modellerinin tercih edilmesinin sebebi, mermi ateşlediğinde barut gazının mekanizmaya fazla etki etmemesi ve bunun sonucunda tutukluluğun az olması, bir diğer özeliği ise mekanizmayla birlikte hareket eden tampon içindeki granüller sayesinde geri tepmesinin az olmasıdır. Piyade tüfeklerinde barut gazı mekanizmaya ne kadar çok temas ederse o kadar kirlenmeler olur. Bu kirlenmeler mekanizmanın hareketi sırasında sürtünmeyi artırır. Bu da silahın tutukluk yapmasına sebep olur. Modern piyade tüfeklerinde mekanizmanın ağırlığı, şekil ve boyutsal olarak silah modellerine göre değişmektedir. Bu farklılıkların sonucunda modern piyade tüfeklerinde geri tepme, dakikada atım sayısı, vuruş hassasiyeti gibi özellikler değişkenlik gösterir.

### 1.3. Günümüzde Kullanılan Piyade Tüfeklerindeki Mekanizmalar

#### 1.3.1. Scar-L Otomatik Piyade Tüfeği

Bu tüfek Belçika SCAR FN firması tarafından Amerikan Özel Kuvvetleri(SOCOM) için 2003 yılında tasarlanmış olan gaz basınç sistemli, döner mekanizmalı, gövdenin üst kısmı tamamen Picatinny raya sahip Şekil 2'deki gibi bir otomatik piyade tüfeğidir[1].



Şekil 1.2: SCAR-L Otomatik Piyade Tüfeği

Çizelge 1.2: SCAR-L Otomatik Piyade Tüfeğinin Özellikleri

<b>Kullanıldığı Ülkeler</b>	ABD, Belçika
<b>Kalibre</b>	7.62 mm
<b>Mühimmat</b>	7.62x51 mm NATO
<b>Atış hızı</b>	625 mermi / dk
<b>Mermi çıkış hızı</b>	870 m/s
<b>Dolum</b>	Kutu şarjör 20 lik



### 1.3.2. HK-417 Otomatik Piyade Tüfeği

Bu tüfek Heckler&Koch tarafından 2005 yılında Alman Ordusu için tasarlanmış olup gaz basınç sistemli, döner mekanizmalı ve modülerliğe sahip Şekil 3'deki gibi bir otomatik piyade tüfeğidir[2].



Şekil 1.3 : HK- 417 Otomatik Piyade Tüfeği

Çizelge 1.3. HK- 417 Otomatik Piyade Tüfeğinin Özellikleri

<b>Kullanıldığı Ülkeler</b>	ABD, İsrail, Almanya, Fransa, Hollanda, Norveç, Birleşik Krallık, Meksika
<b>Kalibre</b>	7.62 mm
<b>Mühimmat</b>	7.62x51 mm NATO
<b>Atış hızı</b>	600 mermi/dk
<b>Mermi çıkış hızı</b>	750 m/s
<b>Dolum</b>	Kutu şarjör 20 lik

### 1.3.3. G-36 Otomatik Piyade Tüfeği

Bu tüfek G-36 Heckler & Koch tarafından 1995 yılında Alman Ordusu için tasarlanmış olup gaz basınç sistemli, döner mekanizmalı, mekanik nişangâh sisteminden vazgeçilerek bir adet dürbün ve aimpoint cihazına sahip bir Otomatik piyade tüfeğidir[3].



Şekil 1.4: G-36 Otomatik Piyade Tüfeği

Çizelge 1.4. G-36 Otomatik Piyade Tüfeğinin Özellikleri

<b>Kullanıldığı Ülkeler</b>	Almanya
<b>Kalibre</b>	5.56 mm
<b>Mühimmat</b>	5.56x45 mm NATO
<b>Atış hızı</b>	750 mermi/dk
<b>Mermi çıkış hızı</b>	920 m/s
<b>Dolum</b>	3' lük şarjör kutu

### 1.3.4. M-16 (Sr-25 Versiyonu) Otomatik Piyade Tüfeği

ABD hükümeti 90'lı yılların sonlarına doğru Körfez ve Afganistan savaşlarında elde ettiği deneyimler sonucu ve ortaya çıkan istekler doğrultusunda 5.56 mm'lik piyade tüfeklerinin yarattığı dezavantajları ortadan kaldırmak için "Knight's Armament Company" şirketi ile beraber 7.62 mm'lik yeni bir piyade tüfeği geliştirmeye karar verdiler. M-16 tüfeğin üzerinde bazı değişiklikler ve modifikasyonlar yapıldı. Irak savaşı sonunda ABD hükümeti tarafından sipariş edilen 3,8 kg ağırlığındaki 7.62 mm'lik modüler SR-25 piyade tüfeği Irak'taki çarpışmalarda kullanılmaya başlanmıştır[4].



Şekil 1.5: M-16 (SR-25 versiyonu) Otomatik Piyade Tüfeği

Çizelge 1.5: M-16 (SR-25 versiyonu) Otomatik Piyade Tüfeği Özellikleri

<b>Kullanıldığı Ülkeler</b>	İsrail, ABD, Avustralya, Polonya, Tayland
<b>Kalibre</b>	7.62 mm
<b>Mühimmat</b>	7.62x51 mm NATO
<b>Atış hızı</b>	600 mermi/dk
<b>Mermi çıkış hızı</b>	750 m/s
<b>Dolum</b>	Kutu şarjör 20 lik

#### 1.4. Literatür Araştırması

Yapılan çalışma savunma sanayi alanında olduğu için konu ile ilgili yayınlanmış çok az sayıda çalışma tespit edilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Huai-Ku Sun ve Yun-Tien Liu [5] Bir makineli tüfeğin dört tekerlekli araç üzerine monte edilmesini ve sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmesiyle ilgili çalışma yapmıştır. Makineli tüfeğin dinamik davranışını incelemiştir.

NI Jin-feng v.d. [6] PRO/E CAD modelleme yazılımını kullanarak makineli tüfeğin tasarımını yapmış ve ADAMS dinamik analiz yazılımını kullanarak mekanizmanın dinamik simülasyon analizini gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucuna göre yapılan prototip üretiminde başarı sağlandığı görülmüştür.

Hu Zhigang, v.d. [7] Makineli tüfek sistemlerinin çoklu dinamik analizini sonlu elemanlar yöntemiyle çoklu dinamikleri birleştirerek makineli tüfeğin ateşleme sisteminin simülasyonunu yapmışlardır. Çoklu dinamiklerin birleştirilmesinin simülasyon verimliliği açısından yararlı olduğunu göstermişlerdir.

V.Y. Yu ve J.G. Kohl [8] Atış sırasında M-16 piyade tüfekleri mekanizma başının sıkça görülen kırılmaları Sonlu Elemanlar Metoduyla incelenmiştir. Yaptığı analiz sonucunda, mekanizma başının çentik sayısının artmasının kırılmayı kolaylaştırdığını gözlemlemişlerdir.

HAO Xiu-ping, BO Yu-cheng ve XU Jian [9] mekanizma gövdesinin simülasyonu, sonlu elemanlar yöntemi ANSYS ile yapılarak en büyük gerilmenin kilit ile mekanizma gövdesi arasındaki geçişte olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu gerilmenin malzemenin akma direncini geçmediğini ve bu simülasyon ile mekanizmanın dayanımının belirlenebileceğini tespit etmişlerdir. Bu simülasyonu

kullanarak seri atışlar sonucu kritik noktalarda, yorulmanın meydana gelebileceğini göstermişlerdir.

WU Hu-peng, LU Ting [10] operasyonel mekanizma prensibinden yola çıkılarak otomatik silahın dizayn metodu ve teorisiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Momentum teoremi ve Lagrange denklemi kullanılarak, şerit besleme burulma yayının olduğu ve olmadığı koşullar altında otomatik tüfek besleme mekanizmasının kinetik karakteristiklerini belirlemişlerdir. Eşgüdümlü harekette burulma yayının rolünün önemi vurgulanmış ve analiz edilmiş ve otomatik silah gövde tasarımında teknik önlemler ve besleyici referans kullanımı tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar otomatik silahın gazla çalışan sürücüsünün araştırma ve geliştirmesinde önemli bir referans rol üstelenmiştir.

HE Yao-xin ve JIA Chang-zhi [11] Boş kovanın dışarı atılmasındaki bir sorunun mekanizmanın çalışmasını etkilediğini ve bunun sonucunda atış hızını ve vuruş hassasiyetini kötü etkilediğini saptamıştır. Bu nedenle boş kovanın dışarı atılması işleminin çok iyi analiz edilmesi gerektiğini, kovanın kovan atıcı ile sürtünmesi sonucu oluşan aşınmanın silahın çalışmasını önemli derecede etkilediğini tespit etmiştir.

Gabor Csernak ve Gabor Stepan [12] tarafından harmonik hareket yapan kuru sürtünmeli kütlelerin salınımların periyodik tepkileri ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bir kuvvet etkisiyle harmonik hareket yapan kuru sürtünmeli kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluşan bir sistemin hareket denklemleri elde edilmiştir.

Çeşitli mekanizmaların sonlu elamanlar yöntemi ile analizi konusunda ülkemizde yapılan tez çalışmaları şunlardır;

Doğan Özmen, v.d. [13] tüfeklerin ateşlemesi sırasında geri tepmeyi azaltmak için tüfek mekanizmasının dinamik, statik ve yorulma davranışlarının sonlu

elemanlar yöntemiyle analizini yaparak, tüfek mekanizmasının geri tepmeye olan etkisini incelemişlerdir. Mekanizmanın modellenmesinde Pro/E Cad yazılımını ve analiz için ANSYS / LS-DYNA yazılımını kullanmışlardır.

Kutay EDİS [14] 4x4 Arazi Taşıtlarının Şasi ve Karoserlerinde gerilme ve Titreşim Analizleri ile ilgili yüksek lisans çalışması yapmıştır. Tuzla Fabrikası'nda imal edilen 4x4 Tayfun Silah aracının çeşitli arazi koşullarındaki dinamik davranışları sonucunda aracın şasi ve karoserinde oluşan gerilme ve titreşim analizlerini Sonlu Elemanlar Yöntemi ABAQUS analiz programı ile gerçekleştirmiştir.

Said Bedir [15] çift yönlü asansör fren bloklarının modellenmesi ve sonlu elemanlar analizi ilgili tez çalışması yapmıştır. Sonlu Elemanlar ile Analitik ve Deneysel metotlarla silindir tipi ani frenlemeli güvenlik tertibatı analizi yapılmıştır. ABAQUS/CAE paket programı kullanılarak Sonlu Elemanlar Metodu'yla tespit edilen gerilme, sehim, deformasyon, frenleme süresi, mesafesi, ivmesi ve hız değerleri Sonlu Elemanlar Metodunun bu problemde doğruluğunu ispatlamıştır.

Başar Ünal [16] Jib portal kren konstrüksiyonunun modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle analizi ile ilgili yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. JIB krenlere, işletim sırasında birçok yük etkimektedir; Çalışmada JIB kreni oluşturan parçalar ve bunlara etkiyen yükler incelenmiş, bunların doğrultusunda parçaların emniyetli bir şekilde tasarımı ve konstrüksiyonunun oluşturulması amaçlanmıştır. ABAQUS 6.7.1 Sonlu elemanlar programı kullanarak statik gerilme analizi yapılmıştır.

Cemal GÖZEN [17] Araba lastiklerinin üç boyutlu sonlu elemanlar Yöntemiyle modellenmesi ile ilgili tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada ABAQUS Sonlu elemanlar yazılımını kullanarak, araç sürüş ve dayanıklılık benzetimlerinde

kullanılabilecek, yol ile araç arasındaki kuvvet transferini sağlayan üç boyutlu bir lastik sonlu elemanlar modeli üzerinde çalışmıştır.

M. Murat Karasan [18] perçinli bağlantılarda oluşan kalıntı gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi ilgili tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada uçak gövdesi yapımında sıklıkla kullanılan tekli bindirme bağlantısının gerçekçi bir sayısal modelinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. İki boyutlu eksensel simetrik ve üç boyutlu sayısal modeller ABAQUS/CAE programı kullanılarak elde etmiştir.

Bu çalışmada amaç, Tüfeğın çalışmasına etki eden mekanizma gövdesinin gerek fiziksel gerekse boyutsal parametreleri belirleyerek istenen özellikleri sağlayan, güvenilir ve başarılı bir şekilde çalışan en iyi piyade tüfeğı tasarımına ulaşmaktır.

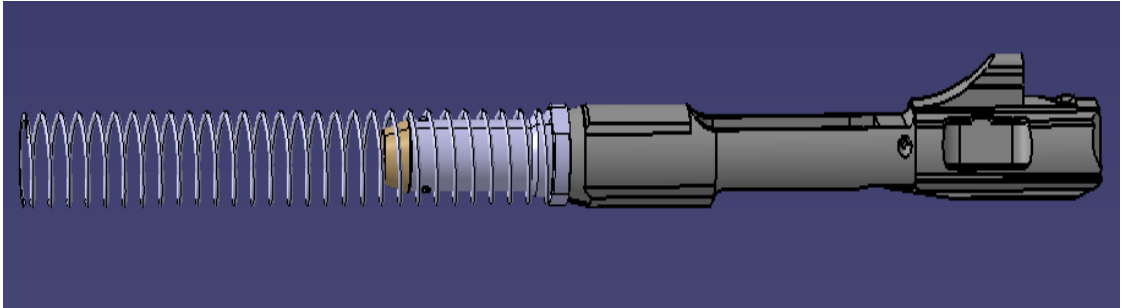
Piyade tüfeklerinin Bilgisayar Destekli Mühendislik analizlerinde kullanılacak uygun yöntem, yaklaşım ve parametrelerini geliştirerek, mekanizma gövdesinin analizinde uygulamaktır.

## 2. MATERYAL METOT

### 2.1. Mekanizmanın Hareketinin Teorik Olarak Modellenmesi

Mekanizmanın hareketi ele alınırken icra yayı ve tampon modeli de harekete dâhil edilmiştir. Bunun sebebi icra yayı ve tamponun silah mekanizmasıyla birlikte hareket etmesidir.

Teorik model oluşturulurken; icra yayının ortalama rijitlik katsayısı için yay elamanı, tampon modelinin sönüm katsayısı için bir sönüm elamanı, mekanizma ve mekanizma başı ağırlığı için toplam kütle, piston milinden mekanizma başına uygulanan kuvvet için kuvvet-zaman değerleri zorlama kuvveti olarak dikkate alınmıştır. Mekanizma ile silah alt gövdesi arasındaki sürtünmenin toplam kütle ile alt gövde arasındaki Coulomb sürtünmesi(kuru sürtünme) olduğu kabul edilmiştir [19].

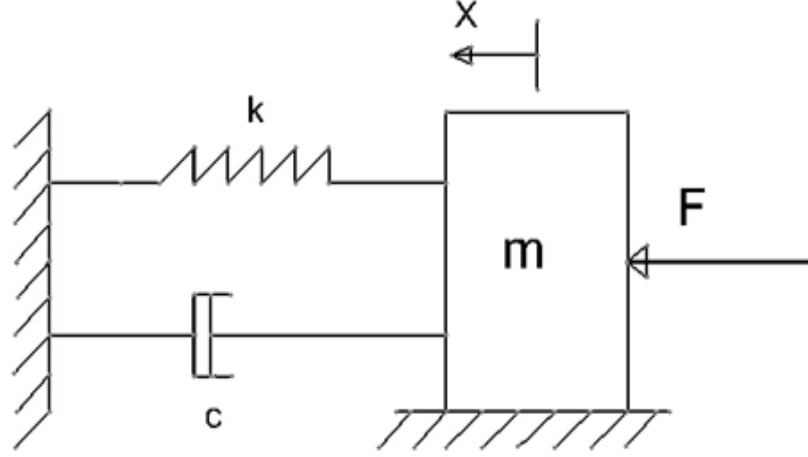


**Şekil 2.1:** Yerine Getiren Yay-Mekanizma Gövdesi-Tampon Katı Model Görünüşü

Şekil 2.1' görülen mekanizma, tampon ve yay gurubu tamamen özgün bir tasarım olup, birbirine benzer HK-417 ve M16(SR-25) mekanizmaları ile benzer özellikleri taşımaktadır. Bu piyade tüfekleri mevcut muhabere silahlar içinde 100 metrede dağılımı en iyi olan piyade tüfekleridir.



Şekil 2.1' de katı modeli verilen sistemi kütle-yay-sönüm elemanı kullanarak teorik olarak aşağıdaki gibi modellenmiştir.



**Şekil 2.2:** Yerine Getiren Yay-Mekanizma Gövdesi-Tampon Titreşim Modeli

Teorik model için Newton'un 2. hareket kanununu uygulandığında, sistem için aşağıdaki bağıntıyı (hareket denklemini) elde edebiliriz;

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + f(\dot{x}) = F(t) \quad (1)$$

Bu bağıntıda;

***k***: İcra yayının ortalama yay katsayısı (N/m)

***c***: Tampon modelinin sönüm katsayısı (Ns/m)

***m***: Mekanizma ve mekanizma başı ağırlığı (kg)

***F(t)***: İcra milinden mekanizmaya uygulanan kuvvet (N)

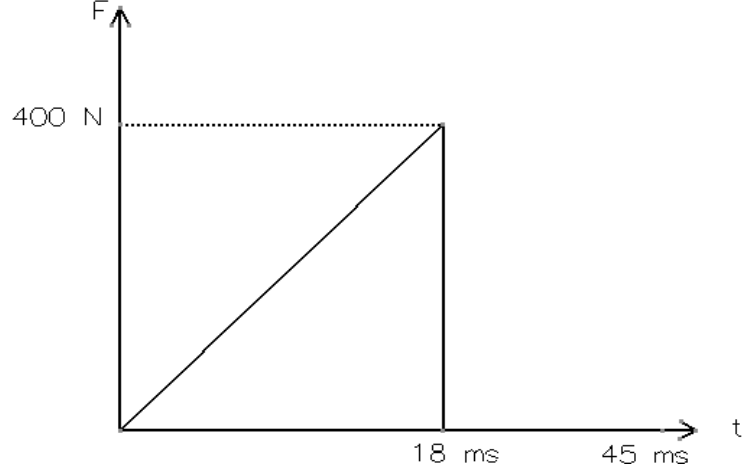
***x***: Mekanizmanın yer değiştirmesi (mm)

***f(ẋ)***: Mekanizma ile silah alt gövdesi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan sönüm kuvveti (N)

$$f(\dot{x}) = F_k \cdot \text{sgn}(\dot{x}) = \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \text{sgn}(\dot{x}) \quad (2)$$

Burada hıza bağlı işaret fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\text{sgn}(\dot{x}) = \begin{cases} -1, & \dot{x} < 0 \\ 0, & \dot{x} = 0 \\ 1, & \dot{x} > 0 \end{cases} \quad (3)$$



**Şekil 2.3:** Mekanizma Gövdesine Uygulanan Kuvvetin Zamanla Değişimi

Yapılan analizlerde mekanizma gövdesine uygulanan kuvvetin zamanla değişimi Şekil 2.3'te görülmektedir.

Hareket denklemindeki  $F(t)$  zorlama kuvvetini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz;

$$F(t) = \frac{a_0}{2} ta_1 \cdot \cos wt + a_2 \cdot \cos 2wt + a_3 \cdot \cos 3wt + b_1 \sin wt + \sin 2wt + b_3 \sin wt + .. \quad (4)$$

Hareket denklemi aşağıdaki şekle dönüşür.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \pm \mu N = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^2 \left[ a_i \cos(iwt) + b_i \sin(iwt) \right] \quad (5)$$

Burada katsayılar aşağıdaki formüllerden bulunabilir;

$$a_0 = \frac{2}{t_3} \left[ \int_0^{t_1} Atdt + \int_{t_1}^{t_2} Adt \right] \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{2}{t_3} \left[ \int_0^{t_1} A t \cos(wt) dt + \int_{t_1}^{t_2} A \cos(wt) dt \right] \quad (7)$$

$$a_2 = \frac{2}{t_3} \left[ \int_0^{t_1} A.t. \cos(2wt) dt + \int_{t_1}^{t_2} A. \cos(2wt) dt \right] \quad (8)$$

$$b_1 = \frac{2}{t_3} \left[ \int_0^{t_1} At \sin(wt) dt + \int_{t_1}^{t_2} A \cos(wt) dt \right] \quad (9)$$

$$b_2 = \frac{2}{t_3} \left[ \int_0^{t_1} At \sin(2wt) dt + \int_{t_1}^{t_2} A \sin(2wt) dt \right] \quad (10)$$

bağıntılarından bulunabilir.

Bu denklemin çözümü aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir.

$$X_p(t) = \frac{a_0}{2k} + \sum_{i=1}^n \frac{\frac{b_i}{k}}{\sqrt{(1-i^2r^2)^2 + (2\zeta_{eg}ir)^2}} \cos(iwt - \phi_i) \quad (11)$$

$$+ \sum_{i=1}^n \frac{a_i/k}{\sqrt{(1-i^2r^2)^2 + (2\zeta_{eg}ir)^2}} \sin(iwt - \phi_i) \quad (12)$$

$$\phi_i = \tan^{-1}\left(\frac{2\zeta_{eg}ir}{1-i^2r^2}\right) \quad (13)$$

## 2.2. Analizle İlgili Genel Açıklamalar

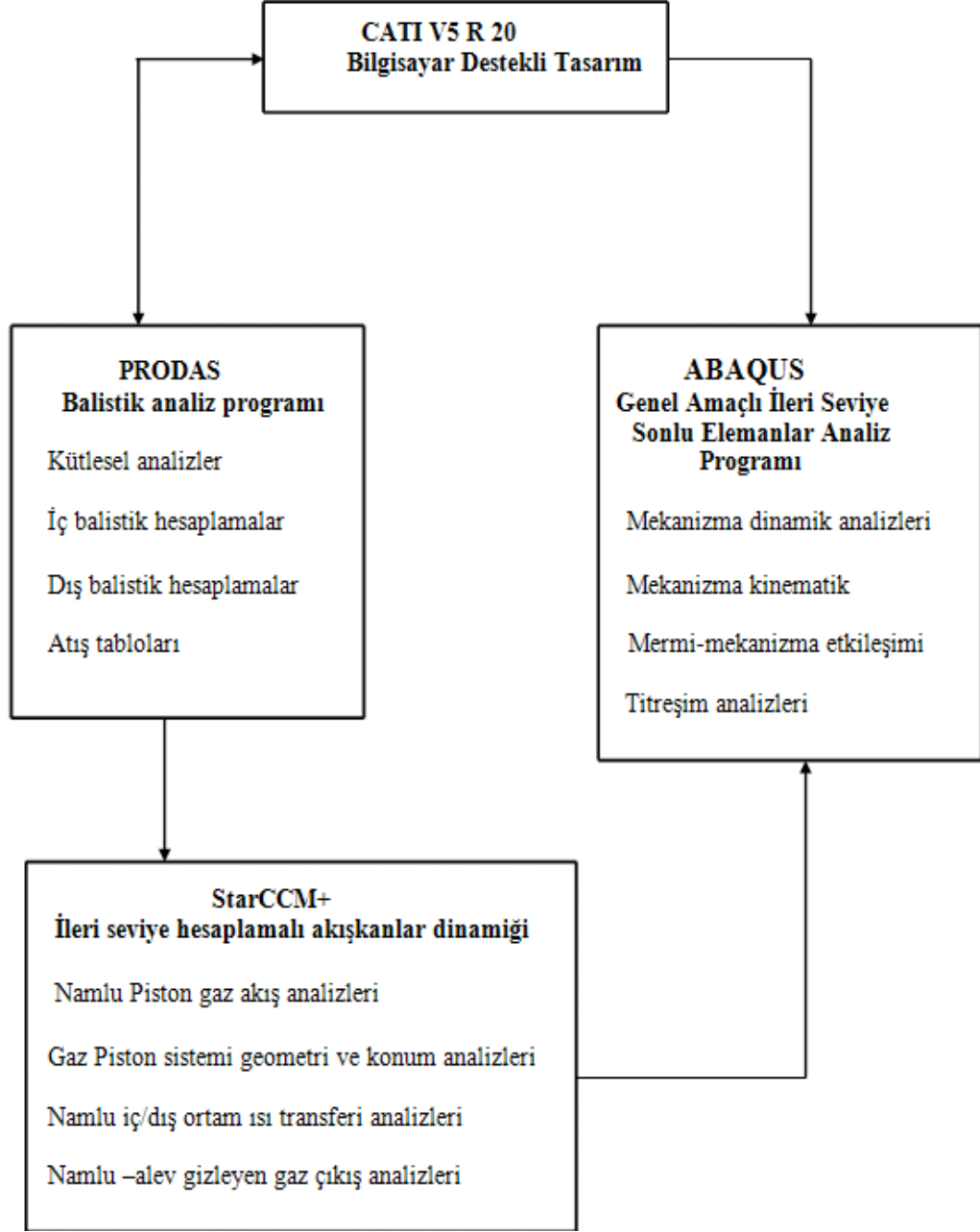
Bilindiği üzere piyade tüfekleri; çok ağır şartlarda çalışan, üç boyutlu dinamik parçaların birbirleriyle temas halinde olduğu, patlamalı yanma ve yüksek hızlı sıkıştırılabilir gaz akışının olduğu, gaz ile hareket eden parçaların etkileşim halinde olduğu, ısı geçişinin önemli olduğu, malzeme üzerinde büyük şekil değiştirmelerin olduğu, gerçekleşme zamanının çok kısa olduğu ve son derece doğrusalsızlık içeren bir fiziksel davranışa sahiptir. Silah mekanizmasını ve geri tepmesini modelleme ve

analiz çalışmaları için her biri kendi alanında üstün modelleme ve analiz yeteneklerine sahip olan CATIA, PRODAS, STARCCM+, ABAQUS yazılımları kullanılmaktadır. Bu alışmada CATIA V5 R 20 yazılımı kullanılarak mekanizma, tampon ve icra yayının geometrik modellemesi yapılmıştır.

PRODAS balistik yazılımı, silahın balistik modellemesi ve zmleri için kullanılmaktadır. PRODAS ile yapılan ve yapılacak olan balistik modelleme ve zmler, iç balistik, dış balistik ve hedef balistiğini içermektedir.

STAR-CCM+ Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı, piyade tüfeklerinin namlu içi ve gaz pistonu sistemindeki gaz akışının modellenmesi, namlu içi ve dışı ısı geçişi (transfer) dağılımının hesabı ve mermi dış aerodinamik analizlerinde kullanılmaktadır.

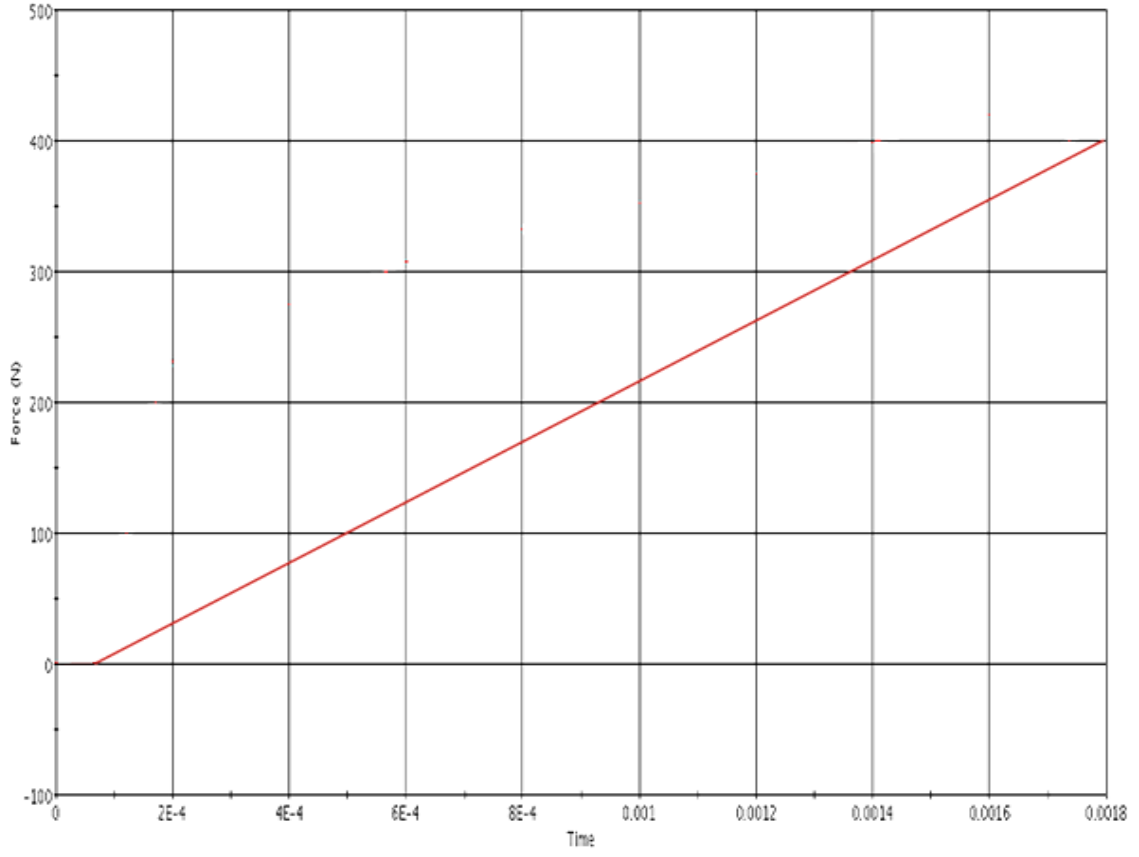
ABAQUS/CAE Sonlu Elemanlar yazılımı, mekanizma, tampon ve icra yayının üç boyutlu yapısal dinamik davranışının ve yapısal dayanımının sonlu elemanlar yöntemiyle modellenip analiz edilmesinde kullanılmaktadır. Bu bilgiler Şekil 2.4' deki gibi bir Őema ile gösterilebilir.



**Şekil 2.4:** Silah Mekanizmasının Dinamik Analizi İçin Kullanılan Yazılımların Birbiriyle Olan İlişkisi

### 2.3. Mekanizma Kuvvet Tanımlaması ve Uygulanması

Piyade tüfeklerin mekanizmasını çalıştırmak ve mermi atışını gerçekleştirmek için gaz pistonu kuvvetinin zamana bağlı değişimi gaz pistonu üzerine tanımlanmıştır. Uygulanan gaz pistonu kuvvetinin zamana bağlı dinamik değişimi Şekil 2.5'te verilmiştir. Bu grafik ileri seviye hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan STAR-CCM+ kullanılarak elde edilmiştir. STAR-CCM+ ile yapılan gaz pistonu akışkanlar dinamiği analizlerinde, gaz pistonu haznesi sabit ve gaz pistonu hareketli olacak şekilde modellenip analiz edilmiştir. Gaz pistonunun kütlesi ve yay sabiti tanımlanarak hareketli geometri için HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) analizi yapılarak piston kuvvetinin zamana bağlı değişiminin başlangıç hali hesaplanmıştır. Hesaplanan gaz pistonu kuvvet-zaman eğrisi ABAQUS 'teki piston mili u noktasından uygulanarak tüfek üzerindeki gaz pistonu sisteminin uygulanan başlangıç gaz pistonu kuvvet-zaman değişimine tepkisini anlamak için; gaz pistonu yer değişirmesi ve gaz pistonu hızı saptanmıştır. Döngüsel etkileşimli olarak ABAQUS 'ta hesaplanan gaz pistonu yer değişirmesi ve hızı tekrar STAR-CCM+'daki HAD modeline aktarılarak gaz pistonu kuvvetinin zamana bağlı değişimi tekrar hesaplanmıştır. Gaz pistonu sistemi için yapılan HAD hesaplamalarında namlu içi basıncın zamana bağlı değişimi PRODAS yazılımı kullanılarak yapılan i balistik hesaplamalar ile elde edilmiştir. İç balistik hesaplamalar gösterilen 7.62 mm standart M80 fişeği içindir.



**Şekil 2.5 :** STAR-CCM+ Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) İle Hesaplanmış Gaz Pistonuna Etki Eden Kuvvetin Zamana Bağlı Değişimi

#### 2.4. Malzeme Tanımı

ABAQUS programıyla analiz yapılırken her bir silah parçasının; malzeme elastisite modülü, poisson oranı, yoğunluğu, bazı şartlar için örneğin tampon içindeki granüller için yer çekim ivmesinin tanımlanması gerekir. Bu tanımlamadaki amacımız birbiriyle çalışan parçaların farklı malzemelerden oluşması ve programın analiz işlemine geçmeden önce o malzemenin özeliğine göre parçaları sonlu elamanlara ayırmasıdır. [20]

**Çizelge 2.1:** Analizde Silah Parçaları İçin Tanımlanan Malzeme Özellikleri

<b>Malzeme</b>	<b>Elastisite Modülü E (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Poisson Oranı, <math>\nu</math></b>	<b>Yoğunluk <math>\rho</math> (kg/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Çelik</b>	210000	0,29-0,30	7,850
<b>Plastik</b>	18000	0,4	1,2
<b>Kauçuk</b>	10000	0,5	0,93



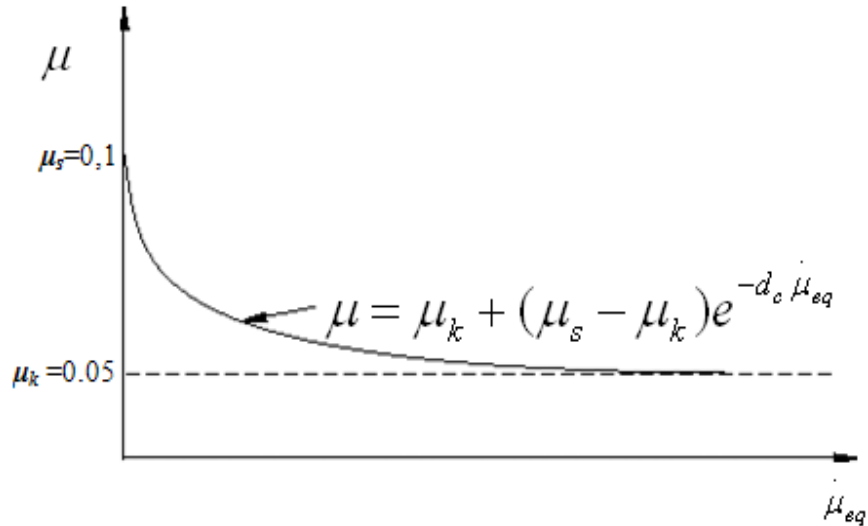
## 2.5. Temas(Sürtünme)

Sürtünme, hareket eden iki nesnenin arasında oluşan ve harekete karşı koyan kuvvete verilen isimdir. Silah mekanizmasıyla silah alt gövdesi arasında mekanizma hareketiyle bir sürtünme meydana gelmektedir. Sürtünme katsayısı, hem statik, hemde kinetik sürtünme katsayısını içerecek şekilde tanımlanmıştır. Statik sürtünme katsayısı ile kinetik sürtünme katsayısı arasında Şekil 2.5 'teki gibi bir ilişki mevcuttur. Mekanizma gövdesi için statik sürtünme katsayısı  $\mu_s=0,1$  ve kinetik sürtünme katsayısı,  $\mu_k=0.05$  olarak kullanılmıştır.

Statik ile kinetik sürtünme katsayısı arasında geçiş parçalar arasındaki kayma oranına bağlı olduğundan iki katsayı arasındaki geçiş  $d_c=0,1$  üstel katsayısı ile tanımlanmıştır. Kinetik sürtünme ile statik sürtünme arasındaki bağıntı aşağıdaki formül ile gösterilir[21].

$$\mu = \mu_k + (\mu_s - \mu_k)e^{-d_c \mu_{eq}} \quad (14)$$

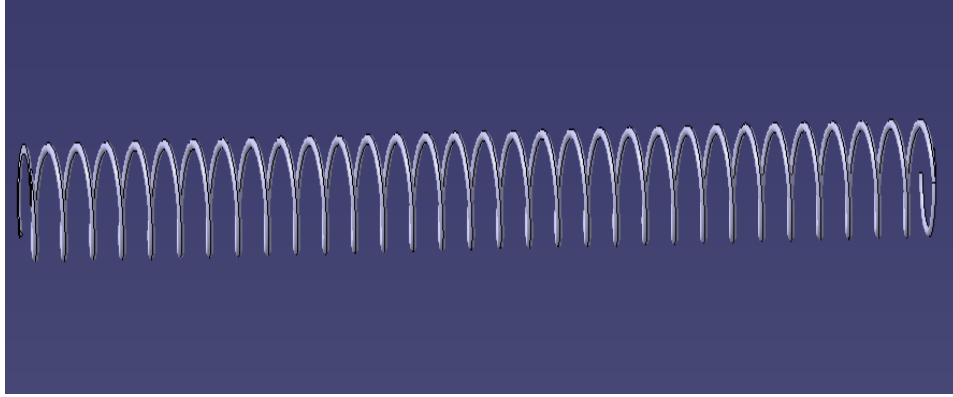
Bu bağıntının grafiği aşağıdaki Şekil 2.6 deki gibidir.



Şekil 2.6: Kinetik Sürtünme ile Statik Sürtünme Arasındaki İlişki

## 2.6. Yerine Getiren Yay(İcra Yayı)

Gaz pistonlu otomatik tüfeklerinin bilinen örneklerinde icra yayı dipçik içindedir. Mermi ateşleme sırasında mekanizmanın geri hareketini sönümler ve tekrar ileri doğru hareket ettirerek, mekanizma gövdesiyle birlikte hareket eden mekanizma başının mermi kovanını namlu haznesine sürmesini sağlar. İcra yayı çelik malzemeden yapılmış olup, belli bir sertliği vardır. İcra yayının sarım sayısı, kalınlığı ve boyu mekanizma gövdesinin zamana göre hareketini etkilemektedir.



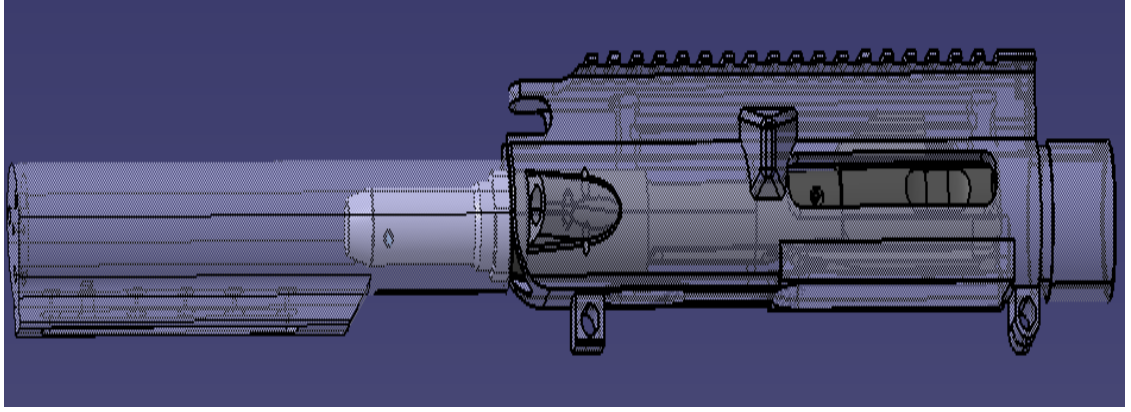
Şekil 2.7: Yerine Getiren Yay (İcra Yayı) Katı Modeli

Çizelge 2.2. Yerine Getiren Yay Sabitinin Özellikleri

	Sarım Sayısı	Serbest Uzunluğu (L <sub>0</sub> , mm)	Montaj Boyu (L, mm)	Yayın Katsayısı (N/mm)
<b>Yerine Getiren Yay (İcra yayı)</b>	<b>28</b>	<b>284</b>	<b>190,24</b>	<b>0,325</b>

Analizlerde kullanılan yay sabiti Çizelge 2.2' deki uzun yay için ölçülen yay katsayılarının geometrik ortalamasıdır. İcra yayının mekanizmaya uyguladığı kuvvet

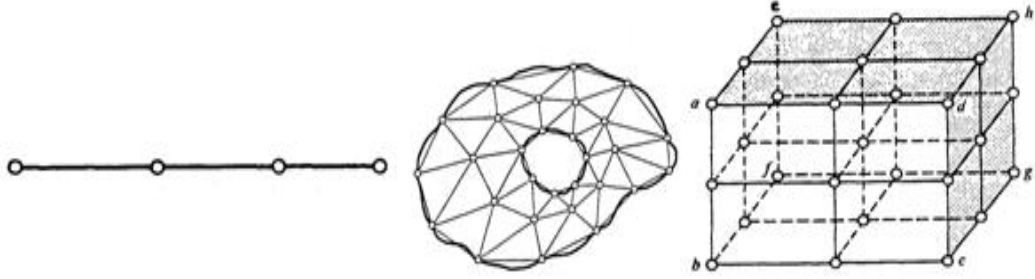
zamana bağlı olarak değişmektedir. Dipçik ve dipçiğe bağlı parçalar, Sonlu elemanlar modelinde kullanılan yaylar 6 serbestlik dereceli ve 3 boyutlu fiziksel davranış gösteren mafsal elemanları(eksenel ve tel bağlayıcı elemanları) ile tanımlanmıştır. Sınır şartları sırasıyla yerçekimi ivmesi, gaz pistonu kuvveti, sürtünmeler, yay katsayısı ve yay uzunluğu, tampon içindeki granüllerin eylemsizlik etkisi, silah parçaların malzeme zelikleridir. Tüm sınır şartlarını tanımladıktan sonra analiz yapacağımız silah modelinin CAD modeli şekil 2.8 deki gibidir.



**şekil 2.8:** zme Verilmeden nce Komple Modelin Son Hali

## 2.7. Sonlu Elemanlar Metodu

Çözülmesi uzun zaman alan karmaşık problemleri, daha basit ve kısa zamanda çözmek için, bu problemlere eşdeğer ancak daha basit hale getirilmiş problemlerin çözülmesi sonlu elemanlar metodunun temelindeki fikirdir. Genellikle, basitleştirmeye gidilmesi sonucunda doğru sonuç yerine, yaklaşık bir sonuç bulunmaktadır. Günümüzde, sonlu elemanlar metodlarının bilgisayarlarda uygulanması sonucunda hemen her problem istenilen ölçüler arasında yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir.



**Şekil 2.9:** Sonlu Elemanlar Metodu Eleman Tipleri

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesi çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsi çeşitli teoriler kullanılarak, sınır şartları ve denge denklemlerinin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır [22].

### **2.7.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Kısa Tarihi**

Günümüzde “Sonlu Elemanlar Metodu” şeklinde bilinen çözüm metodlarının arkasında bulunan temel fikirler yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Örneğin, yüzyıllar öncesinde bilim adamları çemberin çevre uzunluğunu bulmak için çemberin etrafından poligonlar çizerek bulmaktaydılar. Köşe sayısı arttırılan poligon, sonuca daha fazla yaklaştırmaktaydı.

Yakın tarihimizde, sonlu elemanlar metoduna benzer bir yöntem Courant tarafından 1943’te ilk kez ortaya atılmıştır. Bu yöntemde, üçgensel bölgeler üzerinde parçasal sürekli fonksiyonlar tanımlanmaktaydı.

Günümüzde bilinen sonlu elemanlar metodu ise, 1956 yılında Turner, Clough, Martin ve Top tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada, perçin bağlantılı profil ve üçgensel iç gerilmeli tabaka şeklindeki sonlu elemanların bir uçağın analizinde kullanımı ele alınmıştır.

Çağımızın en büyük teknolojik gelişmesi olarak bilinen bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, bu yönteme çok büyük katkı sağlamıştır. Günümüzün bilgisayarları, çözülmesi aylar süren problemleri, en kısa zamanda çözmekte ve gerçek sonuçlara çok yakın sonuçlar verebilmektedirler[23].

### **2.7.2. Uygulama Alanları**

Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları özdeğer (eigenvalue), denge ve yayılma problemleridir. Kısaca yukarıda bahsi geçen alanların kısaca tarifleri aşağıda açıklanmıştır.

Denge problemlerinin bir uzantısı olan özdeğer (eigenvalue) grubuna giren problemler arasında yapıların stabilitesi ve titreşimleri, lineer visko-elastik

sönümleme, burkulma, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması v.b. gibi problemler en çok bilinenleridir.

Kararlı hal problemleri olarak bilinen denge problemlerine; makine ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda kararlı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri gibi problemler örnek verilebilir.

Yayıma problemleri ise zamana bağlı olan problem grubuna giren problemler arasında; yapılarda gerilme dalgaları, yapıların darbelere karşı davranışı, visko elastik problemler, zeminlerden suyun geçişi, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akış problemleri örnek verilebilir.

Mühendislik açısından sonlu elemanlar metodunun en geniş uygulama alanı gerilme analizi problemidir. Gerilme analizi problemlerinde yer değiştirme, kuvvet ve karma yöntem gibi üç yaklaşım dikkate alınmaktadır.

Yer değiştirme yönteminde yer değiştirmeler, dönmeler ve kalıcı şekil değişimi, kuvvet yöntemi yaklaşımında kuvvetler ve gerilmeler, karma yönteminde ise bilinmeyen veya serbest değişkenler bulunmaktadır.

### **2.7.3. Sonlu Elamanlar Yönteminin Problemlerde Uygulanması**

Elastik ve sürekli ortamlara SEM 'in uygulanmasında; yapının parçalara ayrılması, uygun bir interpolasyon seçimi, rijitlik matrislerinin ve yük vektörlerinin, eleman denklemlerinin birleştirilmesiyle toplam denge denklemlerinin elde edilmesi, bilinmeyen düğümsel (nodal) yer değişimleri için çözüm yöntemlerinin kullanılması ve sonuçların bulunması adımları uygulanır.

#### 2.7.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri

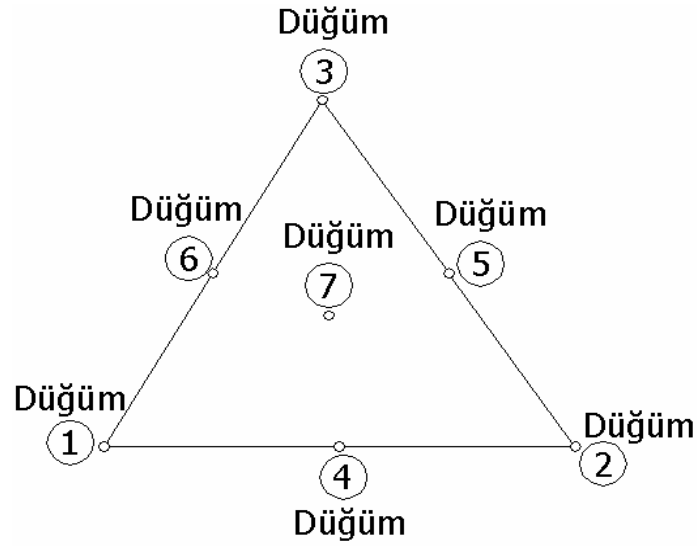
Analizi yapılacak bir parça doğru sonuçlar alınabilmesi için uygun bir şekilde sonlu elemanlara bölünmesi gerekir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun eleman şekli seçilmelidir. Seçilen sonlu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilirler. Genelde, sonlu elemanın sınırlarının düzgün olarak seçilmesi ve bazı durumlarda eğri sınırlı elemanlarında kullanılması gerekebilir[23].

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bir bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa bir boyutlu sonlu elemanlar modeli tercih edilir.



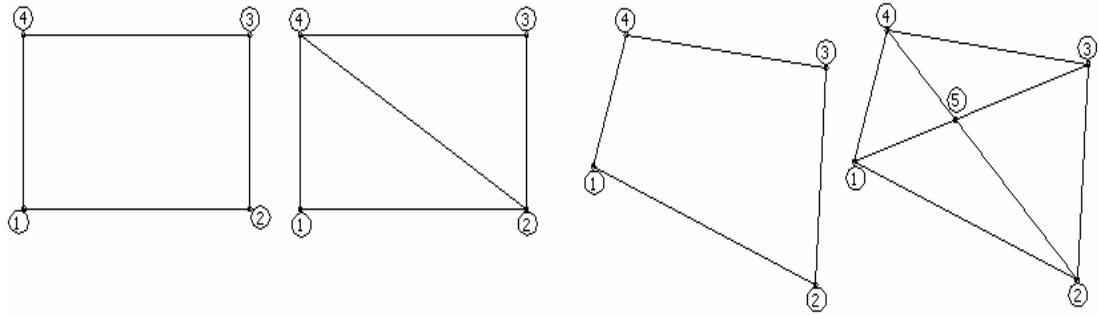
**Şekil 2.10:** Bir Boyutlu Bir Sonlu Eleman Örneği

Birçok problem, yaklaşık olarak, iki boyutlu sonlu elemanlarla çözülebilir. İki boyutlu eleman tipleri arasında en basiti üçgen elemandır.



**Şekil 2.11:** Üçgen Tipi Sonlu Eleman Örneği

Birçok problemlerde iki boyutlu dikdörtgen, iki üçgenli dikdörtgen, dörtgen elemanı ve dört üçgenli dörtgen elemanı tipi sonlu elemanlar da kullanılmaktadır. Şekil 2.12’de yukarıda bahsi geçen değişik iki boyutlu dörtgen sonlu eleman tiplerine örnekler soldan sağa doğru verilmiştir.



**Şekil 2.12 :** İki Boyutlu Değişik Dörtgen Geometri Biçimli Sonlu Elemanlar



### **2.7.5. ABAQUS/CAE Sonlu Elemanlar Paket Programı**

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi karmaşık ve çözülmesi uzun zaman alan problemlerin bilgisayarlarda çözülmesi hem zaman tasarrufu hem de işlemin daha doğru sonuçlar vermesi bakımından çok önemlidir. Bilgisayarlarda, Sonlu Eleman Metodu ile çeşitli paket programlar vasıtasıyla basit bir şekilde modelleme yapılmakta, daha sonra bu modeller küçük sonlu elemanlara bölünerek analizler yapılmaktadır.

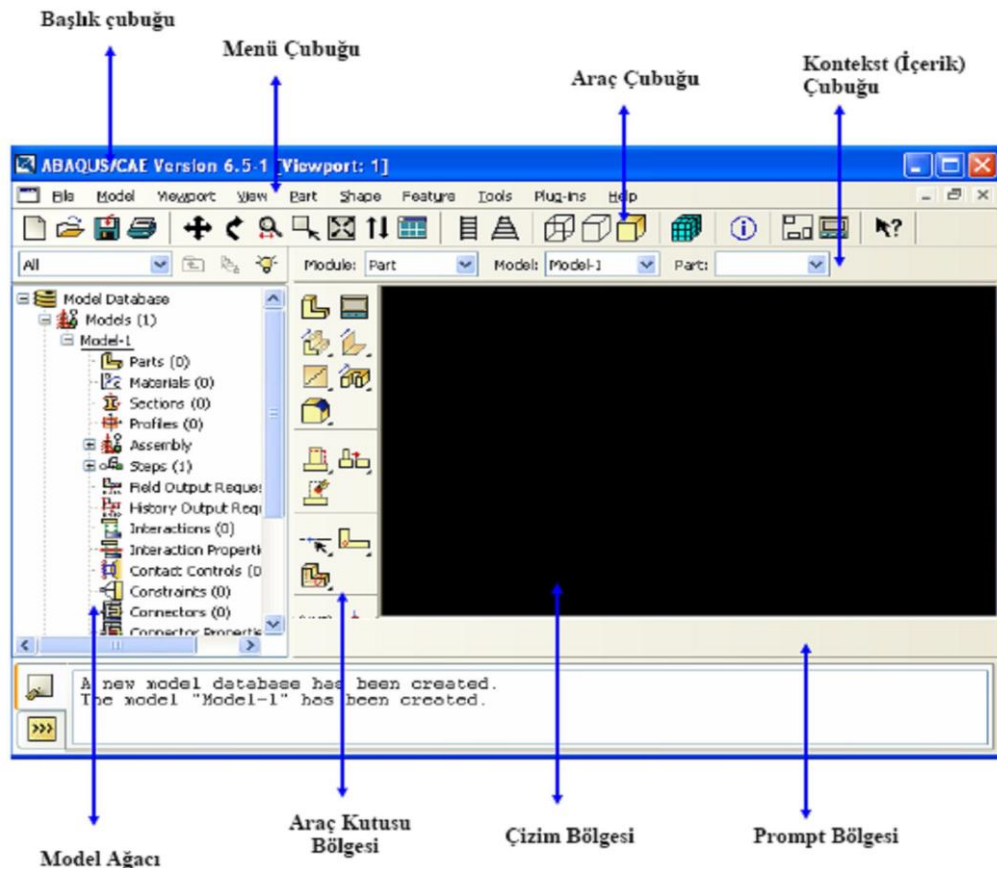
Günümüzde, SEM uygulamaları için birçok yazılım geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, ABAQUS, NASTRAN&PATRAN, ABAQUS/CAE vs. dir. Bazı SEM yazılımları kendi bünyesinde modelleme paketleri bulundurmasına karşın, çoğunlukla karmaşık geometrilerin modellenmesi uzun zaman almakta, bazen ise hiç yapılamamaktadır. Bundan dolayı, iki ve üç boyutlu problemlerin modellenmesi amacıyla çeşitli paket programlar hazırlanmıştır. Bunlar arasında CATIA, PRO/ENGINEER, SOLIDWORKS, AUTOCAD v.b. programları en çok bilinenleridir. Biz model oluştururken CATIA V5 R 20 programını tercih ediyoruz.

Bu tez çalışmasında en uygun analiz programı olarak ABAQUS/CAE seçilmiştir. Bunun sebebi ABAQUS/CAE 'nin tasarım kısmının çözülecek problem için yeterli olması ve bunun yanı sıra SEM analiz işleminde kullanıcı dostu olmasıdır. Ayrıca, analiz sonuçlarında hata payının tatmin edici değerler arasında olması da bu programın bu problemde kullanılmasında tercih sebebi olmuştur.

### **2.7.6. Programın Bölümleri**

ABAQUS/CAE başlatıldığında Şekil 2.13'de görülen ana pencere ekrana

gelir. Detaylara girmeden önce ABAQUS/CAE programının birkaç özelliği bilinmelidir. Öncelikle, ABAQUS/CAE görsel bir şekilde bir problemin modelleyerek analiz edebilmeyi sağlaması yanında, birde komut yazılarak çözüme verilmesi olanağını sunmaktadır. Örneğin, eğer problemin geometrisinin koordinatları, sınır şartları v.b. biliniyorsa, bu problem kolaylıkla herhangi bir yazı editöründe programın kendine has komutlarıyla yazılarak analize verilebilir. Aksi halde, eğer problemin geometrisi karmaşık, sınır değerlerinin yerleri ancak modelin oluşturulmasıyla tespit edilebiliyorsa bu durumda programın ara yüzü çalıştırılarak sıfırdan problem modellenmeli ve analiz edilmelidir.



Şekil 2.13 : ABAQUS/CAE Ana Penceresi

Yukarıdaki pencere, kendi altında üç ayrı pencereden oluşmaktadır. Solda “Model Ağacı” ismi verilen bir pencerede kullanıcı parçanın modellenmesinden analiz sonuçlarının görüntülenmesine kadar olan tüm işlemler tanımlayabilmektedir. Sağda “Çizim Bölgesi” penceresi bulunmaktadır. Bu pencerede kullanıcı yaptığı tüm işlemleri görsel olarak görebilmektedir. En altta ise “Prompt Bölgesi” penceresi bulunmaktadır. Bu kısımda, kullanıcı yaptığı işlemlerin sonucunda program tarafında etkileşimli diyalogları görebilir, ayrıca “Python Script” ‘te hazırlanmış hesap makinesini kullanabilir. Diğer kısımlar ise aşağıda izah edilmiştir.

**Başlık Çubuğu:** Çalışmakta olan ABAQUS/CAE’nin versiyonunu ve model veritabanının ismini belirtir.

**Menü Çubuğu:** Mevcut bütün menüleri içerir. Kontekst çubuğunda modül değiştirilirse menü çubuğunun da içeriği değişir, hangi modül seçildiyse o modül ile ilgili menüler gelir.

**Araç Çubuğu:** Çok kullanılan bazı menülere hızlı erişim sağlar.

**Kontekst (içerik) Çubuğu:** Yapılacak çalışmayı belirli bir düzende yapılabilmesi için kullanıcıya modüller sunar. Örneğin, ilk olarak parça (Part) modülünde parçalar modellenirse sonra özellik(Property) modülüne geçerek parçaların malzeme özellikleri belirlenir. Daha sonra ise montaj (Assembly) modülüne geçilerek modellenen parçaların montajı yapılır.

**Model Ağacı:** Yapılan çalışmanın adımları model ağacında görülür. Model ağacı, yapılan çalışma üzerinde değişiklik yapabilme ve modüller arasında geçişi olanaklı kılar.

**Araç Kutusu Bölgesi:** Bir modele girildiği zaman o modülle ilgili komutlar araç kutusu bölgesinde bulunur. Aynı komutlar, menü çubuğunda da yer alır. Fakat araç kutusu sayesinde bu komutlara çok hızlı bir şekilde ulaşılabilir.

**Çizim Bölgesi:** Çizimin görüldüğü ekrandır.

**Prompt Bölgesi:** Bir komut seçildiği zaman o komutun kullanımı ile ilgili kullanıcı bilgi sahibi değilse, mesaj bölgesinde uyarıları takip ederek hangi adımları yapması gerektiğini görebilir.


### 2.7.7. Ön İşlem Süreci (Preprocessor)

Ön işlem sırasında analiz süreci için hazırlanması önemli olan adımlar ihtiva eder. Bu adımlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Modelin oluşturulması,
2. Modele malzeme tanımı yapılması,
3. Modelde işlemine göre parçaların kesimlendirilmesi,
4. Her kesite daha önceden tanımlanan uygun malzemenin atanması,
5. Montajın oluşturulması,
6. Analiz adımlarının tanımlanması,
7. Modeldeki parçalar arasındaki mekanik temasın tanımlanması,
8. Sınır şartlarının ve yüklerin tanımlanması ve parçaya uygulanması,
9. Model içerisindeki her bir parçanın tek tek küçük parçalara bölünmesi (Mesh atma).
10. İş'in oluşturulmasıdır.

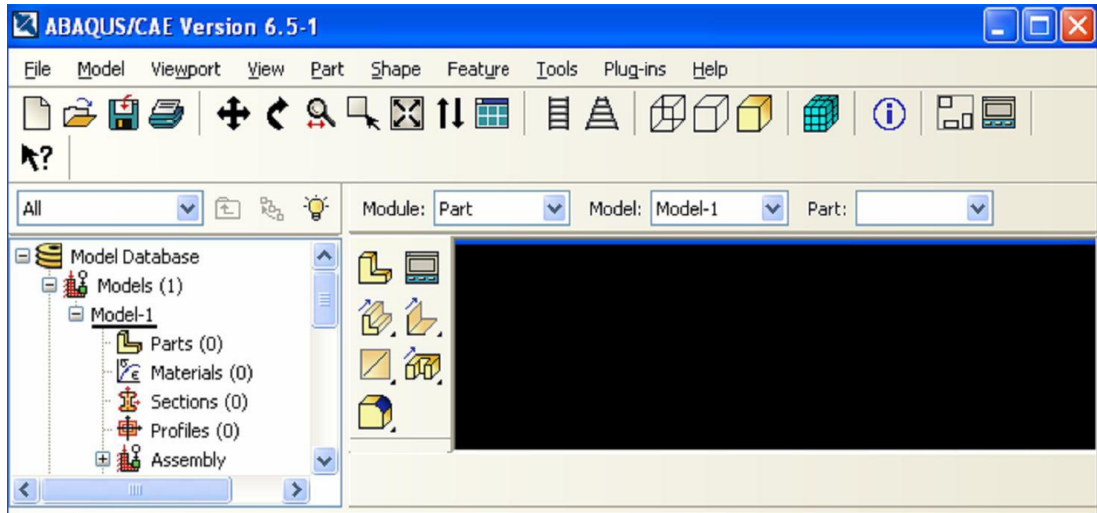
Yukarıda sıralanan adımları gerçekleştirilirken en ince ayrıntılar dahi gözden geçirilmelidir. Örneğin, sonlu elamanlara ayırma adımında eleman tipi seçimi sırasında seçilecek eleman tipi sonucun tamamen doğru ya da tamamen yanlış olmasına neden olacaktır.

## 2.7.8. Programın Çalıştırılması

ABAQUS/CAE programı hem komut isteminde hem de programın  kısa yoluna tıklanarak çalıştırılabilir. Burada en basit bir şekilde nasıl çalıştırılıp probleme uyarlanması anlatılacaktır. Öncelikle, program aşağıdaki yol izlenerek çalıştırılacaktır.


*Başlat(Start) > Programlar > ABAQUS 6.10-1 > ABAQUS CAE*

Programı çalıştırdıktan sonra aşağıdaki ekran görüntülenir.

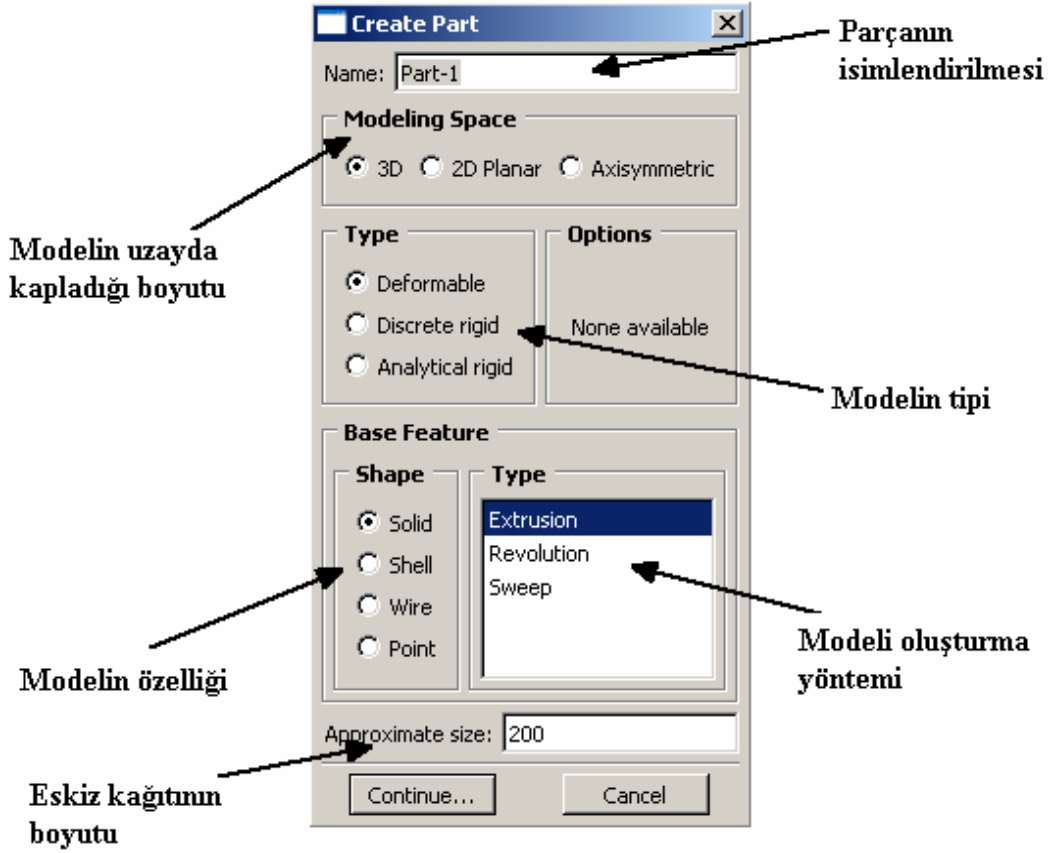


**Şekil 2.14:** ABAQUS/CAE Açılış Penceresi

## 2.7.9. Katı Modelin Oluşturulması

Yeni bir veritabanı oluşturabilmek için  (New Model Database) butonuna tıklanmalıdır. Bu butona “File > New” yolu izlenerek de ulaşılabilir.

Bu butona basıldıktan sonra Create Part diyalog kutusu görüntülenir. Diyalog kutusu problemin modellenmesi için araçlar sunmaktadır



Şekil 2.15: ABAQUS/CAE Katı Model Oluşturma

**Parçanın İsimlendirilmesi:** Eğer model birden fazla parçadan oluşuyorsa parçaların mantıklı bir şekilde adlandırılmasına olanak tanınmaktadır.

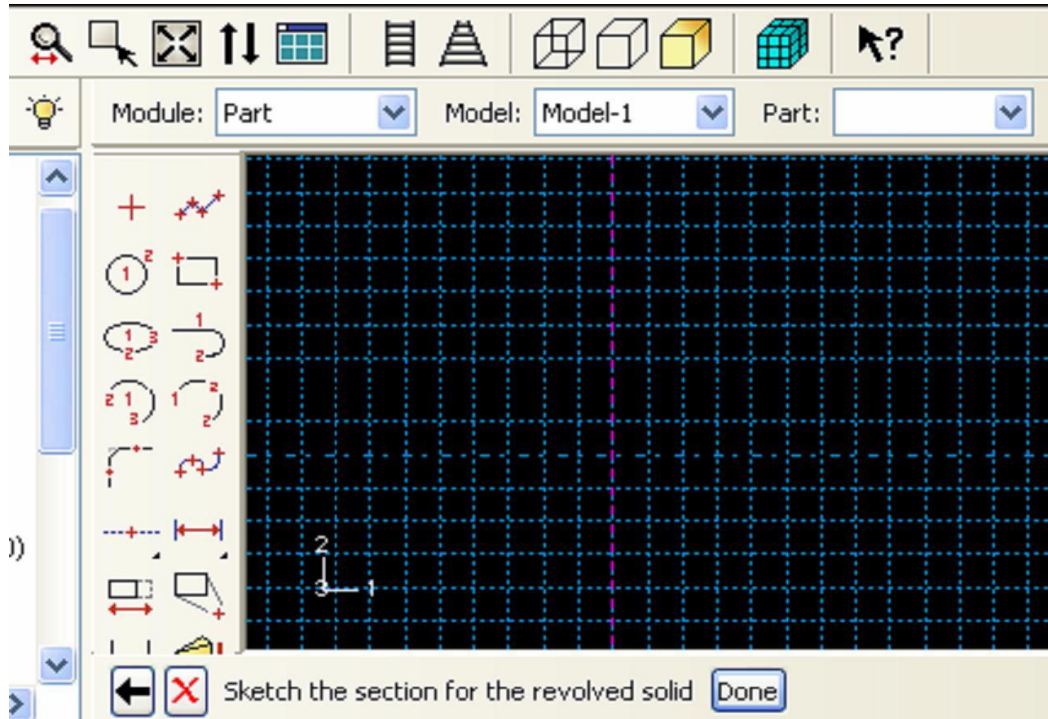
**Modelin Uzayda Kapladığı Boyut:** Çalışılacak modelin uzayda kapladığı boyutu üç ise 3D, eğer model iki boyutluysa 2D, eğer model bir eksen etrafında simetrik ise Axisymmetric seçeneği seçilmelidir.

**Modelin Özelliği:** Oluşturulacak modelin tipi katı ise Solid, kabuk ise Shell, çubuk veya ince kiriş ise Wire, eğer noktalardan oluşuyorsa Point seçeneği seçilmelidir.

**Modeli Oluşturma Yöntemi:** Bu kısımda program kullanıcıdan en kolay hangi şekilde modellemenin oluşturulması olanağı sağlamaktadır.

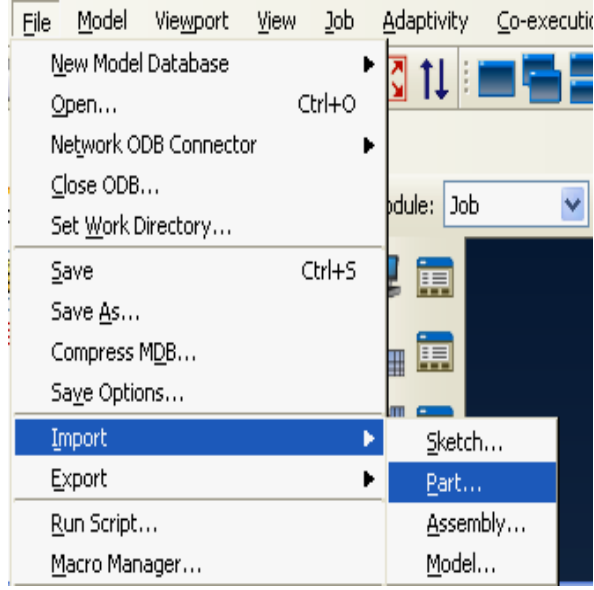
**Modelin Tipi:** Modelin tipi rijit veya deforme olabilen yapıya sahip olup olmadığı belirtilmelidir.

**Eskiz Kağıdının Boyutu:** Çizimin kolay bir şekilde yapılabilmesi için program otomatik olarak çizim alanını dilimler. Her dilim arası mesafenin ne kadar olduğunu bu kutuda girilmelidir.



**Şekil 2.16 : ABAQUS/CAE Çizim Alanı**


Katı model oluştururken CATIA ara yüzü kullanılmıştır. Bunun sebebi yapılan tasarımın komplike olmasıdır. CATIA tasarım programında oluşturduğumuz tasarımı stp olarak kaydediyoruz. ABAQUS analiz programına modeli taşırken sırasıyla şekil 2.16'daki gibi yöntem izlenmektedir.



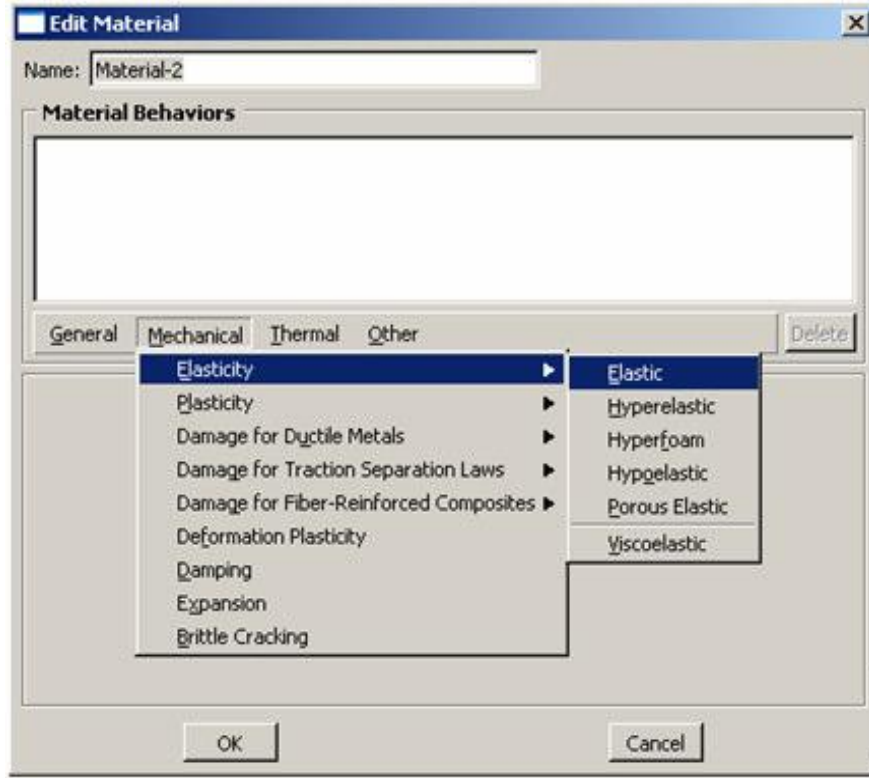
**Şekil 2.17:** ABAQUS/CAE De CAD Modelin ABAQUS Ortamına Alınması

Silahlı CAD modelini, CATIA tasarım ortamında stp dosyası olarak kaydedip sonra bu dosyayı ABAQUS analiz programı ortamına Import-Part-Stp yaparak modeli aktarıyoruz.

#### 2.7.10. Malzemenin Tanımlanması

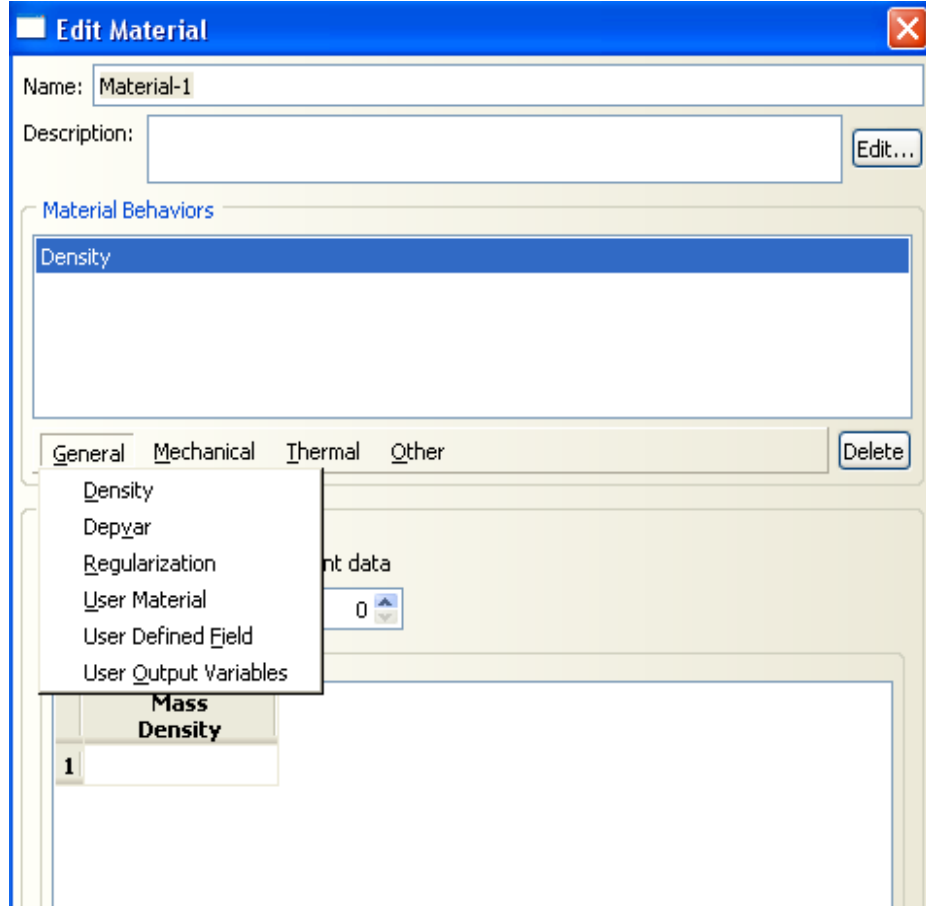
Modelleme yapıldıktan sonra modelin malzemesi tanımlanmalıdır. Tanımlama işlemi şekil 2.18 deki gibi yapılmaktadır. Örneğin mekanizma gövdesini ele alalım. Create Material  butonunu seçtikten sonra şekil 2.18 deki pencere görüntülenir.





**Şekil 2.18:** Malzeme Giriş Penceresi

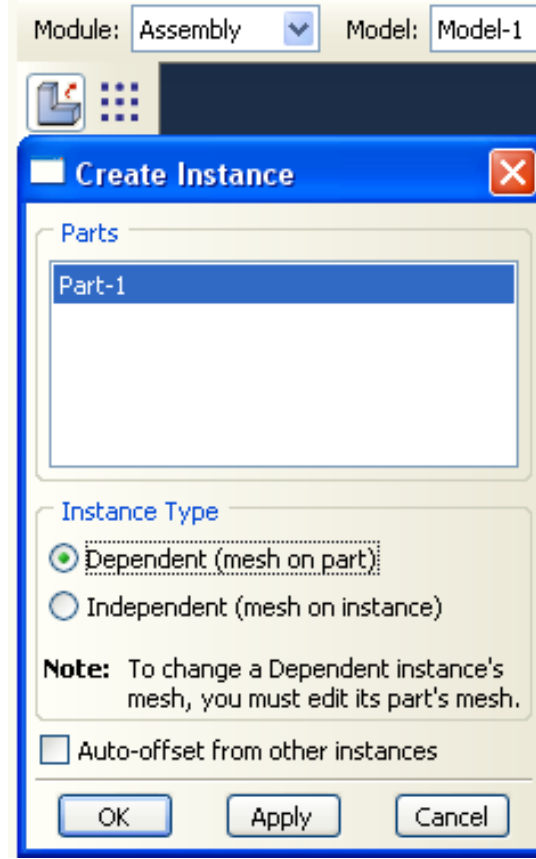
Malzeme isimlendirildikten sonra malzemenin cinsi ve davranışı seçeneklerden seçilmelidir. Aynı anda malzemeye birçok özellik tanımlanabilmekte ve en ince ayrıntısına kadar malzemenin davranışı programa tanıtılabilmektedir. Örneğin çelik malzemesi için Elastisite Modülü ve Poisson oranı ve yoğunluğu tanımlanır.



Şekil 2.19: ABAQUS/CAE malzeme özelliklerin tanımlanması

### 2.7.11. Montaj(Assembly) Menüsü

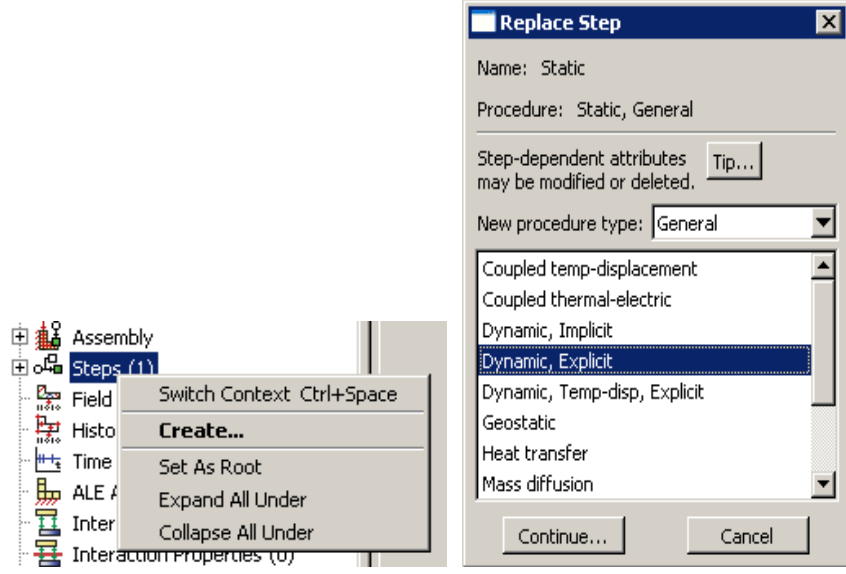
Modeli bir bütün olarak Assembly montaj ortamına Dependent olarak tanımlanır.



Şekil 2.20: ABAQUS/CAE Montaj Penceresi

### 2.7.12. Adım (Step) Menüsü

Analiz sırasında modelin hangi analiz adımlardan geçeceği bu aşamada tanımlanmaktadır. Bu menüde aşağıda görüldüğü gibi birçok analiz için seçenekler sunulmuştur. Dinamik analiz yaptığımız için Dynamic, Explicit seçeneğini seçiyoruz.

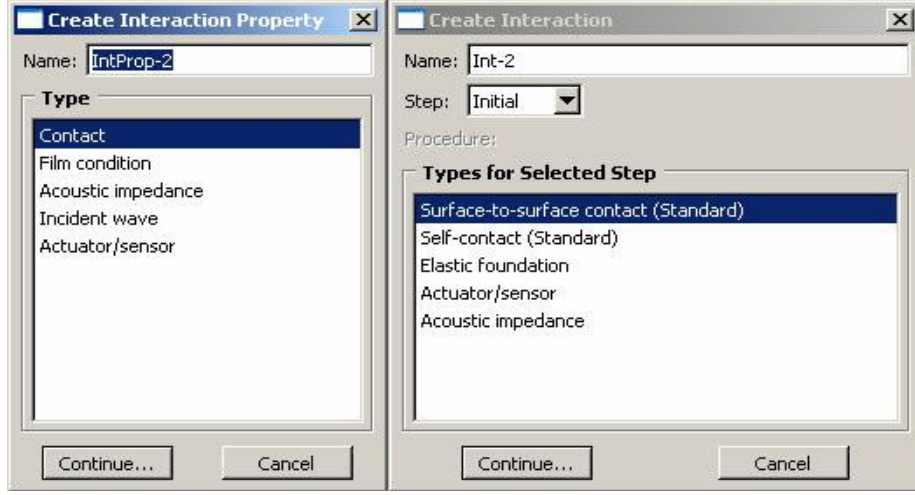


**Şekil 2.21:** Adım (Step) Menüsü

Step menüsü daha sonra sınır koşulların ve yüklemelerin tanımlanması sırasında kullanılacaktır.

### **2.7.13. Etkileşim (Interaction) Tanımlanması**

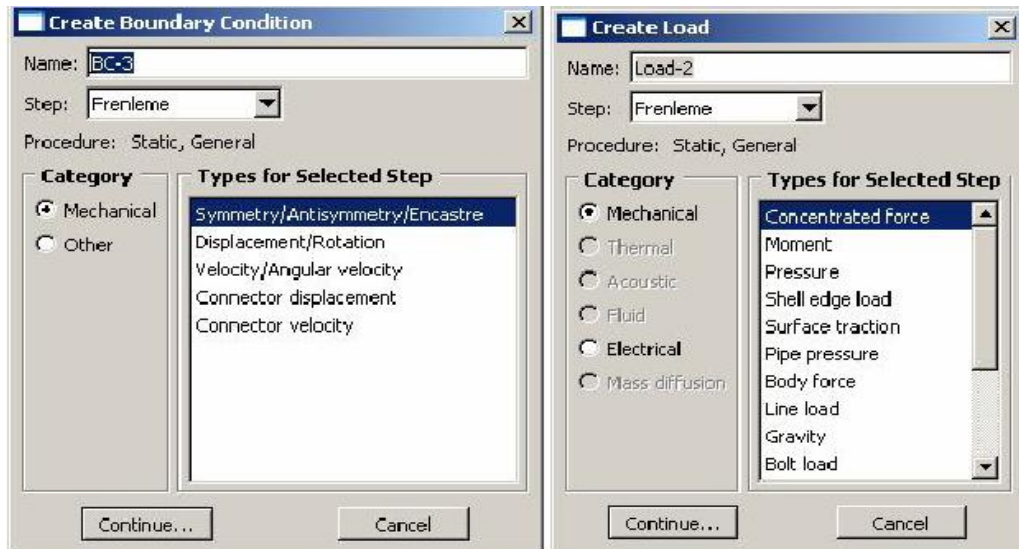
Model içerisinde birden fazla parça ihtiva edebilir. Bu parçalar analiz sırasında hareket ediyorsa veya her bir parça analiz sırasında farklı bir davranış gösteriyorsa bu durumda her parçanın birbiri arasındaki etkileşimleri tanımlanmalıdır. Örneğin, pim cıvata-porno bağlantıları, herhangi iki parçanın bir biri üzerinde kayması veya itmesi[23].



Şekil 2.22: Etkileşim Menüsü

#### 2.7.14. Sınır Şartların ve Yüklerin Tanımlanması ve Parçaya Uygulanması

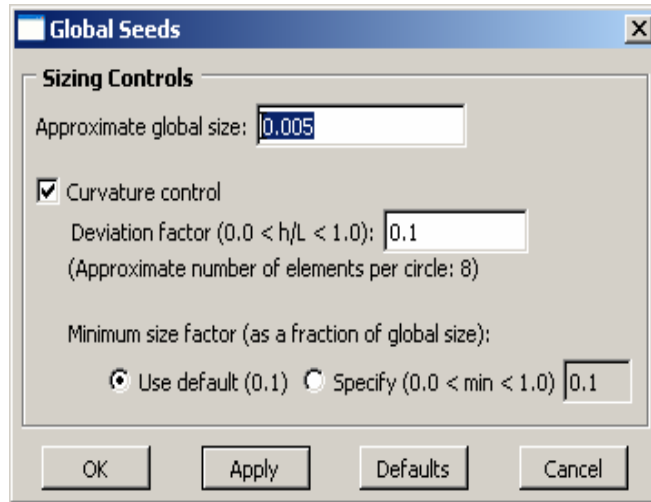
Şekil 2.22’de verilen menülerden sağdakiinde yüklemelerin cinsi ve değerleri, soldakiinde ise sınır şartları verilebilmektedir.



Şekil 2.23: Yükleme ve Sınır Şartlar Menüleri

### 2.7.15. Modelin Küçük Parçalara (Mesh) Bölünmesi

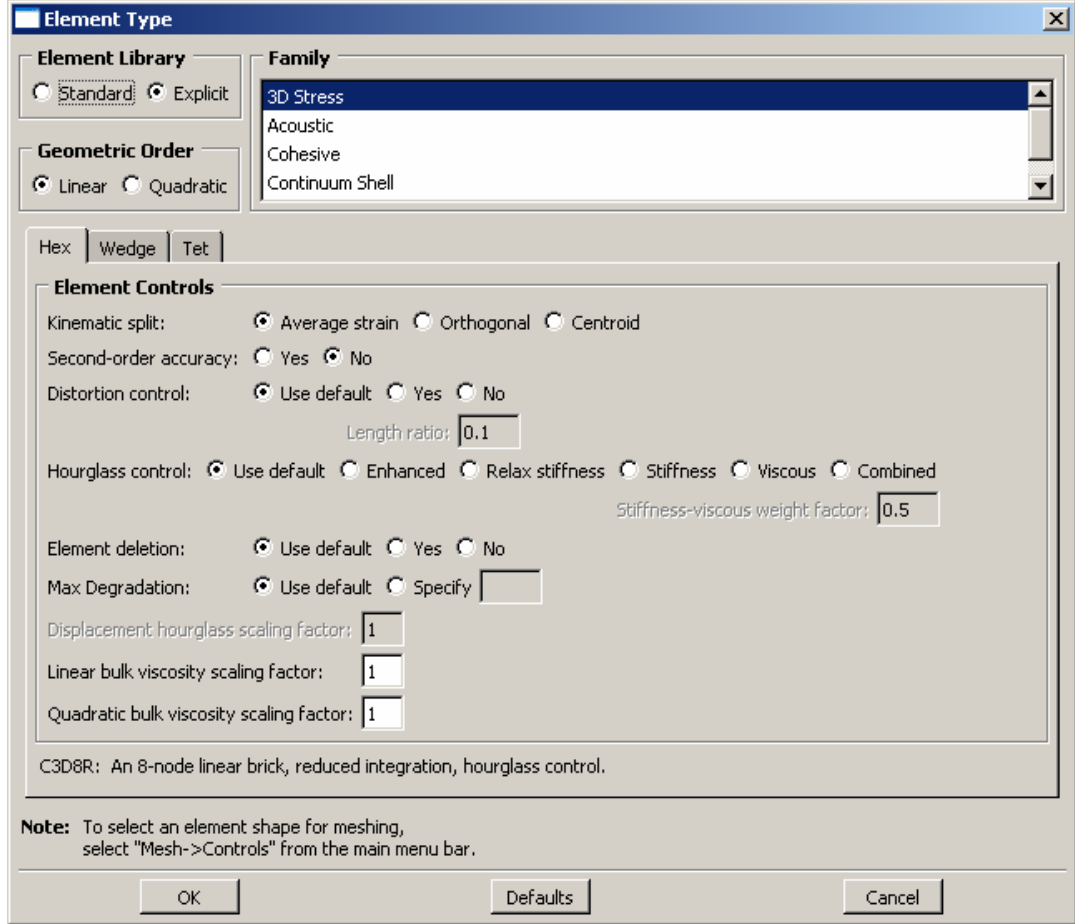
Daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz üzere ABAQUS/CAE kullanıcıya otomatik olarak kendi seçtiği en küçük parçanın (mesh) boyutlarını sunmaktadır. Eğer analizin daha doğru ve kesin sonuçları vermesi istenirse o zaman en küçük yaklaşık dilimleme seçeneğindeki (Approximate küresel size) değeri daha da düşürülür. Eğer değer çok küçük olursa, bu parçadaki eleman sayısını artıracığı için analizin çözümlenmesi uzun zaman alacağı anlamına gelir. Analiz hızı bilgisayar performansı ile doğru orantılıdır[23].



Şekil 2.24: Parçanın Dilimlenmesi

Parça dilimlendikten sonra eleman tipi kısmına geçilmelidir. Bu durumda da ABAQUS/CAE programının en önemli özelliklerinden biri de akıllıca bizim seçtiğimiz model tipine uygun olan eleman tipi seçenekleri sıralamasıdır. Örneğin, yine mesh atma sırasında en uygun boyutlarda parçayı bölümleyebilmekte ve parça için seçilebilecek uygun eleman tiplerini otomatik olarak sıralamaktadır. Burada

bilinmesi gereken husus, yapılacak yüklemeler sırasında parçanın maruz kalacağı deformasyonlara uygun tepki verecek eleman tiplerinin seçimidir. Şekil 2.25'deki menüden eleman tipi seçilir.

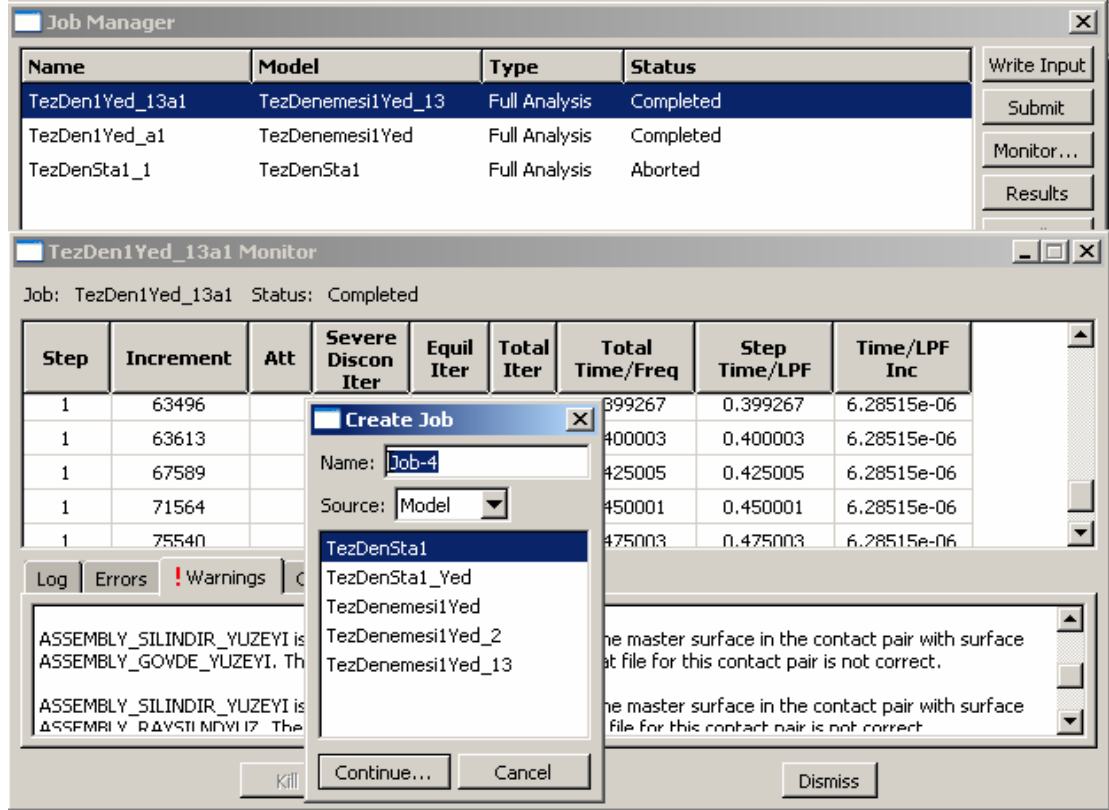


Şekil 2.25: Eleman Tipi Seçme Menüsü

### 2.7.16. İş (Job) Menüsü

Job menüsünde analize hazır duruma getirdiğimiz modelin analize verilmesini sağlamaktayız. Bu menüde, analizin hangi durumda olduğu, analiz sırasında hataların veya uyarıların neler olduğu gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, analiz bitikten sonra sonucun yazı editörüne kaydedilmesi veya görüntülenmesi

sağlanır. Şekil 2.26’te verilen menüden daha önce analizi yapılan bir çalışma görünmektedir.



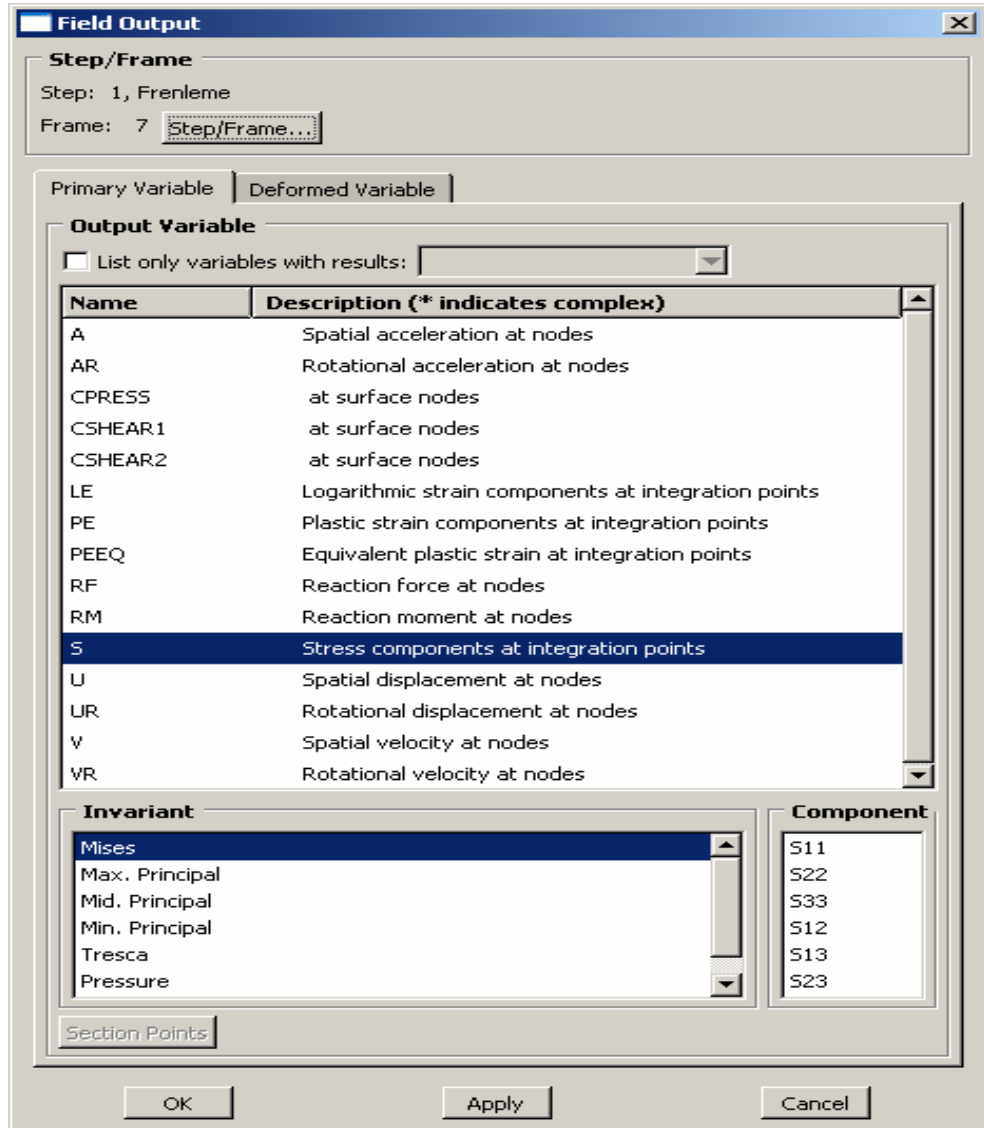
Şekil 2.26: İş Menüsü

### 2.7.17. Analiz Sonrası İşlemler (Postprocessor) Menüsü

ABAQUS/CAE programının bir diğer güçlü özelliği de analiz sonucunda sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması için yeterli görsel araçları sağlamasıdır. Postprocessing aşamasında çözümde elde edilen değerler ekrana grafik olarak yansıtılmakta, karşılaştırmalar yapılmakta ve çıktı alınmaktadır. Örneğin, çözümü yapılmış bir parçanın gerilme, ivme, sıcaklık, yer değiştirme vs. gibi önemi yüksek sonuçları görsel olarak gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, yukarıda



bahsettiğimiz sonuçların gözlenmesi sırasında parça analiz adımları süresince nasıl hareket ettiğini hareketli bir görüntü şeklinde birebir taklidinin yapılmasına olanak sağlanmaktadır. Bu aşamada ayrıca çeşitli enerjilerin zamana göre dağılımları izlenebilmektedir. Şekil 2.27’de verilen menüden analiz sonrasında birçok sonucun görüntülenmesi sağlanmaktadır.




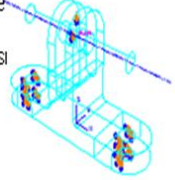
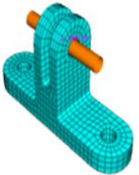
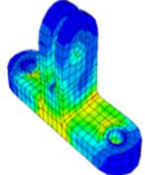
Şekil 2.27: Sonuçların Görüntülenmesi Menüsü

## 2.7.18. Birimler

ABAQUS herhangi bir birim dizgesi kullanmaz. Sonlu elemanlar modelinde uygun birim sistemini kullanmak kullanıcının sorumluluğu altındadır.

**Çizelge 2.3.** ABAQUS Analiz Programında Birim Tablosu

Quantity	SI	SI (mm)	US Unit (ft)	US Unit (inch)
Length	m	mm	ft	in
Force	N	N	lbf	lbf
Mass	kg	tonne (10 <sup>3</sup> kg)	slug	lbf s <sup>2</sup> /in
Time	s	s	s	s
Stress	Pa (N/m <sup>2</sup> )	MPa (N/mm <sup>2</sup> )	lbf/ft <sup>2</sup>	psi (lbf/in <sup>2</sup> )
Energy	J	mJ (10 <sup>-3</sup> J)	ft lbf	in lbf
Density	kg/m <sup>3</sup>	tonne/mm <sup>3</sup>	slug/ft <sup>3</sup>	lbf s <sup>2</sup> /in <sup>4</sup>

Part	Property	Assembly
<ul style="list-style-type: none"><li>Geometrik parçaların oluşturulması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Malzeme özelliklerinin tanımlanması</li><li>Malzeme özelliklerinin parçalara atanması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Parçaların birbirlerine göre konumlandırılarak montajın oluşturulması</li></ul> 
Step	Interaction	Load
<ul style="list-style-type: none"><li>Analiz adımlarının ve çıktıların tanımlanması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Montajdaki parçalar arası temas ve diğer etkileşimlerin tanımlanması</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Yük, sınır şartları ve alansal çıktıların modele uygulanması</li></ul> 
Mesh	Job	Visualization
<ul style="list-style-type: none"><li>Montaj parçalarını çözüm ağı oluşturulabilir parçalara ayırma ve çözüm ağı oluşturma</li></ul> 	<ul style="list-style-type: none"><li>Çözümüne verme, çözüm yönetimi ve izleme</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Sonuçların incelenmesi</li></ul> 

**Şekil 2.28 :** ABAQUS'te Analizin Kısa Özeti

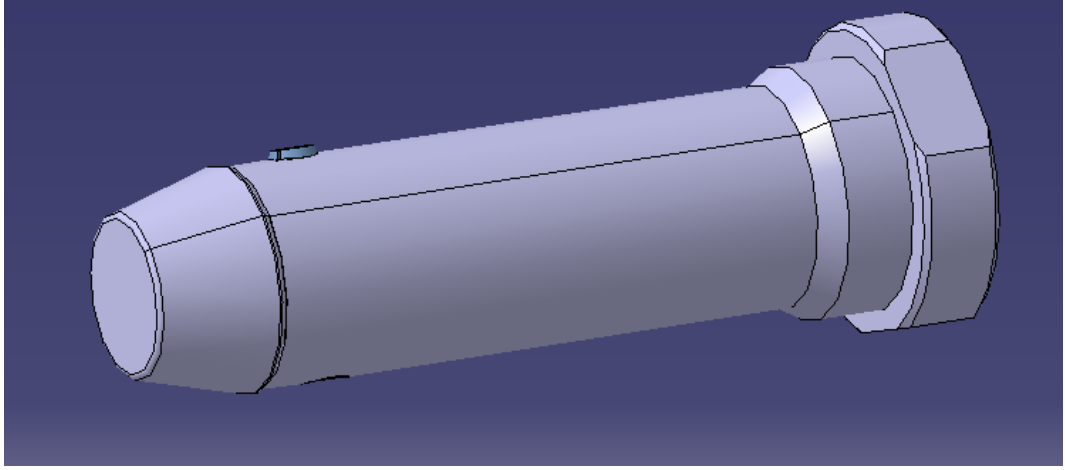
### 3. TAMPON VE YERİNE GETİREN YAYIN( İRCA YAYININ) ABAQUS'TE MODELLENMESİ

#### 3.1. Tamponun Modellenmesi

Piyade tüfeklerinde geri tepmeyi engelleyen tampondur. Bunun sebebi tampon içinde granüllerin olmasıdır. Bu granüller mekanizma geriye doğru hareket ettiğinde tampona çarpmaktadır. Tampon içindeki granüller etki-tepki prensibine göre ileri hareket ederek gelen kuvveti sönmölemektedir. Sonlu elemanlar modeli hazırlanırken de yapılan dinamik analizlerde tamponun tüfeğin dinamik davranışı üzerinde büyük etkisi olduğu anlaşılmıştır. Yapılan analizlerde özellikle tampon içindeki demir tozunun eylemsizlik etkisinin hesaba katılması gerektiği anlaşılmıştır. Bunun üzerine sonlu eleman modelinde kullanılacak uygun tampon modelleme yaklaşımının geliştirilmesi için tampon üzerine ayrıca modelleme ve analiz çalışmaları yapılarak ana modelde kullanılacak uygun bir tampon modeli geliştirilmiştir. Tampon için yapılan detay modelleme ve analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar neticesinde, modelleme ve çalıştırılabilir çözüm süreleri açısından demir tozunun bilyeler ile modellenmesine karar verilmiştir. Çapı 3.6 mm olan 108 adet çelik bilye tanımlanmıştır. Tamponda kullanılan demir tozunun kütlesini sağlamak için bilyelerin malzeme yoğunluğu arttırılmıştır. Bu sayede sadece basıya çalışan granüller yapıdaki demir tozunun eylemsizlik etkisi sonlu eleman modelinde hesaba katılmıştır. Çözümlerde, bütün bilyelerin kendileriyle ve tampon gövdesiyle olan teması da dikkate alınmıştır. Gerçekte toz halinde olmasından dolayı bilyelerin temas özelliği tanımlamasında yüksek bir sürtünme katsayısı ( $\mu=1$ ) kullanılmıştır.

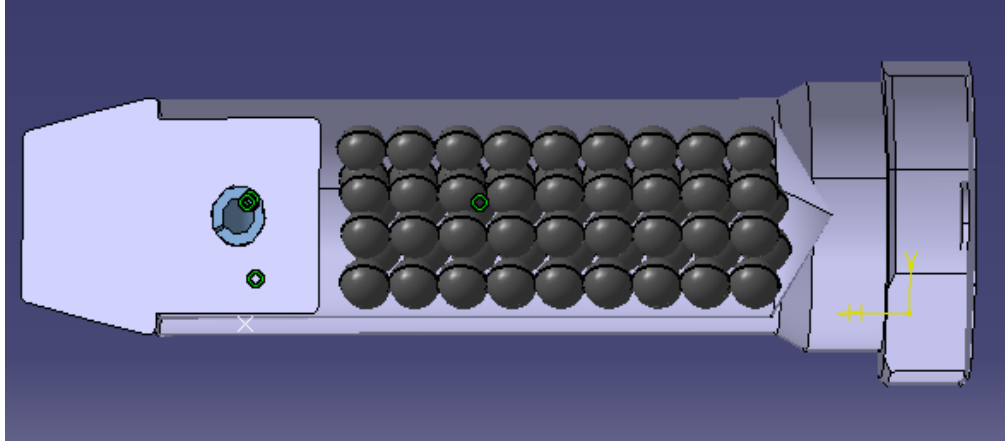
Mekanizma gövdesi hareket sistemini incelerken mekanizmanın tampon ve yerine getiren yayın modellenmesini de yapmak zorundayız. Bunun sebebi

mekanizma gövdesinin tampon ve irca yayı ile birlikte hareket etmesidir. Tampon ve yerine getiren yayın hareketindeki dinamik davranışları mekanizma gövdesinin etkilemektedir. Yerine getiren yay ve tampon modellenmesi CATIA V5 R 20 katı modelleme programı ile yapılmıştır.



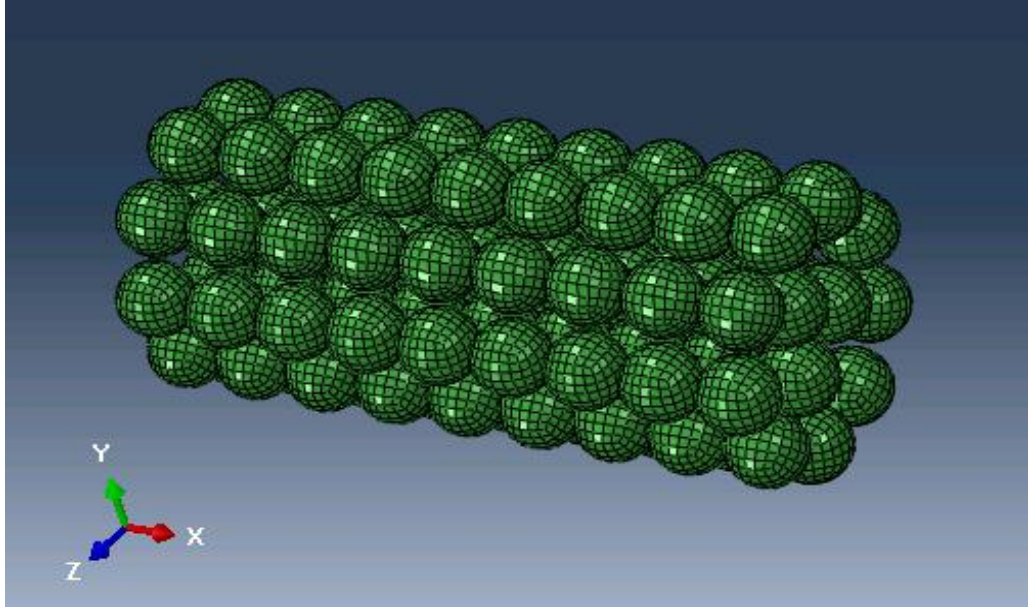
**Şekil 3.1:** Tampon Modelinin CATIA Tasarım Ortamında Tasarlanmış Katı Modeli

Şekil 3.1'deki Tampon modeli CATIA tasarım programıyla modellenmiştir. Bu modele daha sonra çapı 3.6 mm olan, 108 adet çelik bilye yine CATIA tasarım ortamında modellenip tampon modeli içerisine düzenli bir şekilde yerleştirilir. Daha sonra ABAQUS analiz ortamına stp dosyası olarak aktarılır. Çelik bilyeler, çelik tozu özeliğini taşımaktadır.

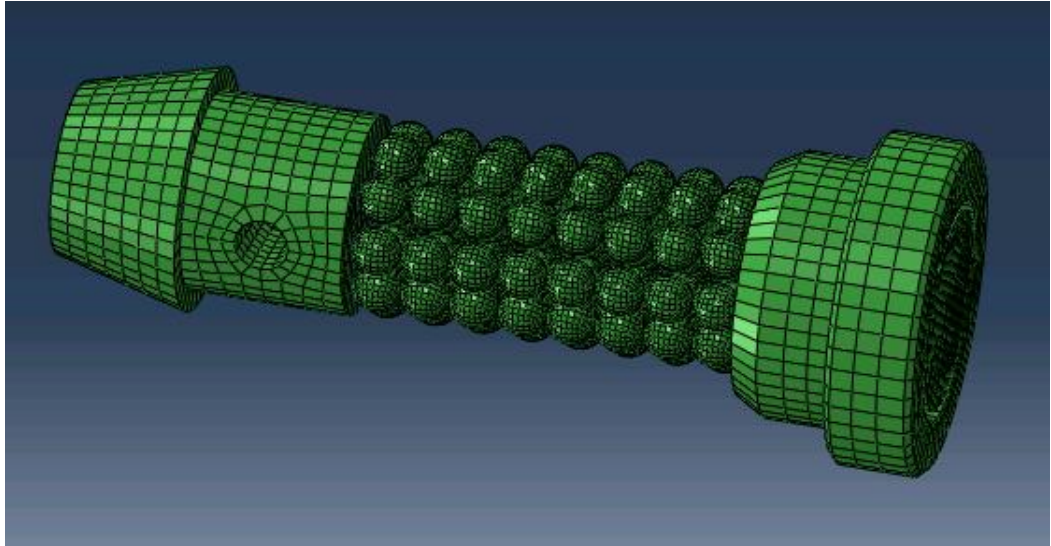


**Şekil 3.2 :** İçine Çelik Bilye Yerleştirilmiş Yarım Tamponun Görünüşü

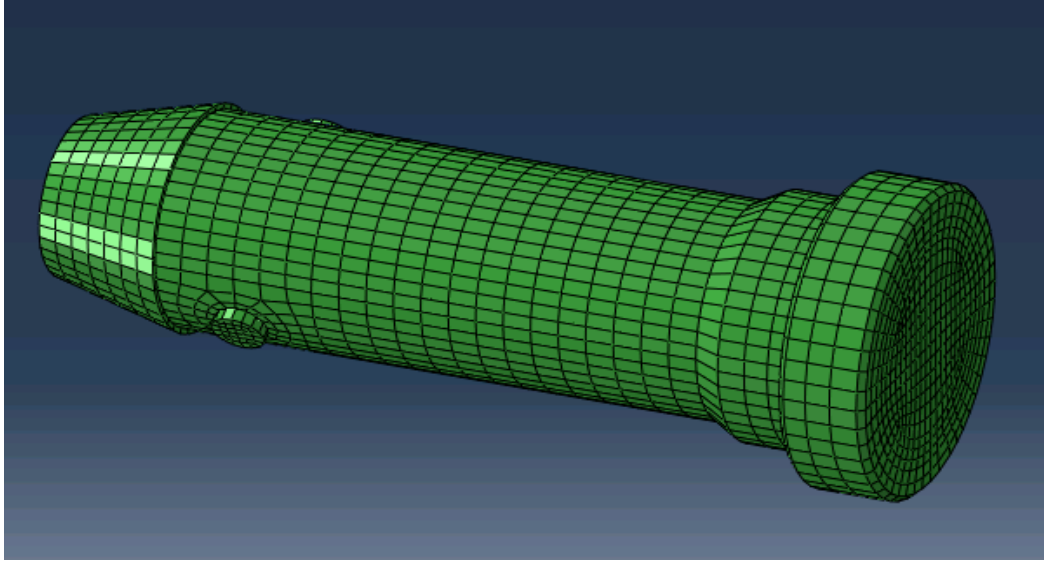
ABAQUS ortamında bilyelerin malzeme özeliği tanımlayıp hepsi mesh yapılmıştır. Malzeme özeliği olan çelik tozunun Elastisite Modülünü, Poisson Oranını, Yoğunluğunu ve Yerçekimi İvmesini tanımlıyoruz. Burada yer çekimini tanımlamamızın sebebi bilyelerin tampon içinde serbest olarak hareket etmesidir. Bilyeler arasındaki ve bilyeler ile tampon iç yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı 0.1 olarak tanımlanmıştır. Tampon mesh dediğimiz genel eleman boyutlara ayırdıktan sonra daha doğru analiz yapmak için bazı bölgelerde daha düzgün mesh çalışması yapılmıştır. Çelik bilyelerin hepsi rijit olarak tanımlanıp her bir çelik bilye rijit olarak bir noktaya bağlanmıştır.



**Şekil 3.3 :** Tampon İç Yüzeyine Yerleştirilecek Şekilde Çelik Bilye Kümesi  
(108 Adet)



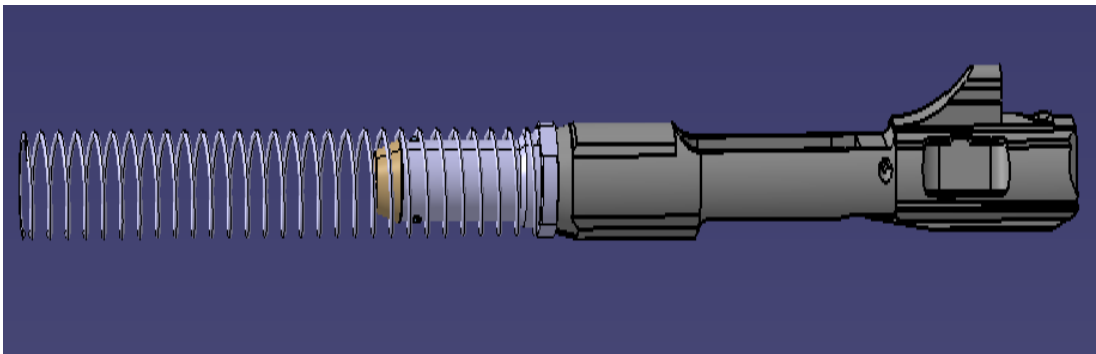
**Şekil 3.4 :** Çelik Bilyelerin Tampon Modeline Yerleştirilmiş Hali



**Şekil 3.5 :** Tampon Modelinin Düzgün Mesh Tanımlaması Yapıldıktan Sonraki Hali

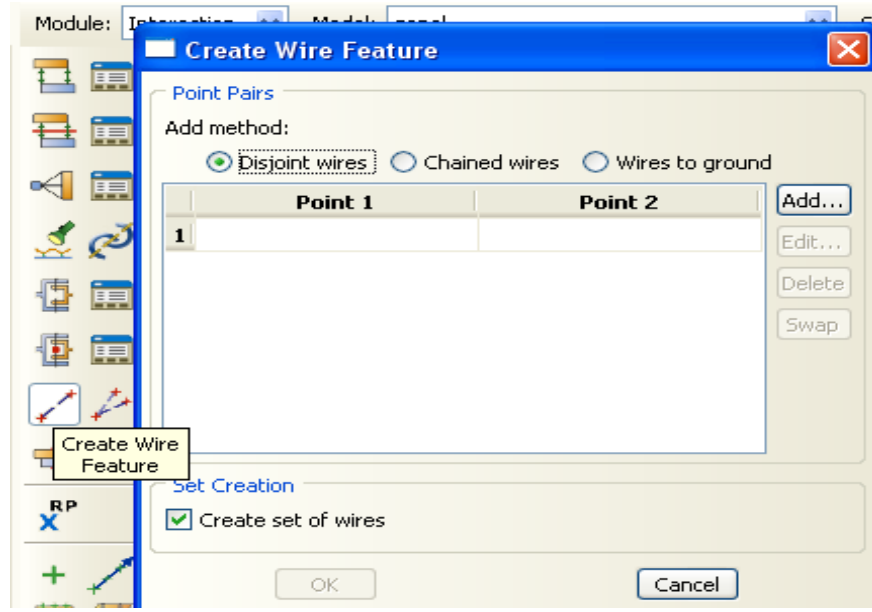
### **3.2. Yerine Getiren Yay Modellenmesi**

Yerine getiren yay, fişegin patlamasıyla mekanizma gövdesinin geriye doğru hareketini sönümleyerek tekrar mekanizmayı ileri doğru hareket ettirerek ikinci mermiyi namluya sürmesini sağlar.

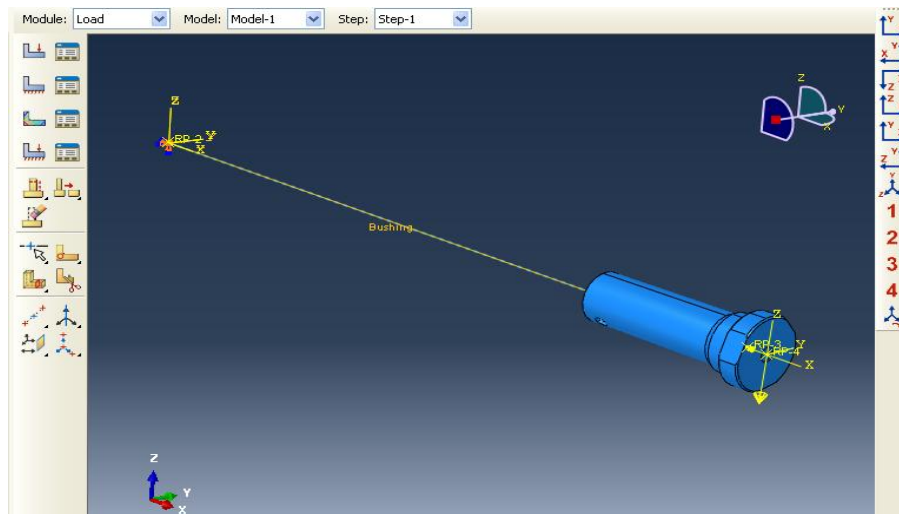


**Şekil 3.6 :** Yerine Getiren Yay-Tampon-Mekanizma Katı Modeli

ABAQUS ortamında yerine getiren yayı modellerken, iki nokta tanımlanmış ve bu iki nokta arasındaki uzunluk 190 mm'dir. Bu noktalar arasında yerine getiren yay sabiti  $k=0.325$  N/mm girilerek o iki nokta arasına yay tanımlanmıştır. Yerine getiren yayı modellerken tampon gövdesine noktasal olarak bağlantı sağlanır. Bu noktasal bağlantı tampon iç yüzeyinde bir noktaya yapılmıştır.

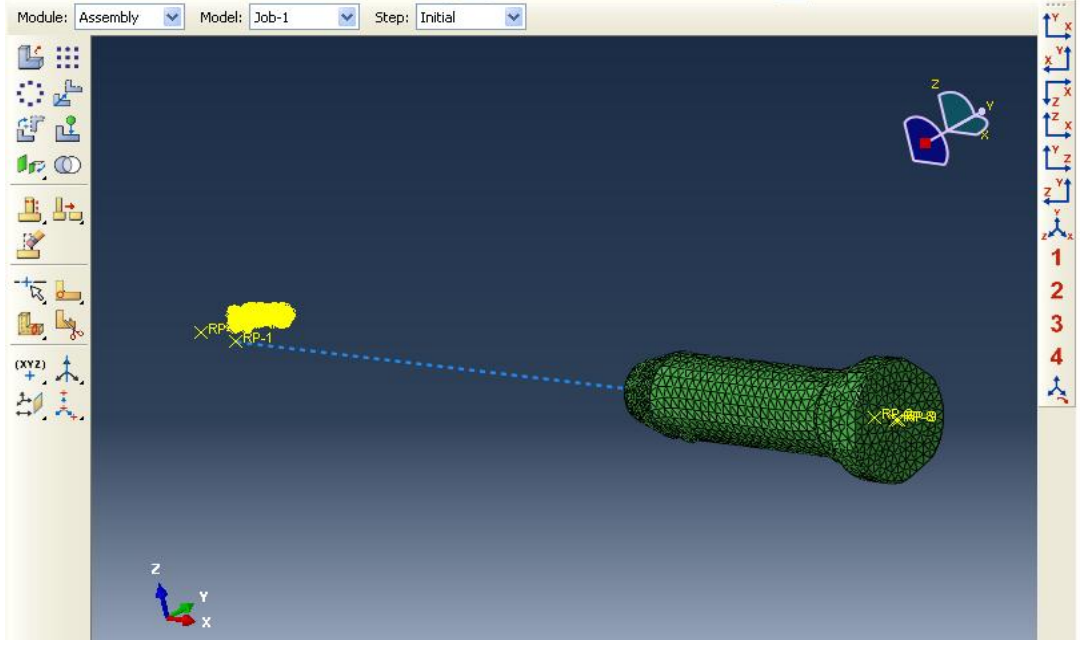


Şekil 3.7 : Yerine Getiren Yay Model Oluşturma

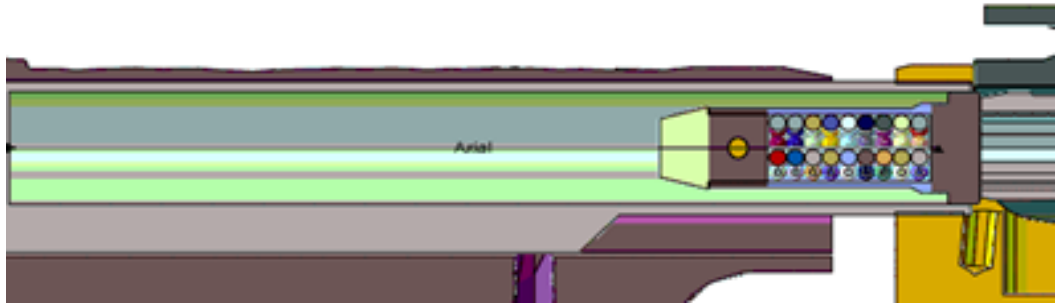


Şekil 3.8 : Yerine Getiren Yay Tampon Bağlantısı

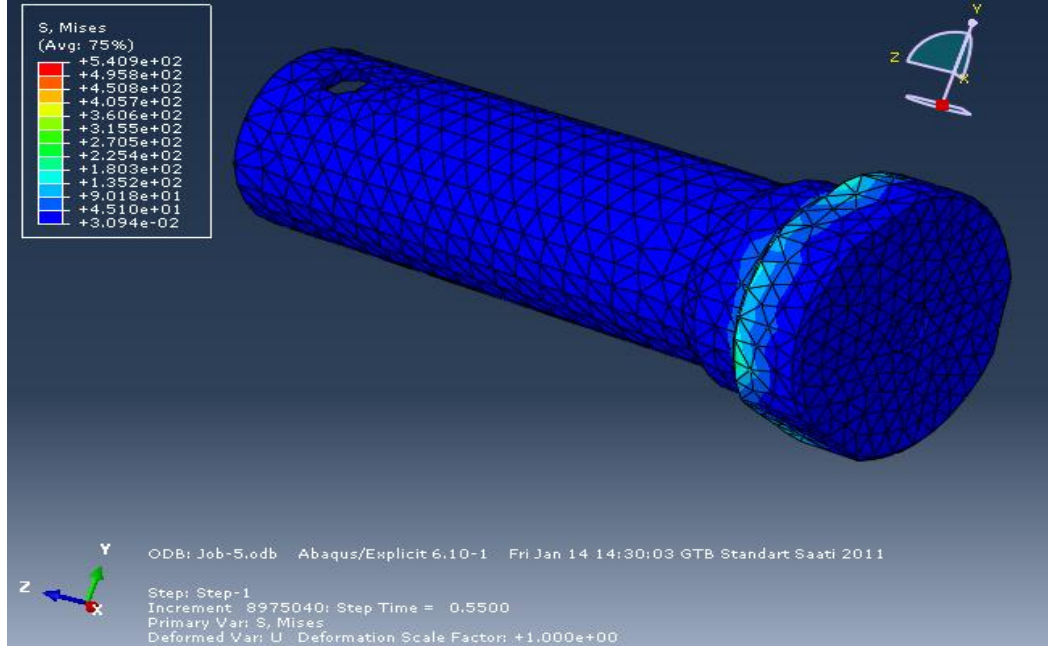




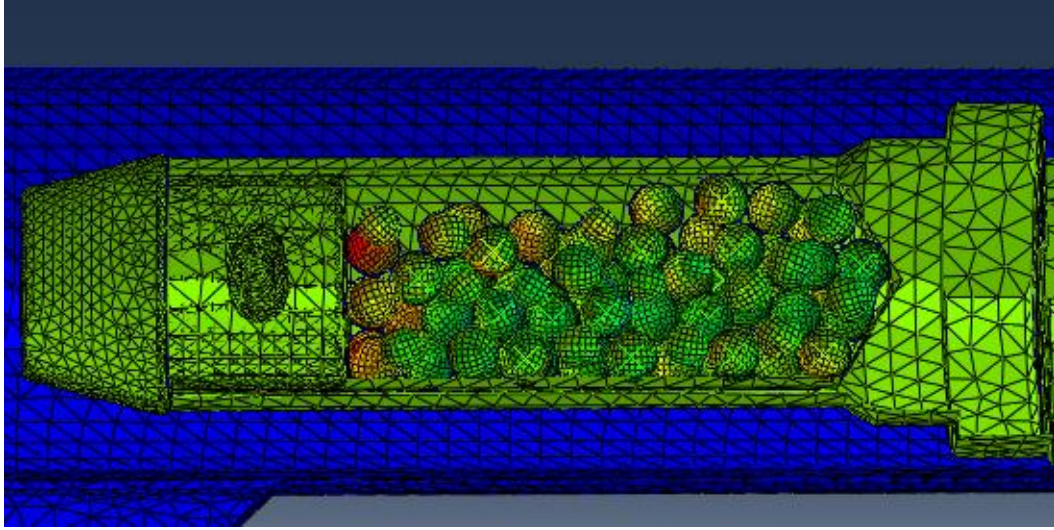
**Şekil 3.9 :** Yerine Getiren Yay-Tampon Sonlu Elemanlar Boyutuna Ayrılması



**Şekil 3.10:** Yerine Getiren Yay- Tampon Modelinin Çözümüne Verilmeden Son Hali



**Şekil 3.11:** Analiz Sonucunda Tampon Baş Kısımında Meydana Gelen Gerilmeler

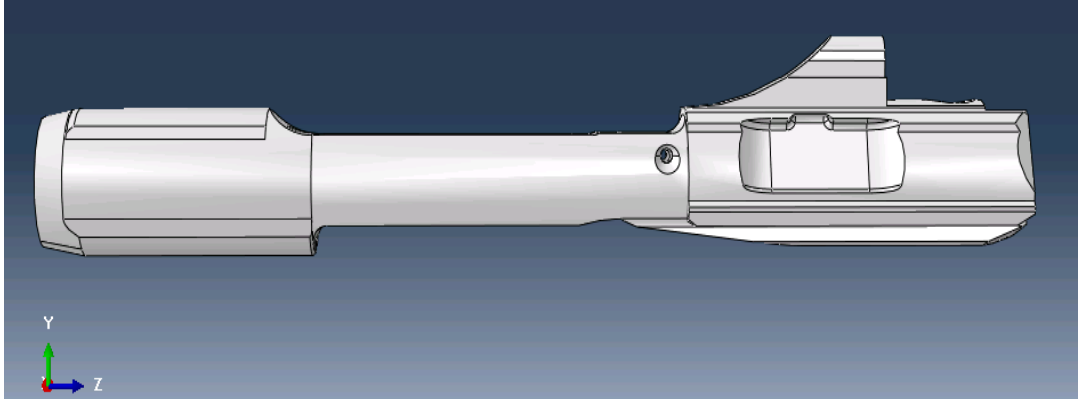


**Şekil 3.12:** Analiz Sonucunda Tampon İçindeki Granüllerin Serbest Dağılımı

## 4. MEKANİZMA GÖVDESİNİN TASARIMI VE SONLU ELAMANLAR METODUYLA DİNAMİK ANALİZİ

### 4.1. Mekanizma Gövdesinin Modellenmesi ve Analiz Ortamına Alınması

Mekanizma gövdesini CATIA tasarım programı ile modellenip stp dosyası olarak kaydedilerek daha sonra ABAQUS ortamına alınmıştır. Modellediğimiz bu mekanizma HK 417 ve M-16 (SR versiyonu) modern piyade tüfeği mekanizmalarına benzer özellik taşımaktadır.



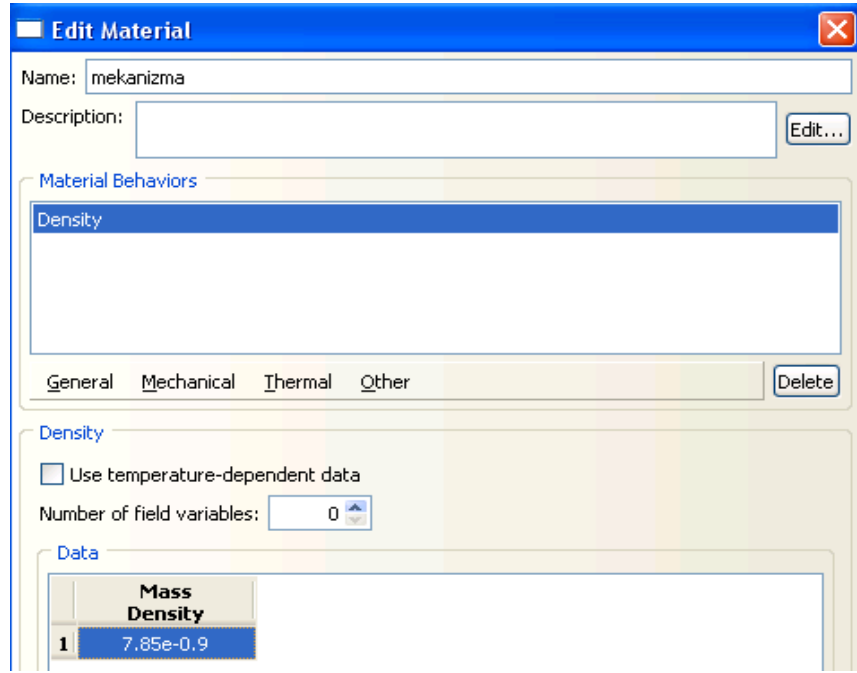
**Şekil 4.1:** Mekanizma Gövdesinin Katı Modeli

ABAQUS ortamına aldığımız mekanizma gövdesinin, analiz adımlarını başlangıç ve sınır şartlarını tek tek tanımlayarak dinamik analizi yapılmıştır. Önemli analiz adımları aşağıda özet olarak anlatılmıştır.

### 4.2. Mekanizma Gövdesinin Analiz Ortamında Sınır Şartlarının Tanımlanması

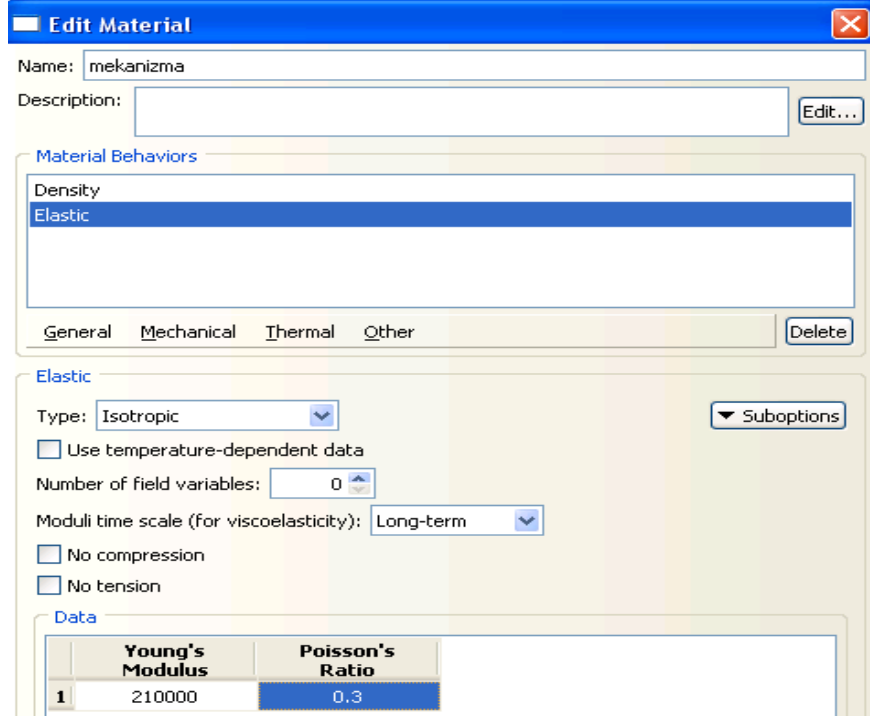
Mekanizma gövdesi çelik malzemedir, Çelik malzeme 14 NiCr 18 DIN normuna göre bir malzemedir. Karbon oranı 0.11-0.18 arasındadır. Analizde ilk

olarak çeliğin yoğunluğu tanımlanmıştır.

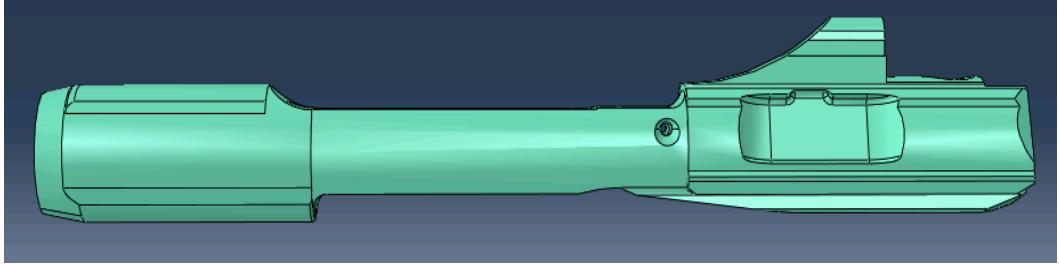


Şekil 4.2 : Mekanizma gövdesinin yoğunluğunun tanımlanması

Daha sonra mekanizma gövdesinin Elestisite modülü ve Poisson oranı girilmiştir.

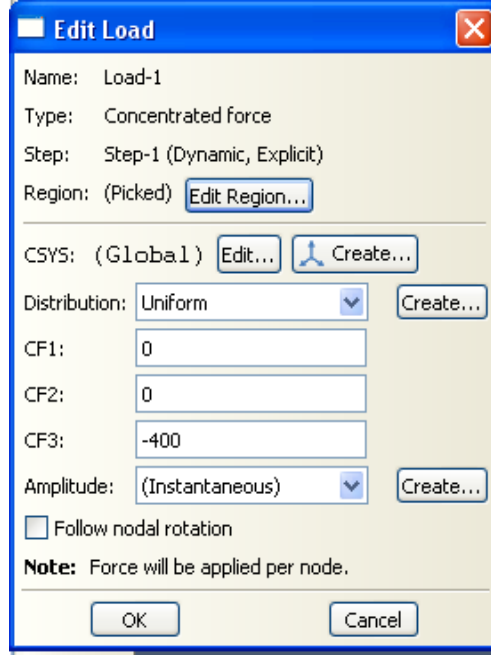


**Şekil 4.3:** Mekanizma Gövdesinin Elastisite Modülü ve Poisson Oranının Programa Girilmesi

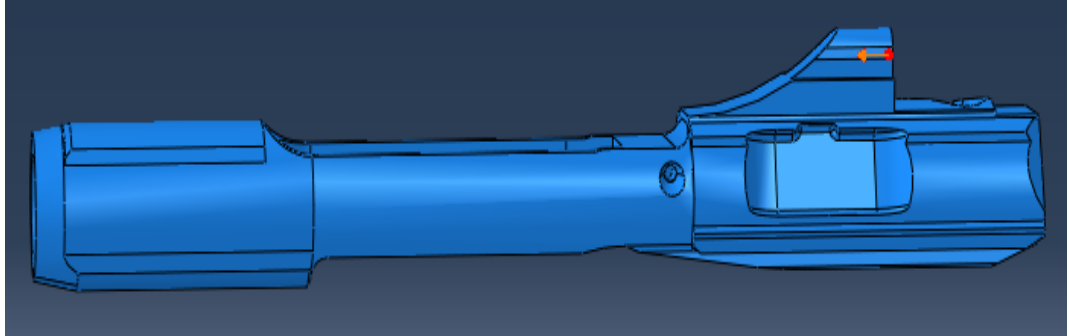


**Şekil 4.4:** Mekanizma Gövdesinin Malzeme Tanımlamasından Sonraki Görünümü

Mekanizma başına 0 ila 400 N arasında zamanla değişen bir dinamik kuvvet tanımlanmıştır. Bu kuvvet tanımlandığında çözüm aralığı 0.05 ms olarak alınmıştır.

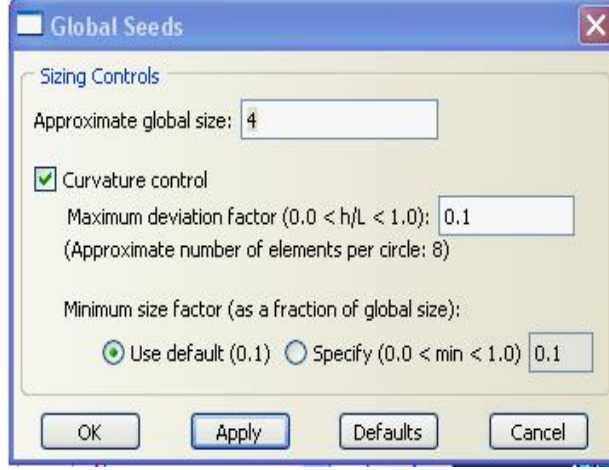


Şekil 4.5 : Mekanizma Gövdesinin Hareket Etmesi İçin Kuvvet Tanımlanması

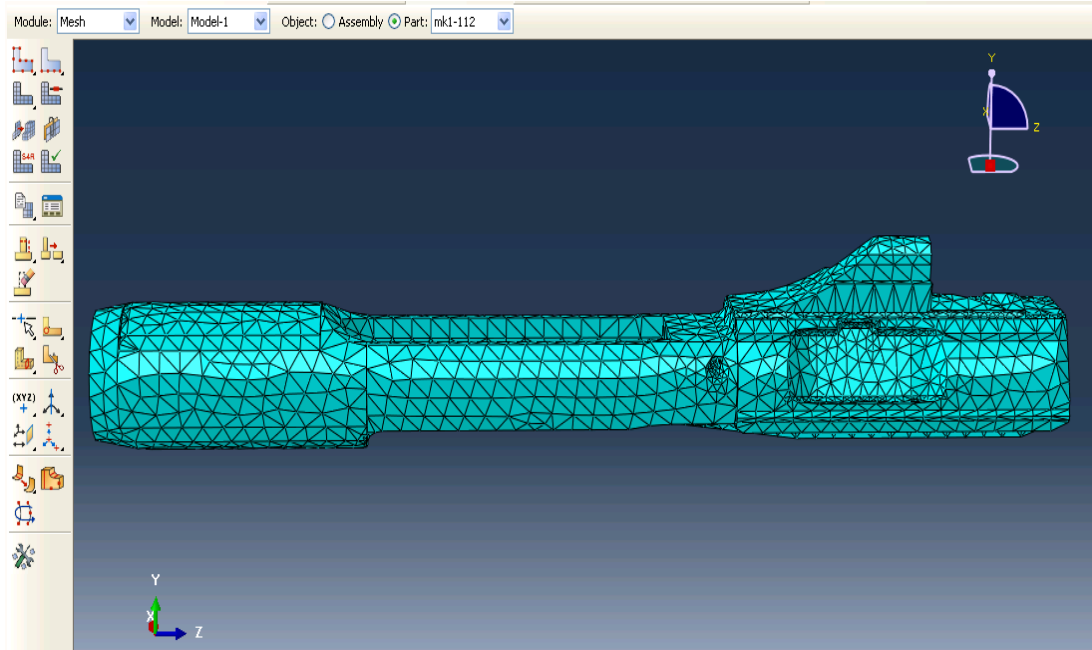


Şekil 4.6: Mekanizma Gövdesinin Başına Uygulanan Kuvvet

Mekanizma gövdesi, Sonlu elemanlar dediğimiz meshlere ayrılmış ve genel eleman boyutu 4 olarak tanımlanmıştır.



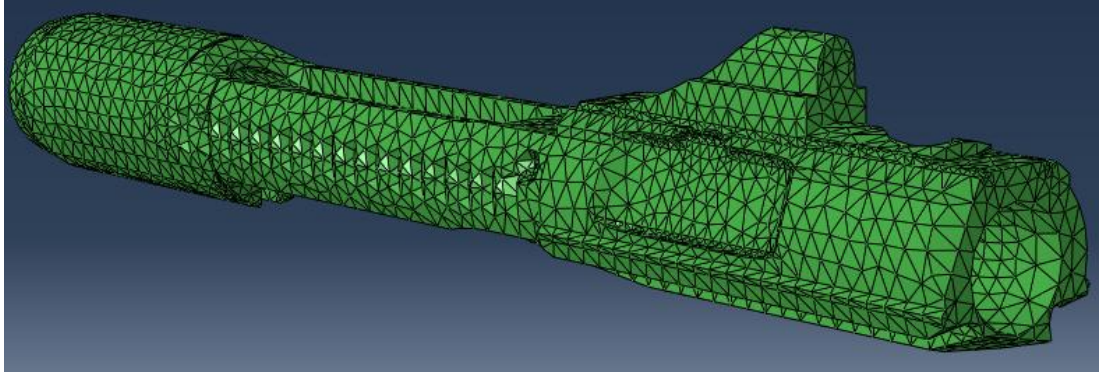
**Şekil 4.7:** Mekanizma Gövdesinin Sonlu Elemanlar Boyutuna Ayırırken Genel Eleman Boyutunun Tanımlanması



**Şekil 4.8:** Mekanizma Gövdesinin Mesh( Sonlu Elemanlar Boyutuna) Ayrılması

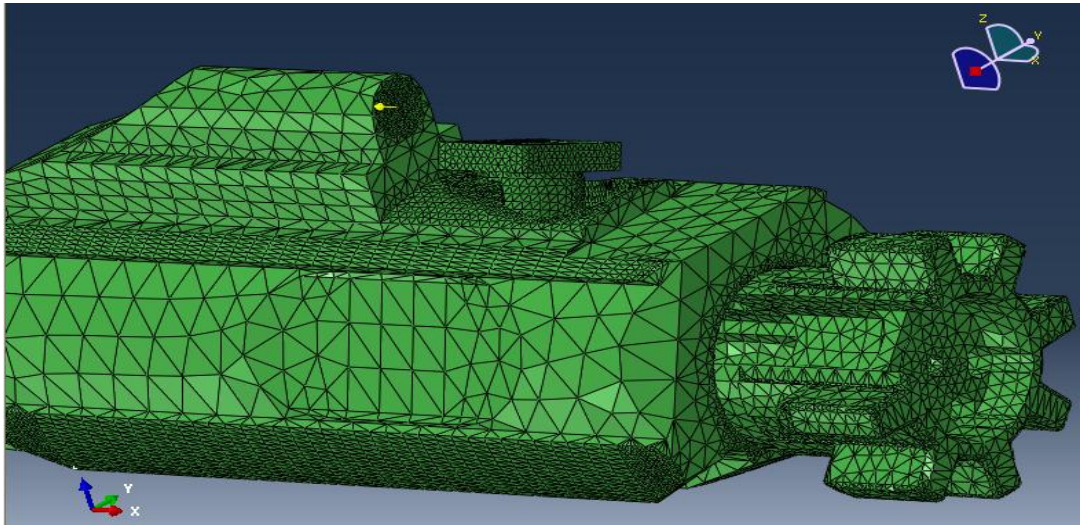
Daha sonra mekanizmayı orphan(daha düzenli mesh) meshlere ayırıyoruz. Bunun sebebi meshler ne kadar düzgün olursa yaptığımız analiz o kadar gerçeğe yakın olur.





**Şekil 4.9:** Mekanizma Gövdesinin En Düzenli Elemanlar Boyutu Orphon Meshlere Ayrılması

Mekanizma gövdesi hareket ederken mekanizma başı ile birlikte hareket ettiğinden dolayı mekanizma başını da model analize dahil edilmiştir.



**Şekil 4.10:** Mekanizma Gövdesi ve Mekanizma Başı Kompleksi

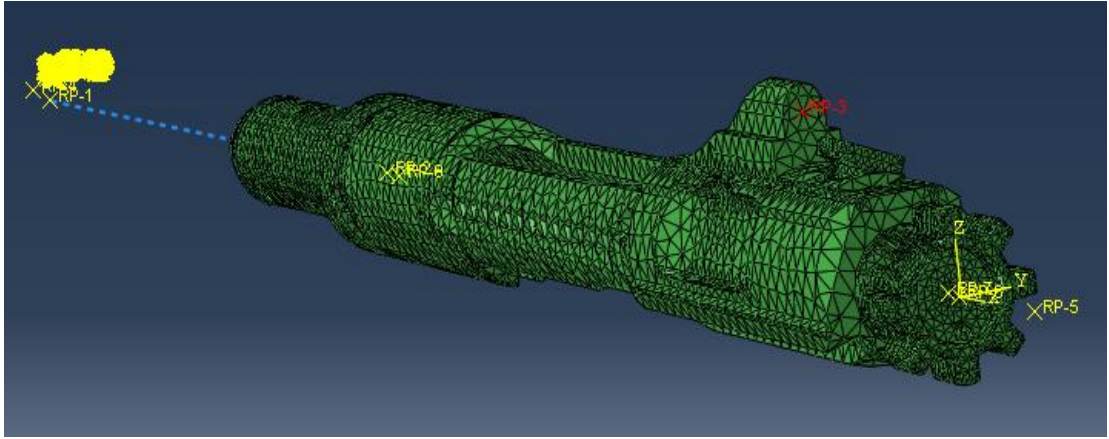
Mekanizma, gövde içerisinde hareket ederken belli bir sürtünmeye maruz kalmaktadır. Bu sürtünme silah gövde yüzeyi, dipçik yüzeyi ile mekanizma yüzeyleri



arasında olmaktadır. Bu yüzey tanımlaması yapılarak genel bir sürtünme tanımlanmıştır. Burada kinetik sürtünme katsayısını 0.05 olarak kullanılmıştır.

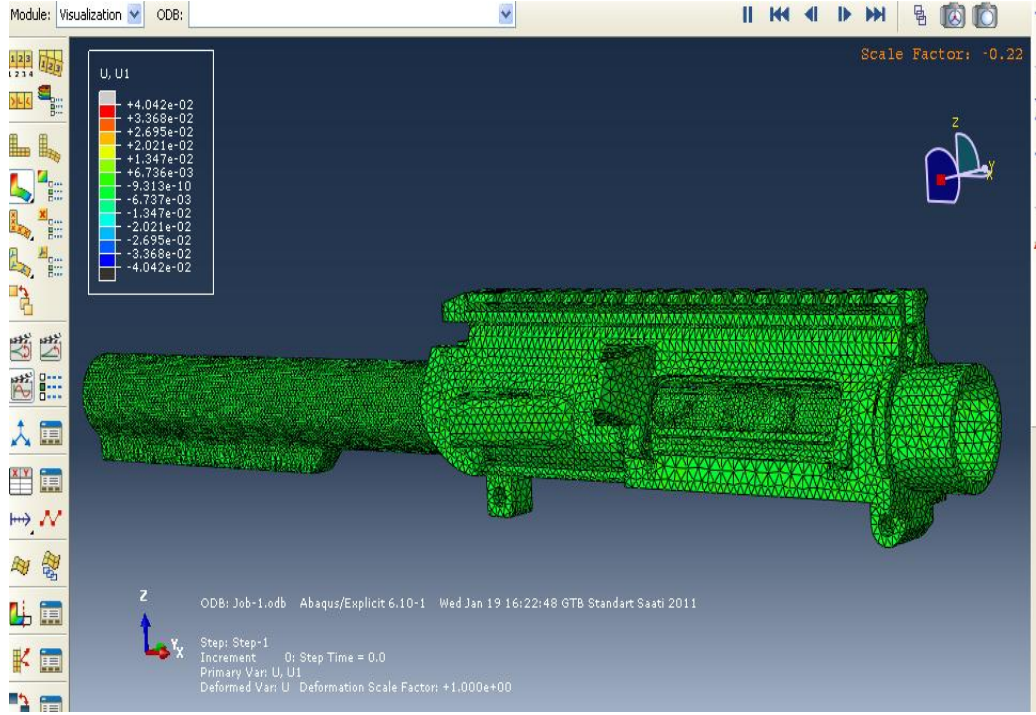
#### 4.3. Mekanizma Gövdesinin Tampon İcra Yayı İle Montaj Edilip Çözümüne Verilmesi

Mekanizma gövdesine hareket verilirken, yerine getiren yay tampon sınır şartlarını belirledikten sonra model bir bütün olarak çözüme verilmiştir.

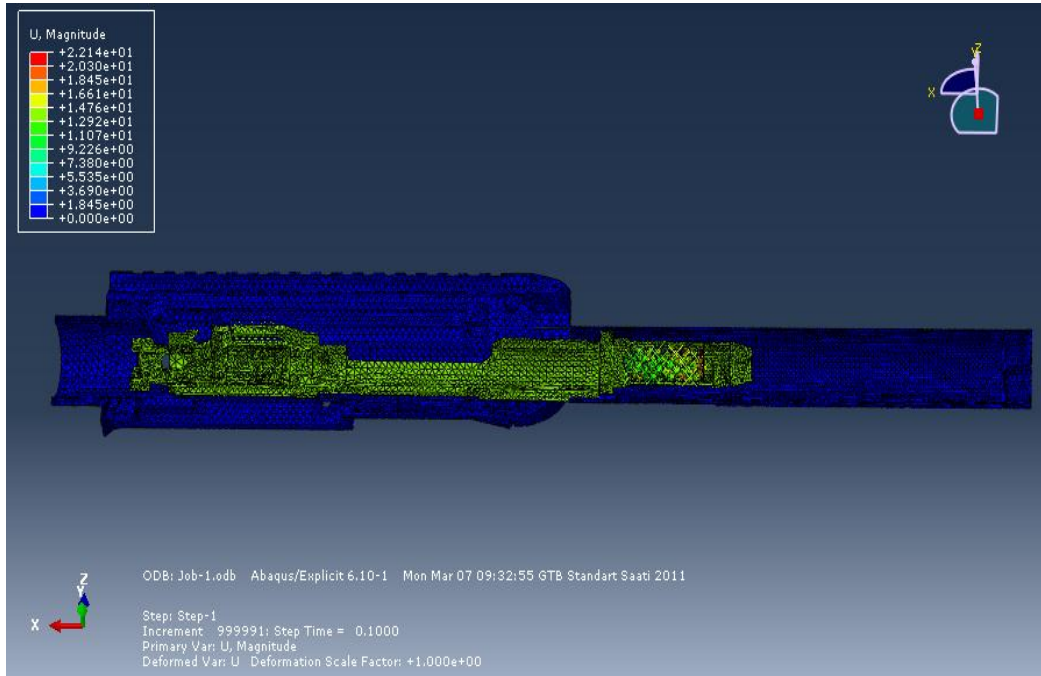


Şekil 4.11: Mekanizma Gövdesi-Tampon- Yerine Getiren Yayı SE Modeli İçin Son Hali

#### 4.4. Modelin Bir Bütün Olarak Analizi

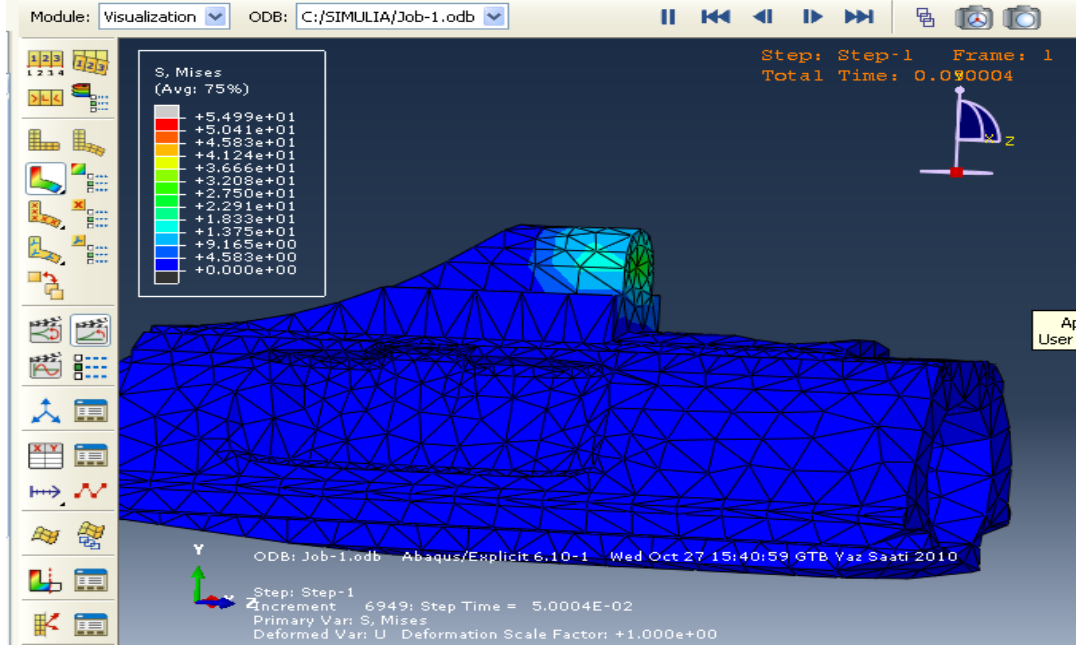


Şekil 4.12: Analiz Sonucunda Modelin Tamamı

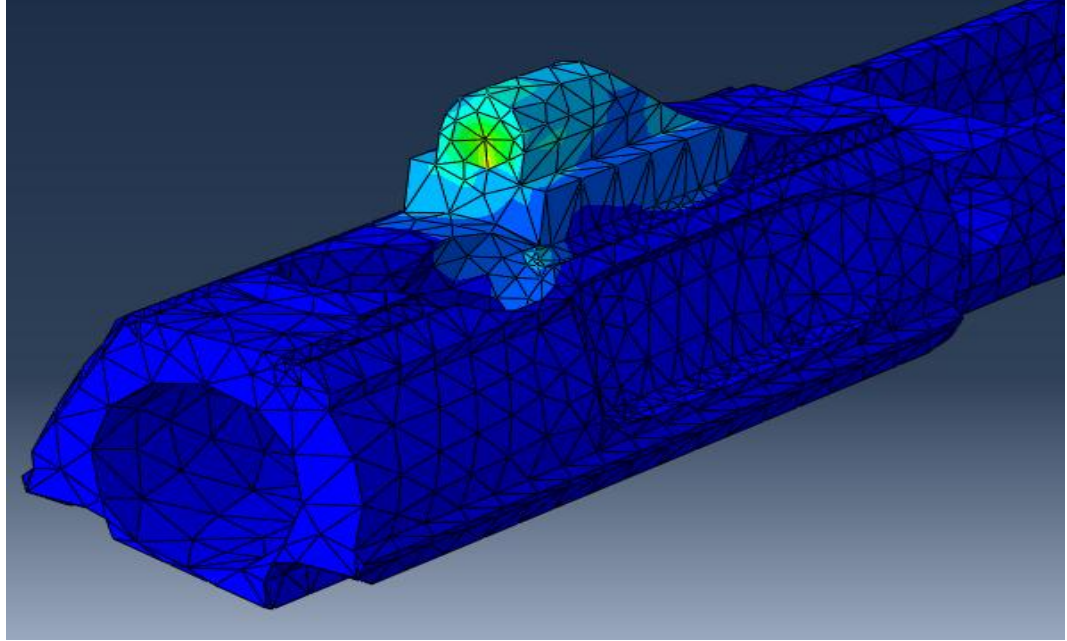


Şekil 4.13 : Analiz Sonucunda Mekanizma Gövdesinin Görünümü ve Tampon

İçindeki Granüllerin Serbest Dağılımı



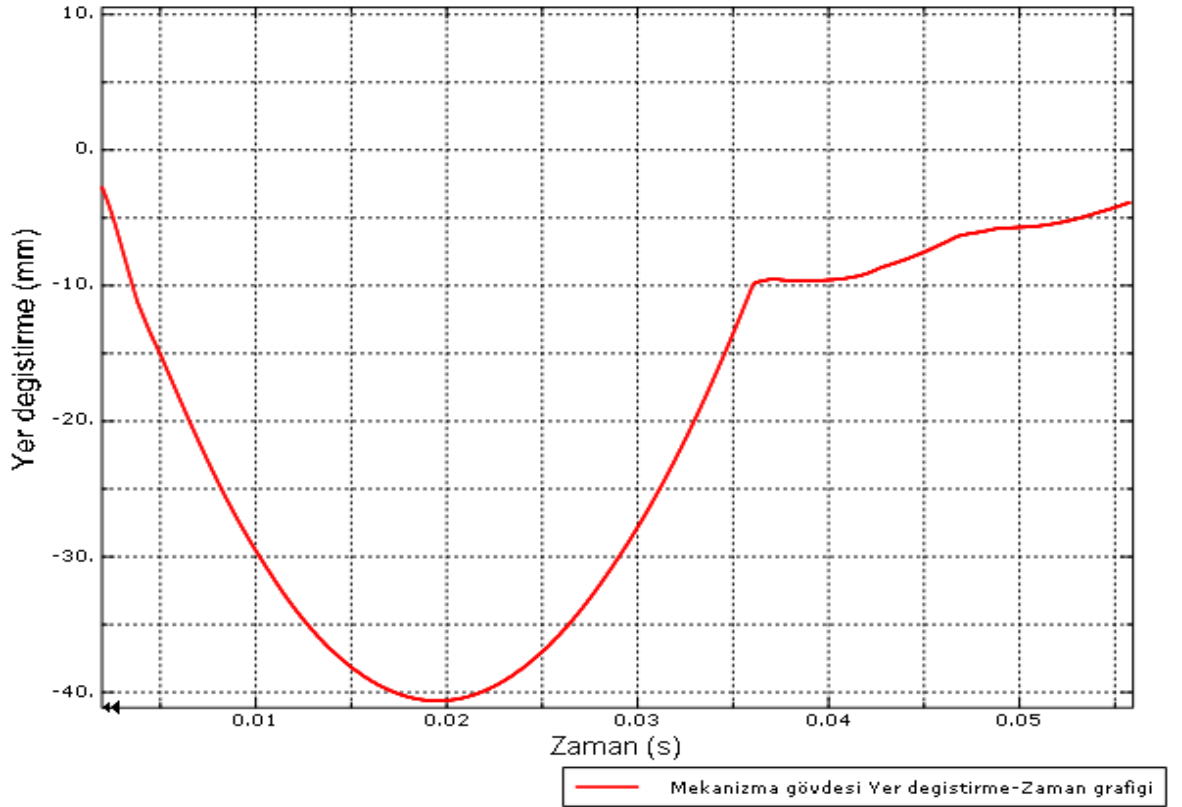
**Şekil 4.14:** Mekanizma Başına Gelen Kuvvetin Oluşturduğu Gerilme Dağılımı



**Şekil 4.15:** Mekanizma Gövdesi Başına Gelen Kuvvetin Oluşturduğu Gerilim Dağılımı Farklı Açıdan Görünümü

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

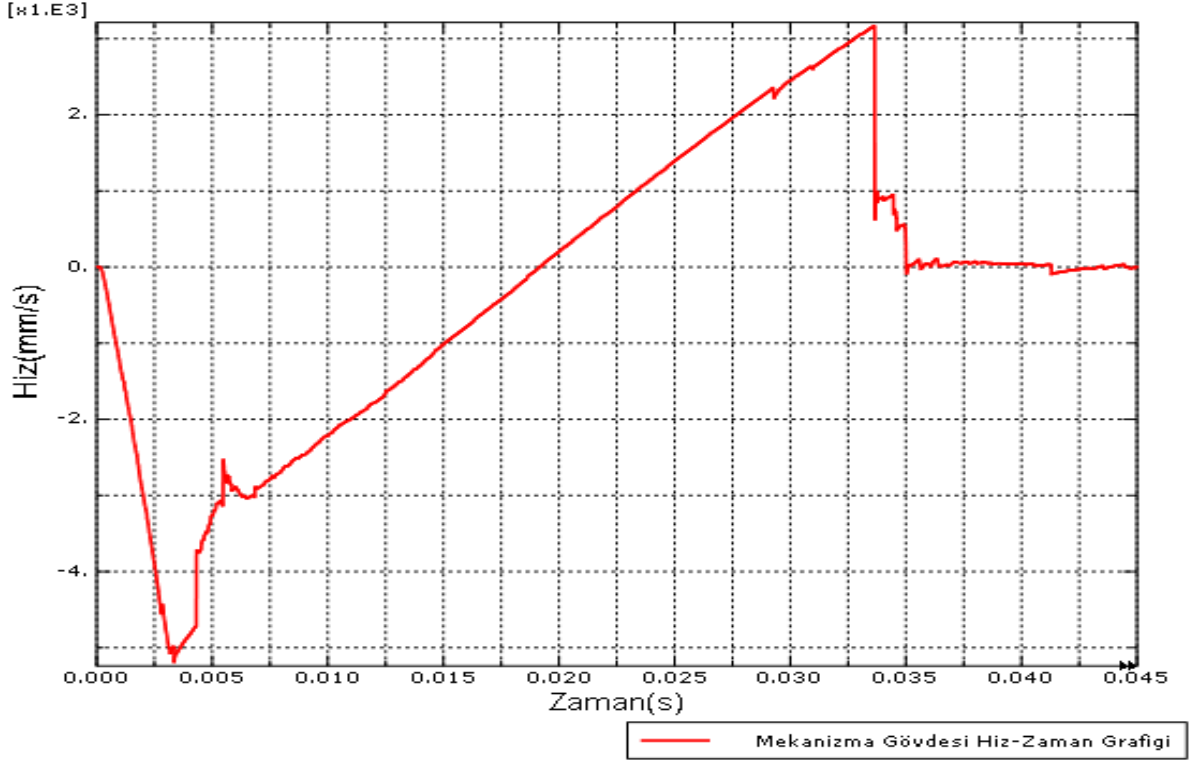
Mekanizma gövdesi Sonlu elemanlar modeline zamana bağlı yük-sınır şartı olarak uygulanarak yapılan üç boyutlu dinamik çözümlerle elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmektedir.



Şekil 5.1: Mekanizma gövdesi Yer değiştirmesinin(mm)-Zamana(s) bağlı değişimi

Şekil 5.1'de Mekanizma gövdesinin dipçik yönünde hareketi esnasında sönümleyici etki yapan ve mekanizmanın yeniden kurulmasını sağlayan yerine getiren yayın sıkışması ile mekanizma gövdesinin yer değiştirmesi görülmektedir. Burada görüldüğü gibi mekanizma gövdesi her atışta 20 ms e kadar maksimum 42 mm yer değiştirmektedir. Bu süreden itibaren yay gevşer ve mekanizma ters yönde

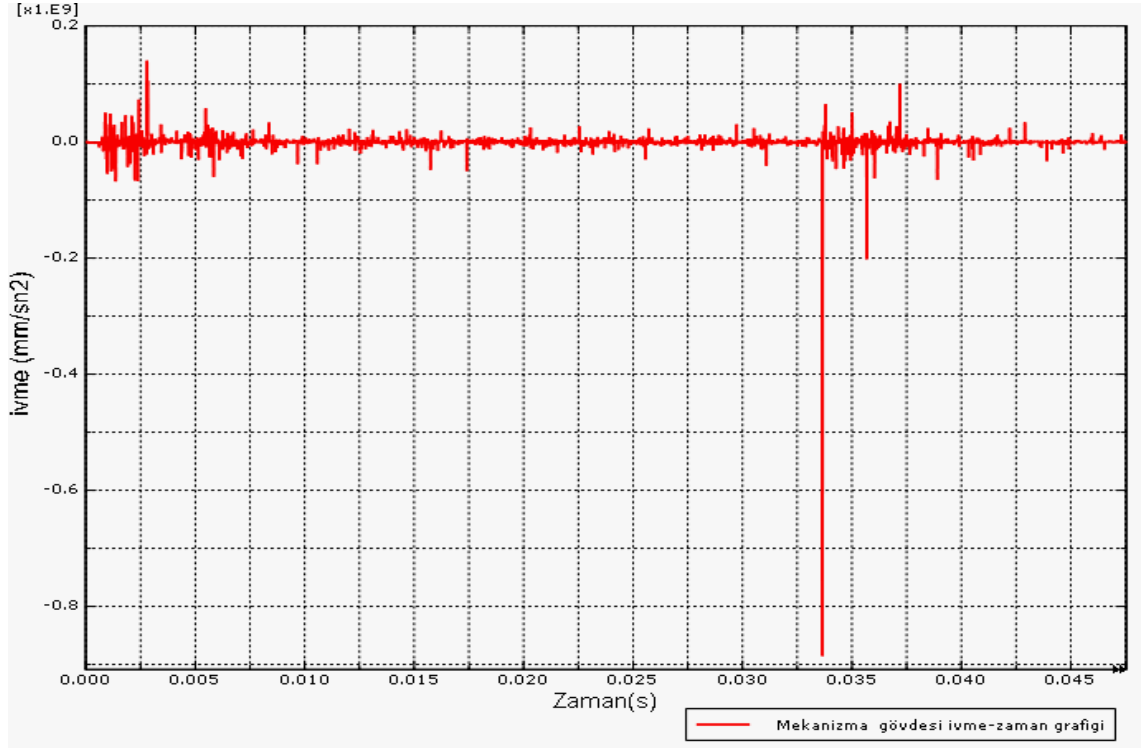
harekete geçer. 35 ms civarında mekanizma başı namlu yuvasına temas etmesi sonucu mekanizma gövdesi 56 ms 'ye kadar yaklaşık 10 mm kadar yer değiştirir.



**Şekil 5.2:** Mekanizma Hızının(mm/s) -Zamana(s) Bağlı Değişimi

Şekil 5.2 'de mekanizmanın ağırlık merkezinin yatay eksenine doğrultusundaki hızının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Hesaplanan bu hız-zaman eğrisine göre  $t=3.6$  ms sonunda mekanizma başının mekanizma gövdesi hareketine dâhil olmasıyla birlikte mekanizma gövdesinin hızı ani olarak 5.2 m/s 'den 2.87 m/s 'ye düşmektedir. Bundan sonra mekanizma ters yönde (namlu yönünde) yerine getiren yayın uyguladığı kuvvetle hızlanmaya başlar. Ancak mekanizma-mekanizma gövdesi arasındaki sürtünmeden dolayı en yüksek hızına tekrar ulaşamamaktadır. 34 ms de mekanizma başı namlu yuvasına temas ettiği anda hız ani olarak düşerek, 46 ms de mekanizma gövdesi başlangıçtaki konumuna tekrar gelmektedir.

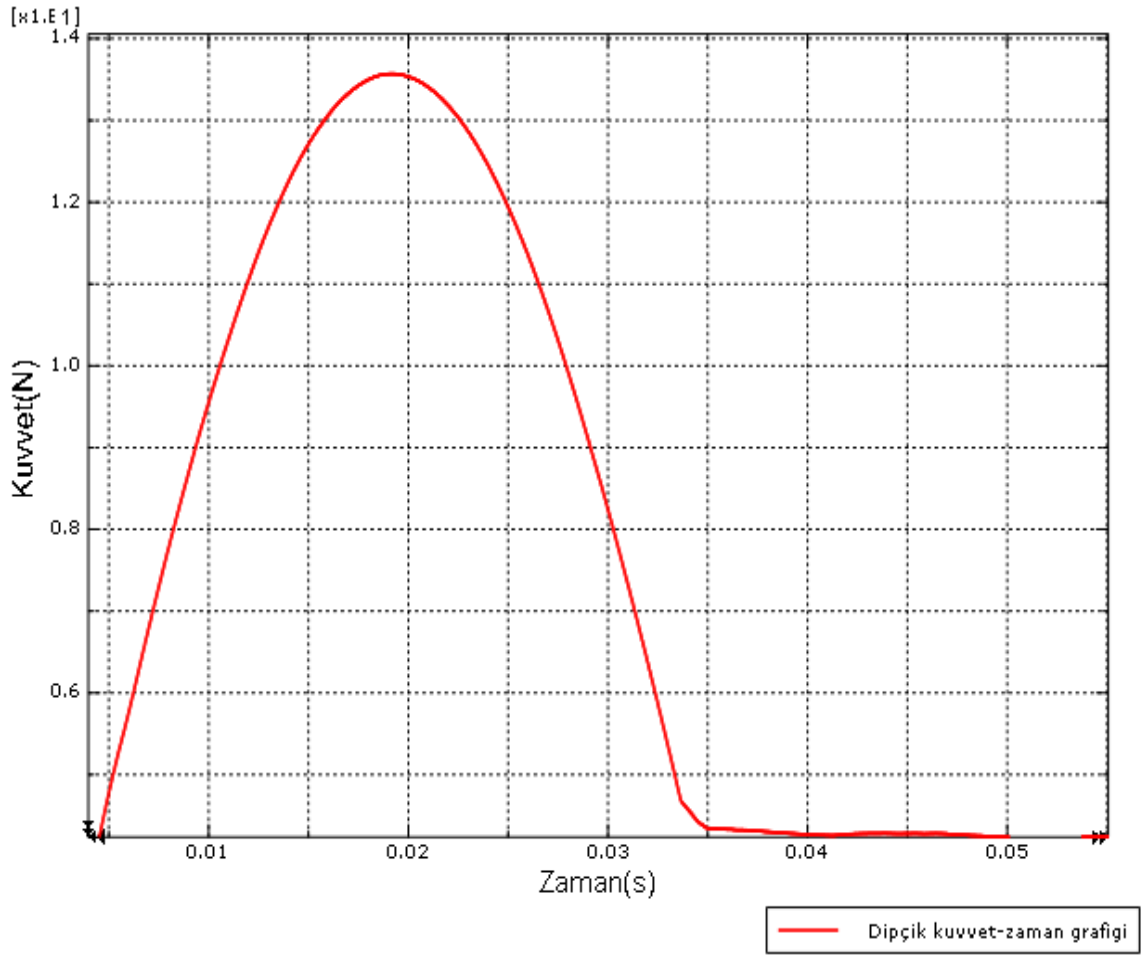
Yerine getiren yay ve tampon mekanizma gövdesiyle birlikte hareket ettiği için hız zaman grafikleri, mekanizmanın ağırlık merkezinin yatay eksenine doğrultusundaki hızının zamana bağlı değişimi ile aynıdır.



**Şekil 5.3:** Mekanizma Gövdesinin İvmesinin( $\text{mm/s}^2$ )–Zamana(s) Bağlı Değişimi

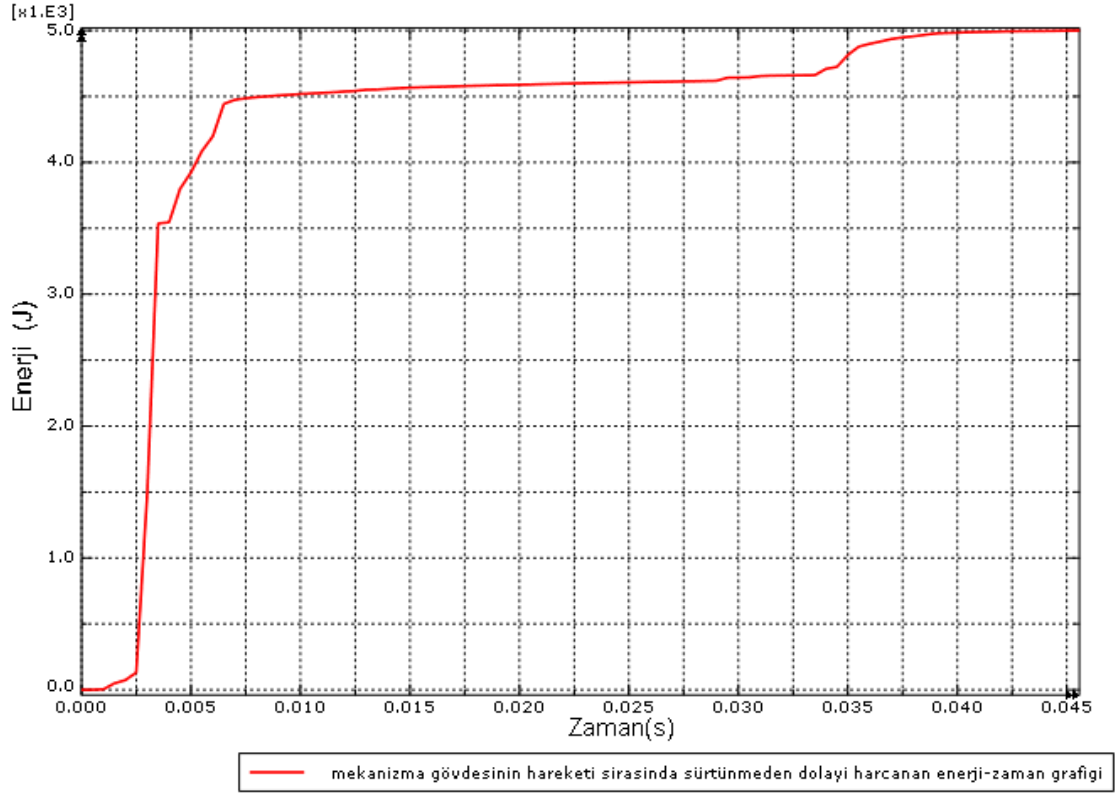
Şekil 5.3'te mekanizma gövdesi ivmesinin zamana bağlı değişimi görülmektedir.  $t=2.5$  ms sonunda mekanizma başının mekanizma gövdesi hareketine dâhil olmasıyla birlikte mekanizma gövdesinin hızındaki düşüş, ivmenin pozitif yönde dalgalanmasına sebep olmaktadır. 34 ms de mekanizma başının fişegi şarjörden alması esnasında bir kuvvetle karşılaşması sonucu ivmede ani bir düşüş olmaktadır. Yerine getiren yay ve tampon mekanizma gövdesiyle birlikte hareket ettiği için İvme-Zaman grafiği, mekanizma gövdesinin İvme–Zaman değişimi ile aynıdır.





**Şekil 5.4:** İrca yayının sıkışması sırasında dipçiğe uyguladığı Kuvvet-Zaman grafiği

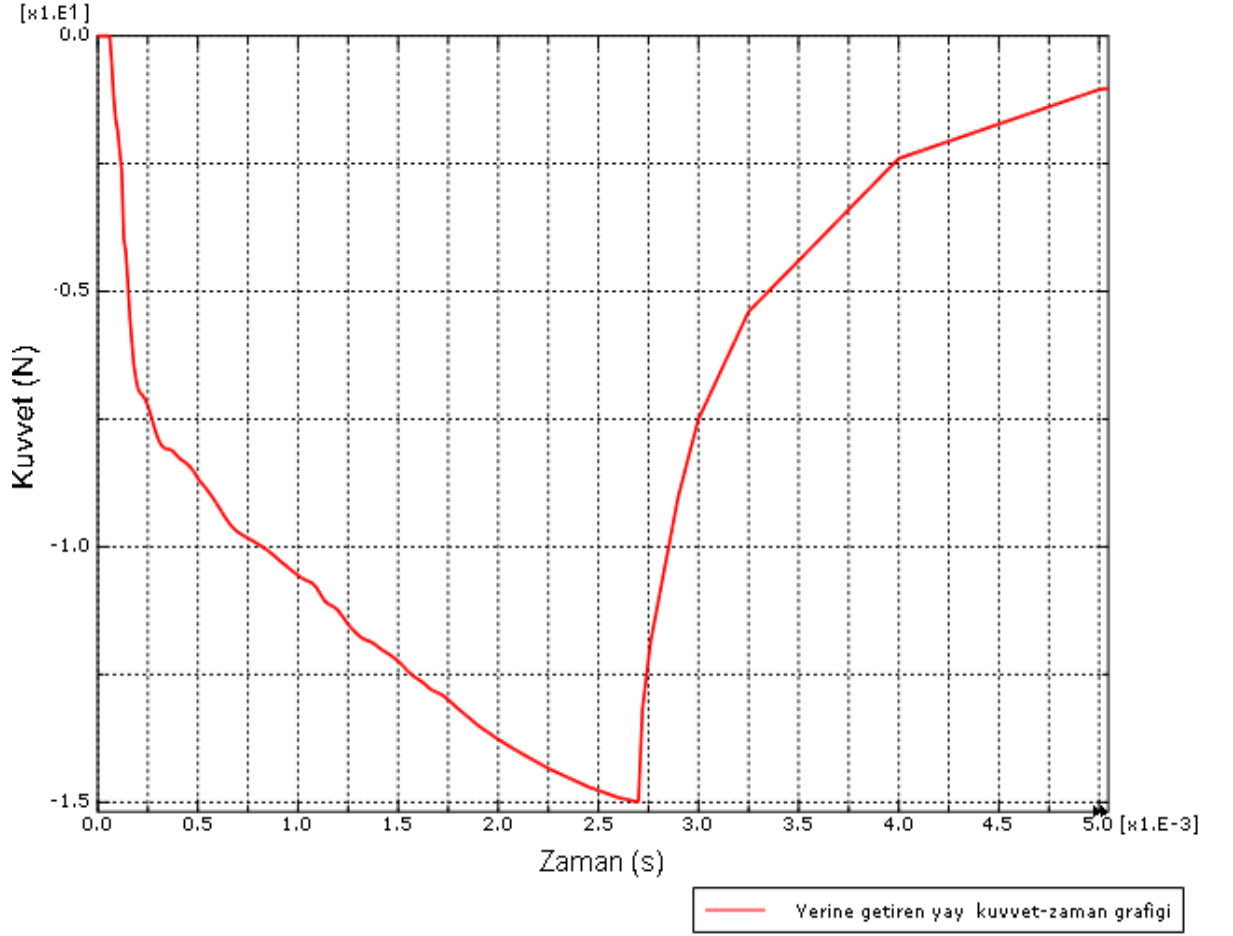
Şekil 5.4 te İrca yayının sıkışması sırasında dipçiğe uyguladığı Kuvvet-Zaman grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi tüfeğin dipçik kısmına gelen kuvvet 18 ms de 13.5 N 'luk en yüksek değerine ulaşmaktadır. Daha sonra mekanizma gövdesinin ileri doğru(namluya doğru) hareket etmesiyle dipçik üzerine gelen kuvvet azalarak yaklaşık 45 ms sonra ilk halini almış olur. Bu kuvvet zaman grafiği geri tepme kuvvetini içermemektedir.



**Şekil 5.5:** Mekanizma sürtünmeden dolayı kaybolan Enerji-Zaman grafiği.

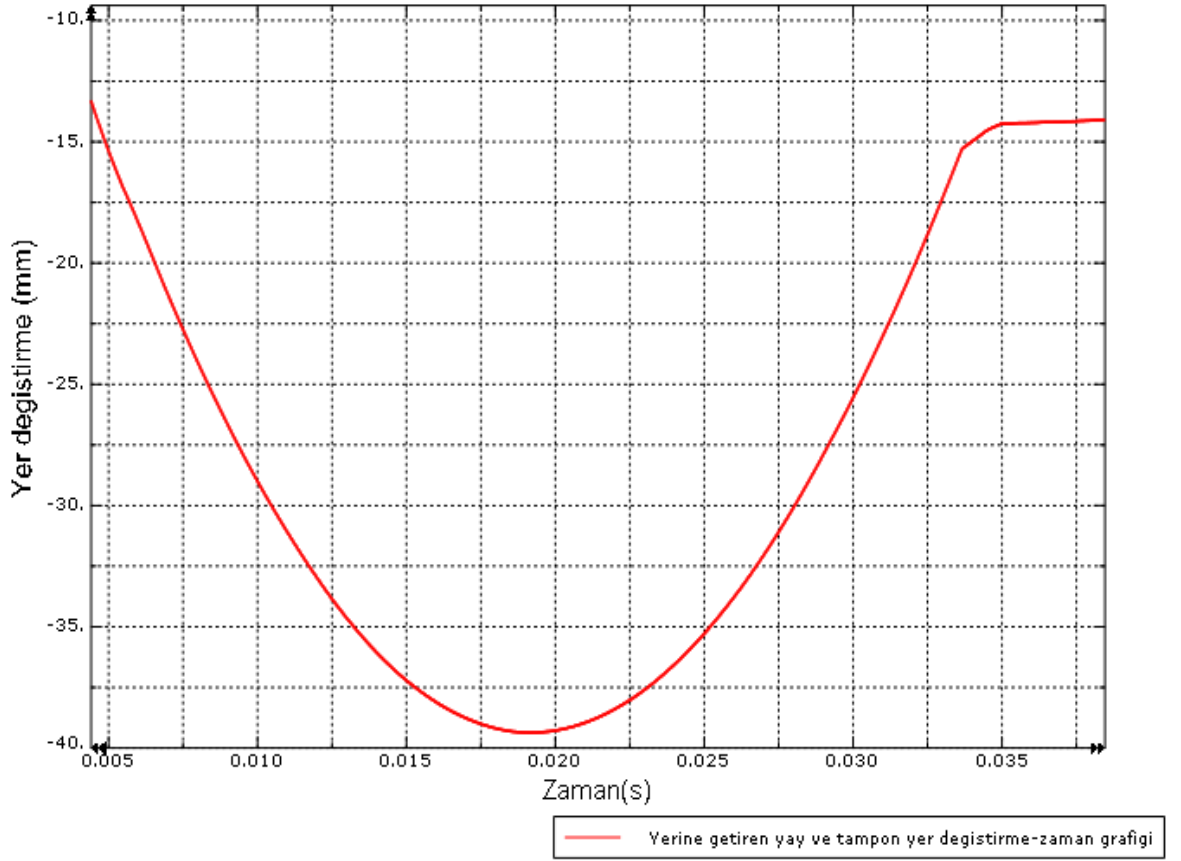
Mekanizma gövdesinin hareketi sırasında 45 ms de sürtünme, tampon ve yerine getiren yaydan gelen sönülmeyici kuvvetlerden dolayı yaklaşık 5000 joule lük bir enerji ısıya dönüşmektedir. 2.5 ms ye kadar mekanizma başı mekanizma gövdesine dahil olmadığı için bu süreye kadar enerjide fazla bir artış gözlenmemiştir. 7 ms' den sonra mekanizma hareketi kararlı hale geldiği için sürtünmeden dolayı kaybolan kinetik enerji fazla değişmemektedir.





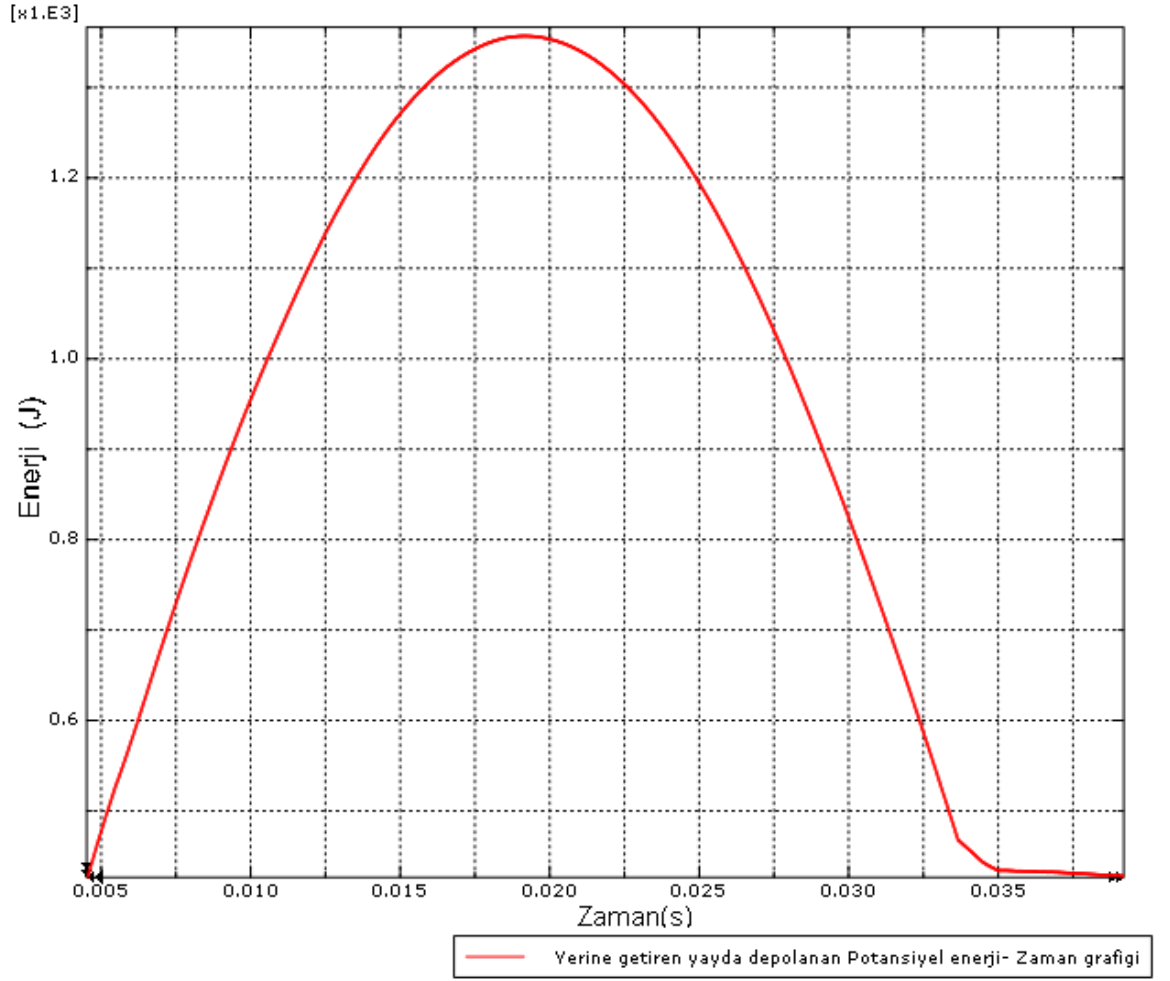
**Şekil 5.6:** Yerine getiren yaya uygulanan Kuvvet-Zaman Grafiği

Şekil 5.6' da görüldüğü gibi yerine getiren yay üzerindeki kuvvet 28 ms'de 15 N değerini alarak en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu durum aynı zamanda mekanizma hızının sıfırlanarak geri dönüş hareketine başladığı ana karşılık gelmektedir. Burada göz önünde bulundurulması gereken önemli nokta, bu kuvvet atış sırasında meydana gelen geri tepme kuvvetlerini içermemektedir. Bundan dolayı dipçik kuvveti ile icra yayı kuvvet değişimi birbirine benzemektedir.



**Şekil 5.7:** Yerine Getiren Yay ve Tampon Gövdesinin Yer Değistirme -Zamana Bağlı Değişimi

Yerine getiren yay uzunluğu 284 mm olup, dipçik içerisinde sıkıştırılarak montaj edildiğinden dolayı montaj boyu 190.4 mm'dir. Bu yüzden yer değiştirmesi ters yönden(-13 mm) başlar ve 18 ms de 40 mm yer değiştirme ile en yüksek depolama enerjisine sahip olur. Bu potansiyel enerjiyle mekanizma gövdesini namluya doğru hareket ettirir.



**Şekil 5.8:** Yerine getiren yayda depolanan Potansiyel Enerji-Zaman grafiği

Mekanizma gövdesi harekete başladığından itibaren yerine getiren yayın sıkışmasıyla 20 ms de kadar yaklaşık 1350 j luk bir potansiyel enerji depolanmaktadır. Bu depolama enerjisi mekanizma gövdesini tekrar hareket ettirdiğinde yaklaşık 40 ms de potansiyel enerji azalarak tamamen tükenir ve yay ilk halini almış olur.

## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, otomatik silah ve içindeki mekanizmanın tasarımı CATIA programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarım yapılırken kullanılan boyutlar HK-417 ve M16 (SR-25 versiyonu) piyade tüfekleri ile benzer özellikleri taşımaktadır. Sonra bu model kullanılarak mekanizma gövdesinin çalışması sırasındaki dinamik analizi ABAQUS Sonlu Elamanlar programı kullanılarak, başlangıç ve sınır şartları uygulanarak yapılmıştır.

Bu çalışmada dinamik yapılan dinamik analiz sonuçları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Bu analiz sonuçlarından mekanizma gövdesinin nasıl bir hareket yaptığını, analiz sonuçlarına bakarak mekanizmanın doğru çalışıp çalışmadığını tespit edebiliriz.
2. Yerine getiren yaya uygulanan kuvvet atış sırasında meydana gelen geri tepme kuvvetlerini içermemektedir. Bundan dolayı dipçik kuvveti ile irca yayı kuvvet değişimi birbirine benzemektedir.
3. Mekanizma gövdesinin hareketi sırasında sürtünme, tampon ve yerine getiren yaydan gelen sönmeyici kuvvetlerden dolayı yaklaşık 5000 j lük bir enerji kaybı olmaktadır.
4. Mekanizma gövdesi harekete başladığından itibaren yerine getiren yayın sıkışmasıyla 1350 j lük bir potansiyel enerji depolanmaktadır.
5. Yerine getiren yay ve tampon mekanizma gövdesiyle birlikte hareket ettiği için Hız-Zaman ve İvme-Zaman grafiği, mekanizma gövdesininkilerle aynıdır.

6. Mekanizma başının mekanizma gövdesi hareketine dâhil olmasıyla birlikte mekanizma gövdesinin hızında ani olarak bir düşüş olmaktadır. Bu düşüş ivmenin de ani olarak değişmesine sebep olmaktadır.
7. Ayrıca mekanizma başının fişegi şarjörden alması esnasında bir kuvvetle karşılaşması sonucu da ivmede ani bir değişim meydana gelmektedir.
8. Mekanizma başı namlu yuvasına temas ettiği anda hız ani olarak düşmektedir.
9. Birbirleriyle temas halinde olan hareketli parçaların boyutlarının ve boşluk toleranslarının, mekanizmanın genel çalışması üzerindeki etkileri büyük olup ve üzerinde çalışılmaya devam edilmesi gereken hususlardandır.
10. Piston kuvveti ile harekete geçen mekanizma ve tampon dipçiğe bağlı yerine getiren yayı sıkıştırarak yayın bir potansiyel enerji depolamasını sağlar. Maksimum sıkışmadan sonra bu enerjinin açığa çıkması ile beraber mekanizma gövdesi namluya doğru belli bir hızla hareket eder.

## 7. KAYNAKLAR:

- [1] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Heckler\\_%26\\_Koch\\_G36](http://tr.wikipedia.org/wiki/Heckler_%26_Koch_G36).2011 (Nisan 2011)
- [2] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Heckler\\_&\\_Koch\\_HK417](http://tr.wikipedia.org/wiki/Heckler_&_Koch_HK417) (Nisan2011)
- [3] [http://tr.wikipedia.org/wiki/FN\\_SCAR](http://tr.wikipedia.org/wiki/FN_SCAR) (Nisan2011)
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/SR-25> (Nisan2011)
- [5] Huai-Ku Sun, Yun-Tien Liu, and Cun-Gin Chen, Dynamic Analysis of a Vehicular-mounted Automatic Weapon–Planar Case, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Ta-Hsi, Tao-Yuan, Taiwan, R.O.C. Ministry of National Defense, Taipei, Taiwan, R.O.C. May 2009
- [6] NI Jin-feng, XU Cheng, HU Zhi-gang Virtual Prototype Modeling and Simulation Analysis of Machine Gun System (College of Mechanics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China) 2005
- [7] Hu Zhigang, Xu Cheng, Wang Yaping, simulation of the machine gun system dynamics considering action's impact (Mech. Eng. College, NUST, Nanjing, 210094, (2004)
- [8] V.Y. Yu, J.G. Kohl, R.A. Crapanzano, M.W. Davies, A.G. Elam, M.K. Veac, “Failure analysis of the M16 rifle bolt“, V. Department of Civil and Mechanical Engineering, United States Military Academy, West Point, NY 10996, USA (2010)
- [9] HAO Xiu-ping, BO Yu-cheng, XU Jian Journal of North University of China(Natural Science Edition) , Finite Element Stress Analysis for Gatling Gun Bolt, School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051,China (2010)
- [10] WU Hu-peng, LU Ting, ZHANG Tai-ping Journal of Gun Launch & Control Kinetic Coordination Analysis of Feeding and Ramming Mechanism of a Type

of Automatic Gun, Northwest Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Xianyang 712099, Shaanxi, China (2007)

- [11] HE Yao-xin, JIA Chang-zhi, Journal of Gun Launch & Control ,Analysis and Prevention of Self-Locking Failure for Elevating Mechanism of Field Gun, Department of Gun Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, Hebei, China (2008)
- [12] Gabor C, Gabor S. “On the periodic response of a harmonically excited dry friction oscillator”, HAS-BUTE Research Group on Dynamics of Machines and Vehicles, Department of Applied Mechanics, Budapest University of Technology and Economics, H-1521 Budapest, Hungary (2006)
- [13] Doğan Ozmen, Mustafa Kurt, Bülent Ekici and Yusuf Kaynak, ”Static, dynamic and fatigue analysis of a semi-automatic gun locking block”, Volume 16, Issue 7, October 2009, Pages 2235-2244
- [14] Ediz K, “4x4 Askeri Arazi Taşıtlarının Şasi ve Karoserlerinde Gerilme ve Titreşim Analizleri”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006
- [15] Bedir, S., “ Çift Yönlü Asansör Fren Bloklarının Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar modeli ile Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [16] Ünal, B. “Jib Portal Kren Konstrüksiyonun Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008
- [17] Gözen, C. Araba Lastiklerinin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007

- [18] Karasan, M. Perçinli Bağlantılarda Oluşan Kalıntı Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, ,ODTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007
- [19] Zienkiewicz O. C. , Taylor R. L. The Finite Element Method: Volume, Butterworth-Heinemann, Oxford. 2000
- [20] ABAQUS 6.10-1 Documentantation Dynamics analysis.(Ekim 2010)
- [21] İTÜ NOT: Abaqus Explicit pdf örnek uygulamalar.(Ekim 2010)
- [22] Demirsöz, R. 2005. Asansör Kılavuz Rayların Gerilme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Can, Ö. Kaya, A. İ. 2007, “Örneklerle ABAQUS ’e Giriş”, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.



## ÖZGEÇMİŞ

Ayhan ABAŞ 1981 yılında Ağrı da doğdu.1995 yılında Ağrı Doğubayazıt Yatılı İlk Öğretim Bölge Okulundan, 1999 Sakarya Arifiye Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. İki yıl İngilizce hazırlık dönemi ardından 2001 yılında Endüstri Mühendisliği lisans öğrenimi için gitmek üzere olduğu ABD ye 11 Eylül saldırılarından dolayı gidememiştir.2002 yılında girdiği üniversite sınavında Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. 2007 yılında mezun olup aynı yıl Elazığ il jandarma komando taburunda askerliğini kısa dönem olarak yapmıştır. Asker dönüşü 2008 yılında Milli Savunma Bakanlığı MKE Silah Fabrikası'na Ar-Ge Mühendisi olarak atanmıştır. Halen MKE Ar-Ge Departmanın da silah modellerinin geliştirilmesi, tasarım ve sonlu elemanlar metoduyla analizi konusunda çalışmaları sürdürmektedir. 2009-2010 eğitim öğretim yılında Kırıkkale Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimine başladı.