

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**PATLAYICI MADDELERİN İNCELENMESİ VE TEK  
KADEMELİ PENETRATÖR TİPİ MÜHİMMATLARIN SIĞINAK  
VE MAĞARA YAPILARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Seyhan ATEŞECELOĞLU**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı  
Savunma Teknolojileri Doktora Programı**

**İSTANBUL  
MART 2025**

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**PATLAYICI MADDELERİN İNCELENMESİ VE TEK  
KADEMELİ PENETRATÖR TİPİ MÜHİMMATLARIN SIĞINAK  
VE MAĞARA YAPILARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN  
ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Seyhan ATEŞECELOĞLU  
(181238003)  
(0009-0000-8060-0281)**

**Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı  
Savunma Teknolojileri Doktora Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

**İstanbul 2025**



T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Jüri Tez Onay Formu

24.03.2025

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Bu çalışma 24.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Savunma Teknolojileri (Doktora) Programı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

**Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU**

Danışman

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi

**Doç. Dr. Egemen SULUKAN**

Üye (İmza)

İstanbul Gedik Üniversitesi

**Prof. Dr. Nazan YALÇIN ERİK**

Üye (İmza)

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

**Doç. Dr. Melik Ziya YAKUT**

Üye (İmza)

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir**

**KARADOĞAN**

Üye (İmza)

İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi

## YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Patlayıcı Maddelerin İncelenmesi ve Tek Kademeli Penetratör Tipi Mühimmatların Sığınak ve Mağara Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Analizi” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım (14/03/2025).

Seyhan ATEŞECELOĞLU

*Yaşamımın her aşamasında destekleriyle beni güçlendiren ve bugünlere gelmemde büyük emekleri olan; Doktora sürecimde, hüznle ebediyete uğurladığım sevgili anneannem Fikriye ÇALI ve sevgili babam Cevat İŞERİ'nin aziz anılarına!..*

## ÖNSÖZ

Patlayıcı maddeler, Yunan Ateşi'nden günümüze kadar bilimsel ve teknolojik ilerlemelere paralel bir şekilde hem kimyasal bileşimleri hem de kullanım alanları bakımından önemli bir evrim geçirmiştir. Her dönemde, özellikle savaş ve savunma stratejilerinin merkezinde yer alan bu maddeler, askerî taktiklerin şekillenmesinde ve savaş alanındaki üstünlüğün sağlanmasında belirleyici bir rol oynamıştır. Bu süreç, aynı zamanda askerî mühimmatların ve savunma yapılarının tasarımını da doğrudan etkilemiştir. Özellikle son yıllarda patlayıcı maddeler ve penetratör tipi mühimmatların yer altı ve yer üstü sığınakları ile mağara yapıları üzerindeki etkileri, askerî mühendislik ve savunma teknolojilerinin kritik araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Bu alandaki stratejik gelişmeler, yeni yeni nesil mühimmatların tasarımı ve savunma yapılarının optimizasyonu açısından büyük önem taşımaktadır.

Nitekim Türkiye'nin jeopolitik ve jeostratejik konumu ile birlikte 1980'li yıllardan beri terör ve terörizm tehdidi karşısında verilen mücadele düşünüldüğünde Türkiye için bu tür araştırmaların önemi daha da artarken bölgesel güvenlik ve savunma politikalarının şekillendirilmesinde de önem arz etmektedir. Bu bağlamda, yerli ve milli sanayisinin güçlendirilmesi, bu tür mühimmat ve savunma yapıları üzerine yapılan bilimsel çalışmalarla daha ileriye taşınmaktadır. Bu nedenle, patlayıcı maddeler ve özellikle penetratör tipi mühimmatlarla ilgili olarak literatüre katkıda bulunma hedefinin yanı sıra hem bölgesel güvenlik risklerine karşı daha etkin çözümler sunmayı hem de ulusal savunma kapasitesinin geliştirilmesine katkıda bulunma hedefi doğrultusunda doktora tezinin konusu, "Patlayıcı Maddeler: Penetratör Tipi Mühimmatların Sığınak ve Mağara Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Analizi" olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışması sürecinde, danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU başta olmak üzere, Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI, Doç. Dr. Melih Ziya YAKUT, Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir KARADOĞAN ve İstanbul Gedik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün değerli akademik kadrosuna verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, doğrudan öğrencileri olmamakla birlikte bilgi ve

birikimlerinden faydalanma fırsatı bulduğum ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Nurullah Çetin, Prof. Dr. İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU, Prof. Dr. Zafer ÜSTÜNDAĞ, Prof. Dr. Aybüke İSPİR TURAN ve Prof. Dr. Nazan YALÇIN ERİK'e de şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, bana duydukları güven ve verdikleri destekle güç veren; her zaman arkamda dağ gibi duran sevgili dedem Ahmet ÇALI başta olmak üzere, annem Nimet İŞERİ, kardeşlerim Ceyhan ve Reyhan İŞERİ'ye sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Mart 2025

Seyhan ATEŞECELOĞLU

---



## İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Araştırmanın Konusu .....	1
1.2 Araştırmanın Amacı .....	1
1.3 Araştırmanın Önemi .....	2
1.4 Problem Cümlesi .....	3
1.5 Araştırmanın Soruları ve Hipotezleri .....	4
1.6 Araştırmanın Sınırlılıkları .....	5
1.7 Literatür Taraması .....	6
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>9</b>
2.1 Patlayıcı Maddeler.....	9
2.1.1 Tanım.....	9
2.1.2 Patlayıcı maddelerin tarihçesi.....	12
2.1.3 Patlayıcı maddelerin önemi .....	17
2.1.3.1 Patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyeli.....	18
2.1.3.2 Patlayıcı maddelerin yapıcı potansiyeli .....	22
2.1.4 Patlayıcı maddelerin kullanım alanları .....	24
2.1.5 Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması .....	26
2.1.5.1 Kimyasal patlayıcılar .....	36
2.1.5.2 Nükleer patlayıcılar.....	41
2.1.6 Önemli patlayıcı parametreleri .....	45
2.1.6.1 Enerji.....	45
2.1.6.2 Oksijen balansı (dengesi).....	53

2.1.6.3 Patlayıcı gücü ve güç indeksi.....	56
2.1.6.4 Detonasyon (patlama) hızı .....	63
2.1.6.5 Yoğunluk .....	65
2.1.6.6 Patlayıcı parametrelerinin karşılaştırılması .....	67
2.2 Penetratör Tipi Mühimmatlar .....	71
<b>3. MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>75</b>
3.1 TNT .....	75
3.2 ANSYS (Swanson Analysis Systems) .....	76
3.2.1 ANSYS'in temel modülleri ve özellikleri .....	77
3.2.1.1 ANSYS autodyn .....	78
3.2.1.2 ANSYS spaceclaim.....	79
3.2.2 ANSYS kullanımının avantajları ve dezavantajları.....	80
3.3 Çalışma Sahası .....	82
3.4 Yapılacak Analizler.....	82
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>84</b>
4.1 ANSYS Uygulamaları.....	84
4.1.1 Çarpma analizleri.....	84
4.1.1.1 Çarpma analizlerinde temel parametreler ve veri setleri .....	85
4.1.1.2 Çarpma analizlerine ilişkin simülasyon verileri .....	89
4.1.2 Patlama analizleri .....	126
4.1.2.1 Patlama analizlerinde temel parametreler ve veri setleri .....	126
4.1.2.2 Patlama analizlerine ilişkin simülasyon verileri .....	130
<b>5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>145</b>
5.1 Tartışma.....	145
5.2 Sonuç .....	153
5.3 Öneriler.....	155
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>158</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>164</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>185</b>

## KISALTMALAR

<b>%</b>	: Yüzde
<b>=</b>	: 'Eşittir' işareti
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>bk.</b>	: Bakınız
<b>C</b>	: Karbon
<b>Cl</b>	: Klor
<b>F</b>	: Flor
<b>H</b>	: Hidrojen
<b>N</b>	: Azot
<b>M.Ö.</b>	: Milattan Önce
<b>NG</b>	: Nitrogliserin
<b>S</b>	: Kükürt
<b>PETN</b>	: Pentaeritritol
<b>TNT</b>	: Trinitrotoluen

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No:

Çizelge 2.1: Patlayıcı Maddelerin Kimyasal Özelliklerine, Kullanım Alanlarına, Güçlerine ve Üretim Şekillerine Göre Sınıflandırılması.....	34
Çizelge 2.2: Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması .....	36
Çizelge 2.3: Bazı Patlayıcı Maddelerin Detonasyon Hızı Değerleri.....	65
Çizelge 2.4: Bazı Patlayıcı Maddelerin Yoğunluk Değerleri.....	66
Çizelge 2.5: Patlayıcı Parametrelerinin Karşılaştırılması .....	68
Çizelge 3.1: TNT'nin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri .....	75
Çizelge 4.1: Çarpma Analizindeki Materyal Çeşitlerinin Fiziksel Özellikleri .....	85
Çizelge 4.2: Mesh Özellikleri .....	86
Çizelge 4.3: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların RHT Modeli ile Dayanım Parametreleri .....	87
Çizelge 4.4: Mühimmatların Hedef Yapılara Çarpma Hızları .....	87
Çizelge 4.5: Çelik 4340'ın Johnson-Cook Dayanım Modeline Göre Davranışı ve Dayanım Parametreleri.....	88
Çizelge 4.6: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Davranış Kriterleri.....	88
Çizelge 4.7: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Kayma Gerilmesine Karşı Gösterdikleri Elastik Direnç.....	88
Çizelge 4.8: Çelik 4340 İçin Dayanıklılık ve Kayma Modülü.....	89
Çizelge 4.9: Kum İçin Kayma Modülü ve Çekme Basıncı Kırılması.....	89
Çizelge 4.10: Patlama Analizlerindeki Materyal Çeşitlerinin Fiziksel Özellikleri..	127
Çizelge 4.11: Mesh Tablosu.....	127
Çizelge 4.12: Mühimmatın Patlama Anındaki Konumu.....	127
Çizelge 4.13: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların RHT Modeli ile Dayanım Parametreleri .....	128
Çizelge 4.14: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Davranış Kriterleri.....	128

Çizelge 4.15: Çelik 4340'ın Johnson-Cook Dayanım Modeline Göre Davranışı ve Dayanım Parametreleri.....	129
Çizelge 4.16: TNT İçin JWL Verileri .....	129
Çizelge 4.17: 35 MPa ve 140 MPa Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Kayma Gerilmesine Karşı Gösterdikleri Elastik Direnç.....	129
Çizelge 4.18: Çelik 4340 İçin Dayanıklılık ve Kayma Modülü.....	130
Çizelge 5.1: Çarpma Analizlerinde Meydana Gelen Penetrasyonların Durumu .....	155
Çizelge A.1: Patlayıcı Maddelerin Tarihsel Gelişim Süreci .....	164
Çizelge A.2: Patlayıcı Maddelerin Kullanım Alanları.....	168
Çizelge A.3: Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri .....	171
Çizelge A.4: Organik ve İnorganik Patlayıcı Maddelerin Karşılaştırılması .....	178
Çizelge A.5: Aromatik ve Alifatik Patlayıcıların Karşılaştırılması .....	179
Çizelge A.6: Homoaromatik, Heteroaromatik ve Diğer Aromatik Patlayıcıların Karşılaştırılması .....	180
Çizelge A.7: Alifatik Patlayıcıların Alt Gruplarının Karşılaştırılması.....	181
Çizelge A.8: Nükleer Patlayıcıların Karşılaştırılması.....	182
Çizelge A.9: ANSYS Kullanımının Avantajları ve Dezavantajlarının Karşılaştırılması .....	183
Çizelge A.10: (Devamı): ANSYS Kullanımının Avantajları ve Dezavantajlarının Karşılaştırılması .....	184

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1: Beyrut Patlamasının Yarattığı Tahribat .....	19
Şekil 2.2: Hiroşima'ya Atılan Atom Bombası Sonucu Tahrip Olan Şehir Merkezi ..	20
Şekil 2.3: Akhavan (2004)'e Göre Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması.....	30
Şekil 2.4: Patlayıcı Maddelerin Kullanım Alanlarına ve İçeriklerine Göre Sınıflandırılması .....	31
Şekil 2.5: Enerjik Malzemelerin Sınıflandırılması .....	32
Şekil 2.6: Cooper (1996)'a Göre Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması.....	33
Şekil 2.7: Uranyum-235 Atom Çekirdeğinin Filyon Reaksiyonu .....	42
Şekil 2.8: Tritiyum ve Döteryum Atom Çekirdeklerinin Füzyon Reaksiyonu .....	43
Şekil 2.9: B61-7 Mühimmatının Tasarımı .....	72
Şekil 2.10: Tek Kademeli Penetratör Tipi Mühimmat Örneği MK-84 ve BLU-109/B .....	73
Şekil 2.11: Çift Kademeli Penetratör Tipi Mühimmat MOP (GBU-57)'un Özelliklerinin Tek Kademeli Penetratör Tipi Mühimmat BLU-109 ve GBU-28 ile Karşılaştırılması.....	74
Şekil 3.1: TNT'nin Toluen'den Sentezlenmesi.....	76
Şekil 4.1: Mesh Modeli .....	90
Şekil 4.2: Toplam Deformasyon Grafiği.....	90
Şekil 4.3: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	91
Şekil 4.4: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	91
Şekil 4.5: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	92
Şekil 4.6: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait Grafik.....	92
Şekil 4.7: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	93
Şekil 4.8: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	93
Şekil 4.9: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	94
Şekil 4.10: Mesh Modeli .....	94
Şekil 4.11: Toplam Deformasyon Grafiği.....	95
Şekil 4.12: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	95

Şekil 4.13: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	96
Şekil 4.14: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	96
Şekil 4.15: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	97
Şekil 4.16: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	97
Şekil 4.17: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	98
Şekil 4.18: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	98
Şekil 4.19: Mesh Modeli .....	99
Şekil 4.20: Toplam Deformasyon Grafiği.....	99
Şekil 4.21: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	100
Şekil 4.22: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	100
Şekil 4.23: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	101
Şekil 4.24: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait Grafik.....	101
Şekil 4.25: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	102
Şekil 4.26: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	102
Şekil 4.27: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	103
Şekil 4.28: Mesh Modeli .....	103
Şekil 4.29: Toplam Deformasyon Grafiği.....	104
Şekil 4.30: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	104
Şekil 4.31: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	105
Şekil 4.32: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	105
Şekil 4.33: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	106
Şekil 4.34: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	106
Şekil 4.35: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	107
Şekil 4.36: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	107
Şekil 4.37: Mesh Modeli .....	108
Şekil 4.38: Toplam Deformasyon Grafiği.....	108
Şekil 4.39: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	109
Şekil 4.40: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	109
Şekil 4.41: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	110
Şekil 4.42: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	110
Şekil 4.43: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	111
Şekil 4.44: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	111
Şekil 4.45: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	112
Şekil 4.46: Mesh Modeli .....	112

Şekil 4.47: Toplam Deformasyon Grafiği.....	113
Şekil 4.48: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	113
Şekil 4.49: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	114
Şekil 4.50: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	114
Şekil 4.51: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	115
Şekil 4.52: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	115
Şekil 4.53: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	116
Şekil 4.54: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	116
Şekil 4.55: Mesh Modeli .....	117
Şekil 4.56: Toplam Deformasyon Grafiği.....	117
Şekil 4.57: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	118
Şekil 4.58: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	118
Şekil 4.59: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	119
Şekil 4.60: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	119
Şekil 4.61: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	120
Şekil 4.62: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	120
Şekil 4.63: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	121
Şekil 4.64: Mesh Modeli .....	121
Şekil 4.65: Toplam Deformasyon Grafiği.....	122
Şekil 4.66: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	122
Şekil 4.67: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	123
Şekil 4.68: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	123
Şekil 4.69: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	124
Şekil 4.70: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	124
Şekil 4.71: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	125
Şekil 4.72: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	125
Şekil 4.73: Mesh Modeli .....	130
Şekil 4.74: Toplam Deformasyon Grafiği.....	131
Şekil 4.75: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	131
Şekil 4.76: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	132
Şekil 4.77: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	132
Şekil 4.78: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	133
Şekil 4.79: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	133
Şekil 4.80: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	134

Şekil 4.81: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	134
Şekil 4.82: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	135
Şekil 4.83: Mesh Modeli .....	135
Şekil 4.84: Toplam Deformasyon Grafiği.....	136
Şekil 4.85: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	136
Şekil 4.86: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik .....	137
Şekil 4.87: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	137
Şekil 4.88: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	138
Şekil 4.89: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	138
Şekil 4.90: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	139
Şekil 4.91: Mühimmatın Çelik Gövdesinde Oluşan Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	139
Şekil 4.92: Mühimmatın Çelik Gövdesinde Oluşan Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	140
Şekil 4.93: Mesh Modeli .....	140
Şekil 4.94: Toplam Deformasyon Grafiği.....	141
Şekil 4.95: Toplam Deformasyonun 3D Modeli.....	141
Şekil 4.96: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik.....	142
Şekil 4.97: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli.....	142
Şekil 4.98: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği .....	143
Şekil 4.99: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli.....	143
Şekil 4.100: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik .....	144
Şekil 4.101: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli .....	144

# PATLAYICI MADDELERİN İNCELENMESİ TEK KADEMELİ PENETRATÖR TİPİ MÜHİMMATLARIN SİĞİNAK VE MAĞARA YAPILARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ

## ÖZET

Patlayıcı maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bunların mühimmat tasarımındaki etkileri, savunma teknolojileri alanında kritik bir araştırma konusudur. Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi, bu tür yapıların tahribat mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasına ve mühimmat etkinliğinin artırılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda, farklı patlayıcı madde bileşenlerinin enerji salınım karakteristikleri incelenmiş ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatların hedef yapılar üzerindeki etkileri ANSYS yazılımı kullanılarak sayısal simülasyonlar ile analiz edilmiştir.

Araştırma, hipotetik bir yaklaşıma dayanmakta olup matematiksel hesaplamalar ve sayısal modelleme yöntemleri ile desteklenmiştir. İlk aşamada, patlayıcı maddelerin bütüncül bir sınıflandırması gerçekleştirilerek bazı patlayıcı madde türlerinin enerji salınım kapasiteleri matematiksel olarak hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise, tek kademeli penetratör tipi mühimmatın tasarımı gerçekleştirilmiş ve mühimmatın yapısal özellikleri ile çarpma hızı, hedef yapının malzeme mukavemeti, boyutları ve yapısal karakteristikleri gibi parametreler göz önünde bulundurularak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar çerçevesinde, deformasyon ve gerilme analizleri yapılarak mühimmat ile hedef yapı arasındaki etkileşimler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, mühimmat etkinliğinin yalnızca patlayıcı maddenin gücüne değil, aynı zamanda mühimmatın çarpma hızına, hedef yapının katmanlı olup olmadığına, malzeme mukavemetine ve boyutlarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, patlayıcı maddelerin tanımlanması ve sınıflandırılması ile ilgili literatürdeki mevcut eksiklikler önemli ölçüde giderilmiş ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatların hedef yapılar üzerindeki etkinliğini belirleyen bazı temel parametreler ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile mühimmat tasarım ve kullanım süreçlerine katkı sağlanırken, aynı zamanda sığınak ve mağara yapılarının bu tür mühimmatlara karşı daha dayanıklı hale getirilmesine yönelik önemli mühendislik çıkarımları sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Patlayıcı maddeler, Patlayıcı madde sınıflandırması, Penetratör tipi mühimmatlar, ANSYS, Sayısal simülasyon.*

# **STUDY OF EXPLOSIVE MATERIALS AND ANALYSIS OF THE EFFECTS OF SINGLE – STAGE PENETRATOR-TYPE MUNITIONS ON BUNKER AND CAVE STRUCTURES**

## **ABSTRACT**

The physical and chemical properties of explosive materials and their impact on munition design constitute a critical research topic in defense technologies. The investigation of the effects of single-stage penetrator-type munitions on bunker and cave structures contributes to a better understanding of the destruction mechanisms of such structures and the development of strategies to enhance munition effectiveness. In this context, the energy release characteristics of different explosive material components have been examined, and the effects of single-stage penetrator-type munitions on target structures have been analyzed through numerical simulations using ANSYS software.

The study adopts a hypothetical approach, supported by mathematical calculations and numerical modeling methods. In the first stage, a comprehensive classification of explosive materials was conducted, and the energy release capacities of certain types of explosives were mathematically calculated. In the second stage, the design of a single-stage penetrator-type munition was carried out, considering its structural properties, impact velocity, target material strength, dimensions, and structural characteristics to create various scenarios. Within these scenarios, deformation and stress analyses were performed to examine the interactions between the munition and the target structure in detail. The findings reveal that munition effectiveness depends not only on the explosive material's power but also on impact velocity, the layering of the target structure, material strength, and dimensions.

In conclusion, this study significantly addresses existing gaps in the literature regarding the identification and classification of explosive materials and establishes key parameters that determine the effectiveness of single-stage penetrator-type munitions on target structures. While contributing to munition design and operational processes, this research also provides valuable engineering insights into enhancing the resilience of bunker and cave structures against such munitions.

**Keywords:** *Explosive materials, Explosive material classification, Penetrator-type munitions, ANSYS, Numerical simulation.*

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Araştırmanın Konusu

Dünya tarihi boyunca, hem yıkıcı hem de yapıcı amaçlarla kullanılarak medeniyetlerin şekillenmesinde kritik roller üstlenen patlayıcı maddeler, bilimsel ve teknolojik ilerlemelerle birlikte günümüzde çok daha geniş bir kullanım yelpazesi kazanmış ve askerî ile endüstriyel alanlarda sofistike uygulamalara olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, patlayıcı maddeler, kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar yoluyla büyük enerji salınımı sağlayarak, başta askerî alan olmak üzere inşaat, madencilik, uzay ve havacılık, sağlık ve kültürel etkinlikler gibi pek çok sektörde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Patlayıcı maddelerin incelenmesi ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatların, sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi, bu araştırmanın temel konusunu oluşturmaktadır.

## 1.2 Araştırmanın Amacı

Araştırmanın temel amacı, patlayıcı maddelerin kapsamlı bir tanımını yaparak, bu maddelerin sınıflandırılmasını geliştirmenin yanı sıra, penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemektir. Bu doğrultuda, sığınak ve mağara yapılarının savunma kapasitesini aşmayı hedefleyen tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliği, tasarım özellikleri ve etki mekanizmalarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi öngörülmektedir. Ayrıca, patlayıcı mühimmatların hedef yapılar üzerindeki yapısal tahribatını daha iyi anlamaya ve açıklamaya yönelik bir model geliştirilmesi ve mühimmat tasarımında yapılabilecek iyileştirmelere yönelik somut öneriler sunulması planlanmaktadır.

Araştırma, hem patlayıcı maddeler hem de tek kademeli penetratör tipi mühimmatlarla ilgili mevcut literatürdeki önemli boşlukları doldurmayı hedefleyerek, patlayıcı maddeler için sistematik ve bütüncül bir sınıflandırma önerisi

sunmanın yanı sıra, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliğini artırmaya yönelik mühendislik ve savunma stratejileri geliştirilmesi çalışmanın ana hedefleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, yalnızca akademik bir perspektifle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda askerî uygulamalar ve mühendislik disiplinleri açısından da önemli katkılar sağlamayı amaçlayan çalışma, patlayıcı maddelerin ve mühimmatların daha etkili, verimli ve kontrollü kullanımına dair bilimsel temellerin oluşturulmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

### **1.3 Araştırmanın Önemi**

Patlayıcı maddeler, tarihsel süreç içerisinde askerî operasyonlar ve savunma stratejilerinde olduğu gibi endüstriyel uygulamalarda da geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Patlayıcı maddeler alanındaki çalışmalar, farklı disiplinlerce ele alındığı için bütüncül bir yaklaşımdan ziyade her disiplinin kendi bakış açısı ve yaklaşımı çerçevesinde değerlendirildiği için disiplinler arası çalışmalarda yer yer kopukluklar ve anlam karmaşıklıkları yaşanmaktadır. Bu durum, hem bir maddenin patlayıcı madde olarak tanımlanması hem de söz konusu maddelerin sınıflandırılması hususunda literatürde önemli eksiklikler bulunmasına yol açtığından bu alanda yapılan çalışmaların daha entegre bir yaklaşımla ele alınması büyük önem taşımaktadır.

Nitekim Modern savunma ve askerî teknolojilerin gelişimi, patlayıcı maddeler ve mühimmatların etkilerinin daha derinlemesine incelenmesini gerekli kılmıştır. Özellikle sığınak ve mağara gibi korunaklı yapıların tek kademeli penetratör tipi (yer altı ve yer üstü yapıların tahribi ve imhasında kullanılan nüfuz edici) mühimmatlara karşı dayanıklılığı ve bu yapılara verilen zararın boyutlarının belirlenmesi, savunma stratejilerinin optimize edilmesi ve yeni mühimmat tasarımlarının geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu tür mühimmatlara maruz kalan yapıların mukavemetinin ve hasar derecesinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, savunma ve saldırı alanında stratejik kararların alınmasına ve mühendislik çalışmalarına yön vermektedir. Aynı zamanda bu analizler, yeni geliştirilen mühimmatların test edilmesi ve etkinliğinin değerlendirilmesi için de temel oluşturmaktadır.

Askerî operasyonlar ve savunma stratejileri açısından kritik önem taşıyan patlayıcı maddeler ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatların, sığınak ve mağara

yapıları üzerindeki fiziksel etkilerinin analizi, bu alandaki mevcut literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu tür mühimmatlara ilişkin bilgilerin çoğunlukla gizli ve erişilebilirliğin sınırlı olması, konuya dair akademik çalışmaların kısıtlı kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, patlayıcı maddeler ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerinin bilimsel olarak incelenmesi, hem askerî hem de akademik açıdan çok değerlidir. Bu araştırma, söz konusu mühimmatların fiziki yapılara etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlarken, aynı zamanda savunma ve saldırı stratejilerinin geliştirilmesine de önemli katkılar sunmaktadır.

Özetle, bu araştırma, askerî mühendislik, malzeme bilimi, savunma ve saldırı stratejileri alanında çok yönlü bir bilgi kaynağı olma potansiyeli açısından önemlidir. Bu önem, gelecekte yeni mühimmatların geliştirilmesi ve yeni savunma sistemlerinin inşasında kritik bilgiler sunmaktadır. Bunun yanı sıra, farklı disiplinlerin bir araya getirilerek yapılacak çalışmalar, bu alandaki anlam karmaşıklıklarının giderilmesine ve daha kapsamlı bir bilgi birikiminin oluşmasına da katkı sağlamaktadır.

#### **1.4 Problem Cümlesi**

Bu araştırmanın temel problemi, patlayıcı maddelerin bütüncül bir sınıflandırmasının eksikliği ve tek kademeli penetratör tipi mühimmat sistemleri hakkında yeterli bilginin bulunmamasıdır. Literatürde patlayıcı maddelerin sınıflandırılması üzerine önemli çalışmalar yapılmış olmasına karşın, kimyasal ve nükleer patlayıcıları bir arada ele alan kapsamlı ve bütüncül bir sınıflandırma henüz geliştirilmemiştir. Ayrıca, yüzeysel güçlendirilmiş yapılar ve zırh delici teknolojiler üzerine geniş çaplı araştırmalar bulunmasına rağmen, sığınak ve mağara gibi yapılar üzerindeki etkiler yeterince derinlemesine incelenmemiştir. Mevcut modeller ve simülasyonlar, bu yapıların heterojen özelliklerini tam anlamıyla yansıtabilecek düzeyde yeterli değildir. Bu tür yapılar, malzeme türü, geometrik yapı ve derinlik gibi çok çeşitli parametreler açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara gibi yapıları hangi koşullarda ve nasıl tahrip ettiği konusunda mevcut bilgi eksiklikleri, önemli belirsizliklere ve analiz zorluklarına yol açmaktadır.

## 1.5 Araştırmanın Soruları ve Hipotezleri

Araştırmanın temel sorusu, “Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların patlayıcı madde içeriği ve fiziksel özelliklerinin sığınak ve mağara yapılarındaki tahribat düzeyine etkisi nedir?” şeklinde belirlenmiştir. Bu kapsamda, araştırmanın  $H_0$  hipotezi şu şekilde formüle edilmiştir: “Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların patlayıcı madde içeriği ve fiziksel özellikleri, sığınak ve mağara yapılarındaki tahribat düzeyini anlamlı bir şekilde etkilemez.” Buna karşılık,  $H_1$  hipotezi (iddia hipotezi) şu şekilde ifade edilmiştir: “Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların patlayıcı madde içeriği ve fiziksel özellikleri, sığınak ve mağara yapılarındaki tahribat düzeyini önemli ölçüde etkilemektedir.”

Ayrıca, patlayıcı madde türlerinin enerji salınım özelliklerinin ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliğini daha ayrıntılı bir şekilde ele almak amacıyla temel araştırma sorusunun haricinde çalışma kapsamında iki alt araştırma sorusu belirlenmiştir. Bu doğrultuda belirlenen araştırma soruları ve bu sorulara yönelik geliştirilen alternatif hipotezler şu şekilde ifade edilmiştir:

**Araştırma Sorusu 1:** Patlayıcı madde türlerinin patlama reaksiyonları sonucunda açığa çıkan enerji miktarları arasında nasıl bir değişkenlik söz konusudur?

- **$H_0$ :** Patlayıcı madde türlerinin patlama reaksiyonları sonucunda açığa çıkan enerji miktarları arasında anlamlı bir fark yoktur.
- **$H_1$ :** Patlayıcı madde türlerinin patlama reaksiyonları sonucunda açığa çıkan enerji miktarları arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ve bu fark, patlayıcı maddenin kimyasal bileşimine ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

**Araştırma Sorusu 2:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliği, hedef yapıların boyutları, katmanlı olup olmadıkları, malzeme özellikleri ve kalınlıkları gibi yapısal faktörlerin yanı sıra, mühimmatın çarpma hızına bağlı olarak nasıl bir değişkenlik göstermektedir?

- **$H_0$ :** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliği, hedef yapıların boyutları, katmanlı olup olmadıkları, malzeme özellikleri ve kalınlıkları gibi yapısal faktörlerin yanı sıra, mühimmatın çarpma hızına bağlı olarak da herhangi bir değişkenlik göstermez.

- **H<sub>1</sub>**: Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliği, hedef yapıların boyutları, katmanlı olup olmadıkları, malzeme özellikleri ve kalınlıkları gibi yapısal faktörlerin yanı sıra, mühimmatın çarpma hızına bağlı olarak önemli derecede değişkenlik göstermektedir.

Bu araştırma soruları ve hipotezler çerçevesinde yürütülecek çalışma, patlayıcı madde bileşenleri ile mühimmat tasarım parametrelerinin sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerini daha iyi anlamaya yönelik bilimsel bir temel oluşturmaktadır. Dolayısıyla araştırma sonucunda elde edilen bulgular, mühimmatların etkinliğinin artırılmasına ve hedef yapıların direnç mekanizmalarının geliştirilmesine yönelik stratejik yaklaşımlar sunarak, hem savunma teknolojileri alanına hem de mühendislik disiplinlerine önemli bilimsel ve teknolojik katkılar sağlaması açısından büyük önem taşımaktadır.

### **1.6 Araştırmanın Sınırlılıkları**

Bu araştırma, patlayıcı maddelerin kapsamlı bir şekilde incelenerek sınıflandırılmasının ardından, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerinin analizine odaklandığından araştırma belirli sınırlılıklar çerçevesinde yürütülmektedir. Bu sınırlılıklar, çalışmanın daha odaklı ve derinlemesine bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla belirlenmiştir.

Araştırmanın temel sınırlılıklarından biri, yalnızca tek kademeli penetratör tipi mühimmatlarda patlayıcı eleman olarak TNT (Trinitrotoluen) kullanılmasıdır. Diğer patlayıcı türleri bu araştırmanın kapsamına dâhil edilmemiştir. Bu tercih, tüm patlayıcı maddelerin bir TNT eşdeğerliliğinin olmasından kaynaklanmakta olup, araştırmanın daha sınırlı bir alanda derinlemesine yapılmasına olanak sağlamakta ve elde edilen sonuçların daha spesifik ve hedefe yönelik olmasına katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, araştırma kapsamında tek kademeli penetratör tipi mühimmatların yer altı yapıları olan sığınak ve mağara üzerindeki etkileri incelendiğinden bu yapıların dayanımının 35 MPa veya 145 MPa olduğu varsayılmış ve bu dayanımlardaki beton malzemedan inşa edildikleri kabul edilmiştir. Söz konusu bu yapıların üzerinde kum tabakasının bulunup bulunmaması gibi farklı senaryolar da analiz edildiğinden diğer malzeme ve yapı türleri bu araştırmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Belirtilen sınırlılıklar, araştırmanın kapsam ve amacı doğrultusunda daha

odaklı ve derinlemesine bir inceleme yapılabilmesi için bilinçli olarak seçilmiştir. Bu şekilde elde edilen bulgular, ilgili alanlarda daha özgün ve hedefe yönelik katkılar sunarak akademik literatüre anlamlı bir değer katmaktadır.

### 1.7 Literatür Taraması

Antik Çağ'dan itibaren yalnızca askerî alanda değil, aynı zamanda medeniyetlerin siyasal, ekonomik ve sosyal yapılarında derin dönüşümlere neden olan patlayıcı maddeler, insanlık tarihinin önemli dönüm noktalarından birini teşkil etmektedir. Bu bağlamda, geleneksel patlayıcı maddeler, geçmişte medeniyetlerin gelişiminde ve güç dengelerinin şekillenmesinde kritik bir rol oynarken, günümüzde modern patlayıcı maddeler benzer şekilde bu etkileri sürdürmekte ve teknolojik gelişmelerle birlikte bu alanlardaki etkilerini daha da derinleştirmektedir.

Patlayıcı maddelerle ilgili literatürdeki çalışmalar, bu maddelerin sınıflandırılması, üretimi, kullanımı ve güvenliği gibi temel konulara odaklanarak alandaki bilgi ve birikimi derinleştiren önemli bulgular sunmaktadır. Bu bağlamda, patlayıcı maddelerin tanımlanması ve sınıflandırılması, güvenli kullanım açısından kritik bir rol oynamakta olup, modern dönemde farklı formülasyonlarının geliştirildiği gözlemlenmiştir. Literatürde, bir molekülün patlayıcı özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkiye yönelik sistematik ilk yaklaşım, van't Hoff tarafından ortaya konmuştur (Brunswing, 1909, s.17). Bu girişimin ardından, 20. yüzyılın ortalarına doğru Lothrop ve Handrick (1948), Plets (1953) gibi bilim insanları çeşitli patlayıcı madde sınıflandırmaları geliştirmiş ve özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren ise Cooper (1996), Akhavan (2004), Agrawal (2010) ve Klapötke (2017) gibi araştırmacıların çalışmaları bu alandaki literatürü zenginleştirmiştir. Ulusal literatürde ise Öz (2010) tarafından yapılan çalışma, patlayıcı maddeler ve sınıflandırma üzerine önemli katkılar sunmuştur. Bununla birlikte, mevcut sınıflandırmalar genellikle kimyasal patlayıcı maddeleri kapsamakta olup, literatürde üzerinde uzlaşılmış bir patlayıcı madde tanımı ve bütüncül bir sınıflandırma sistemine de pek rastlanılmamaktadır.

Ayrıca patlayıcı maddelerin enerji salınımı, reaktivite, termal stabilite ve patlama hızları gibi kimyasal özelliklerinin yanı sıra, partikül boyutu, yoğunluk ve ısı iletkenliği gibi fiziksel özelliklerini kapsayan çalışmalar da literatürde önemli yer tutmaktadır. Özellikle kimyasal bileşiklerin patlayıcı özelliklerinin anlaşılmasına

yönelik araştırmalar, genellikle bu maddelerin moleküler yapıları ve reaksiyon hızlarına odaklanmaktadır. Bu alandaki önemli çalışmalardan biri, Fransız kimyagerler Berthelot ve Vieile tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, patlayıcı maddelerin detonasyon hızının ilk ölçümleri, Boulenge kronografı kullanılarak yapılmış ve patlayıcıların dinamik davranışlarının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuştur.

Son yıllarda, özellikle madencilik, inşaat ve arama – kurtarma gibi alanlarda patlayıcı maddelerin kontrollü kullanımına yönelik araştırmalar büyük önem kazanmış ve bu maddelerin çevresel etkilerini minimize etmeye yönelik çalışmalar da artmıştır. Bununla birlikte, sivil patlayıcıların yanı sıra askerî patlayıcıların üretimi, kullanımı ve bozunmasının çevresel etkilerinin incelenmesi ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik araştırmalar da son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Bu bağlamda, literatürde Gould (1981), Juhasz ve Naidu (2007), Kılıç ve Kahraman (2016), Galante (2018), Mokalapa (2022), Mmolai (2023) gibi birçok araştırmacının çalışmalarına rastlanılmaktadır. Bu çalışmalar, patlayıcı maddelerin daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Öte yandan, İkinci Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından başlatılan Manhattan Projesi'nin başarıyla tamamlanmasının ardından, Japonya'nın Hiroşima ve Nagazaki kentlerine atılan atom bombalarının yarattığı tahribat, nükleer çalışmaların hız kazanmasına neden olmuş, buna paralel olarak nükleer patlayıcıların yol açtığı yıkımları inceleyen araştırmalarda da büyük bir ivme sağlanmıştır. Nükleer patlayıcıların etkilerinin ve kullanımının kontrol altına alınması, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde sıkı düzenlemeler ve denetimlerle sağlanmaktadır. Bu alanda yapılan araştırmalar, nükleer patlamaların çevresel ve insani etkilerini minimize etmeye ve nükleer teknolojilerin barışçıl amaçlarla kullanılmasına yönelik stratejiler geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu bağlamda, Swahn (1992), Siracusa (2008) ve Lewis (2008) gibi araştırmacıların çalışmaları, literatürde bu konuda önemli bir yer tutmaktadır.

Bilimsel ve teknolojik ilerlemeler doğrultusunda, nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen patlayıcı araştırmaları son yıllarda literatürde giderek daha fazla yer almaya başlamış olup, bu alandaki çalışmalar özellikle patlayıcı maddelerin enerji salınımı, kararlılığı ve hassasiyeti üzerinde daha yüksek düzeyde kontrol

sağlanabilmesine, daha güçlü ve verimli patlayıcılar geliştirilmesine odaklanmaktadır. Literatürde, Yan-fei, Jiang, Hao ve Shi-li (2009), Comet, Martin, Klamünzer, Schnell ve Spitzer (2015), Kumar, Siril ve Soni (2015), Comet, Martin, Schnell ve Spitzer (2019) gibi araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, nano yapılı malzemelerin savunma sistemlerine entegrasyonu ile ilgili önemli bulgular ortaya koymakta olup, aynı zamanda nanoteknolojinin patlayıcı maddelerin tasarımı, enerji yoğunluğu ve performans verimliliğinin artırılmasındaki potansiyelini vurgulamaktadır.

Patlayıcı maddelerin metallerin kaynatılması ve şekillendirilmesi gibi işlemlerde kullanılması, özellikle uzay ve havacılık alanlarında önemli bir yer tutmakta olup patlayıcıların metal işleme ve form verme teknolojilerindeki rolü, yüksek verimlilik ve hassasiyet gerektiren uygulamalarda büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, literatüre Kahraman ve Gülenç (2009), Gülcan ve Gemalmayan (2011a ve 2011b), Gülcan (2012), Szalay, Mamalis ve Zador (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar önemli katkılarda bulunmuştur.

Penetratör tipi mühimmatlar konusuna gelindiğinde, bu kalandaki çalışmalar, askerî ve stratejik önemleri nedeniyle genellikle gizli tutulduğundan bu teknolojilere sahip ülkeler, bilgilerini ulusal ve uluslararası platformlarda paylaşmadıkları için literatürde bu konuda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmalar arasında, Young (1997 ve 1998), National Research Council (2005) ve Hansson (2011) tarafından gerçekleştirilen araştırmalar öne çıkmaktadır. Bu çalışmalar, penetratör mühimmatların tasarımı, performansı ve etkinliği gibi konulara odaklanmakta ve literatürde bu alandaki sınırlı bilgi birikimine katkı sağlamaktadır.

Özetle, patlayıcı maddeler üzerine yapılan çalışmalar, bu maddelerin güvenli, verimli ve çevre dostu bir şekilde kullanılabilmesine yönelik önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Patlayıcıların kimyasal ve fiziksel özellikleri ile kullanım alanlarına yönelik yapılan araştırmalar, bu maddelerin etkinliğini artırmıştır. Ancak penetratör tipi mühimmatlar konusundaki çalışmalar genellikle gizli tutulduğu için bu alandaki akademik çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Genel olarak bu alandaki bilgi eksikliği, daha fazla akademik araştırma ve açık veri paylaşımını gerektirmektedir. Bu nedenle, patlayıcı maddeler üzerine yapılan araştırmaların genişletilmesi ve daha fazla akademik iş birliği ile bilgi paylaşımının teşvik edilmesi, hem savunma sanayi hem de sivil kullanım açısından kritik öneme sahiptir.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1 Patlayıcı Maddeler**

Patlayıcı maddeler, tarihin her döneminde devletlerin ve toplumların gelişiminde önemli bir araç olarak kritik bir rol oynamış olup savaşlardan sanayiye, inşaattan madencilığe, sağlık sektöründen kültürel etkinliklere kadar birçok alanda kullanılarak hem devletlerin güç politikalarında hem de toplumsal yapının şekillenmesinde etkili olmuştur. Bu denli stratejik bir öneme sahip maddelerin anlaşılabilmesi için öncelikle kavramsal bir çerçevenin oluşturulması gerektiğinden patlayıcı maddelerin tanımı, tarihsel gelişimi, kullanım alanları, önemi, sınıflandırılması ve temel parametreleri detaylı bir şekilde incelenmelidir. Bu bağlamda, her bir başlık, akademik bir üslup ve sistematik bir yaklaşımla ele alınarak derinlemesine analiz edilmektedir.

#### **2.1.1 Tanım**

Patlayıcı maddeler, son yıllarda yapılan çalışmalarda, genellikle enerjik maddeler (enerjetik malzemeler) grubunun bir alt kategorisi olarak ele alınmakta ve kimya, fizik, nanoteknoloji, biyoteknoloji, mühendislik, güvenlik, sağlık, havacılık ve savunma gibi geniş bir disiplin yelpazesi içerisinde incelenmektedir. Bu kapsamlı incelemeler, genellikle birbirinden bağımsız olarak gerçekleştiriliyor olsa da, patlayıcı maddelerin özellikleri ve dinamiklerinin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlamış ve aynı zamanda literatürde farklı araştırmacılar tarafından çeşitli tanımların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu farklı bakış açıları, patlayıcı maddelerin verimlilik, kontrol edilebilirlik, güvenlik ve çevresel etkiler gibi birçok faktör açısından derinlemesine analiz edilmesine olanak tanırken, bu süreçte elde edilen bulgular, alandaki teorik uygulamalı bilgilerin sürekli olarak genişlemesini ve gücellenmesini sağlamış, terminolojik ve kavramsal farklılıkların ortaya çıkmasına da zemin hazırlamıştır. Bu durum, hem akademik çevreler hem de askerî ve endüstriyel uygulamalar açısından patlayıcı maddelerin güvenli ve etkili kullanımı

için ortak bir dil ve anlayış oluşturulmasını gerektirirken patlayıcı maddeler için evrensel bir tanım oluşturulmasını önemli ölçüde zorlaştırmaktadır.

Patlayıcı maddelerin sahip olduğu tek bir özelliğe atıfta bulunan Davis (2012, s.1), patlayıcı maddeleri, kendi enerjisiyle bir patlatma üretebilme kapasitesine sahip, ya saf bir madde ya da maddeler karışımı olan bir malzeme olarak tanımlamaktadır. Kuykendall (2023, s.16) ise; patlayıcı maddeleri, ısı, darbe veya şok gibi etkilere maruz kaldığında hızlı bir ayrışma geçirebilen bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Patlayıcı maddelerin kimyasal yapısı ve reaktiflik özelliklerine odaklanan Meyer, Köhler ve Homburg (2007, s.131), bu maddeleri “tek başına veya birbirleriyle karıştırılmış, yarı kararlı durumda olan ve bu nedenle atmosferik oksijen gibi reaktanların katılımı olmaksızın hızlı bir kimyasal reaksiyona girebilen katı veya sıvı maddeler” şeklinde tanımlamaktadır. Buna karşılık, Dursun (2007, s.1) patlayıcı maddeleri, “hızlı kimyasal değişime uğrayabilen ve dışarıdan oksijen desteği olmaksızın, genellikle sıcak gazların salınmasıyla birlikte büyük miktarlarda enerji açığa çıkarabilen madde veya madde karışımı” olarak tanımlayarak, patlayıcı maddelerin enerji üretme potansiyeline ve bağımsız reaktivite özelliklerine dikkat çekmiştir. Ancak Erkoç (1990), patlayıcı maddelerin fiziksel uyarılara karşı duyarlılığına ve bağımsız hızlı reaksiyon kabiliyetine vurgu yaparak, bu maddeleri, “ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın kimyasal katkısı olmadan çok hızlı bir reaksiyona giren, genellikle gaz ürünler veren, organik veya inorganik bileşimler” olarak tanımlamıştır.

Amerikan çokuluslu kimya şirketi DuPont, patlayıcı maddeleri “bir kıvılcım, yüksek ısı veya güçlü bir darbe ile orijinal hacimlerinin katbekat büyüklüğünde gazlara anında dönüşebilen katı veya sıvılar” (DuPont, 1917, s.8) olarak tanımlamıştır. Bu tanımda, patlayıcı maddelerin fiziksel durumu, tetikleyici faktörler, ani dönüşüm özellikleri ve hacim artışı gibi kritik özellikler vurgulanmıştır. Monteil-Rivera ve diğerleri (2009, s.5) tarafından patlayıcı maddeler, patlama anında büyük miktarda gaz ürünü ve enerji hızla salan yüksek enerjili kimyasal maddeler olarak tanımlanmıştır.

Görüldüğü üzere, patlayıcı maddeler farklı araştırmacılar tarafından çeşitli kriterlere dayalı olarak farklı şekillerde tanımlanmış olup, literatürde bu tanımların dışında da pek çok farklı tanım bulunmaktadır. Bu tanımlar arasında belirli farklılıklar mevcut olmakla birlikte, genellikle birbirini tamamlayan özellikler

içermektedir. Mevcut tanımlar, patlayıcı maddelerin tüm yönlerini kapsayan kapsamlı ve evrensel bir açıklama sunmada yetersiz kalmaktadır. Ancak kapsamlı bir patlayıcı madde tanımlanmasından önce, bir maddenin patlayıcı madde olarak kabul edilebilmesi için Ateşeceloğlu ve İmamoğlu (2025) tarafından belirtilen şu kriterlerin tamamını en azından karşılaması gerekmektedir:

1. Doğal yollardan oluşan değil, insan müdahalesiyle özel amaçlar doğrultusunda tasarlanarak üretilmiş olmalıdır.
2. Reaksiyon, kimyasal patlayıcılarda uygun fiziksel bir dış etki, nükleer patlayıcılarda ise yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya nötron bombardımanına maruz kalmadıkça kendiliğinden başlamamalıdır.
3. Reaksiyon, ekzotermik olmalıdır.
4. Reaksiyon, hızlı gerçekleşmeli ve patlayıcı maddenin türüne göre reaksiyon ürünlerine dönüşmelidir.
5. Reaksiyon başladıktan sonra, dışarıdan herhangi bir fiziksel veya kimyasal dış desteğe ihtiyaç duymaksızın kendiliğinden tamamlanmalıdır.

Patlayıcı maddelerin diğer enerjik maddelerden ayrılmasını sağlayan temel nitelikler doğrultusunda, patlayıcı madde olarak kabul edilebilecek maddeler için kapsayıcı bir tanım yapılması mümkündür. Bu kapsamda, Ateşeceloğlu ve İmamoğlu (2025) patlayıcı maddeleri, “uygun bir dış etkiyle ani ve kontrolsüz bir şekilde reaksiyon gerçekleştirmesi sonucu büyük miktarda enerji açığa çıkaran ve türüne bağlı olarak farklı bileşim ve özelliklere sahip patlama ürünleri oluşturan maddeler, bileşimler veya bileşikler” şeklinde tanımlamıştır. Bu tanımda yer alan unsurlar da şu şekilde açıklanmıştır:

- **Uygun bir dış etki:** Kimyasal patlayıcılarda, fiziksel bir dış etki söz konusu iken, nükleer patlayıcılarda bu etki yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya nötron bombardımanı şeklinde gerçekleşmektedir.
- **Açığa çıkan enerji:** Kimyasal patlayıcılarda kimyasal bağ enerjisi iken nükleer patlayıcılarda ise atom çekirdeği içindeki nükleer bağ enerjisidir.
- **Patlama ürünleri:** Kimyasal patlayıcılarda ısı, ışık, ses, şok, gaz ve basınç gibi unsurlar ortaya çıkarken, nükleer patlayıcılarda ise radyasyon (özellikle gama ışınları), yüksek sıcaklık, yüksek basınç, nötronlar ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi unsurlar açığa çıkmaktadır.

Patlayıcı maddelerle ilgili kapsamlı bu tanım, yalnızca bu maddelerin genel özelliklerini değil, aynı zamanda reaksiyon süreçlerinde meydana gelen enerji salınımını, patlamaların fiziksel ve kimyasal dinamiklerini de dikkate alarak daha derinlemesine bir açıklama sunmaktadır. Bu sayede, patlayıcı maddelerin enerji üretme kapasitesinin yanı sıra, bu süreçlerdeki hız, kontrol edilebilirlik ve çevresel etkiler gibi kritik faktörler de daha ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir.

### 2.1.2 Patlayıcı maddelerin tarihçesi

İnsanoğlu tarafından tarihte ilk keşfedilen patlayıcı madde, birçok kaynağa göre kara barut olarak kabul edilmekte olup, kara barutun kimyasal formülünün kesin olarak ne zaman keşfedildiği ise net olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte, Klapötke (2017, s.1) tarafından kara barutun M.Ö. 220 yılı dolaylarında Antik Çin’de tesadüfen keşfedildiği öne sürülmektedir. Ancak, Thukydides’in Peloponnesos Savaşları (M.Ö. 431-404)’nı anlattığı Thukydides’in Tarihi (*Thucydides Historiae*) adlı eserinde bahsettiği ateş, kükürt ve zift karışımından oluşan ve günümüzde "Yunan ateşi" olarak bilinen madde, modern patlayıcılarla karşılaştırıldığında bileşim ve teknik özellikler bakımından farklılıklar gösterse de, bir tür patlayıcı madde olarak kabul edilebilir.<sup>1</sup> Dolayısıyla, patlayıcı maddelerin tarihi, M.Ö. 5. yüzyılın başlarına kadar izlenebilir.

İlkel bir patlayıcı madde olarak kabul edilebilen Yunan ateşi, bazı eserlerde "Grejuva ateşi", "âteş-i Rûmî (Rum ateşi)", "âteş-i bahrî (bahrî ateşi)", "Arap ateşi", ve "neft-i kâzıf veya "harrâka" gibi çeşitli isimlerle anılmaktadır (Özcan,1992, s.57). Ancak, Yunan ateşinin Suriye kökenli bir mühendis olan Kallinikos tarafından ilk kez keşfedilip keşfedilmediği konusunda müellifler arasında farklı görüşler bulunmaktadır. Bizans tarihçisi Vasiliev tarafından Yunan ateşinin Kallinikos tarafından icat edildiği ileri sürülürken bazı müellifler, bu maddenin Çinliler tarafından icat edilip Çin’den yayıldığını, Arapların da Çinlilerden öğrendiğini ve hatta Kallinikos’un bu maddeyi keşfetmeyip sadece Bizans'a getirdiğini savunmaktadırlar (Vasiliev, 1943, s.272; Özcan, 1992, s.57). Ayrıca, Yunan ateşi, Bizanslılar tarafından reçine, nafta, kireç ve güherçile gibi bileşenlerle

<sup>1</sup> Thukydides’in söz konusu eserinde "... ἐμβαλόντες δὲ πῦρ εἰς θείον καὶ πίσση ἤψαν τὴν ὕλην." (Thucydides, 1898) şeklinde yer alan ifadeye πῦρ (πῦρ, πυρός, τό) kelimesi ateş (Çelgin, 2011, s.582), θείον (θείον, όν, τό) kelimesi kükürt (Çelgin, 2011, s.315) ve πίσση (πίσσα, -τα, ής, ή) zift (Çelgin, 2011, s.535) anlamına gelmekte olup "ateşle birlikte kükürt ve zift atarak ormanı yaktılar" şeklinde çevrilebilir.

zenginleştirilerek 674 – 678 yılları arasında gerçekleşen Bizans – Arap Savaşları'nda etkili bir şekilde kullanılmıştır. Yunan ateşi, Bizans İmparatorluğu'nun çöküşüne kadar Bizans savunma stratejisinin temel unsurlarından biri olarak kalmış ve formülü ile kullanım teknikleri, Bizans İmparatorluğu'nun en gizli sırları arasında yer almıştır. Bu nedenle, günümüzde bile Yunan ateşinin tam formülü ve kullanımı hakkında kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak Yunan ateşi, modern araştırmacılar tarafından tarihi rolü, askerî tarih ve teknoloji tarihi bağlamında önemli bir konu olarak hâlâ incelenmekte ve üzerinde derinlemesine araştırmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda, Yunan ateşinin tarihi ve kimyasal bileşimi üzerine yapılan çalışmalar, bu tür bileşiklerin o dönemin savaş stratejileri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Öte yandan, Çinli simyacılar tarafından keşfedilen barutun, İpek Yolu aracılığıyla XII. yüzyılda Asya ülkelerine ve ardından Avrupa'ya yayıldığı yönünde yaygın bir görüş bulunmakla birlikte barutun Avrupa'da Çin'den bağımsız olarak keşfedildiği yönünde de bazı alternatif tezler öne sürülmektedir. Bu çerçevede, İngiliz bilim insanı Roger Bacon (1249) ve Alman simyacılarından Berthold Schwarz (1320) Avrupa'da barutun özelliklerini keşfetmiş ve bu konuda bilimsel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir (Klapötke, 2017, s.1). Bu bilimsel çalışmalar, barutun patlayıcı özelliklerinin anlaşılmasını sağlayıp XIV. yüzyılda ateşli silâhlar gibi askerî uygulamalarda kullanılmasının önünü açmıştır. Ancak barutun patlayıcı madde olarak kullanılması Casper Weindl tarafından patlatma amacıyla kullanılmasını icat etmesiyle mümkün olmuştur (Gunsolus, 1910, s.124). Askerî alandaki kullanımının ardından, barut 1627 yılında Slovakya'da bir maden kuyusunun açılması sırasında ilk kez madencilik sektöründe de kullanılmıştır (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı [ÇSGB], 2015, s.33). Bu gelişmeden sonra, barut yol inşaatı, tünel açma ve diğer mühendislik projelerinde önemli bir araç haline gelmiş ve kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Barutun bu geniş kullanım yelpazesi, onun hem askerî hem de endüstriyel alanlardaki önemli rolünü daha da pekiştirmiştir.

Nitekim Bizans İmparatorluğu tarafından özellikle deniz savaşlarında etkili bir savunma aracı olarak kullanılan ve düşman gemilerinin yaklaşmasını engellemek amacıyla geliştirilen Yunan ateşi ile Avrupa'da savaş teknolojisinde devrim yaratan kara barut, patlayıcı maddelerin tarihindeki önemli dönüm noktaları olmuştur. Her iki buluş da, askerî stratejilerin yanı sıra mühendislik uygulamalarının gelişiminde

kritik bir rol oynamış ve ilkel patlayıcı maddelerden modern patlayıcı teknolojilerine geçiş sürecinin temelini atmıştır. Bu geçiş süreci, nitrogliserin (NG) ve dinamit (trinitrotoluen/TNT) gibi modern patlayıcı maddelerin geliştirilmesine zemin hazırlamış ve patlayıcı teknolojisinin evriminde önemli bir kilometre taşı oluşturmuştur.

Özellikle 19. yüzyılın ortalarında, Ascanio Sobrero tarafından nitrogliserinin (NG) keşfi ve Alfred Nobel tarafından dinamitin (trinitrotoluen/TNT) icadı, patlayıcı maddeler teknolojisinde bir dönüm noktası teşkil etmiş ve ilkel patlayıcılara kıyasla çok daha güçlü, etkili ve kontrollü modern patlayıcıların geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Örneğin, başlangıçta tehlikeli ve kararsız bir madde olan nitrogliserin, dinamitin icadıyla daha güvenli ve etkili bir biçimde kullanılmaya başlanmasıyla birçok endüstriyel uygulamalar için yeni fırsatlar sunmuştur.

Bu gelişmeler ışığında, 19. yüzyılın sonlarına doğru amonyum pikrat, pikrik asit ve pentaeritrol tetranitrat (PETN) gibi kimyasalların patlayıcı madde olarak icadı ve kullanımı, patlayıcı teknolojisinde önemli yeniliklere yol açarak bu alandaki çeşitliliği artırmıştır. 20. yüzyılın başlarından itibaren ise siklotrimetilen – trinitramin (*Research Department Explosive: RDX*), siklotetrametilen–tetranitramin (*High Melting Explosive: HMX*) ve nükleer patlayıcılar gibi yüksek enerjili ve spesifik uygulama alanlarına yönelik patlayıcıların geliştirilmesi, hem askerî hem de endüstriyel kullanımda çığır açıcı etkiler yaratmıştır. Patlayıcı maddelerle ilgili bu dönemdeki gelişmeler, yalnızca askerî stratejileri değil, aynı zamanda inşaat, madencilik ve yol yapımı gibi pek çok alanda devrim niteliğinde yeniliklere zemin hazırlamış ve patlayıcıların güvenli, kontrollü ve verimli bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmıştır.

Diğer taraftan, 20. yüzyılın ikinci çeyreğinden itibaren nükleer bilim alanında kaydedilen kayda değer ilerlemeler, nükleer patlayıcı maddelerin hızlı bir şekilde geliştirilmesine olanak tanımıştır. İngiliz bilim insanı James Chadwick'in 1932 yılında nötronu keşfetmesi, Fransız bilim insanları Irène Joliot-Curie ve Frédéric Joliot-Curie'nin 1934 yılında yapay radyoaktiviteyi keşfetmeleri ve Alman bilim insanları Otto Hahn ile Fritz Straßmann'ın 1938 yılında uranyumun çekirdek bölünmesi (filyon) sürecini ortaya koymaları, bu alandaki en önemli dönüm noktalarını oluşturmuştur.

Bu bilimsel keşiflerin ardından, 1942 yılında nükleer silâh geliştirme amacıyla Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından başlatılan Manhattan Projesi, 1945 yılında tarihin ilk atom bombası denemesi olan Trinity testinin başarıyla gerçekleştirilmesini sağlamıştır. ABD, sahip olduğu bu yıkıcı gücü İkinci Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru 6 ve 9 Ağustos 1945 tarihlerinde, Japonya'nın Hiroşima ve Nagazaki kentlerine sırasıyla uranyum ve plütonyum atomlarının fisyon reaksiyonlarıyla üretilen atom bombalarını atarak kullanmıştır. Bu olay, nükleer patlayıcı maddelerin enerji yoğunluğu ve yıkıcı güç açısından diğer patlayıcı maddelerle kıyaslanamayacak derecede üstün olduğunu ortaya koymuş ve bu özellikleriyle patlayıcı madde teknolojisi tarihinde yeni bir boyutun başlangıcını simgelemiştir. Ancak 20. yüzyılın ortalarında, nükleer patlayıcılar yalnızca askerî ve stratejik amaçlarla geliştirilmiş olsalar da etkileri yalnızca askerî teknolojilerle sınırlı kalmamış ve radyoaktif maddeler enerji üretimi, tıbbi uygulamalar, endüstriyel süreçler ve bilimsel araştırmalar gibi pek çok alanda derin ve kalıcı etkiler yaratmıştır. Bu kapsamlı etkiler, nükleer teknolojilerin hem savaş hem de barış dönemi uygulamaları açısından kritik bir dönüm noktasını oluşturduğunu göstermektedir.

Patlayıcı maddeler tarihindeki geleneksel ve modern kimyasal patlayıcılardan nükleer patlayıcılara doğru bir dönüşüm başlatan nükleer patlayıcılar, 21. yüzyılda tarihsel birikim ve bilimsel – teknik bilgi kaynaklarından beslenerek daha kapsamlı bir perspektifte ele alınmaya başlanmıştır. Nükleer patlayıcıların geliştirilmesi, yalnızca enerji yoğunluğu ve yıkıcı güç açısından değil, aynı zamanda çok yönlü kullanım potansiyelleriyle patlayıcı maddeler teknolojisinde önemli bir paradigma değişikliğinin temelini atmıştır. Bununla birlikte, nükleer alanda kaydedilen bu ilerlemeler, kimyasal patlayıcılar konusundaki araştırmaların geride bırakılmasına yol açmamış; aksine bu alandaki çalışmalar da eş zamanlı olarak sürdürülmüştür. Kimyasal patlayıcı maddeler üzerinde gerçekleştirilen inovasyonlar, daha verimli, çevre dostu ve kontrollü patlayıcıların geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu bağlamda, patlayıcı teknolojilerindeki yenilikler, hem askerî hem de sivil uygulamalarda daha etkili ve sürdürülebilir çözümler sunmuştur. Dahası, patlayıcı maddelerin yalnızca yıkım odaklı araçlar olmanın ötesine geçerek bilim, teknoloji ve mühendislik disiplinlerinde yenilikçi uygulamalara olanak tanıyan yapıcı birer araç haline gelmesine katkıda bulunmuştur.

Patlayıcı maddelerin tarihsel gelişimi, yalnızca bilimsel ve teknolojik ilerlemeleri değil, aynı zamanda kimya, fizik, nükleer bilimler, tıp, nanoteknoloji, biyoteknoloji ve mühendislik gibi çeşitli disiplinlerdeki yenilikleri ve gelişmeleri de kapsamaktadır. Bu disiplinler arası etkileşim, patlayıcı teknolojilerinin hem askerî hem de endüstriyel alanlarda köklü değişimlere yol açmasını sağlamıştır. Örneğin, kimyasal patlayıcılardan elde edilen birikim, modern mühendislik projelerinde geniş ölçekli kullanım olanağı sunarken, nükleer patlayıcıların barışçıl amaçlarla değerlendirilmesi enerji üretimi ve bilimsel araştırmalara önemli katkılarda bulunmuştur.

Bu gelişmeler, patlayıcı maddelerin yalnızca tek bir amaca hizmet eden araçlar olarak değil, aynı zamanda çok boyutlu uygulama potansiyeline sahip teknolojiler olarak değerlendirilmesine zemin hazırlamıştır. Disiplinler arası yaklaşımların güçlenmesiyle birlikte, patlayıcı maddeler; çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve güvenlik gibi alanlarda daha sofistike ve yenilikçi çözümler sunabilme kapasitesine ulaşmıştır.

Ayrıca patlayıcı maddelerin tarihsel gelişiminin daha sistematik bir şekilde anlaşılabilmesi için bu süreç, kronolojik bir sıralama içerisinde ele alınarak Çizelge A.1'de sunulan Patlayıcı Maddelerin Tarihsel Gelişim Süreci çizelgesinde özetlenmiştir. Söz konusu çizelgede, patlayıcı maddelere ilişkin önemli dönüm noktaları ve tarihsel gelişim süreçleri detaylı bir biçimde sunulmuş olup patlayıcı teknolojilerinin bilimsel ve teknolojik ilerlemeler doğrultusunda nasıl evrildiğini ortaya koyarak alandaki yeniliklerin genel bir çerçevesini sunmaktadır.

Özetle, patlayıcı maddelerin tarihsel gelişim süreci, Yunan ateşi ve kara barutun keşfiyle başlamış, ardından nitrogliserin, dinamit, TNT, RDX ve HMX gibi modern patlayıcıların geliştirilmesiyle devam etmiştir. Bu süreç, patlayıcıların yalnızca askerî alanda değil, aynı zamanda madencilik, mühendislik, kimya endüstrisi, sağlık sektörü, uzay ve havacılık gibi birçok farklı disiplinde yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak tanımıştır. Özellikle nükleer fisyonun keşfi ve atom ile hidrojen bombalarının geliştirilmesi gibi bilimsel dönüm noktaları, bu maddelerin evrimini şekillendirmiştir. Günümüzde ve gelecekte, teknolojik ilerlemeler sayesinde yeni nesil patlayıcı maddelerin geliştirilmesi, yeni kullanım alanlarının ortaya çıkması ve mevcut patlayıcı maddelerin daha verimli olarak kullanılması yönünde evrim süreci devam edecektir.

### 2.1.3 Patlayıcı maddelerin önemi

Patlayıcı maddelerin icadı, bilimsel ve teknolojik gelişmeler açısından insanlık tarihinin önemli dönüm noktalarından biri olarak kabul edilmektedir. Tarihin her döneminde, bu maddeler hem yıkıcı hem de yapıcı amaçlarla kullanılarak medeniyetlerin şekillenmesinde kritik roller üstlenmiştir. Patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyeli, savaşlar, iç çatışmalar, isyanlar, ayaklanmalar ve diğer yıkıcı faaliyetlerde belirleyici bir unsur olarak siyasal sınırların yeniden çizilmesine ve uluslararası ilişkilerin dinamiklerinin değişimine yol açarken, yapıcı potansiyeli ise madencilik, enerji üretimi, tıp, inşaat ve altyapı geliştirme gibi birçok alanda insanlık için önemli katkılar sunmuştur. Her iki potansiyel de, devletlerin ve toplumların ekonomik kalkınmasını ve büyümesini doğrudan etkilemiştir.

Patlayıcı maddelerin sahip olduğu bu çift yönlü etki, toplumların siyasal, ekonomik ve sosyal yapılarında derin dönüşümler yaratmış ve bu maddelerin kullanım alanlarının sürekli genişlemesine olanak tanımıştır. Yıkıcı etkiler, büyük ölçekte tahribat ve toplumsal travmalar yaratırken, yapıcı etkiler özellikle ekonomik kalkınma ve teknolojik ilerlemeler açısından olumlu sonuçlar doğurmuştur. Bu nedenle, patlayıcı maddelerin tarihsel süreçteki rolü ve günümüzdeki kullanım alanlarına yönelik yapılan bilimsel araştırmalar, teknolojik gelişmelerin daha iyi anlaşılması ve bu gelişmelerin toplumsal dinamikler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Patlayıcı maddelerin bu kapsamlı etkileri, yalnızca bilimsel ve teknolojik bağlamda değil, aynı zamanda politik, ekonomik ve çevresel boyutlarıyla da ele alınmalıdır. Bu maddelerin yıkıcı ve yapıcı etkileri üzerine yapılacak analizler, patlayıcı teknolojilerinin disiplinler arası bir yaklaşımla değerlendirilmesini mümkün kılarak, bu alanın çok yönlü bir şekilde değerlendirilmesine önemli katkılarda bulunmaktadır. Böyle bir değerlendirme, patlayıcı maddelerin neden olduğu dönüşümlerin daha iyi anlaşılmasına ve gelecekte bu maddelerin daha güvenli, kontrollü ve çevre dostu bir şekilde kullanılmasına yönelik çözümlerin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Bu nedenle, patlayıcı maddelerin önemi, aşağıdaki başlıklar altında ele alınarak incelenmelidir:

1. Patlayıcı Maddelerin Yıkıcı Potansiyeli
2. Patlayıcı Maddelerin Yapıcı Potansiyeli

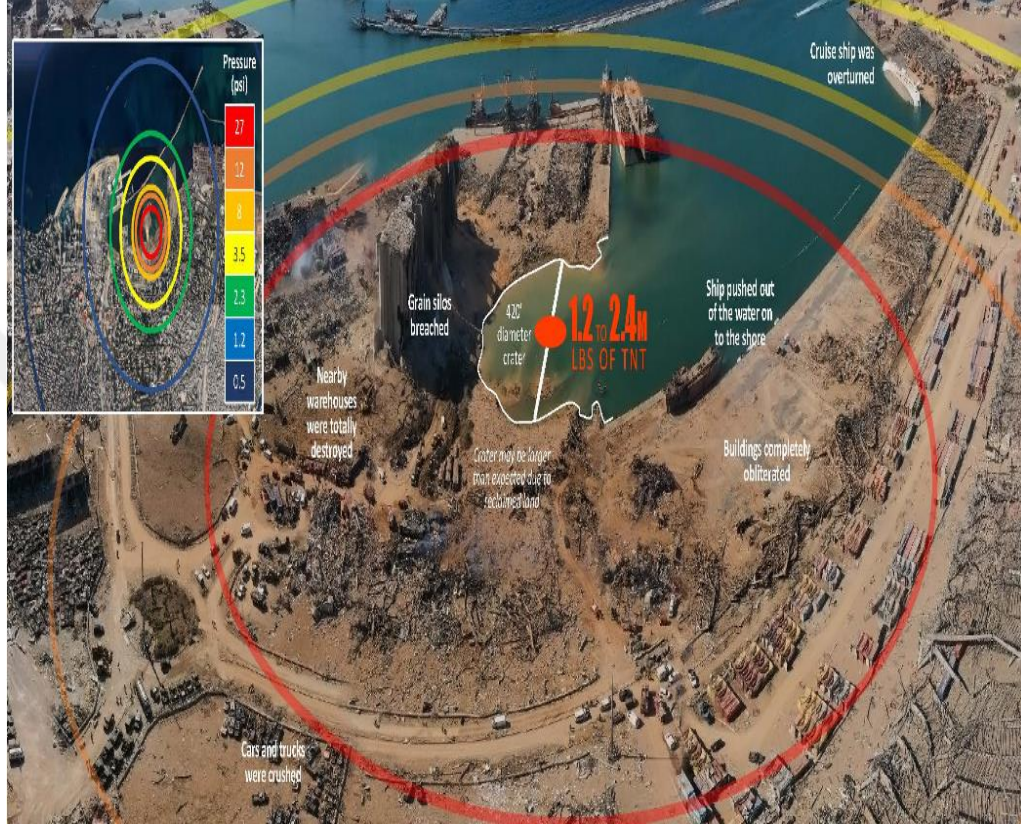
### 2.1.3.1 Patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyeli

Patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyeli, savaşlar, iç çatışmalar, ayaklanmalar ve diğer yıkıcı faaliyetlerde belirleyici bir etkiye sahip olması nedeniyle, askerî ve siyasî stratejiler üzerinde kritik bir öneme sahiptir. Bu potansiyel, yalnızca mevcut tehditlerin yönetimi ve bertaraf edilmesi açısından değil, aynı zamanda gelecekteki olası risklerin önlenmesi ve stratejik caydırıcılığın sağlanması açısından da hayati bir rol oynamaktadır. Ayrıca, patlayıcı maddelerin çevresel yıkıcı etkileri de bu tabloyu daha karmaşık hale getirmektedir. Bu maddeler, toprağın, havanın ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak uzun vadeli ekolojik zararlar oluşturmakta ve bu zararlar, ekosistemlerin yanı sıra insan sağlığı üzerinde de kalıcı olumsuz etkiler bırakmaktadır. Bu nedenle, patlayıcı maddeler hem stratejik hem de çevresel açıdan çok yönlü yıkıcı bir potansiyele sahiptir.

Nitekim modern savaş teknolojilerinin ve askerî operasyonların vazgeçilmez bir unsuru haline gelen patlayıcı maddeler, özellikle yüksek tahrip gücüne sahip türleriyle savaş alanlarında üstünlük sağlama, düşman hatlarını etkisiz hale getirme, stratejik hedeflerin hızlı bir şekilde ele geçirilmesi ve büyük ölçekli tahribat yaratma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Patlayıcıların yıkıcı etkisi, yalnızca fiziksel tahribatla sınırlı olmayıp aynı zamanda düşman üzerinde psikolojik üstünlük kurma, lojistik hatları bozma ve diğer kritik stratejik hedeflere ulaşma açısından da bir potansiyele sahiptir. Bu bağlamda, patlayıcılar savaşın seyrini değiştiren, askerî stratejilerin şekillendirilmesinde önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, 2003 Irak Savaşı'nda Koalisyon güçlerinin gerçekleştirdiği hava bombardımanları, Irak'ın altyapısında büyük tahribat oluşturarak lojistik hatlarını kesmiş ve savaşın hızla koalisyon lehine dönmesini sağlamasının yanı sıra Irak halkı ve askerleri üzerinde derin psikolojik etkiler yaratmıştır.

Patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyeli, aynı zamanda geniş çaplı insan kayıplarına, altyapı yıkımlarına ve çevresel zararlara yol açarak ciddi insani ve ekolojik sonuçlar doğurabilmektedir. Bilhassa, sivil yerleşim alanlarında kullanılan yüksek tahrip gücüne sahip patlayıcı maddeler yalnızca sivillerin güvenliğini tehdit etmekle kalmayıp, aynı zamanda yeniden inşa süreçlerini de önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bu durum, uzun vadeli insani, ekolojik ve ekonomik etkileri de beraberinde getirerek devletlerin ve toplumların toparlanmasını güçleştirmektedir. Bu duruma örnek olarak, 2020 yılında Lübnan'ın Beyrut Limanı'nda amonyum nitrat

yüklü bir depolama alanında meydana gelen patlama verilebilir. Bu patlama, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, 420 feet (yaklaşık 128 m) çapında bir krater oluşturmuş, liman bölgesini tahrip ederek şehri yıkıma uğratmıştır. Ayrıca altyapıyı ciddi şekilde tahrip ederek yeniden inşa süreçlerini güçleştirmiş ve ülkenin ekonomik ve toplumsal toparlanmasını ciddi şekilde sekteye uğratmıştır.



**Şekil 2.1: Beyrut Patlamasının Yarattığı Tahribat**

**Kaynak:** (Abs-group, 2020)

Nitekim Tifunović ve Antonijević (2019) çalışması, askerî ve sivil alanda yaygın olarak kullanılan TNT patlayıcısının ve bozunma ürünlerinin çevre üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Çalışmada, TNT'nin zor bozunan bir madde olduğu ve çevrede, özellikle toprak, yüzey suları ve yeraltı sularında düşük konsantrasyonlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Araştırma, TNT'nin yalnızca çevre için tehlike arz etmediğini, aynı zamanda bozunma ürünlerinin de toprak, su, bitki, hayvan ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yarattığını vurgulamaktadır. Bu bulgular, TNT ve türevlerinin çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi riskler taşıdığını ortaya koyarken, aynı zamanda patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyellerini de gözler önüne sermektedir.

Özellikle atom bombası türündeki nükleer patlayıcılar, yalnızca savaş döneminde büyük felaketlere yol açmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel ve genetik hasarlar yoluyla gelecek nesiller üzerinde kalıcı ve derin etkiler de bırakmaktadır. Örneğin, Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları, Şekil 2.2'de görüldüğü üzere, şehirleri harap etmenin ve kent sakinlerinin anında yaşamlarını yitirmesine yol açmanın yanı sıra, radyasyonun etkisiyle kanser, doğumsal bozukluklar gibi hastalıkların yayılmasına ve genetik mutasyonların sonraki nesillere aktarılmasına neden olmuştur. Bu tür patlayıcıların kullanımı, yerleşim alanlarının, şehirlerin ve hatta ülkelerin yeniden inşa süreçlerini çok daha uzun bir zaman dilimine yayarak ekolojik dengeyi bozarken, toplumsal ve ekonomik kalkınmayı da engellemektedir. Buna ek olarak, bu tür patlamaların etkileri, savaş sonrası dönemin ötesine geçerek nesiller boyu sürebilecek travmalara ve zorluklara yol açabilmektedir. Örneğin, Neriishi, Yamada, Kodama ve Shigematsu (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, patlama merkezine olan mesafe ve bombalama bölgesindeki klinik semptomların, 40 yıl sonra bile bireylerin psikolojik durumunu belirleyen faktörler arasında olduğu vurgulanmıştır.



**Şekil 2.2: Hiroşima'ya Atılan Atom Bombası Sonucu Tahrip Olan Şehir Merkezi**

**Kaynak:** (The National WWII Museum, 2020).

Siyasî açıdan patlayıcı maddeler, tarihin her döneminde güçlü devletlerin küresel egemenlik ve hegemonya stratejilerinin merkezinde yer almıştır. Bu maddelerin yıkıcı potansiyeli, savaşların seyrini değiştiren ve devletler arasındaki güç dengelerini etkileyen stratejik araçlar olarak kullanılmıştır. Örneğin, II. Dünya Savaşı sırasında Almanya'nın geliştirdiği V-2 füzeleri, dönemin en ileri teknolojisine sahip patlayıcı silâhlardan biri olarak hem savaşın gidişatını etkilemiş hem de devletler arasındaki silâhlanma yarışını hızlandırmıştır. Devletler, beka anlayışıyla ulusal güvenliklerini sağlama ve uluslararası alanda etkinliklerini artırma arayışlarının bir parçası olarak benimsedikleri askerî stratejilerinde patlayıcı teknolojilerine geniş yer ayırmışlardır. Bu durum, patlayıcı maddelerin sadece savaş alanlarında değil, uluslararası siyasette de önemli bir unsur haline gelmesine neden olmuştur.

Patlayıcı maddelerin varlığı ve kullanımı, yalnızca savaş stratejilerinin şekillenmesinde değil, aynı zamanda silahlanma yarışlarını körükleyen önemli bir itici güç olmuştur. Bu durum, devletlerin ulusal güvenliklerini sağlama ve küresel güç dengelerinde söz sahibi olma arayışıyla doğrudan ilişkilidir. Devletler, ulusal çıkarlarını savunabilmek ve olası tehditlere karşı caydırıcılık sağlamak adına savunma bütçelerini sürekli artırma eğilimindedirler. Bu süreç, devletlerin bütçelerinin yeniden yapılandırılmasını ve kaynakların yeniden dağıtılmasını zorunlu kılmaktadır. Özellikle askerî harcamaların artması, eğitim, sağlık ve sosyal hizmetler gibi toplumsal refahı artırmaya yönelik kamu harcamalarının ciddi şekilde azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca artan askerî harcamalar, devletlerin iç ve dış politikalarını yeniden şekillendirmelerine, ulusal kaynakların etkin kullanımını zorlaştırmalarına ve bazı durumlarda toplumsal huzursuzluklara da neden olabilmektedir. Askerî sanayinin büyümesi, sadece ekonomik kaynakların belirli sektörlere yoğunlaşmasına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda bazı ülkelerin diplomasi, kültürel ilişkiler ve ticaret gibi dış politika araçlarını geride bırakarak dışa açılma stratejilerini zayıflatabilmektedir. Böylece, patlayıcı maddeler ve silâhlanma yarışları sadece askerî ve güvenlik boyutuyla sınırlı kalmayıp toplumsal refah, sürdürülebilir kalkınma ve uluslararası ilişkiler üzerinde derin etkiler yaratabilmektedir.

Patlayıcı maddelerin yıkıcı potansiyeli, yalnızca mevcut tehditlerin yönetimi ve bertaraf edilmesiyle sınırlı kalmayıp, gelecekteki risklerin önlenmesini de içeren

çok boyutlu bir stratejik araç olduğu için hem devletler hem de toplumlar açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak bu yıkıcı potansiyelinin yanlış ellerde bulunması, ulusal ve küresel güvenlik açısından ciddi tehditler yaratmaktadır. Örneğin, 1995 yılında Tokyo metrosunda gerçekleştirilen sarin gazı saldırısı, terör örgütlerinin kitle imha silâhlarına erişebilme kapasitelerinin ne denli tehlikeli sonuçlar doğurabileceğini gözler önüne sermiştir. Benzer şekilde, patlayıcı maddelerin yasa dışı gruplar tarafından kullanılması, devletlerin güvenlik politikalarını yeniden şekillendirmelerine ve daha sıkı önlemler almalarına yol açmaktadır. Bu durum, patlayıcı maddelerin kontrol altına alınması ve kötüye kullanımının önlenmesi için uluslararası iş birliğini ve daha etkin politikaların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Özetle, patlayıcı maddeler, devletlerin ve toplumların kaderini şekillendirerek coğrafi sınırları yeniden belirlemelerine, güç dengelerini etkilemelerine ve aynı zamanda insani ve ekolojik felaketlerin yaşanmasına neden olabilmektedir. Bu maddelerin kontrolsüz kullanımı, yalnızca savaş alanlarında değil, sivil yaşamda da geniş çaplı yıkımlar ve uzun vadeli etkiler doğurabilmektedir. Bu nedenle, bu tür maddelerin askerî, siyasî, insani ve ekolojik boyutları, çok yönlü bir perspektifle ele alınmalı ve hem ulusal hem de küresel güvenlik stratejilerinin temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmelidir.

### **2.1.3.2 Patlayıcı maddelerin yapıcı potansiyeli**

Patlayıcı maddeler, yalnızca yıkıcı etkileriyle değil, aynı zamanda sivil alanlardaki yapıcı potansiyelleri ve uluslararası ilişkilerdeki caydırıcılık işleviyle de devletler ve toplumlar üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu maddelerin yapıcı ve stratejik yönleri, devletlerin ekonomik kalkınması ve uluslararası güvenlik politikaları üzerinde belirleyici bir etki yaratmaktadır.

Patlayıcı maddelerin yapıcı potansiyeli, özellikle madencilik, inşaat ve altyapı sektörlerinde doğal engellerin aşılması ve büyük ölçekli projelerin gerçekleştirilmesinde kritik bir yer tutmaktadır. Bu kullanım, yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda projelerin maliyetlerini düşürerek ve sürelerini kısaltarak ekonomik büyümeyi hızlandırmakta ve uzun vadede altyapı gelişimini teşvik etmektedir. Örneğin, Karadeniz Sahil Yolu ve Kuzey Marmara Otoyolu gibi büyük altyapı projelerinde, patlayıcı maddeler zorlu arazilerde yol açma işlemlerinde

kullanılarak projelerin maliyetini düşürmüş ve inşaat sürecini önemli ölçüde hızlandırmıştır. Bu sayede, projelerin tamamlanma süreleri kısılırken daha verimli bir inşaat süreci sağlanmaktadır.

Nitekim patlayıcı maddeler, kayaçların ve minerallerin parçalanmasında etkin bir şekilde kullanılarak tünel açma, baraj ve gölet inşaatı gibi büyük projelerin daha hızlı ve verimli bir şekilde tamamlanmasına önemli katkılar sunmaktadır. Bu kullanım, zaman ve iş gücü tasarrufunun yanı sıra projelerin hem daha kısa sürede hem de daha düşük maliyetle gerçekleştirilmesine olanak tanıyarak ekonomik verimliliği artırmaktadır. Benzer şekilde, dünyanın en büyük barajlarından biri olan Çin'in Hubei eyaletindeki Üç Boğaz Barajı (*Three Gorges Dam*) inşasında patlayıcı maddeler, büyük kaya kütlelerinin hızlı ve güvenli bir şekilde kaldırılmasını sağlayarak projeyi hızlandırmış ve inşaat sürecini önemli ölçüde verimli hale getirmiştir. Ayrıca, bu tür projelerde kullanılan patlayıcı teknolojileri, projelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olarak çevresel etkileri minimize etme çabalarını da desteklemektedir.

Madencilik sektöründe de kritik bir öneme sahip olan patlayıcı maddeler, madenlerin daha hızlı ve verimli bir şekilde çıkarılmasını sağlayarak iş süreçlerini optimize etmektedir. Bu sayede, hem ekonomik maliyetlerin azaltılmasına hem de üretkenliğin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, patlayıcı maddeler, yalnızca inşaat ve madencilik sektörleriyle sınırlı kalmayıp orman yangınlarının söndürülmesi, arama ve kurtarma operasyonları, tıbbi cihazlar ve mikrocerrahi uygulamaları, enerji üretimi ve dağıtımını gibi çeşitli sivil sektörlerde de yayılmıştır. Bu alanlardaki uygulamaları sayesinde patlayıcı maddeler, yapıcı potansiyellerini ortaya koyarak hem teknolojik ilerlemelere hem de toplumsal faydalara önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle, damar tıkanıklıklarının tedavisinde patlayıcı teknolojilerinin sağlık sektörüne entegre edilmesi, bu maddelerin barışçıl ve insan yaşamına doğrudan katkı sağlayan uygulamaları arasında yer almaktadır. Ayrıca patlayıcı maddelerin enerji sektöründe kullanımı, petrol kuyularının açılması veya enerji depolama sistemlerinin iyileştirilmesi gibi süreçlerde sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

Öte yandan patlayıcı maddelerin yapıcı potansiyeli, yukarıda açıklanan madencilik, inşaat ve sağlık gibi sektörlerdeki kullanımlarının yanı sıra uluslararası ilişkilerdeki caydırıcılık işleviyle de belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu maddelerin

stratejik kullanımı, devletler arasındaki güç dengesini şekillendirerek, savaşların önlenmesinde veya sınırlanmasında önemli bir etkiye sahip olmuştur. Özellikle nükleer silâhların varlığı, uluslararası ilişkilerde büyük bir stratejik dengeyi beraberinde getirmiş ve devletler arasında güç gösterisi, savunma stratejileri ve caydırıcılık politikalarının şekillenmesinde kritik bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, bu stratejik denge, aynı zamanda küresel barışın korunmasına yönelik diplomatik çabaların güçlenmesine de zemin hazırlamaktadır. Söz konusu denge, sadece askerî alanla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekonomik ve ticarî ilişkilerde de devletler arasındaki etkileşimi şekillendiren önemli bir faktör olduğundan diplomatik ilişkilerin hassasiyetini ve uluslararası güvenliği doğrudan etkileyen bir unsur haline gelmiştir.

Görüldüğü üzere, bu örnekler, patlayıcı maddelerin yalnızca geleneksel yıkıcı etkileriyle değil, aynı zamanda çok yönlü yapıcı potansiyelleriyle de dikkat çektiğini ve bu yapıcı potansiyellerin, hatta askerî ve yıkıcı rollerinin ötesine geçtiğini ortaya koymaktadır. Bu potansiyeller, sivil alandaki geniş bir uygulama yelpazesinde teknolojik ilerlemeleri hızlandırmakta, toplumsal ihtiyaçlara yönelik çözüm önerileri sunmakta ve uluslararası ilişkilerde caydırıcılık işleviyle de stratejik öneme sahip olmaktadır. Özellikle patlayıcı maddelerin sağlık alanındaki yenilikçi kullanımları, modern tıbbın çeşitli alanlarında çığır açan gelişmelere zemin hazırlarken, mühendislik ve enerji sektörlerindeki katkıları ise sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında önemli adımlar atılmasına yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla, patlayıcı maddeler sahip oldukları yapıcı potansiyelleri doğrultusunda hem devletler hem de toplumlar için stratejik araçlar olarak değerlendirilmekte ve bu değerlendirme, onların ulusal politikalarından, küresel ekonomik dinamiklere kadar geniş bir yelpazede etkili bir rol oynamalarına olanak tanımaktadır.

#### **2.1.4 Patlayıcı maddelerin kullanım alanları**

Patlayıcı maddeler, tarihsel süreç boyunca bilimsel ve teknolojik ilerlemelerin etkisiyle gelişerek toplumsal, ekonomik ve kültürel dönüşümlere paralel olarak kullanım alanlarını çeşitlendirmiştir. Başlangıçta özellikle askerî stratejiler ve kültürel etkinlikler bağlamında kullanılan ilkel patlayıcı maddeler, kimya ve mühendislik alanlarındaki ilerlemeler sayesinde daha verimli ve kontrol edilebilir yeni patlayıcıların sentezlenmesiyle kullanım alanlarını önemli ölçüde genişletmiştir.

Askerî alandan inşaat sektörüne, kültürel etkinliklerden madencilığe, sağlıktan enerji üretimine kadar pek çok farklı sektörde belirleyici bir etki yaratarak önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu süreçte patlayıcı maddeler, yalnızca askerî değil aynı zamanda endüstriyel alanlarda da önemli bir araç haline gelmiştir.

Patlayıcı maddelerin kullanım alanlarının genişlemesi, yalnızca askerî ve endüstriyel alanla sınırlı kalmamış, aynı zamanda toplumsal yapılar ve kültürel dinamikler üzerinde de önemli dönüşümler yaratmıştır. Özellikle büyük inşaat projelerinin ve alt yapı çalışmalarının gerçekleştirilmesinde patlayıcı maddelerin kullanımı, operasyonel verimliliği artırmış, zaman ve iş gücü tasarrufu sağlamışken madencilik sektöründe ise, yer altı kaynaklarının çıkarılmasında daha güvenli ve etkili yöntemlerin geliştirilmesine olanak tanıyarak kaynakların daha verimli bir şekilde işlenmesine katkı sağlamıştır. Patlayıcı maddelerin kullanım alanlarındaki bu genişleme, patlayıcı maddelerin yalnızca verimlilik sağlamakla kalmayıp aynı zamanda sektörel yeniliklere, bilimsel ve teknolojik ilerlemelere zemin hazırlayarak endüstriyel inovasyona da önemli katkılarda bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Öte yandan patlayıcı maddeler, ilk keşfedildikleri dönemde dahi kültürel etkinliklerde kullanılmakta iken, yeni patlayıcı maddelerin sentezlenmesiyle bu alandaki kullanımı da önemli dönüşümler geçirmiştir. Patlayıcı maddeler, özellikle eğlence ve gösteri amaçlı kültürel etkinliklerde, görsel ve işitsel sanatlarda yenilikçi uygulamalara olanak tanımış, büyük çaplı kutlamalar ve festivallerde dikkat çeken bir unsur haline gelmiştir. Bununla birlikte, patlayıcı maddelerin bu tür etkinliklerdeki rolü, yalnızca görsel etkiler yaratmakla kalmamış ve izleyici kitlelerinin duysal ve estetik deneyimlerini zenginleştirerek toplumsal kutlamaların ve kültürel ritüellerin dinamiklerini şekillendirmiştir.

Ayrıca 20. yüzyılda kontrollü kullanımlı yeni nesil patlayıcıların sentezlenmesi, sağlık ve biyomedikal alanlarında önemli yeniliklere kapı aralamış ve bu maddelerin hem tanı hem de tedavi amaçlı kullanımını mümkün kılmıştır. Özellikle tıbbi cihazların geliştirilmesinde kritik bir rol üstlenen patlayıcı maddeler, böbrek ve safra kesesi taşlarının parçalanmasından damar tıkanıklıklarının giderilmesine kadar çeşitli uygulamalarda etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Örneğin, kontrollü enerji salınımı ilkesine dayanan “Ekstrakorporal Şok Dalga Litotripsi (Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy=ESWL)”, böbrek taşlarının parçalanmasında kullanılan bir yöntem olup yalnızca taşları hedef alarak çevre

dokulara zarar vermeden etkili bir tedavi sunmaktadır. Benzer şekilde, düşük frekanslı şok dalgalarının kullanımına dayanan “İntravasküler Litotripsi (Intravascular Lithotripsy=IVL), damar tıkanıklıklarının giderilmesinde patlayıcı prensiplere dayalı bir yöntem olarak dikkat çekmektedir.

Patlayıcı maddelerin kullanımı, yalnızca yukarıda belirtilen alanlarla sınırlı kalmayıp enerji sektöründe de önemli roller üstlenmektedir. Özellikle enerji üretimi ve depolanması gibi uygulamalarda, patlayıcı maddelerin kontrollü ve hassas bir şekilde kullanımı, yeni nesil enerji kaynaklarının verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, petrol ve doğalgaz endüstrisinde sondaj ve çıkarma işlemlerinde de patlayıcı maddelerin sunduğu teknolojik avantajlardan yararlanılmaktadır. Bu uygulamalar, enerji sektöründeki süreçlerin etkinliğini ve verimliliğini artırarak endüstriyel ilerlemeye katkıda bulunmaktadır.

Patlayıcı maddelerin kullanım alanları, yalnızca askerî alanlarla sınırlı kalmayıp madencilik, inşaat, uzay ve havacılık, enerji, petrol ve doğalgaz, sağlık, tarım ve ormancılık, bilimsel ve teknolojik araştırmalar, arama – kurtarma faaliyetleri, eğlence ve gösteri sektörü gibi geniş yelpazeye yayılmıştır. Bu çok yönlü kullanım alanları, Çizelge A.2’deki gruplandırılabilir. Bu çerçevede, patlayıcı maddelerin bilimsel ve mühendislik alanlarında gelişen teknoloji ile daha güvenli ve kontrollü bir şekilde kullanılabilir hale gelmesi, uygulama alanlarının genişlemesini sağlamış ve bu maddeleri multidisipliner bir perspektifle ele alınması gereken bir disiplin haline getirmiştir. Bu disiplin, yalnızca teknik yeniliklerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda toplumsal sorumluluk, çevresel etkiler ve güvenlik önlemleri gibi faktörlerin entegre edildiği, çok katmanlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Ancak patlayıcı maddelerin kullanım alanlarının genişlemesi, yalnızca teknik bir ilerleme olarak değerlendirilmemeli; bu durum aynı zamanda ekonomik, toplumsal ve kültürel bir dönüşümün parçası olarak da değerlendirilmelidir. Bu dönüşüm, patlayıcı maddelerin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlayacak yeni stratejilerin geliştirilmesine ve bu alandaki küresel etkileşimin daha sorumlu bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır.

### **2.1.5 Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması**

Patlayıcı maddeler, tarih boyunca ağırlıklı olarak askerî ve kültürel alanlarda kullanılmasına rağmen, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin yanı sıra toplumsal,

kültürel ve ekonomik dönüşümlerle birlikte kullanım alanları önemli ölçüde genişlemiştir. Günümüzde bu maddeler, askerî operasyonlar ve savunma sektörü dışında madencilik, inşaat, petrol ve gaz endüstrisi, tarım sektörü, sağlık uygulamaları ile bilimsel ve endüstriyel araştırmalar gibi birçok farklı alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Askerî ve sivil alanlarda bu kadar geniş kullanım bulmasına karşın, patlayıcı maddeler için uluslararası düzeyde kabul edilmiş evrensel bir sınıflandırma sistemi henüz geliştirilememiştir. Bu durum, araştırmacıları patlayıcı maddeleri; kimyasal özellikleri, kullanım amaçları, etkileri, patlama hızı ve üretim yöntemleri gibi çeşitli kriterlere dayanarak farklı yaklaşımlarla sınıflandırmaya yönlendirmektedir. Bu bağlamda, Weinheimer (2022, s.2), bir maddenin patlayıcı madde olarak sınıflandırılabilmesi için aşağıdaki koşulları sağlaması gerektiğini ifade etmektedir:

1. Kimyasal reaksiyon hızına ilişkin temel koşulları karşılamalıdır.
2. Reaksiyon, uygun bir başlatma uyarısı uygulanmadıkça gerçekleşmemelidir.
3. Reaksiyon şiddetli olmalı; gaz ürünlere tam veya neredeyse tam dönüşüm sağlanmalıdır.
4. Reaksiyon ekzotermik olmalıdır.
5. Reaksiyon, dış bir oksijen kaynağı veya enerji, örneğin ısı, gerektirmeden kendi kendini sürdürebilir olmalıdır; yalnızca reaksiyonu başlatmak için gerekli enerji bir istisna olabilir.

Bu kriterler, patlayıcı maddelerin yapısal yapısının nasıl patlayıcı özellikler kazandığını anlamada önemli bir temel oluşturmaktadır. Özellikle, patlayıcı özelliklerin yalnızca reaksiyon hızına değil, aynı zamanda reaksiyonun sürdürülebilirliğine ve ürünlerin dönüşüm derecesine bağlı olduğu görülmektedir. Dahası, patlayıcı maddelerin güvenli ve kontrollü bir şekilde kullanımını sağlamada önemli bir rol oynamasının yanı sıra yeni patlayıcı maddelerin tasarımında da temel bir rehber işlevi görmektedir. Patlayıcı bileşiklerin moleküler özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkiyi ele alan ilk sistematik yaklaşım van't Hoff tarafından geliştirilmiş olup patlayıcı moleküllerin genellikle aşağıdaki grupları içerdiği belirtilmiştir (Brunswing, 1909, s.17):

1. Peroksitler, ozon ve ozonitlerde O – O bağı,
2. Kloritler ve perkloratlarda O – Cl,

3. Azot klorürde  $N - Cl$ ,
4. Nitro bileşiklerde, nitrik asit esterleri ve tuzlarında  $N = O$ ,
5. Diazo bileşiklerde, hidrozoik asit, tuzları ve esterlerinde  $N = N$ ,
6. Fulminatlar ve siyanürde  $N \equiv C$ ,
7. Asetilen ve asetilidlerde  $C \equiv C$ .

Patlayıcı maddelerin özellikleri ile yapısal bileşenleri arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik önemli bir başka girişim, Plets (1953) tarafından geliştirilen “*eksplosofor (explosophores) ve auxoplozes teorisi*” olup bu konuda önemli bir teorik çerçeve sunmaktadır. Bu teoriye göre, bir maddenin patlayıcı özellikleri, “*eksplosofor*” olarak adlandırılan belirli yapısal grupların varlığına dayanmakta olup “*auxoplozes*” olarak tanımlanan faktörler ise, eksplosofor gruplarının kazandırdığı patlayıcı özellikleri güçlendiren veya değiştiren unsurlar olarak işlev görmektedir. Pletz (1953), patlayıcı maddeleri içerdikleri bu yapısal gruplar temelinde aşağıdaki gibi sekiz farklı sınıfa ayırmıştır (Urbanski, 1964, s.1-2):

1.  $-NO_2$  ve  $-ONO_2$  hem organik hem de inorganik bileşiklerde,
2.  $-N = N-$  ve  $-N = N = N-$  inorganik ve organik azitlerde,
3.  $-NX_2$ , örneğin  $NCl_3$  (X- bir halojen),
4.  $-N = C$ , fulminatlarda,
5.  $-OCIO_2$  ve  $-OCIO_3$ , sırasıyla inorganik ve organik kloratlar ve perkloratlarda,
6.  $-O - O -$  ve  $-O - O - O -$ , sırasıyla inorganik ve organik peroksitler ve ozonitlerde,
7.  $-C \equiv C-$ , asetilen ve metal asetilenlerde,
8.  $M - C$ , metal ile C bağlı bazı organometalik bileşiklerde.

Bu sınıflandırma, patlayıcı maddelerin kimyasal yapı ile patlayıcı özellikleri arasındaki ilişkiyi anlamak için temel bir referans sunmasının yanı sıra hem teorik tem de pratik açıdan daha anlaşılır ve güvenli bir şekilde kullanılması için önemli bir temel oluşturmaktadır. Patlayıcıların güvenli kullanımını optimize etmek amacıyla yapılan bu sınıflandırmalar, araştırmacıların bu maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha iyi anlamalarına yardımcı olmakta ve uygulama alanlarındaki potansiyel riskleri minimize etmeye yönelik stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak Lothrop ve Handrick (1948, s.420), Pletz tarafından yapılan sınıflandırmanın tüm patlayıcı alanını deneysel bir biçimde ele aldığını kabul

etmekle birlikte, eksplofor ve auxoplofor terimleri arasındaki ayrımın net olmadığına dikkat çekerek bu sınıflandırmayı eleştirmiştir. Lothrop ve Handrick (1948), patlayıcı maddelerin performansına dair mevcut tüm verileri, oksijen dengesi, “*ploforik (plosophoric) gruplar*”<sup>2</sup>, “*auxoplofor (auxoplosive) gruplar*”<sup>3</sup> ve patlatma ısı parametreleriyle ilişkilendirerek yeni bir sınıflandırma önerisi geliştirmiştir. Bu sınıflandırmada, patlayıcı özellikleri taşıyan bileşiklerin oluşumuna katkıda bulunan gruplar, “**ploforik gruplar**” olarak tanımlanmış ve iki alt gruba ayrılmıştır:

1. **Birincil Ploforikler:** Nitrat esterleri, aromatik ve alifatik nitro grupları ve nitramin grubu gibi bileşikler içermektedir.
2. **İkincil Ploforikler:** Azo, azit, nitroso, peroksit, ozonit, perklorat ve nitrat gibi grupları kapsamaktadır

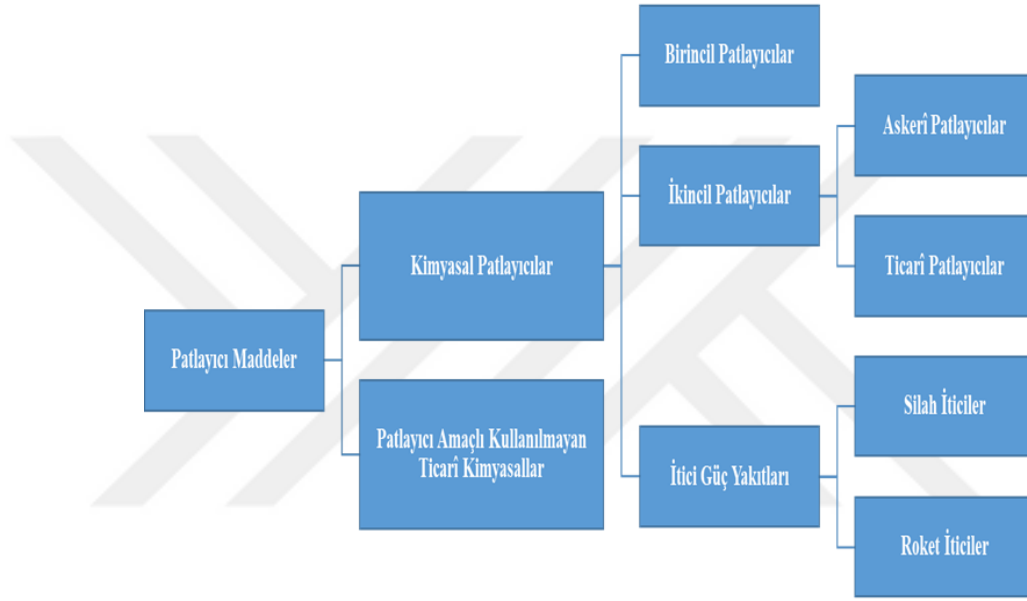
Auxoplofor grupları ise, tek başlarına patlayıcı özellikler göstermeyen, ancak patlayıcı bileşiklerin patlayıcı özelliklerini etkileyen gruplar olup fonksiyonel gruplar kategorisinde değerlendirilmektedir. Bu gruplar, patlayıcı bileşiklerin kimyasal tepkimelerini ve patlayıcı etkilerini değiştiren veya güçlendiren faktörler olarak kabul edilmektedir. Bu gruplara örnek olarak, hidroksil, eter, oksamid, karbonil, karboksil, halojen ve amin gibi fonksiyonel gruplar ve itici gazlar verilebilir (Lothrop ve Handrick, 1948, s.422-434). Ancak bu sınıflandırma, Lothrop ve Handrick’in oksijen dengesi ile patlayıcıların performansı arasındaki ilişkiye dair ileri sürdükleri varsayımlar nedeniyle ciddi eleştiriler almıştır (Schmidt, 1952, s.253). Bu bağlamda, Urbanski (1964) de karbonil ve hidroksil gruplarındaki oksijenin patlayıcının performansı üzerindeki etkisini sorgulamış ve bu etkiye dair çeşitli eleştirilerde bulunmuştur. Urbanski (1964, s.2)’ye göre bu etki, C-O ve C-O-H bağlarının yüksek oluşum ısılarından kaynaklanmakta olup N-O ve C≡C bağlarının düşük (negatif) oluşum ısıları ise patlayıcıların performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum, patlayıcı maddelerin enerji salınımı ve etkinliği açısından daha ayrıntılı ve hassas bir analiz gerektirdiğini göstermektedir.

---

<sup>2</sup> *Plosophoric* ve *plosophores* terimlerinin tam olarak Türkçeye çevrilebilecek yaygın bir karşılıkları bulunmamakla birlikte, bu terimlerin anlamının kaybolmaması adına çalışmada “*ploforik*” kavramı tercih edilmiştir. Ancak, her iki terimle de patlayıcı özellik taşıyan gruplar kastedilmektedir.

<sup>3</sup> *Auxoplofor* ve *auxoplosive* terimlerinin de tam olarak Türkçeye çevrilebilecek yaygın bir karşılıkları bulunmamaktadır. Ancak her iki terimle de patlayıcı etkileri artıran ya da patlayıcı özellikleri güçlendiren gruplar kastedilmekte olup bu terimlerin anlamının kaybolmaması adına çalışmada “*auxoplofor*” kavramının kullanılması tercih edilmiştir.

Diğer taraftan, Akhavan (2004), patlayıcı maddeleri kimyasal yapıları, performansları ve kullanım alanları doğrultusunda, Şekil 2.3'te de gösterildiği üzere, iki ana gruba ayırmıştır: Kimyasal patlayıcılar ve patlayıcı amaçlı kullanılmayan ticari kimyasallar. Bu sınıflandırmada, kimyasal patlayıcılar ise kendi içinde üç alt kategoriye ayrılmaktadır: Birincil patlayıcılar, ikincil patlayıcılar ve itici güç yakıtları. Bu ayırım, patlayıcı maddelerin farklı tepkime özelliklerini ve kullanım alanlarını anlamada daha ayrıntılı bir yaklaşım sunmakta olup güvenlik önlemlerinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

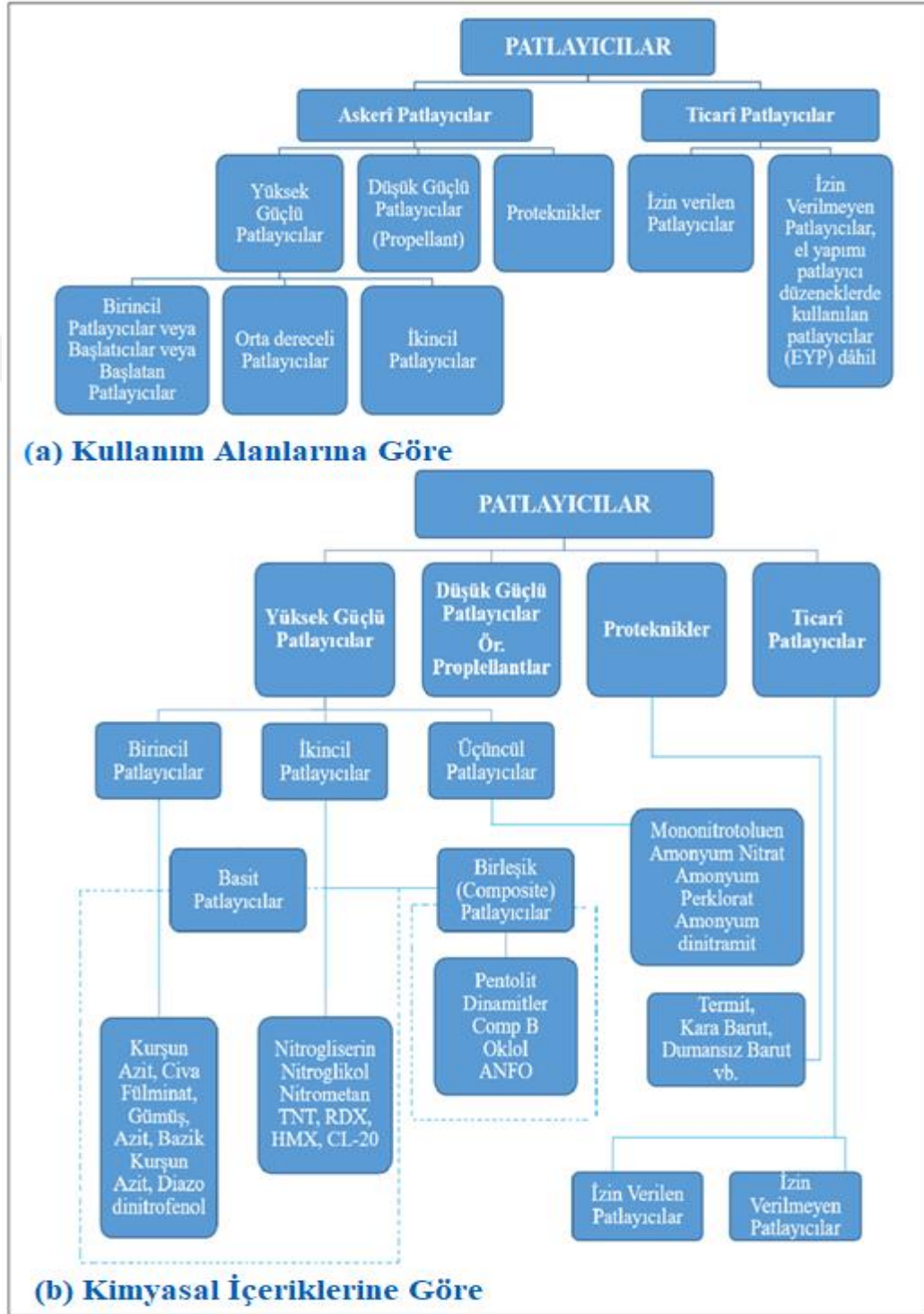


**Şekil 2.3: Akhavan (2004)'e Göre Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması**

**Kaynak:** (Akhavan, 2004, s.25)

Bu sınıflandırma, patlayıcı maddelerin farklı kullanım alanların ve farklı performans gereksinimlerine göre optimize edilmesini sağlayan önemli bir temel oluşturmaktadır. Ancak Agrawal (2010), patlayıcı maddeleri iki farklı perspektiften ele alarak Akahavan (2004)'in sınıflandırmasına göre daha ayrıntılı bir çerçeve sunmuştur. Agrawal (2010), Şekil 2.2'de görüldüğü üzere, patlayıcı maddeleri hem kullanım alanlarına hem de kimyasal içeriklerine göre ayrı ayrı sınıflandırmıştır. Bu yaklaşımında, Akhavan'ın "ikincil patlayıcılar" olarak nitelendirdiği askerî ve ticarî patlayıcılar, bağımsız kategoriler olarak ele alınmış ve ikincil patlayıcılar da askerî patlayıcıların bir alt grubu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, Şekil 2.4 (a)'da görüldüğü üzere, patlayıcı maddelerin işlev ve kullanım yerlerine odaklanarak, bu maddeleri iki ana grupta sınıflandırmaktadır: Askerî ve ticarî patlayıcılar. Bu

yaklaşım, patlayıcı maddelerin operasyonel bağlamda daha iyi anlaşılmasına olanak tanırken Şekil 2.4 (b)'de de görüldüğü üzere, patlayıcı maddelerin kimyasal bileşimlerini temel alarak dört ana grupta sınıflandırmaktadır: Yüksek güçlü, düşük güçlü, proteknikler ve ticari patlayıcılar.

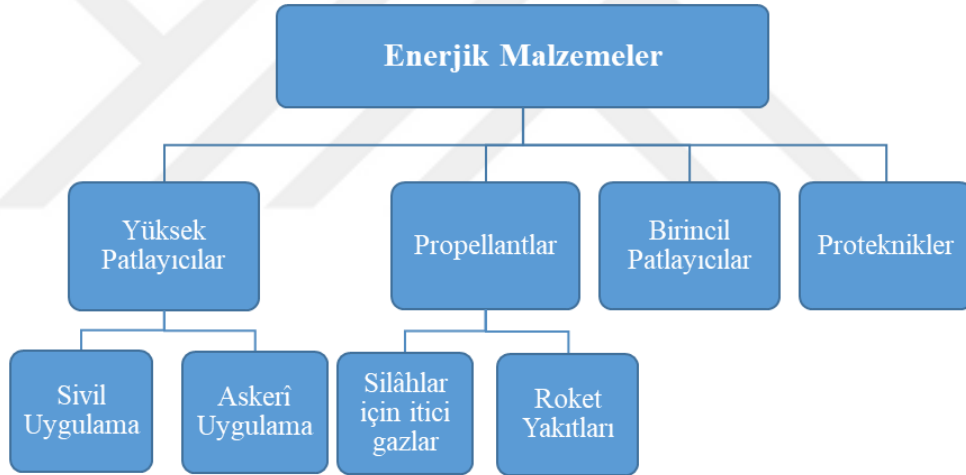


**Şekil 2.4: Patlayıcı Maddelerin Kullanım Alanlarına ve İçeriklerine Göre Sınıflandırılması**

Kaynak: (Agrawal, 2010, s.5)

Agrawal (2010)'un sınıflandırmadaki çift yönlü yaklaşım, patlayıcıların hem pratik hem de bilimsel boyutlarını kapsayıcı bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Kullanım alanlarına göre yapılan sınıflandırma, patlayıcıların operasyonel etkinliğini artırmayı hedeflerken; kimyasal içeriklere dayalı sınıflandırma, araştırma ve geliştirme çalışmalarına değerli bir katkı sunmaktadır. Bu iki yaklaşımın bir arada kullanımı, patlayıcı maddelerin çok boyutlu bir perspektifle incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda, enerjik malzemeler olarak da tanımlanan patlayıcı maddeler, Klapötke (2017) tarafından da aynı terimle ifade edilmiştir. Agrawal (2010)'un sınıflamasında yüksek güçlü patlayıcılar, propellantlar ve proteknikler olarak adlandırılan askerî patlayıcılar, Klapötke tarafından enerjik malzemelerin alt sınıfları olarak kategorize edilerek Şekil 2.5'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

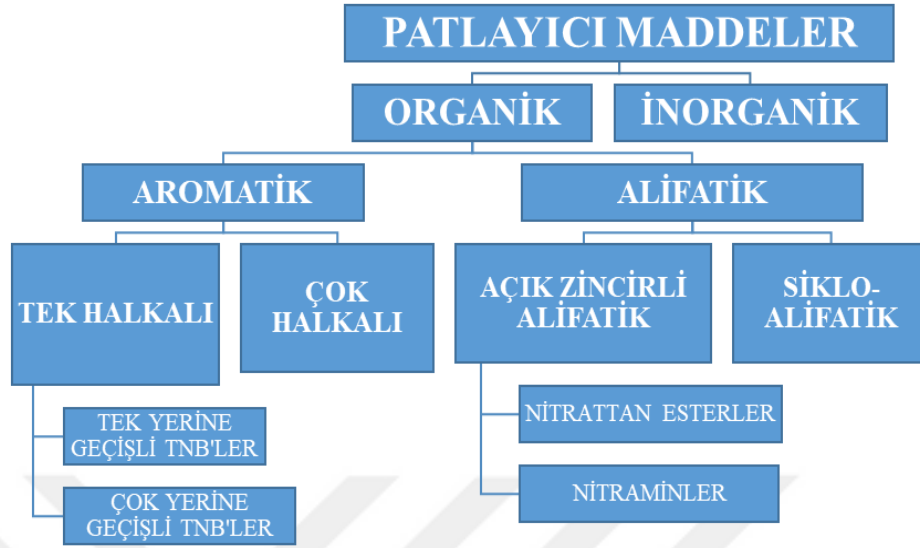


**Şekil 2.5: Enerjik Malzemelerin Sınıflandırılması**

**Kaynak:** (Klapötke, 2017, s.53)

Diğer taraftan, patlayıcı maddeleri kimyasal yapıları ve moleküler özelliklerine dayalı olarak daha spesifik bir şekilde sınıflandıran Cooper (1996, s.19), bu maddelerin reaksiyon sırasında “oksidasyon” olarak adlandırılan bir süreçle enerji ürettiğini ifade etmektedir. Cooper’ın sınıflamasına göre, patlayıcı maddeler Şekil 2.6’da da gösterildiği gibi organik ve inorganik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Organik patlayıcılar, aromatik ve alifatik olmak üzere iki alt gruba ayrılırken aromatik patlayıcılar aromatik halkalar içeren bileşikler olarak tek halkalı ve çok halkalı aromatik patlayıcılar olmak üzere iki alt grupta sınıflandırılmaktadır.

Alifatik patlayıcılar ise açık zincirli ya da halkalı yapısına bağlı olarak açık zincirli ve siklo-alifatik patlayıcılar olarak iki alt gruba ayrılmaktadır.



**Şekil 2.6: Cooper (1996)'a Göre Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması**

**Kaynak:** (Cooper, 1996, s.29)

Cooper tarafından yapılan bu sınıflandırma, patlayıcı maddelerin kimyasal yapılarındaki temel farkları vurgulamakta ve bu maddelerin moleküler özelliklerine dayanarak reaksiyon mekanizmalarının stabilite düzeylerinin ve enerji çıkışlarının daha iyi anlaşılmasına önemli bir katkı sunmaktadır. Bu yaklaşım, patlayıcıların daha ayrıntılı ve spesifik bir şekilde sınıflandırılmasına olanak tanırken, araştırma ve geliştirme çalışmalarına da değerli bilgiler sağlamaktadır. Bununla birlikte, patlayıcı maddelerin yalnızca organik ve inorganik olarak iki ana gruba ayrılması, tüm patlayıcı türlerini kapsamaya yeterli olmayabileceğinden Cooper'ın sınıflandırması, özellikle askerî ve sivil patlayıcılar arasındaki farklılıkları göz ardı etme riski de taşıyabilmektedir. Benzer şekilde, Türker ve Vaniş (2009, s.230) de çalışmalarında kimyasal yapıya odaklanarak Cooper'ın sınıflamasıyla paralellik gösteren bir sınıflandırma geliştirip patlayıcı maddeleri benzer kategoriler altında ele almıştır. Ancak her iki sınıflamada da dikkat çeken temel bir eksiklik, nükleer patlayıcı maddelere yer verilmemesidir. Bu durum, her iki sınıflamanın da yalnızca kimyasal patlayıcı maddelere odaklandığını göstermekte ve söz konusu sınıflamaların yalnızca kimyasal patlayıcılar için geliştirilmiş özel sınıflamalar olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Patlayıcı maddelerin kimyasal özelliklerine, kullanım amaçlarına, gücüne ve üretim şekillerine odaklanan Öz (2010, s.8-12), çalışmasında patlayıcıları detaylı bir şekilde inceleyerek kapsamlı bir şekilde Çizelge 2.1'deki gibi alt gruplarda değerlendirmiştir:

**Çizelge 2.1: Patlayıcı Maddelerin Kimyasal Özelliklerine, Kullanım Alanlarına, Güçlerine ve Üretim Şekillerine Göre Sınıflandırılması**

Patlayıcı Maddeler Sınıflandırması		
<b>Kimyasal Özelliklerine Göre</b>	Azotürler ve Fulminatlar	
	Nitrolu Patlayıcılar (Nitrik asit esterleri ya da nitrolu türevler)	
	Nitratlı Patlayıcılar (Ana bileşeni amonyum nitrat olanlar)	
	Kloratlı Patlayıcılar (Ana bileşeni sodyum klorat olanlar)	
	Perkloratlı Patlayıcılar (Ana bileşeni perklorat olanlar)	
	Dinamitler (Ana bileşeni nitrogliserin olanlar)	
	Kara barut ve benzeri karışımlar	
<b>Kullanım Amaçlarına Göre</b>	Tahrip edici patlayıcılar	
	Ateşlemeye yarayan patlayıcılar (Detonatörler)	
	Askerî Patlayıcılar	
	Fırlatıcı yakıt olarak kullanılan patlayıcılar (Propellantlar)	
	Diğer patlayıcılar	
<b>Güçlerine Göre</b>	Alçak (Düşük güçte) Patlayıcı Maddeler	
	Yüksek (Yüksek güçte) Patlayıcı Maddeler	
<b>Üretim Şekillerine Göre</b>	Fabrikasyon patlayıcılar	Sıvı halde olanlar
		Katı halde olanlar
		Gaz halde olanlar
	El yapımı patlayıcılar	

**Kaynak:** Çizelge, Öz (2010, s.8-12) tarafından sunulan bilgiler ışığında tarafınca hazırlanmıştır.

Öte yandan, Bermana, Hafızah, Ruyat ve Rosyida (2024, s.549) gerçekleştirdikleri çalışmada patlayıcı maddeleri, yaşlandırma testlerinde kritik öneme sahip belirli ana bileşenlerin varlığına dayanarak dört grupta sınıflandırmıştır. Sınıflandırma kapsamında patlayıcı maddeler şu şekilde kategorize edilmiştir: Nitrat içerenler, düşük erime noktasına sahip bileşenler içerenler, uçucu maddeler içerenler ve temel bileşenlerden yoksun olanlar. Bu yaklaşım, patlayıcı maddelerin kimyasal bileşimlerini ve bu bileşimlerin yaşlanma sürecindeki rolünü detaylı bir şekilde ele alarak, kimyasal stabilite ve uzun vadeli performans değerlendirmeleri için önemli bir referans çerçevesi sunmaktadır. Ancak, bu sınıflandırmanın odak noktası yalnızca kimyasal bileşim ve yaşlanma süreciyle sınırlı olduğundan, patlayıcı maddelerin

performansı, uygulama alanları ve operasyonel gereklilikler gibi daha geniş perspektiflerden değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla, bu tür sınıflamaların tamamlayıcı yaklaşımlar ve farklı parametreler ile desteklenmesi, patlayıcı maddelerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Görüldüğü üzere, patlayıcı maddelerin sınıflandırılması, literatürde birçok araştırmacı tarafından farklı yaklaşımlarla ele alınmıştır. Ancak her bir araştırmacı, kendi uzmanlık alanı ve çalışma perspektifine bağlı olarak farklı sınıflandırma kriterleri geliştirdiği için, mevcut sınıflamalar hem çeşitlilik göstermekte hem de avantajlarının yanı sıra belirli sınırlamalar ve dezavantajlar içermektedir. Bu durum, patlayıcı maddelerin belirli özellikleri ve kullanım alanları temelinde geliştirilen sınıflamaların tek başına yeterli olmayacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca, mevcut sınıflamaların büyük bir çoğunluğunun yalnızca kimyasal patlayıcı maddeleri kapsamaması nedeniyle, bu sınıflamalar genellikle “kimyasal patlayıcılar sınıflaması” olarak değerlendirilmekte ve dolayısıyla nükleer patlayıcılar kapsam dışında kalmaktadır. Bu durum, söz konusu sınıflamaların, patlayıcı maddelerin genel bir sınıflandırması olarak kabul edilmesini engellemekte ve nükleer patlayıcıların bu tür sınıflamaların dışında bırakılması, bu yaklaşımların bütüncül bir sınıflandırma olarak değerlendirilmesini imkânsız kılmaktadır.

Dolayısıyla, patlayıcı maddelerin tüm çeşitlerini kapsayacak şekilde daha kapsamlı ve çok boyutlu bir anlayışla ele alınacak, disiplinler arası bir yaklaşıma dayalı bir sınıflandırma sistemi geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Böyle bir sistem, patlayıcı maddelerin kimyasal yapıları, moleküler özellikleri, kullanım amaçları, fiziksel formları, patlama şekilleri, patlama mekanizmaları ve tehlike seviyeleri gibi çeşitli faktörleri bir araya getirerek, patlayıcıların farklı yönlerini daha bütüncül bir şekilde incelemeye olanak sunabilir. Bu yaklaşım, yalnızca patlayıcı maddelerin daha etkili ve güvenli bir şekilde kullanılmasına imkân tanımakla kalmayıp, aynı zamanda patlayıcıların tasarım, üretim ve üretim süreçlerinde daha kapsamlı bir risk değerlendirmesi yapılmasına da katkıda bulunabilir. Bu bağlamda, Ateşceoğlu ve İmamoğlu (2025, s.5) tarafından patlayıcı maddeler, mevcut sınıflandırmalardan farklı olarak yapısal ve kimyasal özellikleri, moleküler ve atomik düzeydeki nitelikleri, reaksiyon türleri ve patlama şekilleri gibi kriterler temel alınarak Çizelge 2.2’de de sunulduğu üzere daha geniş perspektiften yeni bir sınıflandırma geliştirilmiştir. Bu sınıflandırma, patlayıcı maddelerin çok boyutlu bir

şekilde incelenmesini sağlayacak şekilde tasarlanmış olup, patlayıcı maddeler, kimyasal ve nükleer olmak üzere iki ana sınıfta değerlendirilmiştir.

**Çizelge 2.2: Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması**

PATLAYICI MADDELER SINIFLANDIRMASI				
PATLAYICI MADDELER	KİMYASAL PATLAYICILAR	Organik Patlayıcılar	Aromatik Patlayıcılar	Homoaromatik Patlayıcılar
				Heteroaromatik Patlayıcılar
				Diğer Aromatik Patlayıcılar
		Alifatik Patlayıcılar	Alifatik Nitrat Ester Patlayıcılar	
			Alifatik Nitramit Tabanlı Patlayıcılar	
			Alifatik Peroksit Tabanlı Patlayıcılar	
			Siklik Azotlu Alifatik Patlayıcılar	
	Diğer Alifatik Patlayıcılar			
	İnorganik Patlayıcılar			
	NÜKLEER PATLAYICILAR	Fisyon Tabanlı Nükleer Patlayıcılar		
Füzyon Tabanlı Nükleer Patlayıcılar				
İki Aşamalı Nükleer Patlayıcılar				

**Kaynak:** Çizelge, Ateşceloğlu ve İmamoğlu (2025, s.5)'daki şekilden düzenlenmiştir.

Bu sınıflandırmada, kimyasal ve nükleer patlayıcılar bütüncül bir yaklaşımla bir arada ele alınarak, patlayıcı maddelerin çok boyutlu bir şekilde incelenebilmesi sağlanmıştır. Böylece, her iki patlayıcı türünün kendine özgü özellikleri ve uygulama alanları göz önünde bulundurularak, patlayıcı maddelerin daha derinlemesine bir analizini mümkün kılınmaktadır.

### 2.1.5.1 Kimyasal patlayıcılar

Kimyasal patlayıcılar, “dışarıdan reaksiyon aktivasyon enerjisini en az karşılayacak büyüklükteki fiziksel bir etkiyle ani bir şekilde ekzotermik reaksiyon göstererek enerjisini ısı, ışık, ses, şok, alev ve gaz gibi değişik formlarda açığa çıkaran kimyasal bileşikler ya da karışımlar” (Ateşceloğlu, İmamoğlu, 2025, s.6) olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal patlayıcılar, enerjilerini kimyasal bağların kopmasından ve yeni bağların oluşumundan elde etmektedirler. Bu süreç, patlayıcının bileşenleri arasındaki atomik bağların kopması ve enerji salınımı yoluyla yeni kimyasal bağların oluşmasıyla gerçekleşmektedir. Çoğu kimyasal patlayıcı,

oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları gibi hızlı kimyasal dönüşümlerle büyük miktarda enerji açığa çıkarmaktadır.

Kimyasal patlayıcıların patlama süreci, genellikle dışarıdan bir fiziksel etki (örneğin, şok, ısı veya mekanik etki) ile tetiklenmekte ve ardından kendiliğinden bir reaksiyon zincirini başlatarak hızla devam etmektedir. Bu reaksiyon zinciri, milisaniyeler veya mikrosaniyeler içinde tamamlanarak ani bir ısı ve gaz salınımıyla sonuçlanmaktadır. Kimyasal patlayıcıların bu patlama süreci, kimyasal bileşiklerin yüksek enerji açığa çıkaran reaksiyonlarıyla karakterize edilmektedir. Kimyasal patlayıcı maddelerin örnekleri ve özellikleri detaylı bir şekilde Çizelge A.4'te sunulmuştur. Ayrıca kimyasal patlayıcılar, Çizelge 2.2'de de belirtildiği üzere, organik ve inorganik patlayıcılar olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Organik ve inorganik patlayıcı maddelerin özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge A.3'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Organik patlayıcılar, özellikle karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) gibi atomlar içeren ve patlayıcı özellikler sergileyen kimyasal bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, bazı organik patlayıcılar kükürt (S), klor (Cl), flor (F) gibi ek elementler de içermektedir. Bu elementler, patlayıcı bileşiğin kimyasal yapısını şekillendirerek patlama reaksiyonlarının hızını, gücünü ve verimliliğini belirleyici ölçüde etkilemektedir. Organik patlayıcılar, moleküler yapılarındaki kimyasal bağların düzenlenişi ve özelliklerine bağlı olarak, dış uyaranlara tepki olarak hızlı ve yoğun enerji salınımına yol açan reaksiyonlar gerçekleştirmektedir. Bu patlayıcılar, genellikle yüksek enerjili kimyasal bağlar içeren bileşiklerden oluştuklarından bu kimyasal bağların kopması, reaksiyon sırasında büyük miktarda enerji açığa çıkmasına neden olmaktadır. Moleküller arasındaki etkileşimler ve bağların yapısı, patlamanın hızını, gücünü ve verimliliğini belirleyen temel unsurlar olup, patlayıcı bileşiğin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu enerji salınımı, genellikle ısı, ışık ve gaz üretimi şeklinde gözlenmekte ve reaksiyonun hızını artırarak patlayıcı bileşiğin performansını maksimum düzeye ulaştırmaktadır.

Buna ek olarak, organik patlayıcılar, inorganik patlayıcılara kıyasla daha kompleks moleküler yapıya sahip olmaları nedeniyle, reaksiyona girdiklerinde daha fazla kimyasal bağın kopmasına yol açmaktadırlar. Bu özellik, organik patlayıcıların genellikle inorganik patlayıcılardan daha yüksek patlayıcı güç sergilemelerine neden

olmaktadır. Patlayıcı maddelerin büyük bir çoğunluğu organik patlayıcı maddeler sınıfında yer almaktadır (Altgilbers vd., 2011, s.59). Organik patlayıcılar, karbon (C) atomlarının yapıdaki bağlanma biçimi ve molekülün kimyasal özelliklerini belirleyen yapısal özellikler esas alınarak aromatik ve alifatik patlayıcılar olmak üzere iki alt kategoriye ayrılarak sınıflandırılmaktadır. Aromatik ve alifatik patlayıcıların özelliklerinin karşılaştırılması Çizelge A.5'te detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bununla birlikte, her iki grubun kimyasal özellikleri ve patlama dinamiklerinin farklılıklar göstermesi, organik ve inorganik patlayıcıların kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır. Ayrıca, patlayıcı maddelerin tasarımı, üretimi ve kullanımı etkinlik ve güvenlik açısından büyük bir titizlik ve dikkat gerektiren mühendislik süreçleridir; her aşama, yüksek düzeyde uzmanlık ve özen gerektirmektedir.

İnorganik patlayıcılar ise, yapılarında özellikle karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarını birlikte bulundurmayan, metal ve ametal atomları arasında iyonik bağlarla organize olmuş ve/veya metallerin oksitleri, nitratları, kloratları, peroksitleri, sülfatları ya da diğer inorganik tuz bileşenlerinden oluşan kimyasal patlayıcılar olarak tanımlanmaktadır. Bu tür patlayıcılar, genellikle metalik ve ametalik elementlerin atomları arasındaki güçlü bağların ve enerjik bileşiklerin varlığı nedeniyle yüksek enerji salınımına yol açmaktadırlar. İnorganik patlayıcılar, organik patlayıcılara kıyasla daha düşük kararlılığa sahip olduğundan çevresel etkenler ve ısı, mekanik darbe veya diğer dış uyarılarla hızla patlayabilme özelliği göstermektedir. İnorganik patlayıcıların stabilitesi, içerdiği enerjik grupların kimyasal bağlarındaki zayıflıktan kaynaklandığından bu tür patlayıcılar özellikle kontrollü patlama uygulamaları için uygun patlayıcılardır. Bu tür patlayıcılara örnek olarak, kurşun azotür ( $Pb(N_3)_2$ ) ve gümüş azotür ( $AgN_3$ ) verilebilir. İnorganik patlayıcılar, özellikle askerî, endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında kullanılmakta olup güvenlik tedbirleri gerektiren son derece hassas patlayıcılardır.

Organik patlayıcıların bir alt grubu olan aromatik patlayıcılar, “yapısında  $\pi$  elektronlarının delokalizasyonuna sahip, Hückel Kuralı'na ( $4n+2 \pi$  elektronu) uyan ve halkalı bir yapı içeren, genellikle benzen veya türevleri temelinde oluşturulmuş organik patlayıcılar” (Ateşeceloğlu ve İmamoğlu, 2025, s.6) olarak tanımlanmaktadır. Alifatik patlayıcılara kıyasla daha kararlı bir yapıya sahip olan aromatik patlayıcılar, yapısındaki fonksiyonel gruplara bağlı olarak değişken

düzyeyde duyarlılık gösterebilen patlayıcılarıdır. Bu tür patlayıcılar, kimyasal yapıları ve reaktivite özelliklerine göre homoaromatik, heteroaromatik ve diğery aromatik patlayıcılar olmak üzere üç alt gruba ayrılmaktadır. Aromatik patlayıcı türlerinin karşılaştırılması Çizelge A.6'da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Homoaromatik patlayıcılar, aromatik halkaların yalnızca karbon (C) atomlarından oluştuğı patlayıcı türleridir. Bu grup patlayıcılar, kimyasal stabilite ile yüksek patlama enerjisi arasında dengeli bir yapı sunmakta olup, askerî ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Öne çıkan örnekler arasında 1,3,5-trinitrobenzen (TNB), 2,4,6-trinitrotoluen (TNT), tetril, pikrik asit (TNP) gibi patlayıcı maddeler yer almaktadır.

Heteroaromatik patlayıcılar, aromatik halkaların bir veya daha fazla heteroatom (örneğin, azot, oksijen veya kükürt) içerdığı organik patlayıcı bileşikleridir. Heteroatomların varlığı, bu bileşiklerin moleküller yapılarının elektronik özelliklerini değiştirerek patlayıcı özelliklerini etkileyebilmektedir. Heteroaromatik yapılar, genellikle daha yüksek reaktivite ve özgün kimyasal bağ özelliklerine sahip olduğundan patlama reaksiyonlarının hızını, etkinliğini ve verimliliğini yani genel performansını ve stabiliteyi önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu tür patlayıcılar, genellikle daha spesifik uygulama alanlarına sahip olup kimyasal modifikasyona daha açıktır. Bu kategorideki patlayıcılara 4,4'-Dinitro-3,3'-Diazenofuroksan (DDF) örnek verilebilir. Bu tür bileşiklerin tasarımı ve sentezi, hem askerî hem de sivil uygulamalar için daha güvenli, çevre dostu ve yüksek performanslı patlayıcıların geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Diğery aromatik patlayıcılar ise; klasik aromatiklik kriterlerine tam olarak uymayan ancak  $\pi$  elektronlarının delokalize elektron sistemleriyle aromatik özellikler sergileyen organik patlayıcı bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu bileşiklerin, aromatik yapıları, geleneksel aromatik halkalardan yapısal olarak farklılıklar göstermekle birlikte,  $\pi$  bağlarının delokalizasyonu ve elektron dağılımı nedeniyle benzer reaktiflik özellikleri sergileyebilmektedir. Bu tür patlayıcılar, hem teorik hem de pratik olarak farklı kimyasal davranışlar sergileyebildiklerinden özel uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu gruba örnek olarak kurşun stıfnat gösterilebilir.

Organik patlayıcı türlerinden biri olan alifatik patlayıcılar, yapılarında  $\pi$  elektronlarının delokalizasyonu bulunmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) ya da

aromatik olmayan siklik yapıya sahip, genellikle oksijence zengin ve enerjik gruplar içeren organik patlayıcılar olarak tanımlanmaktadır (Ateşeceloğlu ve İmamoğlu, 2025, s.6). Bu tür patlayıcılar, aromatik patlayıcılara kıyasla daha düşük kararlılığa sahiptirler. Ancak seri üretilen ilk modern patlayıcılardır (Cooper ve Kurowski, 1996, s.15). Alifatik patlayıcılar, Çizelge 2.2’de de gösterildiği üzere şu şekilde beş alt gruba ayrılmaktadır:

1. Alifatik Nitrat Ester Patlayıcılar,
2. Alifatik Nitramit Tabanlı Patlayıcılar,
3. Alifatik Peroksit Tabanlı Patlayıcılar,
4. Siklik Azotlu Alifatik Patlayıcılar,
5. Diğer Alifatik Patlayıcılar.

Bu grup patlayıcıların detaylı karşılaştırması Çizelge A.7’de detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu alt grup patlayıcılardan alifatik nitrat ester patlayıcılar, yapılarında  $\pi$  elektronlarının delokalizasyonu bulunmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) bir yapı sergileyen, bünyelerinde nitrat ester ( $-\text{ONO}_2$ ) grubu bulunduran ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir. Yüksek enerjili nitrat ester bağları, bu bileşiklerin yüksek reaktivitesine ve hızlı patlama reaksiyonlarına yol açarak genellikle yüksek patlayıcı güçleri ve hızlı reaksiyon hızlarıyla tanınmalarını sağlamaktadır. Nitrogliserin (NG), metil nitrat, pentaeritrol tetranitramit (PETN) gibi patlayıcılar bu gruba örnek olarak verilebilir. En yaygın alifatik patlayıcılar, nitrat esteleridir (Hieng, 2006, s.4). Bu tür patlayıcılar, başta tıbbi, endüstriyel ve askerî alanlar olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmakta olup nitrat ester grubunun yüksek reaktivitesi nedeniyle, bu bileşiklerin tasarım ve kullanımı sırasında dikkatli bir güvenlik yaklaşımı gerekmektedir.

Alifatik nitramit tabanlı patlayıcılar ise, yapılarında  $\pi$  elektronlarının delokalizasyonu bulunmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) bir yapı sergileyen, bünyelerinde nitramit grubu ( $-\text{NO}_2$ ) içeren ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir. Bu tür patlayıcılar, nitramin grubunun yüksek reaktivitesinden dolayı oldukça patlayıcı özellikler sergileyebilir ve patlama reaksiyonlarını hızlı bir şekilde başlatma potansiyeline sahiptirler. Alifatik nitrat tabanlı patlayıcılara örnek olarak etilendinitramin (EDNA) ve nitroguanidin (NQ) gösterilebilir. Bu tür patlayıcılar, genellikle askerî, endüstriyel ve mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır.

Alifatik peroksit tabanlı patlayıcılara gelince, yapılarında  $\pi$  elektronlarının delokalizasyonu bulunmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) bir yapı sergileyen, bünyelerinde peroksit grubu (-O-O-) bulunduran ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu tür patlayıcılar, peroksit grubunun yüksek reaktivitesine bağlı olarak son derece hassas ve hızlı patlama reaksiyonları başlatabilme potansiyeline sahip olup aseton peroksit (AP veya TATP) ve metil etil keton peroksit (MEKP) gibi patlayıcılar bu gruba örnek olarak verilebilir. Alifatik peroksit tabanlı patlayıcılar, genellikle askerî ve endüstriyel uygulamaların yanı sıra terörist faaliyetlerde de kullanılmakta olup, bu durum güvenlik risklerini önemli ölçüde artıran bir faktördür.

Siklik azotlu alifatik patlayıcılar, aromatik olmayan siklik yapıya sahip olup, yapılarında  $\pi$  elektronlarının delokalizasyonu bulunmayan, azot içeren ve genellikle oksijen açısından zengin, enerjik gruplar bulunduran, aromatik patlayıcılara kıyasla daha düşük kararlılık sergileyen ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir. Bu tür patlayıcıların siklik yapıları, patlama reaksiyonlarının hızını artırabildiğinden son derece hassastır. Siklotrimetilentritramin (RDX) ve siklotetrametilen tetranitramin (HMX) bu sınıfa ait yaygın örneklerden olup genellikle askerî uygulamalarda, özellikle yüksek patlayıcılar olarak kullanılmaktadırlar.

Diğer alifatik patlayıcılar ise; ilk dört kategorideki alifatiklik kriterlerini tam olarak karşılamayan ancak yine de alifatik özellik gösteren ve patlayıcı özelliklere sahip organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu tür patlayıcılar, yapısal olarak belirli alifatik bileşiklerin karakteristik özelliklerini taşıırken, bazı durumlarda azot, oksijen veya diğer enerjik grupların varlığı ile patlayıcı özellikler göstermektedir. Triazidometan ve üre nitrat bu tür patlayıcılara örnek verilebilir.

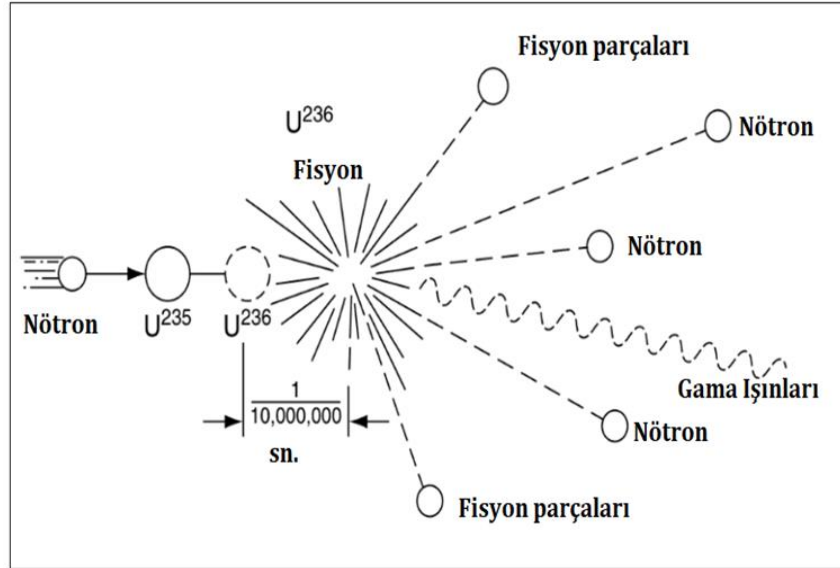
### **2.1.5.2 Nükleer patlayıcılar**

Nükleer patlayıcılar, atom çekirdeklerinin yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya nötron bombardımanı gibi dışsal etkenlerle tetiklenmesi sonucu, kontrolsüz bir hızda gerçekleşen fisyon (çekirdek parçalanması) veya füzyon (çekirdek birleşmesi) reaksiyonlarıyla ya da bu iki reaksiyonun sırasıyla gerçekleşmesiyle büyük miktarda enerji açığa çıkaran maddelerdir. Çok ağır atom çekirdekleri ile çok hafif atom çekirdekleri düşük bağlanma enerjilerine sahip oldukları için ağır bir çekirdek parçalandığında (fisyon) enerji salınması ve iki hafif çekirdek birleştiğinde (füzyon)

de enerji salınması anlamına gelmektedir (Siracusa, 2008, s.4). Bu reaksiyonlar, aynı zamanda gama ışınları, yüksek sıcaklık, yüksek basınç, serbest nötronlar ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi çeşitli unsurlar üretirler. Bu tür patlayıcılar, nükleer reaksiyonların bir sonucu olarak çevreye radyoaktif maddeler salmaktadırlar. Nükleer patlayıcılar, Çizelge 2.2’de de görüldüğü gibi, fisyon tabanlı, füzyon tabanlı ve iki aşamalı patlayıcılar olmak üzere üç alt gruba ayrılmaktadır.

Fisyon tabanlı nükleer patlayıcılar, “ağır atom çekirdeklerinin nötron bombardımanı sonucunda zincirleme bir şekilde parçalanarak daha hafif atom çekirdeklerine bölünmesiyle büyük miktarda enerji, radyasyon (özellikle gama ışınları), nötronlar, radyoaktif maddeler ve izotoplar ile yüksek sıcaklık ve basınç gibi unsurlar açığa çıkaran maddeler” (Ateşceloğlu ve İmamoğlu, 2025, s.6) olarak tanımlanmaktadır. Bu tür patlayıcılar, atom çekirdeklerinin bölünmesiyle gerçekleştiğinden “çekirdek bölünmesi” olarak da adlandırılmaktadır.

Nitekim Şekil 2.7’de de görüldüğü üzere, U-235 çekirdeği için gerçekleşen fisyon reaksiyonu, bir nötronun ağır atom çekirdeğine çarpmasıyla başlamaktadır. Bu reaksiyon sonucunda yaklaşık 200 MeV enerji, iki veya üç nötron, iki daha hafif çekirdek (fisyon parçaları) ile bir miktar gama ışını ve nötrino açığa çıkmaktadır (Lewis, 2008, s.9).



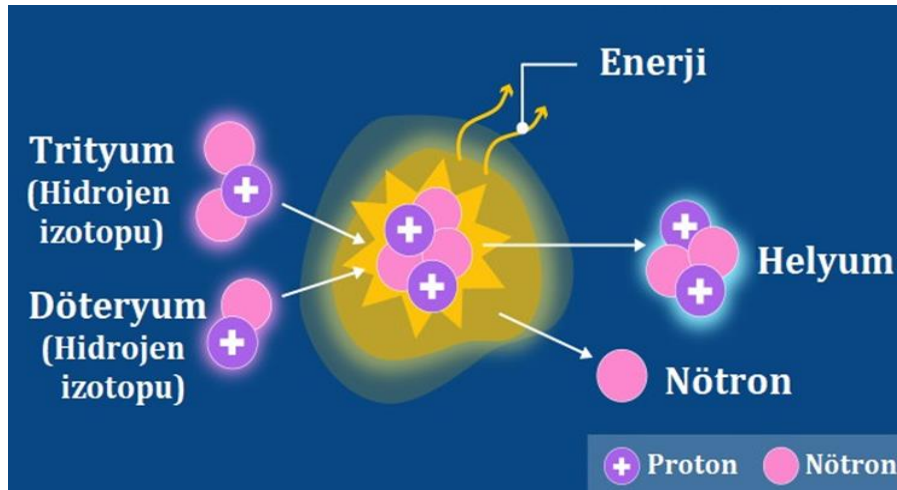
**Şekil 2.7: Uranyum-235 Atom Çekirdeğinin Fisyon Reaksiyonu**

**Kaynak:** Lewis (2008, s.10)’ten alınarak Türkçeye çevrilmiştir.

Atom çekirdeklerinin bölünmesi, kimyasal patlayıcılara kıyasla çok daha büyük miktarda enerji, nötronlar ve radyoaktif izotoplar açığa çıkarmaktadır. Fisyon

tabanlı nükleer patlayıcılar, füzyon ve iki aşamalı patlayıcılara kıyasla daha az karmaşık olup, daha düşük enerji çıkışı sağlamakta ve ilk geliştirilen nükleer silâh türü olarak kabul edilmektedir. Bu tür patlayıcılara atom bombası (A-bombası) örnek verilebilir.

Füzyon tabanlı nükleer patlayıcılar, “hafif atom çekirdeklerinin yüksek sıcaklık ve basınç altında birleşerek daha ağır atom çekirdekler oluşturması sonucu büyük miktarda enerji, radyasyon (özellikle gama ışınları), yüksek sıcaklık ve basınç, serbest nötronlar ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi patlama ürünlerinin açığa çıkmasına neden olan maddeler” olarak tanımlanmaktadır. Bu tür patlayıcılar, Şekil 2.8’de gösterilen Trityum ve Döteryum gibi iki hafif atom çekirdeğinin nükleer füzyon reaksiyonunda olduğu gibi en az iki küçük atom çekirdeğinin birleşmesiyle meydana geldiğinden “çekirdek birleşmesi” olarak da adlandırılmaktadır. Bu birleşme sonucunda ortaya çıkan enerji, fisyon tabanlı nükleer patlayıcıların açığa çıkardığı enerjiden çok daha yüksek olup, teknolojik açıdan daha karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu nedenle, füzyon tabanlı patlayıcılar, daha geniş alanları etkileyebilmenin yanı sıra, aşırı yüksek sıcaklık ve yoğun radyasyon yayarak büyük tahribatlara yol açma potansiyeline sahiptir. Füzyon tabanlı patlayıcılar, nükleer silâhların evriminde daha ileri bir aşamayı sergilemekte olup, fisyon aşamasına ihtiyaç duymadan tamamen füzyonla çalışan bir nükleer patlayıcı teorik olarak mümkün olmakla birlikte, bugüne kadar geliştirilmemiştir (Agrawal, 2010, s.54).



**Şekil 2.8: Trityum ve Döteryum Atom Çekirdeklerinin Füzyon Reaksiyonu**

**Kaynak:** Barbarino (2023)’ten Türkçeye çevrilmiştir.

İki aşamalı nükleer patlayıcılar, “fisyon patlaması sonucu açığa çıkan enerjinin, füzyon patlamasını tetiklemek için gereken enerjiyi sağlamasının ardından

büyük miktarda enerji, radyasyon (özellikle gama ışınları), serbest nötronlar, radyoaktif maddeler ve izotoplar ile yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi unsurların ortaya çıkmasına yol açan maddeler” olarak tanımlanmaktadır. Ancak, patlama enerjisinin büyük bir çoğunluğu füzyon reaksiyonlarından karşılanmaktadır (Shawn, 1992, s.59). Bu tür patlayıcılar, fisyon ve füzyon tabanlı nükleer patlayıcılara kıyasla maksimum yıkım kapasitesine sahip olup, günümüzde kullanılan en etkili ve gelişmiş nükleer silâh türü olarak kabul edilmektedir. İki aşamalı nükleer patlayıcılara örnek olarak termonükleer silâhlar (hidrojen bombası veya H-bombası) verilebilir.

Bu üç tür nükleer patlayıcı, Çizelge A.8’de yer alan kıyaslama çizelgesinde de görüldüğü üzere, üretim mekanizmaları, kullanılan malzemeler, verimlilik ve enerji üretimi bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. Fisyon tabanlı nükleer patlayıcılar, nispeten düşük enerji üretimi ve sınırlı etki alanı ile nükleer patlayıcıların temel yapı taşı olarak öne çıkarken, füzyon tabanlı patlayıcılar yüksek enerji yoğunluğu ve geniş alanlara yayılan etkileri ile daha ileri bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. İki aşamalı nükleer patlayıcılar ise, maksimum yıkım kapasitesi ve karmaşık yapıları ile nükleer patlayıcıların en etkili ve gelişmiş uygulamalarını temsil etmektedir.

Nükleer patlamalar, fisyon, füzyon ve bu reaksiyonların birleşiminden oluşan iki aşamalı süreçlerle açığa çıkan devasa enerji nedeniyle son derece yıkıcı ve öldürücü özellikler taşımaktadır. Bu tür patlamalar, yalnızca patlamanın gerçekleştiği bölgeyi değil, aynı zamanda çevresindeki geniş alanları da etkileyerek kalıcı fiziksel ve çevresel hasarlara yol açabilmektedir. Ayrıca, uzun vadeli radyasyon etkileri, insanlar ve ekosistem üzerinde ciddi sağlık ve çevresel sorunlar oluşturmakta, genetik mutasyonlara, hastalıklara ve habitat tahribatına neden olabilmektedir.

Nükleer patlayıcılar, özellikle askerî, enerji üretimi ve bilimsel araştırma alanlarında önemli bir role sahiptir. Nükleer silâhlar, askerî stratejilerde kritik bir yer tutmakta ve stratejik caydırıcılık unsuru olarak kullanılmakta, aynı zamanda uluslararası ilişkilerde dengeyi belirleyen faktörlerden biri olmaktadır. Bu bağlamda, nükleer patlayıcıların güvenlik ve etik açıdan oluşturduğu sorunlar, 1960’ların sonlarından itibaren uluslararası anlaşmalar ve düzenlemelerle denetim altına alınmaya çalışılmaktadır. Özellikle, Nükleer Silâhların Yayılmasının Önlenmesi Antlaşması (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons – NPT) gibi

uluslararası düzenlemeler, bu süreçte kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu düzenlemelerin etkinliği ve küresel güvenlik üzerindeki etkisi günümüzde hâlâ tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Nükleer teknolojinin sağladığı potansiyel faydalar ile yol açabileceği yıkıcı etkiler arasındaki dengeyi sağlamak, hem politik hem de bilimsel bir sorumluluk olarak uluslararası toplumu meşgul eden önemli bir mesele olmayı sürdürmektedir.

### **2.1.6 Önemli patlayıcı parametreleri**

Patlayıcı maddelerin reaksiyonları ve performans özellikleri, bu maddelerin etkinliğini, tahrip gücünü ve çevre üzerindeki etkilerini belirlemenin yanı sıra, tasarımdan uygulamaya kadar geniş bir yelpazede optimize edilmesini sağlamaktadır. Hem askerî hem de endüstriyel alanlarda, patlayıcıların doğru parametrelerle değerlendirilmesi, güvenlik ve verimliliğin artırılmasına katkıda bulunurken, çevresel etkilerin de en aza indirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda, patlayıcıların daha iyi anlaşılabilmesi için enerji, oksijen balansı ve detonasyon (patlama) hızı gibi parametrelerin alt başlıklar halinde incelenmesi önemlidir.

#### **2.1.6.1 Enerji**

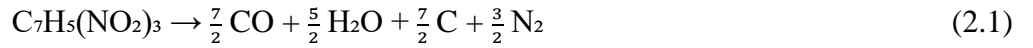
Patlayıcı maddeler, reaksiyonları sırasında sahip oldukları bağ yapılarının parçalanmasıyla çevreye hızlı bir şekilde reaksiyon ürünleri ve büyük miktarda enerji yaymaktadırlar. Kimyasal patlayıcılarda bu enerji, moleküler bağların kopması sonucu açığa çıkarken, fisyon türü nükleer patlayıcılarda ağır atom çekirdeklerinin bölünmesiyle, füzyon türü nükleer patlayıcılarda ise hafif atom çekirdeklerinin birleşmesiyle meydana gelmektedir. Bu enerji, patlayıcı maddenin türüne, üretim koşullarına, safiyet düzeyine ve patlama koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebildiği gibi aynı patlayıcı madde için bile değişkenlik gösterebilmektedir.

Nitekim kimyasal patlayıcı maddelerin patlama sırasında yaydıkları enerji miktarı, her bir bileşiğin standart entalpi değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama, bir reaksiyonun nasıl gerçekleştiğine bakılmaksızın yalnızca başlangıç ve bitiş durumlarına bağlı olarak entalpi değişiminin hesaplanabileceğini ifade eden, termodinamiğin temel prensiplerinden biri olan Hess Yasası'na dayanmaktadır. Ancak girenler ve ürünler, genellikle bir reaksiyon sırasında standart hallerinde olmadığından, bir reaksiyonun gerçek entalpi değişimi, standart entalpi değişiminden biraz farklıdır; fakat bu fark oldukça düşüktür (Levine, 2009, s.148). Yine de teorik

olarak standart entalpi değişimi ( $\Delta H^{\circ}_d$ ) hesaplanarak reaksiyonun enerjetik profilini doğru bir şekilde belirlemeye olanak tanımaktadır.

Patlayıcı maddelerin patlama reaksiyonu sonucu çevreye yaydıkları enerji üzerindeki etkisini anlamak için, günümüzde yaygın olarak kullanılan TNT, RDX, HMX ve PETN gibi kimyasal patlayıcıların yanı sıra fisyon tabanlı nükleer patlayıcılardan olan U-235 atom çekirdeğinin parçalanması sonucu yayılan enerjilerin hesaplamaları aşağıda sunulmuştur. Bu hesaplamalar, patlayıcıların patlama sırasında ortaya çıkardığı enerji miktarını ve yayılma hızını belirlemede kritik önem taşımaktadır. Bu tür enerji hesaplamalarında, patlayıcı maddelerin moleküler veya atomik yapıları, reaksiyon hızları, serbest enerji değişimleri ve patlama sırasında ortaya çıkan gazların hacmi gibi parametreler dikkate alınarak, her bir patlayıcının çevreye yaydığı enerji ve oluşturduğu hasar daha doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Bu bilgiler, patlayıcı maddelerin tasarımı, güvenliği, etkili ve etkin kullanımını için temel bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

TNT'nin patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerjinin teorik olarak hesaplanabilmesi için öncelikle TNT'nin kimyasal formülü olan  $C_7H_5(NO_2)_3$ 'nin molekül ağırlığının ( $M_{TNT}$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer, patlama sırasında meydana gelen entalpi değişiminin hesaplanmasında temel bir parametre olarak kullanılmakta olup (2.1)'de yer alan TNT'nin kimyasal reaksiyonuna ve elementlerin molekül ağırlıklarına dayandığından (2.2)'de verilen formül yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:



$$M_{TNT} = 7M_C + 5M_H + 3M_N + 6M_O \quad (2.2)$$

C, H, N ve O elementlerinin molekül ağırlıkları şu şekildedir (Royal Society of Chemistry [RSC], t.y.):

$$M_C = 12,011 \text{ g/mol}$$

$$M_H = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M_N = 14,007 \text{ g/mol}$$

$$M_O = 15,999 \text{ g/mol}$$

$$M_{TNT} = (7 \cdot 12,011) + (5 \cdot 1,008) + (3 \cdot 14,007) + (6 \cdot 15,999)$$

$$M_{\text{TNT}} = 84,077 + 5,040 + 42,021 + 95,994$$

$$M_{\text{TNT}} = 227,132 \text{ g/mol}$$

Yapılan bu hesaplama sonucu, 227,132 g/mol olarak hesaplanan TNT'nin molekül ağırlığı yardımıyla patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkardığı enerji miktarı da (2.3)'te verilen entalpi değişimi formülü ile hesaplanır.

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = \sum \Delta H^{\circ}_{\text{f}}(\text{ürünler}) - \sum \Delta H^{\circ}_{\text{f}}(\text{girenler}) \quad (2.3)$$

Bu hesaplamanın yapılabilmesi için (2.1)'deki reaksiyon denkleminde yer alan türlerin standart entalpi değerleri şu şekildedir (Cooper, 1996, s.119-125):

$$\Delta H^{\circ}_{\text{fTNT}} = -16,0 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{fCO}} = -26,416 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{fH}_2\text{O}} = -57,798 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{fC}} = 0$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{fN}_2} = 0$$

(2,1)'de verilen TNT'nin reaksiyon denkleminde göre entalpi değişimi ( $\Delta H^{\circ}_{\text{d}}$ ):

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = \left( \frac{7}{2} \Delta H^{\circ}_{\text{fCO}} + \frac{5}{2} \Delta H^{\circ}_{\text{fH}_2\text{O}} + \frac{7}{2} \Delta H^{\circ}_{\text{fC}} + \frac{3}{2} \Delta H^{\circ}_{\text{fN}_2} \right) - (\Delta H^{\circ}_{\text{fTNT}})$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = \left[ \frac{7}{2} \cdot (-26,416) + \frac{5}{2} \cdot (-57,798) + \left( \frac{7}{2} \cdot 0 \right) + \left( \frac{3}{2} \cdot 0 \right) \right] - (-16,0)$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = [(-92,455) + (-144,495) + 0 + 0] - (-16,0)$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = (-236,95) - (-16,0)$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = -220,951 \text{ kcal/mol}$$

Bu hesaplama sonucunda, 1 mol TNT'nin patlaması sonucu açığa çıkan enerji miktarı yaklaşık olarak -220.95 kcal/mol olarak bulunmuştur. 1 kg TNT'nin açığa çıkaracağı enerji ise şu şekilde hesaplanır:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = [(-220,951 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / M_{\text{TNT}}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = [(-220,951 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / 227,132 \text{ g/mol}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{d}} = -972,787 \text{ kcal/kg}$$

Bu hesaplamalardan anlaşılacağı üzere, 1 kg TNT'nin açığa çıkaracağı enerji miktarı yaklaşık olarak -972.78 kcal/kg olduğu görülmektedir. Bu değer, TNT'nin

patlama gücünün ve enerji salınımının hesaplanmasında kritik bir öneme sahiptir.

RDX'nin patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerjinin teorik hesaplanabilmesi için öncelikle RDX'in kimyasal formülü olan  $C_3H_6N_6O_6$ 'nin molekül ağırlığının ( $M_{RDX}$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer, patlama sırasında ortaya çıkan entalpi değişiminin ( $\Delta H^{\circ}_d$ ) hesaplanmasında temel rol oynamaktadır. Aşağıda bu hesaplamalar detaylı bir şekilde sunulmuştur. RDX'in molekül ağırlığı, (2.4)'te yer alan kimyasal reaksiyonuna ve elementlerin molekül ağırlıklarına dayandığından (2.5)'te verilen formül yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:



$$M_{RDX} = 3M_C + 6M_H + 6M_N + 6M_O \quad (2.5)$$

$$M_{RDX} = (3 \cdot 12,011) + (6 \cdot 1,008) + (6 \cdot 14,007) + (6 \cdot 15,999)$$

$$M_{RDX} = 36,033 + 6,048 + 84,042 + 95,994$$

$$M_{RDX} = 222,117 \text{ g/mol}$$

Molekül ağırlığı 222,117 g/mol olarak hesaplanan RDX'in patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkardığı enerji miktarının (2.3)'te verilen entalpi değişimi formülü ile hesaplanabilmesi için (2.4)'teki reaksiyon denkleminde yer alan türlerin standart entalpi değerleri şu şekildedir (Cooper, 1996, s.119-125):

$$\Delta H^{\circ}_{fRDX} = 14,710$$

$$\Delta H^{\circ}_{fCO} = -26,416$$

$$\Delta H^{\circ}_{fH_2O} = -57,798$$

$$\Delta H^{\circ}_{fN_2} = 0$$

(2.4)'te verilen RDX'in reaksiyon denklemine göre entalpi değişimi ( $\Delta H^{\circ}_d$ ):

$$\Delta H^{\circ}_d = (3\Delta H^{\circ}_{fCO} + 3\Delta H^{\circ}_{fH_2O} + 3\Delta H^{\circ}_{fN_2}) - (\Delta H^{\circ}_{fRDX})$$

$$\Delta H^{\circ}_d = [3 \cdot (-26,416) + 3 \cdot (-57,798) + (3 \cdot 0)] - (14,710)$$

$$\Delta H^{\circ}_d = [(-79,248) + (-173,394) + 0] - (14,710)$$

$$\Delta H^{\circ}_d = (-252,641) - (14,710)$$

$$\Delta H^{\circ}_d = -267,352 \text{ kcal/mol}$$

Bu hesaplama sonucu, 1 mol RDX'in patlaması sonucu açığa çıkan enerji

miktarı yaklaşık olarak -237,931 kcal/mol olarak bulunmuştur. 1 kg RDX'in açığa çıkaracağı enerji miktarı ise, şu şekilde hesaplanır:

$$\Delta H_d^0 = [(-267,352 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / M_{\text{RDX}}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H_d^0 = [(-267,352 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / 222,117 \text{ g/mol}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H_d^0 = - 1203,654 \text{ kcal/kg}$$

Bu hesaplamalardan anlaşılacağı üzere, RDX'in patlama reaksiyonu sonucunda 1 mol başına -267,352 kcal/mol enerji açığa çıkarken, 1 kg RDX'in patlaması sonucu yaklaşık olarak -1203,654 kcal/kg enerji açığa çıkmaktadır.

HMX'in patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerjinin hesaplanabilmesi için öncelikle HMX'in kimyasal formülü olan  $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8$ 'in molekül ağırlığının ( $M_{\text{HMX}}$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer, patlama sırasında meydana gelen entalpi değişiminin ( $\Delta H_d^0$ ) hesaplanmasında temel bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, HMX'in molekül ağırlığı, (2.6)'da yer alan kimyasal reaksiyon denklemi yardımıyla (2.7)'de verilen formül ile aşağıdaki gibi hesaplanır:



$$M_{\text{HMX}} = 4M_{\text{C}} + 8M_{\text{H}} + 8M_{\text{N}} + 8M_{\text{O}} \quad (2.7)$$

$$M_{\text{HMX}} = (4 \cdot 12,011) + (8 \cdot 1,008) + (8 \cdot 14,007) + (8 \cdot 15,999)$$

$$M_{\text{HMX}} = 48,044 + 8,064 + 112,056 + 127,992$$

$$M_{\text{HMX}} = 296,156 \text{ g/mol}$$

Bu hesaplama sonucunda HMX'in molekül ağırlığı, 296.156 g/mol olarak bulunmuştur. Ancak, HMX'in patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkardığı enerji miktarı, (2.3)'te verilen entalpi değişimi formülü ile hesaplanabilmesi için (2.6)'daki reaksiyon denkleminde yer alan türlerin standart oluşum entalpi değerleri şu şekildedir (Cooper, 1996, s.119-125):

$$\Delta H_{\text{fHMX}}^0 = 17,910$$

$$\Delta H_{\text{fCO}}^0 = -26,416$$

$$\Delta H_{\text{fH}_2\text{O}}^0 = -57,798$$

$$\Delta H_{\text{fN}_2}^0 = 0$$

(2.6)'da yer alan HMX'in reaksiyon denkleminde göre entalpi değişimi ( $\Delta H_d^0$ ):

$$\Delta H_d^{\circ} = (4 \Delta H_{fCO}^{\circ} + 4 \Delta H_{fH_2O}^{\circ} + 4 \Delta H_{fN_2}^{\circ}) - (\Delta H_{fHMX}^{\circ})$$

$$\Delta H_d^{\circ} = [4 \cdot (-26,416) + 4 \cdot (-57,798) + (4 \cdot 0)] - (17,910)$$

$$\Delta H_d^{\circ} = [(-105,664) + (-231,192) + 0] - (17,910)$$

$$\Delta H_d^{\circ} = (-336,856) - (17,910)$$

$$\Delta H_d^{\circ} = -354,766 \text{ kcal/mol}$$

Bu hesaplama sonucunda, 1 mol HMX'in patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerji miktarı -354,765 kcal/mol olarak hesaplanmıştır. 1 kg HMX'in açığa çıkaracağı enerji miktarı ise şu şekilde hesaplanır:

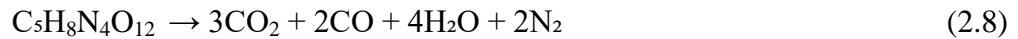
$$\Delta H_d^{\circ} = [(-354,766 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / M_{HMX}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H_d^{\circ} = [(-354,766 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / 296,156 \text{ g/mol}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H_d^{\circ} = -1197,902 \text{ kcal/kg}$$

Bu hesaplardan anlaşılacağı üzere, HMX'in patlama reaksiyonu sonucunda 1 mol başına -354,766 kcal/mol enerji açığa çıkarken 1 kg HMX'in patlaması sonucu yaklaşık olarak -1197,902 kcal/kg enerji açığa çıkmaktadır.

Kimyasal patlayıcı maddelerden PETN'in patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerjinin teorik olarak hesaplanabilmesi için öncelikle PETN'in kimyasal formülü olan  $C_5H_8N_4O_{12}$ 'nin molekül ağırlığının ( $M_{PETN}$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer, patlama sırasında meydana gelen entalpi değişiminin hesaplanmasında temel bir parametre olarak kullanılmakta olup (2.8)'de yer alan PETN'in kimyasal reaksiyon denkleminde ve elementlerin molekül ağırlıklarına dayandığından (2.9)'da verilen formül ile aşağıdaki gibi hesaplanır:



$$M_{PETN} = 5M_C + 8M_H + 4M_N + 12M_O \quad (2.9)$$

$$M_{PETN} = (5 \cdot 12,011) + (8 \cdot 1,008) + (4 \cdot 14,007) + (12 \cdot 15,999)$$

$$M_{PETN} = 60,055 + 8,064 + 56,028 + 191,988$$

$$M_{PETN} = 316,135 \text{ g/mol}$$

Yapılan bu hesaplama sonucu, 316,135 g/mol olarak bulunan PETN'in molekül ağırlığı yardımıyla patlama reaksiyonu sonucu açığa çıkardığı enerji miktarı da (2.3)'te verilen entalpi değişim formülü ile hesaplanabilmesi için (2.8)'deki

reaksiyon denkleminde yer alan türlerin standart oluşum entalpi değerleri gerekmektedir. Bu değerler, şu şekildedir (Cooper, 1996, s.119-125):

$$\Delta H_{fPETN}^{\circ} = -128,700 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_{fCO_2}^{\circ} = -94,052$$

$$\Delta H_{fCO}^{\circ} = -26,416$$

$$\Delta H_{fH_2O}^{\circ} = -57,798$$

$$\Delta H_{fN_2}^{\circ} = 0$$

(2.8)'de verilen PETN'nin reaksiyon denklemine göre entalpi değişimi ( $\Delta H_d^{\circ}$ ):

$$\Delta H_d^{\circ} = (3 \Delta H_{fCO_2}^{\circ} + 2 \Delta H_{fCO}^{\circ} + 4 \Delta H_{fH_2O}^{\circ} + 3 \Delta H_{fN_2}^{\circ}) - (\Delta H_{fPETN}^{\circ})$$

$$\Delta H_d^{\circ} = [3 \cdot (-94,052) + 2 \cdot (-26,416) + 4 \cdot (-57,798) + (3 \cdot 0)] - (-128,700)$$

$$\Delta H_d^{\circ} = [(-282,156) + (-52,832) + (-231,192) + 0] - (-128,700)$$

$$\Delta H_d^{\circ} = (-566,180) - (-128,700)$$

$$\Delta H_d^{\circ} = -438,180 \text{ kcal/mol}$$

Bu hesaplama sonucunda, 1 mol PETN'in patlaması sonucu açığa çıkan enerji miktarının yaklaşık olarak -473,478 kcal/mol olduğu görülmektedir. 1 kg PETN'in açığa çıkaracağı enerji ise şu şekilde hesaplanır:

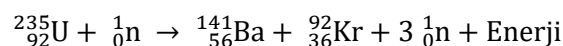
$$\Delta H_d^{\circ} = [(-437,478 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / M_{PETN}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H_d^{\circ} = [(-437,478 \text{ kcal/mol}) \cdot (1 \text{ mol} / 316,135 \text{ g/mol}) \cdot (1000 \text{ g} / 1 \text{ kg})]$$

$$\Delta H_d = -1386,053 \text{ kcal/kg}$$

Bu hesaplamalardan anlaşılacağı üzere, PETN'in patlama reaksiyonu sonucunda 1 mol başına -437,480 kcal/mol enerji açığa çıkarken, 1 kg PETN'in patlaması sonucu yaklaşık olarak -1386,053 kcal/kg enerji açığa çıkmaktadır.

Öte yandan, fisyon reaksiyonu sonucu Uranyum-235 atomunun nötron bombardımanıyla ağır atom çekirdeğinin parçalanması ve Baryum-141 ile Kripton-92'ye dönüşmesi neticesinde açığa çıkan enerji miktarı teorik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:



Bu hesaplamının yapılabilmesi için öncelikle Uranyum, Baryum ve Krypton'un atomlarının kütleleri ağırlıklarının bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler, şu şekilde sıralanabilir (Periodictable, t.y.; National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce [NIST], t.y.):

$$^{235}\text{U} = 235,043929918 \text{ amu}$$

$$^{141}\text{Ba} = 140,914411009 \text{ amu}$$

$$^{92}\text{Kr} = 91,92615621 \text{ amu}$$

$$^1\text{n} = 1,00866491606 \text{ amu}$$

Nükleer reaksiyonun kütle değişimi ( $\Delta m$ ), (2.10)'da verilen formül ile aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta m = \sum m_{\text{ürünler}} - \sum m_{\text{girenler}} \quad (2.10)$$

$$\Delta m = [m(^{141}\text{Ba}) + m(^{92}\text{Kr}) + 3 m(^1\text{n})] - [m(^{235}\text{U}) + m(^1\text{n})]$$

$$\Delta m = [ (140,914411009) + (91,92615621) + 3 \cdot (1,00866491606) ] - [(235,043929918) + (1,00866491606)]$$

$$\Delta m = [(235,86656196718) - (236,05259483406)]$$

$$\Delta m = - 0,18603286688 \text{ amu}$$

Burada, 1 amu = 1,6605390666 x 10<sup>-27</sup> kg olduğuna göre reaksiyondaki kütle değişim miktarının kg cinsinden değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\Delta m = - 0,18603286688 \cdot (1,6605390666 \times 10^{-27})$$

$$\Delta m = - 0,3089148431258373 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Einstein'in enerji – madde denkliği olan  $E = mc^2$  formülü kullanılarak kütle değişimi enerjiye dönüştürülmektedir. Burada, ışık hızının  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$  olduğu kabul edilerek kütle değişim miktarı ve ışık hızı değerleri (2.11)'de verilen formülde yerlerine yazılarak enerji dönüşümü şu şekilde gerçekleştirilir:

$$\Delta E = \Delta m c^2 \quad (2.11)$$

$$\Delta E = (- 0,30891484312258373 \times 10^{-27}) \cdot (299.732.458)^2$$

$$\Delta E = - 2,7752769376079 \times 10^{-11} \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

Bu fisyon reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerji miktarı - 2,7752769376079

$\times 10^{-11}$  kg m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> yani - 2,7752769376079  $\times 10^{-11}$  J'dur. Ancak, Avogadro sayısı (6,02214078  $\times 10^{23}$  atom/mol) kullanılarak enerji mol başına hesaplanır:

$$\Delta E = (- 2,7752769376079 \times 10^{-11} \text{ kg m}^2/\text{s}^2) (6,02214078 \times 10^{23} \text{ atom/mol})$$

$$\Delta E = - 1,67131 \times 10^{10} \text{ kJ/mol}$$

Görüldüğü üzere, 1 mol Uranyum-235 atomunun fisyon (parçalanma) reaksiyonu sonucu yaklaşık - 1,67131  $\times 10^{10}$  kJ/mol enerji açığa çıkmaktadır. Negatif işaret, bu reaksiyonun ekzotermik olduğunu, yani büyük miktarda enerji açığa çıkardığını göstermektedir. Bu yüksek enerji çıkışı, nükleer enerji üretiminde Uranyum-235'in kritik bir yakıt kaynağı olarak kullanılmasının temel nedenlerinden biridir. Fisyon reaksiyonu sırasında ortaya çıkan bu enerji, hem enerji verimliliği hem de karbon emisyonlarının azaltılması açısından sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan gereksinimi karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, Uranyum-235'in fisyon reaksiyonu, enerji sektöründe nükleer enerji santrallerinin temel yakıtlarından biri olarak, enerji üretiminde yüksek verimlilik ve sürdürülebilirlik sağlaması bakımından önemlidir. Ayrıca, Uranyum-235, doğada doğal olarak fisyon yapabilen (nötronlarla kolayca bölünebilen) birkaç izotoptan biri olup pratik anlamda enerji üretimi ve nükleer silâh yapımı için kullanılacak tek doğal fisil madde olarak kabul edilmektedir.

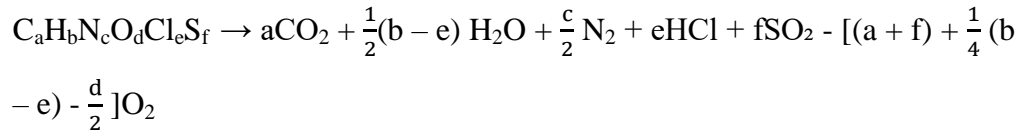
#### **2.1.6.2 Oksijen balansı (dengesi)**

Oksijen balansı (dengesi), patlayıcı bir maddenin ne derece oksitlenebileceğini belirten bir kavramdır (Madigan, 2018, s.145). Bu terim, patlayıcı maddelerin bileşimindeki oksijen miktarının, patlama sırasında karbon, hidrojen ve diğer yanıcı bileşenleri tamamen oksitleyip oksitlemeyeceğini ifade etmektedir.

Bir patlayıcı molekülü, içindeki atomlar sayesinde açığa çıkan oksijen tüm metal atomlarını metal okside, tüm karbon atomlarını karbondioksite ve tüm hidrojen atomlarını suya dönüştürebiliyorsa ve geriye serbest oksijen atomu kalmıyorsa, bu molekül sıfır oksijen dengesine sahip olarak kabul edilmektedir (Gokhale, 2018, s.465). Ancak molekül, ihtiyaç duyulandan fazla oksijen atomu içeriyorsa ve geriye serbest oksijen atomu kalıyorsa, pozitif oksijen dengesine; eğer yeterli oksijen atomu yoksa ve dönüştürme tamamlanamıyorsa, negatif oksijen dengesine sahip olduğu kabul edilmektedir. Örneğin, TNT, RDX, nitroselüloz gibi yaygın patlayıcılar, tam

yanma için gerekli oksijeni sağlayamadığından negatif oksijen dengesi göstermektedir (Shanley, Melhem, 1995, s.29).

Oksijen balansı (dengesi), hem patlayıcı gücü hem de patlama veya yanma sırasında oluşan kimyasal ürünleri etkilemektedir (Sen, 2018, s.68). Bu değer, negatif oksijen dengesinden sıfıra yaklaştıkça, kimyasal patlayıcı maddelerde açığa çıkan enerji miktarı da artmaktadır. Oksijen balansı, bir  $C_aH_bN_cO_dCl_eS_f$  tipi bir patlayıcı için (2.12)'deki formüle göre basitçe hesaplanabilir:



$$[OB](\%) = \frac{-\{(a + f) + \frac{1}{4}(b - e) - \frac{d}{2}\} M_{O_2}}{M_{patlayıcı}} \times 100 (\%) \quad (2.12)$$

Kubota (2007, s.36)'da yer alan formülden değiştirilerek verilen formülde,  $M_{O_2}$   $O_2$ 'nin molekül ağırlığını,  $M_{patlayıcı}$  hesaplanacak patlayıcının molekül ağırlığıdır. a= karbon atomu sayısını, b=hidrojen atomu sayısını, c= azotun atom sayısını, d= oksijen atomu sayısını, e=klor atomu sayısını ve f=kükürt atomu sayısını belirtmektedir.

Patlayıcı maddelerin patlama reaksiyonu sonucunda ne kadar oksitlenebileceğini teorik olarak belirlemek amacıyla, günümüzde yaygın olarak kullanılan TNT, RDX, HMX ve PETN gibi kimyasal patlayıcıların oksijen balansı (dengesi) değerlerinin teorik hesaplamaları aşağıda sunulmuştur. Bu hesaplamada kullanılacak olan bu patlayıcı maddelerin molekül ağırlıkları, sırasıyla (2.2), (2.5), (2.7) ve (2.9)'da verilen formüllerden yararlanılarak enerji bölümünde daha önce hesaplanmış olup değerleri aşağıdaki gibidir:

$$M_{TNT} = 227,132 \text{ g/mol}$$

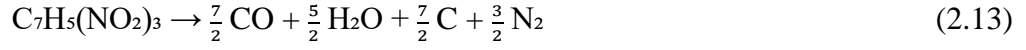
$$M_{RDX} = 222,117 \text{ g/mol}$$

$$M_{HMX} = 296,156 \text{ g/mol}$$

$$M_{PETN} = 316,135 \text{ g/mol}$$

$$M_{O_2} = 2 \cdot 15,999 = 31,998 \text{ g/mol}$$

TNT için oksijen balansı değeri, (2.13)'de yer alan TNT reaksiyon denklemi yardımıyla (2.12)'de verilen formül ile şu şekilde hesaplanır:



$$[OB]_{TNT}(\%) = \frac{- \left\{ (7 + 0) + \frac{1}{4} (5 - 0) - \frac{6}{2} \right\} 31,998}{227,132} \times 100 (\%)$$

$$[OB]_{TNT}(\%) = \frac{- \left\{ 7 + \frac{5}{4} - 3 \right\} 31,998}{227,132} \times 100 (\%)$$

$$[OB]_{TNT}(\%) = - 73,961 \%$$

RDX için oksijen balansı değeri, (2.14)'te yer alan RDX reaksiyon denklemini yardımıyla (2.12)'de verilen formül ile şu şekilde hesaplanır:



$$[OB]_{RDX}(\%) = \frac{- \left\{ (3 + 0) + \frac{1}{4} (6 - 0) - \frac{6}{2} \right\} 31,998}{222,117} \times 100 (\%)$$

$$[OB]_{RDX}(\%) = \frac{- \left\{ 3 + \frac{6}{4} - 3 \right\} 31,998}{222,117} \times 100 (\%)$$

$$[OB]_{RDX}(\%) = - 21,609 \%$$

HMX için oksijen balansı değeri, (2.15)'te yer alan HMX reaksiyon denklemini yardımıyla (2.12)'de verilen formül ile şu şekilde hesaplanır:

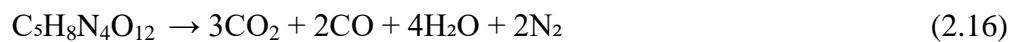


$$[OB]_{HMX}(\%) = \frac{- \left\{ (4 + 0) + \frac{1}{4} (8 - 0) - \frac{8}{2} \right\} 31,998}{296,156} \times 100 (\%)$$

$$[OB]_{HMX}(\%) = \frac{- \{ 4 + 2 - 4 \} 31,998}{296,156} \times 100 (\%)$$

$$[OB]_{HMX} = -21,609 \%$$

PETN için oksijen balansı değeri, (2.16)'da yer alan PETN reaksiyon denklemini yardımıyla (2.12)'de verilen formül ile şu şekilde hesaplanır:



$$[OB]_{PETN}(\%) = \frac{- \left\{ (5 + 0) + \frac{1}{4} (8 - 0) - \frac{12}{2} \right\} 31,998}{316,135} \times 100$$

$$[\text{OB}]_{\text{PETN}}(\%) = \frac{-\{5 + 2 - 6\} 31,998}{316,135} \times 100$$

$$[\text{OB}]_{\text{PETN}} = -10,122 \%$$

### 2.1.6.3 Patlayıcı gücü ve güç indeksi

Patlayıcı maddelerin gücü, reaksiyon sırasında açığa çıkan enerji ile doğrudan ilişkili olup patlamanın şiddetini, verimliliğini ve etkisini belirlemektedir. Bu güç, genellikle açığa çıkan gaz hacmi ve patlama ısısının bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Kimyasal patlayıcı bir madde patlatıldığında, kimyasal reaksiyonlar sonucunda ısı, ışık, gaz, ses ve basınç gibi çeşitli unsurlar ortaya çıkmakta ve patlayıcının gücü, bu unsurların etkileşimiyle ölçülmektedir. Bir patlayıcı maddenin gücü hesaplanırken, özellikle gaz hacmi (V) ile patlama ısısının (Q) çarpımı kullanılır ve (2.17)'de verilen formülle hesaplanmaktadır:

$$\text{Patlayıcı Güç} = Q \times V \quad (2.17)$$

Patlama ısısı ile patlama sonrası oluşan gaz hacmi arasındaki ilişki, patlayıcı maddelerin içerdiği enerjinin ne kadar etkin ve verimli bir şekilde salındığını ve patlamanın çevre üzerindeki etkisini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu ilişki, patlayıcı maddelerin performansının değerlendirilmesinde ve çevresel zararların minimize edilmesinde kritik bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Patlayıcı maddelerin güç indeksi ise, bir patlayıcı maddenin enerjik verimliliğini ve etkisini ölçmek için kullanılan bir parametre olup genellikle patlayıcı maddelerin şiddetini, verimliliğini ve patlama sırasında oluşan etkilerini karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Güç indeksi, patlayıcı maddenin içerdiği enerji miktarını, patlama sonucunda ortaya çıkan gaz hacmi, patlama ısısı ve diğer fiziksel etkilerle ilişkilendirilerek belirlenmektedir. Bir patlayıcı maddenin güç indeksi (2.18)'de verilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Guo, Chi, Li ve Li, 2015). Bu formülde, Q standart bir patlayıcı olan pikrik asidin deneysel patlama enerjisi olup 3249 kJ/kg ve V pikrik asidin ürettiği gaz hacmi olup 8311'dir (Klapötke, 2017, s.87).

$$\text{Güç İndeksi} (\%) = \frac{Q \times V}{Q_{\text{pa}} \times V_{\text{pa}}} \times 100 \quad (2.18)$$

Dolayısıyla, günümüzde yaygın olarak kullanılan TNT, RDX, HMX ve PETN gibi kimyasal patlayıcı maddelerin patlayıcı güç ve güç indeksi değerlerinin

(2.17) ve (2.18)'de verilen formüllerle teorik olarak hesaplamaları aşağıda sunulmuştur. Ancak bu hesaplamaların yapılabilmesi için kullanılacak olan bu patlayıcı maddelerin teorik patlama enerjileri sırasıyla enerji bölümünde daha önce hesaplanmış olup değerleri aşağıdaki gibidir:

$$Q_{\text{TNT}} = 972,787 \text{ kcal/kg} = 4072,865 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{RDX}} = 1203,654 \text{ kcal/kg} = 5039,459 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{HMX}} = 1197,902 \text{ kcal/kg} = 5016,376 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{PETN}} = 1386,053 \text{ kcal/kg} = 5803,127 \text{ kJ/kg}$$

Söz konusu patlayıcı maddelerin hesaplanan gaz hacimleri ise (2.19)'da yer alan İdeal Gaz Yasası'ndan elde edilen (2.20)'de verilen hacim formülü yardımıyla hesaplanabilir.

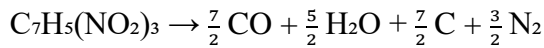
$$PV = nRT \quad (2.19)$$

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (2.20)$$

Bu formülde, n patlayıcı maddenin reaksiyon sonucu oluşan gaz ürünlerinin molekül sayısını, R gaz sabiti olup 0,0821 l atm / mol K değerini, T sıcaklığı ve P de basıncı göstermektedir. Burada reaksiyon sonucu oluşan gaz ürünlerin mol sayısı da (2.21)'de verilen formülle hesaplanabilir.

$$n = \frac{\text{Patlayıcı maddenin kütlesi}}{\text{Patlayıcı maddenin moleküler ağırlığı}} \quad (2.21)$$

0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç altında 1000 gram TNT'nin reaksiyona girmesiyle oluşan gazların hacmi, şu şekilde adım adım hesaplanır:



Reaksiyon denklemine göre TNT'nin molar moleküler ağırlığı enerji bölümünde daha önce 227,132 g/mol hesaplandığından 1000 gram TNT'nin mol sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{TNT}} = \frac{m_{\text{TNT}}}{M_{\text{TNT}}}$$

$$n_{\text{TNT}} = \frac{1000 \text{ g}}{227,132 \text{ g/mol}}$$

$$n_{\text{TNT}} = 4,403 \text{ mol}$$

Reaksiyon denklemine göre, 1 mol TNT [ $C_7H_5(NO_2)_3$ ] reaksiyona girdiğinde oluşan gazlar şu şekildedir:

$$n_{CO} = \frac{7}{2} \text{ mol}$$

$$n_{H_2O} = \frac{5}{2} \text{ mol}$$

$$n_{N_2} = \frac{3}{2} \text{ mol}$$

Bu durumda, 1 mol TNT'nin reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gazların mol sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{toplam}} = n_{CO} + n_{H_2O} + n_{N_2}$$

$$n_{\text{toplam}} = \frac{7}{2} + \frac{5}{2} + \frac{3}{2} = \frac{15}{2} = 7,5$$

Görüldüğü üzere, 1000 gram TNT'nin reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gaz mol sayısı ( $n_{\text{gaz}}$ ) da şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{gaz}} = n_{\text{TNT}} \times n_{\text{toplam}}$$

$$n_{\text{gaz}} = 4,403 \text{ mol} \times 7,5$$

$$n_{\text{gaz}} = 33,023 \text{ mol gaz}$$

Normal koşullar altında yani 0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç koşullarında 1000 gram TNT'nin reaksiyonu sonucu oluşan gazların hacmi, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_{TNT} = \frac{n_{\text{gaz}} R T}{P}$$

$$V_{TNT} = \frac{33,023 \text{ mol} \times 0,0821 \frac{\text{l atm}}{\text{mol K}} \times 273,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{TNT} = 740,561 \text{ litre}$$

TNT için patlayıcı gücü (2.17)'de verilen formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(TNT)} = Q_{TNT} \times V_{TNT}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(TNT)} = 4072,865 \text{ kJ/kg} \times 740,561 \text{ l}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(TNT)} = 301,620 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$$

TNT için güç indeksi ise (2.18)'de verilen formülde hesaplanan veriler

yerine yerleştirilerek şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{Q_{\text{TNT}} \times V_{\text{TNT}}}{Q_{\text{pa}} \times V_{\text{pa}}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{4072,865 \text{ kJ/kg} \times 740,561 \text{ l}}{3249 \text{ kJ/kg} \times 831 \text{ l}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = 111,715 \%$$

0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç altında 1000 gram RDX'in reaksiyona girmesiyle oluşan gazların hacmi şu şekilde adım adım hesaplanır:



Reaksiyon denklemine göre RDX'in molar moleküler ağırlığı enerji bölümünde daha önce 222,117 g/mol hesaplandığından 1000 gram RDX'in mol sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{RDX}} = \frac{m_{\text{RDX}}}{M_{\text{RDX}}}$$

$$n_{\text{RDX}} = \frac{1000 \text{ g}}{222,117 \text{ g/mol}}$$

$$n_{\text{RDX}} = 4,502 \text{ mol}$$

Reaksiyon denklemine göre, 1 mol RDX [C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>] reaksiyona girdiğinde oluşan gazlar şu şekildedir:

$$n_{\text{CO}} = 3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{N}_2} = 3 \text{ mol}$$

Bu durumda 1 mol RDX'in reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gazların mol sayısı şu olur:

$$n_{\text{toplam}} = n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2}$$

$$n_{\text{toplam}} = 3 + 3 + 3 = 9$$

Görüldüğü üzere, 1000 gram RDX'in reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gaz mol sayısı ( $n_{\text{gaz}}$ ) da şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{gaz}} = n_{\text{RDX}} \times n_{\text{toplam}}$$

$$n_{\text{gaz}} = 4,502 \text{ mol} \times 9$$

$$n_{\text{gaz}} = 40,518 \text{ mol gaz}$$

Normal koşullar altında yani 0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç koşullarında 1000 gram RDX'in reaksiyonu sonucu oluşan gazların hacmi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_{\text{RDX}} = \frac{n_{\text{gaz}} R T}{P}$$

$$V_{\text{RDX}} = \frac{40,518 \text{ mol} \times 0,0821 \frac{\text{l atm}}{\text{mol K}} \times 273,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{\text{RDX}} = 908,641 \text{ litre}$$

RDX için patlayıcı gücü (2.8)'de yer alan formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(\text{RDX})} = Q_{\text{RDX}} \times V_{\text{RDX}}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(\text{RDX})} = 5039,459 \text{ kJ/kg} \times 908,641 \text{ l}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(\text{RDX})} = 457,906 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$$

RDX için güç indeksi ise (2.9)'da yer alan formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{Q_{\text{RDX}} \times V_{\text{RDX}}}{Q_{\text{pa}} \times V_{\text{pa}}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{5039,459 \text{ kJ/kg} \times 908,641 \text{ l}}{3249 \text{ kJ/kg} \times 831 \text{ l}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = 169,600 \%$$

0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç altında 1000 gram HMX'in reaksiyona girmesiyle oluşan gazların hacmi, adım adım şu şekilde hesaplanır:



Reaksiyon denkleminde göre HMX'in molar moleküler ağırlığı enerji bölümünde daha önce 296,156 g/mol hesaplandığından 1000 gram HMX'in mol sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{HMX}} = \frac{m_{\text{HMX}}}{M_{\text{HMX}}}$$

$$n_{\text{HMX}} = \frac{1000 \text{ g}}{296,156 \text{ g/mol}}$$

$$n_{\text{HMX}} = 3,377 \text{ mol}$$

Reaksiyon denklemine göre, 1 mol HMX [C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>N<sub>8</sub>O<sub>8</sub>] reaksiyona girdiğinde oluşan gazlar şu şekildedir:

$$n_{\text{CO}} = 4 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 4 \text{ mol}$$

$$n_{\text{N}_2} = 4 \text{ mol}$$

Bu durumda 1 mol HMX'nin reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gazların mol sayısı şu olur:

$$n_{\text{toplam}} = n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2}$$

$$n_{\text{toplam}} = 4 + 4 + 4 = 12$$

Görüldüğü üzere, 1000 gram HMX'in reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gaz mol sayısı ( $n_{\text{gaz}}$ ) da şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{gaz}} = n_{\text{HMX}} \times n_{\text{toplam}}$$

$$n_{\text{gaz}} = 3,377 \text{ mol} \times 12$$

$$n_{\text{gaz}} = 40,524 \text{ mol gaz}$$

Normal koşullar altında yani 0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç koşullarında 1000 gram HMX'in reaksiyonu sonucu oluşan gazların hacmi şu şekilde hesaplanır:

$$V_{\text{HMX}} = \frac{n_{\text{gaz}} R T}{P}$$

$$V_{\text{HMX}} = \frac{40,524 \text{ mol} \times 0,0821 \frac{\text{l atm}}{\text{mol K}} \times 273,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{\text{HMX}} = 908,776 \text{ litre}$$

HMX için patlayıcı gücü (2.8)'de yer alan formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(\text{HMX})} = Q_{\text{HMX}} \times V_{\text{HMX}}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(\text{HMX})} = 5015,376 \text{ kJ} \times 908,776 \text{ l}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(\text{HMX})} = 455,785 \cdot 10^4 \text{ kJ}$$

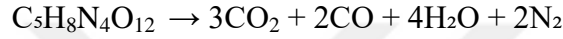
HMX için güç indeksi ise (2.9)'da yer alan formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{Q_{\text{HMX}} \times V_{\text{HMX}}}{Q_{\text{pa}} \times V_{\text{pa}}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{5015,376 \text{ kJ/kg} \times 908,776 \text{ l}}{3249 \text{ kJ/kg} \times 831 \text{ l}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = 168,814 \%$$

0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç altında 1000 gram PETN'nin reaksiyona girmesiyle oluşan gazların hacmi, adım adım şu şekilde hesaplanır:



Reaksiyon denklemine göre PETN'nin molar moleküler ağırlığı enerji bölümünde daha önce 316,135 g/mol hesaplandığından 1000 gram PETN'nin mol sayısı şu şekilde hesaplanır:

$$n_{\text{PETN}} = \frac{m_{\text{PETN}}}{M_{\text{PETN}}}$$

$$n_{\text{PETN}} = \frac{1000 \text{ g}}{316,135 \text{ g/mol}}$$

$$n_{\text{PETN}} = 3,163 \text{ mol}$$

Reaksiyon denklemine göre, 1 mol PETN [ $\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_{12}$ ] reaksiyona girdiğinde oluşan gazlar şu şekildedir:

$$n_{\text{CO}_2} = 3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{CO}} = 2 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 4 \text{ mol}$$

$$n_{\text{N}_2} = 2 \text{ mol}$$

Bu durumda 1 mol PETN'nin reaksiyona girmesiyle oluşan toplam gazların mol sayısı şu olur:

$$n_{\text{toplam}} = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2}$$

$$n_{\text{toplam}} = 3 + 2 + 4 + 2 = 11$$

Görüldüğü üzere, 1000 gram PETN'nin reaksiyona girmesiyle oluşan toplam

gaz mol sayısı ( $n_{gaz}$ ) da şu şekilde hesaplanır:

$$n_{gaz} = n_{PETN} \times n_{toplam}$$

$$n_{gaz} = 3,163 \text{ mol} \times 11$$

$$n_{gaz} = 34,793 \text{ mol gaz}$$

Normal koşullar altında yani 0 °C (273,15 K) sıcaklıkta, 1 atm basınç koşullarında 1000 gram PETN'nin reaksiyonu sonucu oluşan gazların hacmi, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{PETN} = \frac{n_{gaz} R T}{P}$$

$$V_{PETN} = \frac{34,793 \text{ mol} \times 0,0821 \frac{\text{l atm}}{\text{mol K}} \times 273,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{PETN} = 780,254 \text{ litre}$$

PETN için patlayıcı gücü (2.8)'de yer alan formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(PETN)} = Q_{PETN} \times V_{PETN}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(PETN)} = 5803,127 \text{ kJ/kg} \times 780,254 \text{ l}$$

$$\text{Patlayıcı Güç}_{(PETN)} = 452,79110^4 \text{ kJ/kg}$$

PETN için güç indeksi ise (2.9)'da yer alan formülde hesaplanan veriler yerine yerleştirilerek şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{Q_{PETN} \times V_{PETN}}{Q_{pa} \times V_{pa}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = \frac{5803,127 \text{ kJ/kg} \times 780,254 \text{ l}}{3249 \text{ kJ/kg} \times 831 \text{ l}} \times 100$$

$$\text{Güç İndeksi (\%)} = 167,706 \%$$

#### 2.1.6.4 Detonasyon (patlama) hızı

Detonasyon hızı, patlayıcı maddenin patlaması sonucunda oluşan detonasyon dalgalarının birim zamanda kat ettiği mesafe olarak tanımlanır ve bu hız, patlayıcıların bileşimi, parçacık boyutu ve yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Genellikle metre/saniye (m/s) cinsinden ifade edilen detonasyon

hızı, patlayıcının performansını ve etkisini belirleyen temel bir parametre olup, söz konusu hız, patlayıcının kimyasal yapısı ve fiziksel özelliklerine doğrudan ilişkilidir.

Detonasyon hızı ölçümleri, ilk kez Fransız kimyagerler Berthelot ve Vieille tarafından gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmalar patlayıcıların fiziksel özelliklerini anlamada önemli bir kilometre taşı oluşturmuştur. Başlangıçta, Berthelot ve Vieille, Boulenge kronografını kullanarak gaz halindeki patlayıcıların detonasyon hızlarını incelemişler ve bu sayede patlamaların hızını ölçebilmek için daha hassas teknikler geliştirmişlerdir. Ardından, bu yöntemlerini sıvı ve katı patlayıcılar üzerinde de uygulamış, patlayıcı maddelerin kimyasal yapısına ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak detonasyon hızındaki değişimleri daha ayrıntılı şekilde araştırmışlardır. Bu çalışmalar, patlayıcıların performansını belirlemede kritik bir öneme sahip olup, modern patlayıcı kimyasının da temel taşlarını atmıştır. Günümüzde ise bu ölçümler için yaygın olarak Mettegang kaydedici gibi daha hassas ve modern cihazlarla yapılmaktadır (Davis, 2012, s. 14-16). Bu tür ölçümler, patlayıcıların güvenli kullanımını sağlamak ve yeni nesil patlayıcıların tasarımında daha verimli ve kontrollü reaksiyonlar gerçekleştirmek adına önemli bir referans noktası oluşturmuştur.

Patlayıcı maddelerin yoğunlukları, detonasyon hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Cooper, 1996, s.76). Genel olarak, patlayıcı maddenin yoğunluğu arttıkça detonasyon hızı da artma eğilimi göstermektedir. Ancak, ANFO gibi toz patlayıcılarda yoğunluğun artırılması, detonasyonu başlatmada kritik rol oynayan ve “hot spot” olarak adlandırılan mikroskobik hava boşluklarının kaybolmasına neden olabildiğinden bu durum, patlama için gerekli olan lokalize ısı ve basınç artışının oluşmasını engelleyerek detonasyon hızının düşmesine yol açmaktadır (Özkazanç, 2005, s.67). Dolayısıyla, yoğunluk artışının detonasyon üzerindeki etkisi, patlayıcının fiziksel yapısı ve bileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Detonasyon hızları, patlayıcı maddenin kimyasal bileşimi, yoğunluğu, parçacık boyutu ve çevresel koşullar gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, patlayıcıların katı, sıvı ve gaz hallerinde olmalarına göre de farklılık göstermektedir. Detonasyon hızı düşük olan patlayıcılar genellikle düşük enerjili ve kimyasal olarak daha az reaktif maddelerken, detonasyon hızı yüksek olan patlayıcılar daha yüksek enerjili ve kimyasal olarak daha reaktif maddelerdir. Yüksek

detonasyon hızı, patlayıcı maddenin etki gücünü ve şok dalgalarının yayılma hızını artırdığından, bu tür patlayıcılar askerî ve endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Sivil amaçlı patlayıcı maddelerin ideal detonasyon hızları 2438 – 7925 m/s değerleri arasında değişim göstermektedir (Özkazanç, 2005, s.66). Detonasyon hızları konusunda bilgi vermek amacıyla, günümüzde yaygın olarak kullanılan patlayıcılardan bazılarının detonasyon hızları Çizelge 2.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 2.3: Bazı Patlayıcı Maddelerin Detonasyon Hızı Değerleri**

Patlayıcı Maddeler	Detonasyon Hızı (m/s)
TNT	6900
RDX	8750
HMX	9100
PETN	8400

**Kaynak:** Çizelge, Mugberia Gangadhar Mahavidyala (t.y., s.14)'teki çizelgeden alınarak düzenlenmiştir.

Detonasyon hızı, patlayıcı maddelerin stabilitesi ve güvenliği ile de doğrudan ilişkili önemli bir parametredir. Yüksek detonasyon hızına sahip patlayıcılar, genellikle daha kontrollü ve öngörülebilir patlamalar sağlarken, düşük detonasyon hızına sahip patlayıcılar daha az stabil olabildikleri için beklenmedik reaksiyonlara yol açma riski taşımaktadır. Bu nedenle, detonasyon hızının doğru bir şekilde ölçülmesi ve değerlendirilmesi, patlayıcıların farklı uygulama alanlarına uygun şekil seçilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Patlayıcı maddenin kullanılacağı ortam, hedeflenen etki ve güvenlik gereksinimleri dikkate alınarak, uygun detonasyon hızına sahip bir patlayıcının seçilmesi, hem operasyonel başarı hem de güvenlik açısından önem taşımaktadır.

### 2.1.6.5 Yoğunluk

Patlayıcı maddenin yoğunluğu, birim hacimdeki kütlesini ifade eden temel bir fiziksel özellik olup genellikle  $g/cm^3$  birimiyle ifade edilmektedir. Yoğunluk, patlayıcı maddenin enerji kapasitesi ve performansı üzerinde doğrudan etkili bir parametredir. Kamlet ve Jacobs (1968) tarafından geliştirilen ve (2.22)'de verilen denklemde ifade edilen ilişkiye göre, patlayıcı maddelerin yoğunluğundaki artış, patlama basıncı ve detonasyon hızını artırmaktadır.

$$D=1.01(N \cdot M_{ave}^{1/2} Q^{1/2})^{1/2} (1+1.30 \rho) \quad (2.22)$$

Bu denklemde,

- D, detonasyon hızı (km/s),
- N, patlayıcının gramı başına gaz halindeki patlama ürünlerinin molü (mol/g),
- $M_{ave}$ , gaz ürünlerinin ortalama mol kütlesi (g/mol),
- Q, patlamanın kimyasal enerjisi (kJ/g),
- P, patlayıcının yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, yoğunluğun artması, patlayıcıların fiziksel özellikleri üzerinde önemli bir etki yaratarak daha güçlü ve etkili bir patlama gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca patlayıcı uygulamalarında, istenen etkiyi elde etmek amacıyla yoğunluğun artırılması sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Ancak ANFO gibi toz patlayıcılar söz konusu olduğunda yoğunluğun artırılması detonasyon hızında bir artışa neden olmamaktadır. Bu durum, patlayıcının tanecik boyutu, boşluk oranı ve bileşimindeki heterojenlik gibi fiziksel özelliklerin, yoğunluk ile detonasyon hızı arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilediğini ve bazı durumlarda yoğunluğun artırılmasının enerji salınımı dinamiklerini sınırlayarak istenen performansı sağlamayabileceğini göstermektedir.

Patlayıcı maddelerin yoğunluk değerleri, kullanım alanlarına ve ihtiyaç duyulan etkiye bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Ticarî patlayıcıların yoğunlukları genellikle 0,5 – 1,7 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir (Özkazanç, 2005, s.67). Bu çeşitlilik, patlayıcıların belirli uygulamalarda optimal performans sağlaması için farklı yoğunluklarda üretilmesini mümkün kılmaktadır. Patlayıcı maddelerin yoğunluğu konusunda daha kapsamlı bilgi sağlamak amacıyla, günümüzde yaygın olarak kullanılan patlayıcı maddelerden bazılarının yoğunluk değerleri Çizelge 2.4'te sunulmuştur.

**Çizelge 2.4: Bazı Patlayıcı Maddelerin Yoğunluk Değerleri**

Patlayıcı Maddeler	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
TNT	1,654
RDX	1,816
HMX	1,910
PETN	1,778

**Kaynak:** Çizelge, Shekhar (2012, s.45)'ten alınarak düzenlenmiştir.

Yüksek yoğunluklu patlayıcı maddeler, birim hacimde daha fazla enerji depolayabildikleri için daha güçlü ve etkili patlamalar gerçekleştirebilmektedir. Ancak yoğunluğun artmasıyla birlikte patlayıcıların kararlılığı ve güvenliği üzerinde de dikkatle durulmalıdır, çünkü yüksek yoğunluk bazen beklenmedik reaksiyonlara yol açma riskini artırabilmektedir. Yoğunluk, patlama sırasında oluşan şok dalgasının şiddetini ve yayılma hızını belirlediğinden, düşük yoğunluklu patlayıcılar daha geniş bir alana yayılan ve nispeten daha düşük şiddette bir etki yaratırken, yüksek yoğunluklu patlayıcılar daha dar bir alanda yoğun bir şok dalgası oluşturabilmektedir. Bu farklılıklar, patlayıcıların kullanıldığı ortam ve hedeflenen etki göz önünde bulundurularak dikkatli bir seçim yapılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla, patlayıcı maddelerin yoğunluklarının doğru ölçülmesi ve bu değerlerin uygulama gereksinimlerine uygun şekilde analiz edilmesi, hem operasyonel hem de güvenlik açısından kritik önem taşımaktadır.

#### **2.1.6.6 Patlayıcı parametrelerinin karşılaştırılması**

Enerji salınımı, oksijen balansı (dengesi), patlayıcı gücü, güç indeksi, gaz hacmi, detonasyon hızı ve yoğunluk gibi parametreler, patlayıcı maddelerin tasarım, üretim ve kullanım süreçlerinde kritik bir öneme sahiptir. Bu parametreler, patlayıcıların performansının öngörülmesi ve optimize edilmesi açısından temel bir rol oynamakta olup, patlayıcıların etkinliği ve güvenliği, bu parametrelerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve değerlendirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, günümüzde yaygın olarak kullanılan TNT, RDX, HMX ve PETN gibi patlayıcılar için söz konusu parametrelerin karşılaştırılması Çizelge 2.5'te sunulmuştur. Çizelge 2.5, söz konusu patlayıcıların farklı kullanım alanlarındaki performanslarını değerlendirmek için büyük bir öneme sahip olup, bu çizelgeye dayanarak TNT, RDX, HMX ve PETN patlayıcılarının detaylı karşılaştırılması aşağıdaki bulguları ortaya koymaktadır:

Enerji salınımı parametresi açısından PETN, -5803,127 kJ/kg enerji değeriyle diğer üç patlayıcıya kıyasla en yüksek enerji yayma kapasitesine sahip patlayıcı olup diğerlerinden daha fazla enerji açığa çıkararak daha güçlü bir patlama yaratabildiğini göstermektedir. RDX ve HMX, sırasıyla -5039,376 kJ/kg ve -5016,376 kJ/kg değerleriyle birbirine çok yakın enerji salınımı göstermekte, ancak PETN'den daha düşük bir enerji yayma kapasitesine sahiptir. TNT ise -4072,865 kJ/kg enerji

değeriyle diğerlerine kıyasla en düşük enerji yayma kapasitesine sahip bir patlayıcıdır. Tüm bu değerlerin negatif olması, patlama reaksiyonlarının ekzotermik (ısı salan) olduğunu göstermektedir.

Patlayıcıların oksidatif özelliklerini ve patlama verimliliğini etkileyen temel bir parametre olan oksijen dengesi açısından, incelenen patlayıcı maddeler arasında PETN, -10,022% değeriyle en iyi oksijen dengesine sahiptir. Bu durum, PETN'nin yapısında bulunan dört nitrat grubundan kaynaklanmaktadır. Oksijen dengesi, bir patlayıcının bünyesindeki karbon ve hidrojen atomlarının karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve suya (H<sub>2</sub>O) tamamen dönüşmesi için gerekli oksijen miktarını ifade etmektedir. PETN'in yapısındaki yüksek oksijen içeriği, tam yanma için gereken oksijeni fazlasıyla sağlayarak daha yüksek bir oksijen dengesi oluşturmaktadır.

**Çizelge 2.5: Patlayıcı Parametrelerinin Karşılaştırılması**

Patlayıcı Maddeler	PATLAYICI KRİTERLERİ						
	Enerji (kJ/kg)	OKSİJEN Balansı (%)	Hacim (l)	Patlayıcı Gücü (10 <sup>4</sup> kJ/kg)	Güç İndeksi (%)	Detonasyon Hızı (m/s)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
<b>TNT</b>	-4072,865	-73,961	740,561	301,620	111,715	6900	1,654
<b>RDX</b>	-5039,459	-21,609	908,641	457,906	169,600	8750	1,816
<b>HMX</b>	-5016,376	-21,609	908,776	455,785	168,814	9100	1,910
<b>PETN</b>	-5803,376	-10,122	780,254	452,791	167,706	8400	1,778

Ayrıca, moleküler yapısı ve oksijen bakımından zengin bileşimi, PETN'in yüksek oksijen dengesine katkıda bulunmakta ve bu da patlayıcı performansını optimize ederek daha verimli bir patlama potansiyeli sunmaktadır. RDX ve HMX ise -21,609% oksijen dengesiyle PETN'ye kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğundan patlama verimlilikleri nispeten düşüktür. TNT, -73,961% ile en düşük oksijen dengesine sahip olup, patlama sırasında oksijenin daha az verimli bir şekilde kullanıldığını ortaya koymaktadır. TNT'nin moleküler yapısında, PETN'e kıyasla daha fazla karbon ve daha az oksijen bulunması, bu düşük oksijen dengesine neden olmaktadır.

Patlama sonrası gaz hacmi açısından, incelenen patlayıcı maddeler arasında RDX (908.641 l) ve HMX (908.776 l) en yüksek değerlere sahip olup, bu durum, söz konusu patlayıcıların patlama sonrası diğerlerine kıyasla daha geniş bir etki alanı oluşturabilecek şekilde daha büyük bir hacim kapladıklarını göstermektedir. PETN'in gaz hacmi 780.254 l olup, TNT'den daha yüksek fakat RDX ve HMX'ten daha düşüktür. TNT'nin gaz hacmi ise 740.561 l ile en düşük seviyededir.

Patlamanın toplam enerji çıktısını belirleyen patlayıcı güç açısından RDX ( $457,906 \times 10^4$  kJ) ve HMX ( $455,785 \times 10^4$  kJ), PETN ( $452,791 \times 10^4$  kJ) ve TNT'ye ( $301,620 \times 10^4$  kJ) kıyasla daha güçlü patlamalar yaratabilme kapasitesine sahiptir. Bu durum, özellikle askerî ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilen yüksek güçlü patlayıcılar için önemli bir kriterdir.

Patlayıcı maddelerin göreceli güçlerini belirlemek için kullanılan güç indeksinde pikrik asit referans alınarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında RDX (%169,600) ve HMX (%168,814)'in yüksek güç indeksleri dikkat çekmektedir. Benzer şekilde, PETN (%167,706) de oldukça yüksek bir güç indeksine sahiptir. Buna karşılık TNT'nin güç indeksi %111,715 olarak hesaplanmış olup, diğer üç patlayıcıya kıyasla daha düşük bir değere sahiptir. Bu durum, TNT'nin göreceli olarak daha az güçlü olduğunu ve genellikle daha düşük güç gerektiren uygulamalarda tercih edildiğini göstermektedir.

Patlamanın ne kadar hızlı gerçekleştiğini belirleyen ve patlayıcıların etkisinin şiddetini etkileyen detonasyon hızı açısından, incelenen patlayıcılar arasında HMX, 9100 m/s değeriyle en hızlı patlayıcıdır. Bu durum, HMX'in üstün bir şok dalgası yaratabileceğini göstermektedir. RDX (8750 m/s) ve PETN (8400 m/s) de yüksek detonasyon hızlarına sahip olduğundan bu patlayıcı maddeler, güçlü şok dalgaları oluşturabilmektedirler. TNT'nin detonasyon hızı ise 6900 m/s olup, daha yavaş ve daha az şiddetli bir patlama potansiyeline işaret etmektedir.

Patlayıcı maddelerin kütlelerinin hacme oranını ifade eden ve enerji yoğunluğunu doğrudan etkileyen bir parametre olan yoğunluk açısından, HMX  $1,910 \text{ g/cm}^3$  değeri ile incelenen patlayıcılar arasında en yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu durum, HMX'in birim hacim başına daha fazla enerji depolayabileceğini göstermektedir. RDX ( $1,816 \text{ g/cm}^3$ ) ve PETN ( $1,778 \text{ g/cm}^3$ ) ise birbirine oldukça yakın yoğunluk değerleri sergilemektedir. Buna karşılık, TNT'nin yoğunluğu  $1,654$

$\text{g/cm}^3$  olarak hesaplanmış olup, diğer üç patlayıcıya kıyasla daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğu ve dolayısıyla birim hacim başına daha az enerji içerdiği anlaşılmaktadır.

Görüldüğü üzere, HMX ve RDX'in yüksek detonasyon hızları, patlayıcı güçleri ve enerji kapasiteleriyle incelenen patlayıcılar arasında en yüksek performanslı patlayıcılar olarak öne çıkmaktadır. PETN ise yüksek enerji kapasitesi ve oksijen dengesi ile dikkat çekmektedir. Buna karşılık, TNT'nin daha düşük enerji ve güç değerlerine sahip olması, onu diğer üç patlayıcıya kıyasla daha az güçlü bir seçenek haline getirmektedir. Ancak oksijen bakımından yetersiz olan kimyasal patlayıcılar, daha verimli bir patlama gerçekleştirebilmek için oksijene ihtiyaç duymaktadır. Teorik hesaplamalarla incelenen dört farklı kimyasal patlayıcıda, 1 mol oksijenin patlayıcı maddeyle beraber reaksiyona girmesi sonucunda aşağıdaki değişimler gözlenmektedir:

- TNT: 2 mol CO artışı ve 2 mol C azalışı,
- RDX: 2 mol CO<sub>2</sub> oluşumu ve 2 mol CO azalışı,
- HMX: 2 mol CO<sub>2</sub> oluşumu ve 2 mol CO azalışı,
- PETN: 2 mol CO<sub>2</sub> artışı ve 2 mol CO azalışı

Bu değişimler, oksijen açısından yetersiz olan kimyasal patlayıcıların, yeterli oksijen sağlandığında daha verimli bir patlama gerçekleştirdiklerini göstermektedir. Bunun temel sebebi, CO<sub>2</sub>'nin standart oluşum entalpisinin, CO'nun standart oluşum entalpisinden daha yüksek olmasıyla beraber CO'nun da standart oluşum entalpisinin, standart oluşum entalpsi "sıfır" olan C'dan daha yüksek olmasıdır. Dolayısıyla, 1 mol oksijenin veya yeterli miktarda oksijen artışının, patlayıcı maddelerin enerji salınımı, oksijen dengesi, patlayıcı gücü, güç indeksi ve detonasyon hızı gibi parametrelerde artışa neden olmaktadır. Bu durum, oksijenin patlayıcı reaksiyonlardaki kritik rolünü vurgulamakta ve patlamanın verimliliğini artıran temel faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.

Yapılan teorik hesaplamalar, patlayıcı maddelerin yapısal özellikleri ve bileşimlerinin, patlama parametreleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve bu parametrelerin, patlayıcı maddelerin performansı açısından verimlilik ve etkinlik düzeylerini belirlediğini ortaya koymaktadır. Patlayıcıların kimyasal yapısı ve bileşimindeki farklılıklar, patlama sırasında salınan enerji miktarı ve patlayıcı gücü

gibi kritik parametreleri şekillendirerek bu maddelerin genel performansını ve kullanım amacına uygunluğunu etkilemektedir. Bu nedenle, patlayıcı seçimi, kullanım amacına ve istenen performans kriterlerine bağlı olarak enerji kapasitesi, oksijen dengesi, hacim, patlayıcı güç, güç indeksi, detonasyon hızı ve yoğunluk gibi parametreler bulundurulmalıdır.

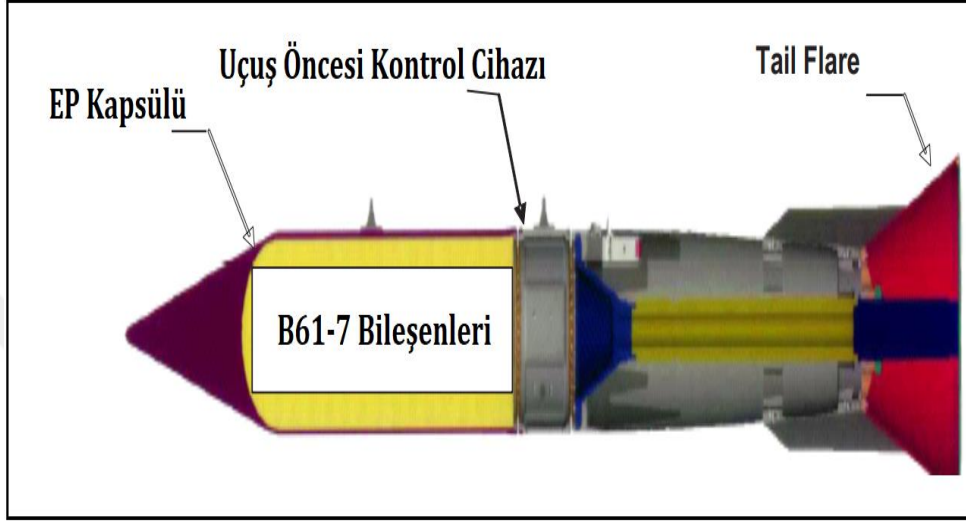
## 2.2 Penetratör Tipi Mühimmatlar

Penetratör tipi mühimmatlar, tünel, sığınak ve mağara gibi korunaklı ve stratejik yapıların tahrip ve imhası için özel olarak geliştirilmiş mühimmat türleridir. Bu mühimmatlar, güçlendirilmiş beton, çelik, kayaç veya diğer sert malzemelerden yapılmış yer altı ve yer üstü hedef yapılarına nüfuz edebilme kapasitesine sahiptir. Bu kapasiteyi, yüksek mukavemetli malzemelerden üretilmiş gövdeleri, aerodinamik tasarımları ve yüksek hızda hedefe ulaşma yetenekleri sayesinde elde etmektedirler.

Penetratör tipi mühimmatların temel geliştirilme amacı, geleneksel mühimmatların ulaşamadığı derinliklerde veya korunma düzeyi yüksek yapılarda bulunan hedeflerin etkili bir şekilde tahrip ve imha edilmesini sağlamaktır. Bu doğrultuda, bu mühimmatların tasarımı hedef yapıların malzeme türü, derinlik, yapısal dayanıklılık ve beklenen yıkıcı etki gibi birçok parametreye bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

Penetratör tipi mühimmatların gelişim süreci, modern askerî mühimmat teknolojisinin şekillenmesinden önemli bir dönüm noktası olan İkinci Dünya Savaşı'na kadar uzanmaktadır. Bu konseptin dayandığı temeller, savaşın sonlarına doğru İngiliz mühendis Barnes Wallis liderliğindeki müttefik güçler tarafından atılmıştır (Nevo, 2024). Wallis'in geliştirdiği ve özellikle Almanya'ya karşı kullanılan "Tallboy" ve "Grand Slam" gibi ağır bombalar, penetratör tipi mühimmatların erken dönem örnekleri arasında yer almaktadır. Bu mühimmatlar, korunaklı ve stratejik yapı hedeflerinin yapısal bütünlüğünü bozmak amacıyla tasarlanmış ve derin nüfuz kabiliyetiyle harp tarihinde bir dönüm noktasını oluşturmaktadır. Wallis'ten günümüze kadar geçen süreçte, penetratör tipi mühimmatlar, mühendislik ve teknoloji alanlarındaki ilerlemeler sayesinde önemli ölçüde evrilerek çok çeşitli tasarım ve özelliklere sahip bir mühimmat sınıfına dönüşmüştür. Penetratör tipi mühimmatlar, genel olarak nükleer ve kimyasal patlayıcılardan üretilen mühimmatlar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

Nükleer penetratör tipi mühimmatlar, yüksek patlama gücüne sahip nükleer başlıklar içeren ve hedefe derinlemesine nüfuz etmek amacıyla tasarlanmış mühimmat türleri olup yer altındaki korunaklı yapılar, tüneller, sığınaklar ve diğer zorlu hedeflerin tahrip ve imhasında kullanılmaktadır. ABD tarafından geliştirilen B61-7 tipi nükleer mühimmat, Şekil 2.9’da görüldüğü üzere, bu kategorinin öne çıkan önemli bir örneği olarak değerlendirilmektedir.

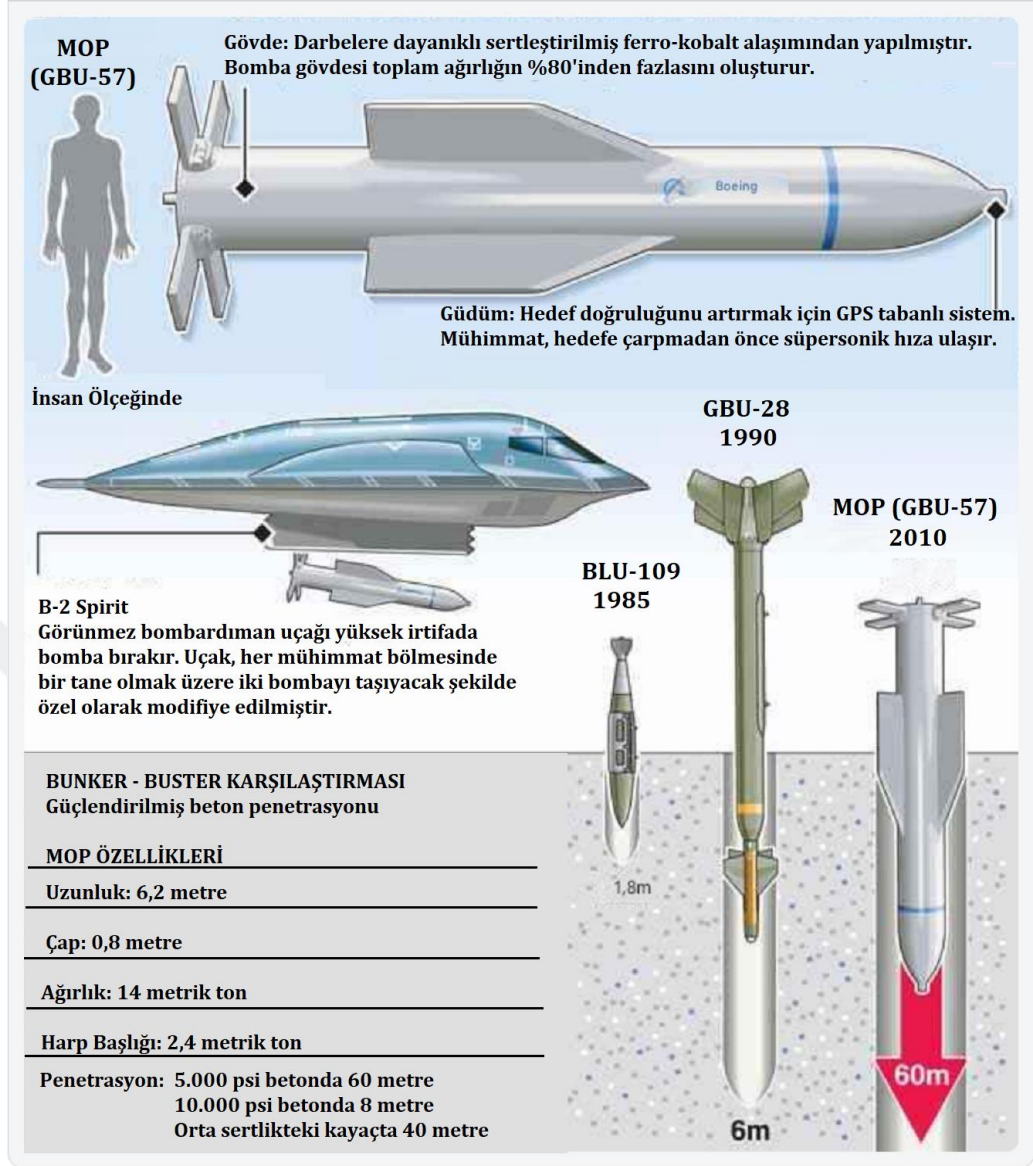


**Şekil 2.9: B61-7 Mühimmatının Tasarımı**

**Kaynak:** (National Research Council, 2005, s.27)

Kimyasal patlayıcılardan geliştirilen penetratör tipi mühimmatlar ise, yapıları bakımından tek kademeli ve çift kademeli olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Tek kademeli mühimmatlar, hedef yapının yüzeyini delip geçebilecek şekilde tasarlanmış olup, tek bir aşamada hedefin tahrip ve imha edilmesini amaçlamaktadır. Bu tür mühimmatlar, çift kademeli mühimmatlara kıyasla daha sığ hedefleri tahrip veya imha etmek için kullanılmaktadır. Şekil 2.10’da yer alan BLU-109 ve MK-84 gibi bu tür mühimmatlara örnek olarak verilebilir.





**Şekil 2.11: Çift Kademeli Penetratör Tipi Mühimmat MOP (GBU-57)'un Özelliklerinin Tek Kademeli Penetratör Tipi Mühimmat BLU-109 ve GBU-28 ile Karşılaştırılması**

**Kaynak:** (Centeno, 2022).

Her iki mühimmat türü de, penetrasyon kabiliyetleri ve patlama mekanizmaları açısından birbirlerinden farklılık göstermekte olup, özel hedeflere ve stratejik amaçlara göre geliştirilmiştir. Bu mühimmatlar, zırhlı ve güçlendirilmiş yapıları yok etmek için kullanılan en etkili araçlardan biri olarak, askeri stratejilerde etkili bir araç olarak konumlanmaktadır. Ancak nükleer penetratör tipi mühimmatların kullanımında etik ve çevresel kaygılar önemli rol oynamaktadır.

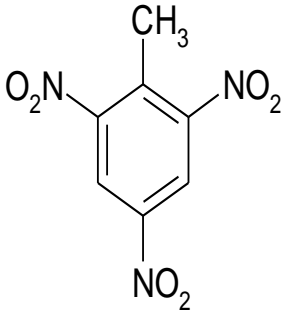
### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 TNT

TNT (2,4,6 - trinitrotoluen),  $C_7H_5N_3O_6$  moleküler formülüne sahip, kokusuz ve sarımsı renkli katı bir maddedir. İlk kez 1863 yılında Alman kimyacı Wilbrand tarafından sentezlenmiştir (Wilbrand, 1863, s.178). Yüksek kritik çapı nedeniyle patlayıcı özelliği başlangıçta tam olarak anlaşılmayan TNT, Birinci Dünya Savaşı öncesinde bu özelliğinin keşfedilmesiyle savaş sırasında standart bir patlayıcı haline gelmiştir. Her iki dünya savaşı boyunca fişek, bomba ve top gibi mühimmatlarda ana patlayıcı maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır.

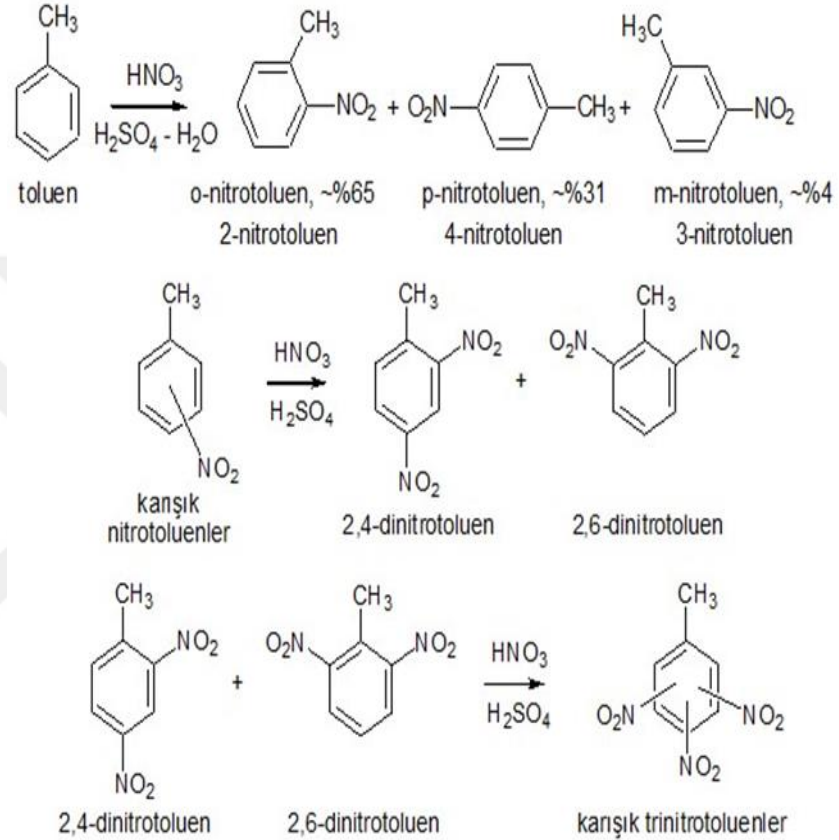
TNT, güçlü bir patlayıcı madde olmasının yanı sıra güvenli taşıma ve depolama olanakları sunmasıyla, hem askerî hem de endüstriyel alanlarda tercih edilen bir bileşik haline gelmiştir. TNT'nin sentezi, üreticilerin ve askerî ihtiyaçların beklentilerini karşılayabilen ilk yüksek güçlü patlayıcı olarak bilimsel ve endüstriyel çevrelerde büyük ilgi görmüştür (Kyprianou ve diğerleri, 2020, s.1). Sentezinin üzerinden neredeyse bir asır geçmiş olmasına rağmen, bugüne kadar TNT ile ilgili kaydedilen tek bir büyük kaza bulunmamaktadır (Ledgard, 2003, s.28). Bu durum, onun güvenilir bir patlayıcı olarak kullanımını desteklemektedir. TNT'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de detaylı olarak sunulmuştur.

**Çizelge 3.1: TNT'nin Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri**

	<b>CAS Numarası</b>	118-96-7
	<b>Moleküler Formülü</b>	$C_7H_5N_3O_6$
	<b>Moleküler Ağırlığı</b>	227,13 g/mol
	<b>Kristal Formu</b>	Renksiz ya da soluk sarı renkte kristal katı
	<b>Erime Noktası</b>	80,1 °C
	<b>Kaynama Noktası</b>	240 °C
	<b>Yoğunluğu</b>	1,654 g/cm <sup>3</sup>
	<b>Çözünürlüğü</b>	20 °C'de g/100ml çözücü suda 0,013
	<b>Patlama Şiddeti</b>	6900 m/s

**Kaynak:** Atamanchemicals (t.y.), OSHA (t.y.) ve CAS (t.y.a)'daki bilgiler ışığında hazırlanmıştır.

TNT, toluenin nitrik asit ve sülfürik asitle nitasyonu sonucunda elde edilmektedir. Bu süreç, Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, üç aşamada gerçekleşmektedir: Bu üç aşamanın birinci aşamasında, toluen, nitrik asit ve sülfürik asit karışımı ile reaksiyona girerek mononitrotoluen (MNT)'i oluşturur. İkinci aşamada, MNT'nin nitrolanmasıyla dinitrotoluen (DNT) elde edilir. Üçüncü ve son aşamada ise DNT'nin nitrolanması sonucunda TNT sentezlenmektedir.



**Şekil 3.1: TNT'nin Toluene'den Sentezlenmesi**

**Kaynak:** Beşergil (t.y.)

### 3.2 ANSYS (Swanson Analysis Systems)

ANSYS, Amerikalı mühendis Dr. John A. Swanson tarafından 1970 yılında geliştirilen bir sonlu elemanlar analiz yazılımıdır. Zaman içinde çeşitli mühendislik ve tasarım analiz programlarını bünyesine katarak daha kapsamlı bir yapıya kavuşan ANSYS, mühendislik tasarım ve analiz süreçlerinde kullanılan üç boyutlu bir simülasyon yazılımıdır. Bu yazılım, çok disiplinli analizler yaparak ürünlerin veya sistemlerin tasarım aşamasında, fiziksel prototipleri üretilmeden önce, sanal ortamda mukavemet, mekanik, titreşim gibi özelliklerini incelemeye olanak tanımaktadır. Ayrıca simülasyon aşamasında karşılaşılabilecek sorunları çözmek amacıyla

bilgisayar tabanlı sayısal yöntemleri kullanır ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), elektromanyetik, termal analizler, malzemelerin dayanımı gibi pek çok alanda çözüm üretme olanağı sunmaktadır.

ANSYS programı, bilgisayar ortamında ürünlerin veya sistemlerin hem modellemesini yaparak hem de simülasyonlarla test edilmesini sağlayarak olası hataların önceden tespit edilmesine olanak tanıyan bir mühendislik yazılımıdır. Bu program, uzay ve havacılık, otomotiv, biyomedikal ve endüstri gibi birçok alanda kullanılmakta olup ürün tasarım ve geliştirme süreçlerinin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Mühendisler ve tasarımcılar, ANSYS sayesinde fiziksel ortam koşullarını sanal bir platformda simüle ederek zaman, maliyet ve iş yükünden tasarruf edebilmektedir. Bu kapsamda ANSYS, aşağıdaki gibi çeşitli mühendislik ve bilimsel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır:

- **İnşaat ve yapı mühendisliği:** Bina, köprü ve tünel tasarımlarının yanı sıra deprem dayanıklılığı analizlerinde,
- **Otomotiv endüstrisi:** Çarpışma testleri, aerodinamik optimizasyon ve titreşim analizlerinde,
- **Uzay ve havacılık sektörü:** Uçak parçalarının dayanıklılığı ve sıcaklık yönetimi çalışmalarında,
- **Elektrik – elektronik mühendisliği:** Elektromanyetik analizlerde,
- **Biyomühendislik:** Medikal cihazlar ve protez tasarımlarında.

ANSYS, bu disiplinlerde karmaşık mühendislik problemlerine çözüm üreterek inovasyonu teşvik etmekte ve yüksek verimlilik sağlamaktadır.

### 3.2.1 ANSYS'in temel modülleri ve özellikleri

ANSYS program, geniş modül ve özellik yelpazesi ile farklı mühendislik disiplinlerinde ve tasarım alanlarında yaygın olarak kullanılan güçlü bir yazılımdır. Özellikle ürün geliştirme süreçlerinde daha güvenilir, verimli ve yenilikçi çözümler sunmasının yanı sıra zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması, ANSYS'in tercih edilmesindeki başlıca nedenlerdendir. ANSYS'in temel modüllerinden bazıları şu şekilde sıralanabilir:

1. ANSYS Mechanical
2. ANSYS Fluent
3. ANSYS Maxwell

4. ANSYS Workbench
5. ANSYS CFX
6. ANSYS HFSS
7. ANSYS Autodyn
8. ANSYS SpaceClaim
9. ANSYS Ls-Dyna
10. ANSYS Icepak
11. ANSYS Composite PrepPost
12. ANSYS Aqwa
13. ANSYS Discovery Live

Bu modüller, farklı mühendislik disiplinlerinde karşılaşılan karmaşık problemlere çözümler sunarak tasarım ve analiz süreçlerini optimize etmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerde ANSYS'e ait Autodyn ve SpaceClaim modülleri kullanılmış olup, söz konusu modüllere ilişkin detaylı bilgiler ilgili alt başlıklarda sunulmaktadır.

### **3.2.1.1 ANSYS autodyn**

ANSYS Autodyn, patlama, çarpışma, balistik olaylar ve darbe gibi etkilere maruz kalan katı cisimlerin, yapıların veya bileşenlerinin dinamik analizini gerçekleştirmek için kullanılan, gelişmiş simülasyon yeteneklerine sahip bir yazılımdır. Bu yazılım, “kısa süreli şiddetli mekanik yüklemelerden, yüksek basınçlara ve hatta patlamalara kadar uzanan olaylara karşı malzemelerin tepkisinin simüle edilmesi” (Ansys, 2020c) gereken mühendislik problemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

ANSYS Autodyn, mühendisler ve tasarımcılar tarafından sunduğu çözüm yöntemleri ve geniş malzeme modeli seçenekleri nedeniyle birçok farklı mühendislik disiplininde ve endüstride kritik analizler yapılmasını sağladığından sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yazılım, askerî ve savunma alanında zırh tasarımı, patlayıcıların ve patlayıcı maddelerin etkilerinin değerlendirilmesi, mühimmat tasarımı ve balistik analizlerde; otomotiv endüstrisinde çarpışma testlerinde; havacılık ve uzay sektöründe uçakların yüksek hızda çarpışmalarının simülasyonunda; inşaat sektöründe ise yapıların patlamalara karşı dayanıklılığının analizinde kullanılmaktadır. Tüm bu kullanım alanlarında, malzemelerin yüksek basınç, sıcaklık

ve hız gibi ekstrem koşullardaki davranışlarını detaylı bir şekilde analiz ederek, tasarım süreçlerinde daha güvenli, ekonomik ve performans odaklı çözümler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

### 3.2.1.2 ANSYS spaceclaim

ANSYS SpaceClaim, mühendislik tasarımı, simülasyon öncesi geometri hazırlığı, tersine mühendislik ve hızlı prototipleme gibi çeşitli süreçlerde kullanılan, çok yönlü bir 3D modelleme yazılımıdır. “Direkt Modelleme” teknolojisi üzerine inşa edilen SpaceClaim, tasarım veya kavramsal modelleme, dışarıdan aktarılan CAD dosyalarının onarılması, gereksiz detayların temizlenmesi ve modelin tümünün düzenlenmesi gibi çeşitli 3D CAD işlemlerini hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirme yeteneğine sahiptir (Numesys, 2018). Bu özellikleri, yazılımı mühendislik ve tasarım süreçlerinde önemli bir araç haline getirirken, kullanıcılara büyük bir esneklik ve hız kazandırmaktadır.

Kullanıcı dostu arayüzü, doğrudan modelleme yaklaşımı ve geniş format desteği ile tasarım ve analiz süreçlerini önemli ölçüde kolaylaştıran ANSYS SpaceClaim, çeşitli endüstrilerde faaliyet yürüten mühendisler, tasarımcılar ve analiz uzmanları için hızlı ve esnek çözümler sunarak, ürün geliştirme döngülerini kısaltmakta ve verimliliği artırmaktadır. ANSYS SpaceClaim, aşağıdaki başlıca endüstrilerde tasarım ve analiz süreçlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir:

- *Mekanik ve Üretim Mühendisliği:* Prototip hazırlama, montaj tasarımı ve uygun modellerin oluşturulması gibi kritik aşamalarında, karmaşık geometrilerin hızlı ve doğru bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır.
- *Tersine Mühendislik:* Fiziksel bir parçanın 3 boyutlu tarama verilerinin analiz edilebilir CAD modellerine dönüştürülmesini sağlamaktadır.
- *Havacılık ve Savunma Sanayii:* Geometri basitleştirme, analiz hazırlığı ve hızlı prototipleme gibi süreçlerde, karmaşık geometrilerin yönetilmesini kolaylaştırarak aerodinamik analizler, yapısal analizler ve diğer mühendislik simülasyonları için daha doğru ve verimli modeller oluşturulmaktadır.
- *Enerji ve Otomotiv Sektörü:* Simülasyon öncesi geometri düzenleme ve tasarım süreçlerinde karmaşık geometrilerin yönetilmesini kolaylaştırarak akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve yapısal analizler gibi çeşitli simülasyonlar için daha doğru ve verimli modeller oluşturulmaktadır.

Ayrıca, ANSYS SpaceClaim, akademik çalışmalarda kullanılması, öğrencilerin ve araştırmacıların tasarım ve analiz konularında daha derinlemesine bilgi edinmelerine ve daha karmaşık problemleri çözmelerine olanak tanımaktadır. Özellikle mühendislik disiplinindeki araştırmacılar için, teorik bilgilerin pratik uygulamalarla desteklenmesi açısından önemli bir araçtır.

### **3.2.2 ANSYS kullanımının avantajları ve dezavantajları**

ANSYS, mühendislik simülasyonları alanında, özellikle mekanik, akışkanlar dinamiği, elektromanyetik ve yapısal analizler gibi çeşitli tekniklerde güçlü bir simülasyon platformu olarak öne çıkmaktadır. Bu simülasyon yazılımı, sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sonlu hacimler yöntemi (FVM), sınır elemanlar yöntemi (BEM), mikro ve makro ölçekli hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), ısı transferi ve difüzyon yöntemleri, radyasyon transferi yöntemleri ve diğer sayısal analiz teknikleriyle entegre bir biçimde kullanarak mühendislerin, tasarımcıların ve araştırmacıların tasarımlarını optimize etmelerine, malzeme davranışlarını simüle etmelerine ve sistem performansını daha derinlemesine anlamalarına olanak tanımaktadır. Bu minvalde, mühendislik ve tasarım süreçlerinde fiziksel prototiplere gerek kalmadan sanal ortamda gerçekleştirilen testlerle daha hızlı ve maliyet dostu çözümler üretme kapasitesine sahiptir.

ANSYS'in sunduğu bu simülasyon yetenekleri, mühendislik projelerinde özellikle kompleks yapıların ve sistemlerin analizinde kritik öneme sahip olduğundan yazılım, mühendislerin, tasarımcıların ve araştırmacıların ürün geliştirme süreçlerinde karşılaştıkları çok çeşitli mühendislik sorunlarını çözmelerine imkân tanımaktadır. Özellikle ürünlerin prototipi oluşturulmadan önce fiziksel ortam koşullarının sanal ortamda modellenmesi, ürünlerin performansının değerlendirilmesine ve optimizasyonuna olanak sağlamaktadır. Bu süreç, ürün tasarımının erken aşamalarında önemli tasarruflar sağlanmasına, gereksiz maliyetlerin önlenmesine ve zaman kayıplarının en aza indirilmesine yardımcı olmaktadır. ANSYS'in bu tür imkânları, mühendislerin, tasarımcıların ve araştırmacıların farklı simülasyon senaryoları oluşturarak, ürünlerin en verimli, dayanıklı ve ekonomik versiyonlarını belirlemelerini mümkün kılmaktadır.

Bununla birlikte, ANSYS yazılımının yüksek maliyetleri, öğrenme sürecinin uzunluğu ve yazılımın etkin bir şekilde kullanılabilmesi için gereken derinlemesine

bilgi birikimi, bazı kullanıcılar için önemli engeller oluşturabilmektedir. Yazılımın sunduğu kapsamlı özellikler ve analiz imkânları, başlangıç seviyesindeki kullanıcılar için karmaşık olabildiği için yazılımın tam potansiyelinden faydalanmasını zorlaştırabilmektedir. Ayrıca yazılımın ileri düzey fonksiyonlarını etkin bir şekilde kullanabilmek için mühendislerin, tasarımcıların ve araştırmacıların yüksek düzeyde eğitim ve deneyime sahip olmaları gerekmektedir.

Bir diğer dezavantaj ise ANSYS'in yüksek donanım gereksinimleri ile ilgili olup kompleks ve yüksek çözünürlüklü simülasyonlar için güçlü bilgisayar altyapıları gerekmektedir. Bu durum, hem yüksek maliyetlere neden olabilir hem de daha küçük ölçekli firmaların ve bireysel kullanıcıların yazılıma erişimini kısıtlayabilir. Ayrıca büyük ölçekli ve kompleks simülasyonlar için gereken işlem süreleri de önemli bir zaman kaybına neden olabilmektedir. Bu durum, özellikle araştırma ve geliştirme süreçlerinde projelerin sürekliliği hususunda belirgin zorluklar yaratabilmektedir.

ANSYS, gelişmiş simülasyon yetenekleri, yüksek doğrulukta ve gerçekçi sonuçlar ile ileri düzeyde optimizasyon olanakları sağladığından mühendislik alanındaki en önemli yazılımlardan biri olarak kabul edilmektedir. Otomotiv, havacılık ve uzay, enerji, inşaat ve elektronik gibi çeşitli endüstrilerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yazılımın sunduğu bu güçlü analiz kapasitesinin yanı sıra yüksek lisans ücretleri, yüksek sistem gereksinimleri, özelleştirme ve entegrasyon zorlukları gibi çeşitli dezavantajlar da önemli birer engel teşkil edebilmektedir. Ayrıca yazılımın kapsamlı ve karmaşık yapısı, özellikle büyük ölçekli ve çok disiplinli projelerde, entegrasyon ve özelleştirme süreçlerinde ciddi zorluklara yol açabilmektedir.

Bununla birlikte, ANSYS'te gerçekleştirilen simülasyonlar ve analizler, mühendislik ve tasarım projelerinin başarısı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olup bu sayede mühendisler, tasarımcılar ve araştırmacılar projenin farklı aşamalarında önemli kararlar alabilmektedir. ANSYS'in sunduğu bu kapsamlı analiz ve simülasyon araçları, ürünlerin performansını optimize etme, tasarım hatalarını erken tespit etme ve genel sistem verimliliğini artırma gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. ANSYS'in kullanımına dair avantajlar ile dezavantajlarının karşılaştırılması detaylı bir şekilde Çizelge A.9'da sunulmuştur.

Özetle, ANSYS mühendislik ve tasarım süreçlerinde kritik öneme sahip bir araç olmasına rağmen, kullanımında karşılaşılan zorluklar ve dezavantajlar, yazılımın tam potansiyelinden faydalanmak isteyen kullanıcılar için önemli engeller oluşturabilmektedir. Bu minvalde, ANSYS'in avantajları ve dezavantajları, kullanıcının ihtiyaçları ve proje gereksinimlerine göre dikkatlice değerlendirilmelidir.

### **3.3 Çalışma Sahası**

Bu araştırma, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların farklı hızlarda ve çeşitli sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerinin incelenmesini amaçlayan bir çalışma alanını kapsamaktadır. Çalışma sahası, mühimmat etkilerinin analizi için uygunluk arz eden yapısal özelliklere sahip, sayısal ortamda modellenmiş sığınak ve mağara yapıları ile karakterize edilmiştir.

Saha seçiminde, hedef yapıların dayanım özellikleri, basınç dayanımları ve yer altı ile yüzey üstü koruma mekanizmaları göz önünde bulundurulmuştur. Bu doğrultuda, mühimmatın nüfuz derinliği ve yapısal hasar mekanizmalarının analizine olanak sağlayacak şekilde homojenik yapılar tercih edildiğinden mühimmatların farklı hızlarda ve çeşitli yapı türleri üzerindeki etkilerinin sistematik bir biçimde değerlendirilmesi mümkün kılınmıştır.

Nitekim sayısal ortamda modellenen saha, yalnızca mühimmatın fiziksel etkilerini ortaya koynakla kalmayıp, aynı zamanda bu yapıların askerî ve savunma stratejileri açısından kritik rollerini anlamaya yönelik kapsamlı bir değerlendirme yapmaya da olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, elde edilen bulgular, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliği ile sığınak ve mağara yapılarının korunma kapasitesi arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak, saldırı ve savunma sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önemli stratejik çıkarımlar sunmaktadır.

### **3.4 Yapılacak Analizler**

Bu çalışmada, öncelikle kimyasal patlayıcılara ait farklı patlayıcı maddelerin enerji kapasiteleri, oksijen balansları, patlayıcı gücü ve güç indeksleri gibi parametreler ile nükleer patlayıcı türü olarak U-235'e ait enerji analizi matematiksel olarak hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra, tek kademeli penetratör tipi

mühimmatların farklı hızlardaki etkilerini belirlemek için çeşitli sığınak ve mağara yapıları üzerinde kapsamlı analizler gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda, ANSYS yazılımı kullanılarak yapılan sayısal simülasyonlar aracılığıyla mühimmatların hedef yapılara nüfuz etme davranışları ve etkileri detaylı bir şekilde incelenmektedir. Analizler kapsamında, patlama sonrası meydana gelen yapısal hasar, şok ve darbe kaynaklı deformasyonlar ile oluşan eşdeğer gerilmeler değerlendirilmektedir.

ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, patlayıcı madde olarak TNT tercih edilmiş ve 450,41 kg ağırlığında mühimmatın içinde TNT kullanılmıştır. Mühimmat gövdesi olarak 4340 çelik malzeme tanımlanmış olup, bu malzemenin toplam ağırlığı 527,54 kg olarak belirlenmiştir. Analizler iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada sekiz farklı çarpma senaryosu kurgulanırken, ikinci aşamada üç farklı patlama senaryosu kurgulanmaktadır. Çarpma senaryolarında kullanılan mühimmatın toplam ağırlığı 1059,1 kg olarak alınmıştır.

Gerçekleştirilen analizler, mühimmatların 300 ila 600 m/s hız aralığında, 1 metre kalınlığında kum tabakalı ve kum tabakasız olmak üzere iki farklı yapısal senaryoda uygulanmasını içermektedir. Bu çerçevede, 1 metre kalınlığında, sırasıyla 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip beton yapılardan oluşan iki farklı mağara türü üzerinde çalışılmaktadır. Ayrıca, ikisi büyük, biri küçük olmak üzere üç farklı mağara yapısında patlama analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu analizler doğrultusunda, mühimmatların hedef yapılar üzerindeki yapısal hasar etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 ANSYS Uygulamaları

Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapılarına nüfuz etme performansı, çeşitli değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda, çalışmada mühimmatın hedef yapıya çarpma hızı, yapı malzemesinin türü ve kalınlığı ile yapı yüzeylerinin kum ile kaplanmış olup olmaması gibi kritik parametreler dikkate alınarak ANSYS tabanlı sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

Analizler, farklı malzeme özellikleri ve mühimmat hızlarına bağlı olarak yapısal performans ve hasar dağılımını belirlemeye yönelik kapsamlı bir çerçeve sunduğundan çarpma ve patlama olmak üzere iki temel başlık altında ele alınmıştır. Bu kapsamda, farklı hızlardaki (300 m/s, 400 m/s, 450 m/s ve 600 m/s) mühimmatların 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip yapılar ile bu yapıların kum malzemesi ile kaplanmış yüzeyler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

#### 4.1.1 Çarpma analizleri

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen çarpma analizlerinde, farklı hızlardaki tek kademeli penetratör tipi mühimmatların hedef yapıya etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Bu analizler, ANSYS Autodyn ve SpaceClaim yazılımları kullanılarak yürütülmüş olup, mühimmatın hedef yapı yüzeyindeki etkileri ve darbe sonrası yapısal deformasyon seviyeleri sayısal modellemeler aracılığıyla elde edilmiştir. Modelleme sürecinde, hedef yapı elemanlarının mekanik özellikleri dikkate alınarak uygun malzeme modelleri oluşturulmuş ve farklı hızlardaki mühimmatların çeşitli malzeme türleri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, çarpma analizleri, iki ana başlık altında ele alınmaktadır:

1. Çarpma Analizlerinde Temel Parametreler ve Veri Setleri
2. Çarpma Analizlerine İlişkin Simülasyon Verileri

#### 4.1.1.1 Çarpma analizlerinde temel parametreler ve veri setleri

Çalışmanın bu bölümünde, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki çarpma etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen sayısal analizlerde kullanılan temel parametreler ve veri setleri kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Bu parametre ve veri setleri, mühimmatın hedef yapılara çarpma hızı, hedef yapıların boyutları ve yapısal özellikleri, hedef yapı yüzeyinin kumlu olup olmadığı, mühimmat yapısının malzeme türü gibi kritik faktörleri içermektedir. Bu parametrelerin her biri, mühimmat ile hedef yapı arasındaki etkileşimi farklı şekillerde etkilediğinden analizlerde çeşitli parametre kombinasyonları değerlendirilerek incelenme yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu nedenle çarpma analizlerinde kullanılan temel parametreler ve ilgili veri setleri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Bu çalışmada gerçekleştirilen çarpma analizinde kullanılan 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımlarına sahip hedef yapılar ile 4340 çelik ve kum materyallerinin çeşitli fiziksel özelliklerine ait veriler Çizelge 4.1’de sunulmaktadır.

**Çizelge 4.1: Çarpma Analizindeki Materyal Çeşitlerinin Fiziksel Özellikleri**

Özellikler		Materyal Çeşitleri							
		35 MPa			140 MPa			4340 Çelik	Kum
		1 m.		2 m.	1 m.				
		Kumsuz	Kumlu	Kumsuz	Kumsuz	Kumlu			
Boyut (m)	X	14		14	14		0,45912	12	
	Y	10		11	10		2,6325	1	
	Z	5		5	5		0,45912	4	
Hacim (m <sup>3</sup> )		316		386	316		0,13526	48	
Kütle (kg)		7,9632 10 <sup>5</sup>		8,932 10 <sup>5</sup>	7,9632 10 <sup>5</sup>		1059,1	1,2677 10 <sup>5</sup>	
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )		2314			2520		7830	2641	
Özgül Isı (J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> )		654			654		477	-	

Analizde kullanılan hedef yapılar ile 4340 çelik ve kum materyallerine ait Mesh özellikleri Çizelge 4.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2: Mesh Özellikleri

Hedef Yapı Katmanı		KUMSUZ				KUMLU			
Beton Kalınlığı		1 m		2 m		1 m			
Mühimmat Hızı		300 m/s		400 m/s		400 m/s	450 m/s	600 m/s	
Beton Dayanımı		35 MPa	140 MPa	35 MPa		35 MPa			140 MPa
Beton	Düğüm Sayısı	3803	3803	3803	4044	3803	3803	3803	3803
	Element Sayısı	14939	14939	14939	16466	14904	14904	14904	14904
Çelik	Düğüm Sayısı	1003	1111	1003	1262	1180	1180	1180	1082
	Element Sayısı	2917	3598	2917	3888	3610	3610	3610	3275
Kum	Düğüm Sayısı	-	-	-	-	1536	1536	1536	1536
	Element Sayısı	-	-	-	-	1023	1023	1023	1023
Toplam	Düğüm Sayısı	4806	4914	4806	5306	6519	6519	6519	6421
	Element Sayısı	17856	18537	17856	20354	19537	19537	19537	19202
Ortalama Mesh Kalitesi		~ 0,78	~ 0,78	~ 0,78	~ 0,78	~ 0,78	~ 0,78	~ 0,78	~ 0,78

ANSYS analizinde oluşturulan 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip hedef yapıların dayanım parametreleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.3: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların RHT Modeli ile Dayanım Parametreleri**

Özellikler	35 MPa	140 MPa
Basınç Dayanımı $f_c$ Pa	3,5e+007	1,4e+008
Çekme Dayanımı $f_t/f_c$	0,1	0,1
Kesme Dayanımı $f_s/f_c$	0,18	0,18
Bozulmamış Kırılma Yüzeyi Sabiti A	1,6	1,6
Bozulmamış Kırılma Yüzeyi Üssü n	0,61	0,61
Çekme / Basınç Meridyen Oranı Q2.0	0,6805	0,6805
Kırılığandan Süneklığe Geçiş BQ	1,05e-002	1,05e-002
Sertleşme Eğimi	2,	2,
Elastik Dayanım / ft	0,7	0,7
Elastik Dayanım / $f_c$	0,53	0,53
Kırılma Dayanımı Sabiti B	1,6	1,6
Kırılma Dayanımı Üssü m	0,61	0,61
Sıkıştırma Gerilme Hızı Üssü $\alpha$	3,2e-002	9,09e-003
Çekme Gerilme Hızı Üssü $\delta$	3,6e-002	1,25e-002
Maksimum Kırılma Dayanımı Oranı SFMAX	1,e+020	1,e+020
Hasar Sabiti D1	4,e-002	4,e-002
Hasar Sabiti D2	1,	1,
Kırılmaya Yol Açan Minimum Gerinim	1,e-002	1,e-002
Kalan Kayma Modülü Oranı	0,13	0,13

Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların mağara ve sığınak gibi hedef yapılarına çarpma hızları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4: Mühimmatların Hedef Yapılara Çarpma Hızları**

Eksen	Hız (m/s)							
	Kumsuz				Kumlu			
	1 m		2 m		1 m			
	35 MPa	140 MPa	35 MPa		35 MPa			140 MPa
X	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	-300	-300	-400	-400	-400	-450	-600	-600
Z	0	0	0	0	0	0	0	0

Analiz kapsamında kullanılan Çelik 4340'ın Johnson – Cook Dayanım Modeli çerçevesinde elde edilen dayanım parametreleri Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.5: Çelik 4340'ın Johnson-Cook Dayanım Modeline Göre Davranışı ve Dayanım Parametreleri**

Parametreler	Çelik 4340
Başlangıç Akma Gerilmesi Pa	7,92e+008
Sertleşme Sabiti Pa	5,1e+008
Sertleşme Üssü	0,26
Şekil Değiştirme Hız Sabiti	1,4e-002
Termal Yumuşama Üssü	1,03
Erime Sıcaklığı °C	1519,8
Referans Gerinim Hızı (/s)	1,

Analizde kullanılan malzeme modelinin 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip hedef yapıların P-alpha denklemiyle simüle edildiğinde belirli fiziksel koşullar altındaki davranışları Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.6: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Davranış Kriterleri**

	Davranış Kriterleri				
	Katı Yoğunluk (kg m <sup>-3</sup> )	Yapıdaki Ses Hızı (ms <sup>-1</sup> )	Başlangıç Sıkıştırma Basıncı (Pe Pa)	Katı Sıkıştırma Basıncı (Ps Pa)	Sıkıştırma Üssü (n)
<b>35 MPa</b>	2750	2920	2,33 10 <sup>7</sup>	6 10 <sup>9</sup>	3,0
<b>140 MPa</b>	2750	3242	9,33 10 <sup>7</sup>	6 10 <sup>9</sup>	3,0

ANSYS analizinde kullanılan 35 MPa ve 140 MPa dayanımına sahip hedef yapıların kayma gerilmesine karşı gösterdikleri elastik direnç değerleri Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.7: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Kayma Gerilmesine Karşı Gösterdikleri Elastik Direnç**

Yapı	Dayanıklılık Pa
<b>35 MPa</b>	1,67 10 <sup>10</sup>
<b>140 MPa</b>	2,206 10 <sup>10</sup>

ANSYS analizinde kullanılan tek kademeli penetratör tipi mühimmatların gövde ve burun kısmındaki çelik 4340 materyalinin dayanıklılık ve kayma modülü değerleri Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.8: Çelik 4340 İçin Dayanıklılık ve Kayma Modülü**

<b>Dayanıklılık Pa</b>	$1,59 \cdot 10^{11}$
<b>Kayma Modülü Pa</b>	$8,18 \cdot 10^{10}$

ANSYS analizinde sığınak ve mağara yapılarının yüzeyinde oluşturulan 1 m kalınlığındaki kum tabakasının kayma modülü ve çekme basıncı kırılmasına ait veriler Çizelge 4.9’da sunulmaktadır.

**Çizelge 4.9: Kum İçin Kayma Modülü ve Çekme Basıncı Kırılması**

<b>Kayma Modülü Pa</b>	$7,69 \cdot 10^7$
<b>Çekme Basıncı Kırılması Pa</b>	-1000

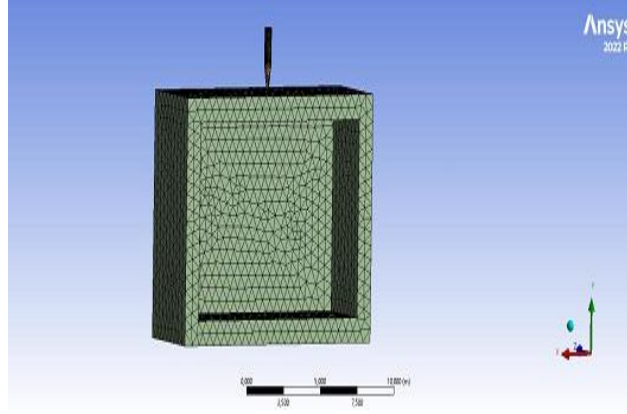
#### 4.1.1.2 Çarpma analizlerine ilişkin simülasyon verileri

Çarpma analizlerine ilişkin simülasyon verileri, mühimmat ile hedef yapı arasında oluşan etkileşimin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanıyan kritik unsurlar arasında yer almaktadır. Bu simülasyonlar, ANSYS Autodyn ve SpaceClaim yazılımlarını kullanılarak gerçekleştirilen sayısal modellemeler aracılığıyla elde edilmiştir.

Çarpma simülasyonları, mühimmatın hedef yapıya çarpma hızı, yapısal deformasyon ve basınç dalgaları gibi parametreler üzerinden etkilerini değerlendiren kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Simülasyon verilerinin elde edilmesi için mühimmatın farklı hızlardaki çarpma senaryoları (300 m/s, 400 m/s, 450 m/s ve 600 m/s), hedef yapıların farklı dayanım seviyeleri (35 MPa ve 140 MPa) ve hedef yapı yüzeyinin kum ile kaplanıp kaplanmamış olması gibi parametreler dikkate alınarak altı ayrı çarpma simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlardan elde edilen veriler, her biri kendi bağlamında detaylı olarak sunulmuştur.

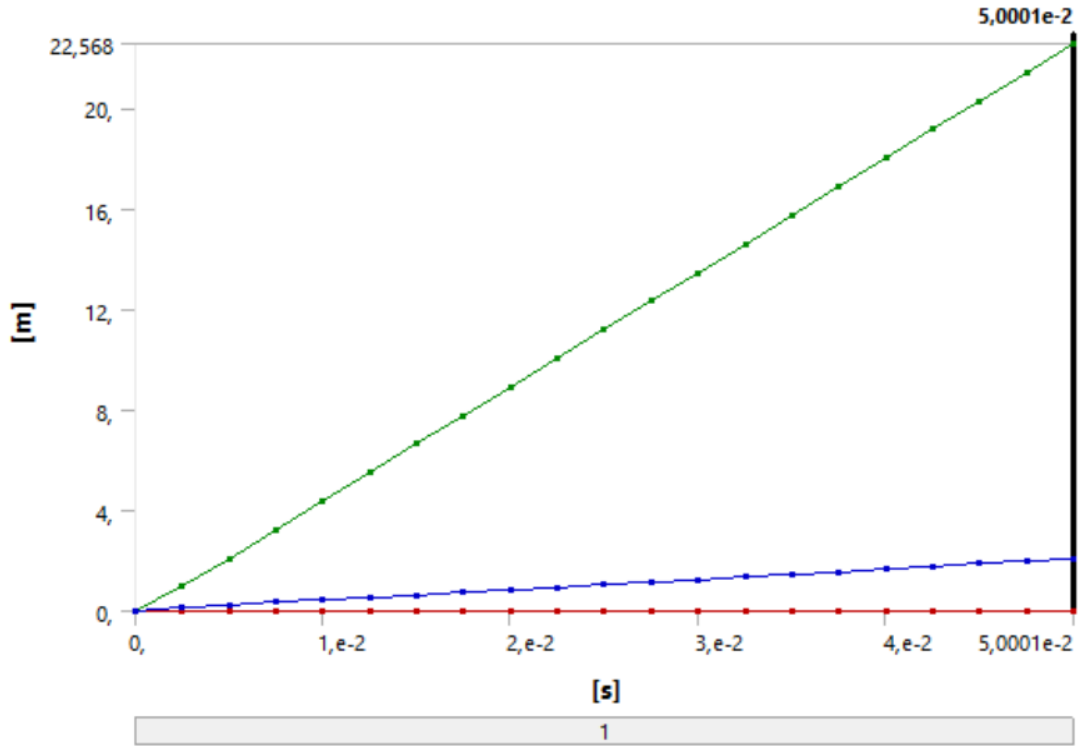
**Çarpma Senaryosu 1:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 300 m/s hızla 35 MPa basınç dayanımına ve kum kaplamasız bir yüzeye sahip hedef yapıya çarpma simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.1’de sunulmuştur.

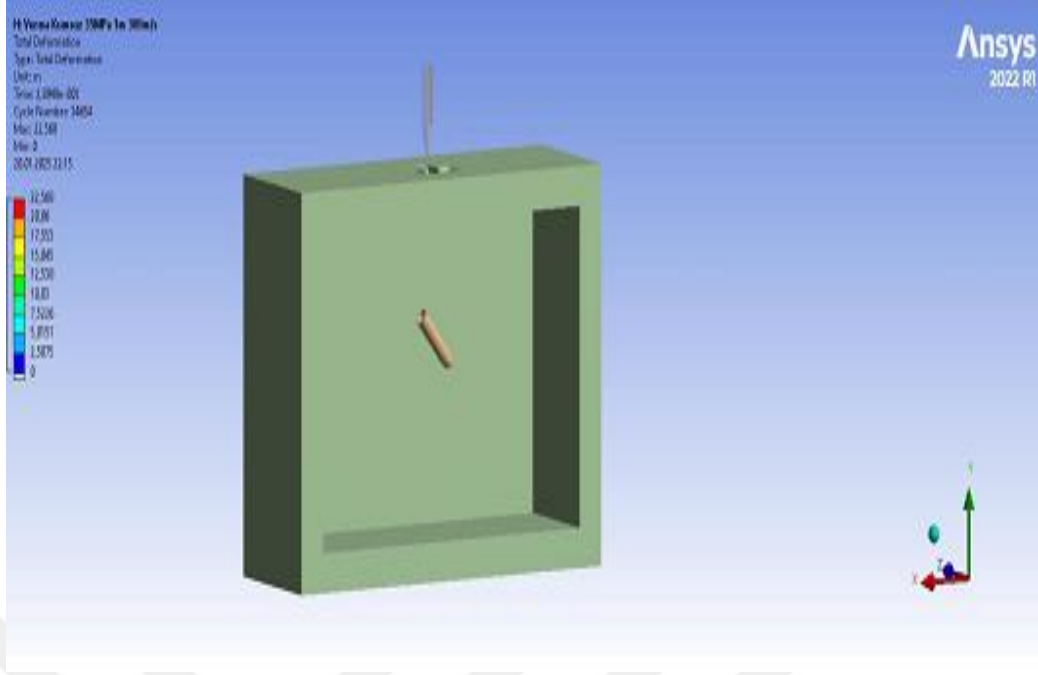


**Şekil 4.1: Mesh Modeli**

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.2’de ve 3D modeli Şekil 4.3’de sunulmuştur.

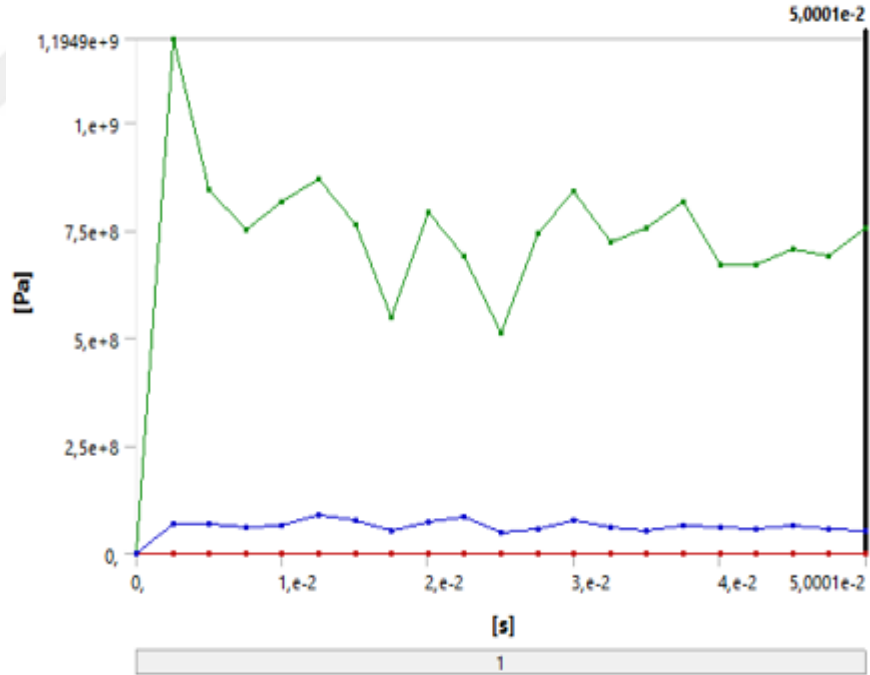


**Şekil 4.2: Toplam Deformasyon Grafiği**

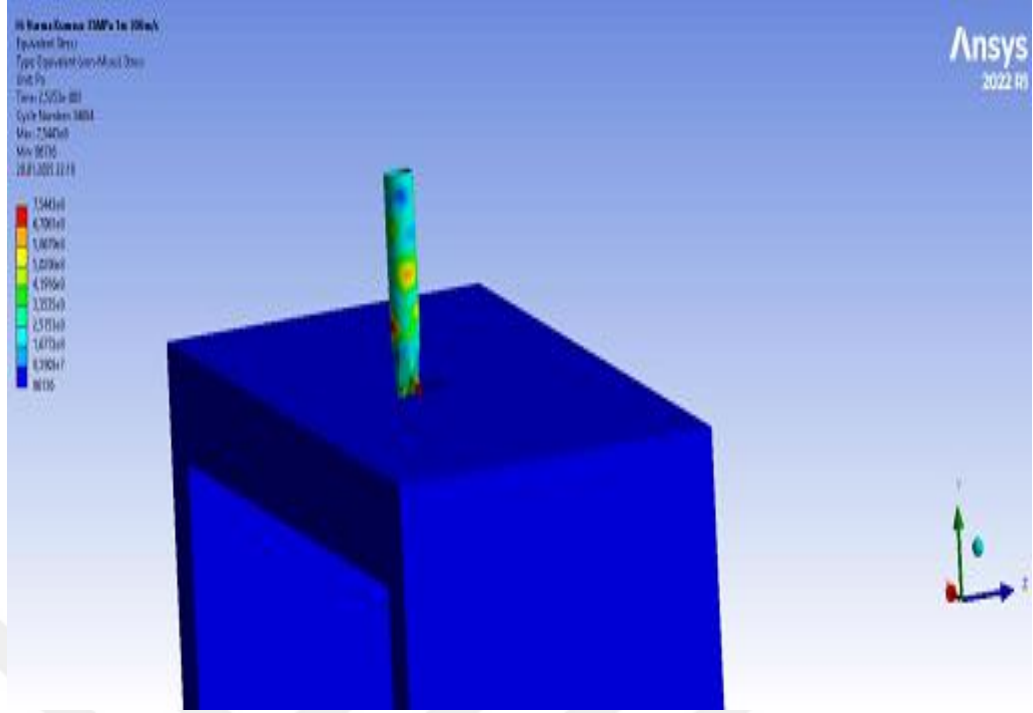


**Şekil 4.3: Toplam Deformasyonun 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.4'te ve 3D modeli de Şekil 4.5'te sunulmuştur.

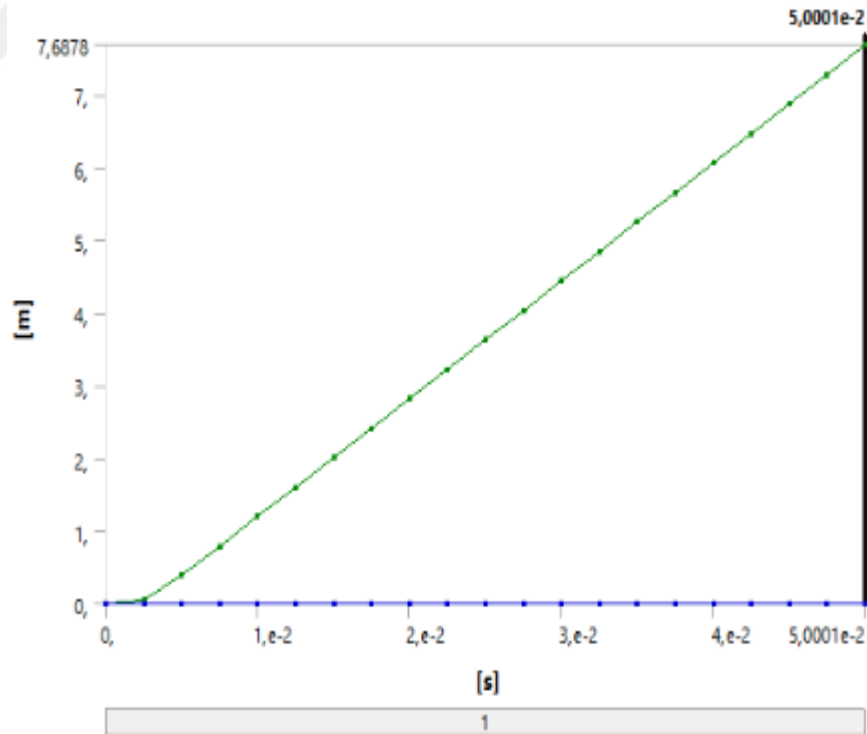


**Şekil 4.4: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik**

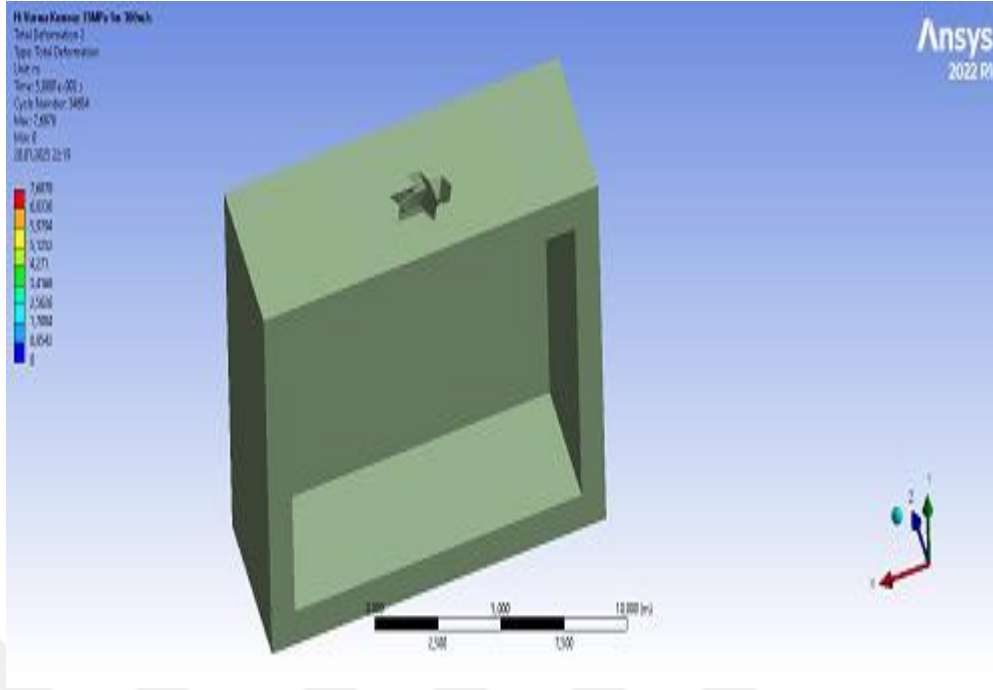


**Şekil 4.5: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyona ait grafik Şekil 4.6'da ve 3D modeli ise Şekil 4.7'de sunulmuştur.

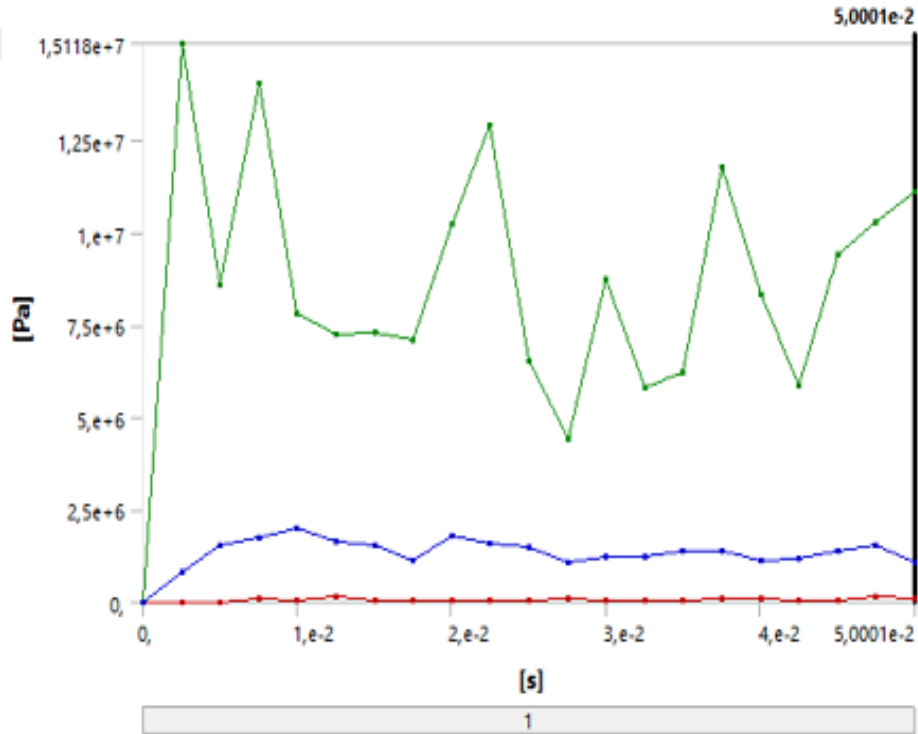


**Şekil 4.6: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait Grafik**

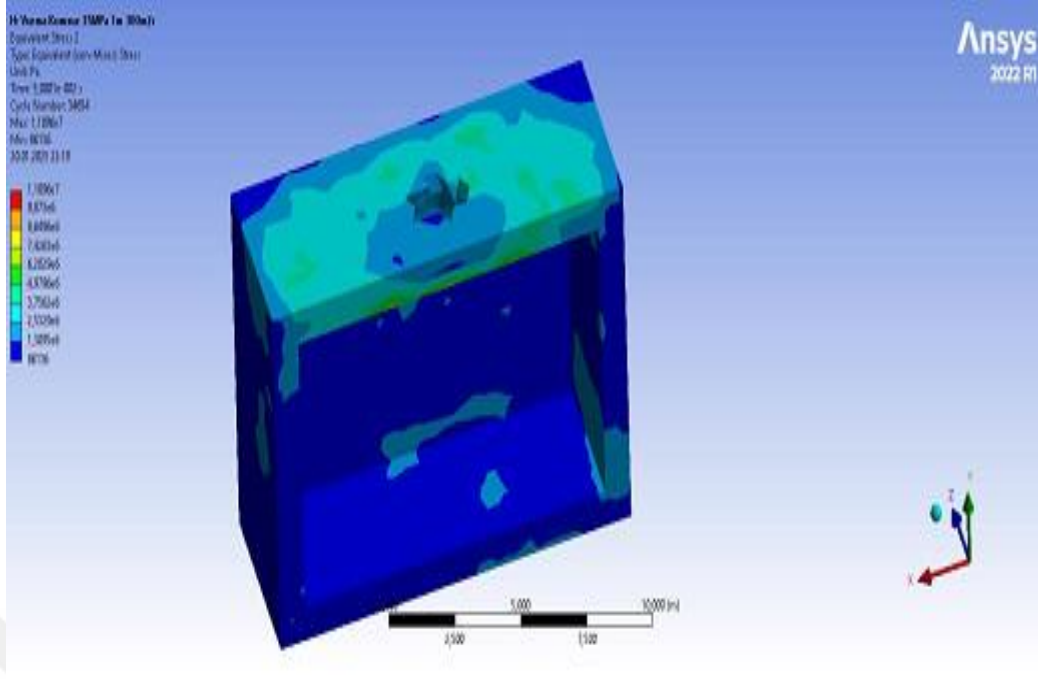


**Şekil 4.7: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.8’de ve 3D modeli ise Şekil 4.9’da sunulmuştur.



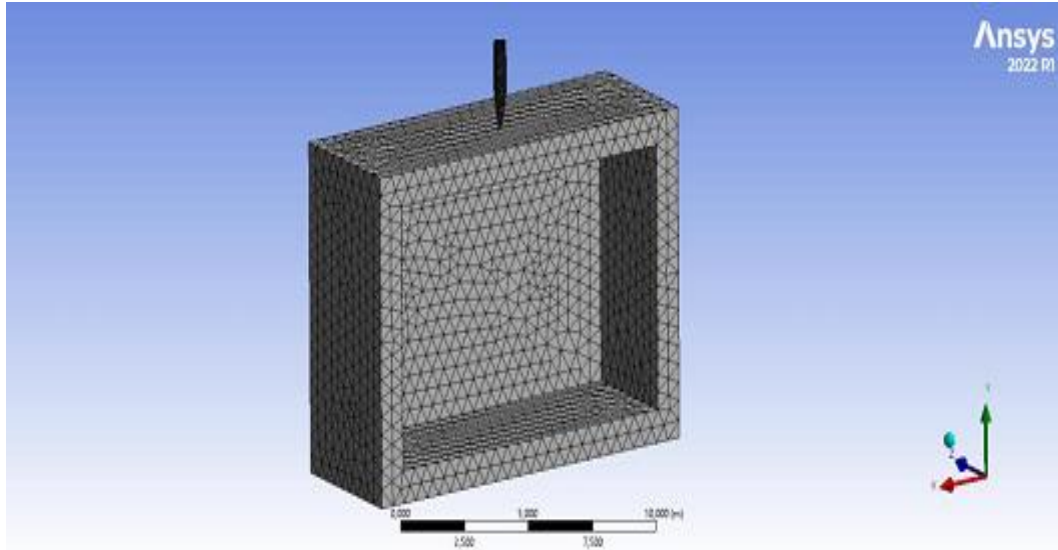
**Şekil 4.8: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**



**Şekil 4.9: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

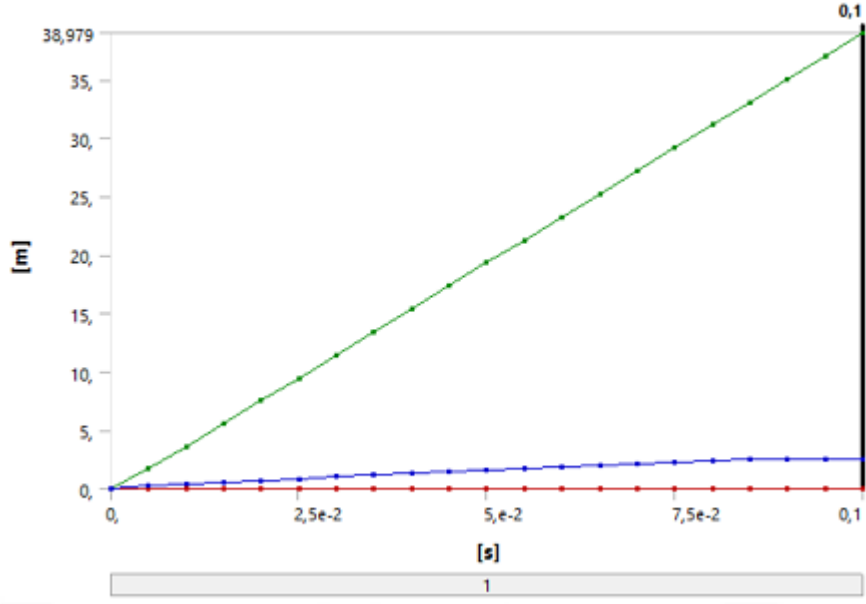
**Çarpma Senaryosu 2:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 300 m/s hızla 140 MPa basınç dayanımına ve kum kaplamasız bir yüzeye sahip hedef yapıya çarpma simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.10'da sunulmuştur.

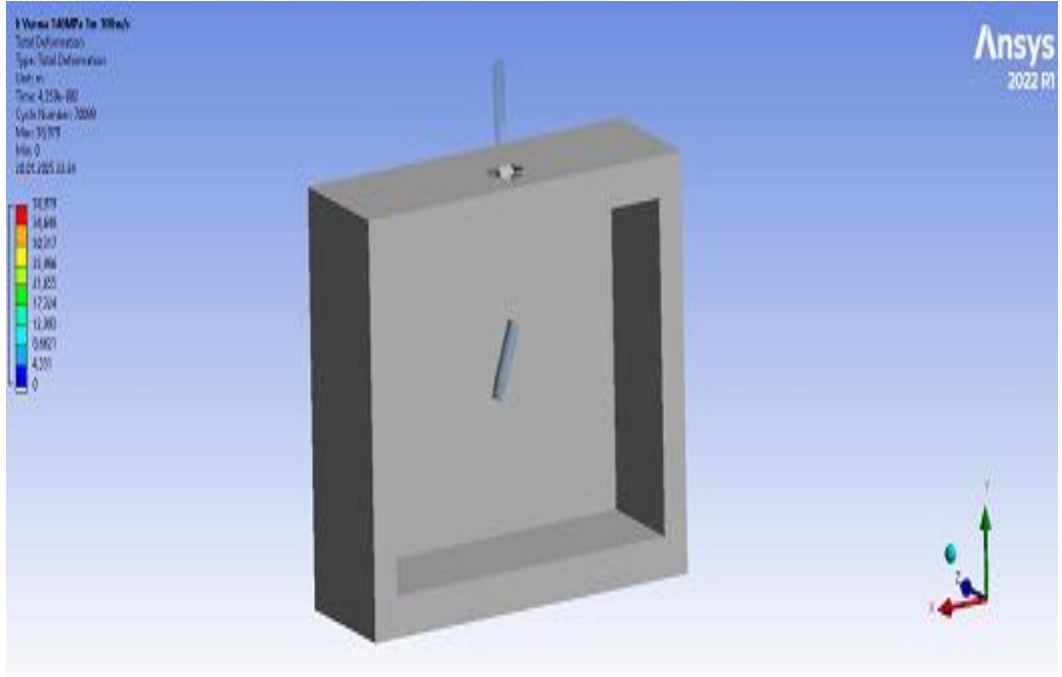


**Şekil 4.10: Mesh Modeli**

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.11'de ve 3D modeli Şekil 4.12'de sunulmuştur.

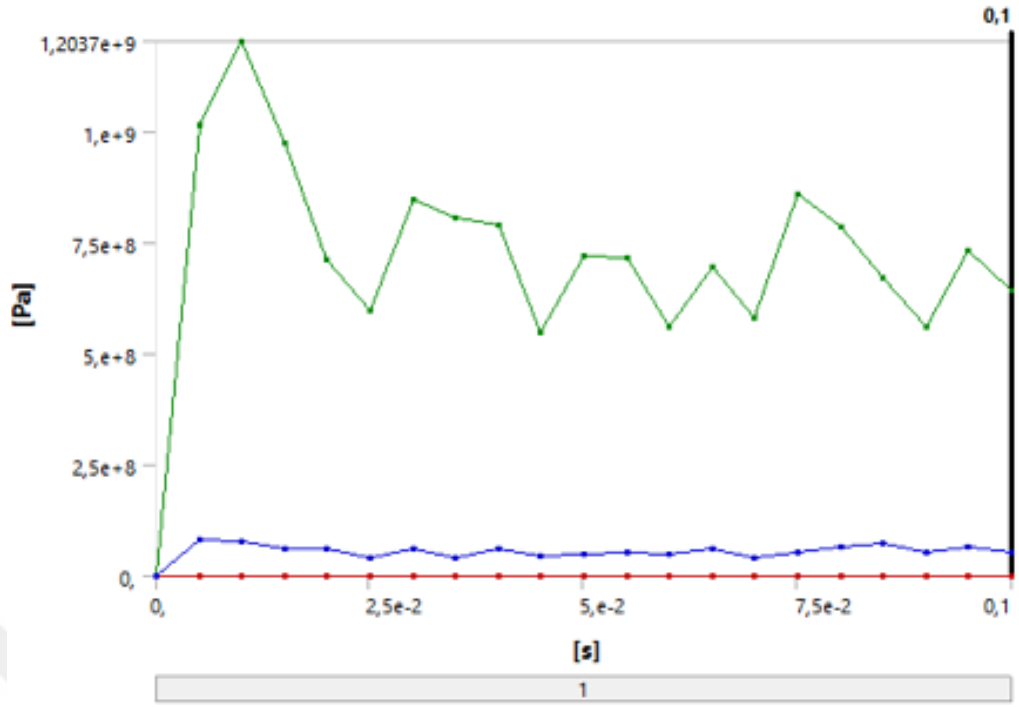


**Şekil 4.11: Toplam Deformasyon Grafiği**

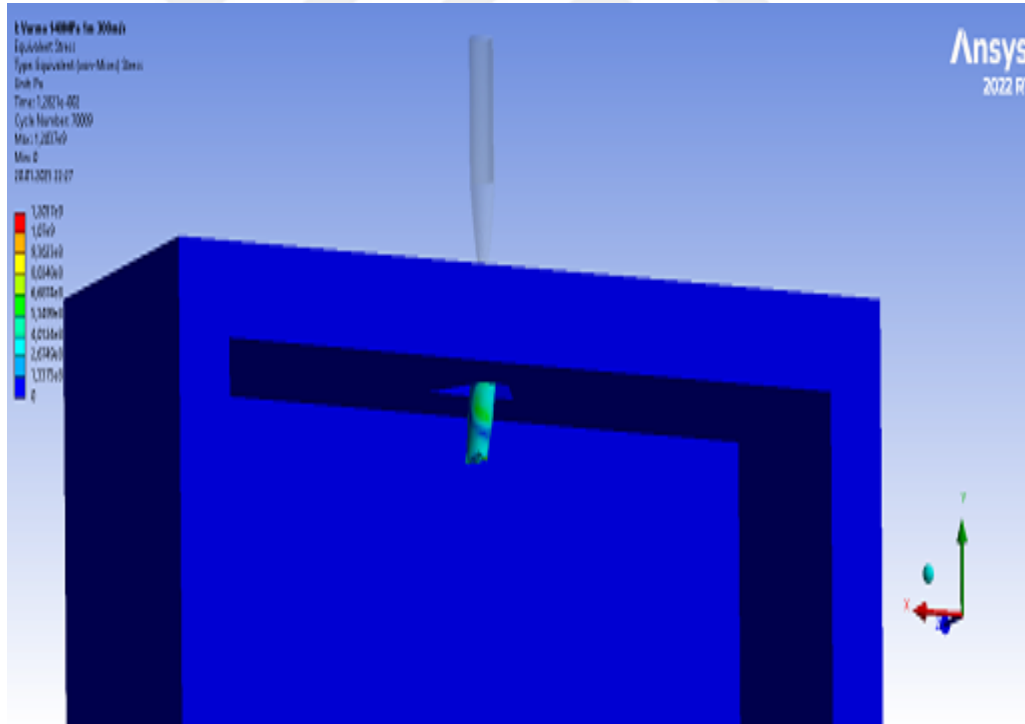


**Şekil 4.12: Toplam Deformasyonun 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.13'te ve 3D modeli de Şekil 4.14'te sunulmuştur.

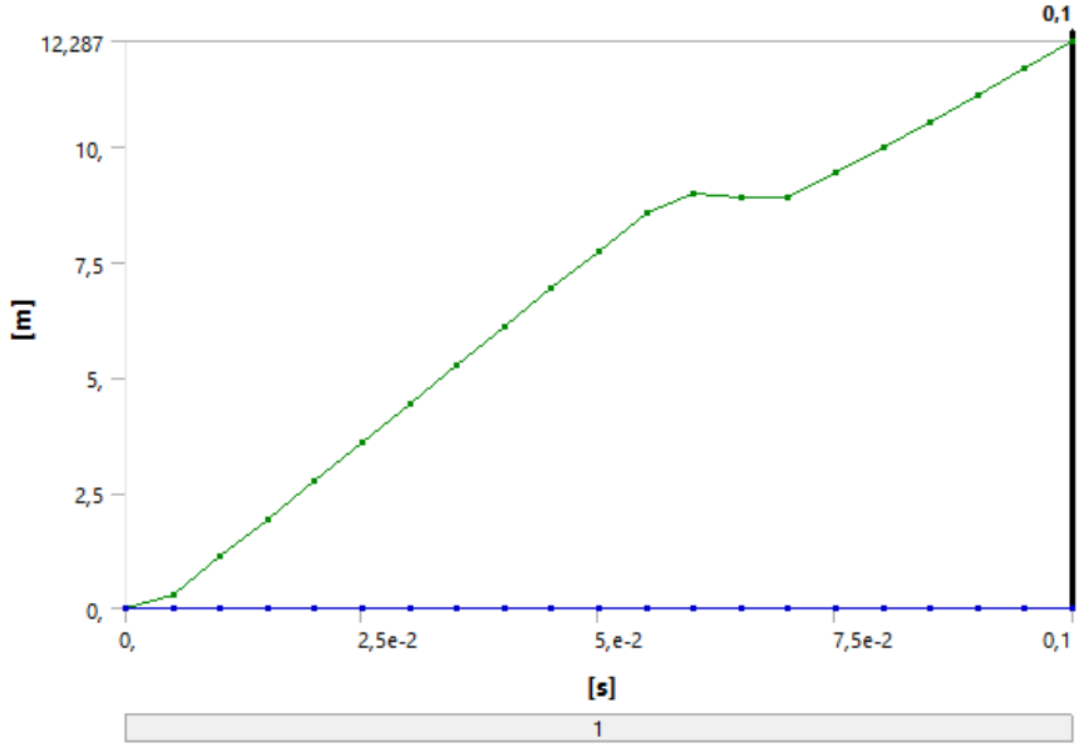


Şekil 4.13: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik

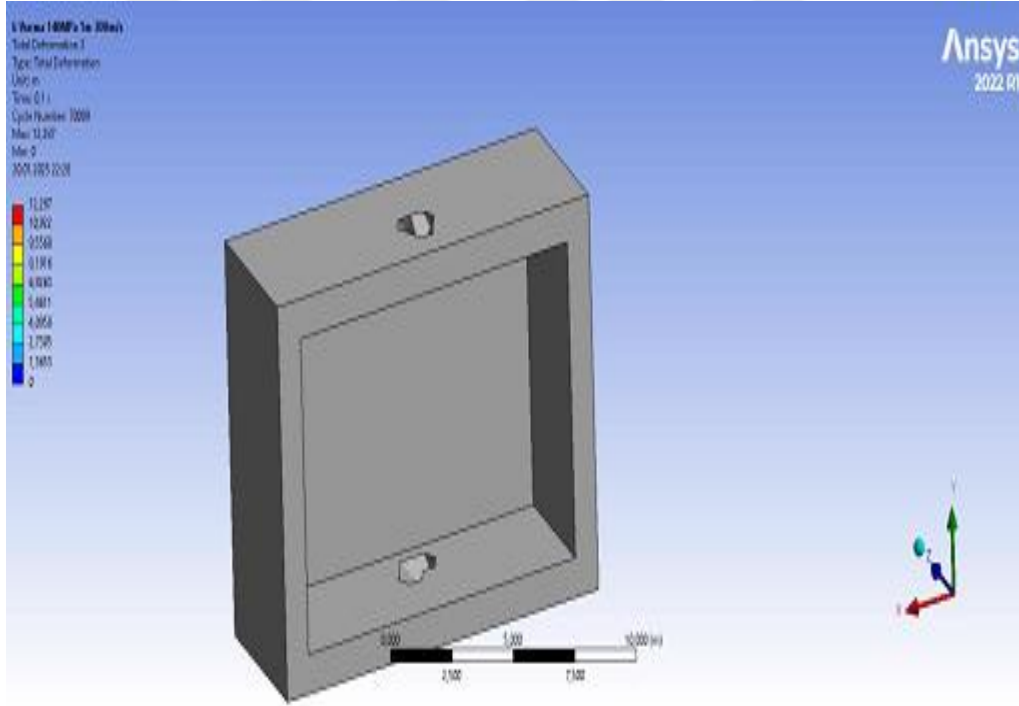


Şekil 4.14: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyon grafiği Şekil 4.15'te ve 3D modeli ise Şekil 4.16'da sunulmuştur.



**Şekil 4.15: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

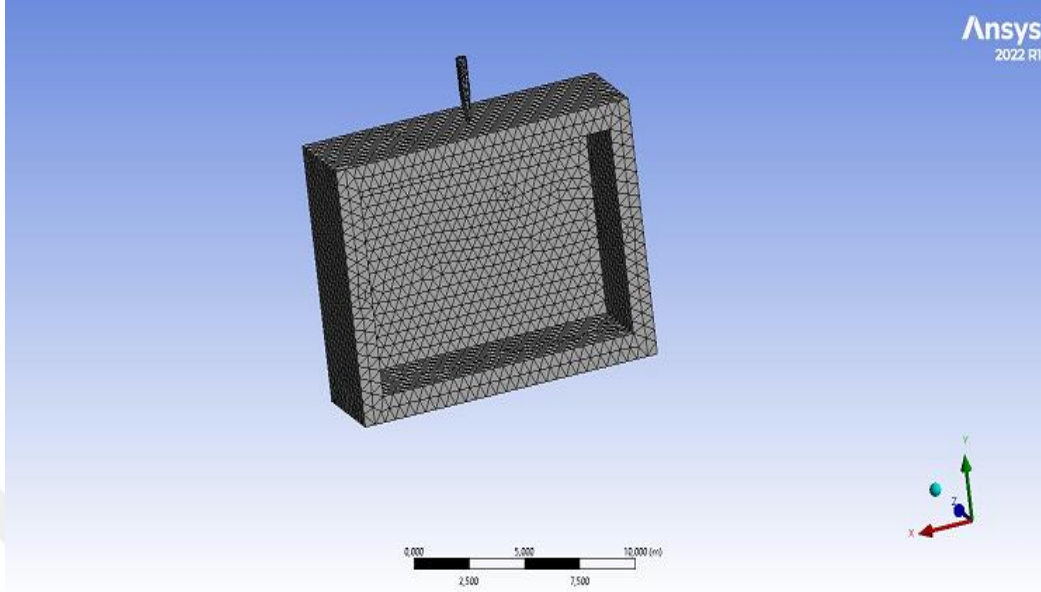


**Şekil 4.16: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.17’de ve 3D modeli ise Şekil 4.18’de sunulmuştur.

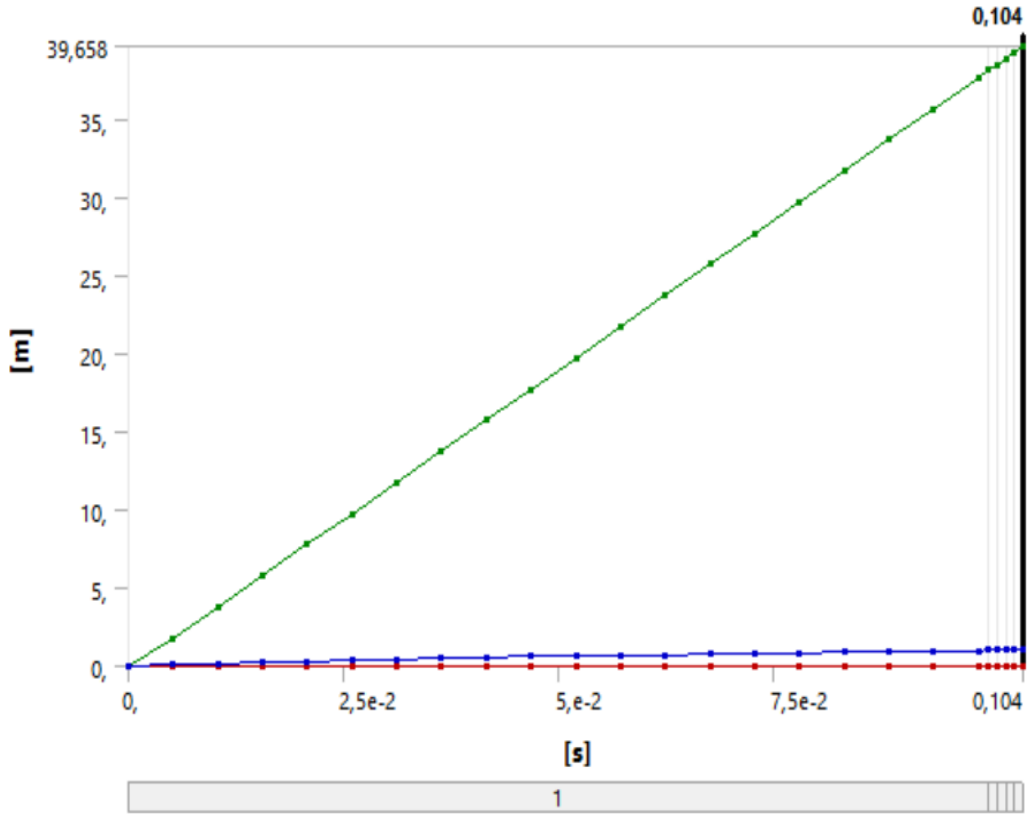


Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.19’da sunulmuştur.

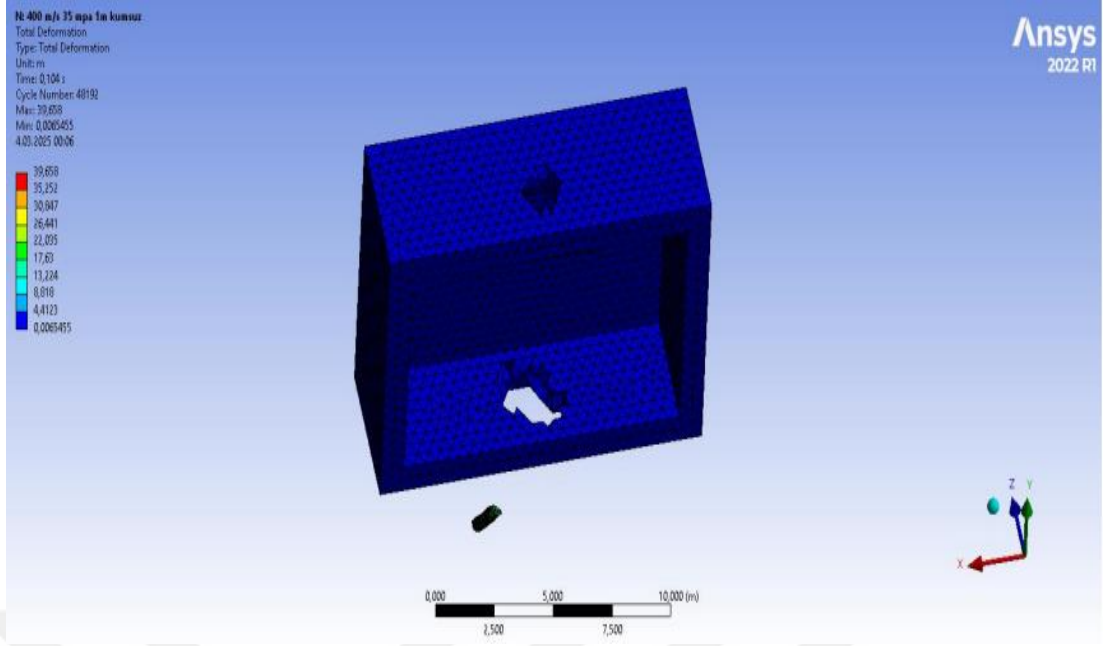


Şekil 4.19: Mesh Modeli

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.20’de ve 3D modeli Şekil 4.21’de sunulmuştur.

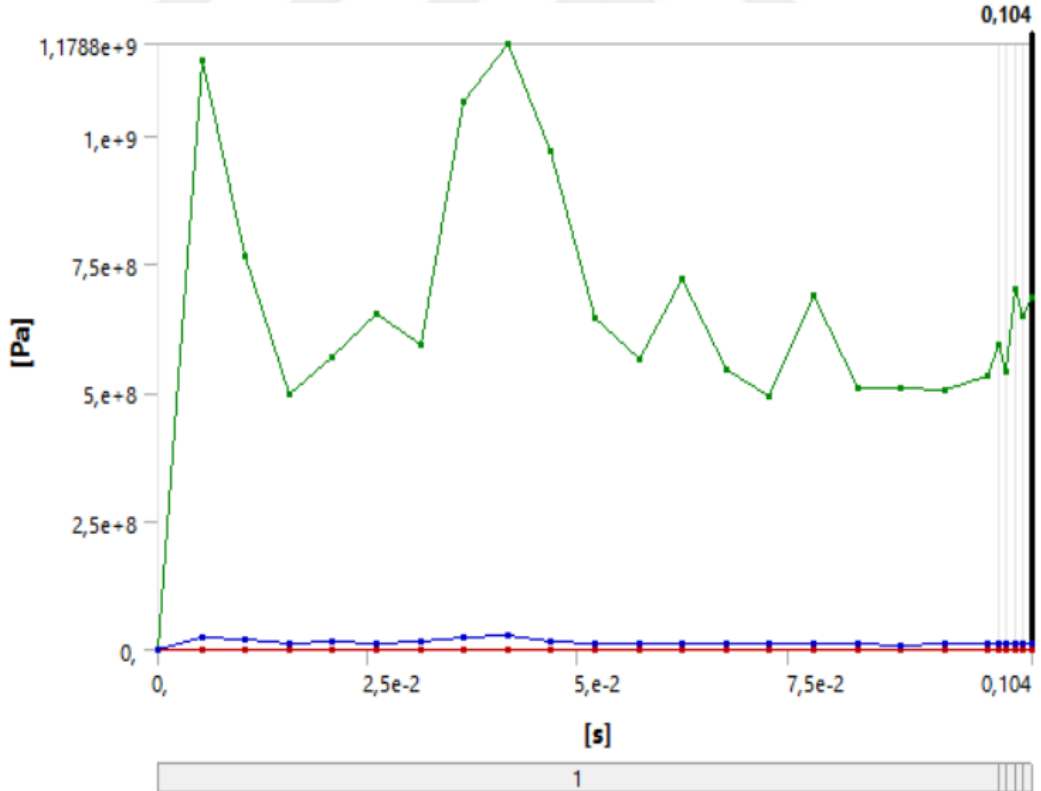


Şekil 4.20: Toplam Deformasyon Grafiği

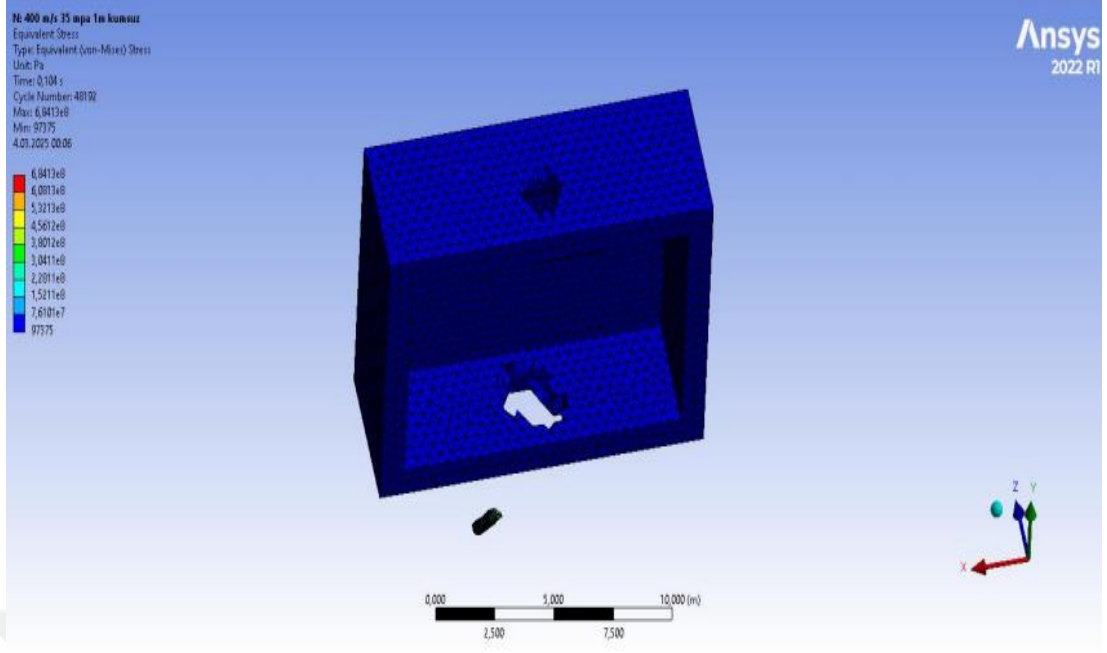


**Şekil 4.21: Toplam Deformasyonun 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.22’de ve 3D modeli de Şekil 4.23’te sunulmuştur.

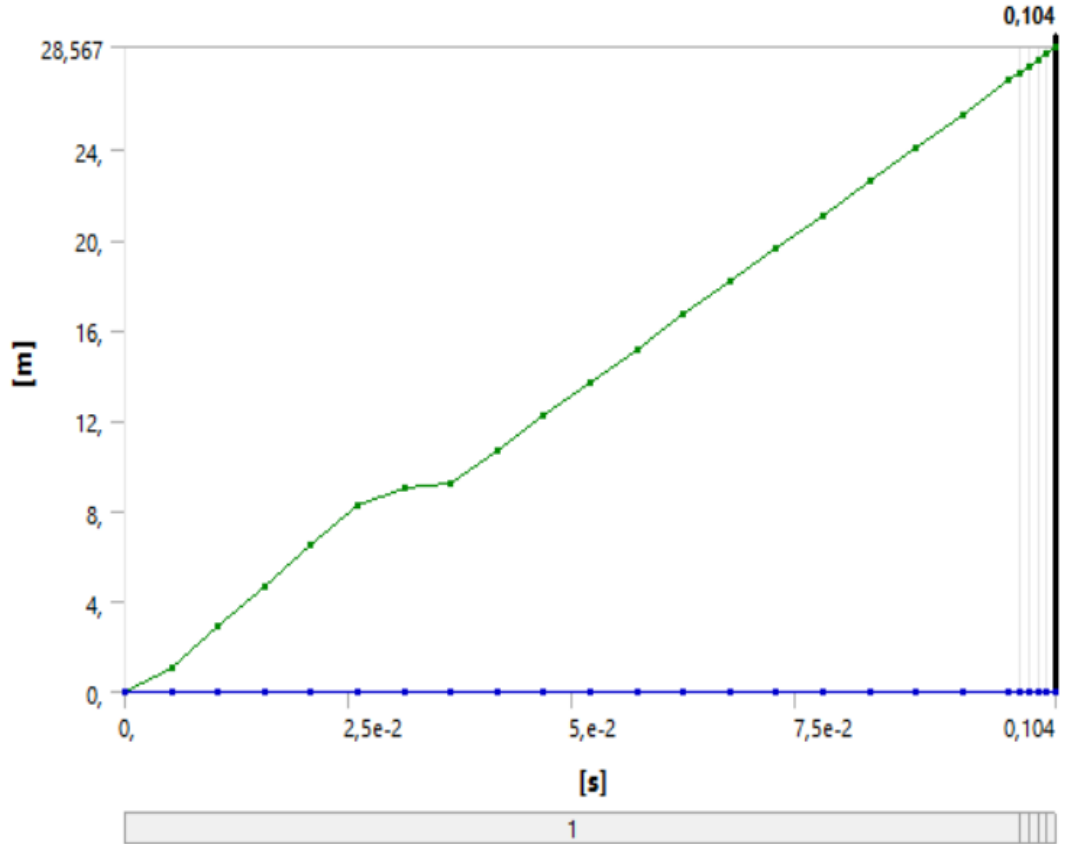


**Şekil 4.22: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik**

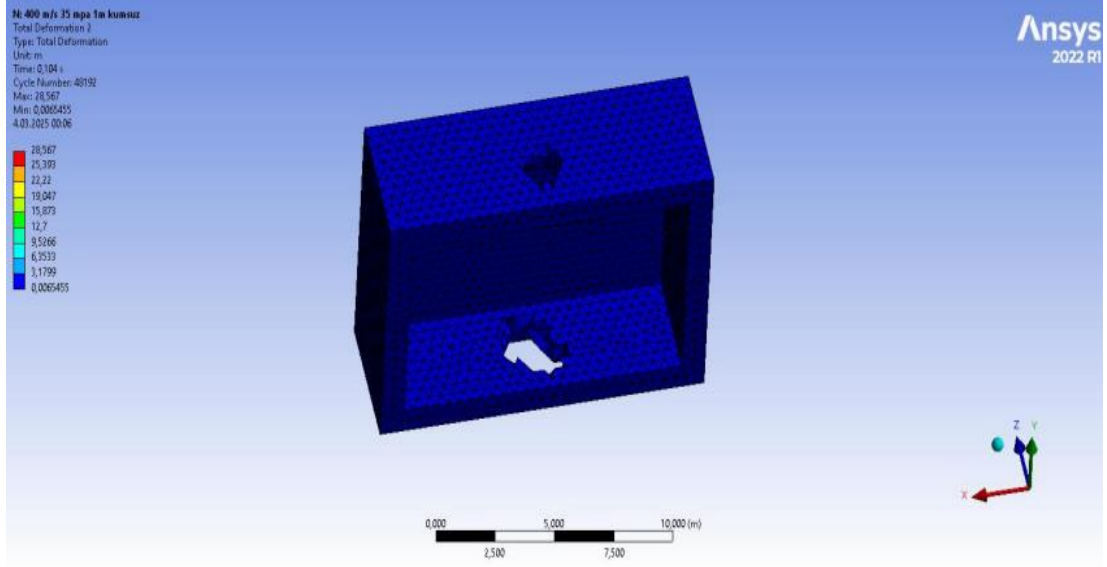


**Şekil 4.23: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyon grafiği Şekil 4.24'te ve 3D modeli ise Şekil 4.25'te sunulmuştur.

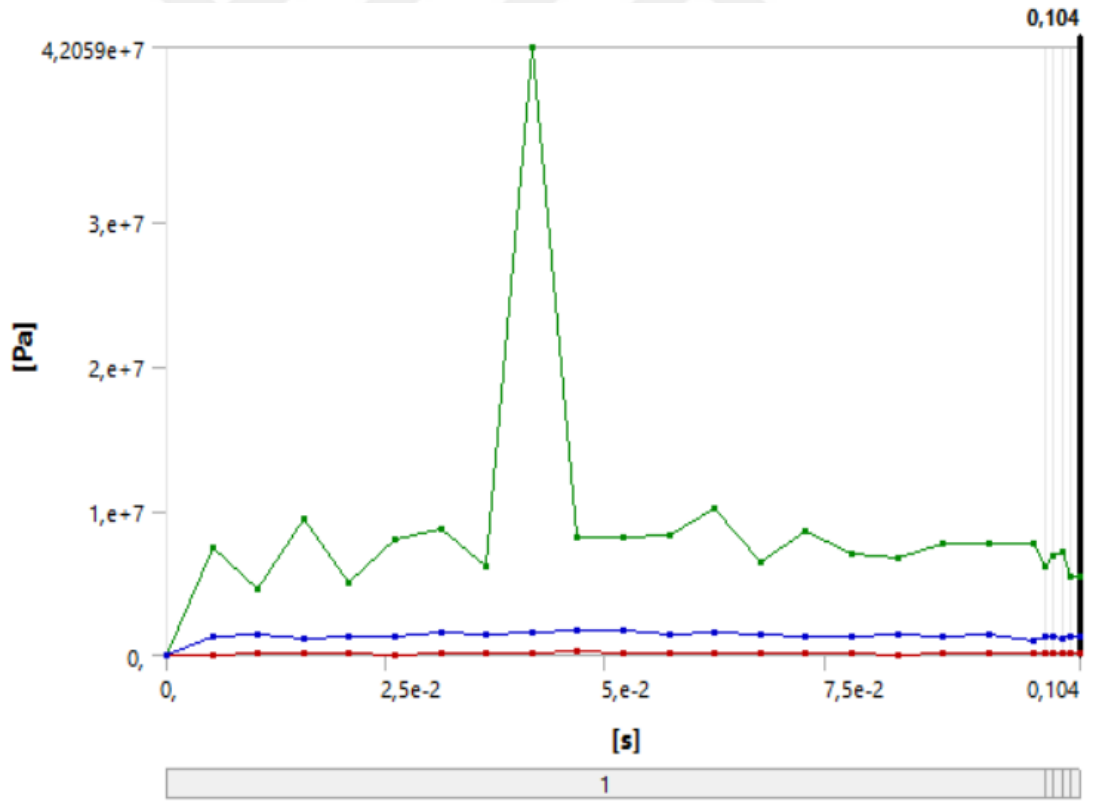


**Şekil 4.24: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait Grafik**

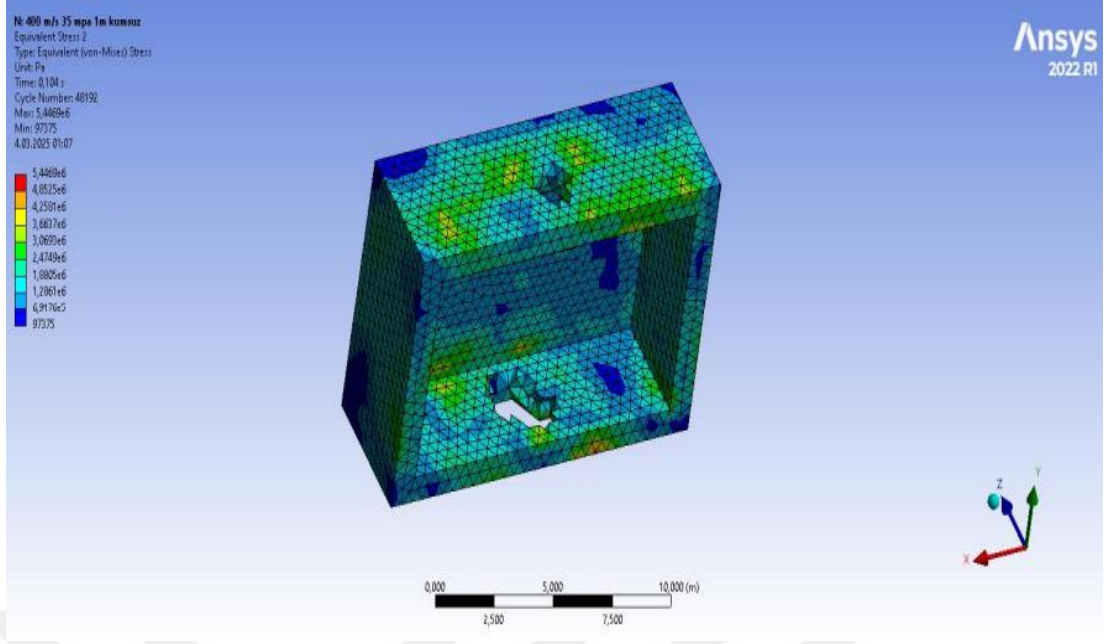


**Şekil 4.25: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.26'da ve 3D modeli ise Şekil 4.27'de sunulmuştur.



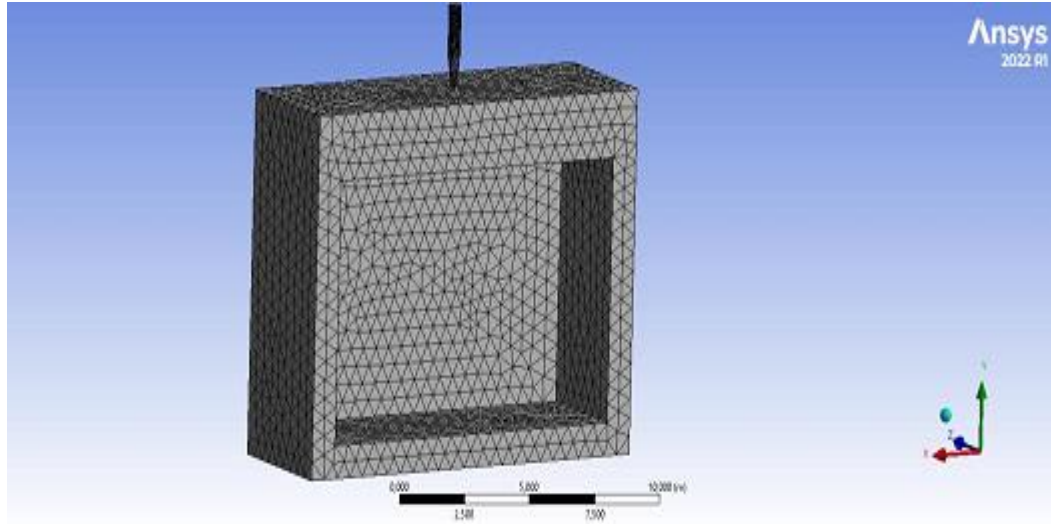
**Şekil 4.26: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**



**Şekil 4.27: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

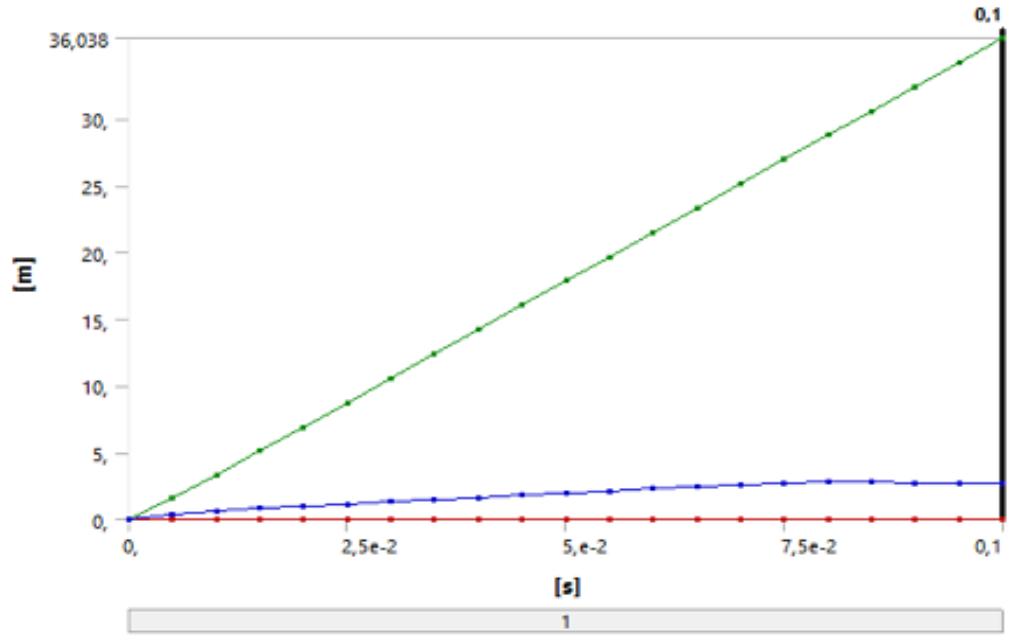
**Carpışma Senaryosu 4:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 400 m/s hızla 35 MPa basınç dayanımına ve kum kaplamasız bir yüzeye sahip 2 m kalınlığındaki hedef yapıya çarpma simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.28’de sunulmuştur.

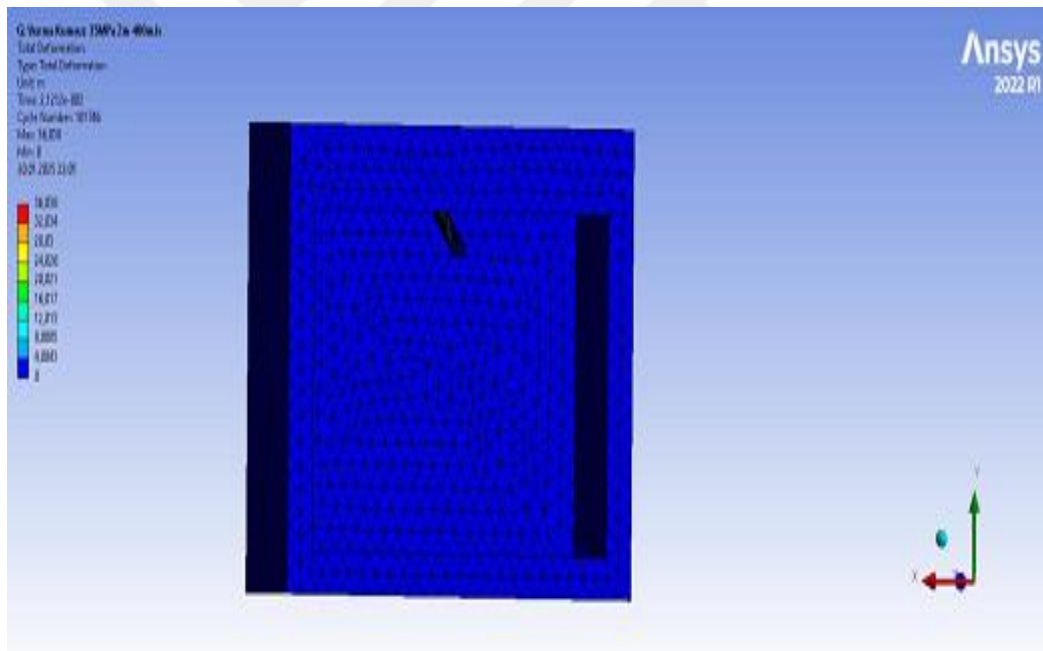


**Şekil 4.28: Mesh Modeli**

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.29’da ve 3D modeli Şekil 4.30’da sunulmuştur.

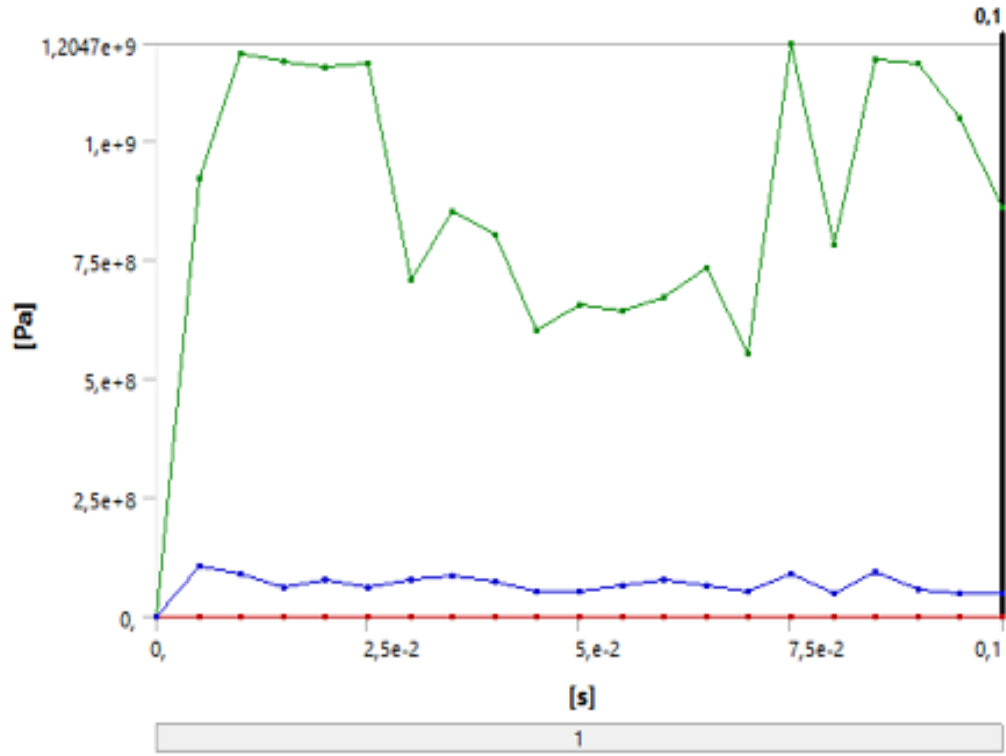


Şekil 4.29: Toplam Deformasyon Grafiği

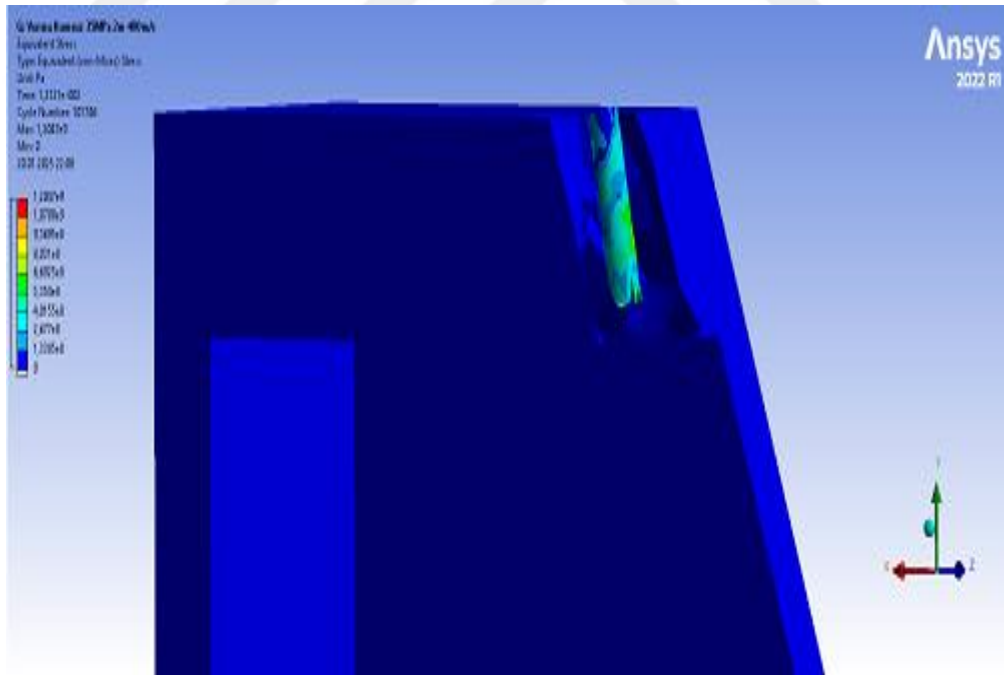


Şekil 4.30: Toplam Deformasyonun 3D Modeli

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.31'de ve 3D modeli de Şekil 4.32'de sunulmuştur.

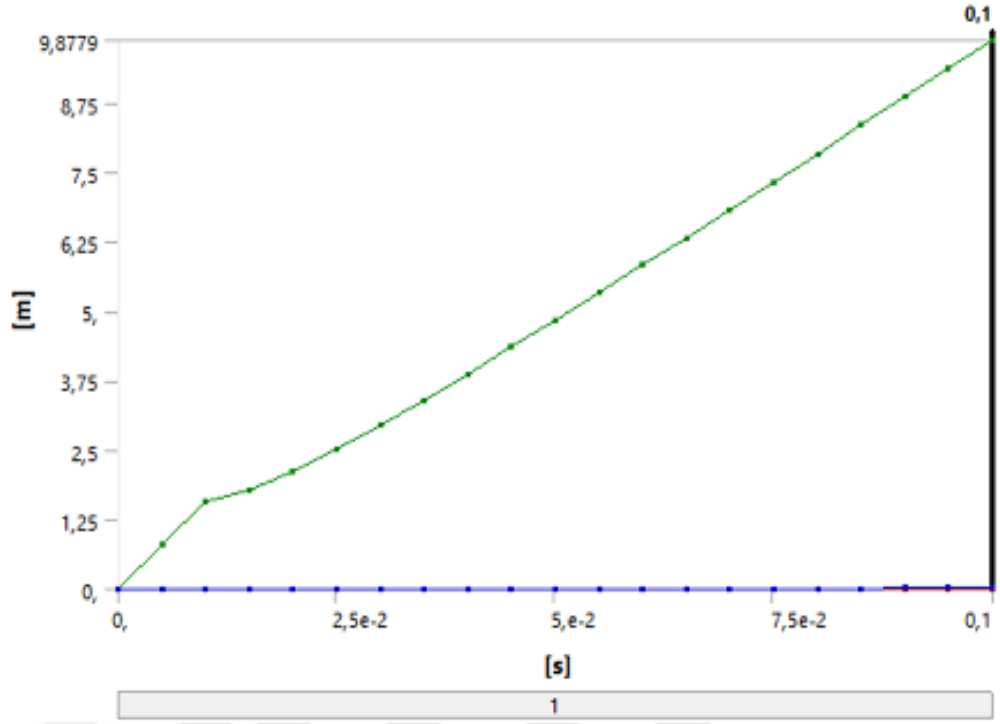


**Şekil 4.31: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik**

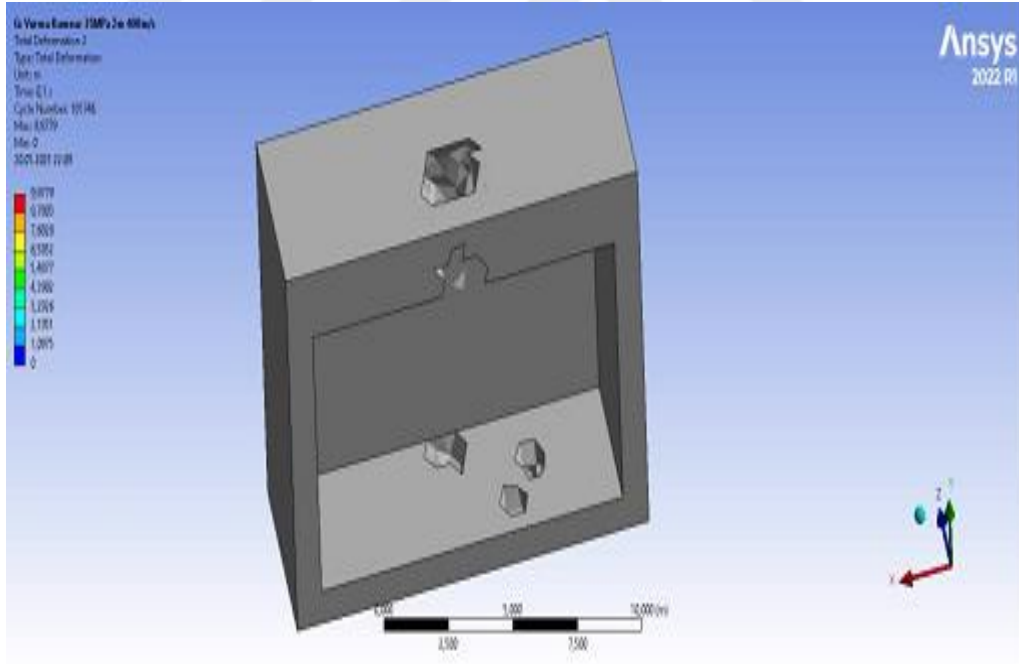


**Şekil 4.32: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyon grafiği Şekil 4.33'de ve 3D modeli ise Şekil 4.34'te sunulmuştur.

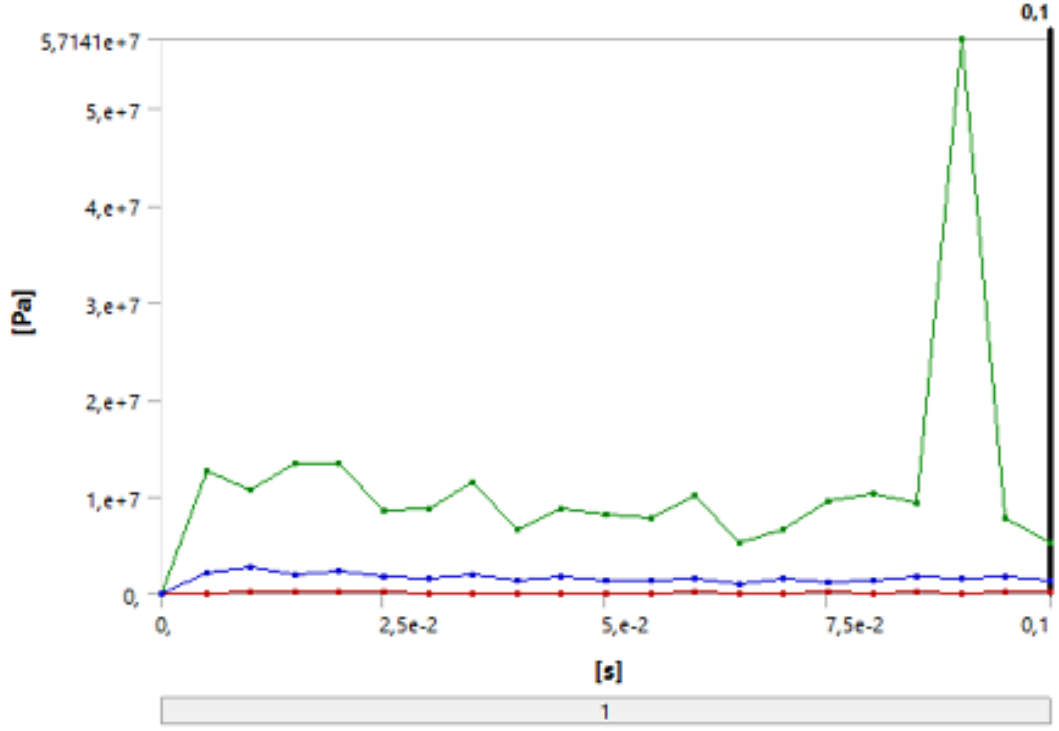


**Şekil 4.33: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

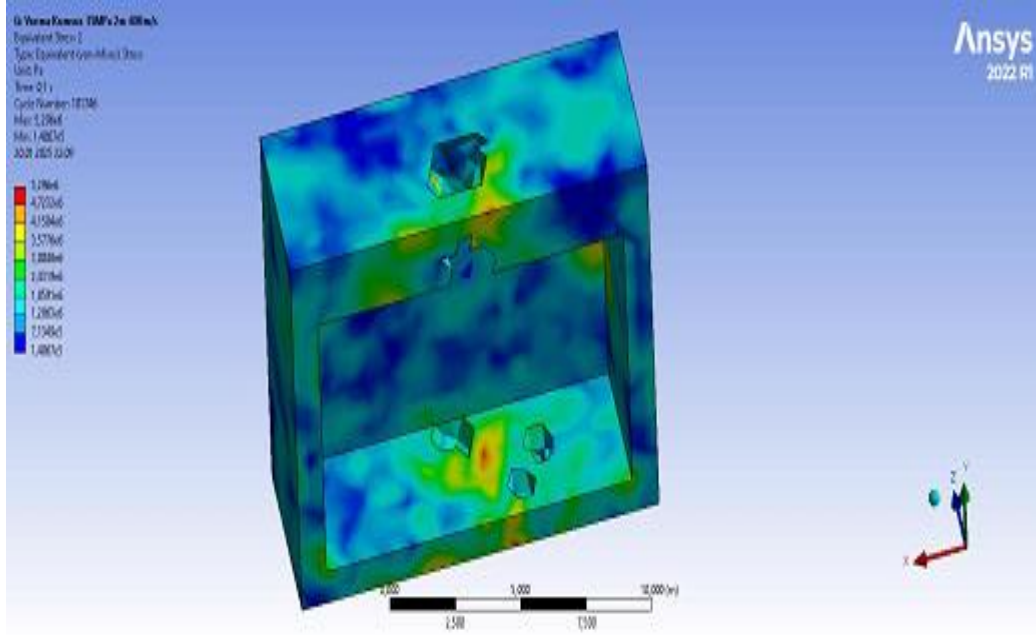


**Şekil 4.34: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.35’de ve 3D modeli ise Şekil 4.36’da sunulmuştur.



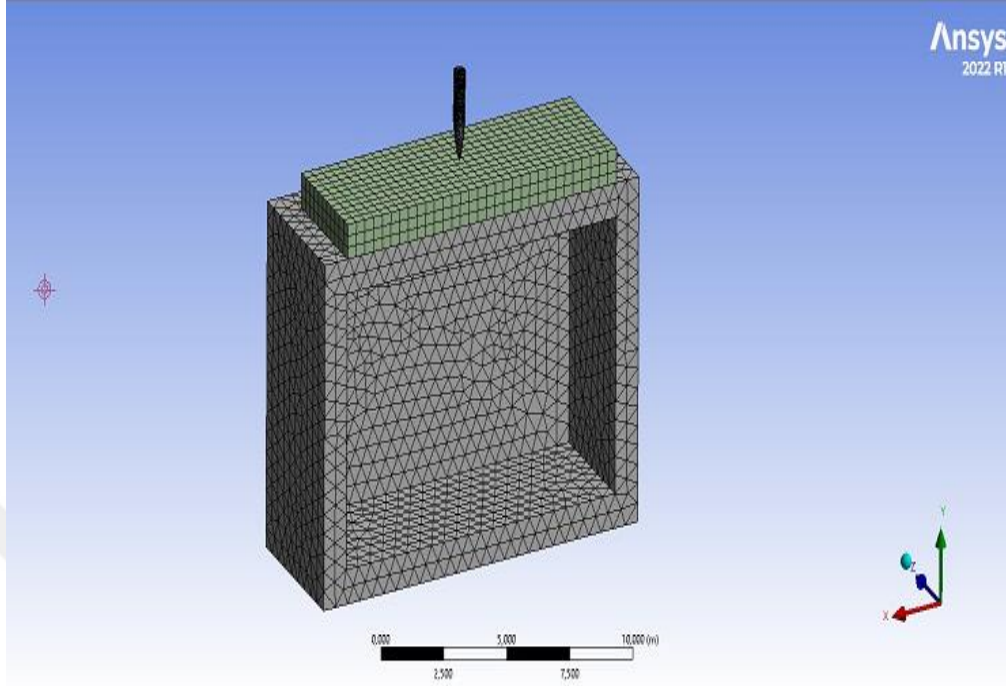
Şekil 4.35: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik



Şekil 4.36: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli

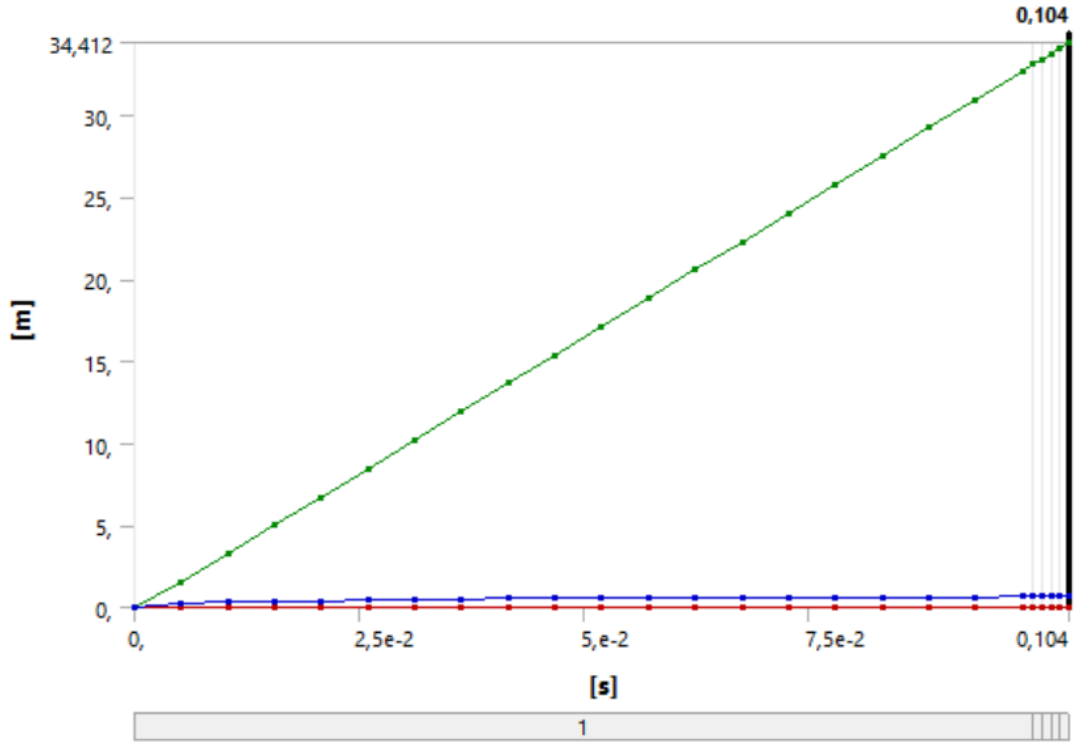
**Çarpma Senaryosu 5:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 400 m/s hızla 35 MPa basınç dayanımına ve kum kaplamalı bir yüzeye sahip 1 m kalınlığındaki hedef yapıya çarpma simülasyonu

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.37’de sunulmuştur.

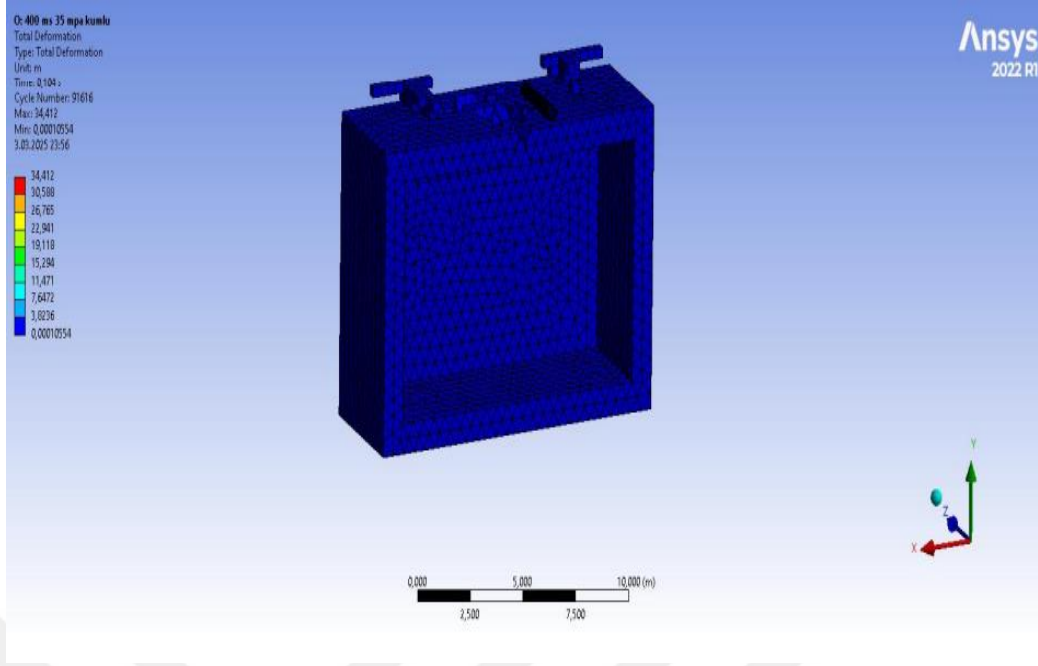


**Şekil 4.37: Mesh Modeli**

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.38’de ve 3D modeli Şekil 4.39’da sunulmuştur.

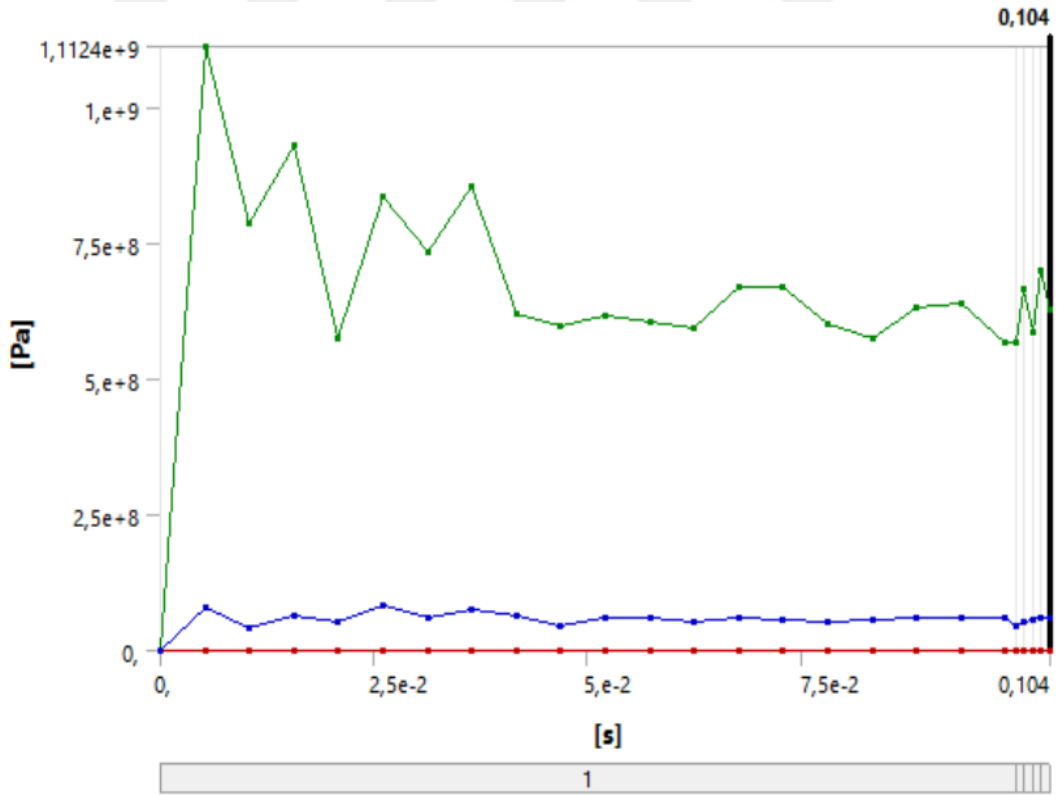


**Şekil 4.38: Toplam Deformasyon Grafiği**

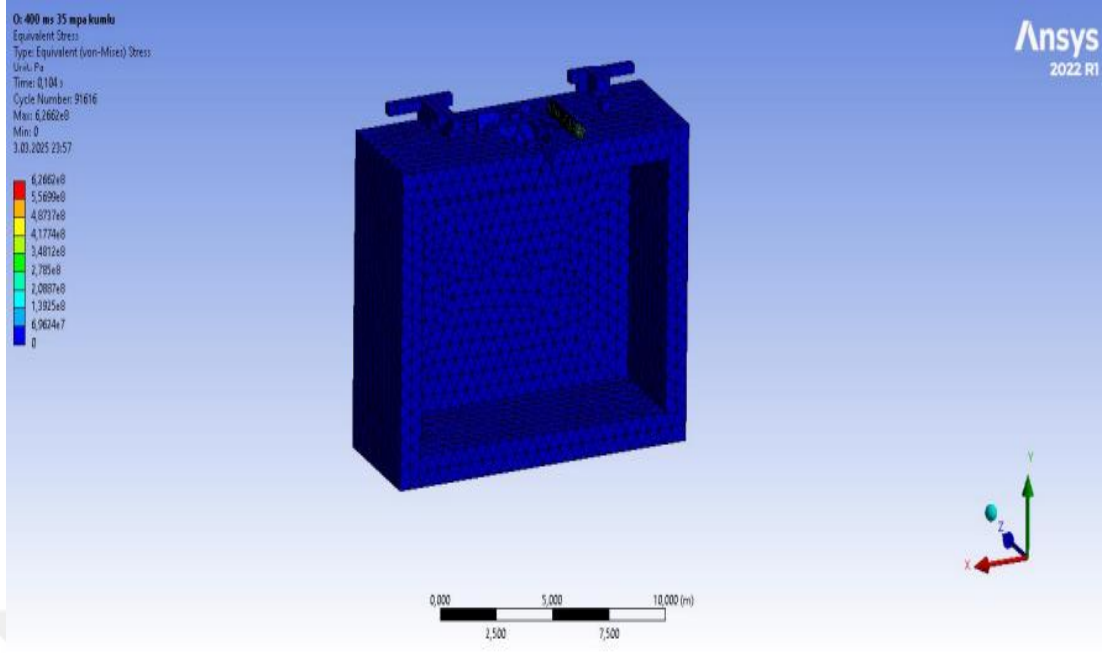


**Şekil 4.39: Toplam Deformasyonun 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.40'da ve 3D modeli de Şekil 4.41'de sunulmuştur.

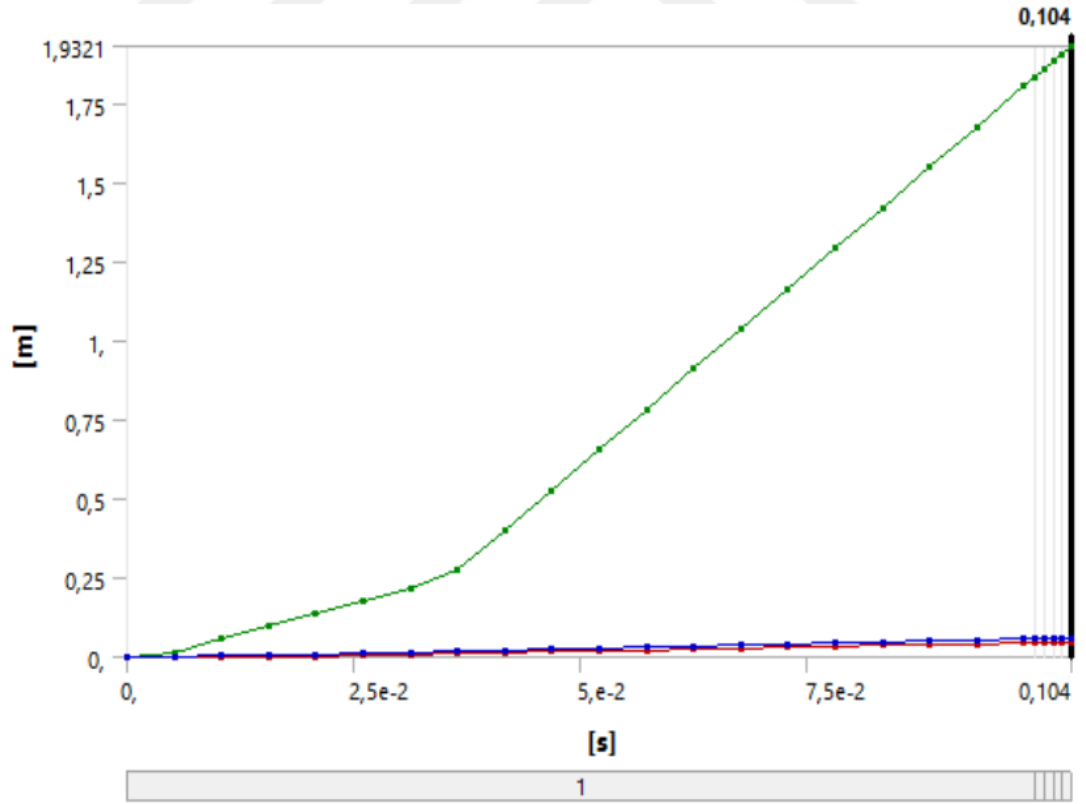


**Şekil 4.40: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik**

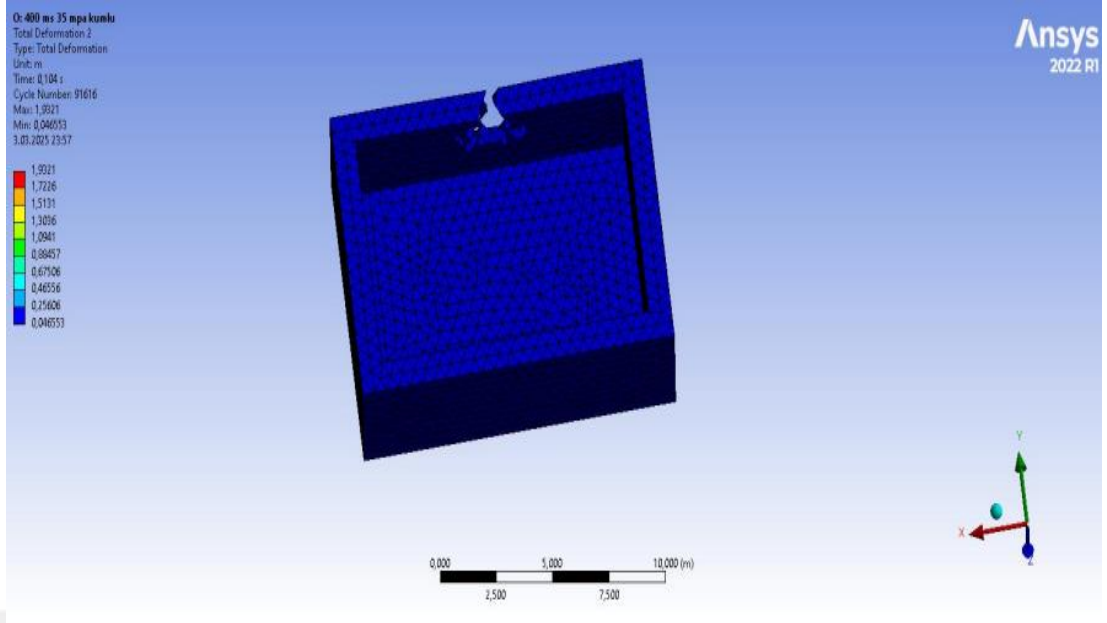


**Şekil 4.41: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyona ait grafik Şekil 4.42’de ve 3D modeli ise Şekil 4.43’te sunulmuştur.

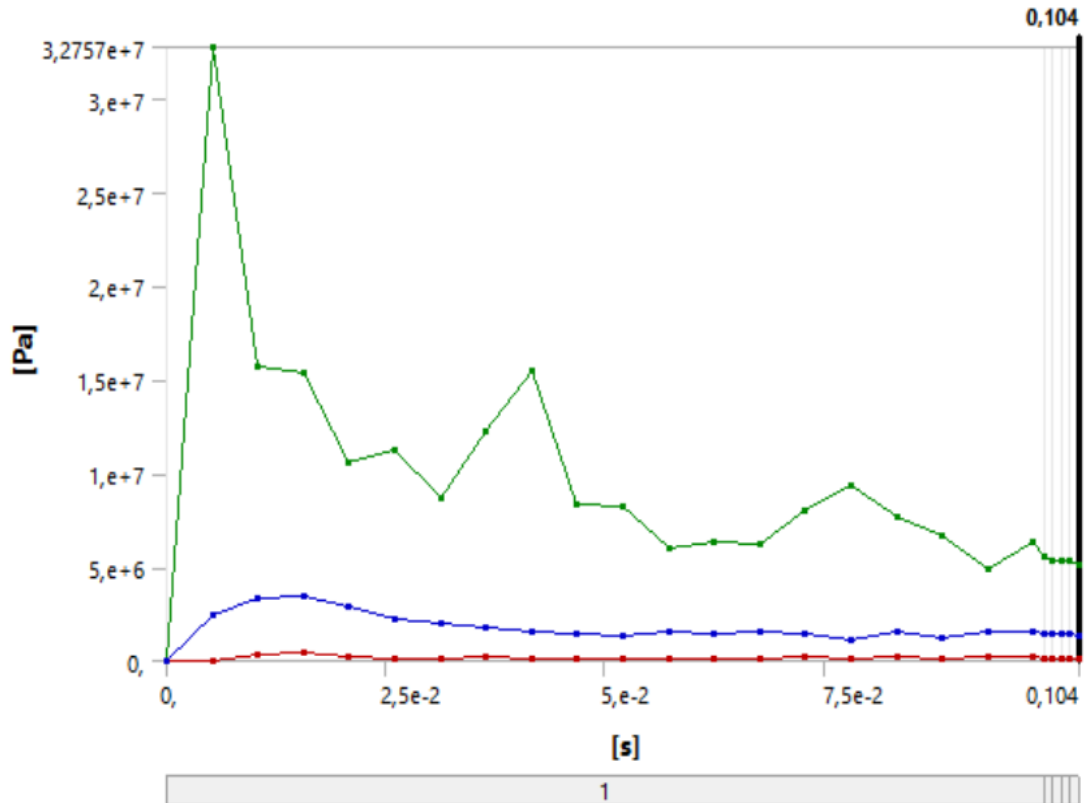


**Şekil 4.42: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

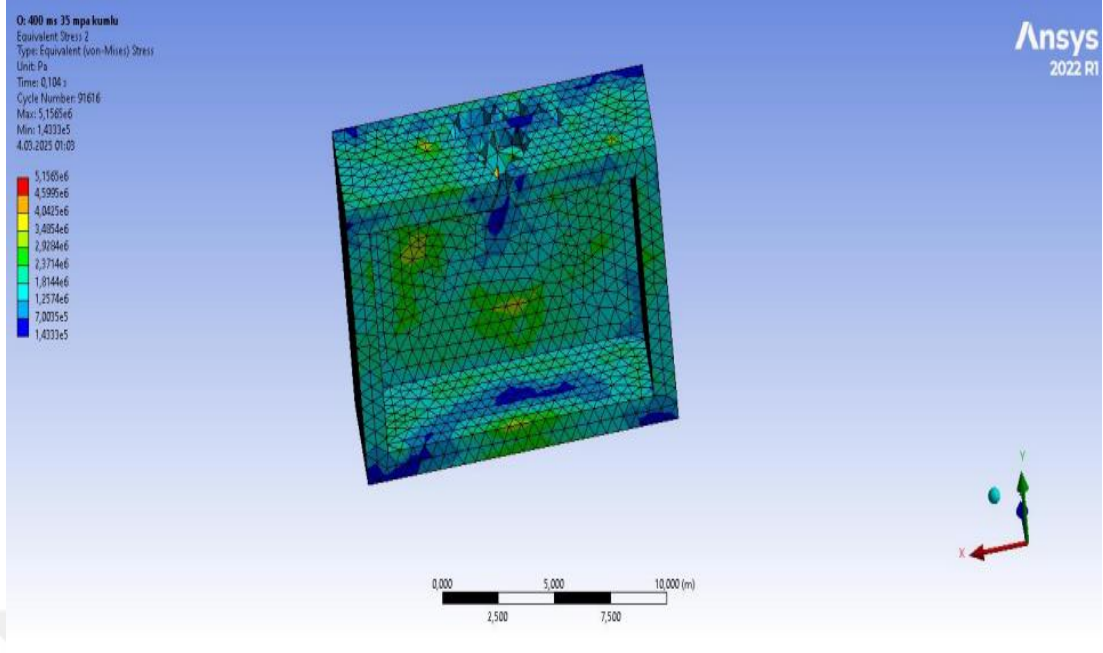


**Şekil 4.43: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.44'te ve 3D modeli ise Şekil 4.45'te sunulmuştur.



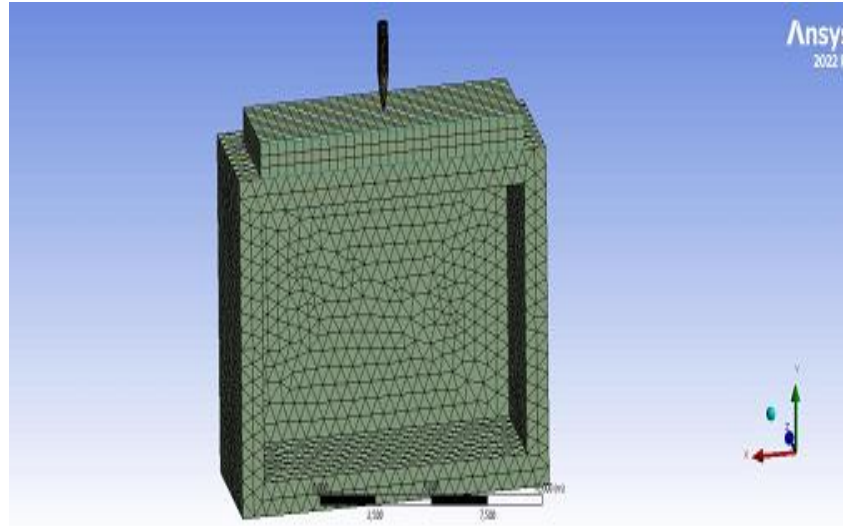
**Şekil 4.44: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**



**Şekil 4.45: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

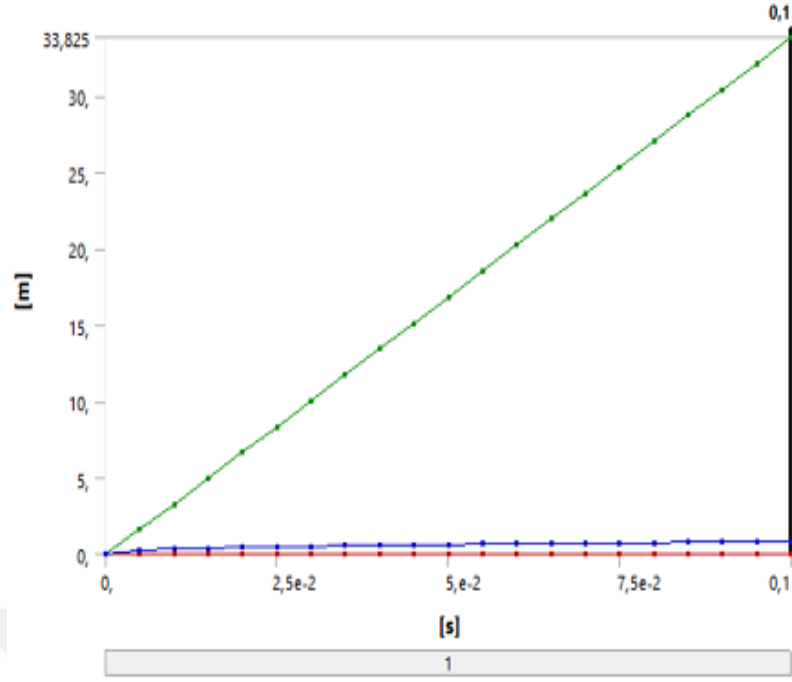
**Carpma Senaryosu 6:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 450 m/s hızla 35 MPa basınç dayanımına ve 1 m kum kaplamalı bir yüzeye sahip hedef yapıya çarpma simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.46'da sunulmuştur.

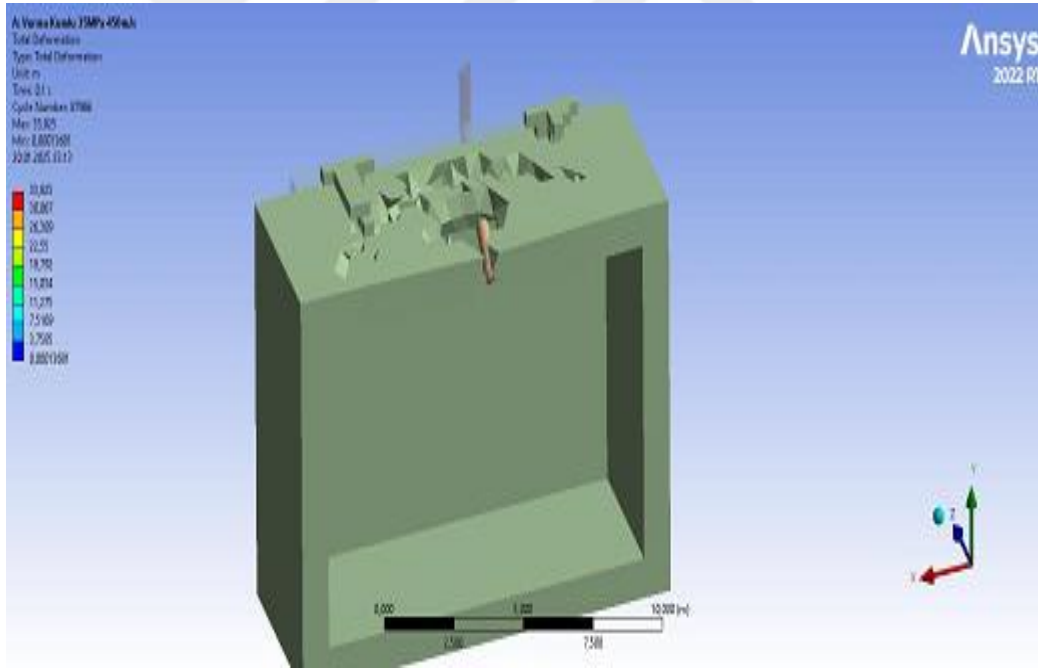


**Şekil 4.46: Mesh Modeli**

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.47'de ve 3D modeli Şekil 4.48'de sunulmuştur.

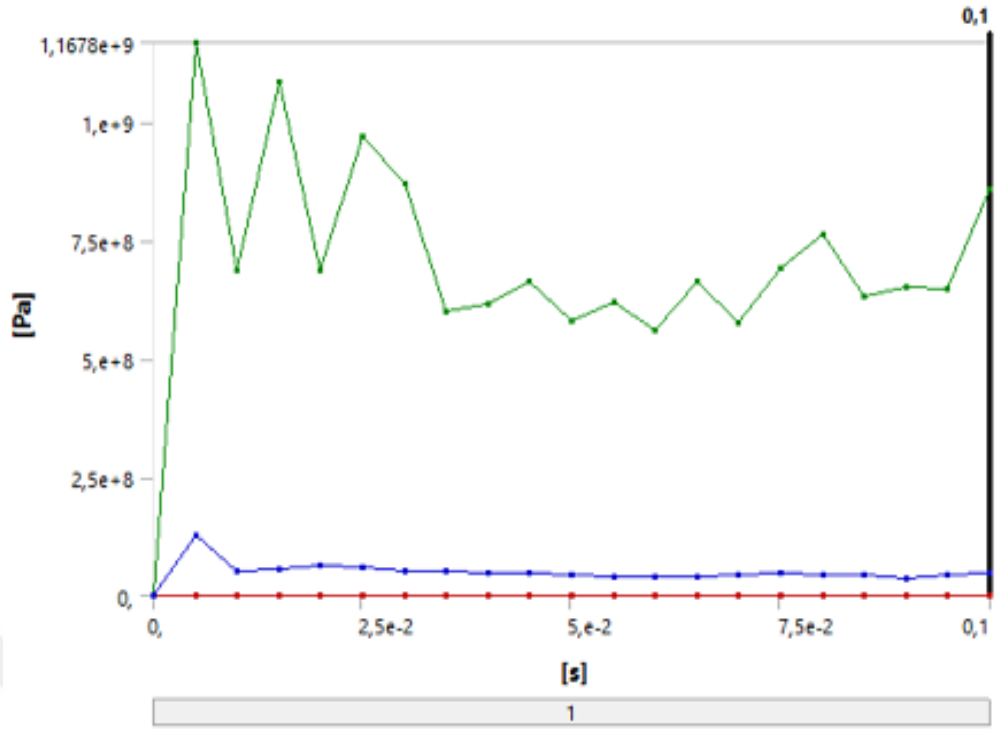


**Şekil 4.47: Toplam Deformasyon Grafiği**

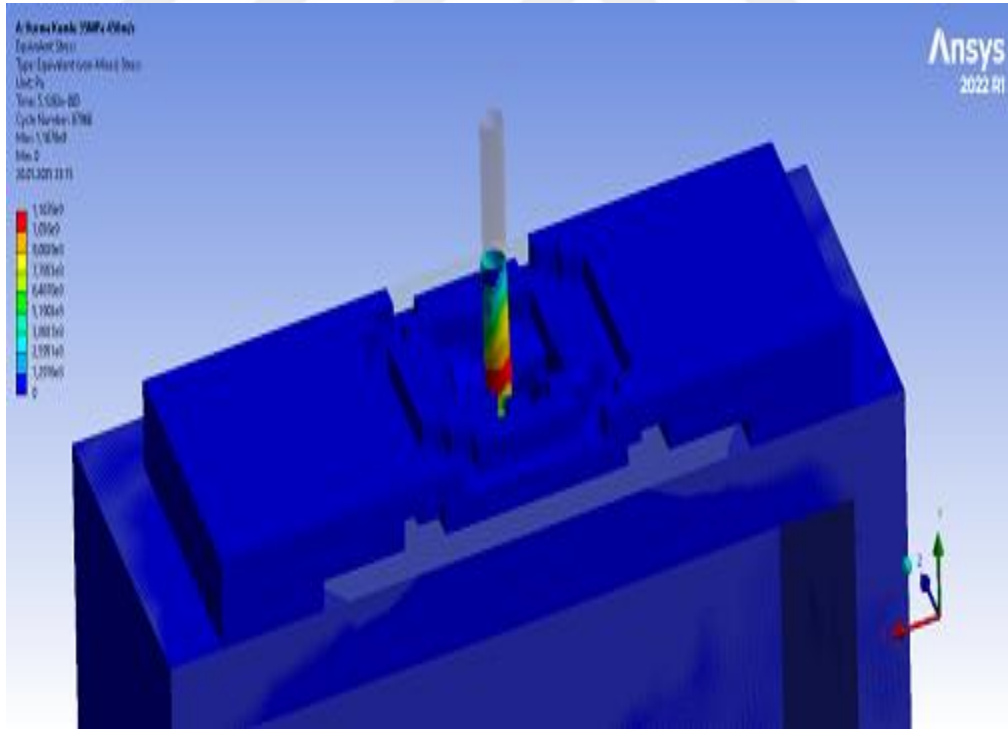


**Şekil 4.48: Toplam Deformasyonun 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.49'da ve 3D modeli de Şekil 4.50'de sunulmuştur.

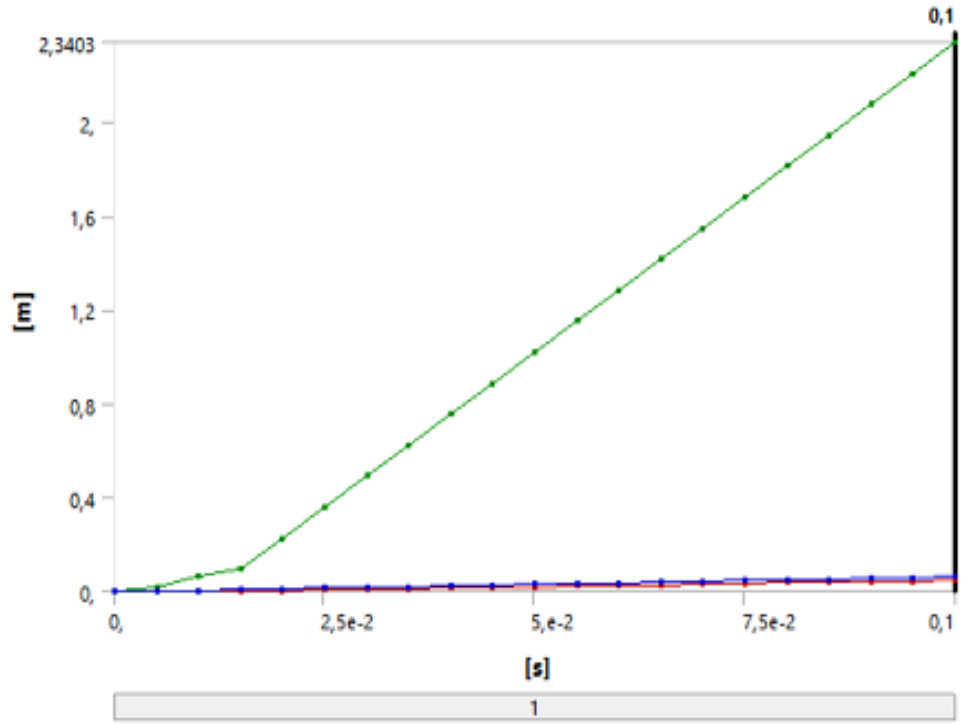


Şekil 4.49: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik

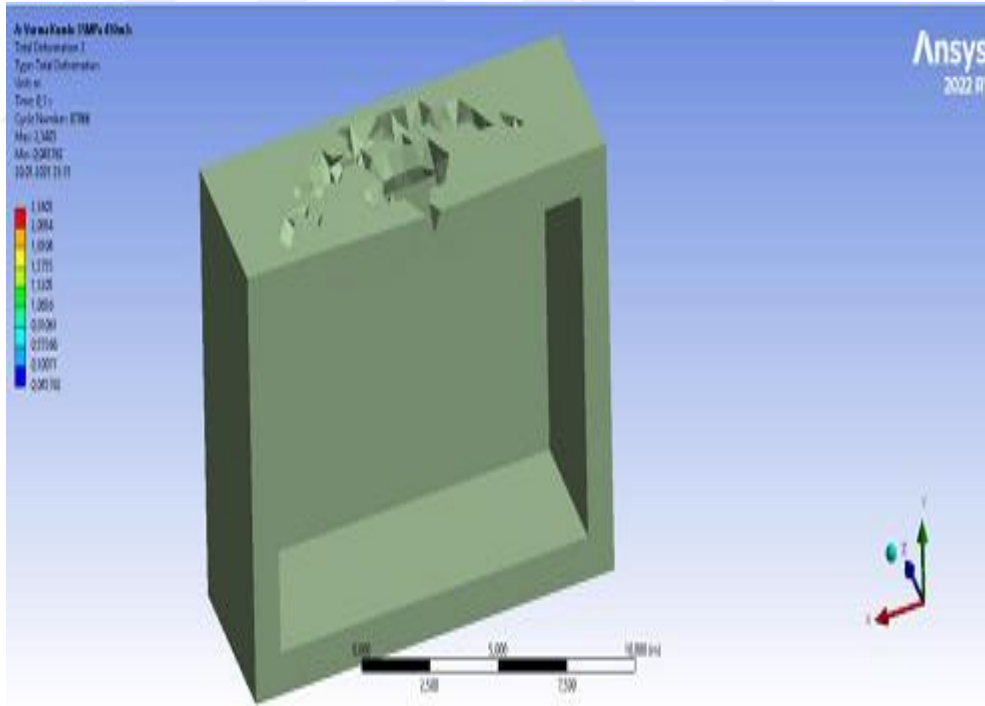


Şekil 4.50: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyona ait grafik Şekil 4.51’de ve 3D modeli ise Şekil 4.52’de sunulmuştur.

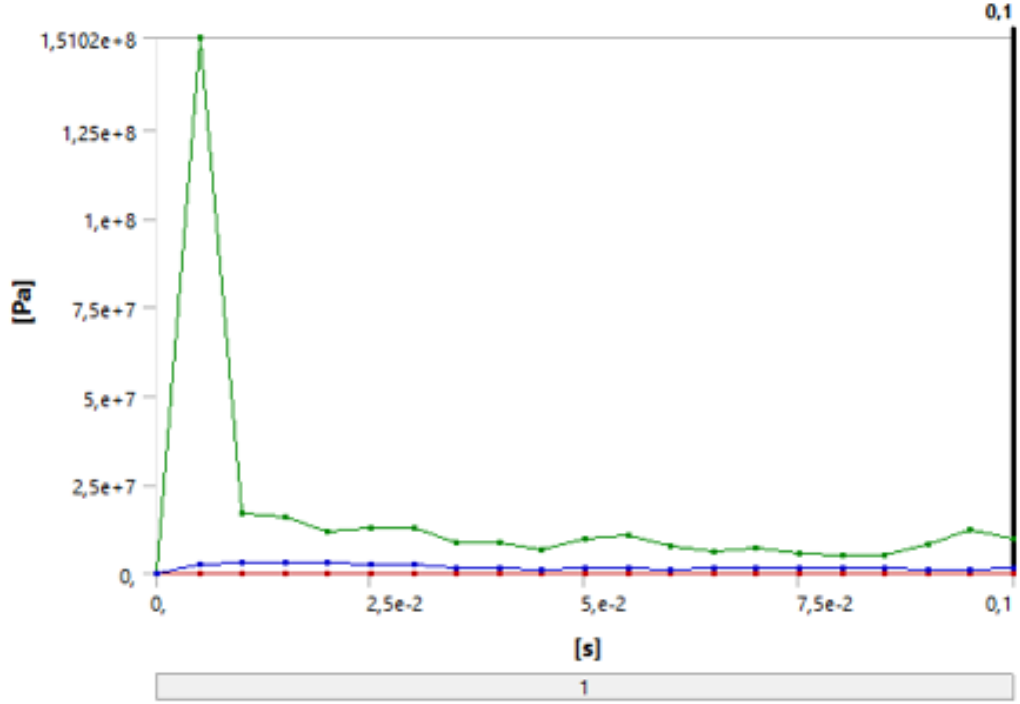


**Şekil 4.51: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

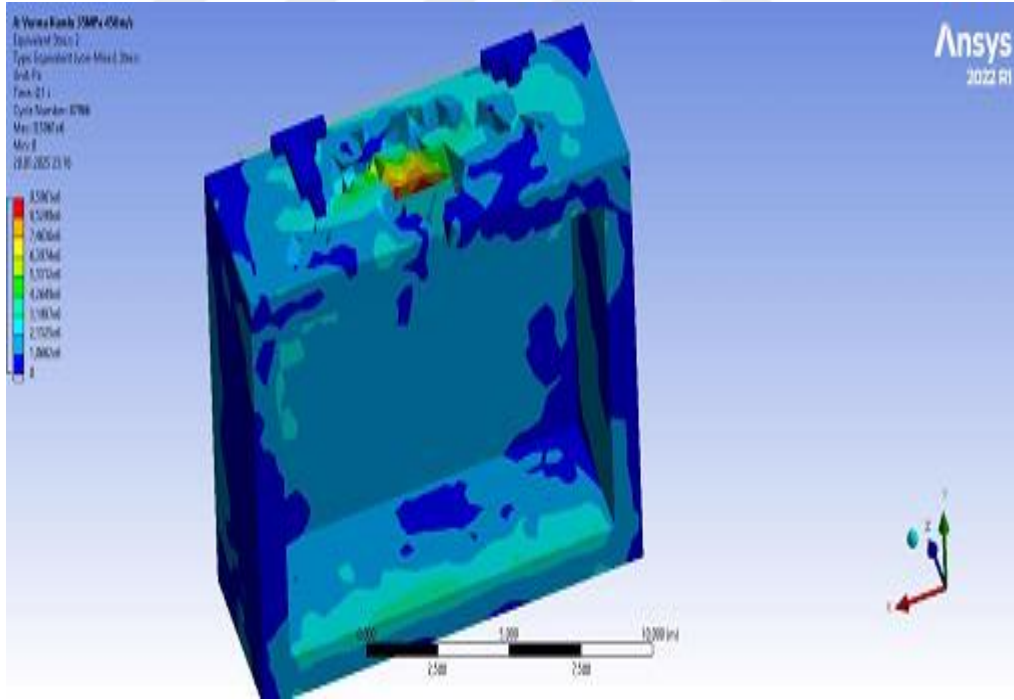


**Şekil 4.52: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.53'te ve 3D modeli ise Şekil 4.54'te sunulmuştur.



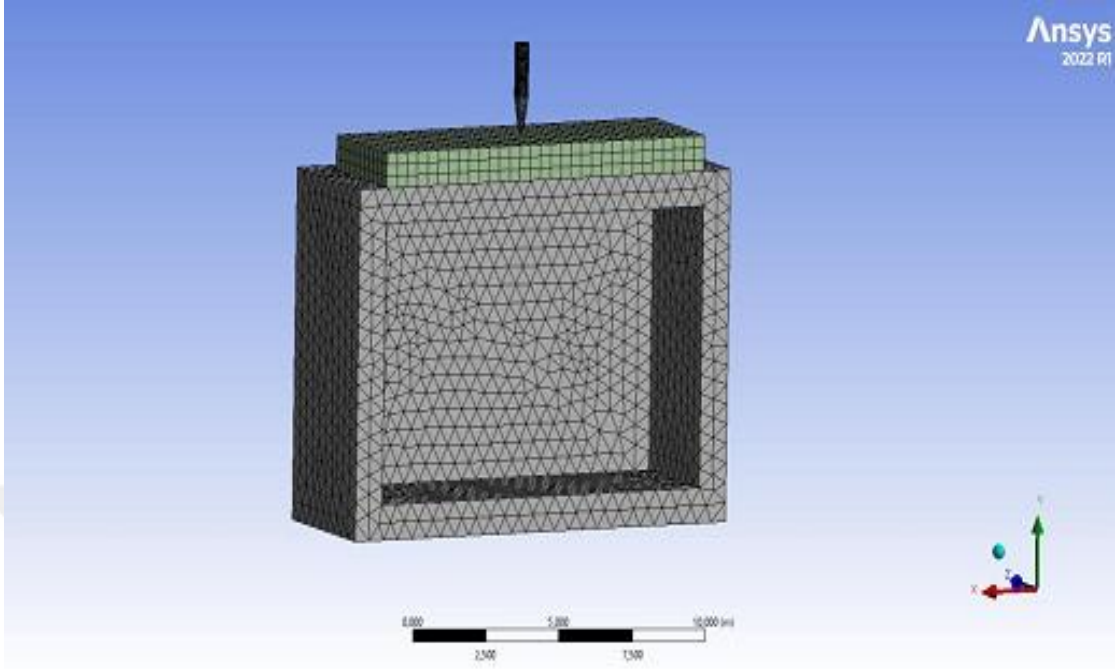
Şekil 4.53: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik



Şekil 4.54: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli

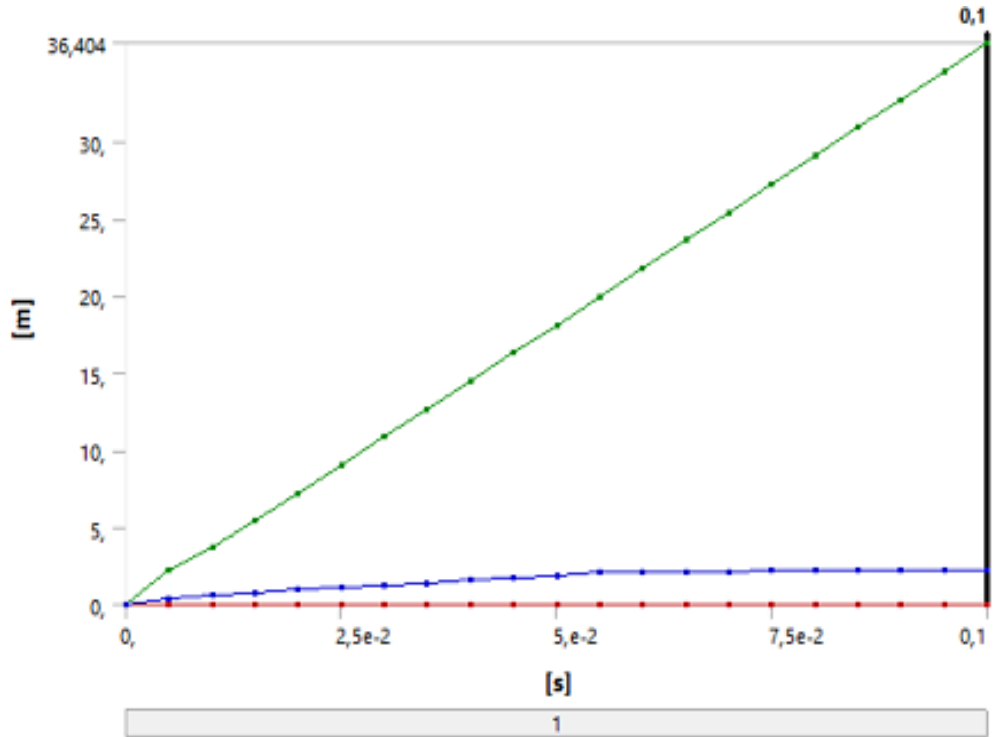
**Carpma Senaryosu 7:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 600 m/s hızla 35 MPa basınç dayanımına ve 1 m kumlu bir yüzeye sahip hedef yapıya çarpma simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.55’te sunulmuştur.

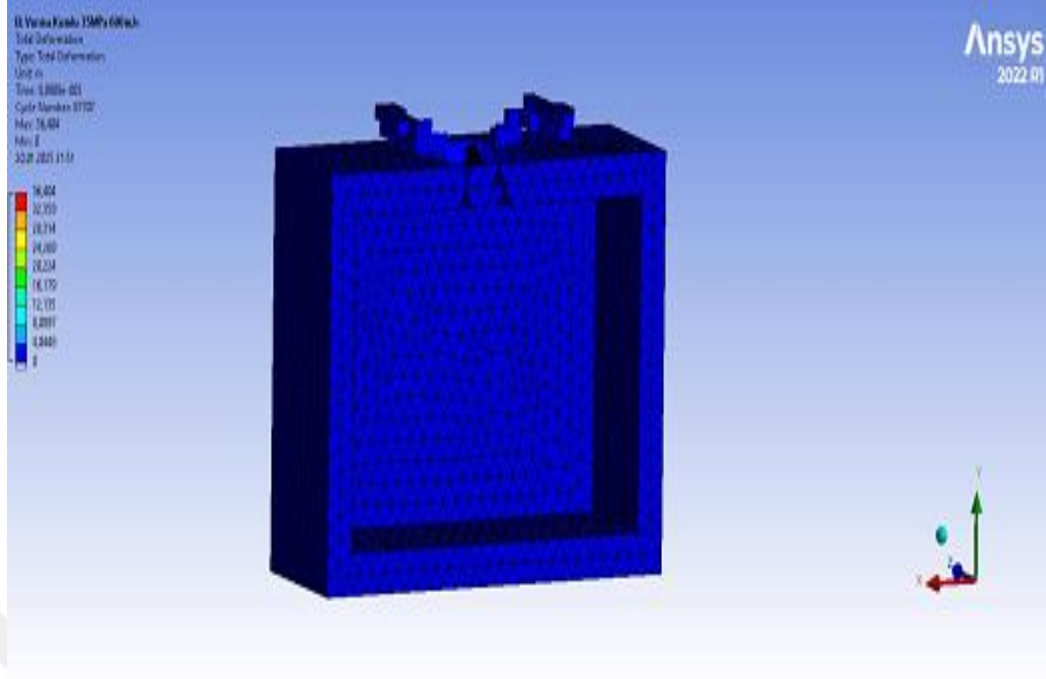


Şekil 4.55: Mesh Modeli

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.56’da ve 3D modeli Şekil 4.57’de sunulmuştur.

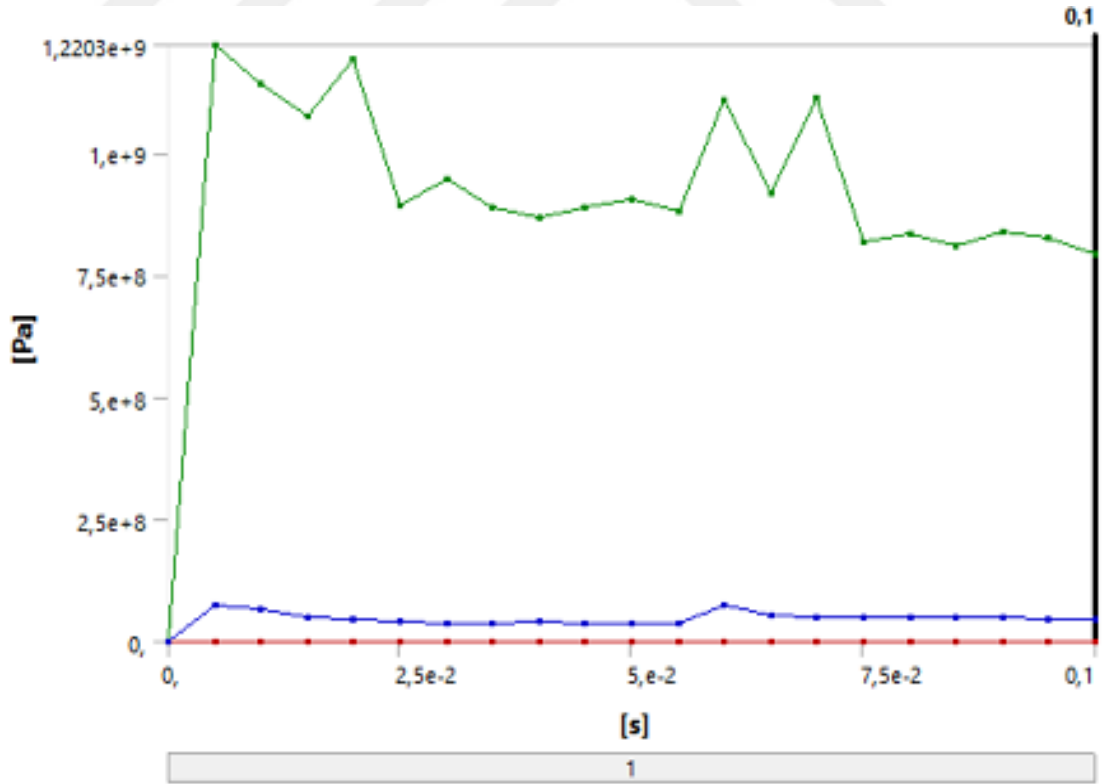


Şekil 4.56: Toplam Deformasyon Grafiği

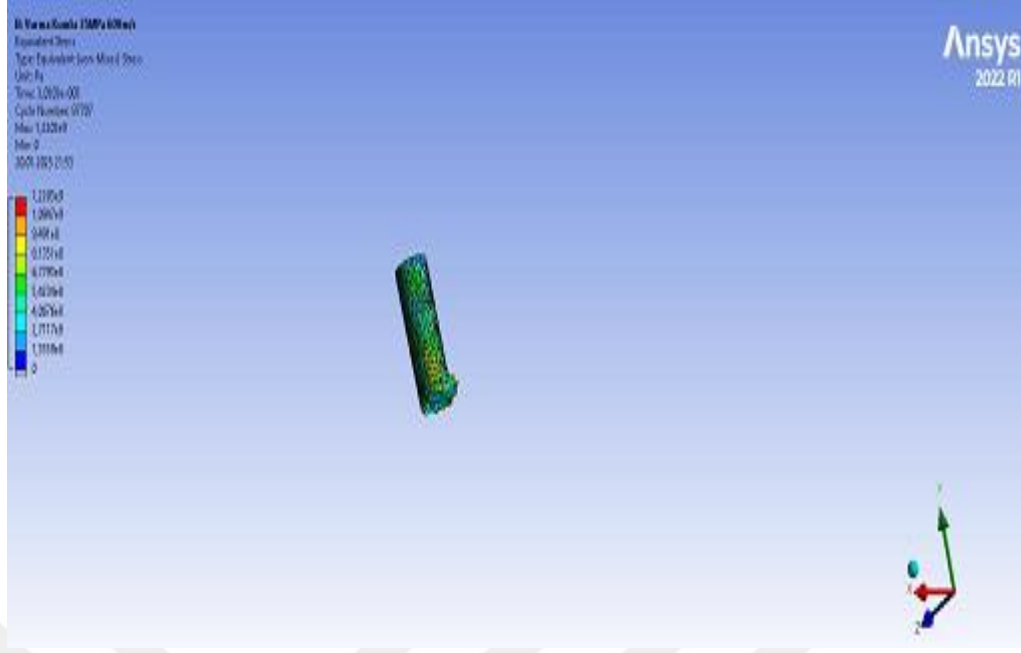


**Şekil 4.57: Toplam Deformasyonun 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.58’de ve 3D modeli de Şekil 4.59’da sunulmuştur.

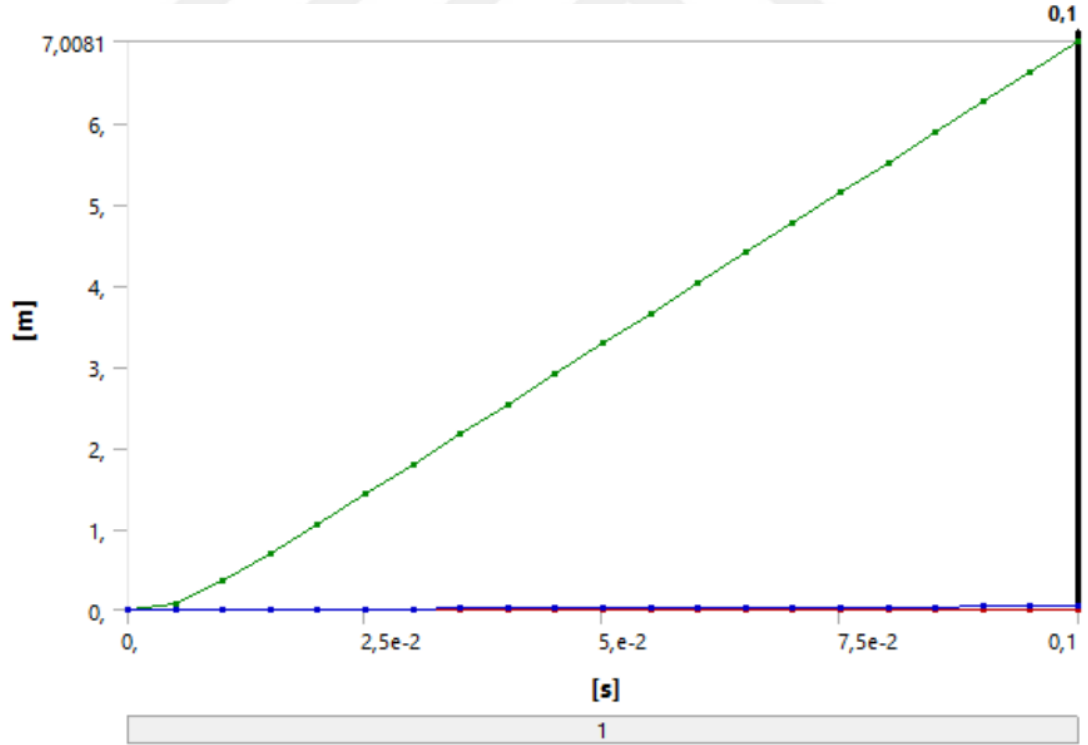


**Şekil 4.58: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik**

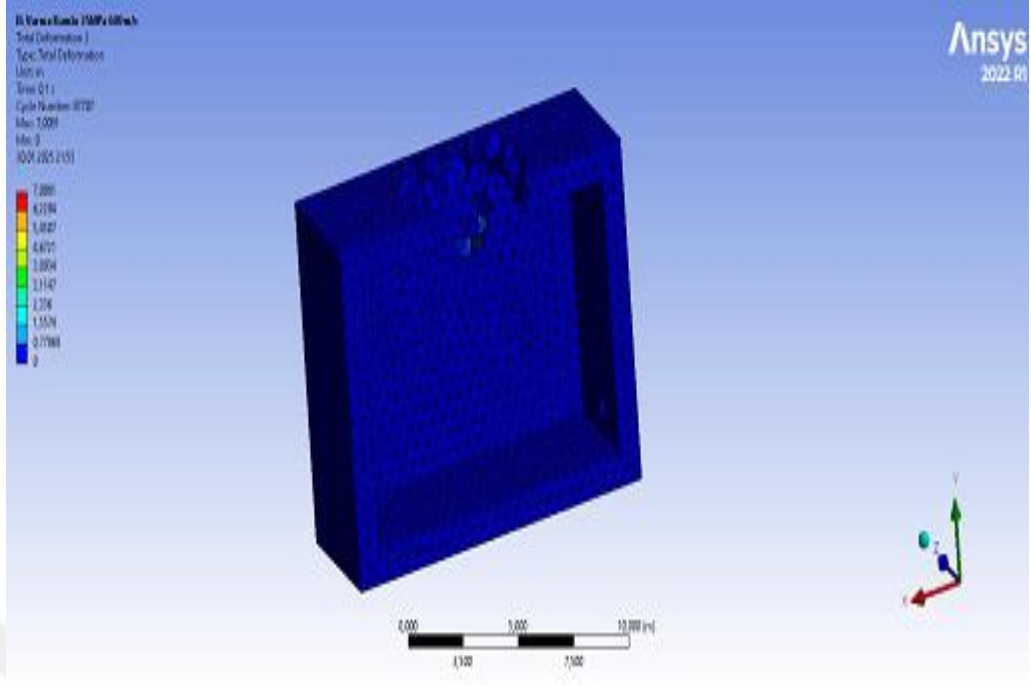


**Şekil 4.59: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyona ait grafik Şekil 4.60'da ve 3D modeli ise Şekil 4.61'de sunulmuştur.

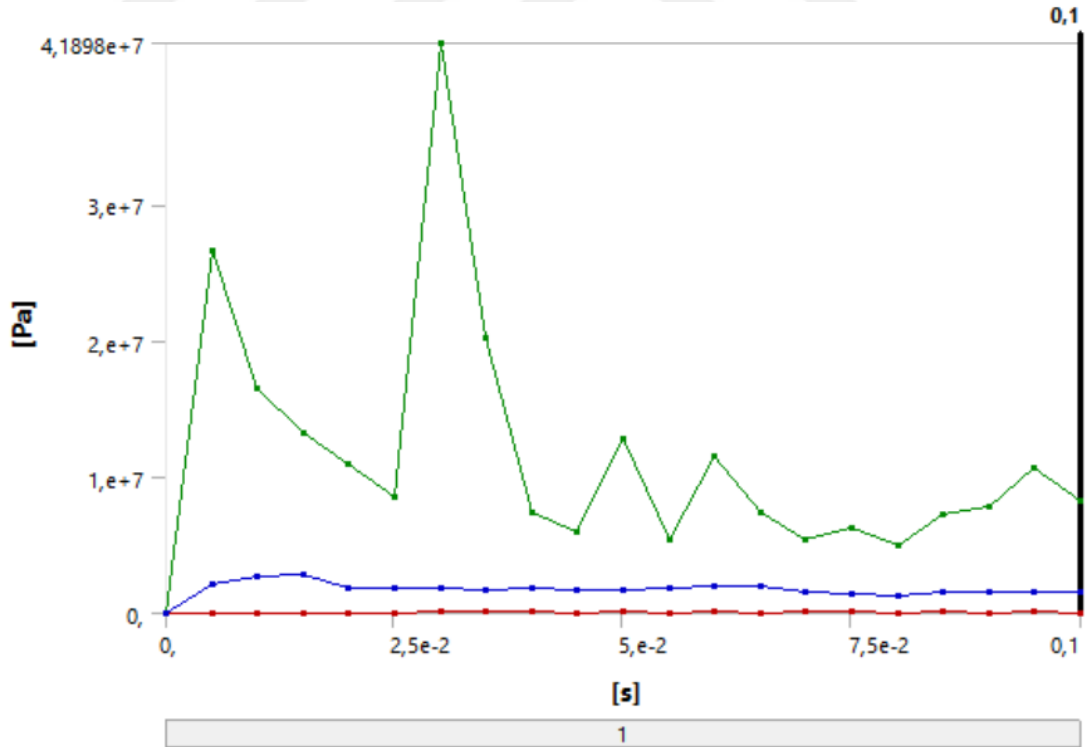


**Şekil 4.60: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

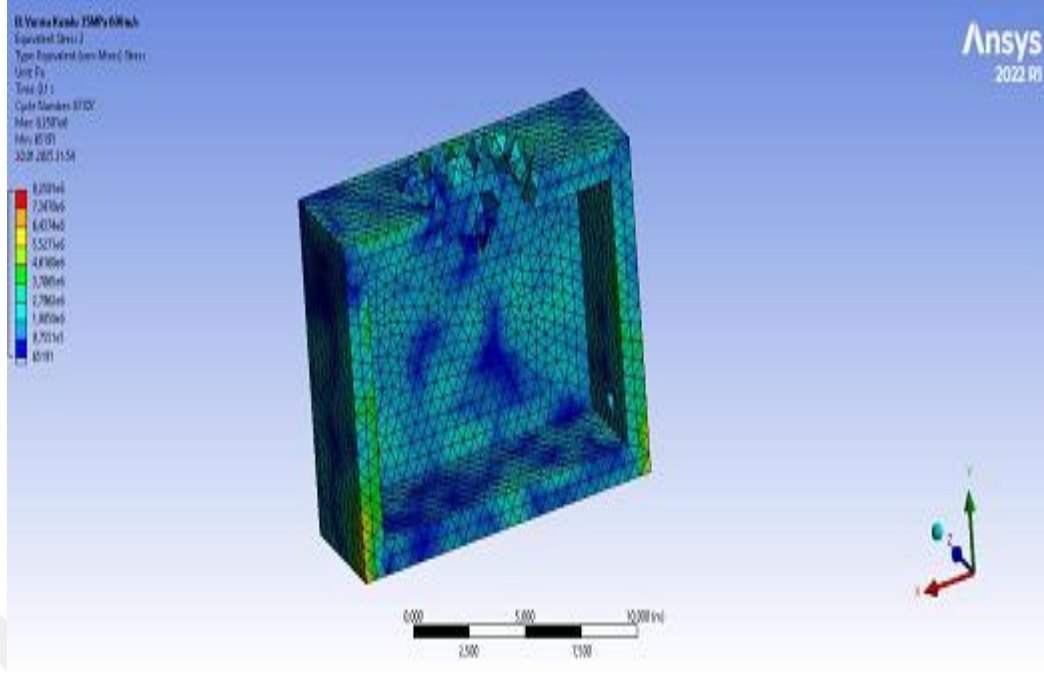


**Şekil 4.61: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.62’de ve 3D modeli ise Şekil 4.63’te sunulmuştur.



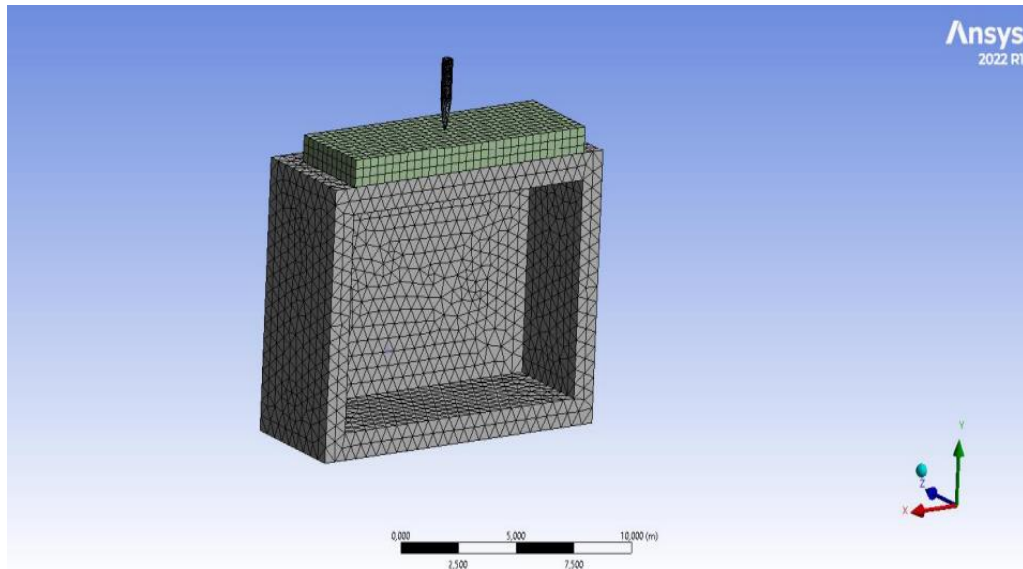
**Şekil 4.62: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**



**Şekil 4.63: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

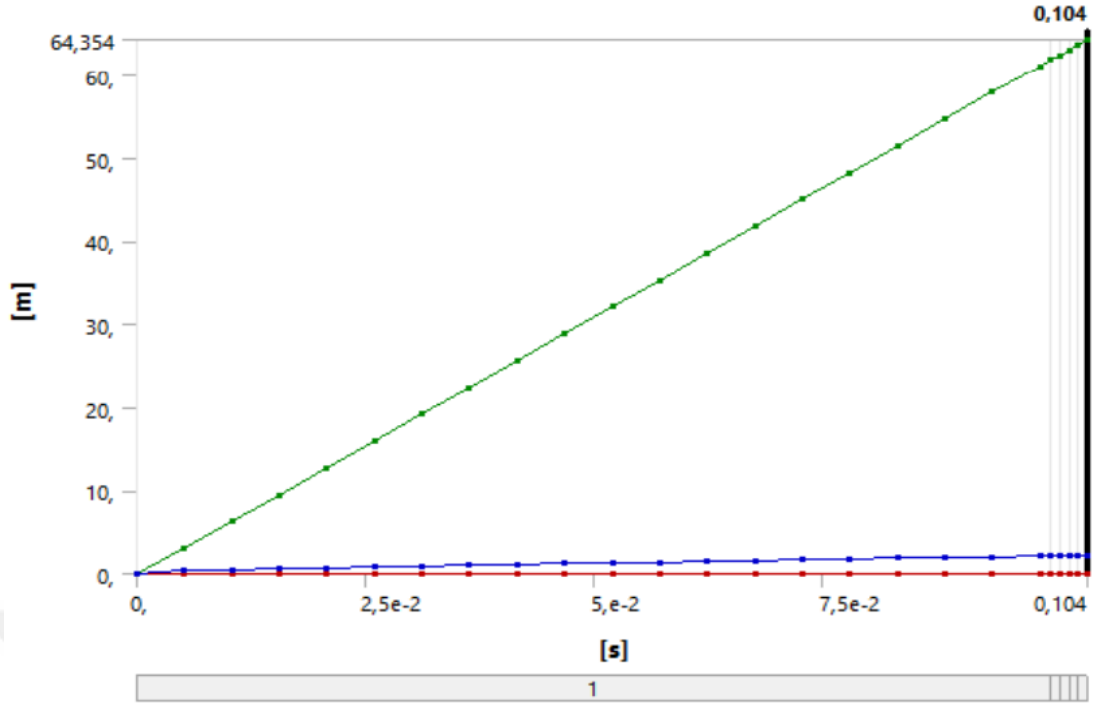
**Çarpma Senaryosu 8:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 600 m/s hızla 140 MPa basınç dayanımına ve 1 m kum kaplamalı bir yüzeye sahip hedef yapıya çarpma simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.64’tr sunulmuştur.

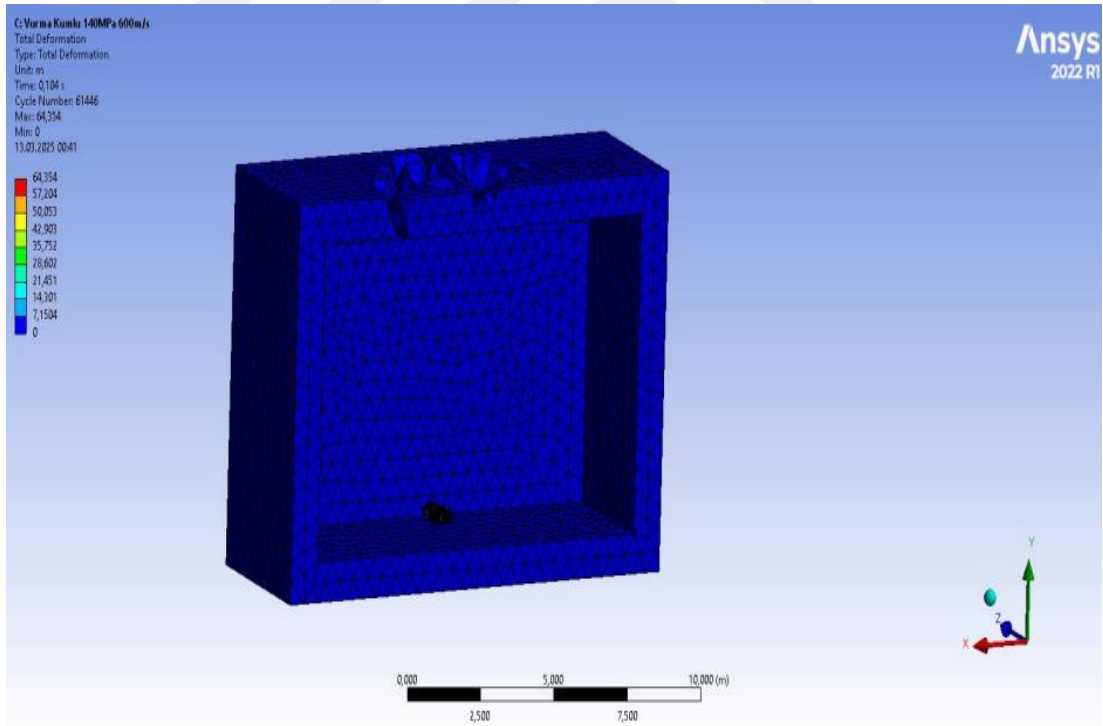


**Şekil 4.64: Mesh Modeli**

Çarpma sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.65’te ve 3D modeli Şekil 4.66’da sunulmuştur.

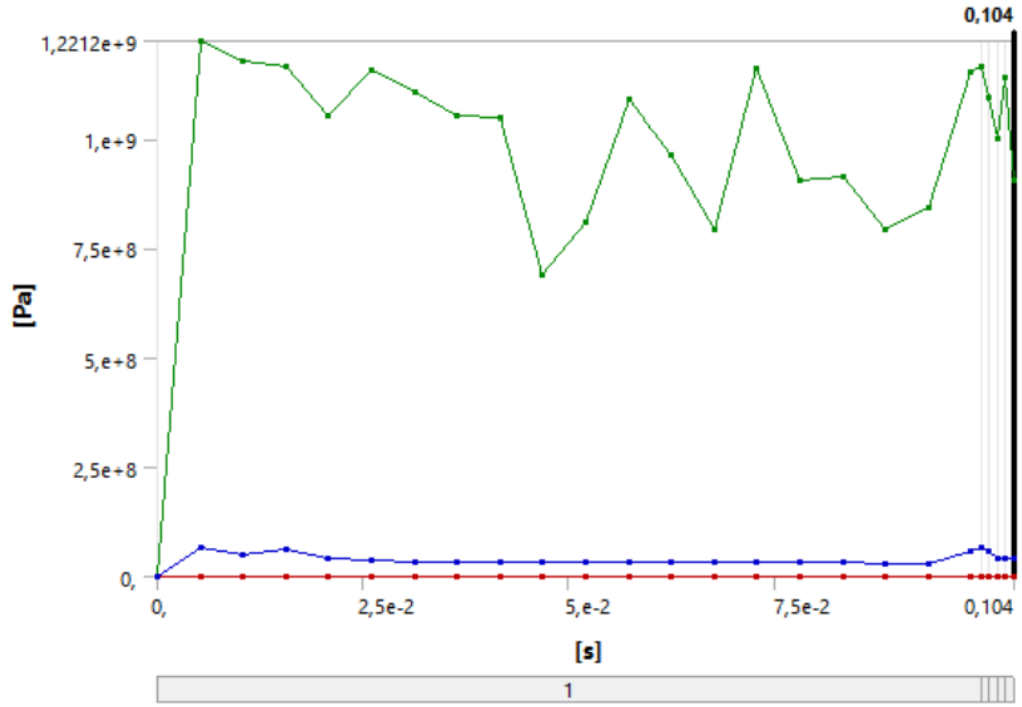


Şekil 4.65: Toplam Deformasyon Grafiği

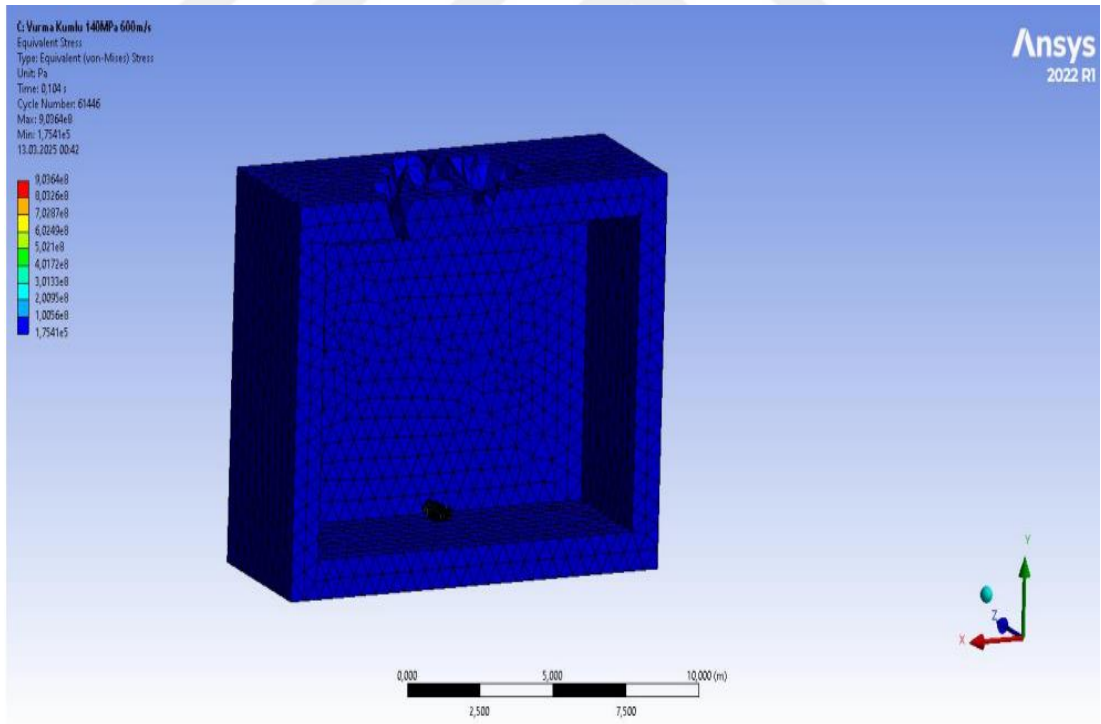


Şekil 4.66: Toplam Deformasyonun 3D Modeli

Çarpma sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.67’de ve 3D modeli de Şekil 4.68’de sunulmuştur.

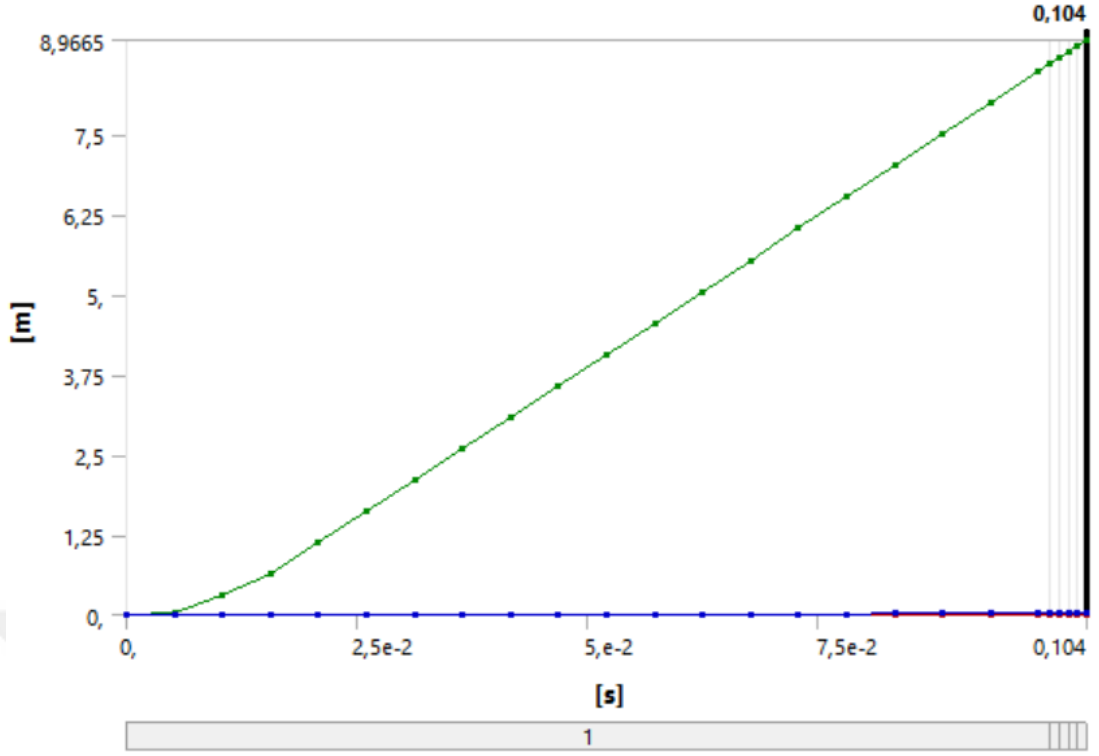


Şekil 4.67: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik

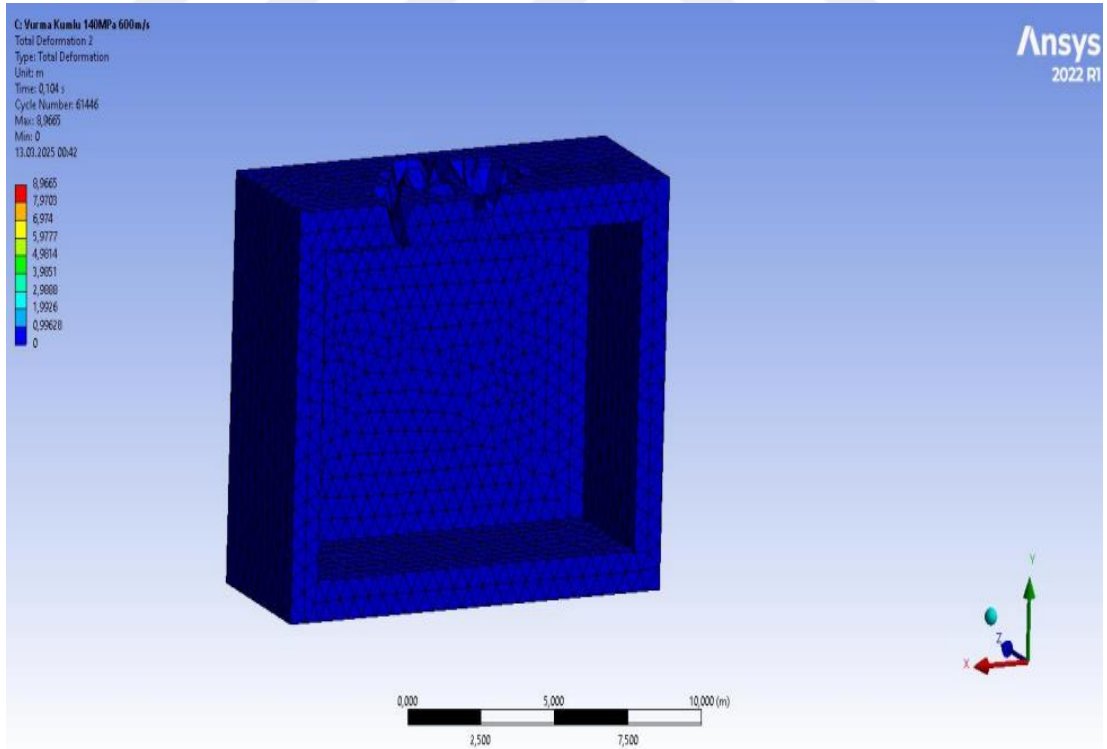


Şekil 4.68: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyona ait grafik Şekil 4.69'da ve 3D modeli ise Şekil 4.70'te sunulmuştur.

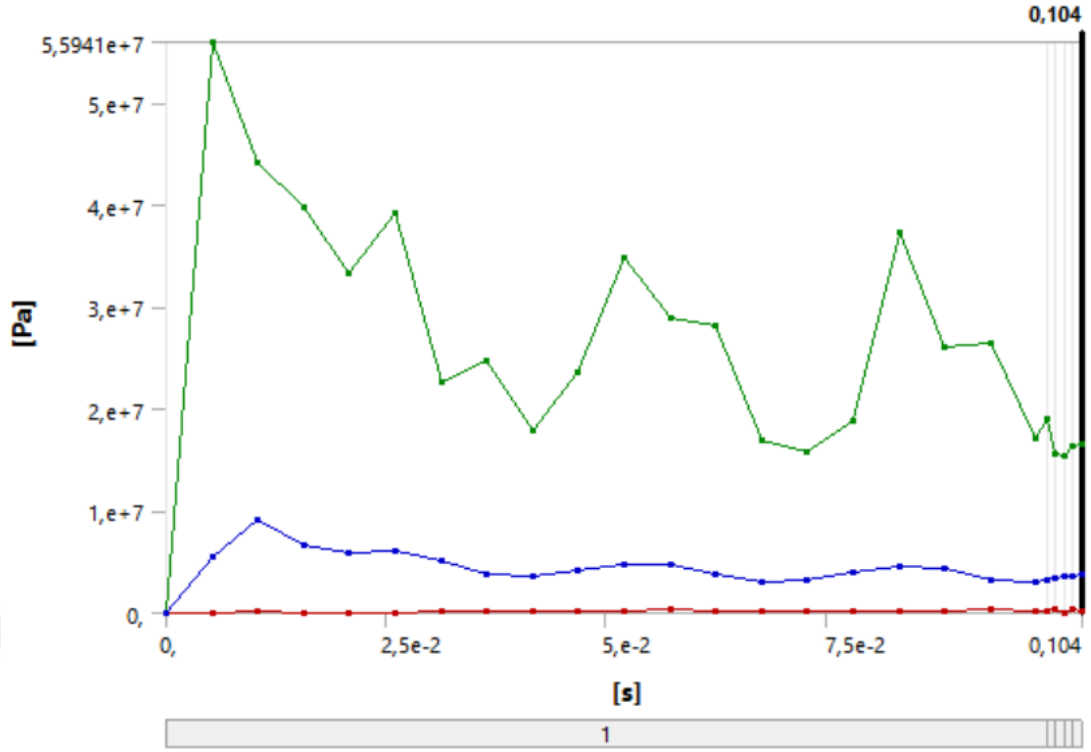


**Şekil 4.69: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

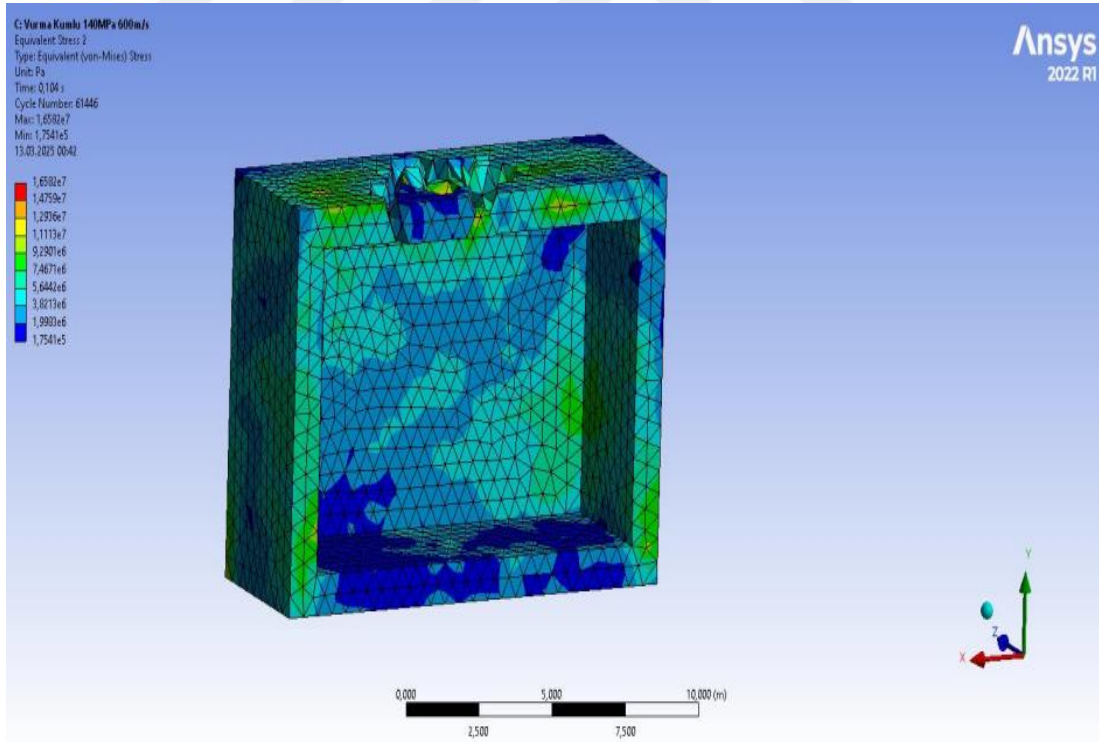


**Şekil 4.70: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Çarpma sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmeye ait grafik Şekil 4.71’de ve 3D modeli ise Şekil 4.72’de sunulmuştur.



Şekil 4.71: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik



Şekil 4.72: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli

#### **4.1.2 Patlama analizleri**

Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapılarının içinde gerçekleşen patlamanın etkileri sayısal analizler aracılığıyla inceleneceğinden ANSYS Autodyn ve SpaceClaim yazılımları kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde mühimmatın patlama sonucu oluşturduğu basınç dalgalarının hedef yapı içindeki yayılımı, yapısal hasar mekanizmaları ve mühimmatın parçalanma mekanizması detaylı olarak değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında, patlama analizlerinde kullanılan modellemeler, teknik zorluklar sebebiyle çarpma analizlerindeki modellemelerden bağımsız olarak simüle edilmiştir. Çalışmada, farklı dayanım seviyelerine sahip (35 MPa ve 140 MPa) hedef yapıları içinde gerçekleştirilen patlama analizlerinde kullanılan temel parametreler ve veri setleri ile patlama analizlerine ilişkin veriler iki alt başlıkta sunulmaktadır.

##### **4.1.2.1 Patlama analizlerinde temel parametreler ve veri setleri**

Patlama analizlerinde, mühimmatın sığınak ve mağara yapıları içindeki etkilerini belirleyebilmek için çeşitli fiziksel ve yapısal parametreler dikkate alınmaktadır. Bu analizler, patlama sonucu oluşan basınç dalgalarının hedef yapı içindeki yayılımını, yapısal deformasyonları ve oluşan gerilme dağılımlarını değerlendirmek üzere gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, mühimmatın infilak noktası, patlayıcı madde türü ve gücü, hedef yapı malzemesinin basınç dayanımı, hedef yapı boyutları ve mühimmatın yapı malzemesi gibi temel parametreler analiz sürecinde ele alınmıştır. Simülasyonlarda kullanılan veri setleri, ANSYS Autodyn ve SpaceClaim yazılımları kullanılarak modellenmiş ve üç farklı senaryo doğrultusunda oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, patlama analizlerinde kullanılan temel parametreler ve ilgili veri setleri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Bu çalışmada gerçekleştirilen patlama analizinde kullanılan 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımlarına sahip hedef yapılar ile 4340 çelik ve TNT materyallerinin çeşitli fiziksel özelliklerine ait veriler Çizelge 4.10'da sunulmaktadır.

**Çizelge 4.10: Patlama Analizlerindeki Materyal Çeşitlerinin Fiziksel Özellikleri**

Özellikler		Materyal Çeşitleri				
		35 MPa		140 MPa	Çelik 4340	TNT
Boyut	X	14	8,4	14	0,45912	0,42696
	Y	10	6	10	3,1325	1,93
	Z	5	3	5	0,45912	0,42696
Hacim (m <sup>3</sup> )		316	68,256	316	6,7374 10 <sup>-2</sup>	0,27633
Kütle (kg)		7,3122 10 <sup>5</sup>	1,5794 10 <sup>5</sup>	7,9632 10 <sup>5</sup>	527,54	450,41
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )		2314	2314	2520	7830	1630
Özgül Isı (J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> )		654	654	654	477	-

Patlama analizlerinde kullanılan hedef yapılar ile 4340 çelik ve TNT ait Mesh özellikleri Çizelge 4.11’de sunulmaktadır.

**Çizelge 4.11: Mesh Tablosu**

		Büyük Mağara		Küçük Mağara
		35 MPa	140 MPa	35 MPa
Hedef Yapı	Düğüm Sayısı	12116	12116	22784
	Element Sayısı	52998	52998	106051
Çelik 4340	Düğüm Sayısı	1480	1480	3698
	Element Sayısı	4425	4425	11058
TNT	Düğüm Sayısı	570	570	14301
	Element Sayısı	414	414	12648
Ortalama Mesh Kalitesi		~ 0,79	~ 0,79	~ 0,80

Patlama analizlerinde kullanılan mühimmatın hedef yapı içinde patlama anındaki konumu Çizelge 4.12’de sunulmaktadır.

**Çizelge 4.12: Mühimmatın Patlama Anındaki Konumu**

Konum	Küçük Mağara	Büyük Mağara
X (m)	- 1,7545	-1,7545
Y (m)	-1,5	-1,5
Z (m)	-0,5	-0,5

ANSYS analizinde oluşturulan 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip hedef yapıların dayanım parametreleri Çizelge 4.13’te sunulmuştur.

**Çizelge 4.13: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların RHT Modeli ile Dayanım Parametreleri**

Özellikler	35 MPa	140 MPa
Basınç Dayanımı $f_c$ Pa	3,5e+007	1,4e+008
Çekme Dayanımı $f_t/f_c$	0,1	0,1
Kesme Dayanımı $f_s/f_c$	0,18	0,18
Bozulmamış Kırılma Yüzeyi Sabiti A	1,6	1,6
Bozulmamış Kırılma Yüzeyi Üssü $n$	0,61	0,61
Çekme / Basınç Meridyen Oranı Q2.0	0,6805	0,6805
Kırılığandan Süneklığe Geçiş BQ	1,05e-002	1,05e-002
Sertleşme Eğimi	2,	2,
Elastik Dayanım / $f_t$	0,7	0,7
Elastik Dayanım / $f_c$	0,53	0,53
Kırılma Dayanımı Sabiti B	1,6	1,6
Kırılma Dayanımı Üssü $m$	0,61	0,61
Sıkıştırma Gerilme Hızı Üssü $\alpha$	3,2e-002	9,09e-003
Çekme Gerilme Hızı Üssü $\delta$	3,6e-002	1,25e-002
Maksimum Kırılma Dayanımı Oranı SFMAX	1,e+020	1,e+020
Hasar Sabiti D1	4,e-002	4,e-002
Hasar Sabiti D2	1,	1,
Kırılmaya Yol Açan Minimum Gerinim	1,e-002	1,e-002
Kalan Kayma Modülü Oranı	0,13	0,13

Analizde kullanılan malzeme modelinin 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip hedef yapıların P-alpha denklemiyle simüle edildiğinde belirli fiziksel koşullar altındaki davranışları Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.14: 35 MPa ve 140 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Davranış Kriterleri**

	Davranış Kriterleri				
	Katı Yoğunluk ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Yapıdaki Ses Hızı ( $\text{ms}^{-1}$ )	Başlangıç Sıkıştırma Basıncı ( $P_e$ Pa)	Katı Sıkıştırma Basıncı ( $P_s$ Pa)	Sıkıştırma Üssü ( $n$ )
<b>35 MPa</b>	2750	2920	$2,33 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^9$	3,0
<b>140 MPa</b>	2750	3242	$9,33 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^9$	3,0

Analiz kapsamında kullanılan Çelik 4340'ın Johnson – Cook Dayanım Modeli çerçevesinde elde edilen dayanım parametreleri Çizelge 4.15'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.15: Çelik 4340'ın Johnson-Cook Dayanım Modeline Göre Davranışı ve Dayanım Parametreleri**

Parametreler	Çelik 4340
Başlangıç Akma Gerilmesi Pa	7,92e+008
Sertleşme Sabiti Pa	5,1e+008
Sertleşme Üssü	0,26
Şekil Değiştirme Hız Sabiti	1,4e-002
Termal Yumuşama Üssü	1,03
Erime Sıcaklığı °C	1519,8
Referans Gerinim Hızı (/s)	1,

ANSYS Autodyn simülasyon yazılımında TNT'nin modellenmesi için kullanılan JWL verileri Çizelge 4.16'da sunulmaktadır.

**Çizelge 4.16: TNT İçin JWL Verileri**

Parametre A Pa	3,7377e+011
Parametre B Pa	3,7471e+009
Parametre R1	4,15
Parametre R2	0,9
Parametre W	0,35
C-J Detonasyon Hızı (m/s)	6930
C-J Birim Kütle Başına Enerji J/kg	3,681e+006
C-J Basıncı Pa	2,1e+010
BOCF Değeri	0,
Detonasyondan Önceki Sıkıştırılabilirlik Değeri	0,
Adyabatik Sabit	0,
Birim Kütle Başına Eklenen Ekstra Enerji J/kg	0,
Başlangıç Zamanı	0,
Bitiş Zamanı	0,

ANSYS analizinde kullanılan 35 MPa ve 140 MPa dayanımına sahip hedef yapıların kayma gerilmesine karşı gösterdikleri elastik direnç değerleri Çizelge 4.17'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.17: 35 MPa ve 140 MPa Dayanımına Sahip Hedef Yapıların Kayma Gerilmesine Karşı Gösterdikleri Elastik Direnç**

Yapı	Dayanıklılık Pa
35 MPa	1,67 10 <sup>10</sup>
140 MPa	2,206 10 <sup>10</sup>

ANSYS analizinde kullanılan tek kademeli penetratör tipi mühimmatların gövde ve burun kısmındaki çelik 4340 materyalinin dayanıklılık ve kayma modülü değerleri Çizelge 4.18’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.18: Çelik 4340 İçin Dayanıklılık ve Kayma Modülü**

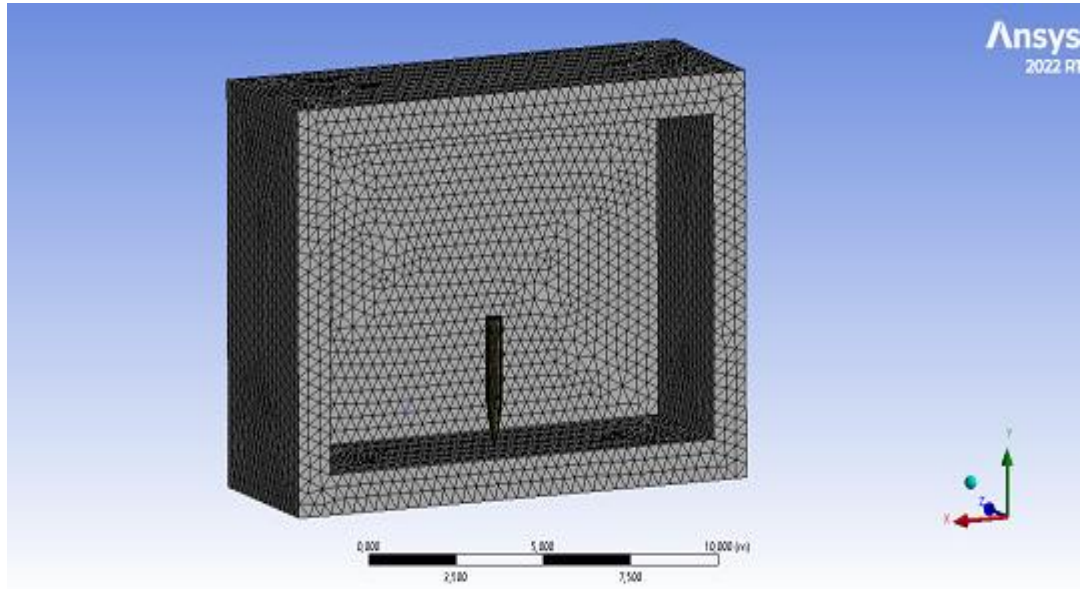
<b>Dayanıklılık Pa</b>	$1,59 \cdot 10^{11}$
<b>Kayma Modülü Pa</b>	$8,18 \cdot 10^{10}$

#### 4.1.2.2 Patlama analizlerine ilişkin simülasyon verileri

Patlama analizlerine yönelik simülasyonlar, mühimmatın sığınak ve mağara yapıları içindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirildiğinden patlama sonucu oluşan basınç dalgalarının yayılımı, yapısal deformasyonlar ve gerilme dağılımları incelenabilmektedir. Simülasyonlarda, mühimmatın infilak konumu, hedef yapının ve mühimmat gövdesinin malzeme özellikleri, hedef yapı boyutları ve basınç dayanımı gibi kritik parametreler dikkate alınarak üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolardan elde edilen veriler, her biri kendi bağlamında detaylı olarak aşağıda sunulmuştur.

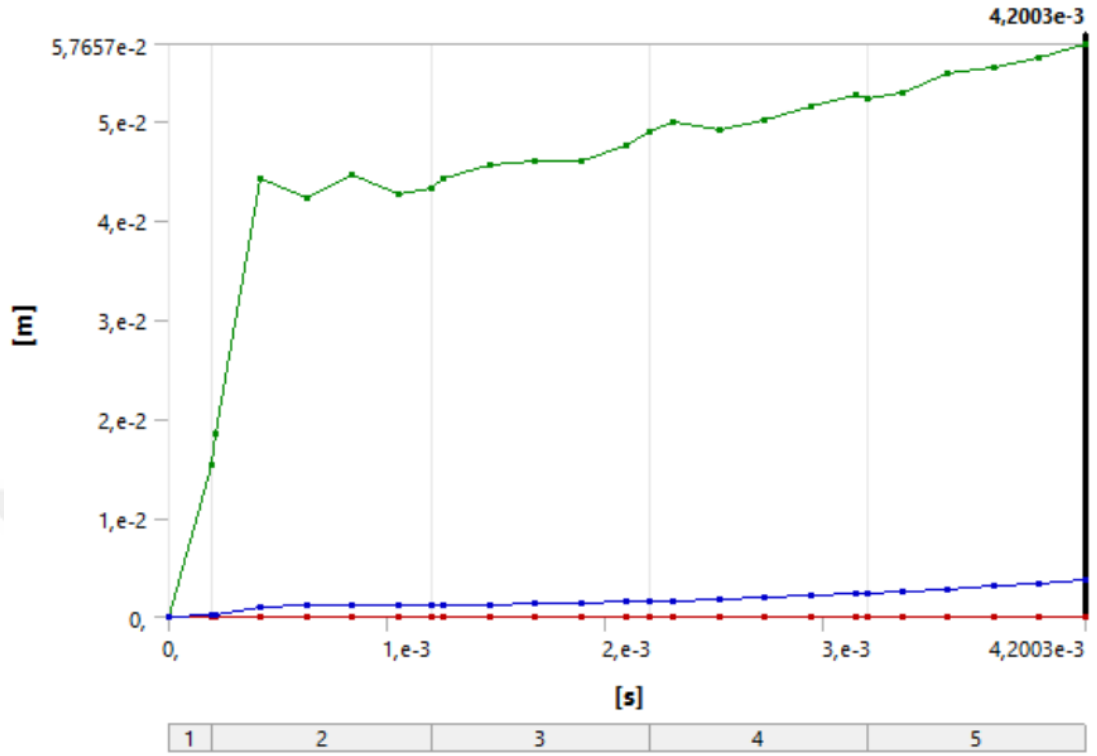
**Patlama Senaryosu 1:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 35 MPa basınç dayanımına sahip Büyük mağara yapısı içindeki patlama simülasyonu

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.73’te sunulmuştur.

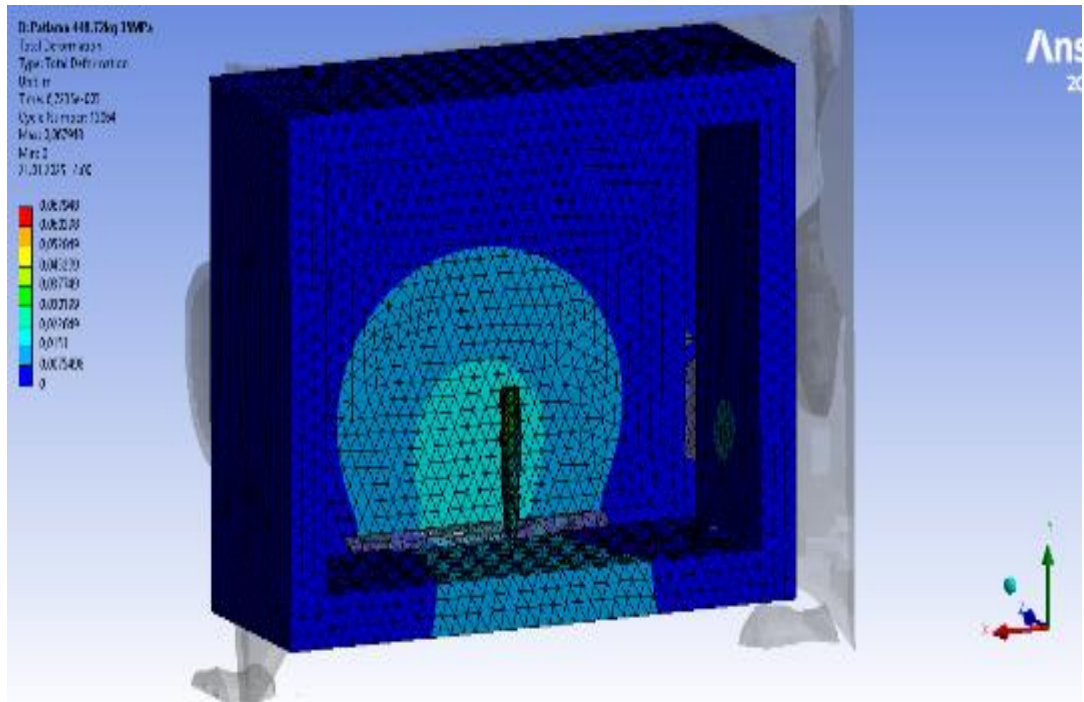


**Şekil 4.73: Mesh Modeli**

Patlama sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.74'te ve 3D modeli Şekil 4.75'te sunulmuştur.

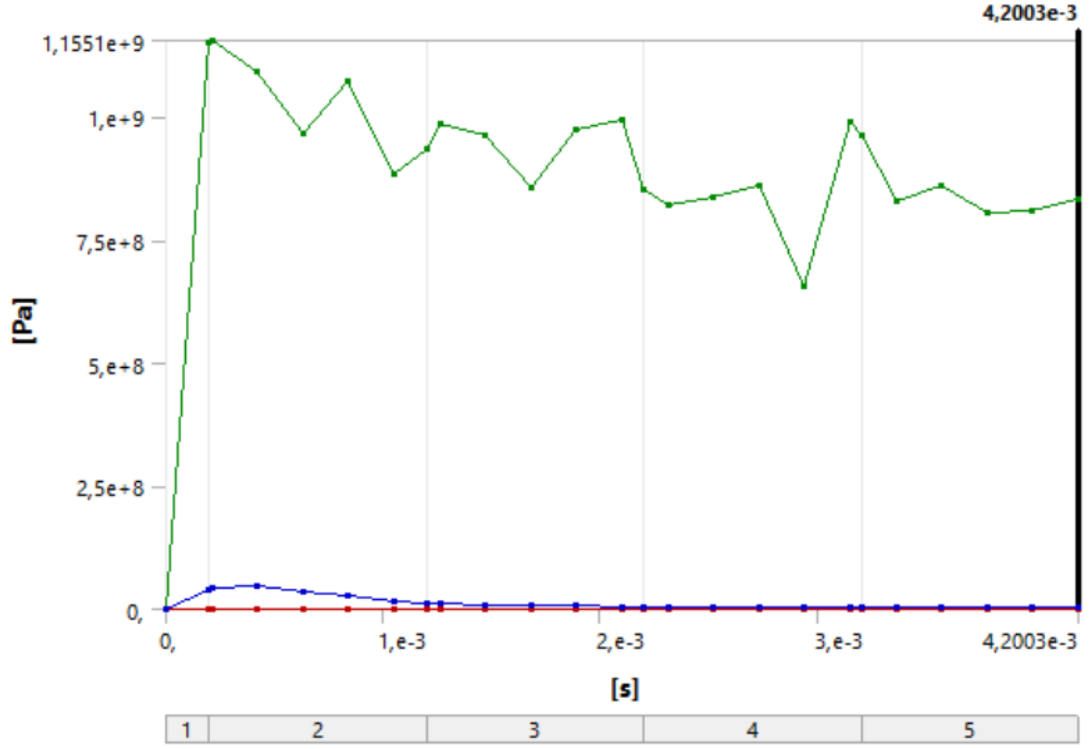


Şekil 4.74: Toplam Deformasyon Grafiği

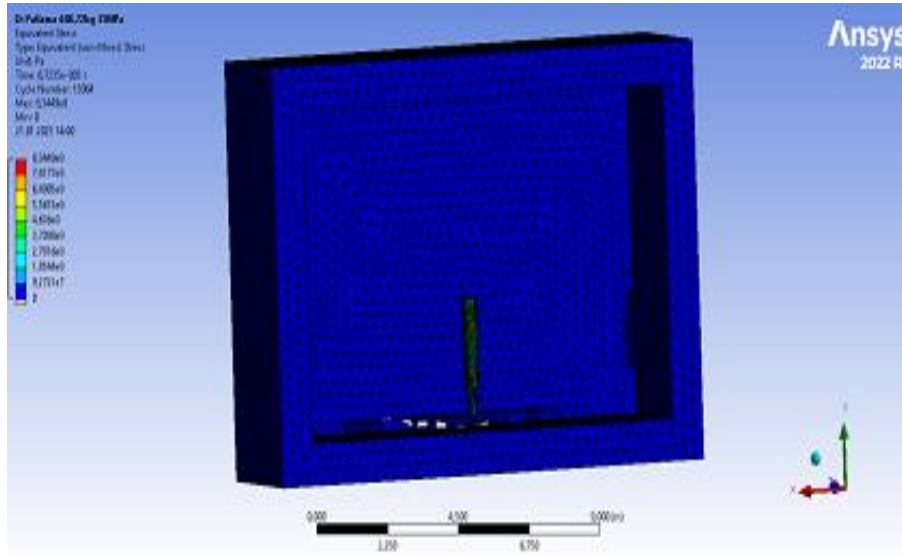


Şekil 4.75: Toplam Deformasyonun 3D Modeli

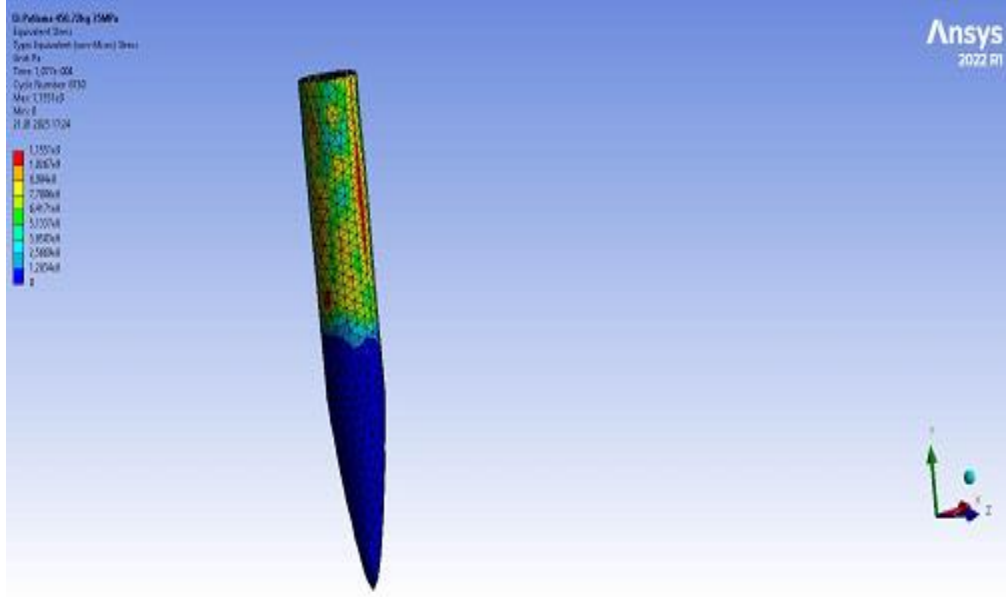
Patlama sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.76'da ve 3D modeli de Şekil 4.77 ve Şekil 4.78'de sunulmuştur.



Şekil 4.76: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik

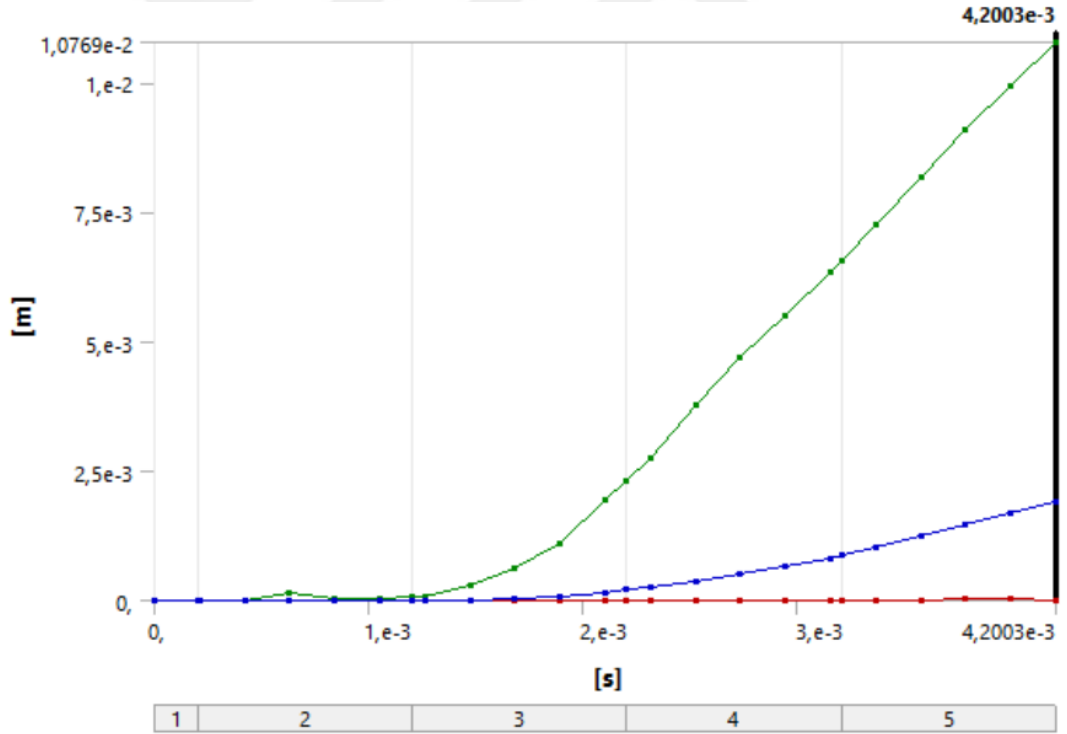


Şekil 4.77: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli

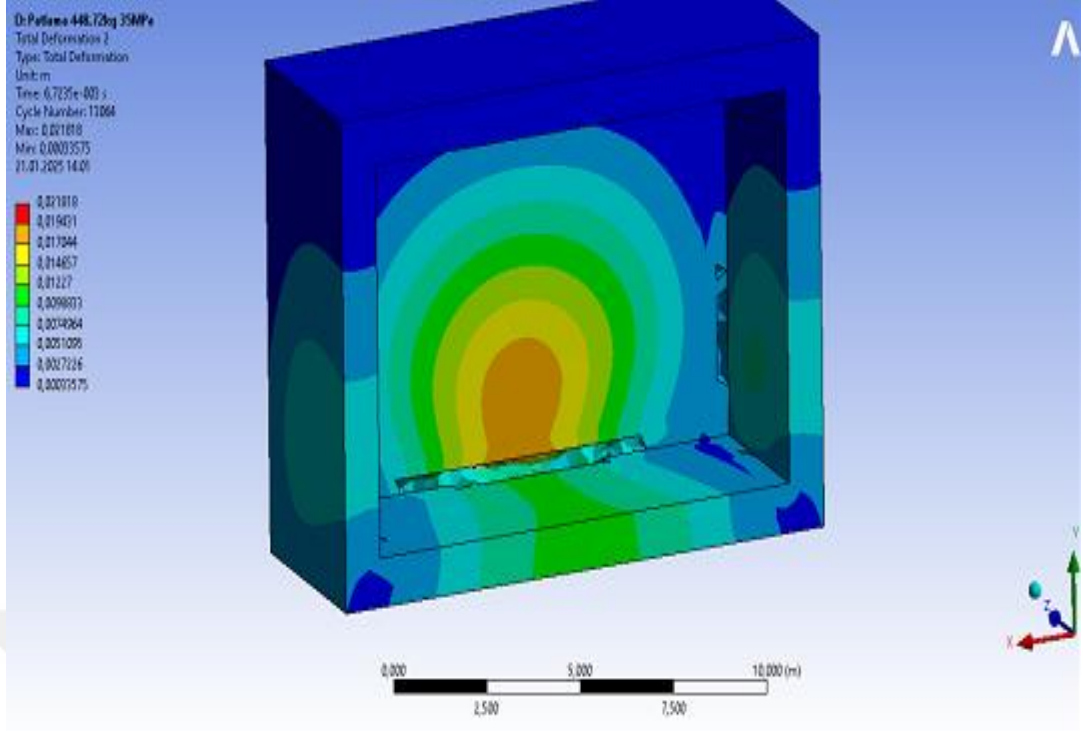


**Şekil 4.78: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli**

Patlama sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyona ait grafik Şekil 4.79’da ve 3D modeli ise Şekil 4.80’de sunulmuştur.

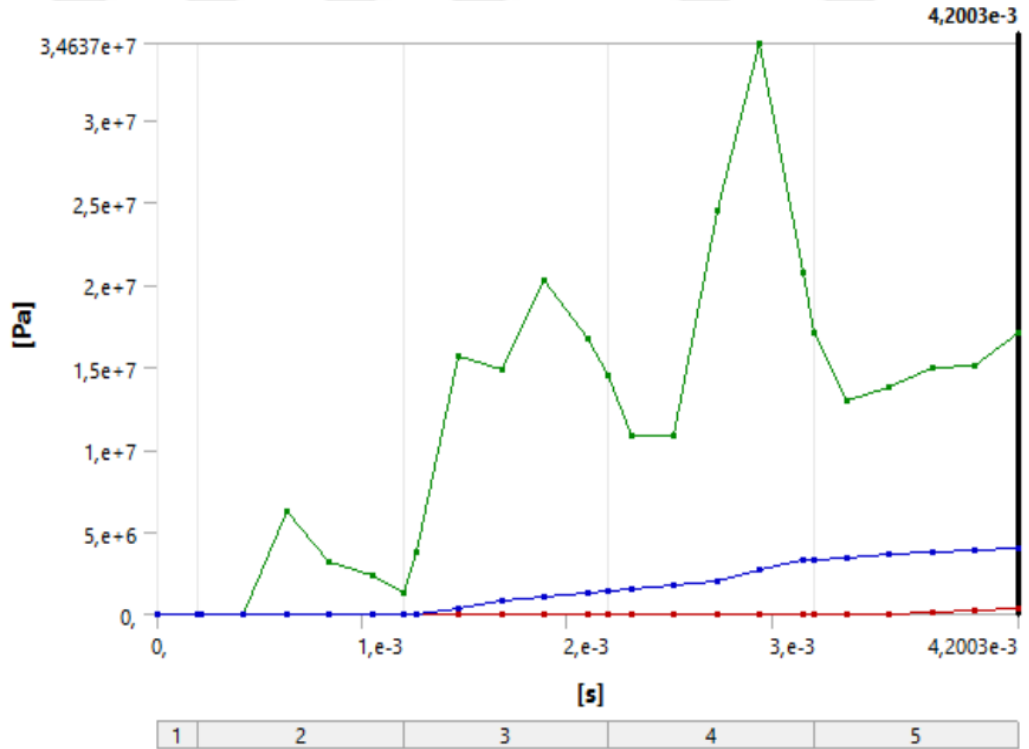


**Şekil 4.79: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği**

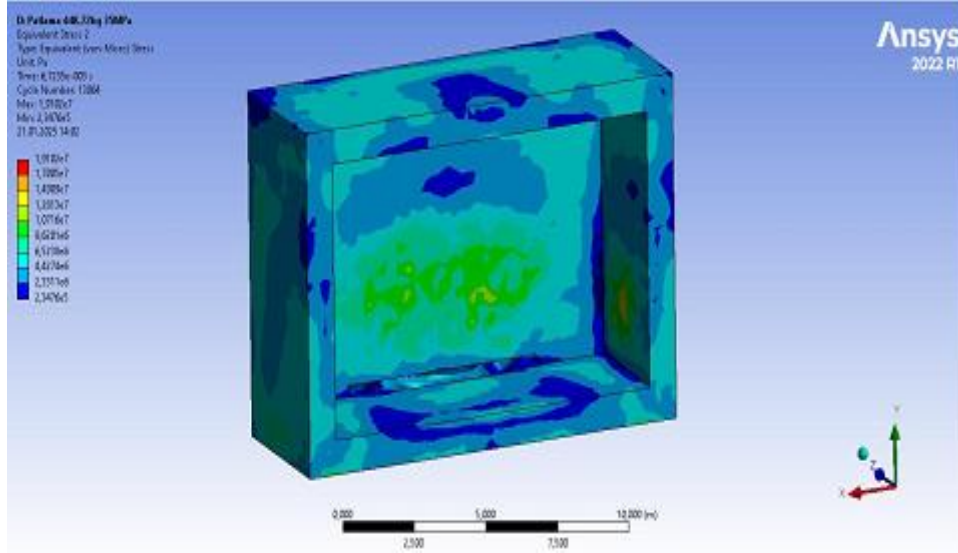


**Şekil 4.80: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Patlama sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmenin grafiği Şekil 4.81’de ve 3D modeli ise Şekil 4.82’de sunulmuştur.



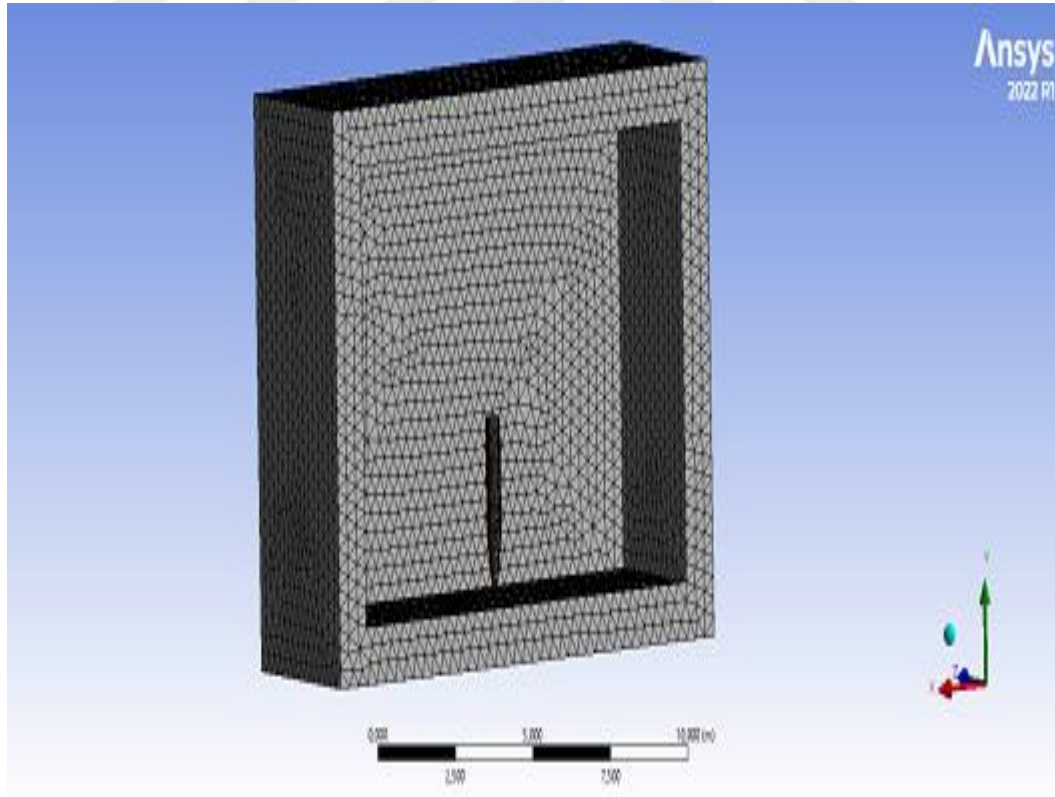
**Şekil 4.81: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**



**Şekil 4.82: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

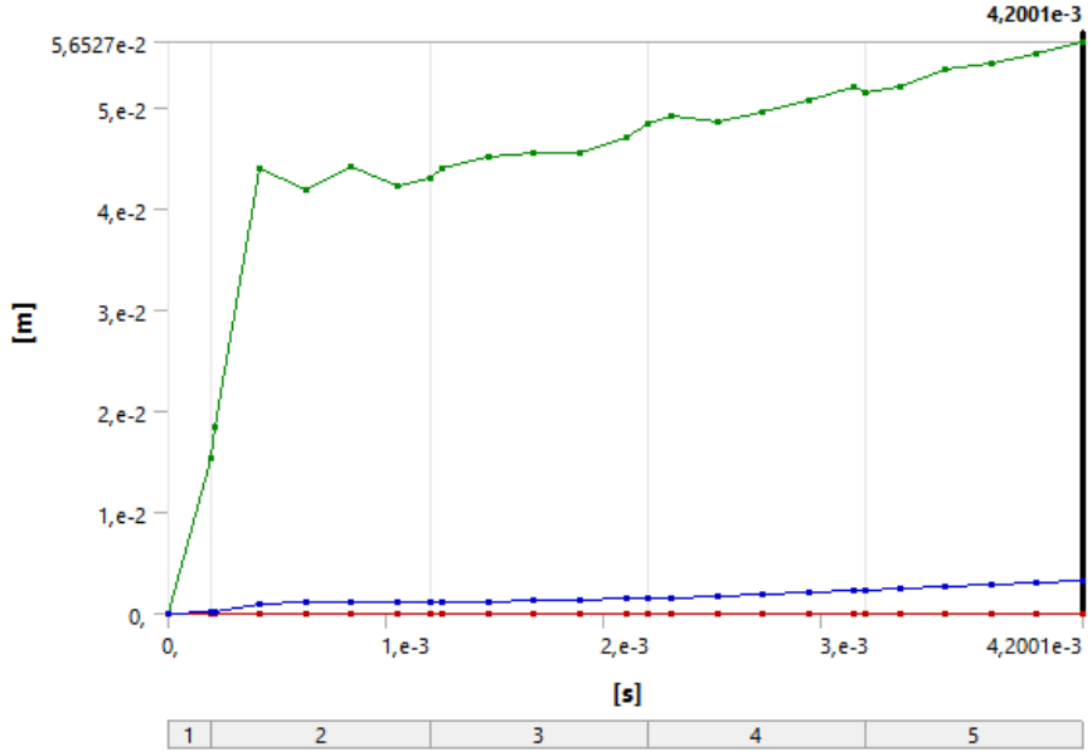
**Patlama Senaryosu 2:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 140 MPa basınç dayanımına sahip Büyük mağara yapısı içindeki patlama simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.83'te sunulmuştur.

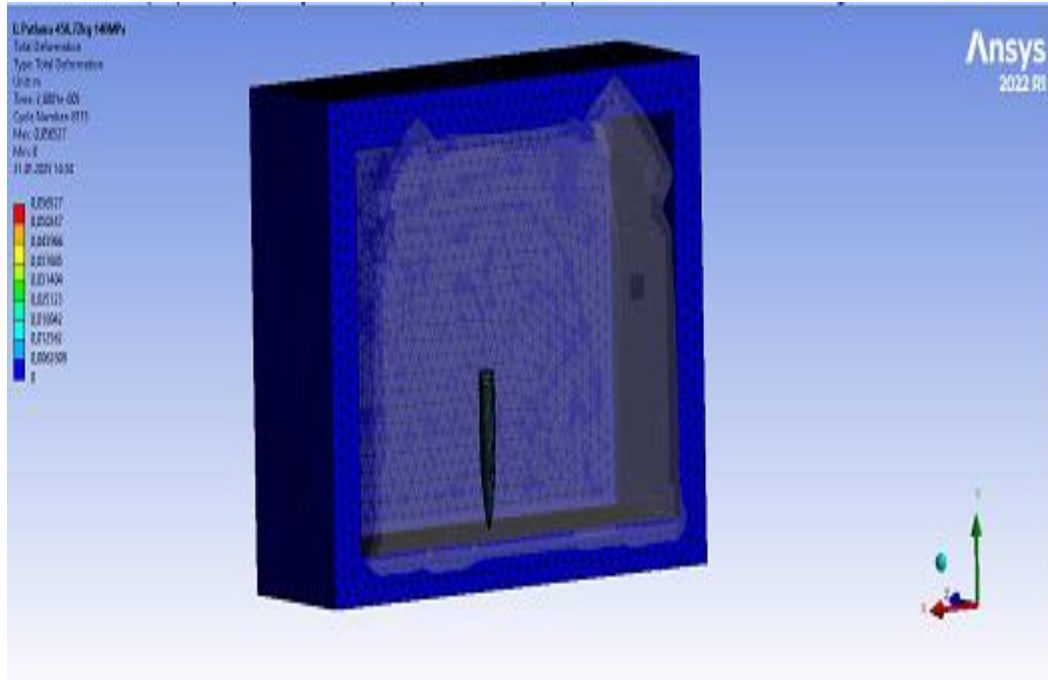


**Şekil 4.83: Mesh Modeli**

Patlama sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.84'te ve 3D modeli Şekil 4.85'te sunulmuştur.

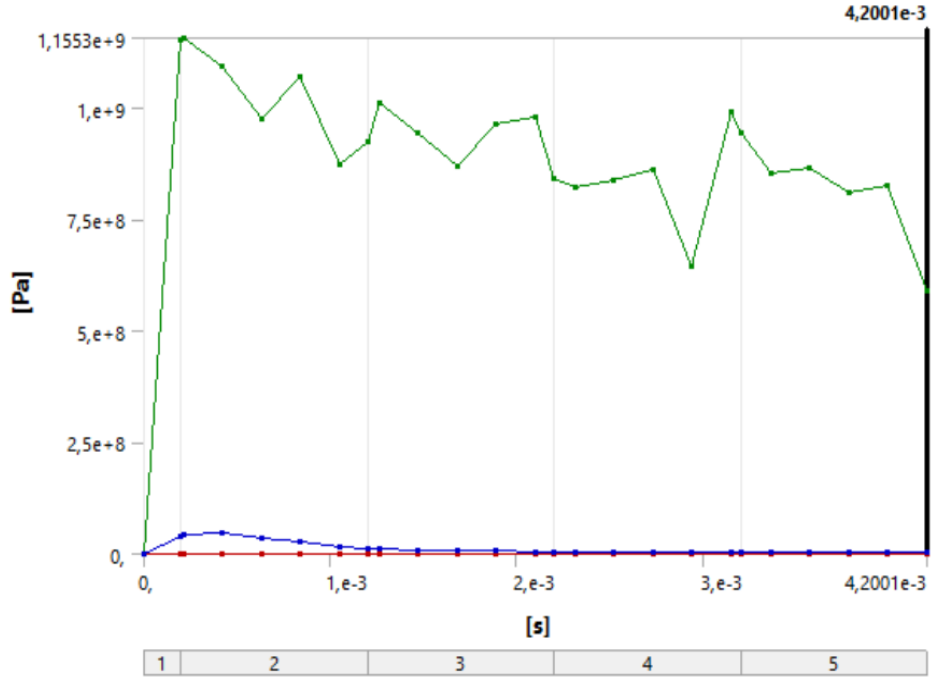


Şekil 4.84: Toplam Deformasyon Grafiği



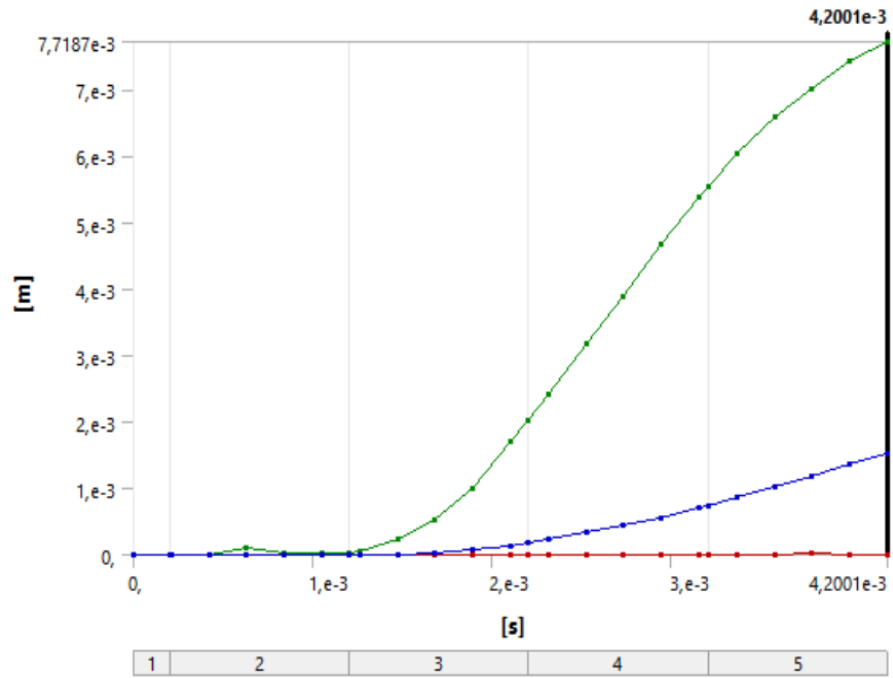
Şekil 4.85: Toplam Deformasyonun 3D Modeli

Patlama sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.86'da sunulmuştur.

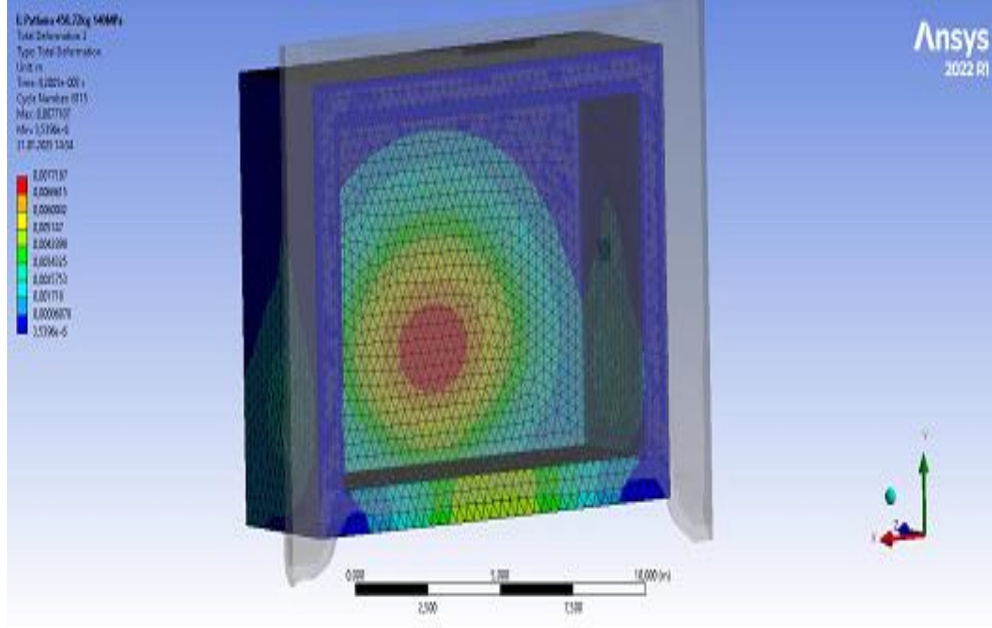


Şekil 4.86: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik

Patlama sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyon grafiği Şekil 4.87'de ve 3D modeli ise Şekil 4.88'de sunulmuştur.

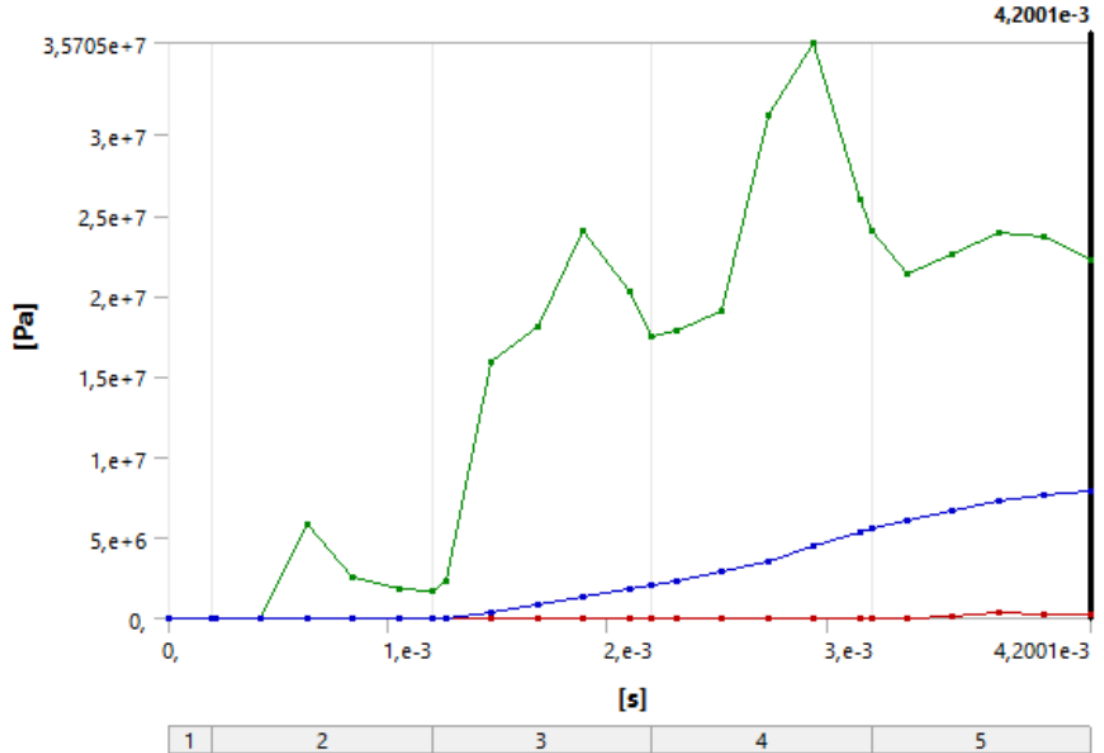


Şekil 4.87: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği

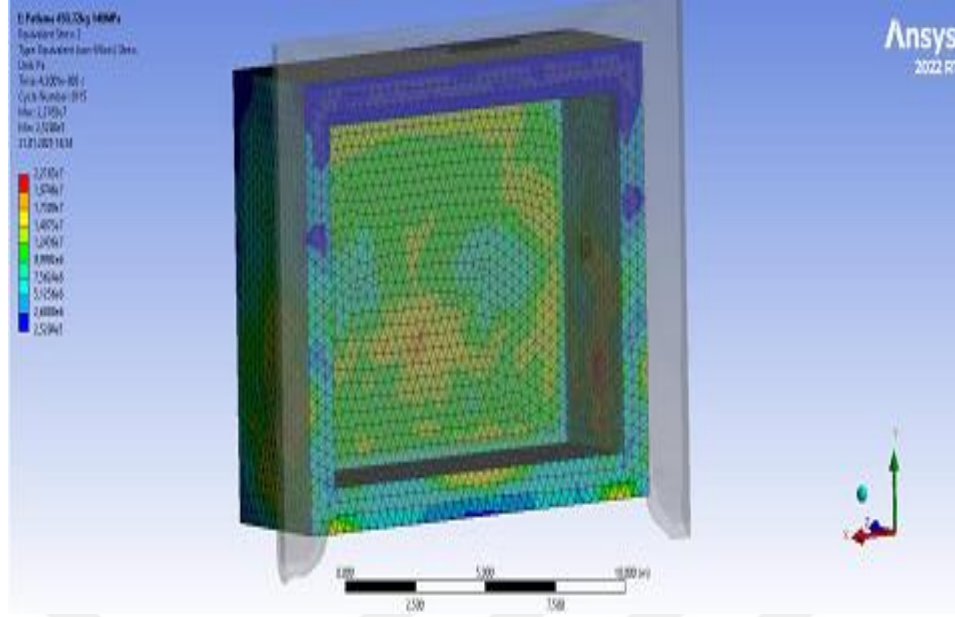


**Şekil 4.88: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli**

Patlama sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmenin grafiği Şekil 4.89’da ve 3D modeli ise Şekil 4.90’da sunulmuştur.

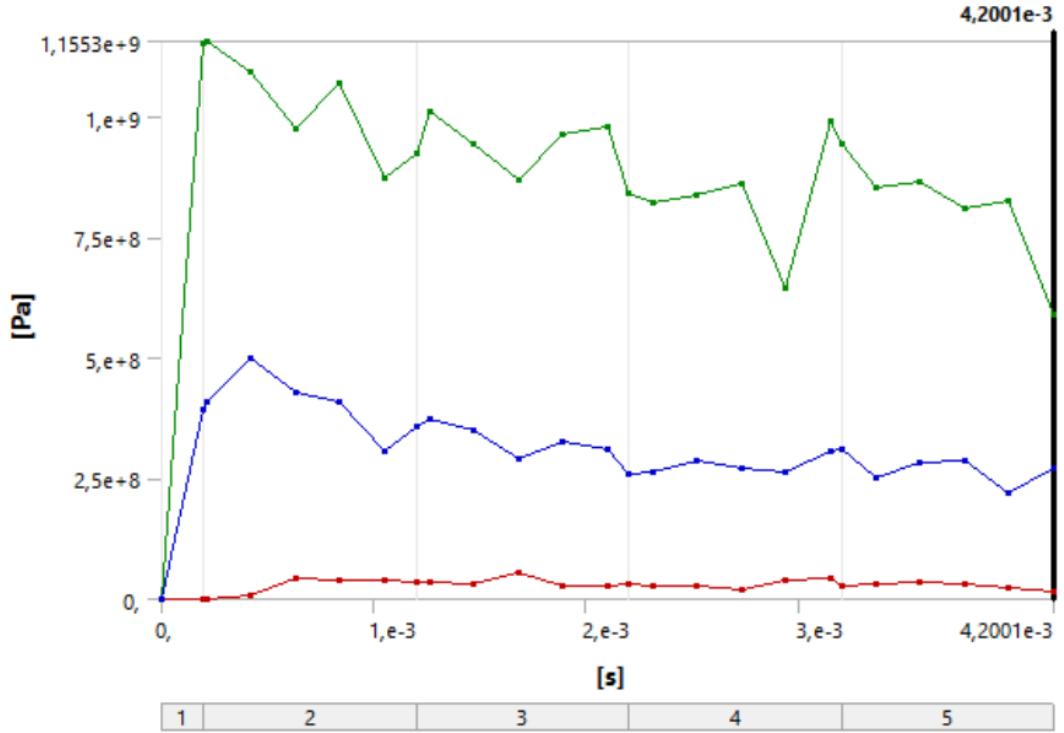


**Şekil 4.89: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**

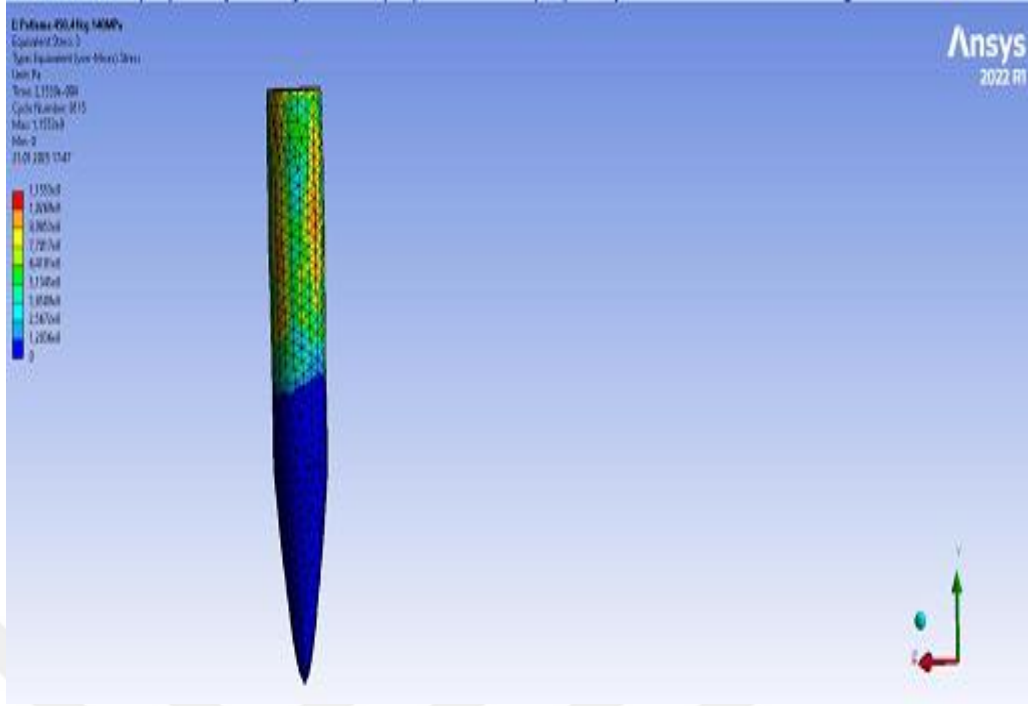


**Şekil 4.90: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

Patlama sonucu mühimmatın çelik gövdesinde oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmenin grafiği Şekil 4.91’de ve 3D modeli ise Şekil 4.92’de sunulmuştur.



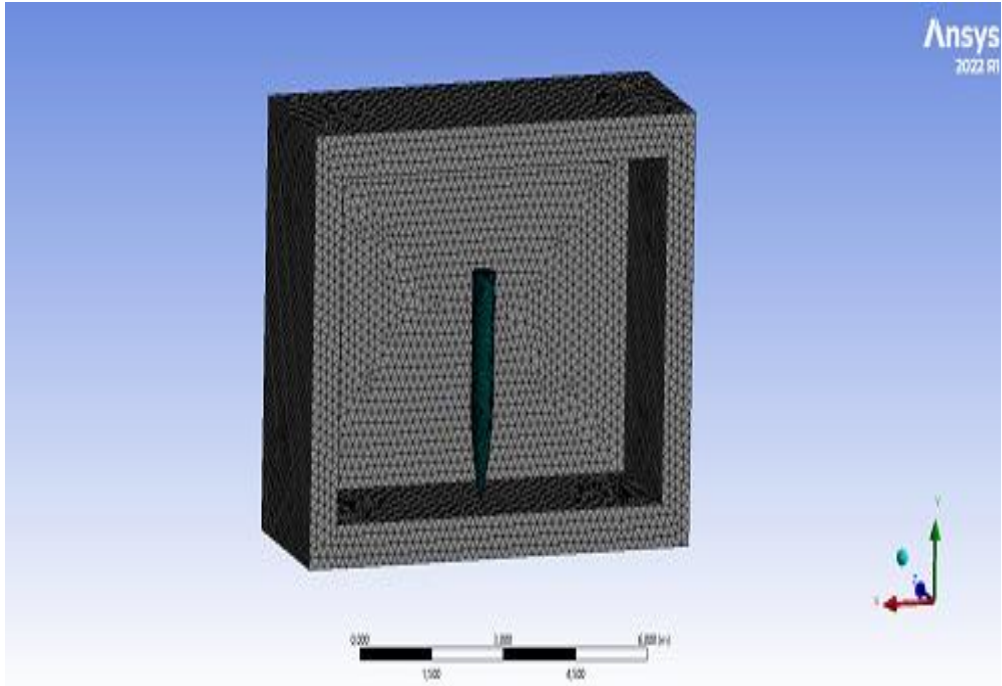
**Şekil 4.91: Mühimmatın Çelik Gövdesinde Oluşan Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik**



**Şekil 4.92: Mühimmatın Çelik Gövdesinde Oluşan Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli**

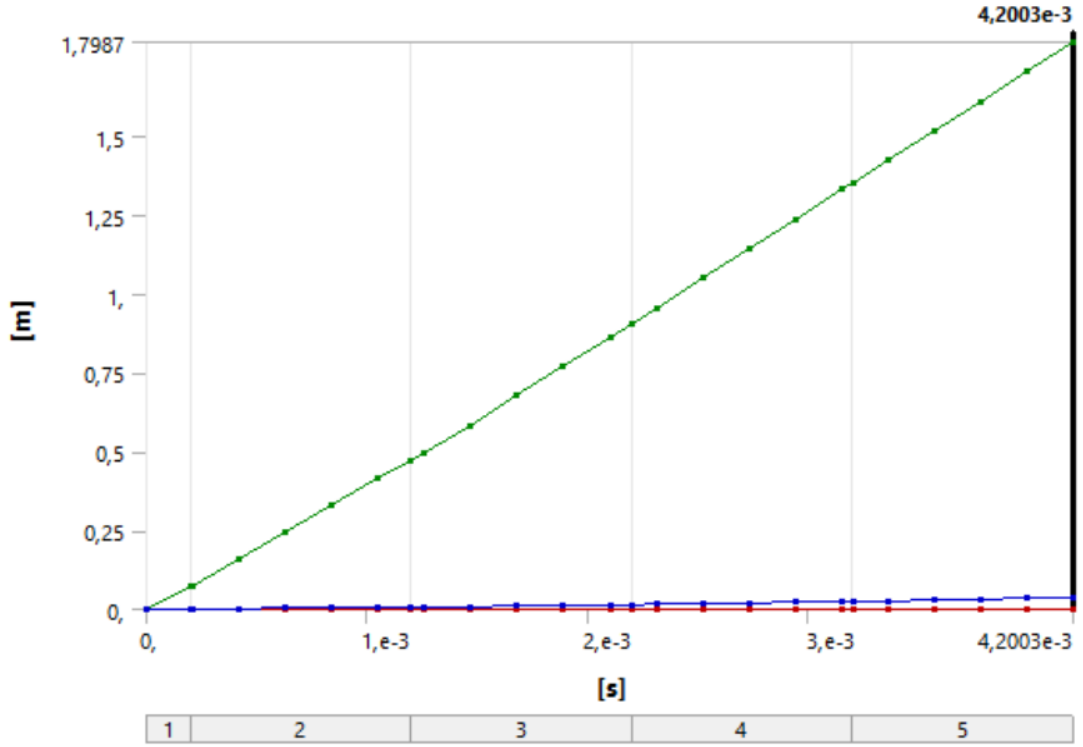
**Patlama Senaryosu 3:** Tek kademeli penetratör tipi mühimmatın 35 MPa basınç dayanımına sahip Küçük mağara yapısı içindeki patlama simülasyonu.

Söz konusu çarpma simülasyonuna ait mesh modeli Şekil 4.93'te sunulmuştur.

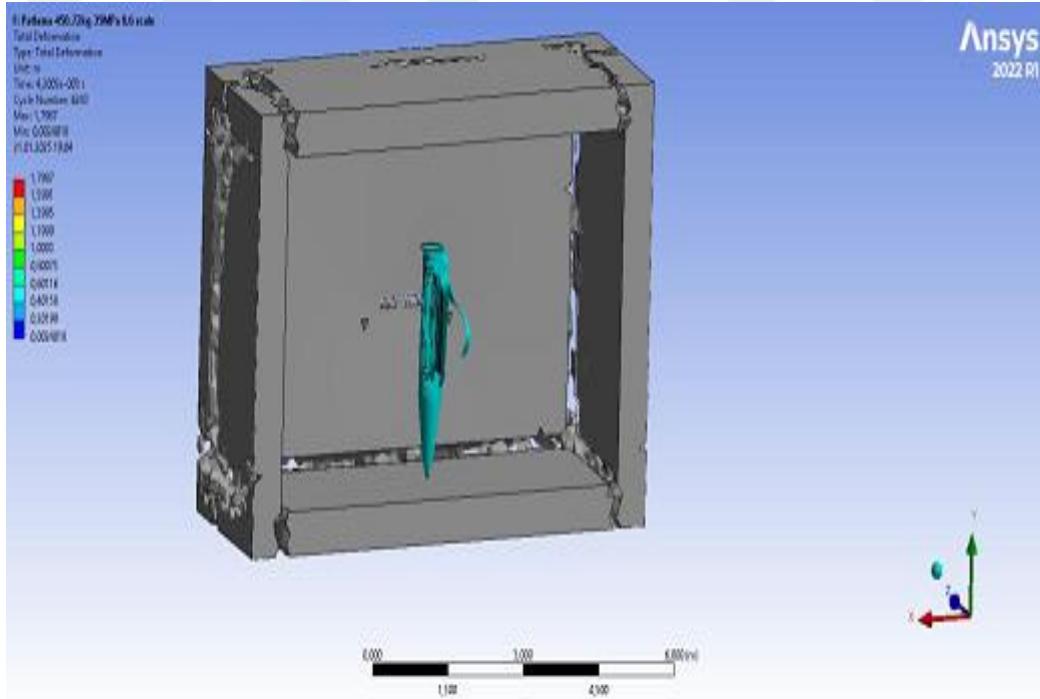


**Şekil 4.93: Mesh Modeli**

Patlama sonucu oluşan toplam deformasyonun grafiği Şekil 4.94'te ve 3D modeli Şekil 4.95'te sunulmuştur.

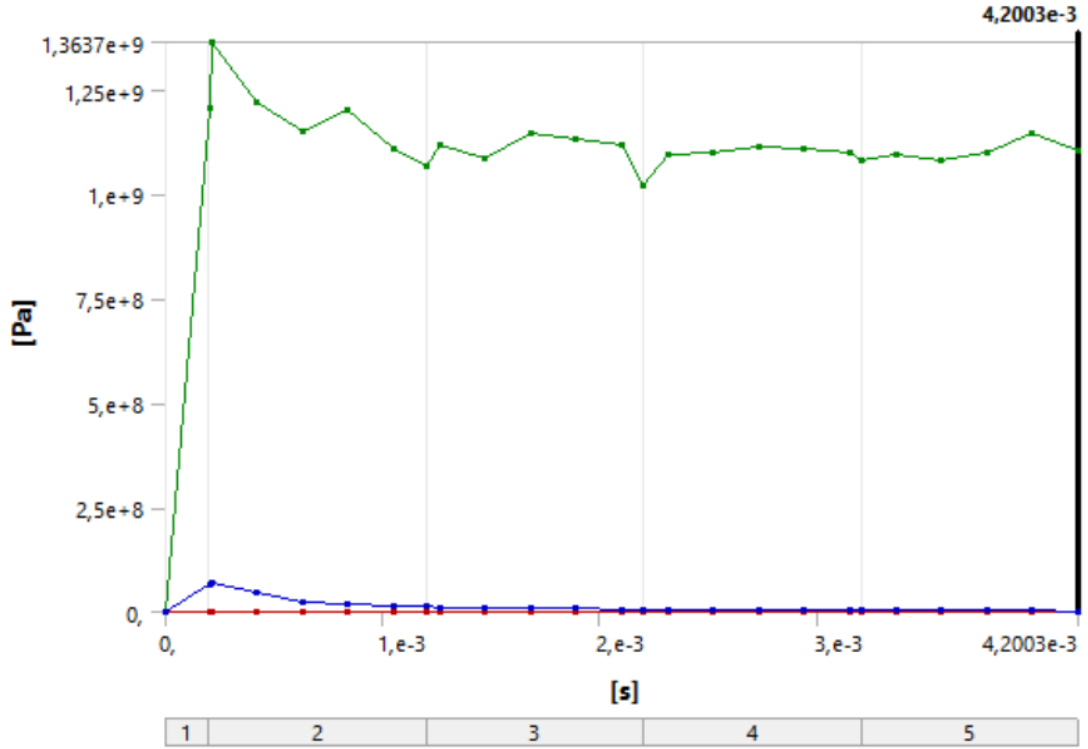


Şekil 4.94: Toplam Deformasyon Grafiği

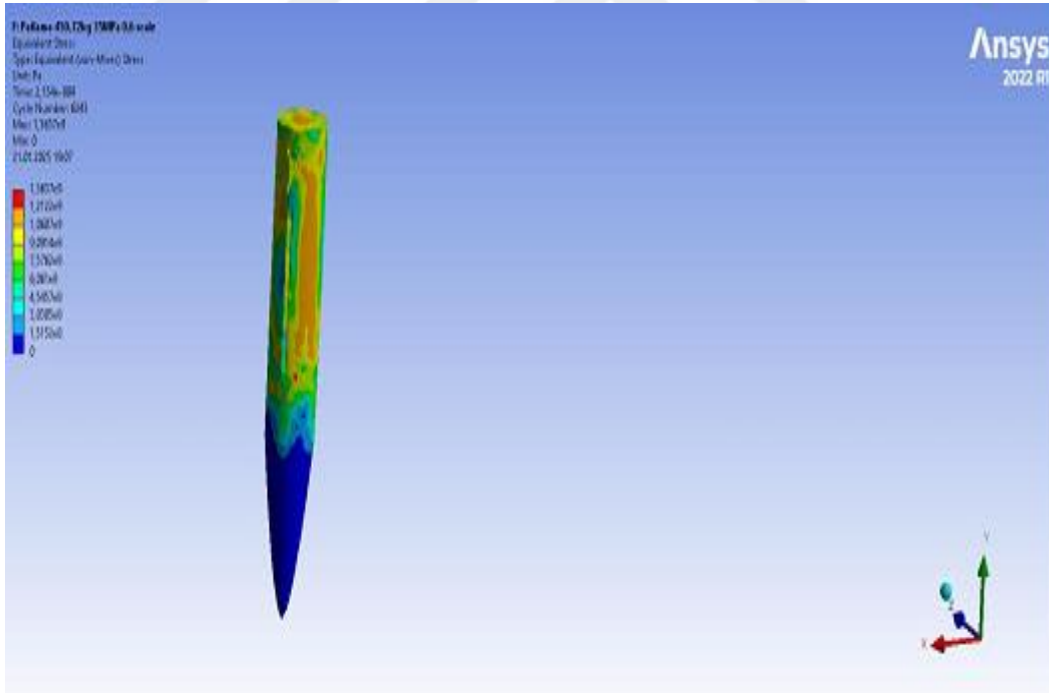


Şekil 4.95: Toplam Deformasyonun 3D Modeli

Patlama sonucu oluşan eşdeğer (von-Mises) gerilmesine ait grafik Şekil 4.96'da ve 3D modeli de Şekil 4.97'de sunulmuştur.

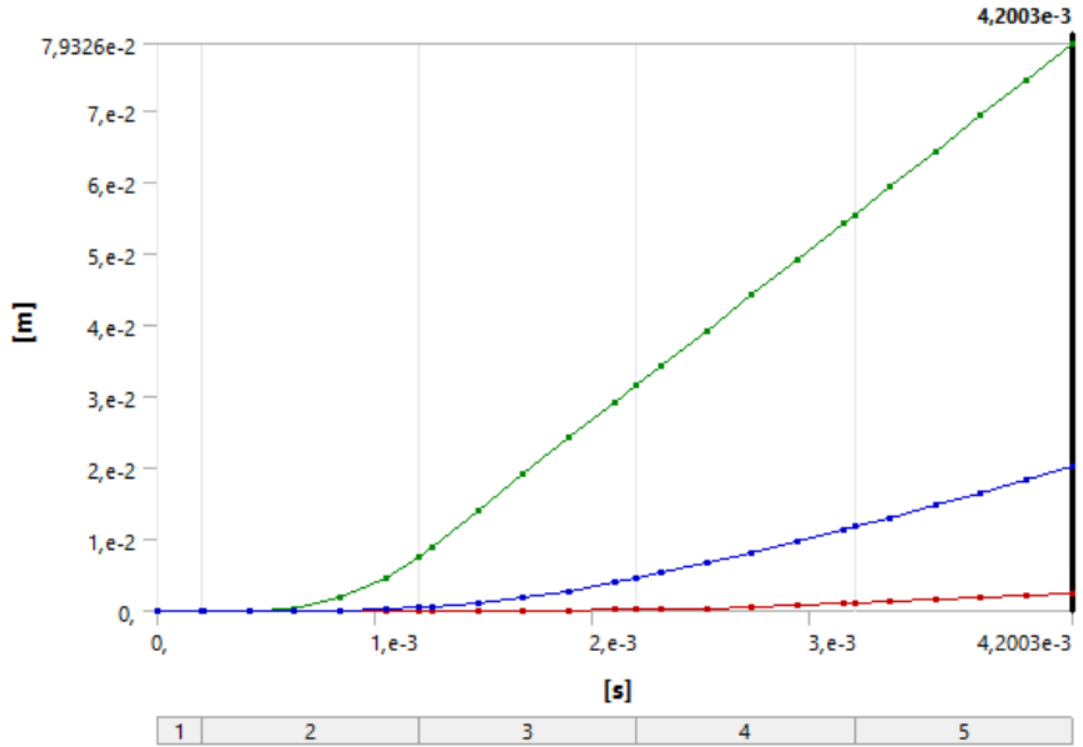


Şekil 4.96: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait Grafik

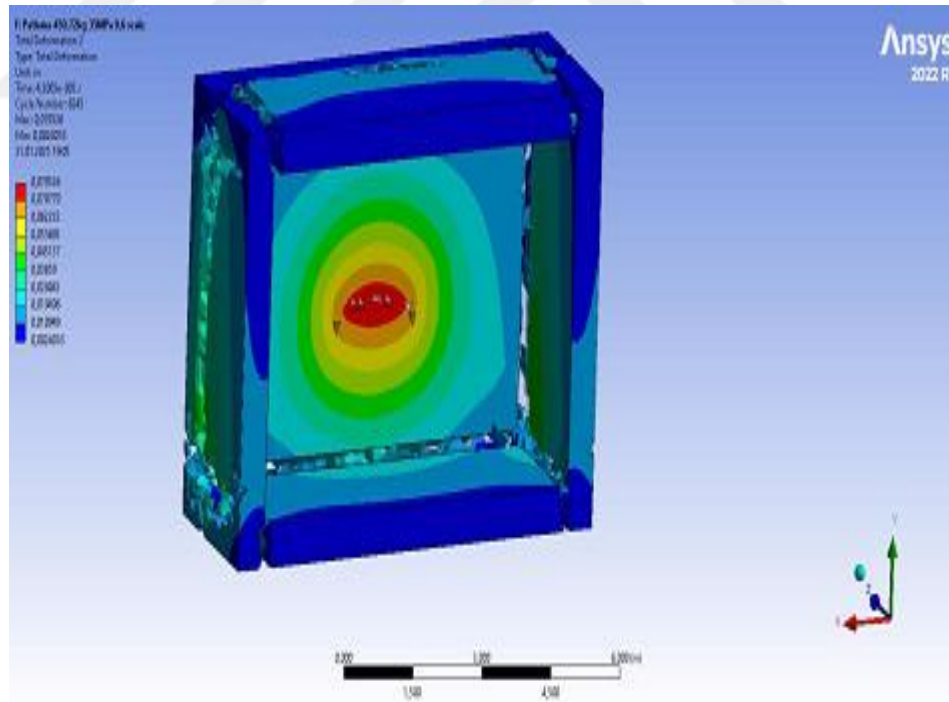


Şekil 4.97: Eşdeğer (von-Mises) Gerilmesine Ait 3D Modeli

Patlama sonucu oluşan beton yapıdaki toplam deformasyon grafiği Şekil 4.98’de ve 3D modeli ise Şekil 4.99’da sunulmuştur.

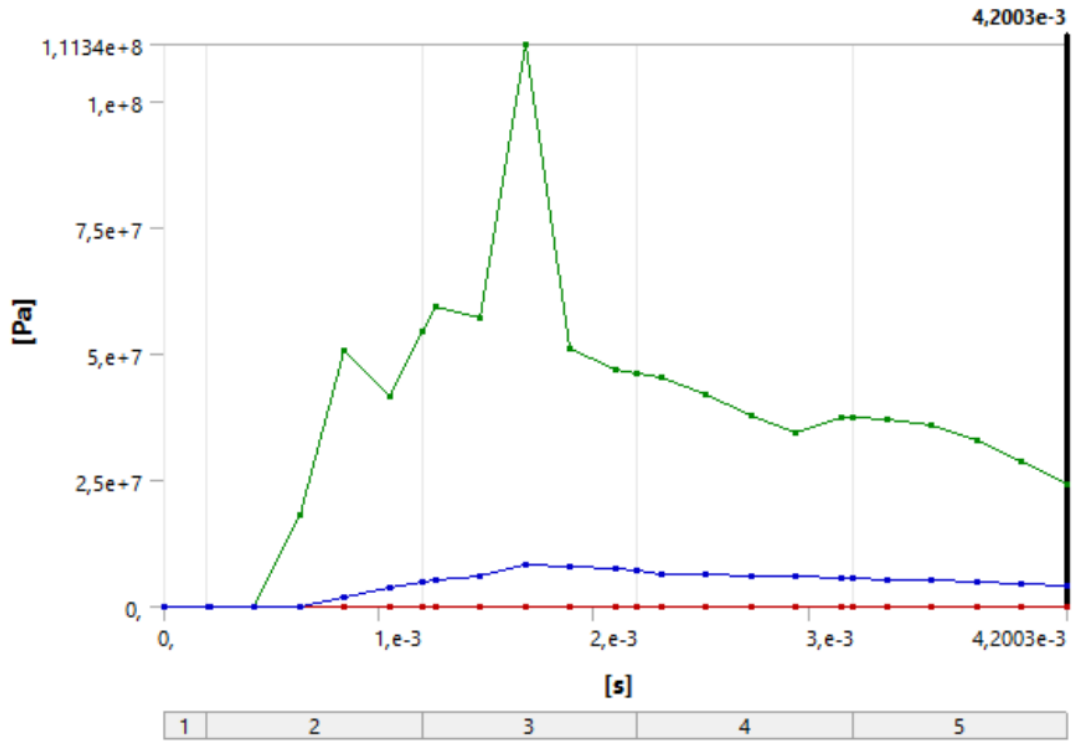


Şekil 4.98: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyon Grafiği

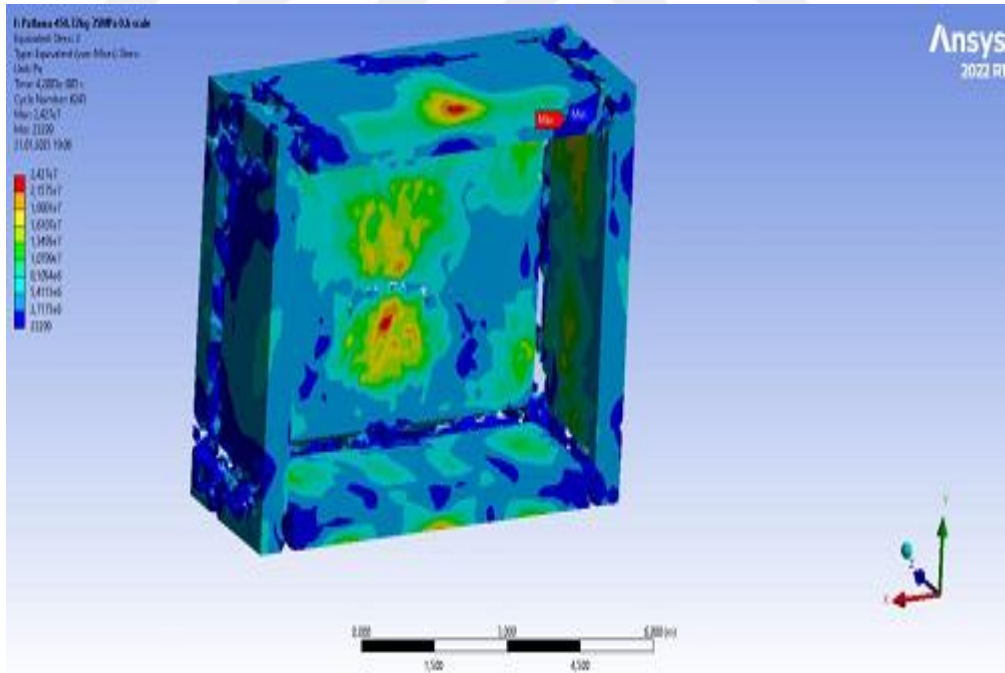


Şekil 4.99: Beton Yapıdaki Toplam Deformasyona Ait 3D Modeli

Patlama sonucu oluşan beton yapıdaki eşdeğer (von-Mises) gerilmenin grafiği Şekil 4.100'de ve 3D modeli ise Şekil 4.101'de sunulmuştur.



Şekil 4.100: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait Grafik



Şekil 4.101: Beton Yapıdaki Eşdeğer (von-Mises) Gerilmeye Ait 3D Modeli

## 5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1 Tartışma

Bu çalışmada, patlayıcı maddelerin tanımı, sınıflandırılması, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki karşılıklı etkileşimleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Patlayıcı maddelerin, özellikle kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri, mühimmatın etkinliğini doğrudan etkileyen en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Araştırma, bu maddelerin enerji salınım kapasitelerinin matematiksel hesaplamalarla belirlenmesi ve tek kademeli penetratör tipi mühimmatlar ile hedef yapılar arasındaki etkilerin sayısal simülasyonlarla analiz edilmesi yoluyla, mevcut literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemiştir. Bu bağlamda, enerji salınım kapasitelerinin ve etkileşimlerinin daha derinlemesine incelenmesi, mühimmatların etkinliğini artırmaya yönelik daha verimli tasarımlar için bilimsel bir temel sağlamaktadır.

Araştırmanın temel sorusu ve iddia hipotezi doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmada, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların patlayıcı madde içeriği ve fiziksel özelliklerinin sığınak ve mağara yapılarındaki tahribat düzeyine etkisinin incelenmesine odaklanılmıştır. Elde edilen bulgular, mühimmatların etkinliğini belirleyen temel parametrelerin yalnızca patlayıcı maddelerin kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleriyle sınırlı olmadığını; aynı zamanda mühimmatın çarpma hızı, hedef yapının malzeme bileşimi ve yapısal katmanları gibi faktörlerin de belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Bu bağlamda, bazı patlayıcı türlerinin enerji salınım kapasiteleri, ilgili patlama reaksiyonları temelinde matematiksel olarak analiz edilmiş ve bu patlayıcı madde türleri arasındaki değişkenlik detaylı bir şekilde incelenmiştir. TNT, RDX, HMX ve PETN gibi kimyasal patlayıcıların açığa çıkardığı enerji, oksijen balansı, hacim, yoğunluk, detonasyon hızı, patlayıcı gücü ve güç indeksi gibi temel parametreler açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, söz

konusu patlayıcı maddelerin ilgili parametrelerle olan etkileşimleri, aralarındaki karşılaştırmalı farklılıklar ve bu farklılıkların temelinde yatan nedenler, detaylı ve sistematik bir biçimde aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

Açığa çıkardıkları enerji miktarları açısından değerlendirildiğinde, incelenen patlayıcı maddeler en yüksekte en düşüğe doğru PETN, RDX, HMX ve TNT şeklinde sıralanmaktadır. PETN'nin bu sıralamada en yüksek değere sahip olmasının temel nedeni, molekül başına düşen yüksek enerjili nitro (-NO<sub>2</sub>) grupları ve güçlü oksijen dengesi sayesinde daha verimli bir yanma gerçekleştirmesidir. RDX ve HMX de yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen, PETN ile kıyaslandığında Karbon – Hidrojen – Oksijen dengesinin farklı olması nedeniyle açığa çıkan toplam enerji miktarı görece daha düşüktür. TNT ise düşük oksijen dengesi ve nispeten daha düşük bağ yıkım enerjisi nedeniyle en az enerji açığa çıkaran bileşik olarak sıralanmaktadır.

Oksijen dengesi (balansı) açısından değerlendirildiğinde, ilgili patlayıcı maddeler büyükten küçüğe doğru PETN, RDX/HMX ve TNT şeklinde sıralanmaktadır. Oksijen dengesi, bir patlayıcı maddenin kendi içinde tam oksidasyon reaksiyonunu gerçekleştirebilme kapasitesini belirleyen kritik bir faktör olduğundan PETN, moleküler yapısında bulunan fazla oksijen içeriği sayesinde diğer patlayıcı maddelere kıyasla daha iyi bir oksijen dengesine sahiptir. Ancak RDX ve HMX, PETN'ye kıyasla daha düşük bir oksijen fazlalığı içerdiğinden PETN'e kıyasla daha düşük bir oksijen dengesine sahiptir. TNT ise karbon ve hidrojen içeriği açısından daha zengin olmasına karşın oksijen bakımından yetersiz olduğundan, tam bir yanma için harici oksitleyiciye ihtiyaç duymaktadır.

Patlama sonucu açığa çıkan gaz hacmi açısından değerlendirildiğinde, patlayıcılar sırasıyla HMX, RDX, PETN ve TNT olarak sıralanmaktadır. Gaz hacmi, patlayıcı maddenin içerdiği karbon, hidrojen, oksijen ve azot oranlarına bağlı olup birim kütle başına hesaplandığında HMX ve RDX, yapılarında yüksek oranda azot içerdiğinden, patlama reaksiyonu sırasında daha büyük miktarda gaz açığa çıkarmaktadır. PETN, gaz oluşumu açısından HMX ve RDX kadar yüksek bir kapasiteye sahip olmamakla birlikte, TNT'ye kıyasla daha fazla gaz açığa çıkarmaktadır.

Patlayıcı maddelerin yoğunlukları en yüksekten en düşüğe doğru HMX, RDX, PETN ve TNT şeklinde sıralanmaktadır. Yoğunluk, bir patlayıcı maddenin birim hacim başına ne kadar enerji depolayabileceğini belirleyen önemli bir parametre olup HMX, yüksek moleküler ağırlığa ve yoğun bir kristal yapıya sahip olduğundan en yüksek yoğunluğa sahiptir. Ancak RDX de benzer şekilde yüksek yoğunluklu bir patlayıcı madde olmasına karşın HMX kadar yoğun bir kristal yapıya sahip olmadığından yoğunluğu HMX'ten düşüktür. PETN ise HMX ve RDX'e göre daha düşük yoğunluğa sahip olmasına karşın TNT'ye kıyasla daha yüksek bir yoğunluk sergilemektedir. TNT'nin en düşük yoğunluğa sahip olması, nispeten daha düşük moleküler ağırlığı ve daha gevşek kristal yapısından kaynaklanmaktadır.

Detonasyon (patlama) hızı açısından yapılan değerlendirmede, patlayıcı maddelerin sıralaması büyükten küçüğe doğru HMX, RDX, PETN ve TNT olarak belirlenmiştir. HMX'in yüksek detonasyon hızına sahip olmasının temel nedeni, yüksek yoğunluğu ve güçlü moleküler bağlarından kaynaklanmaktadır. Ancak RDX, detonasyon hızı açısından HMX'e benzer performans sergilese de, kristal yapısının farklılığı nedeniyle bir miktar daha düşük bir detonasyon hızına sahiptir. PETN, yüksek enerji içeriğine sahip olmasına rağmen, RDX ve HMX kadar yoğun olmadığı için detonasyon hızı açısından bu iki patlayıcı maddenin gerisinde kalmaktadır. TNT ise, daha düşük yoğunluğu ve nispeten zayıf moleküler yapısı nedeniyle en düşük detonasyon hızına sahiptir.

Patlayıcı gücü açısından yapılan hesaplama sonucunda, RDX en yüksek değere sahipken, onu sırasıyla HMX, PETN ve TNT takip etmektedir. Patlayıcı gücü, patlama sırasında açığa çıkan enerjinin hedef üzerinde oluşturduğu fiziksel ve kimyasal tahribat kapasitesini belirleyen bir faktördür. Açığa çıkan enerji miktarı bakımından PETN en yüksek değere sahip olmasına rağmen, patlayıcı güç açısından RDX'in üstün olmasının temel nedenleri arasında, patlama sonucu açığa çıkan gaz hacmi ile enerji salınımı arasındaki doğrusal ilişki ve kristal yapısının şok dalgalarını verimli bir şekilde iletme yeteneği bulunmaktadır. HMX, her ne kadar yapısal olarak RDX'e benzese de, detonasyon hızı açısından daha yüksek değerlere sahip olmasına rağmen, reaktiflik açısından nispeten daha düşük kalmaktadır. PETN ise yüksek enerji içeriğine sahip olmasına karşın, patlama sonucunda birim kütle başına daha az miktarda gaz hacmi açığa çıkarması nedeniyle patlayıcı güç açısından RDX ve HMX'in gerisinde yer almaktadır. Öte yandan, TNT düşük enerji salınım

kapasitesi ve düşük detonasyon hızı nedeniyle incelenen patlayıcılar arasında en düşük patlayıcı güce sahip patlayıcı maddedir.

Güç indeksi açısından bakıldığında, en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla RDX, HMX, PETN ve TNT şeklinde bir sıralama elde edilmektedir. Güç indeksi, patlayıcı maddenin enerji salınım verimliliğini ve tahrip gücünü belirleyen bir parametre olup, referans olarak pikrik asit baz alınmıştır. RDX'in en yüksek güç indeksine sahip olmasının temel nedeni, patlayıcı gücünün hesaplanan diğer kimyasal patlayıcılarla kıyaslandığında daha yüksek değerlere sahip olmasıdır.

Ayrıca, kimyasal patlayıcı maddelere ilişkin matematiksel hesaplamaların yanı sıra, fisyon reaksiyonu sonucunda Uranyum-235 atomunun nötron bombardımanına uğrayarak ağır atom çekirdeğinin parçalanması ve Baryum-141 ile Kripton-92'ye dönüşmesi neticesinde açığa çıkan enerji miktarı da teorik olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen bulgular, nükleer patlayıcı maddelerin açığa çıkardığı enerji miktarının kimyasal patlayıcı maddelere kıyasla oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Bu farkın temel nedeni, her iki sistemin enerji üretim mekanizmalarının farklı süreçlere dayanmasıdır. Kimyasal patlayıcı maddeler, yanma veya patlama sırasında kimyasal bağların kopması ve yeni bağların oluşmasıyla enerji açığa çıkaran kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Buna karşılık, nükleer patlayıcılar, atom çekirdeğinin parçalanması (fisyon) veya birleşmesi (füzyon) yoluyla enerji üreten nükleer reaksiyonlara dayanmaktadır. Bu nedenle, kimyasal reaksiyonlarla kıyaslandığında nükleer reaksiyonlar milyonlarca kat daha yüksek bir enerji açığa çıkarmaktadır. Bu büyük fark, nükleer bağ enerjilerinin kimyasal bağ enerjilerine kıyasla çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Öte yandan, araştırma, "Tek kademeli penetratör tipi mühimmatların etkinliği, hedef yapıların boyutları, katmanlı olup olmadıkları, malzeme özellikleri ve kalınlıkları gibi yapısal faktörlerin yanı sıra, mühimmatın çarpma hızına bağlı olarak nasıl bir değişkenlik göstermektedir?" sorusuna dayanan Araştırma sorusu 2 ve bu kapsamda geliştirilen H<sub>1</sub> hipotezi doğrultusunda yürütülmüştür. Bu doğrultuda, dört katmansız ve dörtte katmanlı (1 m kalınlığında kum katmanı içeren) hedef yapı olmak üzere toplam sekiz hedef yapı (35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımlarına sahip) üzerinde farklı hızlardaki tek kademeli penetratör tipi mühimmatın çarpma

etkisi simüle edilmiştir. Bununla birlikte, üç farklı özellikteki hedef yapı içerisinde mühimmatın patlama etkisi de modellenerek analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen bu simülasyon senaryoları neticesinde elde edilen bulgular, mühimmatın hedef yapı üzerindeki penetrasyon performansının, mühimmatın hızına, yapı malzemesinin dayanım seviyesine, kalınlığına ve katmanlı olup olmamasına doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analizler kapsamında, söz konusu faktörlerin etkisi farklı senaryolar üzerinden karşılaştırılarak aşağıda ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

**Çarpma Senaryosu 1 ve 2:** 300 m/s çarpma hızına sahip 4340 çelik gövdeli mühimmatın 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip 1 m kalınlığındaki hedef yapılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlgili analizler sonucunda, betonun toplam deformasyonu açısından değerlendirildiğinde, 140 MPa basınç dayanımına sahip betonun, 35 MPa basınç dayanımına sahip betona kıyasla daha yüksek deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni, 140 MPa'lık betonun daha sert ve daha küçük gözenekli bir yapısı nedeniyle darbe enerjisinin, 35 MPa betona kıyasla nispeten daha sınırlı bir bölgede yoğunlaşarak yüksek iç gerilmeler oluşturmasıdır. Bununla birlikte, sistem genelindeki toplam deformasyon incelendiğinde, 35 MPa basınç dayanımına sahip hedef yapının, 140 MPa basınç dayanımına sahip hedef yapıya kıyasla daha yüksek deformasyona uğradığı tespit edilmiştir. Bu farklılığın temel nedeni, toplam deformasyonun yalnızca betonun toplam deformasyonu ile sınırlı kalmayıp, sistemin tamamındaki deformasyonu içermesidir. Her iki seneryado değişken tek parametre betonun basınç dayanımı olduğundan, toplam deformasyondaki farklılık esasen mühimmat üzerindeki deformasyondan kaynaklanmaktadır. Daha düşük basınç dayanımına sahip (35 MPa) betonun, daha büyük gözenek yapısına sahip olması nedeniyle, 140 MPa dayanımındaki betona kıyasla kırılma mekanizması daha az gerçekleşmekte ancak malzeme daha fazla esnediğinden mühimmatın daha fazla deformasyona uğramasına neden olmaktadır.

Diğer taraftan 140 MPa basınç dayanımına sahip betonun eşdeğer stresi, 35 MPa basınç dayanımına sahip betonun eşdeğer stresinden daha büyük olarak görülmüştür. Bunun temel nedeni, sert malzemeler yükleme sırasında gerilimi daha az sönmüleyerek daha büyük iç gerilmeler oluşturduğundan daha kırılğan ve gerilme birikimi daha yüksek olmasıdır. Toplam eşdeğer stres ise, betonun eşdeğer stresine kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Her ne kadar bu değer, toplam eşdeğer

stres olarak ifade edilse de, aslında burada hesaplanan stres, çok büyük oranda mühimmat yapısına ait eşdeğer stresi temsil etmektedir. Bunun temel nedeni, beton yapıdaki eşdeğer stresin  $10^7$  ve  $10^8$  mertebesinde iken toplam eşdeğer stresin  $10^9$  mertebesinde hesaplanmasıdır. Ayrıca, 140 MPa dayanımlı betondaki toplam eşdeğer stresin 35 MPa dayanımlı betona kıyasla daha yüksek çıkmasının nedeni, yüksek mukavemetli betonun darbe sırasında mühimmat üzerinde daha büyük bir stres oluşturmasıdır. Yüksek dayanımlı beton, daha sert ve daha rijit bir yapı sergilediğinden, darbe enerjisinin daha büyük bir kısmı mühimmat yapısına iletilmekte ve mühimmat üzerindeki gerilme seviyesini artırmaktadır.

**Çarpma Senaryosu 1 ve 3:** 300 m/s ve 400 m/s çarpma hızlarına sahip mühimmatların, 35 MPa basınç dayanımına sahip ve 1 m kalınlığındaki hedef yapılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, çarpma hızı daha yüksek olan mühimmatın betondaki toplam deformasyonunun, daha düşük hızdaki mühimmata kıyasla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, bu artış oranının oldukça sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu durumun temel nedeni, çarpma hızının artmasıyla darbe anında betonun maruz kaldığı gerilmelerin artmasına rağmen, betonun enerji emme kapasitesinin belirli bir sınırdan kalmasıdır. Daha yüksek hızlarda, betonun darbe enerjisini absorbe etme mekanizması büyük ölçüde değişmeden devam etmekte ve böylece deformasyon artışı sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, toplam deformasyon açısından değerlendirildiğinde, 400 m/s çarpma hızına sahip mühimmat, 300 m/s çarpma hızındaki mühimmata kıyasla daha yüksek deformasyona neden olmaktadır. Bu durumun temel nedeni ise, çarpma hızının artmasıyla birlikte mühimmat ve hedef yapı arasındaki etkileşimin daha yoğun hale gelmesi ve darbe anında hedef yapıya aktarılan enerjinin artmasıdır. Yüksek hızdaki çarpışmalarda, betonun enerji absorpsiyon kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle, mühimmat üzerindeki deformasyonun da artması kaçınılmaz hale gelmektedir. Bununla birlikte, 300 m/s ve 400 m/s çarpma hızlarına sahip mühimmatların, 35 MPa basınç dayanımına sahip betonda oluşturduğu eşdeğer stres incelendiğinde, 400 m/s hızındaki mühimmatın beton üzerinde oluşturduğu eşdeğer stresin, 300 m/s hızındaki mühimmata kıyasla yalnızca küçük bir oranda arttığı tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni, çarpma hızının artmasıyla birlikte betonun maruz kaldığı gerilme seviyesinin yükselmesine rağmen, malzemenin dinamik dayanım özelliklerinin belirli bir sınırdan dâhilinde kalmasıdır. Yüksek hızlardaki çarpışmalarda, betonun darbe

enerjisini absorbe etme kapasitesi belirli bir noktaya kadar etkili olmakta, dolayısıyla eşdeğer stres artışı sınırlı kalmaktadır. Toplam eşdeğer stres açısından değerlendirildiğinde, 400 m/s hızındaki mühimmat ile beton etkileşiminde oluşan toplam eşdeğer stresin, 300 m/s hızındaki duruma kıyasla arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın temel nedeni, çarpma hızındaki artışla birlikte mühimmatın kinetik enerjisinin ve momentumunun önemli ölçüde yükselmesidir. Daha yüksek çarpma hızlarında, mühimmatın taşıdığı enerji ve uyguladığı kuvvetin artması, toplam eşdeğer stresin yükselmesine neden olmaktadır.

**Çarpışma Senaryosu 3 ve 4:** 400 m/s çarpma hızına sahip mühimmatların, 35 MPa basınç dayanımına sahip 1 m ve 2 m kalınlığındaki hedef yapılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, betondaki toplam deformasyon, toplam deformasyon, betondaki eşdeğer stres ve toplam eşdeğer stresin hedef yapının kalınlığının artışı ile birlikte azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalışların temel nedeni, hedef yapı kalınlığının arttıkça mühimmatın hedef yapıya ilettiği enerjinin daha geniş bir alana yayılması ve yapının bu enerjiyi daha fazla emerek dağıtmasıdır. Kalın yapılar, darbe enerjisini daha etkin bir şekilde absorbe eder ve bu da deformasyonların ve eşdeğer streslerin azalmasına yol açmaktadır.

**Çarpma Senaryosu 5 ve 6:** 1 m kum ve 1 m 35 MPa basınç dayanımına sahip betondan oluşan katmanlı bir hedef yapıya 400 m/s ve 450 m/s çarpma hızlarına sahip mühimmatların etkisi simüle edilmiştir. Simülasyon sonucunda, mühimmatların hedef yapı üzerinde penetrasyon sağlamakta başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Bu başarısızlığın temel nedeni, 1 m'lik kum katmanının yüksek enerji sönmülleme kapasitesi olduğundan kum katmanı, darbeye maruz kaldığında, mühimmatın kinetik enerjisini etkili bir şekilde absorbe ederek enerjinin önemli bir kısmını sönmülendirmesidir. Bu durum, mühimmatın hedef yapıya ilettiği enerji miktarını düşürmekte ve penetrasyonun gerçekleşmesini engellemektedir. Bunun yanı sıra, kumun düşük mukavemeti ve yüksek deforme olabilme yeteneği, mühimmatın ilerlemesini sınırlayarak penetrasyon başarısını olumsuz etkileyen bir diğer faktör olarak öne çıkmaktadır.

**Çarpma Senaryosu 7 ve 8:** 4340 çelik gövdeli mühimmatların 600 m/s çarpma hızıyla, 35 MPa ve 140 MPa basınç dayanımına sahip 1 m kalınlığındaki betondan oluşan ve üzerine 1 m kalınlığında kum katmanı eklenmiş hedef yapılar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Söz konusu analizler sonucunda, 140 MPa

basınç dayanımına sahip betonun, 35 MPa basınç dayanımına sahip betona kıyasla deformasyonların ve eşdeğer streslerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni, yüksek basınç dayanımına sahip betonun daha düşük süneklik göstermesi ve kırılğan davranış sergilemesidir. 140 MPa basınç dayanımına sahip beton, daha yoğun ve daha düşük gözenekliliğe sahip bir mikro yapı içerdiğinden, darbe etkisi altında enerji yutma kapasitesi sınırlıdır. Bu nedenle, çarpma sırasında betonun gerilme yoğunluğu artarak daha yüksek eşdeğer stres ve deformasyon oluşmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, 35 MPa dayanımına sahip beton, daha yüksek süneklik gösterdiğinden, yük aktarımı sırasında daha fazla deformasyona uğrayarak enerjiyi daha homojen dağıtabilmektedir. Kısacası, yüksek dayanımlı beton kırılğan doğası, darbe yükleri altında daha yüksek iç gerilmeler ve deformasyonlar oluşturmasına yol açmaktadır.

Öte yandan, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların, 35 MPa ve 140 MPa beton dayanımına sahip betonlardan oluşan büyük mağara yapıları ile 35 MPa dayanımlı beton kullanılarak inşa edilmiş küçük mağara yapıları içerisindeki patlama etkisi, üç farklı senaryo üzerinden modellenmiştir. Bu senaryolar doğrultusunda yapılan analizler, patlamanın yapısal bütünlük üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Mühimmat patlamasına karşı betonun gösterdiği tepki, dayanımını deformasyon ve eşdeğer stres değerleri üzerinden incelenmiş olup, bu değerlendirmeler ilgili senaryolar kapsamında aşağıda sunulmaktadır.

***Patlama Senaryosu 1 ve 2:*** (14, 10, 5) geometrisine sahip, 35 MPa ve 140 MPa beton dayanımına sahip, 1 m kalınlığındaki hedef yapı (büyük mağara) içerisinde gerçekleşen mühimmat patlamalarının etkileri analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, 35 MPa beton dayanımına sahip büyük mağara yapısının toplam deformasyon, toplam eşdeğer stres ve beton içindeki deformasyon açısından, 140 MPa beton dayanımına sahip mağara yapısına kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durumun temel nedeni, yüksek dayanımlı betonun (140 MPa) patlama etkilerine karşı daha dirençli olmasıdır. Ancak betondaki eşdeğer gerilme açısından değerlendirildiğinde, aynı sebeple 35 MPa beton dayanımına sahip büyük mağara yapısının, 140 MPa beton dayanımına sahip büyük mağara yapısına kıyasla daha düşük eşdeğer gerilme değerleri sunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mühimmat gövdesi üzerinde yapılan incelemede mühimmat gövdesindeki eşdeğer stresin betondaki eşdeğer strese nazaran çok fazla olduğu ve bu

durumun toplam eşdeğer stresin betondaki eşdeğer stresten çok daha fazla olmasının temelini teşkil ettiği gözlenmiştir.

**Patlama Senaryosu 1 ve 3:** 35 MPa beton dayanımına sahip, 1 m kalınlığındaki (14, 10, 5) geometrisine sahip büyük mağara ile (8.4, 6.0, 3.0) geometrisine sahip küçük mağara içerisinde gerçekleşen mühimmat patlamalarının etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toplam deformasyon, toplam eşdeğer stres, betondaki deformasyon ve betondaki eşdeğer stres değerlerinin, küçük mağarada büyük mağaraya kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun temel nedeni, küçük mağara yapısının boyutlarının daha küçük olması ve mühimmat patlaması sonucu açığa çıkan şok dalgaları ile patlama enerjisine daha kısa mesafede maruz olmasıdır.

Özetle, gerçekleştirilen matematiksel hesaplamalar ve simülasyon analizleri sonucunda elde edilen bulgular, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerini, farklı parametreler doğrultusunda ortaya koymuştur. Bu bulgular, mühimmat etkilerinin yapısal bütünlük üzerindeki sonuçlarını değerlendirmek ve hem savunma amaçlı yapısal tasarımlar hem de saldırı amaçlı mühimmat tasarımlarına yönelik stratejik bilgiler sağlamak açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

## 4.2 Sonuç

Patlayıcı maddeler, Antik Çağ'dan günümüze kadar hem askerî hem de sivil alanlarda kritik bir rol üstlenmiş olup, mühimmat teknolojileri açısından temel bir araştırma konusunu teşkil etmektedir. Bu maddeler, savaş stratejilerinin şekillendirilmesinde, altyapıların tahribatında ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda önemli işlevler üstlenmiş; teknolojik ilerlemelerle birlikte etkinlik ve verimlilik açısından sürekli bir evrim geçirmiştir. Hem patlayıcı maddelerin hem de mühimmat sistemlerinin tasarımı, bu alandaki gelişmelerin temel itici güçlerinden biri olmuş ve daha etkili, hedef odaklı mühimmatların üretilmesine olanak tanımıştır.

Araştırma kapsamında, patlayıcı maddeler daha geniş bir perspektiften ele alınarak kapsamlı ve sistematik bir yaklaşım benimsenmiş; bu bağlamda, patlayıcı maddeler kimyasal ve nükleer patlayıcılar olarak iki ana grupta sınıflandırılmıştır. Kimyasal patlayıcılar, içeriklerindeki temel elementler ve bileşikler göz önünde

bulundurulur, nükleer patlayıcılar ise atom çekirdeklerinin büyüklüğü dikkate alınarak alt sınıflara ayrılmıştır. Bu ayırım, her iki patlayıcı türünün yapısal özelliklerini daha derinlemesine anlaşılmasını sağlarken uygulamalardaki farklılıkları da net bir şekilde ortaya koymuştur. Ayrıca, bazı belirli patlayıcı türlerinin enerji salınım kapasitelerinin matematiksel olarak hesaplanması, bu maddelerin etkinlik düzeylerini daha somut bir şekilde değerlendirilmesine ve tasarım süreçlerinde daha doğru yönlendirmeler yapılmasına imkân tanımıştır.

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen matematiksel hesaplamalar ve sayısal simülasyonlar ışığında, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli bulgular ortaya konmuştur. Elde edilen veriler, mühimmatların etkinliğini belirleyen temel faktörlerin yalnızca kullanılan patlayıcı madde türleri, özellikleri ve enerji salınımı gibi parametrelerle sınırlı olmadığını, aynı zamanda mühimmatın çarpma hızı, hedef yapıların malzeme bileşimi, katman yapısı ve dayanım seviyesi gibi birçok parametrenin de önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle, mühimmatın çarpma hızı ve hedef yapının malzeme mukavemeti arasındaki ilişki, mühimmat tasarım süreçleri açısından belirleyici bir değişken olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, enerji salınım kapasiteleri ve patlayıcı madde türleri arasındaki karşılaştırmalar, mühimmatların etkinliğini artırmaya yönelik daha verimli tasarımlar geliştirilmesi için bilimsel bir temel oluşturmaktadır.

Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların penetrasyon performanslarının mühimmat hızı, hedef yapının dayanımı ve yapısal özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterebileceği belirlenmiştir. Yapılan analizler, 300 – 600 m/s hız aralığındaki mühimmatların penetrasyon üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Hedef yapıların kum katmanlı olması, penetrasyona karşı gösterilen direnci artırarak mühimmatın derinlemesine ilerlemesini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte hedef yapıların üzerindeki deformasyon ve eşdeğer stresler mühimmatın hızının artmasıyla birlikte yükselme eğilimi göstermiştir.

Ayrıca, deformasyona uğrayan hedef yapının kalınlığının artması yapının daha fazla enerji absorbe etmesine ve deformasyonun azalmasına sebep olmuştur. Kum katmanının penetrasyon üzerindeki etkisi de önemli bir bulgu olarak öne çıkmış olup kumun mühimmatın hızını düşürerek kinetik enerjisinin büyük bir kısmını

soğurduğunu ve analizi yapılan 400 ve 450 m/s hızlarındaki mühimmatların penetrasyonunun başarıyla tamamlanmasını engellediğini göstermiştir.

Nitekim gerçekleştirilen analizler sonucunda, tek kademeli penetratör tipi mühimmatların mağara ve sığınak gibi hedef yapılar üzerindeki penetrasyon performansına dair sonuçlar bir bütün halinde Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Bu çizelgede, (+) işareti penetrasyonun başarılı olduğunu, (-) işareti ise penetrasyonun başarısız veya kısmen başarısız olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 5.1: Çarpma Analizlerinde Meydana Gelen Penetrasyonların Durumu**

<b>Katman Durumu</b>	<b>Kumsuz</b>				<b>Kumlu (1 m)</b>			
<b>Beton Kalınlığı</b>	1 m		2 m		1 m			
<b>Mühimmat Hızı</b>	300 m/s		400 m/s		400 m/s	450 m/s	600 m/s	
<b>Beton Basınç Dayanımı</b>	35 MPa	140 MPa	35 MPa		35 MPa			140 MPa
<b>Penetrasyon Başarısı</b>	+	+	+	+	-	-	+	+

Öte yandan, gerçekleştirilen analizler sonucunda, mühimmat tasarımında hedef yapının fiziksel özelliklerinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesinin gerekliliği ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra mühimmatın patlayıcı enerjisi ile hedef yapı arasındaki etkileşimin; hedef yapının geometrisi, boyutları ve dayanımı gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma, savunma sanayisinde kullanılan mühimmatların daha etkin ve verimli hale getirilmesine yönelik bilimsel temelli stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamasının yanı sıra, mühimmat tasarımında dikkat edilmesi gereken kritik parametreler hakkında önemli veriler sunarak gelecekteki mühimmat ve yapı tasarımlarına ışık tutmaktadır. Sığınak ve mağara yapılarının bu tür mühimmatlara karşı daha dirençli hale getirilmesine yönelik mühendislik çözümlerinin geliştirilmesine yönelik önemli veriler sunmaktadır.

### 4.3 Öneriler

Gerçekleştirilen teorik analizler ve sayısal simülasyonlar kapsamında, patlayıcı maddelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile tek kademeli penetratör tipi mühimmatların sığınak ve mağara yapıları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde

incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, mühimmat tasarım parametrelerinin hedef yapının penetrasyon direnci üzerindeki kritik etkileri ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, patlayıcı maddelerin ve penetratör tipi mühimmatların daha etkili kullanımına yönelik çeşitli öneriler maddeler halinde sunulmaktadır.

İlk olarak, patlayıcı maddelerin bileşim ve enerji verimliliği açısından optimize edilmesi amacıyla daha ileri düzeyde kimyasal ve malzeme araştırmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Yeni nesil patlayıcı madde formülasyonlarının, hem etkinlik hem de güvenlik açısından daha yüksek performans sergilemesi hedeflenmelidir. Bu doğrultuda, modelleme ve simülasyon çalışmalarının yanı sıra, gerçek saha testleri ve kontrollü deneyler gerçekleştirilerek elde edilen verilerin doğruluğu ve güvenilirliği artırılmalıdır. Böylece, mühimmat etkinliği ve verimliliği daha kesin ve somut verilerle değerlendirilebilir, modelleme sonuçlarının geçerliliği güçlendirilerek mühimmat tasarım süreçlerine daha sağlam bir bilimsel temel kazandırılabilir.

Öte yandan, bu araştırmanın bulguları, mühimmatın tasarımında hedef yapının fiziksel özelliklerinin yanı sıra çevresel faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Hedef yapıların bulunduğu ortamın iklimsel koşulları, zemin yapısı ve yapının çevresindeki diğer fiziksel engellerin mühimmatın penetrasyon kapasitesini nasıl etkilediği üzerine daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu bağlamda, mühimmat tasarımı ve hedef yapı dayanıklılığı arasındaki etkileşimi anlayabilmek için disiplinler arası çalışmalara olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalar, çevresel faktörlerin (iklim, zemin yapısı, nem oranı vb.) patlayıcı mühimmat performansı üzerindeki etkilerini de kapsayacak şekilde genişletilmelidir. Sığınak ve mağara yapılarının bulunduğu coğrafi ve jeolojik koşulların, mühimmat etkinliğini nasıl etkilediği konusunda daha detaylı araştırmalar yapılmalıdır. Bu bağlamda, geliştirilecek yeni nesil analiz yöntemleri ve saha testleri, mühimmat tasarımı ve stratejik kullanım açısından önemli katkılar sunması beklenmektedir.

Penetrasyon kabiliyeti ve derinliği, mühimmat tasarımında kritik bir parametre olmakla birlikte, her durumda maksimum penetrasyon derinliği istenilen bir özellik değildir. Bu doğrultuda, penetrasyon derinliğinin belirli bir seviyede tutulması gerektiğinde, mühimmat hızının artırılması veya azaltılması yoluyla istenen penetrasyon seviyesi ayarlanabilmektedir. Ancak, savaş ortamlarında zamanın kritik

bir faktör olması nedeniyle mühimmat hızının anlık olarak ayarlanması her zaman ayarlamak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, farklı penetrasyon derinliklerinde ve çeşitli operasyonel koşullarda etkili olabilecek farklı penetratör tiplerine sahip mühimmatların tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, mühimmatların etkinliğinin artırılmasına yönelik elde edilen bulguların pratik uygulamalara aktarılması için Milli Savunma Bakanlığı, savunma sanayi kuruluşları ve akademik araştırma merkezleri arasındaki iş birliği artırılmalıdır.

Sonuç olarak, bu öneriler, mühimmat teknolojilerinin daha etkin ve verimli hale gelmesi için önemli bir bilimsel temel oluşturmakta olup, mühimmat tasarımı, patlayıcı maddeler ve hedef yapı mühendisliği alanlarındaki ilerlemelere katkı sağlaması açısından önemli bir referans niteliğindedir. Gelecekteki savunma sanayii projelerinde ve askerî operasyonel stratejilerde temel bir referans kaynağı olarak kullanılabilir niteliktedir.

## KAYNAKÇA

- Abs-group. (2020). Beirut explosion podcast and infographic: understanding catastrophic risk. Erişim adresi: <https://www.abs-group.com/Knowledge-Center/Insights/Beirut-Explosion-Podcast-and-Infographic-Understanding-Catastrophic-Risk/>
- Agrawal, J. P. (2010). *High energy materials propellants, explosives and pyrotechnics*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Akhavan, J. (2004). *The chemistry of explosives*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Altgilbers, L. L., Baird, J., Freeman, B. L., Lynch, C. S. ve Shkuratov, S. I. (2010). *Explosive pulsed power*. Singapur: Imperial College Press.
- Ansys. (2020). Ansys autodyn short duration, severe loading simulations. Erişim adresi: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-autodyn>
- Tifunović, V. ve Antonijević, M. (2019). Uticaj TNT eksploziva i njegovih produkata degradacije na životnu sredinu. *Zastita Materijala*, 60(2), 162-173.
- Atamanchemicals. (t.y.). Trinitrotoluene. Erişim adresi: [https://www.atamanchemicals.com/trinitrotoluene\\_u26083/](https://www.atamanchemicals.com/trinitrotoluene_u26083/)
- Ateşeceloğlu, S. (2011). *Endüstriyel Patlayıcı Madde Portföyü ve Performansa Dayalı Seçim Kriterleri*. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/672492>
- Ateşeceloğlu, S. ve İmamoğlu, B. (2025). Patlayıcı maddeler: sınıflandırma, günümüz uygulamaları ve geleceğe yönelik yönelimler. *Black Sea Journal of Engineering and Science*,
- Barbarino, M. (2023). What is nuclear fusion? Erişim adresi: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion>
- Bebie, J. (1943). *Manuel of explosives military pyrotechnics and chemical warfare agents composition – properties - uses*. New York: The Macmillan Company.
- Bermana, S., Hafizah, M.A.E., Ruyat, Y. ve Rosyida, E.D.I. (2024). Use of explosives: classification and regulation. *Indonesian Journal of Interdisciplinary Research in Science and Technology (MARCOPOLLO)*, 2(5), 545-556.
- Beşergil, B. (t.y.). Toluene (toluene). Erişim adresi: <https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/22-toluene.html>
- Brunswing, H. (1909). *Explosivstoffe*. Barth: Braunschweig.
- CAS. (t.y.a.). 2,4,6-trinitrotoluene. Erişim adresi:

<https://commonchemistry.cas.org/detail?ref=118-96-7>

- CAS. (t.y.b). Search by chemical compound name, smiles, inchi or CAS registry number (CAS RN). Erişim adresi: <https://commonchemistry.cas.org/>
- Centeno, G. (2022). Meet the GBU-57 MOP, the B-14 bomber's massive nearly 2-ton bomb. Erişim adresi: <https://www.aeroflap.com.br/en/meet-the-gbu-57-mop-the-huge-bomb-of-almost-14-tons-of-the-b-2-bomber/>
- Chemspider. (t.y.). Advanced search. Erişim adresi: <https://www.chemspider.com/AdvancedSearch>
- Comet, M., Martin, C., Klaumünzer, M., Schnell, F. ve Spitzer, D. (2015). Energetic nanocomposites for detonation initiation in high explosives without primary explosives. *Applied Physics Letters*, 107(24). doi: 10.1063/1.4938139
- Comet, M., Martin, C., Schnell, F. ve Spitzer, D. (2019). Energetic nanoparticles and nanomaterials for future defense applications. *Human Factors and Mechanical Engineering for Defense and Safety*. 3(1). 1-6.
- Cooper, P. W. (1996). *Explosives engineering*. New York: Wiley-VCH Inc.
- Cooper, P. W. ve Kurowski, S. R. (1996). *Introduction to the technology of explosives*. New York: Wiley-VCH Inc.
- Çelgin, G. (2011). *Eski yunanca – Türkçe sözlük*. İstanbul: Kabalcı Yayınevi.
- Davis, T.L. (2012). *The chemistry of powder explosives*. Nevada: Angrif Press.
- Dfe-Tech. (t.y.). LS-DYNA. Erişim adresi: <https://www.dfe-tech.com/product-ls-dyna.php>
- DuPont. (1917). *Hand book of explosives*. Delaware: E. I. du Pont de Nemours & Company.
- Dursun, H. (2007). *Determination of the Postexplosion Residues of Nitro Group Containing Explosives in Soil with Gas Chromatography-mass Spectrometry and Gas Chromatography-termal Energy Analyser*. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/249147>
- Erkoç, Ö. Y. (1990). *Kaya patlatma tekniği*. Ankara: ORICA-NITRO.
- Galante, E. B. F. (2018). Investigation environmental impacts of explosives by open burning. (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/items/49e77bc5-5ffe-4ef9-9b76-4ebd979ec0d0>
- GlobalSecurity. (t.y.). BLU-109/I-2000/have void. Erişim adresi: [https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/blu-109-specs.htm#google\\_vignette](https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/blu-109-specs.htm#google_vignette)
- Gokhale, B. V. (2018). *Rotary drilling and blasting in large surface mines*. New York: CRC Press.
- Gould, K. E. (1981). High-explosive field tests explosion phenomena and enviromental impacts. Erişim adresi: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA135737>

- Gunsolus, F. H. (1910). Explosives. *Journal of the Franklin Institute*, 170(2), 124-131.
- Guo, Y. Y., Chi, W. J., Li, Z. S. ve Li, Q. S. (2015). Molecular design of N-NO<sub>2</sub> substituted cycloalkanes derivatives C<sub>m</sub>(N-NO<sub>2</sub>)<sub>m</sub> for energetic materials with high detonation performance and low impact sensitivity. *RSC Advances*, 5(48), 38048–38055.
- Gülcan, O. (2012). Metallerin patlayıcı yardımı ile kaynatılması. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 24(1), 11-34.
- Gülcan, O. ve Gemalmayan, N. (2011a). Patlayıcı yardımı ile form vermede patlayıcı kütlelerinin genetic algoritma kullanılarak optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4), 286-291.
- Gülcan, O. ve Gemalmayan, N. (2011b). Patlayıcı yardımı ile form verme ve uçak sanayiinde kullanımı. *12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu, 13 – 14 Mayıs 2011*, Bursa: TMMOB Makine Mühendisleri Odası.
- Hansson, H. (2011). Warhead Penetration in Concrete Protective Structures. (Lisans tezi). Erişim adresi: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A456596/FULLTEXT01.pdf>
- Hieng, K. K. (2006). *Forensic Analysis of Explosives from Water Samples Using Solid Phase Microextraction – Gas Chromatography*. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://eprints.utm.my/4792/1/KiuKeeHengMFS2006.pdf>
- Hughes, E. K. (1963). *The Use of Explosives in Construction*. (Unpublished Master's Thesis). The Oklahoma State University Submitted to the Faculty of the Graduate School. Oklahoma, USA.
- Inas. (t.y.). Ansys aqwa. Erişim adresi: <https://www.inas.ro/en/ansys-structures-aqwa>
- Juhasz, A.L. ve Naidu, R. (2007). Explosives: Fate, Dynamics and Ecological Impact in Terrestrial and Marine Environments. Reviews of environmental contamination and toxicology (RECT, 191), (s.165-215) içinde. New York: Springer.
- Kahraman, N. ve Gülenç, M. (2009). *Modern kaynak teknolojisi*. Ankara: Epamat Basım.
- Kılıç, A. M. ve Kahraman, E. (2016). Patlamadan kaynaklı çevresel etkilerin incelenmesi ve uygulamaya ilişkin bir örnek. C. Şensöğüt, A. Uçar, H. Akçakoca, İ.G. Ediz ve C. Doğruöz (Ed.). 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, bildiri kitabı (s.103-112) içinde. Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Klapötke, T. M. (2017). *Chemistry of high-energy materials*. Germany: Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Kubota, N. (2012). Propellants and explosives thermochemical aspects of combustion. Weinheim: Wiley-VCH.
- Kumar, R., Siril, P.F. ve Soni, P. (2015). Optimized synthesis of HMX nanoparticles using antisolvent precipitation method. *Journal of Energy Materials*, 33(4), 277–287. doi: 10.1080/073770652.2014.988774

- Kuykendall, S. T. (2023). *Characterization of Explosives Testing Ranges: Environmental Impacts and Remediation Considerations*. (Doktora tezi). Erişim adresi:  
<https://uniselinus.us/sites/default/files/2023-12/Stacy%20Kuykendall.pdf>
- Kyprianou, D., Berglund, M., Emma, G., Rarata, G., Anderson, D., Diaconu, G. ve Exarchou, V. (2020). Synthesis of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) using flow chemistry. *Molecules*, 25(16), 1-15.
- Ledgard, J. B. (2003). *The preparatory manual of explosives a laboratory manual*. Seattle: Jared Ledgard.
- Levine, I. R. (2009). *Physical chemistry*. New York: Mc Graw Hill.
- Lewis, E. E. (2008). *Fundamentals of nuclear reactor physics*. USA: Elsevier.
- Lothrop, W. C ve Handrick, G. R. (1949). The relationship between performance and constitution of pure organic explosive compounds. *Chemical Reviews*, 44(3), 419-445.
- Madigan, M. L. (2018). *First responders handbook an introduction*. New York: CRC Press.
- Meyer, R., Köhler, J. ve Homburg, A. (2007). *Explosives*. Weinheim: Wiley – VCH Verlag GmbH.
- Mmolai, M. L. (2023). Mitigating the impact of explosive waste on the environment through compliance with applicable environmental legislation and environmental management systems ISO 14001:2015. Doktora tezi. Erişim adresi: <https://www.uniselinus.education/sites/default/files/2024-05/Mokgadi%20Lilly%20Mmolai.pdf>
- Mokalapa, L.K. (2022). Environmental impact of military explosive munitions at general de la rey training area, potchefstroom. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://repository.nwu.ac.za/handle/10394/40115>
- Monteil-Rivera, F., Halasz, C. G., Zhao, J., Thiboutot, S., Ampleman, G. ve Hawari, J. (2009). Fate and Transport of Explosives in the Environment A Chemist's View. G.I. Sunahara, G. Lotufo, R.G. Kuperman ve J. Hawari (Ed.), *Ecotoxicology of explosives* (s.5-33) içinde. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Mumberia Gangadhar Mahavidyala. (t.y.). Chapter 1 general introduction. Erişim adresi: [https://mugberiangadharmahavidyalaya.ac.in/images/ques\\_answer/158921498210\\_chapter%201.pdf](https://mugberiangadharmahavidyalaya.ac.in/images/ques_answer/158921498210_chapter%201.pdf)
- National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce [NIST]. (t.y.). Fundamental physical constants. Erişim adresi: <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?eqmnu>
- National Research Council. (2005). *Effects of nuclear eath-penetrator and other weapons*. Washington: The National Academies Press.
- Neriishi, K., Yamada, M., Kodama, K. Ve Shigematsu, I. (1995). Study of long-term psychological disorders among the atomic-bomb survivors. *International Conference on the Mental Health Consequences of the Chernobyl Disaster: Current State and Future Prospects Konferansı 24-28 Mayıs 1995*, Kiev.Erişim

adresi:[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/30/041/30041292.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/041/30041292.pdf)

- Nevo, E. (2024). How Do Bunker-Buster Bombs Work?. Erişim adresi: <https://davidson.weizmann.ac.il/en/online/askexpert/how-do-bunker-buster-bombs-work>
- Numesys. (2018). Ansys spaceclaim. Erişim adresi: <https://www.numesys.com.tr/ansys-spaceclaim/>
- OSHA. (t.y.). 2,4,6-trinitrotoluene. Erişim adresi: <https://www.osha.gov/chemicaldata/147>
- Öz, S. (2010). *Bazı Yeni Patlayıcı Maddelerin Termal Analiz Yöntemleriyle İncelenmesi*. (Doktora tezi). Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/506895>
- Özcan, A. (1992), Âteş-i Rûmî. Kollektif (Ed.), *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi* (s.57-57) içinde. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Vakıf Yayınları.
- Özkazanç, M. O. (2005). Sivil amaçlı patlayıcı maddelerin performanslarını etkileyen özellikler. M. Ayhan ve O. Sönmezer (Ed.). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu 21-23 Nisan 2005, bildiri kitabı, (65-69) içinde. Diyarbakır: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Periodictable. (t.y.). Periodic table. Erişim adresi: <https://periodictable.com/>
- Plets, V. (1953). Zh. Obshch. Khim., 5, 173.
- Royal Society of Chemistry [RSC]. (t.y.). Periodic table. Erişim adresi: <https://www.rsc.org/periodic-table>
- Schmidt, A. (1952). *Chimie et Industrie*, 67, 253.
- Schwan, J. (1992). The Long-term Nuclear Explosives Predicament the Final Disposal of Militarily Usable Fissile Material in Nuclear Waste from Nuclear Power and from the Elimination of Nuclear Weapons. (Doktora tezi). Erişim adresi: [https://www.mkg.se/uploads/The\\_Long-Term\\_Nuclear\\_Explosives\\_Predicament\\_-\\_Johan\\_Swahn\\_Chalmers\\_University\\_of-Technology\\_1992.pdf](https://www.mkg.se/uploads/The_Long-Term_Nuclear_Explosives_Predicament_-_Johan_Swahn_Chalmers_University_of-Technology_1992.pdf)
- Sen, N. (2018). A 1:1 energetic co-crystal formed between trinitrotoluene and 2,3-diaminoloene. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 37(1), 61-69.
- Shanley, E. S. ve Melhem, G. A. (1995). The oxygen balance criterion for thermal hazards assessment. *Process Safety Progress*, 14(1), 29-31.
- Shekhar, H. (2012). Studies on empirical approaches for estimation of detonation velocity high explosives. *Central European Journal of Energetic Materials*, 9(1), 39-48.
- Siracusa, J. M. (2008). *Nuclear weapons a very short intriduction*. New York: Oxford University Press.
- Szalay, A., Mamalis, A.G. ve Zador, I. (2020). Explosive metalworking

Technologies: a modern advanced industrial technology. *Nanotechnology perceptions*, 16(3), 254-260.

- T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı [ÇSGB]. (2015). Yer altı ve yer üstü kömür ocakları ile yer altında faaliyet gösteren diğer maden ocaklarında çalışma koşullarının iyileştirilmesi programlı teftiş sonuç raporu. Erişim adresi: <https://ekutuphane.csgb.gov.tr/Media/vhwdhlji/3-16.pdf>
- The National WWII Museum. (2020). The most fearsome sight: the atomic bombing of Hiroshima. Erişim adresi: <https://www.nationalww2museum.org/war/articles/atomic-bomb-hiroshima>
- Thucydides. (1898). *Thucydides historiae*. (C. Hude, Çev.). Leipzig: Aedibus B.G. Teubneri.
- Türker, L. ve Variş, S. (2009). A review of polycyclic aromatic energetic materials. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 29(4), 228-266.
- Urbanski, T. (1964). *Chemistry and technology of explosives*. New York: Pergamon Press.
- Vasiliev, A. A. (1943). *Bizans İmparatorluğu tarihi*. İstanbul: Maarif Matbası.
- Yan-fei, X., Jiang, Y., Hao, L. ve Shi-li, L. (2009). The application of nanotechnology/ultrafining treatment technology in the preparation of ultrafine explosives. *Advanced Materials Research*. 79-82, 441-444.
- Yinon, J. ve Zitrin, S. (1996). *Modern methods and applications in analysis of explosives*. Chichester: Wiley & Sons Ltd..
- Young, C.W. (1997). Penetration equations. Erişim adresi: <https://www.osti.gov/servlets/purl/562498>
- Young, C.W. (1998). Simplified analytical model of penetration with lateral loading user's guide. Erişim adresi: [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc703162/m2/1/high\\_res\\_d/661611.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc703162/m2/1/high_res_d/661611.pdf)
- Weinheimer, R. (2002). Properties of selected high explosives. Erişim adresi: [https://www.academia.edu/34451320/Properties\\_of\\_Selected\\_High\\_Explosives](https://www.academia.edu/34451320/Properties_of_Selected_High_Explosives)
- Wikipedia. (t.y.). Table of explosive detonation velocities. Erişim adresi: [https://en.wikipedia.org/wiki/Table\\_of\\_explosive\\_detonation\\_velocities](https://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_explosive_detonation_velocities)
- Wilbrand, J. (1863). Notiz über trinitrotoluol. *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, 128(2), 178-179.
- Woulfe, P. (1771). Experiments to Shew the Nature of Aurum Mofaicum. *Philosophical Transactions*, 52(1), 114-130.

## EKLER

**Çizelge A.1: Patlayıcı Maddelerin Tarihsel Gelişim Süreci**

Tarih	Patlayıcı Madde Alanındaki Önemli Gelişmeler
M.Ö. 434 – 404	Yunan ateşi olarak bilinen ateş, kükürt ve zift karışımı, Peloponnesos Savaşları'nda kullanıldı.
M.Ö. 220	Kara barut, Antik Çin'de tesadüfen keşfedildi.
M.S. 222 – 235	Roma İmparatorluğu'ndan VI. Alexander, su ile temas ettiğinde sönmek yerine kendiliğinden tutuşarak ateş gücünün arttığı bir forma dönüşen sönmemiş kireç ve zift topuna “otomatik ateş” adını verdi.
674 – 678	Bizanslılar tarafından reçine, nafta, kireç, güherçile gibi bileşenlerle zenginleştirilen Yunan ateşi, Bizans – Arap Savaşları'nda kullanıldı.
690	Araplar tarafından Mekke Kuşatması'nda kara barut kullanıldı
940	Çinliler tarafından kara baruta benzer bir patlayıcı bileşimi kullanılarak “ateş topu” icat edildi.
1040	Çinliler tarafından Pein King'te kara barut üretim tesisi kuruldu.
1169 – 1189	Çinliler tarafından havai fişek üretimine başlandı.
1249	Roger Bacon tarafından İngiltere'de ilk kez kara barut üretildi.
1320	Alman Schwartz tarafından kara barut incelenerek Orta Avrupa'ya tanıtılması sağlandı.
1346	Barut, Crécy Savaşı'nda ahşap toplarda itici güç olarak kullanılmıştır.
1425	Corning veya granülasyon yöntemi geliştirilmiştir.
1478	Osmanlı Devleti tarafından İşkodra Kuşatması sırasında zeytinyağı, kükürt ve bal mumu gibi maddeler kullanılarak yangın roketi geliştirildi.
1480	Osmanlı Devleti tarafından Rodos Kuşatması sırasında tahrip roketleri kullanıldı.
1627	Macar Kaspar Weindl tarafından kara barut madencilikte kullanıldı.
1646	İsveç'te Bofors endüstrisi tarafından kara barut üretimine başlandı.
1654	Alman Johann Rudolf Glauber tarafından nitrik asidin amonyakla reaksiyonu sonucunda amonyum nitrat elde edildi.
1690	Alman Johann von Löwenstern – Kunckel tarafından civa, nitrik asit ve alkol ile reaksiyona girdirilerek civa fülminat sentezlendi.
1742 <sup>4</sup>	Alman Johann Rudolf Glauber tarafından pikrik asit literatüre kazandırıldı.
1771	Peter Woulfe tarafından ilk kez indigodan pikrik asit sentezlendi.
1799 - 1800	İngiliz Edward Howard tarafından civa fülminat yeniden keşfedildi ve barut için ateşleyici olarak önerildi.
1830	Welter tarafından pikrik asidin patlayıcılarda kullanımı araştırıldı.
1833	Fransız Nanside Henri Braconnot tarafından nitrik asit ile pamuk, buğday unu ve ağaç elyafı işlenerek pamuk barutu (kollodyum pamuğu/barutu) elde edildi.

<sup>4</sup> Johann Rudolf Glauber, 1604 – 1670 yılları arasında yaşadığından Glauber'in pikrik asiti 1742 yılında literatüre kazandırması mümkün olmamasına karşın birçok kaynakta 1742 tarihi yer almaktadır. Detaylı bilgi için bk. (Akhavan, 2004, s.8; Klapötke, 2022, s.4). Ayrıca pikrik asit, Peter Woulfe tarafından ilk kez indigodan sentezlenmiştir. Detaylı bilgi için bk. (Woulfe, 1771, s.114-130).

### Çizelge A.1: (Devamı) Patlayıcı Maddelerin Tarihsel Gelişim Süreci

Tarih	Patlayıcı Madde Alanındaki Önemli Gelişmeler
1838	Fransız Théophile-Jules Pelouze tarafından farkında olmadan kağıt ve pamuğun nitrasyonu gerçekleştirilerek nitro – selüloz üretildi.
1840	Christian Friedrich Schönbein tarafından sülfürik asit ile işlenen pamuğun patlayıcı özelliği saptandı.
1846	Alman Christian Friedrich Schönbein ve Alman Rudolf Christian Böttger, birbirlerinden bağımsız olarak selülozu nitrasyonla pamuk barutu (nitroselülozu) ürettiler.
	İtalyan Ascanio Sobrero tarafından sıvı nitrogliserin keşfedildi ancak kısa bir süre sonra nitrogliserinin patlayıcı özelliğini fark etmesi üzerine de araştırmalarını durdurdu.
1847	İtalyan Ascanio Sobrero tarafından gliserin derişik nitrik asit – sülfürik asit karışımına yavaş yavaş eklenerek etkileştirilmesi ile nitrogliserini keşfetti.
1849	Reise ve Millon tarafından toz amonyum nitrat ve odun kömürü karışımının ısıtılması sonucunda patlama gerçekleştiği kaydedildi.
1863	İsveçli Immanuel Nobel ve oğlu Alfred birlikte Helenborg’da nitrogliserin üretim tesisi kurdular.
	Alman Joseph Wilbrand tarafından trinitrotoluen (TNT) sentezlendi.
1864	Schultze tarafından nitroselüloz bazlı itici maddeler hazırlandı.
	Fransız Paul Vieille tarafından da nitroselüloz bazlı itici maddeler hazırlandı.
	Nobel tarafından civa fülminat detonatörü (fünyesi) geliştirildi.
1865	Alman Edward Schulze tarafından “Rottweiler Cellulose Pulver (R.C.P.)” adıyla ilk dumansız barut üretildi.
	Sir Frederick Augustus Abel tarafından hamur haline getirme, kaynatma ve yıkama işlemleriyle nitroselülozun stabilitesi büyük ölçüde artırılarak nitroselülozun stabilize sorunu çözüldü.
1867	Alfred Nobel tarafından nitrogliserinden daha güvenli bir patlayıcı olan dinamit icat edilerek patenti alındı.
	İsveçli Ohlsson ve Norrbın tarafından dinamitlere amonyum nitrat eklenerek dinamitlerin patlayıcı özellikleri artırıldı.
1868	Brown tarafından kuru, sıkıştırılmış ve yüksek oranda nitratlanmış nitroselülozun bir civa fülminat detonatörü kullanılarak patlatılabileceği keşfedildi.
	Brown tarafından az miktarda kuru nitro selüloz ile ıslak, sıkıştırılmış nitroselülozun patlatılabileceği de keşfedildi.
1871	Sir Frederick Augustus Abel tarafından amonyum pikratın patlayıcı olarak kullanılabileceği önerildi.
1873	Hermann Sprengel tarafından pikrik asitin patlatılabileceği kanıtlandı.
1875	Alfred Nobel tarafından nitroselüloz ile nitrogliserin karıştırılarak jelâtin dinamit (gelignite) geliştirildi.
1877	Karel Hendrik Mertens tarafından tetril sentezlendi.
	Jousselin tarafından nitroguanidin hazırlandı.
1879	Alfred Nobel tarafından amonyum nitrat jelatin dinamit üretildi.
1880	Alman Paul Hepp tarafından saf 2,4,6-trinitrotoluen (TNT) hazırlandı.
1883	Romburgh tarafından tetril’in yapısı belirlendi.
	Claus ve Berker tarafından TNT’nin yapısı oluşturuldu.
1885	Fransız Eugène Turpin tarafından Hermann Sprengel’in araştırmasının sonuçlarından yararlanılarak mühimmat mermilerinde kara barut yerine pikrik asit kullanıldı.
1887	Müller tarafından ilk güvenli patlayıcılar patentlenmiştir.
1888	Jackson ve Wing tarafından Triaminotrinitrobenzen (TATB) sentezlendi
	Pikrik asit, İngiliz mühimmatında “Liddite” olarak kullanıldı.
	Alfred Nobel tarafından ballistite (dumansız barut) icat edildi.

**Çizelge A.1: (Devamı) Patlayıcı Maddelerin Tarihsel Gelişim Süreci**

Tarih	Patlayıcı Madde Alanındaki Önemli Gelişmeler
1889	Sir Frederick Abel ve James Dewar tarafından balistit benzeri olan kordit'in patenti alındı.
1891	Almanya'da TNT üretimi başladı.
1894	Rus Panpushko tarafından pikrik asit sentezlendi. Almanya'da pentaeritrolün nitasyonu PETN hazırlandı.
1896	Fransız Henri Becquerel tarafından doğal radyoaktivite keşfedildi.
1899	Alman Georg Friedrich Henning tarafından tıbbi kullanım için siklotrinetilen – trinitramin (RDX) hazırlandı. Almanya'da TNT ile alüminyum karıştırıldı.
1900	Jousselin tarafından nitroguanidinin sentez yöntemi geliştirildi.
1901	Fransız Paul Vieille tarafından nitroguanidinin özellikleri araştırıldı.
1902	Alman ordusu tarafından pikrik asidin yerine trinitrotoluen (TNT) kullanılmaya başlandı.
1905	1,2,4-triazol-3-on'un nitasyonundan 3-Nitro-1,2,4-triazol-5-on (NTO) ilk defa rapor edildi.
1906	Tetrit, patlayıcı olarak kullanıldı.
1912	ABD ordusu tarafından mühimmatlarda TNT kullanılmaya başlandı. Hober – Boch yöntemi ile amonyak elde edilmesine yönelik çalışmalar tamamlanarak katalitik amonyak üretimi Alman BASF şirketi tarafından sinai ölçekte uygulandı.
1920	Alman Herz tarafından heksaminin doğrudan nitasyonu yoluyla siklotrimetilen-trinitramin (RDX) hazırlandı.
1925	ABD'de büyük miktarda RDX üretimi gerçekleştirildi.
1929	Stettbacher tarafından endüstriyel ve askerî kullanımlar için Penthrinit adı altında %80 Penthit ve %20 nitrogliserin karışımı önerildi.
1931	Boyd tarafından nitratlanmış gliserol ve nitratlanmış şeker içeren bir patlayıcı patentlendi.
1932	İngiliz James Chadwick tarafından nükleer fisyon çalışmalarının temelini oluşturan nötron keşfedildi. Stettbacher tarafından pentaeritrol tetranitrat ve nitrogliserinin yanı sıra az miktarda kolodiyon pamuğu içeren bir yüksek patlayıcı patentlendi.
1934	Fransız Frédéric Joliot ve Irène Curie – Joliot tarafından yapay radyoaktivite keşfedildi.
1938	Alman Otto Hahn ve Friedrich Wilhelm Strassmann tarafından nükleer fisyon keşfedildi.
1940	Meissner tarafından RDX'in sürekli üretim yönetimi geliştirildi. Bachmann tarafından RDX üretim süreci geliştirildi.
1942	ABD, nükleer silah üretmeyi amaçlayan Manhattan Projesi'ni başlattı.
1943	Bachmann tarafından HMX hazırlandı.
1945	ABD, Trinity testini New Mexico'da gerçekleştirerek dünyanın ilk atom bombasını patlattı. ABD, İkinci Dünya Savaşı'nda Hiroşima'ya "Little Boy" isimli uranyum-235, Nagasaki'ye "Fat Man" isimli plütonyum-239 bombasını attı.
1946	Hunter tarafından hidrazinyum nitroformat (HNF) sentezlendi. ABD tarafından Pasifik Okyanusu'nda ilk denizaltı nükleer silah denemesi gerçekleştirildi.
1949	Sovyet bilim insanı Andrei Sakharov tarafından hidrojen bombası için "dilim kek" tasarımı geliştirilmeye başlandı.

**Çizelge A.1: (Devamı) Patlayıcı Maddelerin Tarihsel Gelişim Süreci**

<b>Tarih</b>	<b>Patlayıcı Madde Alanındaki Önemli Gelişmeler</b>
<b>1952</b>	ABD'deki Los Alamos Bilimsel Laboratuvarları'nda RDX kristalleri dioktil ftalat (DOP) kullanılarak polistiren içine gömülmesiyle polimer (plastik) bağlı patlayıcılar (PBX'ler) üretilmiştir.
	Bileşiminde %75 HMX ve %25 TNT bulunan ve oktol adı verilen bir patlayıcı bileşim geliştirildi.
	ABD tarafından "Ivy Mike" isimli ilk hidrojen bombası (termonükleer) Eniwetok mercan adalarında test edildi.
<b>1954</b>	ABD tarafından gerçekleştirilen Castle Bravo testi, tarihteki en büyük nükleer patlama testlerinden biri olarak kaydedildi.
<b>1957</b>	Amerikalı Melvin Alonzo Cook tarafından bulamaç patlayıcılar geliştirildi.
	ABD tarafından "Rainier" isimli ilk yer altı nükleer silah denemesi Nevada test sahasındaki dağ tünellerinde gerçekleştirildi.
<b>1961</b>	SSCB tarafından gerçekleştirilen Tsar (Çar) Bombası testi, tarihteki en güçlü nükleer patlama olarak kaydedildi.
<b>1964</b>	Philip Eaton ve Thomas Cole tarafından sentetik bir hidrokarbon bileşiği olan küban ilk kez sentezlendi.
<b>1966</b>	Shipp tarafından heksanitrostilben (HNS) hazırlandı.
<b>1970</b>	ABD'li Ireco ve DuPont şirketleri tarafından ANFO'ya boya sınıfı alüminyum ve monometilamin nitrat (MAN) eklenerek jel patlayıcı üretildi.
<b>1978</b>	Adkins ve Norris tarafından triaminotrinitro benzen (TATB) hazırlandı.
<b>1981</b>	Rus bilim insanları Solodyuk, Boldyrev, Gidasov ve Nikolaev tarafından DAAF sentezlendi.
<b>1983</b>	Fluorochem Inc'de ilk kez 1,3,3-trinitroazetidin (TNAZ) hazırlandı.
<b>1987</b>	Lee, Chapman ve Coburn tarafından NTO'nun patlayıcı özellikleri rapor edildi.
	Arnold T. Nielsen tarafından ilk kez CL-20 sentezlendi.
<b>1997</b>	Philip Eaton ve arkadaşları tarafından oktanitroküban (ONC) sentezlendi.
<b>1998</b>	İsveç Ulusal Savunma Araştırma Enstitüsü (FOA) tarafından ilk kez FOX -7 [1,1-diamino-2,2-dinitroetilen (DADNE)] sentezlendi.
<b>2000</b>	Philip Eaton ve arkadaşları tarafından HpNC sentezlendi.
<b>2020</b>	ÇHC'de Jiahao Dong, Hao Wang, Yu Zhang, Yanan Li ve Kazgzen Xu tarafından bis (3,4-diaminofurazan) metan (BDAFM) sentezlendi.

**Kaynak:** Akhavan (2004) ve Bebie (1943) yer alan çizelgeler ve bilgilerden tarafımca hazırlanmıştır.

**Çizelge A.2: Patlayıcı Maddelerin Kullanım Alanları**

<b>Kullanım Alanı</b>	<b>Uygulama Türü</b>	<b>Örnek Uygulamalar ve Teknolojiler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>Askerî</b>	Mühimmat ve silah sistemleri	Hava ve kara füzeleri, nükleer silâhlar, roket sistemleri, Bunker Buster bombaları, antitank füzeleri vb.	Stratejik, taktiksel ve savunma amaçlı olarak genellikle klasik mühimmatlar, füzeler, roketler ve nükleer silah sistemlerinden yararlanılır. Askerî operasyonların etkinliğini artırarak hedeflere hızlı ve etkili bir şekilde ulaşımı sağlar.
	Mayın temizleme	Patlayıcı robotlar ve insansız kara araçları (UGV) gibi.	Askerî operasyonlar ve güvenlik sağlama amacıyla mayınların etkisiz hale getirilerek güvenli bölge oluşturulması için kullanılırlar.
	Tahrip ve imha faaliyetleri	Bunker Buster füzeleri (BLU-109), Kruvazör füzeleri (Tomahawk, JASSM), anti-Bunker füzeleri (AGM-114 Hellfire, Storm Shadow), bomba atar füzeleri (MOAB-2), çift etkili füzeler (SCALP EG) vb.	Stratejik altyapıların, savunma tesislerinin ve düşman hedeflerinin yok edilmesinin yanı sıra yıkım ve imha operasyonlarında kullanılırlar.
	Yeraltı ve yerüstü üsler ile mevzilerin inşası ve güvenliği	Yeraltı komuta merkezleri, savunma sığınakları, toprak altı depolama tesisleri vb.	Askerî yeraltı ve yerüstü üslerinin, sığınakların, depoların inşa edilmesi ve stratejik güvenliğinin sağlanmasına yönelik hazırlıklar
<b>Madencilik</b>	Maden arama faaliyetleri	Sismik veri analizi, Jeofizik yöntemler, yeraltı sondeleme (sondajı), yeraltı yapılarının analizi vb.	Maden rezervlerinin keşfi için sismik aramalar, yeraltı kuyuları ve galerilerinin açılması ve yeraltı yapılarının tespitine yönelik olarak kullanılır.
	Yeraltı işletme faaliyetleri	Tavan göçürme yöntemleri, galeri açma, yeraltı üretim faaliyetleri vb.	Yeraltı madencilğinde hazırlık ve üretim süreçlerinde güvenlik önlemleri için kullanılırlar.
	Açık işletme faaliyetleri	Dekopaj patlatmaları, basamak patlatmaları, yüzey kaya çatlatma yöntemleri vb.	Taş ocaklarında ve açık maden sahalarında kayaçların ve madenlerin çıkarılması ve işlenmesi gibi amaçlar için kullanılırlar.
	Özel üretim faaliyetleri	Hidrolik çatlatma (Fracking) ve rezervuar açma yöntemleri, kaya çatlatma yöntemleri vb.	Rezervuar ve yan kayaçların gevşetilmesi, kırılması ve çatlatılması için kaya çatlatma ve rezervuar açma işlemleri sırasında kullanılırlar.
<b>Enerji</b>	Hidroelektrik ve nükleer santraller	Baraj inşaat ve zemin hazırlığı, derivasyon tünelleri, hidroelektrik ve nükleer santrallerin yapı inşası, hidroelektrik enerji üretimi vs.	Elektrik üretimi için hidroelektrik ve nükleer santrallere enerji sağlanması, suyun yönlendirilmesi ve santral altyapısının oluşturulması için kullanılırlar.

**Çizelge A.2: (Devamı) Patlayıcı Maddelerin Kullanım Alanları**

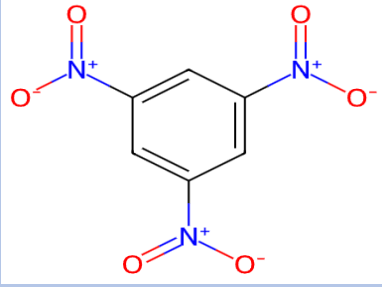
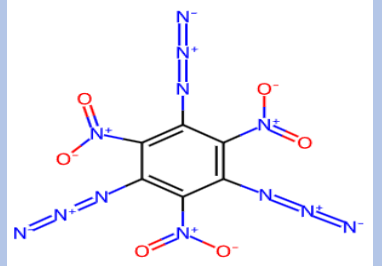
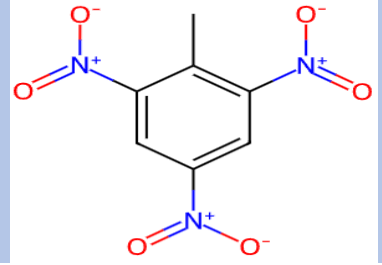
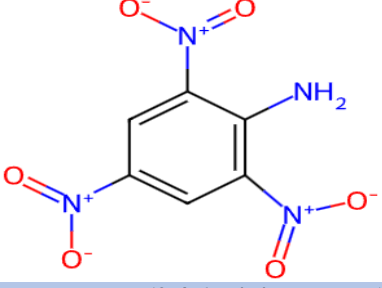
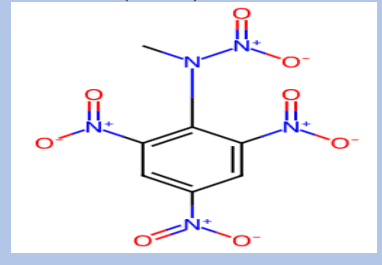
Kullanım Alanı	Uygulama Türü	Örnek Uygulamalar ve Teknolojiler	Açıklamalar
İnşaat	Tünel açma	Karayolları tünelleri, derivasyon tünelleri, metro tünel inşası, su ve kanalizasyon tünelleri vb.	Altyapı projelerinde, karayolu, demiryolu, metro, kanalizasyon ve su tünellerinin açılması için kullanılırlar.
	Baraj ve gölet inşaatı	Baraj temelleri, hidroelektrik projeleri, derivasyon tünelleri vs.	Baraj ve gölet inşaatlarında zeminin hazırlığı, su yollarının yönlendirilmesi vb. amaçlarla kullanılırlar.
	Yol ve köprü yapımı	Yol altyapısı, köprü temelleri ve ayakları yapımında zemin hazırlığı, kayaç kırma ve çatlatma yöntemleri vs.	Karayolu ve köprü projelerinde temellerin güçlendirilmesi, köprü ayaklarının inşasında ve sert zemin katmanlarının kırılmasında kullanılırlar.
	Bina ve beton yapılar	Beton temel kazıları, bina yapı temelleri, gökdelen inşası, zemin düzenleme vs.	Binaların temel kazıları sırasında kayaçların kırılması, yapı temellerinin hazırlanması süreçlerinde kullanılırlar.
	Kontrollü yıkım	Kontrollü yıkım teknikleri, kentsel dönüşüm projeleri vs.	Eski yapıların ve hasar görmüş binaların güvenli bir şekilde kontrollü yıkımı için kullanılırlar.
Patlayıcı Kaynak	Uyumsuz metallerin birleştirilmesi	Alüminyum ve çelik, bakır ve çelik, alüminyum ve titanyum vb. gibi metallerin birleştirilmesi	Geleneksel yöntemlerle birleştirilemeyen metal çiftlerinin birleştirilmesinde kullanılır.
Petrol ve Doğal Gaz	Sismik aramalar	Jeofizik yöntemler, sismik veri analizi, petrol arama vs.	Petrol ve doğalgaz yataklarının keşfinde yeraltı yapılarının tespiti için yapılan sismik aramalar ve veri toplama faaliyetlerinde kullanılırlar.
	Sondaj ve kaya kırma	Hidrolik çatlatma (Fracking), kaya çatlatma, petrol ve gaz sondajı vs.	Petrol ve gaz sondajlarında yeraltındaki kayaçların kırılması ve sondaj için altyapı sağlanması amacıyla kullanılırlar.
	Rezervuar açma ve doğal gaz çıkarma	Rezervuar açma, hidrolik çatlatma (Fracking), doğalgaz çıkarma vs.	Doğalgazın çıkarılması, kaya çatlatma ve rezervuar açma işlemleri için kullanılırlar.
	Yeraltı petrol ve doğalgaz depoları	Yeraltı depolama sistemleri, basınçlı hava depoları vs.	Yeraltı depolama alanlarının oluşturulması ve hava depolama sistemlerinde basınç yaratmak için kullanılırlar.
	Petrol boru hatlarının açılması	Boru hattı açma, yeraltı hattı hazırlığı vs.	Yeni petrol boru hatları döşenmeden önce hattın açılması ve yeraltı yolunun hazırlanması için <b>patlatma işlemlerinde</b> kullanılırlar.
	Yangın söndürme	yangın söndürme sistemleri, yangın kontrollü patlatmalar vs.	Petrol kuyularındaki yangınların söndürülmesinde kullanılırlar.

**Çizelge A.2: (Devamı) Patlayıcı Maddelerin Kullanım Alanları**

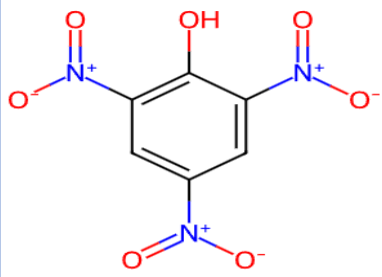
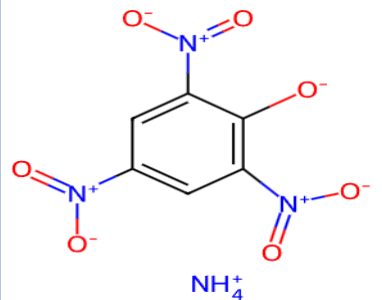

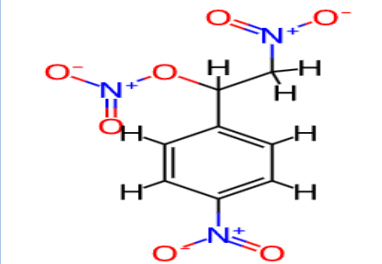
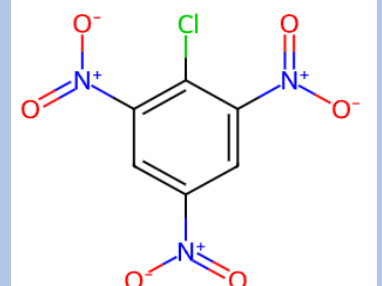
<b>Kullanım Alanı</b>	<b>Uygulama Türü</b>	<b>Örnek Uygulamalar ve Teknolojiler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>Uzay ve Havacılık</b>	Roket fırlatma ve itici güç sağlama	Uzay fırlatma sistemleri, roket itiş sistemleri vs.	Uzay aracı ve roketlerin fırlatılması ile uzay araçlarının itiş sistemleri için kullanılırlar.
	Uydu sistemlerinin imhası	Füze sistemleri ile uydu imhası, uzay hedef tespiti ve imhası, uydu savunma sistemleri vs.	Uzayda veya atmosferdeki uyduların imha edilmesi, askeri uydu sistemlerinin hedeflenmesi ve yok edilmesi için kullanılırlar.
<b>Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar</b>	Yüksek enerji deneyleri	Patlayıcı dayanıklılık testleri, yüksek enerji testleri, hızlı dönüşüm testleri vs.	Enerji yoğunluğu yüksek testler ve deneylerde performans analizlerinde kullanılırlar.
	Materyal testleri	Materyal dayanıklılık testleri, şok ve darbe testleri, patlayıcı dayanıklılık testleri vs.	Yeni malzemelerin şok ve dayanıklılık testlerinde patlayıcıların materyal üzerindeki etkisi ile performans analizlerinin yapılmasında kullanılırlar.
<b>Sağlık</b>	Mikro patlamalarla ilaç salınımı	Mikro patlatma sistemleri, ilaç salınımı teknolojileri, Farmasötik patlayıcılar	İlaçların mikro patlamalarla hedef bölgelere kontrollü salınımı sağlanır.
	Tıbbi cihazlar ve mikrocerrahi	Litotripsi, mikrocerrahi, kalp damar cerrahisi vs.	Böbrek taşlarının kırılmasında, damarların tıkanıklığının giderilmesinde kullanılırlar.
<b>Tarım ve Ormancılık</b>	Orman yangınlarını söndürme	Kontrollü yangın söndürme, yangın hattı oluşturma vs.	Yangın hatları oluşturulması ve orman yangınlarının yayılmasının engellenmesi ve söndürülmesi için kontrollü patlatmalar gerçekleştirilir.
	Ağaç köklerinin çıkartılması	Ağaç kök çıkartma vs.	Orman ve tarım alanlarında ağaç köklerinin çıkarılması için kullanılırlar.
	Kayaç tabakalarının su geçirebilmesi için çatlak oluşturma	Hidrojen patlamaları ve diğer çatlatma işlemleri	Su geçirmez kayaçların çatlatılmasında kullanılırlar.
<b>Arama ve Kurtarma</b>	Göçük altı arama	Patlayıcılarla göçük açma, arama – kurtarma sistemleri, göçük altı patlayıcı operasyonları vs.	Tünel, maden, mağara gibi yerlerde kaya parçalarının çökmesi gibi durumlarda enkaz altındaki kişilere ulaşmak için patlatma operasyonları yapılır.
	Su altı arama ve kurtarma	Batık nesne kurtarma, derin su arama operasyonları vs.	Derin su altı operasyonlarında, batık nesnelere bulma ve kurtarma faaliyetlerinde kullanılır.
<b>Eğlence ve Gösteri</b>	Havai fişek ve patlama efektleri	Havai fişek gösterileri, patlama efektleri vs.	Kutlamalar, festivaller ve etkinliklerde renkli ve ışıklı efektler ve görsel şovlar yaratılması için kullanılırlar.
	Film ve sahne prodüksiyonları	Patlayıcı efektler, özel efektler vs.	Sinema ve sahne gösterilerinde özel efektler ve dramatik atmosferler oluşturmak için kullanılırlar.

**Kaynak:** Hughes (1963), Agrawal (2010) ve Ateşeceloğlu (2011) tarafından sunulan bilgiler ışığında tarafımda hazırlanmıştır.

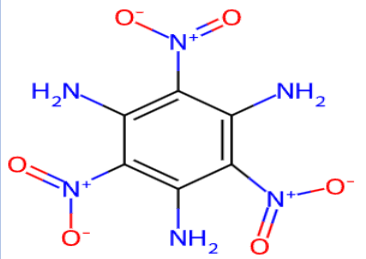
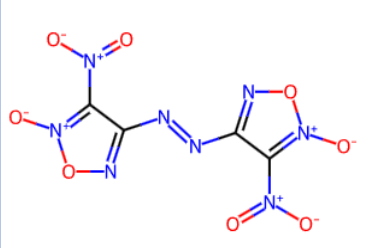
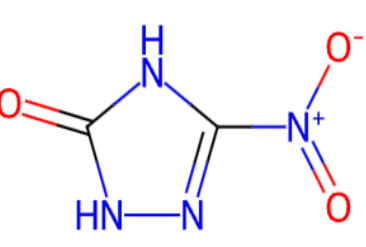
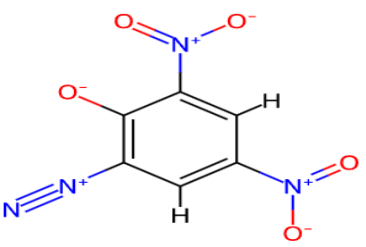
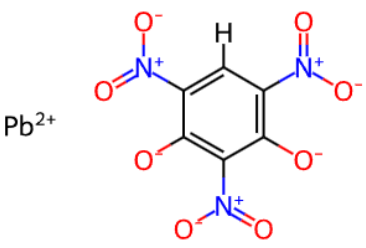
Çizelge A.3: Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri

		Özellikler			
		CAS Numarası			
ORGANİK PATLAYICILAR	AROMATİK PATLAYICILAR	HOMOAROMATİK PATLAYICILAR	<b>1,3,5-Trinitrobenzene (TNB)</b>	CAS Numarası	99-35-4
				Moleküler Formülü	$C_6H_3N_3O_6$
				Molekül Ağırlığı	213.11 g/mol
				Moleküler Kompozisyonu (%)	C=33.82, H=1.42, N=19.72, O=45.05
				Patlama Hızı	7450 m/s
				Yoğunluk	1.76 g/cm <sup>3</sup>
			<b>1,3,5-Triazido-2,4,6-trinitrobenzene (TATNB)</b>	CAS Numarası	29306-57-8
				Moleküler Formülü	$C_6N_{12}O_6$
				Molekül Ağırlığı	336.14 g/mol
				Moleküler Kompozisyonu (%)	C=21.44, N=50.00, O=28.56
				Patlama Hızı	7300 m/s
				Yoğunluk	1.84 g/cm <sup>3</sup>
			<b>2-Methyl-1,3,5-trinitrobenzene (TNT)</b>	CAS Numarası	118-96-7
				Moleküler Formülü	$C_7H_5N_3O_6$
				Molekül Ağırlığı	227.13 g/mol
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=37.02, H=2.22, N=18.50, O=42.26			
	Patlama Hızı	6900 m/s			
	Yoğunluk	1.65 g/cm <sup>3</sup>			
<b>2,4,6-Trinitroaniline (TNA)</b>	CAS Numarası	489-98-5			
	Moleküler Formülü	$C_6H_4N_4O_6$			
	Molekül Ağırlığı	228.12 g/mol			
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=31.59, H=1.77, N=24.56, O=42.08			
	Patlama Hızı	7300 m/s			
	Yoğunluk	1.79 g/cm <sup>3</sup>			
<b>Methyl N-(2,4,6-trinitrophenyl) nitramide (Tetrit)</b>	CAS Numarası	7-49-45-8			
	Moleküler Formülü	$C_7H_5N_5O_8$			
	Molekül Ağırlığı	231.12 g/mol			
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=36.38, H=0.02, N=0.06, O=55.38			
	Patlama Hızı	7570 m/s			
	Yoğunluk	1.80 g/cm <sup>3</sup>			

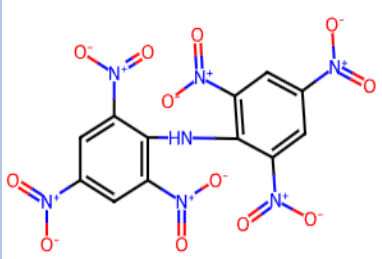
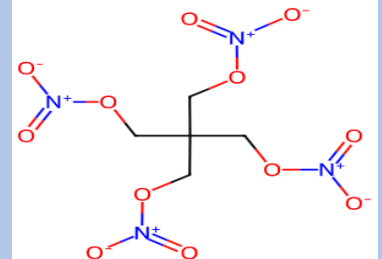
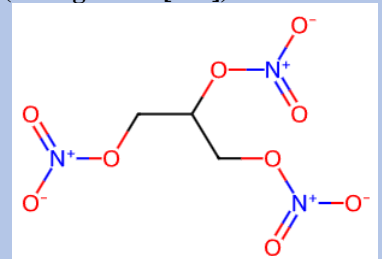
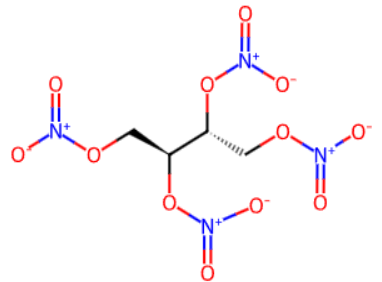
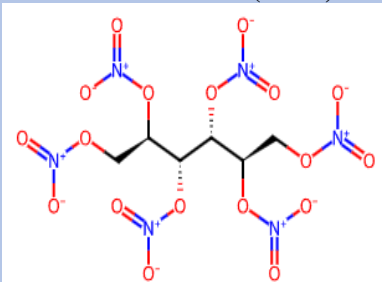
Çizelge A.3 (Devamı): Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri

		Özellikler			
ORGANİK PATLAYICILAR	AROMATİK PATLAYICILAR	HOMOAROMATİK PATLAYICILAR	<b>2,4,6-Trinitrophenol (TNP)</b>	CAS Numarası	88-89-1
				Moleküler Formülü	$C_6H_3N_3O_7$
				Molekül Ağırlığı	229.10 g/mol
				Moleküler Kompozisyonu (%)	C=31.46, H=0.01, N=18.34, O=48.89
				Patlama Hızı	7350 m/s
				Yoğunluk	1.76 g/cm <sup>3</sup>
			<b>Amonyum 2,4,6-trinitrofenolat</b>	CAS Numarası	131-74-8
				Moleküler Formülü	$C_6H_6N_4O_7$
				Molekül Ağırlığı	246.14 g/mol
				Moleküler Kompozisyonu (%)	C=29.28, H=2.46, N=22.76, O=45.50
				Patlama Hızı	7150 m/s
				Yoğunluk	1.72 g/cm <sup>3</sup>
			<b>2-Methoxy-1,3,5-trinitobenzene (Metil pikrat)</b>	CAS Numarası	606-35-9
				Moleküler Formülü	$C_7H_5N_3O_7$
				Molekül Ağırlığı	243.13 g/mol
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=34.58, H=0.02, N=17.28, O=46.06			
	Patlama Hızı	6800 m/s			
	Yoğunluk	1.61 g/cm <sup>3</sup>			
<b>1-Ethoxy-2,4,6-trinitrobenzene (Etil pikrat)</b>	CAS Numarası	4732-14-3			
	Moleküler Formülü	$C_8H_7N_3O_7$			
	Molekül Ağırlığı	257.16 g/mol			
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=37.37, H=0.03, N=16.34, O=43.55			
	Patlama Hızı	6500 m/s			
	Yoğunluk	1.55 g/cm <sup>3</sup>			
<b>2-Kloro-1,3,5-trinitrobenzene</b>	CAS Numarası	88-88-0			
	Moleküler Formülü	$C_6H_2ClN_3O_6$			
	Molekül Ağırlığı	247.55 g/mol			
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=29.11, H=0.01, Cl=14.32, N=16.97, O=38.78			
	Patlama Hızı	7200 m/s			
	Yoğunluk	1.80 g/cm <sup>3</sup>			

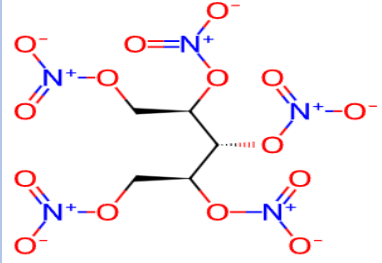
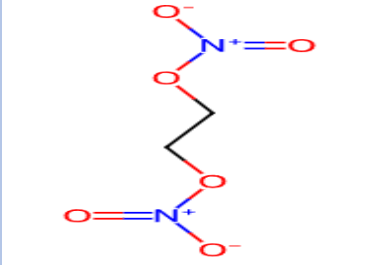
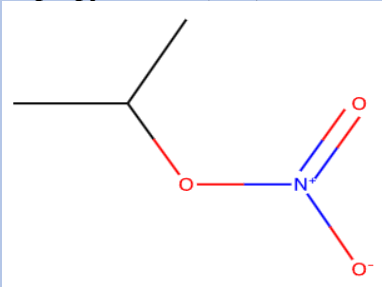
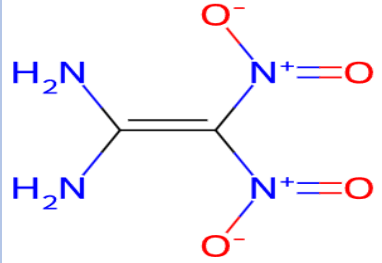
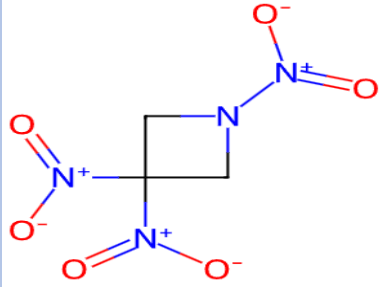
Çizelge A.3 (Devamı): Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri

		Özellikler				
ORGANİK PATLAYICILAR	AROMATİK PATLAYICILAR	HOMOAROMATİK	2,4,6-Trinitrobenzene-1,3,3-triamine (TATB)	CAS Numarası	3058-38-6	
				Moleküler Formülü	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> N <sub>6</sub> O <sub>6</sub>	
			Molekül Ağırlığı	258.15 g/mol		
			Moleküler Kompozisyonu (%)	C=27.92, H=2.34, N=32.56, O=37.19		
			Patlama Hızı	7350 m/s		
			Yoğunluk	1.93 g/cm <sup>3</sup>		
	AROMATİK PATLAYICILAR	HETEROAROMATİK PATLAYICILAR	4,4'-Dinitro-3,3'-Diazenofuroksan (DDF)	CAS Numarası	15825-70-4	
					Moleküler Formülü	C <sub>4</sub> N <sub>8</sub> O <sub>8</sub>
				Molekül Ağırlığı	288.09 g/mol	
				Moleküler Kompozisyonu (%)	C=16.68, N=38.90, O=44.43	
				Patlama Hızı	10000 m/s	
				Yoğunluk	2.02 g/cm <sup>3</sup>	
		HETEROAROMATİK PATLAYICILAR	1,2-Dihidro-5-nitro-3H-1,2,4-triazol-3-one (NTO)	CAS Numarası	932-64-9	
					Moleküler Formülü	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub>
				Molekül Ağırlığı	130.06 g/mol	
Moleküler Kompozisyonu (%)				C=18.47, H=1.55, N=43.08, O=36.90		
Patlama Hızı				8500 m/s		
Yoğunluk				1.90 g/cm <sup>3</sup>		
DİĞER AROMATİK PATLAYICILAR	6-Diazo-2,4-dinitrocyclohexa-2,4-dien-1-one (DDNP)	CAS Numarası	4682-03-5			
			Moleküler Formülü	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> N <sub>4</sub> O <sub>5</sub>		
		Molekül Ağırlığı	210.105 g/mol			
		Moleküler Kompozisyonu (%)	C=34.30, H=0.96, N=26.67, O=38.07			
		Patlama Hızı	7100 m/s			
		Yoğunluk	1.73 g/cm <sup>3</sup>			
DİĞER AROMATİK PATLAYICILAR	Lead (II) 2,4,6-trinitrophenolate (Kürşun stıfnat)	CAS Numarası	15245-44-0			
			Moleküler Formülü	C <sub>6</sub> HN <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Pb		
		Molekül Ağırlığı	450.29 g/mol			
		Moleküler Kompozisyonu (%)	C=16.00, H=0.22, N=9.33, O=28.42, Pb=46.02			
		Patlama Hızı	5200 m/s			
		Yoğunluk	0.99 – 1.11 g/cm <sup>3</sup>			

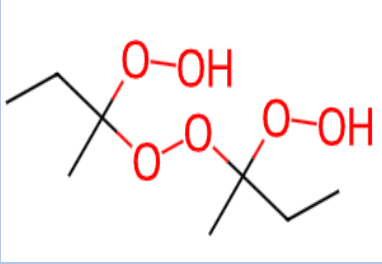
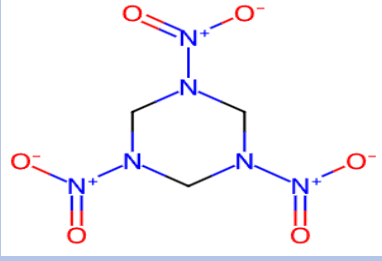
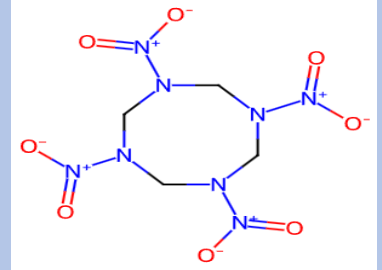
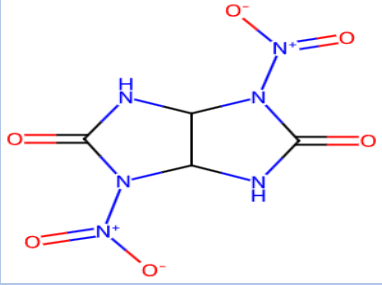
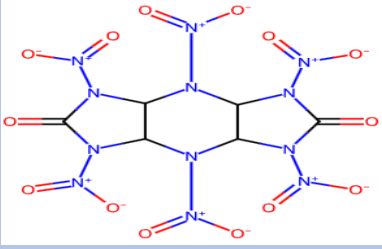
Çizelge A.3 (Devamı): Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri

ORGANİK PATLAYICILAR		Özellikler			
		AROMATİK	ALİFATİK PATLAYICILAR		
ORGANİK PATLAYICILAR	AROMATİK	DİĞER AROMATİKLER	<b>N,N-Dipicryl-1,3-propandiamine (HDN)</b>	CAS Numarası	131-73-7
				Moleküler Formülü	$C_{12}H_5N_7O_{12}$
			Molekül Ağırlığı	439.21 g/mol	
			Moleküler Kompozisyonu (%)	C=32.82, H=1.15, N=22.32, O=43.71	
			Patlama Hızı	7100 m/s	
			Yoğunluk	1.64 g/cm <sup>3</sup>	
	ALİFATİK PATLAYICILAR	NİTRAT ESTER PATLAYICILAR	<b>Pentaerythritol tetranitrate (PETN)</b>	CAS Numarası	78-11-5
				Moleküler Formülü	$C_5H_8N_4O_{12}$
			Molekül Ağırlığı	316.14 g/mol	
			Moleküler Kompozisyonu (%)	C=19.00, H=2.55, N=17.72, O=60.73	
			Patlama Hızı	8400 m/s	
			Yoğunluk	1.70 g/cm <sup>3</sup>	
<b>Glycerol trinitrate (Nitrogliserin [NG])</b>			CAS Numarası	55-63-0	
			Moleküler Formülü	$C_3H_5N_3O_9$	
Molekül Ağırlığı			227.09 g/mol		
Moleküler Kompozisyonu (%)			C=15.87, H=2.22, N=18.50, O=63.41		
Patlama Hızı			7700 m/s		
Yoğunluk			1.60 g/cm <sup>3</sup>		
<b>Erytritrol tetranitrate (ETN)</b>			CAS Numarası	7297-25-8	
			Moleküler Formülü	$C_4H_6N_4O_{12}$	
Molekül Ağırlığı			302.11 g/mol		
Moleküler Kompozisyonu (%)			C=15.90, H=2.00, N=18.55, O=63.55		
Patlama Hızı			8200 m/s		
Yoğunluk			1.76 g/cm <sup>3</sup>		
<b>Mannitol hexanitrate (MHN)</b>	CAS Numarası	15825-70-4			
	Moleküler Formülü	$C_6H_8N_6O_{18}$			
Molekül Ağırlığı	452.14 g/mol				
Moleküler Kompozisyonu (%)	C=15.94, H=1.78, N=18.59, O=63.93				
Patlama Hızı	8260 m/s				
Yoğunluk	1.60 g/cm <sup>3</sup>				

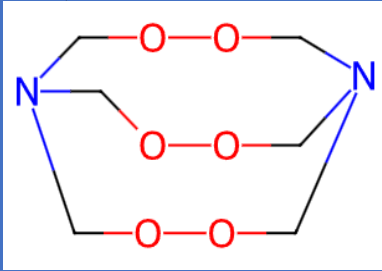
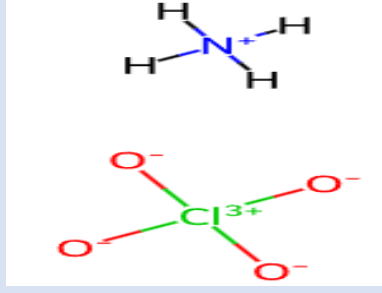
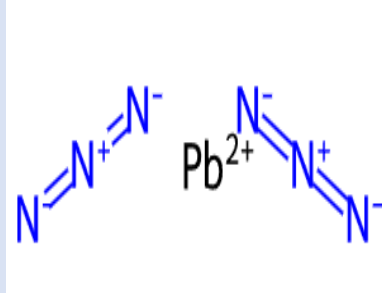
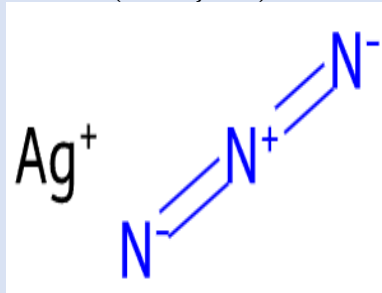
Çizelge A.3 (Devamı): Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri

		Özellikler		
		CAS Numarası		
ORGANİK PATLAYICILAR	NİTRAT ESTER PATLAYICILAR	<p><b>Xylitol 1,2,3,4,5-pentanitrate (XPN)</b></p> 	CAS Numarası	147-16-0
			Moleküler Formülü	C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> N <sub>5</sub> O <sub>15</sub>
			Molekül Ağırlığı	377.13 g/mol
			Moleküler Kompozisyonu (%)	C=15.92, H=1.87, N=18.57, O=63.63
			Patlama Hızı	7100 m/s
			Yoğunluk	1.852 g/cm <sup>3</sup>
	ALİFATİK PATLAYICILAR	<p><b>Ethylene glycol dinitrate (EDGN)</b></p> 	CAS Numarası	628-96-6
			Moleküler Formülü	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
			Molekül Ağırlığı	152.06 g/mol
			Moleküler Kompozisyonu (%)	C=15.80, H=2.65, N=18.42, O=63.13
			Patlama Hızı	8300 m/s
			Yoğunluk	1.4918 g/cm <sup>3</sup>
	NİTRAMİT TABANLI	<p><b>Isopropyl nitrate (IPN)</b></p> 	CAS Numarası	1712-64-7
			Moleküler Formülü	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>3</sub>
			Molekül Ağırlığı	105.09 g/mol
Moleküler Kompozisyonu (%)			C=34.29, H=6.71, N=13.33, O=45.67	
Patlama Hızı			~ 5400 m/s	
Yoğunluk			1.036 g/cm <sup>3</sup>	
NİTRAMİT TABANLI	<p><b>1,1-Diamino-2,2-dinitroethene (FOX7)</b></p> 	CAS Numarası	145250-81-3	
		Moleküler Formülü	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	
		Molekül Ağırlığı	148.08 g/mol	
		Moleküler Kompozisyonu (%)	C=16.22, H=2.72, N=37.84, O=43.22	
		Patlama Hızı	~ 8870 m/s	
		Yoğunluk	1.883 g/cm <sup>3</sup>	
NİTRAMİT TABANLI	<p><b>1,3,3-Trinitroazetidine (TNAZ)</b></p> 	CAS Numarası	97645-24-4	
		Moleküler Formülü	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	
		Molekül Ağırlığı	192.09 g/mol	
		Moleküler Kompozisyonu (%)	C=18.76, H=2.10, N=29.17, O=49.97	
		Patlama Hızı	9597 m/s	
		Yoğunluk	1.839 g/cm <sup>3</sup>	

Çizelge A.3 (Devamı): Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri

		Özellikler		
ORGANİK PATLAYICILAR	PEROKSİT TABANLI	<b>Methyl etyl ketone peroxide (MEKP)</b> 	CAS Numarası Moleküler Formülü Molekül Ağırlığı Moleküler Kompozisyonu (%) Patlama Hızı Yoğunluk	1338-23-4 $C_8H_{18}O_6$ 210.23 g/mol C=45.71, H=8.63, O=45.66 5200 m/s 1.170 g/cm <sup>3</sup>
		<b>Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)</b> 	CAS Numarası Moleküler Formülü Molekül Ağırlığı Moleküler Kompozisyonu (%) Patlama Hızı Yoğunluk	121-82-4 $C_3H_6N_6O_6$ 222.117 g/mol C=16.22, H=2.72, N=37.84, O=43.22 8750 m/s 1.82 g/cm <sup>3</sup>
		<b>Cyclotetramethylenetetranitramine (HMX)</b> 	CAS Numarası Moleküler Formülü Molekül Ağırlığı Moleküler Kompozisyonu (%) Patlama Hızı Yoğunluk	2691-41-0 $C_4H_8N_8O_8$ 296.17 g/mol C=16.22, H=2.72, N=37.84, O=43.22 9100 m/s 1.96 g/cm <sup>3</sup>
	SİKLIK AZOTLU ALİFATİKLER	<b>Dinitroglucuril (DNGU)</b> 	CAS Numarası Moleküler Formülü Molekül Ağırlığı Moleküler Kompozisyonu (%) Patlama Hızı Yoğunluk	55510-04-8 $C_4H_4N_6O_6$ 232.11 g/mol C=20.70, H=1.74, N=36.21, O=41.36 8450 m/s 1.940 g/cm <sup>3</sup>
		<b>Hexanitrohexaazatricyclododecandione (HHTDD)</b> 	CAS Numarası Moleküler Formülü Molekül Ağırlığı Moleküler Kompozisyonu (%) Patlama Hızı Yoğunluk	 $C_6H_4N_{12}O_{14}$ 468.17 g/mol C=15.39, H=0.86, N=35.90, O=47.84 9700 m/s 1.76 g/cm <sup>3</sup>

**Çizelge A.3 (Devamı): Patlayıcı Madde Sınıflandırılmasına Göre Kimyasal Patlayıcı Örnekleri**

ORGANİK	ALİFATİK	DİĞER ALİFATİKLER	Hexamethylene triperoxide diamine (HMTD)	CAS Numarası	283-66-9
				Moleküler Formülü	$C_6H_{12}N_2O_6$
	Molekül Ağırlığı	208.17 g/mol			
	Moleküler Kompozisyonu (%)	C=34.62, H=5.81, N=13.46, O=46.11			
	Patlama Hızı	5100 m/s			
	Yoğunluk	1.57 g/cm <sup>3</sup>			
İNORGANİK PATLAYICILAR	Ammonium perchlorate (AP)		CAS Numarası	7790-98-9	
		Moleküler Formülü	$ClHO_4 \cdot H_3N$		
		Molekül Ağırlığı	117.49 g/mol		
		Moleküler Kompozisyonu (%)	Cl=30.17, H=3.43, N=11.92, O=54.47		
		Patlama Hızı	6300 m/s		
		Yoğunluk	1.95 g/cm <sup>3</sup>		
	Lead (II) azide (Kurşun azid)		CAS Numarası	13424-46-9	
		Moleküler Formülü	$Pb(N_3)_2$		
		Molekül Ağırlığı	291.24 g/mol		
		Moleküler Kompozisyonu (%)	Pb=71.14, N=28.36		
		Patlama Hızı	5180 m/s		
		Yoğunluk	4.716 g/cm <sup>3</sup>		
Silver azide (Gümüş azid)		CAS Numarası	13863-88-2		
	Moleküler Formülü	$AgN_3$			
	Molekül Ağırlığı	149.89 g/mol			
	Moleküler Kompozisyonu (%)	Ag= 71.97, N=28.03			
	Patlama Hızı	4000 m/s			
	Yoğunluk	5.1 g/cm <sup>3</sup>			

**Kaynak:** Çizelge, Yinon ve Zitrin (1996), Chemspider (t.y.), CAS (t.y.b) ve Wikipedia (t.y.) kaynaklarındaki bilgiler ve görseller ışığında tarafımca hazırlanmıştır.

Çizelge A.4: Organik ve İnorganik Patlayıcı Maddelerin Karşılaştırılması

Kriterler	Organik Patlayıcılar	İnorganik Patlayıcılar
<b>Kimyasal Elementler</b>	Karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) gibi elementler içermektedir.	Genellikle metal [ör. Sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca)] ve ametal elementler [ör. Oksijen (O), azot (N)] içermektedir.
<b>Çözünürlük</b>	Organik çözücülerde çözünür, suda genellikle çözünmez.	Çoğu suda çözünür.
<b>Reaksiyon Denklemi</b>	Genellikle $C_xH_yN_zO_n + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2$ (basitleşmiş denklem)	$M(NO_3)_x + yakıt \rightarrow N_2 + O_2 + H_2O + (\text{metal oksitler})$
<b>Reaksiyon Hızı</b>	Çok yüksek	Orta ile düşük hız
<b>Isı Yayılımı</b>	Yüksek düzey	Orta düzey
<b>Termodinamik Özellikler</b>	Daha yüksek enerji verimi, ekzotermik reaksiyonlarla yüksek entalpi değişimleri	Orta düzey enerji verimi, daha düşük entalpi değişimleri
<b>Patlama Basıncı</b>	Yüksek basınç dalgaları	Daha düşük ve kontrollü basınç
<b>Hassasiyet</b>	Çarpma, sürtünme ve elektrik kıvılcımlarına karşı hassas	Düşük hassasiyet, genellikle patlatıcı bir mekanizma gerektirmektedir.
<b>Oksijen Dengesi</b>	Genellikle düşük veya nötr oksijen dengesi	Yüksek oksijen dengesi
<b>Patlama Mekanizması</b>	Moleküler bağların hızla kopmasıyla enerji açığa çıkar. Reaksiyon gazları oluşturmaktadır.	Oksitleyici bileşiğin yanıcı madde ile reaksiyonu sonucunda enerji açığa çıkmaktadır.
<b>Patlama Şiddeti</b>	Yüksek patlama basıncı, şok dalgası oluşturur.	Kontrollü patlama, genellikle daha düşük yıkıcı etki.
<b>Patlama Sonrası Kalıntılar</b>	Karbon partikülleri, yanmamış organik maddeler ve karbon monoksit gibi toksik gazlar	Katı metal oksitler veya tuzlar Toksik gazlar daha az
<b>Verimlilik</b>	Daha fazla enerji açığa çıkarır.	Daha düşük enerji
<b>Etkileri</b>	Uzun süreli kirlenmeye neden olabilir	Daha az kalıcıdır, atıkların biyolojik parçalanma olasılığı daha yüksek
<b>Termal Stabilité</b>	Sıcaklık değişimlerine duyarlı	Daha kararlı, geniş sıcaklık aralıklarında güvenli
<b>Kullanım Örnekleri</b>	TNT, RDX, HMX, PETN, nitrogliserin (NG) vs.	Amonyum nitrat, potasyum klorat, sodyum azotür, barut vs.
<b>Kullanım Alanları</b>	Askerî mühimmat ve büyük ölçekli tahrip için uygun.	Madencilik ve inşaat projelerinde uygun maliyetle kullanılır.

**Çizelge A.5: Aromatik ve Alifatik Patlayıcıların Karşılaştırılması**

<b>Kriterler</b>	<b>Aromatik Patlayıcılar</b>	<b>Alifatik Patlayıcılar</b>
<b>Kimyasal Yapı</b>	Aromatik halkalar içermektedir. Nitro gruplar aromatik çekirdeğe bağlıdır.	Düz zincir veya dallanmış yapılar içerir. Nitro gruplar karbon iskeletine bağlıdır.
<b>Enerji Yoğunluğu</b>	Orta – yüksek	Çok yüksek
<b>Patlama Şiddeti</b>	Yüksek enerji salınımı ile güçlü şok dalgası oluşturur.	Daha yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle daha büyük yıkıcı etki sağlar.
<b>Detonasyon Hızı</b>		
<b>Kararlılık</b>	Genellikle daha kararlı	Daha az kararlı Sıcaklık ve darbelere karşı hassas
<b>Hassasiyet</b>	Sürtünme ve darbelere karşı daha az hassas	Çarpma, sürtünme ve kıvılcıma karşı yüksek hassasiyet gösterir
<b>Reaksiyon Ürünleri</b>	Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> ), azot gazı (N <sub>2</sub> ), su (H <sub>2</sub> O) ve azot oksitler (NO <sub>x</sub> ).	Benzer ürünler ama daha fazla enerji yoğunluğu ile daha büyük gaz hacmi üretir.
<b>Kimyasal Stabilité Mekanizması</b>	Aromatik yapı, nitro grupları stabilize eder ve patlamının edilebilirliğini artırır.	Düz veya dallanmış zincir yapılar, daha kolay parçalanarak daha ani bir enerji salınımı yapar.
<b>Üretim Zorlukları</b>	Sentez daha basit	Daha karmaşık sentez
<b>Uygulama Alanları</b>	Askerî mühimmat, endüstriyel patlayıcılar, güvenlik açısından daha kontrollü ortamlar	Daha güçlü yıkıcı gücün gerektiği roket yakıtları, özel mühimmat ve dinamit türleri
<b>Etkileri</b>	Yan ürünleri arasında azot oksitler bulunur ve çevre kirliliği oluşturabilir.	Yüksek enerji nedeniyle çevreye daha büyük etki bırakabilir.
<b>Örnekler</b>	TNT, pikrik asit, tetryl	Nitrogliserin, PETN, nitrometan

**Çizelge A.6: Homoaromatik, Heteroaromatik ve Diğer Aromatik Patlayıcıların Karşılaştırılması**

<b>Kriterler</b>	<b>Homoaromatik Patlayıcılar</b>	<b>Heteroaromatik Patlayıcılar</b>	<b>Diğer Aromatik Patlayıcılar</b>
<b>Kimyasal Yapı</b>	Tamamen karbon atomlarından oluşan aromatik halkalar	Aromatik halka yapısında oksijen, azot veya kükürt gibi heteroatomlar	Aromatik halkaya eklenen farklı fonksiyonel gruplar
<b>Patlama Şiddeti</b>	Yüksek, genellikle kontrollü ve düzenli	Çok yüksek, ancak bazı durumlarda daha hassas	Orta – yüksek, genellikle düşük patlama şiddeti
<b>Kararlılık</b>	Daha kararlı	Kararlılık heteroatoma bağı, bazıları daha reaktif	Genelde daha az kararlı, safsızlıklarla stabilite azalabilir.
<b>Hassasiyet</b>	Düşük hassasiyet	Heteroatomların varlığı hassasiyeti artırabilir	Sürtünme ve darbelere karşı daha hassas
<b>Kimyasal Reaktivite</b>	Nitro grupların aromatik halka ile rezonans etkisi nedeniyle reaktivite düşük	Heteroatomlar reaksiyon mekanizmalarını etkileyerek daha kompleks bir yapı oluşturur	Genellikle daha düşük reaktivite gösterir
<b>Sentez Yöntemi</b>	Basit nitrasyon reaksiyonları ile	Heteroatom içeren öncüllerle karmaşık reaksiyonlar gerektirir	Basit nitrasyon ve alkilasyon reaksiyonlarıyla sentezlenebilir
<b>Reaksiyon Ürünleri</b>	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> gazları	Daha fazla NO <sub>x</sub> ve organik ara ürünler oluşturabilir.	Daha az toksik yan ürünler
<b>Örnekler</b>	TNT, tetryl	Pikrik asit, Dinitrofurazan (DNBF)	Nitrobenzen, dinitrotoluen (DNT)
<b>Uygulama Alanları</b>	Mühimmat, savaş başlıkları, endüstriyel patlayıcılar	Yüksek performanslı askerî uygulamalar, yüksek enerjili yakıtlar	Kimyasal analizlerde referans maddeler ve düşük enerji gereksinimleri

**Çizelge A.7: Alifatik Patlayıcıların Alt Gruplarının Karşılaştırılması**

Kriterler	Nitrat Ester Tabanlı	Nitramit Tabanlı	Peroksit Tabanlı	Siklik Azotlu Alifatik	Diğer Alifatik
<b>Kimyasal Yapı</b>	Alifatik zincirlere bağlı nitrat ester grupları	Alifatik zincir veya halkaya bağlı nitramit grupları	Peroksit grubu içerir, genellikle zincir veya halka yapılı	Alifatik yapı içince bir veya daha fazla azot atomu halkasal formda	Alifatik karbon zincirlerine farklı nitro grupları veya patlayıcı fonksiyonel gruplar
<b>Enerji Yoğunluğu</b>	Çok yüksek	Çok yüksek	Orta - Yüksek	Yüksek	Orta
<b>Patlama Şiddeti</b>	Güçlü ve düzenli enerji salınımı	Yüksek patlama şiddeti ve şok dalgası	Ani ve kontrolsüz enerji salınımı, genellikle hassas ve öngörülemez	Yüksek şiddetli patlama, kontrol edilebilirlik RDX ve HMX'ten genellikle düşüktür.	Daha düşük şiddet, kontrollü patlamalar için uygundur
<b>Kararlılık</b>	Kararlıdır, ancak sıcaklık ve darbelere karşı hassas olabilir	Daha kararlıdır, uzun süreli depolamaya uygun	Çok düşük stabilite; darbe, sürtünme ve sıcaklık değişimlerine karşı son derece hassas	Orta – yüksek; azot atomlarının yapıya kattığı stabilite ile mekanik etkilerle patlamaz.	Orta; kimyasal stabilite genellikle saf olmayan örneklerde düşer.
<b>Hassasiyet</b>	Sürtünme ve çarpma etkilerine karşı orta derecede hassasiyet	Düşük; genellikle şok türlerine duyarlı	Yüksek; sürtünme, çarpma ve sıcaklığa karşı çok hassas	Düşük – orta; mekanik darbelere dirençlidir ancak belirli sıcaklıklarda reaktif olabilir	Orta – yüksek hassasiyet
<b>Kimyasal Stabilite Mekanizması</b>	Nitro grupların elektron çekici etkisi sayesinde stabilite sağlanır	Nitramit grubu rezonans yapısıyla stabilize edilir	Peroksit bağı termal olarak kararsızdır; serbest radikal oluşumu kolaydır	Siklik yapı, azot atomlarının stabilizasyonunu destekler ancak mekanik etkilere dayanıklılığı artırır.	Karbon zincir yapıları nitro grupların varlığına rağmen termal stabilite sağlar.
<b>Sentez Yöntemleri</b>	Nitrik asit ve alifatik alkollerle esterifikasyon reaksiyonu	Nitroaminlerin kontrollü nitrasyonu ve halkalaştırılması	Ketonların peroksitlerle reaksiyonu sonucu sentezlenir, oldukça riskli	Azot içeren bileşiklerin kapalı halka yapıya dönüştürülmesi	Basit nitrasyon ve alkillenme reaksiyonlarıyla sentezlenebilir
<b>Reaksiyon Ürünleri</b>	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> gazları.	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> ve NO <sub>x</sub> .	Daha fazla toksik gazlar (özellikle organik ara ürünler)	Benzer ürünler; çevresel etkiler nispeten düşüktür	Benzer ürünler; düşük NO <sub>x</sub> oranı.
<b>Uygulama Alanları</b>	Dinamit, askerî mühimmat, yüksek patlama gücü gereken uygulamalar	Askerî mühimmat, özel roket yakıtları, yüksek hassasiyet gerektiren patlayıcı sistemler	Terör amaçlı kullanımlar, tahrip gücü yüksek ancak güvenliği düşük amatör patlayıcılar	Askerî amaçlı patlayıcılar, roket yakıtları, piroteknik	Sivil amaçlı patlayıcılar, endüstriyel kullanım, madencilik
<b>Örnekler</b>	Nitrogliserin, PETN	RDX, HMX	TATP, HMTD	Siklik azetonperoksit (CAP), azetin türevleri	Nitrometan, TNM

**Çizelge A.8: Nükleer Patlayıcıların Karşılaştırılması**

<b>Kriterler</b>	<b>Fisyon Tabanlı Patlayıcılar</b>	<b>Füzyon Tabanlı Patlayıcılar</b>	<b>İki Aşamalı Patlayıcılar</b>
<b>Çalışma Prensibi</b>	Ağır atom çekirdeklerinin, Demir-56'dan daha büyük olanların (örneğin, Uranyum-235 ve Plütonyum-239) bölünmesi	Hafif atom çekirdeklerinin, Demir-56'dan daha küçük olanların (örneğin, Döteryum ve Trityum) birleşmesi	Fisyon reaksiyonunun ürettiği enerjinin füzyon reaksiyonunu tetiklemesi
<b>Kullanılan Malzemeler</b>	Uranyum-235, Plütonyum-239 gibi ağır atom çekirdekleri	Döteryum, Trityum, Lityum gibi hafif izotoplar	Hem fisyon hem de füzyon malzemeleri
<b>Verimlilik</b>	Göreceli olarak düşük	Yüksek	Çok yüksek
<b>Tarihsel Kullanımı</b>	Hiroşima'ya atılan "Little Boy" (Küçük Oğlan) ve Nagazaki'ye atılan "Fat Man" (Şişko Adam) atom bombaları	Fisyon aşamasına ihtiyaç duymadan tamamen füzyonla çalışan bir nükleer patlayıcı teorik olarak mümkün olmakla birlikte bugüne kadar geliştirilmemiştir.	Ivy Mike Testi Castle Bravo Testi Tsar (Çar) Bombası
<b>Enerji Üretimi</b>	Yalnızca fisyon reaksiyonları	Yalnızca füzyon reaksiyonları	Fisyon ve füzyon reaksiyonlarının kombinasyonu

**Çizelge A.9: ANSYS Kullanımının Avantajları ve Dezavantajlarının Karşılaştırılması**

<b>Kriterler</b>	<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>
<b>Simülasyon Kapasiteleri</b>	ANSYS, sonlu elemanlar yöntemi (FEM), sonlu hacimler yöntemi (FVM), sonlu farklar yöntemi (FDM), sınır elemanlar yöntemi (BEM), mikro ve makro ölçekli hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), ısı transferi ve difüzyon yöntemleri, radyasyon transferi yöntemleri ve diğer sayısal analiz metodolojileri kullanarak yüksek doğruluklu ve güvenli sonuçlar sağlamaktadır.	Karmaşık simülasyonlar, zaman açısından oldukça maliyetli olabilir ve büyük ölçekli projelerde yüksek işlem gücü ve gelişmiş donanım altyapısı gerektirebilir.
<b>Çok Disiplinli Entegrasyon</b>	ANSYS, mekanik, termal, akışkanlar dinamiği ve elektromanyetik analizleri bir arada gerçekleştirebilen entegre bir platform sunarak mühendislik süreçlerinin bütüncül bir şekilde optimize edilmesine olanak tanımaktadır.	Farklı mühendislik disiplinlerinin entegrasyonu, yazılımın karmaşıklığını artırmakta ve bu durum, kullanıcıların öğrenme sürecini daha zorlu hale getirebilmektedir.
<b>Yüksek Doğruluk ve Güvenilirlik</b>	Yüksek doğrulukla elde edilen simülasyon sonuçları, tasarımların fiziksel prototiplere dayalı testlerle doğrulanma gerekliliğini önemli ölçüde azaltmakta ve böylece hem zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır.	Yazılımın yüksek doğrulukla sonuç üretebilmesi, ayrıntılı parametre ayarlarının yapılmasını ve kullanıcıların yeterli düzeyde teknik bilgiye sahip olmasını gerektirmektedir.
<b>Optimizasyon ve Tasarım Araçları</b>	Tasarım optimizasyonu, parametreler arası ilişki analizi ve hassasiyet analizi gibi ileri düzey araçlar sunarak, mühendislerin daha verimli ve ekonomik tasarımlar geliştirmelerine olanak sağlamaktadır.	Optimizasyon araçlarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi ileri düzey mühendislik bilgisi ve kapsamlı deneyim gerektirmektedir.

**Çizelge A.10: (Devamı): ANSYS Kullanımının Avantajları ve Dezavantajlarının Karşılaştırılması**

<b>Kriterler</b>	<b>Avantajlar</b>	<b>Dezavantajlar</b>
<b>Endüstriyel Yaygınlık ve Uygulama Alanı</b>	Otomotiv, inşaat, elektronik, enerji, uzay ve havacılık gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılması, yazılımın güvenilirliğini artırmakta ve sektöre özgü uygulama yetkinliklerini güçlendirmektedir.	Yüksek lisans ücretleri ve ileri düzey donanım gereksinimleri, küçük ölçekli firmalar ve bireysel kullanıcılar için yazılıma erişimde önemli zorluklar oluşturabilmektedir.
<b>Donanım Gereksinimleri</b>	Yüksek çözünürlüklü ve hassas simülasyonların gerçekleştirilmesi için güçlü bilgisayar altyapılarının kullanılması gerektiğinden simülasyon performansını artırarak kullanıcı memnuniyetine olumlu katkı sağlamaktadır.	Karmaşık simülasyonlar için gerekli olan güçlü donanım, ek maliyetlere yol açabildiğinden küçük ölçekli firmalar ve bireysel kullanıcılar için yazılıma erişimi sınırlayabilmektedir.
<b>Karmaşıklık</b>	ANSYS, kapsamlı özelleştirme seçenekleri ve geniş işlevsellik sunarak mühendislerin, tasarımcıların ve araştırmacıların tasarım sürecinde yüksek derecede esneklik sağlamaktadır.	ANSYS, çok sayıda özellik ve araç seti, başlangıç seviyesindeki kullanıcılar için karmaşık bir deneyim yaratabileceğinden yazılımın kullanıcı dostu olmasını zorlaştırabilmektedir.
<b>Eğitim ve Destek İmkânları</b>	Kullanıcıların yazılımı etkili bir şekilde öğrenmelerine olanak tanıyan kapsamlı eğitim materyalleri ve teknik destek sunulmaktadır.	Öğrenme süreci karmaşık olduğundan başlangıç seviyesindeki kullanıcıların yazılımın tüm potansiyelinden faydalanabilmesi için önemli bir zaman ve çaba harcamaları gerekmektedir.

## ÖZGEÇMİŞ

### ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2000, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2011, İstanbul Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Patlayıcı Yüksek Mühendisliği Programı.