

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİMDALİ
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**HAFİF ZIRHLI ARAÇLARIN KAPI VE KAPAK SİSTEMLERİNDEKİ
GÖVDE BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN BALİSTİK AÇIDAN
İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ**

HAZIRLAYAN

TUĞBERK ŞAKAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA – 2022

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİMDALİ
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**HAFİF ZIRHLI ARAÇLARIN KAPI VE KAPAK SİSTEMLERİNDEKİ
GÖVDE BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN BALİSTİK AÇIDAN
İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ**

HAZIRLAYAN

TUĞBERK ŞAKAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ BEDİ CENK BALÇIK

ANKARA – 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Tuğberk ŞAKAR tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 25 / 11 / 2022

Tez Adı: Hafif Zırhlı Araçların Kapı ve Kapak Sistemlerindeki Gövde Birleşim Bölgelerinin Balistik Açidan İncelenmesi ve Geliştirilmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

(Jüri üyelerinin Unvanı, Adı-Soyadı ve Kurumları “bold” yapılmadan yazılacaktır.)

İmza

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK, Başkent Üniversitesi

.....

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Ahmet Hakan ARGESO, Atılım Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Özgür EROL, Başkent Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ... / ... / 2022

Öğrencinin Adı, Soyadı : Tuğberk ŞAKAR

Öğrencinin Numarası :

Anabilim Dalı : Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

Programı : Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK

Tez Başlığı : Hafif Zırhlı Araçların Kapı ve Kapak Sistemlerindeki Gövde Birleşim Bölgelerinin Balistik Açidan İncelenmesi ve Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 100 sayfalık kısmına ilişkin, 02 / 12 / 2022 tarihinde tez danışmanım tarafından “Turnitin” adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3’tür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: ... / ... / 2022

Öğrenci Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK

.....

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana her zaman yol gösterici ve destek olan çok değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim ve tez çalışmam süresince ilgileri ve önerilerini benden esirgemeyen ve bilgi ve tecrübeleriyle bana sürekli destek olan Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı'ndaki tüm saygıdeğer hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımlarını ve desteklerini hiç esirgemeyen değerli eşim Öğr. Gör. Suna KARAKAŞ ŞAKAR'a ve kıymetli arkadaşım Burak GÜÇLÜ ve Uğur İnanç İNCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

ÖZET

Tuğberk ŞAKAR

**HAFİF ZIRHLI ARAÇLARIN KAPI VE KAPAK SİSTEMLERİNDEKİ GÖVDE
BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN BALİSTİK AÇIDAN İNCELENMESİ VE
GELİŞTİRİLMESİ**

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİMDALI

2022

Zırh çeliği uzun yıllardır zırhlı araçların korunmasında kullanılan en önemli ana malzemelerden biridir. Zırhlı araçların korunmasında kullanılan zırh çeliklerinin balistik limitleri belirlenirken, deneysel çalışmalar yoluyla zırh çeliğine istenen koruma seviyesine uygun mühimmat dik atış testleri yapılmaktadır. Sürekli ortamlar için yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin zırh koruma seviyesini karşılayabilmesi sonucuna karşın, pratikte zırhlı araç gövde birleşim bölgelerinde zırh çeliği plakalarının tam olarak buluşamadığı köşe birleşim bölgelerinde balistik zafiyet olabileceği de dikkate alınmalıdır.

Sayısal çözümleme yöntemi için en önemli kriterlerden biri malzeme ve kırılma modellerini uygun parametrelerle tanımlamaktır. Bu yüzden yüksek dayanım çelikleri için uygun olan Johnson Cook Malzeme Modeli, 7.62x51 (AP) zırh delici çelik çekirdekli mühimmatını ve Armox 500T zırh çeliğini tanımlamak için kullanılmıştır. Johnson Cook Malzeme Modeli, Explicit Dinamik Modülünde malzeme kaybı ve ilerleyen hasarı gösterdiği için sıklıkla kullanılan bir modeldir. Bu yüzden bu çalışmada, sayısal analizler yapılırken Johnson Cook Malzeme Modeliyle uyumlu Explicit Dinamik Modülü tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, hafif zırhlı araçların kapı ve kapak sistemlerinin NATO 4569 AEP 55KE ve TS EN 1523 standartlarında gösterilen atış yönlerinde oluşabilecek balistik zafiyet bölgeleri Ansys programında Explicit modülünde sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenecektir.

Çalışmanın sonunda, Stanag 4569 Seviye 2 ve üzeri balistik koruma seviyesine sahip hafif zırhlı araçlar için kapı ve kapak sistemlerinde, balistik zafiyetin olmadığı kapı/kapak ve gövde birleşim bölgeleri açıklıkları belirlenecektir.

ANAHTAR KELİMELEER: Balistik penetrasyon, 7.62x51 (AP) zırh delici mermi, Armox 500 T zırh sacı, Balistik zafiyet, Balistik koruma seviyeleri.



ABSTRACT

Tuğberk ŞAKAR

**BALLISTICAL INVESTIGATION AND IMPROVEMENT OF THE HULL AREA
OF DOOR AND HATCH SYSTEMS IN LIGHT ARMORED VEHICLES**

BAŞKENT UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF DEFENCE TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

2022

Armour steel has been one of the most significant main materials in protecting the armoured vehicles for many years. When determining the ballistic limits of armour steels that are used to protect the armoured vehicles, vertical shot tests to the armour steel with the ammunition that is suitable for requested protection level are performed via experimental studies. On the other hand, via theoretical studies, the ballistic effect of relevant ammunition that affects the armour steel is carried out. Although it has been observed that the data which has been obtained as a result of both experimental and theoretical studies has delivered the best results under ideal conditions, it should be noted that in practical, there could be ballistic vulnerabilities in edge joint areas where armour steel plates fail to meet precisely.

One of the most important criteria for numerical analysis method is to define the material and fracture models with the appropriate parameters. Therefore, Johnson Cook Material Model which is appropriate for high strength steels has been used to define the ammunition of 7.62x51 (AP) armour piercing steel core and Armox 500T armour steel. Johnson Cook Material Model is a frequently used method as it describes the progressive damage and failure of material in Explicit Dynamics Module. Hence, in this study, when carried out numerical analysis, Explicit Dynamics Module that complies with Johnson Cook Material Model has been preferred.

In this thesis, the ballistic weaknesses of door and hatch systems in light armoured vehicles to the shooting directions that are stated in the NATO 4569 AEP 55 KE and TS EN 1523 standards, are going to be investigated by the finite element analysis function of the Explicit module in Ansys software program.

At the end of this thesis, the clearance areas in the door/hatch and body connection regions, of the light armoured vehicles, which have a ballistic protection level in Stanag 4569 Level 2 and above, that do not have any ballistic weaknesses, are going to be stated.

KEYWORDS: Ballistic penetration, 7.62x51 (AP) armour piercing bullet, Armox 500 T armour plate, Ballistic vulnerability, Ballistic protection levels.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ZIRH ÇELİKLERİ.....	12
3.1. Zırh Çeliği Çeşitleri	12
3.2. Zırh Çeliği Mekanik Özellikleri	12
3.3. Zırh Çeliği Seçim Kriterleri.....	13
4. BALİSTİK VE STANDARTLAR	14
4.1. Balistik Tehdit	14
4.2. Balistik Penetrasyon	14
4.3. Balistik Penetrasyon Aşamaları	15
4.4. Balistik Standartlar ve Koruma Seviyeleri	16
4.4.1. NATO 4569 AEP 55KE standardı	17
4.4.2. Stanag 4569 standardı.....	18
4.4.3. DIN EN 1522 standardı.....	19
4.4.4. TS EN 1523 standardı	19
5. MATEMATİKSEL MODEL VE BİRLEŞİM BÖLGESİ TASARIMLARI	20
5.1. Johnson-Cook Strength Model	20
5.2. Johnson-Cook Failure Model	21
5.3. Johnson Cook Malzeme Parametreleri.....	22
5.3.1. Zırh çeliğine ait parametreler	22
5.3.2. Mermiye ait parametreler	22
5.4. Gömme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşim Geometrisi Tasarımı.....	23

5.5.	Bindirme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşim Geometrisi Tasarımı	24
5.6.	Katı ve Sonlu Eleman Modellemesi.....	25
5.6.1.	Numune sabitleme bölgeleri	25
5.6.2.	Eleman türü ve sayısı	26
5.6.3.	Malzeme temas bölgeleri.....	26
6.	SAYISAL ANALİZLER	29
6.1.	Doğrulama Atışı	29
6.2.	Gömme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşimi Sayısal Analizi	34
6.2.1.	Gömme tipinde 3mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi	34
6.2.2.	Gömme tipinde 3mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi	38
6.2.3.	Gömme tipinde 3mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi	41
6.2.4.	Gömme tipinde 5mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi	44
6.2.5.	Gömme tipinde 5mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi	47
6.2.6.	Gömme tipinde 5mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi	50
6.2.7.	Gömme tipinde 8mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi	53
6.2.8.	Gömme tipinde 8mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi	57
6.2.9.	Gömme tipinde 8mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi	60
6.3.	Bindirme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşimi Sayısal Analizi	63
6.3.1.	Bindirme tipinde 3mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi.....	63
6.3.2.	Bindirme tipinde 3mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi.....	66
6.3.3.	Bindirme tipinde 3mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi.....	69
6.3.4.	Bindirme tipinde 5mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi.....	72
6.3.5.	Bindirme tipinde 5mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi.....	75
6.3.6.	Bindirme tipinde 5mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi.....	78
6.3.7.	Bindirme tipinde 8mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi.....	81
6.3.8.	Bindirme tipinde 8mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi.....	84
6.3.9.	Bindirme tipinde 8mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi.....	88
7.	TEST VERİLERİ	92
7.1.	Gömme tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşim Test Verisi	92
8.	BULGULAR.....	95
8.1.	Sac Çeşitlerine Göre Penetrasyon Derinlikleri	95
8.2.	Şahit Numune Hasar Analizleri.....	96
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97

KAYNAKLAR.....	101
-----------------------	------------



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Armox 500T mekanik özellikleri. [8]	12
Tablo 3.2. Armox 500T kimyasal bileşimi. [8]	12
Tablo 3.3. Zırh çeliği seçim kriterleri.	13
Tablo 4.1. Stanag 4569 standardında mühimmat cinsine göre koruma seviyeleri. [13] ...	18
Tablo 4.2. DIN EN 1522 standardında mühimmat cinsine göre koruma seviyeleri. [14].	19
Tablo 5.1. Armox 500 T zırh plakasının Johnson Cook Malzeme parametreleri [16].	22
Tablo 5.2. 7.62x51 (AP) zırh delici çelik çekirdekli mühimmatın Johnson Cook Malzeme parametreleri. [17]	23
Tablo 5.3. Gömme kapı-kapak gövde birleşim geometrisi sembollerinin anlamları.	24
Tablo 5.4. Bindirme kapı-kapak gövde birleşim geometrisi sembollerinin anlamları.	25
Tablo 5.5. Eleman sayıları.	26
Tablo 5.6. Gömme kapı ve kapak temas bölgeleri.	27
Tablo 5.7 Bindirme kapı ve kapak temas bölgeleri.	28
Tablo 6.1. Deneysel veriler ile analiz sonucunun penetrasyonunun karşılaştırılması.	33
Tablo 7.1. Atış testi detay verileri.	92
Tablo 8.1. Gömme tipi kapı/kapak sisteminde sac çeşitlerine göre penetrasyon derinlikleri.	95
Tablo 8.2. Bindirme tipi kapı/kapak sisteminde sac çeşitlerine göre penetrasyon derinlikleri.	95
Tablo 8.3. Gömme tipi kapı/kapak için şahit numune hasar analizi.	96
Tablo 8.4. Bindirme tipi kapı/ kapak için şahit numune hasar analizi.	96
Tablo 9.1. Balistik zafiyet karşılaştırma tablosu.	97
Tablo 9.2. Şahit numune karşılaştırma tablosu.	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Ön kısımda atış yapılan perfore sac. [1].....	5
Şekil 2.2. Atış bölgesine göre balistik davranış. [1].....	6
Şekil 2.3. Deneysel sonuca göre atış bölgesindeki balistik davranış. A) perfore sacın boşluk kısmına atış. B) perfore sacın dolu kısmına atış. [2].....	7
Şekil 2.4. Sayısal analiz sonucuna göre atış bölgesindeki balistik davranış.	7
Şekil 2.5. Çarpma sonrası mermi üzerinde meydana gelen deformasyon. [3]	8
Şekil 2.6. Küt merminin balistik etkisi. [4]	9
Şekil 2.7. Oval merminin balistik etkisi. [4]	9
Şekil 2.8. Açılı hedefe atış durumunda mermi davranışı. A) 20 µs B) 40 µs C) 80 µs [5].	9
Şekil 2.9. Ayarlanabilir mesafeli add-on mekanizması. [6]	10
Şekil 2.10. Perfore sac destekli zırh sacı gösterimi. [7]	10
Şekil 2.11. Atış açılarının hedef üzerindeki etkisinin deneysel ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması. [8]	11
Şekil 4.1. Normal mermi ile zırh delici mermi gösterimi. A) Normal mermi B) Zırh delici mermi. [10]	14
Şekil 4.2. Farklı kullanım amaçlarına göre zırhların balistik penetrasyon limitleri. [3] ...	15
Şekil 4.3. Balistik penetrasyon aşamaları. [3]	15
Şekil 4.4. Balistik penetrasyon olasılık grafiği. [12]	17
Şekil 4.5. Balistik test prosedürü. [13]	17
Şekil 4.6. NATO 4569 AEP 55KE standardında belirtilen tehdit yönleri. [14]	18
Şekil 4.7. TS EN 1523'e göre açılıp kapanan pencere ve kapılar hedef noktaları ve atış doğrultuları. [16]	19

Şekil 4.8. TS EN 1523'e göre kasa tespit bileşenleri hedef noktaları ve atış doğrultuları.	
[16]	19
Şekil 5.1. 7.62 (AP) mermiye ait detay geometri. [19]	22
Şekil 5.2. Gömme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi tasarımı detay görüntüsü.	
.....	23
Şekil 5.3. Bindirme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi tasarımı detay görüntüsü.....	24
Şekil 5.4. Gömme kapak sabitleme bölgeleri.	25
Şekil 5.5. Bindirme kapak sabitleme bölgeleri.	26
Şekil 6.1. 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında analiz başlangıç durumu.	30
Şekil 6.2. 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında penetrasyona başlamıştır.	30
Şekil 6.3. 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında penetrasyonu tamamlamıştır.	31
Şekil 6.4. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu hasarın izometrik görüntüsü.	31
Şekil 6.5. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu penetrasyon derinliği.....	32
Şekil 6.6. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu penetrasyon derinliğinin test sonucu (en fazla nüfuziyet durumu).	32
Şekil 6.7. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacına penetrasyonun oluşturduğu gerilme dağılımı.	34
Şekil 6.8. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.	35

Şekil 6.9. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	35
Şekil 6.10. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.....	36
Şekil 6.11. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	36
Şekil 6.12. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	37
Şekil 6.13. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
37	
Şekil 6.14. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	38
Şekil 6.15. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	38
Şekil 6.16. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.....	39
Şekil 6.17. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	39
Şekil 6.18. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	40
Şekil 6.19. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
40	

Şekil 6.20. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	41
Şekil 6.21. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	41
Şekil 6.22. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	42
Şekil 6.23. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	42
Şekil 6.24. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	43
Şekil 6.25. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
43	
Şekil 6.26. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	44
Şekil 6.27. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	44
Şekil 6.28. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	45
Şekil 6.29. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	45
Şekil 6.30. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	46
Şekil 6.31. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon çıkış noktası.	46

Şekil 6.32. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
.....	47
Şekil 6.33. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	47
Şekil 6.34. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	48
Şekil 6.35. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	48
Şekil 6.36. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	49
Şekil 6.37. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	49
Şekil 6.38. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
.....	50
Şekil 6.39. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	50
Şekil 6.40. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	51
Şekil 6.41. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	51
Şekil 6.42. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	52

Şekil 6.43. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	52
Şekil 6.44. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	53
Şekil 6.45. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	53
Şekil 6.46. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	54
Şekil 6.47. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	54
Şekil 6.48. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	55
Şekil 6.49. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	55
Şekil 6.50. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon çıkış boşluğu.	56
Şekil 6.51. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	56
Şekil 6.52. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	57
Şekil 6.53. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	57

Şekil 6.54. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.....	58
Şekil 6.55. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	58
Şekil 6.56. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	59
Şekil 6.57. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
.....	59
Şekil 6.58. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	60
Şekil 6.59. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	60
Şekil 6.60. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.....	61
Şekil 6.61. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	61
Şekil 6.62. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	62
Şekil 6.63. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
.....	62
Şekil 6.64. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	63

Şekil 6.65. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	63
Şekil 6.66. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	64
Şekil 6.67. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	64
Şekil 6.68. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	65
Şekil 6.69. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	65
Şekil 6.70. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	66
Şekil 6.71. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	66
Şekil 6.72. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	67
Şekil 6.73. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	67
Şekil 6.74. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	68
Şekil 6.75. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	68

Şekil 6.76. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	69
Şekil 6.77. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	69
Şekil 6.78. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	70
Şekil 6.79. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	70
Şekil 6.80. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	71
Şekil 6.81. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	71
Şekil 6.82. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	72
Şekil 6.83. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	72
Şekil 6.84. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	73
Şekil 6.85. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	73
Şekil 6.86. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	74

Şekil 6.87. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
.....	74
Şekil 6.88. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	75
Şekil 6.89. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	75
Şekil 6.90. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	76
Şekil 6.91. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	76
Şekil 6.92. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	77
Şekil 6.93. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.	
.....	77
Şekil 6.94. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu	
detay görüntüsü.	78
Şekil 6.95. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	78
Şekil 6.96. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.	79
Şekil 6.97. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	79

Şekil 6.98. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	80
Şekil 6.99. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.	80
Şekil 6.100. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat	
durumu.	81
Şekil 6.101. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	81
Şekil 6.102. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.....	82
Şekil 6.103. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	82
Şekil 6.104. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	83
Şekil 6.105. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.....	83
Şekil 6.106. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat	
durumu.	84
Şekil 6.107. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	84
Şekil 6.108. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.....	85

Şekil 6.109. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	85
Şekil 6.110. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	86
Şekil 6.111. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.....	86
Şekil 6.112. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune üst bölge	
tahribat durumu.	87
Şekil 6.113. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune orta bölge	
tahribat durumu.	87
Şekil 6.114. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune alt bölge	
tahribat durumu.	88
Şekil 6.115. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılması.	88
Şekil 6.116. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.....	89
Şekil 6.117. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.	89
Şekil 6.118. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.	90
Şekil 6.119. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.....	90

Şekil 6.120. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45	
derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat	
durumu.	91
Şekil 7.1. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla mermi nişangahının yapılması.	93
Şekil 7.2. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla atış yapıldıktan sonra mermi giriş hasarının gösterimi.	93
Şekil 7.3. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla atış yapıldıktan sonra mermi çıkış hasarının gösterimi.	94
Şekil 7.4. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15	
derece atış açısıyla atış yapıldıktan sonra kapı ve gövde sızdırmazlık	
contalarında hasar olmadığının gösterimi.	94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\dot{\varepsilon}_p^*$	birimsiz plastik gerinim oranı
T_H	normalize sıcaklık değeri
ε^f	eşdeğer gerinim
ε_p	eşdeğer plastik gerinim
σ_H	hidrostatik gerilim
σ_{eq}	Vonmises gerilimi
$\Delta\varepsilon$	plastik gerinim artışı
A	malzemenin akma gerilmesi
B	gerilme sertleşme değeri
C	gerilme güçlendirme katsayısı
D	hasar değişkeni
M	termal yumuşama katsayısı
N	gerilme sertleşme katsayısı

1. GİRİŞ

Zırhlı personel taşıyıcı araçlarda personel koruması için araç kabin bölgesi tüm bölgelerden gelebilecek balistik etkilere karşı korunmalıdır. Zırhlı bir aracın koruma seviyesi belirlenirken; aracın tüm bölgeleri düşünülmeli, araç sadece zırh dayanımının yüksek olduğu bölgelerdeki seviyeye göre değerlendirilmemelidir. Bu açıdan bakıldığında zırhlı araçlarda zafiyet bölgesi olarak görünen bölgelerden bir tanesi de araç gövdesinde bulunan kapı ve kapak sistemleridir. Bu bölgelerdeki sistemler hareketli olduğu için bu sistemlerin gövde ile birleşim yaptığı noktalarda açıklıklar bulunmaktadır. Kapı ve kapak sistemlerinde fonksiyonelliği bozmayacak minimum açıklık seviyelerinin araç balistiğinde yarattığı olası zafiyetler tasarım, analiz ve test doğrulama aşamalarında kontrol altında olmalıdır. Hafif zırhlı araçlar için kapıların çalışabilirlik fonksiyonunu etkilemeden balistik zafiyet yaratmayacak ön tasarım girdisinin oluşturulması AR-GE süreçlerini kısaltmak için önemlidir.

Zırhlı araçlarda temelde bindirme ve gömme tipinde olmak üzere fonksiyonel olarak ayrılan iki çeşit kapı ve kapak sistemi vardır. Her iki çeşit kapı ve kapak sisteminin birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları mevcuttur.

Zırhlı araçlarda gömme tipinde kapı sistemlerinin tasarlanması daha hassas toleranslar gerektirmektedir. Ayrıca kapı ve kapak sistemleri hareketli yapılar olduğu için gövde ile arasındaki boşluklar daha hassas bir şekilde ayarlanmalıdır. Uygun olmayan toleranslar ile tasarlanıp üretilmiş kapı ve kapaklarda tekrar düzeltme işlemi uygulanmaktadır. Bu da hem tasarım zorluğu getirmektedir hem de üretim maliyetlerini arttırmaktadır.

Bindirme tipinde kapı sistemlerinde tolerans değerleri daha rahat olabilmektedir. Araç gövdesi dışında yapılandırıldıkları için de çevre geometri ile olan etkileşimi daha rahat kontrol edilir. Gömme tipinde kapı ve kapak sistemleri ağırlık avantajı sağlarken, bindirme tipindeki kapı ve kapak sistemleri daha ağır olmakla beraber yanal patlamalarda avantaj sunmaktadır. Bu da aracın kullanım senaryosuna göre seçim kriterlerinin başında gelmektedir.

Tasarımı yapılan kapı ve kapakların balistik yeterlilik düzeyleri test doğrulama faaliyetleri ile kanıtlanmalıdır. Test atışlarında genellikler olası her durum için test yapılmaz ve tasarımcının ön gördüğü kritik noktalar üzerinde atış testleri yapılmaktadır. Burada her atış senaryosu için inceleme yapılmadığından düşük olasılıkla da olsa balistik zafiyet olabilecek durumlar söz konusu olabilir. Güvenli tarafta kalmak için öncelikle tasarımı

yapılmış olan kapı ve kapak modellerinin analiz modellerinin oluşturulması ve bu analiz modelleri üzerinden farklı tipte atış senaryoları gerçekleştirilmelidir. Analiz verilerinden çıkan sonuçlar değerlendirilip kritik atış senaryoları bulunmalı ve bu atış senaryoları üzerinden test faaliyetlerine başlanmalıdır. Analiz sonrası olası zafiyet bölgeleri varsa ürünün test aşamasına girmeden tekrar tasarım geliştirme faaliyetlerine alınmasına fırsat verir. Böylece hem tasarım maliyeti hem de tasarım güvenilirliğine katkı sağlanmış olunur ve çıkan sonuçlar test verisi olarak bir girdi oluşturur.

Bu çalışma sonucunda hafif zırhlı araçların kapı ve kapak sistemlerinin NATO 4569 AEP 55KE ve TS EN 1523 standartlarında gösterilen atış yönlerinde oluşabilecek balistik zafiyet bölgeleri sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda balistik zafiyet içeren tasarımlar belirlenmiş ve bunu azaltıcı öneriler verilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kılıç, “Development of multi-layer ballistic armor panel with simulation and ballistic tests” isimli tez çalışmasında üst katmanı delikli, alt katmanı ise düz zırh plakalarından oluşan iki katmanlı zırh tasarımını incelemiştir [1]. Zırh plakalar birbirlerine mekanik bağlantı elemanları aracılığıyla sabitlenmiş olup aralarında boşluk bulunmaktadır. Üst katmandaki zırh plakasının üzerinde bulunan delikler 7.62 mm’lik merminin çapından bir miktar küçük olacak şekilde açılmıştır [1].

Üst katmanı oluşturan delikli zırh plakasının balistik tehdide karşı 3 önemli koruma mekanizması bulunmaktadır. Bunlar mermi çekirdeğinin yönünün değiştirilmesi, mermi çekirdeğinin kırılması ve ucunun aşınmasıdır.

Üst katmandaki delikli zırh plaka, mermiye karşı direnç oluşturan ilk elemandır. Merminin delikli plakaya isabet etmesi durumunda isabet pozisyonuna göre plaka mermi yönünde değişikliklere sebep olmaktadır. Plaka üzerindeki delik kenarlarına isabet eden mermilerin yönü yüksek derecelerde değişmektedir çünkü delik kenarlarında mevcut olan malzeme süreksizliği isabet eden mermi üzerinde bir moment oluşturmaktadır. Süreksiz malzeme bölgesine isabet eden mermi oluşan moment sebebiyle kendi yönünden sapmakta ve üst plakayı perfore etmesi durumunda alt plakaya başlangıç açısından daha yüksek bir açıyla isabet etmektedir. Alt plakaya isabet eden merminin geldiği açının artışı oranla balistik tehdidi de azalmaktadır çünkü merminin açısı arttıkça plakayı perfore etmek için plaka içerisinde ilerlemesi gereken malzeme uzunluğu artmaktadır. Bu sebeple bir merminin balistik tehdidinin en yüksek olduğu durum plakaya dik açıyla isabet ettiği, malzeme içerisinde ilerlemesi gereken uzunluğun en az olduğu, durumdur. İsabet yönü başlangıça oranla daha yüksek bir açıya saptırılan mermilerin balistik tehdidi azalmaktadır.

Delikli zırh plakasında, delikler arasında bulunan malzeme bölgesine isabet eden mermiler de yön değişikliğine maruz kalabilmektedir. Bunun sebebi, merminin isabet ettiği anda malzeme içerisinde oluşan gerilim kuvvetlerinin malzeme boyunca iletilmesi, delik iç yüzeylerine kadar iletilen gerilim kuvvetlerinin bu yüzeylerden malzeme sürekliliğinin bitmesi sebebiyle geri yansıtılması ve yansıyan gerilim kuvvetlerinin mermi isabet noktasına geri iletilmesidir. Mermi delikler arası bölgede, delik merkezlerine tam olarak eşit uzaklıkta olan noktaya isabet etmediği sürece, delik yüzeylerinden yansıyan gerilim kuvvetleri farklı uzunlukları katederek isabet noktasına ulaşacak ve bu sebeple mermi üzerine farklı

zamanlarda etki edeceklerdir. Oluşan bu kuvvet dengesizliği merminin başlangıç noktasında değişikliğe sebep olacaktır.

Üst katmanda bulunan zırh plakasındaki delik kenarına isabet eden mermilerin dış yüzeyi sıyrılmakta ve mermi plakayı perfore etmesi durumunda sadece mermi çekirdeği alt plakaya ulaşabilmektedir. Delik kenarlarındaki malzeme süreksizliği sebebiyle, delik kenarlarına isabet eden mermiler üzerinde bir moment oluşmaktadır. Oluşan moment mermi çekirdeği üzerinde esnemeye sebep olmakta ve bazı durumlarda bu etki mermi çekirdeğini kırabilmektedir. Delik kenarlarında yüksek seviyede esneme kuvvetlerine maruz kalan mermi çekirdekleri kırılarak iki parçaya bölünebilmektedir. Mermi çekirdeğinde oluşan bu kütle kaybı, merminin balistik tehdidini azaltmakta ve alt plakayı perfore etme ihtimalini düşürmektedir.

Delik kenarlarına isabet eden mermi çekirdekleri aşınmaya da uğramaktadır. Delik kenarları sahip oldukları keskinlik sebebiyle isabet eden mermi çekirdeğinin burun kısmını aşındırmakta ve mermi ucunun yapısını bozmaktadır. Bu etki merminin balistik tehdidini azaltmaktadır.

Yukarıda açıklanan, delikli zırhların merminin balistik etkisini azaltma mekanizmaları analiz programı sonuçları ve atış testlerinin karşılaştırılmasıyla doğrulanmıştır.

Balistik test sonucunda delik kenarına isabet eden, üst katmanı perfore edip alt plakaya ulaşan merminin alt plakada oluşturduğu çukurun derinliği 1.8 mm olarak ölçülmüştür. Burada yukarıda açıklanan bütün savunma mekanizmaları mermi üzerine etki etmektedir.

Balistik testte kullanılan zırh konfigürasyonu analiz programında oluşturulup üst plakanın savunma mekanizmalarına ait matematiksel modeller sırayla analize dahil edilerek balistik koruma konusunda sağladıkları avantajlar doğrulanmıştır.

İlk etapta, analiz programına üst katmandaki delikli zırhın sadece mermi yönünü değiştirme fonksiyonu eklenmiş ve alt plakada oluşan çukurun derinliği 6 mm olarak ölçülmüştür. Balistik test sonucu olan 1.8 mm ile kıyaslandığında bu fonksiyon önemli fakat tek başına yetersizdir.

Daha sonra analize üst plakanın mermi çekirdeğini kırma fonksiyonu da eklenmiş ve çukur derinliği 3.5 mm olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, üst plakanın mermi çekirdeğini kırma fonksiyonun balistik koruma konusunda önemli bir avantaj sağladığını doğrulamaktadır. Balistik test sonucu olan 1.8 mm seviyesine yaklaşılmış fakat henüz bu iki fonksiyon ile istenilen sonuç elde edilememiştir.

Son olarak üst plakaya mermi ucunu aşındırma fonksiyonu da eklendiğinde alt plakada oluşan çukurun derinliği 1.4 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen analiz sonucu, balistik test

sonucuna son derece yakın olmakta ve delikli zırh plakasının mermi üzerine etki ettiği üç savunma mekanizmasının da önemini ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasında ise benzer yaklaşımla kapı üzerine monte edilen zırh plakalar (çıtalar), kapı ile gövde boşluğuna denk gelecek açıda atılan mermilerin çekirdeklerinin kırılması, aşınması ve açılarının değiştirilmesini sağlayacak pozisyonlarda konumlandırılacaktır.

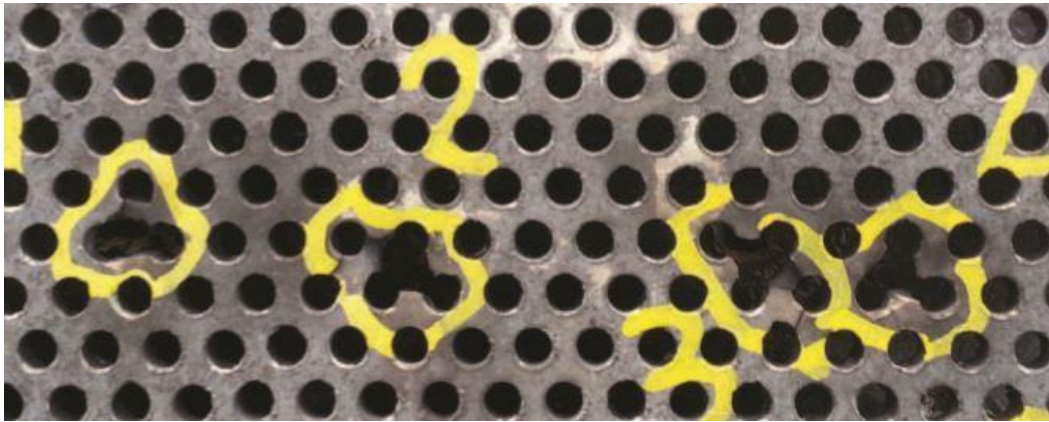
Kapı çıtalarının kenarlarına çarpacak mermilerin çekirdeklerinin kırılması, aşınması ve geliş açılarının değişmesi neticesinde balistik avantaj elde edilmesi beklenmektedir.

Pawlowski ve Fras, “Numerical and experimental investigation of asymmetrical contact between a steel plate and armour-piercing projectiles” isimli çalışmalarında delikli zırh levhaların balistik performansını incelemişlerdir [2].

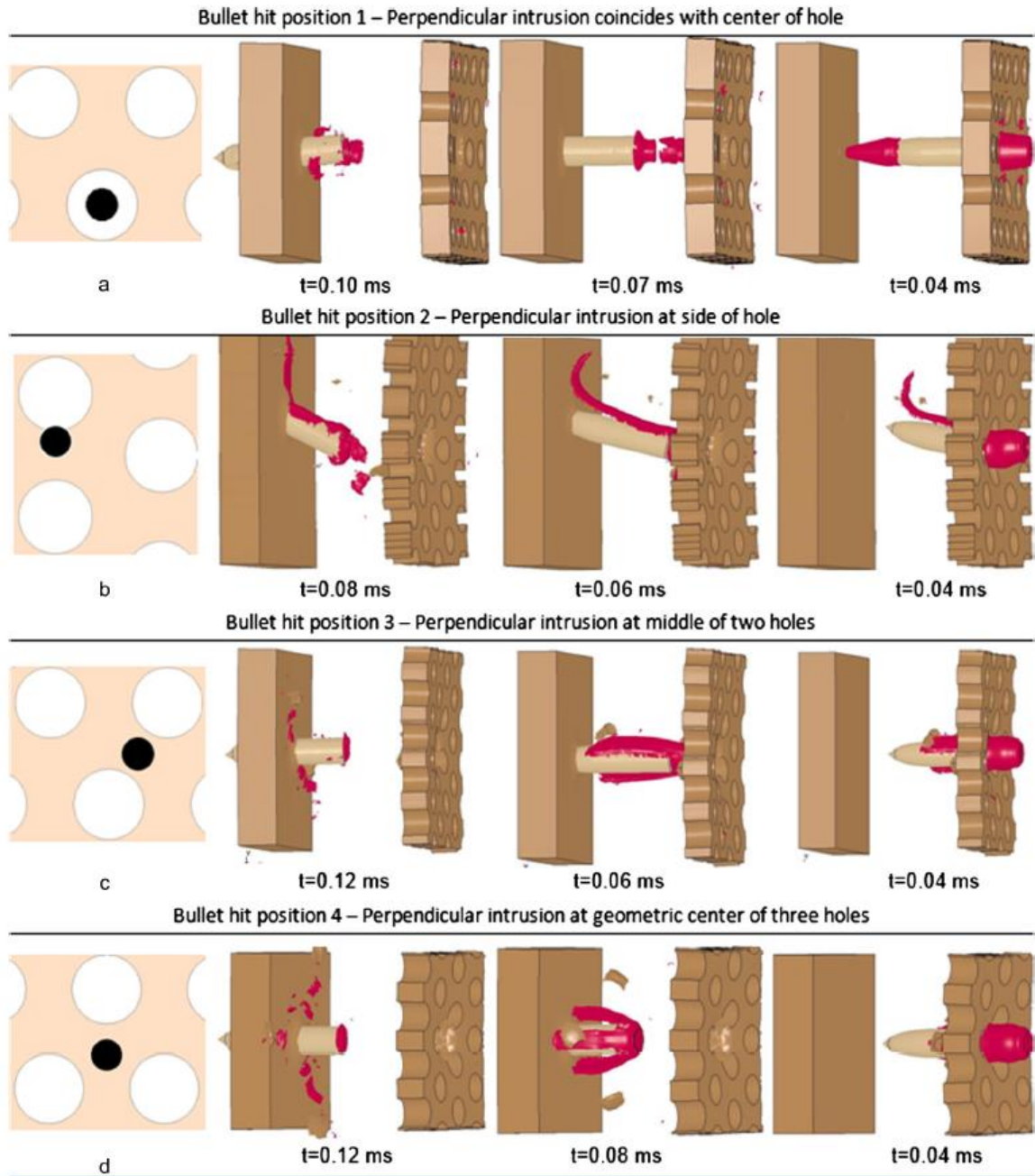
Çalışmada kullanılan zırh levha üzerindeki delikler “slot” biçimlidir ve delik çapları mermi dış çapından bir miktar daha küçüktür. Delik bölgesinin orta noktasına isabet eden mermilerin dış çeperi sıyrılmakta ve sadece mermi çekirdeği levhayı geçebilmektedir. Bu etki merminin balistik tehdidini azaltmaktadır. Ayrıca mermi yönünde sapmalar olması sebebiyle balistik koruma miktarı da yükselmektedir. Şekil 2.3.’te deneysel atışa göre balistik davranış ve şekil 2.4.’te sayısal analiz sonucuna göre balistik davranış verilmiştir.

Delik kenarlarına çarpan mermilerin ise çekirdekleri kırılmakta, çekirdek uçları aşınmakta ve izledikleri doğrultunun açısı arttırılarak yönleri değiştirilmektedir. Bu etkiler de merminin balistik tehdidini azaltarak korumayı arttırmaktadır.

Delikler arasındaki malzeme bölgesine isabet eden mermilerin ise hızları azalmakta ve yönleri değiştirilmektedir. Şekil 2.1.’de deneysel atış yapılmış görsel ve şekil 2.2.’de analize ait görseller verilmiştir.

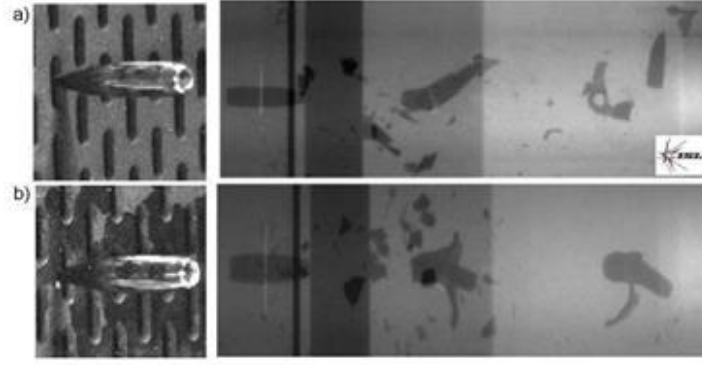


Şekil 2.1. Ön kısımda atış yapılan perfore sac. [1]



Şekil 2.2. Atış bölgesine göre balistik davranış. [1]

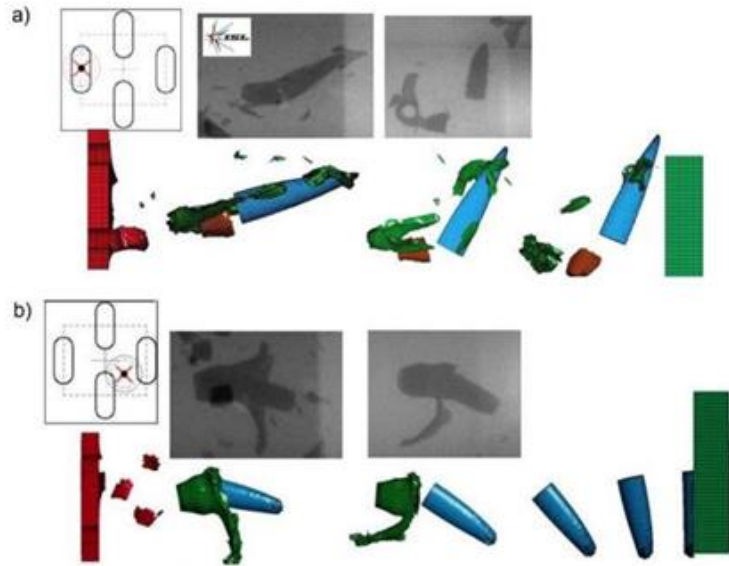
Çalışma sonucunda nümerik ve deneysel olarak delikli zırh levhaların mermi çekirdeğini parçalaması, aşındırması ve mermi yönünü saptırması sebebiyle balistik korumayı arttırdığı kanıtlanmıştır.



Şekil 2.3. Deneysel sonuca göre atış bölgesindeki balistik davranış. A) perfore sacın boşluk kısmına atış. B) perfore sacın dolu kısmına atış. [2]

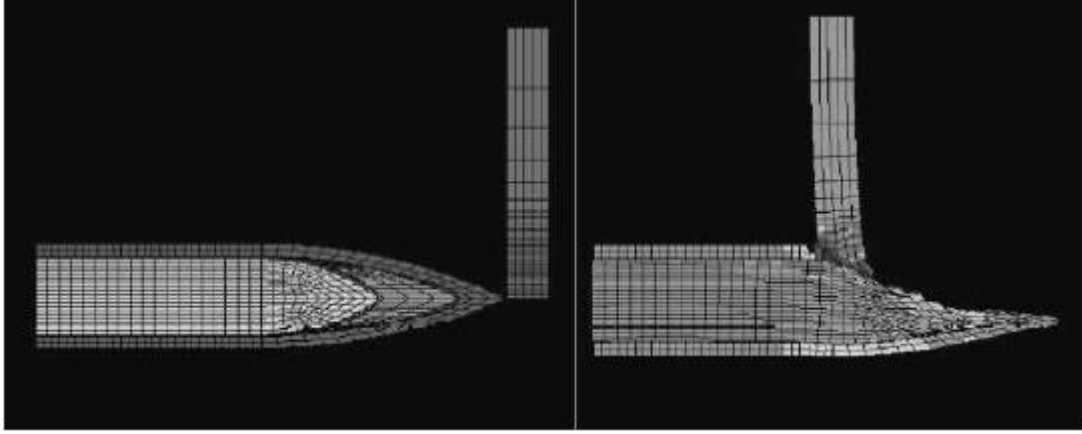
Deniz, “Ballistic Penetration of Hardened Steel Plates” isimli tez çalışmasında kinetik enerji tehditlerinin zırh çeliklerine penetrasyon mekanizmalarını incelemiştir [3].

Penetrasyon mekanizmaları ile ilgili farklı matematiksel modeller ve simülasyonlar, atış testleri ile karşılaştırılarak doğrulanmış, zırh çeliklerinin balistik performansını etkileyen unsurlar belirlenmiştir. Şekil 2.5.’te çarpma sonrası mermi üzerinde meydana gelen deformasyon verilmiştir.



Şekil 2.4. Sayısal analiz sonucuna göre atış bölgesindeki göre balistik davranış.

A) Perfore sacın boşluk kısmına atış. B) Perfore sacın dolu kısmına atış. [2]



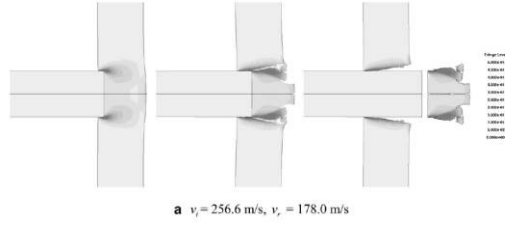
Şekil 2.5. Çarpma sonrası mermi üzerinde meydana gelen deformasyon. [3]

Borvik vd., “Quasi-brittle fracture during structural impact of AA7075-T651 aluminium plates” isimli çalışmasında hedefe isabet eden farklı geometrilere sahip mermilerin balistik tehditlerini karşılaştırmıştır. Şekil 2.6.’da gösterilen kare ve Şekil 2.7.’de gösterilen oval burunlu mermi geometrileri seçilmiştir [4].

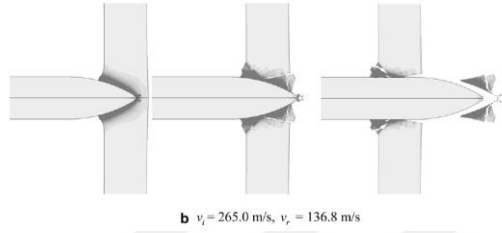
Kare burunlu mermi, plakaya isabet ettiğinde geometrisi sebebiyle maruz kaldığı sürtünme kuvvetleri düşük olmaktadır. İsabet anında merminin malzeme içerisine nüfuz eden köşe bölgeleri yüzey olarak çok sınırlıdır, dolayısıyla kare burunlu merminin plaka içerisindeki maddesel ortamla etkileşimi daha az olmaktadır. Ayrıca köşeli yapısı sebebiyle kare burunlu merminin malzeme yüzeyinde oluşturduğu basınç daha yüksek olmakta ve malzemenin mermi köşe bölgelerine karşılık gelen kısımlarından yırtılarak deforme olmasına sebep olmaktadır.

Plakaya isabet eden oval burunlu merminin plaka içerisine nüfuz ettiği yüzeyin alanı, geometrisi sebebiyle daha yüksektir. Oval burunlu mermi üzerine plaka içerisindeki maddesel ortam sebebiyle etki eden sürtünme kuvvetleri daha yüksektir.

Araştırma sonucunda kare burunlu mermilerin daha az sürtünme kuvvetine maruz kaldıkları için oval burunlu mermilere göre hedef malzemeyi daha kolay perfore edebildikleri tespit edilmiştir.



Şekil 2.6. Küt merminin balistik etkisi. [4]

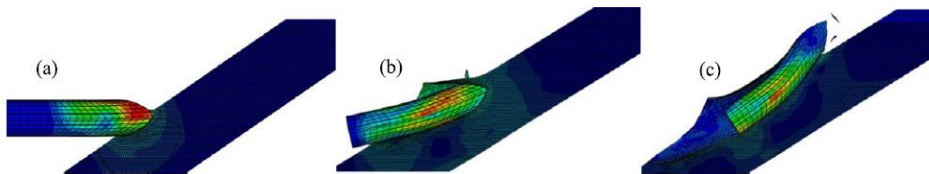


Şekil 2.7. Oval merminin balistik etkisi. [4]

Iqbal vd., “Oblique impact on single, layered and spaced mild steel targets by 7.62 AP projectiles” isimli çalışmasında mermi geliş yönüne göre 90 dereceden daha yüksek açılarda konumlandırılan zırhların, isabet eden mermilerin yönünü saptırması hakkında analizler yapmıştır [5].

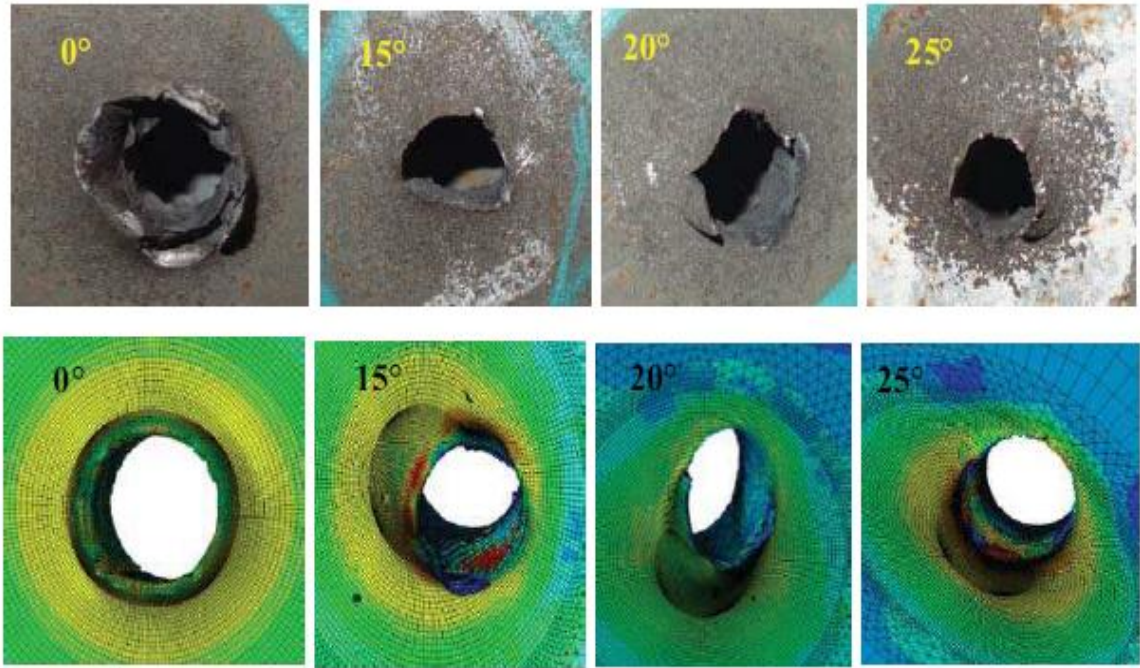
Analiz sonuçlarında mermi üzerindeki farklı noktalarda farklı büyüklüklerde basınç oluştuğu tespit edilmiştir. Merminin 90 dereceden yüksek açılarda isabet ettiği malzeme içerisinde, mermi üzerine farklı büyüklük ve doğrultularda kuvvetler etki etmektedir. Bunun sebebi isabet eden merminin içinde bulunduğu maddesel ortamın farklı yönlerde farklı kütlelere sahip olmasıdır. Oluşan kuvvet dengesizliği sebebiyle mermi, geliş doğrultusundan saptırılmakta ve oluşan moment etkisiyle malzeme dışına doğru yönelmektedir. Şekil 2.8.’de mermi sapma analizleri verilmiştir.

Pagano ve Seyfert, “Adjustable Combat Vehicle Armor” isimli patent çalışmasında zırhlı araçlara monte edilen ek zırh plakalarını açıklamıştır [6].



Şekil 2.8. Açılı hedefe atış durumunda mermi davranışı. A) 20 μ s B) 40 μ s C) 80 μ s [5]

Senthil vd., “Ballistic Resistance of Armox 500T Steel Plates against 7.62 API Projectiles” isimli çalışmasında 7.62 API mermisinin 8mm Armox 500T sacında 0, 15, 20, 25 ve 30 derece açılarla yapılan atışların etkisi deneysel ve sayısal analiz çalışmaları yapılarak incelenmiştir [8]. Çalışmada, dik atış açısı 25 dereceden daha fazla saptığında merminin hedefe penetrasyon yapmayıp hedef üzerinde hasar meydana getirerek sektiği görülmüştür. Çalışma, ABAQUS/Explicit sonlu elemanlar analizi ve Johnson-Cook Malzeme parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda deneysel ve analiz sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür. Şekil 2.11.’de atış açılarının hedef üzerindeki etkisinin deneysel ve analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2.11. Atış açılarının hedef üzerindeki etkisinin deneysel ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması. [8]

3. ZIRH ÇELİKLERİ

Zırh çelikleri, değişik karakterli mermilerin (kinetik penetratörler, yüksek derecede patlayıcı ve parçalayıcı savaş başlıkları vb.) çoklu darbesine karşı çatlamaya, parçacıkların kopmasına ve kırılmaya direnç göstermek amacıyla zırhlı savaş araçlarında yaygın olarak kullanılan yüksek kalitede homojen bir mikroyapıya sahip düşük karbonlu alaşımlı çeliklerdir.

3.1. Zırh Çeliği Çeşitleri

SSAB firmasının ürettiği Armox440T, Armox500T, Armox600T zırhlı araçlarda yaygın olarak kullanılan çeliklerdir. ArcelorMittal firmasının ürettiği Mars 440, Mars 500 ve Mars 600 çelikleri de bunların muadilidir. Armox 500 T zırh sacı için teknik özellikler tablosu 3.1. ve 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Armox 500T mekanik özellikleri. [9]

Kalınlık (mm)	Sertlik (HBW)	Charpy-V ¹⁾ , 10x10 mm test örneği ²⁾ Min.	Akma dayanımı R _{p0.2} (min MPa)	Çekme dayanımı R _m (MPa)	Uzama A ₅ (min %)	Uzama A ₅₀ (min %)
3.0- 80.0	480- 540	32 J /-40°C	1250	1450- 1750	8	10

¹⁾ Üç testin ortalaması. Haddelme yönüne dik. Tek değer, belirlenen ortalamanın minimum %70'i.

²⁾ 12 mm'den düşük kalınlıklar için, düşük boyutlu Charpy-V örnekleri kullanılmıştır. Belirtilen minimum değer, örneğin kesit alanı ile orantılıdır.

Tablo 3.2. Armox 500T kimyasal bileşimi. [9]

C ¹⁾ (max %)	Si ¹⁾ (max %)	Mn ¹⁾ (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr ¹⁾ (max %)	Ni ¹⁾ (max %)	Mo ¹⁾ (max %)	B ¹⁾ (max %)
0.32	0.4	1.2	0.010	0.003	1.01)	1.81)	0.7	0.005

Çelikte tane küçültme işlemi yapılmıştır. ¹⁾ Kasıtlı olarak elementlerin alaşımı yapılmıştır.

¹⁾ >70 mm levha kalınlıkları için Cr ≤ 1,5 ve Ni ≤ 3,5

3.2. Zırh Çeliği Mekanik Özellikleri

Sertlik : Malzemenin plastik deformasyona, kesmeye, çizilmeye ve aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Sertlik arttıkça malzemenin işlenebilirliği azalır. Brinell (Br) zırh çeliklerinde yaygın olarak kullanılan sertlik ölçüm birimidir.

Plastik deformasyon: Malzemenin kuvvet veya yük etkisi altında kalıcı olarak şekil değiştirmesidir.

Tokluk : Malzemenin kırılmadan önce sönümleyebildiği enerji miktarının ölçümüdür.

3.3. Zırh Çeliği Seçim Kriterleri

Zırh çeliği seçiminde birkaç temel parametre önemli rol oynamaktadır. Bunlardan en önemlisi, koruma seviyelerinin zırh çeliğinin maruz kalacağı tehdit tipine uygunluğu, daha sonrasında ise yapısal bütünlüğe uyum ve ağırlık/maliyet oranları olarak sıralanabilir.

Koruma seviyeleri, kinetik enerjili mühimmat dayanımı ve patlayıcı içerikli mühimmat olarak ayrışmaktadır. Armox 440T gibi nispeten daha sünek olan zırh çelikleri patlayıcı, içerikli mühimmatlara karşı daha etkili bir sönümleme yaparken Armox 500T ve Armox 600T gibi daha sert yapıda olan zırh çelikleri kinetik enerjili mühimmatlara karşı daha etkilidir. Öte yandan, zırh çeliklerinin kaynaklanabilirliği tasarım esnekliği sağlamaktadır. Burada Armox 440T gibi sertlik değeri daha düşük zırh sacları avantaj sağlamaktadır.

Zırh çeliklerinde sertlik arttıkça koruma seviyeleri artmaktadır. Bu durum daha ince zırh sacları ile aynı koruma seviyelerinin sağlanabileceği anlamına geldiğinden dolayı ağırlık avantajı yaratmaktadır. Bu bağlamda Armox 600T, ağırlık performans oranı bakımından Armox 440T'ye göre daha avantajlı durumdadır. Buna karşın, yine Armox 600T'nin, sert yapıli zırh çelikleri üretiminde daha fazla teknoloji barındırdığı için daha maliyetli ürünler olduğu bilinmektedir. Tüm bu veriler incelendiğinde optimum zırh çeliği seçiminde Tablo 3.3.'te verilen karşılaştırma yol gösterici olacaktır. Tabloya göre zırh çeliği davranış şekillerinin herhangi birinde kırmızı ile vurgulanan düşük değerini içermeyen zırh çeliği çeşidi, optimum zırh çeliği olarak seçilmelidir.

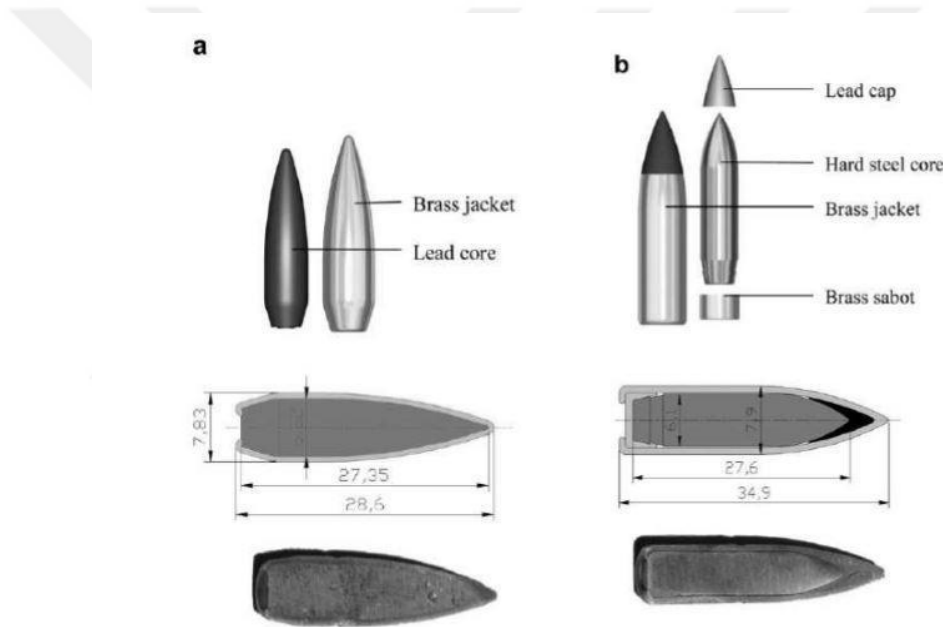
Tablo 3.3. Zırh çeliği seçim kriterleri.

Zırh Çeliği Davranış Şekilleri	Zırh Çeliği Çeşidi		
	Armox 440T	Armox 500T	Armox 600T
Kinetik Enerjili Mühimmat Koruması	Düşük	Orta	Yüksek
Patlayıcı İçerikli Mühimmat Koruması	Yüksek	Yüksek	Düşük
Kaynaklanabilirlik	Yüksek	Yüksek	Düşük
Ağırlık Performans Oranı	Düşük	Orta	Yüksek
Maliyet Performans Oranı	Yüksek	Yüksek	Düşük

4. BALİSTİK VE STANDARTLAR

4.1. Balistik Tehdit

Mermi ve füzelerin kara, deniz ve hava platformlarında oluşturabilecekleri kalıcı deformasyon, penetrasyon ve fonksiyon kaybıdır. Kara platformlarında zırh çelikleri balistik tehditlere karşı koruma amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Mermi, hedef bünyesine penetre eden kurşun, çelik veya tungsten bir çekirdek ve etrafına çekirdeği koruma amacıyla geçirilmiş pirinç malzemeden oluşan, tabanca ve tüfeklerde kullanılan cephanelerdir. Mermiler aerodinamik yapıdadır ve balistik tehdit ölçülürken mermi hızı kritik öneme sahiptir. Şekil 4.1.'de normal mermi ve zırh delici mermi gösterilmiştir.



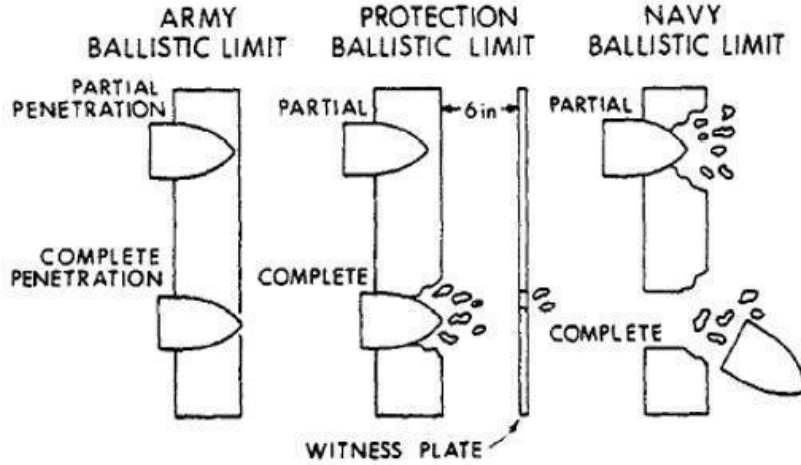
Şekil 4.1. Normal mermi ile zırh delici mermi gösterimi. A) Normal mermi B) Zırh delici mermi. [10]

4.2. Balistik Penetrasyon

Balistik penetrasyon, balistik tehdidin (mermi, füze) hedefe isabet etmesi neticesinde hedefi tamamen delip geçmesi veya hedef üzerinde kalması olayına verilen genel isimdir.

Hedef malzemenin sertliğine, balistik tehdidin ise sertlik ve hızına göre isabet sonucunda farklı senaryolar oluşmaktadır.

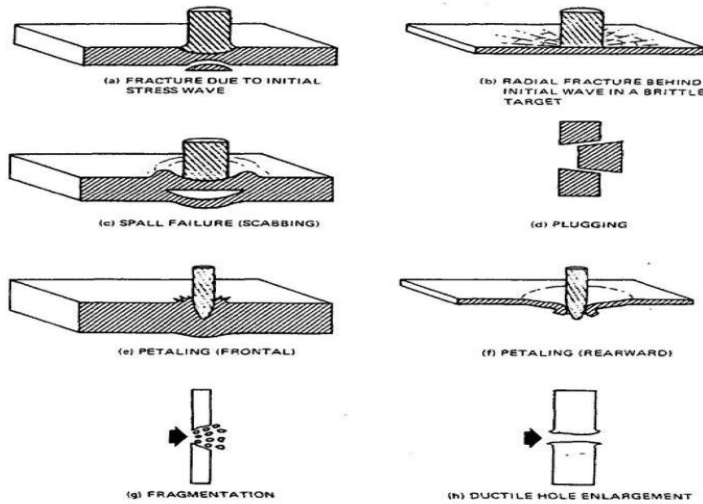
Balistik penetrasyon esnasında mermi çekirdeğinin metal plakada kırık ve çatlak oluşturması, plakanın esneyip incelmelerinden ötürü sertliğinin artması ve sürtünme sonucu oluşan yüksek ısı sebebiyle lokal olarak metal plakanın yumuşaması süreçleri gözlemlenmektedir. Şekil 4.2.'de balistik penetrasyon limitleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı kullanım amaçlarına göre zırhların balistik penetrasyon limitleri. [3]

4.3. Balistik Penetrasyon Aşamaları

Merminin zırh sacına çarpması sonrası çeşitli penetrasyon durumları ortaya çıkmaktadır. Bu aşamalar şekil 4.3.'te verilmiştir.



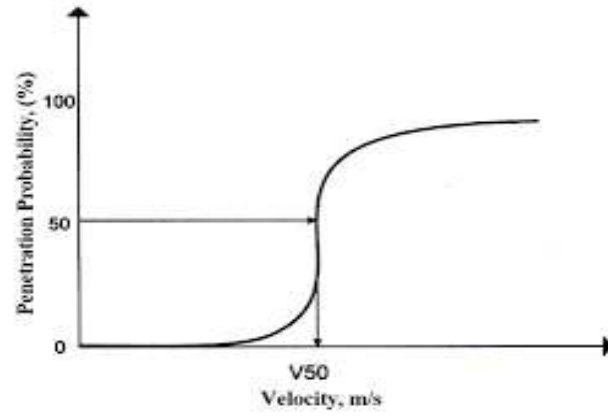
Şekil 4.3. Balistik penetrasyon aşamaları. [3]

- a. Başlangıç gerilmesi sebebiyle kırılma: Mermi isabet ettikten sonra sıkıştırma kuvvetleri malzeme boyunca iletilir. Sıkıştırma kuvvetlerinin malzemenin akma dayanımını geçmesi durumunda malzemenin arka yüzeyinde kırılmalar meydana gelir.
- b. Radyal deformasyon: Mermi isabet ettikten sonra oluşan sıkıştırma kuvvetleri malzeme boyunca ilerlerken çarpma yüzeyinde dairesel germe kuvvetleri meydana gelir. Bu kuvvetler sebebiyle çarpma yüzeyinde kırılmalar meydana gelir.
- c. Spallation: Sıkıştırma kuvvetleri malzemenin arka yüzeyinden yansıyarak germe kuvvetine dönüşür ve malzemenin arka yüzeyine yakın bölgesinde deformasyon meydana gelir.
- d. Plugging: İsabet eden merminin çarptığı yüzeydeki malzemeyi arka yüzeyin dışına doğru itmesiyle meydana gelen deformasyondur.
- e. Petalling: İnce ve esnek malzemelerde meydana gelen bir deformasyon şeklidir. Mermi isabet ettikten sonra oluşan basınç dalgalarının etkisiyle malzemenin mermi çevresine doğru büzülerek toplanması sonucu oluşur.
- f. Fragmentation: İnce malzemelere yüksek hızlarda mermi isabet etmesi sonucu oluşan yüksek bölgesel basınç sebebiyle, malzemenin isabet alan bölgesinin parçalanması sonucu oluşan deformasyondur.
- g. Hole enlargement: Esnekliği yüksek malzemelere mermi isabet etmesi sonucu, isabet eden bölgede açıklık oluşması ve merminin sahip olduğu enerjiyle bu açıklığı genişleterek malzemenin arka yüzeyinden çıkmasıyla meydana gelen deformasyondur.

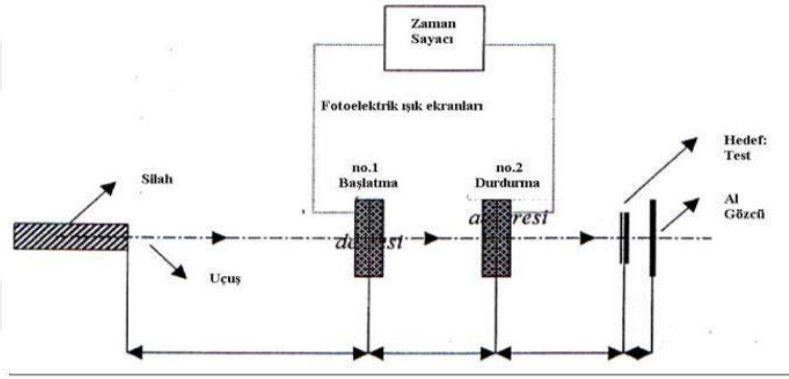
4.4. Balistik Standartlar ve Koruma Seviyeleri

Zırh çeliklerinin askeri ya da sivil uygulamalarda kullanılabilmesi için balistik özelliklerinin önceden belirlenmesi amacıyla yapılan testlerdir. Balistik özelliklerin belirlenmesinde; NATO açısı, referans atış, V50 hızı, şahit levha, delici ve benzeri çok sayıda farklı kavramdan oluşan bir zırh terminolojisinin kullanımı söz konusudur [11]. Balistik testlerin kullanılacak bütün zırh levhaları üzerinde yapılması zorunludur.

Malzemenin balistik dayanıklılığının belirlenmesinde V50 hızının ölçülmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Şekil 4.4.'te gösterilen V50 hızı, parçacığın %50 olasılıkla durdurulduğu hızdır. Zırh çelikleri için önemli bir parametre olan V50 hızı, MIL-STD662F standardına uygun olarak gerçekleştirilen balistik teste göre belirlenmektedir. Şekil 4.5.'te balistik test prosedürü gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Balistik penetrasyon olasılık grafiği. [12]

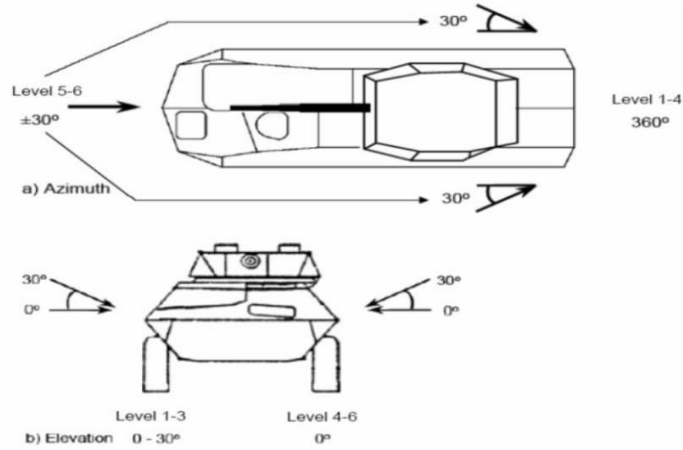


Şekil 4.5. Balistik test prosedürü. [13]

4.4.1. NATO 4569 AEP 55KE standardı

Kara askeri araçların tasarımı sınırlandıran bazı belirli standartlar bulunmaktadır. Ürünün tüm tasarım aşamaları tamamlandıktan sonra üreticinin uluslararası askeri standartlara göre sistemlerini kanıtlaması gerekmektedir. NATO ülkeleri için en güvenilir standartlardan biri şekil 4.6.'da verilen NATO STANAG 4569 AEP 55 “Kinetik Enerji ve Topçu Atış Tehdidi”dir. Üretici şirket, tasarımını sözleşmeye veya belirlenmiş standart seviyesine göre ayarlamak durumundadır. Ana hedefimiz mermimizi ve hedef plakaları STANAG 4569 Seviye 2 üstü Kinetik Enerji Tehdidinde görmektir.

Bu standart, Kinetik Enerji için zırhlı silahların koruma seviyesini belirleyebilmek için onay prosedürünü ve sistem yeterliğini göstermektedir.



Şekil 4.6. NATO 4569 AEP 55KE standardında belirtilen tehdit yönleri. [14]

4.4.2. Stanag 4569 standardı

Stanag 4569 standardı zırhlı araçlara ait koruma seviyeleri ve bu seviyelere karşılık gelen mühimmatları tanımlamaktadır. Tablo 4.1.'de mühimmat cinsine göre koruma seviyeleri detaylı verilmiştir.

Tablo 4.1. Stanag 4569 standardında mühimmat cinsine göre koruma seviyeleri. [14]

Level	Ammunitions	Name	Material	Projectile weight(g)	Comment
5	25 mm x 137 APDS-T, PMB 073	Oerlikon-Contraves	W alloy core	121.5 (150 with sabot)	Unique supplier
4	14,5 mm x 114 API/B32	Russian 14,5 mm API/B32	Steel core	64	Original ammunition design
		Barnaul AP-I 57-BZ-561S	Steel core	64	Specific manufacturer
		Chinese 14.5 mm Type 56	Steel core	64	Chinese designation
		ARL Drawing number 32000	Steel core	63.4	Surrogate without incendiary. Figure A1.
3	7,62 mm x 51 AP (WC core)	Nammo AP8	W alloy core	8.4	Present day available product
		Bofors Carl Gustav FFV AP M993	W alloy core	8.4	Designation under previous supplier
		Chinese 7,62 x 54R B32 API	Steel core	10.04	US designation of the same round
		Russian 7,62 x 54R B32 API	Steel core	10.04	Original ammunition design
2	7,62 mm x 39 API BZ	Chinese 7,62 x 54R B32 API	Steel core	10.04	Chinese equivalent
		Russian 7,62 x 39 API BZ	Steel core	7.77	Original ammunition design
1	7,62 mm x 51 NATO ball	Chinese 7.62 x 39 Type 56	Steel core	7.67	Chinese designation
		Ball M80	Lead core, copper jacket	9.65	US designation for the 7.62 x 51 NATO ball
		C21	Lead core, copper jacket	9.5	Canadian designation for the 7.62 x 51 NATO ball
	5,56 mm x 45 NATO SS109	DM41	Lead core, copper jacket	9.45	German designation for the 7.62 x 51 NATO ball
		SS109	Steel and lead core, copper jacket	4	Original ammunition design
		M855	Steel and lead core, copper jacket	4	US designation for the 5.56 x 45 NATO SS109
		DM11	Steel and lead core, copper jacket	4	German designation for the 5.56 x 45 NATO SS109
	5,56 mm x 45 M193	M193	Lead core, copper jacket	3.56	Original ammunition design

4.4.3. DIN EN 1522 standardı

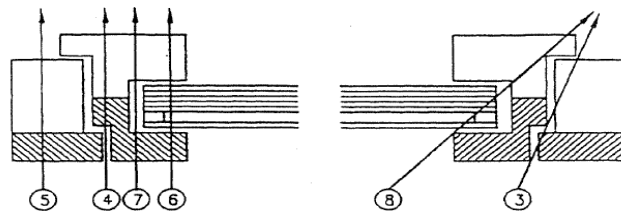
DIN EN 1522 standardı da Stanag 4569 standardı gibi zırhlı araçlara ait koruma seviyeleri ve bu seviyelere karşılık gelen mühimmatları tanımlamaktadır. Tablo 4.2.'de mühimmat cinsine göre koruma seviyeleri detaylı verilmiştir.

Tablo 4.2. DIN EN 1522 standardında mühimmat cinsine göre koruma seviyeleri. [15]

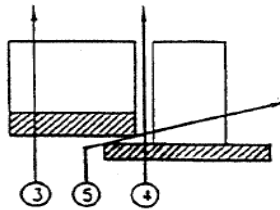
Protection Level	Threats	Bullet (grams)	Mass	Bullet (m/sn)	Velocity	Test (m)	Distance
FB1	.22 LR	2,6±0,1		360±10		10±0,5	
FB2	9×19mm	8±0,1		400±10		5±0,5	
FB3	.357 Magnum	10,2±0,1		430±10		5±0,5	
FB4	.357 Magnum	10,2±0,1		430±10		5±0,5	
	.44 Rem. Magnum	15,6±0,1		440±10		5±0,5	
FB5	5,56×45mm(SS109)	4±01		950±10		10±0,5	
FB6	5,56×45mm(SS109)	4±01		950±10		10±0,5	
	7,62×51mm	9,5±0,1		830±10		10±0,5	
FB7	7,62×51mm AP	9,8±0,1		820±10		10±0,5	
FSG	12/70 Gauge Brenneke Slug	31±0,5		420±10		10±0,5	

4.4.4. TS EN 1523 standardı

TS EN 1523 standardı kara araçlarının balistik zafiyet olabilecek bölgelerini göstermektedir. Şekil 4.7. ve şekil 4.8.'de dikkat edilmesi gereken balistik zafiyet noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. TS EN 1523'e göre açılıp kapanan pencere ve kapılar hedef noktaları ve atış doğrultuları. [16]



Şekil 4.8. TS EN 1523'e göre kasa tespit bileşenleri hedef noktaları ve atış doğrultuları. [16]

5. MATEMATİKSEL MODEL VE BİRLEŞİM BÖLGESİ TASARIMLARI

Balistik çarpışma esnasında oluşan penetrasyon mekanizmasının matematiksel modellemesi farklı durumları içeren karmaşık bir çalışmadır. Yüksek deformasyonlar, yüksek esneme miktarları, sıcaklık ve kırılma gibi fiziksel oluşumların tamamını matematiksel modellemede ifade etmek gerekmektedir.

Balistik penetrasyon mekanizmasını matematiksel olarak modellemek için en çok kullanılan yaklaşımlardan birisi Johnson-Cook yöntemidir. Bu yöntem esnek metallerdeki gerinim sertleşmelerini, ısı kaynaklı yumuşamaları ve kırılmaları ifade edebilen bir visko-plastik modellemedir. Bu model 1983'te yayınlanmasından itibaren çelik malzemelerin balistik penetrasyon çalışmalarında kullanılmaktadır.

5.1. Johnson-Cook Strength Model

Balistik çarpışmanın süresi 850 m/s hız için ortalama 40 milisaniyedir. Bu durum, çarpışma esnasında yüksek miktarda enerji açığa çıktığının bir göstergesidir. Açığa çıkan enerji hedef malzemede oluşan plastik deformasyonların da kaynağıdır. Johnson-Cook modeli oluşan eşdeğer gerilimi plastik gerinimin, gerinim oranının, sıcaklığın ve akış geriliminin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade etmektedir.

$$\sigma_y = [A + B\varepsilon_p^n][1 + C \log \dot{\varepsilon}_p^*][1 - T_H^m]$$

Bu formülde ε_p eşdeğer plastik gerinim, $\dot{\varepsilon}_p^*$ birimsiz plastik gerinim oranı ($\dot{\varepsilon}_0$ için), T_H ise normalize sıcaklık değeridir. A, B, C, n ve m ise malzeme sabitleridir.

Formülde birinci parantezdeki ifade, eşdeğer gerilimi $\dot{\varepsilon}_p^* = 1$ ve $T_H = 0$ değerlerinin bir fonksiyonu olarak vermektedir. İkinci ve üçüncü parantezdeki ifadeler ise gerinim oranı ve termal yumuşamanın eşdeğer gerilim üzerindeki etkilerini göstermektedir. Formülde gerinim sertleşmesi, gerinim oranı ve sıcaklık değişkenleri için birbirinden bağımsız terimler oluşturulmuş ve bu terimlerin çarpımı ile eşdeğer gerilim değeri elde edilmiştir. Bu yaklaşım, bahsedilen değişkenlerin izole bir şekilde incelenmesine imkân tanınması sebebiyle balistik çalışmalarında kullanılmaktadır.

Formülde yer alan sabitlerin (A, B, C, n ve m) belirlenmesi için her bir değerin izole olarak spesifik koşullarda toplanan verilerle elde edilmesi gerekmektedir. Öncelikle eşdeğer akış gerilimine karşılık eşdeğer plastik gerinim kuasi-statik ve izotermal koşullarda elde edilmelidir. İkinci olarak, gerçek gerilim ve gerçek plastik gerinim eğrileri en az iki yüksek gerinim değeri için incelenmelidir.

5.2. Johnson-Cook Failure Model

Sünek kırılmayı ifade etmek için, üç eksenli gerilim, sıcaklık ve gerinim oranını içeren ayrı bir Johnson-Cook modeli mevcuttur. J-C sünek kırılma modeli Hancock ve Mackenzie'nin gerinim kırılması üzerindeki çalışmalarının genişletilmesiyle oluşturulmuştur. J-C modeli gerinim oranının ve sıcaklığın da gerinim kırılması üzerindeki etkilerinin incelenmesini sağlamıştır.

J-C kırılma modeli aşağıdaki formülle ifade edilmektedir:

$$D = \sum \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^f}$$

$\Delta \varepsilon$ değeri plastik gerinimin artışı, ε^f ise eşdeğer gerinimi; gerilim, gerinim oranı ve sıcaklığa bağlı olarak ifade etmektedir.

Hasar değişkeni (D) ise 1 ve 0 arasında değerler almaktadır. D = 0 hasar görmemiş malzemeyi, D = 1 ise kırılmaya uğramış malzemeyi ifade etmektedir.

Kırılma geriniminin genel ifadesi aşağıda verildiği gibidir:

$$\varepsilon^f = [D_1 + D_2 \exp(D_3 \sigma^*)][1 + D_4 \ln \dot{\varepsilon}_p^*][1 + D_5 T_H]$$

Boyutsuz basınç/gerilim oranı (σ^*) üç eksenli gerilimin bir ifadesidir ve aşağıdaki formülle elde edilir.

$$\sigma^* = \frac{\sigma_H}{\sigma_{eq}} = \frac{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}}$$

Bu formülde σ_H hidrostatik gerilim ve σ_{eq} ise Vonmises gerilimidir.

5.3. Johnson Cook Malzeme Parametreleri

Sayısal analiz çalışmalarında, Armox 500 T zırh malzemesinin ve 7.62x51 (AP) zırh delici çelik çekirdekli mühimmatın modellenmesinde literatürden alınan Johnson Cook malzeme parametreleri kullanılmıştır.

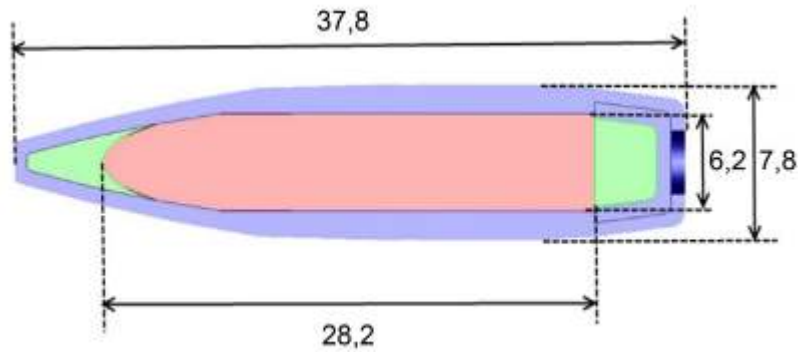
5.3.1. Zırh çeliğine ait parametreler

Nilsson'un, "Constitutive Model for Armox 500T and Armox 600T at Low and Medium Strain Rates" isimli çalışmasında Armox500T'ye ait malzeme özelliklerinin bulunduğu tablodan [17] ve Skoglund vd., "Fracture Modeling of a High Performance Armor Steel" isimli çalışmasındaki Johnson Cook Malzeme parametrelerinden faydalanılmıştır [18]. Tablo 5.1.'de söz konusu Armox 500T zırh plakasının Johnson Cook Malzeme parametreleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Armox 500 T zırh plakasının Johnson Cook Malzeme parametreleri [17]

	A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	D1	D2	D3	$\dot{\epsilon}_0$
Armox 500T	1470	702	0.00549	0.199	0.811	0.068	5.382	-2.55	1

5.3.2. Mermiye ait parametreler



Şekil 5.1. 7.62 (AP) mermiye ait detay geometri. [19]

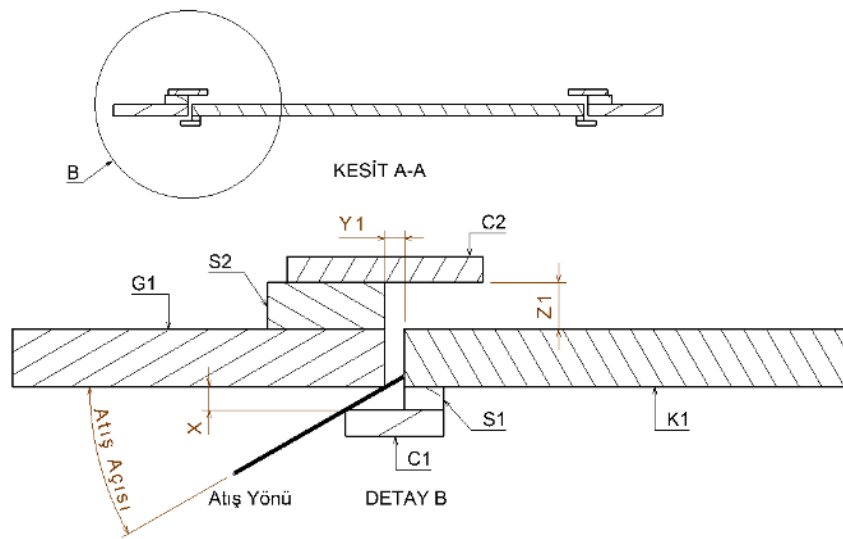
Kılıç vd., “Ballistic Behavior of High Hardness Perforated Armor Plates Against 7.62 mm Armor Piercing Projectile” isimli çalışmasından 7.62 mm zırh delici mermi özellikleri alınmıştır [19]. Şekil 5.1.’de 7.62 (AP) mermiye ait detay geometri görüntüsü verilmiş olup Tablo 5.2.’de 7.62x51 (AP) zırh delici çelik çekirdekli mühimmatın Johnson Cook Malzeme parametreleri detaylandırılmıştır.

Tablo 5.2. 7.62x51 (AP) zırh delici çelik çekirdekli mühimmatın Johnson Cook Malzeme parametreleri. [19]

	A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	D1	D2	D3	ϵ_0
Mermi Çekirdeği	1900	1100	0.05	0.065	1	-	-	-	0.003
Mermi Kovanı	90	292	0.025	0.31	1.09	0.54	4.89	-3.03	1

5.4. Gömme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşim Geometrisi Tasarımı

Gömme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi aşağıda mermi atış yönü ve kesit gösterilerek detaylandırılmıştır. Şekil 5.2.’de gömme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi tasarımının detay görüntüsü verilmiş olup Tablo 5.3.’te, verilen detay görüntüsündeki sembollerin anlamları açıklanmıştır.



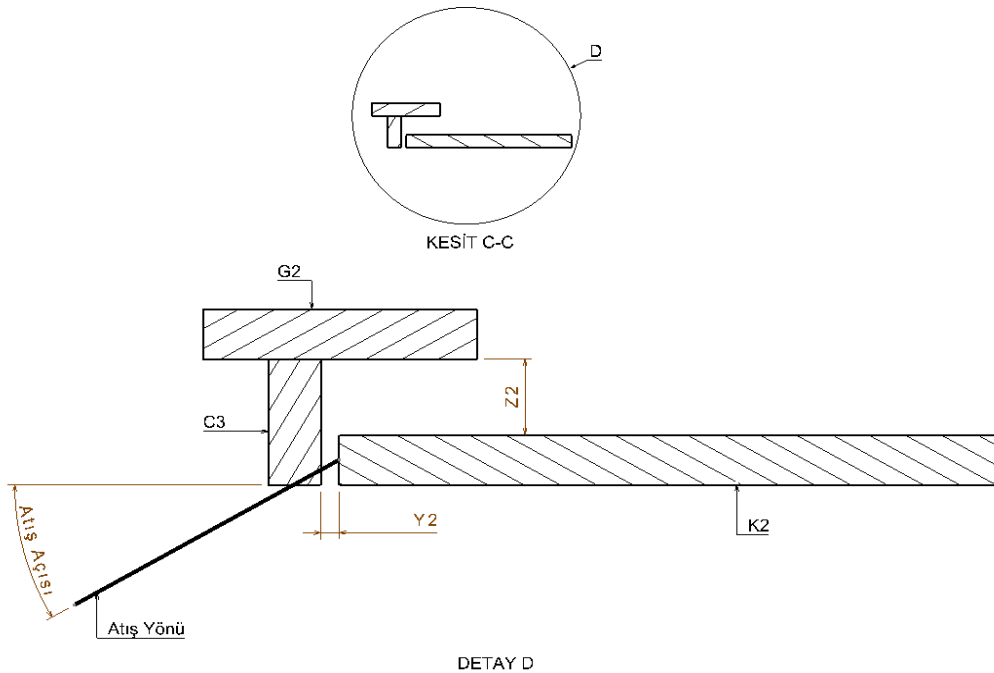
Şekil 5.2. Gömme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi tasarımı detay görüntüsü.

Tablo 5.3. Gömme kapı-kapak gövde birleşim geometrisi sembollerinin anlamları.

Sembol	Açıklama
X	Çalışma sonucunda belirlenecek olan boşluk mesafesi
C1	Dış balistik çıta
C2	İç balistik çıta ve conta bağlantı arayüzü
S1	Dış balistik çıta aralayıcı şim
S2	İç balistik çıta aralayıcı şim
G1	Araç gövdesi
K1	Kapı veya kapak
Z1	Conta boşluk mesafesi
Y1	Kapı veya kapağın gövde ile arasında bulunan çalışma boşluğu

5.5. Bindirme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşim Geometrisi Tasarımı

Bindirme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi aşağıda mermi atış yönü ve kesit gösterilerek detaylandırılmıştır. Şekil 5.3.'te bindirme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi tasarımının detay görüntüsü verilmiş olup Tablo 5.4.'te, verilen detay görüntüsündeki sembollerin anlamları açıklanmıştır.



Şekil 5.3. Bindirme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi tasarımı detay görüntüsü.

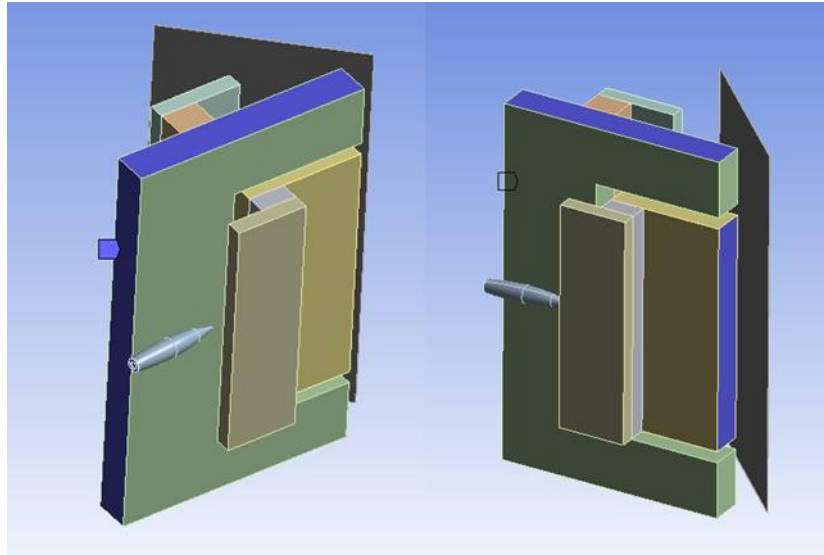
Tablo 5.4. Bindirme kapı-kapak gövde birleşim geometrasi sembollerinin anlamları.

Sembol	Açıklama
Y2	Çalışma sonucunda belirlenecek olan boşluk mesafesi
C3	Dış balistik çıta
G2	Araç gövdesi
K2	Kapı veya kapak
Z2	Conta boşluk mesafesi
S3 ve S4	G2-K2 aralayıcı şimler (görselde verilmemiştir)

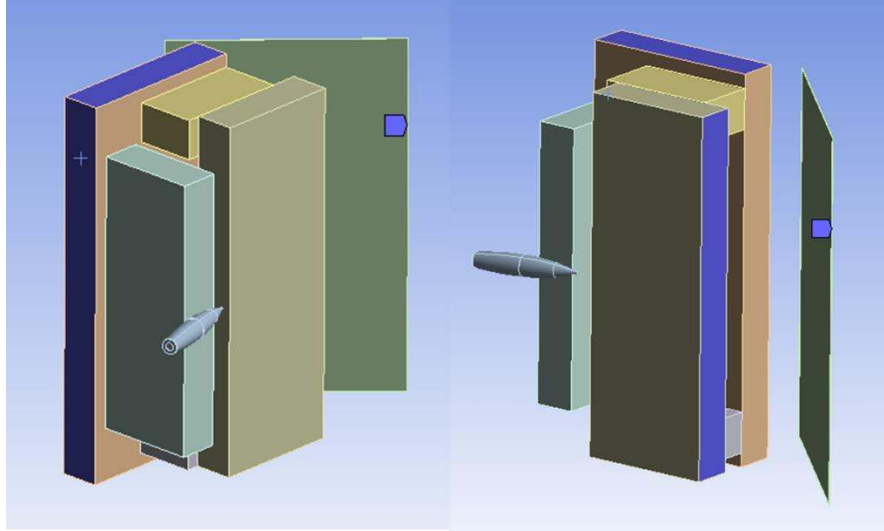
5.6. Katı ve Sonlu Eleman Modellemesi

5.6.1. Numune sabitleme bölgeleri

Kapı ve kapak modellerinde zırh saçları çevre bölgelerinden sabitlenmiştir. Böylelikle zırh saçlarına mermi çarpması ile esneme yapılması için kabiliyet verilmiştir. Benzer şekilde şahit numune de dört köşesinden sabitlenmiş ve orta kısmında esneme yapılması sağlanmıştır. Test atışında verilen numune ile analiz verileri aynı paralellikte kurgulanmıştır. Bu bağlamda, Şekil 5.4.'te gömme kapak sabitleme bölgeleri ve Şekil 5.5'te bindirme kapak sabitleme bölgeleri verilmiştir.



Şekil 5.4. Gömme kapak sabitleme bölgeleri.



Şekil 5.5. Bindirme kapak sabitleme bölgeleri.

5.6.2. Eleman türü ve sayısı

Deneysel çalışmada zırh çeliklerinde bulunan ve atış alanının dışında kalan köşe yuvarlatmaları mesh yoğunluğunu ve farklı mesh yapısı geçişlerini azaltmak için analiz verisinden kaldırılmıştır. Mesh yapısı olarak otomatik seçildiğinde düz yapılı zırh çelikleri için kare yapıda mesh verilmiş, parabolik yapıdaki mermide dörtyüzlü yapıda mesh verilmiştir. Toplam eleman sayısı gömme kapak modelinde 3,5 ve 8mm boşluk için S1 numaralı şim kalınlığındaki değişimden dolayı farklılık göstermektedir, bindirme kapak modelinde boşluk miktarları K2 zırh sacının yer değiştirmesi ile elde edildiğinden eleman sayısı aynı olmaktadır. Söz konusu bu eleman sayıları Tablo 5.5.'de kapı ve kapak tiplerine ve boşluk miktarlarına göre sunulmuştur.

Tablo 5.5. Eleman sayıları.

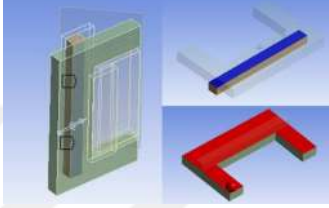
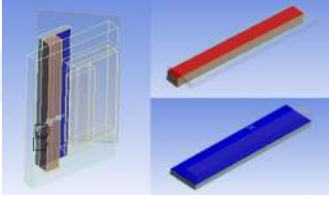
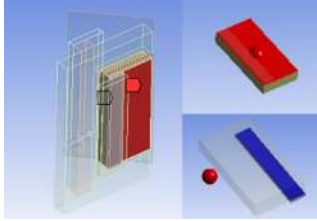
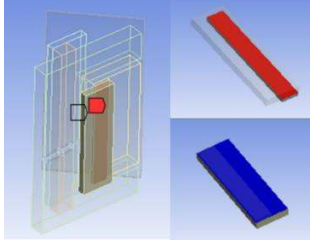
Kapı ve kapak tipi	Boşluk miktarı	Eleman sayısı
Gömme tip	3mm	342478
Gömme tip	5mm	345478
Gömme tip	8mm	349978
Bindirme tip	3mm, 5mm ve 8mm	287913

5.6.3. Malzeme temas bölgeleri

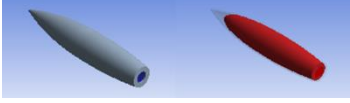
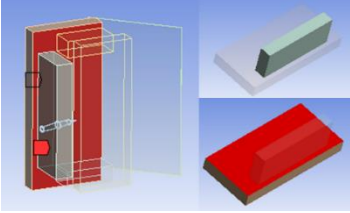
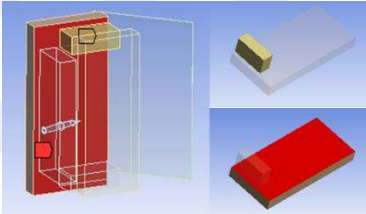
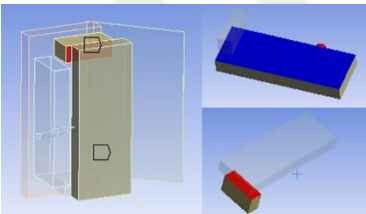
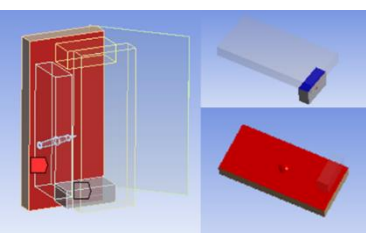
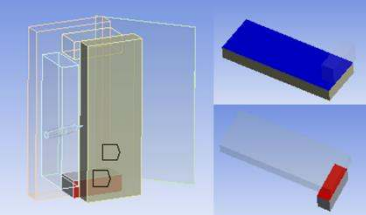
Gömme ve bindirme tipi kapı ve kapağın tasarımı kaynaklı üretim esas alınarak yapılmıştır. Bu nedenle birbirleri ile ilişkili olan her bir parça için birbirlerine bağlı olacak şekilde temas

bölgeleri tanımlanmıştır. Buna göre gömme kapı ve kapak temas bölgeleri Tablo 5.6.'da ve bindirme kapı ve kapak temas bölgeleri Tablo 5.7.'de her parça için detaylıca verilmiştir.

Tablo 5.6. Gömme kapı ve kapak temas bölgeleri.

Temas eden parçaların türü	Temasların gösterimi
Mermi kovani-Mermi çekirdeği	
G1-S2	
S2-C2	
K1-S1	
S1-C1	

Tablo 5.7 Bindirme kapı ve kapak temas bölgeleri.

Temas eden parçaların türü	Temasların gösterimi
Mermi kovanı-Mermi çekirdeği	
C3-G2	
G2-S3	
S3-K2	
G2-S4	
S4-K2	

6. SAYISAL ANALİZLER

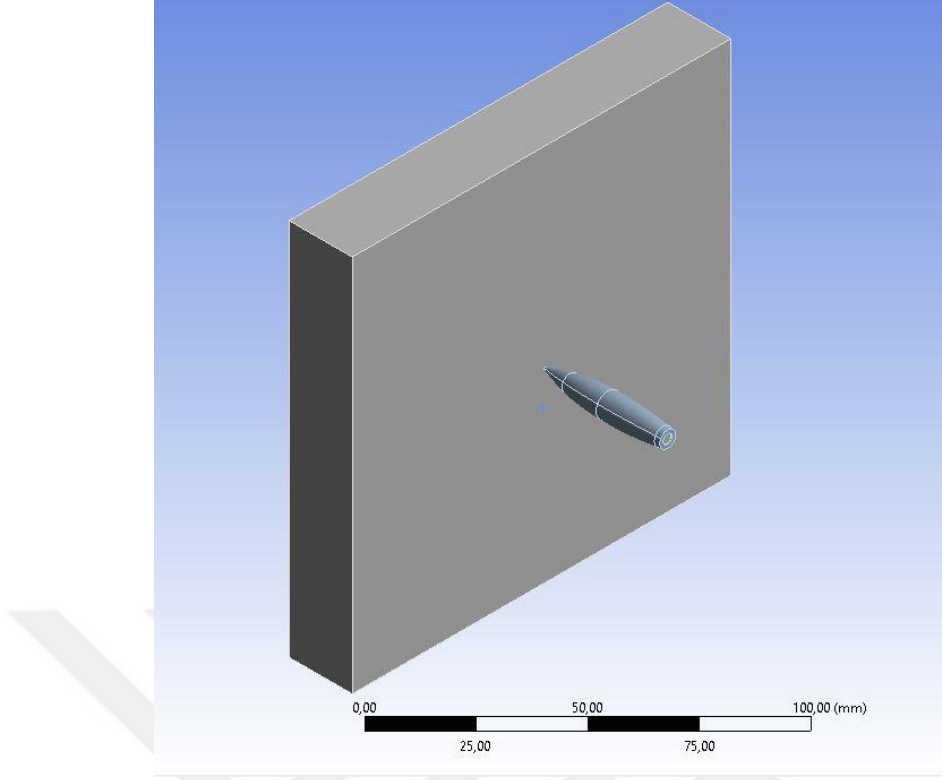
Sayısal analiz çalışmalarına referans olması için daha önce yapılmış çalışmalar ile kıyaslama yapılmıştır. Referans değerler ile analiz parametreleri doğrulandıktan sonra Tablo 6.1.'de verilen atış gruplamaları yapılmıştır. Tüm gruplar için detaylı atış analizleri gerçekleştiril ve atışların şahit numuneye etkisi ile zırh sacları üzerinde meydana gelen penetrasyon değerleri incelenmiştir.

Tablo 6.1. Atış grupları.

Atış Grupları		Kapı/Kapak Analiz Modeli ve Boşlukları					
		Gömme Kapı/Kapak ve gövde arası boşluk değeri			Bindirme Kapı/Kapak ve gövde arası boşluk değeri		
		3 mm	5 mm	8 mm	3 mm	5 mm	8 mm
Atış Açısı	15 derece	GK3-D15	GK5-D15	GK8-D15	BK3-D15	BK5-D15	BK8-D15
	30 derece	GK3-D30	GK5-D30	GK8-D30	BK3-D30	BK5-D30	BK8-D30
	45 derece	GK3-D45	GK5-D45	GK8-D45	BK3-D45	BK5-D45	BK8-D45

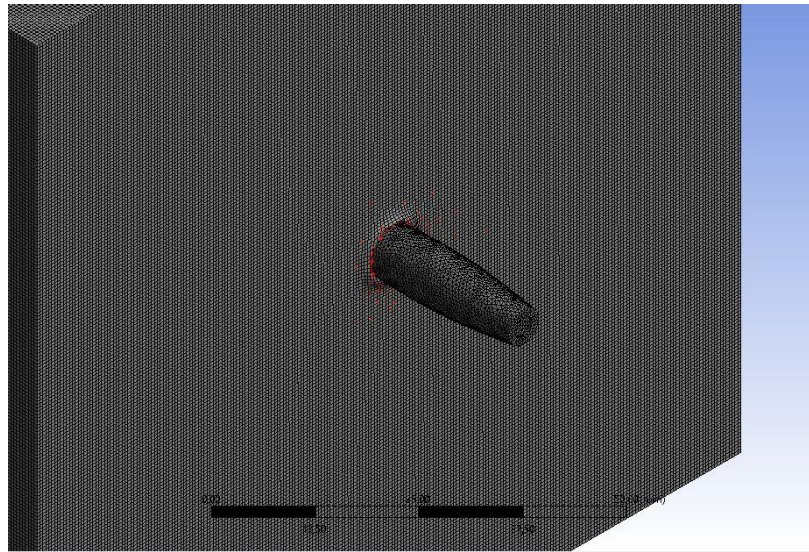
6.1. Doğrulama Atışı

Doğrulama atışı için Kılıç, “Development of multi-layer ballistic armor panel with simulation and ballistic tests” isimli tez çalışmasında yapılmış olan test verileri kullanılmıştır [1]. Test verisinde 7.62x54 API mermisi 20mm Armox (46100E standardı seviyesinde) zırh sacına 854 m/s hızda atış yapılacak şekilde atış yapılmıştır. Penetrasyon derinliği 12.5mm ile 13.6mm arasında bulunmuştur, toplam 4 atışın ortalaması 12.9mm olarak bulunmuştur. Yapmış olduğumuz çalışmanın doğruluğunu belirlemek amacı ile aynı analiz parametreleri verilmiş olan zırh sacı, mermi ve mermi hızı kullanılarak analiz çalışması yapılmıştır.

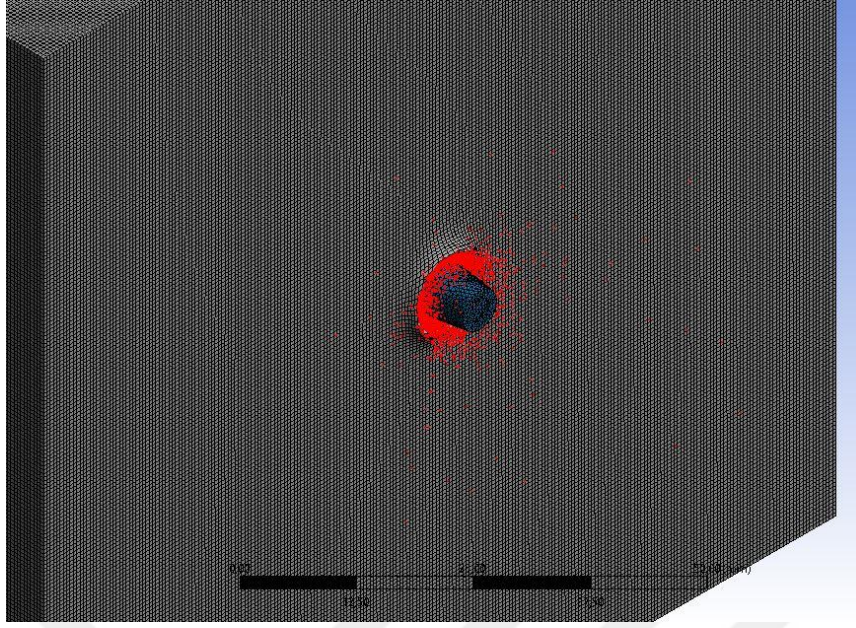


Şekil 6.1. 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında analiz başlangıç durumu.

7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T sacına 1 mm mesafede dik olarak atış analiz modeli oluşturulmuştur ve Şekil 6.1.'de 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında analiz başlangıç durumu, Şekil 6.2.'de sacdaki penetrasyon oluşumu ve Şekil 6.3.'te penetrasyonun tamamlanmış hali gösterilmiştir.

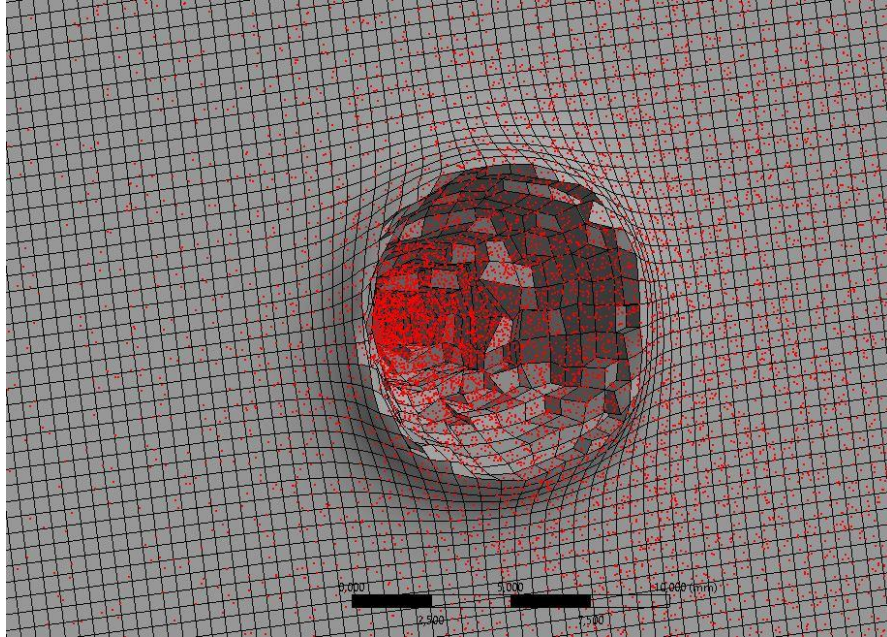


Şekil 6.2. 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında penetrasyona başlamıştır.

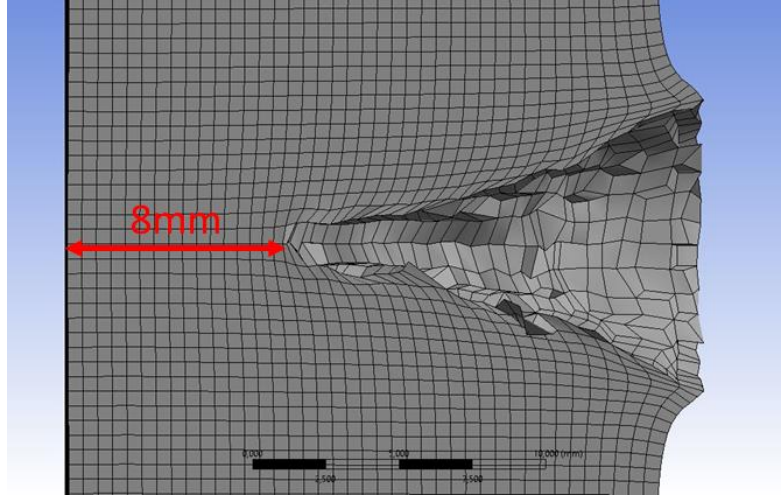


Şekil 6.3. 7.62x54 API mermisi 20mm Armox 500T zırh sacında penetrasyonu tamamlamıştır.

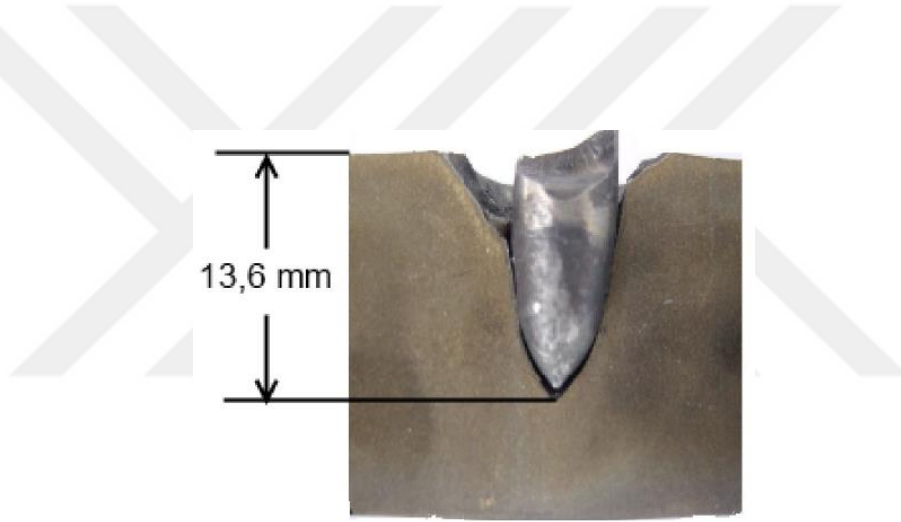
7.62x54 API mermisi Armox 500T sacına penetrasyonu tamamlamıştır. Penetrasyon derinliği Şekil 6.5.'de verildiği gibi 12mm olarak ölçülmüştür. Şekil 6.4.'te ise 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu hasarın izometrik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.4. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu hasarın izometrik görüntüsü.



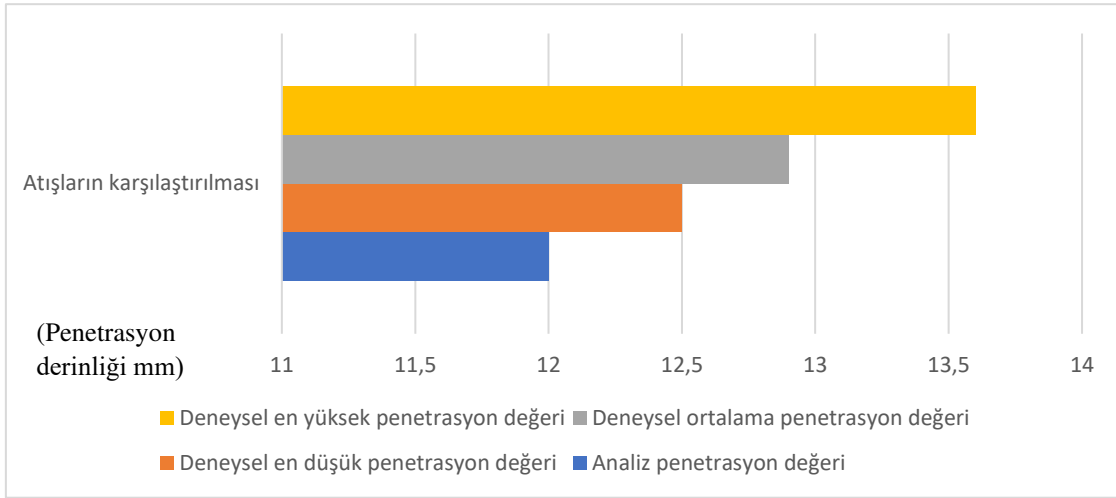
Şekil 6.5. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu penetrasyon derinliği.



Şekil 6.6. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu penetrasyon derinliğinin test sonucu (en fazla nüfuziyet durumu).

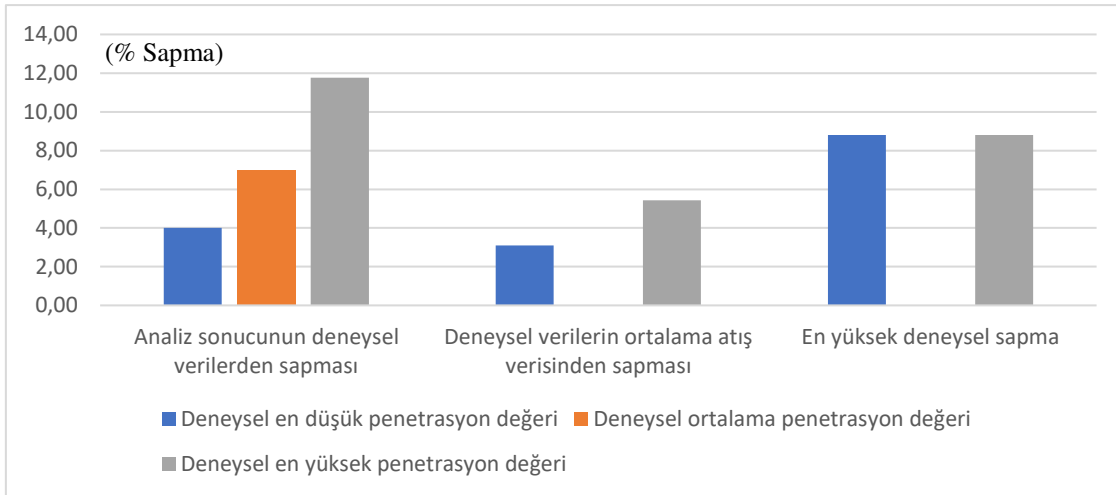
Deneysel çalışmada verilen penetrasyon derinliği 12.5mm ile 13.6 arasında değişen atışlar arasında %8.8 fark bulunmaktadır. Analiz sonucu oluşan 12mm penetrasyon derinliğinin deney sonucu elde edilen 12.9mm ortalama penetrasyon derinliğine olan farkı %7.5 olarak bulunmuştur. Analiz parametrelerinin Stanag 4569 seviye 2 üstü araçlara uygulanabilmesi için 7.62x51 (AP) mermisi ile 820m/s hızla Armox 500T zırh sacına indirgenme yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda oluşan penetrasyon derinliğinin görüntüsü Şekil 6.5.'te ve 7.62x54 API mermisinin 20 mm Armox 500T zırh sacında oluşturduğu penetrasyon derinliğinin test sonucunun maksimum nüfuziyet durumu Şekil 6.6.'da görsel olarak sunulmuştur.

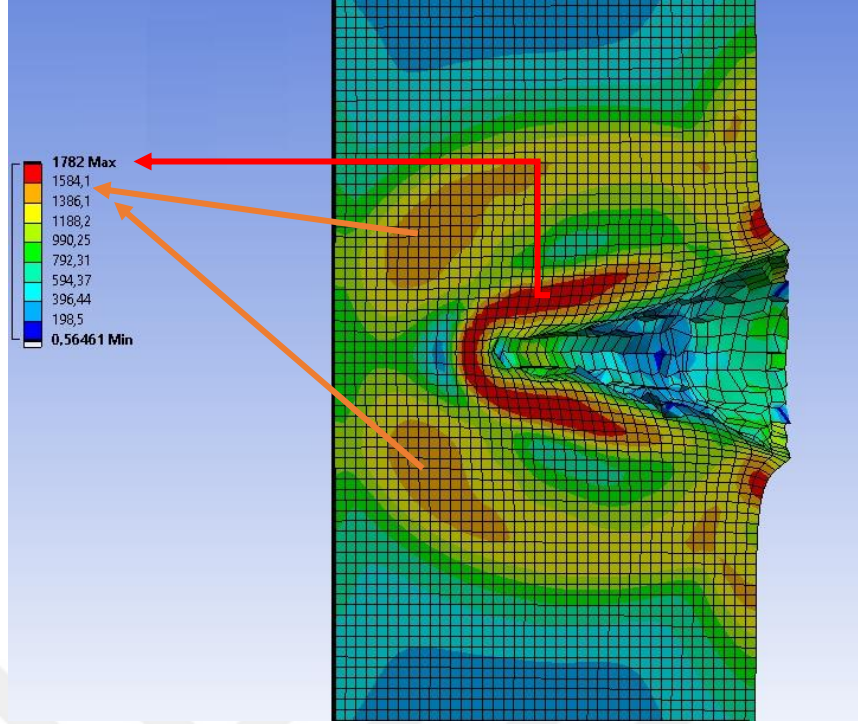
Tablo 6.1. Deneysel veriler ile analiz sonucunun penetrasyonunun karşılaştırılması.



Analiz sonucundaki sapmanın deneysel atışlar içindeki en yüksek fark yüzdesinden küçük olduğu görülmüştür. Yapılan analize ait penetrasyon değerleri ile deneysel verilerin değerleri Tablo 6.1.'de karşılaştırılmış ve bu doğrultuda sapma oranları Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Deneysel veriler ile analiz sonucunun sapma oranlarının karşılaştırılması.





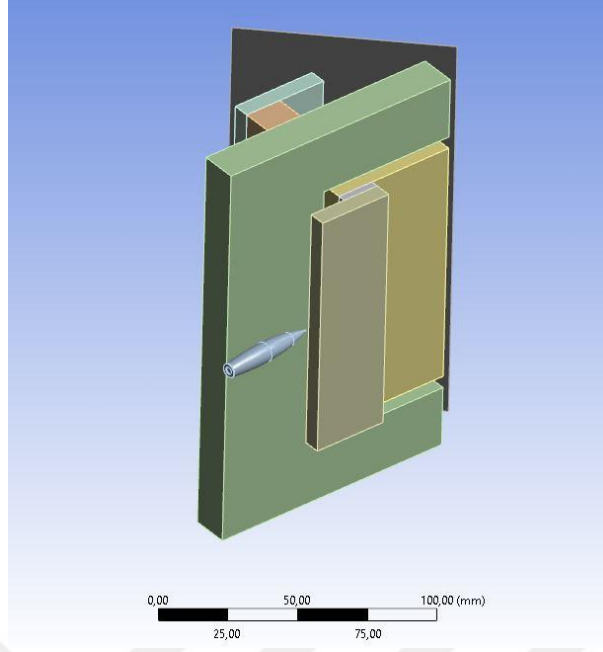
Şekil 6.7. 7.62x54 API mermisinin 20mm Armox 500T zırh sacına penetrasyonun oluşturduğu gerilme dağılımı.

Şekil 6.7.'de verilen Armox 500T zırh sacında oluşan Von Mises gerilme değerlerinin Tablo 3.1.'de verilen mekanik özellikler tablosu ile uyumlu olduğu görülmektedir. 12mm derinliğindeki penetrasyon derinliğinde kırmızı renk ile verilen bölgede maksimum gerilmeler oluşmuştur. Bu bölgede hücreler deformasyona uğramıştır ve malzeme kopma dayanım eşiği olan 1750 MPa değerine gelmiştir. Koyu turuncu renk ile verilen bölgede gerilme değeri 1584 MPa değerine ulaşmıştır ve burada akma gerilmesi değeri olan 1250 MPa değeri aşılmıştır. Bu bölgelerde doğrusal olmayan gerilmeler oluşmuştur ve plastik şekil değiştirmeler mevcuttur.

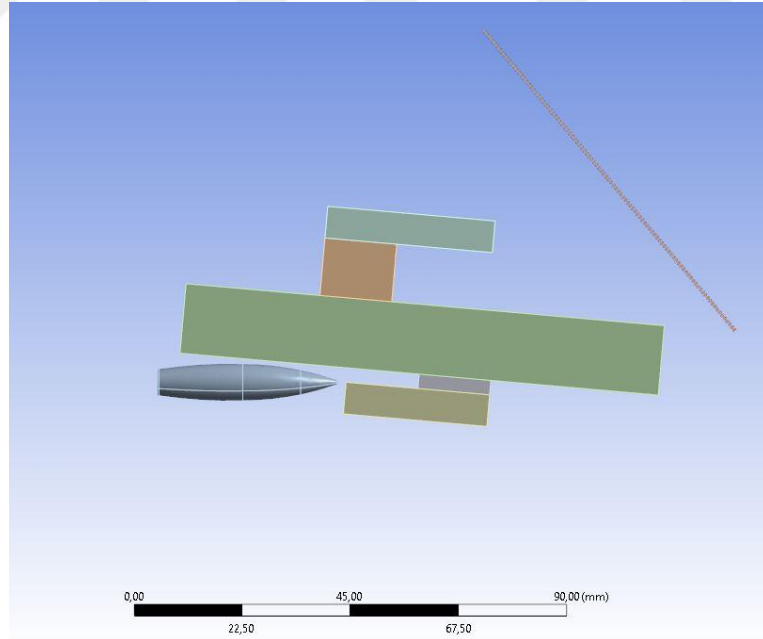
6.2. Gömme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşimi Sayısal Analizi

6.2.1. Gömme tipinde 3mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi

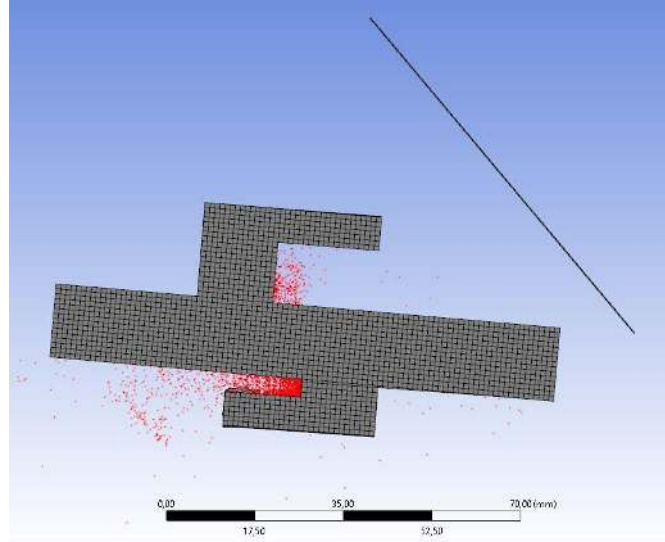
Atış grubu GK3-D15'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 15 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.8.'de ve detay görüntüsü de Şekil 6.9.'da verilmiştir.



Şekil 6.8. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.

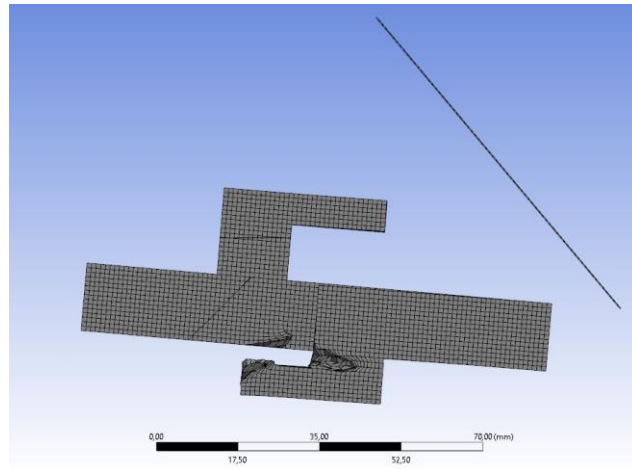


Şekil 6.9. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

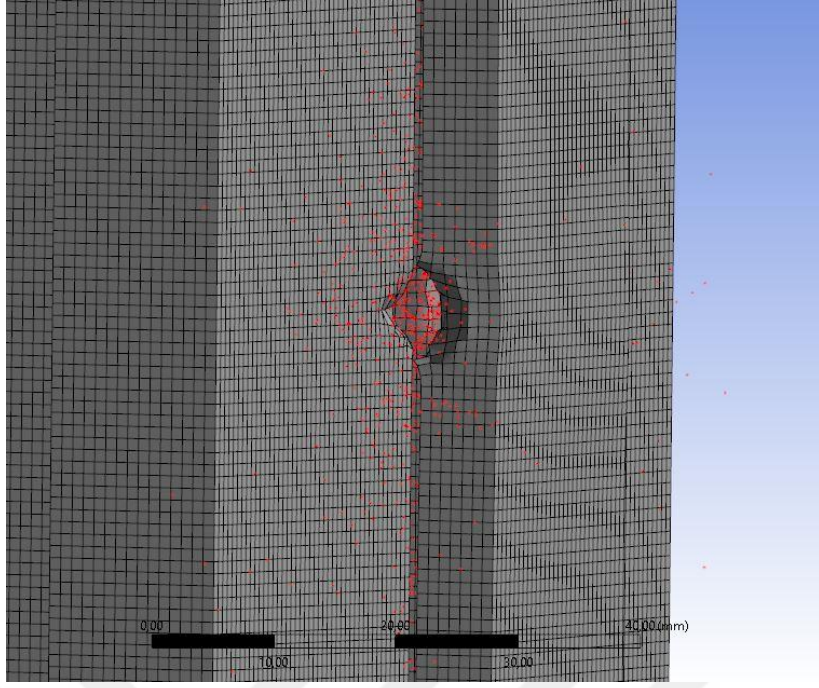


Şekil 6.10. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

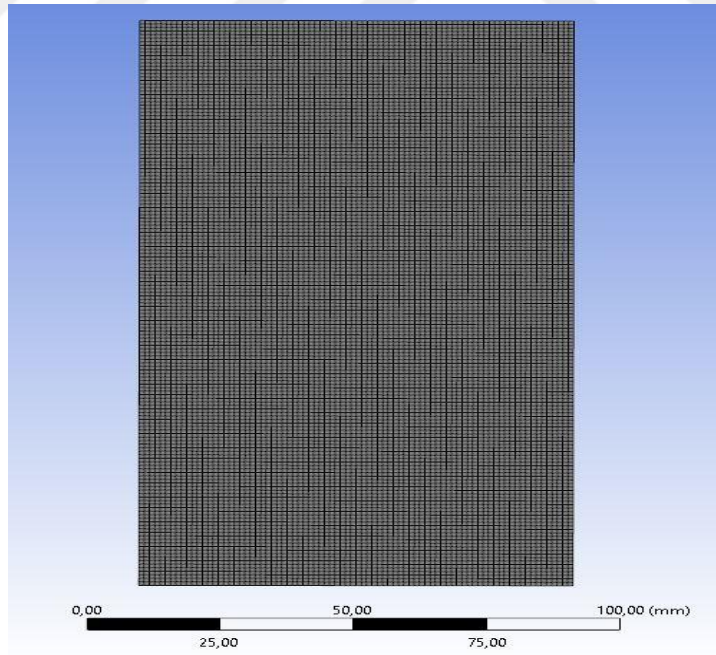
Atış grubu GK3-D15'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 6mm, G1 zırh sacında 4mm ve S1 numaralı yapı çeliğinde 10mm penetrasyon oluşmuştur. S1 sacı kritik olmadığından ve şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 3mm boşluk ve 15 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK3-D15'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 6mm'lik penetrasyon Şekil 6.10.'da ve G1 zırh sacındaki 4mm'lik ve S1 numaralı yapı çeliğindeki 10mm'lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.11.'de verilmiştir. Ayrıca GK3-D15'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.12.'de ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.11. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



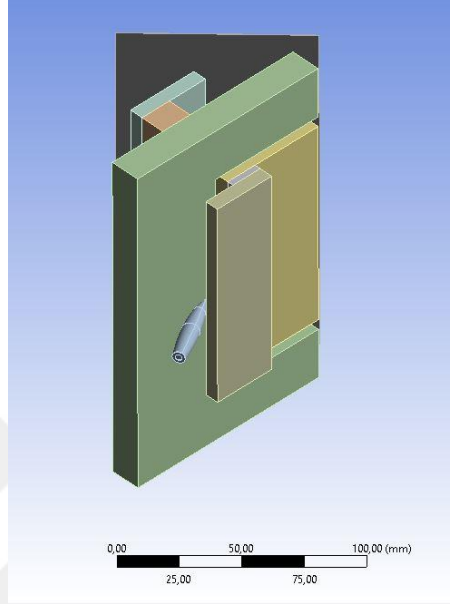
Şekil 6.12. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



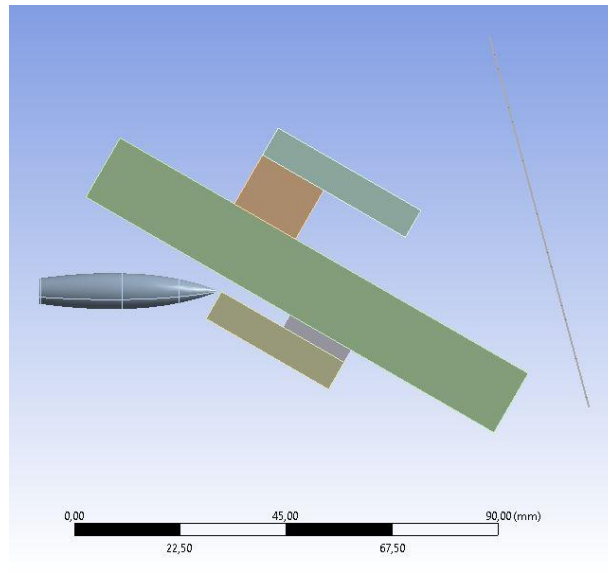
Şekil 6.13. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.2. Gömme tipinde 3mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi

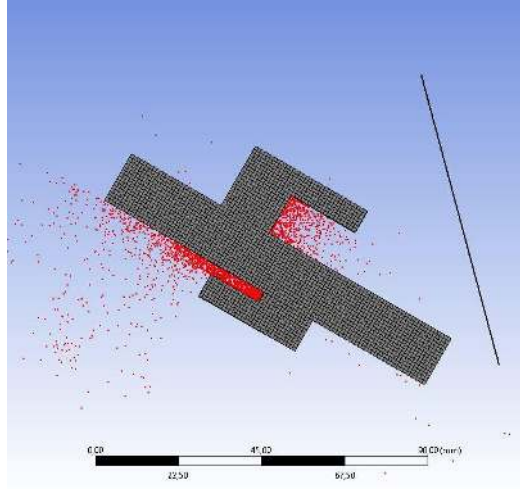
Atış grubu GK3-D30’da verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 30 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açıya ait konum görüntüsü şekil 6.14.’te ve detay görüntüsü de şekil 6.15.’te verilmiştir.



şekil 6.14. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılması.

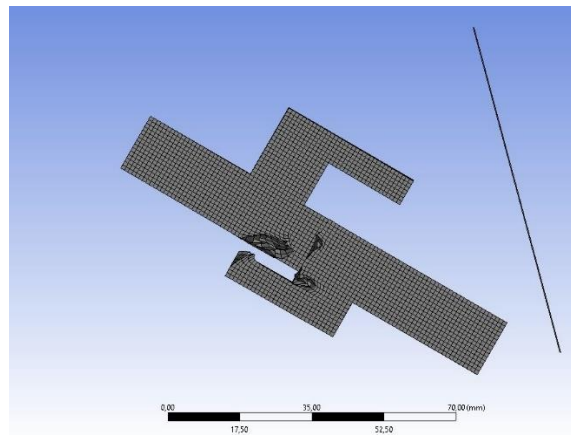


şekil 6.15. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

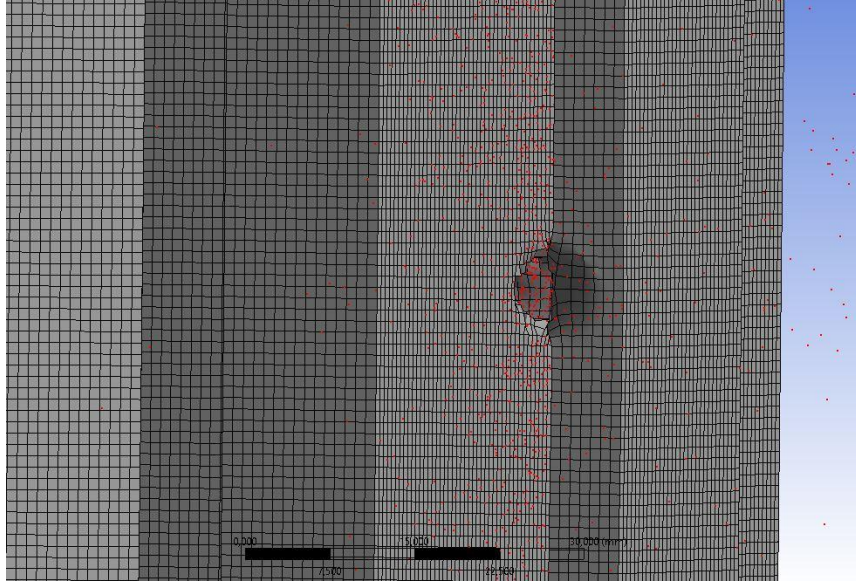


Şekil 6.16. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

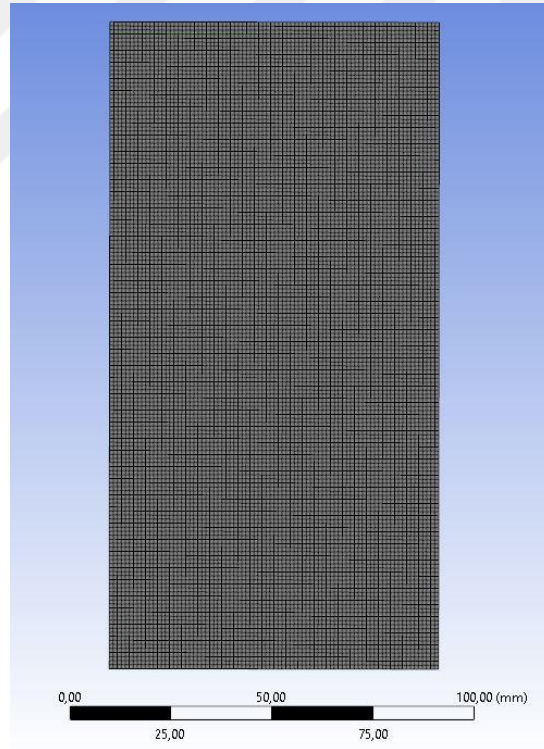
Atış grubu GK3-D30'da yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 4mm, G1 zırh sacında 9mm, S1 numaralı yapı çeliğinde 6mm ve K1 zırh sacında 3mm penetrasyon oluşmuştur. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 3mm boşluk ve 30 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK3-D30'da yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 4mm'lik penetrasyon Şekil 6.16.'da ve G1 zırh sacındaki 9mm'lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki 6mm'lik ve K1 zırh sacındaki 3mm'lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.17.'de verilmiştir. Ayrıca GK3-D30'daki penetrasyon boşluğu Şekil 6.18.'de ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.13.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.17. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



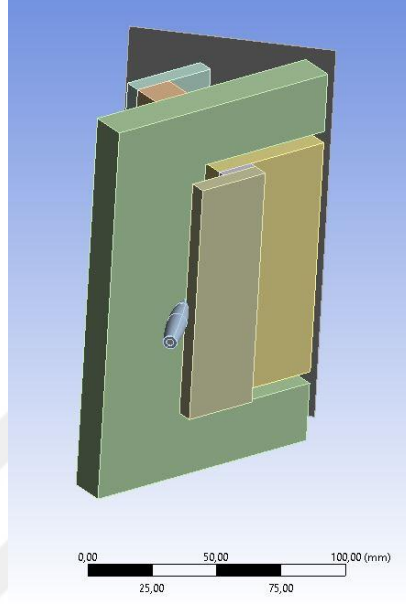
Şekil 6.18. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



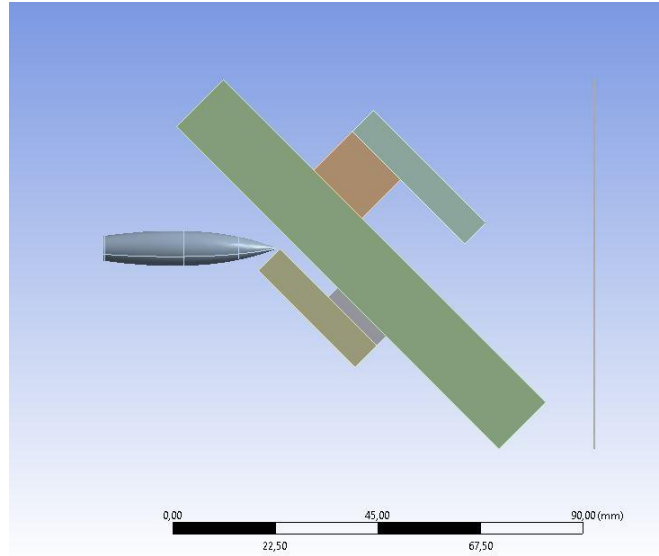
Şekil 6.19. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.3. Gömme tipinde 3mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi

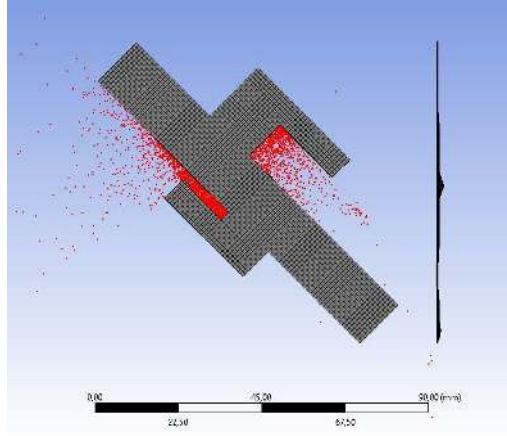
Atış grubu GK3-D45'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 45 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açıya ait konum görüntüsü şekil 6.20.'de ve detay görüntüsü de şekil 6.21.'de verilmiştir.



şekil 6.20. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılması.

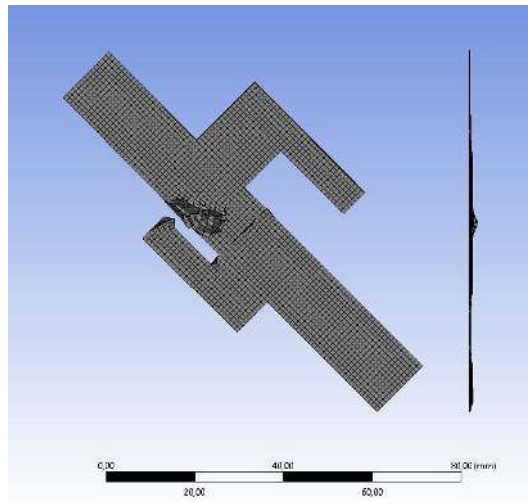


şekil 6.21. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

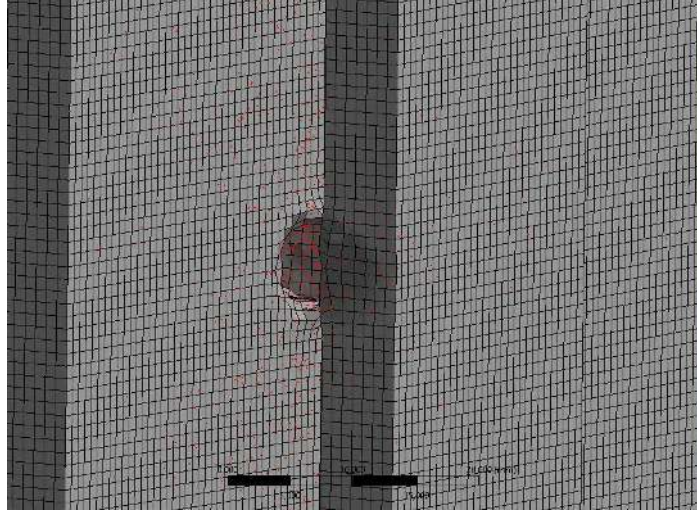


Şekil 6.22. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

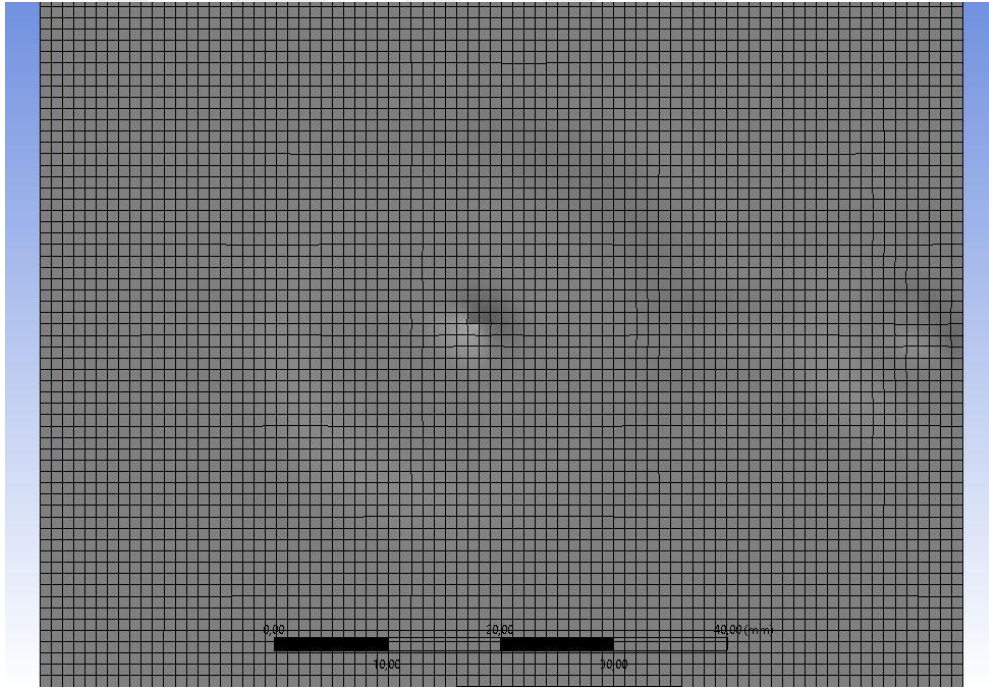
Atış grubu GK3-D45'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 2mm, G1 zırh sacında 8mm, S1 numaralı yapı çeliğinde 0.5mm ve K1 zırh sacında 0.5mm penetrasyon oluşmuştur. Penetrasyonun neredeyse tamamı G1 zırh sacına olmuştur. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 5mm boşluk ve 45 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK3-D45'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 2mm'lik penetrasyon Şekil 6.22.'de ve G1 zırh sacındaki 8mm'lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki 0.5mm'lik ve K1 zırh sacındaki 0.5mm'lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.23.'te verilmiştir. Ayrıca GK3-D45'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.24.'te ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.25.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.23. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



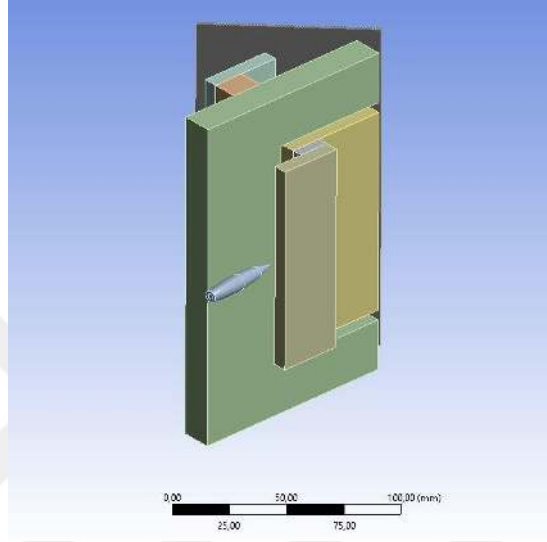
Şekil 6.24. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



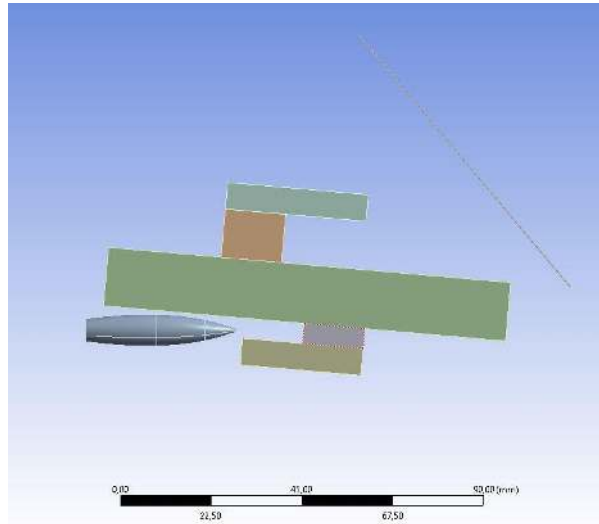
Şekil 6.25. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.4. Gömme tipinde 5mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi

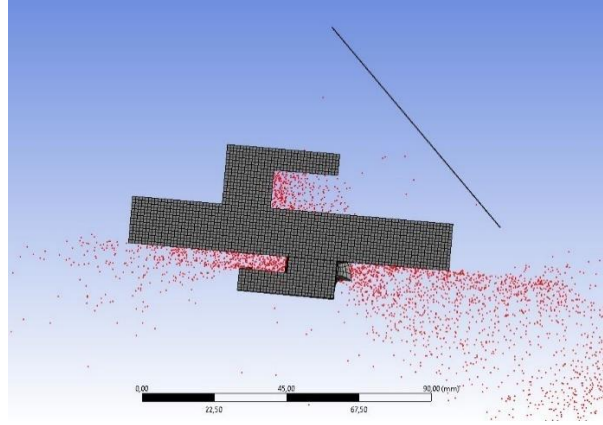
Atış grubu GK5-D15'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 15 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açıya ait konum görüntüsü şekil 6.26.'da ve detay görüntüsü de şekil 6.27.'de verilmiştir.



şekil 6.26. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.

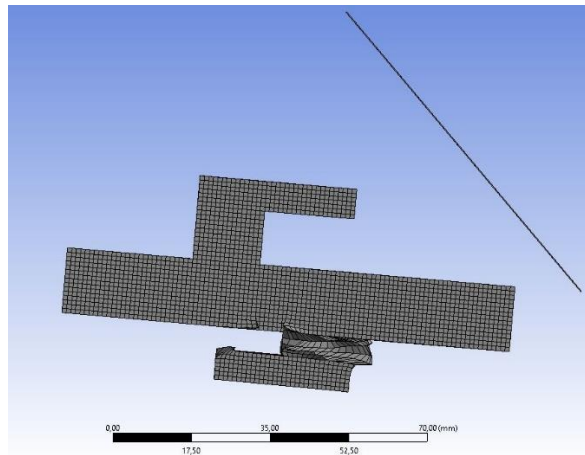


şekil 6.27. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

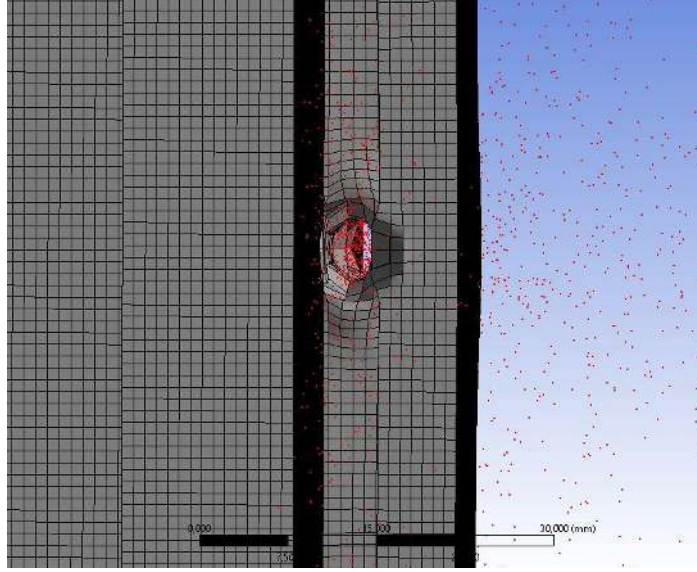


Şekil 6.28. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

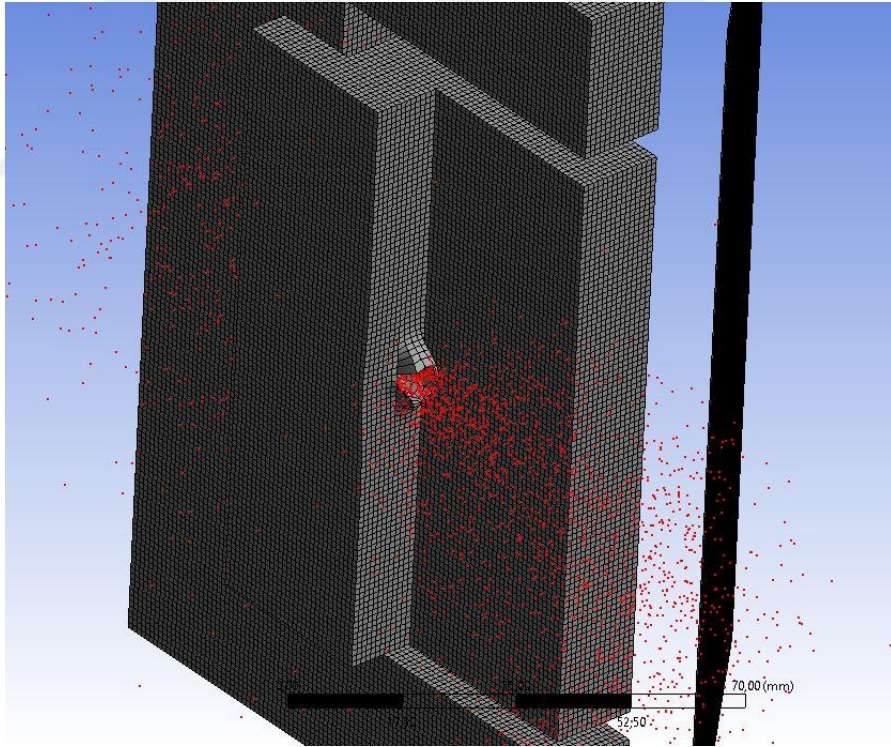
Atış grubu GK5-D15'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 3mm, G1 zırh sacında 0.5mm ve S1 numaralı yapı çeliğinde tam penetrasyon oluşmuştur. Burada mermi K1 zırh çeliğine hasar vermeden araç dışına sapmıştır. S1 sacındaki hasar kritik olmadığından ve şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 5mm boşluk ve 15 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK5-D15'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 3mm'lik penetrasyon Şekil 6.28.'de ve G1 zırh sacındaki 0.5mm'lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki tam penetrasyon Şekil 6.29.'da verilmiştir. GK5-D15'teki penetrasyon boşluk durumu Şekil 6.30.'da ve penetrasyon çıkış noktası görüntüsü Şekil 6.31.'de verilmiştir. Ayrıca GK5-D15 analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.32.'de gösterilmiştir.



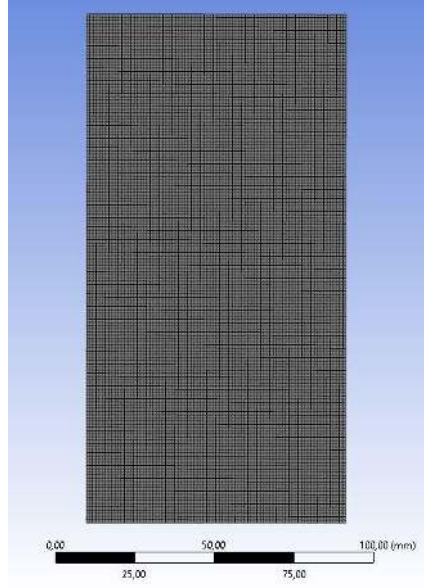
Şekil 6.29. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



Şekil 6.30. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



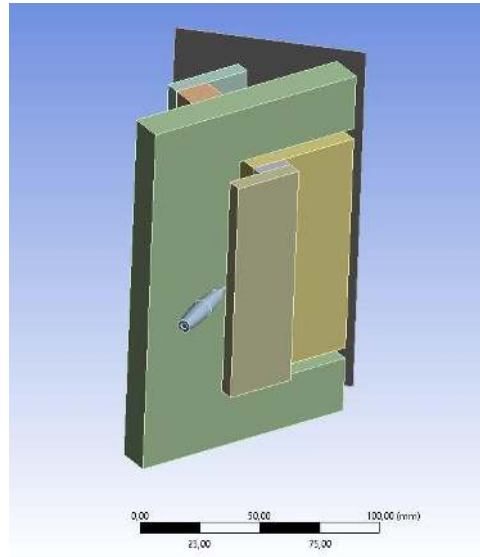
Şekil 6.31. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon çıkış noktası.



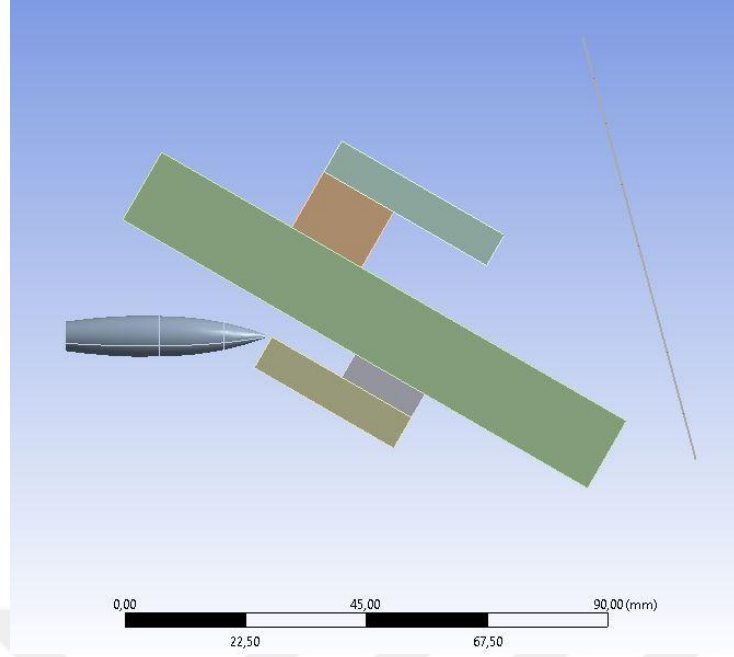
Şekil 6.32. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.5. Gömme tipinde 5mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi

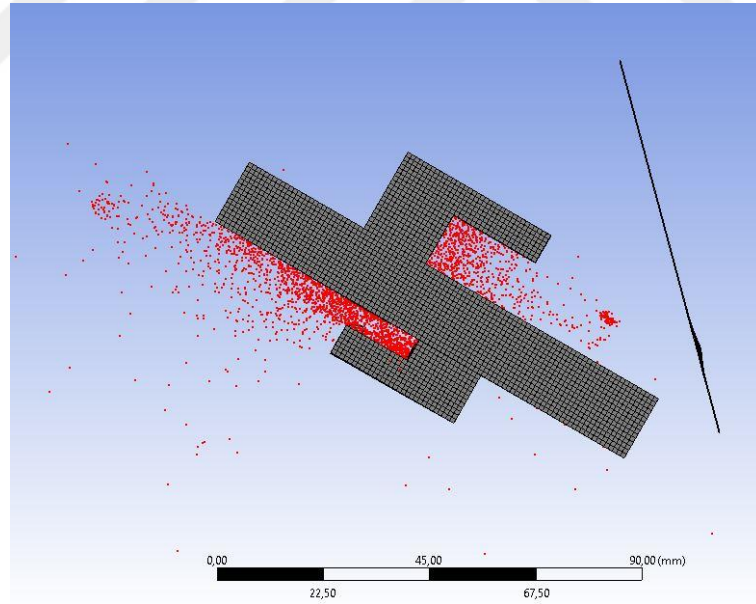
Atış grubu GK5-D30’da verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 30 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.33.’te ve detay görüntüsü de Şekil 6.34.’de verilmiştir.



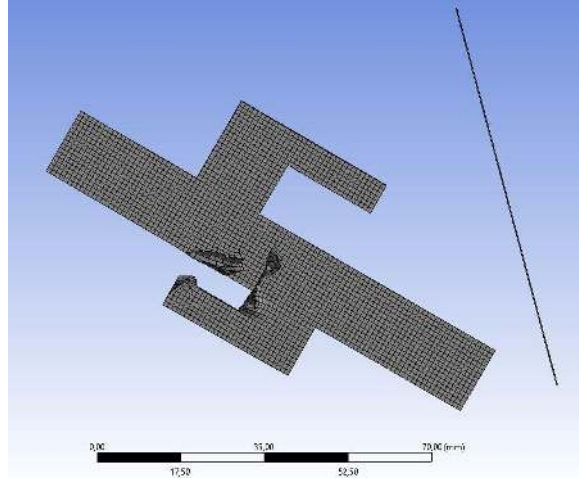
Şekil 6.33. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılması.



Şekil 6.34. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

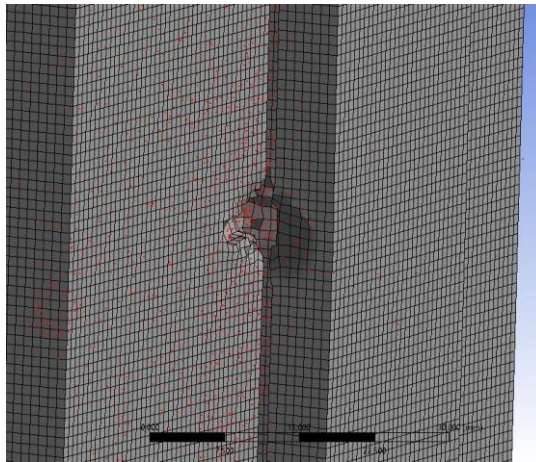


Şekil 6.35. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

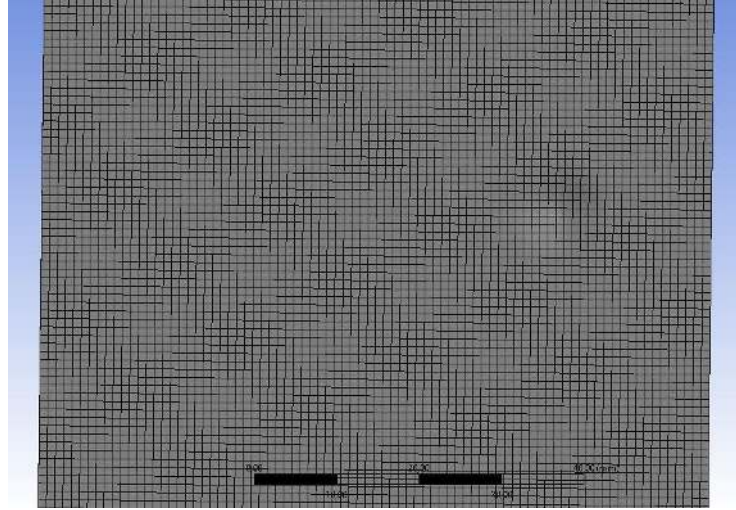


Şekil 6.36. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.

Atış grubu GK5-D30'da yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 4mm, G1 zırh sacında 7mm, S1 numaralı yapı çeliğinde 3mm ve K1 zırh sacında 3mm penetrasyon oluşmuştur. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 5mm boşluk ve 30 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK5-D30'da yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 4mm'lik penetrasyon Şekil 6.35.'te ve G1 zırh sacındaki 7mm'lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki 3mm'lik ve K1 zırh sacındaki 3mm'lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.36.'da verilmiştir. Ayrıca GK5-D30'daki penetrasyon boşluğu Şekil 6.37.'de ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.38.'de gösterilmiştir.



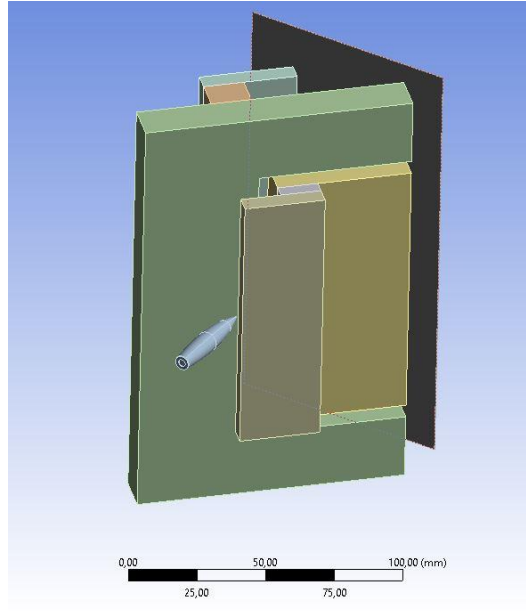
Şekil 6.37. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



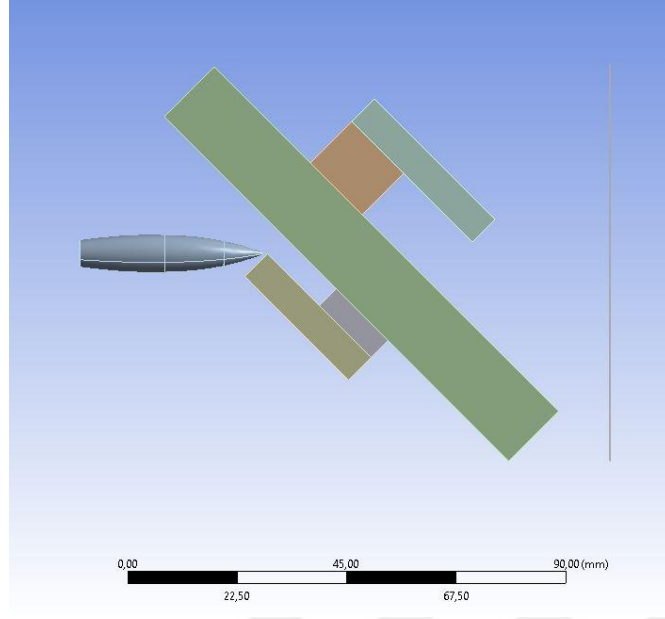
Şekil 6.38. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.6. Gömme tipinde 5mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi

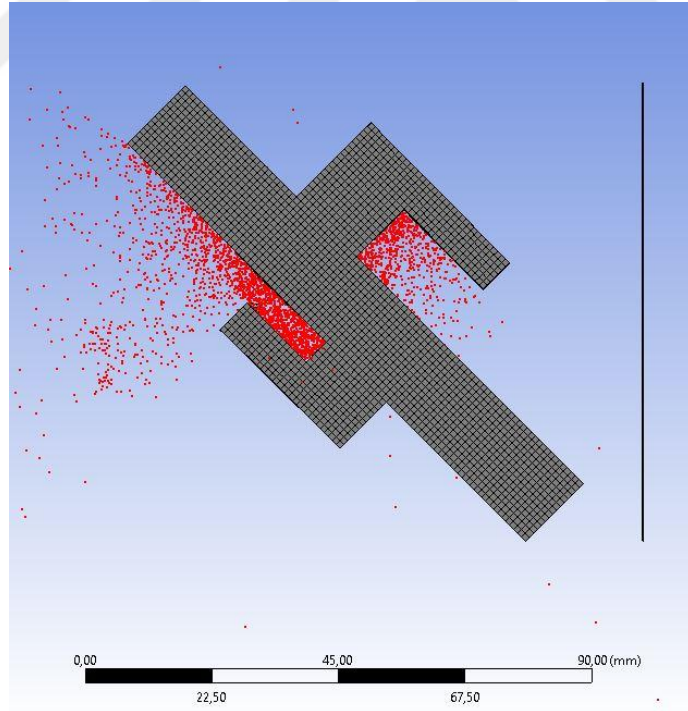
Atış grubu GK5-D45'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 45 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.39.'da ve detay görüntüsü de Şekil 6.40.'ta verilmiştir.



Şekil 6.39. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılması.

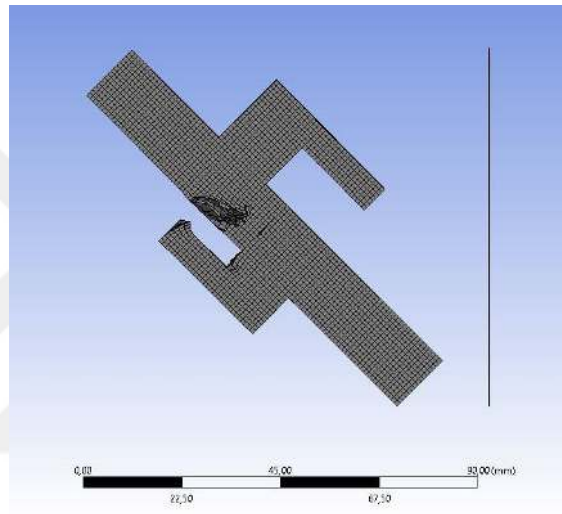


Şekil 6.40. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

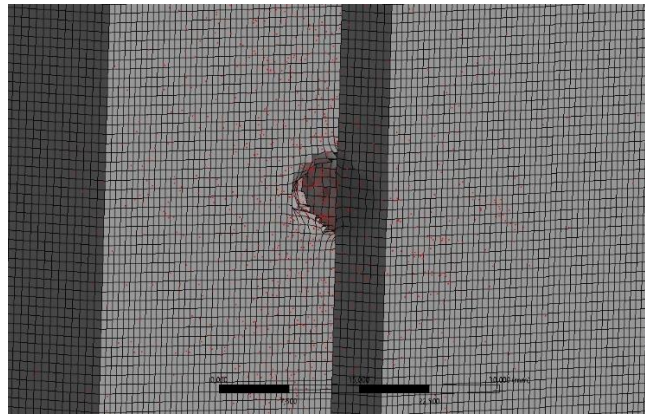


Şekil 6.41. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

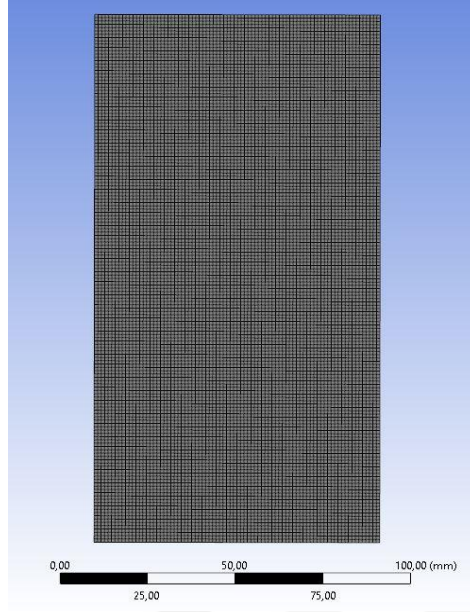
Atış grubu GK5-D45'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 2mm, G1 zırh sacında 10mm, S1 numaralı yapı çeliğinde 1mm ve K1 zırh sacında 0.5mm penetrasyon oluşmuştur. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 5mm boşluk ve 45 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK5-D45'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 2mm'lik penetrasyon Şekil 6.41.'de ve G1 zırh sacındaki 10mm'lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki 1mm'lik ve K1 zırh sacındaki 0.5mm'lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.42.'de verilmiştir. Ayrıca GK5-D45'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.43.'te ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.44.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.42. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



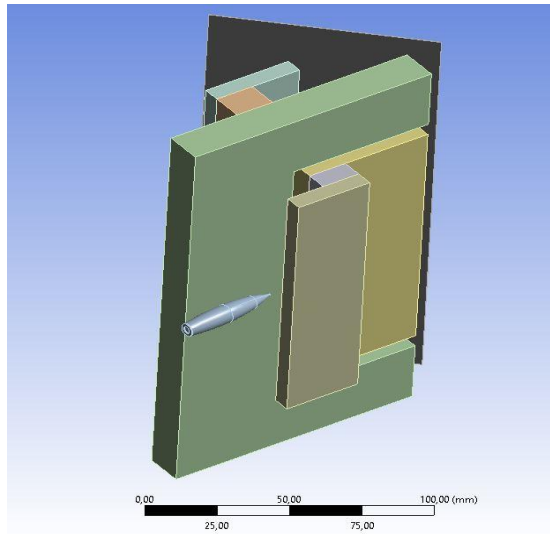
Şekil 6.43. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



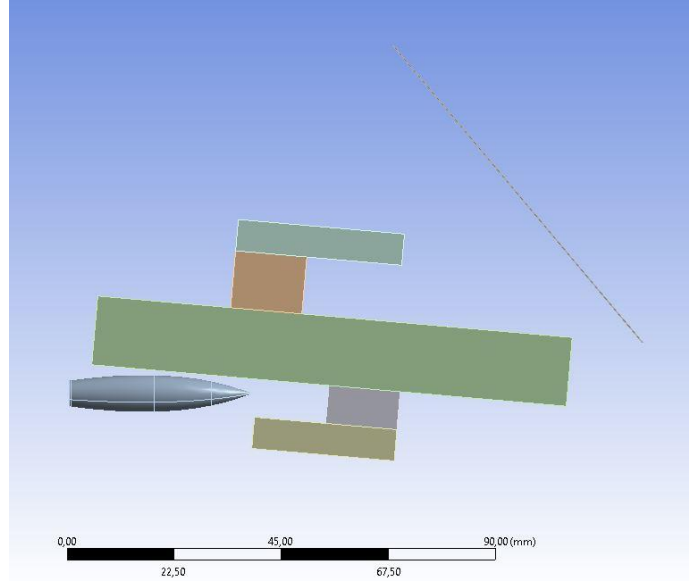
Şekil 6.44. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.7. Gömme tipinde 8mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi

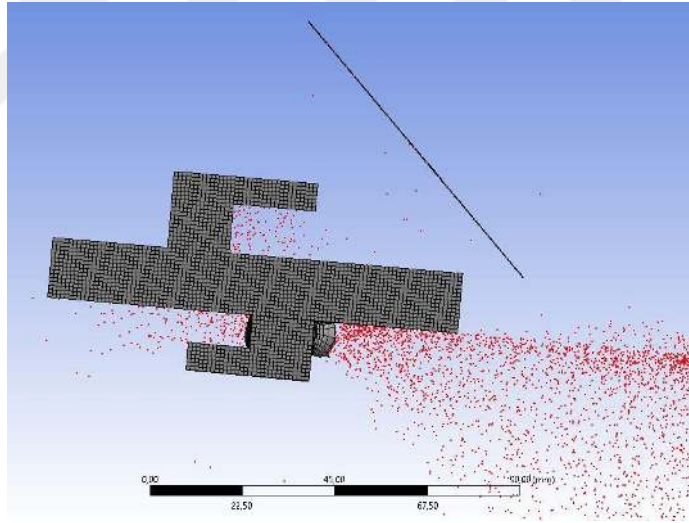
Atış grubu GK8-D15'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 15 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.45.'te ve detay görüntüsü de Şekil 6.46.'da verilmiştir.



Şekil 6.45. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.



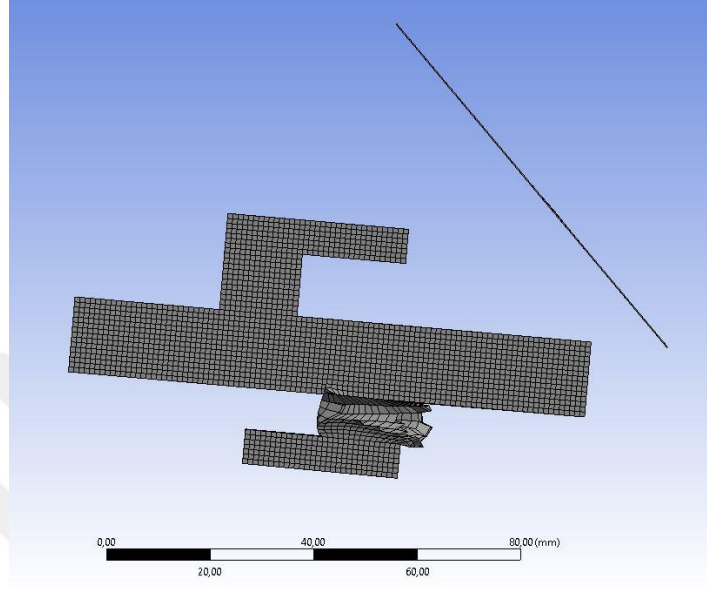
Şekil 6.46. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.



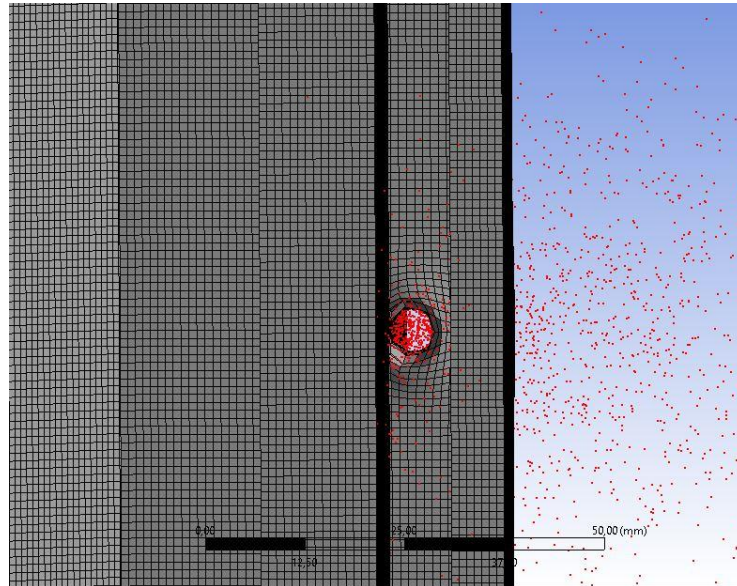
Şekil 6.47. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

Atış grubu GK8-D15'te yapılan atış analizi sonrası C1, G1 ve K1 zırh saclarında hasar oluşmamıştır. S1 numaralı yapı çeliğinde tam penetrasyon oluşmuştur. S1 sacındaki hasar kritik olmadığından ve şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 8mm boşluk ve 15 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK8-D15'te yapılan atış analizi sonrası oluşan penetrasyon durumu Şekil 6.47'de verilmiştir. S1 numaralı

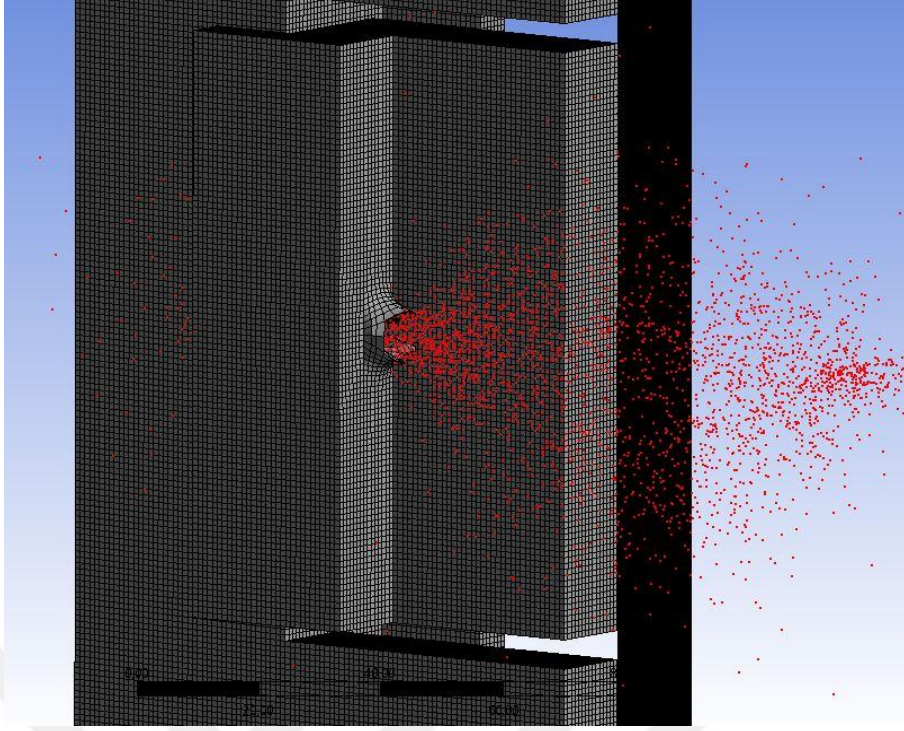
yapı çeliğindeki penetrasyon durumu sonrası hasar Şekil 6.48’de verilmiştir. GK8-D15’teki penetrasyon boşluk durumu Şekil 6.49.’da ve penetrasyon çıkış noktası görüntüsü Şekil 6.50.’de verilmiştir. Ayrıca GK8-D15 analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.51.’de gösterilmiştir.



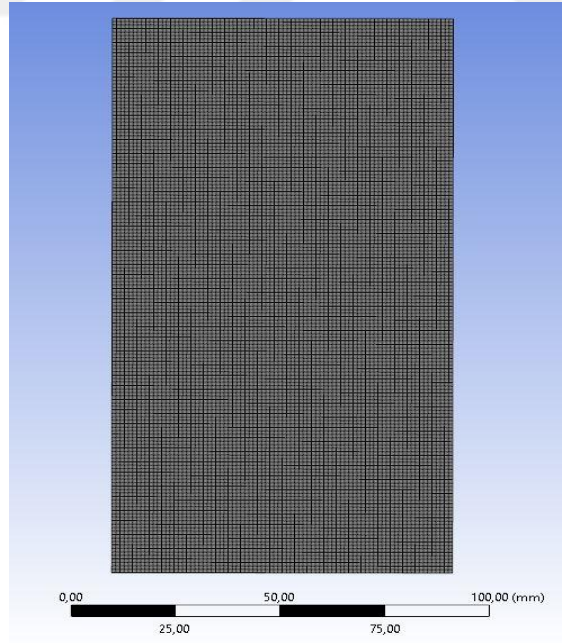
Şekil 6.48. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



Şekil 6.49. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



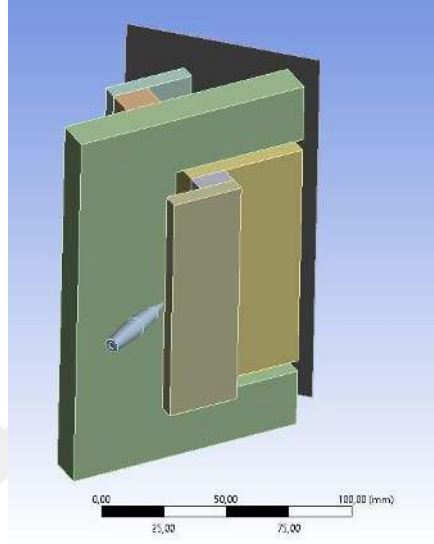
Şekil 6.50. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon çıkış boşluğu.



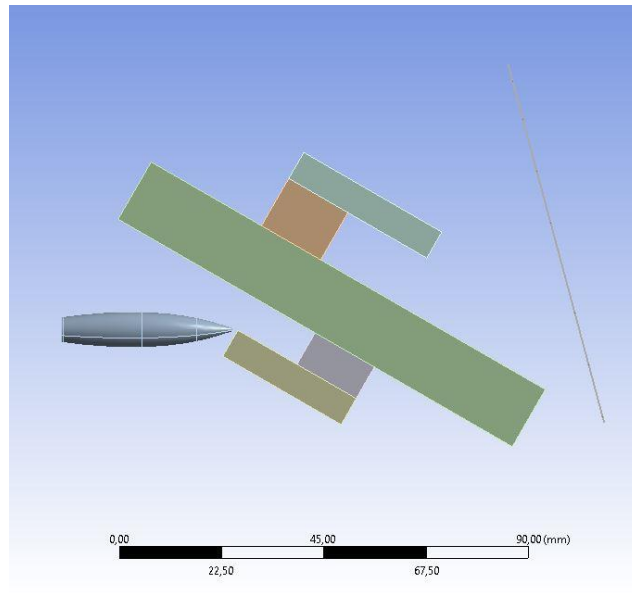
Şekil 6.51. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.8. Gömme tipinde 8mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi

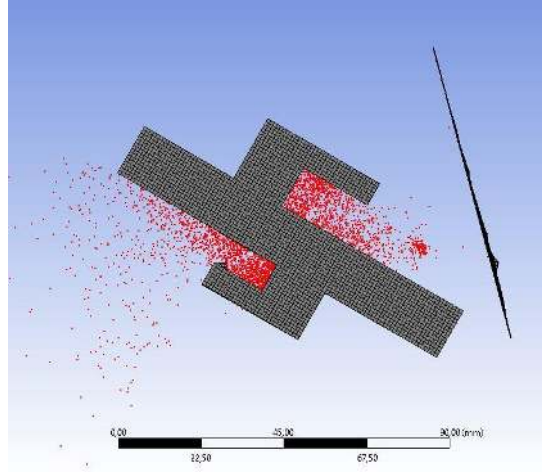
Atış grubu GK8-D30’da verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 30 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.52.’de ve detay görüntüsü de Şekil 6.53.’te verilmiştir.



Şekil 6.52. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılması.

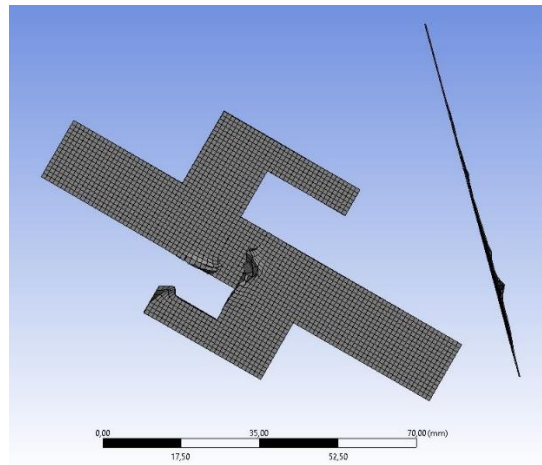


Şekil 6.53. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

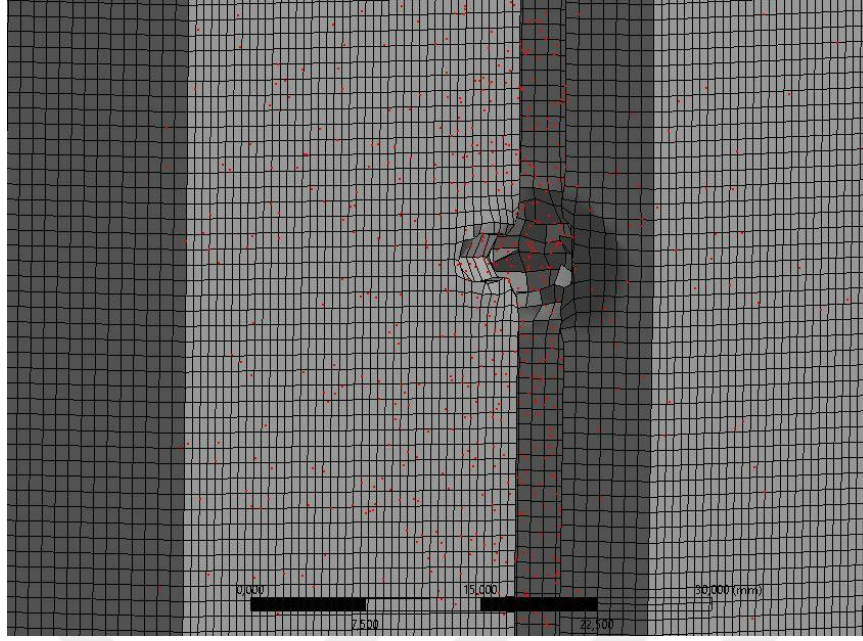


Şekil 6.54. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

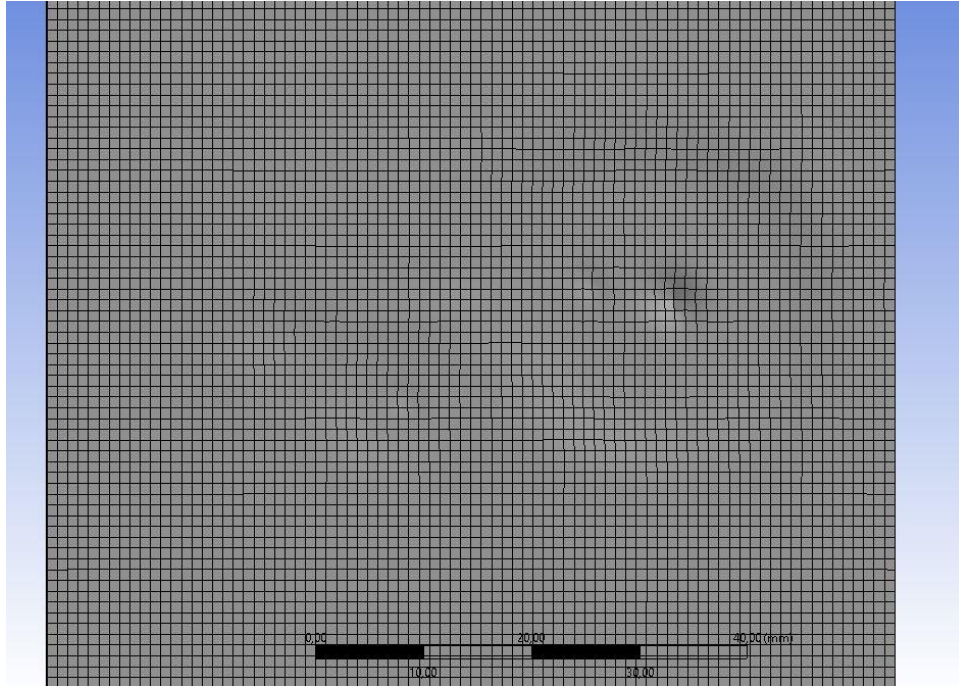
Atış grubu GK8-D30’da yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 3mm, G1 zırh sacında 2mm, S1 numaralı yapı çeliğinde 0.5mm ve K1 zırh sacında 8.5mm penetrasyon oluşmuştur. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 8mm boşluk ve 30 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK8-D30’da yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 3mm’lik penetrasyon Şekil 6.54.’te ve G1 zırh sacındaki 2mm’lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki 0.5mm’lik ve K1 zırh sacındaki 8.5mm’lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.55.’te verilmiştir. Ayrıca GK3-D45’teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.56.’da ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.57.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.55. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



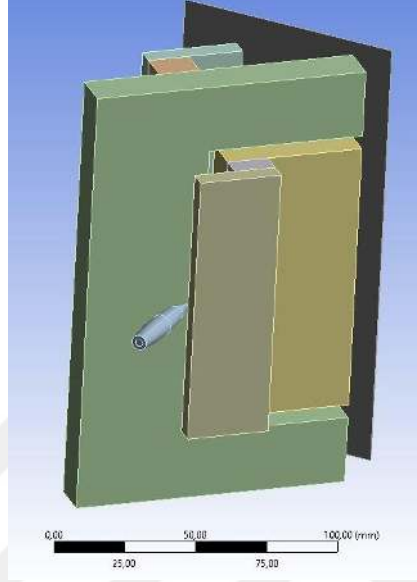
Şekil 6.56. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



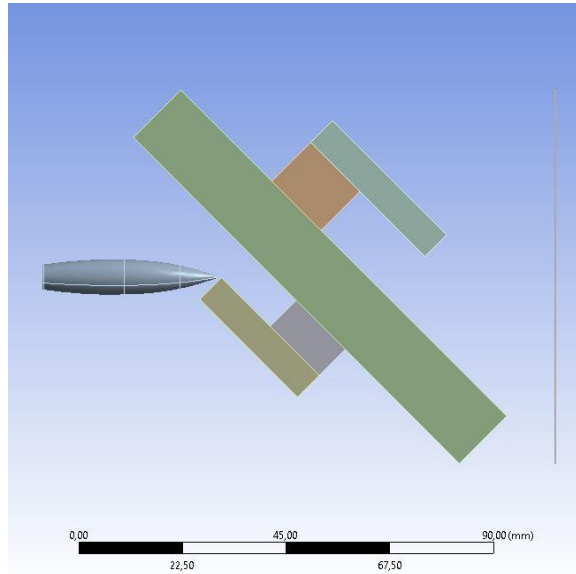
Şekil 6.57. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.2.9. Gömme tipinde 8mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi

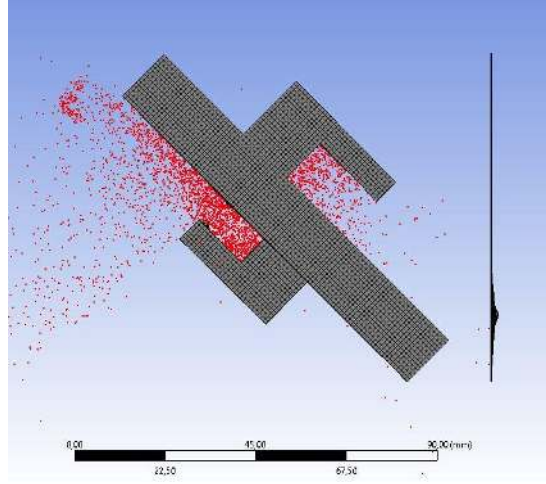
Atış grubu GK8-D45'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi gömme kapı modeline 1mm mesafede 45 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açıya ait konum görüntüsü Şekil 6.58.'de ve detay görüntüsü de Şekil 6.59.'da verilmiştir.



Şekil 6.58. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılması.

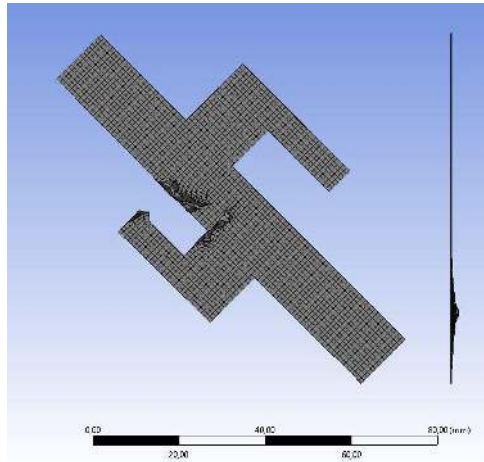


Şekil 6.59. 7.62X51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

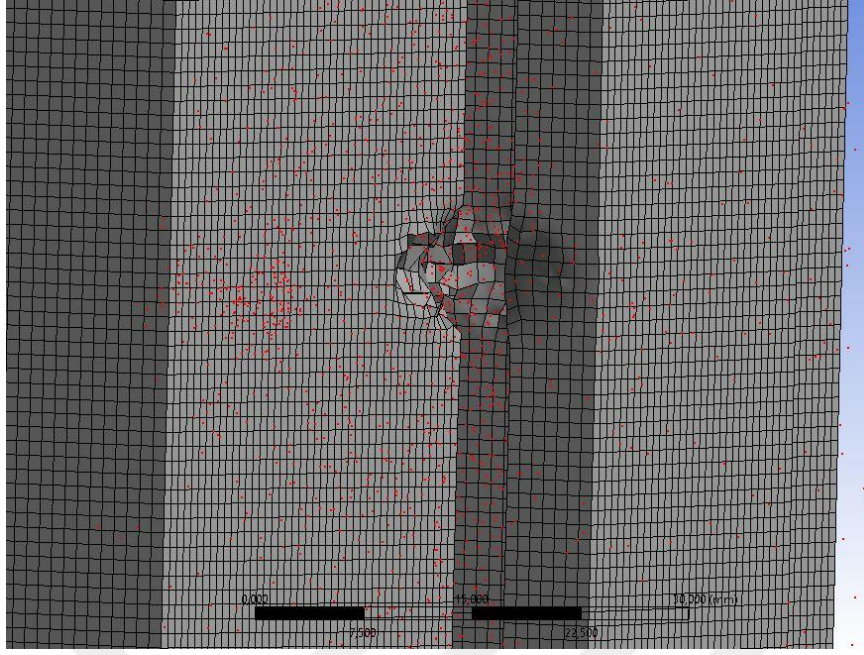


Şekil 6.60. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

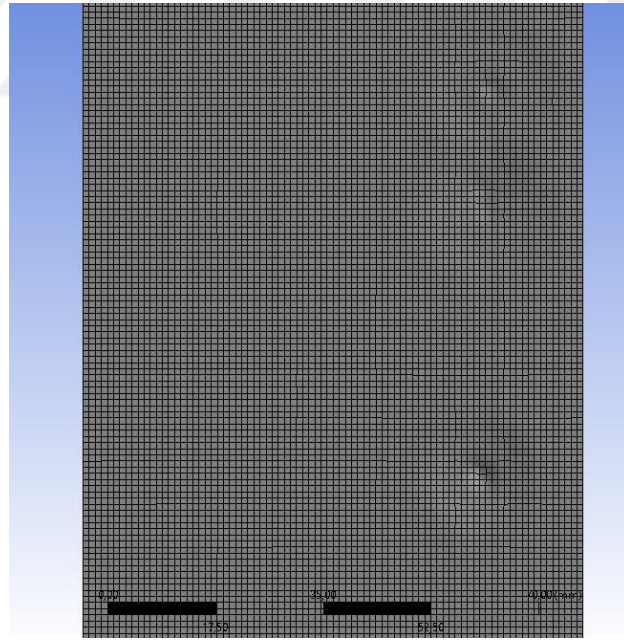
Atış grubu GK8-D45'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında 2mm, G1 zırh sacında 5mm, S1 numaralı yapı çeliğinde 2mm ve K1 zırh sacında 6mm penetrasyon oluşmuştur. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 8mm boşluk ve 45 derece atışlı gömme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu GK8-D45'te yapılan atış analizi sonrası C1 zırh sacında oluşan 2mm'lik penetrasyon Şekil 6.60.'ta ve G1 zırh sacındaki 5mm'lik, S1 numaralı yapı çeliğindeki 2mm'lik ve K1 zırh sacındaki 6mm'lik penetrasyon durumları ise Şekil 6.61.'de verilmiştir. Ayrıca GK8-D45'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.62.'de ve analiz sonucundaki şahit numunenin hasar durumu Şekil 6.63.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.61. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



Şekil 6.62. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.

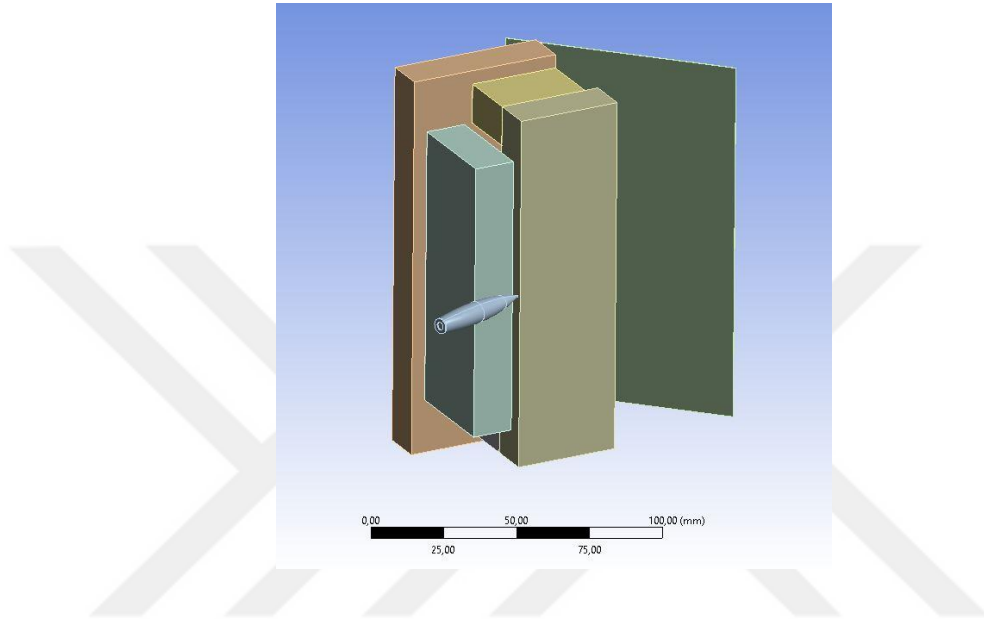


Şekil 6.63. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

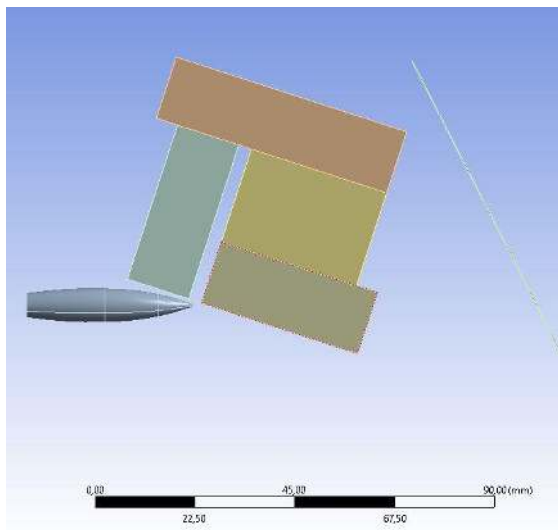
6.3. Bindirme Tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşimi Sayısal Analizi

6.3.1. Bindirme tipinde 3mm aralıık için 15 derece atışın sayısal analizi

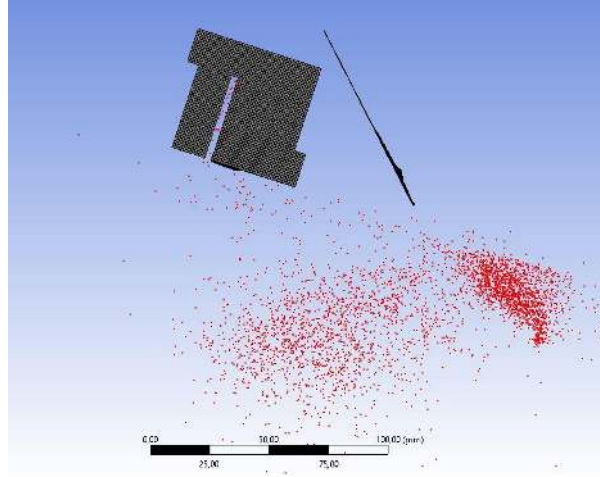
Atış grubu BK3-D15'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 15 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısına ait konum görüntüsü şekil 6.64.'te ve detay görüntüsü de şekil 6.65.'te verilmiştir.



şekil 6.64. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.

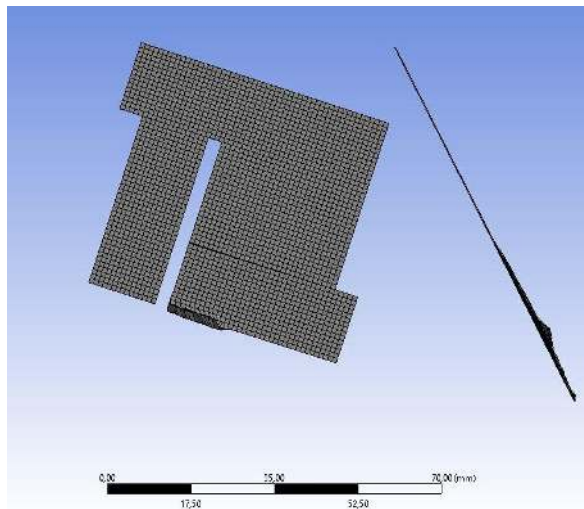


şekil 6.65. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

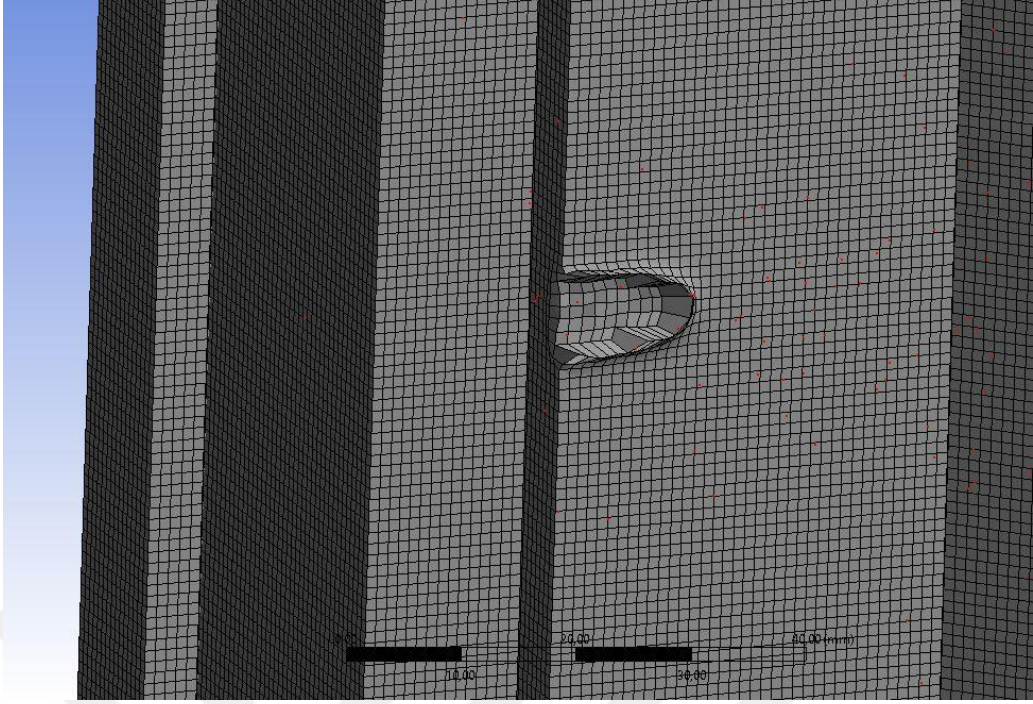


Şekil 6.66. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

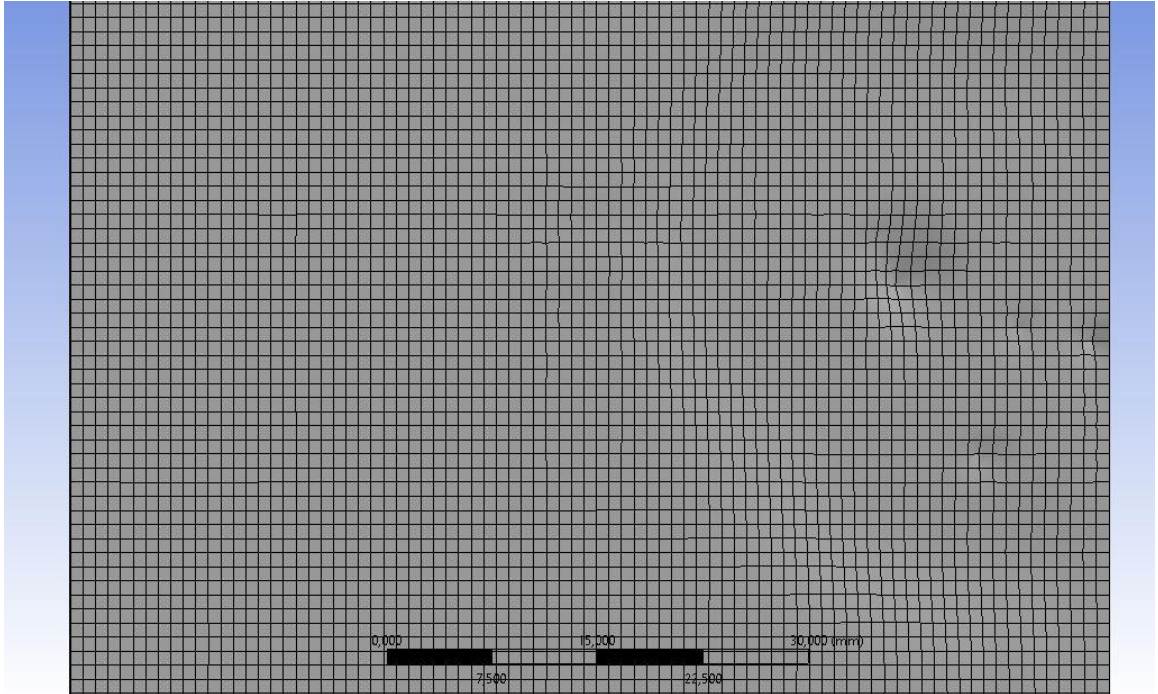
Atış grubu BK3-D15'te yapılan atış analizi sonrası mermi K2 sacında 2mm penetrasyon sağlamış ve araç dışı yöne doğru gitmiştir. 15 derecelik atışın kritik olmadığı görülmüş ve şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 3mm boşluk ve 15 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu BK3-D15'te yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 2mm'lik penetrasyon durumu Şekil 6.66'da ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.67'de verilmiştir. Ayrıca BK3-D15'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.68.'de ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.69.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.67. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



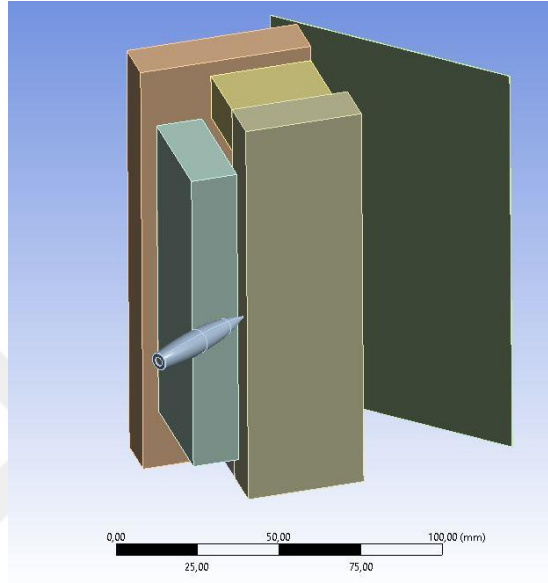
Şekil 6.68. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



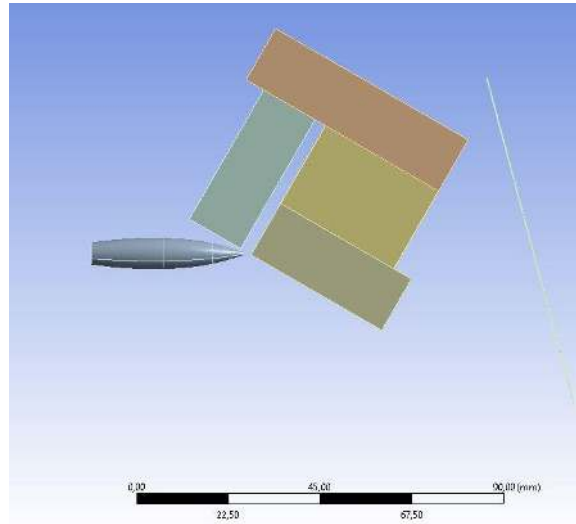
Şekil 6.69. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.3.2. Bindirme tipinde 3mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi

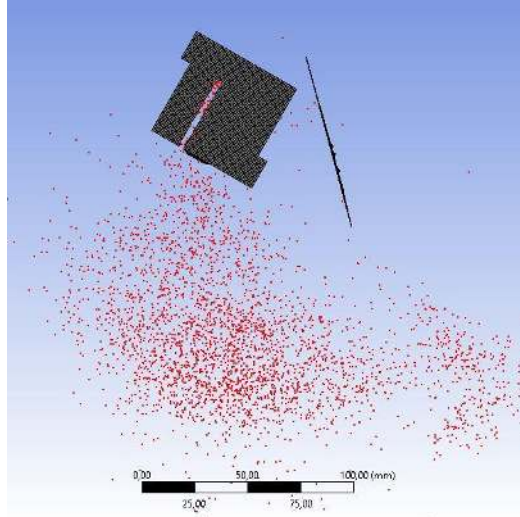
Atış grubu BK3-D30’da verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 30 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.70.’de ve detay görüntüsü de Şekil 6.71.’de verilmiştir.



Şekil 6.70. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılması.

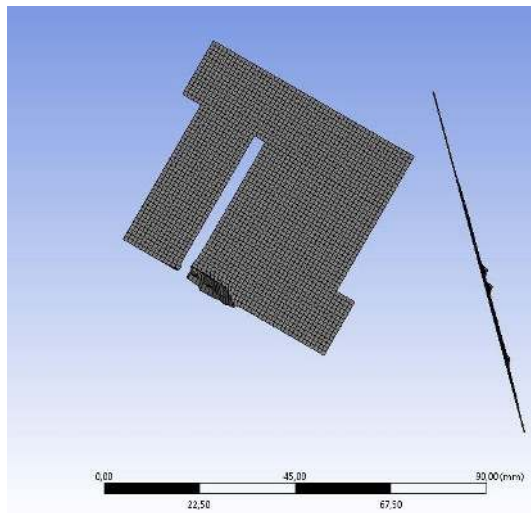


Şekil 6.71. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

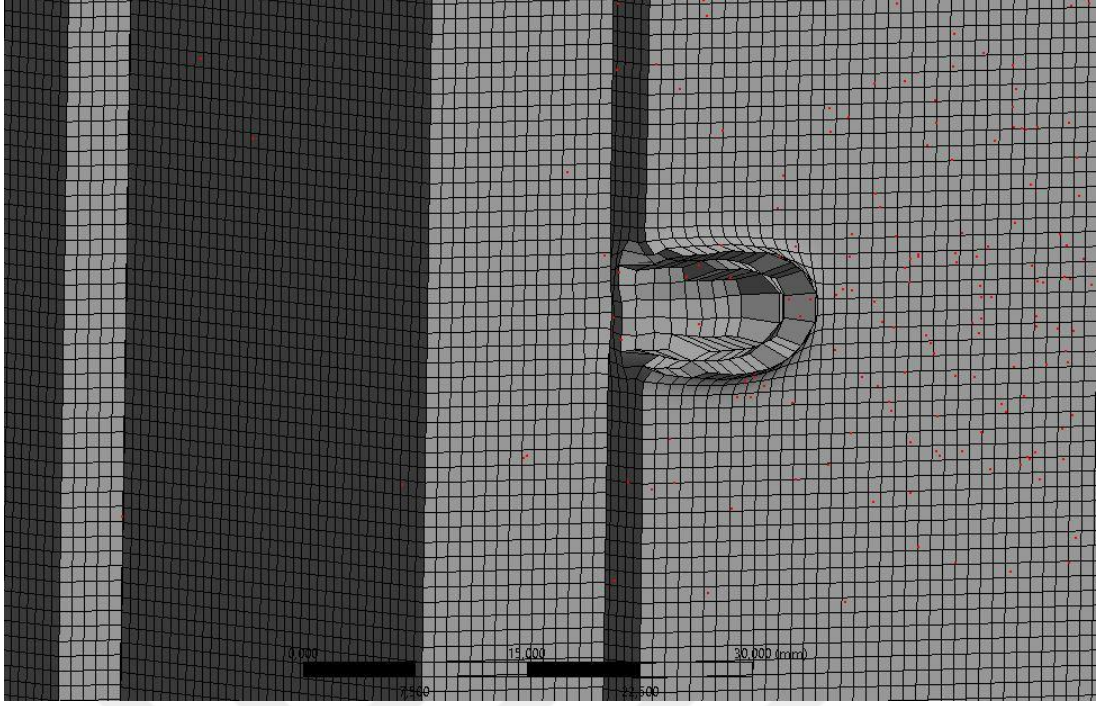


Şekil 6.72. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

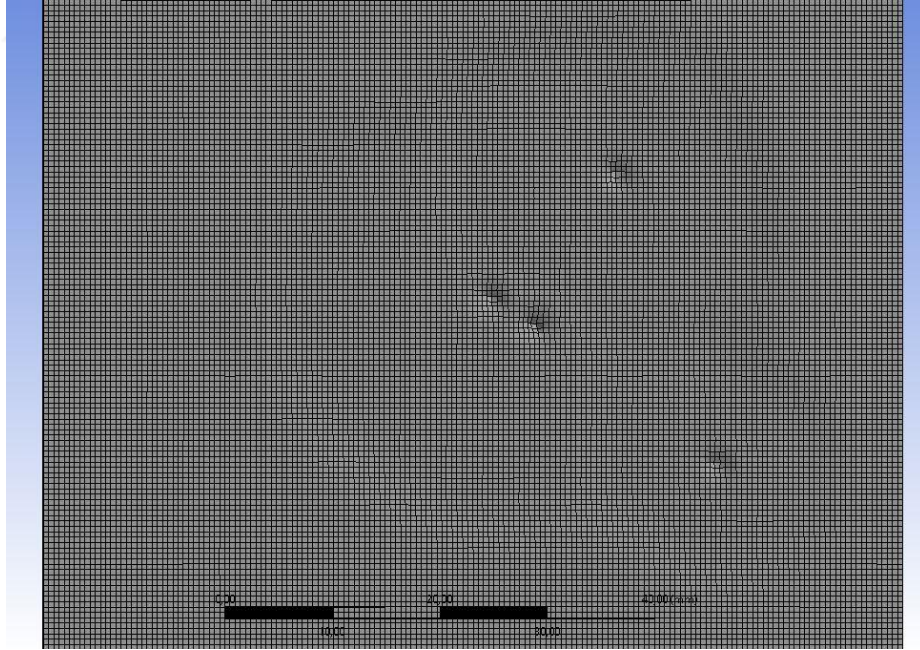
Atış grubu BK3-D30’da yapılan atış analizi sonrası mermi K2 sacında 3mm penetrasyon sağlamış ve araç dışı yöne doğru gitmiştir. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 3mm boşluk ve 30 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu BK3-D30’da yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 3mm’lik penetrasyon durumu Şekil 6.72’de ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.73’te verilmiştir. Ayrıca BK3-D30’daki penetrasyon boşluğu Şekil 6.74.’te ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.75.’te gösterilmiştir.



Şekil 6.73. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



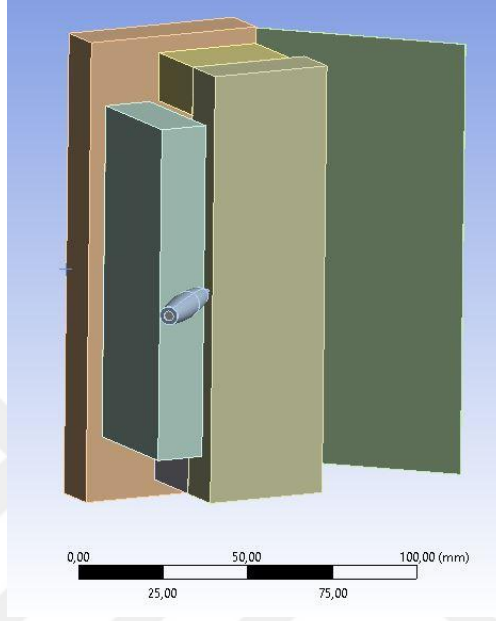
Şekil 6.74. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



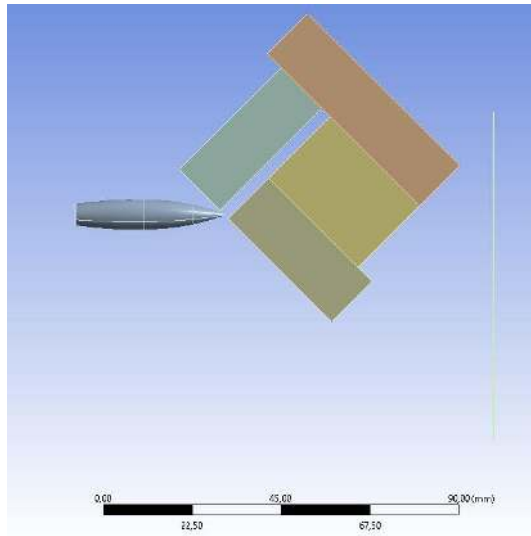
Şekil 6.75. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.3.3. Bindirme tipinde 3mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi

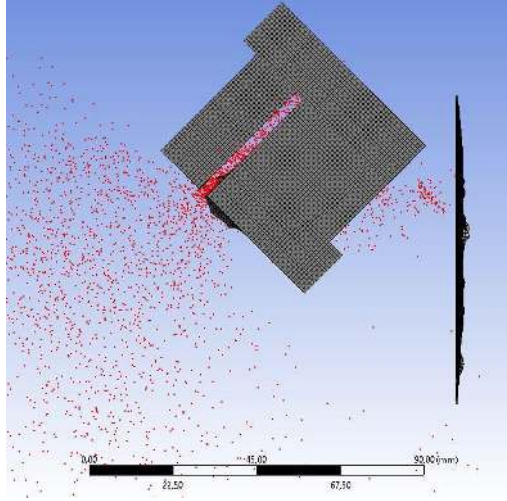
Atış grubu BK3-D45’te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 45 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.76.’da ve detay görüntüsü de Şekil 6.77.’de verilmiştir.



Şekil 6.76. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılması.

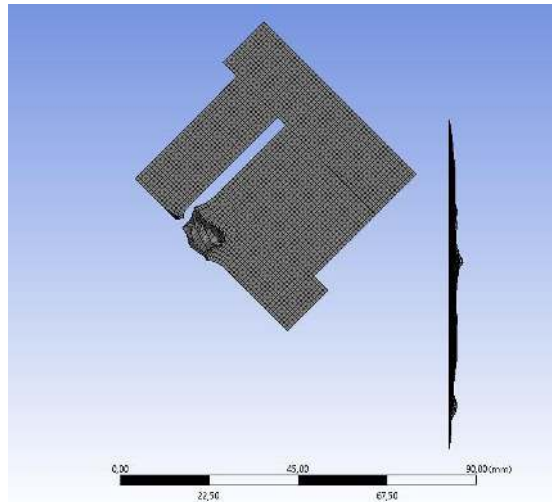


Şekil 6.77. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

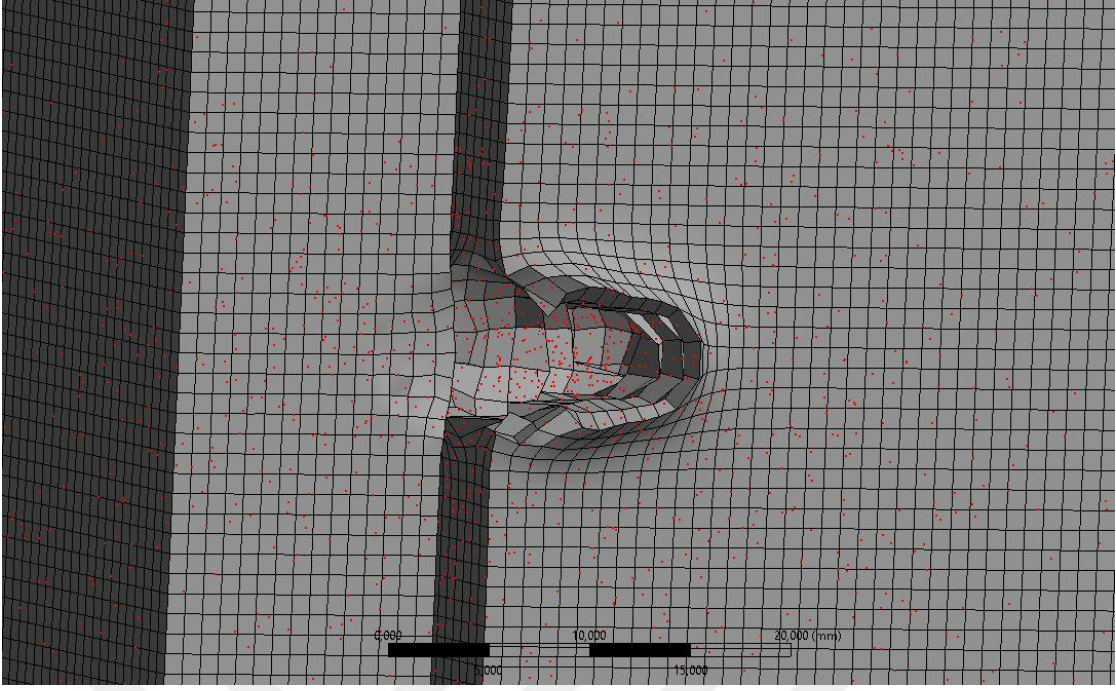


Şekil 6.78. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

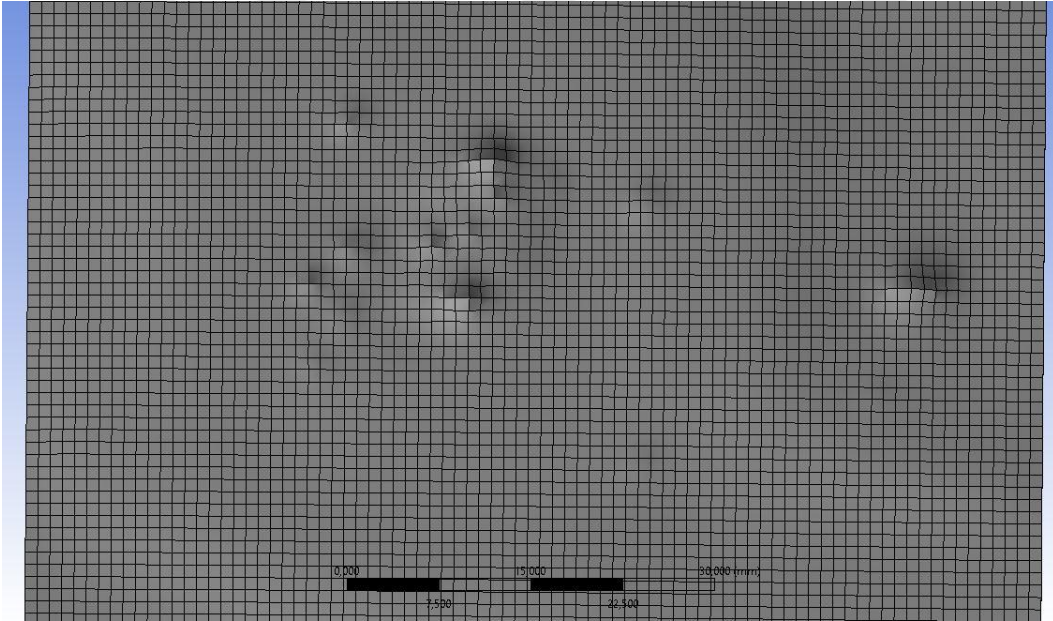
Atış grubu BK3-D45’te yapılan atış analizi sonrası mermi C3 zırh sacında 1mm ve K2 zırh sacında 9mm penetrasyon sağlamıştır. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 3mm boşluk ve 45 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu BK3-D45’te yapılan atış analizi sonucu C3 sacındaki 1mm’lik penetrasyon durumu ile K2 zırh sacındaki 9mm’lik penetrasyon durumu Şekil 6.78’de ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.79’da verilmiştir. Ayrıca BK3-D45’teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.80.’de ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.81.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.79. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



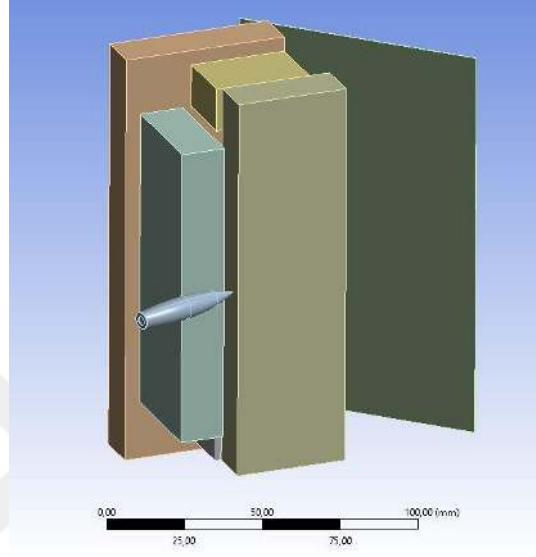
Şekil 6.80. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



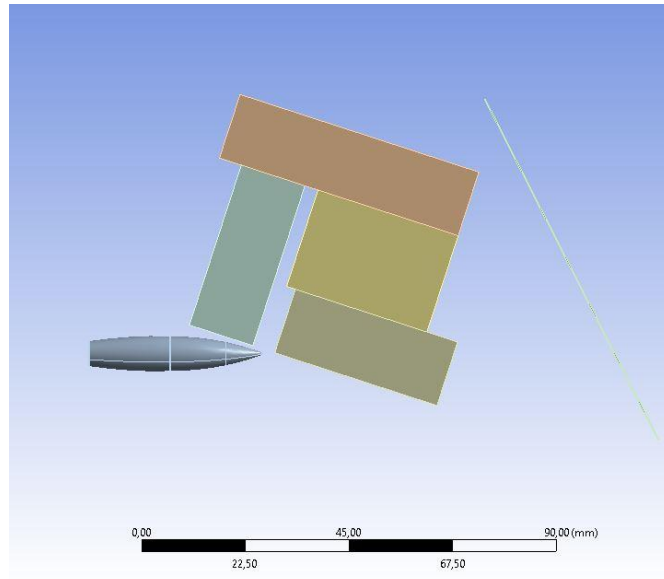
Şekil 6.81. 7.62x51 (AP) mermisinin 3mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.3.4. Bindirme tipinde 5mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi

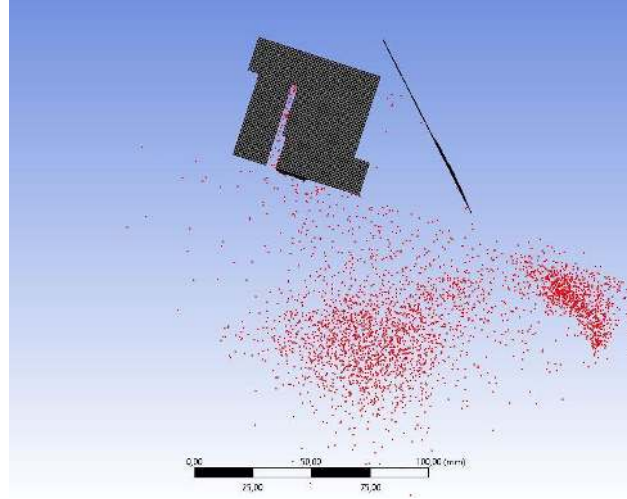
Atış grubu BK5-D15'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 15 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.82.'de ve detay görüntüsü de Şekil 6.83.'te verilmiştir.



Şekil 6.82. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.

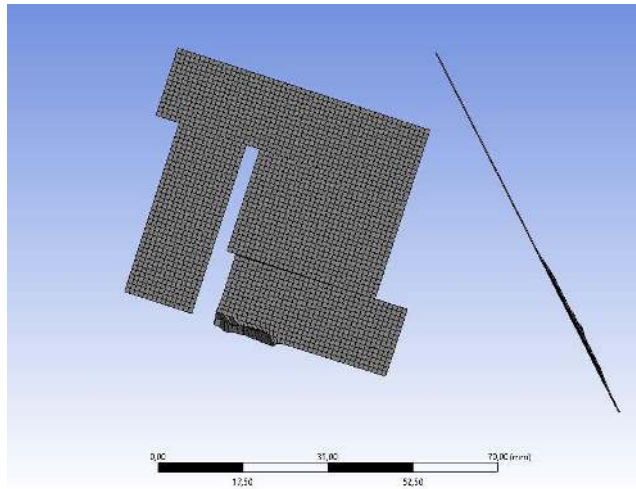


Şekil 6.83. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

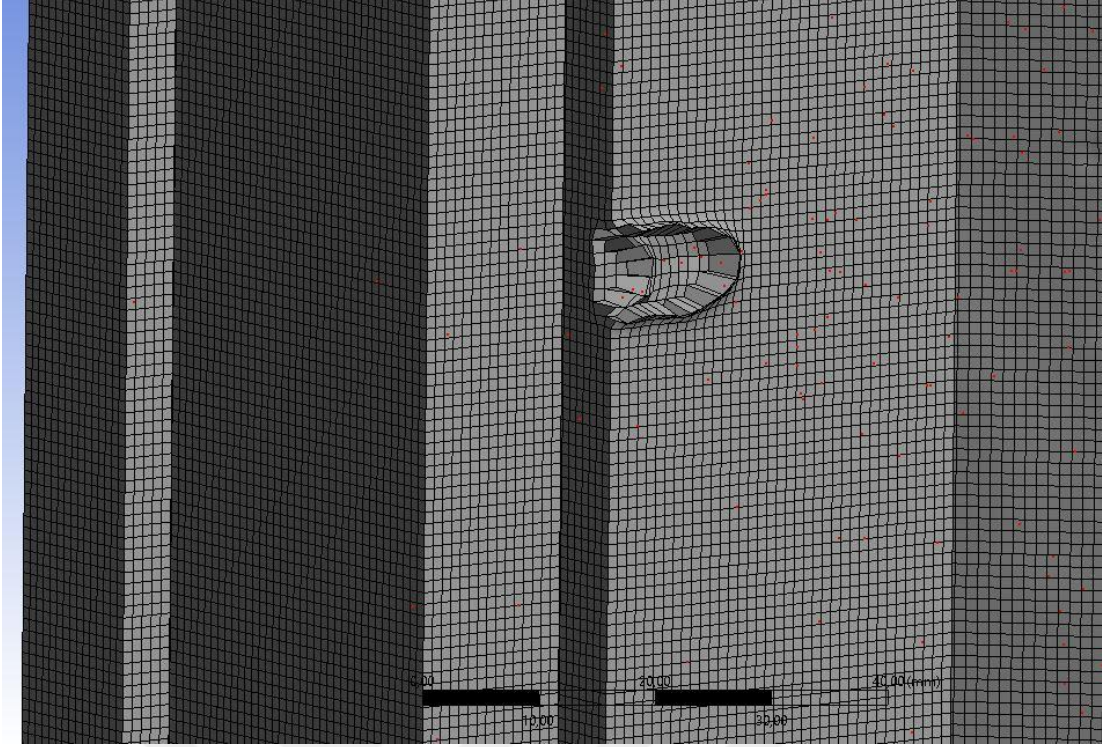


Şekil 6.84. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

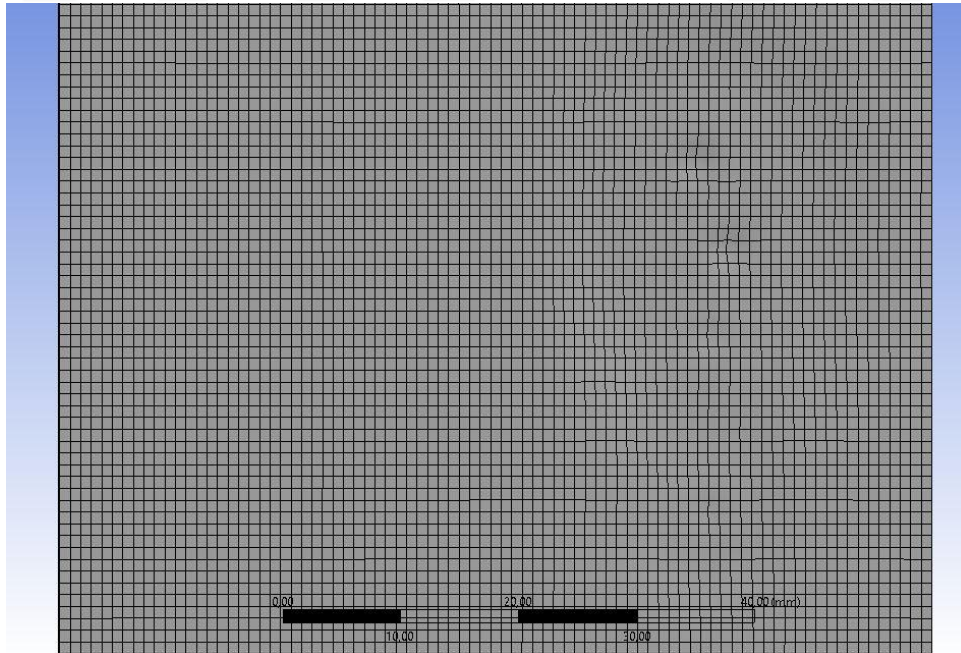
Atış grubu BK5-D15’te yapılan atış analizi sonrası mermi K2 sacında 2mm penetrasyon sağlamış ve araç dışı yöne doğru gitmiştir. 15 derecelik atışın kritik olmadığı görülmüş ve şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 5mm boşluk ve 15 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu BK5-D15’te yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 2mm’lik penetrasyon durumu Şekil 6.84’te ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.85’te verilmiştir. Ayrıca BK5-D15’teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.86.’da ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.87.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.85. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



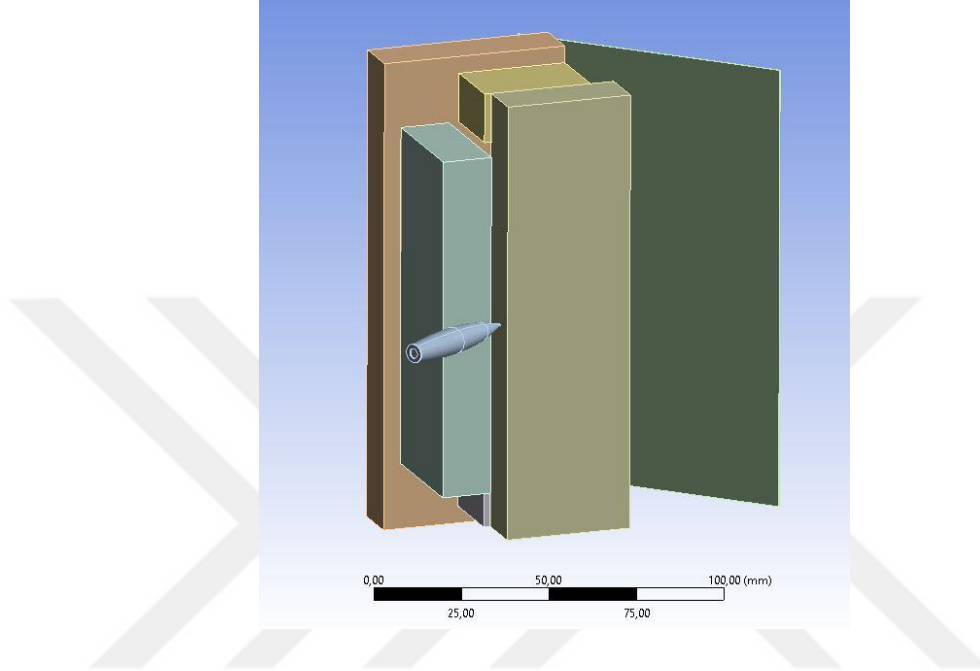
Şekil 6.86. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



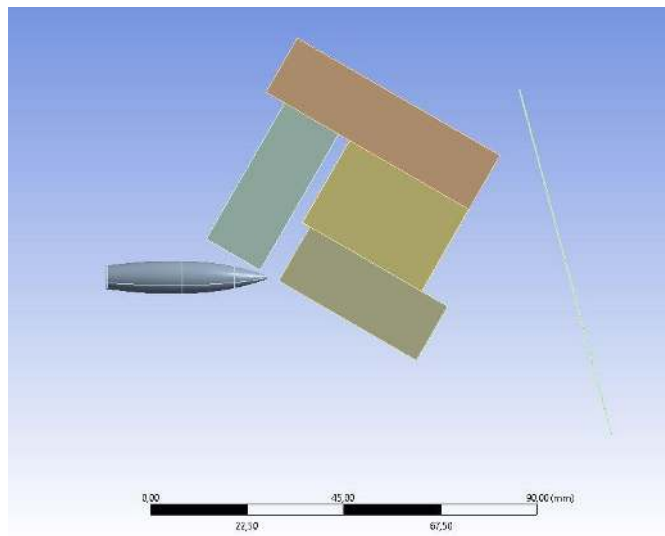
Şekil 6.87. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.3.5. Bindirme tipinde 5mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi

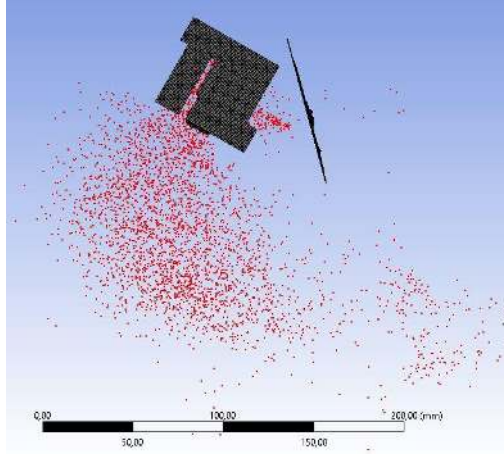
Atış grubu BK5-D30’da verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 30 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.88.’de ve detay görüntüsü de Şekil 6.89.’da verilmiştir.



Şekil 6.88. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılması.

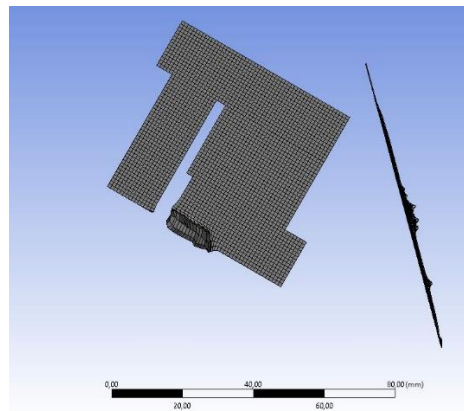


Şekil 6.89. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

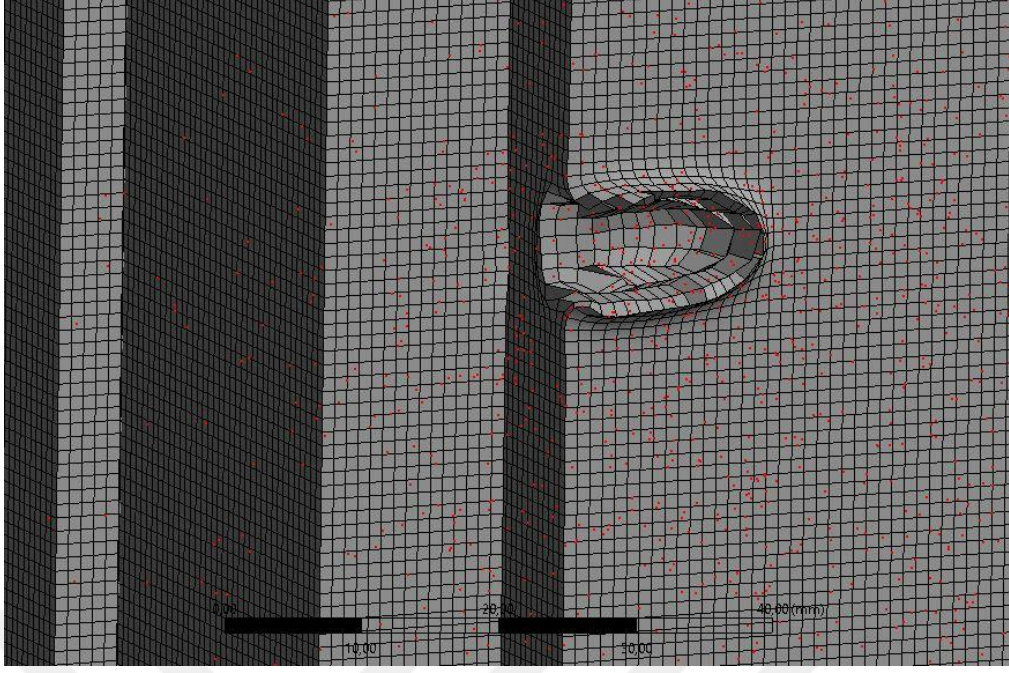


Şekil 6.90. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

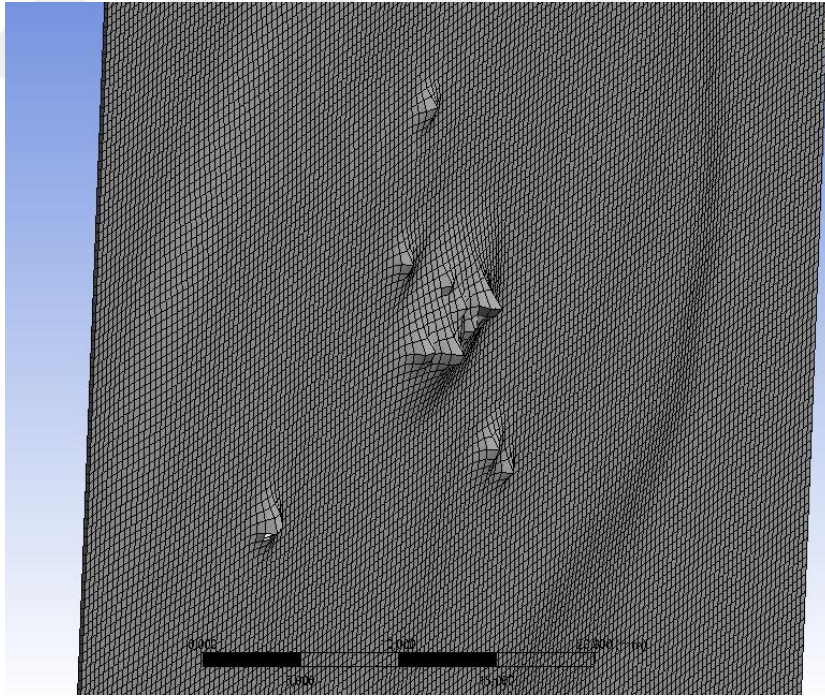
Atış grubu BK5-D30'da yapılan atış analizi sonrası mermi K2 sacında 4mm penetrasyon sağlamış ve araç dışı yöne doğru gitmiştir. Şahit numune üzerinde 1mm² büyüklüğünde hasar meydana gelmiştir. 30 derecelik atışın kritik olduğu görülmüş ve şahit numunede hasar gerçekleştiğinden 5mm boşluk ve 30 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet vardır. Atış grubu BK5-D30'da yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 4mm'lik penetrasyon durumu Şekil 6.90'da ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.91'de verilmiştir. Ayrıca BK5-D30'daki penetrasyon boşluğu Şekil 6.92.'de, analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.93.'te ve analiz sonucu penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu detay görüntüsü Şekil 6.94'te gösterilmiştir.



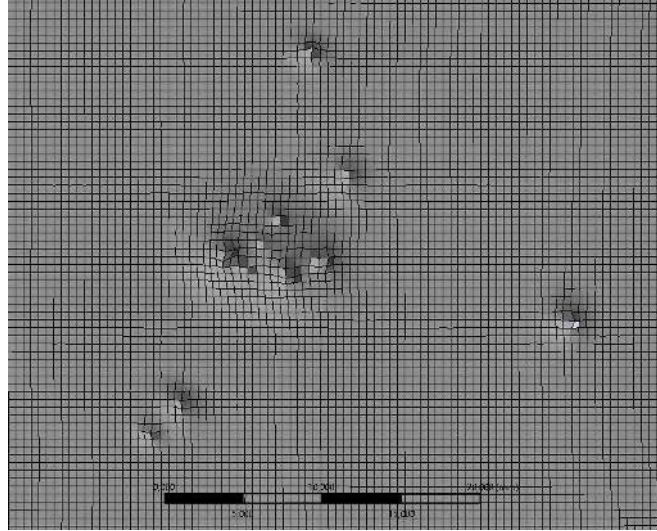
Şekil 6.91. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.



Şekil 6.92. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



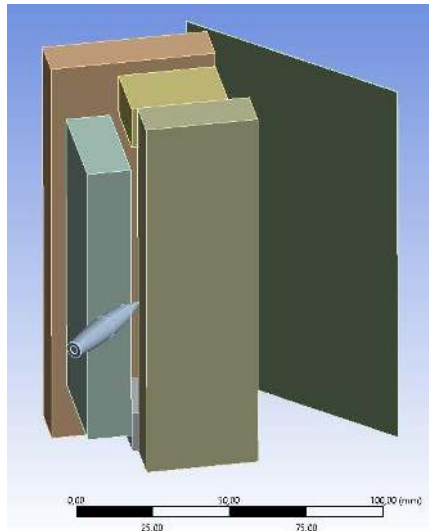
Şekil 6.93. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.



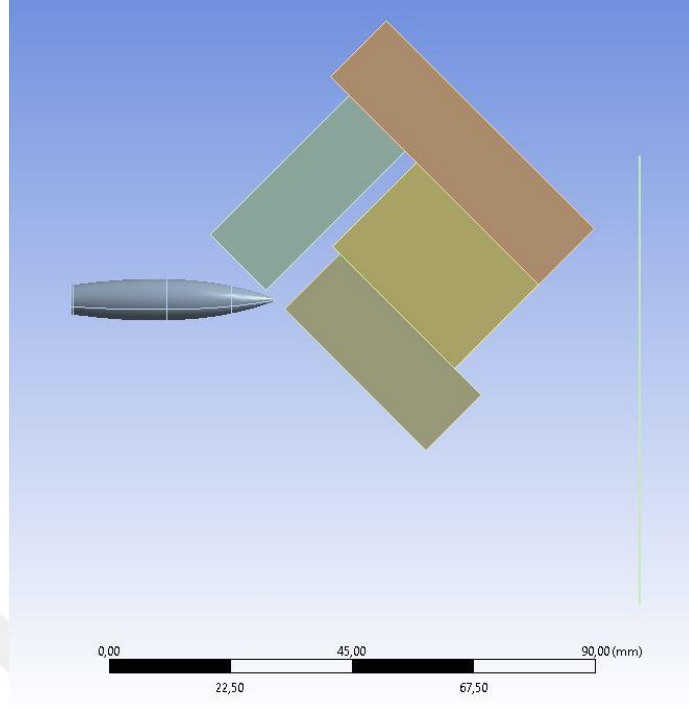
Şekil 6.94. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu detay görüntüsü.

6.3.6. Bindirme tipinde 5mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi

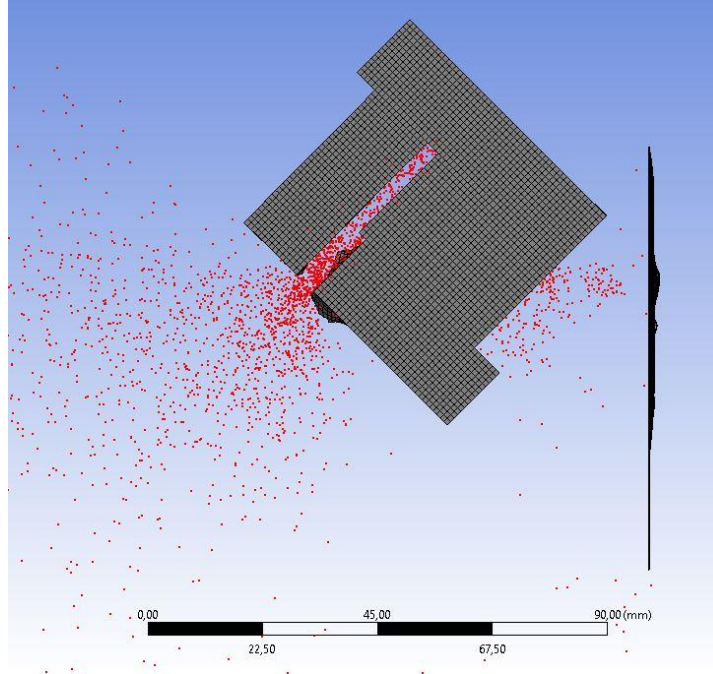
Atış grubu BK5-D45'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 45 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.95.'te ve detay görüntüsü de Şekil 6.96.'da verilmiştir.



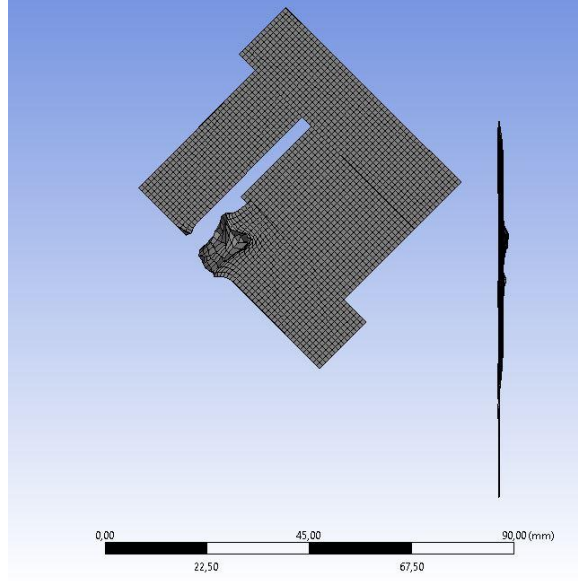
Şekil 6.95. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılması.



Şekil 6.96. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

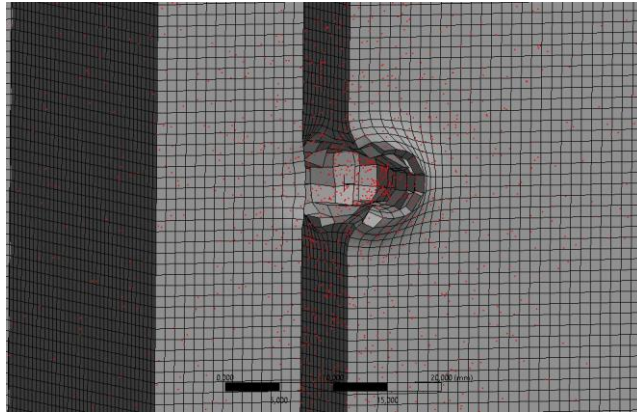


Şekil 6.97. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

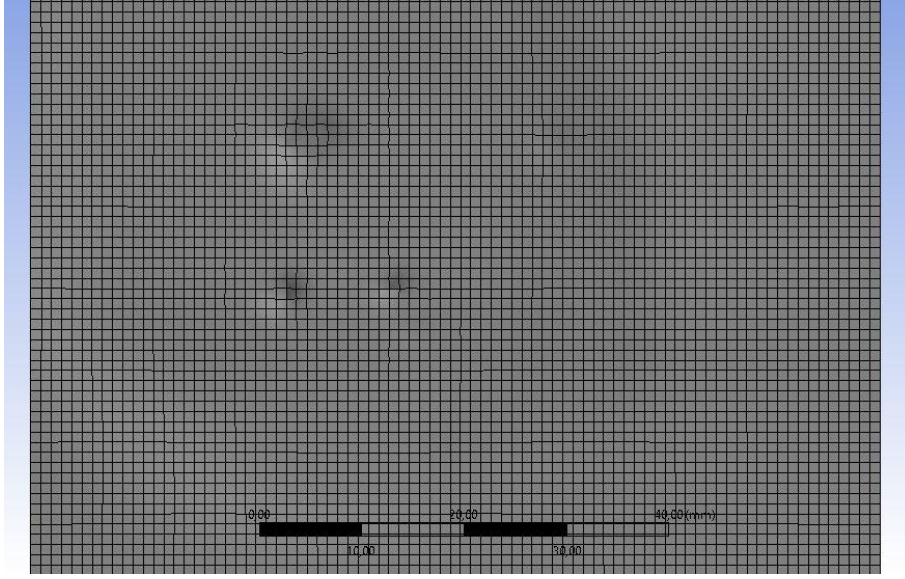


Şekil 6.98. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.

Atış grubu BK5-D45'te yapılan atış analizi sonrası mermi C3 zırh sacında 1mm ve K2 zırh sacında 9.5mm penetrasyon sağlamıştır. Şahit numune üzerinde hasar meydana gelmemiştir. Şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 5mm boşluk ve 45 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu BK5-D45'te yapılan atış analizi sonucu C3 zırh sacında 1mm'lik ve K2 sacındaki 2mm'lik penetrasyon durumu Şekil 6.97'de ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.98'de verilmiştir. Ayrıca BK5-D45'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.99.'da ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.100.'de gösterilmiştir.



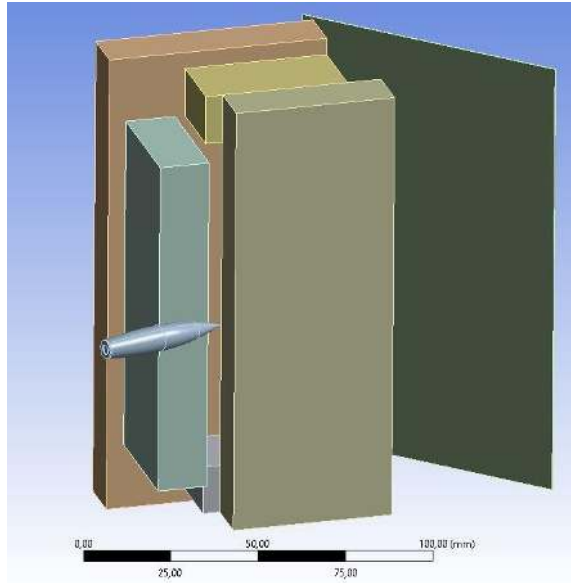
Şekil 6.99. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



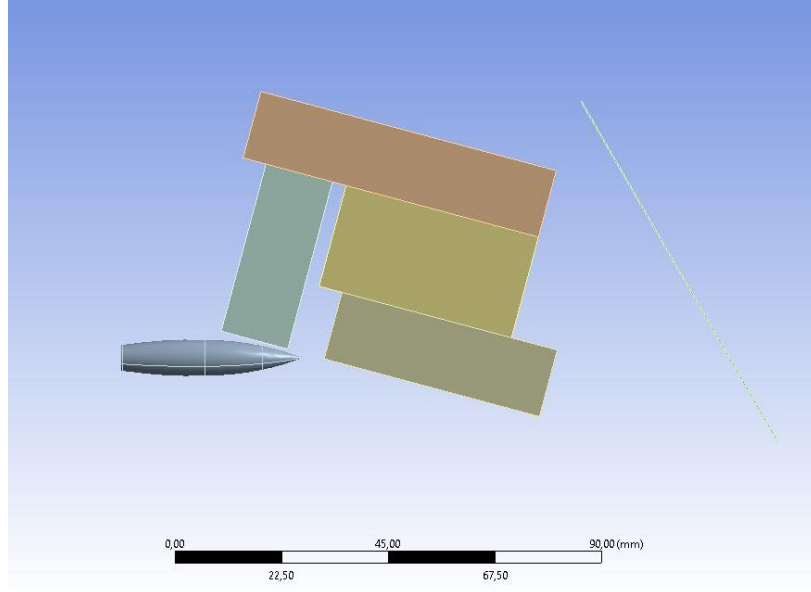
Şekil 6.100. 7.62x51 (AP) mermisinin 5mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.3.7. Bindirme tipinde 8mm aralık için 15 derece atışın sayısal analizi

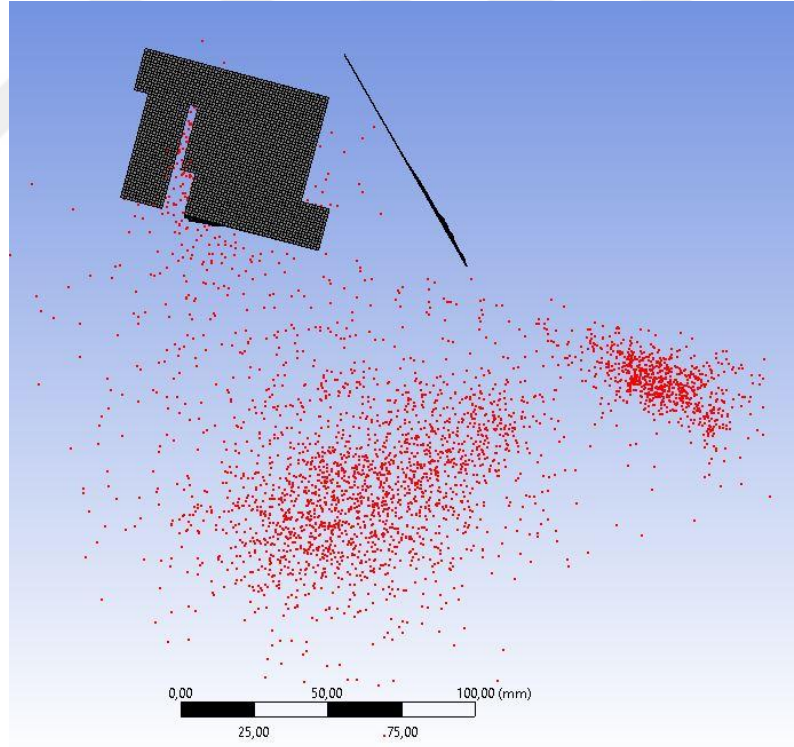
Atış grubu BK8-D15'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 15 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.101.'de ve detay görüntüsü de Şekil 6.102.'de verilmiştir.



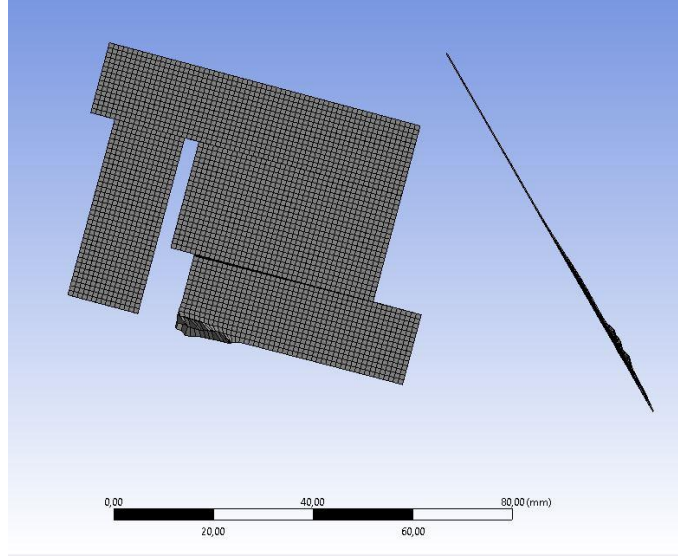
Şekil 6.101. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılması.



Şekil 6.102. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

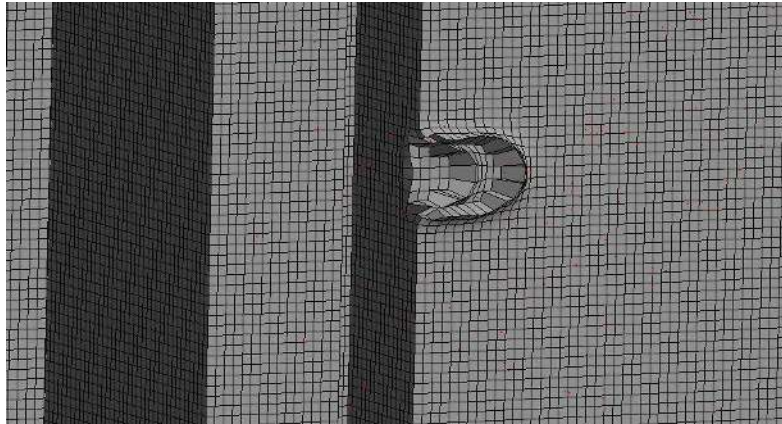


Şekil 6.103. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

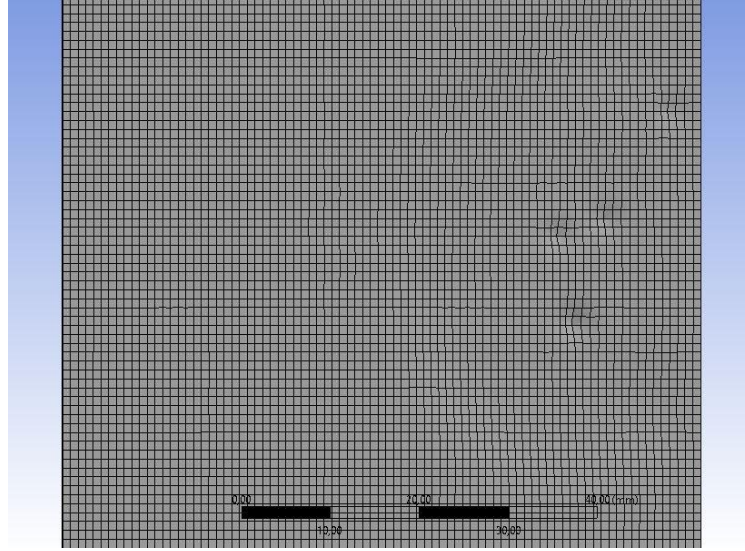


Şekil 6.104. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.

Atış grubu BK8-D15'te yapılan atış analizi sonrası mermi K2 zırh sacında 3mm penetrasyon sağlamış ve araç dışı yöne doğru gitmiştir. 15 derecelik atışın kritik olmadığı görülmüş ve şahit numunede hasar gerçekleşmediğinden 8mm boşluk ve 15 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet yoktur. Atış grubu BK8-D15'te yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 3mm'lik penetrasyon durumu Şekil 6.103'te ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.104'te verilmiştir. Ayrıca BK8-D15'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.105.'te ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.106.'da gösterilmiştir.



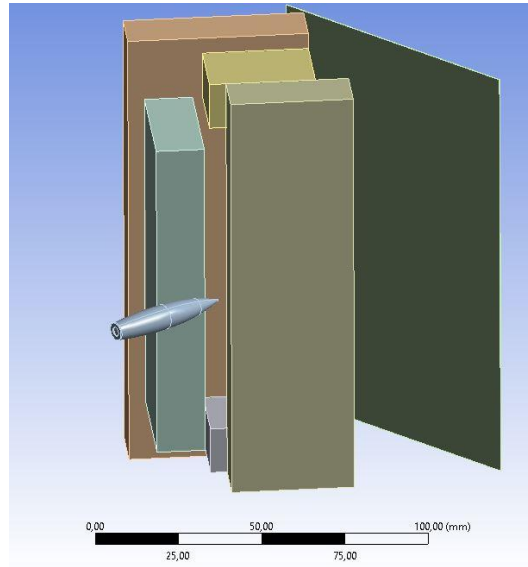
Şekil 6.105. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



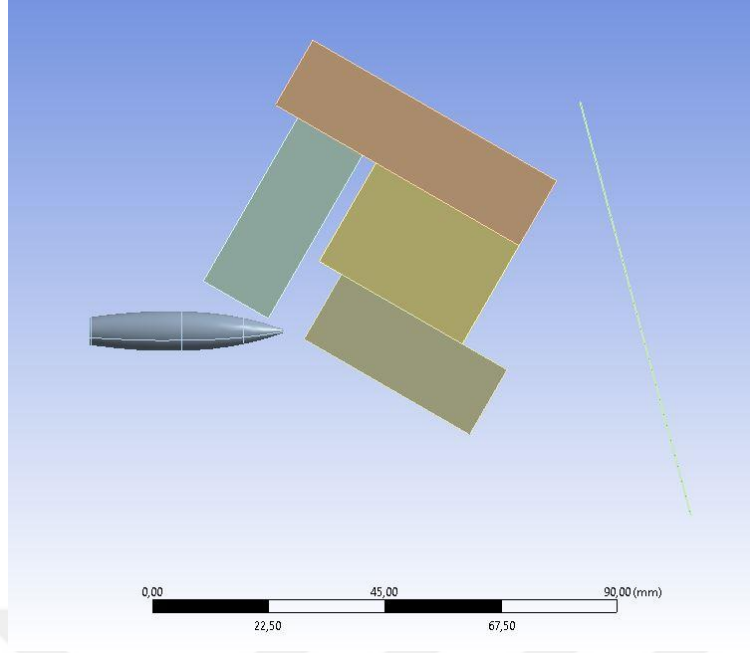
Şekil 6.106. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

6.3.8. Bindirme tipinde 8mm aralık için 30 derece atışın sayısal analizi

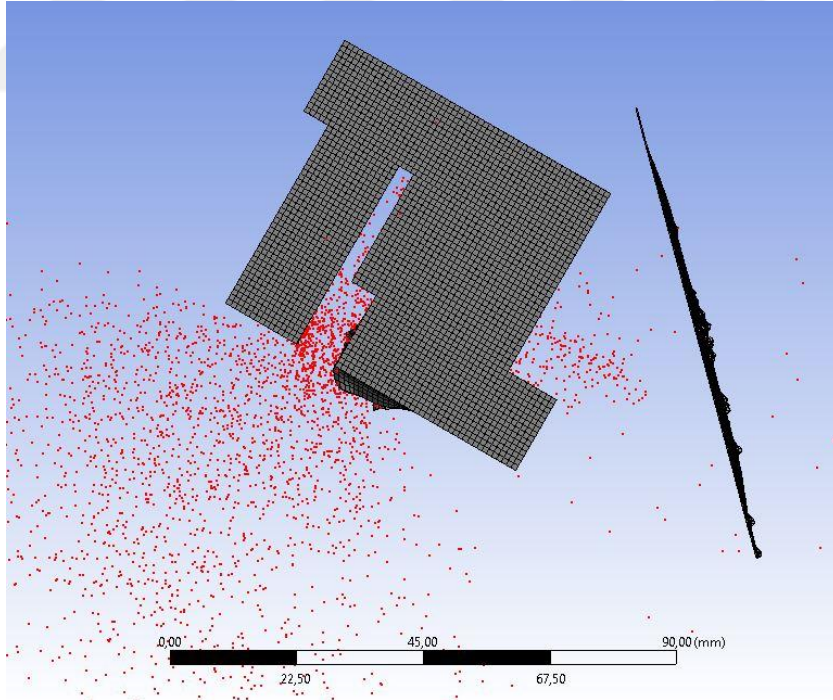
Atış grubu BK8-D30’da verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 30 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.107.’de ve detay görüntüsü de Şekil 6.108.’de verilmiştir.



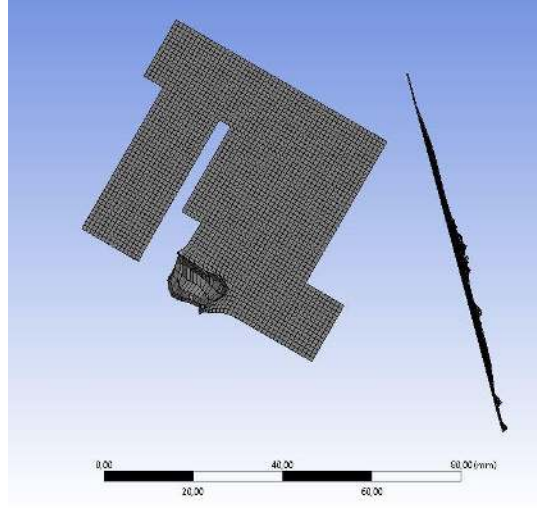
Şekil 6.107. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılması.



Şekil 6.108. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

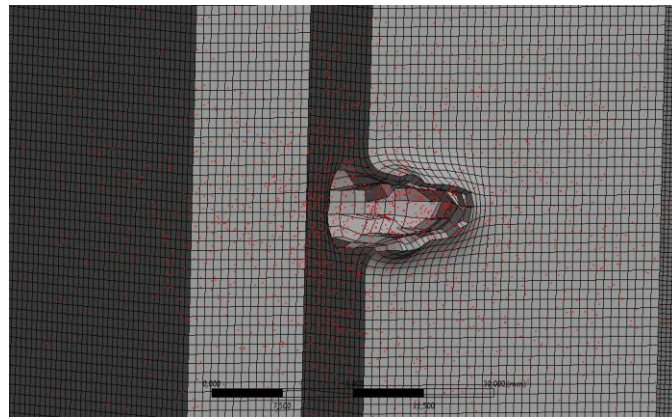


Şekil 6.109. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

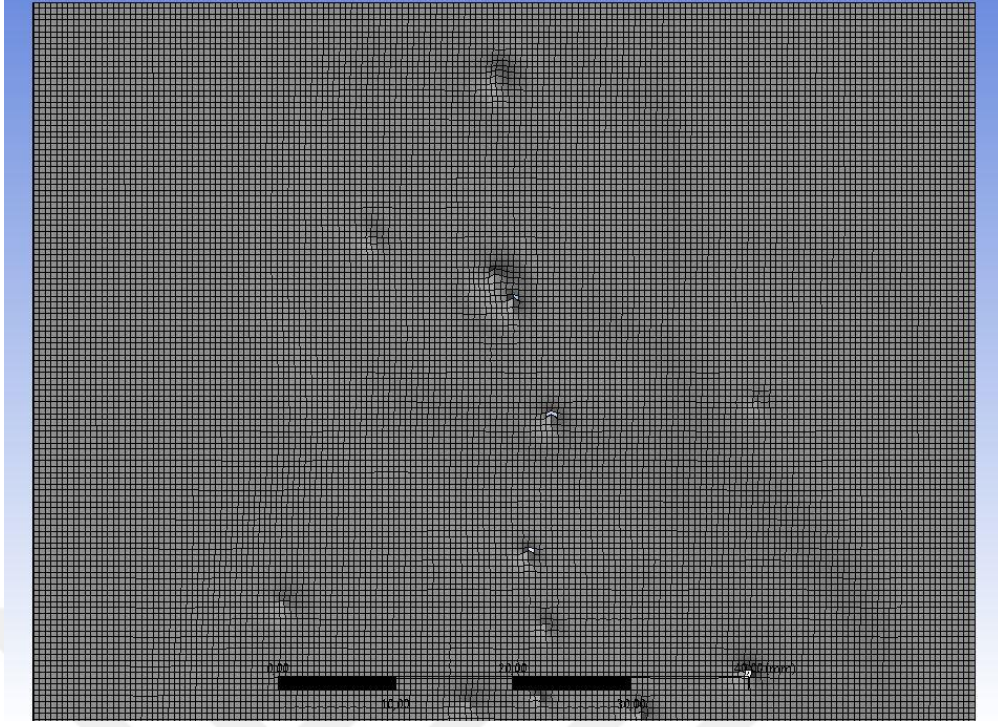


Şekil 6.110. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.

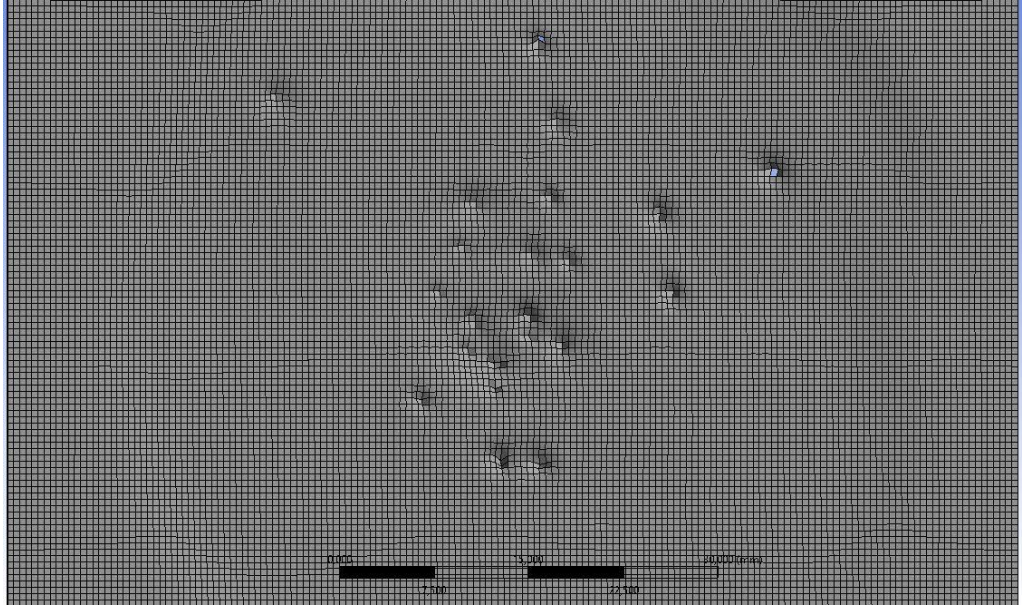
Atış grubu BK8-D30’da yapılan atış analizi sonrası mermi K2 sacında 7mm penetrasyon sağlamıştır. Şahit numune üzerinde 7mm² büyüklüğünde hasar meydana gelmiştir. 30 derecelik atışın kritik olduğu görülmüş ve şahit numunede hasar gerçekleştiğinden 8mm boşluk ve 30 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet vardır. Atış grubu BK8-D30’da yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 7mm’lik penetrasyon durumu Şekil 6.109’da ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.110’da verilmiştir. Ayrıca BK8-D30’daki penetrasyon boşluğu Şekil 6.111.’de ve analiz sonucundaki şahit numunenin üst bölge tahribat durumu Şekil 6.112.’de, orta bölge tahribat durumu Şekil 6.113.’te ve alt bölge tahribat durumu Şekil 6.114.’te gösterilmiştir.



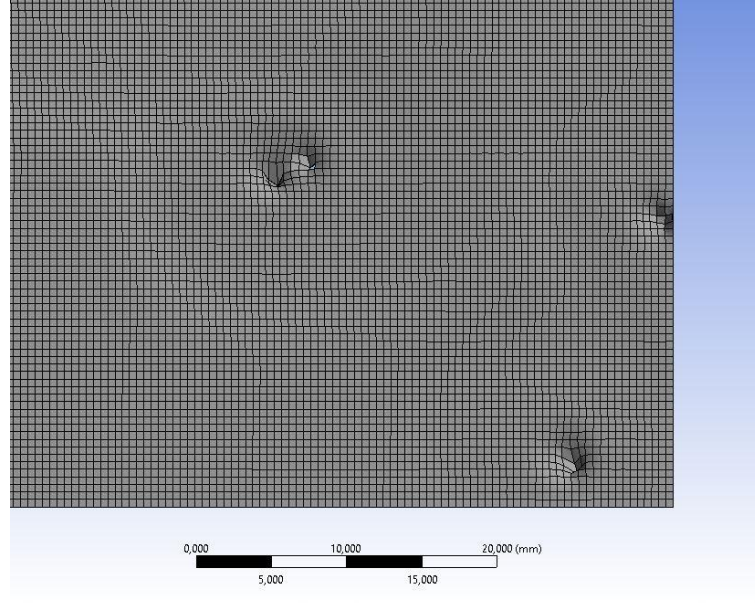
Şekil 6.111. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



Şekil 6.112. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune üst bölge tahribat durumu.



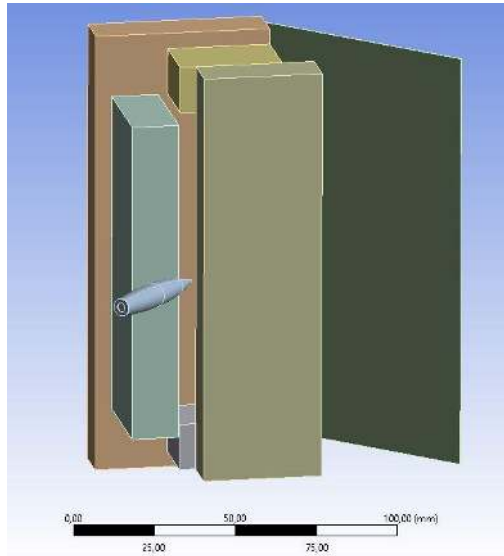
Şekil 6.113. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune orta bölge tahribat durumu.



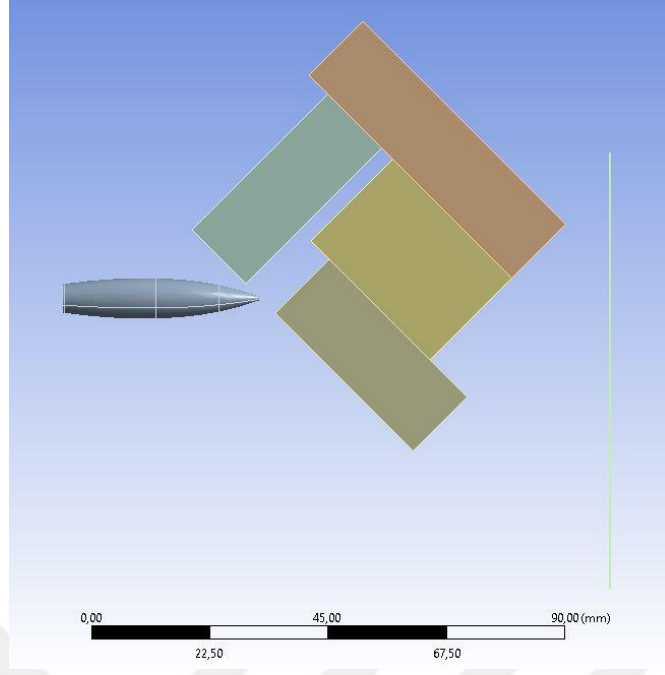
Şekil 6.114. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 30 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune alt bölge tahribat durumu.

6.3.9. Bindirme tipinde 8mm aralık için 45 derece atışın sayısal analizi

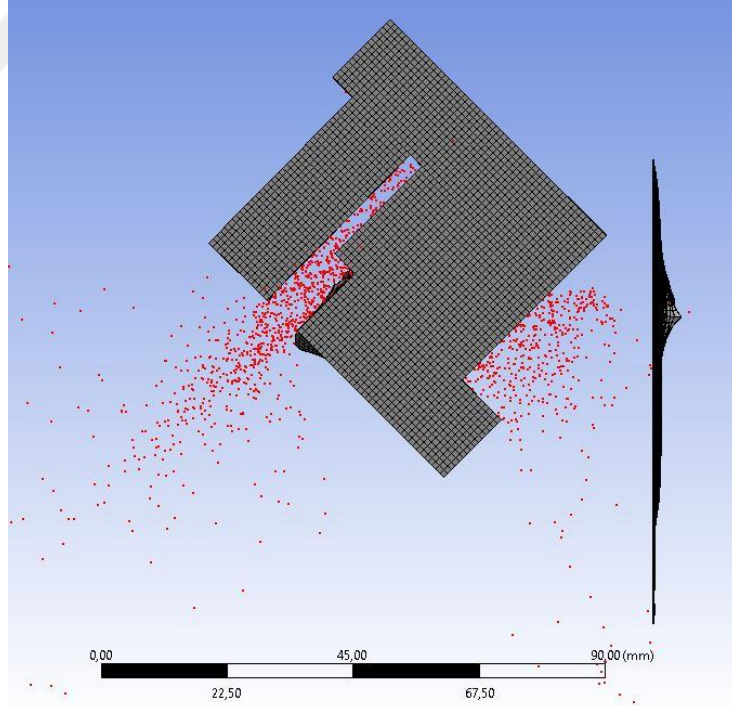
Atış grubu BK8-D45'te verilen senaryo için 7.62x51 (AP) mermisi bindirme kapı modeline 1mm mesafede 45 derece atış açısı ile konumlandırılmıştır. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısına ait konum görüntüsü Şekil 6.115.'te ve detay görüntüsü de Şekil 6.116.'da verilmiştir.



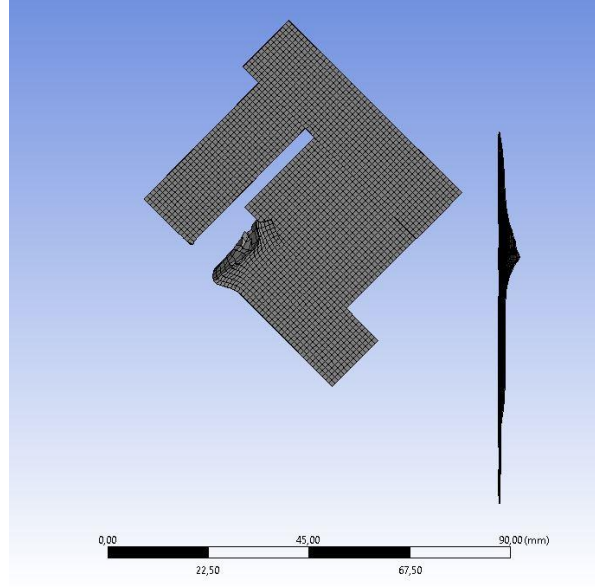
Şekil 6.115. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılması.



Şekil 6.116. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla konumlandırılmasının detay görüntüsü.

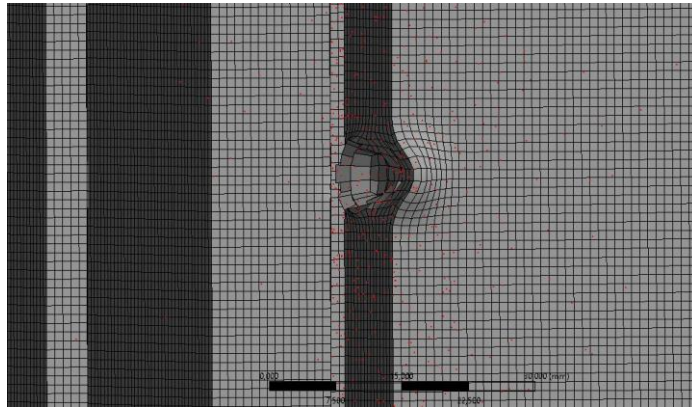


Şekil 6.117. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon.

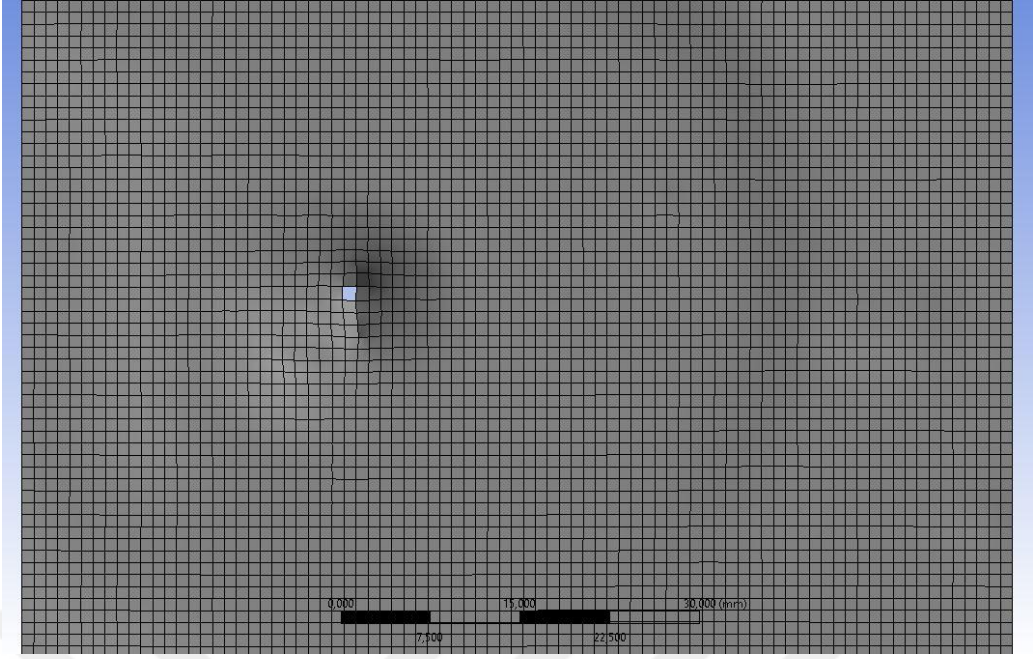


Şekil 6.118. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası hasar.

Atış grubu BK8-D45'te yapılan atış analizi sonrası mermi K2 sacında 11mm penetrasyon sağlamıştır. Şahit numune üzerinde 1mm² büyüklüğünde hasar meydana gelmiştir. 45 derecelik atışın kritik olduğu görülmüş ve şahit numunede hasar gerçekleştiğinden 8mm boşluk ve 30 derece atışlı bindirme kapı/kapak analiz sonucunda balistik zafiyet vardır. Atış grubu BK8-D45'te yapılan atış analizi sonucu K2 sacındaki 11mm'lik penetrasyon durumu Şekil 6.117'de ve oluşan penetrasyon sonrası hasar görüntüsü Şekil 6.118'de verilmiştir. Ayrıca BK8-D45'teki penetrasyon boşluğu Şekil 6.119.'da ve analiz sonucundaki şahit numunenin tahribat durumu Şekil 6.120.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.119. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon boşluğu.



Şekil 6.120. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan bindirme tipi numuneye 45 derece atış açısıyla yaptığı penetrasyon sonrası şahit numune tahribat durumu.

7. TEST VERİLERİ

7.1. Gömme tipi Kapı/Kapak ve Gövde Birleşim Test Verisi

Test verisi için 3 mm, 5 mm ve 8mm zırh boşluk miktarı olan numuneler hazırlanmıştır. Test için 8 mm zırh boşluğuna sahip 15 derece atış açısı ile 8 adet atış yapılmıştır. 6 adet atış istenen yere isabet etmiştir, kalan 2 adet atış numunede istenen noktaya gitmemiştir. 6 adet atışın 3 tanesinde 7.62x51 (AP) mermisi Şekil 8.1 de verilen şim bölgesinden numuneyi delip dışarı çıkmıştır. Kalan 3 atışta şekil 8.1 de verilen C1 bölgesine saplanmıştır. 8mm boşluklu 15 derece atış açısında yapılan test sonucu numune başarılı bulunmuş ve kalan testlerin tekrarına gerek duyulmamıştır. Yapılan gömme tipi kapı/kapak ve gövde birleşim atış testi detay verileri Tablo 7.1.'de verilmiştir. Atış grubu GK8-D15 için gerçekleştirilen mermi nişangahının yapım görüntüsü Şekil 7.1.'de, atış yapıldıktan sonra mermi giriş hasar görüntüsü Şekil 7.2.'de, çıkış hasar görüntüsü Şekil 7.3.'te ve atış yapıldıktan sonra kapı ve gövde sızdırmazlık contalarında hasar olmadığının görüntüsü Şekil 7.4.'te verilmiştir.

Tablo 7.1. Atış testi detay verileri.

Uygulanan Balistik Test Standardı		EN 1522					
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi		FB7					
Tarih		-	NUMUNE BİLGİLERİ				
Saat		-	Üretici	-			
Test No		-	Numune Adı	-			
Ortam Sıcaklığı		20,4°C	Beden	-			
Ortam Nemi %		33,7	Ağırlık	-			
ATIŞ DÜZENEGİ							
Atış Mesafesi (m)	10m	Destek Malzemesi	-				
Hız Okuma Mesafesi (m)	2,5m	Destek Malzeme Sıcaklığı	-				
Namlu /Silah	7,62x51 M61	Top Düşürme Sonuçları (mm)	-	-	-	-	
Ortalama Barut Ağırlığı	42,7	Sonuçların Ortalaması (mm) (19 ± 2 mm)	-				
Atış No	Mermi Ağırlığı (gn)	Hız (m/s)	Deformasyon (mm)	Penetrasyon (CP-Delindi) (PP-Delinmedi)	Not		
1	-	814,51	-	CP			
2	-	811,06	-	CP	0-15° Aralığında Açılı Atış		
3	-	827,81	-	PP	0-15° Aralığında Açılı Atış, *		
4	-	830,60	-	CP	0-15° Aralığında Açılı Atış		
5	-	825,11	-	PP	0-15° Aralığında Açılı Atış		
6	-	808,73	-	PP	0-15° Aralığında Açılı Atış, *		
7	-	831,22	-	PP	0-15° Aralığında Açılı Atış		
8	-	808,02	-	PP	0-15° Aralığında Açılı Atış		
AÇIKLAMALAR			NOTLAR				
*: İstenen nokta vurulamadı.			(a): Düşük Hız (b): Yüksek Hız Olmaması Gereken Hız Aralığı: : 820+ 10 m/s				



Şekil 7.1. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla mermi nişangahının yapılması.



Şekil 7.2. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla atış yapıldıktan sonra mermi giriş hasarının gösterimi.



Şekil 7.3. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla atış yapıldıktan sonra mermi çıkış hasarının gösterimi.



Şekil 7.4. 7.62x51 (AP) mermisinin 8mm zırh boşluğu olan gömme tipi numuneye 15 derece atış açısıyla atış yapıldıktan sonra kapı ve gövde sızdırmazlık contalarında hasar olmadığına gösterimi.

8. BULGULAR

8.1. Sac Çeşitlerine Göre Penetrasyon Derinlikleri

Yapılan sayısal analiz sonuçlarına göre kritik olan zırh saclarında meydana gelen penetrasyon derinlikleri gömme tipi kapı ve kapak sistemi için Tablo 8.1.'de, bindirme tipi kapı ve kapak sistemi için Tablo 8.2.'de verilmiştir. Burada yeşil renk ile verilen sac çeşitleri kritik olmayan sacları ifade etmektedir. Kırmızı renk ile verilen sac tipleri kritik sac tiplerini ifade etmektedir.

Tablo 8.1. Gömme tipi kapı/kapak sisteminde sac çeşitlerine göre penetrasyon derinlikleri.

Analiz Tipi	Sac Tiplerine Göre Penetrasyon Derinliği			
	C1 (mm)	G1 (mm)	S1 (mm)	K1 (mm)
GK3-D15	6	4	10	-
GK3-D30	4	9	6	3
GK3-D45	2	8	0.5	0.5
GK5-D15	3	0.5	15+	-
GK5-D30	4	7	3	3
GK5-D45	2	10	1	0.5
GK8-D15	-	-	15+	-
GK8-D30	3	2	0.5	8.5
GK8-D45	2	5	2	6

Tablo 8.2. Bindirme tipi kapı/kapak sisteminde sac çeşitlerine göre penetrasyon derinlikleri.

Analiz Tipi	Sac Tiplerine Göre Penetrasyon Derinliği	
	C3 (mm)	K2 (mm)
BK3-D15	-	2
BK3-D30	-	3
BK3-D45	1	9
BK5-D15	-	2
BK5-D30	-	4
BK5-D45	1	9.5
BK8-D15	-	3
BK8-D30	-	7
BK8-D45	-	11

8.2. Şahit Numune Hasar Analizleri

Şahit numune üzerinde meydana gelen hasar ve penetrasyon durumları gömme tipi kapı ve kapak sistemi için Tablo 8.3.'te, bindirme tipi kapı ve kapak sistemi için Tablo 8.4.'te verilmiştir. BK5-D30, BK8-D30 ve BK8-D45 analiz sonuçlarında penetrasyonun olduğu kırmızı ile belirtilmiştir.

Tablo 8.3. Gömme tipi kapı/kapak için şahit numune hasar analizi.

Analiz Tipi	Şahit Numune Deformasyon Değeri (mm ²)	Penetrasyon Durumu	Penetrasyon Alanı (mm ²)
GK3-D15	0	Yok	-
GK3-D30	0	Yok	-
GK3-D45	27	Yok	-
GK5-D15	0	Yok	-
GK5-D30	10	Yok	-
GK5-D45	0	Yok	-
GK8-D15	0	Yok	-
GK8-D30	25	Yok	-
GK8-D45	20	Yok	-

Tablo 8.4. Bindirme tipi kapı/ kapak için şahit numune hasar analizi.

Analiz Tipi	Şahit Numune Deformasyon Değeri (mm ²)	Penetrasyon Durumu	Penetrasyon Alanı (mm ²)
BK3-D15	75	Yok	-
BK3-D30	120	Yok	-
BK3-D45	105	Yok	-
BK5-D15	60	Yok	-
BK5-D30	449	Var	1
BK5-D45	106	Yok	-
BK8-D15	98	Yok	-
BK8-D30	1062	Var	7
BK8-D45	223	Var	1

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

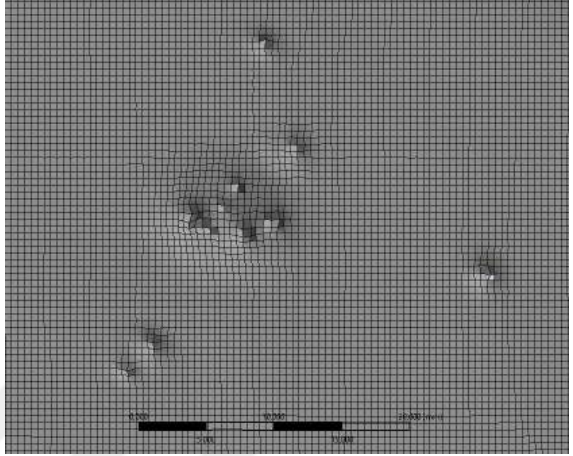
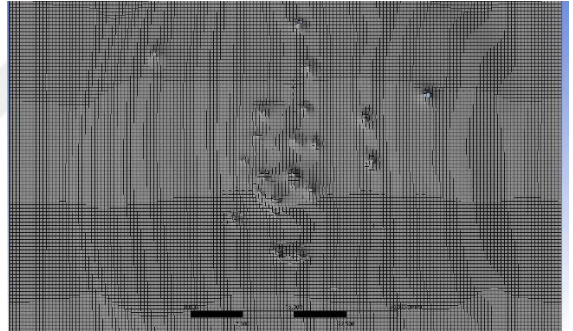
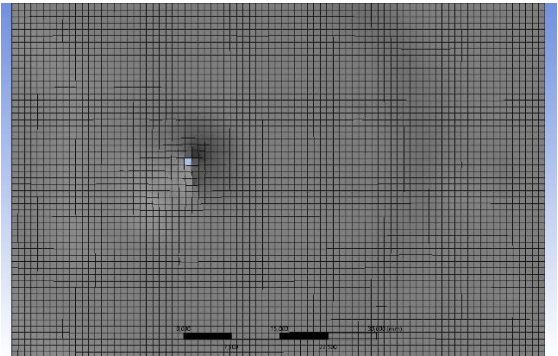
7.62x51 (AP) mühimmatının penetrasyon etkisi ve parçacık dağılımı Armox 500T zırh sacı ile tasarlanmış Kapı/kapak ve gövde birleşim geometrisi üzerinde Explicit Dynamics sayısal modülü ile incelenmiştir. Yapılan sayısal analiz sonucunda bindirme tipinde kapı/kapak ve gövde birleşim tasarımında zırh boşluklarının 5 mm ve üzerinde olduğu değerler için mermi atış açısı 30 derece ve üzerindeki atışlarda balistik zafiyet olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 9.1’de analiz yapılan numunelere ait balistik zafiyet karşılaştırmaları verilmiştir.

Gömme tipindeki kapı/kapak boşluğu 5 mm ve atış açısı 30 derece, bindirme tipindeki kapı/kapak boşluğu 8 mm ve atış açısı 35 ile 45 derece olan analiz sonuçlarında şahit numune tahribatı karşılaştırması Tablo 9.2.’de verilmiştir.

Tablo 9.1. Balistik zafiyet karşılaştırma tablosu.

		Kapı/Kapak Analiz Modeli ve Boşlukları					
		Gömme Kapı/Kapak ve gövde arası boşluk			Bindirme Kapı/Kapak ve gövde arası boşluk		
		3 mm	5 mm	8 mm	3 mm	5 mm	8 mm
Atış Açısı	15 derece	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
	30 derece	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun değil	Uygun değil
	45 derece	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun değil

Tablo 9.2. Şahit numune karşılaştırma tablosu.

Atış Açısı	Bindirme kapı/kapak boşluğu	Şahit Numune
30 derece	5mm	
30 derece	8mm	
45 derece	8mm	

Tablo 9.2.'ye göre, balistik zafiyetin olduğu 3mm ve 5mm zırh boşluğuna sahip 30 derece açı ile yapılan atışlarda penetrasyon sonrası ortaya saçılan parçacıkların şahit numune üzerinde geniş bir alana yayılacak şekilde tahribat yarattığı görülmektedir. Bu yayılma değerinin araç içerisindeki mesafe artışı ile çevresel olarak daha da büyüyeceği ve araç içinde noktasal değil genel bir zafiyete neden olabileceği değerlendirilmektedir. Aksine 8mm boşluğun bulunduğu 45 dereceye sahip atış için noktasal bir hasardan söz etmek mümkün görülmektedir. Tablo 9.1.'de verilen bilgilere göre bindirme tipindeki kapı/kapak modelinde 5mm boşluğun ve 30 derece atış açısının kritik olduğu görülmekle birlikte 5mm boşlukta 45 derece atış açısında balistik zafiyet görülmemiştir. 8 mm zırh boşluğunda 30 ve 45 dereceli atışlar için balistik zafiyet olduğu tespit edilmiştir. Burada Tablo 9.2.'de verilen 30 dereceye sahip atışların hem 5mm hem de 8mm zırh boşluğu için kritik olduğu 8mm boşluk ve 45 derece atış açısına sahip model için noktasal tahribat yarattığı görülmektedir.

Gömme kapı/kapak ve gövde birleşim bölgesinin balistik zafiyet değerlerinin 8mm boşluğa kadar herhangi bir sorun yaratmadığı analiz verileri ile görülmüş, 15 derece atış için bu veri deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda özetle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Deneysel veriler için öncelikli atışın 8mm açıklık ve 30 derece atış için yapılmasının daha kritik olacağı görülmüştür.
- Deneysel çalışma analiz çalışmalarından önce yapılmıştır. Burada analiz sonuçları teste girdi olarak verilemediğinden tasarım bakış açısı ile 8mm boşluk ve 15 derecelik atışın kritik olacağı değerlendirilmiştir. Fakat analiz çalışmaları gömme kapak için tüm açılarda başarılı olmakla birlikte 15 derece açılı atışın kritik atış olmadığını da göstermiştir.
- Her iki kapı ve kapak sistemi için 15 derece atışın mermiyi araç dışı yöne saptırdığı görülmüş, 30 derece atışın araç içerisine en çok nüfus etme eğiliminde olduğu görülmüştür. 45 derece atış zırh sacına daha fazla nüfuz ettiği ve daha çok saplandığı görülmüş. Bu durumda zırh sacı 45 derece atış için daha fazla koruyucu özellik göstermektedir.
- Veriler ışığında bindirme kapı ve kapak sistemleri tasarımında 5mm ve üstü boşluk değerlerinin ve özellikle 30 derece atış açısının kritik olduğu görülmektedir. 5mm ve üstü değerlerde araç içerisine parçacık geçtiği gözlemlenmiştir.

- Stanag 4569 seviye 2 ve üstü zırh korumasına sahip hafif zırhlı araçlarda 7.62x51 (AP) mermisi ile yapılan atış analizi çalışması için gömme tipindeki kapı/kapak ve gövde birleşim yerleri geometrisinin bindirme tipindeki kapı/kapak ve gövde birleşim yerleri geometrisine kıyasla daha güvenilir olduğu görülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] N. Kılıç, “Development of multi-layer ballistic armor panel with simulation and ballistic tests,” 2014, syf. 75.
- [2] P. K. Pawlowski ve T. Fras, “Numerical and experimental investigation of asymmetrical contact between a steel plate and armour-piercing projectiles,” 2017.
- [3] T. Deniz, “Ballistic penetration of hardened steel plates,” 2010.
- [4] T. Børvik, O. Hopperstad ve K. Pedersen, “Quasi-brittle fracture during structural impact of AA7075-t651 aluminium plates,” *International Journal of Impact Engineering*, 2010, syf. 37(5):537-551.
- [5] M. A. Iqbal, S. Kasilingam, M. Vemuri ve N. K. Gupta, “Oblique impact on single, layered and spaced mild steel targets by 7.62 AP projectiles,” *International Journal of Impact Engineering*, 2017, syf. 8.
- [6] V. H. Pagano ve W. J. Seyfert, “Adjustable combat vehicle armor,” 1980.
- [7] M. Ravid ve Y. Hirschberg, “Perforated armor plates,” 2006.
- [8] K. Senthil, M. A. Iqbal, D. Bhattacharjee, P. Bhargava ve N. K. Gupta, “Ballistic resistance of Armox 500T steel plates against 7.62 API projectiles,” *3rd International Conference on Protective Structures (ICPS3)*, 2015, syf. 501-504.
- [9] Data sheet 195TR Armox 500T, 2017.
- [10] T. Borvik, S. Dey ve A. H. Clausen, “Perforation resistance of five different high strength steel plates subjected to small-arms projectiles,” *International Journal of Impact Engineering*, 2009, syf. 36:948-964.
- [11] H. Ş. Soykan, Z. Aslanoğlu ve Y. Karakaş, “Zırh çeliklerinin metalurjisi,” 2019.

- [12] Ş. Karagöz, H. Atapek ve A. Yılmaz, “A fractographical study on boron added armor steel developed by alloying and heat treatment to understand its ballistic performance,” *13th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering*, 2008, syf. 63-76.
- [13] Ş. Karagöz, “Zırh çelikleri,” *Zırh Teknolojileri Semineri*, 2005, syf. 169-184.
- [14] NATO. “Procedures for evaluating the protection level of armoured vehicles,” *Allied Engineering Publication* (Ed. 2), AEP-55, Vol, 1, *Kinetic Energy and Artillery Threat*, 2011.
- [15] G. İ. Ögünç, “The importance of national ballistic resistant equipment standarts and national ballistic test centre,” *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 2019, syf. 95-120.
- [16] *TS EN 1523*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [17] M. Nilsson, “Constitutive model for armox500T and armox600T at low and medium strain rates,” 2003, syf. 37.
- [18] P. Skoglund, M. Nilsson, A. Tjernberg, “Fracture modeling of a high performance armor steel,” *Journal de Physique IV*, 2006, syf. 134,197-202.
- [19] N. Kılıç, S. Bedir, A. Erdik, B. Ekici, A. Taşdemirci ve M. Güden, “Ballistic behavior of high hardness perforated armor plates against 7.62 mm armor piercing projectile,” *Materials and Design*, 2014, syf. 427–438.