

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NIJ 3A STANDARTINA GÖRE YENİ NESİL BALİSTİK YÜZEY DİZAYNI VE
ENERJİ SOĞURUNUMLARININ SİMÜLATİF ORTAMDA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan: Gökhan AYDINÖZÜ
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NIJ 3A STANDARTINA GÖRE YENİ NESİL BALİSTİK YÜZEY DİZAYNI VE
ENERJİ SOĞURUNUMLARININ SİMÜLATİF ORTAMDA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan: Gökhan AYDINÖZÜ

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY danışmanlığında Gökhan AYDINÖZÜ tarafından sunulan "Nij 3a Standartına Göre Yeni Nesil Balistik Kumaş Dizaynı Ve Enerji Soğurumlarının Simülatif Ortamda İncelenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğine 08/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Dr. Öğr. Üyesi Faruk YEŞİLDAL

İmza:

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY

İmza:

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Tuba ERŞEN DUDU

İmza:

Üye :.....

İmza:

Üye :.....

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..22.11.2019 tarih ve
.....2019/61-L sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Dr. İsmail SENSÖY
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

(İmza)

Gökhan AYDINÖZÜ

ÖZET

NIJ 3A STANDARTINA GÖRE YENİ NESİL BALİSTİK YÜZEY DİZAYNI VE ENERJİ SOĞURUNUMLARININ SİMÜLATİF ORTAMDA İNCELENMESİ

AYDINÖZÜ, Gökhan
Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY
Kasım 2019, 55 sayfa

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen ile NIJ 3A standardına göre balistik testlerin simülatif ortamda analizleri yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Balistik alanında kullanılması düşünülen yüzey veya benzeri malzeme testlerinin hem süreç olarak uzun sürmesi hem de maliyet olarak yüksek olması en büyük dezavantaj olarak görülmektedir. Bu testleri tek tek prototip veya numune hazırlayarak yapmak yerine gerçek zamanlı ve hata payı çok düşük olan simülasyon programları kullanılması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu çalışma ile hem zamandan hem de maliyetten tasarruf edilmesi amaçlanmıştır.

Balistik koruyucu malzemeler için en önemli parametrelerden biri de yüzeyin veya malzemenin enerji sönmleme yeteneğidir. Dolayısıyla balistik malzemeyi giyinen kişinin vücuduna tesir eden balistik etki en düşük seviyelere indirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, Ansys programında tasarlanan ve kalınlıkları 1 ile 8 mm arasında değişen yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) yüzeylere NIJ 3A standardı kapsamında 450 m/s hızındaki metal kaplı mermiler gönderilmiştir. Tasarlanan yüzeyler üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle balistik performans testlerini tamamlayarak analiz sonuçları incelenmiştir. Böylece modellenen yeni nesil yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) yüzeyin balistik performansı ile enerji sönmleme yeteneği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Balistik enerji, Balistik koruma, Sonlu elemanlar yöntemi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF NEW GENERATION BALLISTIC FABRIC DESIGN AND ENERGY ABSORPTION IN SIMULATIVE ENVIRONMENT ACCORDING TO NIJ 3A STANDARD

AYDINÖZÜ, Gökhan
MSc. Thesis, Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Altuğ KARABEY
November 2019, 55 pages

In this study, high density polyethylene and ballistic tests according to NIJ 3A standard were analyzed in simulated environment and the results were examined. The biggest disadvantage is that the surface or similar material tests, which are considered to be used in the field of ballistics, are both long in process and high in cost. It is a significant advantage to use real-time and low-error simulation programs instead of performing these tests by preparing individual prototypes or samples. The aim of this study is to save both time and cost.

One of the most important parameters for ballistic protective materials is the ability of the surface or material to absorb energy. Therefore, it is aimed to minimize the ballistic effect affecting the body of the person wearing the ballistic material. Within the scope of this study, 450 m/s metal coated shells were sent to the high density polyethylene (HDPE) surfaces, which were designed in Ansys program and whose thickness was between 1 and 8 mm, within the scope of NIJ 3A standard. After completing the ballistic performance tests with the finite element method on the designed surfaces, the analysis results were examined. Thus, the ballistic performance of the new generation high density polyethylene (HDPE) surface modeled and the energy damping ability were revealed.

Keywords: Ballistic energy, Ballistic defence, Finite elements method.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY'e teşekkür ederim. Tez çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Eğitim, öğrenim ve mesleki hayatım boyunca her koşulda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, hep yanımda olan kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

2019

Gökhan AYDINÖZÜ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Balistik Bilimi	2
1.1.1. İç balistik bilimi.....	2
1.1.2. Ara balistik bilimi.....	3
1.1.3. Dış balistik bilimi	3
1.1.4. Hedef balistik bilimi	4
1.2. Balistik Koruma Standartları	4
1.2.1. NIJ 0101.06 standartları.....	5
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	19
3.2. Kinetik Enerji Soğurumlarının İncelenmesi	22
3.3. NIJ 3A Standardında Kullanılan Mermi Özellikleri.....	23
3.4. Polietilen.....	23
3.5. Polietilenlerin Sınıflandırılması.....	24
3.5.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE).....	24
3.6. Ansys Programı	26
3.7. Simülatif Ortamda Analizlerin Gerçekleştirilmesi	27
4. BULGULAR	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....	51

ÖZ GEÇMİŞ.....55



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. NATO ve TSE tarafından kullanılan balistik standart isimleri ve açıklamaları.....	5
Çizelge 1.2. NIJ 0101.06 standartları ve özellikleri	7
Çizelge 3.1.NIJ 3A Standardında kullanılan mermi özellikleri.....	23
Çizelge 3.2.Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemenin yapısal özellikleri.	25
Çizelge 3.3.Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemenin mekanik özellikleri.	25
Çizelge 5.1. Farklı kalınlıklardaki yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) yüzeyin balistik test sonuçları.	47



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Balistik biliminin alt bilim dalları	2
Şekil 1.2. Namlu içerisinde barutun patlama görüntüsü.....	3
Şekil 1.3. Merminin havada hedefe doğru ilerlemesi.....	4
Şekil 1.4. NIJ 3A standartlarında kullanılan küresel uçlu mermi.....	6
Şekil 3.1. Fiziksel olarak sonlu elemanlar sistemi.....	20
Şekil 3.2. Lagrange yaklaşımıyla üç boyutlu bir şeklin tanımlanması.....	21
Şekil 3.3. Programda yüzey ve mermi tasarımlarına başlanması	27
Şekil 3.4. Yüzey malzeme özelliklerinin programda tanımlanması	28
Şekil 3.5. NIJ 3A standardında mermi çekirdeğinin malzeme özelliklerinin programda tanımlanması	28
Şekil 3.6. Yüzeyin ve mermi çekirdeğinin modellemesine başlanması	29
Şekil 3.7. Yüzeyin ve mermi çekirdeğinin tasarımının tamamlanması.....	29
Şekil 3.8. Balistik analiz için değişkenlerin programda tanımlanması.....	30
Şekil 4.1. 1 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.....	31
Şekil 4.2. 1 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafığı.....	32
Şekil 4.3. 1 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafığı.....	32
Şekil 4.4. 2 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.....	33
Şekil 4.5. 2 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafığı.....	34
Şekil 4.6. 2 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafığı.....	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. 3 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.....	35
Şekil 4.8. 3 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.....	36
Şekil 4.9. 3 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.....	36
Şekil 4.10. 4 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü	37
Şekil 4.11. 4 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.....	38
Şekil 4.12. 4 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.....	38
Şekil 4.13. 5 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü	39
Şekil 4.14. 5 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.....	40
Şekil 4.15. 5 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.....	40
Şekil 4.16. 6 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü	41
Şekil 4.17. 6 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.18. 6 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.19. 7 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü	43
Şekil 4.20. 7 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.21. 7 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.22. 8 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü	45
Şekil 4.23. 8 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.....	46

Şekil	Sayfa
Şekil 4.24. 8 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.....	46
Şekil 5.1. Kalınlığa göre darbe derinliği değerlerinin değişimini gösteren grafik ..	48
Şekil 5.2. Farklı kalınlıktaki yüzeylerin zamana göre gerilme miktarını gösteren grafik.....	49
Şekil 5.3. Farklı kalınlıktaki yüzeylerin zamana göre enerji soğurunum miktarını gösteren grafik	50





SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
E	Enerji
J	Joule
MPa	Mega Paskal
N	Lagrange polinomu
F	Fonksiyon
f	Enterpolasyon fonksiyonu
ξ	Koordinat
i	İndis
p	Polinom derecesi
o	Polinom derecesi
k	Polinom derecesi
l	Polinom derecesi
m	Kütle
s	Saniye
ms	Milisaniye
µs	Mikrosaniye
V	Hız
m/s	Metre/saniye
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
°C	Santigrat derece
kgf	Kilogramforce

Kısaltmalar**Açıklama**

KE	Kinetik Enerji
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PE	Polietilen
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
NIJ	Amerika Birleşik Dev. Ulusal Adalet Enstitüsü
HODSB	Birleşik Krallık Ev Ofisi Bilimsel Gelişim Şubesi
FMJ	Tam Metal Gömleklili
JSP	Metal Kaplı Yumuşak Uçlu
AP	Zırh Delici
SJHP	Yarım Kaplamalı Çukur Uçlu

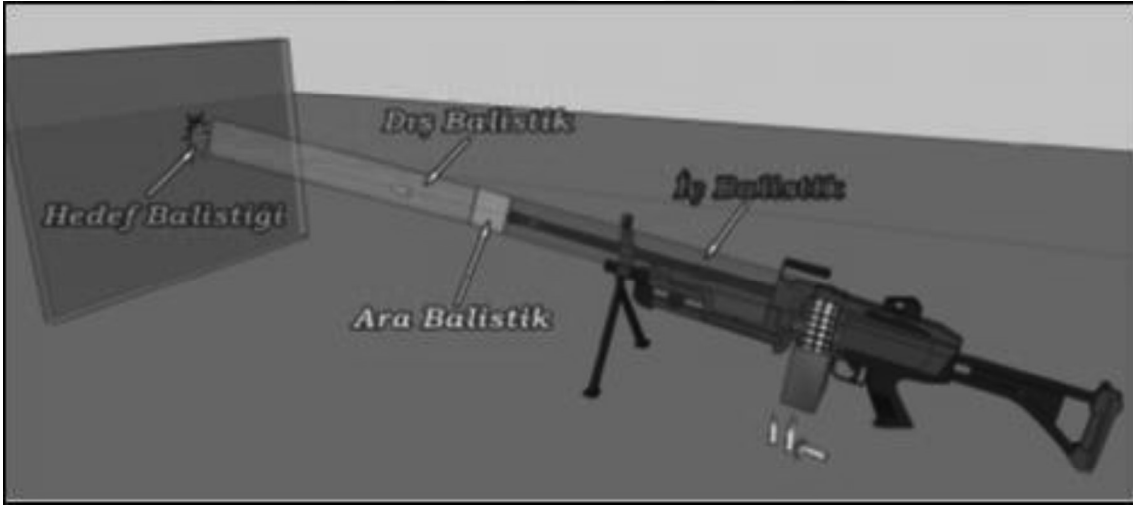
1. GİRİŞ

İnsanoğlunun var olduğu tarihten bu yana geçen süreçte yaşanan savaşlar ve bununla birlikte gelişen silah teknolojileri aynı zamanda zırh teknolojilerinde de büyük gelişmeler yaşanmasına neden olmaktadır. Savaş sahasındaki tehdit türlerinin artması ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, askeri personelin zarar görmemesi için bilim insanları sürekli yeni arayışlara yönelmiştir (Sabah, 2018). Bu durum ortaya balistik bilimini çıkarmıştır. Balistik bilimi ile birlikte sürekli gelişme ihtiyacı duyan balistik koruma sektörü oluşmuştur. Günümüzde, kişisel veya kolluk kuvvetleri personelini koruma amaçlı kullanılan çeşitli zırh teknolojileri kullanılmaktadır. Kullanılan bu zırhlar için kişinin ya da personelin hareket kabiliyetini sınırlamadan amacına uygun olarak görevini yerine getirmesi beklenen en önemli özelliktir. Bunun yanında çevresel koşullara dayanım, balistik koruma düzeyi, hafiflik, kullanılabilirlik, esneklik, mukavemet, düşük hacim ve maliyet zırh modellemesini oluşturan önemli değişkenlerdir. Ancak günümüzde kullanılmakta olan zırh teknolojisinin en büyük olumsuz yönleri hareket kabiliyetini sınırlaması ve çevresel koşullara olan düşük dayanım özelliği olarak gösterilmektedir.

Kişisel koruyucu olarak kullanılan zırhların tarihsel gelişimine bakıldığında, barutun icadı, ateşli silahların kullanılması ve gelişen teknoloji ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Zırh teknolojisi tarihte hayatımıza girişi, ceylan ve domuz gibi hayvanların derisi kullanılmasıyla olmuştur. Sonraki dönemlerde ise demir ve çeliğin ağırlıklı olarak kullanıldığı örme zırh teknolojisi almıştır. Gelişen silah teknolojisi ile birlikte günümüzde kullanılan kompozit zırhlar ortaya çıkmıştır. Kompozit zırhların sahne alması 1970'li yıllarında başında olmuştur. Bu yıllarda Amerikan Birleşik Devletleri'nde bulunan Du Pont isimli şirket çelik metalinden hafif ancak yaklaşık beş katı daha yüksek dayanıma sahip "para-aramid" ürününü yani bilinen ismiyle "kevlar" adı verilen kompozit ürünü ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmelere kayıtsız kalamayan Hollanda menşeli Teijin şirketi de "twaron" isimli malzemeyi geliştirmişlerdir. Son dönemde yaşanan en önemli gelişme ise çelik metaline göre on kat daha fazla dayanıma sahip ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMW-PE) isimli ürünün ortaya çıkmasıdır. Bu ürünün ortaya çıkması iki farklı şirketin ortak çalışması sonucu olmuştur (Alarçin, 2014).

1.1. Balistik Bilimi

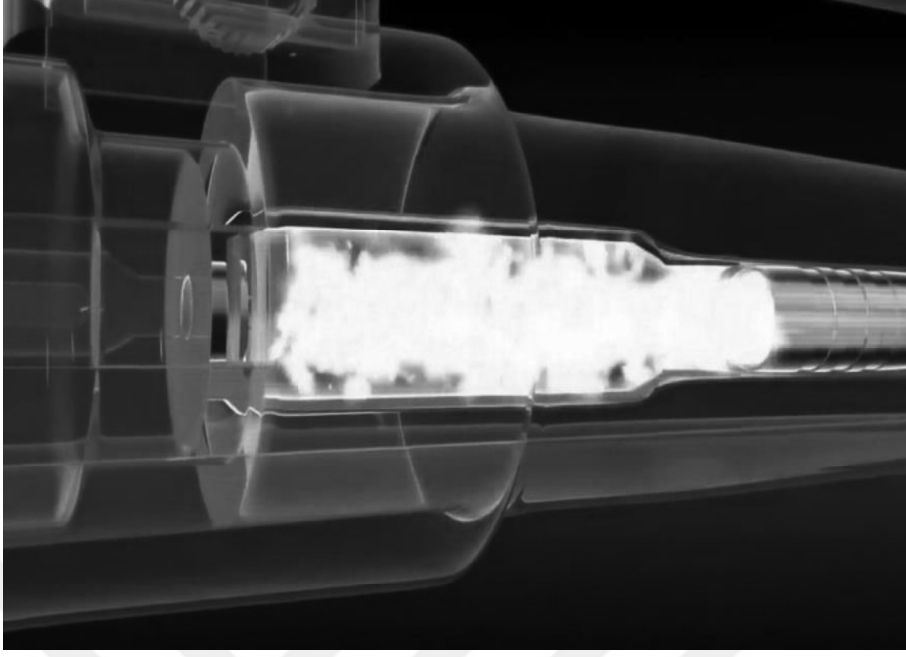
Roma İmparatorluğuna kadar uzanan k3ken olarak latince “balista” kelimesinden gelen, atış yapılan nesnenin yani mermi ya da f3zenin hareketini inceleyen bilim dalı balistik bilim dalı ya da atış bilimi olarak tanımlanmaktadır. Roma imparatorluğu tarafından savaşlarda, kale duvarlarını yıkmak için kullanılan b3y3k g3lleler “balista” olarak adlandırılmıştır. Bu t3r silahları 3zerinde, hedef isabeti sağlamak için yapılan çalışmalar ve hesaplamalar modern balistiğin ilk uygulamaları olarak kabul edilmiştir. Balistik biliminin uygulama ve araştırma alanı çok geniş olduğundan ayrıca farklı kuvvetlerin etkilerinden dolayı iç balistik, ara balistik, dış balistik ve hedef balistiği olmak 3zere d3rt ana kısma ayrılmıştır.



şekil 1.1. Balistik biliminin alt bilim dalları.

1.1.1. İç balistik bilimi

Mermi ya da f3zenin, silah veya tesir alanındaki hareketini inceleyen b3l3m, iç balistik olarak tanımlanmaktadır. Bu kısımda, kovanda bulunan barutun yanmaya başlaması ile namluyu terk edinceye kadar geçen zaman zarfında gerçekleşen fiziksel ve kimyasal olaylar incelenmektedir (Uslu, 2007).



Şekil 1.2. Namlu içerisinde barutun patlama görüntüsü.

1.1.2. Ara balistik bilimi

Namlu içerisindeki çekirdeğin namluyu terk etmeden hemen önceki süre ile namluyu terk ettikten sonra geçen 1-2 milisaniyelik süreyi inceleyen alt bilim dalına ara balistik adı verilmektedir. Ara balistik bilim dalı içerisinde, namlu ağzında oluşan girdaplar, Namlu ağzı patlama basıncı, Namlu ağzı alevi, Namlu ağzı dumanı, Namlu ağzında meydana gelen ses olayları gibi kavramlar incelenmektedir (Anonim, 2016).

1.1.3. Dış balistik bilimi

Mermi ya da füzenin, uçuş süresi boyunca hareketini inceleyen bölüm, dış balistik olarak tanımlanmaktadır. Bu kısımda, ateşlemenin yani mermi çekirdeğinin namluyu terk etmesinden hedeflenen noktaya ulaşmasına kadar geçen süre içerisinde hareketleri, aerodinamik özellikleri, moment sistemleri gibi karakteristik özellikler incelenmektedir. Dış balistik incelemeleri, vakumlu ya da atmosferik ortamda yapılan atışlar ile iki farklı şekilde yapılmaktadır (Özek, 2005).



Şekil 1.3. Merminin havada hedefe doğru ilerlemesi.

1.1.4. Hedef balistik bilimi

Merminin çekirdeği, şarapnel veya saçmaların katı ya da akışkan cisimler üzerinde oluşturduğu etkiyi inceleyen kısım, hedef balistik olarak tanımlanmaktadır. Bu kısımda, hedef cisim üzerinde meydana gelen deformasyon, mermi çekirdeğinde çarpışmadan sonra meydana gelen deformasyon gibi fiziksel ve kimyasal etkiler incelenmektedir (Candan, 2005).

1.2. Balistik Koruma Standartları

Balistik biliminin ortaya çıkmasıyla bu kapsamda geliştirilen ürünlerin belirli bir standarda uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle, balistik bir ürünün koruyuculuk seviyesini öğrenebilmek ya da test edebilmek için çeşitli standartlar bulunmaktadır. Dünya genelinde en yaygın kullanılan standartları NIJ standartları (The US National Institute of Justice), HOSDB standartları (UK Home Office Scientific Development Branch) olarak belirtilmektedir. Bunların dışında NATO ve TSE tarafından da farklı askeri standartlar geliştirilmiştir. Tablo da balistik biliminde koruyuculuk testi için kullanılan standartlar verilmektedir (Temiz, 2005).

Çizelge 1.1. NATO ve TSE tarafından kullanılan balistik standart isimleri ve açıklamaları

STANDART NO	STANDART ADI
TS 11164	Balistik koruyucu vücut zırhı
TS 13349	Askeri zırhlar - V50 balistik hız deneyi
MIL-A-46103 C	Hafif, Seramik Yüzlü Kompozit Zırh Prosedürü Gereksinimleri
MIL-B-44053 A	Koruyucu Vücut Zırhı, Yelekli Kara Birlikleri
MIL-STD-662 F	Zırh İçin Balistik Test
NIJ-STD-0101.04	Kişisel Vücut Zırhının Balistik Direnci
NIJ-STD-0101.06	Kişisel Vücut Zırhının Balistik Direnci
NIJ-STD-0108.04	NIJ-STD-0108.04 Koruyucu Malzemelerin Balistik Direnci
STANAG 2920	Kişisel Zırh İçin Balistik Test Yöntemi
UK/SC/4697	Koruyucu Personel Zırhlarının Balistik Testleri
PPAA STD-1989-05	Koruyucu Zırh Derneği Presonel Gövde Zırhlarının Balistik Direnci İçin Test Standartları
UL 752	Balistik Dirençli Ekipmanlar
MIL-B-44194 A	Vücut Zırhı Parçalanma Koruyucu İç Giyim
MIL-P-46199	Alüminyum Oksit Seramik (Zırh Kompozitlerinde Kullanım İçin)
Pr EN ISO 14876-2	Koruyucu Giysiler, Vücut Zırhı, Bölüm-2: Kurşun Dayanımı Gereksinimleri ve Metodları

1.2.1. NIJ standartları

Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan NIJ (National Institute of Justice) standartlarında belirlenen değerler, hafif silahlara karşı kullanılan balistik koruyucu materyallerin testlerinde referans olarak kullanılmaktadır. Bu standart içerisinde

günümüzde en çok NIJ-STD-0101.04 ve NIJ-STD-0101.06 standartları kullanılmaktadır. Bu standartların ortaya çıkmasındaki temel amaç minimum performans değerlerini belirleyerek hafif silahların kişiler üzerinde öldürücü etkisini ortadan kaldırmaktır. Bununla birlikte balistik test şartlarını ve yöntemlerini belirleyerek balistik performans testlerinin standarda uygun bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlamaktır.



Şekil 1.4. NIJ 3A standartlarında kullanılan küresel uçlu mermi.

NIJ 0101.06 3A standardı kapsamında atış yapılan nokta veya silah ile balistik koruyucu arasındaki mesafe belirlenmelidir. Bu mesafe mermi çekirdeğinin balistik koruyucuya çarpma hızına göre hesaplanmaktadır. Mermi çekirdeği, belirlenen hedefe yani balistik koruyucuya çarpma anında en fazla 5° açı ile sapmasına müsaade edilmektedir. Balistik koruyucunun hedef aldıktan sonra kullanıcıda oluşturduğu etkiyi ve çöküntüyü gözlemlemek için balistik koruyucunun arkasına silikon esaslı bir malzeme kullanılmaktadır. Balistik koruyucu üzerinde isabet alan nokta veya noktalar kenarlar kısımlardan en az 7,6 cm. içeride olması gerekmektedir. Balistik koruyucu üzerine gelen isabet alan notalar arası en az 5 cm. olması gerekmektedir.

Çizelge 1.2. NIJ 0101.06 standardı ve özellikleri

KORUMA SEVİYESİ	SİLAH TİPİ	ÇEKİRDEK AĞIRLIĞI (Gram)	MERMI HIZI (Metre/Saniye)	MÜSAADE EDİLEN DARBE DERİNLİĞİ (mm)
IIA	9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8.0	373±9.1	44
	40 S&W Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ)	11.7	352±9.1	
II	9 mm Tam metal kaplı yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8.0	398±9.1	44
	357 Magnum Metal kaplı yumuşak uçlu mermi (JSP)	10.2	436±9.1	
IIIA	357 SIG Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ FN)	8.0	448±9.1	44
	44 Magnum Yarım kaplamalı çukur uçlu (SJHP)	15.6	436±9.1	
III	7,62 mm Tam metal kaplama mermi (FMJ)	9.6	847±9.1	44
IV	30 mm zırh delici mermi (AP)	10.8	878±9.1	44



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Balistik bilimi ortaya çıktıktan sonra kısa süre içerisinde hızlı ve önemli gelişmeler olmuştur. Literatürde yer alan gelişmelerden bazıları aşağıda sunulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan bir çalışmada, titanyum ve alüminyum alaşımlı plakalarda balistik çarpışma incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, darbeye maruz kalan Titanyum, Çelik 4340 ve Titanyum alaşımlı 1 ile 7 mm arasında değişen farklı kalınlıklardaki 20x20 cm boyutunda plakalar kullanılmıştır. Mermi çekirdeği olarak ise yarı küresel, küresel ve sivri uç olmak üzere 3 farklı geometri seçilmiştir. Deneyler sırasında merminin çıkış hızı 350 m/s sabit ve hava direnci ihmal edilmiştir. Sınır koşulları belirlenen çalışmada analizler ANYSYS programının Autodyne modülü içerisinde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sivri uçlu mermi incelendiğinde en fazla sönmölenen enerji Çelik 4340 malzemesinde görölmüştür. 5 mm ve üzeri kalınlıklarda sönmölenen enerji değerleri tüm malzemeler için birbirine benzerlik göstermiştir. Yarı sivri uçlu mermi için incelendiğinde en fazla sönmölenen enerji Çelik 4340 malzemesinde görölmüştür. 5 mm ve üzeri kalınlıklarda sönmölenen enerji değerleri tüm malzemelerde birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Yarı küresel uçlu mermi için incelendiğinde en fazla sönmölenen enerji yine Çelik 4340 malzemesinde görölmüştür. Yapılan analizler sırasında 1, 2 ve 3 mm kalınlıktaki plakaların delindiği, 4 mm plakalarda ise kısmi penetrasyon olduğu görölmüştür (Özer, 2015).

En az iki bileşenden meydana gelen malzemelere kompozit malzeme adı verilmektedir. Kompozit malzemeler günlük yaşantımızda kullanıldığı gibi savunma sanayinde de kullanılmakta ve önemi her geçen gün artmaktadır. Barut, 2015 tarafından yapılan çalışmada, savunma sanayinde kullanılan aramid esaslı kompozit malzemelerin balistik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan bu deneylerde 16, 18, 20, 22 ve 24 kat aramid yüzey 10, 21, 42, 63 ve 84 bar basınçta bir araya getirilerek aramid esaslı polimer matrisli kompozit plakalar oluşturulmuştur. Bu yöntemle oluşturulan plakalara farklı atış hızlarında mermi ve parçacık testleri uygulanarak plakaların balistik mukavemetleri ölçölmüştür. Çalışma kapsamında yapılan deneyler, National Institute of Justice (NIJ) 0101.04 ve Nato Stanag 2920 standartlarında yapılmıştır. Yapılan testlerde

9 mm FMJ mermi kullanılmıştır. Bu testler sonucunda, 16 kat yüzeyden elde edilen plaka delinmiş, 18 ve 20 kattan elde edilen plakalarda ise herhangi bir delinme meydana gelmemiştir. Bu çalışmanın amacı en hafif balistik zırhı elde etmek olduğu için 22 ve 24 kat yüzeyden meydana gelen plakalar test edilmemiştir. Yapılan deneylerde en ideal kat sayısına sahip aramid yüzey 20 kat ve 7.35 mm kalınlığında ve en ideal basıncının 42-63 bar arasında olduğu tespit edilmiştir (Barut,2015).

Kompozit malzemelere ya da bileşenlere istenen mukavemet özelliklerine göre bu özellikleri sağlayacak bileşenler eklenebilmektedir. Bu çalışmada, yüksek hızlı darbe uygulamaları için takviye tipinin etkisi ve farklı nümerik kompozit hasar modelleri incelenmiştir. Oluşturulan kompozit plakalarda, aramid ve karbon-aramid hibrid yüzeyler takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Plakalarda bulunan katlar arasında ise reçine olarak epoksi kullanılmıştır. Deneyler sırasında meydana gelen enerji sönümleme mekanizması hem deneysel hem de nümerik yöntemlerle ortaya çıkarılmıştır. Deneylerde, 7,62 mm M61 tip AP (Armor Piercing) mermi tipi kullanılmıştır. Merminin namludan çıkış hızı, oluşturulan hız kapanı yardımıyla elde edilmiştir. Her bir kompozit plaka için altı farklı hızda atış yapılmıştır. Nümerik çalışmada, ANSYS yazılımının LS-Dyna modülü analiz yöntemi olarak kullanılmıştır. Elde edilen kompozit plakaların modellenmesi için örgü yapısından dolayı tabakalı modelleme yöntemi kullanılmıştır. Program içerisinde üç farklı nümerik model tasarlanmıştır. Deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılan sonuçlara göre aramid-epoksi plaka karbon-aramid-epoksi plakadan daha fazla enerji sönümlendiği tespit edilmiştir. Ancak bu enerji değerleri arasındaki fark düşük olduğu ve birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür (Berk, 2014).

Kurşungeçirmez zırh modellerinde gelişen malzeme teknolojisi ile farklı malzeme ya da bileşenler kullanılmaktadır. Kevlar 29/epoksi içeren balistik kompozit bir plaka ANSYS programında modellenmiştir. Bu model Autodyne eklentisi içerisinde analiz edilerek elde edilen sonuçlar literatürde yer alan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve modelin doğrulaması yapılmıştır. Bununla birlikte kevlar 29/epoksi'nin yanında ikinci malzeme olarak Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen (UYMAPE) kullanılarak kompozit bir plaka oluşturulmuştur. Bu plaka için tabaka dizim yöntemi kullanılarak 4 farklı model elde edilmiştir. Çekme analizinden sonra, analiz süresi ve sonuçların yaklaşımı göz önüne alındığında, bir çeyrek modelin en uygun sonucu verdiği sonucuna varılmış ve bununla

birlikte tam modelin analiz süresinin hata payı %7.06 ile %14.84 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kevlar 29/epoksi, UYMAPE ile birlikte kullanıldığında hem hafiflik hem de enerji sönmleme açısından daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Plakaya farklı açılarda gönderilen mermi analizlerinde ise yörünge ve plaka arasındaki açı arttıkça plakanın enerji sönmleme kabiliyetinin azaldığı tespit edilmiştir (Aktaş, 2018).

Balistik malzemelerin dayanımlarının test edilmesi için uluslararası standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar kapsamında balistik ürünlerin performans testleri yapılmaktadır. Bu çalışmada yüzeyin karakteristik özelliklerinin bu testlere etkisi incelenmiştir. Balistik koruma amaçlı düşük hızlar için kullanılan ilk lif poliamid lifleridir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte aramid (Kevlar, Twaron, Technora), yüksek molekül ağırlıklı polietilen (Spectra, Dyneema), Vectran, Polibenzimidazol (Zylon), PIPD gibi yüksek mukavemetli lifler ortaya çıkmıştır. Balistik biliminde özellikle tekstil bileşenli kompozitler kullanılarak geliştirilen ürünlerin yaygın kullanım alanları olduğu görülmektedir. Bu malzemelerde, lif tipi, reçine tipi, doku tipi, kat sayısı ve sıklık balistik performansa etki eden en önemli karakteristik özellikler olarak görülmektedir. Balistik kompozitlerin performansı, balistik dalgayı yani enerjii sönmleyebilme yeteneği olarak da ifade edilmiştir. Bu çalışmayla birlikte matematiksel modellemelerle de yüzey özellikleri, zırh katman yapıları ve mermi geometrisi gibi parametrelerin, balistik koruyucu zırh sistemleri üzerindeki performans etkileri incelenmiştir (Bozdoğan, 2015).

Savaş alanında hedef alması halinde insanın göğüs ve baş bölgesi hayati önem taşıyan bölgelerin başındadır. Geçmişten günümüze savaşlarda her zaman kask kullanılmıştır. Bu çalışmada Kevlar kaskının balistik performansına ilişkin deneysel ve nümerik sonuçları incelenmiştir. Deneysel, havalı tabanca, dairesel uçlu mermi, Kevlar kaskı, yüksek hızlı kamera kullanılmıştır. Modelleme programı olarak Ansys programı ve autodyn modülü kullanılmıştır. Bu çalışma sırasında NIJ 2 ve PASGT gibi uluslararası iki farklı test standardı uygulanmış ve Ansys programı içerisinde autodyn modülünde simüle edilmiştir. Deneysel kullanılan havalı tabancadan mermi çıkış hızı 205 m/sn olarak ölçülmüştür. Deneysel sırasında kaskın çarpışma sırasında verdiği tepki ile autodyn modülünden gelen simülasyon karşılaştırılmış ve hata payının çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon ve deney sonrası hasar görüntülerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Tham ve ark., 2008).

Balistik performansı etkileyen unsurları inceleyen çalışmada, woven aramid yüzeyinin katsayısı, dikiş tipi gibi balistik performansına etki eden karakteristik özellikleri NIJ 2 standardında deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada yüzey olarak Twaron CT 710 tipi yüzey kullanılmıştır. Yüzeyler 310 mm x 310 mm boyutunda, 20 ile 32 kat arasında değişen 7 farklı katsayısına sahip ve 3 farklı dikiş tipi kullanılmıştır. Testler 2.5 m mesafeden MP5 tüfekten 9 mm'lik mermiler ile yapılmıştır. İlk dikiş tipinde plakanın sadece kenarları dikilmiş, ikinci tipte ise kenarlar ve köşeler birleştirilmiş, son tipte ise kenar ve 5 cm'lik kareler şeklinde dikim yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda özellikle 24 kattan sonra paneller tarafından sökülünen enerji miktarının arttığı görülmüştür. Yüzey katsayısı 20'den 32'ye yükseltildiğinde panel arkasına iletilen enerjide % 59.8 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Dikiş tipine göre iletilen enerji miktarı 1. Tip ile 3. Tip arasında % 11.5 farklılığa sebep olduğu gözlemlenmiştir. Sökülünen enerji miktarında ise dikiş tipleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Son olarak test sonuçlarına göre yüzey katsayısının 20'den 32'ye yükselmesinin travma derinliğini % 35.40 oranında, travma çapında ise %12.7 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Karahan ve ark., 2007).

Alüminyum-Kevlar 29 seramik kompozit ürünü kullanılarak yapılan çalışmada farklı kalınlıkta ve yoğunlukta bulunan yüzeylerin balistik performansları incelenmiştir. Balistik performans testleri 7.62 AP, 12.7 AP ve 14.5 API olan üç farklı mermi tipiyle gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sırasında Autodyne-2D modelleme programı ve Chocron-Galvez sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sayısal, analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında üç farklı mermi içinde benzer olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla seramik-kompozit yüzeyin ya da balistik zırhın optimum şekilde tasarlandığı sonucuna varılmıştır (Galvez ve Rubio, 1998).

Farklı kalınlıklarda, yerleştirme düzeninde ve sıcaklık kombinasyonunda alüminyum katmanlar üzerinde balistik performans gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında deneysel ve sayısal yöntemler birlikte kullanılmıştır. Sayısal model ve çözümleyici olarak Abaqus programının explicit modülü kullanılmıştır. Bu şekilde deneyler ile modelleme programından elde edilen verilerin karşılaştırılması sağlanmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında birbiriyle yüksek uyum sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak alüminyum katmanların akma dayanımının yapının balistik performansında

doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca daha kalın katmanların bir araya getirilmesiyle oluşturulan tabakanın, ince katmanlardan meydana gelen aynı kalınlıktaki tabakadan daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Roeder ve Sun, 2001).

Seramik-metal kompozit kullanılarak tasarlanan balistik koruyucunun performans testleri hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal modelleme testleri Ansys programının Autodyne modülü içerisinde yapılmıştır. Lagrangian-Eulerian yerine SPH sayısal çözümleme yöntemi kullanılmıştır. Seramik-metal kompozit balistik koruyucu kalınlığı ise Hetherington(1992) optimizasyon denklem yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen veriler ışığında sonuçların benzer ve uyumlu olduğu ortaya çıkarılmıştır (Lee ve Yoo, 2001).

Seramik kompozit balistik koruyucunun test değişkeni olarak mermi çarpma açısı incelenmiştir. Modelleme ve sayısal çözümleme için Ls-dyna programı kullanılmıştır. Balistik testler kapsamında 7.62 AP mermi kullanılmış ve çarpışma açıları olarak 90 ve 30 derecelik açılar kullanılmıştır. Çarpışma testleri sonucunda merminin 30 derece açıyla yaptığı darbe hasarı, 90 derecelik çarpma açısıyla yaptığı darbe hasarından daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca mermi üzerindeki hasar ise 30 derecelik açıyla çarpma testinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Fawaz ve ark., 2004).

Seramik kompozit ve seramik-alüminyum malzemelerin balistik performansları ve balistik koruma için ideal kalınlıkları incelenmiştir. Sayısal çözümleme olarak Ls-Dyna modelleme programı kullanılmıştır. Elde edilen veriler daha önce yapılan çalışmalarda çıkan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Seramik kompozit ve seramik alüminyum balistik koruyucular için ideal kalınlık sayısal çözücü yardımıyla ve enerji sönümlenme oranıyla belirlenmiştir (Mobasseri ve ark., 2013).

Örgülü kompozit malzemelerin balistik performans testleri karşısında gösterdiği tepki ve deformasyon mekanizması incelenmiştir. Örgülü kompozitler üzerinde 900 m/s ve 90 m/s hızındaki mermi ile yapılan balistik çarpışma testleri incelenmiştir. Bu çalışma çerçevesinde örgülü kompozit modelin testler sırasında göstermiş olduğu balistik davranış tespit edilmiştir (Minh ve ark., 2011)

Balistik koruma sağlaması için kullanılan alüminyum, %99.7 saflık oranına sahip seramik ve betondan oluşan kompozit malzeme modellenmiştir. Bu modelleme için Ansys programının Autodyne modülünden yararlanılmıştır. Sayısal çözümleme olarak

Lagrangian ve SPH element yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Kompozit plakada meydana gelecek penetrasyon miktarı seramik plakaların kalınlığı ve yerleştirme biçimlerinin değiştirilmesiyle incelenmiştir (Tawadrous ve ark., 2015).

Çarpma açılarına göre farklılıkların incelenmesi amacıyla B4C-Kevlar49 epoksi kompozit balistik malzemesi modellenmiştir. Bu kompozit malzeme Ls-Dyna programında modellenmiştir. Ayrıca kompozit malzeme kalınlığı Hetherington denklemi kullanılarak belirlenmiştir. Ortaya konulan bu çalışmanın doğruluğunu oranını belirlemek için Chocron-Galvez analitik modeliyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler kapsamında, kompozit yapıya dik olmayan açıyla uygulanan darbeye kompozit yapının balistik limitinin arttığı tespit edilmiştir (Shokrieh ve Javadpour, 2008).

Balistik koruma ürünlerinde kevlar yüzeyi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yüzey balistik yelek dışında balistik başlık olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada da kevlar yüzeyi kullanılan başlığın balistik performansı Ls-dyna programında incelenmiştir. Ls-dyna programında 3D olarak modellenen başlık farklı açılardan gelen mermilere karşı gösterdiği performansı incelenmiştir. Yapılan test ve analizler sonunda kevlar yüzeyi kullanılan balistik başlık için gerilim dağılımı ortaya çıkarılmıştır (Yang ve Dai, 2010).

Alüminyum levhalar üzerinde yapılan çalışmada çeşitli balistik performans değişkenleri incelenmiştir. Alüminyum levhalar yüksek hızlarda çarpışma testlerine tabi tutulmuştur. Testler sırasında, mermi hızı, levhaya dik açıyla çarpan merminin oluşturduğu darbe hasarı, levhaların dayanımı, levhaların kalınlığı gibi değişkenlere göre balistik performans verileri incelenmiştir. Deneysel ve nümerik olarak incelen çalışmada alüminyum levhaların üzerinde oluşan darbe hasarı oranları hesaplanmıştır (Özşahin, 2008).

Uluslararası NIJ standartlarına göre yapılan çalışmada II, IIA ve IIIA balistik koruma seviyeleri kapsamında inceleme yapılmıştır. Çeşitli elyaf türlerinden ve farklı kalınlıklarda oluşturulan prototipler balistik performans testlerine tabi tutulmuştur. Testler sırasında 9 mm ve 7.62 mm çapında mermiler kullanılmıştır. Üretilen prototiplerin balistik alt ve üst limitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu testler sırasında farklı kalınlıklarda oluşturulan prototipler farklı koruma seviyelerinde denenmiştir. II ve IIA koruma seviyesinde 10 kattan oluşan polietilen ve polietilen-kevlar hibrit kompozit

prototiplerin herhangi bir koruma sağlamadıkları ayrıca delindikleri görülmüştür. Olumsuz sonuçlanan testler sonunda kat sayılarında artırım yapılması düşünülmüştür. Böylece 10 kattan oluşan kompozit ürünlerin 20 kata kadar çıkarılması hedeflenmiştir. Yeniden oluşturulan 20 katlı prototiplerin balistik performans testlerinden başarıyla geçtiği görülmüştür. IIIA koruma seviyesi için tasarlanan model 26 kat kevlar yüzeyden üretilmiştir. Bu modelin de yapılan testler sonucunda başarıya ulaştığı görülmüştür (Çolakoglu ve ark., 2008).

Fiber adı verilen malzemeler savunma sanayiinde oldukça sık kullanılmaktadır. Fiber malzemelerin yanında son yıllarda ultra yüksek yoğunluklu molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) kompozitleri de kullanılmaya başlanmıştır. Suni olarak üretilen bu lifler yerine doğada bulunan kenevir ve keten lifleri bu kapsamda kullanılması amaçlanmıştır. Doğal liflerin dayanımının yükseltilmesi için sıcak preslerde polipropilen yüzeylerle birlikte preslenmesi sağlanmıştır. Modelin kenar uzunluğu 30 cm olup kare levha şeklinde tasarlanmıştır. Tasarlanan ürünler 6.4 bar basınç altında 190 derecelik preslerde üretilmiştir. Balistik performans testleri sonucunda, keten liflerinden elde edilen kompozit malzemenin enerji sönümlenme yeteneğinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Wambua ve ark., 2007).

Kullanılan kompozit levhanın sertliğinin balistik performans üzerine etkisini inceleyen çalışmalarda literatürde yer almaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmada AISI 4340 çelikten elde edilen levhalar kullanılmıştır. Bu levhaların performans testlerinde 7.62 mm çaplı mermiler kullanılmıştır. Dinamik malzeme modeli olarak Johnson-Cook modeli tercih edilmiştir. Bu çalışmada deneysel ve sayısal veriler karşılaştırılmıştır. Bunun için Ansys programının Autodyne modülü kullanılmış ve testler sırasında elde edilen veriler simülasyon sonucunda ortaya çıkan verilerle kıyaslanmıştır. Deneysel ve sayısal veriler yüksek oranda uyumluluk göstermiş ve levha sertliğinin artmasıyla balistik performansın yükseldiği tespit edilmiştir (Deniz, 2010).

Balistik kompozitlerde takviye malzemesi olarak cam elyaf kullanılan kompozit malzemeler incelenen çalışmada çeşitli değişkenler incelenmiştir. Bu çalışmada, delaminasyon, mermi ile kompozit malzeme arasındaki gerilim gibi değişkenler incelenmiştir. Çalışma sırasında, merminin rijit davrandığı, kompozit plaka üzerine tamamen dik açıyla geldiği gibi kabuller yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonunda,

takviye malzemesi olarak kullanılan cam elyafın balistik performansa olumlu katkı sağladığı tespit edilmiştir (Mohan ve Velu, 2014).

Karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin kullanıldığı çalışmada balistik performans testleri ve analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan karbon fiber takviyeli polimer kompozitler lif yönlerine göre farklı varyasyonlar kullanılarak levha şekline getirilmiştir. Deneysel çalışmada, yüksek hızlı optik teknikler kullanılarak balistik darbe tepkisi incelenmiştir. Deneysel olarak plakalarda meydana gelen hasar mikro ve makro boyutta incelenmiştir (Hammond ve ark., 2004).

Balistik performans testlerinde, çok katmanlı levhaların tek katmanlı levhalardan daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmada, farklı katsayılarına sahip kevlar kompozit yüzey kullanılmıştır. Darbe ve artık hız analizi için Lambert-Jonas yarı analitik denklemi balistik çarpışma analizi için kullanılabilir duruma getirilmiştir. Yapılan numuneler 3, 6, 9 ve 12 katmandan oluşan ikili levhalar şeklindedir. Uluslararası standartlara uygun olarak yapılan deneyler sonucunda, en iyi çift 6 katmanlı kompozit levha olduğu görülmüştür (Wielewski ve ark., 2013).

Başka bir çalışmada, çelik levhaların balistik davranışları incelenmiştir. Bu çalışma çerçevesinde Weldox 460E çeliği kullanılmıştır. Balistik performans testleri sırasında levhalarda oluşan darbe hasarını gözlemlemek için yüksek hızlı kamera sistemi kullanılmıştır. Yapılan testler sonunda çelik levhalarda meydana gelen hasar miktarı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ls-dyna programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kıyaslanmıştır. Bu sonuçlara göre deneysel veriler ile Ls-dyna programından elde edilen veriler arasında %10 oranında bir sapma olduğu tespit edilmiştir (Borvik ve ark., 1999).

Farklı dokuma şekilleriyle dokunmuş kumaşların balistik darbe karşısında tepkisini inceleyen bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda dokunan kumaşların balistik tepkisini tahmin etmek için sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda düz dokunan kumaşın diğer şekillerde dokunan kumaşlara göre daha fazla enerji sönümlene yeteneği olduğu tespit edilmiştir (Zhou ve Chen 2015).

Modelleme ve simülasyon programı kullanılarak yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Balistik performansı etkileyen değişkenlerin analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda, mermi ilk temasından sonraki hızı, yüzeyin enerji sönümlene yeteneği ve

yüzey boyunca meydana gelen tahribat gibi değişkenlerden elde edilen veriler ortaya çıkarılmıştır (Tan ve ark., 2006).

Balistik koruyucuların dayanımının yüksek olması istenir ancak aynı zamanda personel koruyucuların giyilebilir olması için esnek olması gerekmektedir. Balistik bir çarpışma sırasında elastik-plastik bir levhanın gösterdiği tepki incelenmiştir. Balistik çarpışma sırasında elastik-plastik levhada meydana gelen darbe hasarı, levhanın dayanımına ve merminin geometrisi, çapı, hızı gibi değişkenlere bağlı olduğu görülmüştür (Roisman ve ark., 2001)

Başka bir araştırmada çift katmandan oluşan çelik levhaların balistik davranışları sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sırasında 12 mm'lik Weldox 700 E çeliği kullanılmıştır. Testlerde farklı geometrilere sahip mermiler kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal verilerin karşılaştırılmasında uç kısmı yuvarlak geometriye sahip mermilerin daha az darbe hasarı oluşturduğu tespit edilmiştir (Dey ve ark., 2007).

Balistik performans testlerinin sayısal yöntemler ile analizi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem temelinde yapılan çalışmada, Ls-dyna programı kullanılmış ve çarpışma testlerinin simülasyonu oluşturulmuştur. Program içerisinde yüksek hızda meydana gelen çarpışmalar ve bunların yüzey üzerinde ki etkisi için sonlu elemanlar kodu programa tanımlanmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Lim ve ark., 2003).

Kompozit metal levhaların balistik davranışları modelleme programı içerisinde incelenmiştir. Bu çalışmada, alüminyum ve çelik levhalar kullanılmıştır. Modelleme ve simülasyon programı olarak Ls-dyna kullanılmıştır. Program içinde nümerik analizlerin yapılabilmesi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Analizler için kullanılan metal kompozit levha kalınlığı 4 mm, mermi hızı ise 500 m/s olarak belirlenmiştir. Böylece, kompozit levhaların, dizilişi, kalınlığı, mermi ile çarpışma açısı gibi değişkenlere göre balistik performansları incelenmiştir (Şanlı, 2008).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, balistik malzemelerin test süreçleri içerisinde yaşanan zaman kaybı ve yüksek maliyet gibi önemli değişkenleri en aza indirerek gerçek zamanlı modelleme ile testlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Balistik koruyucu olarak tasarlanan ve polietilen hammaddeye sahip balistik yüzey kullanılmıştır. Ansys programında malzemenin balistik performansı incelenmiştir.

3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Analizi (SEY)

Farklı alanlarda ve çeşitli mühendislik problemlerinde kullanılan sayısal bir çözüm yöntemi olarak ifade edilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi, fiziksel bir sistem ya da mekanizmanın matematiksel bir sisteme dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem yardımıyla çok karmaşık olan mühendislik problemleri kendi içerisinde daha basit alt problemlere ayrılarak her bir problem kendi içerisinde çözümlenmektedir. Bu şekilde alt problemler çözümlenerek genel problemde çözümlenmesi sağlanmaktadır (Bekiroğlu, 2010).

Geometrik şekil olarak çok karmaşık olan çözüm bölgesi, sonlu elemanlar olarak nitelendirilen geometrik olarak daha basit olan alt çözüm bölgelerine ayrılmaktadır. Sonlu elemanlardaki sürekli fonksiyonların, cebirsel polinomlarının lineer kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır. Çözülmesi beklenen değerlerin her eleman içerisinde sürekli olan tanım denklemlerinin düğüm noktalarındaki değerlerin bulunması çözüm için yeterli olmaktadır.

Sürekli bir ortamda, gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vb. gibi sonsuz sayıda çeşitli değerler bulunmaktadır. Sürekli bir ortamda, bilinmeyen değerlerin sayısının az veya çok olması göz önünde bulundurularak seçilen fonksiyon birinci ya da yüksek dereceli fonksiyon olmaktadır. Burada karakteristik olarak aynı olan alt bölgeleri ifade eden denklemler kümesi bir araya getirildiğinde tüm sistemi ifade eden denklem elde edilmektedir. Tüm sistem için elde edilen denklemin çözümlenmesi ile sürekli ortamda bulunan değişkenler nümerik olarak ortaya çıkarılmaktadır (Tepedüzü, 2017).



Şekil 3.1. Fiziksel olarak sonlu elemanlar sistemi.

Sonlu elemanlar ile çözümlene yönteminin de kullanım alanı ve amacına göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. İstenen modeller, tasarım aşamasında modelin geliştirilmesine katkı sağlaması ve prototip üretiminin gerekmemesi gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bunun yanında modelleme esasları, çok karmaşık modellerin bağlantı aşamasındaki tasarım gücünü ve model bileşenlerinin davranış ve etkileşimlerinin tahmin zorluğu bu yöntemin dezavantajları olarak gösterilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi, ısı transferi, yapısal analiz, akışkanlar mekaniği, termal analiz, uçak mühendisliği, uzay mühendisliği, zemin mekaniği, elektrik-elektronik mühendisliği, nükleer mühendislik vb. birçok fizik ve mühendislik problemlerinin çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte havacılık, otomotiv, bilişim, elektronik, iklimlendirme ve havalandırma, biyomedikal, inşaat vb. gibi pek çok sektörde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde, analiz yöntemi seçilir, modelde kullanılacak malzeme özellikleri seçilir, modelin fiziksel yapısı yani geometrisi oluşturulur, belirlenen sınır şartları uygulanır, belirlenen kuvvet veya yükler uygulanır, çözüm optimize edilmesi adımları sırasıyla uygulanmaktadır.

Şekil fonksiyonlarının sonlu elemanlar yöntemiyle çözümlenmesi için çeşitli polinomlar kullanılmaktadır(Zienkiewicz, 1989). Bu polinomlar içerisinde en yaygın kullanılan polinomlardan biri de Lagrange polinomudur. Lagrange polinomu, değerleri bilinen elemanlar için enterpolasyon özelliğini de sahiptir. Bu şekilde üç boyutlu şekiller için kullanılan denklemler,

$$N^i(\xi) = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{p+1} \frac{\xi^k - \xi}{\xi^k - \xi^i} \quad (3.1)$$

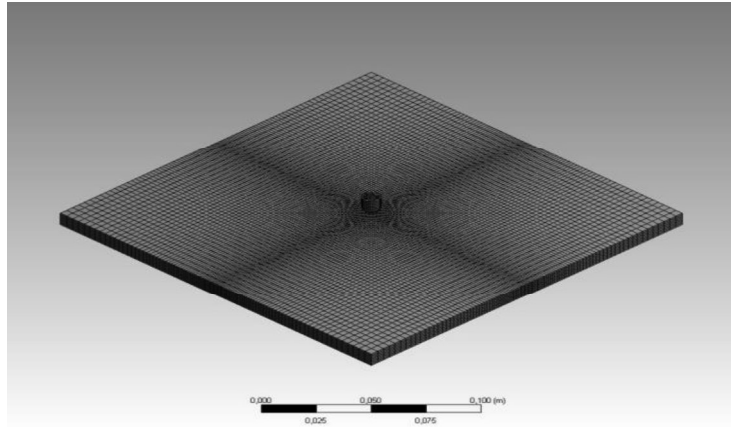
$$N^i(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = \left(\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{p+1} \frac{\xi_1^k - \xi_1}{\xi_1^k - \xi_1^i} \right) \left(\prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{p+1} \frac{\xi_2^l - \xi_2}{\xi_2^l - \xi_2^i} \right) \left(\prod_{\substack{o=1 \\ o \neq i}}^{p+1} \frac{\xi_3^o - \xi_3}{\xi_3^o - \xi_3^i} \right) \quad (3.2)$$

$$[\xi_1, \xi_2, \xi_3] \in (-1, 1) \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Yukarıda verilen “Eş.3.1, Eş.3.2 ve Eş.3.3” de, p indisi polinomun derecesini, ξ indisi eksenlere göre koordinatları belirtmektedir. Lagrange tabanlı şekil fonksiyonları ile enterpolasyon fonksiyonu,

$$F(\xi) = \sum_{i=1}^{p+1} N_i f_i^e \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada F, enterpolasyon fonksiyonunu, f^e indisi ise problem tanım alanında tanımlanacak enterpolasyon için bilinmesi gerekli noktalardaki değerlerdir. Bu analiz kapsamında programda dikkate alınan şekil fonksiyonu Lagrange yöntemine göre üretilmiş p+1’inci dereceden polinomdur. Enterpolasyon fonksiyonu, geometri ve yer değiştirme tanım alanlarının enterpolasyonunda kullanılabilir. İlgili fonksiyonun, yer değiştirme tanım alanı enterpolasyonunda kullanılması durumunda yakınsama şartlarının sağlandığına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.2. Lagrange yaklaşımıyla üç boyutlu bir şeklin tanımlanması.

3.2. Kinetik Enerji Soğurunun İncelenmesi

Termodinamiğin birinci yasası bilindiği gibi enerjinin korunumu ilkesidir. Bu yasa çerçevesinde, var olan enerjinin yok olmayacağını, olamayan enerjinin de yoktan var edilemeyeceği bilinmektedir (Çengel ve Boles, 2012).

Balistik zırhlar için en önemli değişkenlerden biri enerji soğurum miktarıdır. Enerji soğurum miktarı da balistik malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle tasarlanan HDPE yüzey plakalarının balistik çarpışma testlerinde gösterdiği enerji sönümlenme performansı büyük önem taşımaktadır. Ateşlenen mermi çekirdeğinin var olan kinetik enerjisi de balistik çarpışma sonrası yüzeyin potansiyel ve ısı enerjisine dönüşmektedir. Balistik çarpışma testlerinde mermi çekirdeğini tutan yüzey ya da malzemeler kinetik enerjinin tamamını sönümlenmektedir. Sönümlenen bu enerji yüzey ya da malzemenin ısı ve potansiyel enerjisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Çerkez ve Ulçay, 2007).

Yapılan balistik testler esnasında havanın sürtünme direnci, yer çekimi gibi parametrelerin ihmal edilmiştir. Dolayısıyla enerji soğurum miktarının hesaplanması mermi çekirdeğinin ilk ve son hızlarının elde edilmesiyle hesaplanabilecektir. Yüzey ya da malzemeyi delip geçen mermi çekirdeklerinde ise ilk hız ve yüzeyi deldikten hemen sonraki hızın elde edilmesiyle hesaplanabilecektir.

$$KE = \frac{1}{2} m \vartheta^2 \quad (3.5)$$

$$KE_i = \frac{1}{2} m \vartheta_i^2 \quad (3.6)$$

$$KE_s = \frac{1}{2} m \vartheta_s^2 \quad (3.7)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \vartheta_i^2 - \frac{1}{2} m \vartheta_s^2 \quad (3.8)$$

3.3. NIJ 3A Standardında Kullanılan Mermi Özellikleri

Mermiler yapısal olarak çekirdek, kovan, barut ve kapsülden oluşmaktadır. Mermiler genel olarak çekirdek tipi ve yapısına göre sınıflandırılmaktadır. NIJ 3A standardı kapsamında 9x19 mm kalibreye sahip metal gömlekli (FMJ) çekirdek kullanılmaktadır. Bu çekirdekler taban hariç metal gömlek ile kaplanmaktadır. Bu nedenle hedefe ulaşınca genişlemezler ve tahribat güçleri çok yüksektir. Bu tür çekirdekler hedefe çarptıklarında sekme eğilimi göstermektedir (Anonim, 2017).

Çizelge 3.1. NIJ 3A standardında kullanılan mermi özellikleri.

9 mm x 19 mm FMJ Mermi	
Fişek boyu	29.69 mm.
Fişek ağırlığı	12-15 gr.
Basınç	2850 bar.
Kuvvet	20.4 kgf
Çekirdek ağırlığı	8 gr
Çekirdek çapı	9 mm
Hız	450 m/sn
Kapsül	Küresel barut.
Çekirdek tipi	Küresel uçlu.

3.4. Polietilen

R.O Gibson ve E.W. Fawcett isimli bilim insanları tarafından 1893 yılında yüksek sıcaklık ve basınç altında beyaz polimerik etileninin birleştirilmesi ile keşfedilmiştir. ICII laboratuvarları 1938 yılında bu ürünün patentini ve endüstriyel tasarımını tescil ettirmiştir. Bu ürünün ortaya çıkış ve kullanım amacı öncelikle günlük hayatı kolaylaştırmaktır. Polietilen malzemenin ortaya çıkışından günümüze kadar çeşitli teknolojik ve teknik konularda gelişmeler kaydettiği gibi günümüzde de halen polietilen ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Polietilen, kimya biliminde termoplastik olarak adlandırılmaktadır. Bu adı monomer durumunda bulunan etilenden almaktadır. Polietilen, plastik sektöründe PE kısaltmasıyla bilinmektedir.

3.5. Polietilenlerin Sınıflandırılması

Polietilen, kristal yapısı, molekül ağırlığı, mekanik özellikleri ve dallanma biçimine göre farklı kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Bu polietilenler, UHMWPE (ultra yüksek molekül ağırlıklı pe), LLDPE (lineer bağlı düşük yoğunluklu pe), PEX (çapraz bağlı pe), HDPE (yüksek yoğunluklu pe), VLDPE (çok düşük yoğunluklu pe), HDXLPE (yüksek yoğunluklu çapraz bağlı pe), LDPE (düşük yoğunluklu pe), MDPE (orta yoğunluklu pe) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Yavas, 2008).

3.5.1. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)

Ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen üretimi 1930'lu yılların başlarında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Carothers adlı bilim insanı tarafından uhdwpe fikri ortaya atılmış ve ortaya çıkışı yaklaşık olarak 50 yılı bulmuştur. Mekanik ve kimyasal dayanımı yüksek pe lif üretilmesi için moleküler bağlar lif doğrultusunda düz ve kristalize durumda olmalıdır (Çetinel, 2000). Polietilen liflerinden, jel lif çekim metodu ile çok yüksek molekül ağırlıklarına sahip polietilenler üretilebilmektedir. Bu polietilenlerin molekül ağırlıkları 1000000 g/mol den daha yüksektir (Bunsell ve Schwartz, 2009). Jel lif metodunun temeli; çözelti içerisinde serbest halde olan moleküllerin çözücü içerisinde çözülmesi, dizilerden lif çekimi ve soğutulmasına esasına dayanmaktadır (McKenna ve Hearle, 2004).

Çizelge 3.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemenin yapısal özellikleri

Yapısal Özellikler		Birim
<i>Yoğunluk</i>	0.96	g/cm ³
<i>Erime Sıcaklığı</i>	130	°C
<i>Kristalleşme Sıcaklığı</i>	110	°C
<i>Camsılaşıma Sıcaklığı</i>	-78	°C
<i>Genleşme Katsayısı (CTE)</i>	139	µm/m°C
<i>Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)</i>	73	°C
<i>Azami Servis Sıcaklığı (Hava)</i>	95	°C

Çizelge 3.3. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemenin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikleri	Değer	Birim
Gerilme Mukavemeti	31	MPa
Basma Mukavemeti	31	MPa
Çekme Modülü	3	MPa
Kopma Esnemesi	100	%
Darbe Dayanımı (Çentiksiz Izod)	2.56	J/cm
Sertlik	SD65	Shore Ölçeği

3.6. Ansys Programı

Günümüzde modelleme ve simülasyon çözümü analitik yöntemlerle mümkün olmayan ya da çok fazla teste tabi tutulması gereken ürünlerin testi için kullanılmaktadır. Kullanılan bilgisayar programları sayesinde simülasyon, üreticiyi kalite kontrol yapabilmesi için defalarca üretim yapma zahmetinden ve maliyetinden kurtarır. Bununla beraber her ne kadar analitik çözüm yapılabilse de bu çözümü elde etmek için gereken ön kabuller sonucun gerçekliğini azaltmaktadır. Bu sebeple gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde, mühendislikte nümerik yöntemler kullanılarak yapılan simülasyonlar önem kazanmıştır (Çengel ve Ghajar, 2015).

Dünyada ve ülkemizde kullanılan çoğu yazılım ürün veya ürünlerin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Ansys programı ise sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümlene yapmaktadır. Bununla birlikte amaç, teorik ve deneysel çalışmalara katkı sağlamaktır. Ansys programı ile akışkanlar mekaniği, ısı transferi, yapı mekaniği vb. pek çok alanda yapılan çalışmalar tek bir programda çözümlenebilmektedir. Aynı zamanda düşük hata oranı, kolay kullanım gibi özellikleri programın önemli avantajları olarak gösterilmektedir.

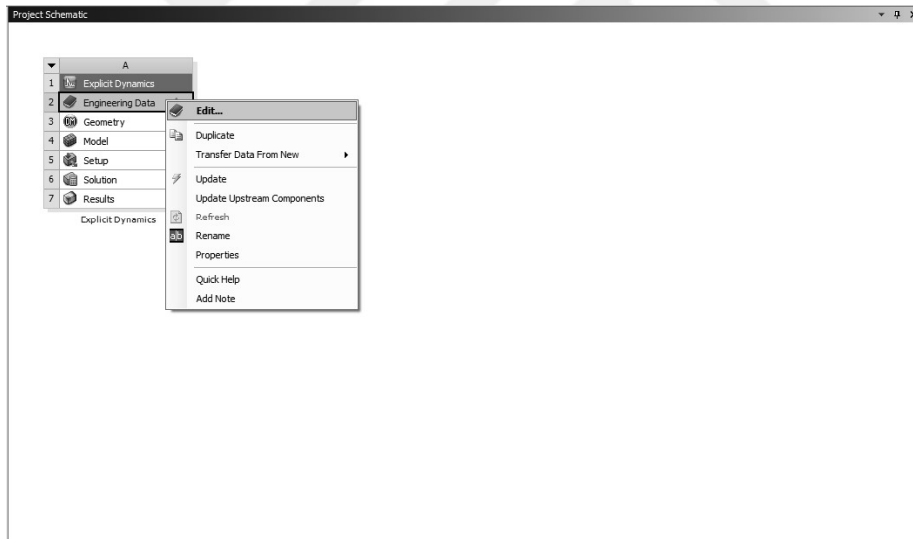
Mühendislik problemleri 20. Yüzyıla kadar basit mühendislik problemlerinin çözümlenmesi yapılmaktaydı. Ancak 20. Yüzyılda karmaşık mühendislik problemlerinde bu yöntemlerin yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. Böylece yeni çözümlene yöntemlerinin bulunmasının önü açılmıştır. Bununla birlikte sonlu elemanlar yöntemi ortaya çıkmıştır. Bu yöntem karmaşık mühendislik problemlerinin çözümlenmesine olanak sağlayan sayısal bir analiz yöntemi olarak belirtilmektedir. Bu yöntemin temelinde analiz yapılacak modelin sonlu sayıda noktaya ayrılması ile her noktayı bir eleman olarak kullanıp çözümlene yapması bulunmaktadır. Bu yöntem ile birlikte günümüzde ısı transferi, akışkanlar mekaniği, termodinamik, fiziksel, kimyasal, dinamik, statik vb. gibi pek çok problemin çözümü yapılabilmektedir.

Simülasyon programlarından önce sonlu elemanlar metodu ile çözüm elle yapılmakta idi. Bu yüzden nesnelere karmaşıklıklarına göre 10-100 parçaya (elemana) bölünebiliyor, hassas çözüm yapılamıyordu. Ancak teknolojik gelişmeler sayesinde eleman sayısı ve buna bağlı olarak çözümdeki hassasiyet arttı. Bugün bir uçak kanadı,

uzay mekiği ya da bir otomobil 15-20 milyon elemana bölünebilmekte (meshing – ağ yapısı oluşturma) ve bilgisayarla nümerik olarak hesap yapılabilmektedir (Çengel ve Cimbala, 2015).

3.7. Simülatif Ortamda Analizlerin Gerçekleştirilmesi

Kullanılan simülatif yöntem ile balistik testlerin gerçek ortamda yapılmasıyla birlikte artan maliyet ve deneyler sırasında harcanan zamanın minimuma indirgenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada farklı kalınlıklarda hazırlanan HDPE plaka modelleri, Ansys programında balistik çarpışma testlerine tabi tutulmuştur. Balistik çarpışma testleri için 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm ve 8 mm kalınlıklarında HDPE plakalar tasarlanmış ve bu plakalar üzerine NIJ 3A standardına göre 450 m/s hıza sahip mermiler gönderilmiştir.



Şekil 3.3. Programda yüzey ve mermi tasarımlarına başlanması.

Çalışmaya ilk olarak HDPE plakaların tasarlanması ile başlanmıştır. Polietilen plakalar numune halinde 200 milimetrelik kenar uzunluğuna sahip kareler halinde tasarlanmıştır. Bu plakalar programda sketch komutuyla oluşturulmuştur. Plakalardan

sonra mermi geometrisi de oluşturulmuş, malzeme özelliklerinin tanımlanmasına geçilmiştir.

The screenshot shows the 'Engineering Data Sources' window with the following data:

	A	B	C	D
1	Data Source		Location	Description
3	General Materials			General use material samples for use in various analyses.
4	General Non-linear Materials			General use material samples for use in non-linear analyses.
5	Explicit Materials			Material samples for use in an explicit analysis.

Below it is the 'Outline of Explicit Materials' window:

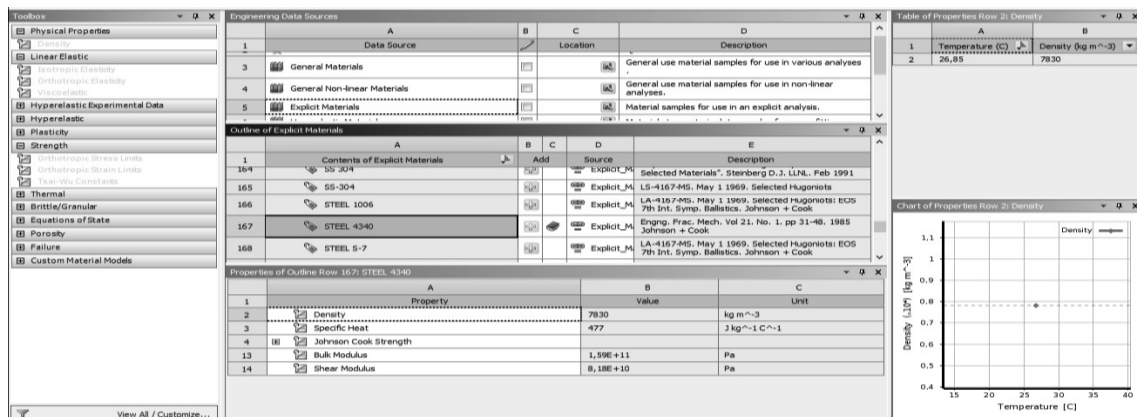
	A	B	C	D	E
1	Contents of Explicit Materials	Add	Source	Description	
128	POLYCARB		Explicit_M	.. DYMAT Journal-vol. 1-3-sept 1994	
129	POLYETHYL		Explicit_M	LA-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniots	
130	POLYRUBBER		Explicit_M	LS-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniots	
131	POLYRUBBERH		Explicit_M	AFATL-TR-84-59, June 1984, Matuska D.A. HULL Users Manual	
132	POLYSTYREN		Explicit_M	LA-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniots	
133	POLYURETH		Explicit_M	W. Toqueboeuf et al. "Dynamic behaviour of Polycarbonate/Polyurethane ...-1.Phys. IV France 7	

Below that is the 'Properties of Outline Row 129: POLYETHYL' window:

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	915	kg m ⁻³
3	Shock EOS Linear		
4	Gruneisen Coefficient	1,64	
5	Parameter C1	2901	m s ⁻¹
6	Parameter S1	1,481	
7	Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹

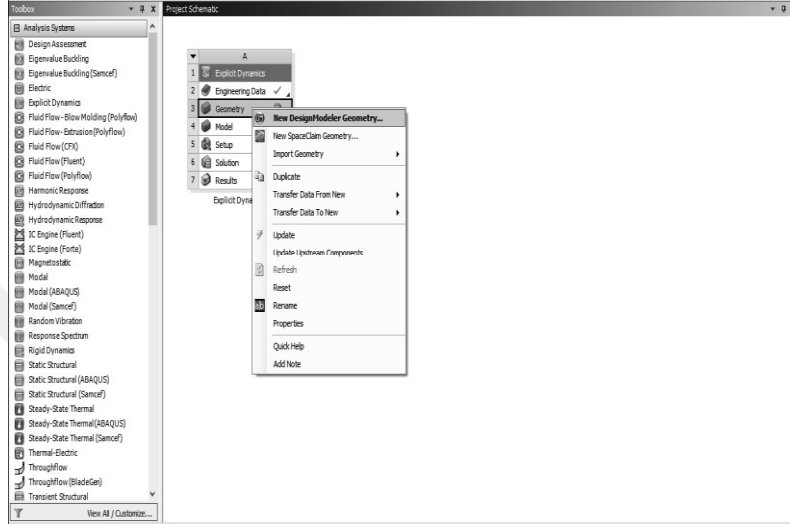
Şekil 3.4. Yüzey malzeme özelliklerinin programda tanımlanması.

Plakaların tasarım parametreleri program içerisinde materyal özelliklerine kaydedilmiştir. Plaka halinde tasarlanan yüzey modellemesi tamamlanmıştır. Küresel uçlu 9 mm kalibreye sahip FMJ mermi modellenmiştir. Mermi için de malzeme özellikleri program içerisinde kaydedilmiştir. Bu aşamada tasarlanan plakalar için 8 farklı kalınlık olduğundan 8 farklı model oluşturulmuştur.



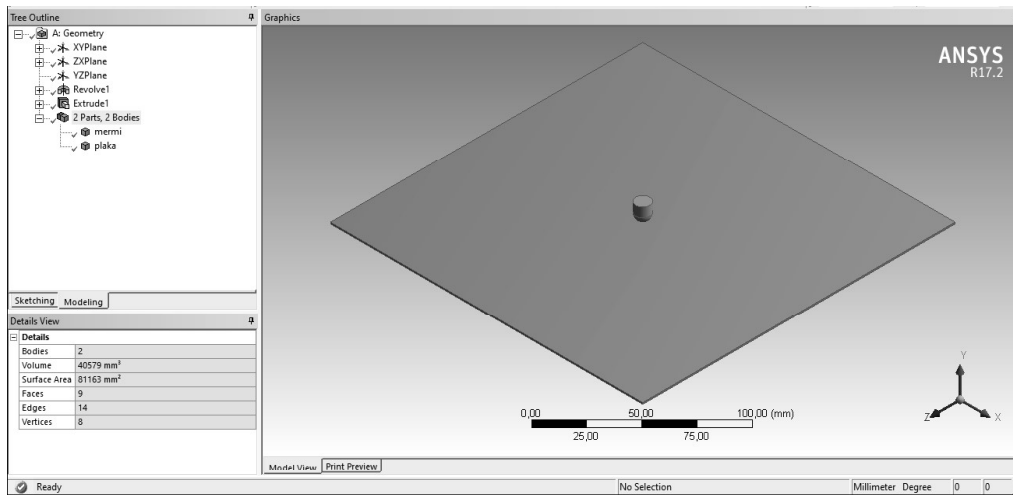
Şekil 3.5. NIJ 3A standardında mermi çekirdeğinin malzeme özelliklerinin programda tanımlanması.

Bu değişkenlere göre hazırlanan HDPE plakalar için malzeme özelliklerinin programa tanımlanması gerekmektedir. Bu parametreler HDPE malzemenin yoğunluk, molekül ağırlığı gibi özellikleri programa tanımlanmaktadır. Böylece malzemenin balistik testler sırasında göstereceği tepki gerçek zamanlı deneylerin vereceği tepki ile çok yakın olacaktır.



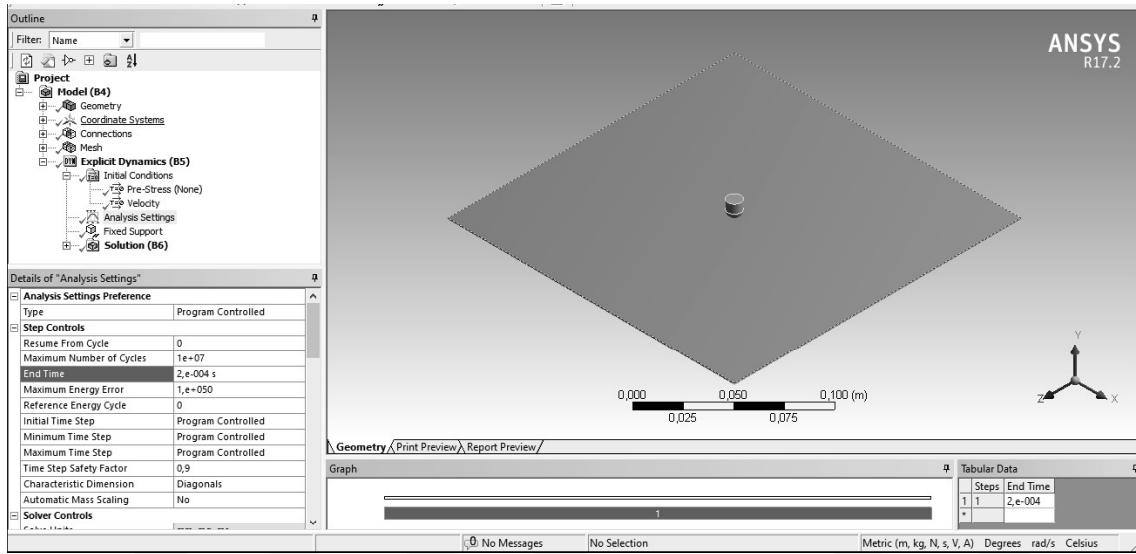
Şekil 3.6. Yüzeyin ve mermi çekirdeğinin modellenmesine başlanması.

Programda tasarlanan mermi ve plakalar mesh alınarak simülasyona hazır duruma getirilmektedir. Mesh işlemi yapıldıktan sonra kalan tek parametre merminin hızının belirlenmesidir. Bu kapsamda mermi hızı 450 m/s olarak programa girilmiştir.



Şekil 3.7. Yüzeyin ve mermi çekirdeğinin tasarımının tamamlanması.

NIJ 3A standartlarına göre belirlenen tüm parametreler programa dahil edilip simülasyona yani testlere hazır duruma getirilmiştir. Bu aşamadan sonra program sayfasından “çalıştır” komutu verilmektedir. Programın hata vermeden çalışması ve sonuçları ekranda göstermesi sağlanmaktadır. Balistik testlerin gerçekleşme süresi yaklaşık olarak 45 dakikayı bulmaktadır.

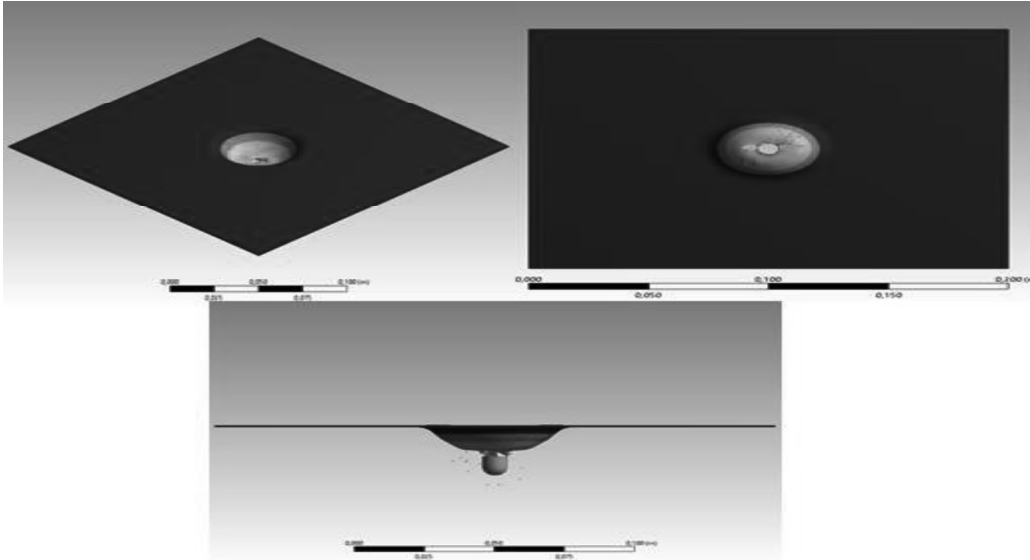


Şekil 3.8. Balistik analiz için değişkenlerin programda tanımlanması.

4. BULGULAR

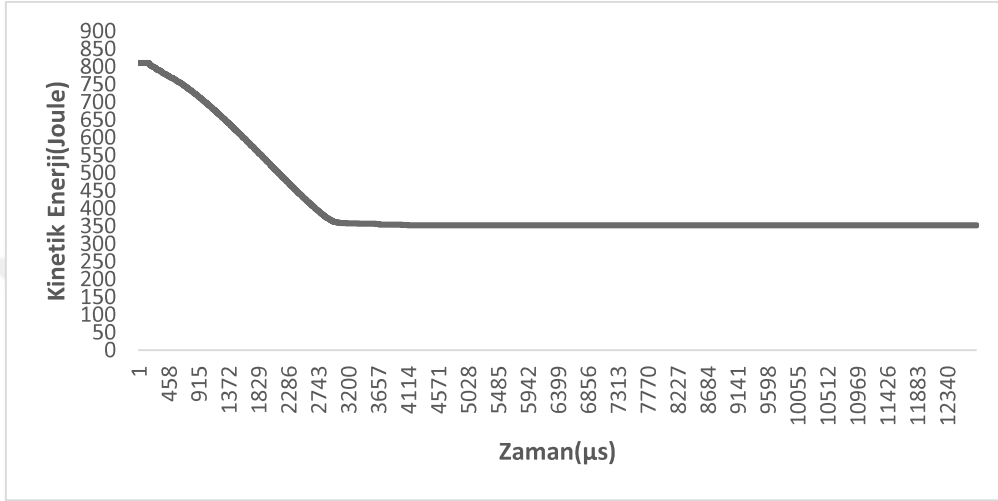
Simülatif ortamda tasarlanan ve analizi yapılan çalışmada küresel geometriye sahip mermi çekirdeklerinin, kalınlıkları 1 mm ile 8 mm arasında değişen plakalara çarpmasıyla birlikte plaka üzerindeki etkiler incelenmiştir. Bu çalışmada, balistik malzemelerin test süreçleri içerisinde yaşanan zaman kaybı ve yüksek maliyet gibi önemli değişkenleri en aza indirerek gerçek zamanlı modelleme ile testlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yerli olarak üretilen ve polietilen hammaddeye sahip balistik yüzey kullanılmıştır.

İlk olarak 1 milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülatif ortamda modellenmesi sırasında 10630 eleman ve 21235 düğüm noktası elde edilmiştir. Balistik çarpışma analizleri sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen deformasyon, darbe hasarı, enerji sönmleme yeteneği, gerilme miktarı gibi değişkenler incelenmiştir. 450 m/s hızla gönderilen mermi çekirdeğinin 1 mm kalınlığa sahip yüzeyi delip geçtiği görülmüştür. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Yüzey delindiği için yüzey üzerinde meydana gelen darbe derinliği herhangi bir önem arz etmemektedir.



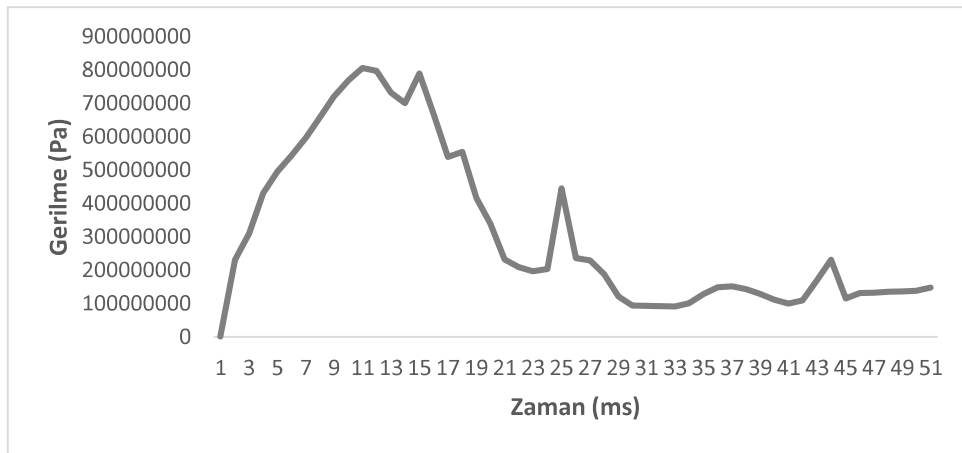
Şekil 4.1. 1 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzeyi deldikten sonra 299.03 m/s hız ile yüzeyi terk ettiği belirlenmiştir. 1 mm kalınlığa sahip yüzeyin, çekirdek yüzeyi delip geçene kadar yaklaşık 452.68 joule oranında enerji soğurumunu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.2).



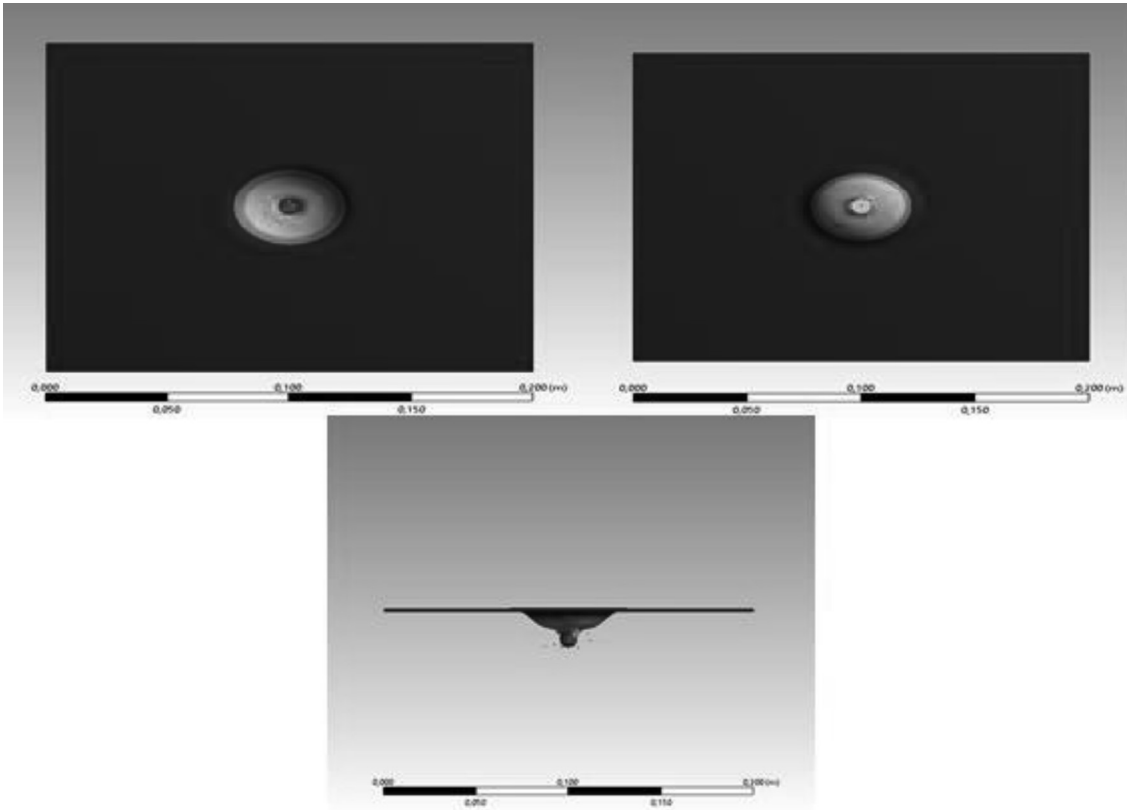
Şekil 4.2. 1 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği deformasyon için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 805.49 MPa olarak elde edilmiştir (Şekil 4.3).



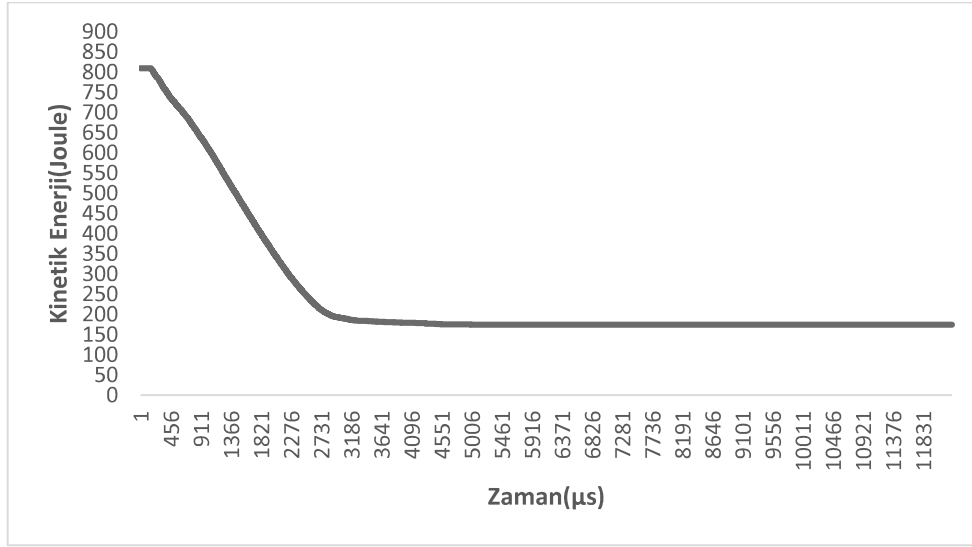
Şekil 4.3. 1 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

İki milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülasyon ortamında modellenmesi sırasında 20630 eleman ve 31436 düğüm noktası elde edilmiştir. Balistik çarpışma analizleri sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen deformasyon, darbe hasarı, enerji sönmleme yeteneği, gerilme miktarı gibi değişkenler incelenmiştir. 450 m/s hızla gönderilen mermi çekirdeğinin 2 mm kalınlığa sahip yüzeyi delip geçtiği görülmüştür. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



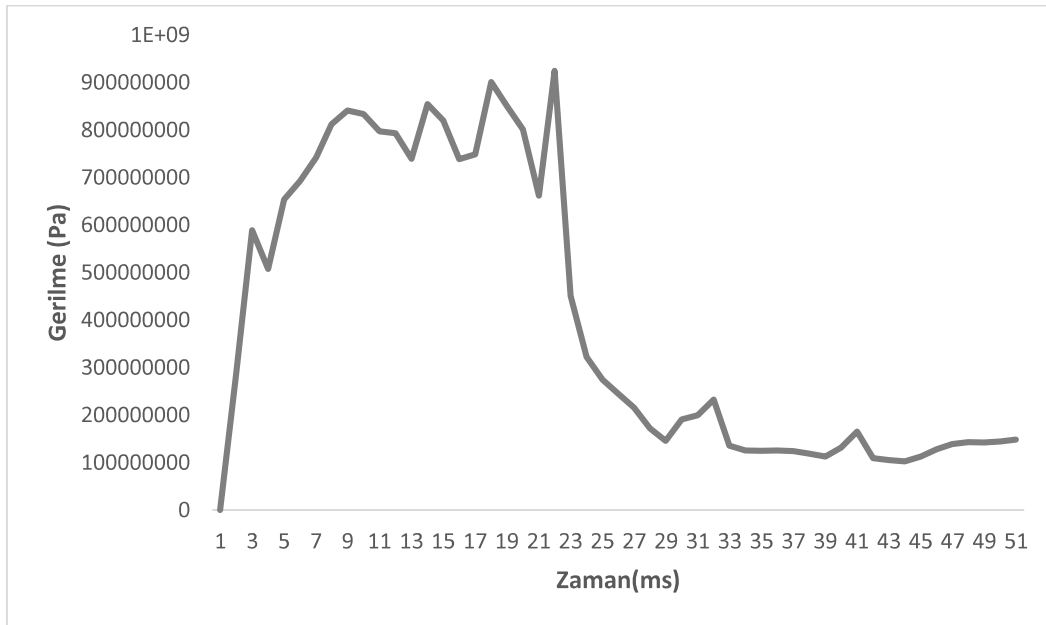
Şekil 4.4. 2 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzeyi deldikten sonra 216.08 m/s hız ile yüzeyi terk ettiği belirlenmiştir. 2 mm kalınlığa sahip yüzeyin, mermi çekirdeğinin yüzeyi delip geçene kadar yaklaşık 611.26 joule oranında enerji soğurumunu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.5).



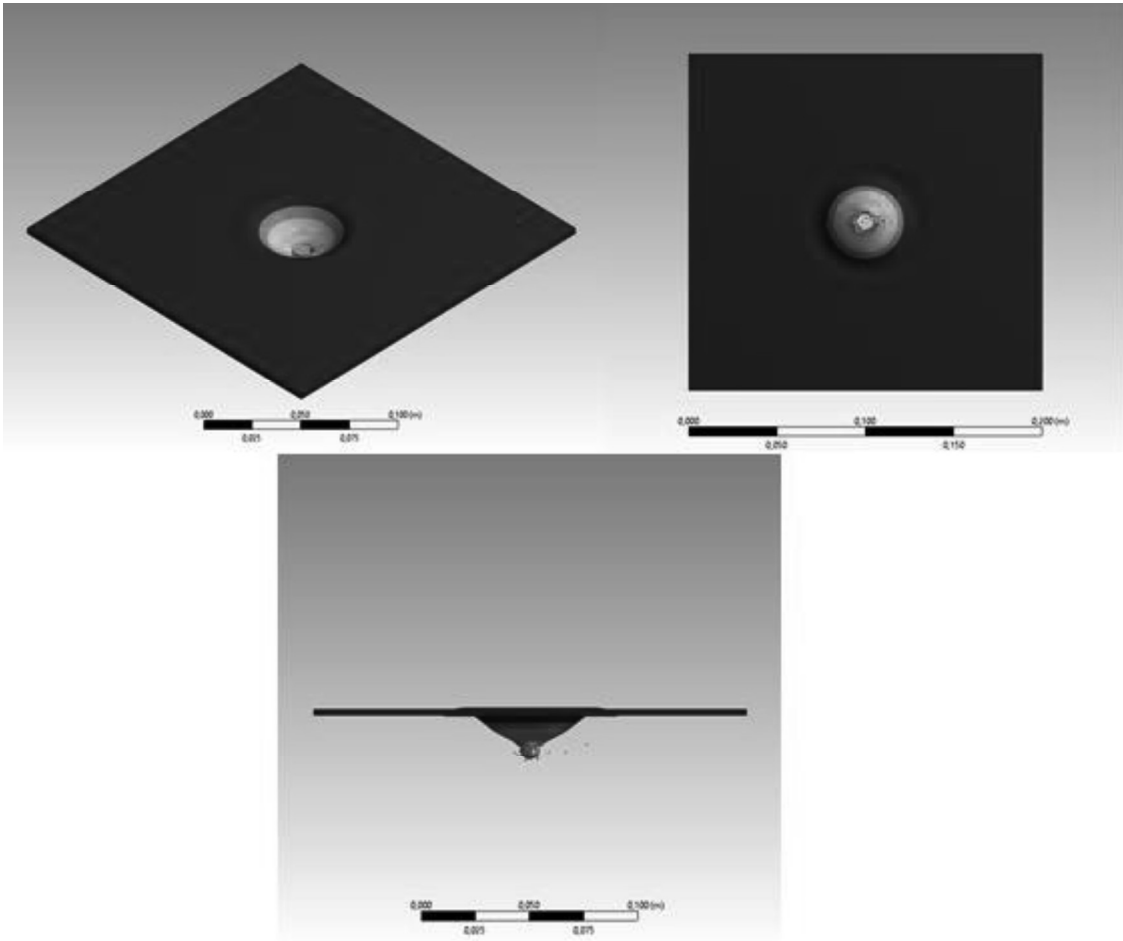
Şekil 4.5. 2 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği deformasyon için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 924.33 MPa olarak elde edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. 2 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

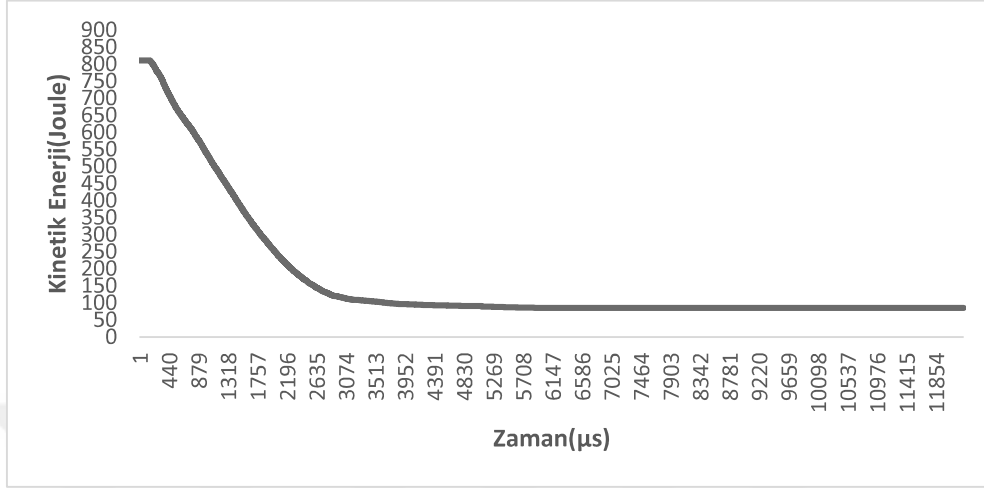
Üç milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülatif ortamda modellenmesi sırasında 30630 eleman ve 41637 düğüm noktası elde edilmiştir. Balistik çarpışma analizleri sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen deformasyon, darbe hasarı, enerji sönümlene yeteneği, gerilme miktarı gibi değişkenler incelenmiştir. 450 m/s hızla gönderilen mermi çekirdeğinin 3 mm kalınlığa sahip yüzeyi delip geçtiği görülmüştür. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 3 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

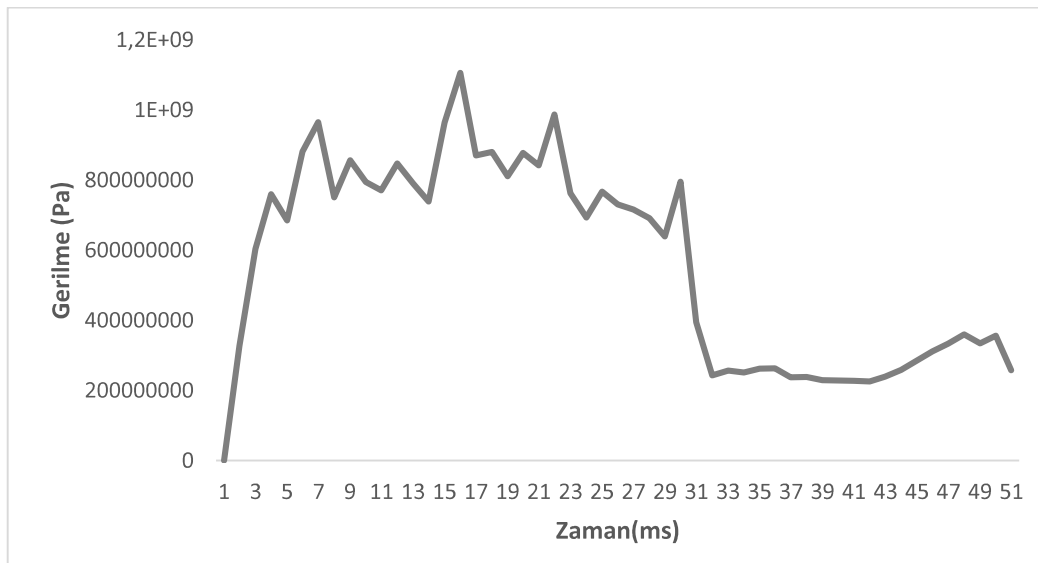
Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzeyi deldikten sonra 165.3 m/s hız ile terk ettiği belirlenmiştir. 3 mm kalınlığa sahip yüzeyin çekirdek yüzeyi delip

geçene kadar yaklaşık 701.07 joule oranında enerji soğurumunu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.8).



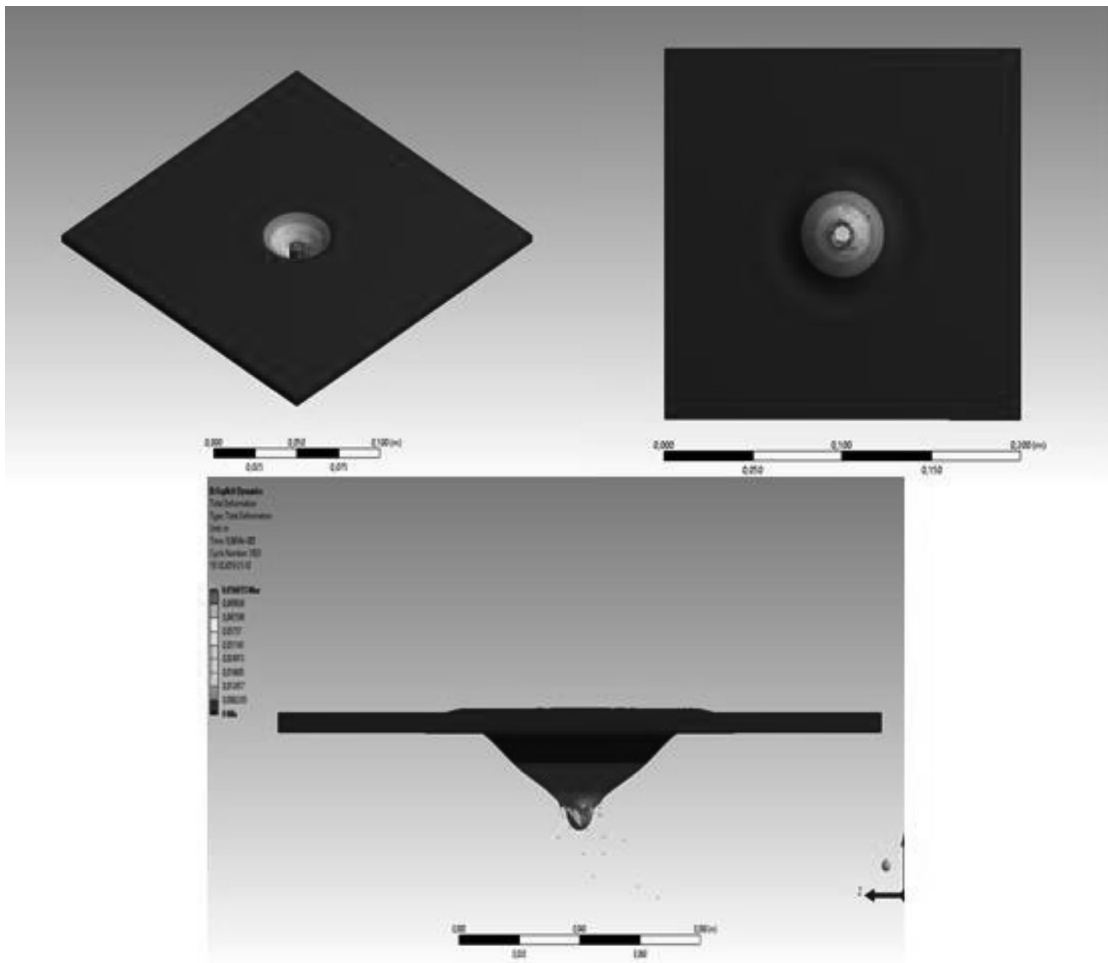
Şekil 4.8. 3 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği deformasyon için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 1106.1 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. 3 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

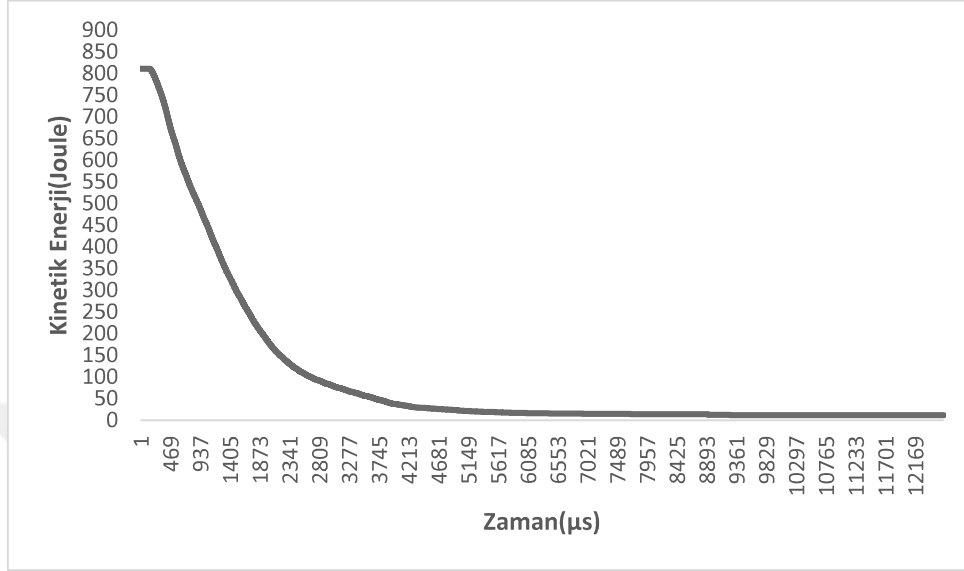
Dört milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülatif ortamda modellenmesi sırasında 40630 eleman ve 51838 düğüm noktası elde edilmiştir. Balistik çarpışma analizleri sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen deformasyon, darbe hasarı, enerji sönümlene yeteneği, gerilme miktarı gibi değişkenler incelenmiştir. 450 m/s hızla gönderilen mermi çekirdeğinin 4 mm kalınlığa sahip yüzeyi delip geçtiği görülmüştür. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.10 de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 4 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

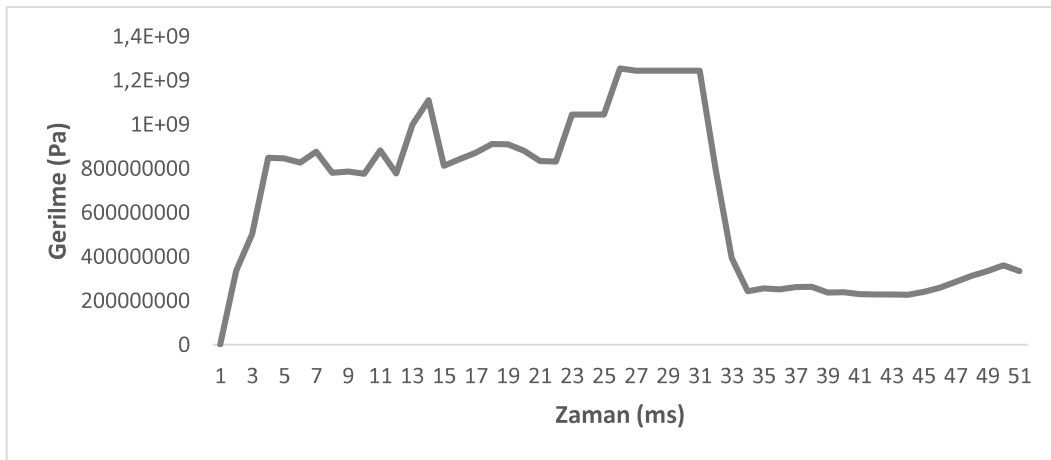
Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzeyi deldikten sonra 65.157 m/s hız ile terk ettiği belirlenmiştir. 4 mm kalınlığa sahip yüzeyin çekirdek yüzeyi delip

geçene kadar yaklaşık 793.38 joule oranında enerji soğurunumu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.11).



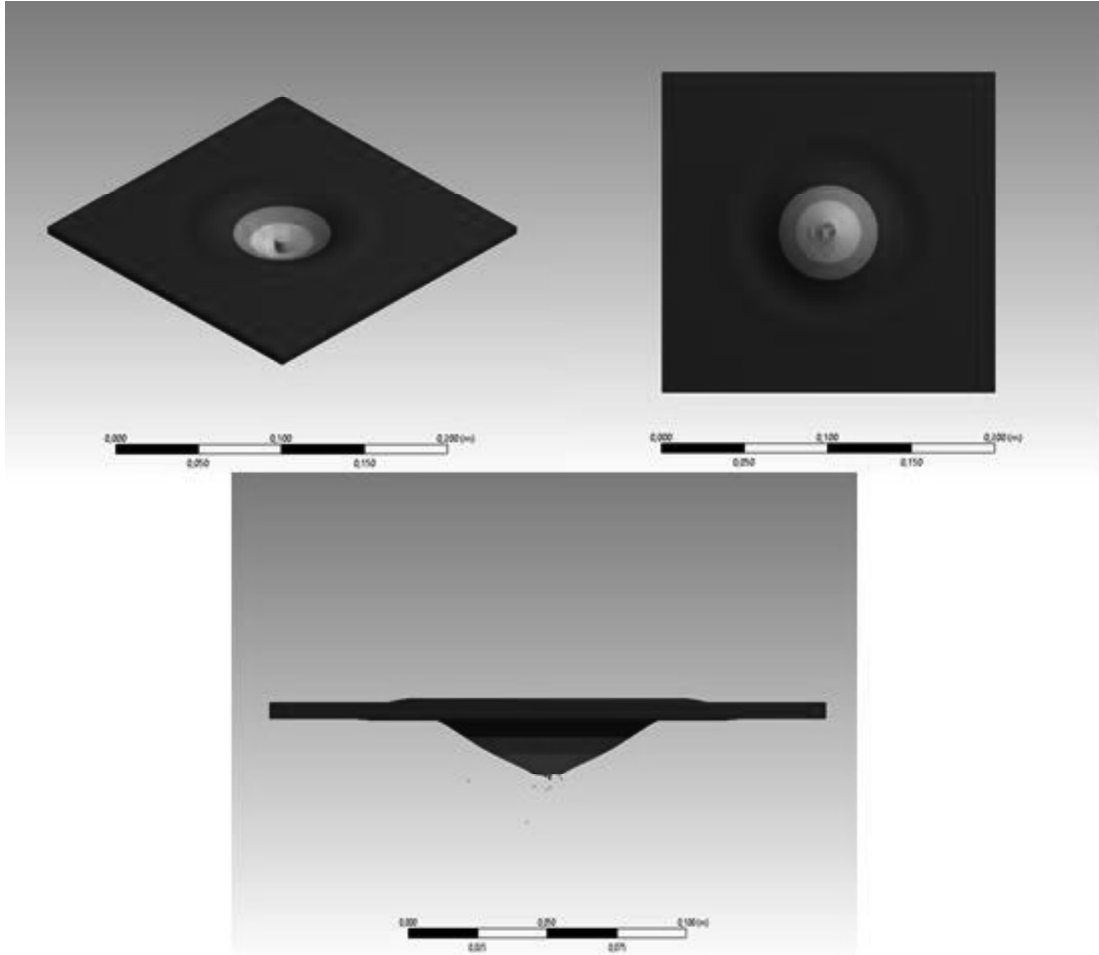
Şekil 4.11. 4 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeyle 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği deformasyon için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 1255.9 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 4.12).



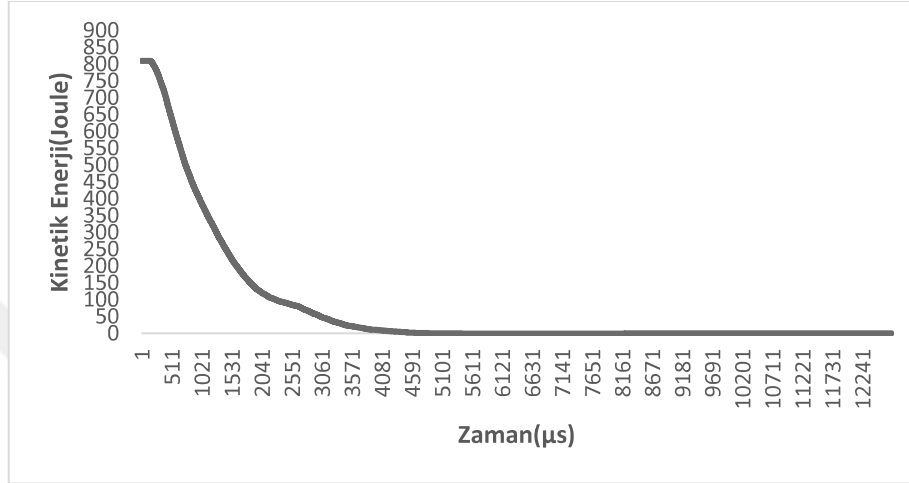
Şekil 4.12. 4 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

Beş milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülatif ortamda modellenmesi sırasında 50630 eleman ve 61484 düğüm noktası elde edilmiştir. Balistik çarpışma analizleri sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen deformasyon, darbe hasarı, enerji sönümlene yeteneği, gerilme miktarı gibi değişkenler incelenmiştir. 5 mm kalınlıktaki HDPE yüzey mermi çekirdeğinin geçmesine izin vermemiştir. Mermi çekirdeğinin HDPE yüzey üzerinde meydana getirdiği darbe derinliği miktarı 57.11 mm olarak belirlenmiştir. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.13 de gösterilmiştir.



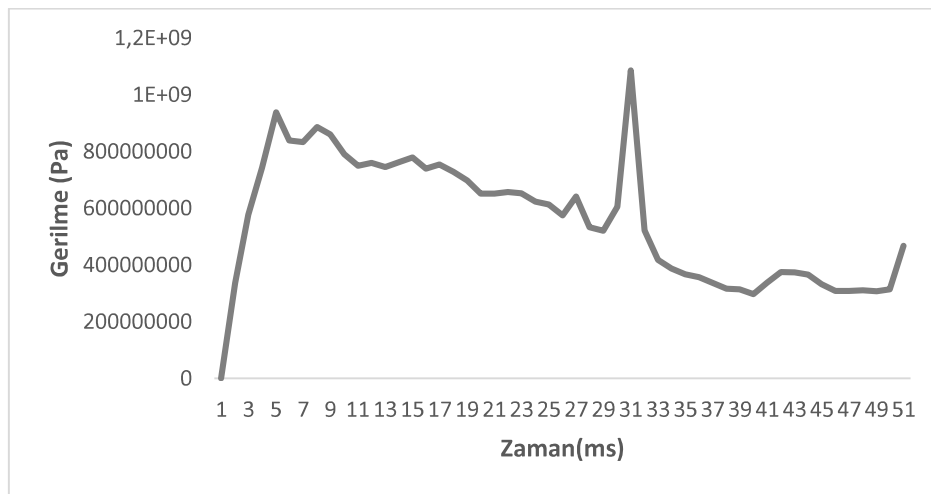
Şekil 4.13. 5 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeği HDPE yüzeyi geçememiştir. 5 mm kalınlığa sahip yüzey mermi çekirdeğini tutmayı başarmıştır. NIJ 3A standardında küresel uçlu mermi çekirdeğini tutmayı başaran HDPE yüzey 810 joule oranında enerji soğurumunu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.14).



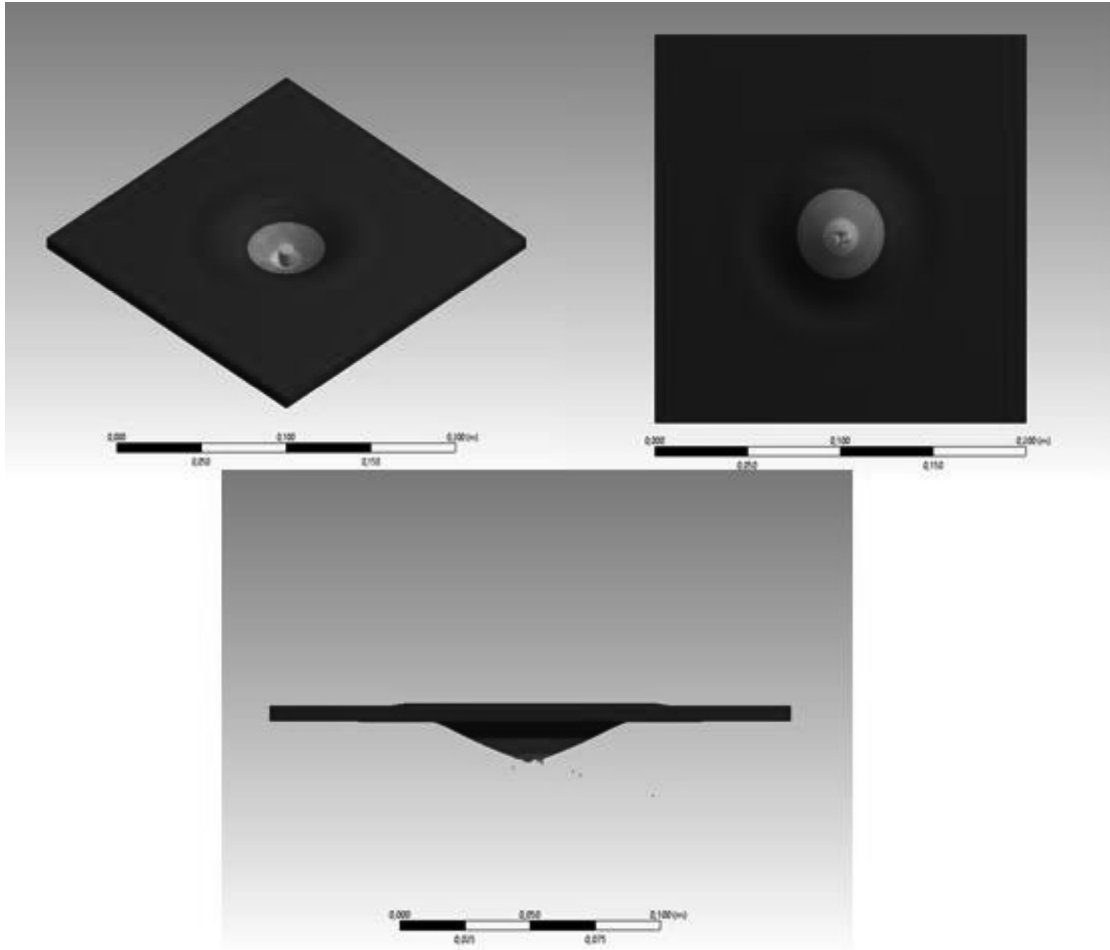
Şekil 4.14. 5 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği gerilmeler için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 1086 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 4.15).



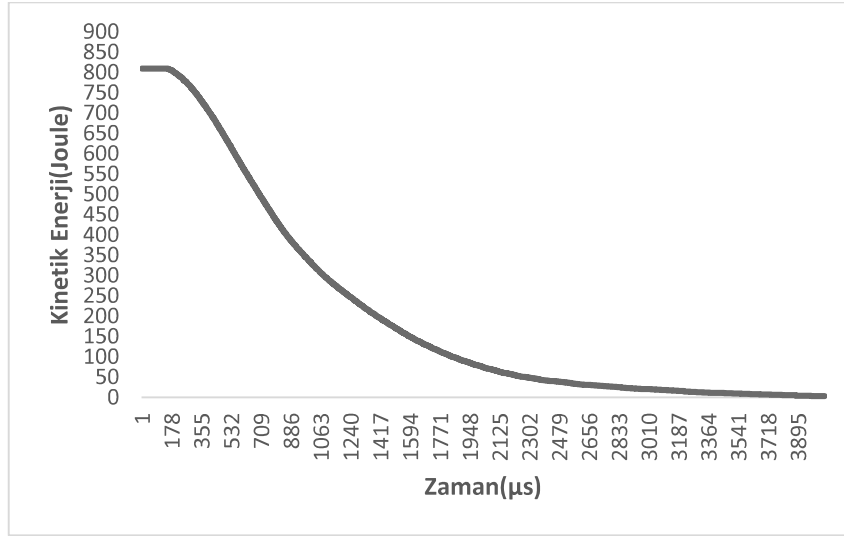
Şekil 4.15. 5 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

Altı milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülatif ortamda modellenmesi sırasında 60630 eleman ve 72240 düğüm noktası elde edilmiştir. Mermi çekirdeğinin HDPE yüzey üzerinde meydana getirdiği darbe derinliği miktarı 47.25 mm olarak belirlenmiştir. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.16 da gösterilmiştir. 6 mm kalınlıktaki HDPE yüzey mermi çekirdeğinin geçmesine izin vermemiştir.



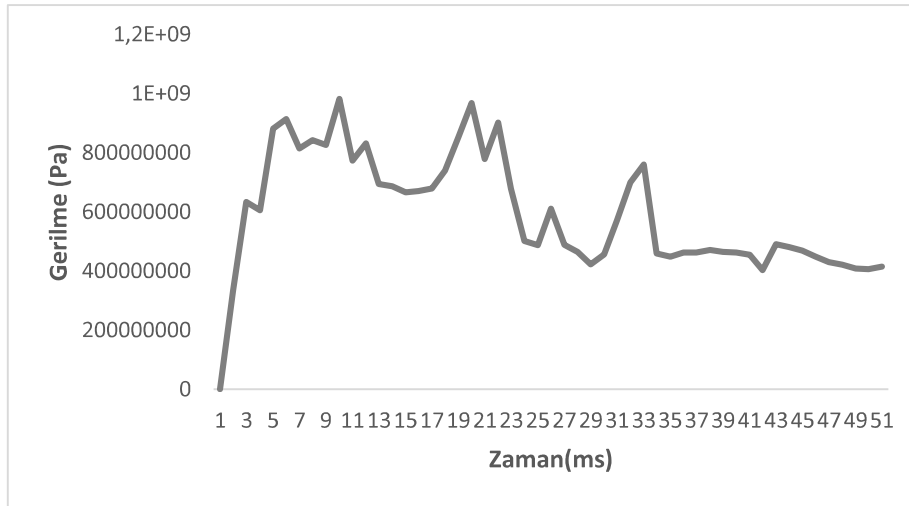
Şekil 4.16. 6 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeği HDPE yüzeyi geçememiştir. 6 mm kalınlığa sahip yüzey mermi çekirdeğini tutmayı başarmıştır. NIJ 3A standardında küresel uçlu mermi çekirdeğini tutmayı başaran HDPE yüzey 810 joule oranında enerji soğurumunu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. 6 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

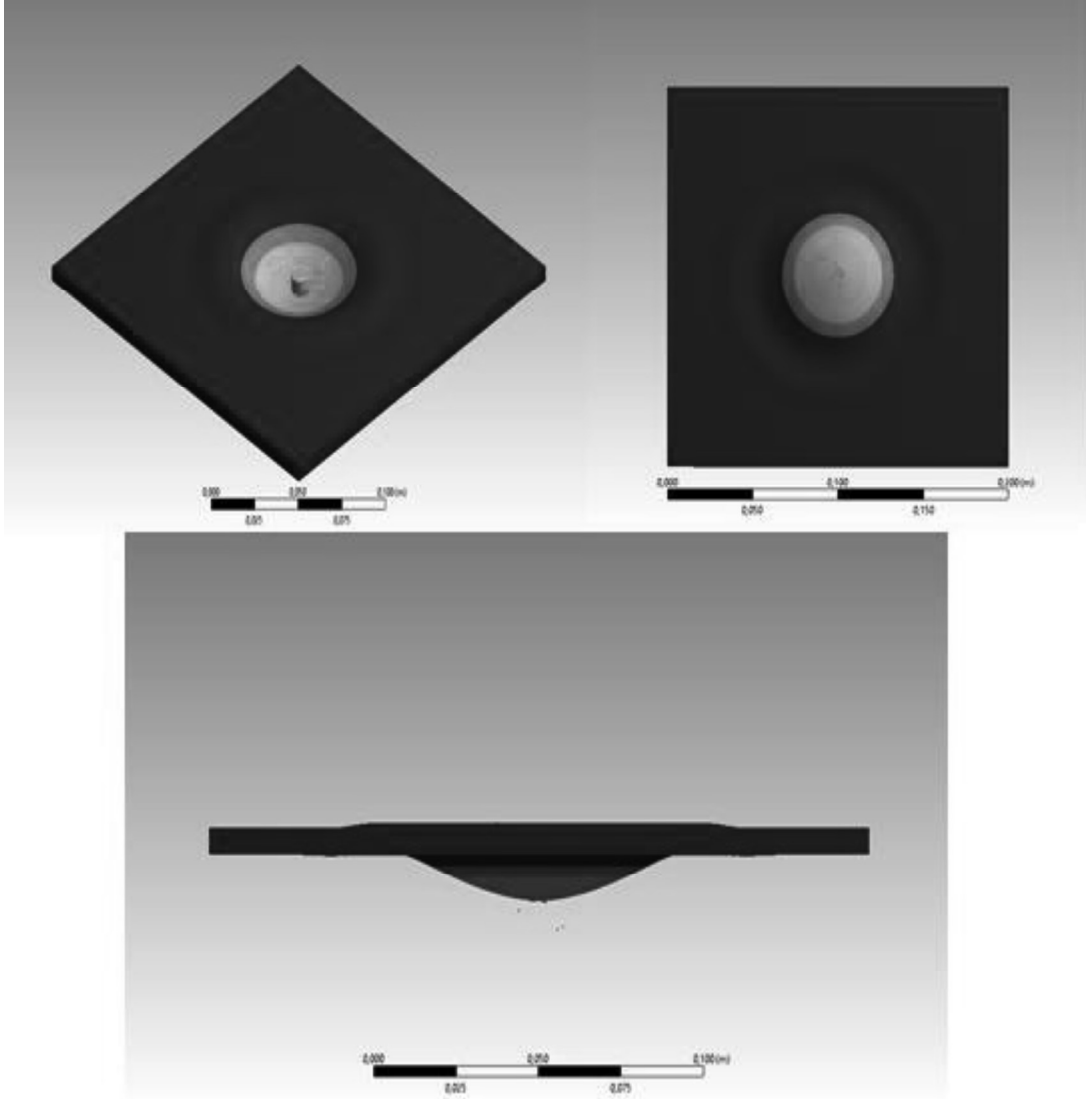
Yüze 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği gerilmeler için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 981 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. 6 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

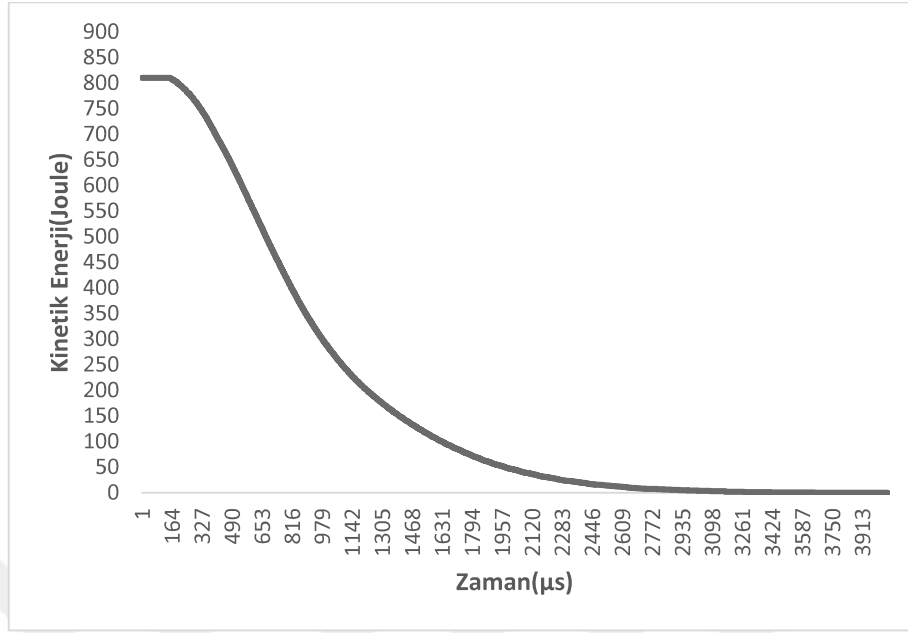
Yedi milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülasyon ortamında modellenmesi sırasında 70630 eleman ve 82441 düğüm

noktası elde edilmiştir. 7 mm kalınlıktaki HDPE yüzey mermi çekirdeğinin geçmesine izin vermemiştir. Mermi çekirdeğinin HDPE yüzey üzerinde meydana getirdiği darbe derinliği miktarı 27.66 mm olarak belirlenmiştir. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.19 da gösterilmiştir.



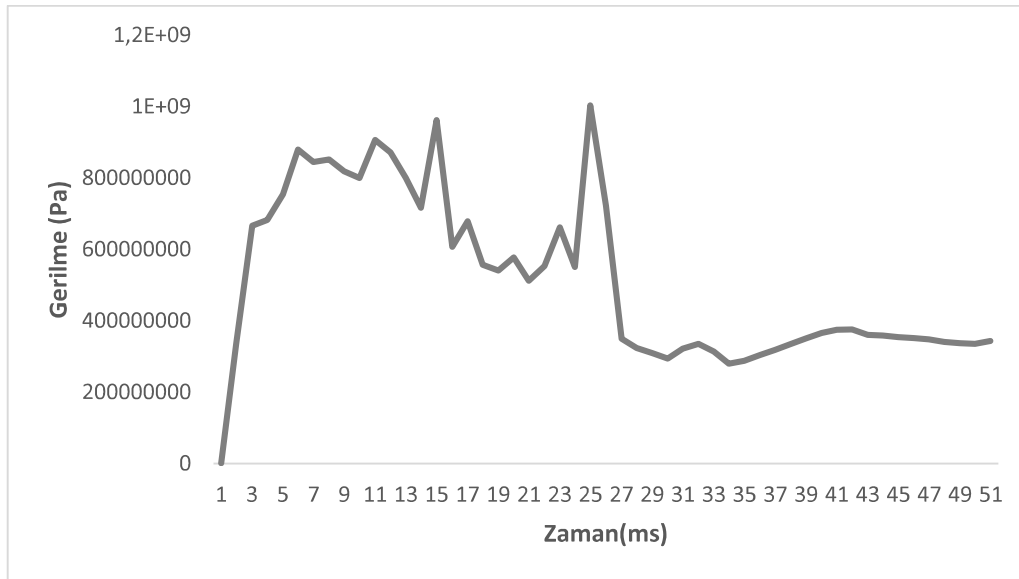
Şekil 4.19. 7 mm kalınlığına sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeği HDPE yüzeyi geçememiştir. 7 mm kalınlığına sahip yüzey mermi çekirdeğini tutmayı başarmıştır. NIJ 3A standardında küresel uçlu mermi çekirdeğini tutmayı başaran HDPE yüzey 810 joule oranında enerji soğurunumu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.20).



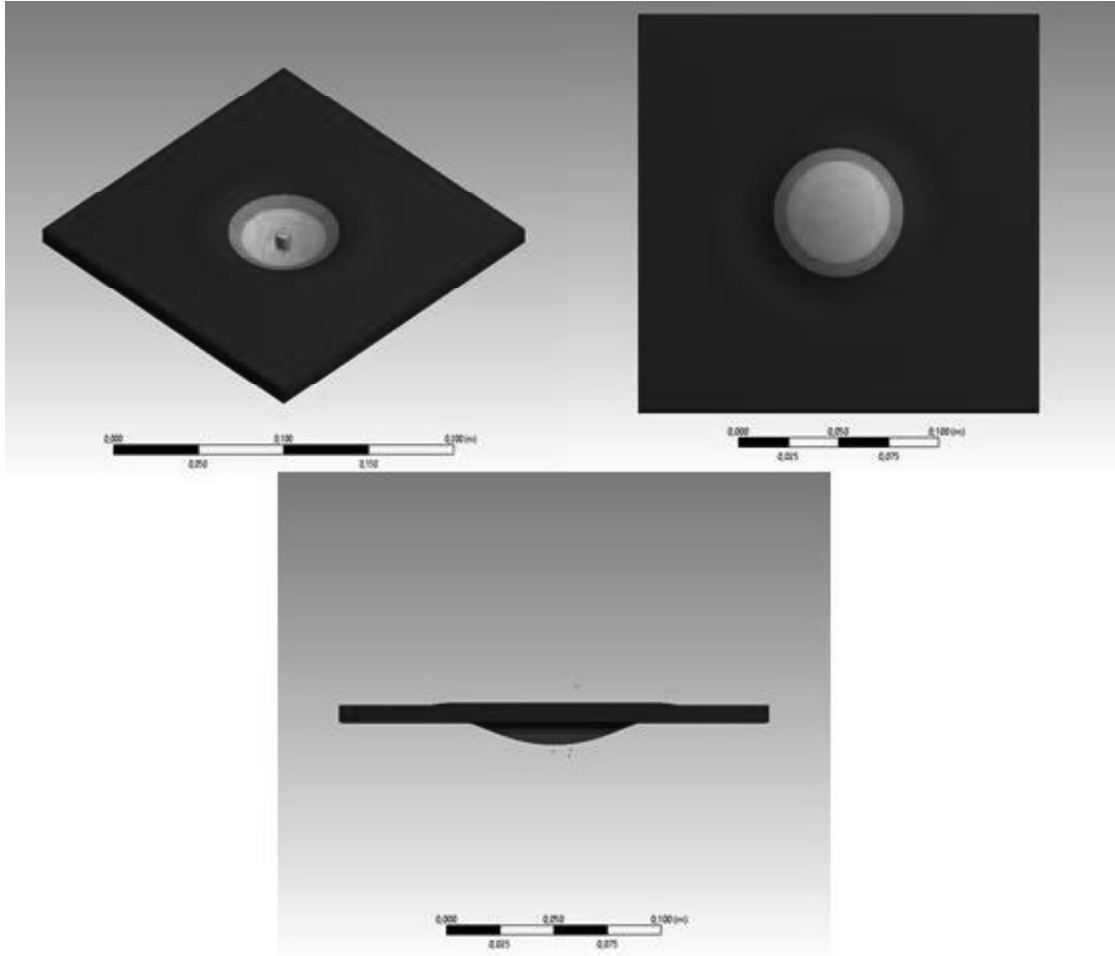
Şekil 4.20. 7 mm kalınlığına sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği gerilmeler için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 905.88 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 4.21).



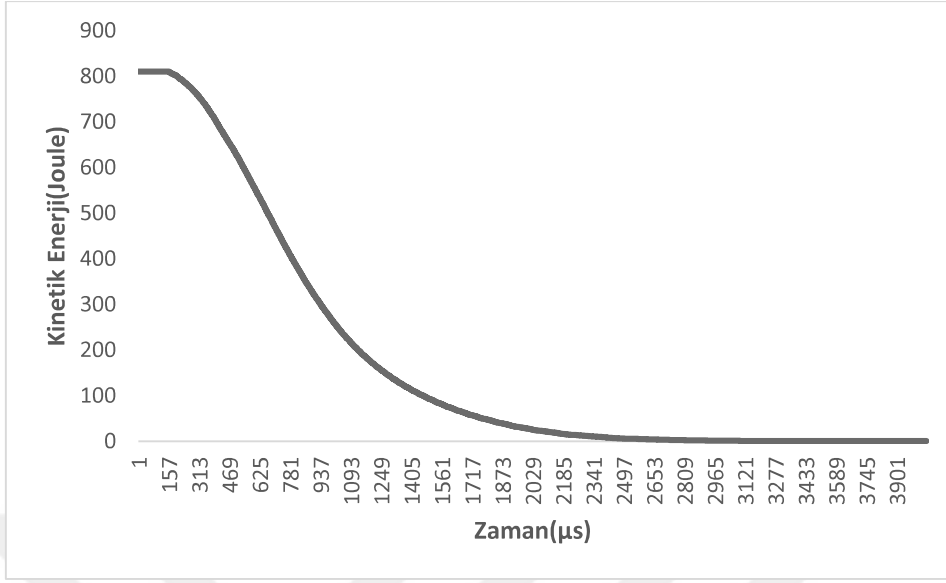
Şekil 4.21. 7 mm kalınlığına sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

Sekiz milimetre kalınlığa sahip yüzeyin balistik performansı incelenmiştir. Yüzey ve modelin simülatif ortamda modellenmesi sırasında 80630 eleman ve 92642 düğüm noktası elde edilmiştir. 8 mm kalınlıktaki HDPE yüzey mermi çekirdeğinin geçmesine izin vermemiştir. Mermi çekirdeğinin HDPE yüzey üzerinde meydana getirdiği darbe derinliği miktarı 24.37 mm olarak belirlenmiştir. Mermi çekirdeğinin yüzeyde meydana getirdiği deformasyon Şekil 4.22 de gösterilmiştir.



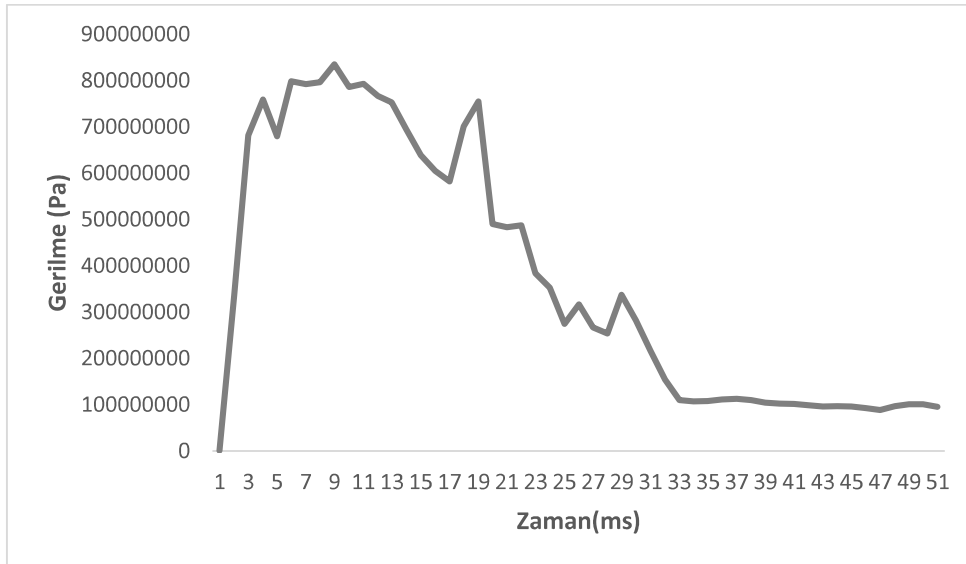
Şekil 4.22. 8 mm kalınlığa sahip yüzeyin balistik test sonrası görünümü.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeği HDPE yüzeyi geçememiştir. 8 mm kalınlığa sahip yüzey mermi çekirdeğini tutmayı başarmıştır. NIJ 3A standardında küresel uçlu mermi çekirdeğini tutmayı başaran HDPE yüzey 810 joule oranında enerji soğurunumu yaptığı belirlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. 8 mm kalınlığa sahip yüzeye çarpan mermi çekirdeğinin enerji-zaman grafiği.

Yüzeye 450 m/s hız ile çarpan mermi çekirdeğinin yüzey üzerinde meydana getirdiği gerilmeler için Von-Mises gerilme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda yüzey üzerinde meydana gelen en yüksek gerilme miktarı 834.51 MPa olarak ölçülmüştür (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. 8 mm kalınlığa sahip yüzey üzerinde meydana gelen gerilme-zaman grafiği.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

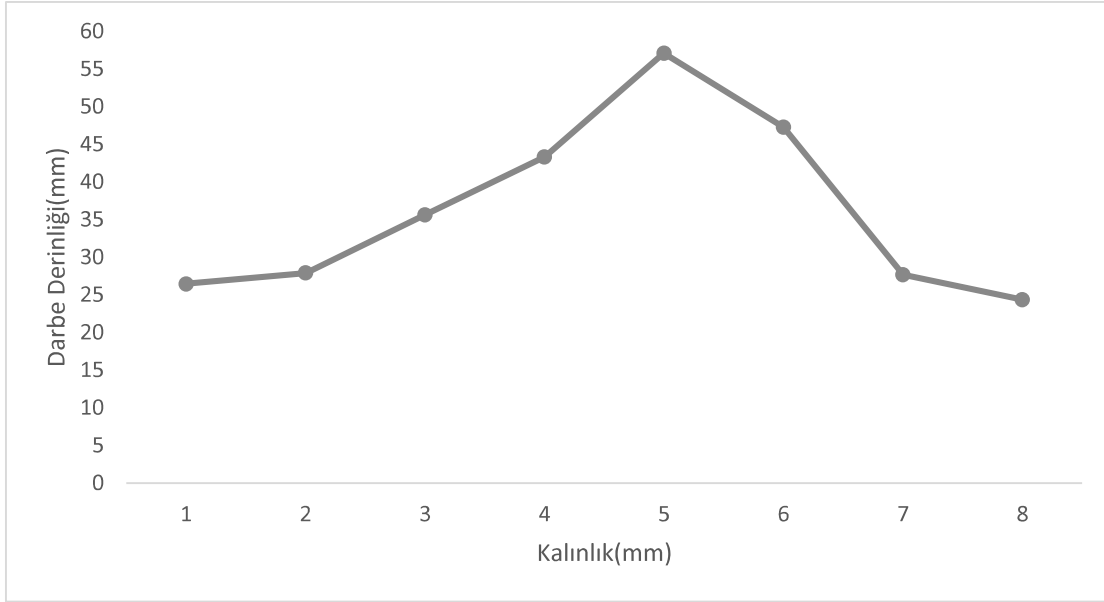
Bu çalışmada, kalınlıkları 1 ile 8 mm arasında değişen 8 farklı kalınlıkta bulunan yeni nesil çevresel koşullara dayanıklı yüksek yoğunluklu polietilen(HDPE) malzemenin NIJ 3A standardına göre balistik performansı incelenmiştir. Farklı kalınlıklardaki yüksek yoğunluklu polietilen(HDPE) yüzey üzerine 9 milimetre kalibrede FMJ küresel uçlu merminin balistik testleri yapılmıştır. Bu testler sırasında 1 milimetreden 8 milimetre kalınlığa sahip ve 200 milimetrelilik kenar uzunluklarına sahip 8 farklı yüzey kullanılmıştır. Polietilen(HDPE) zırhların balistik koruma etkileri ve balistik etkinliği ile ilgili test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Farklı kalınlıklardaki yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) yüzeyin balistik test sonuçları

Kalınlık(mm)	Hız(m/s)	Enerji Soğurunum Miktarı(J)	Yüzey	Darbe Derinliği(mm)	Sonuç(Delinme)
			Üzerindeki En Yüksek Gerilme Miktarı(MPa)		
1	450	452.68	805.49	-	Var
2	450	611.26	924.33	-	Var
3	450	701.07	1106.1	-	Var
4	450	793.38	1255.9	-	Var
5	450	810	1086	57.11	Yok
6	450	810	981	47.25	Yok
7	450	810	905.88	27.66	Yok
8	450	810	834.51	24.37	Yok

Balistik analizler neticesinde 1, 2, 3 ve 4 mm kalınlığındaki yüzeyler mermiyi tutma başarısını gösterememiştir. Mermi çekirdeğinin enerjisini önemli bir miktarda soğurmalarına rağmen 1, 2, 3 ve 4 mm kalınlıktaki yüzeyler delinmiştir. Bunların dışında kalan 5, 6, 7 ve 8 mm kalınlıktaki yüzeyler ise mermi çekirdeğini tutma başarısı göstermişlerdir. Ancak 5 ve 6 mm kalınlığa sahip yüzeyler mermiyi tutmasına rağmen darbe derinlikleri, NIJ 3A standartları çerçevesinde 44 mm sınırını aştığı için bu standart

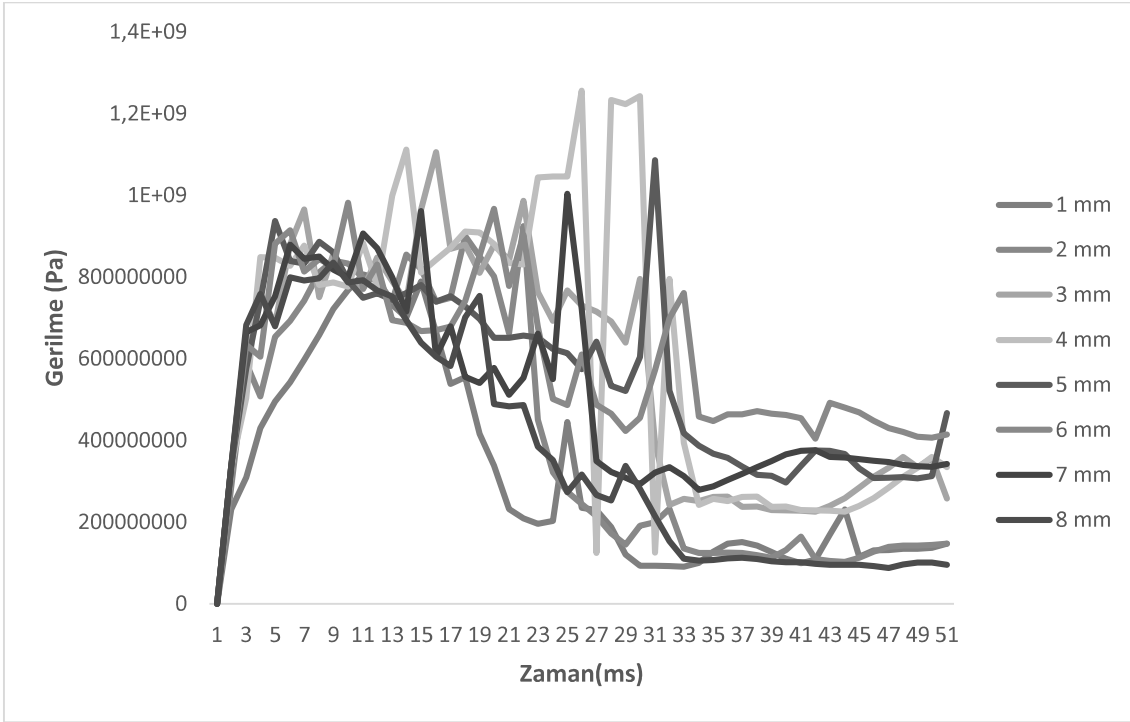
çerçevesinde başarısız olmuştur. Bunların dışında kalan 7 ve 8 mm kalınlığındaki yüzeyler hem mermiyi tutma açısından hem de darbe derinliğinin NIJ 3A standardına uygunluğu açısından başarılı olmuştur.



Şekil 5.1. Kalınlığa göre darbe derinliği değerlerinin değişimini gösteren grafik.

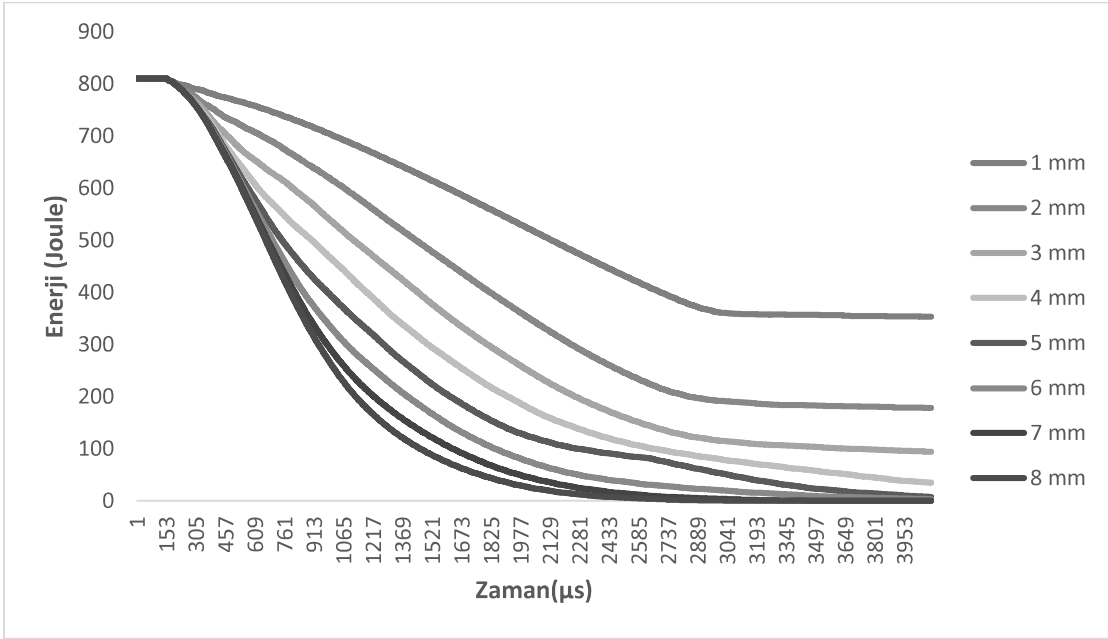
Yapılan çalışma sonucunda kalınlığının artmasıyla, yüzeyin enerji sönmleme yeteneği arasında doğru bir orantı olduğu belirlenmiştir. Ancak kalınlık arttıkça kullanılan yüzeyin hacmi ve kütlesi arttığından en uygun değer olarak 8 mm kalınlıkta bulunan yüzey belirlenmiştir (Şekil 5.1).

Bu çalışmada yapılan gerilme analizleri sonucunda yüzey kalınlığının artmasıyla malzemenin maruz kaldığı maksimum gerilme miktarı azalmaktadır. Elde edilen bu doğru orantı yüzeyin delinmediği durumlar için geçerlidir. Aksi takdirde 1 mm kalınlıktaki yüzeyden 4 mm kalınlıktaki yüzeye gelene kadar gerilme miktarı hep artmıştır. Ancak 5 mm kalınlıktaki yüzeyden 8 mm kalınlıktaki yüzeye gelene kadar gerilme miktarı azalma eğilimi göstermiştir. Farklı kalınlıktaki yüzeyler arasında balistik çarpışma sırasında en yüksek gerilme miktarına maruz kalan 1255.9 MPa gerilme değeriyle 4 mm kalınlığa sahip yüzey olduğu elde edilmiştir. En düşük gerilme miktarına sahip yüzey ise 834.51 MPa değeriyle 8 mm kalınlığa sahip yüzeyin olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Farklı kalınlıktaki yüzeylerin zamana göre gerilme miktarını gösteren grafik.

Balistik performans testlerinde en önemli parametrelerden biri balistik koruma amaçlı kullanılan malzemenin enerji sönmleme yeteneğidir. Bu çalışmada yüzey kalınlığı arttıkça balistik malzemenin enerji sönmleme yeteneğinin arttığı görülmüştür. Ancak enerji sönmleme miktarı yüzeyin mermiyi yakaladığı kalınlığa kadar yani 5 mm kalınlığa kadar artmaktadır. Bu kalınlıktan sonra gelen yüzeyler mermiyi yakaladığı için enerji sönmleme miktarında değişim görülmemiştir. Ancak her ne kadar 5 ve 6 mm kalınlığındaki yüzeyler delinme meydana gelmese de darbe derinliği miktarı NIJ 3A standartları dışına çıkmıştır. Dolayısıyla NIJ 3A standardı kapsamında yüzeyin sadece mermiyi tutması değil aynı zamanda belirlenen 44 mm darbe derinliği miktarını aşmaması gerekmektedir. Enerji sönmleme miktarı 452.68 J olan 1 mm kalınlığa sahip yüzey en düşük enerji sönmleme miktarına sahip olduğu elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Farklı kalınlıktaki yüzeylerin zamana göre enerji soğurum miktarını gösteren grafik.

Yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde balistik testlerde prototip kullanılıp test yapılması yerine gerçek zamanlı ve düşük hata yüzdelerine sahip simülatif programların kullanılması maliyet ve süre açısından önemli bir farklılık oluşturmuştur. Balistik koruma amaçlı kullanılan HDPE yüzeyin kullanılabilirliği, maliyeti, çevre koşullarına göre dayanımı, uzun ömürlü olması ve zamanla herhangi bir bozulmaya uğramaması gibi açılardan bor karbid, fiber ve metal malzemelere göre kullanılabilirliğinin daha iyi olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akman Y., 2012. *Eskitmeye Tabi Tutulan Kompozit Başlıkların Balistik Testlerinin Yapılması ve Analizi* (yüksek lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Aktaş L.T., 2018. *Finite Element Analysis of Material and Parameter Effects in Ballistic Armors* (yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Alarçin S., 2014. *Savunma Sanayiinde Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi* (yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.
- Anonim, 2016. Balistik Bilimi. <https://www.egm.gov.tr/kriminal/balistikuzmanlik>. Erişim tarihi: 12.08.2019
- Anonim, 2017. NIJ Standardında kullanılan mermiler ve özellikleri. <https://www.paganx.org/mermilerin-yapisi>. Erişim tarihi: 10.03.2019.
- Barut C., 2015. *Aramid Esaslı Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi* (yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Berk B., 2014. *Finite Element Simulation of Ballistic Impact on Composite Plates* (yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Bekiroğlu, S., 2010. *P-Yöntemine Dayalı Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar ile Yapıların Elastostatik ve Elastodinamik Analizi* (doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Borvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S., Malo, K.A., 1999. Ballistic penetration of steel plates. *International Journal of Impact Engineering*, **22**: 855-886.
- Bozdoğan F., Üngün S., Temel E., Süpüren Mengüç G., 2015. Balistik koruma amaçlı kullanılan tekstil materyalleri, özellikleri ve balistik performans testleri. *Tekstil ve Mühendis*. **22**: 84-103.
- Bunsell, A.R., 2009. *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Candan, C., 2005. *Kompozit Zırh İmalat Parametrelerinin Terminal Balistik Özellikler Üzerine Etkileri* (doktora tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Cerkez İ., Ulcay Y., 2007. Kolloidal silika dispersiyonunun polietilen dokusuz yüzeyin enerji absorpsiyonuna olan etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. **12**: 24-31.
- Çengel, Y.A., Ghajar, A.J., 2015. *Heat Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill, New York.
- Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., 2015. *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*. McGraw-Hill. New York.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2012. *Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımlarıyla*. McGraw-Hill. New York.
- Çetinel, H., 2000. Polietilen ve polipropilenin mekanik özelliklerinin incelemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, **2**: 79-87.

- Çolakoğlu, M., Soykasap, Ö., 2008. Hafif silahlara karşı zırh yapımında kullanılan polimer matrisli kompozitlerin balistik özelliklerinin incelenmesi. **106M104 nolu Proje Raporu**, Afyonkarahisar.
- Deniz, T., 2010. **Ballistic Penetration of Hardened Steel Plates** (yüksek lisans tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dey, S., Borvik, T., Teng, X., Wierzbicki, T., Hopperstad, O.S., 2007. On the ballistic resistance of double-layered steel plates: An experimental and numerical investigation. **International Journal of Solids and Structures**, **44**: 6701-6723.
- Fawaz, Z., Zheng, W., Behdinan, K., 2004. Numerical simulation of normal and oblique ballistic impact on ceramic composite armours. **Composite Structures**, **63**: 387–395.
- Hammond, R.I., 2004. **Shock and Ballistic Properties of Bainitic Steels and Tungsten Alloys** (doctoral thesis). University of Cambridge.
- Karahan M., Kuş A., Eren R., 2007. An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics. **International Journal of Impact Engineering**, **35**: 499–510.
- Lee, M., Yoo, Y. H., 2001. Analysis of ceramic/metal armour systems. **International Journal of Impact Engineering**, **25**: 819–829.
- Lim, C.T., Shim, V.P.W., Ng, Y.H., 2003. Finite element modeling of the ballistic impact of fabric armor. **International Journal of Impact Engineering** **28**: 13-31.
- McKenna, H.A., Hearle, J.W.S., 2004 **Handbook of Fiber Rope Technology**. Woodhead Publishing, Cambridge.
- Minh, C.H., Kanit, T., Boussu, F., Imad, A., 2011. Numerical multi-scale modeling for textile woven fabric against ballistic impact. **Computational Materials Science**, **50**: 2172-2184.
- Mobasseri, A. A., Reza Ansari, A. R., Zarei, H. R., Sedighi, M., Mobasseri, F., 2013. Optimization of combined layers produced by the ceramic/composite and ceramic/aluminum plates. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, **7**: 199-210
- Mohan, S., Velu, S., 2014. Ballistic impact behaviour of unidirectional fibre reinforced composites. **International Journal of Impact Engineering**, **63**: 164-176.
- Özek, T., 2005. **Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi** (yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Özer İ., 2015. **Balistik Çarpma Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi** (yüksek lisans tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü. Hatay.
- Özşahin, E., 2008. **Alüminyum Levhaların Yüksek Hızlı Çarpma Yükleri Altındaki Davranışları** (yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Roeder, B. A., Sun, C. T., 2001. Dynamic penetration of alumina/aluminum laminates: experiments and modeling. **International Journal of Impact Engineering**, **25**: 169-185.
- Roisman, I.V., Yarin, A.L., Rubin, M.B., 2001. Normal penetration of an eroding projectile into an elastic-plastic target. **International Journal of Impact Engineering**, **25**: 573-597.

- Sabah, A., 2018. *Çelik Tel Örgü Aramid Takviyeli Kompozit Tabaka Üretimi ve Balistik Performansının İncelenmesi* (yüksek lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Sánchez-Gálvez V., Díaz-Rubio F. G., 1998. *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*. Springer Science and Business Media, New York.
- Shokrieh M.M., Javadpour G.H., 2008. Penetration analysis of a projectile in ceramic composite armor. *Composite Structures*, **82**: 269–276.
- Şanlı, F., 2008. *Darbe Tesiri Altındaki Kompozit Levhanın Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu* (yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tan V.B.C., Ching T.W., 2006. Computational simulation of fabric armour subjected to ballistic impacts. *International Journal of Impact Engineering* **32**: 1737-1751.
- Tawadrous, R. I., Attia, W. A., Laissy M. Y., 2016. Using ceramic plates as shielding for concrete blocks against projectile penetration. *Housing and Building National Research Center Journal*, **12**: 263-271.
- Tepedüzü B. 2017. *Ballistic Performance of Hybrid Composite Structures* (yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Temiz, S., 2005. *Balistik Kumaş ve Test Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma* (yüksek lisans tezi) Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tham C.Y., Tan V.B.C., Lee H.P., 2008. Ballistic impact of a kevlar helmet: Experiment and simulations. *International Journal of Impact Engineering*, **35**: 304–318.
- Uslu, M., 2007. *Docol 22MnB5 Çeliğinin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi* (yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wambua, P. Vangrimde, B., Lomov S., Verpoest I., 2007. The response of natural fibre composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. *Composite Structures*, **77(2)**: 232-240.
- Wielewski, E., Birkbeck, A., Thompson, R., 2013. Ballistic resistance of spaced multi-layer plate structures: Experiments on fibre reinforced plastic targets and an analytical framework for calculating the ballistic limit. *Materials and Design*, **50**: 737-741.
- Yang, J., Dai, J., 2010. Simulation based assessment of rear effect to ballistic helmet impact. *Computer-Aided Design and Applications*, **7**: 125-130.
- Yavas M.O. 2008. *Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı* (yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Zhou, Y., Chen X., 2015. Numerical investigation into the influence of fabric construction on ballistic performance. *Composites Part B: Engineering*, **76**: 209-217.



ÖZ GEÇMİŞ

1991 yılında Van'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Van'da tamamladı. 2010 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2014 yılı Haziran ayında mezun olduktan sonra vatani görevini tamamladı. 2015 yılında Kahramanmaraş merkezli Kipaş Holding A.Ş. bünyesinde bulunan iplik fabrikalarında bakım ve onarım mühendisliği görevinde bulundu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2018 yılında mesleki hayatında Türk Standartları Enstitüsü'nde inceleme uzmanı olarak göreve başladı ve halen bu görevde devam etmektedir.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 19/11/2019

Tez Başlığı / Konusu:

**NIJ 3A STANDARTINA GÖRE YENİ NESİL BALİSTİK YÜZEY DİZAYNI VE ENERJİ
SOĞURUNUMLARININ SİMÜLATİF ORTAMDA İNCELENMESİ**

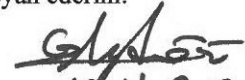
Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 50 sayfalık kısmına ilişkin, 19/11/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 (dört) tür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre 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.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.


19.11.2019
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Gökhan AYDINÖZÜ

Öğrenci No: 169101043


Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji Bilim Dalı

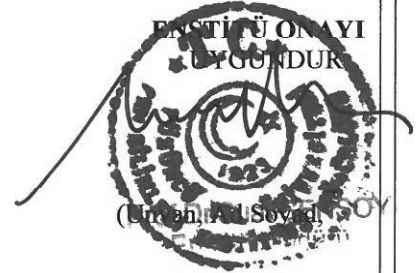
Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR


Dr. Öğr. Üy. A. Hüseyin KARABEY
(Unvan, Ad Soyad, İmza)
İmza

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR


(Unvan, Ad Soyad, İmza)