



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

**ZIRH ÜRETİMİNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELERİN
ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE MEKANİK VERİMLİLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA TOMBUL

HAZİRAN

**ZIRH ÜRETİMİNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELERİN
ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE MEKANİK VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa TOMBUL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman
Doktor Öğretim Üyesi Hakan KAZAN**

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2024

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Mustafa TOMBUL tarafından hazırlanan “Zırh Üretiminde Kullanılan Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Mekanik Verimliliğinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAZAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Doç. Dr. Akar DOĞAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Munzur Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Kürşat TÜRKOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa TOMBUL

26/06/2024

ZIRH ÜRETİMİNDE KULLANILAN KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM
YÖNTEMLERİ VE MEKANİK VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa TOMBUL

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(HAZİRAN 2024)

ÖZET

Savunma sektörünün önemli branşlarından kişisel balistik koruyucuların yapımında kullanılan malzemelerin mukavemet değerleri yüksek, esnek ve yoğunluğu düşük malzemelerden seçilmesi, birçok ar-ge çalışmasında ve akademik çalışmada vurgulanmaktadır. Bu özellikler göz önüne alındığında kompozit malzemeler, zırh yapımında oldukça yaygın kullanılan malzemeler arasında önemli yer tutmaktadır.

Kompozit malzemeler kullanılarak tasarlanan ve üretilen Bomba Uzmanı Elbiseleri, Bomba Uzmanlarını asimetrik savaşlarda, operasyonlarda ve şüpheli paket müdahalelerinde patlamanın etkilerinden koruyan kişisel balistik koruyuculardandır. Bu elbiselerin, Bomba Uzmanının fiziksel hareketlerini, termal ve mental durumlarını ve çalışma performansını minimum seviyede etkileyecek Resimde hafif, esnek ve koruyucu özellikleri yüksek özellikte olması gerektiği, sahada aktif çalışan Bomba Uzmanlarının görüşleri, literatür araştırmaları ve üretici firma testleri neticesinde anlaşılmıştır. Bu çalışmada, zırh yapımında kullanılan kompozit malzemelerden, fiber takviyeli kompozit malzemelerden Aramid fiber, Cam fiber ve Karbon fiber'in balistik uygulamalarda kullanılabilir olduğu ve Bomba Uzmanı Elbisesinde kullanılabilecek özelliklere sahip oldukları yapılan araştırmalar neticesinde anlaşılmıştır.

Malzemelerin balistik uygulamadaki performansının ve gelişiminin, teorik bilgiler olmasının yanı sıra deneysel çalışmaların ışığında incelenmesi ve netice olarak günümüz balistik uygulamalarına uygun amaca yönelik ihtiyaç duyulan bir malzemenin tasarlanması amacıyla Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Daire Başkanlığı Bomba İmha ve İnceleme Şube Müdürlüğü tarafından kullanılmış ve emekliye ayrılmış, Kanada menşeli Med-Eng Firması tarafından üretilen EOD 9 model Bomba Uzmanı Elbisesi temin edilerek, tasarım ve malzeme yapısı fiziksel olarak incelenmiştir.

Yapılan incelemeler neticesinde EOD 9 Bomba Uzmanı Elbisesi ısıya dayanıklı kumaş kılıfların içerisinde 22 adet, 0,25 mm kalınlığında, plain dokuma, Kevlar marka Aramid fiber malzemeler ile balistik özellik sağlandığı gözlenmiştir. Ceket, entegre kasık koruyucu, sırt koruyuculu pantolon, balistik kask ve vizör gibi ana parçalardan oluşan medium beden EOD 9 model elbise soğutucu ekipmanlar, KBRN ekipmanları ve havalandırma ünitesi gibi diğer ekipmanlar ile yaklaşık 40 kg ağırlığındadır. Bu nedenle mevcut mukavemet özelliklerinin korunarak veya iyileştirilerek elbisenin esnek hale getirilip hafifletilmesi amacıyla matris malzeme olarak epoksi reçine, fiber takviye elemanı olarak ise aynı kalınlıklarda altışar adet aramid fiber (plain dokuma, 245 gr/m²), cam fiber (plain dokuma, 200 gr/m²) malzemeler kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile ve prepreg karbon fiber (twill dokuma, 245 gr/m²) malzeme ile altı adet farklı dizilişlere sahip deney numuneleri üretilmiştir. Ayrıca bu malzemelerden çekme ve basma numuneleri üretilerek mekanik testleri yapılmıştır.

Üretilen numuneler balistik ışığında ve NIJ (The US National Institute of Justice - Ulusal Adalet Enstitüsü) standartları doğrultusunda 9*19 mm fişek ile 5 metre mesafeden tabanca atışı yapılarak balistik uygunlukları test edilmiştir.

Ek olarak Bomba Uzmanı Elbisesinin pantolon kısmında diz ile bilek arasındaki bölüm, parça tesirli, 100 gram C-4 plastik patlayıcı ile 1 metre mesafede patlamaya maruz bırakılmış ve pantolon üzerindeki patlamanın etkileri incelenmiştir.

Ayrıca numunelerin mekanik verileri ışığında Solidworks programı ile katı modellemeleri çizilerek ANSYS analiz programı ile balistik testlerdeki katman kombinasyonlarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyon testleri yapılarak EOD 9 model Bomba Uzmanı Elbisesinde kullanılan aramid fiber malzemeye karşın aramid fiber, cam fiber ve karbon fiber katmanlı kompozitlerin birbirine göre olumlu ve olumsuz değerlendirmeleri yapılmıştır.

Sayfa Adedi : 142

Anahtar Kelimeler : Balistik, Bomba Uzmanı Elbisesi, Aramid, Cam fiber, Karbon fiber

Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Hakan KAZAN

INVESTIGATION OF PRODUCTION METHODS AND MECHANICAL EFFICIENCY OF COMPOSITE MATERIALS USED IN ARMOR CONSTRUCTION

(M. Sc. Thesis)

Mustafa TOMBUL

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2024

ABSTRACT

It is emphasized in many R&D studies and academic studies that the materials used in the construction of personal ballistic protectors, one of the important branches of the defense industry, are selected from materials with high strength values, flexibility and low density. Considering these features, composite materials have an important place among the materials widely used in armor construction.

Bomb Expert Suits, designed and produced using composite systems, are personal ballistic protectors that protect Bomb Experts from the effects of explosions in asymmetric warfare, operations and suspicious package intercepts. This suit must be flexible and have high protective properties that can easily change the Bomb Specialist's physical movements, thermal and mental states and working skills to a minimum level. It has been understood that the results of the studies of Bomb Experts actively working in the field, literature research and manufacturer companies have emerged.

In this study, it was understood as a result of the research that Aramid fiber, Glass fiber and Carbon fiber, which are fiber reinforced composite materials used in armor making, can be used in ballistic applications and have properties that can be used in Bomb Expert Suit.

It is aimed to examine the performance and development of materials in ballistic applications in the light of experimental studies as well as theoretical information, and as a result, to produce a needed material suitable for today's ballistic conditions.

For this reason, the EOD 9 model Bomb Expert Suit, produced by the Canadian Med-Eng Company, used by the Bomb Disposal and Investigation Branch of the Criminal Department of the General Directorate of Security, was procured and its design and material structure were physically examined.

As a result of the examinations, it was observed that the EOD 9 Bomb Specialist Suit provides ballistic properties with 22 pieces of 0.25 mm thick, plain woven, Kevlar brand Aramid fiber materials in heat-resistant fabric covers. The medium size EOD 9 model suit, consisting of main parts such as jacket, integrated crotch protector, trousers with back protector, ballistic helmet and visor, weighs approximately 40 kg with other equipment such as cooling equipment, CBRN equipment and ventilation unit. For this reason, in order to make the dress flexible and lighten by preserving or improving the existing strength properties, epoxy resin is used as matrix material, and six pieces of aramid fiber (plain woven, 245 g/m²) and glass fiber (plain woven, 200 g/m²) of the same thickness are used as fiber reinforcement elements. Six test samples with different alignments were produced by vacuum infusion method using materials (m²) and prepreg carbon fiber (twill woven, 245 gr/m²) material. Additionally, tensile and compression samples were produced from these materials and mechanical tests were performed.

The produced samples were tested for their ballistic suitability by firing a pistol from a distance of 5 meters with a 9*19 mm cartridge under ballistic conditions and in line with NIJ (The US National Institute of Justice) standards.

In addition, the part between the knee and the wrist of the trousers of the Bomb Specialist Suit was exposed to an explosion with 100 grams of C-4 plastic explosive with fragmentation effect at a distance of 1 meter, and the effects of the explosion on the trousers were examined.

Number of pages : 142

Keywords : Ballistic, Bomb Specialist Suit, Aramid, Glass fiber, Carbon fiber

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Hakan KAZAN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İnsanoğlu var olduğu müddetçe saldırılardan korunma ihtiyacına yönelik çalışmalar yaparak savunma alanında çeşitli kabiliyetler kazanmıştır. Süregelen bu çalışmalar incelenerek zırh yapımında kullanılan ve kullanılabilir olacak malzemelerin çağımıza ve gelişen savunma sistemlerine ayak uydurması kapsamında Bomba Uzmanı Elbisesi özelinde kompozit malzemelerin hafiflik, mukavemet, esneklik, ergonomik ve konfor yapılarının geliştirilebilirliğini test etmek amacıyla ürettiğimiz kompozit plakaları nümerik, mekanik ve fiziki balistik testlere tabi tuttuk ve özellikle üzerinde çok az sayıda akademik ve fiziki çalışma olan zırh teknolojisi özelinde Bomba Uzmanı Elbiseleri konusunda literatüre kapsamlı bir çalışma katkısı sunduk.

Bu çalışmada kıymetli zamanlarını ve her türlü desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ediyorum. Çalışmalarım konusunda bana güvenerek ve inanarak desteklerini her daim üzerimde tutan danışman hocam Amasya Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAZAN'a, bilimsel çalışmalarına vermiş olduğu değerli desteklerinden dolayı Makine Mühendisi Ömer TAK'a, atöyle çalışmaları ve mekanik testlerde yardımını esirgemeyen Tunceli Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Akar DOĞAN'a, inceleme ve deneylerde kullanılan malzemeler ve akademik olarak sağladıkları katkıdan dolayı Kriminal Daire Başkanlığı Bomba İmha ve İnceleme Şube Müdürlüğünde görevli Şube Müdür V. Bomba Uzmanı Başkomiser Osman TÜYSÜZ, Komiser Bomba Uzmanı Ümit Zafer GENÇ, Bomba Uzmanı Orhan KAYA ve Bomba Uzmanı Serhat PERKTAŞ'a, malzeme ve balistik testlerde katkı sunan Emekli Bomba Uzmanı ve Balistik Uzmanı Bekir Levent YAPSAN'a, poligon, personel, çevre güvenliği, balistik testler ve patlama testi konusunda verdikleri destek sebebiyle Tunceli Emniyet Müdürü Sayın Hakan DUMAN'a ve Terörle Mücadele Şube Müdürü Barış MACİT'e. Tunceli Emniyet Müdürlüğü Bomba İmha ve İnceleme Büro Amirliği personelleri Bomba Uzmanı Komiser Ali GÜL, Bomba Uzmanı Kürşat GÖKMEN, Bomba Arama Köpeği İdarecisi Yusuf KELEŞ ve Bomba Arama Köpeği İdarecisi Talip TÜMMÜ'ye şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xxi
GRAFİKLER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxviii
1.GİRİŞ	1
1.1.Tarihçe	1
1.2.Amaç ve Kapsam	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI.....	7
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	15
3.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	15
3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları;	15
3.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları;	16
3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	16
3.2.1. Matris Malzemelerine Göre Kompozitler	17

Sayfa

3.2.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	18
3.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler	19
3.2.1.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler	19
3.2.1.3.1. Termoplastikler	19
3.2.1.3.2. Termoset Plastikler	19
3.2.2. Takviye Malzemesine Göre Kompozitler	20
3.2.2.1. Partikül Takviyeli Kompozitler	21
3.2.2.2. Tabaka Takviyeli Kompozitler	22
3.2.2.3. Fiber Takviyeli Kompozitler	22
3.2.2.4. Dolgu Takviyeli Kompozitler	23
3.3. Epoksi Reçine	23
3.4. Polyester Reçine	25
3.5. Vinilester Reçine	25
3.6. Fenolik Reçine	25
3.7. Zırh Yapımında Kullanılan Fiberler	25
3.8. Fiber Kumaşların Örgü Resimleri:	27
3.8.1. Düz Dokuma (Plain Weave)	29
3.8.2. Düz Dokuma (Plain Weave)	29
3.8.3. Kabarık Dokuma (Twill Weave)	29

Sayfa

3.8.4. Atlas Dokuma (Satin Weave)	30
3.8.5. Mat Dokuma (Mat Weave)	30
3.9. Doğal Fiber Takviyeler	31
3.10 Sentetik Fiber Takviyeler.....	31
3.10.1. Aramid Elyaf.....	31
3.10.2. Cam Elyaf	33
3.10.3. Karbon Elyaf.....	35
3.11. Hibrit Kompozitler.....	37
3.12. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	38
3.12.1. Elle Yatırma (Hand Lay-up)	38
3.12.2. Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)	39
3.12.3. Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Winding).....	39
3.12.4. Vakum İnfüzyon Yöntemi (vakum bagging).....	40
3.12.5. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi	41
3.12.6. Otoklav Kalıplama Yöntemi	42
3.12.7. Otoklav Dışı Torbalama – Prepreg	43
3.13. Kompozit Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması	43
4. BALİSTİK.....	45
4.1. Balistik Türleri	45

Sayfa

4.1.1. İç Balistik	45
4.1.2. Dış Balistik.....	46
4.1.3. Hedef (Terminal) Balistik	46
4.2. Hasar Mekanizmaları	47
4.3. Balistik Performansa Etki Eden Parametreler.....	51
4.3.1. Sürtünme	51
4.3.2. Malzeme Özellikleri.....	51
4.3.3. Kumaş Özellikleri	52
4.3.4. Çekirdek Geometrisi	53
4.3.5. Çarpma Hızı	54
4.3.6. Katman Sayısı	55
4.4. Balistik Koruma Kullanım Alanları.....	55
4.5. Balistik Deney Standartları	55
4.6. NIJ Standardı Balistik Test Esasları.....	59
4.6.1. Backface Signature (BFS).....	59
4.7. NIJ 0101.06 Standardı.....	60
4.8. NIJ-0117.01 Standardı	61
4.9. MIL-STD-662-F V50 testi	62
4.10. Stanag 2920 testi	63

Sayfa

5. BOMBA UZMANI ELBİSESİ	64
5.1.Amaç	65
5.2. Ergonomi.....	66
5.3. Patlamanın Etkileri.....	68
5.3.1. Basınç ve Darbe Etkisi.....	68
5.3.2.Parça Etkisi	69
5.3.3. Isı Etkisi	69
5.4. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi	71
5.4.1. Ceket ve Bağlantı Kablosu.....	72
5.4.2. EOD 9 Kask	73
5.4.3. Entegre Kasık Koruyucu (EKK).....	73
5.4.4. Pantolon, Sırt Koruyucu ve Bot Kılıfları	74
5.4.5. Taşıma Çantası.....	75
5.5. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin Fiziksel Özellikleri	76
5.5.1. Boyutlandırma.....	76
5.5.2. Renk	77
5.5.3. EOD 9 Suit Bileşen Ağırlıkları	77
5.5.4. Bileşen Materyali	77
5.6. Performans Özellikleri	78

Sayfa

5.6.1. Parçalanma Koruması	78
5.6.2. Tam Ölçekli Patlama Testi.....	80
5.6.3. Göğüs Aşırı Basıncı	81
5.6.4. Darbe Koruması	82
5.6.5. Isı Koruması.....	83
6. MATERYAL VE YÖNTEM	84
6.1. Kompozit Malzemeler	85
6.1.1. Aramid Fiber	85
6.1.2. Karbon Fiber	86
6.1.3. Cam Fiber.....	88
6.1.4. Epoksi Reçine	90
6.2. Vakum İnfüzyon Yöntemi.....	91
6.3. Deney Numuneleri	92
6.3.1. Numune 1	93
6.3.2. Numune 2	94
6.3.3. Numune 3	94
6.3.4. Numune 4.....	95
6.3.5. Numune 5	95
6.3.6. Numune 6.....	96

Sayfa

6.3.7. Numune 7	96
6.3.8. Numune 8	97
6.4. Tabanca	97
6.5. Fişek	98
6.6. Balistik Deneyler	99
6.7. Patlayıcı Madde ile Balistik Parça Etkisi Deneyi.....	100
6.8. Çekme Deneyleri	103
6.8.1. Cam Fiber.....	104
6.8.2. Karbon Fiber Kompozit	106
6.8.3. Aramid (Kevlar).....	108
6.9. Katman Sayıları Değiştirilen Kompozit Malzemelerin Çekme Gerilmelerine Etkisinin Taguchi L9 Orthogonal Array Kullanılarak İstatistiksel Karşılaştırılması.....	110
7. NÜMERİK İNCELEME	112
7.1. Sınır Şartları	112
7.2. Nümerik Balistik Deneyler.....	113
7.2.1. Nümerik Deney 1	115
7.2.2. Nümerik Deney 2	118
7.2.3. Nümerik Deney 3	120
7.2.4. Nümerik Deney 4	122

Sayfa

7.2.5. Nümerik Deney 5	125
7.2.6. Nümerik Deney 6	127
7.2.7. Nümerik Deney 7	130
8.SONUÇ	133
KAYNAKLAR.....	136
ÖZGEÇMİŞ	142

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kompozit malzeme yapısı.....	16
Şekil 3.2. Kompozitlerin sınıflandırılması	17
Şekil 3.3. Matris Malzeme Türüne Göre Kompozitler.....	17
Şekil 3.4. Matris Malzemenin Özellikleri	18
Şekil 3.5. Termoplastik ve Termoset Farkları.....	20
Şekil 3.6. Takviye malzemesine göre kompozitler	21
Şekil 3.7. Parçacık takviyeli kompozit kesitleri	21
Şekil 3.8. Açılı tabakaların ayrılmış hali.....	22
Şekil 3.9. Değişik yapıda fiber kompozitler.....	23
Şekil 3.10. Dolgu takviyeli kompozit iç yapısı	23
Şekil 3.11. Epoksi reçinenin kimyasal bileşen yapısı	24
Şekil 3.12. Epoksi reçine ile katalizörün çapraz bağlanma şeması	24
Şekil 3.13. Gerilme-Resim değiştirme	27
Şekil 3.14. Liflerin Temel Boyutları	27
Şekil 3.15. Elyaf kumaşlar	28
Şekil 3.16. Atkı ve Çözüğü görseli	28
Şekil 3.17. Düz (plain) dokuma karbon fiber.....	29

Şekil	Sayfa
Şekil 3.18. Kabarık (Twill Weave) Dokuma.....	29
Şekil 3.19. Twill dokuma kevlar	29
Şekil 3.20. Atlas Dokuma (satin waeve).	30
Şekil 3.21. Atlas dokuma cam elyaf.....	30
Şekil 3.22. Sepet dokuma	30
Şekil 3.23. Para-aramid(Kevlar®) ve meta-aramidin (Nomex®) kimyasal yapıları	33
Şekil 3.24. Cam elyaf üretim şeması.....	34
Şekil 3.25. Elyafların ve matris fazın gerilme-uzama eğrisi	37
Şekil 3.26. Elle yatırma yönteminin şematik görseli	39
Şekil 3.27. Püskürtme yöntemi şematik gösterimi	39
Şekil 3.28. Elyaf sarım yöntemi şematik gösterimi	40
Şekil 3.29. Vakum infüzyon yöntemi şematik gösterimi	41
Şekil 3.30. Reçine transfer kalıplama yöntemi	41
Şekil 4.1. Bir tabancanı iç yapısı.....	45
Şekil 4.2. Balistik lifli yapılarda darbe şeması.....	48
Şekil 4.3.Tek katmanlı bir balistik fiber kumaşta oluşan balistik darbe	48
Şekil 4.4. Tabakalı kompozit yapılarda hasar mekanizmaları.....	49
Şekil 4.5. Balistik limit kavramı üzerine yaklaşımlar	50
Şekil 4.6. Sürtünme katsayısının deformasyona etkisi.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Çekirdek hız grafiği	54
Şekil 4.8. Balistik koruyucuların kullanım alanları.....	55
Şekil 4.9. Yaygın olarak kullanılan balistik test düzeneğinin şema gösterimi.....	58
Şekil 4.10. Çukur derinliği ölçümü	59
Şekil 6.1. Hazırlanan Cam fiber kompozite ait 1. çekme deney grafiği.....	105
Şekil 6.2. Hazırlanan Cam fiber kompozite ait 2. çekme deney grafiği.....	106
Şekil 6.3. Hazırlanan Karbon fiber kompozite ait 1. çekme deney grafiği	107
Şekil 6.4. Hazırlanan Karbon fiber kompozite ait 2. çekme deney grafiği	107
Şekil 6.5. Hazırlanan Aramid (Kevlar) kompozite ait çekme deney grafiği.....	109
Şekil 6.6. Tüm numunelere ait çekme gerilimi	109
Şekil 6.7. Taguchi L9 orthogonal array yöntemi ile çekme numuneleri kıyası	111
Şekil 7.1. Solid Works'de çizilen numune plaka yapısı.....	113
Şekil 7.2. Numune 1'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	116
Şekil 7.3. Numune 1'e ait Von Misses gerilme grafiği.....	117
Şekil 7.4. Numune 2'ye ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	118
Şekil 7.5. Numune 2'ye ait Von Misses gerilme grafiği.....	119
Şekil 7.6. Numune 3'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	121
Şekil 7.7. Numune 3'e ait Von Misses gerilme grafiği.....	122
Şekil 7.8. Numune 4'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	123

Şekil	Sayfa
Şekil 7.9. Numune 4'e ait Von Misses gerilme grafiği.....	124
Şekil 7.10. Numune 5'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	126
Şekil 7.11. Numune 5'e ait Von Misses gerilme grafiği.....	127
Şekil 7.12. Numune 6'ya ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	128
Şekil 7.13. Numune 6'ya ait Von Misses gerilme grafiği.....	129
Şekil 7.14. Numune 7'ye ait eşdeğer elastik gerinim grafiği	131
Şekil 7.15. Numune 7'ye ait Von Misses gerilme grafiği.....	132

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. M. Ö 2500’lerde zırhlı Sümer piyadeleri	1
Resim 1.2. Ahşap Koruyucu Kalkan	1
Resim 1.3. Hayvan Derisi Zırh Yelek	1
Resim 1.4. Eski Çağlara Ait Metal Zırh Takımı	2
Resim 1.5. Osmanlı Dönemi Zırhlı Süvari.....	2
Resim 1.6. Günümüzde kullanılan zırhlı kompozit yelekler.....	3
Resim 1.7. Kayseri KİM Teknoloji fabrikasında üretilen bor carbür, silisyum karbür seramik zırhlar	3
Resim 1.8. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Koruyucu Kıyafeti 22 kat Kevlar/Nomex Blend Fabric (aramid elyaf) katmandan oluşmaktadır.....	4
Resim 1.9. EOD 9 Model Bomba Uzmanı elbisesinin diz çekerek kullanımı	6
Resim 1.10. EOD 9 Model Bomba Uzmanı elbisesinin ayakta kullanımı	6
Resim 3.1. Aramid elyaf kumaş	32
Resim 3.2. Para-Aramid kumaşın balistik özelliği.....	32
Resim 3.3. Cam elyaf kumaş.....	34
Resim 3.4. Karbon elyaf kumaş	36
Resim 3.5. Otoklav kazanı ve kompozit üretimi	42
Resim 4.1. Darbe altındaki balistik kumaş.....	53
Resim 4.2. Çekirdek Geometrisi	53

Resim	Sayfa
Resim 4.3. US-MIL-P-46593 standardında belirtilen FSP'ler	63
Resim 5.1 MED-ENG EOD 9 Bomba İmha Uzmanı Elbisesi	65
Resim 5.2. İnsan bedeni koruma alanları	67
Resim 5.3. Çeşitli pozisyonlarda Bomba Uzmanları	67
Resim 5.4. Basınç etkisi	68
Resim 5.5. Patlamanın parça etkisi. EOD 9 test görüntüsü.....	69
Resim 5.6. Patlamanın ısı etkisi	70
Resim 5.7.EOD 9 Bomba İmha Uzmanı Elbisesi	71
Resim 5.8. EOD 9 Ceket ve bağlantı kablosu	72
Resim 5.9. EOD 9 ceket iç tasarımı	73
Resim 5.10. EOD 9 Kask	73
Resim 5.11. Entegre Kasık Koruyucu (EKK)	74
Resim 5.12. Yumuşak ve sert balistik malzeme katmanı.....	74
Resim 5.13. Pantolon, Sırt Koruyucu ve Bot Kılıfları	75
Resim 5.14. EOD 9 Suit Çanta.....	76
Resim 5.15. 0,567 kg C4, 70 cm Yükseklikte 60 cm uzaklık mesafesi	80
Resim 5.16. 10 kg C4, 3.0 m uzaklık ve 1 m yükseklikte	80
Resim 5.17. EOD 9 10 kg C4 patlama testine ait yavaşlatılmış görüntü	81
Resim 6.1. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi Ceket İç Yapısı	85

Resim	Sayfa
Resim 6.2. EOD 9 Model Bomba Uzmanının Ceket Kumaş Yapısı.....	86
Resim 6.3. Prepreg Karbon Fiber.....	87
Resim 6.4. Karbon Fiber k�rleme işlemi	88
Resim 6.5. K�rlenmiş Karbon Fiber Plaka	88
Resim 6.6. Balistik testler için hazırlanmış karbon fiber plakası.....	88
Resim 6.7. Deney numuneleri kullanılan cam fiber kumaş	89
Resim 6.8. Cam fiber kumaşa uygulanan vakum infüzyon yöntemi.....	89
Resim 6.9. Vakum infüzyon ile üretilen Cam fiber kompozit	89
Resim 6.10. Balistik testler için hazırlanmış cam fiber plakası	90
Resim 6.11. Epoksi A bileşeni	90
Resim 6.12. Epoksi B bileşeni	90
Resim 6.13. Vakum infüzyon sistemi i� katmanları	91
Resim 6.14. Vakum infüzyon yöntemi aşamaları. (Aramid fiber kompozitin �retimi)	92
Resim 6.15. Balistik Numune 1	93
Resim 6.16. Balistik Numune 2	94
Resim 6.17. Balistik Numune 3	94
Resim 6.18. Balistik Numune 4	95
Resim 6.19. Balistik Numune 5	95
Resim 6.20. Balistik Numune 6	96

Resim	Sayfa
Resim 6.21. Balistik Numune 7	96
Resim 6.22. Balistik Numune 8	97
Resim 6.23. Sarsılmaz Kılınç 2000 Mega Tabanca	97
Resim 6.24. MKE 9x19 Mm Fişek	98
Resim 6.25. Balistik deney atışları.....	99
Resim 6.26. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi pantolon diz altı kısmı iç yapısı.....	101
Resim 6.27. Karbon fiber yapılı diz altı 1	101
Resim 6.28. Karbon fiber yapılı diz altı 2	101
Resim 6.29. Patlama öncesi numuneler	102
Resim 6.30. Orijinal diz altı ön kısmında oluşan parça etkisi.....	102
Resim 6.31. Orijinal diz altı arka kısmında oluşan parça etkisi	102
Resim 6.32. Karbon fiber ve aramid katmanlı diz altı ön kısmında oluşan parça etkisi....	103
Resim 6.33. Karbon fiber ve aramid katmanlı diz altı arka kısmında oluşan parça etkisi.	103
Resim 6.34. SHIMADZU marka AG-IC 100kN model çekme test cihazı	104
Resim 6.35. Cam fiber çekme numuneleri	104
Resim 6.36. Karbon fiber çekme numuneleri.....	106
Resim 6.37. Aramid (Kevlar) çekme numuneleri	108
Resim 7.1. Ansys Workbench'te Plaka ve Çekirdeğin görünümü	115
Resim 7.2. Numune 1'e ait eşdeğer elastik gerinim.....	116

Resim	Sayfa
Resim 7.3. Numune 1'e ait Von Misses gerilmesi.....	117
Resim 7.4. Numune 2'ye ait eşdeğer elastik gerinim.....	118
Resim 7.5. Numune 2'ye ait Von Misses gerilmesi.....	119
Resim 7.6. Numune 3'e ait eşdeğer elastik gerinim.....	120
Resim 7.7. Numune 3'e ait Von Misses gerilmesi.....	121
Resim 7.8. Numune 4'e ait eşdeğer elastik gerinim.....	123
Resim 7.9. Numune 4'e ait Von Misses gerilmesi.....	124
Resim 7.10. Numune 5'e ait eşdeğer elastik gerinim.....	125
Resim 7.11. Numune 5'e ait Von Misses gerilmesi.....	126
Resim 7.12. Numune 6'ya ait eşdeğer elastik gerinim.....	128
Resim 7.13. Numune 6'ya ait Von Misses gerilmesi.....	129
Resim 7.14. Numune 7'ye ait eşdeğer elastik gerinim.....	130
Resim 7.15. Numune 7'ye ait Von Misses gerilmesi.....	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı termoset plastiklerin özellikleri	20
Çizelge 3.2. Bazı doğal liflerin mekanik değerleri.....	31
Çizelge 3.3. Kevlar Liflerinin Mekanik Özellikleri	33
Çizelge 3.4. Cam elyafların mekanik özellikleri.....	35
Çizelge 3.5. Bazı elyafların mekanik değerleri	37
Çizelge 3.6. Kompozit üretim yöntemleri kıyas tablosu	43
Çizelge 4.1. Bazı ulusal ve uluslararası balistik deney test standartları.....	56
Çizelge 4.2. NIJ STD-0101.06 Standardı balistik koruma seviyeleri	60
Çizelge 5.1. Basınç etkisinin canlılar ve cansızlar üzerindeki etkisi.....	70
Çizelge 5.2. EOD 9 Beden tablosu.....	76
Çizelge 5.3. EOD 9 Suit bileşen ağırlıkları	77
Çizelge 5.4. EOD 9 Suit bileşen materyal tablosu	77
Çizelge 5.5. EOD 9 suit'in bileşenlerinin mekanik test değerleri	79
Çizelge 5.6. Göğüs aşırı basıncı test verileri	82
Çizelge 6.1. Karbon Fiber Prepreg üretici verileri	87
Çizelge 6.2. Kullanılan cam fiberin teknik verileri	89
Çizelge 6.3. Kullanılan epoksi reçineye ait teknik bilgiler	91
Çizelge 6.4. Farklı katman kompozisyonlarında hazırlanmış numuneler	93

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.5. Sarsılmaz Kılınç 200 Mega tabanca teknik verileri	98
Çizelge 6.6. 9x19 mm MKE Fişeğe ait teknik özellikler	98
Çizelge 6.7. Balistik atış testleri sonuçları	99
Çizelge 6.8. Kullanılan cam fiberin teknik verileri	105
Çizelge 6.9. Kullanılan Cam fiberin çekme testi sonucu teknik verileri.....	105
Çizelge 6.10. Kullanılan Karbon fiberin teknik verileri.....	106
Çizelge 6.11. Kullanılan Karbon fiberin çekme testi sonucu teknik verileri	107
Çizelge 6.12. Kullanılan Aramid (Kevlar) fiberin teknik verileri.....	108
Çizelge 6.13. Kullanılan Aramid (Kevlar) fiberin çekme testi sonucu teknik verileri	108
Çizelge 6.14. Çekme numuneleri katman ve matris oranları	110
Çizelge 6.15. Numune ortalama değerleri.....	111
Çizelge 7.1. Farklı katman kompozisyonlarında hazırlanmış nümerik deney numuneleri	114
Çizelge 7.2. Nümerik deney sonuçları	114

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

E	Zırhın sönmlediği enerji
m	Merminin kütlesi
V_i	Merminin çarpma hızı
V_r	Merminin zırhı terk ettiği andaki hızı
V_{bl}	Balistik limit hızı
c	Boyuna yönde gerilimin dalga hızı
E_{lif}	Lifin elastisite modülü
ρ_{lif}	Lifin yoğunluğu

Kısaltmalar

Açıklama

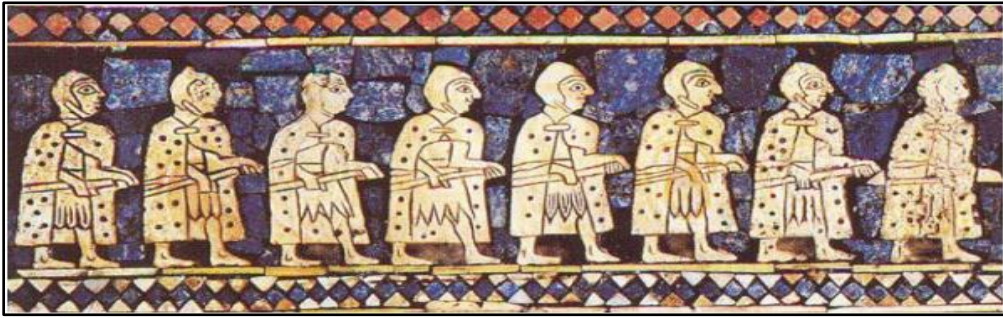
EOD	Explosive Ordnance Disposal
IED	Improvised Explosive Device
BUE	Bomba Uzmanı Elbisesi
EKK	Entegre Kasık Koruyucu
NIJ	US National Institute of Justice
HOSDB	UK Home Office Scientific Development Branch
NATO	North Atlantic Treaty Organization
STANAG	Standardization Agreement
FSP	Fragment Simulating Projectiles
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
SiO ₂	Silikon Dioksit
TiB ₂	Titanyum Diborür
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
SiC	Silisyum Karbür
Si ₃ N ₄	Silisyum Nitrür
B ₄ C	Bor Karbür

1.GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğu günden beri temel ihtiyaçlarının yanı sıra korunma içgüdüleriyle hareket ederek zırh üretimi konusunda günümüze kadar çeşitli yöntemler araştırmış ve geliştirmiştir. Korunmak için mağaralar oymuş, ahşap veya kalın taş surlar ve hendeklerle çevrili kaleler inşa etmişlerdir.

1.1.Tarihçe

Vücut zırhının en eski resimli kanıtı, MÖ 2500 civarında Mezopotamya'daki Sümerlerden gelmektedir. British Museum'da sergilenen, (Resim 1.1.) de gösterilen bu resim kafalarına koruyucu amaçlı miğfer veya kasket takmış, katmanlı etek ve çivili pelerin giyen piyadeleri tasvir etmektedir.



Resim 1.1. M. Ö 2500'lerde zırhlı Sümer piyadeleri. (Couldrick, C.A., 2004)

Eski çağlarda savaş alanlarında kalın hayvan derileri, boynuzlar veya ahşaplar kişisel korunmanın önemli unsuru olmuştur. Birbiri üzerine bindirilmiş tabakalar veya küçük parçalar halinde birleştirilmiş plakalar iplerle birleştirilmiş Resimde kullanılmaktaydı. (Şen, 2013)



Resim 1.2. Ahşap koruyucu kalkan



Resim 1.3. Hayvan derisi zırh yelek

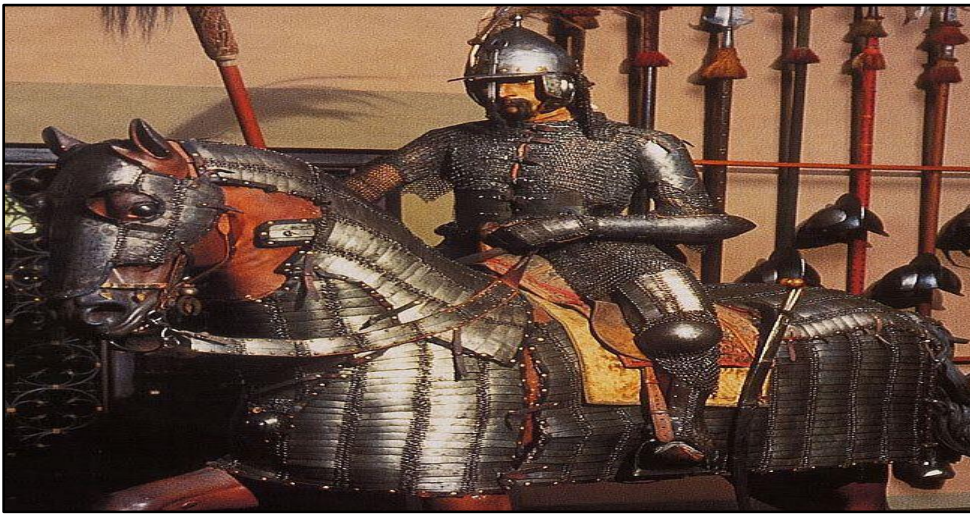
Sonraki çağlarda özellikle orta çağ ve sonrasında metallerin işlenmesi ile çeşitli yöntemler (metal örgü, dökme kalıp vb.) Resimde üretilen metal zırhlar günümüze kadar ulaşmıştır.



Resim 1.4. Eski Çağlara Ait Metal Zırh Takımı

Muharebe alanında üstünlük sağlamak için önemli birliklerden olan süvariler atlarıyla birlikte zırhlanırken bu durum günümüzde önemini koruyarak devam etmekte ve zırhlı muharebe araçları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Özellikle 2. Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında zırhlı araçların kabiliyetleri ve verimlilikleri ülke orduları için bir güç göstergisi haline geldi. (Şen, 2013) Zırhlı araçların ve personelinin korunması ve kişisel balistik koruyucu zırhların ağırlık ve esneklik gibi yeteneklerinin gelişmiş olması ülke gelişmişliği açısından bir kriter halini almıştır.



Resim 1.5. Osmanlı Dönemi Zırhlı Süvari

Tarih boyunca savaşan insanoğlu, savaş teknolojisini ve savunma sistemlerini geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedir.

Silah sanayisinin inanılmaz bir hız ile gelişmesi sonucunda silahlar ağırlıkça azaltılmış, ebatları küçültülmüş ve etkili mesafeleri artırılmıştır. Bu gelişmelere pareler olarak bina, araç ve personel zırhları da sürekli ve paralel olarak balistik bilimi ışığında gelişim göstermektedir.



Resim 1.6. Günümüzde kullanılan zırhlı kompozit yelekler.

Bu gelişimlerin tarihsel süreci boyunca mühendislik malzemeleri olarak ağırlıkça hafif, kullanımı esnek malzemeler araştırılarak hafif ve hareket kabiliyeti sağlayan zırhlar üretilmesi amaçlanmıştır.



Resim 1.7. Kayseri KİM Teknoloji fabrikasında üretilen bor karbür,
Silisyum karbür seramik zırhlar.

1.2. Amaç ve Kapsam

Savaş, operasyon, eğitim ve günlük faaliyetler alanında kullanılan zırhların hareket kabiliyetini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Zırhın balistik koruyucu avantajının yanında ağırlığın ve rijitliğin dezavantajını minimum seviyeye indirmek için yapılan Ar-Ge çalışmaları zırh üretiminde kullanılan malzemelerin düşük yoğunluğa, yüksek mukavemete ve esnekliğe sahip olan kompozit malzemelerin önemini ortaya çıkarmıştır.

Örneğin, bu çalışmamızda çalışma alanımızın merkezinde bulunan Bomba Uzmanı Kıyafetine dikkat çekecek olursak kıyafet birçok parçadan oluşmaktadır ve hem balistik olarak hem de esneklik olarak Bomba Uzmanına hareket kabiliyeti sunmalıdır.



Resim 1.8. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Koruyucu Kıyafeti 22 kat Kevlar/Nomex Blend Fabric (aramid elyaf) katmandan oluşmaktadır.

Kıyafetin sadece ön yüzeyi balistik zırh katmanlardan oluşmaktadır. Bu haliyle Large beden bir kıyafet 33 kg ağırlığındadır. Ağırlık tüm vücuda yayıldığı için ilk etapta Bomba Uzmanı personel ağırlığı pek hissetmemekte ama dakikalar içinde insani fonksiyonlar ağırlık ve başlık vizörünün kısıtlaması nedeniyle yapılan işleme konsantre olmak son derece zorlaşmakta ve zafiyete yol açmaktadır.

Malzeme biliminin gelişmesiyle metal zırhlar yerini kompozit malzemelerden üretilen zırhlara bırakmaktadır. Kompozit malzemeler çağımızda geniş kullanım alanlarına sahiptirler ve yüksek mukavemet değerleri, fiziksel ve kimyasal dış faktörlere karşı dayanıklılık, hafiflik, esneklik ve uygun maliyet gibi özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık, savunma vb. gibi önemli sektörlerde önemli ölçüde yerini almıştır.

Genel olarak fiziksel özellikleri ve mühendislik mekanik değerleri farklı en az iki malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan, malzemelerin iyi özelliklerinin birleştirilmesi amacıyla oluşturulan yüksek mekanik değerlere sahip malzemelerdir. Genellikle yapıları matris ve takviye elamanı şeklinde oluşur. Kompozit malzemelerde matris malzemeleri polimer, cam, metal ve seramik malzemeler olarak incelenebilmektedir.

Bomba uzmanı elbiseleri genellikle özel tasarlanmış malzemeler kullanılarak üretilir. Bu elbiseler, patlama ve darbelere karşı koruma sağlamak amacıyla tasarlanmış özel kumaşlar içerebilir. Bu kumaşlar genellikle balistik naylon, aramid lifleri (örneğin, Kevlar veya Twaron gibi), seramik levhalar veya diğer benzeri yüksek mukavemetli malzemeler içerebilir.

Bu malzemeler, bomba uzmanlarını patlayıcı maddelerle çalışırken olası patlamalardan ve etkilerinden korumak için tasarlanmıştır. Aynı zamanda, bu elbiseler genellikle ağırlıklarını minimumda tutmak için özel tasarlanmıştır, böylece kullanıcılar rahatça hareket edebilirler.

Bu çalışmada matris malzeme olarak kimyasal ve fiziksel aşınma direnci yüksek, küreleşme esnasında fiziksel özelliklerini koruyabilen, yoğunluğu düşük, yapışma ve yapıştırma özelliği yüksek olan fiber takviyeli polimer yapılı kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan epoksi reçine kullanılacaktır. Fiber yapılı kompozit plakaların üretimi yapılacak olup, aramid elyaf malzeme türünden düşük yoğunluk ve yüksek mühendislik mekanik değerlerine sahip Kevlar, cam elyaf ve karbon fiber malzemeler güçlendirme takviye malzemeleri olarak kullanılarak epoksi reçine matrisli kompozitler oluşturulacaktır.

Çalışmamız genelinde zırh üretiminde kullanılan kompozit malzemeler araştırılmış olsa da çalışmamız özelinde Kanada menşeli MED-ENG firmasının ürettiği EOD 9 model Bomba Uzmanı Kıyafetinde kullanılan Kevlar malzemenin yapısı incelenerek elbisenin balistik mukavemet değerleri referans alınarak farklı kombinasyonlarda Kevlar , cam elyaf ve karbon fiber takviyeli katmanlar ile kompozit plakalar oluşturularak balistik ve mekanik testlerden geçirileceklerdir.

Bu sebeple referans alınan değer ışığında EOD 9 Bomba Uzmanı Elbisesinde kullanılan 22 adet 0,25 mm kalınlığında Kevlar katmanları yerine, yapılan mekanik testler doğrultusunda Kevlar, Cam elyaf ve karbon fiber malzemeden oluşan, çeşitli kombinasyonlarda katmanlar oluşturarak epoksi reçine matrisli kompozit malzemeler üretilip Bomba Uzmanı Elbisesinin hafifletilip hafifletilemeyeceği ve daha esnek hale getirilip getirilemeyeceği araştırılarak, Bomba Uzmanlarının hareket kabiliyetlerini ve üzerlerine düşen yükü azaltmayı amaçlıyoruz.



Resim 1.9. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin diz çökerek kullanımı.



Resim 1.10. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin ayakta kullanımı.

Günümüzde savunma sanayi büyük önem taşımaktadır. Savunma sanayine yatırım yapan ülkeler gerek askeri gerekse ekonomik açıdan önemli güç elde etmektedirler. Savunma sistemlerinde kullanılan koruyucu zırhların geliştirilmesi adına birçok çalışma yapılmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

“Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması” isimli makalede yazarlar kompozit malzemelerin öneminden bahsederek, zırh alanında kullanılan en yaygın kompozit malzemelerden Aramid, UHMWE, PBO, Cam Fiberler ve PPID kumaşlarının mekanik verileri inceleyip birbiriyle kıyaslayıp balistik bilimi ışığında zırh üretiminde kullanılan kompozit malzemelerin darbe dayanımlarını belirleyen unsurların, malzeme cinsi, kumaş örgü yapısı, mermi hız ve geometrisi, sürtünme ve sınır koşullarıdır sonucuna varmışlardır. (Yumak, Aslantas ve Pekbey, 2013)

“Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif ve Kompozit Malzemeler” isimli makalede balistik zırh üretiminde kullanılan kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması ve makalenin balistik bilimine literatür kaynak olması amacı doğrultusunda zırh üretiminde yaygın olarak kullanılan Aramid, UHMWE, PBO, Cam Lifler ve PPID kompozit malzemelerin mekanik yapısını araştırarak bu malzemelere etki eden balistik etkenlerin yapılacak testlerde güvenli veriler sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. (Sozen, Gunduz ve Imren, 2016)

“Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi” isimli Yüksek Lisans Tezinde savunma sanayi sektöründe kullanılan balistik zırhların kompozit malzemelerden üretilen kumaşların epoksi yardımıyla deneysel ve çeşitli kombinasyonlarla yeniden tasarlanarak kişisel koruyucu zırhların geliştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda balistik bilimi incelenmiş, kompozit malzemelerin mekanik yapıları araştırılmış, Al5052 Bal peteği, Karbon Fiber, Kevlar, Kontrplak, Çelik tel ve epoksi kullanılarak farklı kombinasyonlarda, farklı malzemeler kullanılarak deney numuneleri hazırlanmış, ANSYS/LSDYNA programında katı modelleme yapılarak simülasyonlar yapılmış ve fiziki olarak numunelere atış yapılmak suretiyle teste tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda hazırlanan numunelerin bazılarının balistik olarak başarılı olduğu ve bazı numunelerin başarısız olduğu gözlenmiş, fiziki testlerin ve ANSYS/LSDYNA programında yapılan simülasyon testlerinin sonuçlarının birbirine benzer olduğu görülmüş ve bu çalışmaların daha sonraki yapılacak bilimsel çalışmalara katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. (Özgültekin, 2012)

“Almg3/Sicp Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi” konulu yüksek lisans çalışmasında genel olarak zırh tarihinden bahsederek gelişen silah teknolojisine paralel zırhların geliştirilmesi düşüncesiyle kompozit malzemelerin balistik bilimi yardımıyla zırh yapımında kullanılmasını, Alüminyum matrisli SiC takviyeli metal matrisli kompozit ve AlMg3/SiCp kompozitlerin mekanik özelliklerini inceleyerek bu kompozitlerden mevcut zırhlara nazaran daha hafif zırh üretimini amaçlamış, bahsi geçen kompozit malzemelerden hazırlanan numuneler balistik testlere maruz tutulmuş yapılan çalışmalar sonucunda zırh üretiminin metalurji, fizik, tekstil, balistik, kimya ve mekanik gibi alanların ortak çalışma yapması gerektiği, değişik silahlar ve farklı mermi türleri kullanılarak testlerin yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. (Şen, 2013)

“Araç Zırhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi” isimli araştırmada zırhlı araçlarda kullanılan kompozit zırh materyallerinin takviye elemanlarından Polietilen (UHMWPE), Aramid, Karbon, Hibrit ve Cam Elyaf ile matris malzemesi olarak reçine kullanmadan PE film tabakaları ile kat kat pres altında basınç ve sıcaklık etkisiyle katları bütünleştirerek katmanlı bir yapı elde edilerek hafiflik amaçlanmış, bahsi geçen kompozit malzemelerden hazırlanan numuneler balistik standartlara uygun Resimde 5 metreden 8 gran 9*19 parabellum fişekler ile atışlar yapılarak, karbomid kompozitlerin kullanımında ağırlığı fazla artırmadığı ve UHMWPE’ye alternatif olabileceği, karbon elyafı kompozit malzemelerde delinme gözlenmemiş ancak ağırlığı artıracağından zırh olarak kullanılmasının verimli olmayacağı sonucuna varılmıştır. (Bitlisli ve Yazıcı, 2019)

“Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi Ve Balistik Performanslarının İncelenmesi” isimli makalede tabakalı kompozit malzemelerin kişisel koruyucu zırhlarda kullanılabilirliği farklı tabaka sayıları ve kalınlıklarda 0°, 45°, plain ve twill dokuma desenli Cam Fiber/Aramid Fiber/Karbon Fiber kumaşlar kullanılarak hazırlanan numuneler üzerine atış yaparak balistik deneyler yardımıyla araştırılmış, 200*200 mm boyutlarında 30 katmanlı 4 adet numune plaka, elle yatırma üretim yöntemi ile hazırlanarak testler yapılmış, twill desende dokuma yapılan kompozit kumaşların balistik özelliklerinin daha iyi olduğu, zırh üretiminde hafifliğin önemli bir etken olduğu ve bu nedenle katmanların sayısı azaltılarak başka testler yapılabileceği sonucuna varılmıştır. (Yanen ve Solmaz, 2015)

“Para-Aramid Malzeme Kullanılarak Üretilmiş Kompozit Zırh Tabakasının Üzerinden Kademeli Olarak Talaş Kaldırmanın Terminal Balistik Performansta Meydana Getirdiği Değişimin İncelenmesi” isimli makalede para-aramid kompozit malzemedan elde edilecek balistik zırhın son ürün haline gelene kadarki aşamaları ve üretilen zırh üzerinden katmanlı olarak kaldırılan talaşın balistik özellikleri üzerinde oluşturduğu balistik performansın değişiminin gözlenmesi amaçlanmış, 7 adet numune üretilmiş, üretilen numuneler üzerinden üniversal freze ile farklı kalınlıklara ulaşana kadar toz kaldırılmış ve numunelere balistik atışlar yapılarak meydana gelen deformasyon gözlenmiş, bu alanda bu Resimde ilk kez test yapıldığı, gözlemlenen ortalama derinlik değerin (16,46 mm) uluslararası balistik standartları değeri olan 44 mm’nin altında kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. (Akman, Candan, Akdaş, Demircioğlu, ve Pekdur, 2012)

“Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı” isimli Yüksek Lisans Tezinde balistik koruyucu teçhizatın üretiminde kullanılan aramid ve polietilen malzemenin mekanik verileri incelenerek balistik koruyucu ekipmanların üretim ve tasarım kriterleri ve imalat aşamaları incelenmiş ve testler yapılmış, balistik koruyucu malzeme üretiminde yaygın olarak kevlar ve dyneema fiber malzemelerin kullanıldığı, örgü yöntemlerinin, fişek çeşitlerinin, malzeme ağırlıklarının, proseslerin önem arz ettiği, yapılan testlerde yoğun polietilen ve kevlardan yapılan balistik koruyucu ekipmanların koruyucu özelliklerinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır. (Bulut, 2013)

“Balistik Amaçlı Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitler” isimli Yüksek Lisans Tez çalışmasında fiber takviyeli polimer matriksli kompozit malzemelerin balistik çalışmalardaki performanslarını teorik çalışmaların yanı sıra deneysel olarak da incelemeyi amaçlamış, bu amaçla cam fiber ve termoset polimer malzemelerden vinilester vakum infüzyon yöntemi marifetiyle kompozit olarak üretilmiş ve balistik deneyler yapılmıştır. Üretilen kompozit malzeme üzerinde yapılan balistik testler sonunda sonuçlar değerlendirilmiş ve balistik uygunluk test edilmiştir. (Memiş, 2009)

“Balistik Lifler (Bölüm 1)” isimli makalesinde yazarlarca balistik koruyucu kıyafetlerin öneminden bahsederek bu kıyafetlerde enerji absorbe yeteneğinin lif cinsi, kumaş yapısı, örgü şekli, gramajı, ve katman sayısı ile alakalı olduğundan bahsedilmiş ve bu kumaşların yapıldığı balistik liflerin yüksek mukavemet değerlerine ve düşük elastikiyet modülüne sahip olması gerektiği vurgulanmıştır. Yüksek balistik lif özelliklerine sahip aramid, yüksek mukavemetli

polietilen gibi malzemelerin mekanik değerleri değerlendirilmiştir. (Çay, Süpüren, Kanat, Gülümser ve Tarakçıoğku, 2007)

“Katmanlı Zırh Sistemlerinin Balistik Etkilere Karşı Davranışının Sayısal Modellenmesi” isimli Yüksek Lisans Tez çalışmasında 5,56*45 mm NATO standartlarında bir fişek tasarlayarak, 4340 Çelik, Ti6Al4V ve Epoksi Karbon kullanılarak hazırlanmış balistik plakalara Solidworks ve ANSYS programları kullanılarak similasyon ortamında balistik testler yapmayı amaçlamış, yapılan testlerde Ti6Al4V ve 4340 Çelik malzemesinin balistik kabul görmesi için en düşük plaka kalınlığının 24 mm ve 25 mm olması gerektiği anlaşılmış, plakaların yüksek kalınlıkta olması nedeniyle, kalınlık değerlerini düşürmek ve daha hafif plaka elde etmek için sandviç plaka analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde plakanın balistik kabul görmesi için gerekli olan en düşük plaka kalınlıklarının 15 mm ve 17 mm olması gerektiği değerlendirilmiştir. (Erdal, 2020)

“NIJ Standardı Seviye-IV Korumalı Zırh Bileşenlerinin İncelenmesi ve Balistik Koruma Standartları” isimli derleme makalelerinde yazarlar balistik kişisel koruyucuların koruma düzeylerini incelemeyi NIJ standartlarından Standart IV seviye koruması sağlayan balistik plakalardan bahsetmeyi amaçlamış, fiyat performans ve ağırlık kriterlerini göz önüne alarak malzemeleri incelemeyi hedeflemiş, yaptıkları incelemeler ve çalışmalar neticesinden Seviye IV koruma düzeyinde en etkin korumanın seramik zırhlar ile birlikte aramid, karbon vb. malzeme destekli kompozitlerin sağladığı görölmektedir. Personelin hareket kabiliyetine göre zırhların hazırlanması için ar-ge çalışmalarına önem verilmesi kanaatine varmışlardır. (Verdi ve Bulut, 2022)

“Darbe Tesiri Altındaki Kompozit Levhanın Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Simölasyonu” isimli yüksek lisans tez çalışmasında yazar çelik ve alüminyum plakalar ile hazırlanan kompozit bir yapının farklı plaka dizilişler sağlayarak simölasyon yöntemi ile incelenmesini, plakalara atılan merminin değişik parametreler altında verdiği tepkileri araştırmayı amaçlamış, ANSYS-LS-DYNA 11,0 yazılımı ile hazırlanan plakalar simüle edilmiş, yapılan çalışmalar ve simölasyon işlemleri sonucunda farklı malzemelerin dizimlerinin mermi giriş ve çıkışlarının farklı olduğu, bu gibi çalışmaların simölasyonunun yapılmasının yanı sıra imkanlar dahilinde fiziksel testlerinin de önem arz ettiği sonucuna varılmıştır. (Sanlı, 2008)

“Değişik Elyaf Oryantasyon Açılarındaki Aramid Elyafa TiB₂ Takviye Edilmesi, Mekanik Ve Balistik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında polimer matrisli malzemelerden epoksi reçineye, kütlece %0, %1, %2 ve %4 TiB₂’yi dolgu malzemesi olarak eklemiş, aramid elyaf takviyeli ve 90 derece ve 45 derece olmak üzere kompozit numuneler hazırlayarak toplam 8 numune üzerinde mekanik testler uygulayıp balistik testler ile çalışmasını sonuçlandırmış. Çalışması sonucunda 90 derece ile hazırlanan kompozit numunelerin 45 derece ile hazırlanan kompozit numunelere oranla hem balistik hemde mekanik olarak üstünlük sağladığı sonucuna varılmıştır. (Göksel, 2018)

“Çelik Tel Örgü Aramid Takviyeli Kompozit Tabaka Üretimi ve Balistik Performansının İncelenmesi” konu başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında zırhlı araçlara karşı yapılan patlama ve atışlar sonucunda araç içerisinde meydana gelen parça saçılmalarını sönmölemek ve tutmak amacıyla çelik tel örgü takviyeli ve çelik tel örgü takviyesiz ve aramid kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen plakalar balistik ortamda, MIL-STD-662F V50 ve STANAG 2920 balistik test standartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çelik örgü telin takviye malzemesi olarak kullanılmasının avantajları ve dezavantajları gözlemlenmiş, çelik örgülerin aramid malzemeye alternatif takviye malzemesi olabileceği, numune üretimlerinde vakum infüzyon yönteminin dışında başka üretim proseslerinin kullanılmasının da balistik ve mekanik etkileri artırabileceği değerlendirmiştir. (Sabah, 2018)

“Caco₃, Sio₂ Ve Grafen Nano Partikül Katkısının Tabakalı Cam Elyaf Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi” isimli yüksek lisans çalışmasında çeşitli kompozit plakalara nano ölçekte katkı malzemesi ekleyerek oluşan kompozit plakalarda mekanik verilerin nasıl değiştiğini araştırmayı ve mukavemet değeri yüksek kompozit malzeme oluşturmayı amaçlamış, çalışmasında çeşitli özelliklere sahip ve farklı nano boyutlarda (grafen,slika, kalsit gibi) malzemeler reçineler içerisinde katılarak katmanlı kompozit plakalar hazırlanmıştır.hazırlanan kompozit plakalar mekanik çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Cam elyaf kompozit malzemelere eklenen nano partikülün mazlmenin mekanik yapısında iyileştirme yaptığı, grafen katkılı kompozitlerin diğer nano partiküllere göre mekanik değerleri iyileştirmede daha etkili rol oynadığı anlaşılmıştır. (Tuncer, 2018)

“A Methodology for Assessing Blast Protection in Explosive Ordnance Disposal Bomb Suits” isimli makalelerinde farklı model 4 adet Bomba İmha Uzmanı Kıyafeti üzerinde parça etkisi olmadan sadece basınç etkili Resimde 0,227 kg ve 0,567 kg C-4 plastik patlayıcı kullanarak test yapmışlardır. Bomba İmha Uzmanı kıyafetleri orta boy bir erkek ebatlarında kuklalara giydirilmiş, ayakta ve diz çökme pozisyonu gibi çeşitli pozisyonlarda elbiselere patlama ile basınç testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda kuklalar üzerindeki sensörlerden alınan veriler değerlendirilmiş ve en büyük travmanın kafa, boyun ve akciğer bölgesinde kısmında olduğu tespit edilmiştir. Bomba Uzmanlarının gerçek bir EOD imhasında karşılaştıkları bombanın parça tesirli olabileceği ve patlayıcı miktarının testlerde kullanılandan daha fazla olabileceğinden gerçek bir olayda canlı üzerindeki zararın daha fazla olabileceği değerlendirilmiştir. (Cameron, Davis, Karin, Rountree, Harris, Sanderson, Andrefsky, DiMarco ve Zielinski, 2005)

Parimal J. Patel ve arkadaşları **“Transparent ceramics for armor and EM window applications”** isimli makalelerinde hava araçları, bomba imha uzmanı kıyafeti vizörü gibi şeffaf zırhlar da özellikle hava araçlarında ağırlığın önemli bir etken olduğunu ve bu şeffaf zırhlarda kullanılabilecek seramik ve kompozit malzemelerin araştırılarak değerlendirmesinin yapılmasını amaçlamıştır. Bu çerçevede magnezyum alüminat spinel ($MgAl_2O_4$), alüminyum oksinitrid spinel ($AlON$), safir (Al_2O_3), camlar ve cam seramiklerin mekanik değerleri ve özellikleri araştırılmış şeffaf zırh yapımında kullanılabileceği ağırlığın düşmesine etki edebileceği değerlendirilmiştir. (Parimal, Gary, Peter, ve Mc Cauley, 2000)

Marcin CEGŁA ve Wiesław HABAJ **“Composite Deformable Armor Systems Based On Small-Size Ceramics Resistant To 5.7x28 Mm Ss190 Projectiles For Personal And Vehicle Armor Applications”** isimli makalelerinde kişisel ve araç zırh uygulamalarını araştırarak ve yumuşak elyaf bazlı malzemeler ile Alümina ve silisyum karbür seramik malzemeler kullanılarak kompozit plakalar ile hazırlanan numuneleri 5.7X28 mm SS190 fişegi ile balistik atış deneylerine tabi tutmuşlardır. Fiber malzeme olarak aramid seçilmiş ve çeşitli firmaların aramid malzemeleri numunelerde kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin 5,7x28 mm SS190 mermisine karşı etkili olduğu görülmüştür. 5,7x28 mm SS190 mermisinin zırh delici özelliği nedeniyle, gizli yelek uygulamasında yumuşak fiber bazlı malzemelerin kullanılması, yeleğin kalınlığının çok yüksek olması nedeniyle verimsiz olacağı değerlendirilmiştir. Silisyum karbür, alüminaya göre %20 ağırlık azalması sağladığından yelek uygulaması için tercih edilen bir

malzeme olmalıdır ve gelecekteki araştırmalar silikon veya bor karbür üzerine yoğunlaşmalıdır sonucuna ulaşmışlardır. (CEGLA ve HABAJ, 2015)

“Ballistic Protection Evaluation of Sequencing the Composite Material Sandwich Panels for the Reliable Combination of Armor Layers” isimli makalede zırh katmanları hazırlarken sıralamanın önemini belirtmek amacıyla fiber takviyeli alüminyum bal peteği, kontrplak ve aramid katmanlı plakalar sıralamaları değiştirilerek 6 adet numune hazırlanmış ve atış testlerine tabi tutulmuştur. Atışlar tek çekirdekli 36 kalibre 700 m/sn hıza sahip bir av tüfeği ile yapılmıştır. Yapılan testler ayrıca LS-DYNA sonlu elemanlar simülasyonu ile de incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda zırh yapımında kullanılan kompozitlerin sıralamasının çok önemli olduğu, kompozit katmanların çekirdeği durdurduğu, katman sıralamasında başlangıçta çekirdeği yavaşlatması için sert bir kompozitin, daha sonrasında enerjiyi sönümlemesi için yumuşak yapıda bir kompozitin ve son olarak orta sertlikte bir kompozitin sıralandığı numunenin en verimli olduğu tespit edilmiştir. Yazarlar fiziki testler ile bilgisayar simülasyonunda yapılan testlerin benzer sonuçlar verdiği bu nedenle daha fazla test yapılacaksa bilgisayar ortamında yapılmasının hem zamandan hem de maliyetten tasarruf ettireceği sonucuna ulaşmışlardır. (Yılmazçoban ve Döner, 2016)

J.P. DIONNE ve arkadaşları **“Acceleration-based methodology to assess the blast mitigation performance of explosive ordnance disposal helmets”** isimli makalelerinde Bomba İmha Kıyafetleri için standard patlama testleri otomotiv çarpışma testlerinde kullanılan Hibrit 3 çarpışma mankenleri kullanılarak, mankenlere Bomba İmha Elbisesi giydirilmiş, mankenler standard pozisyonlar olan diz üstü çökme, ayakta ve oturur Resimde pozisyonda iken ve kask bölgesinde çeşitli miktarlarda patlayıcılar kullanılarak patlama testleri yapmışlardır. X, Y, ve Z yönünde ölçüm yapabilen çarpışma sensörleri kullanılarak patlamanın canlı üzerindeki etkilerini ve özellikle beyin travması üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. (Dionne, Levine, ve Makris, 2016)

J. LEVINE ve arkadaşları **“Fragmentation testing of bomb suit using pipe bombs”** isimli makalelerinde Kanada Menşeili MED-ENG firması tarafından üretilen, ABD güvenlik güçleri tarafından kullanılan ve emekliye ayrılan EOD 7 B ve EOD 8 model Bomba İmha Uzmanı elbiseleri Hibrit 2 çarpışma mankenlerine giydirerek mankenlere standart pozisyonlar verilmiş ve boru tipi basın ve parça tesirli el yapımı bomba patlatılarak elbise üzerinde ve canlı üzerindeki tahribatı gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada Bomba İmha Elbisesinin parça ve basınca

karşı olası boşlukları ve zayıflıkları varsa bu zayıflıkları gidermek amaçlanmıştır. Yapılan testlerde mankenlerin kafa bölgesine ivmeölçer, kulak ve göğüs bölgesine ise basınç ölçer cihazlar bağlanmıştır. 30 cm uzunluğunda, içerisinde patlayıcı olarak 670 gram dumansız barut bulunan boru tipi parça ve basınç etkili el yapımı bomba konumlandırılmış mankenlere 1 m mesafede patlatılmıştır. Patlama neticesinde Bomba İmha Uzmanı elbisesinin mükemmel koruma sağladığı görülmüş ve vücudun kritik bölgelerine (baş, boyun ve gövde) basıncın tamamen nüfuz etmediği görülmüştür. Çok sayıda metal parça giysinin uç kısımlarına çarpmış ve büyük çoğunluğu yumuşak balistik korumanın içinde durdurulduğu görülmüştür. (Levine, Dionne, Hedge, Bueley, Acquavella, ve Makris, 2018)



3. KOMPOZİT MALZEMELER

İnsanlık var olduğu günden her konuda olduğu gibi mühendislik ve malzeme alanında da sürekli bir arayış ve gelişim içerisinde olmuştur ve bu durum insanlık tarihinin sonuna kadar devam edecektir.

1900’lü yılların ikinci yarısından itibaren teknolojinin ve üretim yöntemlerinin ivme kazanması ile mühendislik malzemeleri bünyesine çeşitli malzemeler eklemiştir. Özellikle Uzay teknolojisinin, havacılık ve savunma sanayisi gibi önemli sektörlerin gelişim gösterdiği bu süreçte ekonomik, üretimi kolay ve istenilen ortam şartlarına göre üretilen malzemeler hızlı bir Resimde geliştirilmektedir. (Tuncer, 2018)

Mühendislik malzemelerinin önemli elamanlarından olan kompozit malzemeler kullanım amacına göre iki ya da daha fazla miktarda aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi mekanik ve fiziksel özelliklerini yeni ve tek bir malzemede oluşturmak amacıyla üretilen malzemelere kompozit malzemeler denir. (Şen, 2013; Bulut, 2003; Şen, 2022)

3.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler üretildikleri malzemelere nazaran daha iyi özellikler göstermesi beklenen bir malzeme sınıfıdır. (Şen, 2022) Kullanım amacına göre belirli özellikler göstermesi amaçlanır ve malzemeler bu amaca göre üretilir. (Göksel, 2018). Kompozit malzemelerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır.

3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları;

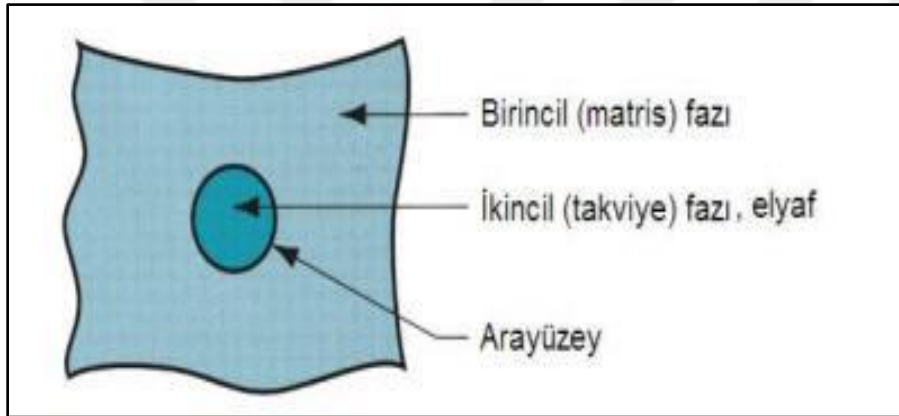
- Rijitlik
- Düşük yoğunluk
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek mukavemet
- Korozyon direnci
- Isı, sıcaklık, elektrik, ses direnci ve iletkenliği
- Estetik görünüm
- Yüksek sönümlenme ve esneklik.

3.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları;

- Üretimlerinin spesifik olması
- İşlenmelerinin güç olması
- Geri dönüştürülebilir olmayışları
- Bazı sektörlere göre maliyetin pahalı olması. (Bulut, 2003; Göksel, 2018).

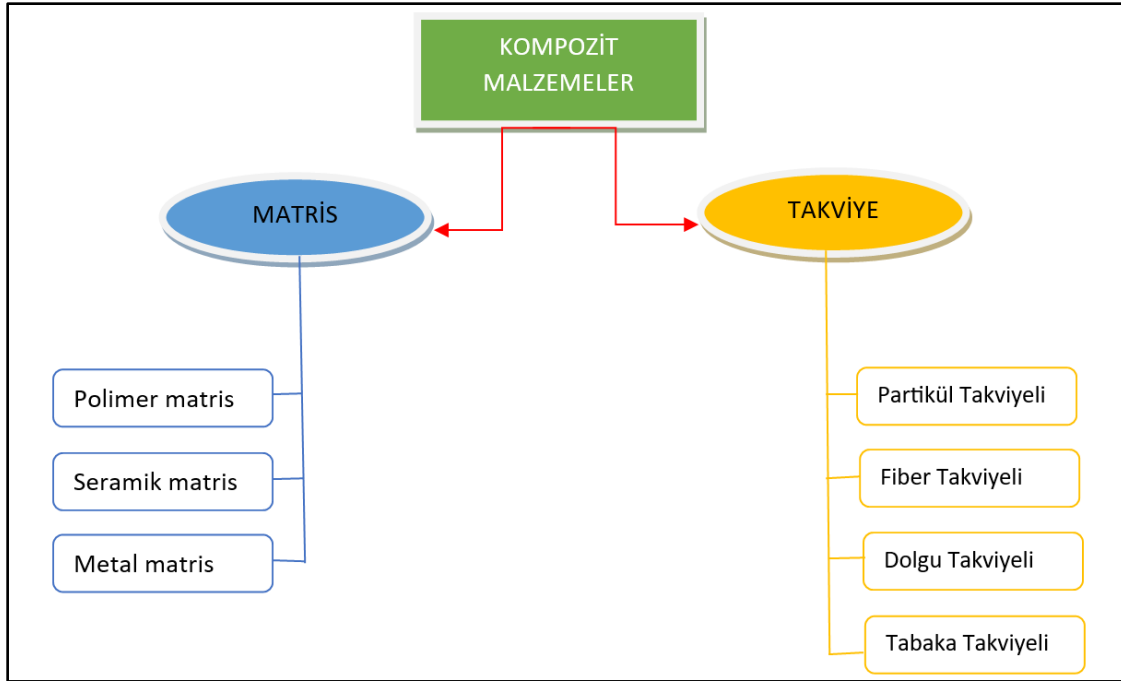
3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler üretimde kullanılan matris malzemesine ve takviye malzemesine göre sınıflandırılırlar. (Şen, 2022)



Şekil 3.1. Kompozit malzeme yapısı. (Göksel, 2018).

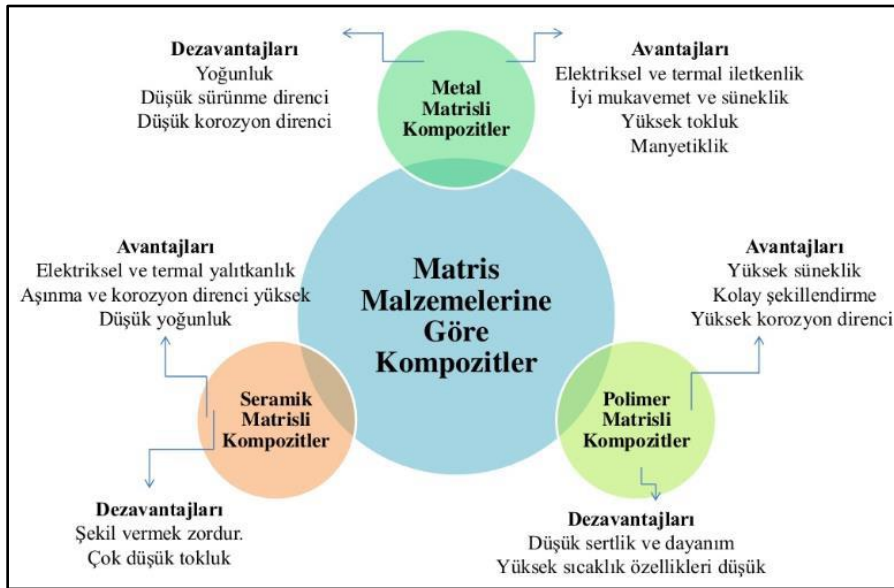
Matris malzeme, takviye elamanını bir arada tutmak ve mekanik özelliklerini güçlendirmek ve fiziksel çevresel faktörlerden korumak için kullanılan malzemelerdir. (Doğan, 2022). Takviye malzemesi ise fiber yapısı sayesinde üzerine düşen yükü dağıtmakla görevlidir. (Tuncer, 2018)



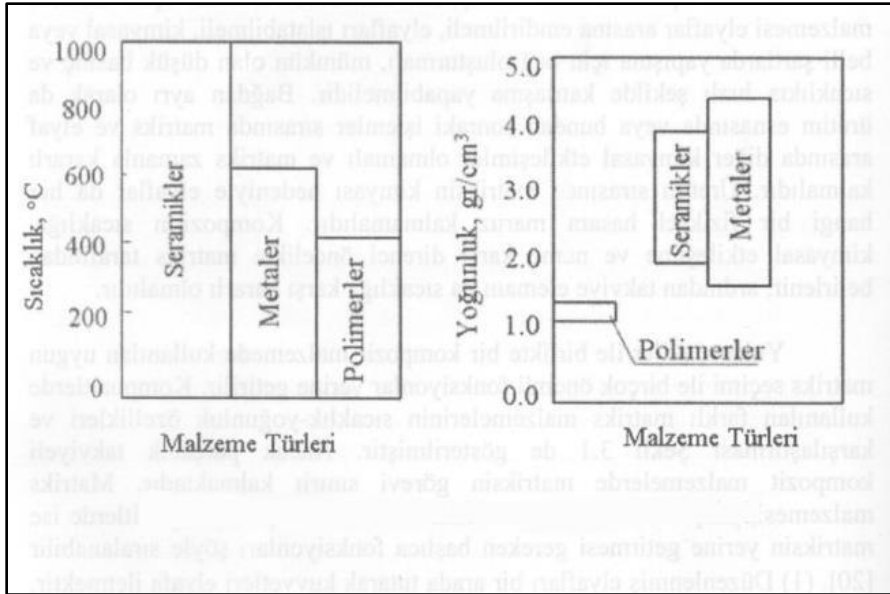
Şekil 3.2. Kompozitlerin sınıflandırılması.

3.2.1. Matris Malzemelerine Göre Kompozitler

Kompozit malzemeler matris malzeme türüne göre metal, seramik ve polimer matrisli malzemeler olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.3. Matris Malzeme Türüne Göre Kompozitler. (Göksel, 2018).



Şekil 3.4. Matris Malzemenin Özellikleri. (Göksel, 2018).

3.2.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Kullanım amacına göre istenilen mekanik değerlere sahip en az bir metal kullanılarak iki yada daha fazla malzemenin sistemli bir biçimde birleştirilmesi ile elde edilir. Metal matrisli kompozit malzemeler kullanılırken genellikle al, mg, ti, cu ve alaşımları gibi düşük yoğunluğa sahip metaller tercih edilir. (Tuncer, 2018)

Metal matrisli kompozitler daha çok otomotiv, havacılık ve uzay gibi önemli sektörlerde kullanılmaktadır. Bu tür kompozitlerde takviye elemanı olarak da AlN, Al₂O₃, B₄C, SiC, Si₃N₄, TiC, MgO, BN, TiB₂ gibi seramik malzemeler kullanılmaktadır. (Şen, 2022)

Yüksek mukavemet değerlerine, aşınma direncine sahiptirler, elektrik ve ısı iletimi yüksektir, yapısal olarak benzer kompozitler ile kaynak yapılabilirler, yüksek sıcaklıklarda çalışma imkanı sağlamaları gibi avantajlarının yanı sıra, karmaşık üretim yöntemleri, yüksek yoğunluk, korozyon direncinin zayıflığı ve maliyet yüksekliği gibi dezavantajlara da sahiptir. (Şen, 2022)

3.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Düşük ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen sert ve gevrek kompozit malzemelerdir. Genellikle yüksek ısıda çalışan makine elamanı yapımında kullanılırlar. Mekanik değerlerini iyileştirmek için çeşitli lifler ile takviye edilirler. Yapılarında matris malzeme olarak genellikle Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B4C kullanılmaktadır. (Tuncer, 2018)

3.2.1.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Matris malzeme olarak polimerlerin kullanıldığı kompozit türü olan polimer matrisli kompozitler günlük hayatımızda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük yoğunluk, maliyetin ucuz olması, üretim yöntemlerinin basitliği, korozyona karşı dayanım, mekanik değerlerinin iyi oluşu yaygın olarak tercih edilmesinin sebebidir. (Göksel, 2018; Şen, 2022)

Bazı mühendislik uygulamalarında metallerin yerine kullanılan polimer matrisli kompozit malzemelerde Matris olarak kullanılan plastik malzemeler esnek ve darbe emicidirler. Plastikler fiber takviye elamanı olarak kullanılırsa yük çekme gibi görevler yüklenirler. Polimer matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan plastik çeşitleri iki türdür ve aşağıda bahsedilmiştir.

3.2.1.3.1. Termoplastikler

Bu tip malzemeler ısıtıldığında yumuşarlar, Resim verilip soğutulduktan sonra sertleşirler ve bunun sonucunda mikro yapılarında bir değişim olmaz. Akrilikler, naylonlar, polietilen, karbonflorür, vinil ester, genellikle matris malzeme olarak kullanılırlar. (Göksel, 2018).

3.2.1.3.2. Termoset Plastikler

Bu tür plastikler ısıtılıp Resim aldıklarında mikro yapılarında değişim meydana gelir ve bu yüzden eski yapılarına dönüşemezler. Polyesterler, epoksiler yaygın kullanılan termoset plastiklerdendir. (Göksel, 2018).

Termoplastikler	Termosetler
Isı ve basınç altında yumuşar ve böylece tamir edilebilir	Isıtmayla ayrıştırılamaz
Yüksek kopma şekil değiştirmeleri	Düşük kopma şekil değiştirmeleri
Belirsiz raf ömrü	Kesin raf ömrü
Yeniden işlenebilirlik	Tekrar işlenemez
Kolay işlenebilme ve yapışkan olmama	Yapışkan
Kısa kür süresi	Uzun kür süresi
Yüksek üretim sıcaklığı ve viskozitenin üretimi zorlaştırması	Düşük üretim sıcaklığı
Mükemmel çözücü direnci	Düşük çözücü direnci

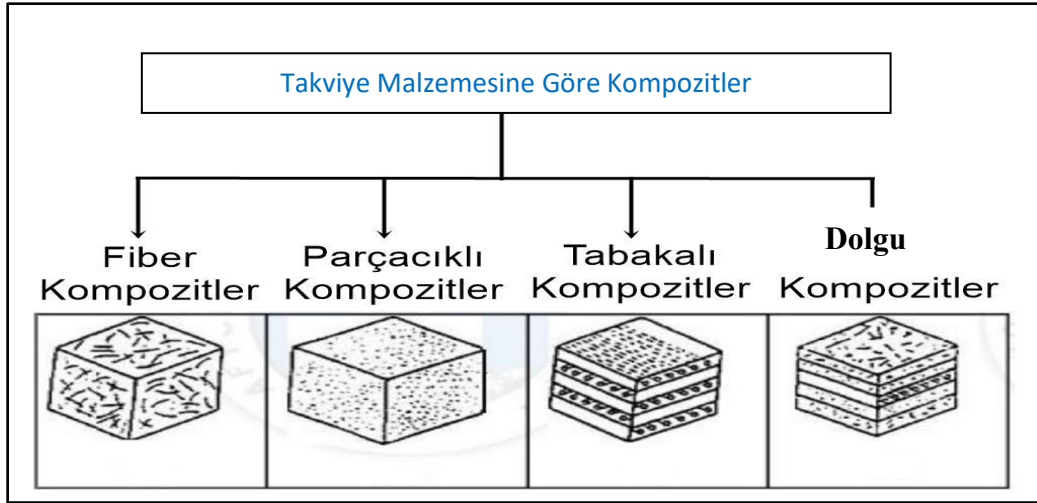
Şekil 3.5. Termoplastik ve Termoset Farkları (Göksel, 2018).

Çizelge 3.1. Bazı termoset plastiklerin özellikleri. (Bulut, 2003)

	Epoksi	Polyester	Fenolik
Yoğunluk (g/cm³)	1.11	1.04-1.46	1.24-1.32
Elastik modül (MPa)	7000	3400	4800
Çekme dayanımı (MPa)	70	41-90	34-62
Kopma uzaması (%)	3-6	42	1.5-2
Isıl iletkenlik	0.19	0.19	0.15
Isıl genleşme kat sayısı (1/C°)	45-65	55-100	68

3.2.2. Takviye Malzemesine Göre Kompozitler

Kompozit malzemenin genel yapısı matris olarak isimlendirilen sürekli faz olan malzeme ile farklı özelliklere sahip takviye fazının belirli şartlarda belirli oranlarla kullanım amacına göre oluşturulur. (Bulut, 2003)

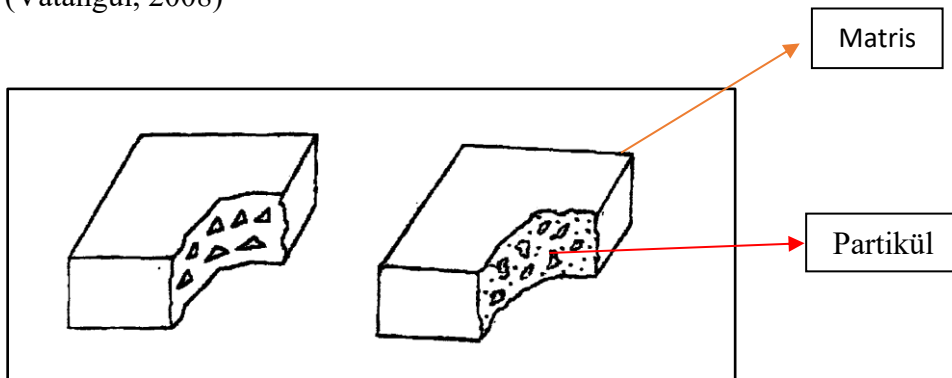


Şekil 3.6. Takviye malzemesine göre kompozitler. (Koral, 2021)

Takviye elamanları kompozit iç yapısını oluştururlar ve gelen yükü taşıy ve dağıtırlar. Kompozitin kullanım alanı belirlendikten sonra matris/takviye eleman seçiminin uyumlu olması önem arz etmektedir çünkü bu uyum üretilen sistemin hem fiziksel hem de mekanik özelliklerini etkilemektedir.

3.2.2.1. Partikül Takviyeli Kompozitler

Granül halde dolgu maddesi takviyesi ile Resimlendirilerek , rijitlik ve mukavemette iyi bir verimlilik elde etmek amacıyla üretilen kompozitlerdir. Partikül takviyeli kompozitleri diğer kompozitlerden ayıran önemli karakteristik özellik granül halde, makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matris içerisinde rastgele dağılmasından dolayı izotropik (her yerde eşit özellik) olmamasıdır. Partikül takviyeli kompozitlerin rijitliği ideal maliyetleri düşüktür. (Vatangül, 2008)

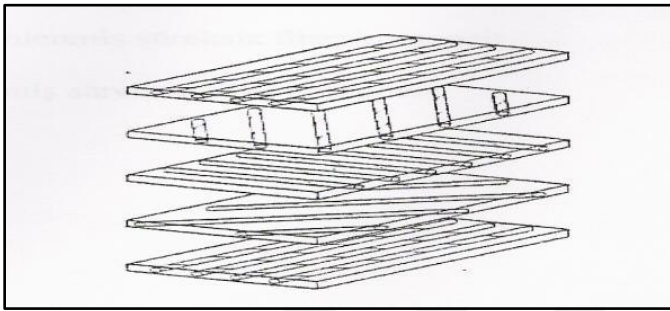


Şekil 3.7. Parçacık takviyeli kompozit kesitleri.

Matris ile birleşimi yapılacak partikülerin boyutu 1 μm 'den fazla olamaz ve partikül hacim oranı %25'den fazla kullanılmamalıdır. (Bulut, 2003)

3.2.2.2. Tabaka Takviyeli Kompozitler

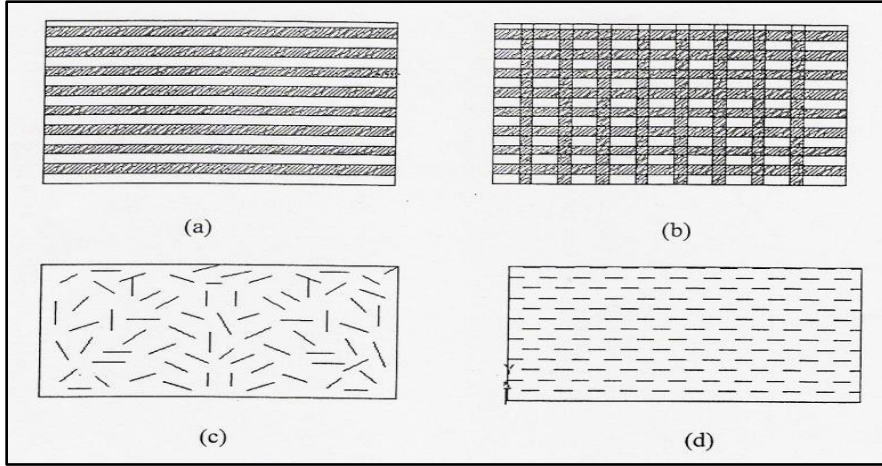
Aşağıdaki Resimde görüldüğü üzere kullanılan temel malzemelerin yönleri doğrultusunda farklı yönlerdeki lamellerin, katmanların üst üste konulması ile tabaka takviyeli veya lamel takviyeli kompozitler oluşturulmaktadır. Bu tür sistemle üretilen kompozitler yüksek yük taşıma kabiliyetine sahiptirler. (Bulut, 2003; Vatangül, 2008)



Şekil 3.8. Açılı tabakaların ayrılmış hali.

3.2.2.3. Fiber Takviyeli Kompozitler

Matris yapı içerisine takviye fazı olarak fiber veya elyaf liflerin eklenmesi ile oluşturulan, üzerine gelen yükü dağıtmak ve iyi mekanik değerler elde etmek amacıyla üretilen kompozit malzemelerdir. Kullanılacak alana göre fiber takviyeler seçilerek düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve elastisiteye sahip kompozitler üretilir. Matris ile fiber uyumlu seçilmelidir. Fiber takviyeli kompozitlerde fiber yapı sürekli ve süreksiz Resimde oluşturulabilir. Bu durum mekanik özellik üzerinde doğrudan etkilidir. (Doğan, 2022).

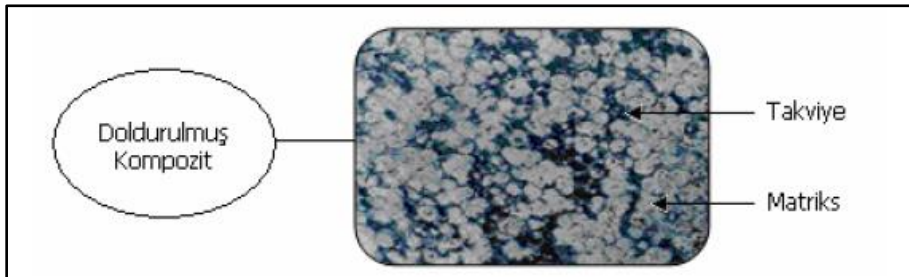


Şekil 3.9. Değişik yapıda fiber kompozitler. (Vatangül, 2008)

- a) Tek yönlü sürekli fiber kompozit b) Örgü formda fiber kompozitler
c) Rastgele süreksiz fiber kompozit d) Yönlü süreksiz fiber kompozit

3.2.2.4. Dolgu Takviyeli Kompozitler

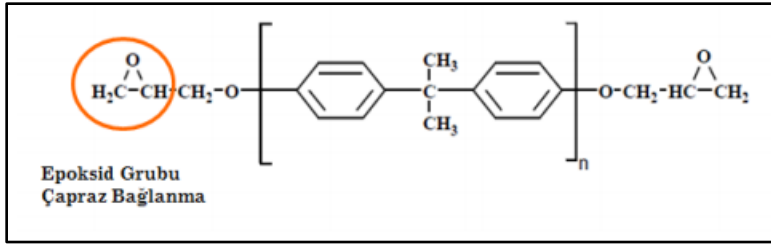
Üç boyutlu sürekli formda matris malzemenin yine üç boyutlu dolgu malzemesi ile doldurulması veya kalıplanması sonucu ortaya çıkan kompozit malzemelerdir. Oluşan kompozitin optimum özelliklere sahip olması amacıyla birbiri içerisinde çözünmeyen ve kimyasal tepkimeye girmeyen malzemelerin seçilmesi gereklidir. (Vatangül, 2008)



Şekil 3.10. Dolgu takviyeli kompozit iç yapısı. (Göksel, 2018).

3.3. Epoksi Reçine

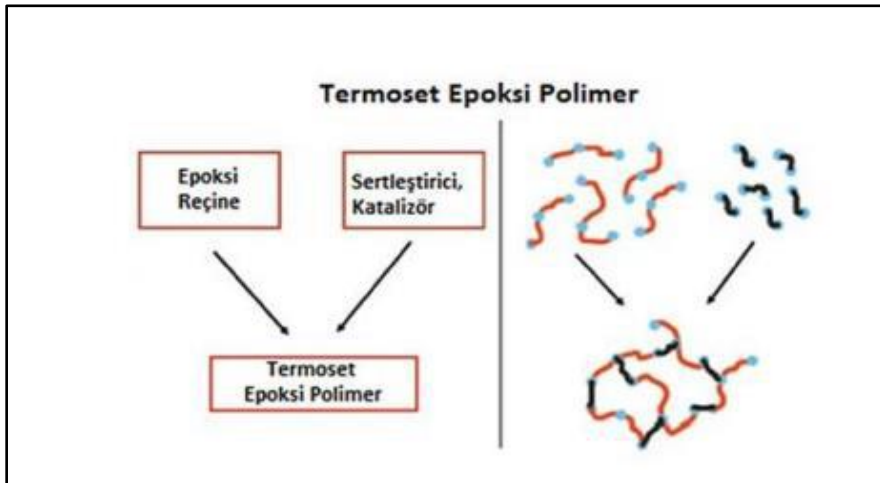
İki karbon ve bir oksijen atomundan oluşan kimyasal termoset polimer malzemelerdendir. Mekanik değerleri oldukça yüksek durumdadır. Viskozitesi düşüktür. Formülleri değiştirilerek istenilen amaca yönelik özellikler kazandırılabilir. (Tuncer, 2018; Bulut, 2003)



Şekil 3.11. Epoksi reçinenin kimyasal bileşen yapısı. (Şen, 2022)

Çok yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Yüksek kopma dayanımları, aşınma direncinin yüksek olması kompozit üretiminde basit bir Resimde kullanım sağlaması ve ucuz olması epoksinin avantajlarından. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde yüksek mekanik özelliklerinden dolayı ve korozyon direncinin yüksek olmasından dolayı matris malzeme olarak kullanılırlar (Göksel, 2018).

Diğer termoset polimerlere göre maliyetlerinin pahalı olması dezavantajları arasındadır. Epoksi reçineler oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar ve üretici firmanın belirttiği oranda sertleştiriciler kullanılarak çapraz bağ şeklinde bir yapı oluşturarak katı hal alırlar. Oluşan bu termoset polimer malzeme sert ve toktur. (Bulut, 2003)



Şekil 3.12. Epoksi reçine ile katalizörün çapraz bağlanma şeması. (Şen, 2022)

Yüksek çekme dayanımı, elyaf takviyeli yapılarda yüksek mukavemet sağlaması, aşınma direncinin yüksek olması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme kabiliyetleri, kimyasal dirençlerinin yüksek olması gibi avantajlara sahipken diğer reçinelere göre maliyetleri yüksektir ve yüksek viskoziteye düşük uygunluk sağlaması dezavantajdır. (Erdal, 2020)

3.4. Polyester Reçine

Termosetlere yapılan uygulamalar ile kullanılabilen, oda sıcaklığında ve normal atmosfer basıncında kürlenebilen, maliyeti ucuz, mekanik dayanım ve kimyasal özellikler olarak ideal kararlılıkta bir termoset malzemedir. Kullanım alanlarına göre ilaveler yapılırsa daha mukavemetli, daha sert, daha gevrek veya daha esnek hale gelebilirler. (Bulut, 2003)

Düşük maliyet ve hızlı kürlenme özelliklerinden dolayı inşaat ve denizcilik sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Oda sıcaklığında sıvıdırlar ve kısa raf ömürlerinin yanı sıra insan sağlığına zararlı reçinelerdendir. (Tuncer, 2018)

3.5. Vinilester Reçine

Kolay işleme ve hızlı sertleşme özelliklerine sahip vinilester reçineler epoksi ile akrilik'in karışımı ile elde edilirler. Korozyon direnci ve mekanik özellikleri iyidir. Polyester reçineler ile benzer özelliklere sahiptirler ancak maliyeti bir miktar fazladır ve daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. (Tuncer, 2018)

3.6. Fenolik Reçine

Bu reçinelerin endüstriyel ismi bakalittir ve çeşitli minerallerin, selüloz elyafların ve ahşap unu gibi bazı dolgu malzemelerinin birleştirilmesi ile elde edilirler. Gevrek malzemelerdir ancak yalıtım, ısıl dayanım, kimyasal kararlılık gibi özellikleri iyidir. Oksijen ve diğer çevresel etkenlere maruz kaldıklarında mekanik özelliklerini korurlar ancak zamanla renk değişimi meydana gelir. (Bulut, 2003; Tuncer, 2018)

3.7. Zırh Yapımında Kullanılan Fiberler

Savunma sanayisinin gelişimi ile zırh yapımında kullanılan malzemelerin de yapısal ve mekanik özellikler bakımından gelişimi son derece hızlanmıştır. İlk yapılan profesyonel zırhların verimsiz ve hantal olması nedeniyle araştırmacılar ve üreticiler yüksek mukavemet özelliklere sahip ve hareket kabiliyeti sunan lif yapıları fiber malzemelere yönelmiştir. (Yumak, Aslantas, ve Pekbey, 2013)

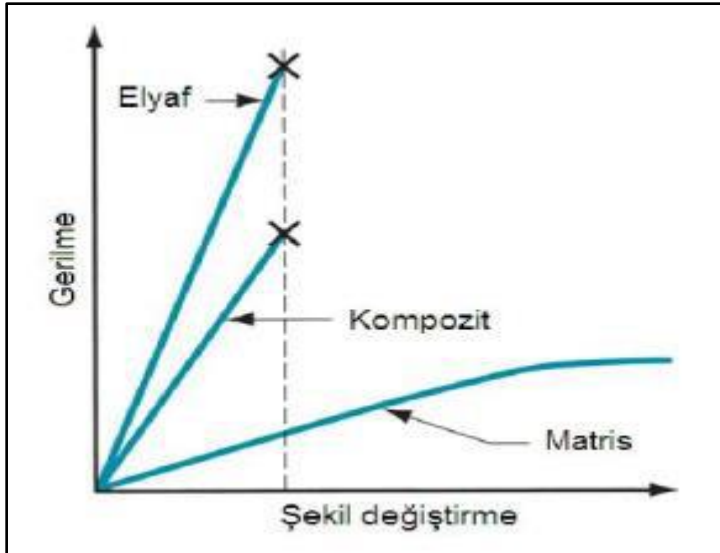
Matris yapı içerisinde takviye olarak kullanılan fiberler oluşturulan kompozit malzemenin yükü taşıyan önemli mukavemet elemanıdır. Düşük yoğunluk, esneklik, yüksek mukavemet ve yüksek sertlik, kimyasal korozyon direnci gibi özelliklere sahip modern kompozit yapıların oluşumunda etkin rol oynayan bu malzemeler zırh tasarımında da son derece yaygın olarak tercih edilmektedir. (Vatangül, 2008)

Zırh üretimi yapılırken kompozit malzemelerin üretiminde değişik katmanlarda farklı kompozit kombinasyonlarının balistik dayanımı artırabildiği, fiziksel deneylerin yanı sıra bu kombinasyonların bilgisayar tabanlı analiz programları sayesinde simülasyon edilebileceği ve bu Resimde ARGE ve üretim kolaylığı ve ucuz maliyet olacağı unutulmamalıdır.

Bu çalışmamızda üretilen kompozitlerin ve kullanılan elyaf kumaşların mekanik verileri ışığında bilgisayar destekli analiz programları ile simülasyon incelemesi yapılacak olup, kullanmış olduğumuz fiber yapıdaki malzemelerden cam fiber, aramid (Kevlar 29) ve karbon fiberin, epoksinin teknik ve fiziksel özelliklerinden materyal ve yöntem kısmında detaylı olarak bahsedeceğim.

Zırh yapımında mukavemet özelliklerinin iyi derecede olması gerekir. Bu nedenle fiber yapıları kumaşlar kullanım amacına göre ve mukavemet değerlerinin iyileştirilmesi amacıyla fiziksel olarak örgü veya dokuma Resimlerinde üretilirler.

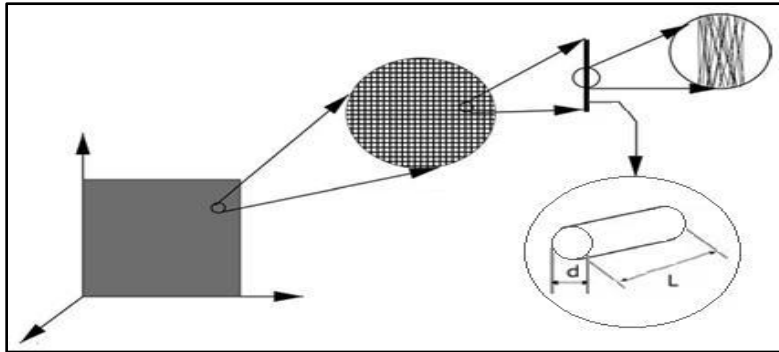
Resim 3.12” de kompozit malzemenin iç yapısında matris/elyaf takviye bileşeninin gerilme Resim değiştirme grafiği görülmektedir. Matris malzeme sünek özelliğe sahipken elyaf takviye sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir. Birçok malzemenin elyaf formundaki halinin dayanımı, kütle formundaki dayanımından yüksektir ve matris içerisine gömülerek elyafın dezavantajlarından kurtulup mekanik değerleri yüksek ve elyaf yapıyı dış etkenlerden koruyacak Resimde kompozit halini alır. Uyumlu bir matris-fiber seçimi yapılırsa yük uygulandığında düşük mekanik özelliklere sahip matris üzerine gelen yükü fiber yapıya iletir. (Göksel, 2018).



Şekil 3.13. Gerilme-Resim değiştirme. (Göksel, 2018).

3.8. Fiber Kumaşların Örgü Resimleri:

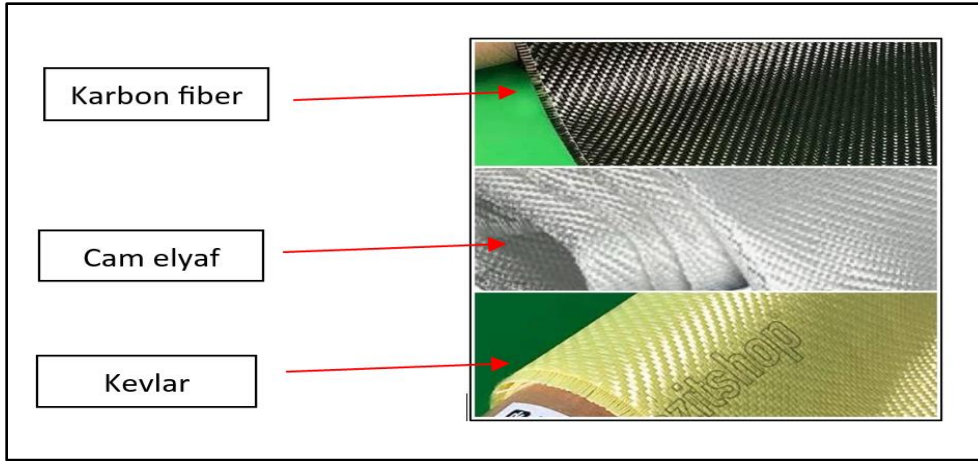
Elyaf veya fiber kelimesi genel olarak aynı anlamda kullanılmaktadır. Elyaf, lif'in çoğul halidir. Liflerin apı yaklaşık 0,01 mm civarındadır ve doğal ya da sentetik olarak üretilirler. Liflerin temel boyut yapısı ($L/d \leq 104$) formülü ile gösterilir. (Göksel, 2018).



Şekil 3.14. Liflerin Temel Boyutları. (Göksel, 2018).

Keten, kenevir, pamuk jüt, sisal, hindistan cevizi gibi doğal bitkilerden elde edilen lifler doğal fiberlere örnek olarak verilebilir. (Şen, 2022)

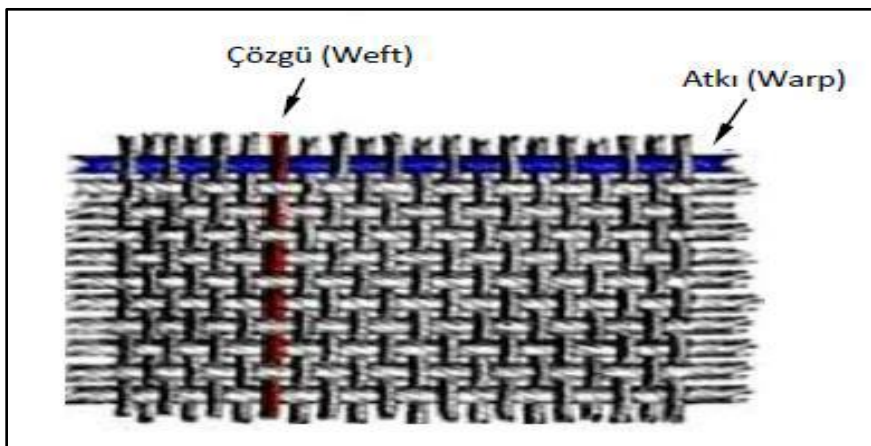
Bu alışmamızda da kullanacağımız cam fiber, karbon fiber ve aramid (kevlar) gibi malzemeler ise sentetik liflerden oluşur.



Şekil 3.15. Elyaf kumaşlar.

Bu kumaşlar ile üretilen balistik zırhlar metal veya seramikler ile üretilen zırhlara nazaran daha hafif olmaları sebebiyle performansları ve hareket kabiliyetleri yüksektir. (Yumak ve diğerleri, 2013). Kompozitlerde takviye elemanı olarak fiber kullanıldığında liflerin uzunluğu, yön ve Resimleri mukavemet değerlerini önemli derecede etkilemektedir. (Doğan, 2022).

Fiber kumaşlar genellikle yapısal olarak birbirini dik Resimde kesen liflerden oluşur. Liflerin kumaş yapı boyuna doğrultuda olanlarına “çözüğü” ve çözgüleri enine dik doğrultuda kesen liflere ise “atkı” olarak isimlendirilirler. Atkı ve çözgülerin değişik Resim ve sayıda dokunmalarıyla oluşan kumaşlar değişik isimler alırlar ve oluşan kumaşın ağırlığı kg/m^2 olarak ifade edilir. Örgü biçimleri kumaşlara farklı karakteristik özellikler kazandırır. Örgü Resimleri genellikle dört farklı yöntem ve isimle tanımlanır. (Bulut, 2003)



Şekil 3.16. Atkı ve Çözgü görseli. (Göksel, 2018).

3.8.1. Düz Dokuma (Plain Weave)

Dokuma türleri arasında en basit dokuma yöntemidir. Atkı ve çözgülerin bir ters bir düz Resimde birbirine dik biçimde örülmesi ile oluşurlar. Mekanik özellikleri diğer dokuma Resimlerine göre zayıftır. (Bulut, 2003)

3.8.2. Düz Dokuma (Plain Weave)

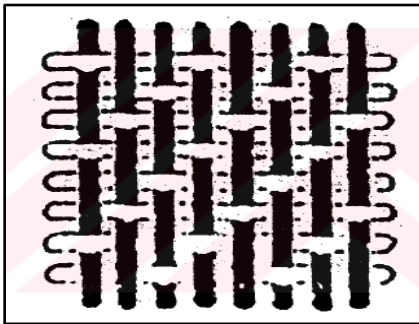
Dokuma türleri arasında en basit dokuma yöntemidir. Atkı ve çözgülerin bir ters bir düz Resimde birbirine dik biçimde örülmesi ile oluşurlar. Mekanik özellikleri diğer dokuma Resimlerine göre zayıftır. (Bulut, 2003)



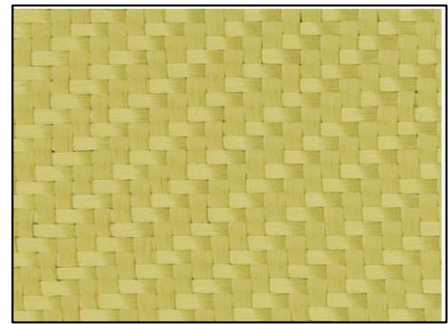
Şekil 3.17. Düz (plain) dokuma karbon fiber.

3.8.3. Kabarık Dokuma (Twill Weave)

Düz dokuma ile birlikte yaygın olarak kullanılan bir dokuma şeklidir. Lifler farklı kombinasyonlarda 2*1 veya 2*2 gibi atkı ve çözgülerin birbirine dik örülmesi sonucunda kabarık dokuma oluşturulur.



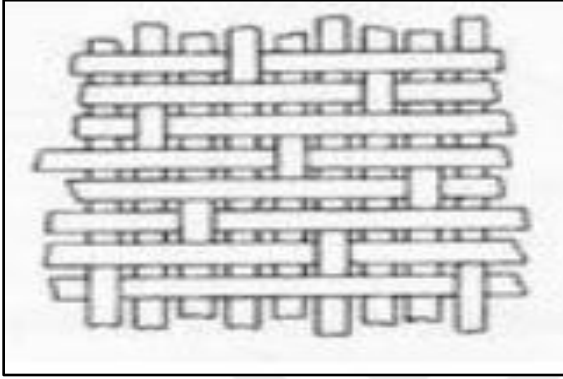
Şekil 3.18. Kabarık (Twill Weave) Dokuma.



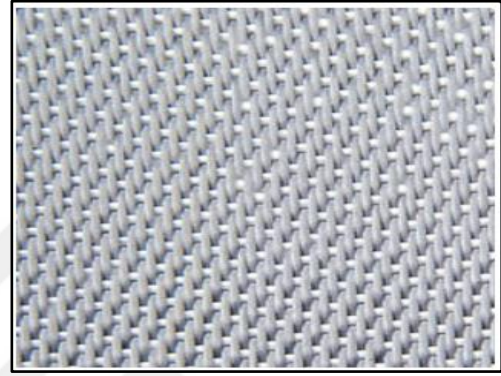
Şekil 3.19. Twill dokuma kevlar.

3.8.4. Atlas Dokuma (Satin Weave)

Sepet dokuma fiber kumaşlara benzer yöntemle dokunurlar ancak bir yüzeyin daha çok atkı diğer yüzeyin daha çok çözgü olması şeklinde örülürler. Bu durum yüzeylerin daha pürüzsüz olmasını sağlar. Daha az kıvrımlı olmasından dolayı mekanik özellik gayet iyidir. Minimum kalınlık gereken kompozit katmanlarında atlas dokuma fiber kumaşlar kullanılmalıdır.



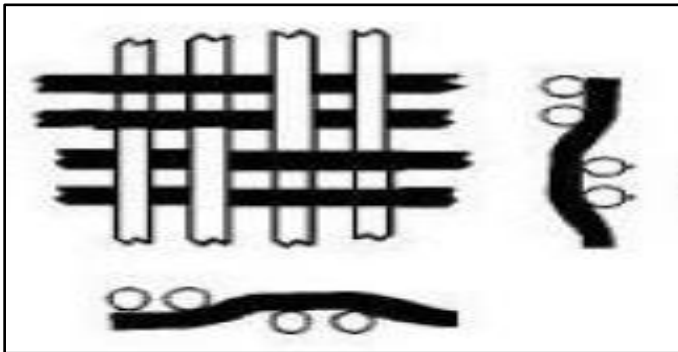
Şekil 3.20. Atlas Dokuma (satin waeve).



Şekil 3.21. Atlas dokuma cam elyaf.

3.8.5. Mat Dokuma (Mat Weave)

Sepet dokuma olarakda isimlendirilen mat dokumada genellikle iki çözgü bir atkı veya bir çözgü bir atkı şeklinde birbirlerinin altından ve üstünden geçirilerek oluşturulan örgü yöntemidir. Genellikle kevlar fiber kumaşların örüldüğü yöntem bu yöntemdir. Daha çok küçük lifler ile ucuz kumaşların elde edilmesi amacıyla bu yöntem kullanılır. (Bulut, 2003)



Şekil 3.22. Sepet dokuma. (Sozen, Gunduz ve Imren, 2016)

3.9. Doğal Fiber Takviyeler

Ekonomik, çevresel endişeler ve yenilenebilir kaynaklar alanında yükselen farkındalık sebebiyle çevre dostu ve geri dönüşüm yapılabilen yeni nesil kompozit malzemeler üretmek amacıyla araştırmalar ve girişimler artmaktadır. (Şen, 2022)

Yeni nesil kompozit üretiminde ilgi odağı olan malzemeler doğal lif takviyeli polimerlerdir. Bunun sebebi daha çok polimerlerin metallere oranla aşınma ve darbe dirençlerinin yüksek olması ve aynı ağırlık oranında daha yüksek mukavemet özelliklerine sahip olmasıdır. Bitki liflerinin matris malzeme ile birleştirilmesi sonucu üstün kalitede kompozit malzemeler elde edilebilirken bu durum takviye elemanı olarak kullanılan cam, karbon ve kevlar gibi sentetik fiberlere alternatif oluşturabilmektedir. (Engin, Koyuncu ve Lüle, 2015)

Keten, kenevir, pamuk jüt, sisal, hindistan cevizi gibi doğal bitkilerden elde edilen lifler doğal fiberlere örnek gösterilebilirler ancak bu doğal lifler yüksek derecede nem emme ve reçineler ile düşük uyumluluk gibi dezavantajlara sahiptirler. (Şen, 2022)

Çizelge 3.2. Bazı doğal liflerin mekanik değerleri. (Şen, 2022)

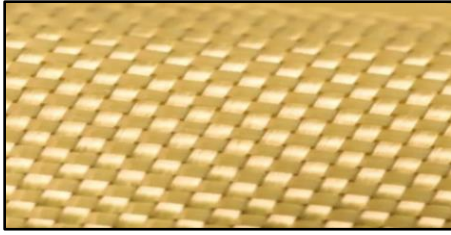
Fiber	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme gerilmesi (MPa)	Spesifik çekme gerilmesi (MPa)	Elastikiyet modülü (GPa)	Spesifik elastikiyet modülü (GPa)
Keten	1,5-1,6	400	250-267	5,5—12,6	3,5-8,1
Kenevir	1,45	930	641	53	36,5
Sisal	1,5	511-635	341-423	9,4-22	6,3-14,7

3.10 Sentetik Fiber Takviyeler

3.10.1. Aramid Elyaf

Teknik ismi “Aromatik Polyamid” olan aramid elyaflar meta aramid ve para aramid olmak üzere iki türdedir. (Çerkez, 2007).

Aramid elyaflar düşük yoğunluğa, yüksek mekanik özelliklere, yüksek darbe dayanımına, düşük elektrik iletimine ve düşük maliyetlere sahiptirler. Doğal kimyasal maddelere dirençlidirler ancak asit ve tuza karşı hassastırlar. (Vatangül, 2008)

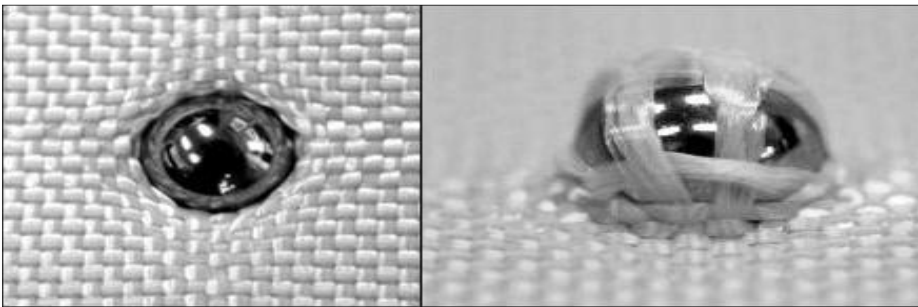


Resim 3.1. Aramid elyaf kumaş.

Aramid elyafların çekme mukavemetleri aynı boyuttaki bir çeliğe göre 5 kat daha fazladır. Bu yüksek çekme mukavemetleri ve düşük yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle balistik uygulamalarda son derece fazla kullanılmaktadırlar. (Göksel, 2018).

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan aramid elyaflar ticari isim olarak genellikle kevlar ve twaron olarak isimlendirilirler. Daha yaygın kullanıma sahip kevların Dupont firması tarafından üretilen Kevlar 29, Kevlar 49 ve Kevlar 149 olmak üzere üç türü vardır. (Doğan, 2022).

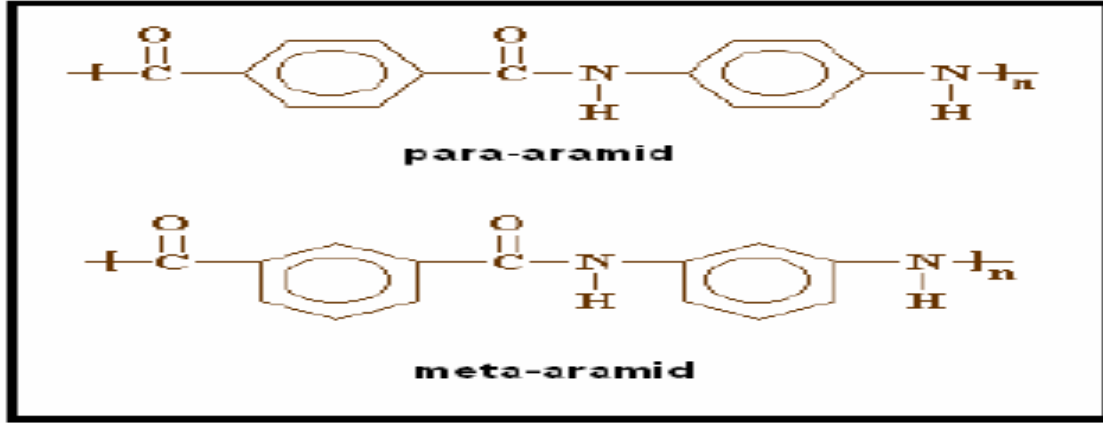
Kevlar 29 yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek kopma uzaması gibi iyi mekanik özelliklere sahip olup zırh yapımında, büyük halatlar ve özel kablolarda kullanılır. Kevlar 49 ise yüksek modül, yüksek mukavemet, düşük kopma uzaması gibi mekanik özellikleri ile denizcilik ve otomotiv sektöründe kullanılır. (Tuncer, 2018)



Resim 3.2. Para-Aramid kumaşın balistik özelliği. (Yumak ve diğerleri, 2013)

Aramid elyafların meta aramid türlerinin ısı dirençleri yüksektir. Alev almazlar ve yakılamazlar. Aramid elyafların ısı koruyucu amacıyla üretilen türleri meta aramidlerdir. Yaygın kullanılan türleri Dupont firmasına ait Nomex, Teijin firmasına ait Conex ve yine Teijin firmasına ait Conex HT' dir. (Göksel, 2018).

Para aramidler aramid elyafların balistik uygulamalarda sıklıkla tercih edilen ve kullanılan türleridir. En yaygın kullanılan Dupont firmasına ait Kevlar, Akzo firmasına ait Twaron ve Teijin firmasına ait Technora'dır. (Çerkez, 2007).



Şekil 3.23. Para-aramid(Kevlar®) ve meta-aramidin (Nomex®) kimyasal yapıları.

Çizelge 3.3. Kevlar Liflerinin Mekanik Özellikleri. (Çerkez, 2007).

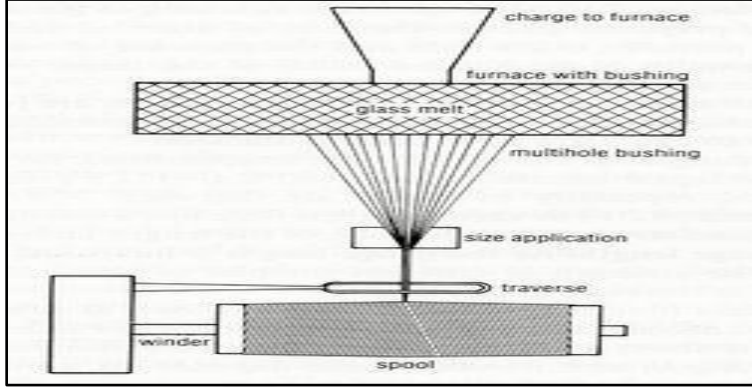
Tür	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Çekme Uzaması (%)
Kevlar®29	1.44	83	3.6	4
Kevlar®49	1.44	131	3.6-4.1	2.8
Kevlar®149	1.47	186	3.4	2

3.10.2. Cam Elyaf

Cam elyaf piyasada maliyet ve dayanım açısından en çok kullanılan takviye elemanıdır. Düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanı sıra yüksek mukavemet özelliklere sahiptirler ve diğer elyaf türlerine göre daha az maliyetle üretilerek uzay ve havacılık, denizcilik, otomotiv ve savunma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. (Tuncer, 2018),

Matris elemanı termoset ve termoplastik reçineler olan kompozit yapılarda iyi bir takviye elemanı görevi oluştururlar. Cam elyafın kimyasal yapısı; kalsiyum, silisyum, bor, alüminyum, demir, sodyum, gibi elementlerin oksitler ile kimyasal reaksiyon göstermesi sonucu oluşmaktadır. Cam fiberlerde %50-%60 arasında silis (SiO₂) bileşeni bulunmaktadır. Cam

elyaflar, cam seramik malzemelerin 1200 °C -1500°C sıcaklıklarda eritme ocaklarında ergitilerek camların potadaki gözeneklerden süzülerek soğutulma işlemi uygulanması sonucu üretilmektedir. (Doğan, 2022).



Şekil 3.24. Cam elyaf üretim şeması. (Vatangül, 2008)

Yüksek mukavemet özelliklerine sahip cam fiberler A, E, C, D, E, ECR, AR, R, S-cam olmak üzere değişik sektörler ve farklı amaçlar için 9 farklı türde imal edilirler. Zırh yapımında balistik tasarımlarda yüksek mekanik özelliklere sahip olmalarından dolayı, kolay işlenebilir olmaları nedeniyle ve hafif olmaları sebebiyle en yaygın kullanılanları E-cam ve S-cam türleridir.



Resim 3.3. Cam elyaf kumaş.

Cam elyaf üretiminde silis kumuna değişik katkı maddeleri eklendiğinde kimyasal yapı bu maddelerin etkisi ile farklı mekanik özellikler gösterir.

A (Alkali) Camı: A türü cam yüksek miktarda alkali içeriğine sahip bir camdır. Bu sebeple elektriksel yalıtkanlık özelliği iyi değildir. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.

C (Korozyon) Camı: Kimyasal karışımlara direnci oldukça yüksektir.

E (Elektrik) Camı: Düşük miktarlarda alkali barındırması nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam türlerine göre gayet iyidir. Mukavemeti değerleri yüksektir. Suya karşı direnci yüksek olduğundan nemli alanlar için geliştirilen kompozit malzemelerde takviye olarak genellikle E camı kullanılır.

S (Mukavemet) Camı: Yüksek mukavemet özelliklerine sahip bir cam türüdür. Çekme değeri E cam türüne oranla %33 daha iyidir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek yorulma direncine gösterir. Bu özellikleri sebebiyle havacılık ve uzay sektöründe kullanımı yaygındır. Cam elyaflar genellikle matris elemanı olarak plastik veya epoksi reçinelerle takviye edilirler.

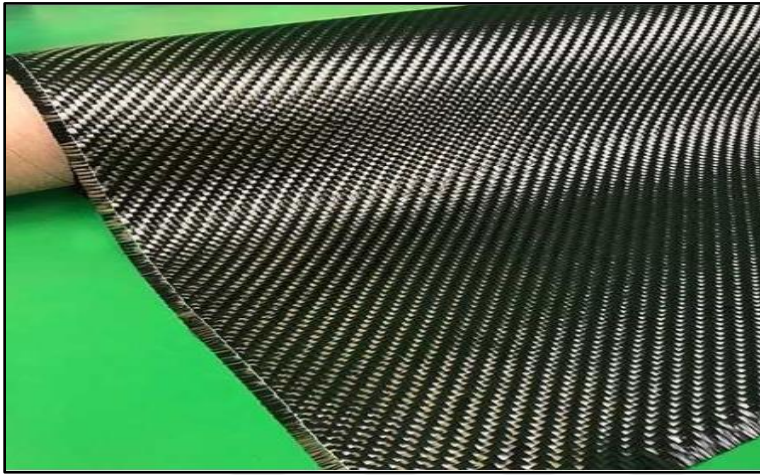
Çizelge 3.4. Cam elyafların mekanik özellikleri. (Vatangül, 2008)

Özellikler	A Cam	C Cam	E Cam	S Cam
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2..50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	--	69	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3450	4585.0
Isıl genleşme katsayısı	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727	749	841	970

3.10.3. Karbon Elyaf

İlk kez ticari olarak karbon elyaf yanma (piroliz) ve ısıtma işlemi ile sentetik fiberlerin karbon ve grafit elyaflara dönüştürülmesi sonucu elde edilmiştir. (Doğan, 2022).

Hafif olması, yüksek mukavemet özelliklerine sahip olması, düşük yoğunluk ve sürtünme gibi üstün özellikleri nedeniyle havacılık ve uzay sanayisinde, savunma sanayisinde, spor aletleri üretiminde (tenis raketi, kask vb.), dekor ve hafiflik amacıyla araçların çeşitli bölgelerinde ve enerji depolama alanlarında yaygın bir Resimde kullanılmaktadır. Karbon elyaflar mekanik olarak çelikler ile kıyaslandığında benzer boyutlarda 4-5 kat daha hafif ve mukavemetli malzemelerdir. (Tuncer, 2018)



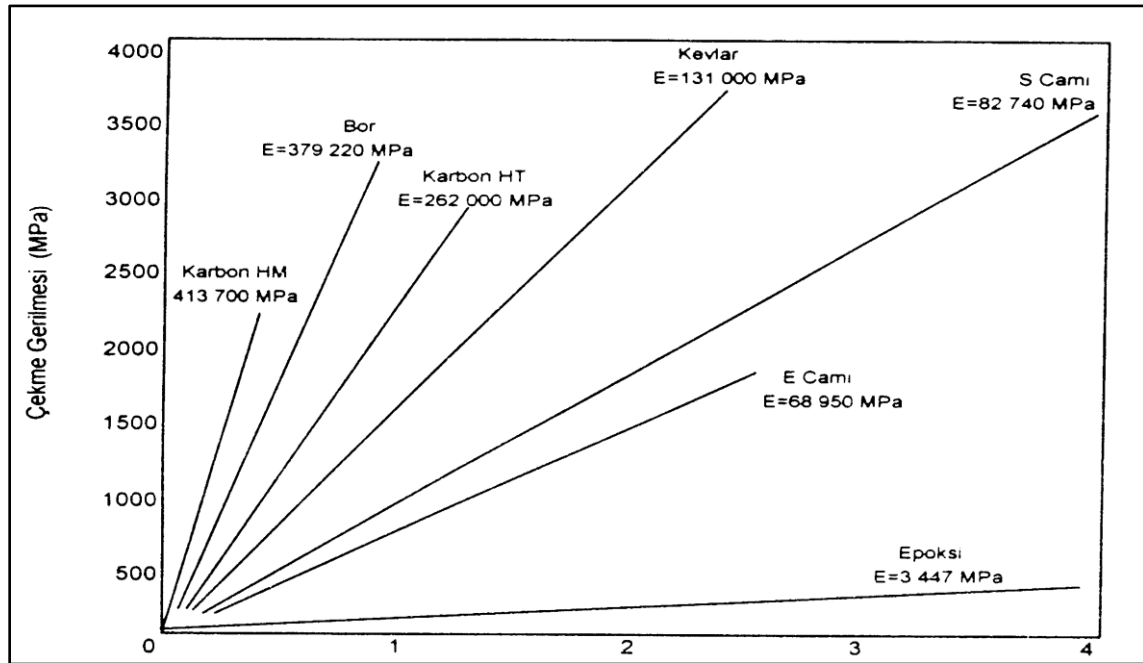
Resim 3.4. Karbon elyaf kumaş.

Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri yüksektir. Bu sebeple askeri ve sivil uçak yapılarında geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar değişik plastik matrislerle ve daha çok epoksi reçineler ile takviye elemanı olarak kullanılırlar. Bunun yanı sıra karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de takviye elemanı olarak kullanılırlar. (Vatangül, 2008)

Karbon elyaflar oda sıcaklığında neme, atmosfere, zayıf asit ve bazlara karşı dirençleri yüksektir ve fiber malzemeler arasında karbon fiber, en yüksek özgül mukavemete ve elastisite modüle sahiptir. Ayrıca ısı iletkenliğinin yüksek derecelerde olması ve biyolojik malzemeler ile uyumlu olması da avantajları arasındadır. (Doğan, 2022).

Çizelge 3.5. Bazı elyafların mekanik değerleri. (Tuncer, 2018)

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Spesifik Dayanım (Nm/g)	Spesifik Modül (Nm/g)
E-Camı	2.5	3450	72	1048	29x10 ³
Karbon	1.8	3450-4850	220	1450	26x10 ³
Kevlar	1.44	3600	83	1944	44x10 ³



Şekil 3.25. Elyaf ve matris fazın gerilme-uzama eğrisi. (Vatangül, 2008)

3.11. Hibrit Kompozitler

Kompozit malzemeler üretilirken matris elemanının içerisinde en az iki veya daha fazla takviye elemanının eklenmesi, örneğin cam elyaf ve karbon elyafın aynı matris içerisinde eklenerek kompozitte kullanılması şeklinde üretilen kompozitler hibrit kompozitlerdir. (Şen, 2022)

Matris fazının içerisinde veya takviye elemanına eklenen takviye elemanlarının amacının mukavemet değerlerini, ısı direnci, korozyon direncini, nem direnci gibi kompozit

malzemelerin mekanik ve fiziksel değerlerini iyileştirmek amaçlı olduğu birçok literatürde gözümüze çarpmaktadır.

3.12. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

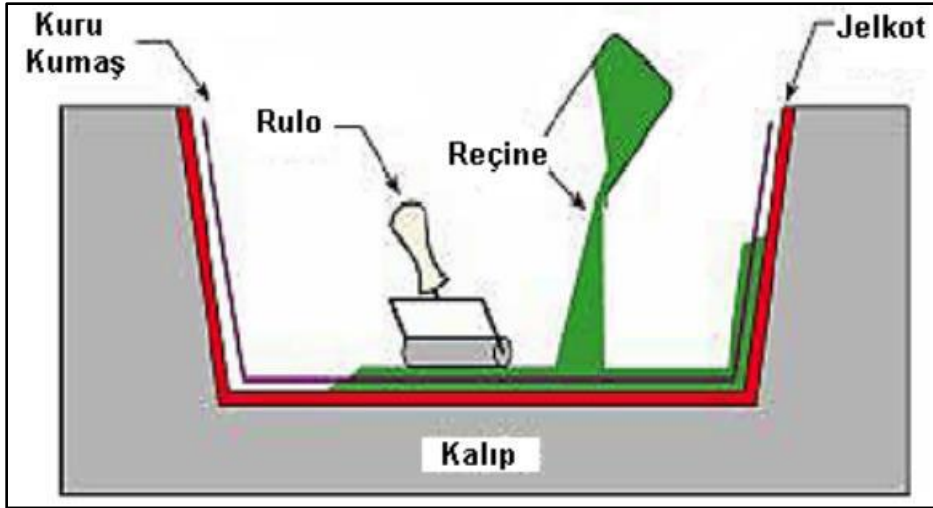
Kompozit malzemenin kullanım alanına göre istenilen özelliklerde üretilmesi için birçok yöntem vardır. Mühendislik malzemeleri üretilirken maliyet, işlenebilirlik, tasarım ve üretim kolaylığı ve bakımı, malzeme mekanik özelliklerinin iyi olması gibi faktörlere dikkat edilir. Bu faktörler kompozit malzemelerde çeşitli üretim yöntemlerinin oluşmasını sağlamıştır.

Kompozit malzeme üretilirken üretim bileşenleri iyi seçilmeli, matris ve takviye elemanı birbirine uyumlu olmalıdır. Bu durum üretim maliyetini ve malzeme performansını doğrudan etkilemektedir. (Göksel, 2018).

Bu çalışmada vakum infüzyon yöntemi ve prepreg kumaşlar kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiştir ve üretim aşamaları malzeme ve materyal kısmında detaylandırılmıştır.

3.12.1. Elle Yatırma (Hand Lay-up)

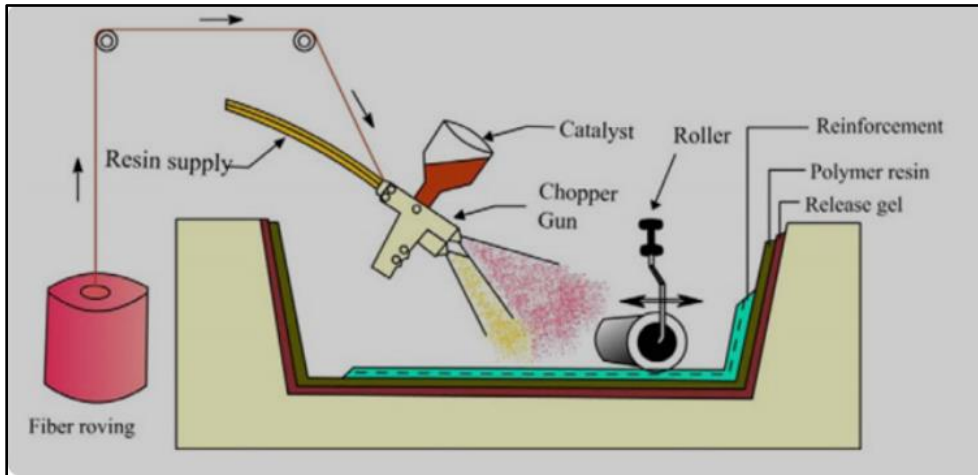
Örgü kumaş, kırılmış yapıda elyaflar veya fiberler ile üretilmiş kumaşların istenilen kalıbın üzerine elle yatırılarak ve her katman arasına matris malzemeyi fırça ile yayarak ve emilmesini sağlayarak yapılan üretim yöntemidir. Genellikle polyester, epoksi, vinilester ve fenolik reçineler el yatırma yönteminde matris malzeme olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Bu üretim yönteminde katmanlar arasında hava kalmamasına özen gösterilir ve hava boşluğunu ve fazla reçineyi dışarı atmak için için merdane gibi fırçalar kullanılır. Bu yöntem çok uzun sürelerdir kompozit sektöründe kullanılmaktadır. Uygulaması ucuz ve kolaydır. (Doğan, 2022; Şen, 2022)



Şekil 3.26. Elle yatırma yönteminin şematik görseli. (Şen, 2022)

3.12.2. Püskürtme Yöntemi (Spray-Up)

Üretimi yapılmak istenen kalıbın üzerine, toz elyaf, kırılmış elyaf ve reçine karışımı ile hazırlanmış karışımın püskürtme robotları veya püskürtme tabancaları ile püskürtülmesi işlemidir.

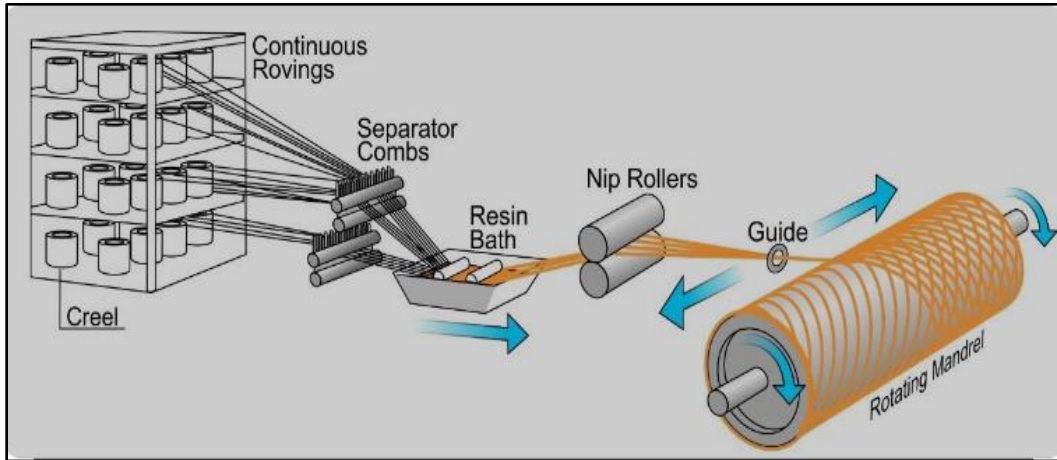


Şekil 3.27. Püskürtme yöntemi şematik gösterimi.

3.12.3. Elyaf Sarma Yöntemi (Filament Winding)

Sürekli liflerin istenilen örgü biçiminde sarım yapılarak üretilmesi yöntemidir. Kullanılmak istenilen sektöre göre sarım açıları, lif sayıları, sarım katmanları gibi özellikler değiştirilerek

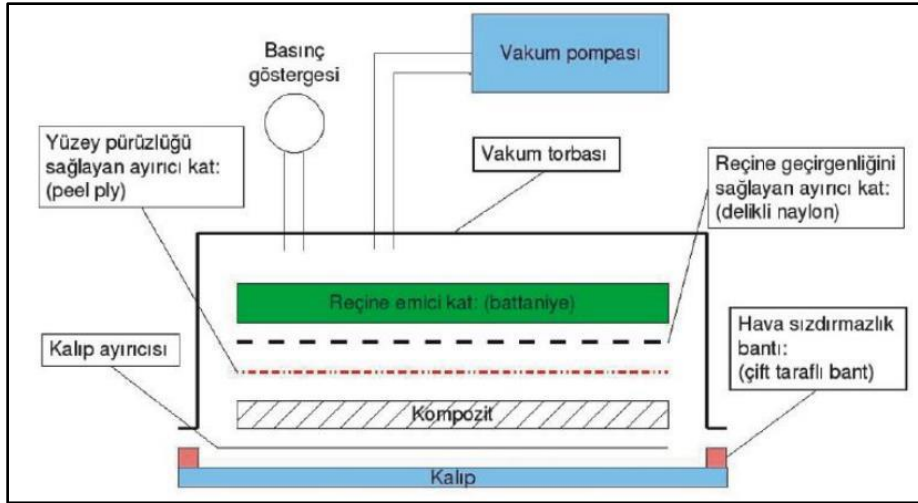
malzemeye çeşitli mekanik özellikler kazandırılabilir. Bu yöntemle üretilen malzemeler genellikle silindirik yapıdadır. (Şen, 2022)



Şekil 3.28. Elyaf sarım yöntemi şematik gösterimi.

3.12.4. Vakum İnfüzyon Yöntemi (vakum bagging)

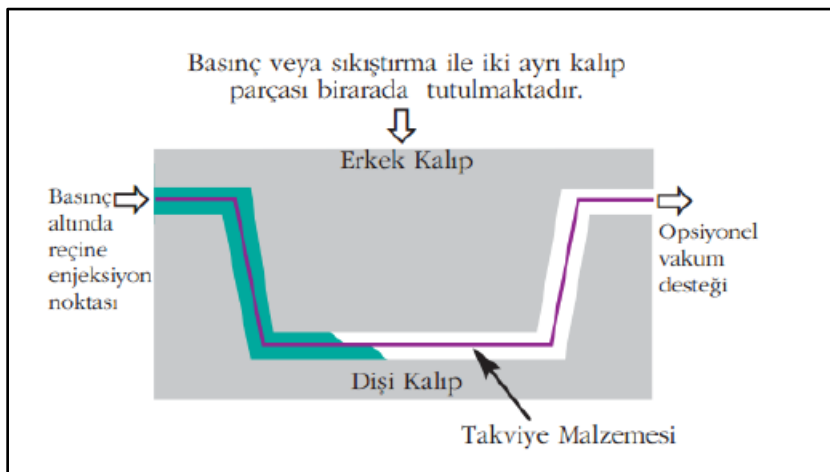
Kompozit malzeme üretiminde kullanılacak olan fiber veya diğer takviye elamanları öncelikle kalıp üzerine düzgün bir Resimde yerleştirilir, sırası ile soyma kumaşı, delikli naylon, vakum battaniyesi ve vakum torbası takviye elemanı üzerine yerleştirilir. Vakum torbası kenarlardan hava almaması için sızdırmazlık bantları (macun bant) ile kapatılır ve matris malzeme sisteme giriş yapmadan önce hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Sistemin bir tarafına reçine kabı yerleştirilir ve diğer tarafına vakum pompası yerleştirilir. Vakum pompası reçineyi sistemin içine çeker, vakum torbasında kalan havayı emer ve malzemenin üzerinde basınç oluşturarak sistem içerisindeki tüm havayı dışarı atar, bu Resimde kompozit malzemedeki hava kabarcıklarının oluşumunun önüne geçmeye çalışılır ve malzemenin yüzeylerinin pürüzsüz olması amaçlanır. Bu işlem için vakum infüzyon makineleri mevcuttur ve üzerinde üretim yapıldığında kurluşma için ısı özelliği vardır.



Şekil 3.29. Vakum infüzyon yöntemi şematik gösterimi. (Şen, 2022)

3.12.5. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

Bu yöntem büyük boyutlara sahip kompozit malzemeleri kısa sürede ve iyi bir kalitede üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Dişi ve erkek olmak üzere iki adet rijit kalıp kullanılır. Dişi ve erkek kalıpların kapatılması ile kalıp aralarına vakum yardımıyla reçine transferi gerçekleşir. Yeterli reçine transferi gerçekleştikten sonra kürleme işlemi yapılır. Bu yöntem yüksek basınçlı prese ve yüksek ısı işlemlere ihtiyaç duymaktadır ve burum maliyeti artırmaktadır. (Doğan, 2022).



Şekil 3.30. Reçine transfer kalıplama yöntemi. (Şen, 2022)

3.12.6. Otoklav Kalıplama Yöntemi

Otoklav kalıplama yöntemi, öncesinde reçine emdirilen fiberlerin, birdaha reçine enjeksiyonu olmadan yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında kürlenme işlemine tabi tutulmasıdır. Genellikle havacılık ve uzay sanayisinde çok tercih edilen bu yöntem sayesinde yüksek fiber oranı ihtiva eden karmaşık Resimli parçalar iyi bir kalitede üretilebilmektedir. Bu işlemde, prepreg katmanlar istenilen boyutlarda kesilir, tasarıma uygun olarak kalıplara yerleştirilir ve ardından vakum infüzyon yapılır. Vakum infüzyon sonrası sıcaklık ve basınca tabi tutmak için otoklav prosesi gerçekleştirilir. Otoklav kalıplama yöntemi iyi kalitede kompozit elde edilmesini sağlar ancak işçilik süresi diğer üretim yöntemlerine göre daha uzundur ve spesifik ekipmanlar ister. Otoklav kalıplama yönteminde cam fiber, aramid fiber gibi malzemeler kullanılsada diğer fiber malzemelere nazaran en fazla kullanılan malzeme karbon fiber prepreglerdir. Bunun nedeni karbon fiber prepreglerden üretilen kompozit malzemelerin düşük ağırlığa ve yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Otoklav kalıplama yönteminde kullanılan prepregler özelliklerini yitirmemeleri için -18°C 'de soğuk oda şartlarında depolanır ve üretim aşaması öncesi oda sıcaklığına gelmesi beklenir ve daha sonra kesim işlemi yapılır. Otoklav sisteminde basın 3.2 ile 7 bar arasındadır. Kompozit malzemenin kürleşmesi için otoklav sisteminde sıcaklık genellikle 180°C civarında tutulur. Oda sıcaklığından bu sıcaklıklara dakikada 2°C artım yapılarak çıkarılır ve kürleme işlemi bittikten sonra sıcaklık oda sıcaklığına düşene kadar sabit hızda düşürülür. (Doğan, 2022).



Resim 3.5. Otoklav kazanı ve kompozit üretimi.

3.12.7. Otoklav Dışı Torbalama – Prepreg

Prepreglerin Otoklav dışı kullanıldığı bu yöntemde prepreglerin otoklav öncesi işlemi otoklav torbalama yöntemiyle aynıdır. Bu yöntemde özel basınçlı kazanlara ihtiyaç duyulmadan torbalama işlemindeki vakum yeterlidir ve prepegler 60-120°C aralığındaki sıcaklıklarda kürleşebilecek reçine kimyasal sistemine sahiptir. Burada kullanılan prepreglerde matris elemanı olarak epoksi reçineler tercih edilmektedir. Bu gibi prepreglerin ömrü, otoklava uygun prepreglere göre daha azdır.

Otoklav torbalama yönteminin avantajları bu yönteminde avantajlarıdır. Düşük sıcaklıklarda ve dış basınç olmadan kürlenme işlemi gerçekleştirildiği için kalıp malzemesi olarak daha ucuz malzemeler seçilebilmekte ve bu yöntem ile otoklav torbalama yöntemine göre daha ucuz maliyet ile üretim yapılmaktadır. (Doğan, 2022).

3.13. Kompozit Üretim Yöntemlerinin Kıyaslanması

Çizelge 3.6. Kompozit üretim yöntemleri kıyas tablosu. (Şen, 2022)

Üretim Yöntemi	Avantajlar	Dezavantajlar
Elle yatırma yöntemi	-Düşük maliyet -Kolay üretim -Tek yönlü kalıplama	-Tekrarlanma sayısı az -Sadece tek yüzeyin düzgün olur -Üretimde zararlı gaz açığa çıkar -El işçiliği fazla olması
Püskürtme yöntemi	-Karmaşık yapıda parçalar için uygun bir yöntem -Uygulanması basit	-Üretilen parçaların reçine oranının fazla olması -Kısa liflerden dolayı mekanik özellikler düşük
Elyaf sarma yöntemi	-Termoset ve termoplastik kullanımına uygun olması -Prosesin otomasyon sistemine uyarlanabilmesi -İşçilik oranının az olması	-Tesis maliyeti gerektirmesi -Sadece eksenel yönlü ürünler için kullanılır

Çizelge 3.6. (devamı)

Vakum infüzyon yöntemi	-Ürünün iki yüzeyinin de düzgün olması -Reçine transfer yöntemine göre az kalıp maliyeti -Fiberler arası boşluk oranının daha az olması -Büyük parçalar üretilmesi	-Düşük üretim hızı -El ile yatırmaya göre daha çok maliyetli -Proses adımları nispeten karışıktır -Fiberlerin ıslanmama ihtimali olabilir
Otoklav Kalıplama yöntemi	-Oldukça kaliteli üretim olması -Karmaşık yapıya sahip malzemelerin üretilebilmesi -Prepreg kullanımı	-Özel ekipman ve şartlar ister -Üretim süresi uzundur -Maliyetlidir
Reçine transfer kalıplama yöntemi	-Üretim hızlı olur -Reçineye göre fiber oranı yüksek -Malzeme yüzeylerinin iki tarafının da düzgün olur	-Çift yönlü kalıp olduğu için kalıp maliyeti yüksek -Büyük parça üretimi uygun değildir -Reçinenin kalıpta ulaşamadığı yerler olabilir

4. BALİSTİK

Fransızca “balistiqua” kelimesinden dilimize balistik olarak geçmiş tir. Balistik; merminin silah içerisindeki, dışarısındaki ve hedef üzerindeki etkilerini inceleyen bilim dalıdır.

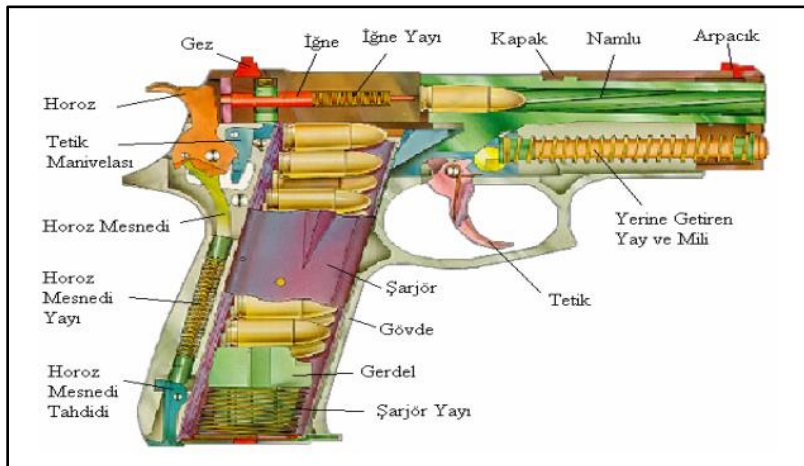
1850 li yıllarda doğan balistik ilk zamanlar sadece silahları basit yöntemlerle incelerken zamanla gelişen teknoloji ve silahların tüm hareketlerini inceleyen önemli bir bilim dalı haline gelmiştir. (Özgültekin, 2012)

4.1. Balistik Türleri

İç balistik, dış balistik ve hedef balistiği olmak üzere üç ana başlık altında balistik incelemeler yapılır. Hedef balistiği terminal balistik de denilmektedir. (Özgültekin, 2012)

4.1.1. İç Balistik

Fişeğin fişek yatağına sürülmesi ile çekirdeğin namludan çıkışına kadar, silah içerisinde meydana ateşleme prosesini iç balistik inceler. (Erdal, 2020)



Şekil 4.1. Bir tabancanı iç yapısı.

İç balistik hesaplamalarıyla amaca göre kullanılması gereken barutun türü ve miktarı belirlenebilmektedir. Tetiğin çekilerek iğnenin kapsüle çarpması ile oluşan yanma sonucu ortaya çıkan basınç öngörülerek namlunun boyu ve et kalınlığı hesaplanabilmekte, namlu

içerisinde fişeğe etkiyen kuvvetler analiz edilerek çekirdeğin hızının arttırılması yönünde araştırmalar yapılabilmektedir. (Şen, 2013)

4.1.2. Dış Balistik

Çekirdeğin namluyu terk etmesinden hedefe çarpma kadar çekirdeğin hareketini ve bu harekete etki eden faktörleri dış balistik inceler. Atalet kuvvetleri, sürtünme, namlu çıkış hızı, yer çekimi, aerodinamik, hava olayları ve yoğunluğu gibi faktörler çekirdeğin hareketlerini etkiler.

Dış balistiğin hesaplanabilmesi için iç balistik bilgilerine ve fişeğin tasarım ve teknik bilgilerine ihtiyaç duyulur. Çekirdeğin çıkış hızı ve açısı, namlu içerisindeki yiv hızı, geometrisi ve ağırlığı bilinmeden dış balistik hesaplarının yapılması olanaklı değildir. Bu sebeple dış balistik fişek tasarımcılarına da ilham vermektedir. (Şen, 2013)

4.1.3. Hedef (Terminal) Balistik

Hedef balistiği çekirdeğin hedefe çarpması ve hedef üzerinde meydana getirdiği etkiyi inceler. Çekirdeğin zırh üzerine çarpması ile çekirdekte meydana gelen etkileri de hedef balistiği inceler. (Özgültekin, 2012)

Çekirdek ile hedefin çarpışması neticesinde oluşabilecek olaylar, çekirdeğin hedefe çarpma hızına, açısına, çekirdeğin üretildiği malzeme yapısına, geometrisine ve hedef malzemenin mekanik özellikleri ile ilgilidir. Çekirdeğin hedefi delip geçmesi, hedefe saplanıp kalması ya da hedeften sekmesi gibi durumlar meydana gelebilir. (Şen, 2013)

Zırh üretiminde iç balistik ve dış balistik bilgilerinin yanı sıra daha çok hedef balistiği üzerinde durulur. Burada zırhın aldığı tahribat ve çekirdeğin durumu gibi bilgiler ışığında araştırma ve geliştirme faaliyetleri hız kazanır ve verimli bir zırh üretimi gerçekleşmesi balistik bilgiler ışığı altında gerçekleşir.

4.2. Hasar Mekanizmaları

Bir kaynaktan kinetik enerji kazandırılarak itilen düşük kütleli ve yüksek hızlı çekirdeğin çarpması balistik çarpma olarak nitelendirilmektedir. (Erdal, 2020)

Balistik çarpma yüksek hızlı bir olay olmasına karşın, hedef üzerindeki etkileri çarpma noktasına yakın bir alanda meydana gelmektedir. Çarpma esnasında enerji transferi, çekirdekten hedefe doğru aktarılır. Hedef malzemesinin mekanik özelliklerine ve çekirdek özelliklerine göre;

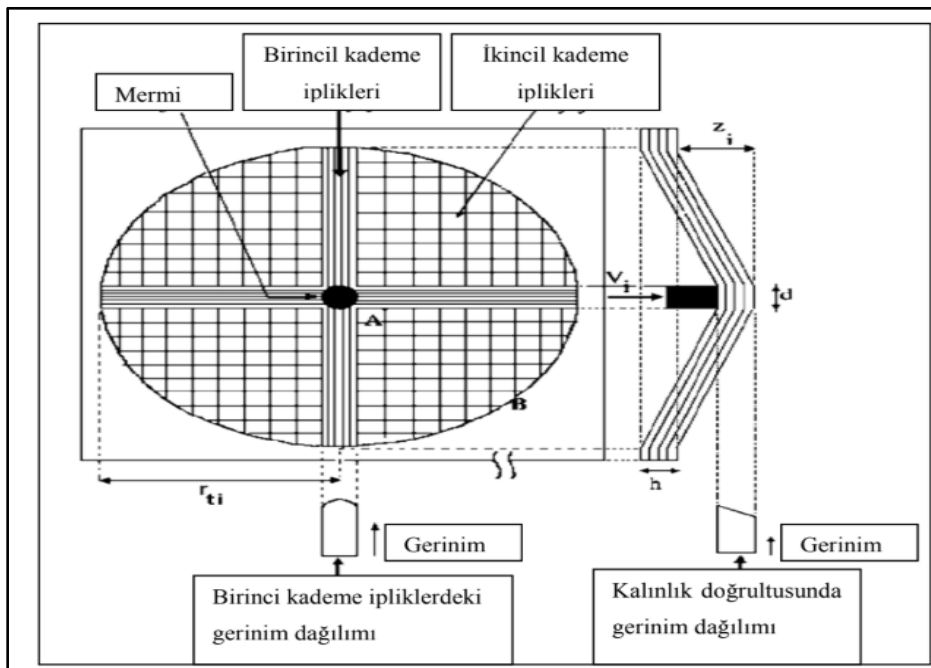
- 1) Çekirdek hedefi delmekte ve hedefin arka yüzünden belirli bir hızla çıkmaktadır. Bu, çekirdeğin ilk enerjisinin, hedefin absorbe edebileceği enerjiden fazla olduğunu gösterir.
- 2) Çekirdek, hedefe kısmen delmektedir. Bu durum, çekirdeğin ilk enerjisinin, hedefin absorbe edebileceği enerjiden daha düşük olduğunu göstermektedir. Hedef malzemenin özelliğine göre çekirdek, ya hedefin içinde kalır ya da sekteye uğrar.

3) Çekirdek, hedefi tamamen delmektedir; fakat çekirdeğin çıkış hızı sıfırdır. Bu durumda verilen kütle için, çekirdeğin ilk hızı balistik limit olarak nitelendirilmektedir ve çekirdeğin tüm enerjisi yalnızca hedef tarafından absorbe edilmektedir. (Erdal, 2020)

Hedef balistiğinde yaygın olarak ifade edilen nüfuz etme (penetrasyon) söylemi, çekirdeğin hedefin herhangi bir bölgesine girme durumunun gelişimi olarak belirtilmektedir. Çarpışma sırasında, çekirdek hedefe birkaç Resimde etki edebilmektedir. Hedef üzerinde oluşan hasarlar; malzemenin fiziksel ve mekanik özelliğine, çarpışma hızına, çekirdek burun şekline, çekirdek yörüngesi ve çekirdek ile hedefin göreceli boyutları gibi farklı parametrelere bağlı olmaktadır. (Şen, 2013)

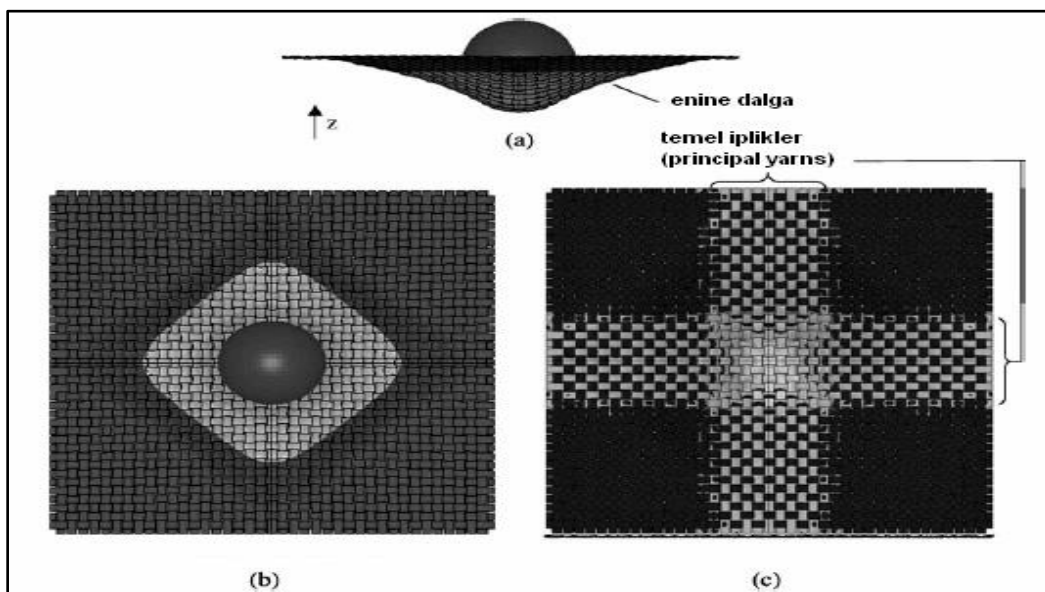
Daha çok zayıf ve düşük yoğunluklu hedeflerde, gevrek kırılmalar meydana gelmektedir. Bu durum başlangıçtaki gerilmenin, malzemenin en yüksek dayanım noktasını geçmesi sonucu oluşmaktadır. Düşük veya orta sertlikteki kalın levhalarda meydana gelen yaygın hasar mekanizması ise sünek delinmenin yanı sıra küçük parça kopması durumudur. Sünek delik

gelişimi, dolgu oluşumu ve taç yaprağı oluşumu sünek malzemelerde çokça meydana gelen hasar Resimleri olmakla birlikte çeşitli hasar Resimleri mevcuttur. (Özgültekin, 2012)



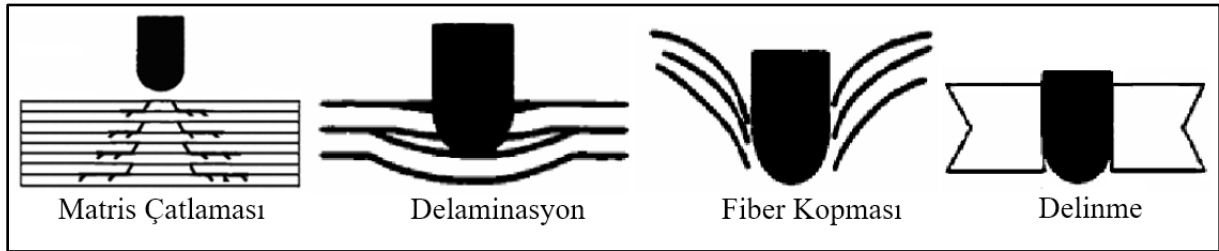
Şekil 4.2. Balistik lifli yapılarda darbe şeması. (Göksel, 2018).

Balistik koruma özelliğine sahip fiber bir yapıda meydana gelen balistik darbe incelendiğinde çekirdeğin fiber life çarpmasıyla birlikte darbe noktasına doğru (enine) ve darbe noktası içine doğru (boyuna) Resim değiştirme grafiği meydana gelir.



Şekil 4.3.Tek katmanlı bir balistik fiber kumaşa oluşan balistik darbe. (Çerkez, 2007).

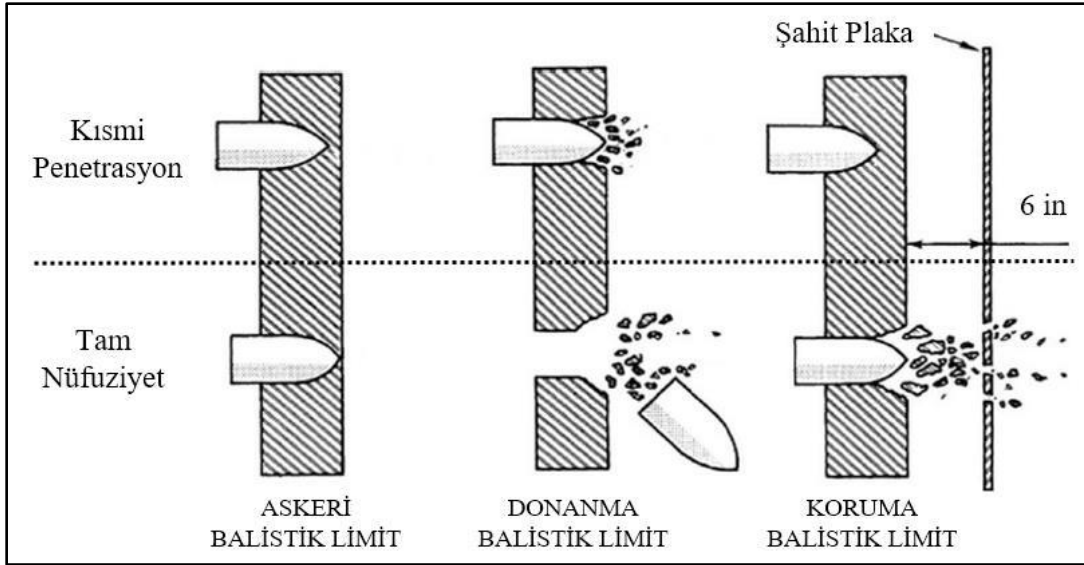
Polimer matrisli kompozit malzemeler genellikle esnek ve kırılğan özelliklere sahiptirler. Enerjiyi sadece elastik deformasyon ve bazı hasar mekanizmaları marifetiyle sönümlerler. Resim 4.4.'de görüldüğü üzere; matris kırılması, delaminasyon, fiber kopması ve delinme (perforasyon) olarak hasar mekanizmaları oluşur. Enerji sönümlemede plastik deformasyon katkısı ise hemen hemen hiç yoktur. (Sabah, 2018).



Şekil 4.4. Tabakalı kompozit yapılar da hasar mekanizmaları. (Sabah, 2018).

Matris çatlaması hasar mekanizmasının ilk aşamasını oluşturur ve delaminasyonun başlaması için gerekli bir etkidir. Fiber dokuma tabakalarda kesme delinmesinin ardından çekirdek fiber lifleri zorlamaya başlar, fiberlerin kopma dayanım değeri aşılan a kadar zorlanma devam ederse fiber kopması ve ardından delaminasyon hasarı oluşur. Çekirdeğin kinetik enerjisinin yayılma hızı liflerin dokuma bağlantı noktaları sayısına bağlıdır. Çekirdeğin başlangıç darbe anından kompozit yapının maksimum balistik dayanım noktasına kadar enerji transferi devam eder. Çekirdek hızı balistik sınıra ulaştığında fiber yapının enerji sönümleme özelliği son bulur ve delinme gerçekleşir. (Sabah, 2018).

Balistik limit hızı çekirdeğin hedefe tamamen nüfuz edemediği hız ve bu hızın altındaki hızlar olarak nitelendirilmiştir. Balistik limitin altındaki çarpmalar için, çekirdeğin çarpma enerjisi doğrudan zırhın sönümlediği enerjiye eşittir. Çekirdeğin zırhı deldiği durumlarda sönümlenen enerji miktarı ise çekirdeğin çarpma enerjisinin zırhı deldiği an sahip olduğu enerji çıkartılarak bulunur. Resim 4.5.'da balistik limit kavramı üzerine değişik yaklaşımlarla zırhta delinmenin meydana gelmesindeki değişik kriterler gözükmemektedir. Çekirdeğin hedefi delmemesi veya hedef üzerinde kalması durumunda, şahit plakada herhangi bir delinme gerçekleşmemiş ise bu durum hedefte kısmi penetrasyon meydana gelmiş olarak belirtilmektedir. Fakat çekirdeğin veya hedeften kopan bir parçanın şahit plakayı delmesi durumunda atış tam nüfuziyetli (tam penetrasyon veya perforasyon) bir atış olarak nitelendirilmektedir. (Sabah, 2018).



Şekil 4.5. Balistik limit kavramı üzerine yaklaşımlar. (Sabah, 2018).

Balistik darbe sonucu gerçekleşen enerji transferi aşağıdaki formülle hesaplanır;

E = Zırhın sönmülediği enerji

m = Merminin kütlesi

V_i = Merminin çarpma hızı

V_r = Merminin zırhı terk ettiği andaki hızı

V_{bl} = Balistik limit hızı

Balistik limitin üzerindeki hızlar için sönmülenen enerji;

$$E = 1/2 \cdot m \cdot (V_i^2 - V_r^2) \quad (2)$$

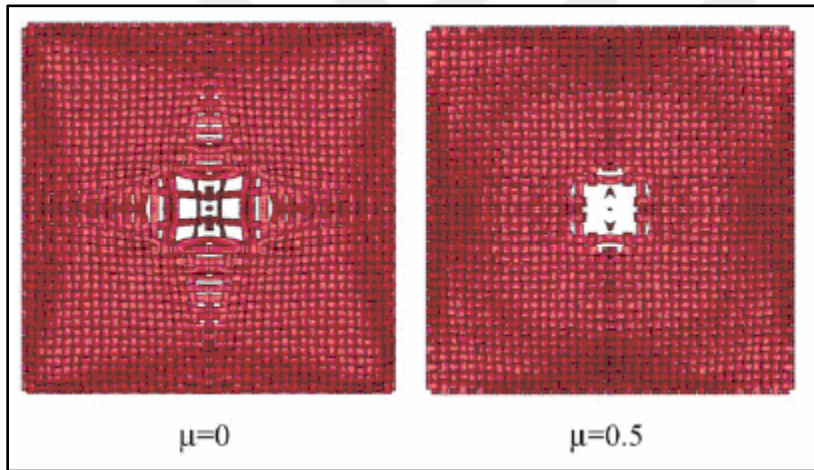
Balistik limitin altındaki hızlar için sönmülenen enerji;

$$E = 1/2 \cdot m \cdot (V_{bl}^2) \quad (3)$$

4.3. Balistik Performansa Etki Eden Parametreler

4.3.1. Sürtünme

Sürtünme, balistik lifli yapıların darbe direncini doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Delinmenin olmadığı bir yapıda lif çekmeleri enerji sönümlemede doğrudan etkilidir. Buna ek olarak birlikte sönümlenen enerji miktarında çekirdek-fiber ve lif-lif sürtünmesi de önemli boyuttadır. Liflerin yanal hareketi reçine emdirilmek suretiyle sınırlandırılarak balistik performansın yükseltilebileceği yapılan deneysel çalışmalarda ortaya konulmuştur. Yani çekirdek ile fiber arasındaki sürtünmeyi ve lif-lif sürtünmesini artırarak liflerin hareketi kısıtlanmakta ve bu nedenle çekirdek lifleri koparmaya zorlanacağı için sönümlenen enerji artmaktadır. Sürtünme bu Resimde enerji sönümlemede dolaylı olarak etkili olmaktadır.



Şekil 4.6. Sürtünme katsayısının deformasyona etkisi.

4.3.2. Malzeme Özellikleri

Darbeyle birlikte, darbe hızının etkisiyle fiber yapılardaki liflerde ani bir gerilme artışı oluşmaktadır. Spesifik hızın altındaki hızlarda başlangıç gerilme artışı lifleri koparacak özellikte olmadığı için enine yönünde eğilme meydana gelmekte ve lifler uzayarak enerji sönümlemektedir. Yani yüksek çekme mukavemetine ve yüksek kopma gerilmesine sahip olan lif yapıları daha çok enerji sönümleme yapabilmektedirler. Lif gerilmesi balistik bir fiber yapının enerji sönümlemedeki ana mekanizmasıdır. Yapılan çalışmalarda %50 balistik hızın (V50 deneyinin) üzerindeki hızlarda fiberlerde başlangıç gerilme artışı sırasında delinme oluşmaktadır. Bunun nedeni enine eğilmenin yayılması için lazım olan sürenin yeterli olmaması

nedeniyle lif gerilmesi azalmakta ve netice olarak fiber yapının sönümlediği enerji miktarı daha az olmaktadır.

Çekirdek balistik fiber yapıya çarptığı esnada liflerde boyuna ve enine yönde gerilim dalgaları oluşur. Boyuna yönde oluşan gerilim dalga hızının formülü:

$$c = (E/p)^{0,5} \quad (1)$$

c: Boyuna yönde gerilimin dalga hızı

E: Lifin elastisite modülü

p : Lifin yoğunluğu

Boyuna yönde dalga hızı ne kadar yüksek olursa çekirdeğin çarpma enerjisi o kadar hızlı bir Resimde yayılır. Ek olarak yapı içindeki liflerin birbirleriyle bağlantıları neticesinde, oluşan dalga diğer liflere aktarılır. Burada lifin elastikiyet modülü ne kadar yüksek olursa, meydana gelen deformasyonun dağılması, yayılması o kadar hızlı oluşmaktadır. (Çerkez, 2007).

4.3.3. Kumaş Özellikleri

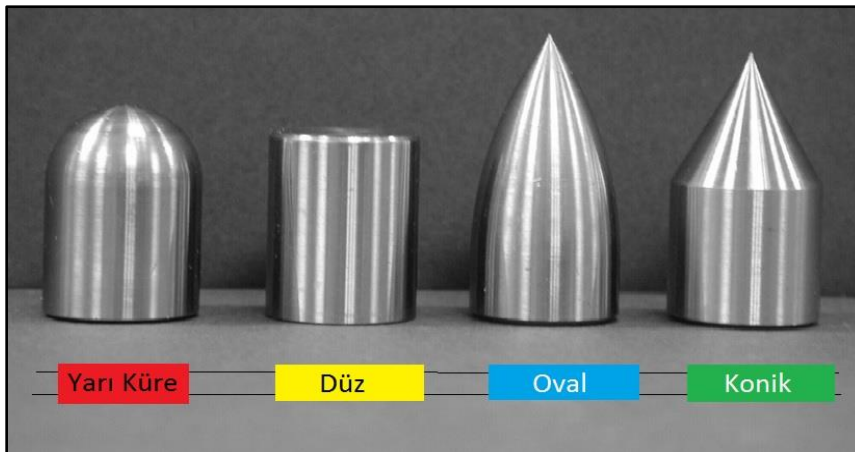
Balistik kumaşlarda örgü yapısı olarak genellikle bez ayağı veya sepet örgüler kullanılmaktadır. Örtme faktörü olarak nitelendirilen doku yoğunluğu çözgü ve atkı liflerinin sıklıkları ile ilgilidir ve çözgülerin ve atkıların kıvrım yapısı ile birlikte balistik özellik konusunda önemlidir. Balistik yapılarda kullanılacak olan kumaşların örtme faktör değerinin 0,6 ile 0,95 arasında olması önemli ve gereklidir. 0,95'den daha büyük örtme faktörü elde etmek mümkün olmamakla birlikte 0,6'dan daha küçük örtme faktör değerlerinde dokuma çok gevsek bir dokuma yapısına sahip olacağı için çekirdek lifleri koparmak yerine onları saga sola iterek delinme meydana getirmektedir. Sekil 24'de gözüktüğü üzere çekirdek fiber kumaş katmanına çarptığında fiber kumaşa enine yönde eğilmeye sebep olmakta ve lifler arasındaki boşlukların büyümesine yol açmaktadır. Bu durumda çekirdeğin çapı küçükse, belli bir açı ile çarparsa ve/veya çekirdeğin önündeki liflerde kopma meydana gelirse; çekirdek lifleri koparmak yerine ittirecek ve oluşan boşluktan geçebilecektir. (Sozen ve diğerleri, 2016; Çerkez, 2007).



Resim 4.1. Darbe altındaki balistik kumaş.

4.3.4. Çekirdek Geometrisi

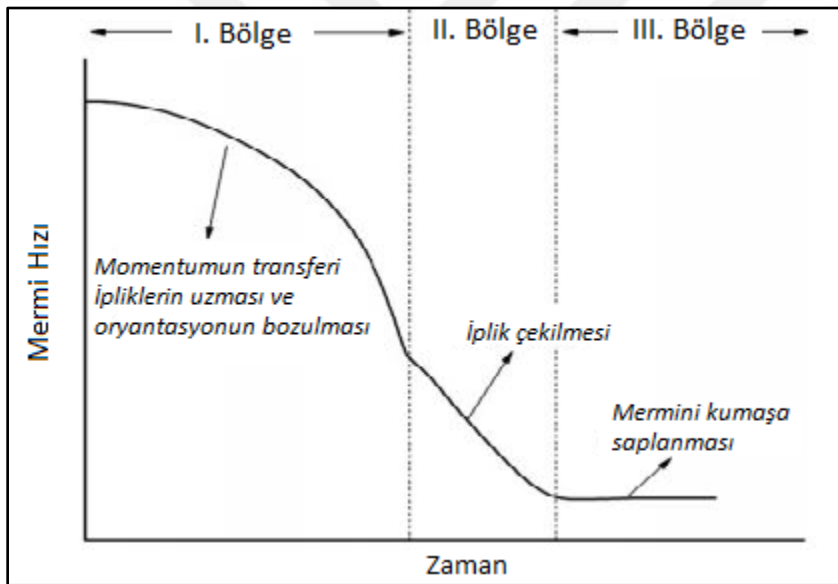
Çekirdek geometrisi, balistik kumaş delinmesine etki eden temel unsurların başında gelmektedir. Yapılan bir deneyde bez ayağı örgülü Twaron® kumaşı üzerinde düz, yarıküre, oval ve konik uçlu çekirdek kullanılmış, konik ve oval uçlu çekirdeklerin çok az lif kopmasına neden oldukları ve çekirdeğin fiber yapı içerisinde kayarak yol aldığı görülmüştür. Bu Resimdeki çekirdeklerle yapılan deneylerde sırasıyla 58 ve 76 m/s gibi düşük V50 değeri elde edilmiştir. Düz uçlu çekirdeklerde fiber kumaşı kalınlık boyunca kesmeye zorladığı için 100 m/s V50 değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte yarı küreli çekirdekte en fazla lif kopması meydana gelmiş ve dolayısıyla 159 m/s gibi yüksek V50 değeri elde edilmiştir. (Yumak ve diğerleri, 2013; Çerkez, 2007).



Resim 4.2. Çekirdek Geometrisi.

4.3.5. Çarpma Hızı

Çekirdeğin çarpma hızının balistik performansa etkisi balistik malzeme üretiminde ve deney standartlarında kullanılması yönünden önem arz etmektedir. Çekirdek geometrisi başlığında da belirtildiği gibi keskin uçlu ve yüksek hıza sahip olan çekirdekler kumaş kalınlığı boyunca lifleri uzatıp koparmaya zorlamak yerine keserek kopmaya neden olmaktadır. Ani bir Resimde kopmaya yol açan hız değeri spesifik veya kritik hız olarak nitelendirilmektedir. Düşük hız ve yüksek hız çarpmaları üzerine yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki, düşük hızlı çarpmalarda ani gerilim artışında liflerde bir kopma meydana gelmemektedir. Düşük hız çarpmaları enerji dağılımını kolaylaştıran geniş eğilme ve gerilme davranışı ile karakterize edilirler. Yüksek hızlı çarpmalarda ise bölgesel hasar meydana gelmekte ve belirli enine eğilme oluşmadan liflerde kopmalar oluşmaktadır. (Çerkez, 2007).



Şekil 4.7. Çekirdek hız grafiği. (Sozen ve diğerleri, 2016)

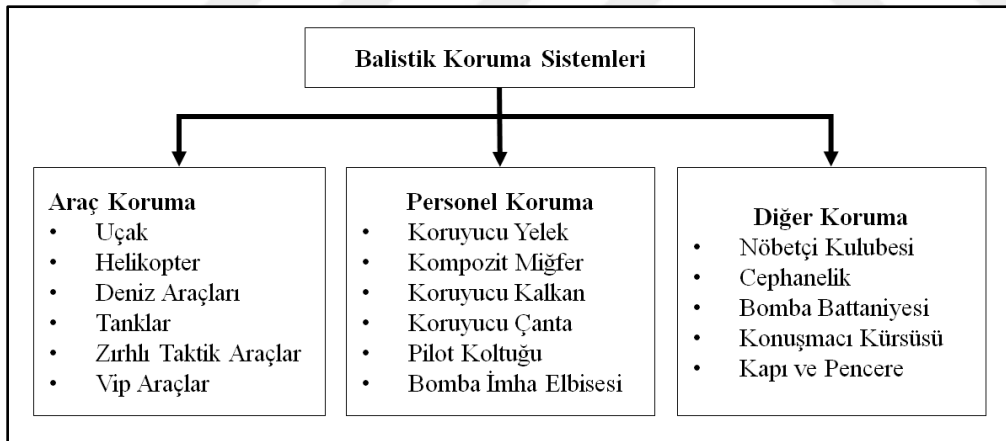
Balistik test aşamalarını başarılı Resimde geçen ve standartları karşılayan balistik koruyucu ekipmanlarda, etki eden çekirdeğin davranışları grafik 4.1. de gösterilmiştir. Birinci bölge, oluşan momentumun aktarımı ve fiber kumaşı oluşturan liflerde uzamaların meydana gelmesini göstermektedir. İkinci bölgede, liflerde kesme kuvvetinin oluşması ve kaymalar meydana gelir. Üçüncü bölgede ise çekirdeğin kinetik enerjisi tamamen fiber kumaş tarafından sönmülenir. (Sozen ve diğerleri, 2016)

4.3.6. Katman Sayısı

Katmanlı balistik yapılar genellikle ağır zırhlanma gerektiren durumlar için oluşturulur. Bu tür yapılarda lif tipi, reçine özelliği, dokuma yapısı, katman sayısı, lif yönü, lif yoğunluğu parametreler en iyi Resimde değerlendirilir. Katmanlı yapıların ağırlığı ve konforu kullanım amacına ve tehlike ciddiyeti göz önüne alınarak oluşturulmalıdır. (Çerkez, 2007).

4.4. Balistik Koruma Kullanım Alanları

Hızla gelişmekte olan savunma teknolojisiyle birlikte balistik koruyucu ekipmanlar da gelişmekte ve kullanıldığı alanlar da yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşmanın önemli etkenlerinden birisi de mühendislik malzemelerinden kompozitlerin geliştirilerek balistik uygulamalarda kullanılmasıdır. Hafifliğin ve esnekliğin önemli olduğu araç ve personel koruma sistemlerinde kompozit malzemeler fiziksel ve mekanik özellikleri ile balistik alanında tercih edilmektedir. Nöbet noktaları, önemli binalar, cephanelik gibi sabit sistemlerde ağırlığın önemli olmaması ve maliyet avantajları nedeniyle zırh çelikleri kullanılması tercih edilmektedir.



Şekil 4.8. Balistik koruyucuların kullanım alanları. (Sabah, 2018).

4.5. Balistik Deney Standartları

Dünya genelinde birçok balistik standart mevcuttur ancak yaygın olarak Amerikan Ulusal Adalet Enstitüsü'nün (National Institute of Justice (NIJ)) standartları, HOSDB (UK Home Office Scientific Development Branch) ve NATO standartları kullanılmaktadır. Ülkemiz adına TSE tarafından hazırlanan standartlarda mevcuttur. (Göksel, 2018).

Balistik test standartları ve test değerlendirme ihtiyaçlarının temel nedenleri;

- Yeni ve daha iyi performansa sahip balistik malzemeler üretmek.
- Balistik yapıda kullanılacak liflerin, kumaşların kısa ve uzun vade de davranışlarının maksimum verimlilikle anlaşılmasını sağlamak.
- EOD-IED gibi yüksek basınç ve patlamanın öldürücü diğer etkilerine yönelik balistik önlemler alabilmek.
- İnsan uzvu ve organlarında balistik travmaların sonuçlarının anlaşılmasını sağlamak.

Balistik deney standartlarının amacı, zırh çalışmalarında başarıyı elde etmek için ortak bir kabul kriteri oluşturmaktır. Deney koşulları, ortam şartları, kullanılacak ekipmanlar, sonuç değerlendirme gibi parametreler bu standartların içeriğini oluşturmaktadır. (Özgültekin, 2012)

Çizelge 4.1. de uluslararası arenada yaygın kullanılan bazı deney standartları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazı ulusal ve uluslararası balistik deney test standartları. (Göksel, 2018; U.S. Department of Justice Office of Justice Programs National Institute of Justice, [NIJ], 2008)

STANDARD NO	STANDARD ADI
MIL-STD-662 F	V50 Ballistic Test For Armor (Zırhlar İçin V50 Balistik Testi)
NIJ-0117.01	Standard for public safety bomb suits (Bomba Uzmanı elbiselerini EOD tehditleri ve operasyonlarıyla doğrudan ilgili geniş bir yelpazedeki gereksinimleri kapsar)
NIJ-STD-0101.06	Ballistic Resistance of Body Armor (Vücut Zırhlarının Balistik Dayanımları)
STANAG 2920	Ballistic Test Method For Personal Armor (Kişisel Zırhlar İçin Balistik Test Metotları)
TS 11164	Balistik Koruyucu Yelek

Çizelge 4.1. (devamı)

PPAA STD-1989-05	PersonalProtectiveArmorAssociation, TestingStandartsForBallisticResistance of Personel Body Armors (Kişisel Koruyucu Zırh Birliği, Kişisel Vücut Zırhlarının Balistik Dayanım Test Standartları)
MIL-P-46199	Plate: AluminiumOxideCeramic (ForUseInArmorComposite) (Alüminyum Oksit Seramik Plakalarının Zırhlarda Kullanımı)
TS 13348	Kompozit hafif zırhlar ve deneyler
ASTM D 6413-99	Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Kumaşların Aleve Karşı Koruyucu Test Satnadartı. EOD/IED'lerin patlamasında ortaya çıkan alev etkisini test etmek için)
ASTM F2371	Performance test methodology (EOD, kişisel balistik koruyucu giysiler vb için soğutma ve havalandırma testi)
NIJ-STD-0101.04	Ballistic Resistance of Personal Body Armor. (Malzemelerin balistik etkilerine direnme yeteneğini ölçen personel korumalarında kullanılan standartlardır.)
DIN EN ISO 14876-2	Protective Clothing - Body Armor - Part 2: Bullet Resistance; Requirementsand Test Methods (Koruyucu Giysi - Vücut Zırhı - Bölüm 2: Mermi Dayanımı Gereksinimleri ve Test Metotları)

4.6. NIJ Standartı Balistik Test Esasları

Çekirdek ve parça tesirine karşı balistik koruma testleri arasından yaygın olarak NIJ standartları kullanılmaktadır. Yapılan testlerin mümkün olduğunca verimli ve net sonuçlar için standart esaslarına göre azami kriterlerde yapılmalıdır.

Buna göre NIJ Standart esasları; (Bulut, 2003)

-Çekirdeğin çarpma hızına göre, amaca uygun standartın parametreleri çerçevesinde balistik koruyucu numunenin konulacağı mesafe tespit edilir,

- Çekirdek balistik koruyucu numune plakasının hedef yüzüne dik açı ile $\pm 5^\circ$ toleranslı Resimde atılmalı,

-Balistik koruyucu numunenin arkasında oluşan, çöküntüyü ölçmek ve değerlendirmek amacıyla insan bedenini temsilen çabuk katılaşmayan kil macun ya da benzer yapıda macun kullanılmalı,

-Hedefe yapılan atışlar standartlarda istenilen isabet mesafelerinde olmalıdır,

- Yapılan atışların çarpma hızları için tolerans 50 m/s'den fazla olmamalı,

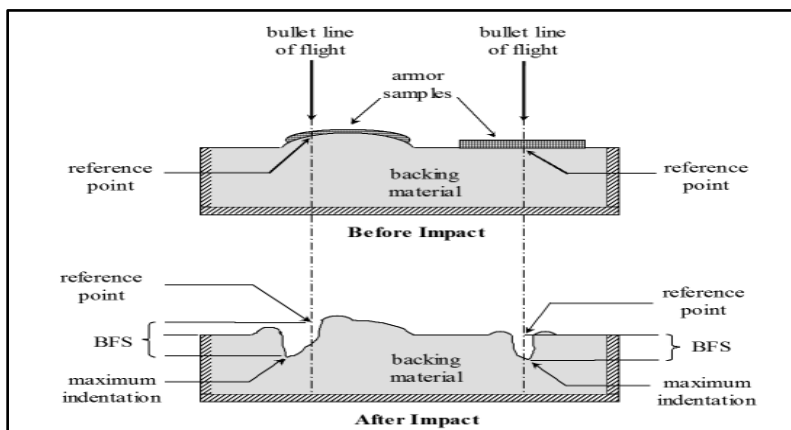
-Uygun test tezgâhları kullanılmalı,

-Çevresel ve mekanik koşullara uygun ortamlarda testler yapılmalı,

-Özel durumlar veya zırh şartlandırmaları varsa (drop, ıslak, kuru, nem vb.) buna göre hareket edilmeli.

4.6.1. Backface Signature (BFS)

Balistik malzemeye giriş yapamayan bir kurşun darbesi sebebiyle oluşan baskı derinliği yani arka macun üzerinde oluşan çukur derinliğidir. (Memiş , 2009).



Şekil 4.10. Çukur derinliği ölçümü. (NIJ, 2008).

4.7. NIJ 0101.06 Standardı

Temmuz 2008 tarihinde oluşturulan ve NIJ 0101.04 Standardının bir revizyonu olan NIJ 0101.06 Standardının amacı, silah ateşlemelerine karşı balistik koruma amaçlı tasarlanan kişisel vücut zırh malzemelerinin balistik direnç dayanımına yönelik minimum performans ihtiyaçlarını ve test proseslerini belirlemektir. Bu standardın kapsamı sadece balistik direnç (balistik dayanım) ile sınırlı kalmaktadır. Kesici ve delici aletlerin sebep olduğu tehditleri, durumları farklı olmalarından dolayı bu test yöntemlerinin kapsamına girmemektedir.

Koruma seviyesi; balistik uygulamalarda kullanılan fişğin kalibresi, yapısal tipi, çekirdek geometrisi, ağırlığı ve hızı esas alınarak belirlenen bir kriter olmaktadır. NIJ 0101.06 Standardı kapsamında bulunan kişisel koruyucu balistik vücut zırhları, koruma seviyesine göre IIA, II, IIIA, III, IV ve özel seviye olmak üzere altı (6) grupta sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmadaki özel seviye test sınıfı, zırh malzemesinin diğer beş koruma seviyesinden farklı tanımlanmamış olan tehditlere karşı da geçerli olması amaçlanmıştır. Yani özel bir amaca yönelik kullanılacak malzeme isteyen bir alıcı, test esaslarını açık ve tam olarak belirlemeli ve bu seviyenin diğerlerinden farklı bir noktada tutulması gerektiğini belirtmelidir. (Özgültekin, 2012)

Çizelge 4.2. NIJ STD-0101.06 Standardı balistik koruma seviyeleri. (NIJ, 2008)

Koruma Seviyesi	Test Atışı	Test Kurşunu	Kurşun Ağırlığı	Standart Zırh Test Hızı	Azami BFS Derinliği	Levha Sayısı
II A	1	9mm FMJ RN	8.0 g (124gr)	355 m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6
	2	.40 S&W FMJ	11.7 g (180gr)	325m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 g (124gr)	379m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6
	2	.357 Magnum JSP	10.2 g (158gr)	408m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6

Çizelge 4.2. (devamı)

III A	1	357 SIG FMJ FN	8.1 g (125gr)	430m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6
	2	.44 Magnum SJHP	15.6 g (240gr)	408m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9.6 g (147gr)	847m/s $\pm$ 9.1	44 mm	6
IV	1	.30 Caliber M2AP	10.8 g (166gr)	878m/s $\pm$ 9.1	44 mm	4-24
ÖZEL	-	Zırh performansı ve atış gereksinimleri zırh tipine bağlı olmalıdır.				

Balistik testlerde balistik numune, özel durumlar dışında tabanca atışlarında namluya 5 metre +/- 1 metre ve tüfek atışlarında 15 metre +/- 1 metre mesafeye sabit tezgâha yerleştirilmelidir.

Bomba Uzmanı Elbiseleri önemli hızlara sahip doğrusal hareket eden çekirdeklere karşı koruma amacıyla değil, patlamanın etkilerinden düzensiz hareket eden parça tesirine karşı koruma sağlamak amacıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sebeple hafif kişisel vücut zırhları kapsamında değerlendirilerek NIJ 0101.06 Standartları koruma seviyesi II-1 kriterleri esas alınarak parça etkisine karşı koruma gereksinimleri incelenerek değerlendirilmiştir.

4.8. NIJ-0117.01 Standardı

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Adalet Enstitüsü'nün Kamu Güvenliği Bomba Elbiselerine yönelik NIJ 0117.01 standardını 2016 yılında yayınlamıştır. Bu alanda oluşan standart boşluğu NIJ 0117.01 ile önemli derecede kapanmıştır.

NIJ 0117.01 standardının amacı, akredite otorite tarafından resmi olarak onaylandıktan sonra EOD elbiselerinin performansına ilişkin objektif kanıt ve güven sağlamaktır. NIJ Bomba

Uzmanı Elbisesi standardı, bir bomba kıyafetinden beklenecek temel performans ve yeteneğin yanı sıra ilgili test yöntemleri ve başarılı/başarısız kriterlerini ayrıntılı olarak özetlemektedir. Bağımsızlığı ve güvenilirliği korumak için, NIJ testleri ve sertifikasyonu yalnızca resmi olarak akredite edilmiş üçüncü taraf, NIJ onaylı bir sertifikasyon kuruluşu aracılığıyla yapılabilir. Bu organizasyon, ilk ve yıllık testlerin yanı sıra elbisenin ve kaskların üretildiği üretim tesislerinin denetimleri de dahil olmak üzere tüm sertifikasyon sürecini gözden geçirir. Ayrıca sertifikasyon kuruluşu, halihazırda hangi bomba kıyafeti modellerinin sertifikalandırıldığının duyurulması ve yayınlanmasından da sorumludur. Bu kapsamlı ve ayrıntılı bağımsız değerlendirme ve gözetim, sertifikalı bomba kıyafetlerinin performans iddialarına güven aşlamaktadır.

Buna ek olarak, EOD elbiseleri için kritik bir adım olan NIJ 0117.01, gereksinimlerinin Bomba Uzmanlarının ihtiyaç duyabileceği tüm olası koruma ve işlevsel gereksinimleri karşılamaması nedeniyle "minimum standart" olmaya devam ediyor. Sertifikalı bir elbise seçmenin yanı sıra, son kullanıcıların şu anda NIJ 0117.01'de belirtilmeyen ek özellikleri de göz önünde bulundurması gerekir. Örneğin, mevcut NIJ standardı, aşırı patlama basıncının azaltılması, KBRN uyumluluğu, kişisel soğutma performansı, iletişim, elektromanyetik uyumluluk, minimum güç gereksinimleri, uzaktan kontroller, aydınlatma vb. için niceliksel gereksinimleri içermemektedir. Ayrıca, mevcut teknoloji arttıkça tehditler de gelişecektir. Standardın periyodik olarak güncellenmesini/yükseltilmesini gerektiren, EOD personeline bu tür tehditlere karşı koruma sağlar. (Makris ve Dionne, 2020).

4.9. MIL-STD-662-F V50 testi

Çekirdeğin zırhı delemeyi hız V0 hızı olarak tanımlanır. V0 hızının ölçülmesi balistik testlerin değişik etkenlerinden dolayı (zırh yapısı, destek malzemesi, çekirdek hızı ve geometrisi, vb) zordur. Bu sebeple V50 veya balistik limit olarak adlandırılan ikinci bir kavram türetilmiştir. Bu kavram çekirdeğin zırha 90 derece olarak isabet ettirildiği durumda, hedefin %50 oranında delinme veya delinmeme durumunu gösteren hız olarak nitelendirilir. Böylece mermi V50 hızında ise zırhın delinme ihtimali %50'dir. V50'den daha yüksek hızlar zırhta tam delinme oluştururken, daha düşük hızlar ise zırh yapısında kısmi delinme oluşturur.

Bu standardın temel amacı, hafif silah çekirdeklerine karşı metalik, metalik olmayan ve kompozit yapıdaki zırhın balistik direncini belirlemek için prosedürler, ekipman, fiziksel koşullar ve terminoloji için genel kuralları belirlemektedir. MIL-STD-662-F standardında

belirtilen balistik test prosedürü, V50 balistik zırh sınır şartlarını belirler. Standarda göre ilk aşamada, zırha prosedürde istenen V50 değerlerinin en düşük 75 ile 100 ft/s (23 ila 30 m/s) üzerinde etkili hızla vurulur. İlk aşama tam bir penetrasyon ile sonuçlanırsa, ikinci aşamanın hızı birinci aşama hızından 50 ile 100 ft/s azaltılır. Penetrasyon olmazsa da veya kısmi penetrasyon oluşursa, hız 50 ila 100 ft/s artırılır. Daha sonraki atışlarda ise, bir kısmi ve bir tam penetrasyon oluşuncaya kadar, hız, imkan olduğu kadar yükseltilir veya azaltılır. En az bir kısmi ve bir tam penetrasyon oluşuktan sonra, hız 50 ft/s'lik artışlarla yükseltilir veya azaltılır.

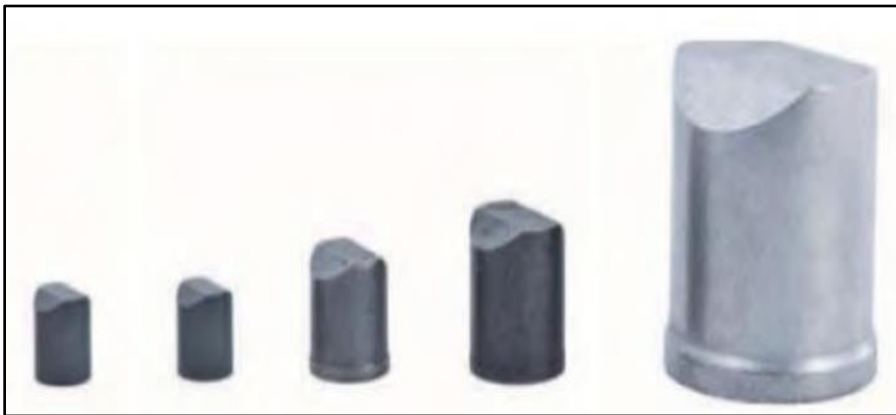
Prosedürde belirtildiği üzere en yüksek kısmi ve en düşük tam penetrasyonun eşit bir sayısına denk gelen hızların ortalaması alınarak V50 değerini hesap etmek için yeterli kısmi ve tam penetrasyonlar oluşana kadar atışlara devam edilir (Sabah, 2018).

4.10. Stanag 2920 testi

Bu standart, NATO Standartlaştırma Anlaşması kapsamında geliştirilmiştir ve personel zırh malzemeleri ve savaş giysileri için balistik test prosedürlerini gösterir.

Test aşamasında Resim 4.12’de gösterilen US-MIL-P-46593’te tanımlanan parçalanma taklit edici parçacıklar (Fragment Simulating Projectiles) FSP serisinden biri seçilerek kullanılır.

Tek çeşit çekirdek kullanılarak farklı tipteki zırhların birbiriyle karşılaştırılmasının yapılması mümkün olur (Sabah, 2018).



Resim 4.3. US-MIL-P-46593 standardında belirtilen FSP'ler. (Sabah, 2018).

Stanag 2920 Standardına göre V₅₀ balistik zırh hız sınırını belirlemek için, ilk atış zırhın V₅₀ balistik hız sınırı değerine yakın hızla atış yapılır. İlk çekirdek zırh yüzeyinde tamamen delme oluşturursa, ikinci atış ilk atışa göre 30 m/s daha az bir hızla atılır. İlk çekirdek zırh yüzeyinde kısmi delme oluşturursa, ikinci mermi ilk mermiye göre 30 m/s daha fazla hızlı olacak Resimde atılmaktadır. Balistik zırhı delen ilk atışlar bittikten sonra, atışlar çekirdek hızları 15 m/s daha düşük ya da daha yüksek hızda olacak Resimde gerçekleştirilir. V₅₀ balistik sınır hızı elde etmek için Stanag 2920’de yer alan prosedüre göre atış yapılmaya devam edilir. Prosedürde istenilen sayıda atıştan sonra, V₅₀ hız sınırı sonuçların 3 adet kısmi delinmenin gerçekleştiği diğer 3 adet ise tam delinmenin gerçekleştiği hızlardan oluşan altı adet hız değerinin ortalamasının alınmasıyla belirlenir.

Kısmi penetrasyonun ve tam delinmenin gerçekleştiği gruplarda tespit edilen maksimum ve minimum hız değerleri arasındaki farkın 40m/s’den yukarı olmaması gerekir. (Sabah, 2018).

5. BOMBA UZMANI ELBİSESİ

Kişisel balistik koruma denildiğinde insanların aklına ilk olarak kurşun geçirmez yelek olarak bilinen balistik koruyucular gelmektedir. Ancak ülkemiz yıllardır terörle mücadele etmekte yurt içi ve yurt dışı operasyonlar yapmaktadır ve bu yolda Bomba İmha Uzmanları en ön sıralarda aktif bir Resimde görev yapmaktadırlar. Bu nedenle Bomba İmha Uzmanları kişisel balistik koruyucu ekipman olarak takım halinde tasarlanmış Bomba Uzmanı Elbisesi kullanmaktadır.

Ülkemizde ve dünya çapında en yaygın kullanılan Bomba İmha Elbiseleri Kanada menşeli MED-ENG firması tarafından üretilmekte ve her geçen gün geliştirilmektedir.



Resim 5.1 MED-ENG EOD 9 Bomba İmha Uzmanı Elbisesi.

Bu çalışmamızda MED-ENG firması tarafından üretilen Emniyet Genel Müdürlüğü personelleri tarafından kullanılmış ve kullanım dışı kalmış EOD – 9 model Bomba İmha Uzmanı Elbisesi Üzerinde çalışma yapacağız. Çalışmamız Materyal ve Metot kısmında detaylandırılacaktır.

5.1.Amaç

Bomba Uzmanı Elbisesinin amacı Bomba Uzmanlarını patlamanın parça, basınç ve ısı etkilerine karşı üstün koruma sağlayarak ciddi yaralanmalara ve ölümlere karşı korumaktır.

Bu elbiselerin koruma özelliklerinin yanı sıra bütünleşik tasarımları nedeniyle kullanıcı üzerinde ciddi derecede termal ve metabolik yük oluşturur. Bu durum Bomba Uzmanları üzerinde çalışma verimliliği düşüşüne neden olur. Bu nedenle Bomba Uzmanı Elbiselerinin amaçlarının son derece kritik görevler olduğu düşünüldüğünde yapısal olarak insani fonksiyonları en alt seviyede etkilemek adına yoğunluğu düşük, mekanik özellikleri son derece iyi, esnek ve termal özellikleri iyi olan mühendislik malzemelerinden üretilmesinin önem arz ettiği göz ardı edilmemelidir. (U.S. Army Research Laboratory, 1962)

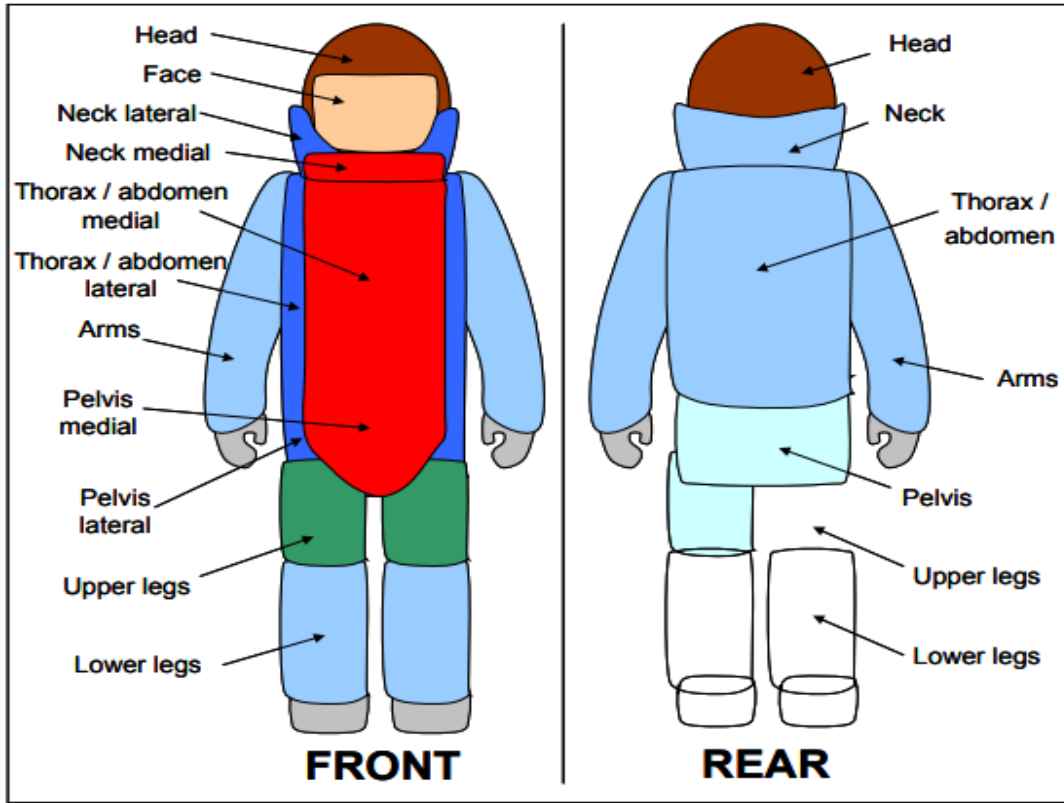
Bu tür balistik giysilerin, operasyonel görevlerin yerine getirilmesi için bu elbiseler ergonomik yapıda, acil bir durumda hızlı çıkarılabilecek Resimde, Bomba İmha Uzmanının insani fonksiyonlarını minimum seviyede azaltmak için esnek ve rahat, maksimum seviyede koruyuculuk sağlayabilen ve ağırlığı vücuda dağıtacak tasarımda yapılmasına dikkat edilmelidir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.2. Ergonomi

Ergonomi; insanın fiziksel ve psikolojik özelliklerini inceleyerek insanın makine ve çevre ile olan uyumunu doğal ve teknik olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları topluluğudur.

Balistik koruyucu zırh üretmek için insan faktörünün etkinliklerini belirlemek gerekir. Balistik korucu ekipmanların ergonomik olması için ilk adımı olarak kullanıcı profilini, görevin ne olduğunu ve hangi tür ortamlarda kullanılacağını belirlemek gerekir. Kullanıcının bedeni, fitness kondisyonu, cinsiyeti ve yaşı gibi özelliklerini (Hedef Kitle Tanımı) tanımlamak gerekir. Görev özelliklerinin ne olduğunu örneğin vücut hareket aralığı, hareket hızı ve süresinin yanı sıra özel duruşlar ve standart eylemler belirlenerek maksimum verimlik elde etmek amaçlanır. Sıcaklık, nem, kullanılan ekipmanlar ve günlük giysiler dahil çevre faktörleri belirlenmelidir. (Couldrick, 2004).

Belirlenmiş insan bedeni koruma alanlarına göre, patlamanın ve ergonomik yapının etkenleri göz önünde bulundurularak, koruyucu balistik malzemeler aynı koruma özelliğine yada daha iyi koruma özelliğine sahip Resimde tasarımlar yapılmalıdır.



Resim 5.2. İnsan bedeni koruma alanları. (NIJ, 2016)



Resim 5.3. Çeşitli pozisyonlarda Bomba Uzmanları.

37 numaralı kaynakta bomba uzmanı elbisenin insani fonksiyonlar üzerinde duyma, hareket kabiliyeti ve yazma gibi fonksiyonları nasıl etkilediği kadın ve erkek denekler üzerinde

yapılarak gösterilmiştir. Bomba Uzmanı elbisesi giydirilmiş bir insanın el ve diğer insani fonksiyonlarını kullanmada ciddi zorlanmalar olduğu, duyma testinde örneğin “FIG” kelimesini “FIT”, “MALE” kelimesini “TALE” olarak duymuştur.

Bomba Uzmanlarının müdahaleleri esnasında bombanın konumu, büyüklüğü ve çeşitli özellikleri standart değildir bu yüzden çeşitli pozisyonlar almaları, esnek ve rahat hareket etmeleri için Bomba İmha Uzmanı Elbisesinin ergonomik olması hayati önem taşımaktadır.

5.3. Patlamanın Etkileri

Bomba İmha Uzmanı Elbisesinin koruyucu özelliği patlamanın etkilerine karşı geliştirilmiştir.

5.3.1. Basınç ve Darbe Etkisi

Patlayıcının infilak etmesiyle patlama dalgasının etkisiyle ortam basıncının ani ve şiddetli bir Resimde artması sonucu basınç oluşur. Basınç canlılar üzerinde iç organlara ciddi zarar verir, yaralanmalara ve ölümlere sebep olur, cansızlar üzerinde ise yıkıcı ve zarar verici etki gösterir. Ortaya çıkan basınç nedeniyle, küçük dereceden onarılamaz dereceye kadar çeşitli yaralanmalar meydana gelebilir. Bu basınç darbesinin yanı sıra, patlama kuvvetiyle harekete geçirilen bir kişi doğrudan sert bir yüzeye veya engele çarptığında da ciddi yaralanmalar meydana gelebilir.



Resim 5.4. Basınç etkisi.

Bomba İmha Uzmanı Elbiselerinin iç yapısında bulunan kompozit malzemeler basıncı absorbe etmek, elbise üzerine gelen kuvveti dengeli yaymak gibi güçlü özelliklere sahiptir.

5.3.2.Parça Etkisi

Terör örgütleri tarafından hazırlanan bir el yapımı bomba ölümcül etkileri artırmak amacıyla genellikle parça tesiri desteği ile hazırlanır. Askeri mühimmatlar parça tesiri olması amacıyla kalın cidarlı metaller ile üretilmektedir. Patlama neticesinde düzensiz parçalar oluşur ve bu parçaların yapıları aşırı ısıнын etkisi ile kesici ve delici Resimlere dönüşür. Şarapnel olarak isimlendirilen bu parçalar patlamanın parça etkisini oluşturur. Mermiler yiv ve setler sayesinde ateşli silah namlularından dönerek çıkarlar ve doğrusal hareket ederek hedeflerine ulaşırlar. Parça etkisinde şarapneller düzensiz hareket etiklerinden ve yüzeylerinde oluşan kesici ve delici çapaklardan dolayı ateşli silahlardan atılan mermilerden daha tehlikeli bir hal alabilirler.

Bomba Uzmanı Elbiselerinin iç yapısında bulunan kompozit malzemeler lifli malzemelerden oluşmaktadır ve bu malzemeler düzensiz hareket eden şarapneli lif yapısı sayesinde ciddi seviyede durdurmaktadır.



Resim 5.5. Patlamanın parça etkisi. EOD 9 test görüntüsü.

5.3.3. Isı Etkisi

Patlayıcının cinsine miktarına göre özellikle yangın çıkarma özelliğine sahip patlayıcıların patlama esnasında anlık bir alev topu ve ısı meydana gelmekte ve canlılar üzerinde ciddi yaralanmalara veya ölümlere sebep olmaktadır. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Bomba İmha Uzmanı Elbiselerinin dış kısımları yüksek ısı ve sıcaklıklara dayanabilen kumaşlar ile kaplanmıştır ve Bomba Uzmanının açıkta kalan elleri koruması için özel eldiven bulunmaktadır.



Resim 5.6. Patlamanın ısı etkisi.

Çizelge 5.1. Basınç etkisinin canlılar ve cansızlar üzerindeki etkisi. (Silay ve Karacı, 2021)

En Yüksek Basınç (kPa)	Mak. Rüzgâr Hızı (mph)	Yapılar Üzerindeki Etki	İnsanlar Üzerindeki Etki
0-6,9	38	Pencere camlarının kırılması.	Şarapneller tarafından meydana gelen hafif yaralanmalar
6,9-13,8	70	Evlerde orta dereceli hasarlar.	Cam ve enkaz yaralanmaları.
13,8-20,1	102	Konut yapılarının çökmesi.	Ciddi yaralanmalar. Sık görülen ölümler.
20,1-34,5	163	Binaların çoğunun çökmesi.	Evrensel yaralanmalar ve yaygın ölümler
34,5-69	294	Betonarme yapılar üzerinde ciddi hasarlar.	İnsanların çoğunun ölmesi.
69-137,1	502	Ağır inşaat yapılarının ciddi hasar görmesi veya yıkılması.	100% ölümler.

5.4. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi

Patlayıcı mühimmat imhası doğası gereği tehlikeli bir faaliyettir. EOD giysileri kullanıcılara sınırlı koruma sağlar ve tüm tehditlere karşı koruma sağlayamaz. Bu ürünü kullanmadan önce daima tüm uyarıları, kullanım talimatlarını, bakım talimatlarını, sınırlı garantiyi ve sorumluluk sınırlamalarını okuyup anlamak gerekir.

EOD® 9 Suit, kullanıcılara sınırlı koruma sağlar ve tüm potansiyel tehditlere karşı koruma sağlayamaz. (Med-Eng Holdings, ULC. 2019)

Bu tür elbiseler yetkili ve eğitimli Bomba Uzmanları tarafından kullanılmalı ve her zaman tüm koruyucu ekipmanlar doğru Resimde entegre edilmeli, kullanımdan önce elbisede hasar olup olmadığı kontrol edilmeli ve Bomba Uzmanı bedenine göre elbise giymeli, başlığı yardımcı ekipmanlarla kafasına sabitlemelidir. (Med-Eng Holdings, ULC. 2019)



Resim 5.7.EOD 9 Bomba İmha Uzmanı Elbisesi (Med-Eng Holdings, ULC., 2019)

EOD® 9 Suit (standart konfigürasyon) İçeriği:

- Evrensel Bağlantı Kablolu Ceket
- EOD 9 Kask

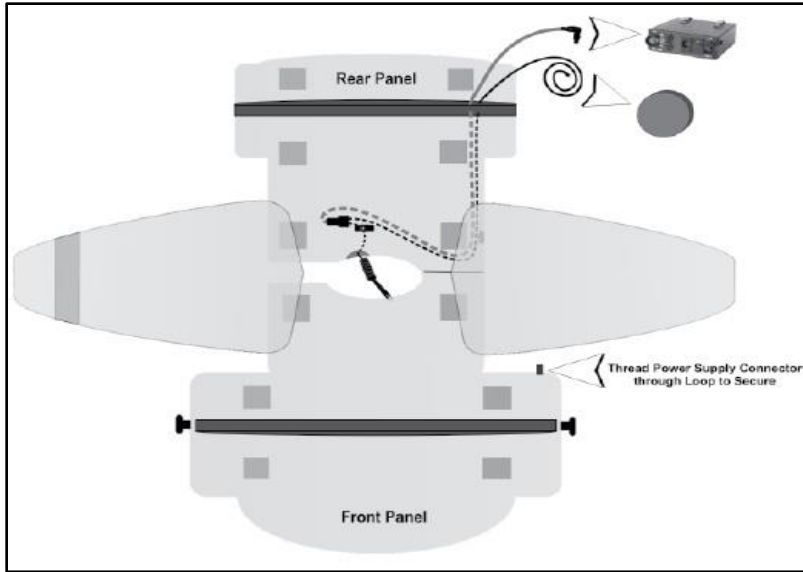
- Entegre Kasık Koruyucu
- Sırt Koruyuculu Pantolon
- Çıkarılabilir Ayak Kapakları
- Topraklama Kayışı
- Taşıma çantası
- Çelik Askı (sadece kurutma için) ve Kullanım Kılavuzu ve CD

5.4.1. Ceket ve Bağlantı Kablosu

Ceket, ön ve arka gövdenin tamamı için koruma sağlar. Yüksek profilli yaka, kask vizörüyle bütünleşerek boğaz ve ense bölgesine sürekli koruma sağlar. Ceketin içine yerleştirilmiş bir patlama zayıflatma sistemi, patlamanın etkilerinden basıncı azaltır. Kasık koruma plakası çömelme, eğilme ve tırmanma hareketlerini kolaylaştırmak için geri çekilebilir özelliktedir. EOD kaskının aydınlatma, havalandırma, kol kumanda kontrol ve bir iletişim sisteminin (istenirse) kullanımına uyum sağlamak için ceketin içinden kablo geçirilir. Ceketin aletleri, havalandırma güç ünitesini ve telsizleri taşımak için cepler ve askılar bulunur. Ceketin arkasındaki kese, isteğe bağlı bir Hidrasyon Sistemini barındırır. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)



Resim 5.8. EOD 9 Ceket ve bağlantı kablosu. (Explosive Protective Equipment (EPE),2012)



Resim 5.9. EOD 9 ceket iç tasarımı. (Med-Eng Holdings, ULC., 2019)

5.4.2. EOD 9 Kask

EOD veya IEDD operasyonlarına karşı kullanıcının baş bölgesini patlamanın etkilerine karşı korur. Aydınlatma, havalandırma ve iletişim sağlar ayrıca KBRN tehdidine karşı değiştirilebilir vizöre sahiptir. EOD/IEDD tam patlama koruması için Med-Eng EOD 9 Bomba Elbisesi ile entegre olacak Resimde tasarlanmıştır.



Resim 5.10. EOD 9 Kask.

5.4.3. Entegre Kasık Koruyucu (EKK)

EKK, rahatlığı veya bacak hareketini engellemeden kasık ve kalça bölgesini 360° patlamanın etkilerinden korur. EKK, elastik VELCRO® (cırt cırtlı kayış türü) kayışlarının EKK'yı pantolona karşı sabitlediği pantolonun uyluk üst kısmıyla örtülecek Resimde aşağı doğru

uzanır. EKK, VELCRO® aracılığıyla pantolon bel bandının önüne ve arkasına takılır ve bel ölçüsüne göre ayarlanabilir. (Med-Eng Holdings, ULC., 2019)



Resim 5.11. Entegre Kasık Koruyucu (EKK) (Med-Eng Holdings, ULC., 2019)

5.4.4. Pantolon, Sırt Koruyucu ve Bot Kılıfları

Pantolon patlamanın etkilerine karşı tam koruma sağlar. Normal operasyonel şartlara göre eklem destekli Resimde tasarlanmıştır ve bu nedenle konfor ve esneklikten ödün vermez. Yumuşak ve sert balistik malzeme katmanının bir kombinasyonu, çok çeşitli parçalanma tehditlerine karşı koruma sağlamak için ön bacak bölgesi üzerinde takviye sağlar.



Resim 5.12. Yumuşak ve sert balistik malzeme katmanı.

Antropometrik olarak tasarlanmış, yüksek darbe emici sırt koruyucusu, askı sistemi aracılığıyla pantolona takılır. Sırt koruyucusu, darbeyi omurga bölgesinden sırtın yan bölgelerine etkili bir Resimde azaltan ve eşit Resimde yeniden dağıtan hibrit yoğunluklu köpük laminant malzeme ile desteklenen eklemlili sert plastik içerir. Çıkarılabilir bot kılıfları pantolon paçalarının alt kısmına oturarak ayakların üst kısmına koruma sağlar. (Med-Eng Holdings, ULC., 2019)



Resim 5.13. Pantolon, Sırt Koruyucu ve Bot Kılıfları (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.4.5. Taşıma Çantası

Sırt çantası şeklinde taşıma çantası, dayanıklı naylon kumaştan yapılmıştır ve ağır iş tipi fermuarlara sahiptir. Çanta, elbisenin kullanımı için hazırlık prosedürleri sırasında temiz bir çalışma alanı sağlamak için tam düz bir Resimde açılır.



Resim 5.14. EOD 9 Suit Çanta. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.5. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin Fiziksel Özellikleri

Kullanıcı isteğine göre değişebilen donanımlara sahip EOD model Bomba Uzmanı Elbiseleri coğrafi şartlara uyum sağlayan renklere, kullanıcı boyutuna göre boyutlandırılmış bedenlere sahiptir.

5.5.1. Boyutlandırma

EOD® 9'un dört bedeni mevcuttur: küçük, orta-küçük, orta ve büyük. Her boyut, her aralıktaki tüm kullanıcılara uygun Resimde uyacak Resimde ayarlanabilir. Bomba Uzmanları verimli çalışma elde etmek adına bedenlerine göre elbise giymelidir çünkü beden boyutuna göre elbisenin ağırlığı değişmektedir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Çizelge 5.2. EOD 9 Beden tablosu. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Small	Small-Medium	Medium	Large
Boy	Boy	Boy	Boy
157 -173 cm (5'2" - 5'8")	165 -175 cm (5'5" - 5'9")	173 -188 cm (5'8" - 6'2")	189-198 cm (6'3" - 6'6")
Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık	Ağırlık
50- 68 kg (110 – 150 lbs)	60-73 kg (130-160 lbs)	68 – 100 kg (150-220 lbs)	100 -120 kg (220-265 lbs)

5.5.2. Renk

Standart mevcut renk zeytin yeşilidir. (Ön Kese ve Dirsekler - Siyah). Ülke coğrafi konumuna göre Lacivert veya Çöl Toprak rengi mevcuttur. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.5.3. EOD 9 Suit Bileşen Ağırlıkları

Aşağıdaki tabloda orta boy EOD® 9 Suit için bileşen ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 5.3. EOD 9 Suit bileşen ağırlıkları. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Bileşen	Ağırlık (kg)	Ağırlık (lbs)
Göğüs ve Kasık Plakalı Ceket	15.77	34.77
Pantolon ve Sırt Koruyucu	7.37	16.25
Ayakkabı Kapakları (çıkarılabilir)	0.95	2.09
Entegre Kasık Koruyucu (EKK)	1.45	3.20
TOPLAM	25.54	56.31

Not: Tolerans +/-%5. Elbiseyi oluşturan birçok yumuşak balistik kumaş katmanının genel boyutlarındaki küçük farklılıkların kümülatif etkisi nedeniyle, her elbisenin gerçek ağırlığı, nominal ağırlıktan biraz farklı olabilir.

5.5.4. Bileşen Materyali

Çizelge 5.4. EOD 9 Suit bileşen materyal tablosu. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Bileşen	Materyal
Dış Kabuk	Kevlar/Nomex Blend Fabric, Nomex Thread
Balistik Levha kesesi	725 Denier Nylon
Fermuar	Brass
Bağlantı Sistemi	Nylon Webbing, VELCRO® Hook & Loop, Acetal
Koruyucu Ekler - Yumuşak Bileşenler	Layered Aramid Fiber, Contained in Water-Repellant Nylon

Çizelge 5.4. (devamı)

Koruyucu Ekler - Sert Bileşenler	Polycarbonate, Aluminum, Foam, UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)
---	---

5.6. Performans Özellikleri

Bomba Uzmanı Elbisesi birçok alanda teste tabi tutulmaktadır ve bu testlerden balistik ile ilgili olan performans özellikleri başlıklar altında aşağıda belirtilmiştir.

5.6.1. Parçalanma Koruması

EOD/IEDD elbiselerinin ağırlığın büyük bir kısmı parçalanmaya dirençli zırhtan gelir. Koruyucu özelliği optimize etmek amacıyla kabul edilebilir ağırlık ve hacimde tasarlanan Bomba İmha Uzmanı Elbiselerinden, EOD® 9 giysisindeki parçalanma koruması aramid fiberlerden oluşan katmanlı yapıdadır. Elbisenin koruyucu özelliği öncelikli bölgelere ayrılmıştır. En yüksek öncelikli koruma bölgeleri, vücudun kritik veya ölümcül yaralanmalara maruz kalabileceği bölgeleridir (beyin, omurilik, göğüsteki yumuşak organlar ve karın bölgesi). İkinci öncelikli bölgeler hayati tehlike oluşturabilecek ciddi yaralanmaların yaşanabileceği alanlardır (baş, gövde, karın, pelvik bölge, uyluklardan dizlere kadar). Üçüncül öncelik bölgeleri, hayati tehlike oluşturmeyen ciddi yaralanmaların meydana gelebileceği alanlardır (alt bacaklar, kollar). (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Elbise ölümcül olmayan yaralanmalarda ise yaralanma derecesini optimize ederek rehabilitasyon tedavi sürelerini ve maliyetlerini kolaylaştırır. Bu nedenle dizlerin üzerindeki koruma tasarımı ve alt bacaklar için kemik koruması önemli ölçüde iyileştirilerek tasarlanmıştır. Mevcut RSP (güvenli hale getirme prosedürü) doktrini, bir Bomba Uzmanının her zaman infilak edebilecek bir patlayıcı cihazla yüzleşmesi gerektiğini belirttiğinden, elbisenin ön tarafından sağlanan koruma, arka tarafa göre önemli ölçüde daha yüksektir. Buna rağmen EOD®9 360° patlama koruması sunar. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

EOD 9 suit'in bileşenlerinin mekanik test değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Testler, 17 taneli Keski Burunlu FSP parça simülatörü ve MIL-STD-662F Test Spesifikasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Çizelge 5.5. EOD 9 suit'in bileşenlerinin mekanik test değerleri. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Bileşen	V-50 (meters/second)	V-50 (feet/second)
Ceket Gövdesi Önü	600	1968
Ceket Önü, Göğüs	VO: 1800	VO: 5904
Ceket Önü, Kasık	VO: 1800	VO: 5904
Ceket Gövdesi Arka	560	1837
Kollar	560	1837
Yaka Ön Bölümü	850	2788
Yaka Yanları	600	1968
Yaka Arka Bölümü	560	1837
EKK Ön Bölümü	600	1968
EKK Arka Bölümü	250	820
Pantolon Ön Uyluk	690	2263
Pantolon Ön Dizleri	620	2033
Pantolon Dizleri	800	2625
Pantolon Arkası	250	820
Bot Kapakları	450	1476

V-50 testi, balistik zırh yapımında kullanılan malzemelerin belirli laboratuvar parça tesirine karşı delinme direncini değerlendirmek için kullanılan istatistiksel bir testtir. V-50 testi, balistik ürün geliştirmeye birlikte balistik malzeme tasarımında çokça kullanılmaktadır ve bununla birlikte kalite kontrol aracı olarak da kullanılabilir. Bazı şartlar altında, balistik malzemeler temel yapı özellikleri aynı olduğu halde parçalanmaya dirençli malzemelerin veya zırhın değişken performansını kıyaslamak için de kullanılabilir; örneğin aramid yumuşak vücut zırhının karşılaştırılması. V-50 testi, örneğin yumuşak ve sert malzemeler gibi farklı zırh malzemelerini kıyaslamak için kullanılamaz. Hem fiziksel Resim hem de boyut açısından çok fazla farklı parça simülatörleri mevcuttur, bu sebeple tarafsız karşılaştırmalar için V-50 değerine ulaşmak için tercih edilen simülatörün kesin olarak şart koşulması gerekir. V-50 testinin belirlenmesi için standart test yöntemleri bulunmasına rağmen, çeşitli laboratuvarlar ve üreticiler arasında bu testin gerçekleştirilmesinde hala ince farklılıklar mevcuttur ve bu durum V-50 test sonuçlarında ufak farklılıklara sebep olmaktadır. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.6.2. Tam Ölçekli Patlama Testi

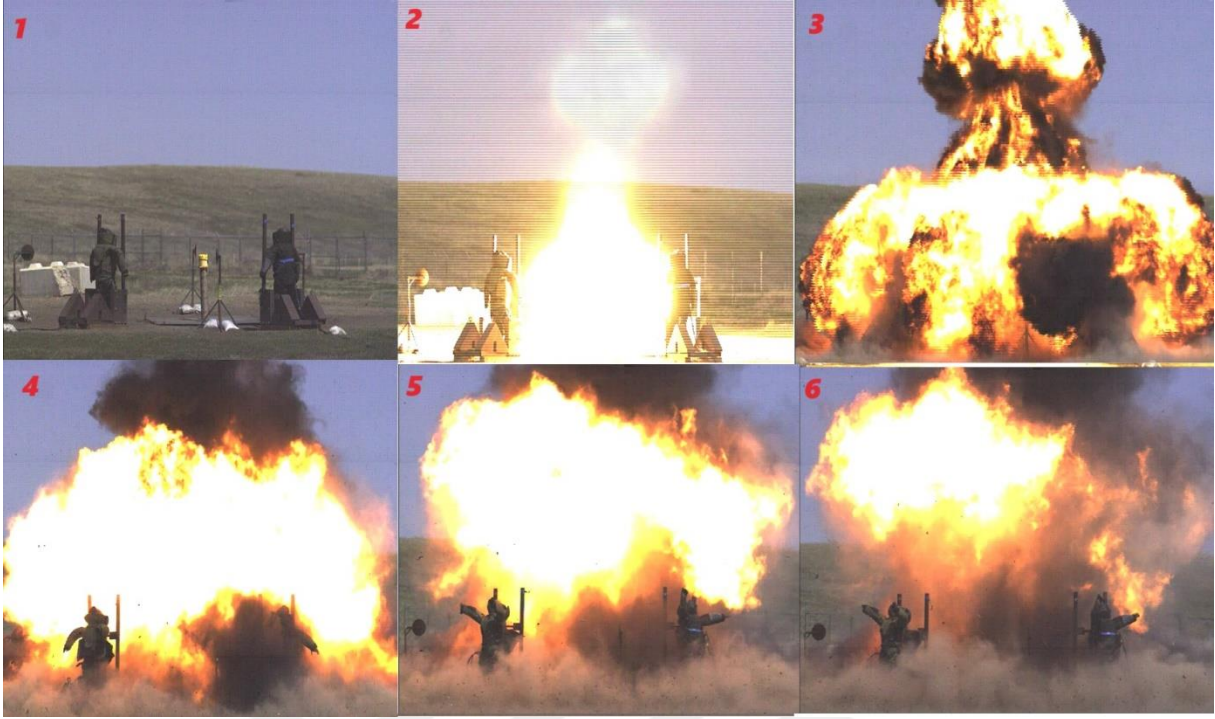
EOD® 9 Suit, gerçekçi bir tehdit durumunda kabiliyetini değerlendirmek maksadıyla patlayıcılara karşı kapsamlı bir Resimde teste tabi tutulmuştur. Tam kapsamlı bu testi yapmak için otomotiv çarpışma testi mankenleri (HYBRID II modeli), yüzde 50'lik dilimde boyu 175 cm kilosu 77 kg olan erkek cansız manken kullanılıyor. Mankene tamamen koruyucu EOD 9 BIUE giydirildi ve yüksek patlayıcıların etkisine maruz bırakıldı. Mankenler her testten önce özel oluşturulmuş konumlandırma aparatına farklı pozisyonlar aldırılarak yerleştirilmiştir. Bu özel konumlandırma aparatları patlama esnasında geri çekilecek Resimde hazırlandı ve böylece mankenin doğal tepkileri engellenmemiş oldu. Mankenlerin göğüs kısımlarına patlama basıncını ölçmek için basınç ölçer sensörler yerleştirildi. İki adet patlama test koşulu uygulandı. Birincisi, mankenlerin göğüs hizasında (70 cm) ve 60 cm uzaklıkta küresel formda 0,567 kg'lık bir C4 plastik patlayıcı etkisiyle karşılaşacak diz çöker vaziyette, ikincisi ise, mankenler 3 metre uzaklıkta ve 1 metre yükseklikte, çapı uzunluğuna eşit silindirik formda (patlama küre şeklinde olması için) 10 kg C4 plastik patlayıcının elbise üzerindeki patlama etkilerini test etmek amacıyla hazırlanmıştır. Patlayıcılar karton kaideler üzerine konulmuş ve kaidelerin altına çelik levhalar serilmiştir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)



Resim 5.15. 0,567 kg C4, 70 cm Yükseklikte 60 cm uzaklık mesafesi.



Resim 5.16. 10 kg C4, 3.0 m uzaklık ve 1 m yükseklikte.



Resim 5.17. EOD 9 10 kg C4 patlama testine ait yavaşlatılmış görüntü. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.6.3. Göğüs Aşırı Basıncı

Bir patlamanın oluşturduğu aşırı basınç, patlamayı dağıtmak ve sönmölemek için tasarlanmış bir koruyucu elbise giymeyen Bomba Uzmanının ciddi Resimde yaralanmasına veya hayatını kaybetmesine sebep olabilir. Göğüsteki bölgesindeki hayati önem arz eden organlar, maruz kalınan aşırı basınçtan ve göğüs duvarlarına binen yükten kaynaklanan kompresyon ve makaslama tipi iç kanamalara ve yaralanmalara karşı son derece hassas organlardır. Patlama testleri sırasında meydana gelen, mankenlerin göğsünde ölçölen aşırı basıncın tepe değeri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Ayrıca, en yoğun göğüs aşırı basıncındaki ortalama ölçölen azalma yüzdesi de gösterilmektedir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Çizelge 5.6. Göğüs aşırı basıncı test verileri.

Patlayıcı C4 (kg)	Uzaklık (cm)	Ölçülen Tepe Aşırı Basıncı (bar)		EOD 9 için Ortalama Azalma Yüzdesi
		Korunmasız Manken Ortalaması	EOD 9 Aralığı	
0.567	60	70.80	1.54-4.51	96%
10.0	300	31.16	2.53-5.93	87%

Yapılan testler ışığında oluşturulmuş bu tabloya bakıldığında yakın mesafede patlayan küçük miktarda patlayıcının (60 cm uzaklıkta ve 0,567 kg C4) EOD 9 model BİUE giyildiğinde Bomba Uzmanının maruz kalacağı basıncı % 96 oranında ciddi bir koruma sağlayarak absorbe ettiği, balistik korumasız bir insanın böyle bir basınca maruz kalması durumunda vücudunda 70 bar basınç oluşacağı, EOD 9 BİUE giyen bir Bomba Uzmanı 5 barın altında bir basınca maruz kaldığı görülmektedir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

Atmosfer basıncının 1 bar olarak düşünüldüğünde, 70 bar basıncın insanlar üzerinde ciddi sağlık sorunlarına veya ölümlere yol açabileceği unutulmamalıdır.

İkinci yapılan testte EOD 9 BUE'nin 3 metre uzaklık ve 1 metre yükseklikte patlayan 10 kg C4 plastik patlayıcının basınç etkisini % 87 oranında azalttığı ve yüksek miktarda patlayıcıya karşı ciddi koruma sağladığı görülmektedir. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.6.4. Darbe Koruması

Patlama dalgasının neden olduğu hızlanma genellikle Bomba Uzmanının veya bireysel vücut uzuvlarının kontrol edilemez bir Resimde mevcut konumundan itilmesine sebep olur. Bu durum genellikle zemine veya bir engel gibi katı bir yüzeye, cisime çarparak ikincil bir darbeye yol açabilir. Zemine veya başka bir engele, cisime çarpma sonucu vücudun hareketi sonlandığında, çeşitli yaralanmalar oluşabilir. Omurga ve omurilik, darbe yaralanmalarına karşı hassastırlar ve darbeler, düşmeler, felç de dahil olmak üzere uzun süreli sakatlıklara yol sebep olabilirler. EOD® 9 Suit'in darbe ve düşmelere karşı sırt yaralanması olasılığını en aza indirmek için sırt koruyucusu mevcuttur. Sırt omurilik koruyucu patlama sırasında yere düşülmesi senaryosu

şeklinde darbe hızlarına karşı test edilmiştir. Sırt koruyucu ekipmanın maksimum koruma sağlaması için daima omurga bölgesinin üzerinde kalması gerekmektedir. Yapılan test işleminde sırt koruyucu yarı silindirik bir örs üzerine yerleştirilip, 86 cm yükseklikten düşen (darbe enerjisi yaklaşık 80 Joule) 10 kg'lık bir yük ile vurulduğunda, sırt koruyucu, oluşan darbe kuvvetini 95 g ile sınırlandırmıştır. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

5.6.5. Isı Koruması

Yangın geciktirici özelliğe sahip dış kabuk, mühimmat, anti-personel mayın ve pirotekniklerden kaynaklanan ısı flaşörüne karşı koruma sağlar. Elbisenin sert koruyucu parçalar içeren bölgeleri (göğüs, kasık, omurga, incikler), elbisenin yalnızca yumuşak aramid malzemeden oluşan bölgelerine (kollar, arka pantolon, arka ceketin olmadığı bölgelerde) göre beş ila on kat daha fazla ısı yalıtımı sağlar. Termal radyasyon testlerinde, EOD elbisesinden alınan temsili numuneler 400 saniye boyunca radyant ısı akışına maruz bırakılmış (ışınma akışı, kâğıdı saniyeler içinde tutuşturmak için yeterli bir yoğunluk olan 22 kW/m² değerlerine ulaştı). Bu sürenin sonunda ("ısıtma aşaması") ısı uzaklaştırıldı ve numunenin arka tarafındaki sıcaklık 400 saniye daha kaydedildi ("soğutma aşaması"). Bu testlerde ilk 120 saniyeden sonra ceket gövdesi, diz ve ön uyluk bileşenlerini temsil eden numunelerde fark edilebilir bir sıcaklık artışı görülmemiştir. Ön ve arka kolları temsil eden numunelerde sırasıyla maksimum 10°C (18°F) ve 35°C (63°F) artışlar kaydedildi. Arka bacağı temsil eden hiçbir laminasyon test edilmedi. Yangın testlerinde, numunelerin 15,2 cm x 15,2 cm (6" x 6") alanına 1 cm kalınlığında benzin içerikli napalm (tipik olarak 100 g) tabakası yerleştirildi ve uzaktan kontrollü ateşlendi. Numunenin arkasındaki sıcaklık iki termokupl vasıtasıyla kaydedildi. Napalmin ateşlenmesinden 120 saniye sonra, maksimum sıcaklık artışı arka kovan laminasyonlarının arkasında 15°C (27°F) idi. Diğer tüm laminasyonların sonuçları bu değerin oldukça altına düştü. 40°C'lik (104°F) ağrı eşiği yaklaşık 240 saniyeden sonra aşıldı. Elbisenin ön tarafında maksimum ısı koruması sağlanırken arka tarafında azaltılmış koruma sağlanmıştır. Bir Bomba Uzmanı giysinin arka tarafındaki yangın çıkarıcı bir patlamanın etkilerine maruz kaldığı takdirde, ceket ve kask 10 saniyeden daha kısa bir sürede (yardımsız) çıkarılabilecek Resimde tasarlanmıştır. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada zırh yapımında kullanılan kompozit malzemeler araştırılıp incelenmiş, ortaya konulan deneyler, balistik standartlar ve literatür çalışmaları ışığında, farklı katman kompozisyonlarında, cam fiber, aramid ve karbon fiber kompozit malzemeler kullanılarak balistik plakalar üretilmiştir.

Balistik plakaların üretilmesinde, Bomba Uzmanı Elbiselerin de kullanılan aramid yapının mekanik ve balistik değerleri referans alınarak elbisenin balistik özelliklerinin yükseltilmesi ya da aynı balistik koruma şartlarında hafifletilmesi mümkünse hafifletilmesi ve esnetilmesi yani elbisenin balistik ve ergonomik yapısında değişiklikler yapılarak iyileştirilmesinin mümkün olup olmadığı amaçlanmıştır. Bu sebeple MED-ENG firması tarafından üretilen EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi içerisinde kullanılan 22 katman aramid kumaşın sağladığı balistik ve ergonomik yapı referans alınmış ve bu referans değerleri eşliğinde cam fiber ve aramid kullanılarak epoksi matrisli fiber takviyeli kompozit plakalar vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş ve prepreg karbon kumaşlar usulüne uygun Resimde kompozit hale getirilmiştir. Plakalar her malzeme türünden 6 adet katman, 200x200 mm hedef alanı olacak Resimde ayrı ayrı üretilmiştir.

Ayrıca elbiseye ait diz altı bacak kısmı orijinal yapısı ile birlikte orijinal yapısından 6 katman aramid çıkarılarak yerine 6 katman karbon fiber katman aynı fiziksel Resimde hazırlanarak 100 gram C-4 plastik patlayıcı patlatılmış ve patlamanın parça etkisine karşı teste tabi tutulmuştur. Üretilen plakalar farklı kombinasyonlarda sıralanarak numuneler hazırlanmış, NIJ standartları esasları ile balistik testlere tabi tutulmuştur. Plakalardan çekme deneyleri için uygun numuneler hazırlanarak çekme testleri yapılmıştır.

Balistik testlerde NIJ standartları esaslarını sağlayan Sarsılmaz Kılınç 2000 Mega marka model tabanca ve MKE 9x19 mm Parabellum fişekler kullanılmıştır.

Fiziksel olarak balistik teste tabi tutulan kompozisyon katman sıralamaları ile aynı sıralamada ve sayıdaki numuneler, Solidworks bilgisayar çizim programın da hazırlanmış, fiziki balistik test sonuçlarına göre kıyaslama yapabilmek adına ANSYS WORKBENCH analiz programında Inspect Dynamics bölümünde sonlu elemanlar simülasyonu yapılmıştır.

6.1. Kompozit Malzemeler

Balistik zırh yapımında kullanılan kompozit malzemelerden aramid elyaf, cam elyaf ve karbon fiber prepreg kullanılarak epoksi matrisli fiber takviyeli kompozit balistik plakalar vakum infüzyon yöntemi ile oluşturulmuştur.

6.1.1. Aramid Fiber

Balistik numuneler ve çekme test numunelerinde, Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Daire Başkanlığı Bomba İmha ve İnceleme Şube Müdürlüğünde kullanım dışı kalmış MED ENG firması tarafından üretilmiş EOD 9 model Bomba Uzmanı Elbisesi temin edilmiş. Elbise üzerinde yapılan fiziki ve detaylı inceleme sonucunda, elbise de balistik zırh malzemesi olarak ceket, kasık koruyucu ve pantolon bölümlerinin, dış kabuk kısmında ve koruyucu parça olarak iç kısımda DU-Pont Nomex Blend Fabric firması tarafından üretilmiş katmanlı aramid fiber (Kevlar) malzemedan kumaş formunda 22 adet katman kullanılmıştır. (Allen Vanguard Med-Eng, 2013)



Resim 6.1. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin Ceket İç Yapısı.

Kevlar incelendiğinde 200 gr/m^2 ağırlığında ve plain dokuma formunda olduğu anlaşılmıştır.

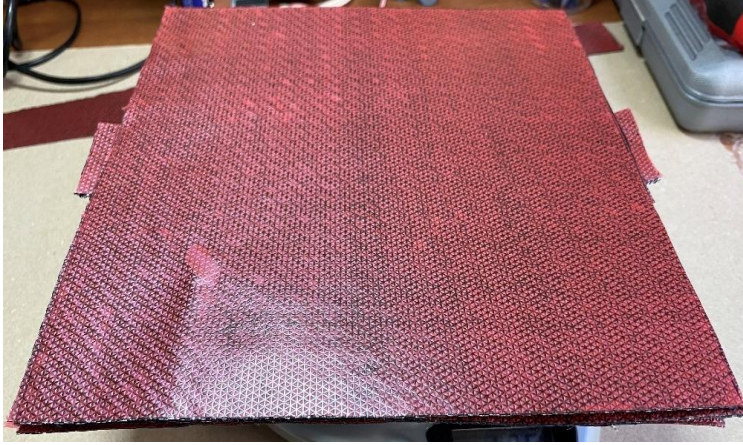


Resim 6.2. EOD 9 Model Bomba Uzmanının Ceket Kumaş Yapısı.

Kevlar kumaşlar 50x50 cm ebatlarında Kevlar Kesme makası ile düzgün bir Resimde kesilmiştir. 6 adet katman kullanılarak epoksi reçine matrisli kevlar fiber takviyeli kompozit plakalar Tunceli Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Atölyesinde vakum infüzyon makinesi marifeti ve yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen plakalardan çekme testi için ve hedef alanı 200x200 mm olacak Resimde karbon testeresi yardımıyla plakalar kesilmiştir.

6.1.2. Karbon Fiber

Balistik numunelerin hazırlanmasında, EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin pantolon bölümü diz altı bölümünde yapılan patlama testi ve çekme deneylerinde kullanılmak üzere Prepreg yapıda, 245gr/m² ağırlığında twill dokuma yapısına sahip karbon fiber kullanılmıştır. Karbon fiber Fibermak Mühendislik Makine tarafından üretilmiştir. Üretici verilerine bakıldığında;



Resim 6.3. Prepreg Karbon Fiber.

Çizelge 6.1. Karbon Fiber Prepreg üretici verileri.

Yoğunluk	1,8 g/cm ³
Çekme Modülü	220-240 GPa
Çekme Mukavemeti	3450-4850 MPa
Lif Çapı	5-8 um
Kopma Uzaması	% 1,6-2,2
Kürleme Sıcaklığı	120°C
Dokuma Tipi	Twill 3 K
Reçine Tüketimi	281 gr/m ²

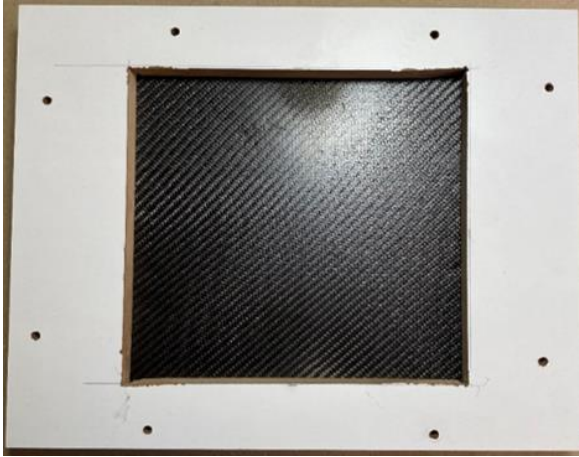
Karbon fiber prepregler çekme testleri için 20x250 mm ve hedef alanı 200x200 mm olacak Resimde kesilerek 6 adet katman birbirine yapıştırılmış hava boşluklarını almak ve katmanların birbirine iyi yapışma sağlaması amacıyla silindirik cisimle plakaların üzerinden geçilmiş ve üretici firmanın belirttiği kürleme sıcaklığı olan 120°C’de iki metal plaka arasında preslenerek 30-40 dk süre ile kürlenerek karbon kompozit plakalar oluşturulmuştur.



Resim 6.4. Karbon Fiber kürlleme işlemi.



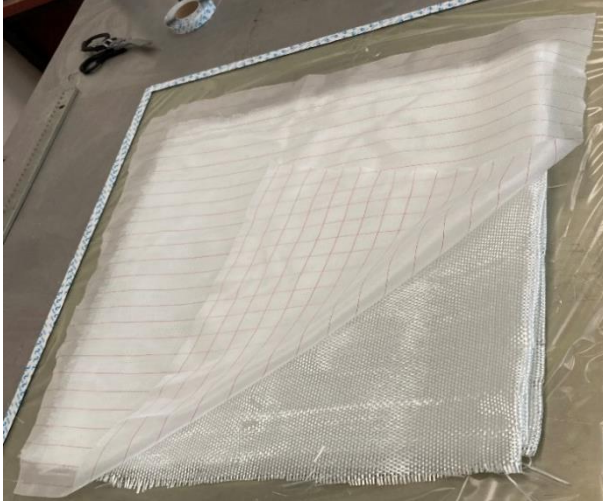
Resim 6.5. Kürlenmiş Karbon Fiber Plaka



Resim 6.6. Balistik testler için hazırlanmış karbon fiber plakası.

6.1.3. Cam Fiber

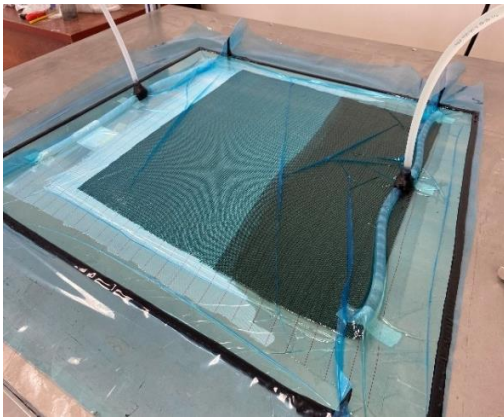
Balistik plaka katmanları için ve çekme testleri için 200 gr/m^2 ağırlığında plain dokuma formunda E Cam türünde cam fiber kullanılmıştır. Cam fiber Çelebioğulları Ticaret Denizcilik isimli firmadan temin edilmiştir. Cam fiber kumaş $500 \times 500 \text{ mm}$ ebatlarında kesilerek, 6 katman kullanılarak, epoksi reçine matrisli cam fiber takviyeli kompozit plaka haline Tunceli Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Atölyesinde vakum infüzyon makinesi marifeti ve yöntemiyle getirilmiştir. Çekme testleri için $20 \times 250 \text{ mm}$ ve hedef alanı $200 \times 200 \text{ mm}$ olacak Resimde kesilerek balistik ve çekme plakaları oluşturulmuştur.



Resim 6.7. Deney numuneleri kullanılan cam fiber kumaş.

Çizelge 6.2. Kullanılan cam fiberin teknik verileri.

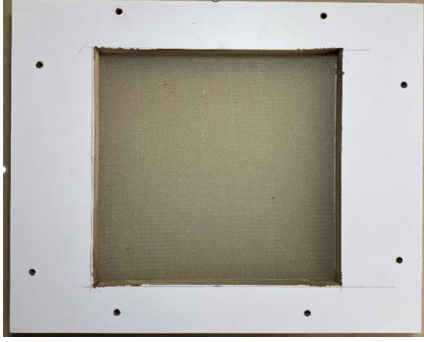
Tür	E Cam
Yoğunluk	2.54 gr/cm ³
Dokuma türü	Plain
E modülü	72.4



Resim 6.8. Cam fiber kumaşa uygulanan vakum infüzyon yöntemi.



Resim 6.9. Vakum infüzyon ile üretilen cam fiber kompozit.



Resim 6.10. Balistik testler için hazırlanmış cam fiber plakası.

6.1.4. Epoksi Reçine

Kevlar ve cam fiber malzemeleri kompozit hale getirmek amacıyla matris yapı elemanı olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Kompozitlere epoksi reçine vakum infüzyon yöntemi ile uygulanmıştır. Kullanılan epoksi reçine kompozit imalatına uygun olarak seçilmiştir. Epoksi reçine RESININ Norm R612 markadır ve epoksimarket.com sitesinden temin edilmiştir. A ve B bileşenleri bulunan epoksi reçinenin üretici verileri incelendiğinde hazırlanacak karışımda 3A ve 1B oranı kullanıldı. Oranlar vakum infüzyon yöntemi öncesinde hassas tartıda ölçülerek belirtilen oranlarda hazırlanmıştır.

Hazırlanan 500x500 mm 6 katmanlı kompozit plakaların herbiri için 450 gr A ve 150 gr B bileşeni kullanılmıştır. Karbon fiber prepreg özellikte olduğu için epoksi reçine uygulanmamıştır.



Resim 6.11. Epoksi A bileşeni.



Resim 6.12. Epoksi B bileşeni

Çizelge 6.3. Kullanılan epoksi reçineye ait teknik bilgiler.

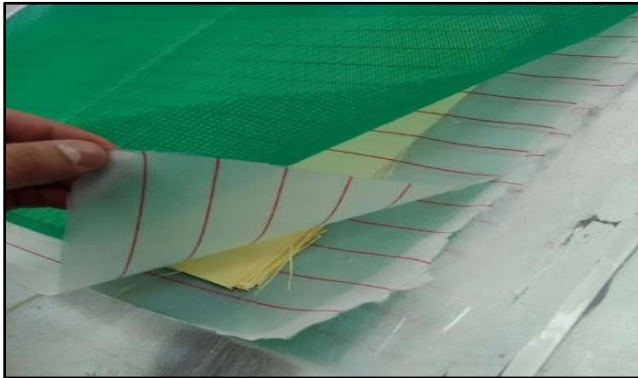
Yoğunluk	1.18-1.2 g/cm ³
Viskozite	700-1100 mPas
Çekme dayanımı	60-75 MPa
Basma dayanım	80-90 MPa
Kopma uzaması	% 8-16

6.2. Vakum İnfüzyon Yöntemi

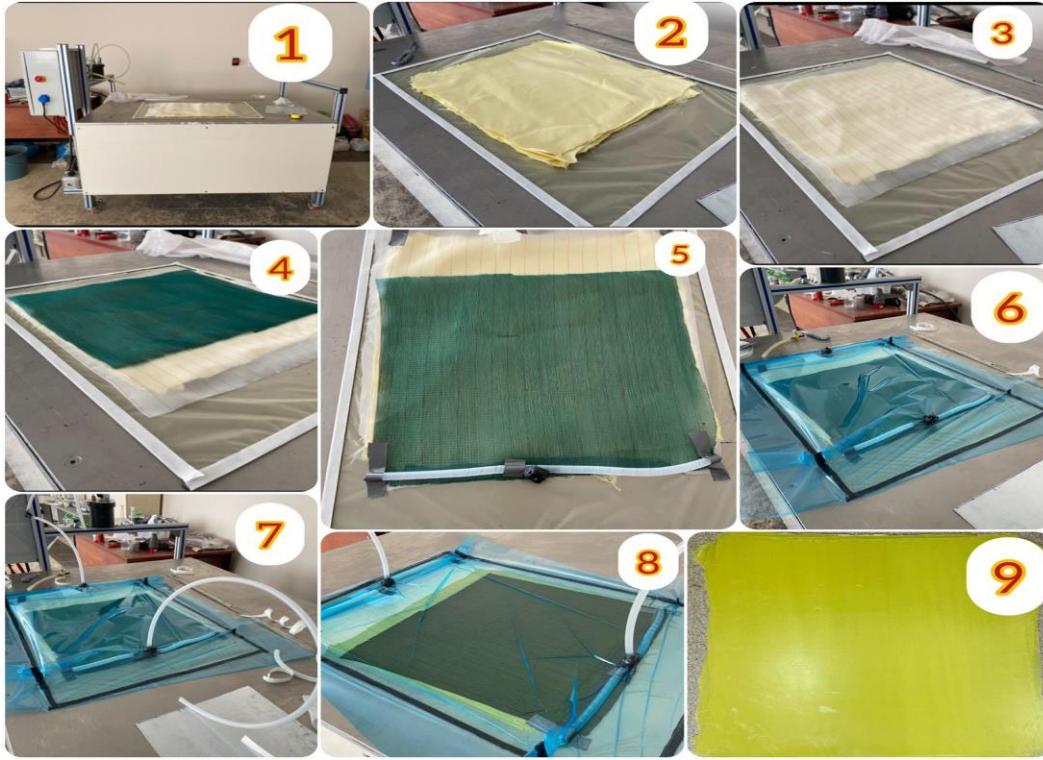
Bu çalışmamızda Kevlar ve Cam fiber kumaşlar kullanılarak epoksi matrisli fiber takviyeli kompozit plakalar Tunceli Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Atölyesinde Vakum İnfüzyon yöntemi ile üretilmiştir. İşlemler ısıtıcı tezgâha sahip vakum infüzyon makinesi yardımı ile yapılmıştır.

Kevlar ve Cam fiber her biri 500x500 mm ebatlarında kesildikten sonra 6 katman olacak Resimde, hazırlanan vakum torbasına yatırılmış üzerine sırasıyla ayırma kumaşı, infüzyon filesi ve vakum naylonu ile kapatılmıştır. Sızdırmazlığı sağlamak için macun bant kullanılmıştır. Vakum sistemi içerisine uygun noktaya yerleştirilen spiral borular ve t bağlantılar yapılarak sistem hazırlanmıştır. 3A ve 1B karışım oranıyla hazırlanan ve toplam ağırlığı 600 gram olan epoksi reçine vakum pompası yardımıyla sisteme aktarılmış ve ısıtıcı tezgâh 100 dereceye çıkarılmıştır.

24 saat boyunca bekletildikten sonra kademeli soğutma yapılarak kompozit plakalarımız hazırlanmıştır.



Resim 6.13. Vakum infüzyon sistemi iç katmanları.



Resim 6.14.Vakum infüzyon yöntemi aşamaları. (Aramid fiber kompozitin üretimi)

6.3. Deney Numuneleri

Deney numuneleri Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen Kevlar, Cam fiber ve Karbon fiber plakalardan oluşmaktadır. Balistik deneylerde kullanmak üzere hazırlanan kompozit malzemeler farklı katman kompozisyonlarında hazırlanarak balistik atışlara tabi tutulmuştur.

Bu çalışmamızda EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi iç yapısında bulunan 22 adet Aramid (Kevlar) malzemenin balistik dayanımı referans olarak alınmıştır.

EOD 9 Model elbiseden 200x200 mm ebatlarında katmanlar kesilerek cam fiber ve karbon fiber katmanlar farklı kombinasyonlarda dizilerek NIJ 0101.06 Standardı esasları gözetilerek balistik testler uygulanmıştır.

Çizelge 6.4. Farklı katman kompozisyonlarında hazırlanmış numuneler.

Numune	Katman Kompozisyonu	Toplam Kalınlık (mm)	Katman Adeti
1	Kumaş Kevlar	5.5	22
2	Kevlar-Cam Fiber-Karbon Fiber	4.5	18
3	Kevlar-Karbon Fiber-Cam Fiber	4.5	18
4	Kevlar-Kumaş Kevlar-Karbon Fiber-Cam Fiber	5.5	22
5	Kevlar-Kevlar-Kumaş Kevlar-Karbon Fiber	5.5	22
6	Karbon Fiber-Kevlar-Kumaş Kevlar-Karbon Fiber	5.5	22
7	Kevlar kumaş-Karbon Fiber-Kevlar-Karbon Fiber-Kevlar kumaş	5.5	22
8	Kevlar kumaş-Kevlar-Kevlar-Kevlar	5.5	22

6.3.1. Numune 1

MED ENG firması tarafından üretilen EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi iç yapısından kullanılan Aramid (Kevlar) Malzeme elbisenin ceket kısmından orijinal hali ile kesilmiştir. Hedef Alanı 200x200 mm dir. Numune 1 elbisenin fabrikasyon üretim haliyle yani 22 adet Kevlar kumaştan oluşmaktadır. 200x200 mm yüzey alanı olan 22 adet kevlar katmanı 5.5 mm kalınlığa sahiptir ve ağırlığı yaklaşık 220 gramdır.



Resim 6.15. Balistik Numune 1

6.3.2. Numune 2

Her bir plaka kendi türünden 6 katmandan oluşmaktadır.

Kevlar-Cam Fiber-Karbon Fiber şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 4.5 mm dir.



Resim 6.16. Balistik Numune 2

6.3.3. Numune 3

Her bir plaka kendi türünden 6 katmandan oluşmaktadır.

Kevlar-Karbon Fiber-Cam Fiber şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 4.5 mm dir.

Bu numunede Numune 2'ye göre kompozisyon sıralamasının balistik dayanıma etkisi gözlenmiştir.



Resim 6.17. Balistik Numune 3

6.3.4. Numune 4

6 katmanlı Kevlar Kompozit plakaya ek olarak kumaş formda 4 katman Kevlar eklenmiştir.

Kevlar-Kumaş Kevlar-Karbon Fiber-Cam Fiber şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 5.5 mm dir.



Resim 6.18. Balistik Numune 4

6.3.5. Numune 5

İki adet 6 katmanlı Kevlar kompozit plaka, 4 adet kumaş formda Kevlar olmak üzere toplamda 16 katman Kevlar ve 6 katmanlı Karbon Fiber Kompozit plakadan oluşmaktadır.

Kevlar-Kevlar-Kumaş Kevlar-Karbon Fiber şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 5.5 mm dir.



Resim 6.19. Balistik Numune 5

6.3.6. Numune 6

2 adet 6 katmanlı Karbon Fiber kompozit plaka ve 6 katmanlı Kevlar kompozit plaka ve 4 adet Kevlar kumaş'tan oluşmaktadır.

Karbon Fiber-Kevlar-Kumaş Kevlar-Karbon Fiber şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 5.5 mm dir.



Resim 6.20. Balistik Numune 6

6.3.7. Numune 7

İki adet 6 katmanlı Karbon Fiber kompozit plaka ve 6 katmanlı Kevlar kompozit plaka ve 2+2 adet Kevlar kumaş'tan oluşmaktadır.

Kevlar kumaş-Karbon Fiber-Kevlar-Karbon Fiber-Kevlar kumaş şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 5.5 mm dir.



Resim 6.21. Balistik Numune 7

6.3.8. Numune 8

Dört adet Kevlar kumaş ve üç adet Kevlar kompozit plakadan oluşmaktadır.

Kevlar kumaş-Kevlar-Kevlar-Kevlar şeklinde sıralanmış kompozisyona sahiptir. Toplam plaka kalınlığı 5.5 mm dir.



Resim 6.22. Balistik Numune 8

6.4. Tabanca

Balistik testlerde NIJ Standartlarına uygun olan Sarsılmaz Kılınç 2000 Mega tabanca kullanılmıştır. Tabancaya ait üretici firma teknik verileri aşağıda çizelge 6.6. da gösterilmiştir.



Resim 6.23. Sarsılmaz Kılınç 2000 Mega Tabanca.

Çizelge 6.5. Sarsılmaz Kılınc 200 Mega tabanca teknik verileri.

Kalibre	9x19 mm
İlk Çıkış Hızı	350 - 380 m/sn
Yiv-Set	6 sağa döner
Etkili Menzil	0-50 m

6.5. Fişek

Balistik atışlarda NIJ standartlarına uygun 9x19 mm FMJ Parabellum tipi MKE marka fişek kullanılmıştır. Çizelge 6.6. da fişegin üreticisi MKE tarafından paylaşılan teknik veriler mevcuttur.



Resim 6.24. MKE 9x19 Mm Fişek

Çizelge 6.6. 9x19 mm MKE Fişege ait teknik özellikler.

Fişek Boyu	29.69 mm
Fişek Ağırlığı	~12.15 g
Hız (m/s)	370 ± 10 m/s (16 m'de)
Hız Standart Sapması	max. 9m/s
Çekirdek İrtibat Kuvveti	min. 20.4 kgf
Kovan Model Numarası	9 mm x 19 Parabellum Kovan
Çekirdek Tipi	FMJ, Mermi Gömlek Yüksüğü Pirinç (CuZn30), Mermi Çekirdeği Kurşun-Antimon Alaşımı
Çekirdek Ağırlığı	8±0.075 g

6.6. Balistik Deneyler

Bomba Uzmanı Elbiseleri önemsenecek derecede hızlara ulaşan, yiv ve setlere sahip ateşli silahlardan atılan ve doğrusal hareket eden çekirdeklere karşı koruma amacıyla tasarlanmamıştır. Patlamanın etkileri neticesinde oluşan basınca ve düzensiz hareket eden parça tesirine karşı koruma sağlamak amacıyla tasarlanmış ve üretilmiştir. Bundan dolayı Bomba Uzmanı Elbiseleri hafif kişisel vücut korucuları kapsamında değerlendirilmiştir. Bu sebeple çalışmamız da yapılan balistik deney atışları balistik biliminin ışığında ve uluslararası standartlardan NIJ 0101.06 Standartları koruma seviyesi II-1 kriterleri esas alınarak çevre güvenliği alınmış açık alan poligonunda profesyonel kişilerce yapılmıştır.



Resim 6.25. Balistik deney atışları.

Çizelge 6.7. Balistik atış testleri sonuçları

Numune	Toplam Katman Sayısı	Katman Türü	Numune Kalınlığı (mm)	Atış Mesafesi (m)	Atış Hızı (m/s) ± 9	Atış Adeti	Çukur Derinliği (mm) ± 3	Delinme
1	22	Kompozit	4.5	5	370	A 1	42	YOK
				5	370	A 2	44	YOK
				5	370	A 3	55	YOK

Çizelge 6.7. (devamı)

2	18	Kompozit	4.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	-	VAR
				5	370	A 3	-	VAR
3	18	Kompozit	4.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	-	VAR
				5	370	A 3	-	VAR
4	22	Kumaş + Kompozit	5.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	-	VAR
				5	370	A 3	-	VAR
5	22	Kumaş + Kompozit	5.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	43	YOK
				5	370	A 3	-	VAR
6	22	Kumaş + Kompozit	5.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	-	VAR
				5	370	A 3	-	VAR
7	22	Kumaş + Kompozit	5.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	-	VAR
				5	370	A 3	-	VAR
8	22	Kumaş + Kompozit	5.5	5	370	A 1	-	VAR
				5	370	A 2	-	VAR
				5	370	A 3	-	VAR

6.7. Patlayıcı Madde ile Balistik Parça Etkisi Deneyi

Bomba Uzmanı Elbiseleri patlamanın çeşitli etkilerine karşı Bomba Uzmanı personeli korumak amacıyla üretildiğinden ve patlamanın basınç etkisini ölçebilecek teknik imkanlara sahip olmadığımızdan, patlamanın parça etkisini gözlemlemeyi amaçladık. Bu amaçla EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesinin diz altı ile bilek arasında kalan kısmı incelenmiş, iç yapısında bulunan 22 katmanlı aramid malzemeden 6 katman çıkarılarak yerine 6 katmandan oluşan prepreg karbon fiber kompozit hazırlanmıştır.



Resim 6.26. EOD 9 Model Bomba Uzmanı Elbisesi pantolon diz altı kısmı orijinal iç yapısı.

Elbisenin sağ ayak diz altı kısmında hazırladığımız karbon fiber sol ayak diz altı kısmı ise orijinal Resimde patlamanın parça etkisine maruz bırakılarak belirtilen parçalar üzerindeki tahribat gözlemlenmek istenilmiştir. Pantolon diz altı kısmı orijinal haliyle esnek bir bölüm iken eklediğimiz karbon fiber bu bölüme rijitlik kazandırmıştır. Kazandırılan bu rijitliğin nedeni belirtilen kısmın insan anatomisi gereği esnek olmasının önem arz etmemesindendir.



Resim 6.27. Karbon fiber yapıları diz altı 1



Resim 6.28. Karbon fiber yapıları diz altı 2

Deneylerimiz çevre güvenliği alınmış, her türlü araç ve canlı trafiğine kapalı alanda alanında başarılı ve deneyimli Bomba Uzmanlarınca çevreye herhangi bir zarar verilmeden

gerçekleştirilmiştir. Sağ ve sol diz altı kısımlar birbirine bitişik vaziyette test alanına yerleştirilmiş, 100 gram C-4 plastik patlayıcı ile parça tesirli olarak hazırlanan patlayıcı düzeneği numunelere 1 metre mesafe ve 15 cm yükseklikte yerleştirilmiştir.



Resim 6.29. Patlama öncesi numuneler.

Güvenli bir Resimde kontrollü patlama gerçekleştirilmiş ve numuneler üzerinde oluşan parça etkisinin verdiği zarar gözlemlenmiş ve orijinal parça ile yapmış olduğumuz numune kıyaslanmıştır.



Resim 6.30. Orijinal diz altı ön kısmında oluşan parça etkisi



Resim 6.31. Orijinal diz altı arka kısmında oluşan parça etkisi



Resim 6.32. Karbon fiber ve aramid katmanlı diz altı ön kısmında oluşan parça etkisi



Resim 6.33. Karbon fiber ve aramid katmanlı diz altı arka kısmında oluşan parça etkisi

Deney sonucunda 22 katman aramid malzemeden oluşan orijinal haldeki diz altı kısmı ile 6 adet aramid katman çıkarılarak yerine 6 adet aynı kalınlıkta karbon fiber kompozit konularak hazırlanan diz altı kısmı incelenmiş, birbirine bitişik ve patlayıcı maddeye yakın olduklarından iki deney numunesine de parça etkisinin eşit olarak dağıldığı görülmüş, iki numunenin de ön kısmında oluşan parça etkisinin birbirine benzer Resimde zarar aldığı gözlenmiş numuneler incelendiğinde iki numunede de delaminasyon olduğu görülmüş, numunelerin arka kısımları incelendiğinde delinmelerin olmadığı ve diz altı kısımlara isabet eden metal parçaların numunelerin son katmanları tarafından tutulduğu Resim 6.31. de ve Resim 6.33. de gösterilmiştir.

Bu itibarla hazırladığımız karbon fiber kompozitin aramid malzeme ile birlikte kullanılması neticesinde orijinal haliyle çok benzer balistik özellik gösterdiği ve Bomba Uzmanı Elbiselerinde eklem hareketi gerektirmeyen kısımlarında rijit ve kumaş formun birlikte harmanlanarak kullanılması durumunda patlama neticesinde oluşan basınç ve parça tesirinin sönümlenmesi, sektirilmesi veya yönlendirilmesinin mümkün olacağı değerlendirilmiştir.

6.8. Çekme Deneyleri

Üretilen Kevlar, Cam fiber ve Karbon fiber plakalardan herbir malzeme 6 katman olacak Resimde 20x250 mm ebatlarında çekme test numuneleri hazırlanmıştır.

Çekme deneyi Tunceli Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü atölyesinde SHIMADZU marka AG-IC 100kN model çekme test cihazı ile 2 mm/dk hız ile yapılmıştır.



Resim 6.34. SHIMADZU marka AG-IC 100kN model çekme test cihazı.

6.8.1. Cam Fiber

Vakum infüzyon yöntemi ile hazırlanan Cam fiber kompozit plakadan kesilerek 20x250 mm ebatlarında hazırlanan iki adet çekme numunesi çekme testine tabi tutulmuştur. Cam fiber kumaş için verilen teknik veriler ve çekme deneyleri sonucunda elde edilen teknik veriler ve grafikler aşağıda gösterilmiştir.



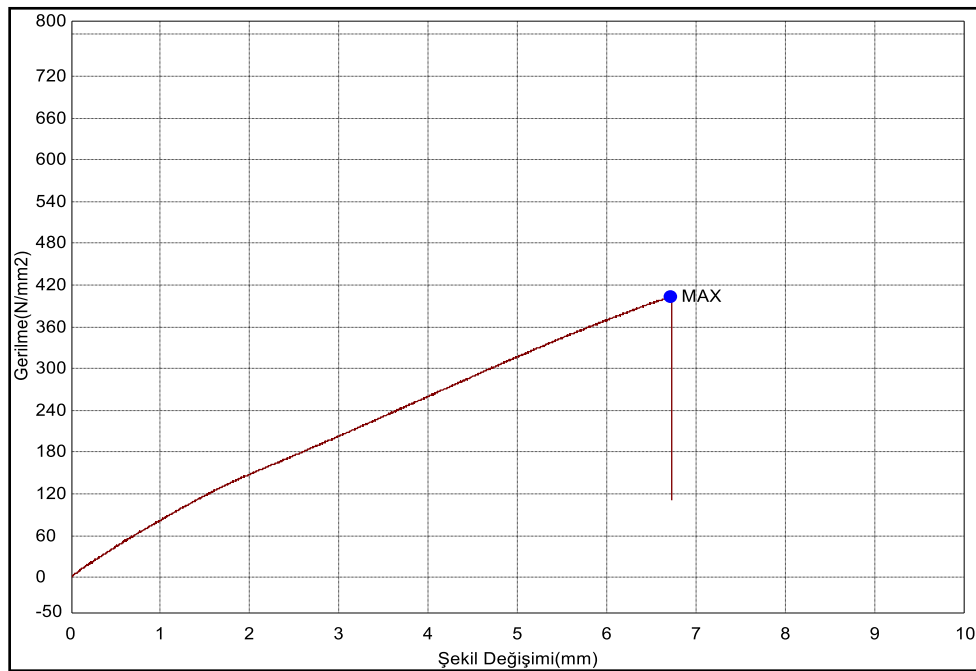
Resim 6.35. Cam fiber çekme numuneleri.

Çizelge 6.8. Kullanılan cam fiberin teknik verileri.

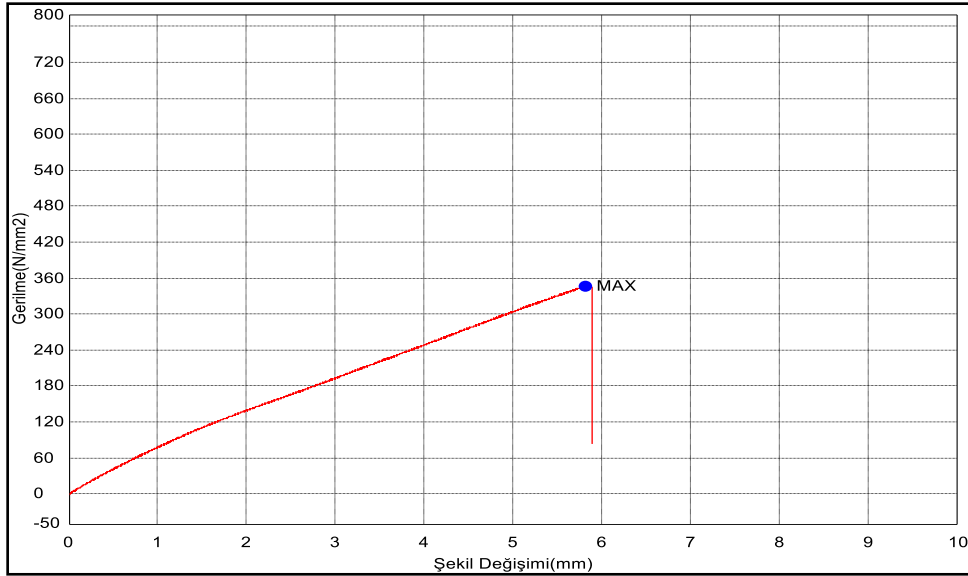
Cam Fiber	
Tür	E Cam
Yoğunluk	2.54 gr/cm ³
Dokuma türü	Plain
Çekme gerilimi	3450 MPa
E modülü	72.4

Çizelge 6.9. Kullanılan Cam fiberin çekme testi sonucu teknik verileri.

Cam Fiber	
Tür	E Cam
Yoğunluk	2.54 gr/cm ³
Dokuma türü	Plain
Çekme gerilimi	1- 402.6 MPa 2- 346.9 MPa
E Modülü	60



Şekil 6.1. Hazırlanan Cam fiber kompozite ait 1. çekme deney grafiği.



Şekil 6.2. Hazırlanan Cam fiber kompozite ait 2. çekme deney grafiği.

6.8.2. Karbon Fiber Kompozit

Hazırlanan Karbon fiber kompozit plakadan kesilerek 20x250 mm ebatlarında hazırlanan iki adet çekme numunesi çekme testine tabi tutulmuştur. Karbon fiber prepreg için verilen teknik veriler ve çekme deneyleri sonucunda elde edilen teknik veriler ve grafikler aşağıda gösterilmiştir.



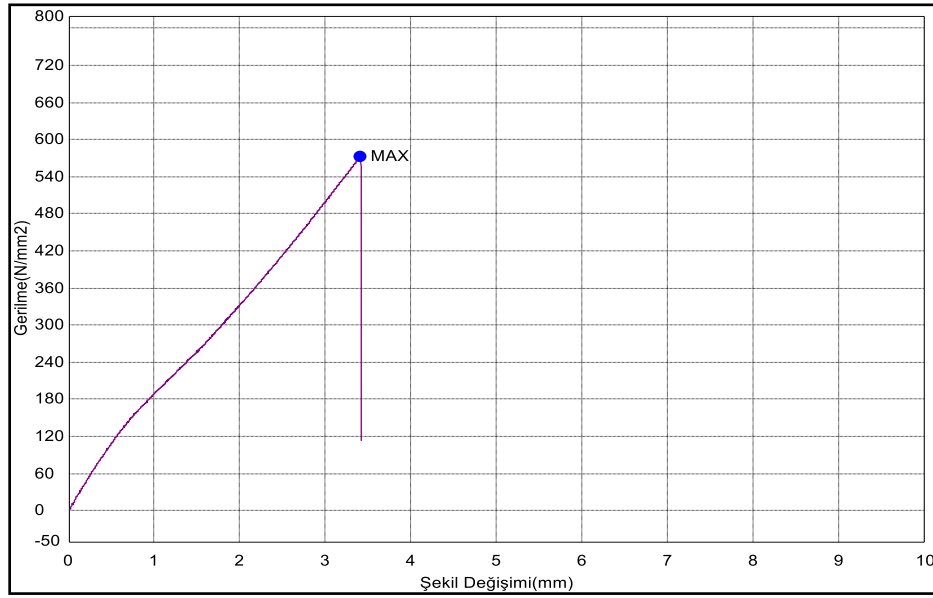
Resim 6.36. Karbon fiber çekme numuneleri.

Çizelge 6.10. Kullanılan Karbon fiberin teknik verileri.

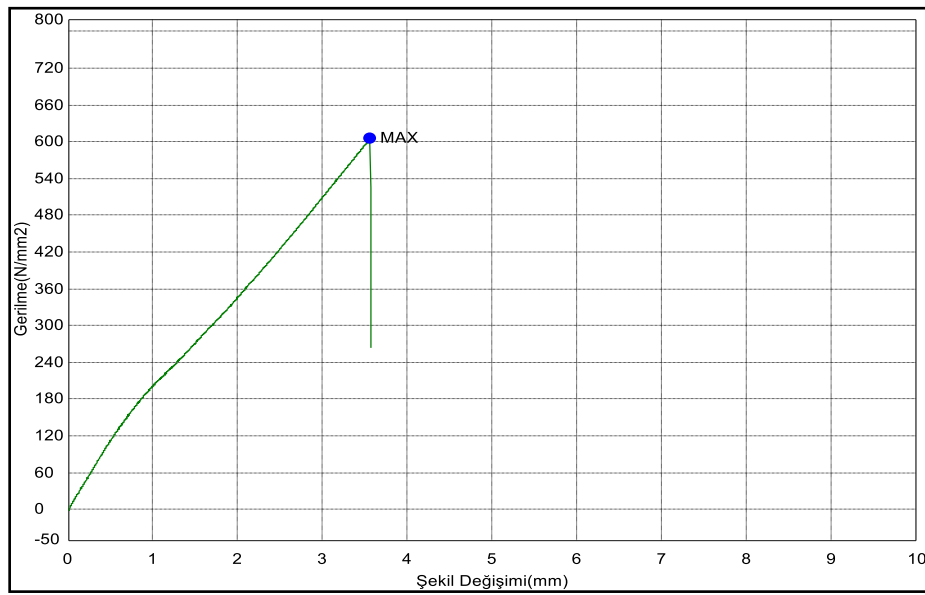
Karbon Fiber	
Yoğunluk	1.8 g/cm ³
Çekme Gerilimi	3450-4850 MPa
E Modül	220
Dokuma Türü	Twill

Çizelge 6.11. Kullanılan Karbon fiberin çekme testi sonucu teknik verileri.

Karbon Fiber	
Yoğunluk	1.8 g/cm ³
Çekme Gerilimi	1- 572,4 MPa 2- 604,9 MPa
E Modül	212
Dokuma Türü	Twill



Şekil 6.3. Hazırlanan Karbon fiber kompozite ait 1. çekme deney grafiği.



Şekil 6.4. Hazırlanan Karbon fiber kompozite ait 2. çekme deney grafiği.

6.8.3. Aramid (Kevlar)

Hazırlanan Aramid (Kevlar) kompozit plakadan kesilerek 20x250 mm ebatlarında hazırlanan çekme numunesi çekme testine tabi tutulmuştur. Aramid (Kevlar) için verilen teknik veriler ve çekme deneyleri sonucunda elde edilen teknik veriler ve grafikler aşağıda gösterilmiştir.



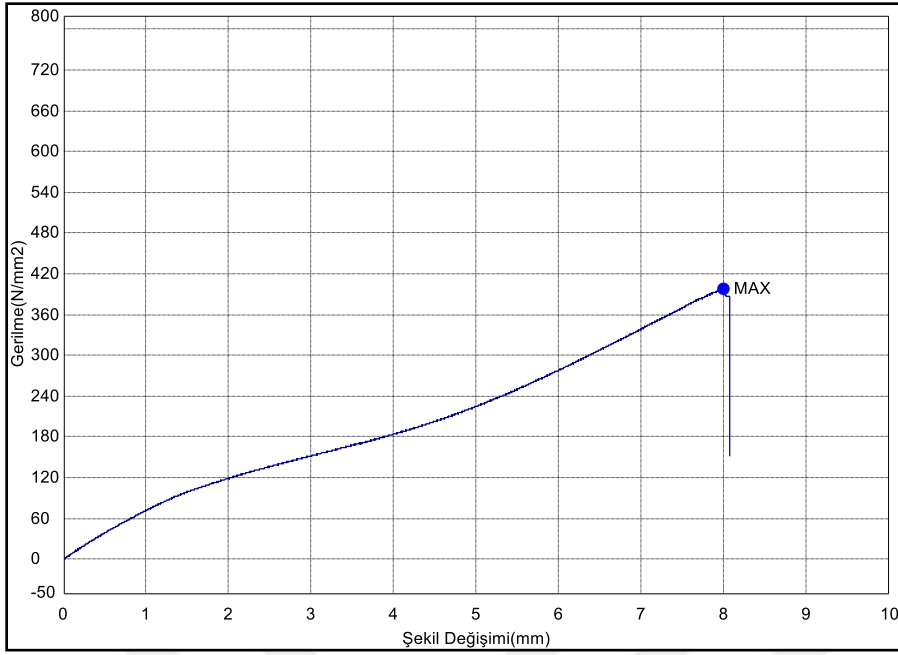
Resim 6.37. Aramid (Kevlar) çekme numuneleri.

Çizelge 6.12. Kullanılan Aramid (Kevlar) fiberin teknik verileri.

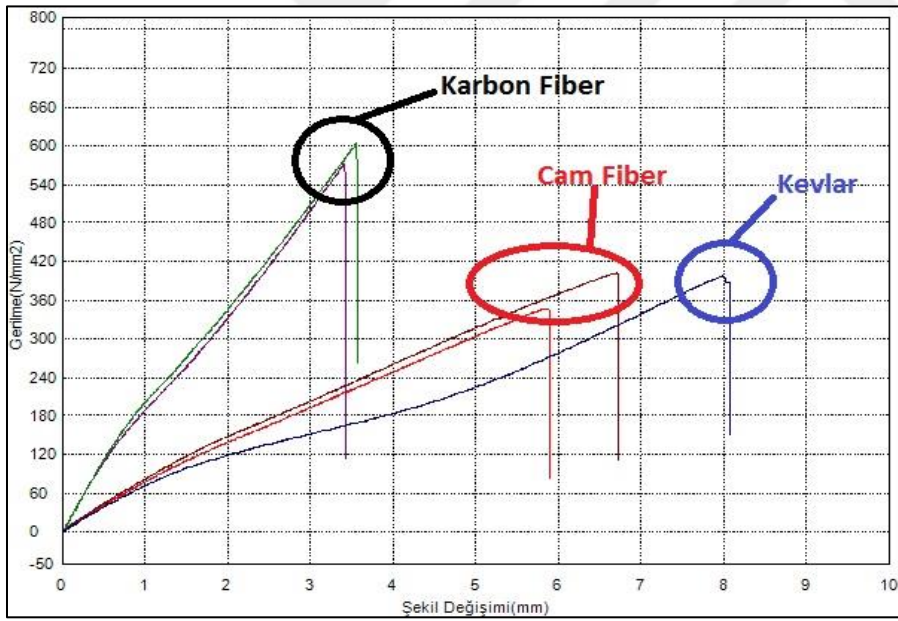
Kevlar	
Yoğunluk	1.44 g/cm ³
Çekme Gerilmesi	3600 MPa
E Modülü	83
Dokuma türü	Plain

Çizelge 6.13. Kullanılan Aramid (Kevlar) fiberin çekme testi sonucu teknik verileri.

Kevlar	
Yoğunluk	1.44
Çekme Gerilmesi	397.5 MPa
E Modülü	70
Dokuma türü	Plain



Şekil 6.5. Hazırlanan Aramid (Kevlar) kompozite ait çekme deney grafiği.



Şekil 6.6. Tüm numunelere ait çekme gerilimi.

Hazırlanan numunelere uygulanan çekme testlerinin sonuçları gerilme – Resim değiştirme grafikleri olarak verilmiş ve maksimum Gerilme-Resim değiştirme değerleri incelenmiştir. Yukarıdaki grafiklerde malzemelere ait maksimum çekme gerilmesi ve Resim yer değiştirme değerleri görülmektedir.

Kullanılan malzemelerin katalog verileri ile üretim sonrası hazırladığımız numunelerin çekme testleri sonucu elde edilen çekme gerilme değerleri arasında farklar olduğu gözlenmiştir. Bu durum yapılan literatür taramalarında da karşımıza çıkmıştır. TUNCER C.'nin çalışmasında ve ŞEN Ö.'nün çalışmasında benzer durum gözlenen bazı literatür örnekleridir. (Tuncer, 2018; Şen, 2022)

Benzer bir durum da GÖKSEL B.'nin yaptığı çalışmada kullanmış olduğu 200 gr/m² ağırlığa sahip Kevlar 49 malzemenin temin ettiği firma tarafından verilen teknik verilerine dayanarak Çekme gerilmesinin 2900-3400 MPa ve E modülünün 112-135 değerlerinde olduğunu belirtmiş, 8 katman Kevlar 49 fiber kumaş ile epoksi matrisli ve TiB2 takviyeli kompozitleri vakum infüzyon yöntemi ile üretmiş ve çekme testine tabi tutmuştur. Çekme testleri sonucunda aldığı çekme gerilmesi ortalama değerlerinin 271-348 MPa arasında olduğu görülmüştür.

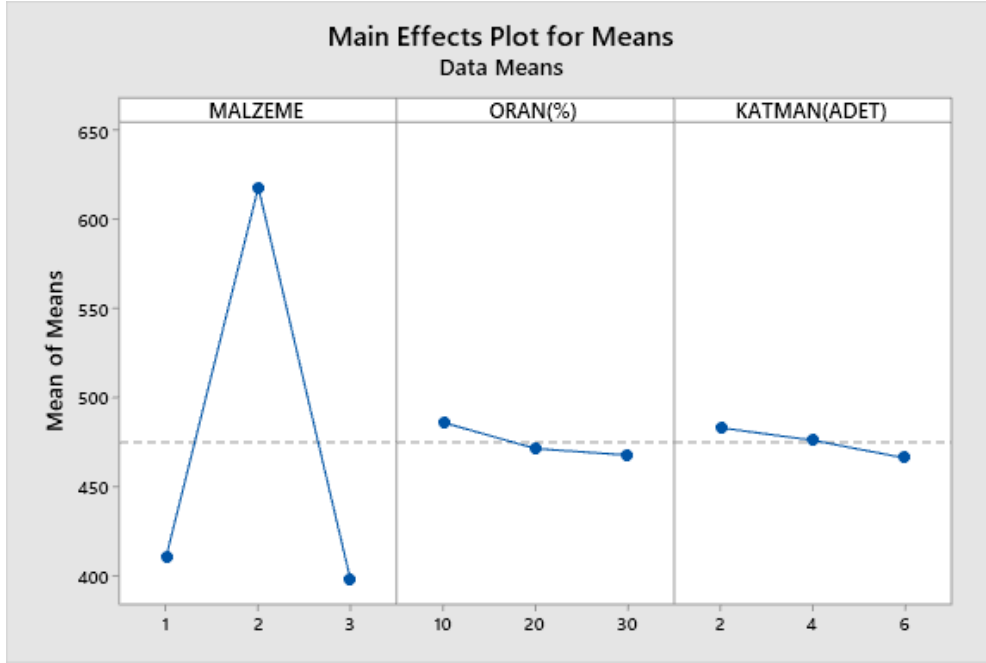
6.9. Katman Sayıları Değiştirilen Kompozit Malzemelerin Çekme Gerilmelerine Etkisinin Taguchi L9 Orthogonal Array Kullanılarak İstatistiksel Karşılaştırılması

Bu çalışmada mevcutta kullanılan aramid fiber malzemenin cam fiber ve karbon fiber takviye elemanlarıyla epoksi reçine matris içerisine vakum infüzyon yöntemi kullanılarak farklı karışım oranı ve katman kalınlıklarıyla üretilerek mekanik dayanımları karşılaştırılmıştır. Balistik çekme deneylerinde kullanılan numunelere ek olarak istatistiksel karşılaştırmada daha kapsamlı veri elde edilmesi amacıyla farklı zamanlarda ek numuneler hazırlanarak aşağıdaki çizelge hazırlanmıştır.

Çizelge 6.14. Çekme numuneleri katman ve matris oranları.

MALZEME	ORAN(%)	KATMAN(ADET)	ÇEKME GERİLMESİ (MPa)
1	10	2	424
1	20	4	410
1	30	6	396
2	10	4	632
2	20	6	600
2	30	2	621
3	10	6	402
3	20	2	404
3	30	4	386

Bu çalışmada cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber malzemelerin epoksi matris malzeme ile %10-30 arasında değişen karışım oranının ve 2-6 arasında değişen katman sayısının çekme mukavemetine etkileri Taguchi L9 orthogonal array kullanılarak kıyaslanmıştır.



Şekil 6.7. Taguchi L9 orthogonal array yöntemi ile çekme numuneleri kıyası.

Bulgular sonucunda katman sayısının artışı yüzey alanının artmasıyla birlikte çekme mukavemetini azalttığını bununla birlikte matris malzemenin oransal artışı da yine çekme mukavemetini azalttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bomba imha uzmanı elbise tasarımında minimum matris malzeme ile yine minimum katman sayısı kullanımı daha yüksek bir gerilme sağlayacaktır.

Çizelge 6.15. Numune ortalama değerleri.

Level	MALZEME	ORAN(%)	KATMAN(ADET)
1	410,0	486,0	483,0
2	617,7	471,3	476,0
3	397,3	467,7	466,0
Delta	220,3	18,3	17,0
Rank	1	2	3

Bu çalışmada karşılaştırılan cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber gerilmelerinde en yüksek mukavemet oranı tüm parametreler için karbon fiber takviye elemanı kullanıldığında elde edilmiştir.

7. NÜMERİK İNCELEME

Balistik testlerde kullanılan numuneler aynı katman kompozisyonunda ve ebatlarda Solidworks programında çizilerek Ansys Workbench programının Explicit Dynamics bölümünde nümerik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan nümerik testlerde, NIJ standartlarında belirtilen esaslara uygun kullanılan tabanca ve fişeğe ait teknik veriler ışığında sınır şartları belirlenmiş ve testler yapılmıştır.

Zırhın yapısında stres ve gerinme, genellikle malzemenin dayanıklılığı ve performansı açısından önemlidir. Stres, malzemenin üzerindeki dış kuvvetlerin etkisiyle iç kuvvetler oluşturduğu bir durumdur. Gerinme ise malzemenin uzama veya büzülme miktarını ifade eder. Bu ikisi, malzemenin ne kadar güçlü olduğunu ve dış etkilere ne kadar dayanıklı olduğunu belirler.

Bir zırhın başarılı olması için, içindeki malzemenin stres ve gerinmeye karşı dayanıklı olması gerekir. Örneğin, bir zırhın darbeye dayanıklı olması için malzemesinin stres altında bükülmemesi veya kırılmaması önemlidir. Aynı Resimde, zırhın ağırlığını taşıyabilmek için malzemenin belirli bir gerinmeye dayanıklı olması gerekebilir.

Sonuç olarak, zırhın tasarımı ve malzeme seçimi yapılırken stres ve gerinme önemli faktörlerdir. Bu parametreler, zırhın dayanıklılığı, hafifliği ve performansı üzerinde doğrudan etkili olabilir.

7.1. Sınır Şartları

Malzeme teknik verileri olarak çekme testlerimizde elde ettiğimiz mekanik değerler kullanılmıştır.

Ansys Workbench Programında kullandığımız sınır şartları;

Atış hızı Y ekseninde -371 m/sn,

Çevre sıcaklığı 22 C°

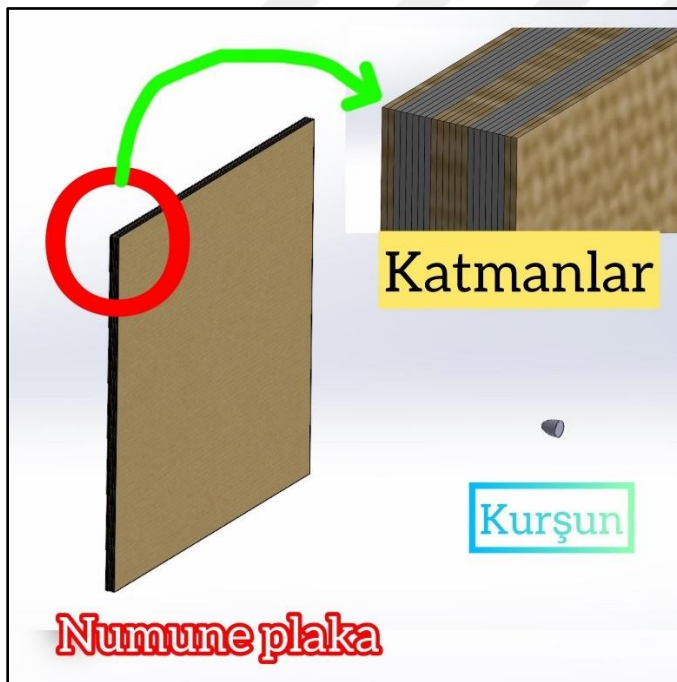
End time 0,06

Mesh element boyutu 5 mm,
 Plakalar arası kontaklar sabit,
 Plakalar iki yandan sabitlenmiş ve filexbl,
 Çekirdek 8 gr kurşun ve rijit olacak Resimde testlerimiz yapılmıştır.

7.2. Nümerik Balistik Deneyler

Fiziki olarak yapılan balistik test atışlarında kullanılan numunelerdeki katman sıralaması, fiziksel ve mekanik değerler nümerik incelemeye tabi tutulmuştur. Bu aşamada fiziki balistik ile nümerik balistik arasındaki farklar gözlemlenmek istenmiştir. Kompozit plakaların farklı katman kompozisyonlarında dizilimi neticesinde balistik etkiye katkısının olup olmadığı incelenmek istenilmiştir.

Nümerik deney numuneleri rijit halde, epoksi reçine matrisli kompozit plakalar olarak, her katman ayrı ayrı olmak suretiyle birleştirilmiş plaka numune olarak testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 7.1. Solid Works’de çizilen numune plaka yapısı.

Çizelge 7.1. Farklı katman kompozisyonlarında hazırlanmış nümerik deney numuneleri.

Numune	Kompozit Katman Kompozisyonu (Tüm Numuneler Rijit Kompozit Yapıdadır)	Toplam Kalınlık (mm)	Katman Adeti
1	Kevlar	5.5	22
2	Kevlar-Cam Fiber-Karbon Fiber	4.5	18
3	Kevlar-Karbon Fiber-Cam Fiber	4.5	18
4	Kevlar-Karbon Fiber-Cam Fiber	5.5	22
5	Kevlar-Karbon Fiber	5.5	22
6	Karbon Fiber-Kevlar-Karbon Fiber	5.5	22
7	Kevlar-Karbon Fiber-Kevlar-Karbon Fiber-Kevlar	5.5	22

Fiziki olarak yapılan balistik deney numunelerinde katmanlarda kumaş formda malzemeler bulunmaktadır. Nümerik olarak yaptığımız deneylerde numuneler rijit olduğundan kumaş formdaki katmanlar kompozit katman olarak değerlendirmeye alınmıştır.

Nümerik deney numunelerinde kumaş form kullanmadığımızdan dolayı Numune 1 ve Numune 8 teknik olarak aynı malzemeden oluşan plakalar olduğundan numune 8 nümerik incelemede gösterilmemiştir.

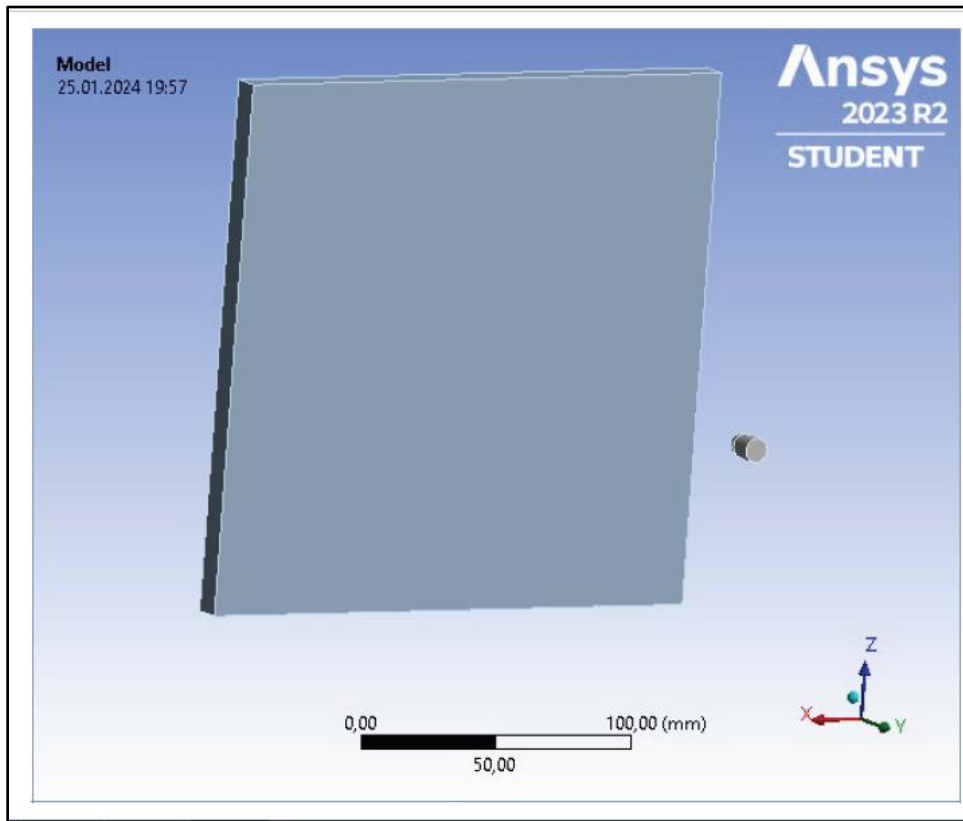
Çizelge 7.2. Nümerik deney sonuçları.

Numune	Toplam Katman Sayısı	Numune Kalınlığı (mm)	Atış Hızı (m/s) ± 9	Eşdeğer Gerilme Max (mm/mm)	Eşdeğer (Von Misses) Gerilme Max (MPa)	Çukur Derinliği (mm) ± 3	Delinme
1	22	5.5	371	9,5112e-003	16,742	2	YOK
2	22	4.5	371	0,66033	1393,7	32	YOK
3	22	4.5	371	0,4691	1032	31	YOK
4	22	5.5	371	0,97343	199,34	13	YOK
5	22	5.5	371	0,73451	129,81	5	YOK

Çizelge 7.2. (devamı)

6	22	5.5	371	0,64676	62,222	5	YOK
7	22	5.5	371	0,47451	66,156	-	VAR

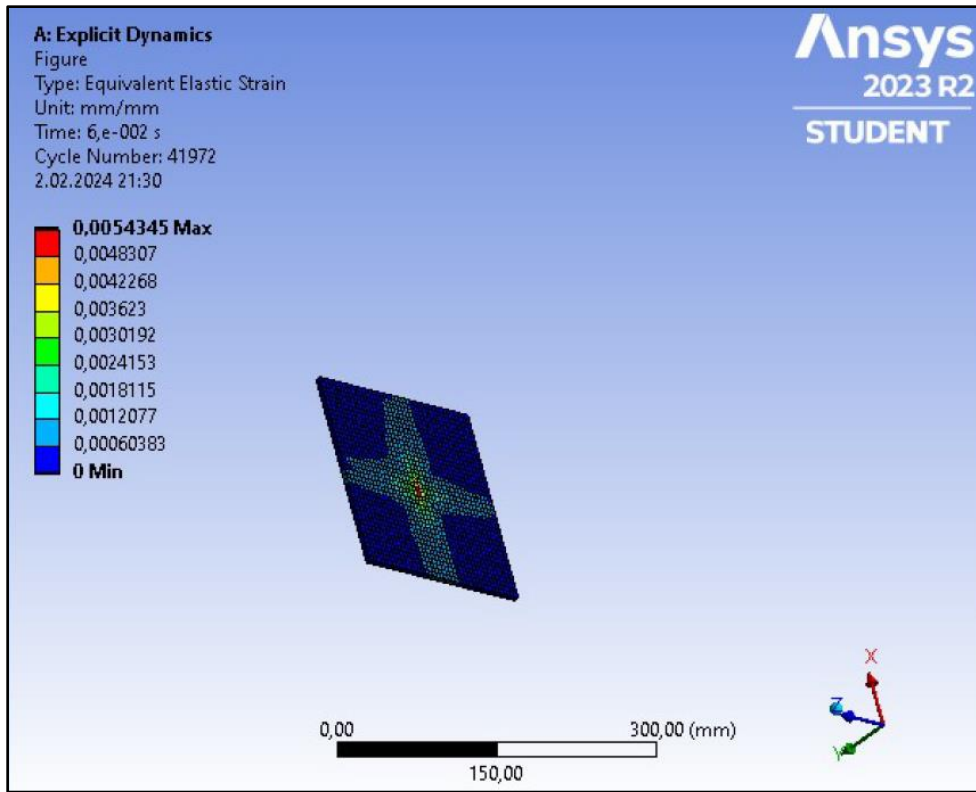
Nümerik testlerin sonuçları aşağıdaki Resimlerde ve tablolarda gösterilmiştir.



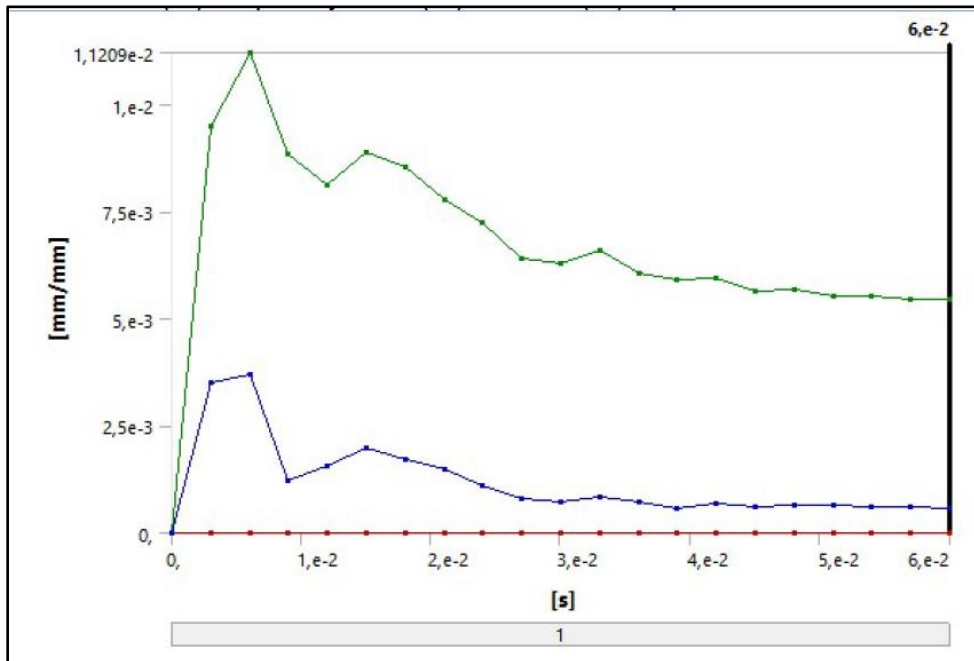
Resim 7.1. Ansys Workbench'te Plaka ve Çekirdeğin görünümü

7.2.1. Nümerik Deney 1

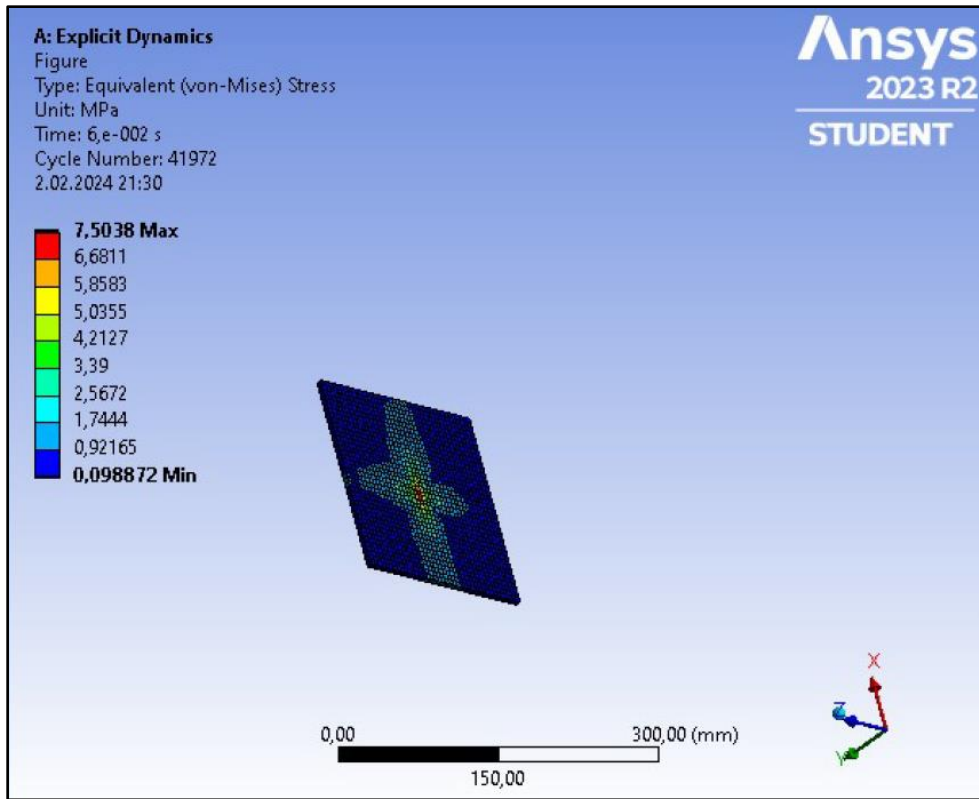
22 adet Kevlar katmandan oluşan 5.5 mm kalınlığındaki plakaya belirtilen sınır şartları uygulanmış ve plakada delinme meydana gelmemiştir. Numune 1'in Fiziki balistik testlerinde meydana gelen toplam deformasyona göre nümerik testlerde oluşan deformasyon kıyaslandığında fiziki testte de delinme meydana gelmemiştir ancak 42 mm derinliğinde çukur oluşmuştur. Nümerik deney 1 de ise oluşan çukur derinliği 2 mm'dir. Aradaki bu derinlik farkına kumaş form ile rijit yapının sebep olduğu düşünülmektedir.



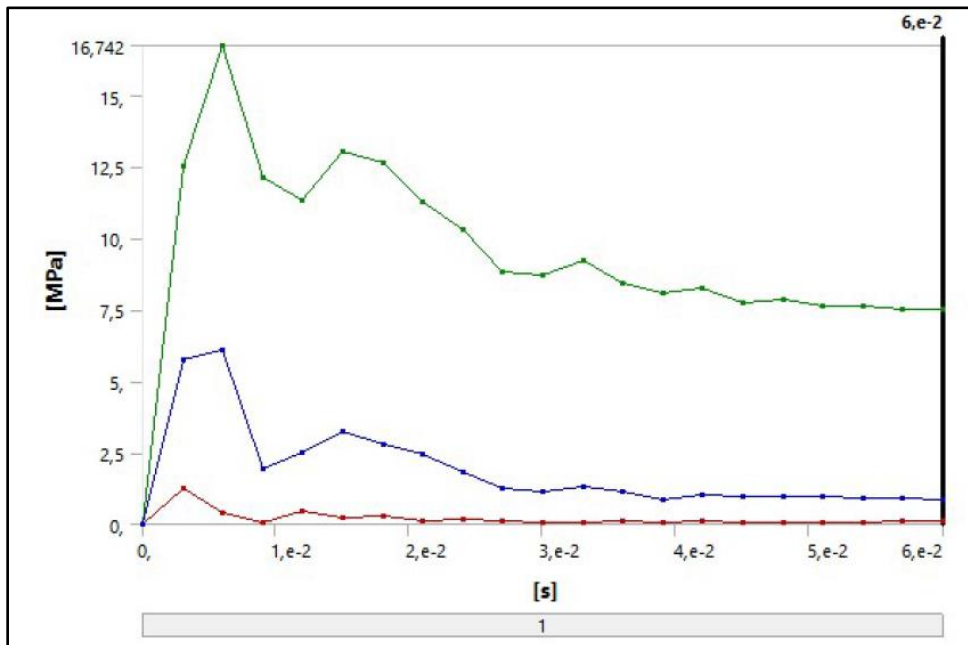
Resim 7.2. Numune 1'e ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.2. Numune 1'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



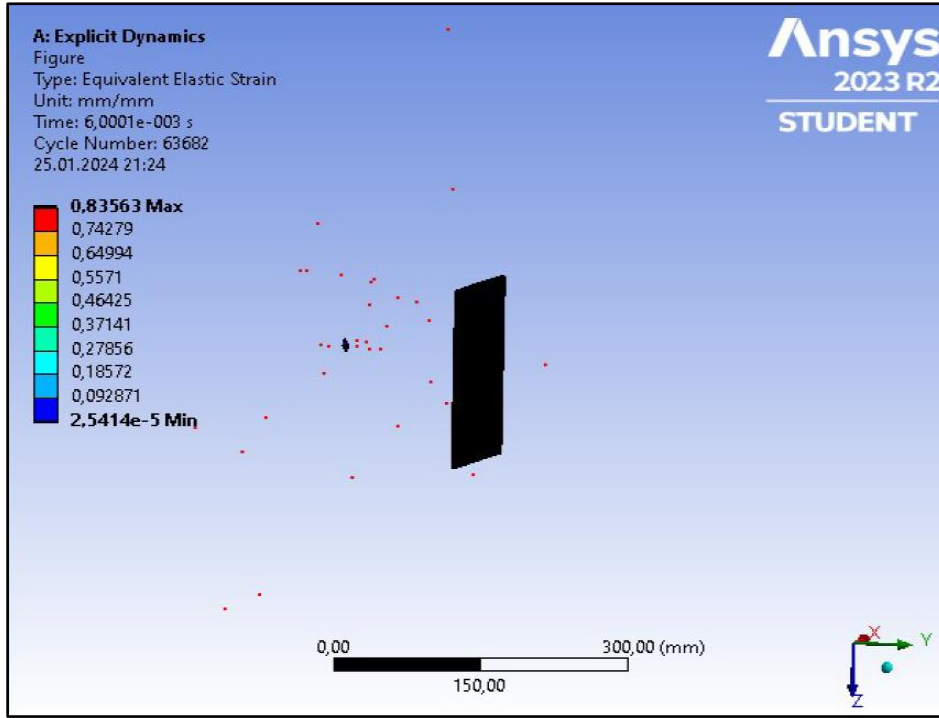
Resim 7.3. Numune 1'e ait Von Misses gerilmesi.



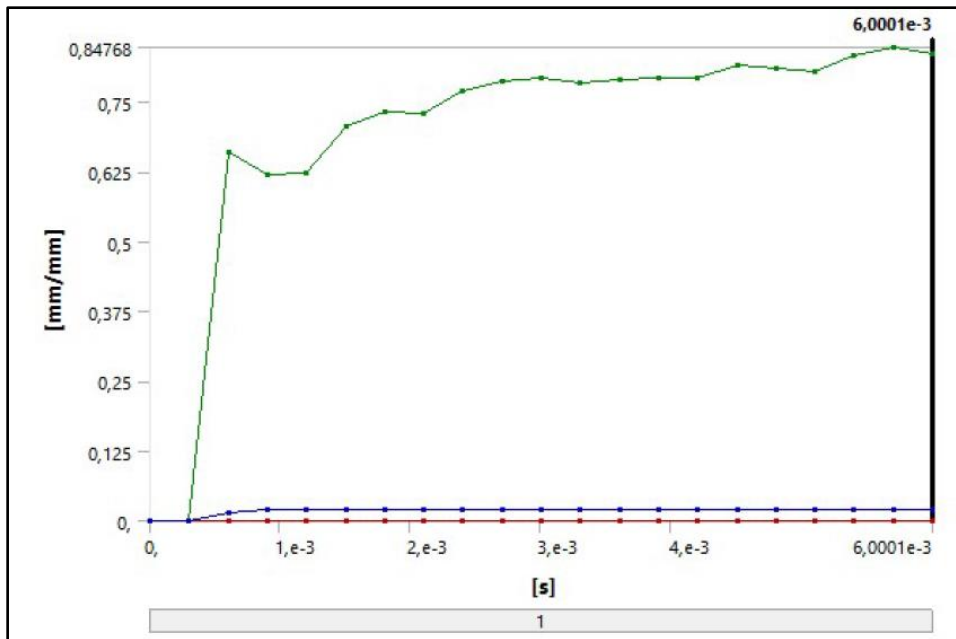
Şekil 7.3. Numune 1'e ait Von Misses gerilme grafiği.

7.2.2. Nümerik Deney 2

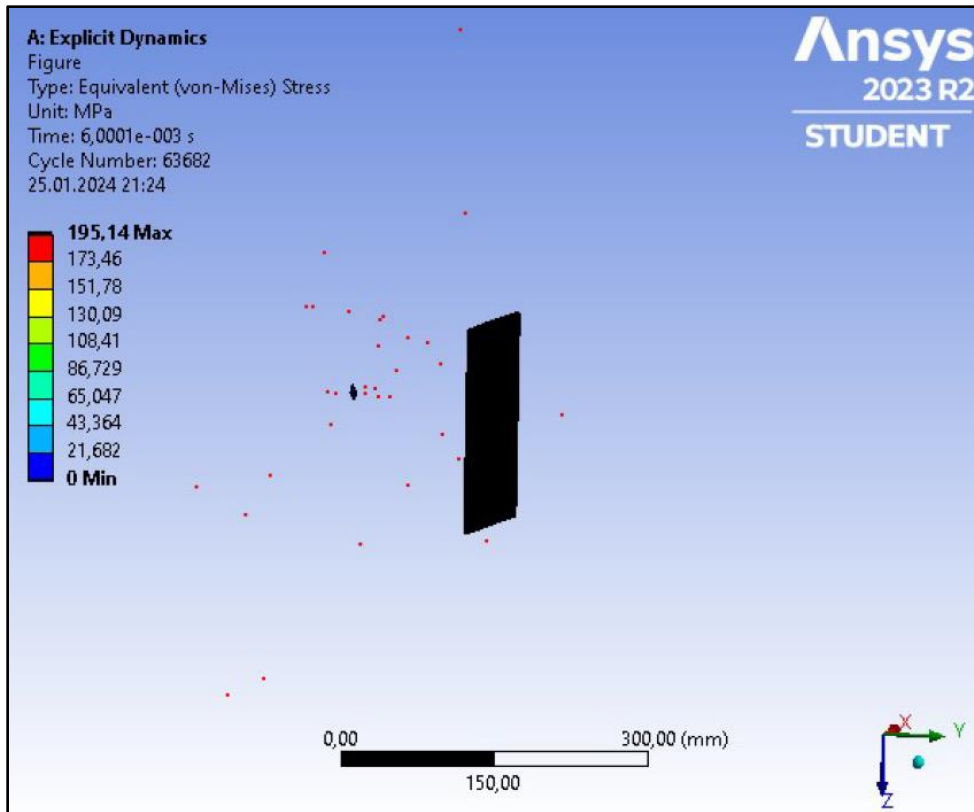
Kevlar-Cam Fiber-Karbon Fiber katman sıralamasına sahip toplam 18 adet katmana ve 4.5 mm kalınlığa sahip numune 2’de nümerik deney sonucunda delinme meydana gelmemiştir.



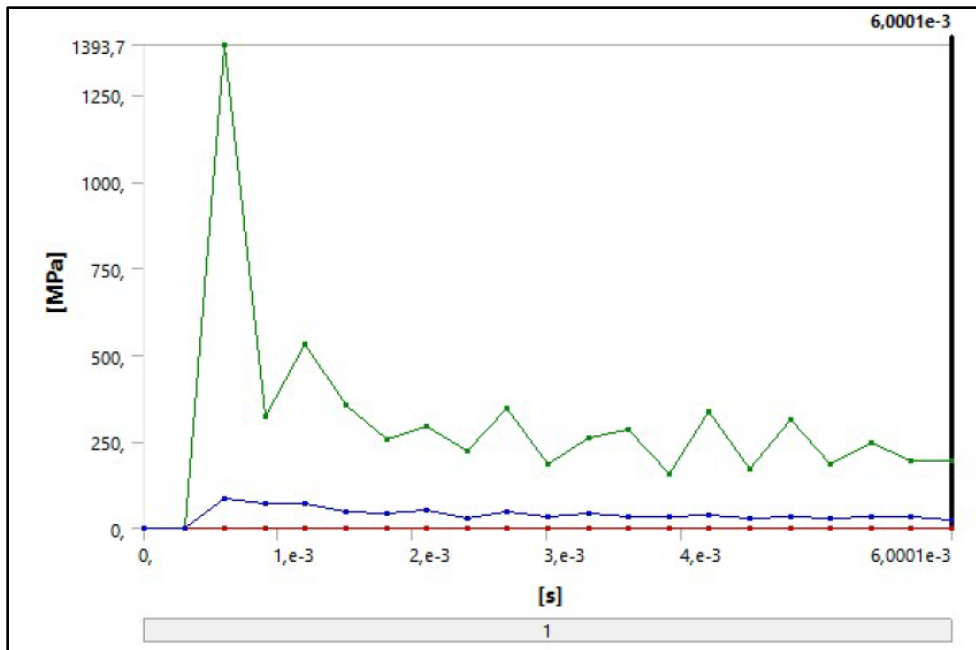
Resim 7.4. Numune 2’ye ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.4. Numune 2’ye ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



Resim 7.5. Numune 2'ye ait Von Misses gerilmesi.



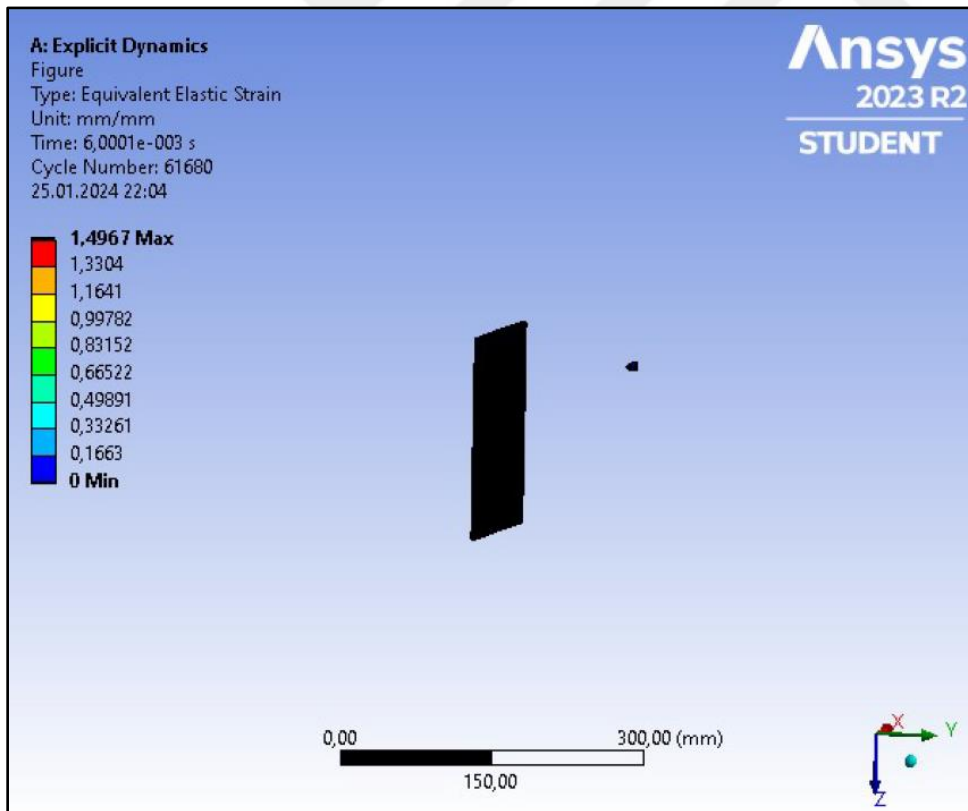
Şekil 7.5. Numune 2'ye ait Von Misses gerilme grafiği.

7.2.3. Nümerik Deney 3

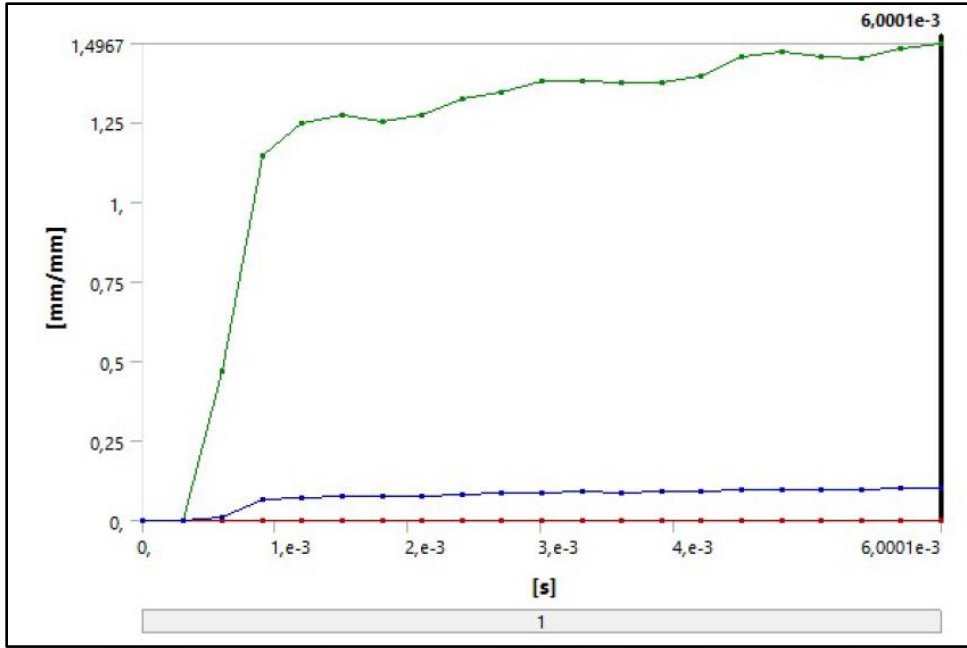
Kevlar- Karbon Fiber Cam-Fiber katman sıralamasına sahip toplam 18 adet katmana ve 4.5 mm kalınlığa sahip numune 3’de nümerik deney sonucunda delinme meydana gelmemiştir.

Numune 2 ile Numune 3 benzer fiziksel ve mekanik özelliğe sahiptir. Numune 3’ün katman kompozisyonu değiştirilerek analiz yapılmış ve Numune 2 ile katman sıralamasının etkisi gözlemlenmiştir.

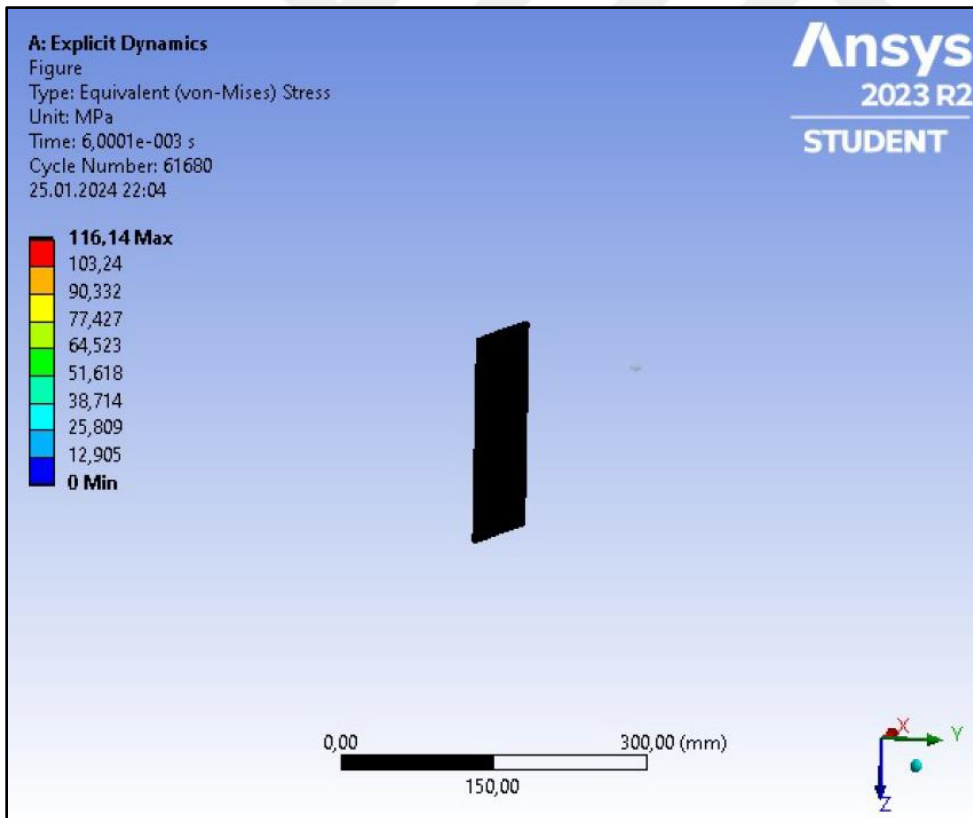
Numune 2 ve numune 3’de oluşan toplam deformasyon birbirine yakın değerde olmuştur ve sırasıyla 32-31 mm derinlik oluşmuştur. Eşdeğer elastik gerinme grafiklerine bakıldığında numune 2 0,62 mm/mm, numune 3 ise 0,5 mm/mm Resim yer değiştirmeye maruz kalmış ve birbirine yakın değerler olduğu görülmüş katman sıralamasının az da olsa fark oluşturduğu görülmektedir.



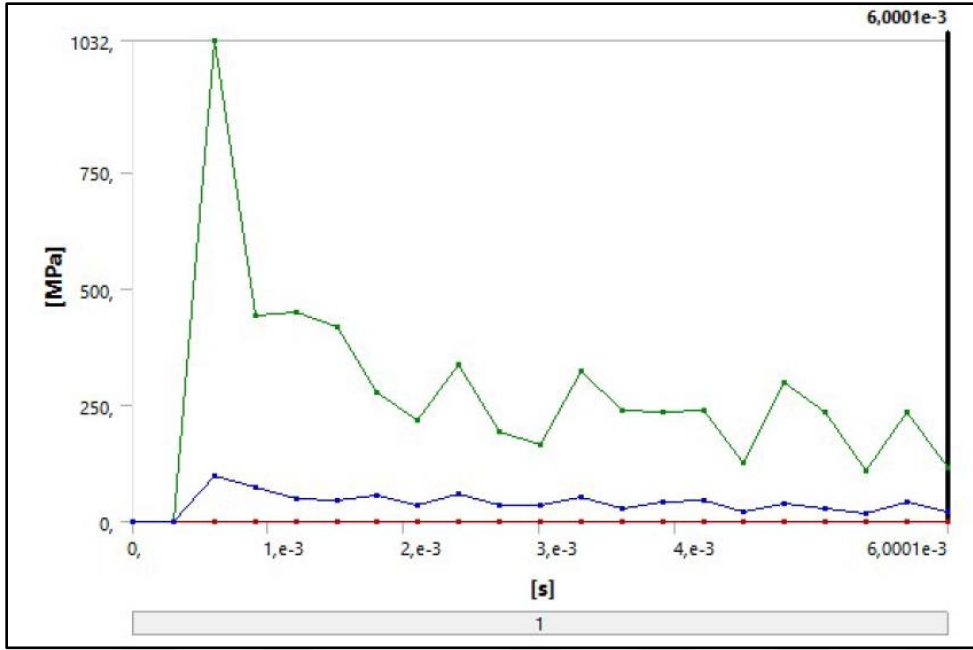
Resim 7.6. Numune 3’e ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.6. Numune 3'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



Resim 7.7. Numune 3'e ait Von Misses gerilmesi.

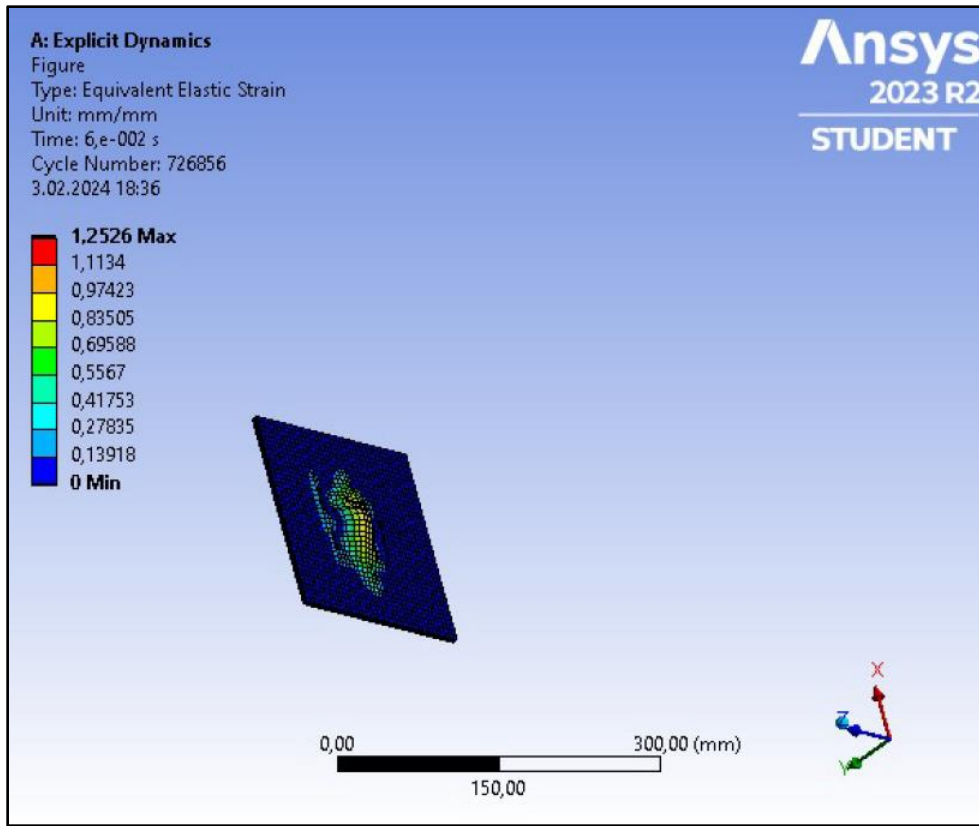


Şekil 7.7: Numune 3'e ait Von Misses gerilme grafiği.

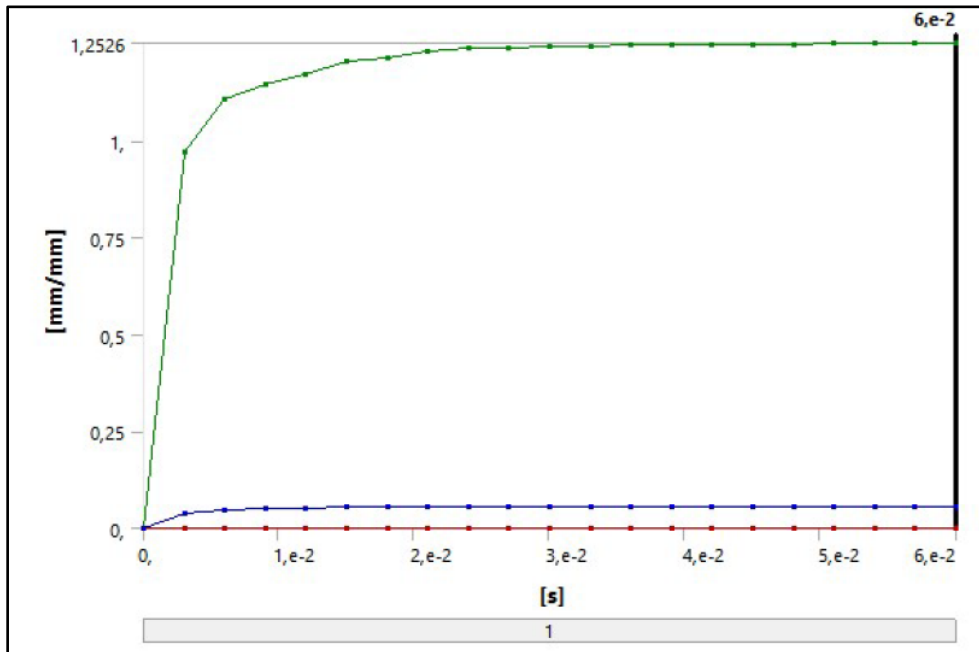
7.2.4. Nümerik Deney 4

Kevlar- Karbon Fiber Cam-Fiber katman sıralamasına sahip toplam 22 adet katmana ve 5.5 mm kalınlığa sahip numune 4'de nümerik deney sonucunda delinme meydana gelmemiştir.

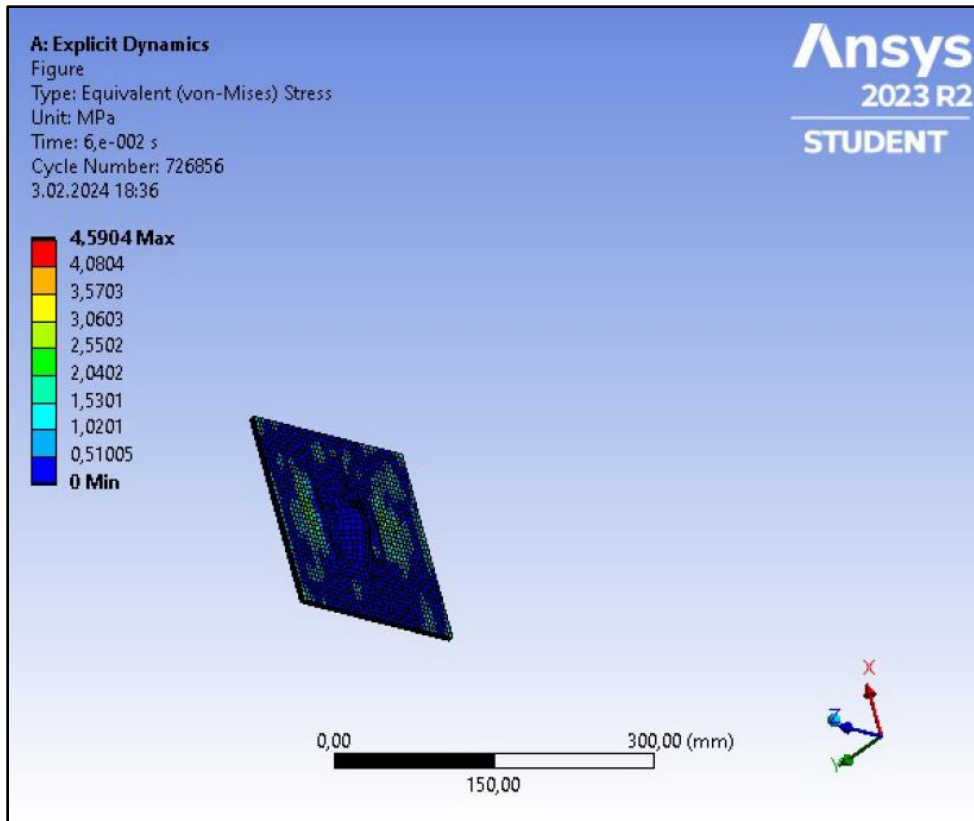
Numune 4 numune 2 ve numune 3 ile benzer katman sıralamasındadır ancak numune 4'e 4 adet kevlar katman ilave edilmiştir. Total deformasyona bakıldığında numunede 13 mm derinlik olduğu, numune 2 ve numune 3'e göre takviye edilen 4 katman kevlar'ın balistik etkiyi artırdığı görülmektedir.



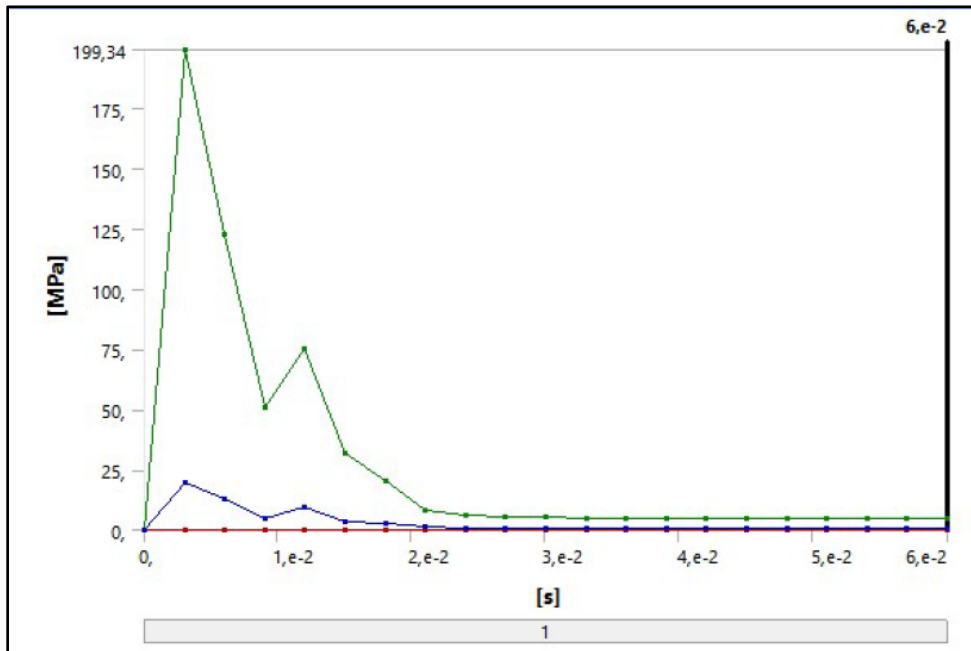
Resim 7.8. Numune 4'e ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.8. Numune 4'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



Resim 7.9. Numune 4'e ait Von Misses gerilmesi.

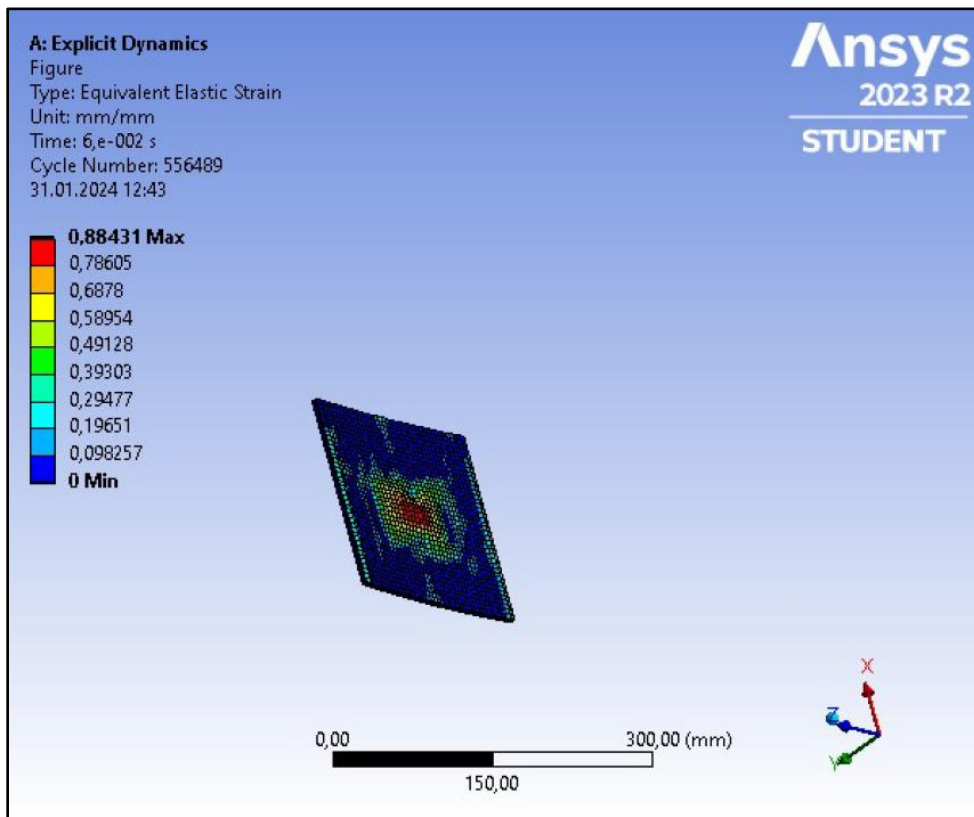


Şekil 7.9. Numune 4'e ait Von Misses gerilme grafiği.

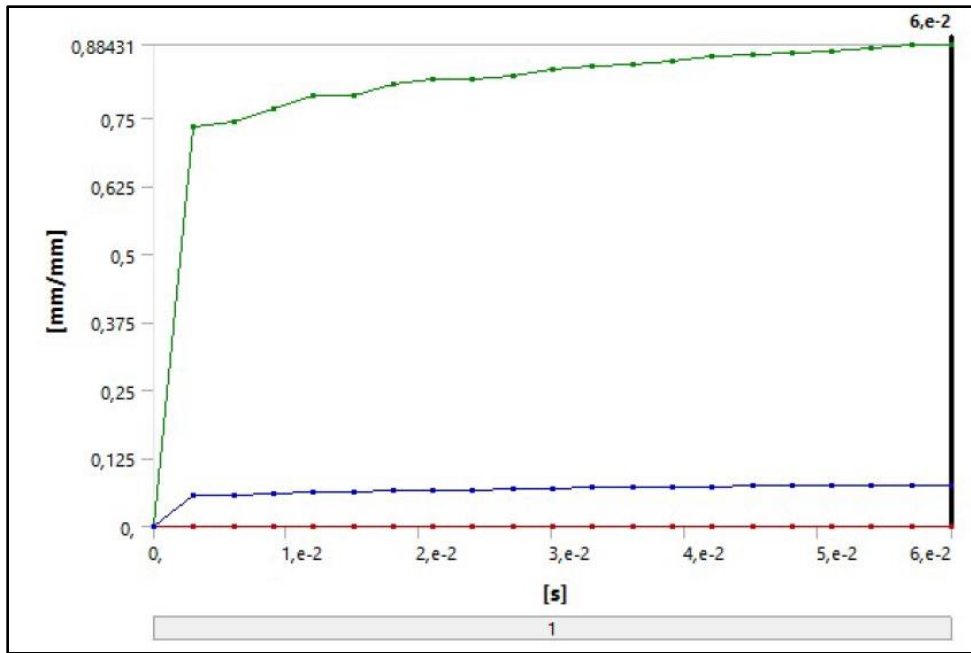
7.2.5. Nümerik Deney 5

Kevlar- Karbon katman sıralamasına sahip 16 katman kevlar ve 6 katman karbon fiber olmak üzere toplam 22 adet katmana ve 5.5 mm kalınlığa sahip numune 5’de nümerik deney sonucunda delinme meydana gelmemiştir.

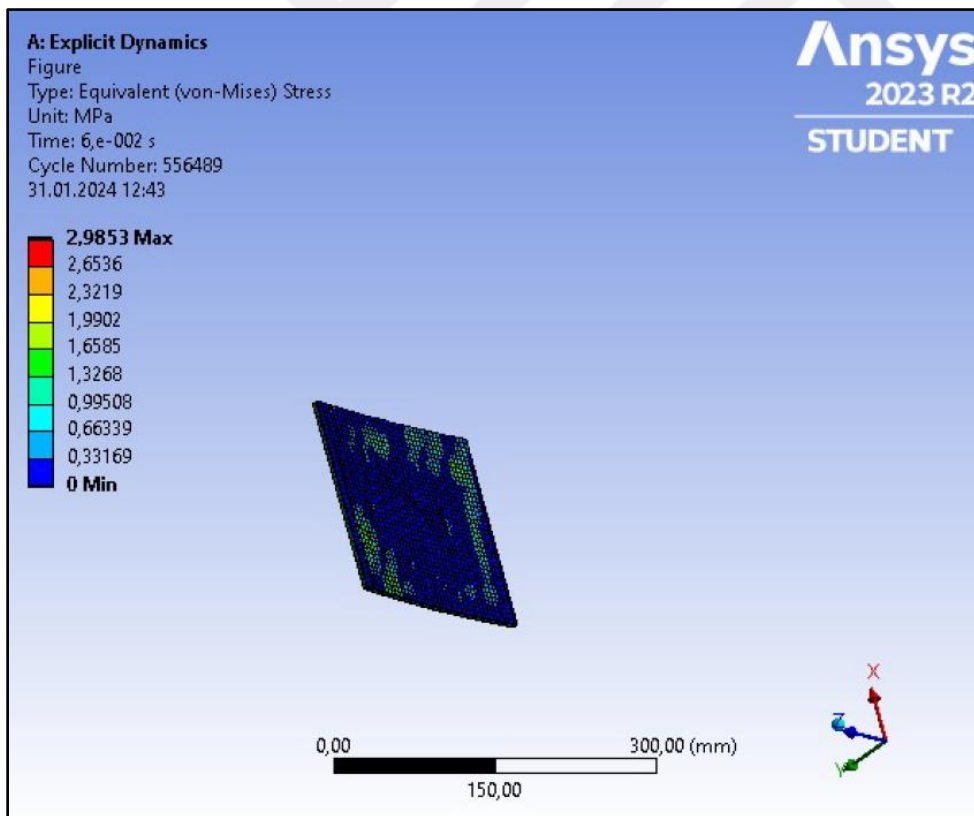
Toplam deformasyona bakıldığında numune 5 üzerinde 5 mm derinlik oluşmuştur. Kevlar malzemenin cam fiber malzemeye göre balistik özelliğinin daha iyi olduğu numune 6’nın analiz sonuçlarına da bakılarak değerlendirilmiştir.



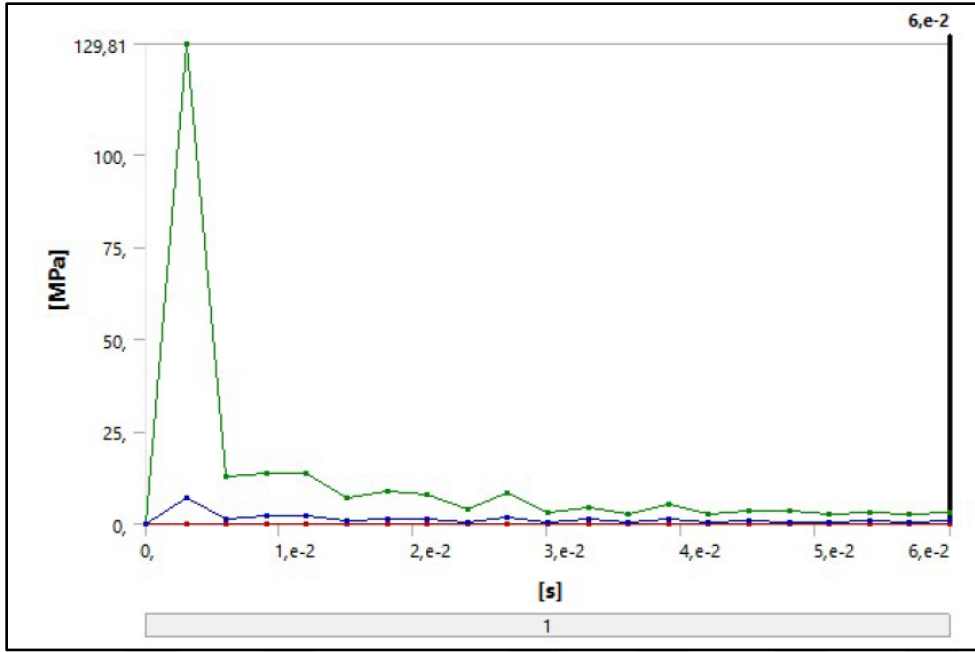
Resim 7.10. Numune 5’e ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.10. Numune 5'e ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



Resim 7.11. Numune 5'e ait Von Misses gerilmesi.

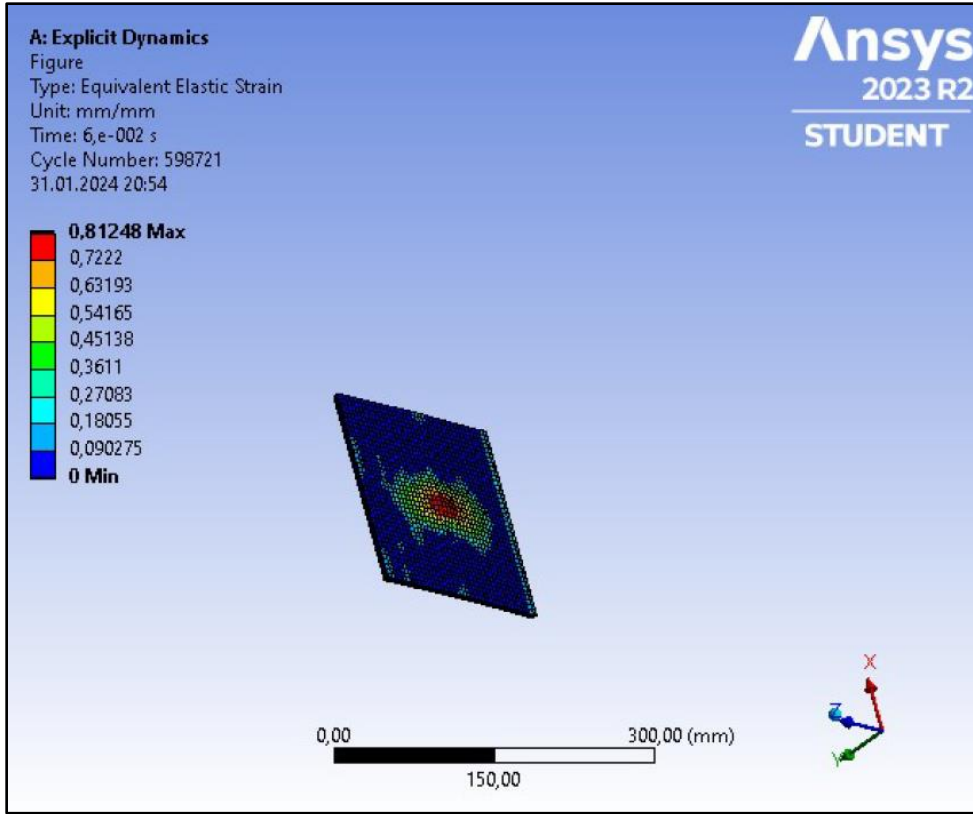


Şekil 7.11. Numune 5'e ait Von Misses gerilme grafiği.

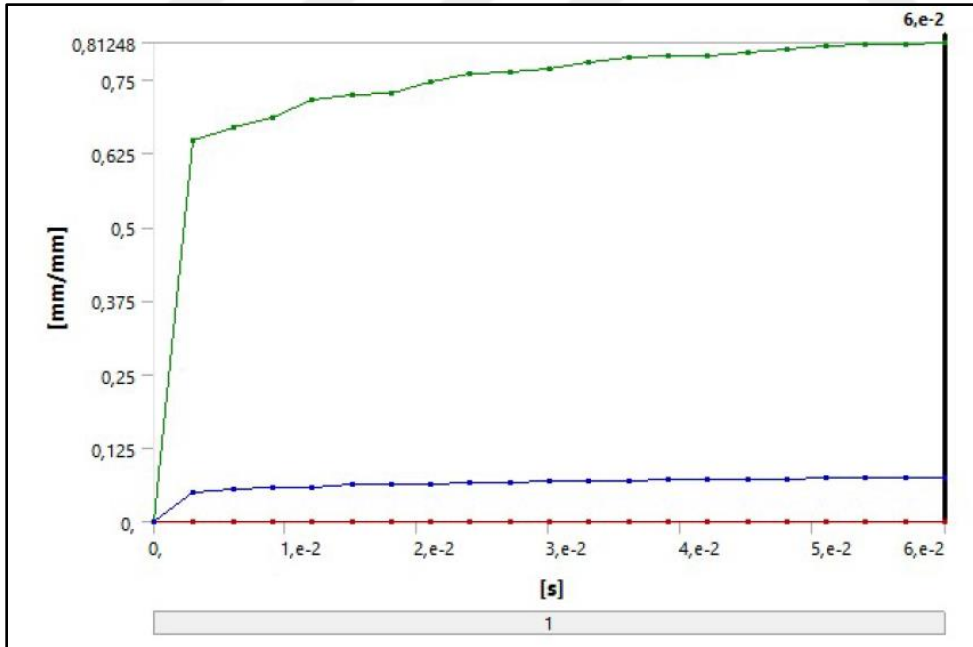
7.2.6. Nümerik Deney 6

Karbon Fiber-Kevlar-Karbon Fiber katman sıralamasına sahip 10 katman kevlar ve 12 katman karbon fiber olmak üzere toplam 22 adet katmana ve 5.5 mm kalınlığa sahip numune 6'de nümerik deney sonucunda delinme meydana gelmemiştir.

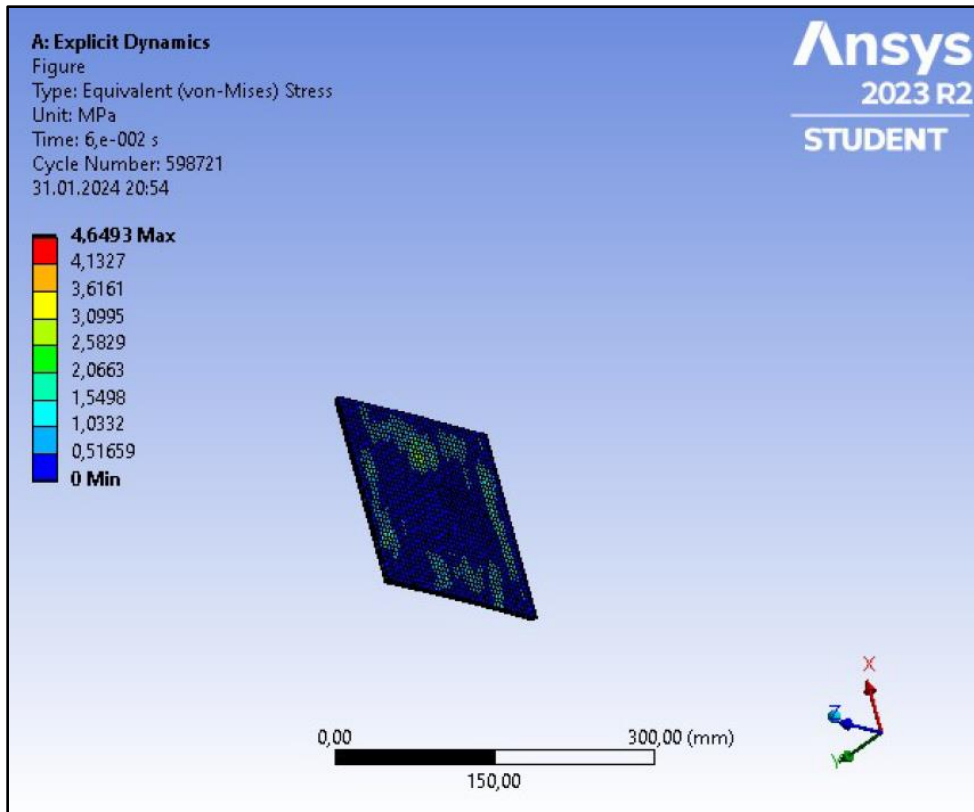
Numune 6'nın analiz sonuçlarına bakıldığında numune üzerinde 5 mm derinlik olduğu numune 5'te belirtilen katman yapısına göre numune 6'nın da benzer ve birbirine yakın balistik özellik gösterdiği görülmüş, kevlar ve karbon fiberin balistik özelliklerinin iyi olduğu değerlendirilmiştir.



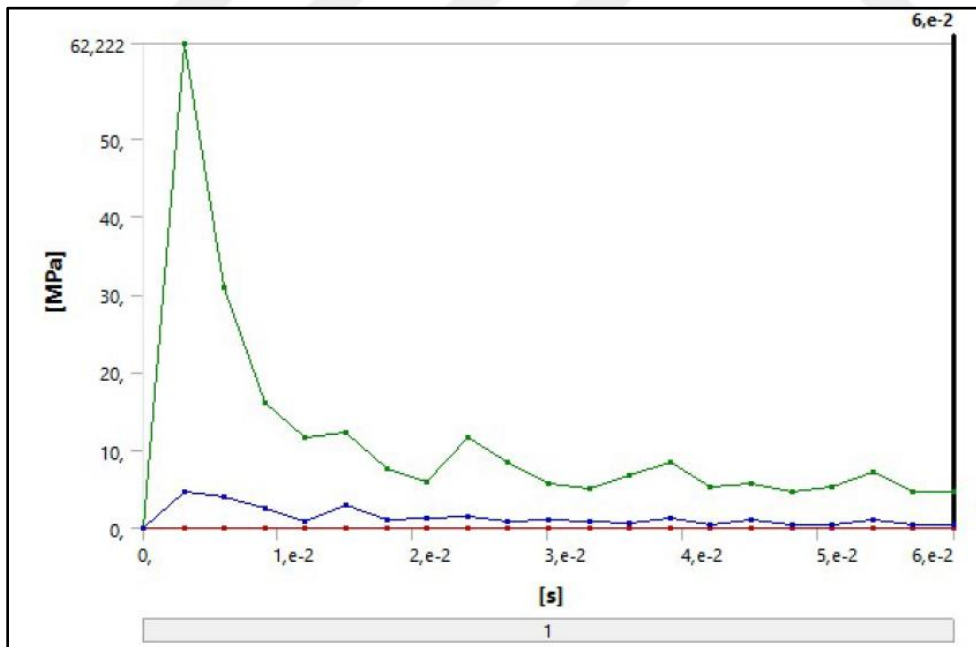
Resim 7.12. Numune 6'ya ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.12. Numune 6'ya ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



Resim 7.13. Numune 6'ya ait Von Misses gerilmesi.

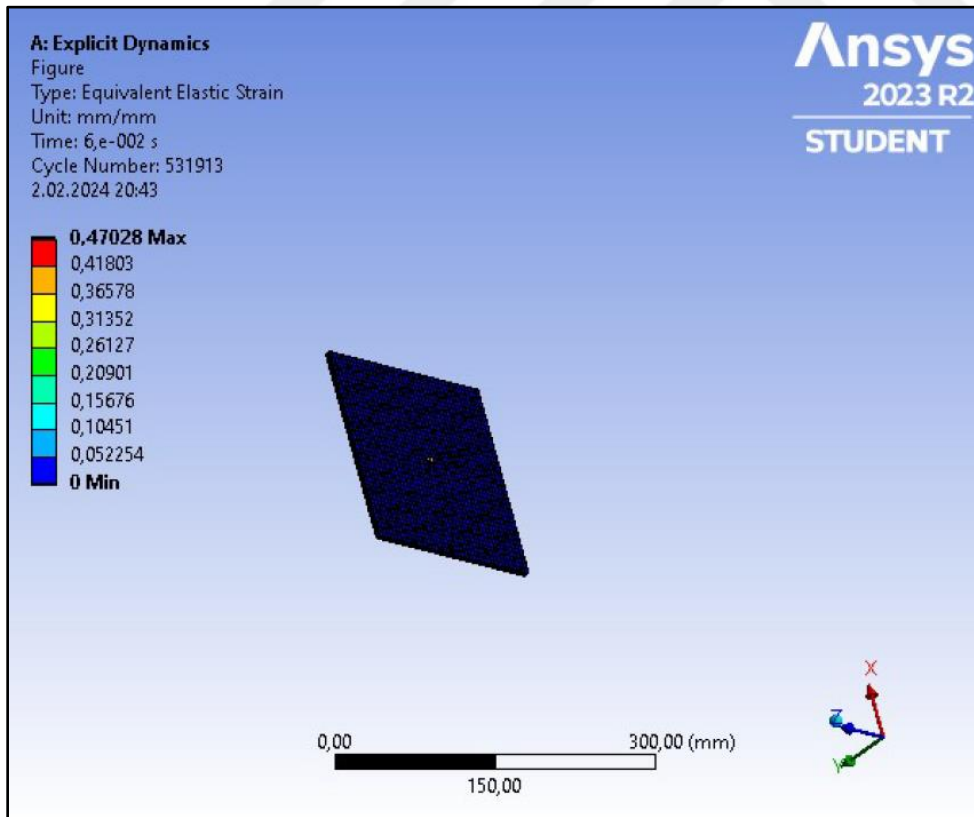


Şekil 7.13. Numune 6'ya ait Von Misses gerilme grafiği.

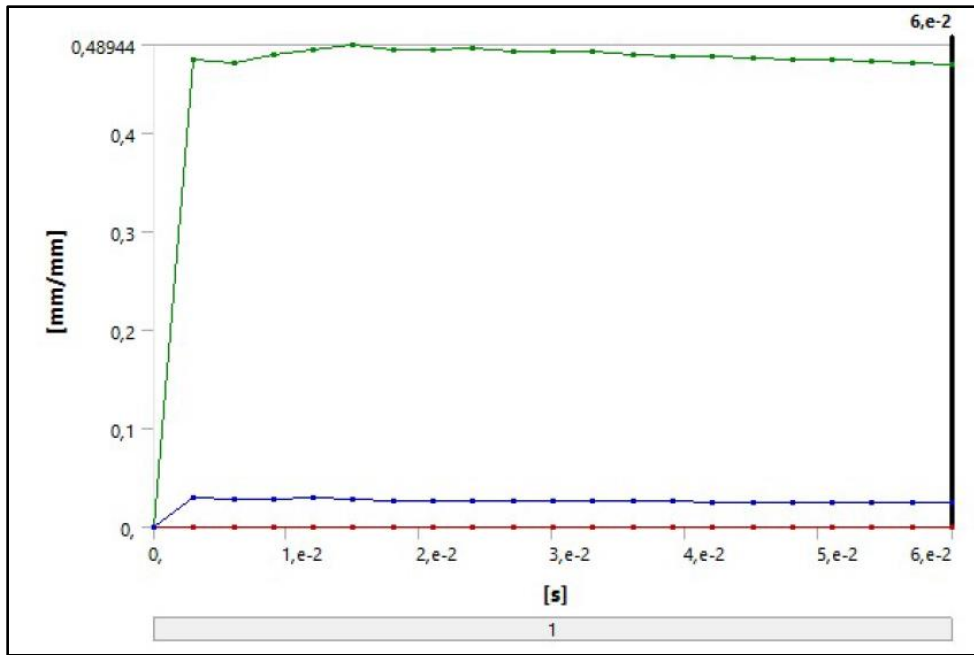
7.2.7. Nümerik Deney 7

Kevlar-Karbon Fiber-Kevlar-Karbon fiber-Kevlar katman sıralamasına sahip ve 2+6+6+6+2 katman adetinde olmak üzere toplam 22 adet katmana ve 5.5 mm kalınlığına sahip numune 7’de nümerik deney sonucunda delinme meydana gelmiştir.

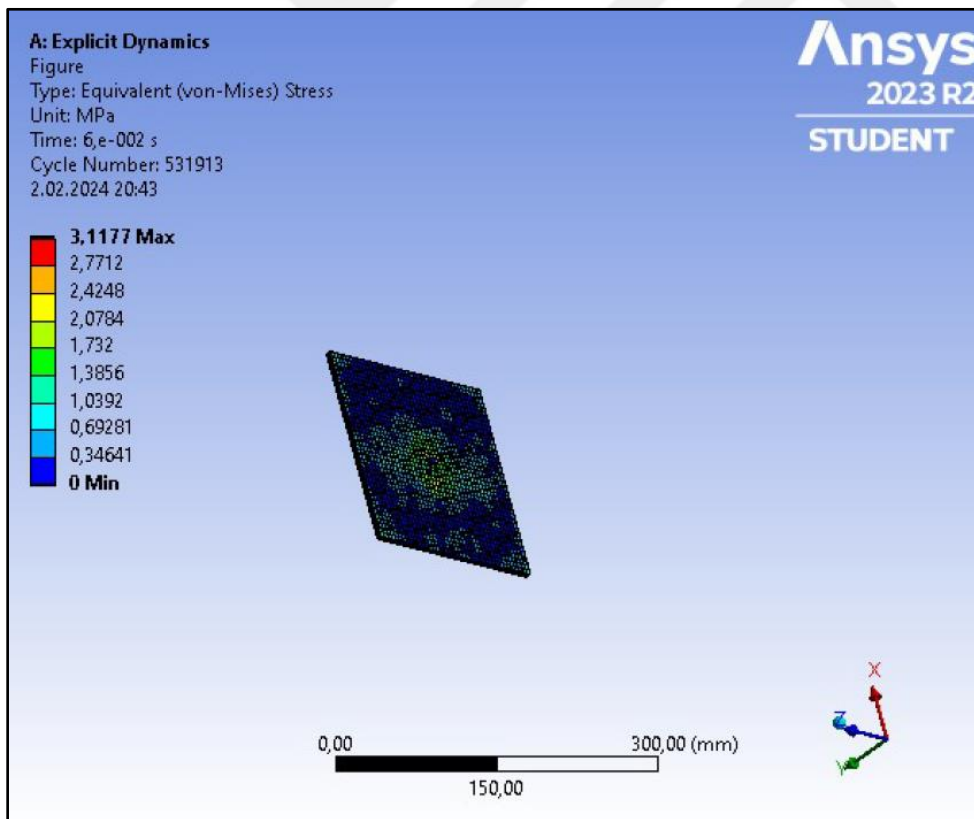
Numune 7’nin katman sayısının numune 6 ile aynı sayıda yani 12 katman karbon fiber ve 10 katman kevlar olmak üzere aynı olduğu ancak katman kompozisyon yapısının farklı olduğu görülmektedir. Numune 7’nin numune 6 ile aynı yapıda olmasına rağmen numune 6 da delinme olmazken numune 7 de delinme olmasının katman sıralaması ve ilk enerji ile karşılaşan katman adetinin az olmasından kaynaklandığı görülmüştür. Kurşunun ilk enerjisinin absorbe edecek olan katmanın 2 katman kevlerden oluşması delaminasyona sebep olmuş ve numunede yırtılmanın başladığı ilk katmanın zayıf olmasından dolayı kurşunun enerjisi sonraki katmanlara absorbe edilemeden aktarıldığından delinme meydana gelmiştir.



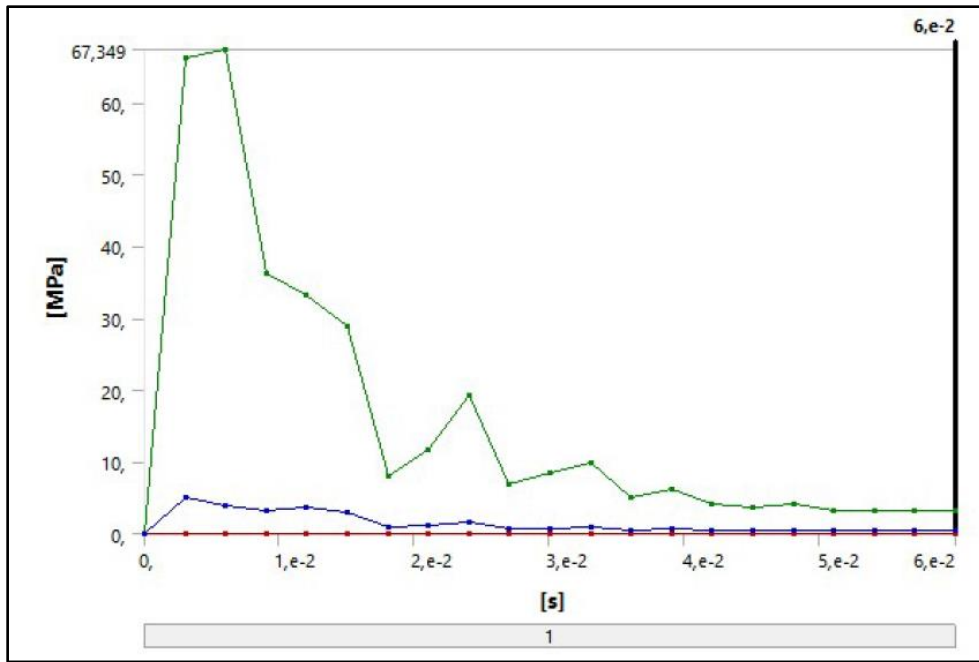
Resim 7.14. Numune 7’ye ait eşdeğer elastik gerinim.



Şekil 7.14. Numune 7'ye ait eşdeğer elastik gerinim grafiği.



Resim 7.15. Numune 7'ye ait Von Misses gerilmesi.



Şekil 7.15. Numune 7'ye ait Von Misses gerilme grafiği.

8.SONUÇ

Bu çalışmamızda 22 katman kumaş formunda Kevlar malzemenin balistik ve mekanik değerleri referans alınarak keklar, cam fiber ve karbon fiber malzemeler kullanılarak farklı kompozisyonlarda numuneler üretilmiştir.

Üretilen numunelerin yapılan balistik ve mekanik testlerde ve literatür taramalarında sergilediği balistik ve mekanik performansın etkileri incelenmiştir.

Üretilen numunelerin Kompozit üretim yöntemlerinden vakum infüzyon yöntemi ile üretilmesi neticesinde homojen özelliklerde kompozit üretimi yapılabildiği gözlenmiştir.

Karbon fiber prepreg malzemenin otaklav dışı üretimi neticesinde malzemenin ısı ve pres altında uyumlu bir Resimde üretiminin yapılması gerektiği aksi takdirde üretilen malzemenin homojen özellikte olamayacağı anlaşılmıştır.

Ayrıca prepreg malzemelerin özel muhafaza ortamları ve şartlarına ihtiyaç duyulması nedeniyle kompozit üretiminde karbon fiber kumaş kullanılması özel gereksinimleri ortadan kaldırarak daha iyi mekanik özelliklere sahip kompozit plakaların üretilbileceği düşünülmektedir.

Balistik testler neticesinde 22 katman Kevlar malzemedan oluşan numune 1'in NIJ standartları esaslarına göre teste tabi tutulması sonucunda balistik performansının standart özellikte olduğu tespit edilmiştir.

Numune 2 ve Numune 3 de katman sayısı azaltılarak Kevlar, Cam fiber ve Karbon fiberin farklı kompozisyonları balistik teste tabi tutulmuş plakalarda delinme meydana gelmiş ve bu numuneler için farklı kompozisyonlarda dizilimin balistik performansa katkısının olmadığı fiziki balistik testlerde ve ANSYS analizlerinde görülmüştür.

Numune 4 de 22 katman keklar, cam fiber ve karbon fiber kompozisyonun balistik performansı incelenmiş ve bu plakanın da delindiği gözlenmiştir.

Numunelerde kullanılan Cam fiberin E tipi cam fiber olmasının balistik performansa pek bir katkısının olmadığı gözlenmiş ve literatür çalışmalarından da anlaşıldığı üzere Cam fiberin

balistik plakalarda kullanılması durumunda S cam tipi cam fiberin tercih edilebileceği düşünülmüştür.

Numune 5 de kumaş formda kevlar ve karbon fiber kompozit kompozisyonu kullanılmış ve atış 1 ve atış 3 de delinme olurken atış 2 de numunede delinme meydana gelmemiş bunun nedeninin plakanın atış 1'den sonra numuneyi tutan çerçeve kenarlarında kısmen gevşeme olduğu ve kumaş formdaki kevlarların çekirdeği sararak tutması neticesinde delinme olmadığı düşünülmüştür. Burada balistik test standart esaslarının balistik performansa etkisinin önemi görülmüştür.

Numune 6,7 ve 8'in balistik performansları incelendiğinde bu numunelerde de delinme meydana geldiği görülmüştür.

Farklı katman kompozisyonlarında hazırlanan plakaların kompozisyonlarının değiştirilmesinin balistik performansa etkisinin kısmen olduğu plaka giriş-çıkış delikleri ve plaka arkasında bulunan macunda oluşan çekirdek tahribatından, çukur derinliğinden ve deformasyon çapından anlaşılmıştır.

Balistik testler neticesinde kumaş formda olan plakaların kompozit formda olan plakalara göre daha iyi mekanik ve balistik performans sağladığı düşünülmüştür. Bu durumunun nedeninin kumaş formdaki katmanların lif yapılarından dolayı çekirdeği daha iyi sarmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Yapılan mekanik çekme testlerinde hazırlanan numunelerden elde edilen test sonuçlarının malzeme üreticileri tarafından verilen katalog değerleri ile örtüşmediği gözlenmiş, yapılan literatür taramalarında de bu durum ile karşılaşılmış, yapılacak zırh numunelerinde kullanılacak malzemelerin katalog verileri ek olarak zırh yapımında kullanılacak malzemeler mekanik testlere tabi tutularak seçilmelidir kanaatine varılmıştır.

Cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber malzemelerin epoksi matris malzeme ile %10-30 arasında değişen karışım oranının ve 2-6 arasında değişen katman sayısının çekme mukavemetine etkileri Taguchi L9 orthogonal array kullanılarak kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda katman sayısının artmasından dolayı yüzey alanının artmasıyla beraber çekme mukavemetini azalttığını, buna ek olarak matris malzemenin oransal artışı da yine çekme

mukavemetini azalttığı görülmüştür. Bomba imha uzmanı elbise tasarımında minimum matris malzeme ile yine minimum katman sayısı kullanımı daha yüksek bir gerilme sağlayacaktır. Bu istatistiksel çalışma neticesinde karşılaştırılan cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber gerilmelerinde en yüksek mukavemet oranı tüm parametreler için karbon fiber takviye elemanı kullanıldığında elde edilmiştir.

Yapılan ANSYS testlerinde çekme deneylerinde elde edilen mekanik değerler ışığında hazırlanan numunelerin fiziki balistik testlerin aksine sadece Numune 7 de delinme meydana geldiği görülmüştür. Delinme meydana gelmeyen numunelerde oluşan kırılma ve çukurların ebatları fiziki balistik testler ile kıyaslanmış ve çukur derinliklerinin nümerik incelemede daha az olduğu görülmüştür. Benzer fiziki yapıda ve katman sayısında olan nümerik numune 2, nümerik numune 3 ve nümerik numune 4' katman sıralamaları değiştirilmiş ve nümerik testler sonucunda katman sıralamasının balistik performansı etkilediği ortaya konulmuştur.

Bomba uzmanı elbisesinde kullanılan 22 adet kevlar kumaşın 22 adet kevlar kumaştan üretilen kompozit plakaya göre balistik performansının daha iyi olduğu ve hatta kompozit plakanın balistik özellik göstermediği oluşan delinme ile görülmüştür.

Bomba uzmanı elbisesini aynı veya daha iyi balistik özelliklerde tutarak hafifletmek ve daha ergonomik ve esnek hale getirilebilip getirilemeyeceğinin öğrenilmesi amacıyla yaptığımız bu çalışmada elbisenin mevcut formunun balistik açıdan standartları sağladığı görülmüştür. Bu sebeple bundan sonraki çalışmalarda farklı mekanik özelliklere sahip balistik özellikler gösterebilecek malzemeler kullanılarak kevlar malzemeye alternatif veya destek olacak Resimde kompozit üretim yöntemlerinin esasları çerçevesinde çalışmalar ve denemeler yapılmaya devam edilmeli kanaati oluşmuştur.

KAYNAKLAR

- Yumak, N., Aslantas, K. Ve Pekbey, Y. (2013). *Zırh tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin deformasyon karakteristiğinin araştırılması*, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 10, No: 4, 2013 (1-21)
- Sozen, E., Gunduz, G. ve Imren, E. (2016). *Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif ve Kompozit Malzemeler*, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 2016, 18 (2): 194-204.
- Özgültekin S. E., (2012). *Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Şen, H., (2013). *Almg3/Sicp Kompozit Malzemelerin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Bitlisli, B. ve Yazıcı, M. (2019). *Araç Zırhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi*, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 1, 2019, ARAŞTIRMA.
- Yanen, C. ve Solmaz, M.Y. (2015). *Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi ve Balistik Performanslarının İncelenmesi*, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2016, 3(2); 351-362. Elazığ.
- Akman, Y., Candan, C., Akdaş, D., Demircioğlu, T.K. ve Pekdur, Ö. (2012). *Para-Ramid Malzeme Kullanılarak Üretilmiş Kompozit Zırh Tabakasının Üzerinden Kademeli Olarak Talaş Kaldırmanın Terminal Balistik Performansta Meydana Getirdiği Değişimin İncelenmesi*, 14th International Materials Symposium (IMSP'2012), Denizli.
- Bulut,H. (2003). *Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Memiş, Ö. (2009). *Balistik Amaçlı Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitler*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Çay, A., Süpüren, G., Kanat, Z.E., Gülümser, T. ve Tarakçıoğlu, I., (2007). *Balistik Lifler (Bölüm 1). TEKSTİL ve KONFEKSİYON Dergisi* 4/2007
- Erdal, E. (2020). *Katmanlı Zırh Sistemlerinin Balistik Etkilere Karşı Davranışının Sayısal Modellenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Verdi, A., Bulut, M.O. (2022). *NIJ Standardı Seviye-İv Korumalı Zırh Bileşenlerinin İncelenmesi ve Balistik Koruma Standartları. Derleme Makalesi, Teknik Bilimler Dergisi*, 12 (1), 69-81.
- Sanlı, F. (2008). *Darbe Tesiri Altındaki Kompozit Levhanın Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Simülasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özer, İ., Atahan, M.G. ve Yapıcı A. (2013). *Balistik Çarpma Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi* c.1, s.3, 2013 Selçuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.1, n.3, 2013 ISSN: 2147-9364 (Elektronik)
- Doğan, A.F. (2022). *Kumaş Sarım Metodu İle Üretilen Aramid Fiber Boruların Darbe Dirençlerinin Araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Öztürk, M. (2007). *Sic İlaveli Alümina Seramik Kompozitler*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Göksel, B. (2018). *Değişik Elyaf Oryantasyon Açılarındaki Aramid Elyafa Tib2 Takviye Edilmesi*, Mekanik Ve Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

- Çerkez, İ. (2007). *Kolloidal Silika Dispersyonunun Polietilen Kumaşların Balistik Performansına Etkisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Özşahin, E. ve Tolun, S. (2009). *Polietilen Destekli AA 7075 T651 Levhalarda Katman Sıralamasının Balistik Dayanıma Etkisi*. *İTÜ Dergisi/d mühendislik* Cilt: 8, Sayı: 2, 72-80 Nisan 2009, İstanbul.
- Sabah, A. (2018). *Çelik Tel Örgü Aramid Takviyeli Kompozit Tabaka Üretimi Ve Balistik Performansının İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Tuncer, C. (2018). *Caco3, Sio2 Ve Grafen Nano Partikül Katkısının Tabakalı Cam Elyaf Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şen, Ö. (2022). *Grafen Ve Aramid Takviyeli Epoksi Matrisli Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü , Karabük.
- Cameron, B., Davis, M., Karin, R., Rountree, M., Harris, R. M., Sanderson, E., Andrefsky, W., DiMarco, G. ve Zielinski, M. (2005). *A Methodology for Assessing Blast Protection in Explosive Ordnance Disposal Bomb Suits*. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 11:4, 347-361, USA.
- Parimal, J. P., Gary A. G., Peter G. D. Ve McCauley, J.W. (2000). *Transparent ceramics for armor and EM window applications. Invited Paper. Army Research Laboratory, Weapons and Materials Research Directorate Attn: AMSRL-WM-MC, Aberdeen Proving Ground, MD 21005, USA.*
- CEGŁA, M. Ve HABAJ, W. (2015). *Composite Deformable Armor Systems Based On Small-Size Ceramics Resistant To 5.7x28 Mm Ss190 Projectiles For Personal And Vehicle Armor Applications*. *Article*, Military Institute of Armament Technology, Poland.

- Yılmazçoban, İ.K. ve Döner, S. (2016). *Ballistic Protection Evaluation of Sequencing the Composite Material Sandwich Panels for the Reliable Combination of Armor Layers. Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015).*
- Sathishkumar, T.P., Satheeshkumar, S. and Naveen, J. (2014). *Glass Fiber-Reinforced Polymer Composites – A Review. Journal of Reinforced Plastics and Composites 2014, Vol. 33(13) 1258–1275, The Author(s) 2014 Reprints and permissions:sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav*
- Narendiranath, B. T., Anhad, P. S., Nagireddy, S. R. Ve Dhairya, M. (2020). *Simulation Of Ballistic Impact On Different Composite Samples Of Bullet Proof Vest. Article, International Conference on Design, Automation, and Control (ICDAC 2020), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1123 (2021) 012030, IOP Publishing,*
- Ferik, E. (2021). **Karbon Nanotüp Katkısı İle Katmanlı Cam, Karbon Ve Aramid Elyaf Takviyeli Hibrit Kompozit Malzemelerin Üretimi Ve Mekanik Performanslarının Geliştirilmesi.** Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Lane, R.A. (2005). *High Performance Fibers For Personnel And Vehicle Armor Systems. Advanced Materials and Processes Technology Information Analysis Center, Publish, AMPTIAC QUARTERLY, Volume 9, Number 2. 2005. USA*
- Esmer, Ö. (2022). *Karbon Fiber Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Otoklav Prosesi Parametrelerinin Porozite ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması.* Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vatangül, E. (2008). *Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Ansys 10 Programı İle Isıl Gerilme Analizi. Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. İzmir.*

- Koral, E. (2021). *Hidrotermal Karbon Kaplı-Karbon Fiber İle Güçlendirilmiş Polietilen Kompozitlerin Mekanik Ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük.
- Engin, K.E., Koyuncu, T. ve Lüle F. (2015). **Farklı Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Bazı Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi**. *Araştırma. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* (2015) 43-50. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Samsun.
- Couldrick, C.A., (2004). *A Systems Approach To The Design Of Personal Armour For Explosive Ordnance Disposal*. Engineering THESIS, Cranfield University College Of Defence Technology Engineering Systems Department. England.
- Yuan, G., Stephanie, E., Inalpolat, M., Yi-Ning, W. and Yan, G. (2023) . *Modeling of Interface Loads for EOD Suit Wearers*. Article, 2023 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM).
- Johnson, R. F., (1981). *Effects Of Explosive Ordnance Disposal (Eod) Armor On The Gross Body Mobility, Psychomotor Performance, Speech Intelligibility, And Visual Field Of Men And Women*, Technical Report, Clothing, Equipment & Materials Engineering Laboratory, CEMEL-235. US Army Natick R&D Laboratories Natick, MA 01760 USA
- Adam W. Potter, A.W., Walsh, M. And Gonzalez, J.A., (2015). *Explosive Ordnance Disposal (Eod) Ensembles: Biophysical Characteristics And Predicted Work Times With And Without Chemical Protection And Active Cooling Systems*. Usarlem Technical Report T15-5, 1Biophysics and Biomedical Modeling Division, US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, MA, USA 01760-5007.
- Dionne, J. P., Levine, J. And Makris, A., (2016). *Acceleration-based methodology to assess the blast mitigation performance of explosive ordnance disposal helmets*. Article, Shock Waves 28, 5–18 (2018). Canada.
- Levine, J., Dionne, J.P., Hedge, C., Bueley, D., Acquavella, D. and Makris, A. (2018). **Fragmentation Testing Of Bomb Suit Using Pipe Bombs**. Article, Proceedings Of The Personal Armour Systems Symposium 2018, USA.

Allen Vanguard Med-Eng EOD 9 Bomb Suit, Helmet and Visor, (2013), Canada.

*Med-Eng Holdings, ULC. (2019). EOD 9 Suit User Manuel, 2400 St. Laurent Blvd.
Ottawa, ON K1G 6C4 Canada.*

*Explosive Protective Equipment (EPE), (2012). EOD 9 Suit Equipment Introduction Booklet.
Brisbane, Australia.*

Silay, R. Ve Karacı, A., (2021). *Patlayıcı Etki Analizi Simülasyon Yazılımının Geliştirilmesi ve Basınç Dalgası Parametrelerinin Derin Öğrenme ile Tahmin Edilmesi. Araştırma Makalesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (2021) 303-315, Düzce.*

Med-Eng Holdings, ULC. *PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT EOD 9A Helmet, Equipment Introduction Booklet 2400 St. Laurent Blvd. Ottawa, ON K1G 6C4 Canada.*

U.S. Army Research Laboratory. (1962). *Projectile, Calibers .22, .30, .50 And 20 Mm Fragment-Simulating. Military Specification MIL-P-46593A (ORD).USA*

Makris, A. and Dionne, J. P., (2020). *Developments In Bomb Suit Testing And Standardization. COUNTER-IED REPORT, Winter 2020/21.*

U.S. Department of Justice Office of Justice Programs National Institute of Justice, (2008). *Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06. Standards. National Law Enforcement and Corrections Technology Center, USA.*

U.S. Department of Justice Office of Justice Programs National Institute of Justice, (2000). *Ballistic Resistance of Personal Body Armor NIJ Standard-0101.04, Law Enforcement and Corrections Standards and Testing Program, National Law Enforcement and Corrections Technology Center, USA.*

U.S. Department of Justice Office of Justice Programs National Institute of Justice, (2016). *National Institute Of Justice Standard Bomb Suits. Public Safety Bomb Suit NIJ Standard 0117.01. USA.*

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa TOMBUL

Amasya Üniversitesi FBE Makine Mühendisliği

Adıyaman Üniversitesi Makine Mühendisliği

Toygar İnsansız Hava Aracının Üretimi

Yüksek Lisans

Lisans

Proje

