T.C.

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BALİSTİK KORUYUCU KOMPOZİT PLAKALARDA BAZALT FİBER KULLANIMI

Selçuk ULUS

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Doç. Dr. Mustafa ÖZEN danışmanlığında, Selçuk ULUS 'un hazırladığı **"Balistik Koruyucu Kompozit Plakalarda Bazalt Fiber Kullanımı"** konulu bu çalışma 19/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

		İmza
Danışman	: Doç. Dr. Mustafa ÖZEN	.....
Üye	: Prof. Dr. Murat KISA	.....
Üye	: Doç. Dr. Ahmet ERKLİĞ	.....

Bu Tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR ii
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Önemi ve Amacı 1
1.2. Tezin Kapsamı 3
1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler 3
1.4. Kompozit Malzemeler 4
1.4.1. Kompozit malzemelerin başlıca özellikleri 4
1.4.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları 5
1.4.3. Kompozit malzeme yapımında kullanılan ana malzemeler 7
1.4.4. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri 31
1.5. Balistik Koruyucular 39
1.5.1. Balistik nedir ? 39
1.5.2. Balistik koruyucu malzemeler 42
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 53
3. MATERYAL ve YÖNTEM 57
3.1. Materyal 57
3.1.1. Aramid(kevlar) Kumaş 57
3.1.2 Bazalt kumaş 61
3.1.3. Epoksi reçine 64
3.2. Yöntem 65
3.2.1. Balistik testler 70
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 81
4. 1. Balistik Kompozit Test Numuneleri 81
4. 2. Balistik Dayanımının Ölçülmesi 84
4. 2.1. Balistik test düzeneği 85
4.2.2. Balistik testin uygulanması 87
4.2.3. Plakaların balistik test sonuçları 88
4.2.4. Test numunelerinin ağırlıklarına göre enerji absorblama değeri 101
4.2.5. Maliyet analizi 102
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 104
KAYNAKLAR 106
ÖZGEÇMİŞ 108

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BALİSTİK KORUYUCU PLAKALARDA BAZALT FİBER KULLANIMI

Selçuk ULUS

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÖZEN
Yıl:2018, Sayfa: 108

Tarih boyunca insanlar sürekli yeni silahlar geliştirmiş ve bir yandan da bu silahlardan korunmak için daha gelişmiş koruyucu arayışında olmuşlardır. Böylece kesici, delici ve patlayıcılardan korunmak amaçlı ‘’Balistik Zırh’’ kavramı gelişmiştir. Kurşun geçirmez levhanın geçmişi 1500’lü yıllara dayanmasına rağmen ilk yumuşak zırh 1860’lı yıllarda Kore’de kullanılmıştır. 1960’larda Dupont firmasının balistik amaçlı ürettiği kevlar (aramid) kumaşın kullanılmasıyla balistik koruyucu kompozitler de çığır açılmıştır ve günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmamızda piyasa da çoğunlukla inşaat sektöründe kullanılan ve diğer sektörler için yeni takviye elemanı olan bazalt elyaflarının balistik koruyucu amaçlı kullanabilirliği araştırılmıştır. Balistik amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirmesi amacı ile hala piyasada liderliğini koruyan kevlar (aramid) elyafına vakum infüzyon yöntemi ile epoksi reçine nüfuz ettirerek farklı katmanlarda plakalar oluşturulmuştur. Aynı yöntemle bazalt kumaşlara epoksi reçine nüfuz ettirilmiş ve farklı katmanlarda balistik koruyucu plakalar oluşturulmuştur. Farklı katmanlarda oluşturulan bazalt takviyeli balistik koruyucu kompozit plakalar, yine farklı katmanlarda oluşturulan kevlar elyaf takviyeli balistik koruyucu kompozit plakalar ile; ülkemizde de geçerli olan National Institute of Justice (NIJ) standartlarına göre atış testlerine tabi tutulmuştur. Bu testlerde NIJ IIIA seviyesinde koruma sağlayıp, sağlamadığı araştırılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda bazalt elyafın balistik kullanılabilirliği araştırılmış ve aramid elyaf ile fiyat ve teknik özellikler kıyaslanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Balistik koruyucu plaka, Aramid, Kevlar, Bazalt fiber, Balistik performans testi

ABSTRACT

MSc Thesis

BAZALT FIBER USE IN BALLISTIC PROTECTIVE PLATES

Selçuk ULUS

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZEN
Year:2018, Page:108

Throughout history, people have constantly developed new weapons, and at the same time they have sought for more advanced protective measures. Thus, the concept of 'ballistic armor' has been developed for protection against brutal attacks. Although the history of bullet-proof slab dates back to the 1500's, the first soft armor was used in Korea in 1860. The use of kevlar (aramid) fabric which was produced by DuPont for ballistic purposes in the 1960's, was a breakthrough for ballistic protective composites and they are widely used today. In our study the basalt fibers which are mostly used in construction sector and the new reinforcements for other sectors was also investigated for ballistic protective purposes. With the aim of evaluating the availability of epoxy resin, plates were formed on different layers by penetrating the epoxy resin with vacuum infusion method to kevlar (aramid) which still maintains its leadership in the market. Epoxy resin was penetrated into basalt fabrics with the same method and ballistic protective plates were formed on different layers. The basalt reinforced ballistic protective composite plates created in different layers were subjected to shot tests according to National Institute of Justice (NIJ) standards, which are valid in our country with kevlar fiber reinforced ballistic protective composite plates created in different layers. In these tests, it was investigated whether NIJ IIIA protection level provides protection or not. As a result of the tests conducted, the ballistic usability of basalt fiber was investigated and aramid fiber and price and specifications were compared.

KEY WORDS: Ballistic protective plate, Aramid, Kevlar, Basalt fiber, Ballistic performance tests,

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli tecrübe ve birikimleriyle beni yönlendiren danışmanım Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZEN' e ve destekleriyle yanımda olan Makine Mühendisliği Bölümündeki tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Ayrıca Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Gökhan DEMİRCAN'a bana sağladıkları imkan ve kolaylıklardan dolayı teşekkür ederim.

Balistik test aşamasında her türlü desteği sağlayan Emekli Yarbay Hakan TEKİN'e, teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak eşim Figen ULUS ve oğlum Abdullah ULUS'a babam Abdullah ULUS ve annem Ayten ULUS'a bana verdikleri destek ve duydukları güvenden dolayı çok teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kompozit malzeme 4
Şekil 1.2. Takviye malzemelerine göre kompozitler 16
Şekil 1.3. Değişik şekilli fiber takviyeli kompozitler 17
Şekil 1.4. Cam elyafın üretimi için ergitme işlemi 19
Şekil 1.5. Düz dokuma 27
Şekil 1.6. Kabarık dokuma 28
Şekil 1.7. Atlas dokuma 28
Şekil 1.8. Mat dokuma 29
Şekil 1.9. Parçacıklı kompozit yapısı 29
Şekil 1.10. Tabakalı kompozit yapı 30
Şekil 1.11. Hibrit kumaşlar 31
Şekil 1.12. Elle yatırma yöntemleri 32
Şekil 1.13. Püskürtme yöntemi 32
Şekil 1.14. Filament sarma yönteminin şekil olarak gösterimi 33
Şekil 1.15. Filament sarma yönteminde elde edilebilecek geometriler. 33
Şekil 1.16. Duroplastik filament sarma işlemi 34
Şekil 1.17. RTM yöntemi 35
Şekil 1.18. Profil çekme yöntemi. 36
Şekil 1.19. Profil çekme yöntemi 36
Şekil 1.20. Vakum infüzyon yöntemi 38
Şekil 1.21. Otoklav yöntemi 39
Şekil 1.22. Havasız bir ortamda mermi uçuş yolu 41
Şekil 1.23. Balistik koruyucu yelek 43
Şekil 1.24. Balistik koruyucu plakası 45
Şekil 1.25. Balistik koruyucu iç yelekle 46
Şekil 1.26. Balistik koruyucu başlık 47
Şekil 1.27. Bomba imha kıyafeti 48
Şekil 1.28. Açılır kalkan çanta 49
Şekil 1.29. Bomba bidonu 49
Şekil 1.30. Bomba battaniyesi 50
Şekil 1.31. Balistik perde 50
Şekil 1.32. Helikopterlerde taban zırhı kullanılması 51
Şekil 1.33. Zırhlandırılmış araç 52
Şekil 1.34. Zırhlı nöbet kulübeleri 52
Şekil 3.1. Aramid(Kevlar) kumaşı 57
Şekil 3.2. V50 testi sonucunda enerji obsorbiyon oranlarının kıyaslanması 59
Şekil 3.3. Bazalt kumaş 61
Şekil 3.4. Üretimde kullanılan epoksi ve serleştirici 64
Şekil 3.5. Proses şeması 65
Şekil 3.6. Hazırlanan elyafların kalıp ayracı üzerine yerleştirilmesi 66
Şekil 3.7. Soyma kumaşı ve infüzyon filesinin yerleştirilmesi 66
Şekil 3.8. Reçine dağılmasını sağlayan spiral hortumlar 67
Şekil 3.9. Spiral hortumların yerlerine sabitlenmesi 67
Şekil 3.10. Sistemin oluşturulması ve havasının alınması 68
Şekil 3.11. Epoksi-sertleştirici karışımının havasının alınması 69
Şekil 3.12. Sisteme epoksi-reçine karışımının infüzyonu 69
Şekil 3.13. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kevlar takviyeli balistik zırh plakası 70
Şekil 3.14. Balistik koruyucular için kullanılan standartlar (NIJ) 70
Şekil 3.15. NIJ-STD-0101.04 standardındaki koruma seviyeleri (NIJ) 71
Şekil 3.16. Balistik test esnasında kullanılan şartlandırılmış dolgu maddesi. 72
Şekil 3.17. Balistik test düzeneği (NIJ) 73
Şekil 3.18. Test atışının yapılacağı noktalar 74
Şekil 3.19. Mermi testlerinde kullanılan 9 mm MKE tabanca mermi 75

Şekil 3.20. 7.62 mm NATO normal mermi 75
Şekil 3.21. Balistik koruyucuya merminin çarpması 76
Şekil 3.22. 7.62x51 mm zırh delici merminin metal bir hedefe atılması 77
Şekil 3.23. 7.62x51 mm normal merminin deformasyon öncesi ve sonrası görüntüler 78
Şekil 3.24. Yüksek hızlı görüntü yakalama etkisi 78
Şekil 3.25. Merminin kumaş içerisine girmesi 79
Şekil 3.26. Delaminasyon etki alanları 80
Şekil 4.1. 36 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka 81
Şekil 4.2. 30 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka 82
Şekil 4.3. 25 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka 82
Şekil 4.4. 20 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka 83
Şekil 4.5. 30 kat bazalt kumaştan üretilmiş balistik plaka 83
Şekil 4.6. 45 kat bazalt kumaştan üretilmiş balistik plaka 84
Şekil 4.7. Balistik test düzeneği 85
Şekil 4.8. Şartlandırma cihazı 86
Şekil 4.9. Macun şartlandırma cihazı 86
Şekil 4.10. Roma kilinde oluşan deformasyon 87
Şekil 4.11. (a) 36 kat kevlar plaka atış sonrası ön yüzü (b) arka yüzü 88
Şekil 4.12. 36 kat kevlar balistik plaka test sonuç raporu 89
Şekil 4.13. (a) 30 kat kevlar kumaş plaka atış sonrası ön yüzü (b) arka yüzü 90
Şekil 4.14. 30 kat kevlar balistik plaka test sonuçları 91
Şekil 4.15. 30 kat kevlar kumaş plakanın hız-çöküntü miktarı ilişki grafiği 92
Şekil 4.16. 25 kat kevlar kumaş atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü 92
Şekil 4.17. 25 kat kevlar plakanın balistik test sonuç raporu 94
Şekil 4.18. 25 kat kevlar plakanın hız- çöküntü miktarı ilişki grafiği 95
Şekil 4.19. 20 kat kumaştan oluşan kevlar plakanın atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü 95
Şekil 4.20. 20 kat kevlar plakanın balistik test sonuç raporu 96
Şekil 4.21. 30 kat bazalt kumaşdan imal edilen plakanın atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü 97
Şekil 4.22. 45 kat bazalt kumaştan elde edilen plakanın atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü 97
Şekil 4.23. 45 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları 98
Şekil 4.24. 45+30 kat bazalt kumaş plakanın atış sonrası görüntüleri 99
Şekil 4.25. 45+30 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları 100
Şekil 4.26. 45+30 kat bazalt plakanın hız-çöküntü miktarı ilişki grafiği 101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Bazı termoset plastiklerin fiziksel ve mekanik özellikleri....12
Çizelge 1.2. Bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri....14
Çizelge 1.3. En çok kullanılan metal matrislerden bazılarının teknik özellikleri....14
Çizelge 1.4. Kompozit malzemelerde bulunan seramiklerin bazı mekanik özellikleri....16
Çizelge 1.5. Değişik cam türlerinin mekanik özellikleri....20
Çizelge 1.6. E-Camı ile bazı karbon fiberlerin kıyaslanması....22
Çizelge 1.7. Piyasada bulunan bazı kevlar fiberin mekanik özellikleri....24
Çizelge 1.8. Başlıca elyaf malzemelerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması....25
Çizelge 3.1. Piyasada kullanılan kevlar fiberin teknik özelliklerinin kıyaslanması....60
Çizelge 3.2. Testlerde kullanılan kevlar 29 kumaşın teknik özellikleri....60
Çizelge 3.3. Bazalt elyafın diğer elyaflar ile kıyaslanması....62
Çizelge 3.4. Bazalt elyafın mekanik özellikleri....64
Çizelge 4.1. 30 kat kevlar plakanın balistik test sonuçları....90
Çizelge 4.2. 25 kat kevlar plakanın balistik test sonuçları....93
Çizelge 4.3. 45+30 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları....99
Çizelge 4.4. Kevlar için enerji absorblama değeri....102
Çizelge 4.5. Bazalt plaka enerji absorblama değeri....102
Çizelge 4.6. Birim fiyat....103
Çizelge 4.7. Kevlar kumaş plaka maliyet analizi....103
Çizelge 4.8. Bazalt kumaş plaka için maliyet analizi....103

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

σ	Çekme Mukavemeti
E	Elastisite Modülü
F	Çekme Kuvveti
E_k	Merminin Kinetik Enerjisi
M	Mermi Kütlesi
V_m	Mermi Hızı
J	Joule
f1	Frekans
UV	Ultraviole
HTP	High Thermal Performance (Yüksek Termal Performans)
RFC	Rigid Fibrous Ceramic (Katı İnce lifli Seramik)
PAN	Poliakrilonitril
MMC	Metal Matrisli Kompozit
CMC	Seramik Matrisli Kompozit
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
SMC	Sheet Moulding Composites (Tabaka Kalıplama Kompozitleri)
BMC	Bulk Moulding Composites (Hacim Kalıplama Kompozitleri)
CTP	Camelyaf Takviyeli Polyester
GMT	Preslenebilir Takviyeli Termoplastik
HT	High Tenacity (Yüksek Yapısma)
UHMW-PE	Ultra High Moleculer Weight Polyethylene (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen)
FMJ	Full Metal Jacket (Tam Metal Kaplama)
NIJ	National Instute Of Justice (Uluslararası Sartname Enstitüsü)
YAGEA	Yapı Ağırlığına Göre Enerji Absorblama
V_{50}	%50 delme ihtimali olan V hızı

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Önemi ve Amacı

İnsanlar arasındaki mücadeleler ve savaşlar insanlık tarihi kadar eskidir. Savaşlarda kayıpların artması ile beraber korunma yöntemleri de araştırılmaya başlanmıştır. Bununla beraber iyi silaha sahip olmanın avantajı kadar iyi bir koruyucuya da sahip olmanın avantajları anlaşılmıştır. Savaş aletlerinin gelişmesi ile beraber bunlardan korunma yöntemleri araştırılmış ve zırh teknolojileri gelişmeye başlamıştır.

Eski dönemler de tehditler kılıç ve kesici aletlerden oluşuyorken günümüzde isabet oranı yüksek piyade tüfeklerinden oluşmaktadır. İlk kullanılan koruyucu giysiler hayvan derileridir. Tehdidin artması ile beraber tahta ve metal koruyucular kullanılmaya başlanmıştır. Ortaçağa gelindiğinde ise metal koruyucular şövalyeler tarafından yaygın olarak kullanılmıştır. 1300'lü yıllara gelindiğinde ise barutlu mermiler bulunması ile tehdit seviyesi değişmiştir ve bu mermileri durduran plakanın icadı 1500'leri bulmuştur. Günümüzde çok ağır ve kullanışsız gibi görünse de o dönem için çığır açan bir icat olmuştur.

İkinci Dünya savaşının patlak vermesi ile büyük muharebeler yapılmış ve sonrasında büyük kayıplar meydana gelmiştir. Bu savaşta özellikle bireysel koruyucuların önemi daha da iyi anlaşılmış ve bu konuda teknolojik gelişmeler ivme kazanmıştır. Bireysel koruyucu olarak kullanılan alüminyum ve çelik gibi materyallerin yerini sonrasında yüksek kopma uzama oranına sahip ve ideal sertliğe sahip olduğu düşünülen naylon liflerden yapılan bireysel koruyucular kullanılmaya başlanmıştır.

1970'li yıllarda ise aramid liflerin bulunması ile beraber bireysel koruyucularda çığır açılmıştır. Yüksek korumanın yanında daha hafiflik ve ergonomiklik de ön plana çıkmıştır. Yumuşak zırhlarda da gelişmeler meydana

gelmiş ve gömlek içi giyilen zırhlarda yaygınlaşmıştır. Aramid lif üreticisi Dupont firması kevlar ismi ile piyasaya girmiştir. Böylece balistik yelek üretiminde meydana gelen gelişmeler hızlanmıştır.

1971-1976 yılları arasında Ulusal Adalet Enstitüsü (NIJ) tarafından dört aşamadan oluşan balistik zırh geliştirme projesi için 3 milyon dolarlık bütçe ayrılmıştır. Bu projenin birinci basamağında kevlar lifleri kullanılarak mermilerin durdurma kapasitesi araştırılmış ikinci basamağında ise farklı kalibrede ve hızlardaki merminin penetrasyonunu durdurmak için kaç kat kevlar kumaşa ihtiyaç duyulduğu araştırılmıştır. Üçüncü basamakta test sonrası medikal testler ve dördüncü basamak olarak da balistik zırhların giyilebilirliği ve verimliliği bilgisayar ortamında görüntülenmiştir.

1990'lı yıllara gelindiğinde ise ultra yüksek moleküler ağırlığa sahip polietilen (UHMWPE) balistik koruma amaçlı yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.
Balistik koruyuculardaki gelişmeler mühimmatlardaki gelişmelere paralel olarak hızla devam etmektedir. Öncelik insan hayatını korumak ve mermiyi durdurmak olmakla beraber balistik plaka arkası çöküntünün minimum olması oluşabilecek künt tramvayı engelleyecek ve iç kanamadan hayat kaybını azaltacaktır. Bunlarla beraber özellikle piyade sınıfı askerlerin muharebe veya çatışma öncesi uzun mesafeler yürüyecek olması balistik plakaların hafif ve ergonomik olmasının önemini arttırmaktadır. Tüm bu özelliklerin de daha ucuza elde edilmesi en çok istenilen durumdur.

Literatür taraması yapıldığında balistik koruma amaçlı birçok takviye elemanları kullanılmış ve testleri yapılmıştır. Fakat bazalt elyafı ile ilgili ülkemizde balistik alan da neredeyse hiçbir araştırma yapılmamıştır. Uluslararası kaynaklarda incelendiğinde bu konularda yapılan çalışmaların çok kısıtlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmamda; günümüzde de yaygın olarak kullanılan ve geçerliliğini koruyan kevlar marka aramid kumaş takviyeler kullanılarak yapılan plakalar ile

bazalt kumaş takviyeler yapılan plakalar kıyaslanmış ve bazalt elyaflarının balistik alanda kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu çalışmamda; vakum infüzyon yöntemi ile farklı katmanlarda oluşturulan aramid takviyeli balistik plakalar aynı yöntem ile oluşturulan bazalt plakalar ile NIJ standartları dahilinde koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm tabanca mermisini geçirmediği katmanlar tespit edilmiş ve bu plakalar arkasında meydana gelen çöküntü miktarları, enerji absorblama oranları, ağırlık ve kalınlık açısından kıyaslama yapılmış ve balistik alanında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler

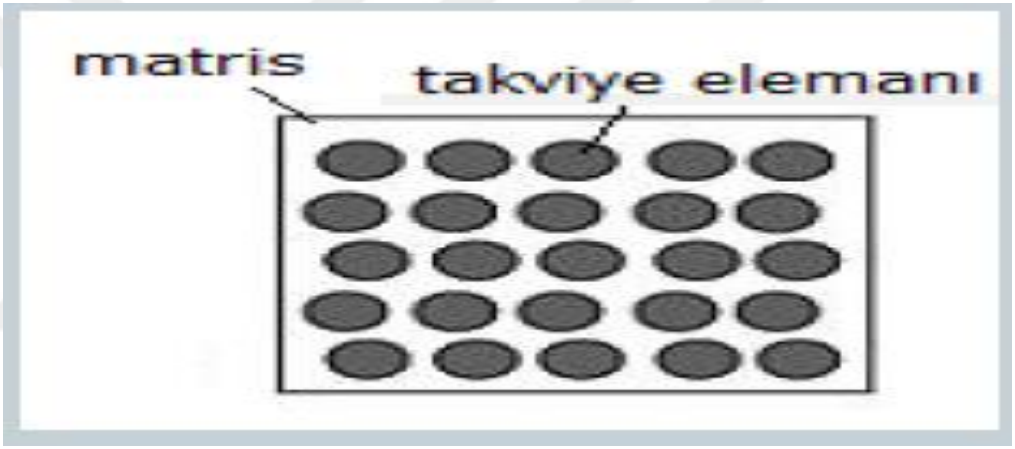
Bazalt taşlarından üretilen elyaflar yeni gelişmekte olup gelişmeye de devam etmektedir. Ülkemizde sadece inşaat sektöründe neme maruz betonlarda dayanımı arttırmak ve korozyonu azaltmak amaçlı kullanılan bazalt fiberler özellikle Rusya'da uzay sanayinde kullanılmaktadır. Bazalt fiberlerin teknik özellikleri incelendiğinde kopma uzaması ve elastikiyet modülünün yüksek olması balistik alanda kullanılabileceği ile ilgili ümit vericidir. Bunlar ile beraber günümüzde etkin olarak kullanılan aramid kumaşlar ultraviyole ışınlarına hassas olması ve neme karşı hassas olması gibi dezavantajları mevcuttur. Bireysel koruyucu kullanan askerler günlerce belki aylarca arazide kalması ve yağış, güneş gibi doğal ortama maruz kalması kevlar kumaştan oluşan bireysel koruyucunun dayanımını azalttığı bilinmektedir. Bazalt kumaşlar bu açıdan değerlendirildiğinde nem ve ultraviyole ışınlarından etkilenmediği ve dayanımının zamanla azalmayacağı bilinmektedir.

Bu çalışma sonucunda üzerinde kısıtlı yayın bulunan bazalt fiberlerin balistik amaçlı kullanılıp kullanılamayacağı değerlendirilmiştir. Bu amaçla kullanılabildiği takdirde hem daha düşük maliyetli hem de doğal ortamdan daha az etkilenecek bireysel zırhlar üretiminde kullanılabilecektir. Ayrıca ülkemizin çeşitli yerlerinde de

bol miktarda kaynağı bulunan bazalt taşlarından yerli üretim yapıldığı takdirde ülkemize de ciddi manada yatırım imkanları sağlayacaktır.

1.4. Kompozit Malzemeler

En az iki farklı malzemenin makro seviyede (birbirinin içinde çözünmeyecek şekilde) birleştirilmesi ile oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzeme denir. Kompozit üretiminde tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerin (hafiflik, dayanım, esneklik, v.b.) geliştirilmesi ve bir araya getirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 1.1.'de örnek bir kompozit yapı elemanlarıyla beraber verilmiştir.



Şekil 1.1. Kompozit malzeme

1.4.1. Kompozit malzemelerin başlıca özellikleri

- Kompozit aslında karışım anlamına gelmekle beraber çözünen ve çözen bileşenlerden oluşmaz.
- Kompozit bileşenleri kimyasal olarak birbirlerini etkilemezler.
- Bileşenler arasında atom alışverişi bulunmamaktadır.
- Kompozitler genel olarak ''takviye elemanı'' ve ''matris'' den oluşur. Takviye elemanı matrise nispeten daha mukavim malzeme olmalıdır.
- Bu iki malzeme grubundan, matris malzeme plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmek görevini üstlenirken

takviye malzemesi ise kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini arttırır.

1.4.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

1.4.2.1. Avantajları

- **Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı (özgül mukavemet):** Mukavemet/ yoğunluk oranı yüksektir.
- **Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı (özgül rijitlik) :** Rijitlik ve yoğunluk oranı yüksektir.
- **Hafiflik:** Kompozit malzemeler, geleneksel kullanılan malzemeler ile kıyaslandığında hem daha hafif hem de daha mukavemetlidir. Kompozit malzemeden üretilen bir profil yapı ile çelik den üretilen aynı yapı kıyaslandığında kompozit malzeme yaklaşık ¼ oranında daha hafif olduğu ortaya çıkmıştır.
- **Yüksek dielektrik direnç :** Kompozitlerin yüksek elektrik direnci hem elektrik-elektronik sanayide hem de birçok makine elemanları imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek; kablo, trafo gibi elemanların üretiminde yaygın olarak kullanılırlar.
- **Korozyon dayanımı :** Kompozit malzemelerin korozyon dayanımı yüksektir. Kimyasal direnci de yüksek olduğundan korozyon riski taşıyan alanlarda ve kimyasal tesislerde rahatlıkla kullanılabilir.
- **Çeşitlilik:** Kompozitler çok farklı mekanik özelliklere sahip, çok çeşitli olarak üretilebilir.
- **Kalıplama kolaylığı:** Birçok geleneksel malzemelere nazaran kompozitler çok parçadan oluşan karmaşık makine elemanları olarak tek parça kolayca imal edilebilir. Böylece parça sayısı azaldığından üretim süresi de azalmış olacaktır.
- **Renk çeşitliliği :** Kompozitlerde kullanılan polyester reçine, özel katkılar ile renklendirilerek bir çok renklerde üretilebilir ve renk çeşitliliği sağlanabilir.

- **Tasarım esnekliği :** Çok karmaşık yapıya sahip makine elemanları bile daha basit bir şekilde üretilebilmektedir.
- **Şeffaflık özelliği :** Kompozitler ışık geçirgen olarak da üretilebilirler. Bu özellikleri ile ışık geçirgenliğinin önemli olduğu seralarda ve güneş kolektörü imalatında tercih edilirler.
- **Beton yüzeylere uygulama:** Betonun gözenekli olması, kompozit imalatında kullanılan polyester betonun gözeneklerine sızar ve daha iyi yapışma sağlar.
- **Ahşap yüzeylere uygulama :** Kompozitler koruyucu ve kaplama olarak ahşap yüzeylerde kullanılır.
- **Metal yüzeylere uygulama :** Demir ve çelik gibi metal yüzeyleri kaplama yapılarak korozyona karşı korunma sağlanabilir. Kaplama metal yüzeyler üzerindeki yağ ve pasın temizlenmesinden sonra yapılmalıdır.
- **Yanmazlık özelliği :** Kompozitler alev dayanımı, kullanılan polyesterin özelliğine bağlı olarak değişmekle beraber ısı iletimi düşüktür ve bu özelliğinden dolayı izolasyon malzemesi olarak kullanılabilirler. Kompozitler alevi geciktirebilme, durdurma özelliklerine sahip olarak da üretilebilirler. Yangın esnasında çoğu malzemeler zehirli gaz çıkartırken kompozitler zehirli gaz çıkarmayacak malzeme olarak tasarlanabilirler.
- **Isıl dayanımı :** Bilhassa termoset plastik grubundan polyester reçine esaslı kompozitler yumuşamak sureti ile şekil değiştiremezler. Isıl dayanımları kullanılan polyester reçinenin cinsine bağlıdır.
- **Tamir edilebilirlik :** Hasar görmeleri halinde tamir edilebilirler. Onarım işleminde bir kalıp kullanılır. Onarım sonrası zımpara ve boya yapılır.
- **İşlenebilirlik :** Kompozitler kolayca delinir, kesilir ve zımparalanabilirler. Bu amaçla kullanılan malzemelerin sert çelik veya elmas uçlu olması halinde daha iyi sonuçlar elde edilir.
- **Geniş renk ve desen seçenekleri**
- **Esneklik**

- **Sızdırmazlık**
- **U.V. ışınlarına karşı dayanım**
- **Montaj kolaylığı**

1.4.2.2. Dezavantajları

- Malzemenin kalitesi üretim metodunun kalitesine bağlı olduğundan imalatı gerçekleştirilmiş kompozit özellikleri her zaman ideal olmayabilir.
- Tabakalı kompozitler, tabakalar arası kayma gerilmelerine karşı hassasdır. Bu nedenle delaminasyon meydana gelebilir.
- Gevrek kompozitler kolaylıkla zarar görebilirler onarılmaları ise zor olmaktadır.
- Kompozitler çok iyi temizlendikten sonra sıcak kurutulup onarılmaları gerekebilir. Bazı kurutma teknikleri zor olduğundan çok zaman alabilmektedir.

1.4.3. Kompozit malzeme yapımında kullanılan ana malzemeler

1.4.3.1. Matris malzemeler

Kompozit malzeme içerisinde bulunan matris; kompozit malzeme içerisindeki elyafları destekler, onları bir arada tutar ve çevresel faktörlere karşı korur, kompozit malzemelerin tokluğunu arttırır, kompozitlerde çatlak oluşumunu ve oluşan çatlağın ilerlemesini engeller. Başlangıçta düşük viskoziteye sahip iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun koşulda çevreleyebilecek matris malzemeleri en idealidir.

Kompozit yapısındaki matris malzemeler elyaf malzemelerin üzerinde çok büyük mekanik etkilere sahiptir. Örneğin matris kullanılmadan kullanılan elyaf demetinde yük birkaç elyaf tarafından karşılanırken, matris kullanıldığında elyaflar üzerinde bulunan yük birkaç elyaf tarafından karşılanmayacak ve dağıtılacaktır. Elyaflar ile matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin iyi bir kesme mukavemetine sahip olması; kompozit malzemenin kesme yükü altındaki gerilmeye dayanımının

yüksek olduğunu gösterir. Kompozit yapıya uygulanan gerilme yüklerini taşımaya matrisin çok fazla bir katkısı yoktur. Fakat matris seçimi, kompozit katmanlar arası ve kompozit katman içi kayma gerilmesi açısından önemlidir. Kompozit malzemeler içindeki kusurlar ve kompozit malzemelerin işlenebilirliği çoğu zaman matrisin fiziksel ve ısısal özelliklerine bağlıdır. (viskozite, erime sıcaklığı, kürleme ısısı v.b.)

Bir matristen istenen özellikler;

- Yükleri takviye elemanlarına transfer edebilmesi için elastiklik
- Kolayca tatbik edilebilirlik
- Uygun dayanım, modül ve uzama
- Düşük ısıl genleşme katsayısı
- Boyutsal kararlılık
- Mükemmel kimyasal özellikler
- Düşük büzülme oranı
- Yüksek sıcaklıklara dayanım
- Islaklık ve lifler ile bağlanabilme
- Nem emişinde minimizasyon
- Tatbiki sırasında takviye malzemesi ile çok iyi temas edip boşluk bırakmamalıdır.

Başlıca matris malzemeleri: Plastik matris malzemeleri, metal matris malzemeleri, seramik matris malzemeleridir

1.4.3.1.1. Plastik matris malzemeler

Monomer adındaki küçük moleküllerin birbirlerine eklenmesi ile oluşan ve polimer adındaki uzun zincir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Polimerler kolay şekil alabilmeleri, düşük üretim maliyetleri ve amaca uygun üretilebilmeleri nedeni ile çoğu alanda kullanılabilmektedir. Ana kaynakları petrol rafinerinin artık maddeleridir. Plastik matrisli malzemeler: termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üç ana gurup da incelenebilirler.

1.4.3.1.1.1. Termosetler

Sıvı halde bulunan termoset plastikler monomer moleküllerinin kimyasal reaksiyonlar sonucunda yanal bağlar ile birbirlerine bağlanmaları sonucunda elde edilir. Çapraz bağlar ile sertleştirildiklerinden ısıtıldıklarında çözünmezler ve erimezler. Kovelent bağlar ile üç boyutlu bağlandıklarından oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Termoplastikler tekrar tekrar kullanılabilirler fakat termoset plastikler tekrar kullanılamazlar, yeniden üretim sürecine sokulabilirler. Sertleşmemeleri için dondurucularda muhafaza edilmeleri gerekir. Raf ömrü dondurucularda olmak koşulu ile 6 ila 18 ay arasındadır. Bazı termoset plastik malzemeler: Polyester, epoksi, yüksek sıcaklık reçineleri, fenolik, silikon, poliimid, poliüretandır.

- **Polyester**

Kullanımı kolay ve maliyetleri düşüktür. 100^{o}C sıcaklık altında mekanik özellikleri iyi olan polyesterler hem Türkiye'de hem de dünya da cam takviyeli polyester uygulamalarında en yaygın kullanılan reçinedir. Denizcilik ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılırlar. Basitten karmaşığa tüm tekniklerle üretimi mümkündür. Bağ şekilleri değiştirilerek farklı özellikler elde edilebilirler. Bunların yanında sertleşme esnasında yüksek çekmeler meydana geldiği için liflerin basma gerilmesi altında burkup kırılmasına neden olur. Dezavantajları ise zehirli gaz yaymaları, raf ömürlerinin kısa olması ve katalizörlere ihtiyaç duymasıdır.

- **Epoksi**

Epoksi reçineler, düşük ağırlıkları, yüksek yük taşıma yapısı ve yüksek sıcaklıkta çalışabilmeleri nedeniyle, özellikle havacılık sektöründe fiber takviyeli kompozit malzemeler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Epoksi reçine matrisli kompozitler mükemmel yapısal özellikleri, mükemmel yapışma özellikleri, düşük büzülme gibi önemli özelliklere sahiptir.

Epoksi reçineleri diğer termoset sistemlerine göre daha pahalı reçine sistemleri olmasına rağmen, epoksi reçinesi nispeten düşük balistik özellikleri telafi edebilen diğer özelliklerin geniş bir seçimini sunmaktadır. Balistik noksanlığı telafi eden özellikler, yük taşıyıcı yapısal özellikler, kimyasal direnç, çeşitli seramik ve metal kaplama malzemelerine bağlanma, boyutsal kararlılık ve diğer özelliklerdir.

Bir epoksi balistik ön emdirilmiş sistem için uygun bir kürleme maddesinin seçimi, uygun epoksi reçinesinin seçimi kadar önemlidir. Sertleştirici maddenin tipi, kalıplama döngüsü sırasında raf ömrünü, reaktivite oranını, ekzotermik reaksiyonun derecesini ve ısı gereksinimini belirler. Bir epoksi kürleme sistemi seçerken, balistik performansa ek olarak, yapısal özellikler, darbe özellikleri ve metal, seramik ve diğer alt-durum malzemelerine bağlanma özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Yüksek derecede kimyasal bağ ve çapraz bağlama yoğunluğu, daha iyi yapısal özellikler, fakat nispeten zayıf balistik performans anlamına gelir. Yapısal ve balistik performans arasında uygun bir denge, balistik elyaflar arasında kontrollü bir kimyasal bağlanmanın tasarlanması ve ayrıca çapraz bağ yoğunluğunun kontrol edilmesiyle sağlanabilir. Uygun bir kürleme sistemi ile birlikte uygun bir epoksi reçinesi seçimi, tamamen iyileştirilmiş kalıplanmış balistik bileşene aşağıdaki özellikleri sunabilir:

- Balistik liflerle nispeten yüksek bağ mukavemeti
- Düşük büzülme özelliği
- Daha yüksek yapısal özellikler
- İyi balistik performans
- Oda sıcaklığında uzun raf ömrü
- Kalıplama kolaylığı
- Kalıplama sırasında nem bırakmama özelliği
- Boyama kolaylığı
- Seramik ve metal kaplama ile kolayca yapıştırılabilir
- Sertleşmiş katı atık olarak atılması kolaydır.

- **Fenolik Reçineler**

Fenolik reçineler, 90 yılı aşkın süredir kompozitlerin endüstriyel gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Fenolik reçineler, cazip bir fiyat ile birlikte mükemmel alev geciktirici özellikleri altında mekanik özellikleri güçlendirilmiş kompozit, darbe direnci, yüksek ısı direnci yapısal ve balistik liflerde geniş kullanıma sahiptir.

Fenolik reçineler piyasada toz ve sıvı halde bulunmaktadır. Fenolik reçineler: elektrikli cihazlar, kontrol plakaları, tekerlek aşınma alanlarının onarımında, fren balatasının laminasyonu ve izalasyonunda kullanılırlar. Fenolik reçineler ıslak ortamda oldukça zararlıdır. Kırılgandırlar ve yüzey kaliteleri kötüdür.

- **Vinylester reçineler**

Vinilester reçineleri termoset reçinelerdir. Bu reçineler akrilat metasilat sonlandırma ile bir polimer omurgasından oluşur. Vinilester reçineleri bazen polyester olarak sınıflandırılmış olmasına rağmen, genellikle tekrarlayan eter bağlantıları içeren di-esterlerdir. Vinilester reçinelerinin omurga bileşeni, endüstride yaygın olan bir epoksi reçinesinden elde edilebilir.

Vinilester reçineler yapısal açıdan poliester reçineler ile epoksi reçineler arasında ikisinin de en iyi özelliklerini yapısında birleştirmiş olan bir reçine sınıfıdır. Epoksi reçineler gibi yüksek mekanik dayanım değerlerine sahipken, poliester reçineler gibi kolay işlenme özelliği sunarlar. Darbe ve yorulmaya karşı dayanıklıdır, düşük su absorbsiyonu değerine sahiptir, sıcaklık/ısıl dayanım özellikleri de mükemmeldir. Vinilester reçineler cam elyaf, karbon ve aramid elyaf ile uyumludur. Kimyasallara dayanıklı depo, tekne ve rüzgar türbin kanatları üretiminde kullanılır.

Çizelge 1.1. Bazı termoset plastiklerin fiziksel ve mekanik özellikleri

MALZEME CİNSİ	EPOKSİ	POLİESTER	FENOLİK
Yoğunluk (gr/cm^3)	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	2-6	1.5-2
Isıl İletkenlik	0.19	0.19	0.15
Isıl Genleşme Katsayısı ($1/^oC$)	45-65	55-100	68

Bu çalışmamızda matris elamanı olarak termoset kullanılacaktır. Termosetler de aralarında kıyaslandığında çizelge 1.1.'de görüldüğü gibi elastisite modülü, çekme dayanımı ve kopma uzaması diğer termosetlere kıyasla epoksinin daha yüksektir. Bu durumda enerji absorbe etme özelliğinin diğerlerine nazaran daha iyi olacağı değerlendirilmiştir. Bu durumda balistik için istenen özelliktir.

1.4.3.1.1.2. Termoplastikler

Termoplastikler, ısı ile hal değiştirebilen bir yapıya sahiptir. Isıtıldığında yumuşar ve homojen bir sıvı halini alır soğutulduğunda ise sertleşir. Polimer reçinelerinden üretilen bir plastik türüdür. Metallerin yaklaşık 5 katı genleşme kapasitesine sahiptir. Termoplastikler geri dönüştürülebilen bir yapıya sahiptirler ve tekrar tekrar ısıtıp şekillendirilerek, dondurulabilirler. Oda sıcaklığında katı halde bulunurlar ve soğutucu olmaksızın depolanabilirler. Üstün kırılma ve toklukları nedeni ile darbe dayanımları yüksektir. Ayrıca termoplastik malzemelerin hammaddeleri termoset malzemelere göre daha pahalı olduğundan kompozit üretiminde maliyeti daha fazla arttıracaktır. Düşük çekme dayanımına sahiptir. En

önemli termoplastikler: akrilitler, naylon, polistiren, polietilen, karbonflorür, selülozikler ve vinillerdir.

- **Polietilen**

Çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastiktir. İsmini monomer halindeki etilenden alır. Polietilen etilen kullanılarak üretilir. Etilen molekülü C_2H_4, aslında çift bağ ile bağlanmış iki CH_2'den oluşur. Polietilenin üretim şekli, etilenin polimerizasyonu ile olur. Polimerizasyon metodu, radikal polimerizasyon, anyonik polimerizasyon, iyon koordinasyon polimerizasyonu ve katyonik polimerizasyon metodları ile olabilir. Bu metodların her biri farklı tipte polietilen üretimi sağlar. Tercih edilme sebepleri kolay işlenebilirliği, düşük maliyeti ve kimyasal kararlılığı olmuştur. Evlerdeki kaplardan plastik kutulara, paketlerde ambalaj filmi, kablolarda yalıtkan malzeme gibi geniş kullanım alanına sahiptir.

- **Poliamid(PA)**

Poliamidler mühendislik plastiğinin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. En önemlisi PA ailesi Naylon (Naylon6 ve Naylon 6.6)'dır. Naylon türleri arasında mekanik ve fiziksel özelliklerden en iyi özelliğe sahiptir. Aşınma direnci iyidir, mukavemeti ve elastikiyet modülü yüksektir. Poliamidler kendi kendilerini yağlama özelliğine sahiptir ve 125^{o}C ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilmektedir. Su emmesi en önemli dezavantajıdır. Dayanım ve düşük sürtünmenin olduğu yerlerde, dişli, yatak v.b. parçaların yapımında metal malzeme yerine alternatif olarak kullanılabilmektedir. Termoplastiklerin bazı teknik özellikleri çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Bazı termoplastik malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Malzeme Özellikleri	Polietilen	Politetratken	PA 6.6	Polipropilen
Yoğunluk (gr/cm^3)	0.95	0.92	1.14	0.90
Elastikiyet Modülü (Mpa)	1000	22	700	1400
Çekme Dayanımı (Mpa)	30	14-34	70	35
Kopma Uzaması (%)	10-1200	100-650	300	10-500
Isıl Genleşme Katsayısı	60-110	100-220	70-120	80-100

1.4.3.1.2. Metal matris malzemeleri

Çok yaygın olmamakla beraber metaller de matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Her elyaf ile iyi bir ara yüzey oluşturamaması üretimin maliyetini arttırmış ve zorlaştırmıştır. Bu dezavantajlarının yanında, özellikle plastik malzemelere kıyasla tokluk, rijitlik ve mukavemetlerinin yüksek olması kompozitler de kullanımına olanak sağlamıştır. Kompozit malzeme yapımında özellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Bunlar; titanyum, aleminyum, magnezyum, bakır, çinko v.b. dir. Metal matris ile kullanılabilecek en iyi elyaf ise boron elyafıdır.

Çizelge 1.3. En çok kullanılan metal matrislerden bazılarının teknik özellikleri

Özellikler	Aluminyum	Magnezyum	Titanyum
Yoğunluk(gr/mm^3)	2.70	1.8	4.5
Elastisite Modülü (Gpa)	70	45	110
Poisson Oranı	0.33	0.35	0.36
Çekme Dayanımı (Gpa)	0.2-0.6	0.1-0.3	0.3-1.0
Kopmada Uzama (%)	6-20	3-10	4-12

Matris malzemeleri farklı yapılarda bulunabilirler, levha ve ince yapılı tabaka halinde bulunabildiği gibi ergimiş halde veya moleküler yapıda da bulunabilir. Kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak; dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yolu ile kaplama, haddeleme yöntemiyle liflerle birleştirilmektedir. Bu birleştirme ve kompoziti oluşturma aşamasında en önemli nokta, takviye de kullanılacak olan yüksek dayanımlı lif, tel ve kılların zedelenmemesi, tahrip olmaması, dolayısı ile özelliklerinin bozulmamasının sağlanmasıdır. Çizelge 1.3.'de en çok kullanılan metal matrislerin teknik özellikleri verilmiştir.

1.4.3.1.3. Seramik matris malzemeleri

Seramik bir veya birden fazla metalin metal olmayan malzemeler ile birleşmesi ve sinterlenmesi sonucunda elde edilen inorganik bileşiktir. Seramikler çok kararlı bir yapıya sahiptirler, bazılarında kovalent bağ bazılarında iyonik bağ mevcuttur. Isıl dayanımı ve mukavemeti yüksek olması avantajlarının yanında çok sert ve gevrek yapıya sahip olmaları kullanım alanlarını daraltmıştır. Seramik malzemeler; optik sanayi, endüstriyel fırınlar, elektrik-elektronik sanayinde kullanılırlar.

Seramikler, basma dayanımları çok yüksek olmasına karşı çekme dayanımları çok düşüktür. Seramikler gevrek malzemelerdir bu yüzden mikro yapısal kusurları çentikler ve mikro çatlaklar yapısında gerilme yığılmasına yol açarlar. Bu durumda çekme dayanımının düşük olmasına sebep olur. Ancak dayanıklı kompozitler üretmek için mikro yapısal kusurları azaltacak şekilde çok ince çaplı fiberler üretilerek mümkün olacaktır. Bu malzemelerde kayma direnci çok yüksek olacağından plastik şekil verme olmaksızın gevrek şekilde kırılırlar. Bununla beraber çok sert olduğundan dolayı bazıları alümina ve silüyum karbür gibi aşındırıcı malzeme olarak kullanırlar (Erdoğan, 1998).

Çizelge 1.4. Kompozit malzemelerde bulunan seramiklerin bazı mekanik özellikleri

Malzeme	**Alümina**	**Berilyum oksit**	**Alüminyum-nitrit**	**Silikon karbit**
Yoğunluk (gr/cm^3)	3.98	2.87	3.27	3.10
Elastisite Modülü (Gpa)	370	345	300	407
Poisson Oranı	0.22	0.26	0.23	0.14
Basma Dayanımı (Mpa)	2600	1550	2000	4400

Çizelge 1.4.'de bazı seramik matrisli kompozit malzemelerde bulunan seramiklerin bazı mekanik özellikleri görünmektedir.

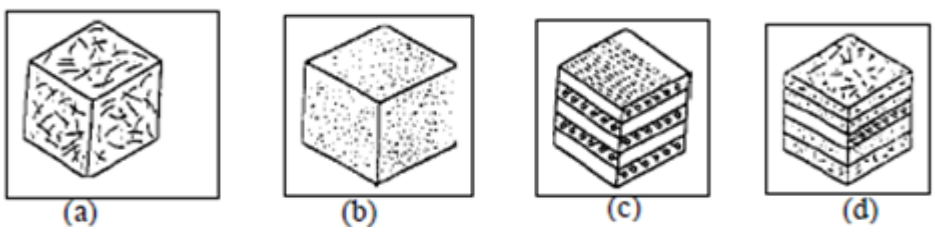
1.4.3.2. Takviye elamanı (elyaf/fiber)

Takviye elemanının asıl özelliği; kompozit malzemenin üzerine gelen yükü taşıyarak, matrisin dayanımını ve rijitliğini arttırmaktır.

Kompozitler takviye malzemelerine göre;

a- Elyaflı kompozitler
b- Parçacıklı kompozitler
c- Tabakalı kompozitler
d- Karma kompozitler olarak 4 ana gruba ayrılırlar.

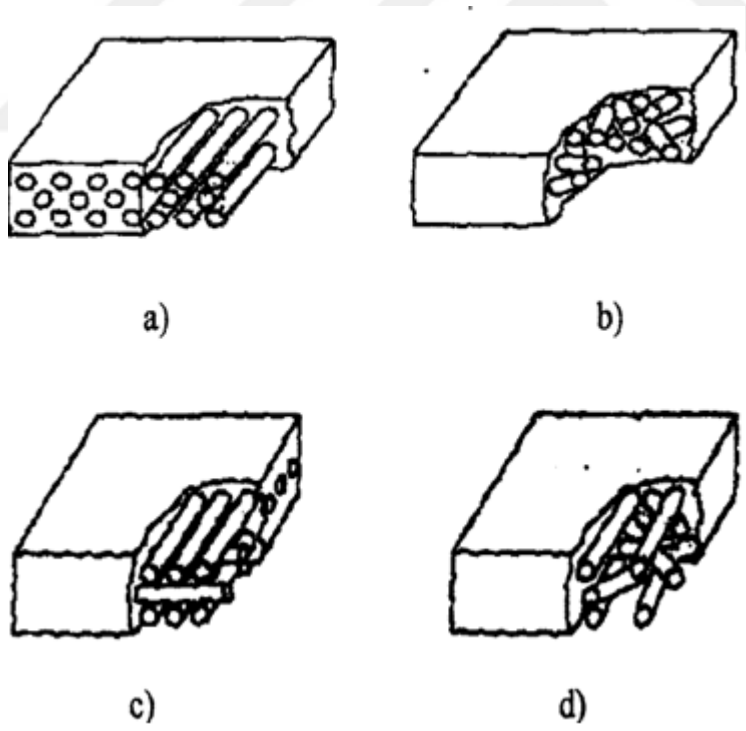
Şekil 1.2.'de takviye malzemelerine göre kompozitler görülmektedir.



Şekil 1.2. Takviye malzemelerine göre kompozitler

1.4.3.2.1. Elyaflı kompozitler

Elyafların yerleşimi mukavemeti etkileyen önemli unsurlardan biridir. Elyaflar doğrultusunda yük taşımaya uygun iken dik doğrultuda yük taşıyamazlar. Elyafa iletilen yük miktarı elyaf içinde uzunluk/çap oranına bağlı olarak değişmektedir. Matris içerisinde elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça elyafa iletilen yük miktarı da artacaktır. Elyaf ve matrisin elastikiyet modülü birbirinden farklı olması gerekir ki aksi durumda fiberler taşımaya yeterince katılmayacaktır. Kompozit yapının mukavemetini etkileyen diğer bir unsur da elyaf ile matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris arasında oluşan boşluklar elyaflar ile teması azaltacaktır. Nem absorbsiyonu da aynı şekilde bağın yapısını bozmaktadır. Fazlar arası kimyasal etkileşiminin olmaması gerekir. Matris ve takviye elemanlarının ısıl genleşme katsayıları aralarında çok fazla fark olmamalıdır aksi takdirde yapıya zarar verecek durumlar meydana gelebilir.



Şekil 1.3. Değişik şekilli fiber takviyeli kompozitler

Şekil 1.3.'de değişik şekilli kompozitlerden;

a) Tek yönlü sürekli fiber takviyeli kompozitler
b) Kesikli fiberler takviyeli kompozitler
c) Enine ve boyuna fiberler takviyeli kompozitler
d) Rasgele düzlemsel yönlendirilmiş fiberler takviyeli kompozitler olarak görülmektedir.

- **Tek yönlü sürekli fiber takviyeli kompozitler**

Sürekli fiberler yönlendirme özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek yönlü sürekli fiberler de fiber doğrultusunda uygulanan çekme dayanımında maksimum performans sağlarken dik yönde zayıf kalır ve matrisin dayanımı esas olur. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için değişik açılarda takviye yapmak uygun olacaktır.

- **Kısa (kesikli fiber) takviyeli kompozitler**

Kısa fiberler yaklaşık 3-5 μm çapında ve 0.5-6 mm uzunluğunda üretilirler. Sürekli fiberlere göre üretimi hızlı ve maliyeti daha düşüktür.

- **Rasgele düzlemsel yönlendirilmiş kompozitler**

Fiberlerin matris içerisinde gelişi güzel iki boyutlu yerleştirilmesi ile meydana gelir. Fiberler ne kadar düzenli yerleştirilirse kompozit yapı içerisinde bulunan fiberin hacmi de o derece yüksek olacaktır. Ayrıca düzenli yerleşmesi de tüm yönlere olan mekanik özelliklerini de aynı olmasını sağlayacaktır.

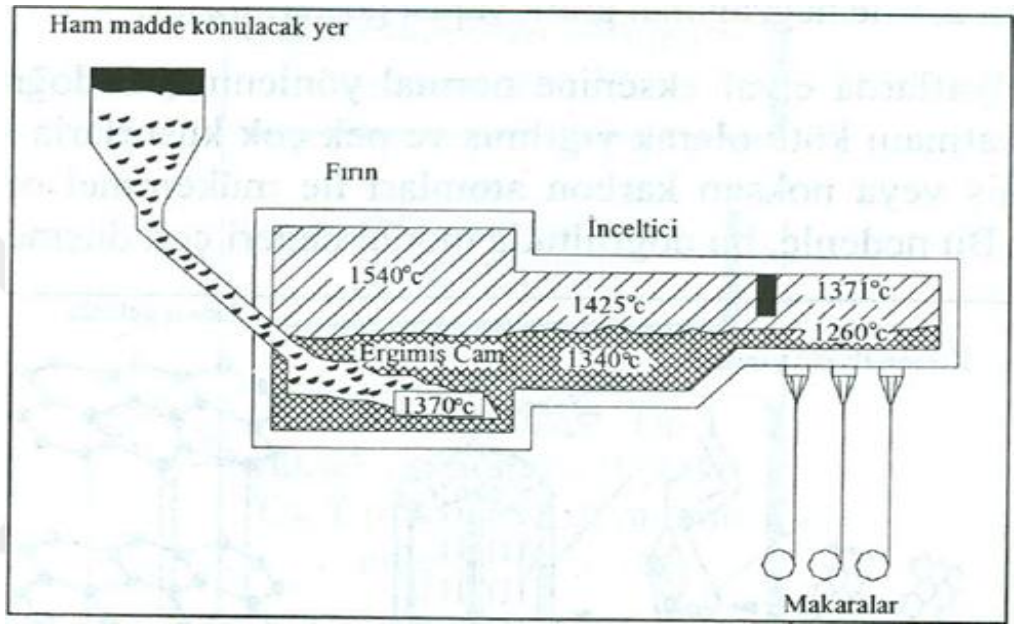
Günümüzde sık kullanılan fiberler;

- **Cam fiberler**

En eski ve en bilindik, yüksek performanslı elyaf cam elyaftır. Cam elyaflar nispeten esnek değildir ve birçok tekstil uygulaması için uygun değildir.

Yalıtım, yangına dayanıklı kumaşlar ve plastik kompozitler için takviye malzemeleri gibi çok çeşitli kullanım alanları vardır. Son yıllarda optik kaliteli fiberglas iletişim endüstrisinde devrim yaratmıştır.

Cam elyaflar, şekil 1.4.'de görüldüğü gibi camları 1200-1500^{o}C sıcaklıkta ergitilir, ergiyen camlar potanın altındaki binlerce delikten bir platin alaşımı yardımıyla camlar hızlı bir şekilde geçirilir ve soğumaya bırakılarak üretilir.



Şekil 1.4. Cam elyafın üretimi için ergitme işlemi

Cam elyaflar çekme ve gerilmeye dayanıklı, oldukça sağlam, yanmaz, emici olmayan, bir ipliktir. Küçük çaplı olmaları nedeniyle hacmine göre çok geniş bir yüzey oluşturan cam elyafı, alkalisi çok az ya da hiç olmayan özel bir camdan elde edilmesi ile dış yalıtkan olarak kullanıldığında kötü hava şartlarından etkilenmezler. Cam genellikle % 14 alüminyum, % 17 kireç ve % 4 magnezyumdan oluşur. Cam elyafı ve ipliği, yukarıda sayılan özellikleri nedeniyle birçok alanda kullanılabilirler. Özellikle yapılarda, elektronik devrelerde ve kablolarda yalıtıcı olarak çok kullanılır. Yapılarda, sıcak su ve buhar kazanları ve borularında, soğutucularda cam elyafı, bunların dışında kalan alanlarda daha çok bükümlü ya da tek telli cam ipliği yer alır.

Çizelge 1.5. Değişik cam türlerinin mekanik özellikleri

Özellikler	E- Camı	A-Camı	S-Camı	C-Camı	D-Camı	R-Camı
Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	2,54	2,445	2,49	2,45	2,16	2,58
Çekme Dayanımı (Mpa)	3600	3100	4500	3400	2450	4400
Kopma Uzama Oranı (%)	4,80		5,40	4,80		
Çekme E-Modülü (Gpa)	76	72	86	70	53	85
Kırılma İndisi	3	1.512	1.523	-	1,57	-
Isıl Genleşme Katsayısı (cm/cm^oK)	$1.6x10^{-6}$	-	$1.7x10^{-6}$	$2.2x10^{-6}$	$3.1x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$
Yumuşama Noktası (^oC)	850	700	-	690	770	990

Çizelge 1.5.'de farklı cam türlerinin mekanik özellikleri verilmiştir. A-camı kompozit üretiminde fazla kullanılmazken genelde pencerelerde ve şişe imalatında kullanılmaktadır. C-camının ise kimyasal direnci çok yüksek olduğu için depolama tanklarında kullanılırlar. E camı düşük su emiş oranı iyi yalıtım ve düşük maliyeti sebebiyle takviye elyaf üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. S ve R-camında ise lif çapları E camının neredeyse yarısı kadar üretilmektedir dolayısıyla aynı kumaşta daha fazla lif kullanılmıştır. Bu yüzden çok üstün özellikli ve sert bir yüzey elde edilmiştir. S ve R camının maliyeti de diğerlerinden daha fazladır.

- **Karbon fiberler**

Bir başka yüksek performanslı fiber ise kompoziti güçlendirmek, mukavemet ve sertliği arttırmak, kimyasal direnci, elektriksel iletkenliği arttırmak için tasarlanmış karbon fiberleridir. Fiziksel özelliklerini yöneten birincil faktörler, katmanlı karbon düzlemlerinin karbonizasyon ve yönlendirme derecesidir. Karbon elyafları, sıvı kristalden (takviye ve diğer uygulamalar için) özel olarak saflaştırılmış rayon veya en kaliteli akriliklerden veya zift liflerinden yapılır. Neredeyse mükemmel karbon fiber grafittir.

Cam elyaf en çok kullanılan takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozitlerde ise karbon elyaf daha çok tercih edilmektedir. Bunun en önemli sebebi mekanik özelliklerinin şüphesiz daha iyi olmasıdır fakat maliyet olarak karbon elyaflar daha yüksektir. Düşük yoğunluk, yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik ve her türlü reçine ile uyumlu olması geniş kullanım alanları sağlamıştır. Özellikle havacılık ve uzay sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır.

Karbon fiberleri mekanik özellikleri $1500^{o}C$ ye kadar muhafaza etmelerinden dolayı özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında sık sık kullanılmaktadır. Örneğin roket nozullarında, fren bloklarında ve fırın elemanları olarak kullanmaları sayılabilir (Bertholet,1999).

Karbon elyafları sürekli geliştirilebildiğinden, karbon elyaf çeşitleri sürekli değişmektedir.

Çizelge 1.6. E-Camı ile bazı karbon fiberlerin kıyaslanması (Bulut,2003)

Özellikler	**E- camı**	**Yüksek Moleküllü Karbon**	**Çok Yüksek Moleküllü Karbon**	**Yüksek Moleküllü Karbon ***
Yoğunluk (kg/cm^3)	2600	1810	1950	2000
Çap (мm)	10-20	5-7	5-7	12
Young Modülü (Gpa)	73	400	600	280
Spesifik Modül (MN m/kg)	28	210	310	140
Çekme Dayanımı (Mpa)	3400	2800	2000	2000-2400
E-Camına Göre Fiyatı	1	30-50	200-400	50-100

*Çekme ile üretilmiştir.

Çizelge 1.6.'de E-camı ile bazı karbon fiberlerin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

- **Aramid fiberler**

Polimerler hem matris hem de elyaf olarak kullanılmaktadır. Örnek kevlar (aramid) bir polimer elyafı olup hafif olmasına karşın yüksek sertliğe ve mukavemete sahiptir. Aramid bir çeşit naylon olarak aromatik poliamiddir.

Takviye elemanı olarak tam dizilmiş polimerler önemli bir yer işgal ederler. Çok iyi eksenel özellikler vermesi için çekilerek uzatılmasıyla halkalı zincirli dizilme meydana getirirken radyal özellikleri zayıftır. Kevlar bunlara en iyi örnek teşkil eder. Kevların iki versiyonu mevcuttur, bunlar; kevlar 29 ve kevlar 49. Kevlar 49 yüksek elastikiyet modülüne sahiptir. Takviye elemanı olarak yorulma ve kimyasal özellik

gereken yerlerde kullanılabilirler. Bu özellikleri cam ve karbon elyaflar ile birlikte kullanılarak daha da arttırılabilir. Kevlar 29 esas olarak balistik özelliğinden dolayı ağırlıklı olarak örme ve dokuma veya çaprazlanmış tipiyle kurşun geçirmez koruyucu yelek imalatında kullanılır. Bununla beraber sürtünen malzemelerde de halat ve kablolarla, otomobil lastiğinde de kullanılırlar.

Kevlar 29 un tipik kullanım yeri ağırlıklı olarak askeri uygulamalardır. Elyaflar düşük yoğunluklu olması ve beraberinde kopma-uzama yüzdesinin yüksek olması, elastikiyet modülü ve çekme dayanımlarının yüksek olması bu konuda en çok tercih edilmesini sağlamıştır. Dezavantajları ise sıvı ve neme karşı hassas olmasıdır, atmosferde %3 nem veya su olması kimyasal ortamda ve vakumda uygunsuz yapar. UV ısınlarına karşı hassastır. UV ışınlarına karşı ve neme karşı korunmadığı takdirde mekanik ve balistik özellikleri olumsuz etkilenir. Diğer elyaflar gibi bunlarında termal uzamaları anisotropiktir.

Kevlar elyaflı kompozitler cam elyaflı kompozitlere göre % 35 daha hafiftirler. Yüksek mukavemet ve yorulma dayanımına da sahiptir. Fakat diğer elyaflar ile kıyaslandığında reçine ile iyi birleşemeyebilir bu da mikroskobik çatlaklara sebebiyet verebilir. Bu çatlaklarda malzeme yorulduğunda nem almasına sebebiyet verir ve malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler.

Kevlar fiberinin olumsuz yanlarından birisi de eğilme ve bükülmelere karşı zayıf olmasıdır. Bu durumda kevlar fiberini basma kuvvetlerine karşı hassas hale getirmektedir.

Çizelge 1.7. Piyasada bulunan bazı kevlar fiberin mekanik özellikleri

Fiber	**Özgül ağırlığı**	**Başlangıç Çekme Modülü (Gpa)**		**Çekme Dayanımı (Mpa)**		**Uzama Miktarı (%)**
		Reçine Emdirilmemiş	**Reçine Emdirilmiş**	**Reçine Emdirilmemiş**	**Reçine Emdirilmiş**	**Reçine emdiril-memiş**
Kevlar 29	1.44	70.5	83	2920	3600	3.6
Kevlar 4	1.44	112.4	124	3000	3600	2.4

Çizelge 1.7.'de aramid fiberleri kevların iki farklı versiyonu çeşitli mekanik özellikleri açısından kıyaslanmıştır. İki farklı kevlar çeşidi reçine emdirilmiş ve reçine emdirilmemiş numuneler ile çalışılmıştır. Her iki kumaş çeşidinde de reçine emdirildiğinde çekme dayanımında bariz artış olduğu gözlemlenmiştir.

- **Bor elyafı**

Bor, oda sıcaklığında katı halde olan ikinci hafif elementtir. Çekirdek (tungsten/wolfram) olarak ince bir telin üzerine bor kaplanarak imal edilmektedir. Bu nedenle bor elyafı kendi başına bile kompozit olarak adlandırılabilir.

Bor-tungsten elyafları sıcak tungsten flamanın hidrojen (H) ve bortiklorür (BCL_3) gazından geçirilmesi ile üretilir. Böylece tungsten telin dışında bor tabakası meydana gelir. Silisyum karbür (SİC) veya bor karbür (B_4C) kaplanarak yüksek sıcaklıkta dayanımı artar. Özellikle bor karbür (B_4C) ile kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artar.

Bor elyafı değişik çaplarda üretilmektedir. Mekanik özellikleri yüksek olduğundan özellikle havacılık sanayinde tercih edilmektedir. Maliyetinin çok yüksek olması son yıllarda karbon elyafının tercih edilmesine sebep olmuştur.

Çizelge 1.8. Başlıca elyaf malzemelerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Özellikler	**E-Camı**	**S-Camı**	**Bor**	**Karbon**	**Kevlar 49**
Yoğunluk (gr/cm^3)	2.54	2.49	2.68	1.85	1.44
Çekme Mukavemeti (Mpa)	2000	4750	3450	2900	3750
Çekme Mod. (Gpa)	80	89	414	525	136
Lif Çapı(мm)	3-200	3-13	100-1000	5-13	12
Isıl G.K. ($^oC^{-1}.10^{-6}$)	5	2.9	3	-1	-2
Kopma Uzaması (%)	2.75	-	0.7	0.5-1.3	2.5

Şekil 1.8.'de başlıca elyaf malzemelerinin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

1.4.3.2.1.1. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan takviye malzemelerin üretim şekilleri

Keçe

25-30 mm uzunluğunda kesilen fiberleri hareketli bir bandın üzerine rastgele düşürülür ve bağlayıcı emdirmek sureti ile kumaş haline getirilir. Keçe üretilirken kullanılan bağlayıcılar; toz formundaki polyester reçine ve polivinil asetat içeren emülsiyonlardır. Emilsiyonlarla imal edilen keçeler neme hassas olmalarına rağmen kolay işlenirler ve reçine ile yatırılmaları daha kolaydır.

Takviye elemanı olarak keçe kullanıldığında kırpılan demetlerin rastgele dağıtılmasından dolayı her bölgede özellikleri birbirine yakın olmaktadır. Ayrıca reçine tatbiki kolaydır. En ekonomik yöntemlerden biridir. Fakat zayıf dayanıma sahiptir.

Fitil

120 civarında fiberlerin bir araya gelmesi ve bunların makara etrafında sarılması ile oluşturulur. Cam ile reçinenin kimyasal reaksiyonunu sağlamak için bir bağlayıcı ile bağlanır. Diğer takviye formlarına göre daha ucuzdur, elle yatırma yöntemine uygundur. Fitiller arası reçine emdirilmesi zor olduğundan iç boşluklar kalabilmekte bu durumda zamanla yapıya zarar vermektedir.

Hazır kalıplama birleşenleri

Fiberlerin önceden reçine ile ıslatılarak ve daha uygun katalizör katılarak kullanıma hazır hale gelmiş olmasıdır. Islatılması için genelde epoksi kullanılmaktadır. Uzay sanayi ve gemi inşa sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem de fiber- reçine oranı çok sıkı kontrol edilebileceğinden dolayı kompozit malzeme katmanları optimum dayanım sağlar.

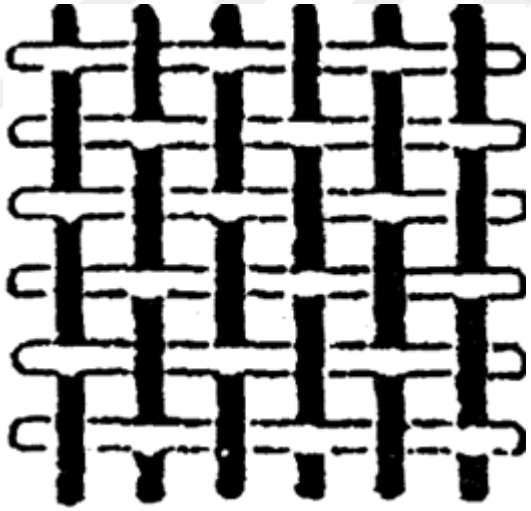
Kumaş

Diğer formlara göre daha hafif ve daha dayanıklı olmasından dolayı çok tercih edilmektedir. Kumaşlar daha ince katmanlar ile daha iyi mukavemet değerleri vermektedir. Kumaşlar daha önce açıklanan fiberlerin hepsinden, tek başına veya bir kombinasyon halinde üretilebilmektedir. Demetler ve fitiller kumaşların dokunması esnasında istenildiği gibi yönlendirilebildiğinden keçelere nazaran daha çok fiber ihtiva edecektir, böylece yapılarda daha fazla mukavemetli olmasına imkan sağlayacaktır.

Kumaşın yapısı genelde birbirlerini dik olarak kesen lif ve fitillerden meydana gelmektedir. Lif veya fitillerden boyuna doğrultuda olanlar ‘’ çözgü’’ bunları dik olarak kesen enine doğrultudakiler ‘’ atkı’’ olarak adlandırılırlar. Farklı şekilde dokunan kumaşlar farklı karakteristiklere sahip olmaktadırlar. Örgü çeşidi kumaşın reçineye yatırılmasını ve sıklığını etkiler.

- **Düz dokuma (plain weave)**

En basit dokuma şeklidir. Her atkı ve çözgüye dik olan atkı ve çözgünün üstünden ve altından geçirilmesi ile elde edilir. Kolay işlenebilirler ve tutarlı bir kompozit katmanı sağlarlar. Dezavantajı lif ve fitiller çok fazla kıvrılmaya maruz kalacağı için mekanik özellikleri diğer dokumalara göre daha düşük çıkacaktır. Ayrıca sık dokumalarda reçine tatbiki de zorlaşacaktır. Şekil 1.5.’de düz dokuma görülmektedir.

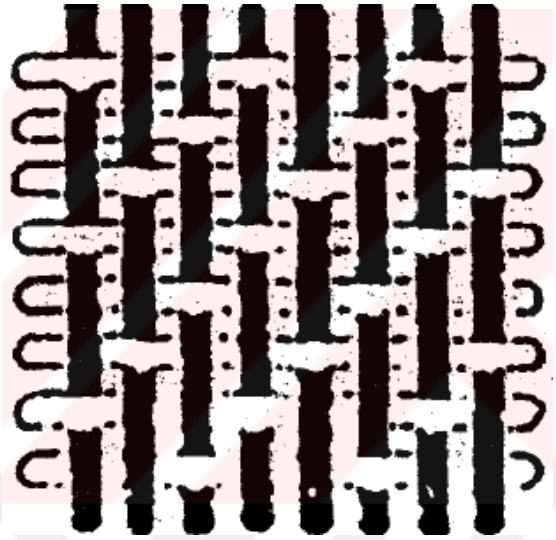


Şekil 1.5. Düz dokuma (plain weave)

- **Kabarık dokuma (twill weave)**

Çözgü ve atkıların farklı kombinasyonları ile kabarık dokumalı kumaşlar meydana gelmektedir. Şekil 1.5’de 2x1 dokuması gösterilmiştir. Bu dokuma da çözgüler iki atkının üzerinden ve birinin altından geçirilmek sureti ile üretilmiştir.

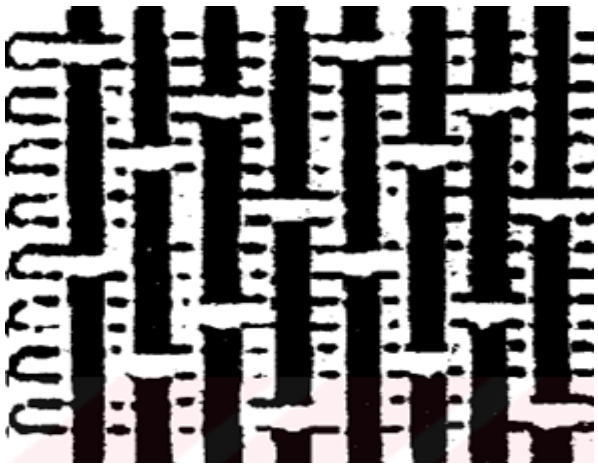
Fiberlerdeki kıvrımlar daha az olacağı için mekanik özellikler düz kumaşa göre daha iyi olacaktır. Ayrıca reçine yatırılması da düz kumaşa göre daha kolay olacaktır.



Şekil 1.6. Kabarık dokuma (twill weave)

- **Atlas dokuma (satin weave)**

Atlas dokuma şekil 1.7.'de görüldüğü gibi çözgüler daha fazla atkının üzerinden ve bir atkının altından geçirilir. Bu yönü ile kabarık dokuma kumaşlara benzerler. Bir yüzeyin çoğunlukla atkı ve diğer yüzeyin çoğunlukla çözgüden oluşması yüzeylerin çok daha düzgün olmasına imkan verir. Reçine tatbiki kolaydır. Daha az kıvrımlı yapılar mekanik özelliklerinin yüksek olmasını sağlayacaktır.



Şekil 1.7. Atlas dokuma

- **Mat dokuma (mat weave)**

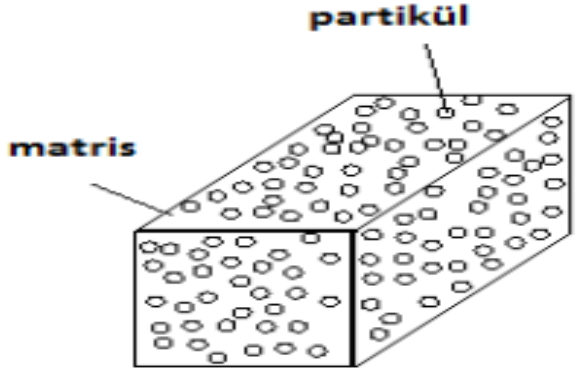
Mat dokuma Şekil 1.8.'de görüldüğü gibi daha küçük liflerle daha ağır fakat daha ucuz kumaş üretiminde kullanılmaktadır. İki çözgü ve atkı, tek çözgü ve atkı şeklinde fiberlerin birbirinin altından ve üstünden geçirilmesi ile elde edilmektedir.



Şekil 1.8. Mat dokuma (Mat weave)

1.4.3.2.2. Parçacıklı kompozitler

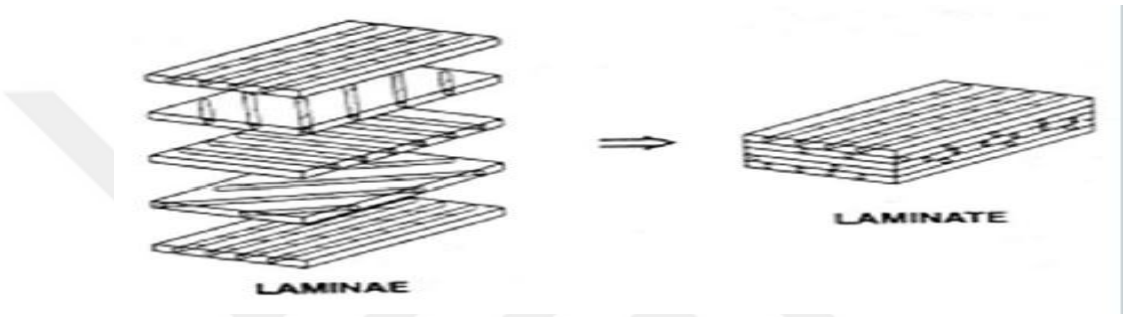
Patükül ve matrisin birbiri içinde çözünmeden, makro bağlantı oluşturması ile meydana gelir. Şekil 1.9.'da göründüğü gibi izotrop yapılardır yani her yönde aynı davranışı sergilerler. Yapının mukavemeti parçacığın sertliğine bağlıdır. Matris içinde yer alan metal parçacıklar en yaygın parçacıklı kompozit çeşididir. Partikül boyutu nanometre seviyesinde ise bu tip yapılara nano kompozitler adı verilir.



Şekil 1.9. Parçacıklı kompozit yapısı

1.4.3.2.3. Tabakalı kompozit

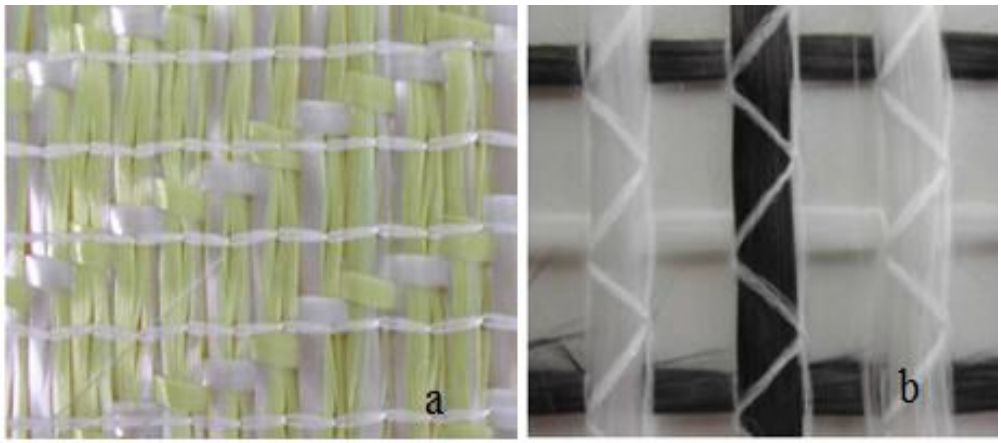
Tabakalı kompozit şekil 1.10.'da görüldüğü gibi temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönde tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Burada amaç; değişik fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özellikleri kazanılmasıdır. Tabakalı kompozit bilinen en eski ve en yaygın kompozit tipidir. Isıya ve neme karşı dayanıklı yapılardır. Metallere karşı daha hafif ve daha mukavemetli olduklarından tercih edilmektedirler.



Şekil 1.10. Tabakalı kompozit yapı

1.4.3.2.4. Karma (hibrid) kompozitler

İki veya daha fazla takviye elemanının aynı matris ile bir araya gelerek farklı özellikler içeren yapı meydana getirilmesidir. Bu alan gelişmeye müsait bir alandır ve gelişmeye de devam etmektedir. Bu yöntem ile çok farklı özelliklere sahip yapılar oluşturulabilir. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır ancak basma mukavemeti düsüktür. Grafit ise düsük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyaflı kompozitten daha yüksek olmaktadır. Şekil 1.11.'de cam-karbon ve cam-aramid hibrit kumaşı görülmektedir.

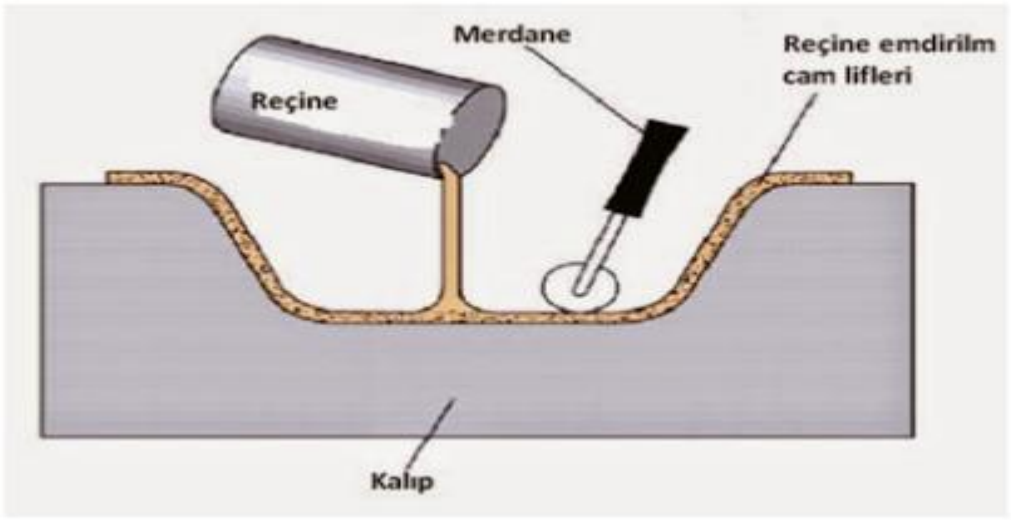


Şekil 1.11. Hibrit kumaşlar a- cam/karbon b- cam/aramid (Yavaş,2009)

1.4.4. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

1.4.4.1. Elle yatırma (hand lay-up)

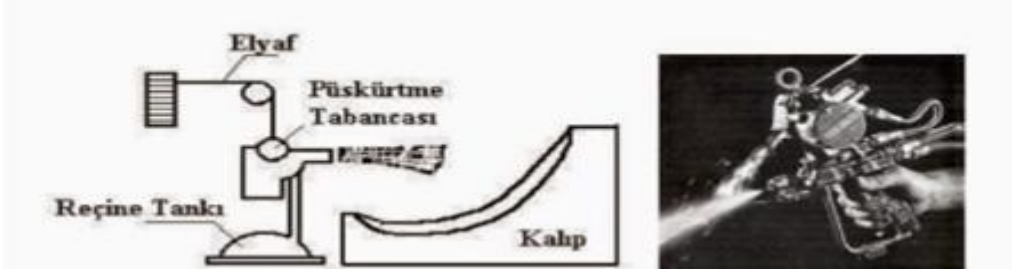
Bu yöntem bilinen en eski ve en basit üretim yöntemidir. Üretim kapasitesi; kalıp adedine ve işçilik durumuna bağlıdır. Elyaflar Şekil 1.12.'de görüldüğü gibi yatırılmadan önce kalıp iyice temizlenir ve jelkot sürülür. Jelkotların sertleşmesini müteakiben dokuma ve kırpılmış elyaflardan hazırlanmış takviye kumaşları kalıba yatırılarak sıvı reçine elyaf katmanlara emdirilir. Reçine de meydana gelen kimyasal reaksiyonlar malzemeyi yüksek dayanıklı hale getirecektir. Elyaf kumaşa reçinenin iyi nüfuz etmesi önemlidir. El yatırma yönteminde epoksi, polyester, vinil ester, fenolik reçineler kullanılabilmektedir. Bu yöntemle elyaf reçine oranı %30 lara varan kompozit üretilebilmektedir.



Şekil 1.12. Elle yatırma yöntemleri (Arıcasoy,2006)

1.4.4.2. Püskürtme yöntemi (spray- up)

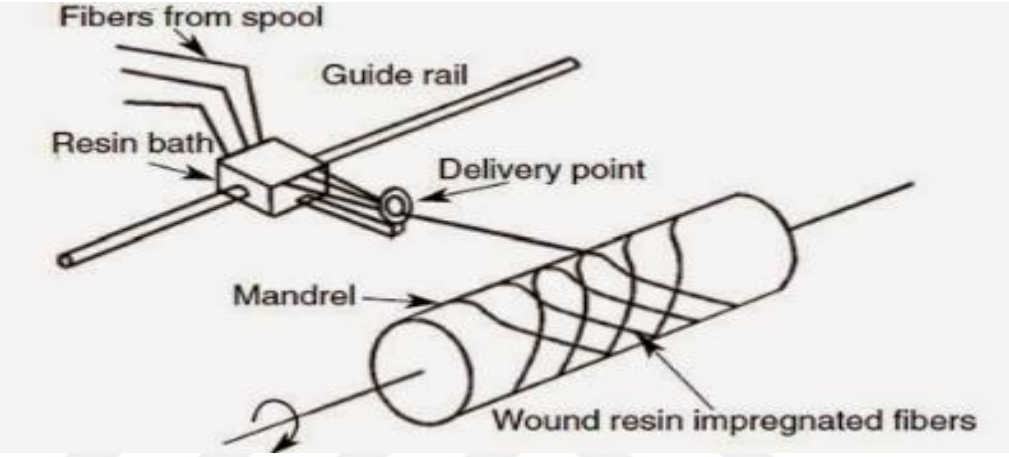
Elle yatırma yöntemine göre daha teknik ve daha seri şekilde üretim imkanı sağlamaktadır. Şekil 1.13.'de görüldüğü gibi püskürtme tabancası kırpılmış elyaflarla beraber ayrı bir tankta bulunan reçine sertleştirici karışımını kalıp üzerine püskürtür. Püskürtme işleminden sonra bir rulo yardımıyla yüzey düzeltme işlemi yapılır. Püskürtme işlemi sırasında devamlı elyafdan fitil 17-50 mm uzunluğunda kırpılarak kullanılır. Geniş yüzeyli ürünlerde seri üretim olanağı sağlamaktadır.



Şekil 1.13. Püskürtme yöntemi

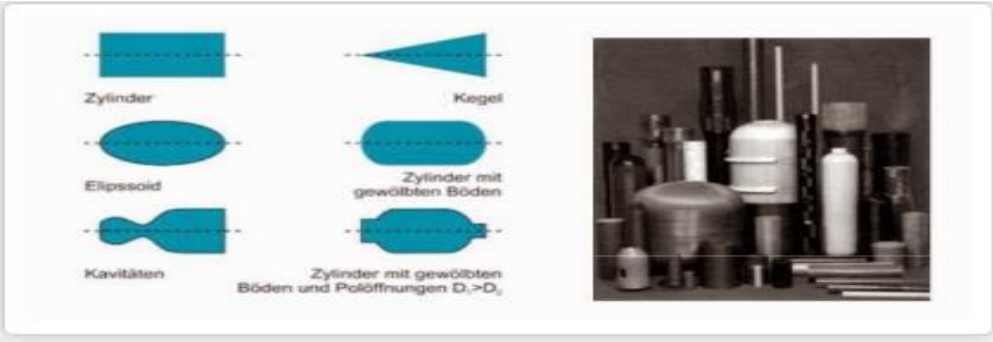
1.4.4.3. Filament sarma yöntemi (filament winding)

Özellikle silindirik borular, araba şaftları, uçak, su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tankları yapımında kullanılmaktadır. Sıvı ve gaz yakıtları iletiminde 700 bar'a kadar dayanıklı boru üretimi sağlamaktadır.



Şekil 1.14. Filament sarma yönteminin şekil olarak gösterimi

Filament sarma yönteminde Şekil 1.14.'de görüldüğü gibi fiber reçine ile ıslatıldıktan sonra makaradan çekilerek merdane üzerine istenilen açı ile sarılmaktadır. Farklı açılarda farklı katlar farklı mekanik özellikler elde etmemizi sağlar. Yeteri kat sarılmasını müteakip katmanlar sertleşir ve ardından döner kalıp ayrılır. Şekil 1.15.'de filament sarma yöntemlerinde elde edebilecek geometriler görülmektedir.



Şekil 1.15. Filament sarma yönteminde elde edilebilecek geometriler.

Bu yöntemde sürekli fiberler ve sıvı termosetler reçineler kullanılır. Fiberlerden cam, karbon ve aramid fiberler kullanılır. Maliyeti düşük olduğu için en çok tercih edilen ise cam lifleridir. Epoksi, polyester ve viniylester reçineler kullanılabilir. Maliyeti düşük olduğundan en çok kullanılan kombinasyon cam lifi ile polyester reçinedir.

Basınçlı kaplarda ve yakıt tankları üretiminde en önemli ve en çok kullanılan yöntemdir. Bu uygulamalarda uygun fiyat-yüksek performans sağlamaktadır. Makine teçhizatı ucuzdur ve ucuz hammadde kullanımı sağlamaktadır. Seri ve büyük hacimli üretimler için olanak sağlamaktadır. Dezavantajları ise; küvet şeklinde açık yapılar için uygun değildir. 0-15^{o} gibi küçük açılarda üretimi zordur. Maksimum elyaf oranı %60'dır. Şekil 1.16.'da duroplastik filament sarma işlemi görülmektedir.



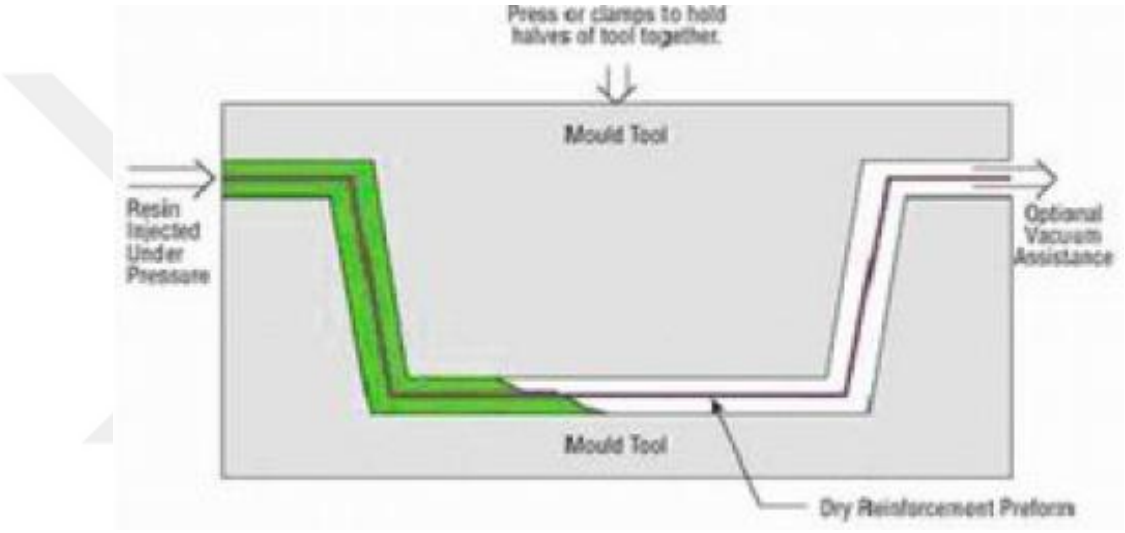
Şekil 1.16. Duroplastik filament sarma işlemi

1.4.4.3. Reçine transfer kalıplama RTM / Reçine enjeksiyonu

Bu yöntem elle yatırma yöntemine göre daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla beraber iki parçadan oluşan kalıba ihtiyaç duymaktadır. Bu yöntemde kullanılacak kalıplar çelik yerine kompozit malzeme kullanılması maliyeti düşürecektir. RTM yöntemi genellikle her iki yüzeyinde düzgün olması istendiği durumlarda kullanılır.

Bu yöntemde kumaş, keçe veya her ikisinin kombinasyonu kullanılabilir. Şekil 1.17.'de görüldüğü gibi takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaflar matris içinde geç çözünen

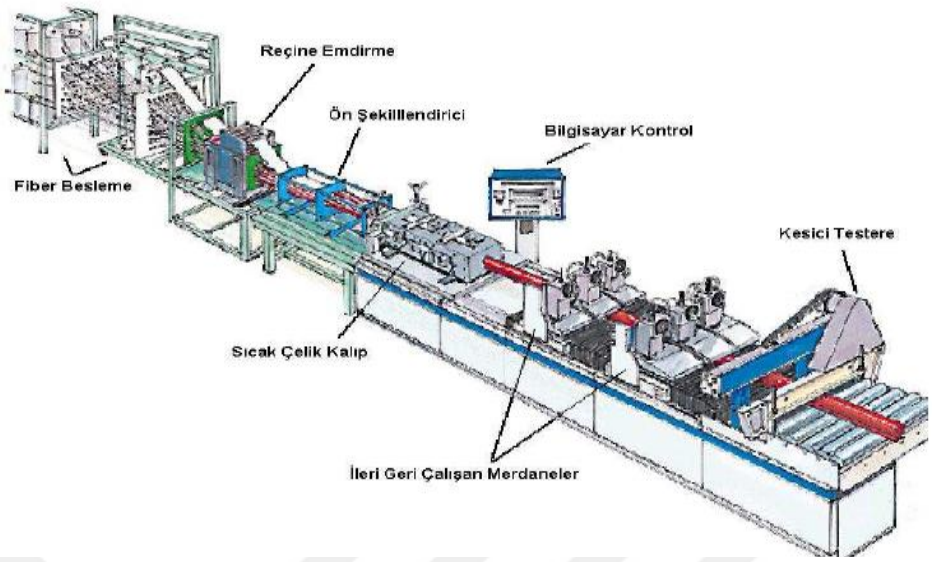
reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu farklı sıcaklıklarda uygulanabilir. Soğuk uygulanacağı gibi 80ºC'ye kadar ısıtılan kaplarda kullanılabilir. Bu yöntemde vakum kullanılarak içerdeki hava dışarı çıkarılır ve reçine elyaf içerisine iyi nüfuz ettirilmesi sağlanır. Kapalı kalıp kullanılması zararlı oluşabilecek gazların dışarı verilmesini engeller ve sağlıklı çalışma ortamı sağlar ayrıca gözeneksiz bir yüzey elde edilebilir. Uçaklar ve yarış arabalarının bazı parçaları da bu yöntemle elde edilmektedir.



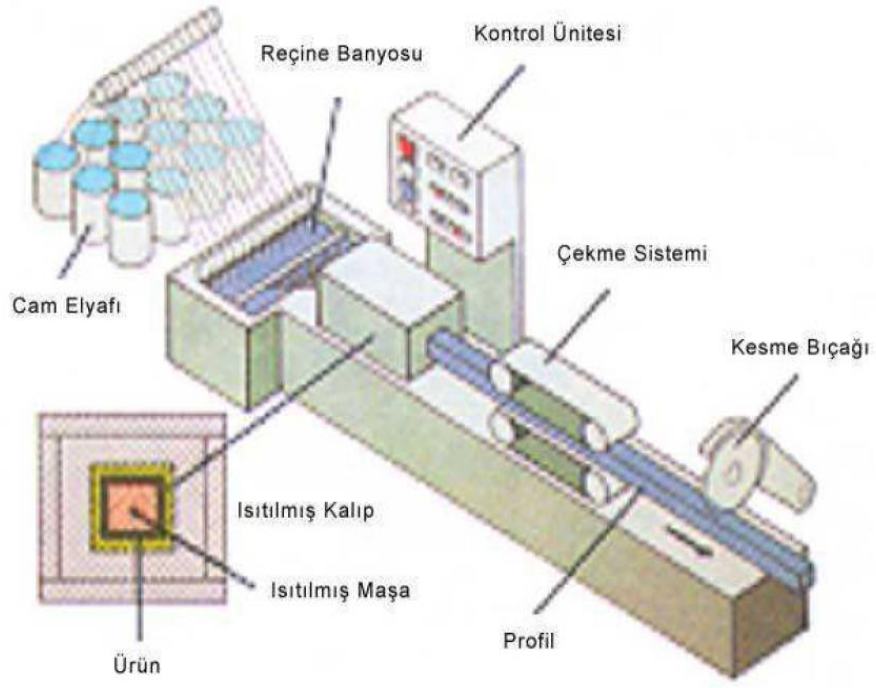
Şekil 1.17. RTM yöntemi

1.4.4.4. Profil çekme/ Pultruzyon (pultrusion)

Şekil 1.18. ve 1.19.'da görüldüğü gibi reçine banyosundan geçirilen sürekli elyaflar krom kaplanmış parlak çelikten yapılma ve 120-150ºC' ye kadar ısıtılmış kalıplarda şekillendirilir ve sertleştirilmeye bırakılır. Seri üretim için uygun bir metottur. Sürekli sabit kesitli parça üretimini düşük maliyette gerçekleştirebilir. Takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet sağlayabilir. Bunun sebebi sürekli elyaf kullanılmasıdır. Enine yükleri taşıyabilmeleri için özel dokumalar kullanmak gerekir dolayı takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir.



Şekil 1.18. Profil çekme yöntemi (Arıcasoy,2006)



Şekil 1.19. Profil çekme yöntemi (Arıcasoy,2006)

1.4.4.5. Hazır kalıplama / Compression molding (SMC, BMC)

Cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır malzemelerin sıcak pres kalıplarda ürüne dönüştürülme işlemleridir.

Diğer üretim tekniklerinin imkan vermediği karmaşık ve komplike şekillerin üretilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzüne de şekil verme imkanı sağlar. Bu yöntemin dezavantajı ise kalıplar metal olduğu için kalıp maliyeti yüksektir. Büyük ürünler için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç duyulur.

- **Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites)**

SMC takviye malzemesi olarak kırpılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır Sürekli lifler, 25-50 mm kırpılmış olarak kullanılırlar. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm. kalınlığında üretilir

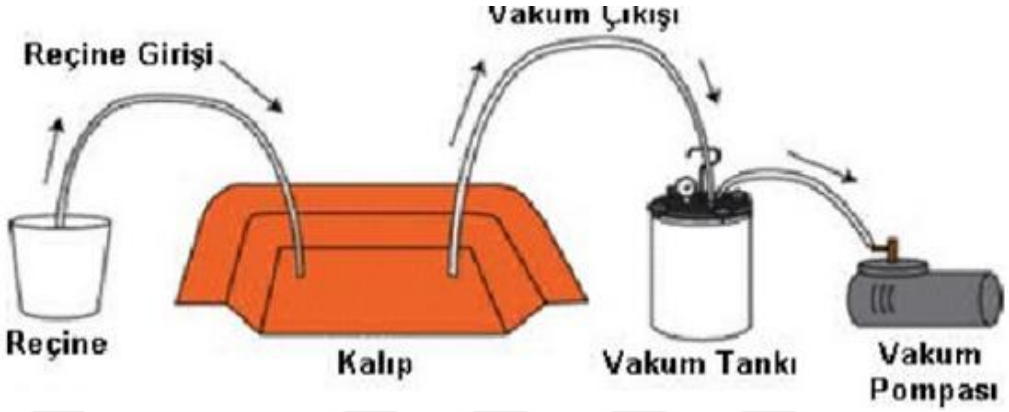
- **Hazır kalıplama hamuru / BMC (bulk moulding composites)**

BMC takviye malzemesi olarak kırpılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir. Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine elyaf karışımı dışarıda elde edilir ve basınç adlında kalıpların içine enjekte edilir. Bu yöntem sadece düşük viskozitedeki termosetler için uygundur. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar bir çok ürün bu yöntemle üretilebilmektedir.

1.4.4.6. Vakum infüzyon yöntemi

Vakum infüzyon yöntemi 1980'li yıllardan itibaren farklı sanayi dallarında kullanılmaya başlanmış ve günümüzde ise yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Çoğu zamanda karmaşık yapıların üretilmesi içinde kullanılan bu yöntem prensip olarak takviye malzemesine 1 barlık vakum altında reçine emdirilmesi ve kürlenmeye bırakılması şeklinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde reçinenin viskozitesi önem kazanmaktadır. Sistemde dar aralıklar veya uzun reçine akış yolları mevcutsa reçine emdirme kısa sürede gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

İnfüzyon yöntemi Şekil 1.20.'de görüldüğü gibi dört bölümden oluşmaktadır. Vakum pompası, vakum tankı, reçine ve kalıptır.



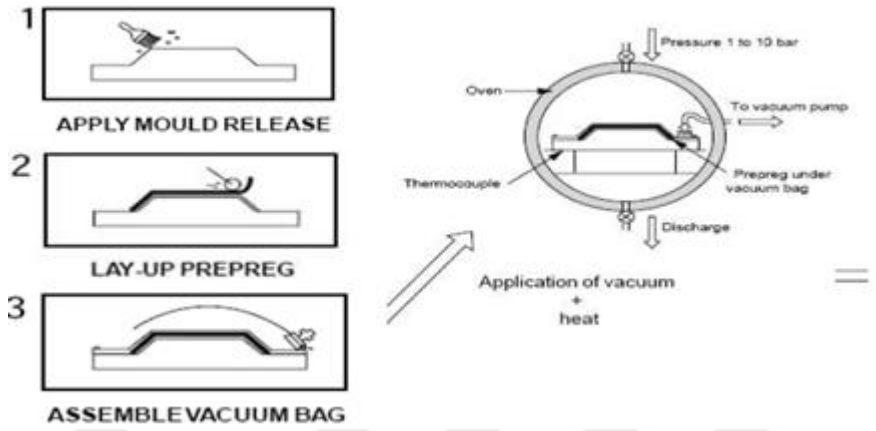
Şekil 1.20. Vakum infüzyon yöntemi

%70 elyaf ve %30 reçine kullanımına olanak vererek daha sağlam ve daha uzun ömürlü malzeme imalat imkanı sağlamaktadır. Malzeme kullanımı tutarlıdır. El yatırmasındaki gibi insan faktörü azalmıştır. Reçine homojen olarak dağılacağından, reçine birikmeleri ve elyaf katlanmaları meydana gelmeyecektir. Kapalı bir sistem olduğu için üretim sırasında yüzeylerden çıkacak olan zehirli gaz ortama yayılamayacaktır. Kalıp ve üretim maliyeti düşüktür. Tek taraflı kalıp kullanımı yeterli olacaktır. Dezavantajları ise; düşük viskoziteye sahip reçineye ihtiyaç duyması mekanik özellikleri olumsuz olarak etkileyecektir. Üretim sonrası reçineyle ıslanmamış bölgeler kalabilir bu durum da pahalı atık malzeme oluşturacaktır. Üretimi nispeten karışıktır.

1.4.4.6. Otoklav/ Autoclive bonding

Termoset kompozit malzemelerin performansı elyaf/reçine oranının arttırılması ve malzeme içerisinde hava boşluğunun giderilmesi ile sağlanacaktır. Bu durumda yüksek ısı ve basınçla sağlanmaktadır. Vakum infüzyon yönteminde bu durum sınırlı kalmaktadır. Özellikle vakumda 1 bar basınca ulaşılabilmektedir. 1 bar basıncın üzerine çıkabilmemiz için dış basınç sağlanmalıdır. Bu yöntemde ise dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin bulunduğu kaba verilmesi ile sağlanır.

Diğer yöntemlere göre daha uzun sürer ve daha pahalıdır. Şekil 1.21.'de otoklav yöntemi görünmektedir



Şekil 1.21. Otoklav Yöntemi

1.5. Balistik Koruyucular

1.5.1. Balistik nedir ?

Atış bilimi olarak da adlandırılan balistik; merminin silahta ateşlenmesi ile başlayan ve hedefe ulaşması ile tamamlanan safhaları incelemektedir. Özellikle bu işlemler gerçekleşirken merminin itme kuvveti, mermiye uçuş süresince etki eden kuvvetler ve çarpmanın etkisini kapsamaktadır.

Balistik üç aşama da incelenmektedir;

İç Balistik; merminin silahtaki veya tesir sahasındaki hareketini inceler.

Dış Balistik; merminin uçuş sırasındaki hareketini inceler.

Terminal Balistik; merminin hedef üzerindeki etkisini inceler.

Bu bölümlerin her biri bir önceki ile sıkı bir irtibat halindedir.

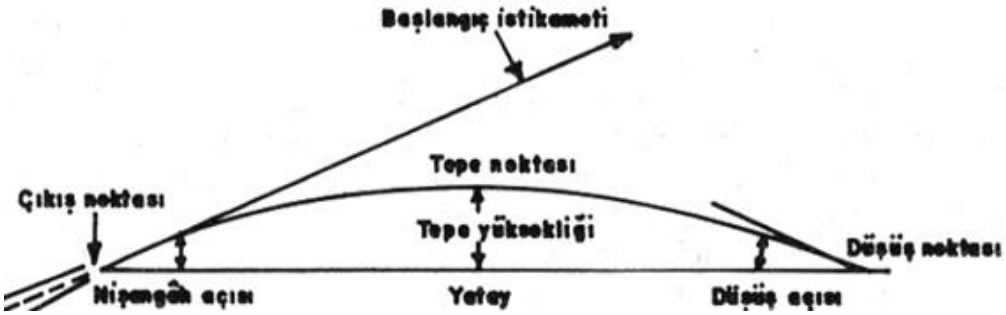
a) İç balistik

Bu bölümde barut gazının genişlemesi ile ortaya çıkan enerji ve bu enerjinin kontrolünü inceler. Barut gazının genişlemesi ile beraber silah içerisinde bir basınç meydana gelir. Barutun meydana getirdiği gaz basıncı yanma suretiyle artar. Gaz basıncının en büyük sınırının mermi namluyu terk ettiği ana denk getirilmesi istenir. Bu basınç mermi ile namlu arasındaki sürtünmeyi ve merminin ataletini yenmesi ile mermi harekete geçer. Merminin hareketi sonucu hacim büyürken, basınç maksimuma ulaşana kadar artar. Sonra basınç düşmeye başlar. Mermi namluyu terk ederken bu oran %10-%30 arasındadır. Genişleyen gazın bir kısmı silahın diğer tarafına yönlendirilerek atılması sağlanır ve böylece silahı etkileyen kuvvetler dengede kalır.

İç balistiğin önemli konularından birisi iç gerilmelerdir diğeri ise namlu içerisindeki yiv ve setlerdir. Yiv ve setler namlu içerisinde bulunan girinti ve çıkıntılardır. Namlu gerisinden ucuna kadar devam eder ve merminin dönerek ve takla atmadan ilerlemesini sağlarken aynı zamanda tahrip gücünü de arttırır. Gidiş mesafesini arttırır. Yiv; " namlunun iç kısmında 0.075 mm ile 0.01 mm derinlikte helezon şeklinde açılan girintilere" denir. Set; "yivlere karşı namlunun iç kısmında bulunan çıkıntılara" denir.

b) Dış balistik

Bu bölüm merminin namlu ağzından ayrılması ile hedefe ulaşana kadar geçen süredeki merminin maruz kalacağı atalet, yer çekimi ve hava tarafından tesir eden aerodinamik kuvvetleri incelemektedir. Bu etkilerin bilinmesi ile merminin izleyeceği yol kolayca bulunabilir. Mermi pozisyonunu değiştirmeden ve takla atmadan hareket ettiğinde hedefe doğru istikamette ilerleyecektir. Bu durumun sağlanması için iki çeşit denge sistemi geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi kuyruk dengeli diğeri ise dönü dengesidir.



Şekil 1.22. Havasız bir ortamda mermi uçuş yolu

Şekil 1.22.'de havasız bir ortamda mermi uçuş yolu görünmektedir. Merminin gerçek uçuş yoluna etki eden birçok faktörler vardır. Bu faktörler ;

- Başlangıç istikameti
- İlk hız
- Yer çekim kuvveti
- Hava direnci
- Rüzgar
- Tabii yan (dönü dengeli mermilerde merminin dönü istikametinde yanca sapmasıdır)

c) Terminal balistik

Mermi çekirdeğinin hedefe çarpmasından durana kadar geçen süreyi ve oluşan tahribatı inceler. Balistiğin bu dalı diğer dallarına göre daha az gelişme göstermiştir. Bu durumun en büyük sebebi ise temel bilgilere ulaşma güçlüğü yaşanmasıdır. Radyografi ve yüksek sürat fotoğrafçılığının gelişmesi bu dalın gelişmesine nispeten yardımcı olmuştur. Bir merminin hedefte oluşturacağı etkiler aşağıda sıralanmıştır;

- Delme ve sızma ile meydana gelen parçalanma
- Bomba, roket, harp başlığı, el bombası kullanılması durumunda oluşan parçalar ve daha küçük parçaların hareketleri sonucu meydana gelen tahribat
- Büyük miktarda enerjinin ani olarak serbest bırakılması sonucu meydana gelen infilak etkisi
- Yüksek süratli sarsıntının meydana getirdiği yıkma etkisi
- Radyasyon sonucu ortaya çıkan ısı etkisi

- İnfilak ve yangın bombalarının meydana getirdiği yangınlar
- Duman ve zehirli gazların meydana getirdiği kimyasal etki ile
- Bakteriyoloji etkisiyle
- Radyoloji etkisiyle

1.5.2. Balistik koruyucu malzemeler

Kolluk kuvvetleri ve askeri zırhlar genel itibari ile yumuşak ve sert zırhlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Polis ve kolluk kuvvetlerinin kullanmış olduğu yumuşak zırhlar esnektir, vücudun yapısına uyum sağlarlar ve gizli olarak kıyafetin içine giyilebilecek şekilde tasarlanmışlardır. Sert zırhlar ise vücudun şeklini almazlar genellikle daha önceden kalıplanmışlardır bunlara en güzel örnek balistik kompozit başlıklardır.

1.5.2.1. Sert zırh

Polis, askeri birlikler ve kolluk kuvvetleri için kullanılan sert zırhlar genellikle yumuşak zırha ek olarak kullanılmaktadır. Bu zırhlar genellikle gizlenebilir şekilde giyilemezler. Sert zırh, çelik veya titanyum paneller, diğer tip materyallerle desteklenen seramik ve kalıplı çapraz katlanmış HMPE balistik plakaları içerir. Önde ve arkadan hayati organları ve bazı yeleklerde boyun ve kasık bölgesini kaplayan beş ek parçayı kapsayacak şekilde askeri yeleklere yerleştirilmiş en az iki sert zırh bulunabilir. Bununla beraber birçok askeri ve sivil uygulamalarda kullanılmaktadır.

Özellikle sert zırh olarak seramik zırhlar son yıllarda birçok alanda kullanmakta ve sürekli gelişmektedir. Balistik koruyucularda sert koruyucu olarak Al_2O_3 (Alumina), SiC (Silikon Karbit) ve B_4C (Borkarbür) hammaddeli seramik plakalar kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu ve yüksek sertlikdeki seramik plakalar tercih sebebidir. Sertliği mukavemetini olumlu yönde etkilerken, yoğunluğu fazla olan plakalar ise ağır olacağı için tercih edilememektedir. Seramiğin performansını etkileyen bir başka etkende, seramiğin imalatı sırasında sinterleme yapılırken içinde

kalan hava boşluklarıdır. Bu hava boşluklarının fazla olması balistik performansı olumsuz etkilemektedir (Özaydın, 1999).

1.5.2.2. Yumuşak zırh

Birçok ülkelerde kolluk kuvvetleri yelek adı verilen esnek ve koruyucu bir iç giyim kullanırlar. Bu yelekler tabanca mermilerine karşı koruma sağlarken tüfek mermilerine karşı yeterli korumalara sahip değildirler. Bu yelekler vücudun tamamını değil sadece hayati organları korumaktadırlar. İlk yumuşak zırh olarak bilinen yüksek performanslı balistik aramid liflere dayanan esnek koruyucu yelekler 1970'lerin sonlarında ABD polis teşkilatı tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

1980'lerin ortalarına gelindiğinde yüksek yoğunluklu polietilenin kullanılması ile beraber balistik yelekler daha hafif ve daha konforlu hali almıştır. Çeşitli teknikler ile dokuma haline getirilen lifler; kat kat, üst üste koyulup dikilmek sureti ile veya reçine ile ısıl işlemler sonucunda kompozit yapı haline getirilerek balistik koruyucu olarak kullanılırlar. Balistik koruyucu yelekler, balistik koruyucu başlıklar, bomba eldiveni, bomba battaniyesi de bu gruba girmektedir.

- **Balistik koruyucu yelekler**



Şekil 1.23. Balistik koruyucu yelek

Balistik yelekler; askeri personel, polis, güvenlik kuvvetlerince ani çıkan tehlikelere karşı korunmak amacı ile kullanılmaktadır. Balistik yeleğin en üst kısmında aşınmaya ve sıvıya dayanıklı, kamuflaj desenli kondura kumaş dan dikilmektedir. Ön ve arkada balistik koruyucu plaka için cep bulunmaktadır. Ayrıca talep edildiğinde kasık koruyucu da eklenebilmektedir. Ön bölgesinde şarjör ve telsiz cepleri mevcuttur. Balistik koruyucu yeleklerde kullanılan plakalar aramid plaka veya yüksek yoğunluklu polietilen plakalar olacaktır. Kullanılan plaka koruma seviyesini belirler aramid malzemeden yapılan soft kısımlar kullanıldığı takdirde NIJ standartları kapsamında IIIA koruma sağlayacaktır. Başka bir söyleyişle; tabanca ve makinalı tabanca mühimmatlarına karşı koruma sağlayacaktır. Polietilenden yapılan insört plaka kullanıldığı takdirde III seviyesi koruma sağlayacaktır. Bir başka söylemle piyade tüfekleri mermisine karşı koruma sağlayacaktır. Bununla beraber plaka üzerine bor karbür gibi seramik plakalarda yapıştırılarak koruma seviyesi yükseltilebilmektedir.

Yelekler kullanılan standartlar gereği en çok kasık koruyucu ağırlıkları hariç olmak üzere 4 kg olacaktır. Kasık koruyucular ise 0.6 kg ağırlığını aşmayacaktır. Asya ülkelerinin belirlemiş olduğu standartlar dahilinde orta beden yelek 6.3 kg ve büyük beden yelek toplamda 6.6 kg'ı aşmayacaktır. Yelekler küçük, orta ve büyük olmak üzere üç beden üretilmektedir. Yelekler giyildiğinde vücuda oturması gerekir. Giyildiğinde bol gelen veya sarkan yelekler vücuda tam koruma sağlayamamaktadır. Şekil 1.23.'de örnek bir koruyucu yelek görünmektedir.



Şekil 1.24. Balistik koruyucu plakası

- **Balistik koruyucu plakası**

Şekil 1.24.'de görülmekte olan balistik plakalar ülkemizde de kullanımı kabul gören NIJ standartları dahilinde aramid kullanıldığı takdirde IIIA, yüksek yoğunluklu polietilen ile III ve ilave seramik kaplamalar ile IV seviyesinde zırh delici mermilere karşıda koruma sağlayabilmektedir. Balistik koruyucu yelek plaka gözlerine ilave olarak yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Balistik koruyucu plakalar boyut ve ağırlık v.b. yönden üç adet farklı bölge kapsamında teknik şartnameleri hazırlanmıştır. Bu bölgeler; Pasifik Kıyısı Ülkeler, Avrupa ve Asya'dır.

Balistik plakalar, Pasifik Kıyı Ülkeleri standardına göre 300x250mm ebatlarında olacak ve kalınlığı 18mm yi geçmeyecektir. Her bitmiş plaka ağırlığı 1.6 kg'ı geçmeyecektir.

Avrupa standartları kapsamında; kavisli ön plaka 250x300 mm, düz arka plaka 250x300 mm, kasık plakası 150x250 mm, yaka plakası 200x165 mm boyutlarında olması gerekmektedir. Plaka kalınlıkları maksimum 22mm olacaktır. Kullanılan malzemenin alansal yoğunluğu 17 ila 20 kg/m^2 olacaktır.

Asya ülkelerinin kullandığı standartlar dahilinde; her plaka 205x254 mm boyutlarında olacaktır. Plakaların maksimum ağırlığı 1.5 kg olacaktır.

- **Balistik koruyucu iç yelekler**

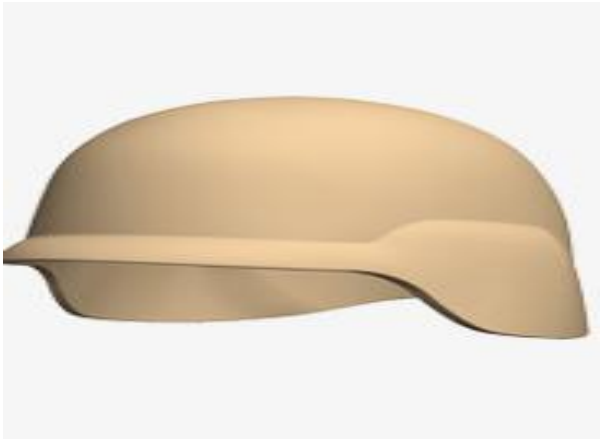
Şekil 1.25.'de görünmekte olan balistik koruyucu iç yelekler gömlek v.b. kıyafet altına giyilerek kullanıcının balistik koruma altında olduğunun fark edilmemesi amacıyla tasarlanmıştır. Kolluk kuvvetleri, askeri personel, VİP ler, üst kademe yöneticiler, değerli malzeme taşıyan kişiler tarafından kullanılmaktadır. Balistik koruyucu iç yelekler NIJ II seviyesinde koruma sağlamaktadır. Firmalara göre değişiklik göstermesine rağmen 5 beden olarak üretilmektedir. Ağırlıkları ürün boyutuna göre 1200gr ila 1600 gr arasında değişiklik göstermektedir.



Şekil 1.25. Balistik koruyucu iç yelekle

- **Balistik koruyucu başlıklar**

Balistik koruyucu başlıklar muharebe ortamında en az balistik yelekler kadar önemlidir. Balistik yeleklerde olduğu gibi çeşitli kompozitlerden üretilmektedir. Çoğunlukla aramid ve yüksek yoğunluklu polietilenden üretilmektedir. Balistik başlık üretiminde başlığın kendisi kadar çene kayışı ve içlik sistemleri de önemlidir. Bu sistemler kullanıcının başında oluşabilecek şok etkisini absorbe etmede önemli rol oynamaktadır.



Şekil 1.26. Balistik koruyucu başlık (URL-1,2018)

Balistik koruyucu başlık 4 boyutta üretilmektedir. Şarapnel V50 testleri ve NIJ standartları dahilinde testlere tabi tutulmaktadır. Ağırlıkları boyutları dahilinde 1417gr ila 1615 gr aralığında değişmektedir.

- **Bomba imha kıyafetleri**

Şekil 1.27.'de görünmekte olan bomba imha kıyafeti bu işte çalışan personele yüksek koruma sağlamaktadır. Ürün nihai haline ulaştıktan sonra Şarapnel V50 testine tabi tutulmaktadır. Kıyafet de ilave olarak sert zırh ilave edebilmek için cepler de mevcuttur.



Şekil 1.27. Bomba İmha Kıyafeti

- **Açılır kalkan çanta**

Şekil 1.28.'de görülmekte olan açılır kalkan çanta sivil ve askeri amaçlı koruma sağlamaktadır. Özellikle çanta şeklinde olmasından dolayı ve hızlı açılabilir olması personelin koruma altında olduğunu hissettirmeden ani çıkacak tehlikelere karşı kullanılabilmektedir. Çoğunlukla seviye IIIA koruma sağlamaktadır.



Şekil 1.28. Açılır kalkan çanta

- **Bomba bidonu**

Şekil 1.29.'da görülmekte olan bomba bidonunun özellikle gerçek bir çöp bidonundan ayırt edilememesi gerekmektedir. Özellikle son dönemlerde meydana gelen terör eylemleri incelendiğinde şehir merkezlerinde el yapımı patlayıcı ve bombayı çöp bidonlarına bırakabilmektedirler. Patlayıcını etkilerinden bomba bidonu maksimum koruma sağlayacak ve blast etkisini azaltacaktır.



Şekil 1.29. Bomba bidonu

- **Bomba battaniyesi**

Şekil 1.30.'da görülmekte olan bomba battaniyesi binalara ve insanlara gelebilecek şarapnel etkisinden korunmak amaçlı üretilmiştir.

Bomba olduğundan şüphelenilen malzemelerin üzeri kapatılarak şarapnel ve blast etkisi en aza indirilir. Genellikle 120x120 cm ve 150x150 cm boyutlarında üretilmektedir.



Şekil 1.30. Bomba battaniyesi

- **Balistik perde**

Şekil 1.31.'de görülmekte olan ev, ofislerde ve özellikle stratejik yerlerde kullanılmaktadır. Mermi ve şarapnel etkisine karşı koruma sağlar.



Şekil 1.31. Balistik perde

- **Helikopter taban zırhı**

Helikopterler çoğu zaman taarruz ederken, personel indirme ve bindirme işlemlerinde yere çok yaklaşırlar veya yere inmek durumunda kalırlar. Bu durumlarda hafif silahlar tarafından isabet alabilirler veya mayın dedektörleri tarafından kontrol edilmemiş bölgeye inmek zorunda kaldığında mayın saldırısına maruz kalabilirler. Dolayısıyla hafif silahlara karşı ve şarapnel etkisine karşı korumak için helikopterlerin tabanına yüksek yoğunluklu polietilen kullanarak seviye III koruma sağlanabilir. Şekil 1.32.'de tabanı zırhlandırılmış helikopter görünmektedir.



Şekil 1.32. Helikopterlerde taban zırhı kullanılması

- **Araç zırh plakaları**

Araçların tehdide açık taraflarının zırhlandırılmasında, araçların ağırlığını fazla arttırmadan ve maksimum koruma sağlayacak kompozit plakalar kullanılmaktadır. Askeri araçlar çoğunlukla zırhlıdır. Zırhlı olmayan hafif askeri araçlarda ve sivil araçlarda tatbik edilmektedir. Şekil 1.33.'de zırhlandırılmış sivil araç görünmektedir.



Şekil 1.33. Zırhlandırılmış araç

- **Zırhlı nöbet kulübeleri**

Sertleştirilmiş zırh çeliği veya gereksinim duyulduğunda ileri teknoloji kompozit malzemelerden üretilmektedir. Özellikle meskün mahallerde bulunan polis ve askeri nöbet kulübelerinde kullanılmaktadır. Şekil 1.34.'de örnek bir zırhlı nöbet kulübesi görünmektedir.



Şekil 1.34. Zırhlı nöbet kulübeleri

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Lee ve ark. (2003), silika partikülleri ihtiva eden yoğun sıvı akışkanın (Shear Thickening Fluids) (STF) aramid (kevlar) dokuma kumasına emdirilmesi ile oluşan yeni kompozit malzemenin balistik dayanım performansını incelenmiştir Yoğun sıvı akışkanının emdirildiği kevlar kumaş esnekliğinden herahangi bir şey kaybetmemiştir ve balistik dayanımında artmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Balistik test sonucunda 244 m/s de mermi etkisine karşı balistik dayanımında olumlu performans gözlemlenmiştir.

Ceyhun (2003), yapılan çalışmada düşük ve yüksek hızlı darbelere karşı tabakalı kompozitlerin göstermiş olduğu davranışlar incelenmiştir. Darbe türünün belirlenmesinde hasar türü ve darbe enerjisinin önemi açıklanmıştır.

Temiz (2005), farklı yapılarda sert ve yumuşak bireysel koruyucular yapılmıştır. Bu bireysel koruyucular balistik testlere tabi tutulmuştur. Yumuşak balistik koruyucu yapılar para-aramid, %40 PBI (polibenzimidazol)- %60 para-aramid kumaslar ve yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) non-woven yapılardan elde edilmistir. Sert balistik koruyucu yapılar ise epoksi reçinenin para-aramid kumaslar ve cam lifi non-woven yüzeyler ile sertleştirilmesi sonucu elde edilmiştir. Referans olarak ise kuvvetlendirici kullanılmamış tabaka kullanılmıştır. Elde edilen yumuşak balistik koruyucu yapılara iki farklı hızda, sert balistik koruyucu yapılara ise tek hızda atışlar yapılmıştır. Atışlar sonucunda para-aramid kumaşlar ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) non-woven yapılardan geliştirilen yumuşak balistik koruyucu yapıların kullanılan mermilere karşı uygun koruma sağladığı, sert balistik koruyucu yapıların ise uygun koruma sağlayamadığı görülmüştür.

Tan ve ark. (2003), düz, yarıküre, oval ve konik uçlu mermiler bezayağı örgülü twaron kumaşı üzerinde testlere tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda konik ve oval uçlu mermilerde merminin doku içerisinde kayarak ilerlediğini çok az sayıda

iplik kopuşu meydana geldiğini tespit etmişlerdir. V50, parçacığın hedefe dik konumda çarpması sonucu hedefi %50 delinme veya delinmeme ihtimalini gösteren hız olarak tanımlanmaktadır. Konik ve oval uçlu mermilerde yapılan testlerde sırasıyla 58 ve 76 m/s gibi düşük V50 değeri bulunmuştur. Düz uçlu mermilerde 100 m/s V50 değeri elde edilmiştir ve kumaşı kalınlık boyunca kesmeye zorlamıştır. Bununla birlikte en yüksek sayıda lif kopuşu, yuvarlatılmış uçlu mermi kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde meydana geldiğinden, bu malzeme için 159 m/s gibi yüksek V50 değeri elde edilmiştir

Novotny ve ark. (2007), Kevlar® 129 kumaşlardan oluşturulan tek katmanlı ve çok katmanlı balistik zırh sistemlerinin erken darbe davranışlarını FEA tabanlı analitik TEXIM™ programı kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada modelleme kullanarak deformasyon bölgesi incelenmeden farklı katmanlardan oluşturulan kumaşın katmanlar ile enerji absorbe bağlantısı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda katmanlar arttıkça balistik etkinlikde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Zırh sistemine eklenen her bir kumaş katmanının balistik verimliliğinde belirgin bir düşüş sağladığı gözlemlenmiştir.

Candan (2007), çalışmasında preslenen ve preslenmeden üretilen aynı katman sayısına sahip yüksek yoğunluklu polietilen (UHMW-PE) zırh plakalarının dünya standartlarına uygun olarak zırhlara uygulanan test yöntem ve sonuçları ile hasar bölgesinin görüntülenmesinin terminal balistik açıdan incelemiştir. Preslenerek üretilen plakanın V_{ort} değeri preslenmeden üretilen plakanın V_{ort} değerinden % 22 daha büyüktür. Preslenerek üretilen zırh tabakasında elde edilen ortalama çöküntü değeri, preslenmeden elde edilen zırh tabakasındaki çöküntü değerinden % 65 daha küçüktür. Preslenerek üretilen plakanın 23 mm daha ince olduğu ve 70 gr daha hafif olduğu da tespit edilmiştir.

Khojin (2007), darbe altında kevlar ve karbon fiber kompozit sandviçin farklı sıcaklıklarda terminal değişimi üzerine yapılan araştırma sonuçlarını vermişlerdir. Yapılan testler; eğme gerilmesi, kayma gerilmesi, maksimum enerji soğurması, soğuma enerjisi ve moment parametresi (AEMP), performans parametresi ve darbe

sonrası sıkıştırma mukavemetini bulmaya yönelik yapılmaktadır. Test malzemesi üzerine -50 ºC ile 120 ºC arasında düşük hız darbe enerjileri 15 Joul, 25 Joul ve 45 Joul uygulanmaktadır. Test yapılan kompozit malzemenin petek merkezinde üretan matris malzemesi vakumlama (vakum bagging) yöntemi ile doldurulmuştur. Test numunesi sandviç şeklindedir. Dört katlı kevlar ve karbon yan tabakası ile çevrilmiştir. Sonuçlar bu kompozit malzemenin darbe ile birlikte farklı sıcaklıklarda farklı performans gösterdiğini belirtmektedir.

Caprino (2007), çalışmasında farklı kalınlıklarda 4 adet epoksi/grafit dikiş katmanı yüksek hızlı darbe testine maruz bırakılmıştır. Mühimmatların biri 12.7 mm lik birisi 20 mm lik 2 tip çelik küre şekilli mühimmat kullanılmıştır. Atışlar 129 m/s ve 65 m/s hızlarla yapılmıştır. Yapılan testlerde delinme az sayıdaki testlerde gözlenmiş ve diğer testlerde kurşun mühimmatının geri teptiği ve delinme olmadığı gözlenmiştir. Beklendiği gibi delinme enerjisi panel kalınlığı ve mermi çapının artmasıyla artmaktadır. Delinme enerjisini panel kalınlığı ve mermi çapının fonksiyonu olarak önceden hesaplayabilmek için Reid ve Wen modeli ile Cantwell ve Morton modeli kullanılmıştır. Cantwell ve Morton modeli yeni bir hipotez yapılarak gerektiği gibi düzenlenmiştir. Bu hipotez daha kolay bir formüle sahiptir ve bu formülde sadece 1 değişmezin (constant) deneyle bulunması gerekmektedir. Panel kalınlığının (teste tutulan kompozit malzeme kalınlığının) delinme enerjisine etkisi verilen modeller ile iyi şekilde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplarla deneyler çok yakın değerler vermektedir. Aynı durum geri tepen mermi için de geçerlidir. Fakat sadece Cantwell ve Morton modeli mermi çapının delinme enerjisine etkisini iyi hesaplayabilmiştir. Reid ve Wen modeli ölçülen değerden %50 daha fazla değerler bulmuştur. Katmanlaşmanın bozulması ultrasonik c-scan ile çarpma-yankı (pulseecho) modunda ölçülmüştür. Panel kalınlığı ve mermi çapı ne olursa olsun, panelin emdiği enerji ile katmanlaşmanın bozulma genişlemesi arasında doğrusal bir ilişkisinin olduğu bulunmuştur. Bu korelasyon kalın katmanlarda, muhtemelen katmanların çöküntü modlarının yeterince yüksek kalınlıklarda, farklı olmasından dolayı çalışmamaktadır.

Yavaş (2009), farklı takviye malzemesi ile farklı katmanlarda oluşturulan balistik koruyucuların hafif silahlara karşı balistik dayanımını test kritik takviye malzemesi katlarını tespit etmiştir. Polietilen ve kevlar kumaşlarından ürettiği hibrit kompozit plakanın preslenmeden kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Özşahin ve Tolun (2010), alüminyum levhaların üzeri kaplanarak ve kompozit ilave edilerek balistik testlere tabi tutulmuştur. Bu yapılara, ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) lifli kompozitlerden üretilen arka destek katmanı ilave edilmiştir. Her iki yöntemde de balistik performans artışının birbirine yakın düzeyde olduğu görülmüştür.

Sapagnuola ve ark. (2011), bazalt takviye elemanlarının balistikde altarnatif olarak kullanılılabilirliği araştırılmıştır. Farklı dokuma özelliklerine sahip bazalt kumaşlar vakum infüzyon yöntemi ile epoksi reçine emdirilerek plakalar elde edilmiştir. V_{50} parçacık testine tabi tutulmuş ve aynı yöntem ile üretilen E-cam ile kıyaslanmıştır. Twill ve plain dokumaya sahip bazalt kumaşlardan üretilen plakalar E-cama göre ortalama %10 daha iyi sonuç verirken harness satin dokuma bazalt kumaşlardan üretilen plaka %9 daha düşük değer vermiştir.

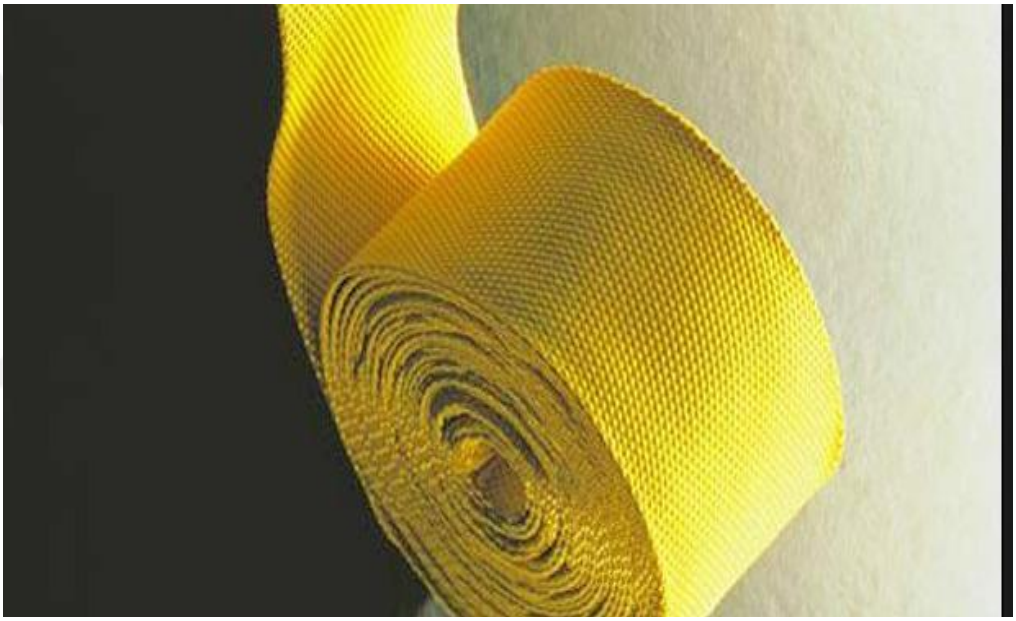
Yanen ve Solmaz (2015), farklı katmanlarda, farklı takviye elemanları ve farklı kalınlıklarda oluşturulan cam fiber/aramid fiber/karbon fiber tabakalı kompozit plakaların balistik deneyleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Bu tabakalar elle yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu çalışmada plain ve twill dokuma kumaşlar kullanılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde balistik testlerde en başarılı olan [Cam(45°)10/Aramid(Plain)10/Karbon(45°)10] dizilimine sahip en kalın numunenin değil, [Cam(Twill)10/Aramid(Plain)10/Karbon(Twill)10] dizilimli olan numunesi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde twill dokuma yapısına sahip kumaşların balistik dayanımının daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda Aramid (kevlar), bazalt kumaş ve epoksi reçine kullanılmıştır.

3.1.1. Aramid(kevlar) Kumaş



Şekil 3.1. Aramid(Kevlar) kumaşı(Kevlar tecnical guide)

İlk olarak 1960'ların başında Dupont firması tarafından üretilen aromatik poliamit tarafından başta HT-1, ardından Nomex adıyla ticari kullanıma uygun hale getirilmiştir. 1973'te Kevlar adını almıştır.

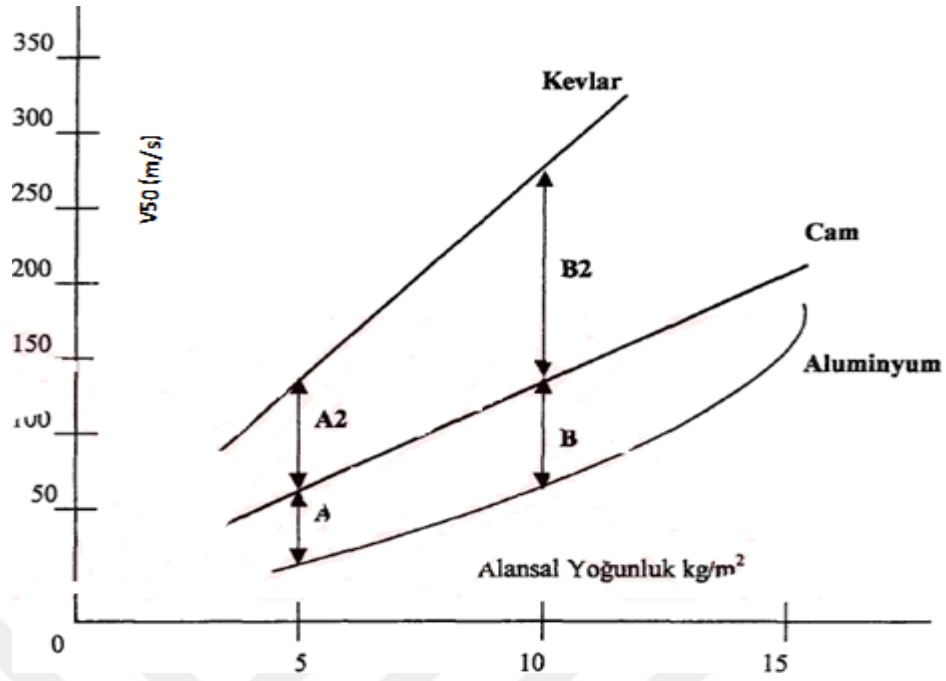
Aramid, poliamid (naylon) sınıfından bir polimerdir. Kevlar adı ile de bilinir. Çeliğe yakın bir sertliği vardır.

Aramid ismi, aromatik ve poliamit kelimelerinin birleşiminden gelir. Aramid lifi, ısıya dayanıklı olduğu gibi güçlü bir sentetik lif türüdür. Uzay araştırmaları ve

askeri amaçla, kurşun geçirmez giysi ve balistik bileşimlerinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

Aramid polimerlerin molekül zincir yapısındaki bağların en az % 85'inin aromatik halkalardan meydana gelmesi gerekir. Aramid, yüksek mukavemete ve modüle sahip naylon türevi olan ilk organik elyaftır. Yapay elyaflar arasında lifleri ısıya en dayanıklı ve kuvvetli olarak sınıflandırılır. İki tür aramid elyaf mevcuttur. Bunlar; meta aramid ve para aramid (kevlar) olarak bilinirler. Ancak yaygın olarak kullanılan türü para aramidlerdir.

Kevlar kumaşı şekil 3.1.'de de görüldüğü gibi doğal rengi sarıdır. Aramid lifleri yüksek güç/ağırlık oranına sahiptir ve yüksek mukavemete sahiptir. Yüksek esneklik modülü, yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Ateşe dayanıklı olması ile beraber 500^{o} gibi ısılarda yapısında bozulmalar başlamaktadır. Aşınma ve kesilmeye karşı yüksek dirence sahiptir. Düşük yoğunluğa sahiptir. Kevlar kompozitler, cam elyaflı kompozitlere göre %35 daha hafiftir. Yüksek kimyasal dayanımı vardır. Bununla beraber ultraviyole ışınları, tuz, klor asitlere karşı duyarlıdır ve nem almaya müsaittir. Eğilme ve bükülmelere karşı oldukça hassastır ve bu hassasiyet, düşük basma dayanımı olmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca matrisle iyi birleşmediği zaman reçine de mikroskobik çatlaklar meydana gelir, zamanla bu çatlaklardan su emişine sebep olabilir.



Şekil 3.2. V50 testi sonucunda enerji obsorbiyon oranlarının kıyaslanması (Bulut,2003)

Kompozitlerin balistik amaçlı kullanımında enerjiyi iyi absorbe etmesi şüphesiz ki önemli bir parametredir. Şekil 3.2.'de incelendiğinde alansal yoğunlukla doğru orantılı olarak tüm malzemelerin absorbe ettikleri enerji de artmaktadır. Önemli olan daha az yoğunluk da ve daha düşük ağırlık da daha fazla enerji absorbe edebilen yapılardır. Şekil 3.2.'de kevların kıyaslandığı alüminyum ve cama göre aynı alansal yoğunlukda daha fazla enerji absorbe ettiği görülmektedir.

Kevların genellikle üretilen iki çeşidi vardır. Bunlar;

- Kevlar K-29 : Araç ve birysel zırhlarda, fren balataları ve kablolar.
- Kevlar K-49 : Yüksek dayanım isteyen kablo ve halatlarda

Çizelge 3.1. Piyasada kullanılan kevlar fiberin teknik özelliklerinin kıyaslanması (Bulut,2003)

Fiber	Özgül ağırlığı	Başlangıç çekme Modülü (Gpa)		Çekme Dayanımı (Mpa)		Uzama Miktarı (%) Reçine emdirilmemiş
		Reçine Emdirilmemiş	Reçine Emdirilmiş	Reçine Emdirilmemiş	Reçine Emdirilmiş	
Kevlar 29	1.44	70.5	83	2920	3600	3.6
Kevlar 49	1.44	112.4	124	3000	3600	2.4

Çizelgel 3.1.'de görüldüğü gibi kevlar 49 ve kevlar 29 fiberlerinin kıyaslandığında balistik kullanım için önemli etken olan kopma uzaması kevlar 49 fiberi için %2.4 iken Kevlar 29 fiberi için % 3.6 olarak daha iyi sonuç vermiştir. Çalışmalarımızda kullanmış olduğumuz kumaş çeşidimiz kevlar 29 'dur.

Çalışmamızda çizelge 3.2.'de teknik özellikleri verilen 2x2 twill dokuma 300gr/m^2 kevlar 29 balistik kumaşı kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Testlerde kullanılan kevlar 29 kumaşın teknik özellikleri (URL-2,2018)

Yoğunluk (gr/cm^3)	1.44
Çekme mukavemeti (minimum) atkı ve çözgüde (Mpa)	3600
Elastikiyet modülü (Gpa)	70.5
Kopma uzaması (%)	2.4-3.6
Erime noktası (^oC)	erimez
Uygulama sıcaklığı((^oC) (maksimum)	250

3.1.2 Bazalt kumaş

Bazaltın savunma sanayi gibi uygulamalarda kullanımı çalışmaları 1980'li yıllara dayanmaktadır. İlk dönemlerde düzensiz erime ve kademeli kristalleşme sebebiyle bazalttan lif üretimi başarılı olmamıştır. 1980 yılların sonunda SSCB bu problemleri de çözerek bazalt fiberleri üretmeyi başarmıştır. İlk bazalt tesisleri Ukrayna ve Gürcistan'a açılmıştır. Şu an Rusya, Ukrayna ve Çin'de üretimi yapılmaktadır.



Şekil 3.3 Bazalt kumaş (Spagnuola ve ark.)

Yer kabuğu derinliklerinde eriyik halde bulunan bazaltlar, camsı görünüme sahip, sert ve kırılgan, koyu renkli volkanik kayalardır. Bazalt materyali içerdiği SiO_2 miktarına göre; hafif asidik, asidik ve alkali bazaltlar olarak üç grup da incelenmektedir. Global bazalt rezervleri çok yüksektir. Bu yüzden temini ucuzdur. Bazaltlar çevre dostudur. Çevre bilincinin gün geçtikçe artmasıyla, bazalta olan talep artmıştır. Metal ve asbestin yerini alabileceği de değerlendirilmektedir. Isı yalıtım yeteneği asbestin üç katıdır.

Bazalt taşının tekstil life dönüşümü camın tekstil life dönüşümüne benzerdir. Bazalt filamantleri, tek kademeli prosesle, tek komponent hammadde kullanarak gerçekleştirilir. Bazalt lifleri, cam lifleri ile kıyaslandığında; daha yüksek saflığa ve yüksek ısılarda çalışabilme özelliğine sahiptir. Bazaltın yoğunluğu 2.8-2.9 gr/cm^3

aralığındadır. Yüksek sertliğe sahiptir. Bu durum bazalta yüksek aşınma direnci performansı sağlamaktadır.

Bazalt liflerinin konsantre mineral asitlerden çok az etkilenmesi ve alkalilere karşı dayanıklı olduğundan genellikle sıcak gaz filtrelerinde destek kumaş veya sargı materyallerinde kuvvetlendirici elyaf olarak, yüksek alkali dayanıklılığı nedeniyle de çimento ve betonlarda kullanılır.

Mükemmel bir şok direncine sahiptir. Bu durum balistik de aranan özellikleden birisidir. Bazaltın yalıtım yeteneği çok yüksektir. E-camın elektrik yalıtımının yaklaşık on katı fazla yalıtım kapasitesine sahiptir. Bu yüzden yalıtım malzemelerinde rahatlıkla kullanılabilirler.

Çizelge 3.3. Bazalt elyafın diğer elyaflar ile kıyaslanması (URL-3,2018)

	Bazalt	E Camı	S Camı	Aramid	Karbon
Çekme Mukavemeti, MPa	3.000-4.840	3.100-3.800	4.020-4.650	2.900-3.450	3.500-4.400
Esneklik Katsayısı, GPa	93-110	72,5-75,5	83-86	70-179	230-800
Kopmada Uzama, %	3,1-6,0	4,7	5,3	2,40-3,60	0,50-1,50
Özgül Ağılık	2,65-2,80	2,50-2,62	2,46	1,44	1,75-1,95
Azami Uygulama Sıcaklığı, °C	~650	~380	~500	~250	~400
Erime Sıcaklığı, °C	1.450	1.120	1.550	erimez!	erimez!

Çizelge 3.3.'de görüldüğü gibi bazalt elyaf diğer temel elyaflar ile kıyaslanmıştır. Özellikle balistik alanda kullanılan kevlar ile kıyasladığımızda kopma uzaması % 3.1-6 arası gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Bu değer % 2.4-3.6 olan aramid den daha iyidir. Kopma uzamasının yüksek olması balistik de istenen bir özelliktir. Çekme dayanımı incelendiğinde 3000-4840 MPa aralığında değişmektedir. Aramid ise 2900-3450 MPa aralığında değişmektedir. Bazalt bu özellikler açısında da aramidden iyidir. Esneklik modülü bazaltın 93-110 GPa iken aramidde 230-800 GPa aralığında değişmektedir. Bu açıdan aramid elyafların daha üstün olduğu görülmektedir. Balistik plakalarda ağırlık önemli bir faktördür. Yüksek koruma her

zaman düşük ağırlık istenir. Bu durumda yoğunluğun düşük olması demektir. Bazalt fiberlerin yoğunluğu 2.65-2.80 gr/cm^3, aramid de bu değer 1.44 gr/cm^3 dür ve aramid daha düşük yoğunluktadır. Görüldüğü gibi yapılan kıyaslama sonucunda bazalt fiberin ve aramid fiberlerinin birbirine karşı üstün ve zayıf tarafları anlatılmıştır. Bu değerler ile beraber aramid nem ve ultraviyole ışınlarına karşı hassas iken bazalt fiberleri aksine dayanıklıdır. Bazalt fiberleri ısıya karşı dayanıklı olduğundan daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler. Aramid fiber her türlü matris ile iyi birleşemeyebilir ve mikro çatlaklar oluşabilir. Bazalt her türlü matrise uygundur. Bazalt fiber ekonomik açıdan kıyaslandığında balistik kevlardan üç katı daha ucuzdur.

Bazalt elyaf diğer elyaf çeşitlerine göre daha yeni bir elyaf çeşididir. Gelişmeye devam etmektedir. Rusya havacılık, nükleer ve savunma amaçlı kullanmaya ve araştırmaya devam etmektedir. Ülkemizde çoğunlukla daha geniş aralıklı örgü çeşitleri ithal edilip inşaat sektöründe korozyon dayanımı yüksek olması sebebiyle neme ve suya maruz betonları kuvvetlendirmede kullanılmaktadır. Son yıllar da daha sık örgü çeşitleri ithal edilmeye başlanmış ve farklı sektörlerinde kullanımına sunulmuştur.

Balistik plaka üretiminde kullanacağımız bazalt elyaf özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Çizelge 3.4.' de BB-200L Bazalt elyafı plain dokuma 210gr/ m^2 teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bazalt elyafın mekanik özellikleri (URL-2,2018)

Filament sayısı	Çözgü : 10 pics/cm Atkı : 9 pics/cm
Filament çapı (mikron)	Çözgü : 12 Atkı : 12
Yoğunluk (gr/cm^3)	2.75
Çekme mukavemeti (minimum) atkı ve çözgüde (Mpa)	3170
Elastikiyet modülü (Gpa)	89
Kopma uzaması (%)	3.5
Erime noktası (^{o}C)	1250
Uygulama sıcaklığı((^{o}C)	460’ a kadar

3.1.3. Epoksi reçine

Reçineler matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Birinci bölüm de kompozit malzemelerde kullanılan matris çeşitlerinde epoksi reçine ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Her iki elyafımıza da epoksi reçine uyum sağlamaktadır. Firmanın verdiği teknik özellikler doğrultusunda bire üç karışım oranı baz alıp kullanılmıştır. Şekil 3.4.’ de görünmekte olan F-1564 reçine ve F-3487 sertleştirici kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Üretimde kullanılan epoksi ve serleştirici

3.2. Yöntem

Balistik kompozit plaka üretilirken vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile reçine emdirilmiştir. Üretim prosesi Şekil 3.5.'de görünmektedir. Bu üretime göre önce balistik fiber kumaş 250x300mm boyutlarında kesilmiştir. Kat sayıları tamamlanmayı müteakip kumaşların arası temizlenip üst üste serilmiştir. Epoksi reçine zemine yapışmasını engellemek için uygun boyutta kesilen kalıp ayracı şekil 3.6.' daki gibi zemine serilmiştir.



Şekil 3.5. Proses şeması



Şekil 3.6. Hazırlanan elyafların kalıp ayracı üzerine yerleştirilmesi

Aramid elyafın yapışmasını engellemek ve soyulmasını kolaylaştırmak için aramid elyaf üzerine şekil 3.7.'de görüldüğü gibi soyma kumaşı yerleştirilmiştir. Bir üst katmana da epoksinin daha rahat yayılmasını sağlamak için infüzyon filesi, mor vakum poşeti ile en üstü kapatılmıştır. Bu işlemler yapılırken kalıp ayracı ve vakum poşetinde herhangi bir zedelenme veya delik olmamasına özen göstermelidir. Aksi durumda sistemde gerekli vakum oluşmaz ve işlem yapılamaz.



Şekil 3.7. Soyma kumaşı ve infüzyon filesinin yerleştirilmesi

Özel kullanılan şekil 3.8.'de görülen çift taraflı vakum bantlarının bir tarafıyla kalıp ayracı zemine, diğer tarafıyla ise vakum poşetine sabitlenmiştir. Reçinenin elyafa nüfuzunu sağlamak için 1 adet kesikli spiral hortum elyafın başlangıç noktasına diğer hortumda bitiş noktasına kağıt bantlar yardımı ile sabitlenmiş ve

hortumların ucu vakum poşeti delinerek cihazın borularına bağlanmıştır ayrıca sistemde kaçağı engellemek için bağlantı yerleri özel bantlar ile kapatılmıştır.



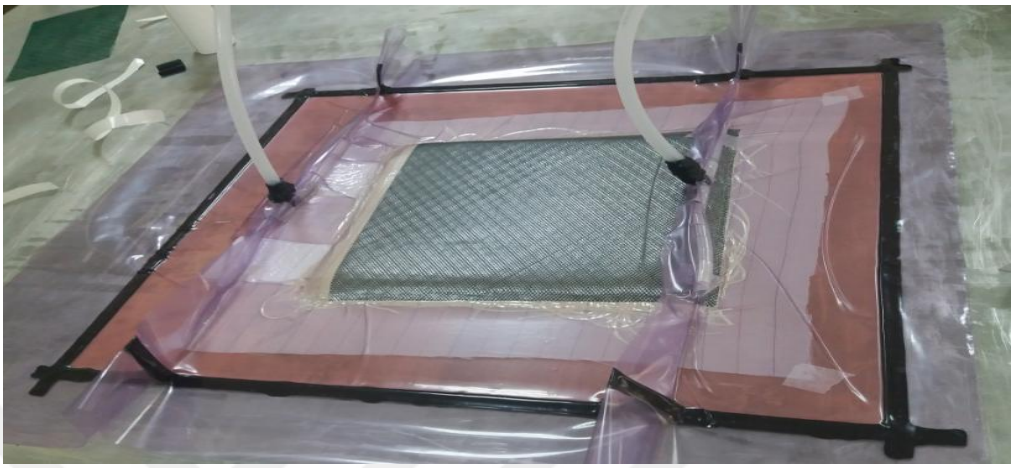
Şekil 3.8. Reçine dağılmasını sağlayan spiral hortumlar



Şekil 3.9. Spiral hortumların yerlerine sabitlenmesi

Şekil 3.8.'de spiral hortum ve şekil 3.9.'da spiral hortumun yerine sabitlenmesi görülmektedir.

Gerekli işlemleri tamamlamayı müteakip Şekil 3.10.'daki gibi vakum infüzyon makinesi çalıştırılmış ve sistemin havası alınmıştır Sistemde kaçak olup olmadığı incelenmiş. Sistemde kaçak oluşmuşsa kaçak tekrar giderilmiştir.



Şekil 3.10. Sistemin oluşturulması ve havasının alınması

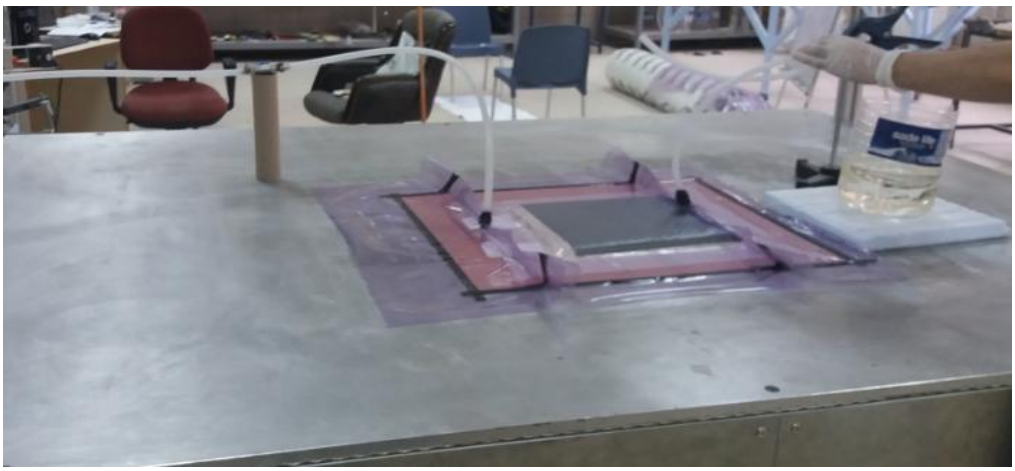
Reçine olarak F-1564 epoksi reçine kullanılmıştır. Üreticinin vermiş olduğu bilgiler doğrultusunda kütlece 1'e 3 oranında F-3487 sertleştirici kullanılmıştır. Hazırlanan epoksi-sertleştirici karışımı kullanmış olduğumuz kevlar elyafında özellikleri doğrultusunda tecrübi olarak 900 gr elyaf için 1000 gr epoksi-sertleştirici karışımı nüfuz edilmiştir.

Epoksi ve sertleştirici karıştırılırken dışarıdan karışıma hava girişi olmuştur bu şekilde karışımı sisteme verdiğimizde elyaflar arası homojen emilim oluşmayacağı için epoksi-sertleştirici karışımı şekil 3.11'de olduğu gibi vakum cihazı içinde havası alınmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.11. Epoksi-sertleştirici karışımının havasının alınması

Vakum destekli reçine infüzyon makinasına epoksi reçine şekil 3.12.'de görüldüğü gibi çektirilmiş ve reçine vakum yöntemi ile nüfuz etmeye başlamıştır. Cihaz önce 30 dakika boyunca 25^{o}C (oda sıcaklığında) çalıştırılmış sonrasında 100^{o}C sıcaklığa ulaşmış ve 2 saat boyunca bu sıcaklıkta çalıştırılmıştır. Müteakibinde 30 dakika boyunca soğutma yapılmış ve 30 dakika boyunca 25^{o}C (oda sıcaklığında) çalıştırılmıştır. Cihaz çalışma boyunca 1 bar büyüklüğünde vakum sağlamış. Toplam 3 saat süren işlemin ardından oluşturulan plakalar 24 saat tam kürlenme işlemine bırakılmıştır.



Şekil 3.12. Sisteme epoksi-reçine karışımının infüzyonu

Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi kevlar kumaştan üretilmiş balistik plaka elde edilmiştir. Kevlar kumaştan; 36 kat, 30 kat, 25 kat, 20 kat olmak üzere toplam dört adet plakada aynı yöntem takip edilerek üretilmiştir. Bazalt kumaştan; 30 kat ve 45 kat olmak üzere toplam iki adet balistik koruyucu plaka aynı yöntemlerle üretilmiştir.



Şekil 3.13. Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kevlar takviyeli balistik zırh plakası

3.2.1. Balistik testler

Dünya çapında balistik koruyucuları test etmek için birçok standartlar belirlenmiştir. Yaygın olarak kabul edilen standartlardan birisi de NIJ (National Instutute of Justice) standartlardır. NIJ standartları ülkemiz tarafından da kabul görmüştür ve balistik koruyucularda bu standartlar aranmaktadır. Bununla beraber Şekil 3.14.'de görüldüğü gibi balistik koruyucularla ilgili birçok standartlar kullanılmaktadır.

STANDART NO	STANDART ADI
TS 11164	Balistik koruyucu vücut zırhı
TS 13349	Askerî zırhlar - V_{50} balistik hız deneyi
MIL-A-46103 C	Light Weight, Ceramic Faced Composite Armor Procedure Requirements
MIL-B-44053 A	Fragmentation Protective Body Armor, Vest Ground Trops
MIL-STD-662 F	Balistic Test For Armor
NIJ-STD-0101.04	Balistic Resistance Of Personel Body Armor
NIJ-STD-0101.06	Balistic Resistance Of Personel Body Armor
NIJ-STD-0108.04	Balistic Resistance Of Protective Materials
STANAG 2920	Balistic Test Method For Personel Armor
UK/SC/4697	The Balistic Testing Of Fragment Protective Personnel Armors
PPAA STD-1989-05	Personel Protective Armor Assosiation Testing Standarts For Balistic Resistance Of Presonel Body Armors
UL 752	Balistic Resistance Equipment
MIL-B-44194 A	Body Armor Fragmentation Protective Undergarment C.V. Crevmens
MIL-P-46199	Aluminium Oxide Ceramic (For Use İn Armor Composite)
Pr EN ISO 14876-2	Protective Clothing-Body Armor-Part-2: Bullet Resistance Requirements And Methods

Şekil 3.14. Balistik koruyucular için kullanılan standartlar (NIJ)

Yaygın olarak kullanılan NIJ (National Instutute of Justice) standartlarında kullanılan değerler günümüz teknolojisinde hafif silahlara karşı koruyucu zırhlar içinde geliştirilen ürünlerin balistik performansının ölçümünde kullanılmaktadır. NIJ-STD-0101.04 standardının amacı, insan vücudunun zarar görmediği asgari şartları sağlayan değerleri belirlemek ve balistik testin nasıl yapılacağını açıklamaktır.

NIJ-STD-0101.04 standardı balistik koruyucu malzemeler için farklı özellik ve ağırlıkta, farklı hızlarda atılan mermilerin darbe etkisine karşı altı ayrı koruma seviyesi içerisinde sınıflandırılmaktadır. Bu koruma seviyeleri Şekil 3.15.'de verilmektedir.

KORUMA SEVİYESİ	KALİBRE VE MERMİ TİPİ	MERMİ AĞIRLIĞI (g)	MERMİ HIZI (m/s)	TRAVMA DERİNLİĞİ (max)
I (5 m mesafeden)	22 LR uzun namlu kurşun burunlu mermiler (LR, LRN)	2,6	320	44 mm
	380 ACP Tam metal kaplama burunlu mermiler (FMJ RN)	6,2	312	
IIA (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8,0	332	44 mm
	40 S&W Tam metal kaplama burunlu mermi (FMJ)	11,7	312	
II (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplı yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8,0	358	44 mm
	357 Magnum, metal kaplı yumuşak uçlu mermi (JSP)	10,2	427	
IIIA (5 m mesafeden)	9 mm Tam metal kaplama yuvarlak uç mermi (FMJ RN)	8,0	427	44 mm
	44 Magnum Kaplama çukur (özel içine göçük uç) nokta mermi (JHP)	15,6	427	
III (15 m mesafeden)	7,62 mm Tam metal kaplama mermiler (FMJ)	9,6	838	44 mm
IV (15 m mesafeden)	30 mm zırh delici (AP) Mermi	10,8	869	44 mm

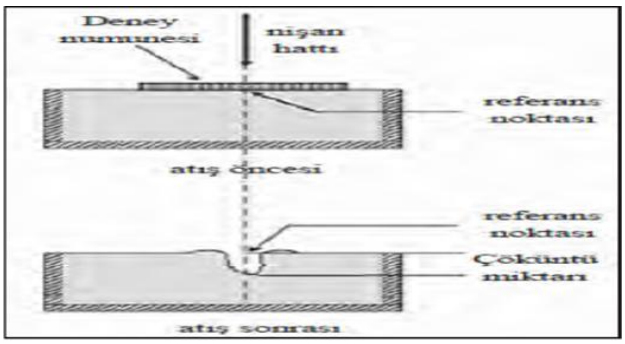
Şekil 3.15. NIJ-STD-0101.04 standardındaki koruma seviyeleri (NIJ)

Şekil 3.15. incelendiğinde görülecektir ki farklı koruyucu malzemeler farklı koruma seviyesine sahiptir. 30 mm zırh delici mermiler için üretilen zırhlarda koruma seviyesi IV, piyade tüfekleri mermilerinden korunma amaçlı üretilen

zırhlarda koruma seviyesi III, tabanca ve makinalı tabanca mermilerine karşı korunmak için üretilen zırhlar korunma seviyesi IIA, II, IIIA olarak belirlenmiştir.

Kompozit malzemenin arka yüzeyine özel bir macunun yapıştırılır. Bu macunu, merminin insan vücudunda meydana getireceği çöküntü değerini ölçme amaçlı kullanılmaktadır. Bu macun insan bedenine en yakın değerlere sahip olduğu için roma kili olarak belirlenmiştir. NIJ-0101.06 standartları gereğince testi yapılacak olan zırh tabakalarını 24 saat süreyle 23±2°C'de şartlandırılması gerekmektedir. Kullanılan roma kili 3 saat süre ile 29^{o}C'nin üzerinde bir sıcaklıkta bekletilmektedir. 63,5±0,05 mm çapında, 1043±5 gram ağırlığında çelik bilye 2 metre yükseklikten, kenarlardan 6±3 mm içeriden ve merkezler arası 203±25 mm olacak şekilde serbest düşmenin etkisi ile roma kili üzerine bırakılır. Bu işlem sırasında 5 adet serbest düşme hareketi yapılır ve oluşan çukurların derinliklerinin aritmetik ortalaması alınmaktadır. Oluşan çukurların derinliklerinin aritmetik ortalama 20±3 mm olduğunda kilimiz atışta kullanılmak için hazırdır. Atışa hazır olan roma kili şekil 3.16.'da ki gibi hedef arkasına yerleştirilir.

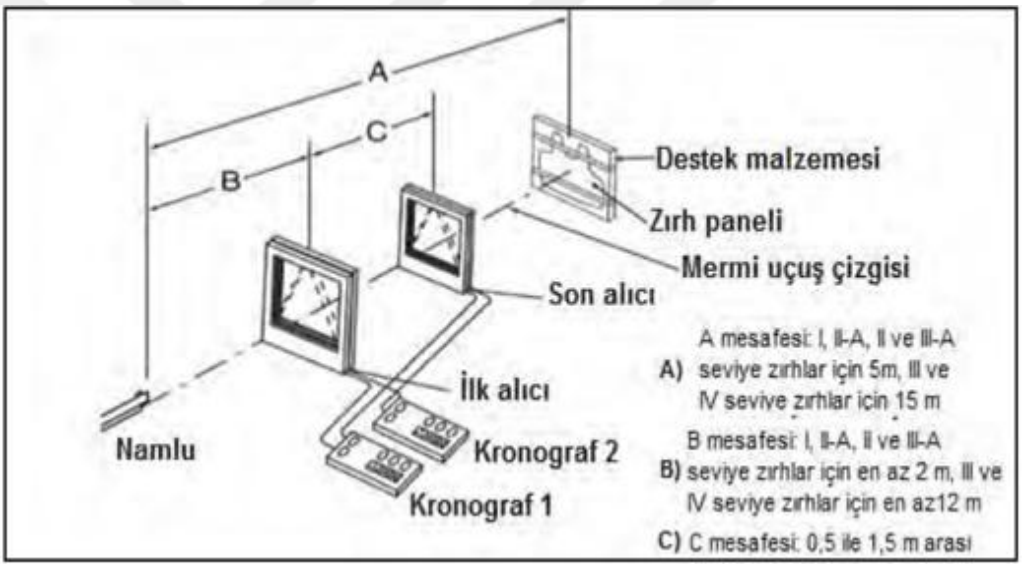
Ürünlerin teste tabi tutulmadan önce şartlandırılmaktadır. Numuneler ön ve arkasında farklılık çıkma ihtimaline karşı ayrı ayrı teste tabi tutulur. Ayrıca sudan etkilenme durumu da göz önüne alınarak ıslak ve kuru teste de ayrı ayrı teste tabi tutulurlar. Islak testte yelekler 3 dakika süre ile 10-20°C ve 100±20 mm/s hızla akan su ile nüfuz edecek şekilde her iki yüzü için ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Islatılan yelekler daha sonra 10-30 dakika arasında atış testine tabi tutulmaktadırlar.



Şekil 3.16. Balistik test esnasında kullanılan şartlandırılmış dolgu maddesi.

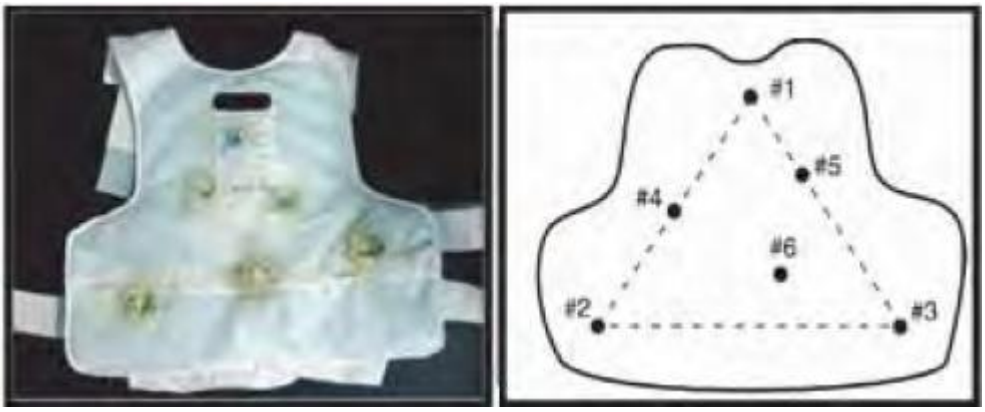
Şekil 3.17.'de test düzeneğimizin yerleşimi görülmektedir. Atış esnasında istenilen korunma seviyesine göre hedef ilk alıcı, son alıcı arasındaki mesafeler ayarlanabilmektedir. Bu mesafeler korunma seviyesi I, II-A, II ve III-A için mesafe 5 m, III ve IV seviye zırhlar için ise 15 m olacaktır. Test düzeneğinde bulunan Oehler Research Model ORM 55 hızölçer ile aralarında 1 m mesafe bulunan iki elektrik perdesi arasından geçiş süresi ölçülerek merminin hızı tespit edilmektedir. Testler esnasında sabit namlu ve lazer noktalama tertibatı kullanılarak mermilerin zırha dik olarak isabet etmesi sağlanmıştır.

Ayrıca zırh plakası teste hazırlanırken, destek malzemesine arada boşluk kalmadan temas etmesi sağlanmalıdır.



Şekil 3.17. Balistik test düzeneği (NIJ)

Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi test atışları ilgili noktalara yapılmalıdır. Toplamda 6 adet atış yapılacaktır. Atışlar plakaların ön yüzüne kenar noktalarından en az 50 mm uzakta, plaka üzerinde yer alan daha önceki bir vuruş noktasından veya bir delikten en az 80 mm uzakta olacak şekilde ve mermilerin barut imla hakları ayarlanarak değişik hızlarda yapılmıştır. Atışlar plaka yüzeyine dik gelecek şekilde 90±1 açı derecesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu atışlar neticesinde farklı hızlarda meydana gelen deformasyon oluşan çöküntü miktarlarıyla ölçülmüştür.



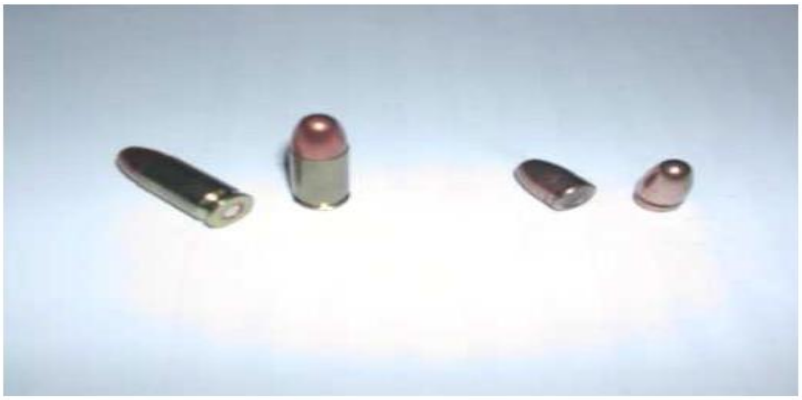
Şekil 3.18. Test atışının yapılacağı noktalar

NIJ-0101.04 standardına göre balistik koruyucular başarılı olabilmesi için zırhın arkasına yerleştirilen ve insanı simule eden roma kili üzerinde meydana gelen çöküntü miktarının 44 mm değerini aşmaması gerekmektedir.

NIJ-0101.04 standartları 2000 yılında yayımlanmıştır. Bu standartlar kumaşların kullanımından sonra meydana gelen deformasyon koşullarını yansıtmamaktaydı. Bununun üzerine bazı bölümlerinde değişiklikler yapılmış ve Temmuz 2008'de vücut zırhlarında balistik dayanım NIJ-0101.06 standardı olarak güncellenmiştir. Yapılan değişikliklerle numuneler ısıya, neme, mekanik aşınmaya ve yıpranmaya maruz bırakıldıktan sonra test edilebilmektedir.

3.2.1.1. Mermi türleri ve test koşulları

Testlerde 9x19 mm tam gömlekli pirinç çekirdekli 8 gram çekirdek ağırlığında MKE tabanca mermisi kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Mermi testlerinde kullanılan 9 mm MKE tabanca mermi

Testlerde 7.62x51mm NATO, çekirdek ağırlığı 9.6 gram mermi kullanılmıştır.



Şekil 3.20. 7.62 mm NATO normal mermi

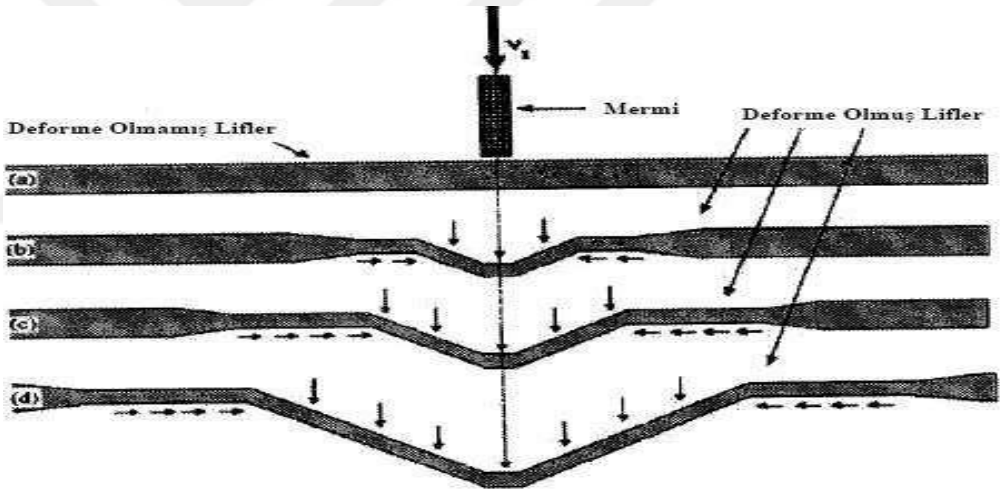
Mermi testlerinde MP5 makineli tabanca namlusu ve G3 piyade tüfeği namlusu kullanılarak şekil 3.19. ve 3.20.'de görülmekte olan mermiler kullanılmıştır. 9 mm ve 7.62 mm çapındaki mermiler ile atışlar yapılmıştır.

Kinetik enerjiye sahip bir merminin hedefte delici etkisi, enerjisine, merminin kütlesine, hedefe vuruş açısına ve mermi ile zırh malzemesinin metalurjik yapısına bağlıdır. Çarpma anındaki hız (V_m), merminin kütlesi (m) olduğunda merminin kinetik enerjisi 3.1'de gösterildiği gibidir.

$E_k=1/2\ mV_m^2$ (3.1)

Mermi balistik zırha çarpmasıyla beraber, balistik plaka içerisinde bulunan lifler devreye girer ve her bir lif merminin enerjisini absorbe eder ve enerjiyi diğer liflere iletir. Çarpmanın enerjisi yayılır ve diğer katmanlara iletilir. Böylece merminin darbe enerjisi yayılarak etkisi azalmaktadır. Enerjisi azalan mermi zırh tarafından durdurulmakta ve vücutta yaratacağı deformasyon azalmaktadır.

Balistik koruyucuya herhangi bir merminin çarpması Şekil 3.21.'de görülmektedir. Çarpma anında koruyucu yüzeyinde dışa doğru ve mermi hareket yönüne dik hareket eden bir şok dalgası meydana gelir. Ayrıca koruyucu tabakada mermiye doğru yanal bir şok dalgası ilerler.

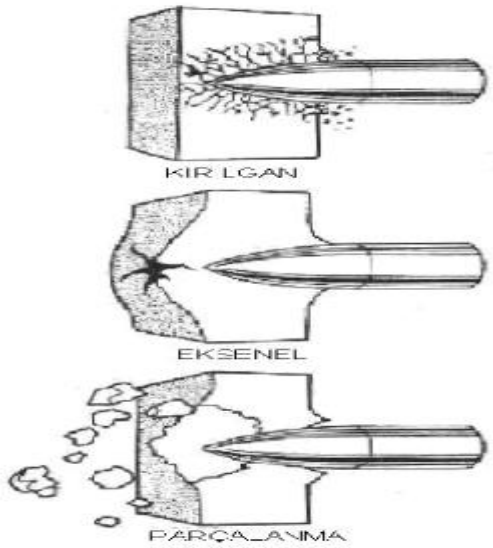


Şekil 3.21. Balistik koruyucuya merminin çarpması

Kurşun geçirmez kumaşların ve laminantların gelişmesinde yüksek mukavemetli ve yüksek young modüllü liflerin geliştirilmesi çok etkili olmuştur. Çarpma olduğunda iplik çarpma hızını ile doğru orantılı ani ve sert darbeye maruz kalır. ''Kritik hız'' olarak tabir ettiğimiz düşük hızlarda kopma oluşmaz fakat çarpma etkisiyle enine yönde sapmalar ve iplik uzamaları meydana gelir ve enerji kumaş tarafından absorbe edilebilir.

Balistik korumada kullanılan elyaflarda lifin enerji sönümleyebilmesi kopmadan uzayabilmesi önemlidir. Bir başka ifadeyle lif uzama oranlarının yüksek

olması zırhın delinmesini zorlaştıracaktır ve daha fazla enerji sönümleyebilecektir. Zırhın delinmediği durumlarda sönümlediği enerji hesaplanırken merminin zırhı delmek için harcadığı enerjiye eşit kabul edilir. Zırhın delindiği durumlarda ise merminin çarpma enerjisi ile zırhı delip geçtiği an ki enerjisinin farkı alınır.



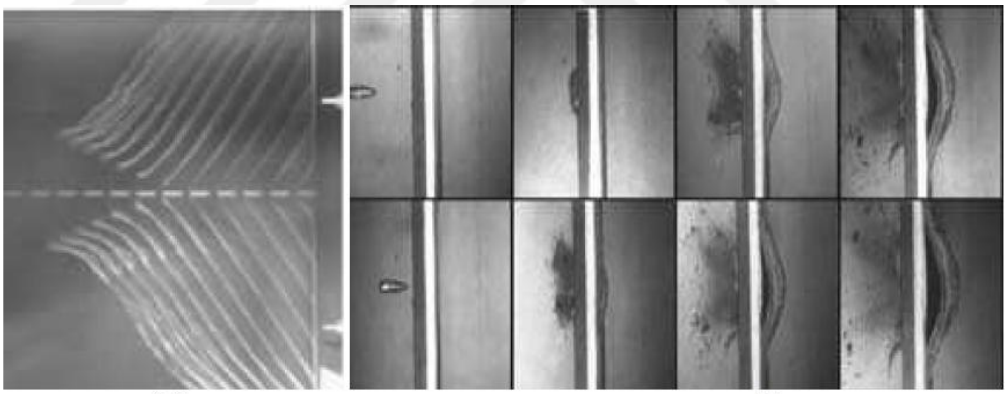
Şekil 3.22. 7.62x51 mm zırh delici merminin metal bir hedefe atılması (Yavaş,2009)

Şekil 3.22'de, 7,62x51 mm zırh delici merminin metal bir hedefe atılmadan öncesi ve sonrasındaki şekli görülmektedir. Birinci şekilde de görüldüğü üzere metal hedef kırılganlık göstermiştir. İkinci şekilde görüldüğü gibi İlerleme eksenel yönde devam etmiş ve hedefte parçalanma oluşmuştur. Merminin gömlek kısmı tamamen yok olmuştur, çekirdeğinin ise sadece burun kısmı kısmen tahrip olmuştur. Şekil 3.23'de ise 7,62x51 mm normal merminin deformasyon öncesi ve sonrasındaki şekli görülmektedir. Merminin gömlek kısmı tamamen yok olmuş, ancak kurşun-antimon çekirdek ise disk katmanları şeklinde yığılmıştır.

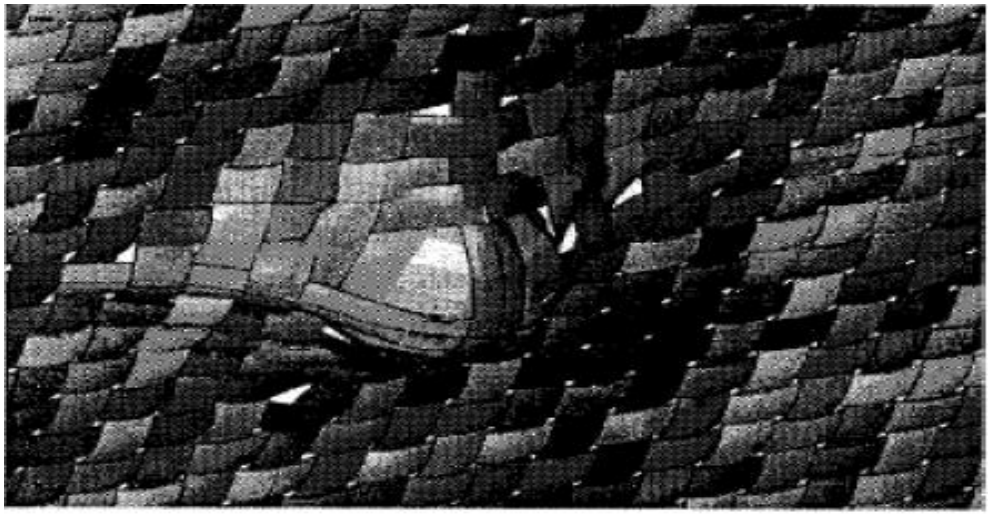


Şekil 3.23. 7.62x51 mm normal merminin deformasyon öncesi ve sonrası görüntüler

Şekil 3.24. (a)'da yüksek hızlı görüntü yakalama yöntemi ile atılan merminin kompozit kumaş fiberleri, şekil 3.24 (b)'de yüksek hızlı görüntü yakalama yöntemi ile atılan merminin kompozit plaka üzerine gelişi çarpma anı ve oluşan deformasyon etkisi görülmektedir.



Şekil 3.24. Yüksek hızlı görüntü yakalama etkisi (a), Atılan merminin kompozit kumaş fiberleri üzerindeki etkisi (b) Atılan merminin kompozit plaka üzerindeki etkisi(Yavaş,2009)



Şekil 3.25. Merminin kumaş içerisine girmesi (Yavaş,2009)

Şekil 3.25.'de görüldüğü gibi kumaşa yerleşen mermi ile oluşan delik sadece kumaş konstrüksiyonuna bağlı olmayıp mermi geometrisine ve ipliklerin hareketine de bağlıdır. İplik hareketliliği ipliklerin birbirleri ve mermi ile sürtünmelerinden etkilenir ve matris içindeki ipliklerin yanal hareketinin engellenmesi ile minimize edilir.

Merminin hızı oluşacak tahribatı etkileyen en önemli parametredir. Hızın artması ile beraber kinetik enerji de hızın karesi ile doğru orantılı olarak artacaktır. Bir de merminin kütlesi arttığında kinetik enerji artacaktır. Böylece her iki durumda da balistik koruyucunun mermiyi durdurmak için absorbe etmesi gereken enerji miktarı artacaktır.

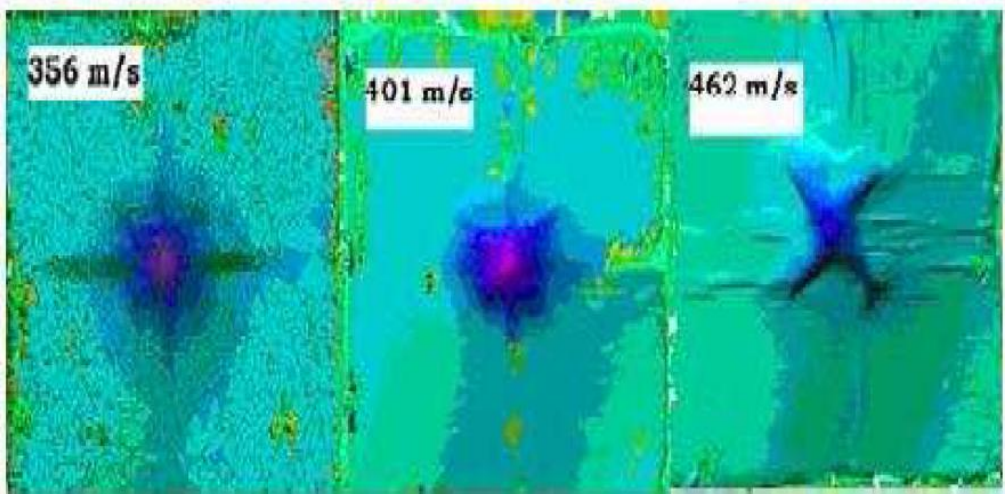
Matris bakımından zengin olan bölgede delaminasyon meydana gelir . 0/90 en kötü fiber doğrultusudur. Bu doğrultuda tabakalar arası eğilme rijitliğindeki uyumsuzluk fazla olduğu için deleminasyon alanı da o derece büyük olur. Bununla beraber delaminasyonu malzeme özellikleri, tabaka kalınlığı, yığılma düzeni gibi diğer bazı faktörler de etkilemektedir.

Delaminasyon hasarının olduğu noktada absorbe edilen elastik şekil değistirme enerjisi, E_k, için basit bir ifade denklem 3.2.'de olduğu gibidir.(Ceyhun ,2003).

$$E_k = \frac{\tau^2 w L^3}{9 E_f t} \qquad (3.2.)$$

Burada τ: tabakalar arası kesme mukavemeti, t: kalınlık, w: genişlik, Ef: eğilme modülü, L:desteklenmemis uzunluktur. Enine darbeden dolayı meydana gelen delaminasyon, bir eşik enerjisine ulaşıldıktan sonra ve sadece matris kırılması mevcut ise meydana gelir.

Delaminasyon ve matris kırılması arasında önemli bir ilişki mevcuttur. Delaminasyonun başlaması için matris kırılması gerekli bir faktördür. Delaminasyonlar, tabakalar arası ara yüzey bölgesinde meydana gelirler. Fakat bu bölge her zaman tam olarak ara yüzey bölgesi olmayabilir, her iki tarafta da bir miktar olabilir. Enine darbeye maruz 0/90/0 tabakaları için delaminasyon ve matris kırılması etkileşmesi göz önüne alındığında; üst katmanlardaki eğilmemiş kırıklar ara yüzeye ulaştığı zaman durdurulur ve katmanlar arasında delaminasyon olarak ilerler.



Şekil 3.26. Delaminasyon etki alanları (Yavaş,2009)

Şekil 3.26.'da farklı hızlardaki delaminasyon etki alanları gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, mermi hızı arttıkça tabakalar üzerindeki dalgalı bölgenin yüzey alanı ve üst yüzeyde dışa doğru olan çöküntü miktarı artmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

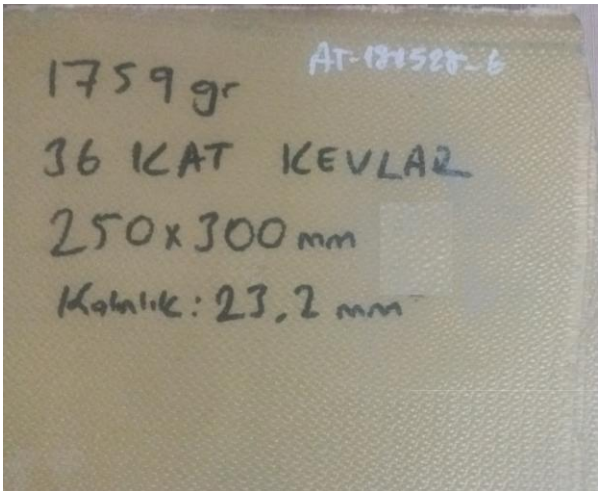
Deneysel çalışmalar için farklı katmanlarda vakum infüzyon yöntemi ile epoksi reçine emdirilmiştir. Aramid kumaşı için 36 kat, 30 kat, 25 kat ve 20 kat olmak üzere toplam 4 adet numune hazırlanmıştır. Bazalt kumaş için 30 ve 45 kat olmak üzere toplam 2 adet numune hazırlanmıştır.

4. 1. Balistik Kompozit Test Numuneleri

Aramid kumaş vakum infüzyon yöntemi ile epoksi reçine emdirilerek üretilmiştir. Her bir plaka üretimini müteakiben 24 saatlik kürlenmeye bırakılmıştır. Numunelerin üretim şekli üçüncü bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

a) 36 kat epoksi reçine emdirilmiş aramid plaka

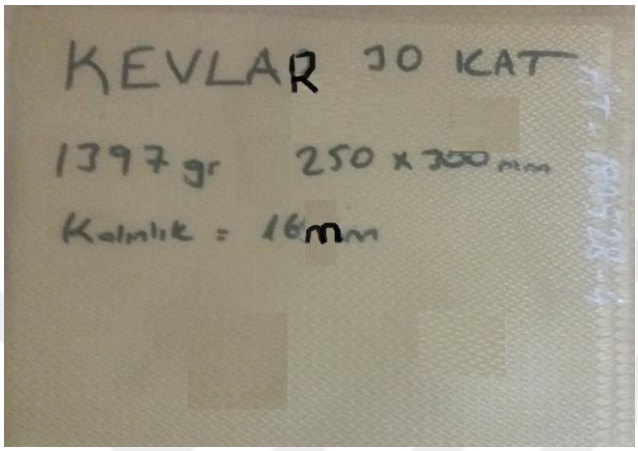
36 kat aramid kumaştan reçine infüzyon yöntemi ile imal edilen balistik plaka şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 1756 gr ağırlığında ve 23.2 mm kalınlığındadır. Boyutları 250x300mm dir.



Şekil 4.1. 36 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka

b) 30 kat epoksi reçine emdirilmiş aramid plaka

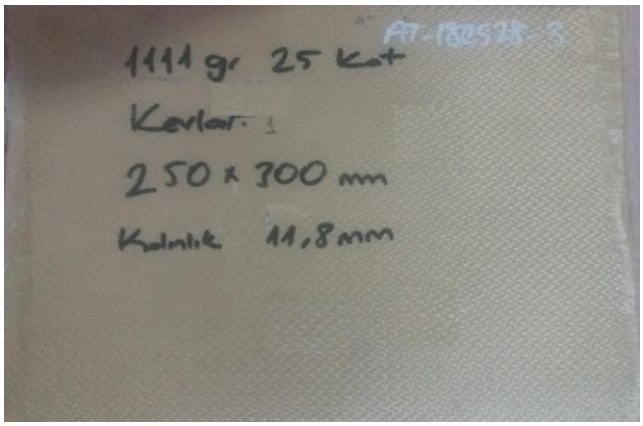
30 kat amid kumaştan reçine infüzyon yöntemi ile imal edilen balistik plaka şekil 4.2.' de görüldüğü gibi; 1397 gr ağırlığında, 16 mm kalınlığında ve 250 x 300 mm boyutlarındadır.



Şekil 4.2. 30 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka

c) 25 kat aramid kumaştan imal edilen balistik plaka

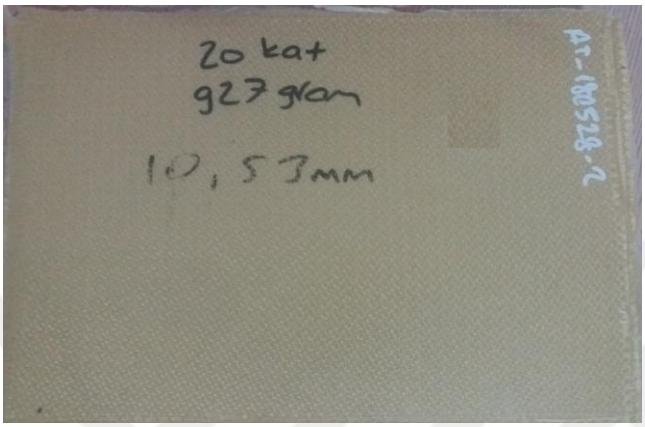
25 kat aramid kumaştan reçine infüzyon yöntemi ile imal edilen balistik plaka şekil 4.3.' de görüldüğü gibi; 1111 gr ağırlığında, 11.8 mm kalınlığında ve 250 x 300 mm boyutlarındadır.



Şekil 4.3. 25 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka

d) 20 kat aramid kumaştan imal edilmiş balistik plaka

20 kat aramid kumaştan reçine infüzyon yöntemi ile imal edilen balistik plaka şekil 4.4.'de görüldüğü gibi; 927 gr ağırlığında, 10.53 mm kalınlığında ve 250x300mm boyutlarındadır



Şekil 4.4. 20 kat aramid kumaştan üretilmiş balistik plaka

e) 30 kat bazalt kumaştan imal edilmiş balistik plaka

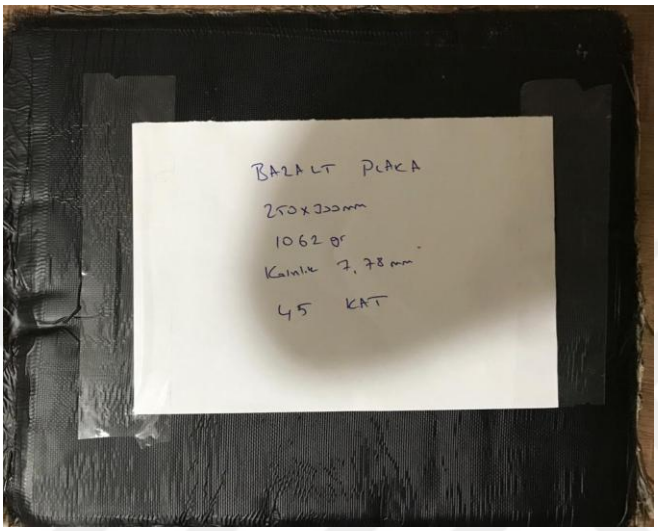
30 kat bazalt kumaştan reçine infüzyon yöntemi ile imal edilen balistik plaka şekil 4.5.'de görüldüğü gibi; 748 gr ağırlığında, 5,35 mm kalınlığında ve 250x300mm boyutlarındadır



Şekil 4.5. 30 kat bazalt kumaştan üretilmiş balistik plaka

f) 45 kat bazalt kumaştan imal edilmiş balistik plaka

45 kat bazalt kumaştan reçine infüzyon yöntemi ile imal edilen balistik plaka şekil 4.6.'da görüldüğü gibi; 1062 gr ağırlığında, 7.78 mm kalınlığında ve 250x300mm boyutlarındadır**.**



Şekil 4.6. 45 Kat bazalt kumaştan üretilmiş balistik plaka

4. 2. Balistik Dayanımının Ölçülmesi

Balistik koruyucu plakaların balistik dayanımını incelerken; plakada meydana gelen deformasyonu ve enerji absorbe edebilme yeteneği olmak üzere iki parametre altında değerlendirilmiştir. Öncelikle merminin plakayı delmediği durumda arkasında oluşan deformasyon değerlendirilmiş. Merminin plakayı deldiği durumlarda ise enerji absorbe etme yeteneği ölçülmüştür. Merminin balistik plakayı delemediği durumlarda arkada oluşan deformasyonla merminin hızı, ağırlığı ve kinetik enerjisi arasında bağlantılar kurularak kıyaslama yapılmıştır.

4. 2.1. Balistik test düzeneği

Günümüzde hafif zırh olarak tabir edilen koruyucular iki kriter altında değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki mermi tehdidi diğeri ise parça tesiridir. Biz kriter olarak çalışmamızda mermi tehdidini baz alarak testlerimizi gerçekleştirdik. Mermiye karşı korumada NIJ standartları baz alınmıştır. Test düzeneğimiz şekil 4.7.'de görüldüğü gibi 1 metre aralıkla konulmuş iki perde vasıtası ile hızı ölçmektedir. IIIA seviyesi tehdit için 5 m den 9 mm MKE tabanca mermisi , III seviye için ise 15 m den 7.62 mm NATO mermisi atılmış öncelikle delinip delinmediği incelenmiş, delinmediği durumda ise plakanın arkasında bulunan ve insan tenine en yakın olan roma kilindeki çöküntü miktarları ölçülerek değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 4.7. Balistik test düzeneği

a) Numune şartlandırma

Numuneler şekil 4.8.'de görülmekte olan şartlandırma cihazlarında %50 nem ve değişik sıcaklıklarda 24 saat bekletilir. Şartlandırılmasını müteakip 10-30 dakika içerisinde ilgili atışlar yapılır.



Şekil 4.8. Şartlandırma cihazı

b) Roma kilinin şartlandırılması

Roma kili insan bedenine en yakın değerler sergilediği için standartlar dahilinde kullanılmaktadır. Testlerde de Roma kili kullanılmıştır. Roma kilinin kullanılmadan önce ara boşluklar kalmaması ve doğru sonuçlar vermesi için balistik testler kısmında anlatıldığı gibi şekil 4.9.'daki cihazlarda öncelikle şartlandırılmış ve uygunluk testleri yapılmış ve testlerden geçtikten sonra kalıba takılmıştır.



Şekil 4.9. Macun şartlandırma cihazı

4.2.2. Balistik testin uygulanması

Uygun şartlarda kalıba yerleştirilmiş roma kili önüne test edilecek plakalar takılmıştır ve atışlara hazır hale getirilmiştir. Seviye IIIA için 9 mm mermiler 5 m den seviye III için ise 7.62mm NATO normal mermiler 15 m mesafeden atılmıştır. Atışların kenarlardan en az 50 mm uzaklık da olmasına ayrıca iki atış arası en az 80 mm mesafe olmasına ve mermilerin aynı iplik üzerine gelmemesine özenle dikkat edilmiştir. Mermilerin barut miktarları değiştirilmemiştir. Atış esnasında mesafe silah mesnedinin ileri geri hareketiyle sağlanmış, yanca hareket ise hedef biriminin yanca hareketi ile sağlanmıştır. Atış öncesi lazer ile işaretleme yapılıp atış yerleri hassas belirlenip atış yapılmıştır. Düzeneğin bu şekilde hareket etmesi 90° çarpma açısını yakalamak içindir. Sistemin ateşlemesi ayrı bir odadan yapılmaktadır ve bu odada bilgisayar ekranı sayesinde tüm atışların hızları hassas olarak ölçülmüştür. Ayrıca raporlanmıştır. Kullanmış olduğumuz balistik test laboratuarı dünyaca tanınan standartlar dahilin de akredite edilmiştir.

Her atıştan sonra mermi plaka tarafından durdurulmuş ise roma kilinde meydana gelen çöküntü değeri hassas bir şekilde şekil 4.10.'da görülmekte olan roma kili üzerinden ölçülüp kaydedilmiştir.

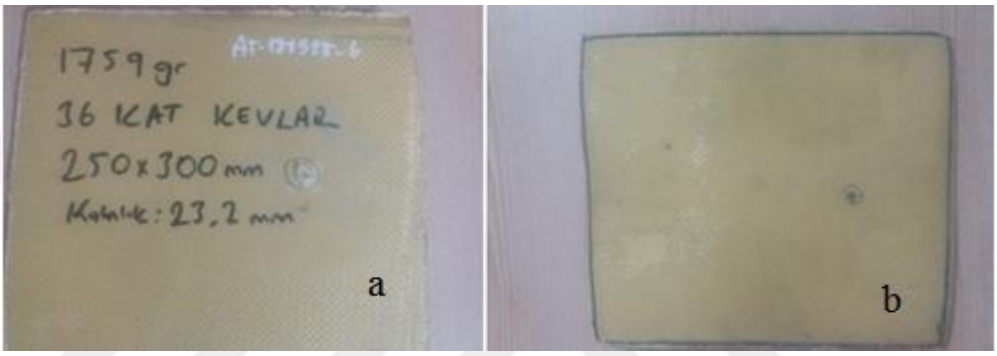


Şekil 4.10. Roma kilinde oluşan deformasyon

4.2.3. Plakaların balistik test sonuçları

a) 36 kat kevlar kumaş ile üretilmiş balistik plaka

Balistik plaka öncelikle NIJ seviye III kapsamında 7.62x51mm NATO normal mermi ile atış yapılmıştır. Atış hızı 836m/sn ölçülmüştür. Atış sonucunda şekil 4.11'de görüldüğü gibi delinme meydana gelmiştir. Delinme olduğundan çöküntü ölçülememiştir. Şekil 4.12'de test sonucu düzenlenen rapor görülmektedir.



Şekil 4.11. (a) 36 kat kevlar plaka atış sonrası ön yüzü (b) arka yüzü

NUROL TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALİSTİK TEST LABORATUVARI

NUROL TEKNOLOJİ
180528
23.11.2018

Uygulanan Balistik Test Standardı Name of Ballistic Test Standard	*
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi Level of Ballistic Test Standard	*

Tarih Date	23.11.2018
Saat Time	12:25
Test No Test Number	AT-180528-6
Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature	18,4 °C
Ortam Nemi Ambient Humudity	49,9 Rh

NUMUNE BİLGİLERİ Sample Information	
Numune Sahibi Owner of Sample	NUROL TEKNOLOJİ
Numune Adı Name of Sample	Kevlar 36 kat
Seri Numarası Serial Number	-
Ağırlık / Ebat Weight / Size	1759 gr / 250x300 mm

ATIŞ DÜZENEĞİ Test Equipment			**DESTEK MALZEMESİ** Backing Material	
Atış Mesafesi (m) Shot Distance	10		**Adı** Name	**Sıcaklığı** Temperature
Hız Okuma Mesafesi (m) Velocity Reading Distance	2,5		Roma Plastina	36,8°C
Namlu/Mühimmat Barrel / Gun	7,62x51	M80	**Top Düşürme Değerleri (mm)** Results of Drop Test	
Barut Mik./Çekirdek Kütlesi (gn) Bullet Weight/Gunpowder Amount	-	148,00	19,10 / 18,20 / 19,35 / 20,10 / 20,00	**Ortalama** Average: 19,35

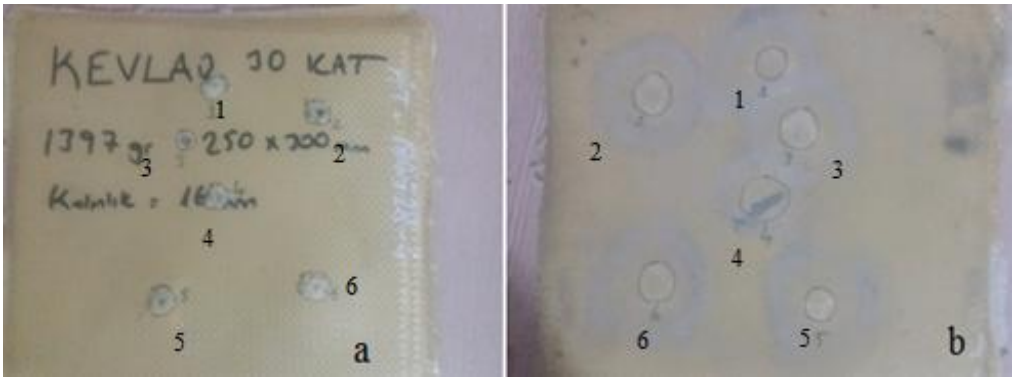
Atış No Shot No	**Hız** Velocity (m/s)		**Deformasyon** Deformation (mm)	**Penetrasyon** Penetration (CP-PP)	**Not** Note	**Bağlama Metodu** Strapping Methods
1	836,41	836,66	-	CP		
2						
3						
4						
5						
6						

ACIKLAMALAR DESCRIPTION	**NOTLAR** NOTES
	(a): Düşük Hız / Low Velocity **(b):** Yüksek Hız / High Velocity **Olması Gereken Hız Aralığı** (Possible Velocity Interval) :

Şekil 4.12. 36 kat kevlar balistik plaka test sonuç raporu

b) 30 kat kevlar kumaş ile hazırlanmış balistik plaka

30 kat kevlar kumaş ile oluşturulmuş balistik plaka NIJ koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm mermi ile 5 metre mesafeden atış yapılmış ve toplam 6 adet atış gerçekleştirilmiştir. Yapılan atışlar neticesinde şekil 4.13.'de göründüğü gibi delinme meydana gelmemiştir ve çöküntü değerleri uygun aralıklarda ölçülmüştür.



Şekil 4.13. (a) 30 kat kevlar kumaş plaka atış sonrası ön yüzü (b) arka yüzü

Çizelge 4.1. 30 katlı kevlar kumaş plakanın balistik test sonuçları

ATIŞ NO	**SICAKLIK (°C)**	**MESAFE (m)**	**V_m (m/s)**	**E_K (Nm)**	**ÇÖKÜNTÜ DEĞERİ (mm)**	**SONUÇ**
1	18.4	5	409	669.124	13.29	Delinme Yok
2	18.4	5	402	646.416	12.40	Delinme Yok
3	18.4	5	408	665.85	15.73	Delinme Yok
4	18.4	5	405	656.1	10.40	Delinme Yok
5	18.4	5	411	675.68	16.28	Delinme Yok
6	18.4	5	400	640	12.39	Delinme Yok

Çizelge 4.1.'de balistik plakaya yapılan atışlarda merminin hızı, kinetik enerjileri ve vuruş sonrası çöküntü miktarları verilmiştir. Atışlarda plaka 6 merminin de çizelgede görülmekte olan kınetik enerjileri sönümleyebilmiştir. Çöküntüler kıyaslandığında ise NIJ standartları kapsamında 44 mm değerinin altında kalmıştır. Ortalama çöküntü değeri 13.415 mm olarak bulunmuştur.

NUROL TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALİSTİK TEST LABORATUVARI

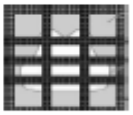
NUROL TEKNOLOJİ
180528
29.11.2018

Uygulanan Balistik Test Standardı Name of Ballistic Test Standard	-
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi Level of Ballistic Test Standard	-

Tarih Date	23.11.2018
Saat Time	11:55
Test No Test Number	AT-180528-4
Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature	18,4 °C
Ortam Nemi Ambient Humudity	49,9 Rh

NUMUNE BİLGİLERİ Sample Information	
Numune Sahibi Owner of Sample	NUROL TEKNOLOJİ
Numune Adı Name of Sample	Kevlar Kompozit Panel 30 kat
Seri Numarası Serial Number	-
Ağırlık / Ebat Weight / Size	1396 gr / 250x300 mm

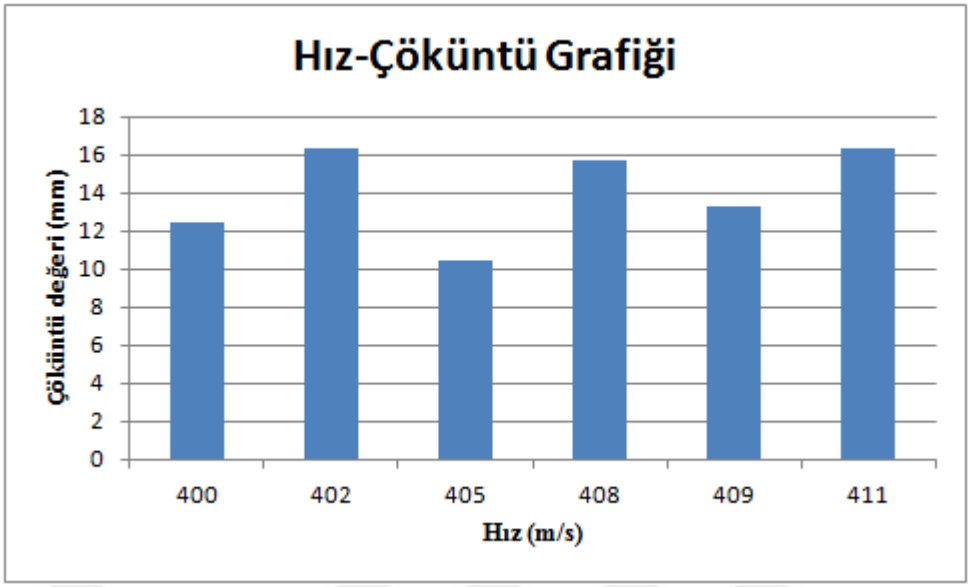
ATIŞ DÜZENEĞİ Test Equipment			**DESTEK MALZEMESİ** Backing Material	
Atış Mesafesi (m) Shot Distance	5		**Adı** Name	**Sıcaklığı** Temperature
Hız Okuma Mesafesi (m) Velocity Reading Distance	2,5		Roma Plastina	36,8°C
Namlu/Mühimmat Barrel / Gun	9x19 mm	9x19 mm	**Top Düşürme Değerleri (mm)** Results of Drop Test	
Barut Mik./Çekirdek Kütlesi (gn) Bullet Weight/Gunpowder Amount	-	124,00	19,10 / 18,20 / 19,35 / 20,10 / 20,00	**Ortalama** Average: 19,35

Atış No Shot No	**Hız** Velocity (m/s)		**Deformasyon** Deformation (mm)	**Penetrasyon** Penetration (CP-PP)	**Not** Note	**Bağlama Metodu** Strapping Methods
1	409,08	408,99	13,29	PP		
2	402,04	401,80	12,40	PP		
3	408,03	407,87	15,73	PP		
4	405,13	404,96	10,40	PP		
5	411,03	410,80	16,28	PP		
6	400,36	400,22	12,39	PP		

ACIKLAMALAR DESCRIPTION	**NOTLAR** NOTES
	(a): Düşük Hız / Low Velocity **(b):** Yüksek Hız / High Velocity **Olması Gereken Hız Aralığı** (Possible Velocity Interval) :

Şekil 4.14. 30 kat kevlar balistik plaka test sonuçları

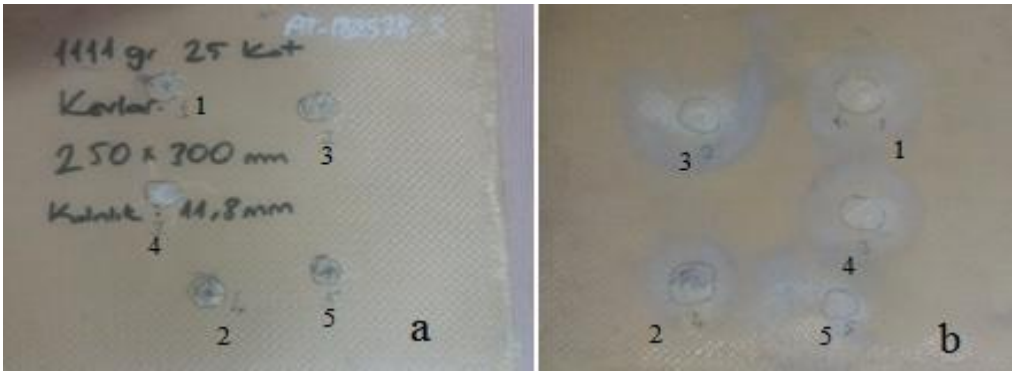
Şekil 4.14.'de balistik testin yaptırıldığı firmanın 30 kat kevlar plaka için sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.15.'de hız-çöküntü grafiği verilmiştir mermi hızıyla çöküntü değerlerinin doğru orantılı olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi; mermi hızlarının yakın olması ve kompozit plakanın yapım aşamasında reçinenin her bölgeye eşit dağılmayıp homojen bir yapı oluşmaması olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4.15. 30 katlı kevlar kumaş plakanın hız-çöküntü miktarı ilişki grafiği

c) 25 kat kevlar kumaş ile hazırlanmış balistik plaka

25 kat kevlar kumaş ile oluşturulmuş balistik plaka NIJ koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm tam gömlekli pirinç uçlu mermi ile 5 m mesafeden atış yapılmış ve toplam 5 adet atış gerçekleştirilmiştir. Yapılan atışlar neticesinde sadece tek atışta delinme meydana gelmiştir ve diğer atışlarda çöküntü değerleri uygun aralıklarda ölçülmüştür.



Şekil 4.16. 25 kat kevlar kumaş atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü

Şekil 4.16.'de 25 kat kevlar plakanın atış sonrası ön ve arka görüntüleri verilmiştir. Delinme 2 numaralı atışın olduğu yerde meydana gelmiştir.

Çizelge 4.2. 25 kat kevlar plakanın balistik test sonuçları

ATIŞ NO	SICAKLIK (^oC)	MESAFE (m)	V_m (m/s)	E_K (N.m)	ÇÖKÜNTÜ (mm)	SONUÇ
1	18,40	5	414	685.58	17,62	Delinme Yok
2	18,40	5	413	682.27	-	Delinme Var
3	18,40	5	408	665.85	10,92	Delinme Yok
4	18,40	5	410	672.4	14.58	Delinme Yok
5	18,40	5	400	640	12,75	Delinme Yok

Çizelge 4.2.'de 25 kat kevlar plaka için atış hızları kinetik enerçi ve çöküntü değerleri verilmiştir. Delinme hariç meydana gelen çöküntü değerleri kabul edilebilir değerler arasında kalmıştır. Delinmenin meydana geldiği yerde homojen dağılma olmadığı ve yapı kusuru olduğu değerlendirilmektedir.

Şekil 4.17.'de test yapılan firma tarafından raporlanan balistik sonuçları görülmektedir. Grafik 30 kat kevlar plaka ile kıyaslandığında delinme hariç hız-çöküntü grafiğinde çöküntü hızla nispeten orantılı seyretmiştir.

NUROL TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALİSTİK TEST LABORATUVARI

NUROL TEKNOLOJİ
180528
23.11.2018

Uygulanan Balistik Test Standardı Name of Ballistic Test Standard	-
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi Level of Ballistic Test Standard	-

Tarih Date	23.11.2018
Saat Time	11:20
Test No Test Number	AT-180528-3
Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature	18,4 °C
Ortam Nemi Ambient Humudity	49,9 Rh

NUMUNE BİLGİLERİ Sample Information	
Numune Sahibi Owner of Sample	NUROL TEKNOLOJİ
Numune Adı Name of Sample	Kevlar Kompozit Panel 25 kat
Seri Numarası Serial Number	-
Ağırlık / Ebat Weight / Size	1114 gr / 250x300 mm

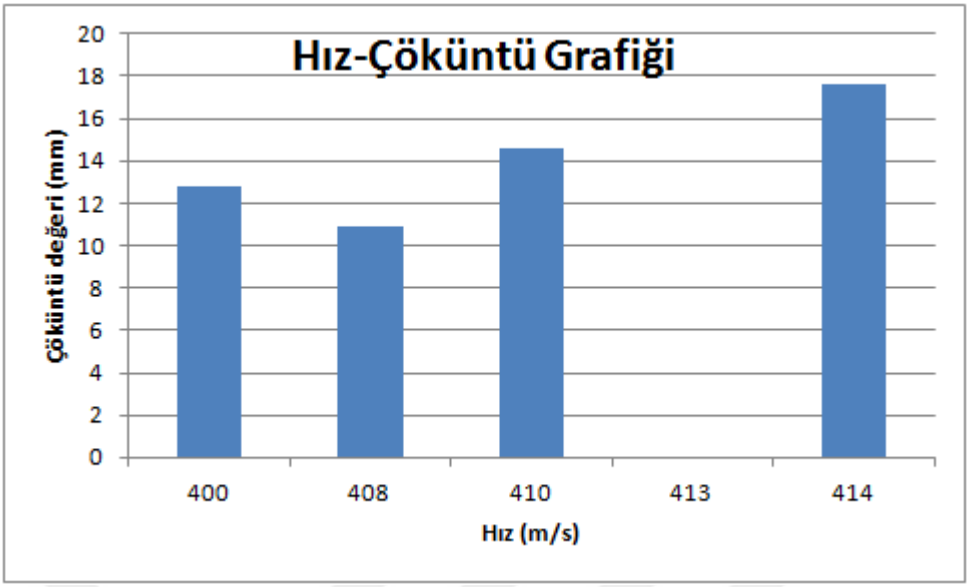
ATIŞ DÜZENEĞİ Test Equipment			**DESTEK MALZEMESİ** Backing Material						
Atış Mesafesi (m) Shot Distance	5		**Adı** Name					**Sıcaklığı** Temperature	
Hız Okuma Mesafesi (m) Velocity Reading Distance	2,5		Roma Plastina					36,8°C	
Namlu/Hühimmat Barrel / Gun	9x19 mm	9x19 mm	**Top Düşürme Değerleri (mm)** Results of Drop Test						
Barut Mik./Çekirdek Kütlesi (gn) Bullet Weight/Gunpowder Amount	-	124,00	19,10	18,20	19,35	20,10	20,00	**Ortalama** Average	19,35

Atış No Shot No	**Hız** Velocity (m/s)		**Deformasyon** Deformation (mm)	**Penetrasyon** Penetration (CP-PP)	**Not** Note	**Bağlama Metodu** Strapping Methods
1	414,34	414,17	17,62	PP		
2	413,60	413,41	-	CP		
3	408,15	407,98	10,92	PP		
4	410,18	410,98	14,58	PP		
5	400,96	400,89	12,75	PP		
6						

ACIKLAMALAR DESCRIPTION	**NOTLAR** NOTES
	(a): Düşük Hız / Low Velocity **(b):** Yüksek Hız / High Velocity **Olması Gereken Hız Aralığı** (Possible Velocity Interval) :

Şekil 4.17. 25 kat kevlar plakanın balistik test sonuç raporu

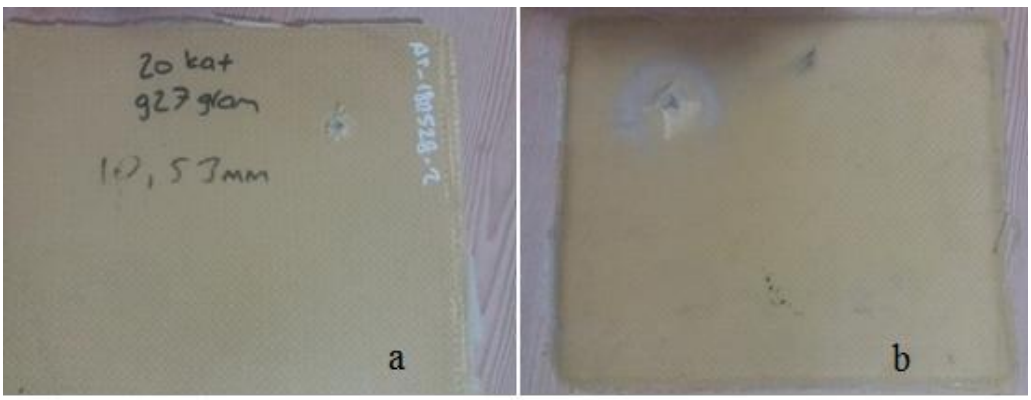
Şekil 4.18.'de 25 kat kevlar plakanın hız-çöküntü grafiği verilmiştir.



Şekil 4.18. 25 kat kevlar plakanın hız- çöküntü miktarı ilişki grafiği

ç) 20 kat kevlar kumaş ile hazırlanmış balistik plaka

20 kat kevlar kumaş ile oluşturulmuş balistik plaka NIJ koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm tam gömlekli pirinç uçlu mermi ile 5m mesafeden 410m/s hızla atış yapılmış ve toplam 1 adet atış gerçekleştirilmiştir. Yapılan atış neticesinde ilk atışta delinme meydana gelmiş ve plaka koruma sağlamamıştır.



Şekil 4.19. 20 kat kumaştan oluşan kevlar plakanın atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü

NUROL TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALİSTİK TEST LABORATUVARI

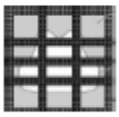
NUROL TEKNOLOJİ
180528
23.11.2018

Uygulanan Balistik Test Standardı Name of Ballistic Test Standard	-
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi Level of Ballistic Test Standard	-

Tarih Date	23.11.2018
Saat Time	11:15
Test No Test Number	AT-180528-2
Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature	18,4 °C
Ortam Nemi Ambient Humudity	49,9 Rh

NUMUNE BİLGİLERİ Sample Information	
Numune Sahibi Owner of Sample	NUROL TEKNOLOJİ
Numune Adı Name of Sample	Kevlar Kompozit Panel 20 kat
Seri Numarası Serial Number	-
Ağırlık / Ebat Weight / Size	926 gr / 250x300 mm

ATIŞ DÜZENEĞİ Test Equipment			**DESTEK MALZEMESİ** Backing Material						
Atış Mesafesi (m) Shot Distance	5		**Adı** Name				**Sıcaklığı** Temperature		
Hız Okuma Mesafesi (m) Velocity Reading Distance	2,5		Roma Plastina				36,8°C		
Namlu/Mühimmat Barrel / Gun	9x19 mm	9x19 mm	**Top Düşürme Değerleri (mm)** Results of Drop Test						
Barut Mik./Çekirdek Kütlesi (gn) Bullet Weight/Gunpowder Amount	-	124,00	19,10	18,20	19,35	20,10	20,00	**Ortalama** Average	19,35

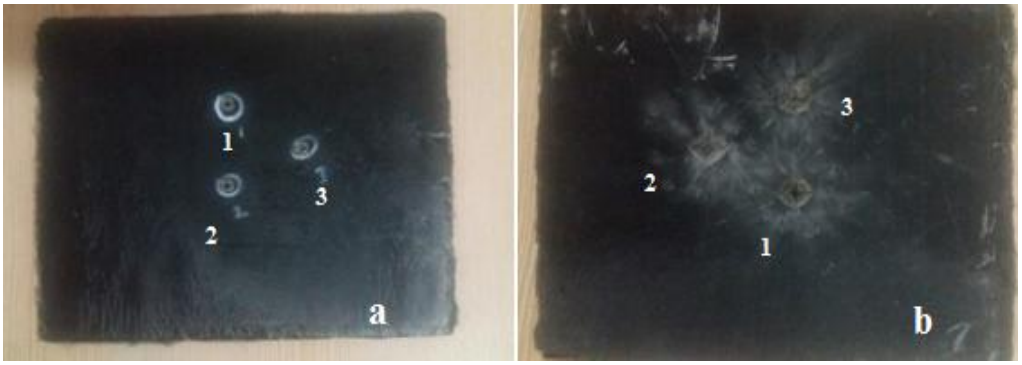
Atış No Shot No	**Hız** Velocity (m/s)		**Deformasyon** Deformation (mm)	**Penetrasyon** Penetration (CP-PP)	**Not** Note	**Bağlama Metodu** Strapping Methods
1	410,95	410,75	-	CP		
2						
3						
4						
5						
6						

ACIKLAMALAR DESCRIPTION	**NOTLAR** NOTES
	(a): Düşük Hız / Low Velocity **(b):** Yüksek Hız / High Velocity **Olması Gereken Hız Aralığı** (Possible Velocity Interval) :

Şekil 4.20. 20 kat kevlar plakanın balistik test sonuç raporu

d) 30 kat bazalt kumaşdan imal edilen balistik plaka

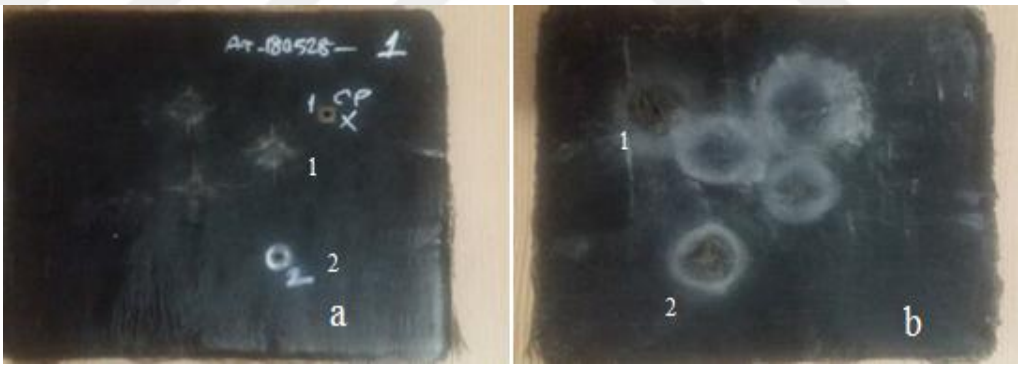
30 kat bazalt kumaş ile oluşturulmuş balistik plaka NIJ koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm tam gömlekli pirinç uçlu mermi ile 5m mesafeden yapılan farklı hızlarda toplam 3 adet atış yapılmış ve 3 atışta da mermi durdurulamamıştır. Plaka mevcut durumda koruma sağlayamamıştır. Şekil 4.21.'de plakanın atış sonrası ön ve arka görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.21. 30 kat bazalt kumaşdan imal edilen plakanın atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü

e) 45 kat bazalt kumaştan imal edilen balistik plaka

45 kat bazalt kumaş ile oluşturulmuş balistik plaka NIJ koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm tam gömlekli pirinç uçlu mermi ile 5 metre mesafeden yapılan farklı hızlarda toplam 2 adet atış yapılmış ve 2 atışta da mermi durdurulamamıştır. Plaka mevcut durumda koruma sağlayamamıştır. Atış sonrası plakanın ön ve arka yüzeyi şekil 4.22.'de görünmektedir.



Şekil 4.22. 45 kat bazalt kumaştan elde edilen plakanın atış sonrası (a) ön yüzü (b) arka yüzü

Şekil 4.23.'de 45 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları görünmektedir.

NUROL TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALİSTİK TEST LABORATUVARI

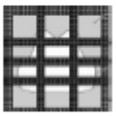
NUROL TEKNOLOJİ
180528
23.11.2018

Uygulanan Balistik Test Standardı Name of Ballistic Test Standard	-
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi Level of Ballistic Test Standard	-

Tarih Date	23.11.2018
Saat Time	10:53
Test No Test Number	AT-180528-1
Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature	18,4 °C
Ortam Nemi Ambient Humudity	49,9 Rh

NUMUNE BİLGİLERİ Sample Information	
Numune Sahibi Owner of Sample	NUROL TEKNOLOJİ
Numune Adı Name of Sample	BAZALT PANEL
Seri Numarası Serial Number	-
Ağırlık / Ebat Weight / Size	1064 gr / 250x300 mm

ATIŞ DÜZENEĞİ Test Equipment			**DESTEK MALZEMESİ** Backing Material	
Atış Mesafesi (m) Shot Distance	5		**Adı** Name	**Sıcaklığı** Temperature
Hız Okuma Mesafesi (m) Velocity Reading Distance	2,5		Roma Plastina	36,8°C
Namlu/ Mühimmat Barrel / Gun	9x19 mm	9x19 mm	**Top Düşürme Değerleri (mm)** Results of Drop Test	
Barut Mik./Çekirdek Kütlesi (gn) Bullet Weight/Gunpowder Amount	-	124,00	19,10 / 18,20 / 19,35 / 20,10 / 20,00	**Ortalama** Average 19,35

Atış No Shot No	**Hız** Velocity (m/s)		**Deformasyon** Deformation (mm)	**Penetrasyon** Penetration (CP-PP)	**Not** Note	**Bağlama Metodu** Strapping Methods
1	407,38	407,23	-	CP		
2						
3						
4						
5						
6						

ACIKLAMALAR DESCRIPTION	**NOTLAR** NOTES
	(a): Düşük Hız / Low Velocity **(b):** Yüksek Hız / High Velocity **Olması Gereken Hız Aralığı** (Possible Velocity Interval) :

Şekil 4.23 45 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları

f) 45+30 kat bazalt kumaştan imal edilen balistik plaka

45 kat bazalt kumaş ile oluşturulmuş balistik plaka ile 30 kat kumaştan imal edilen plaka beraber kullanılmıştır. İnce plaka önde kullanılmıştır. NIJ koruma seviyesi IIIA kapsamında 9 mm tam gömlekli pirinç uçlu mermi ile 5 m mesafeden yapılan farklı hızlarda toplam 3 adet atış yapılmış ve 3 atışta da mermi durdurulmuştur. Sadece ince plaka delinmiş ve kalın plakaya geldiğinde hiç delinme meydana gelmemiştir. Plakalar mevcut durumda koruma sağlamıştır.

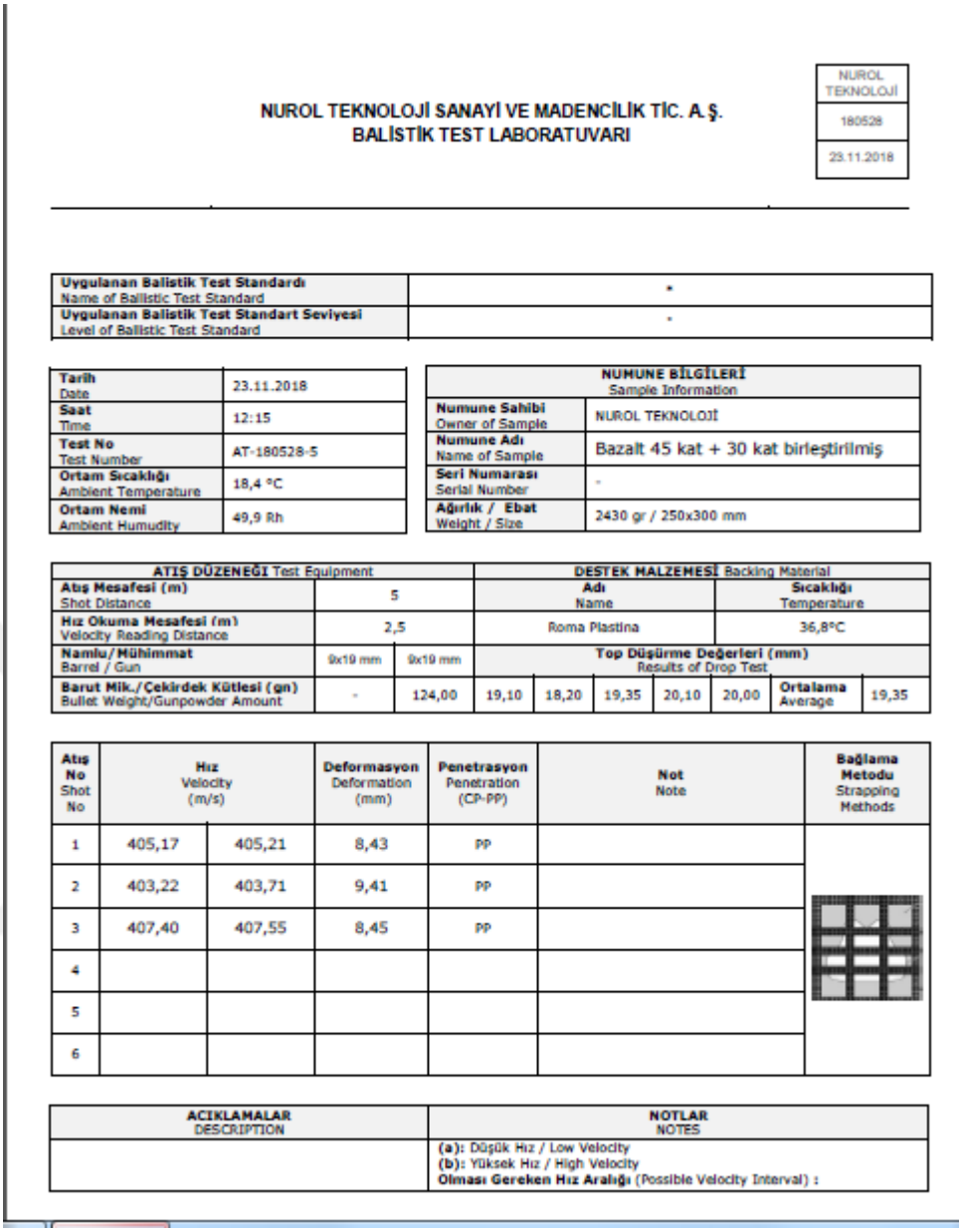


Şekil 4.24. 45+30 kat bazalt kumaş plakanın atış sonrası görüntüleri

Çizelge 4.3. 45+30 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları

ATIŞ	SICAKLIK (^oC)	MESAFE (m)	V_m (m/s)	E_K (N.m)	ÇÖKÜNTÜ (mm)	SONUÇ
1	18,40	5	405	656.1	8,43	Delinme Yok
2	18,40	5	403	649.6	9,41	Delinme Yok
3	18,40	5	407	662.59	8,45	Delinme Yok

Çizelge 4.3.'de 45+30 kat bazalt plakanın; hız, kinetik enerji ve çöküntü değerleri verilmiştir. Ortalama çöküntü değeri 8,76mm çıkmıştır. Bu değer tehlike sınırı 44 mm nin çok çok altındadır. Ayrıca 30 kat kevlar plakanın çöküntü değerleri ortalaması 13,415mm çıkmıştır. Kıyaslama yapıldığında 30 kat kevlar plakanın altında kalmıştır.



NUROL TEKNOLOJİ SANAYİ VE MADENCİLİK TİC. A.Ş.
BALİSTİK TEST LABORATUVARI

NUROL TEKNOLOJİ
180528
23.11.2018

Uygulanan Balistik Test Standardı Name of Ballistic Test Standard	-
Uygulanan Balistik Test Standart Seviyesi Level of Ballistic Test Standard	-

Tarih Date	23.11.2018
Saat Time	12:15
Test No Test Number	AT-180528-5
Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature	18,4 °C
Ortam Nemi Ambient Humudity	49,9 Rh

NUMUNE BİLGİLERİ Sample Information	
Numune Sahibi Owner of Sample	NUROL TEKNOLOJİ
Numune Adı Name of Sample	Bazalt 45 kat + 30 kat birleştirilmiş
Seri Numarası Serial Number	-
Ağırlık / Ebat Weight / Size	2430 gr / 250x300 mm

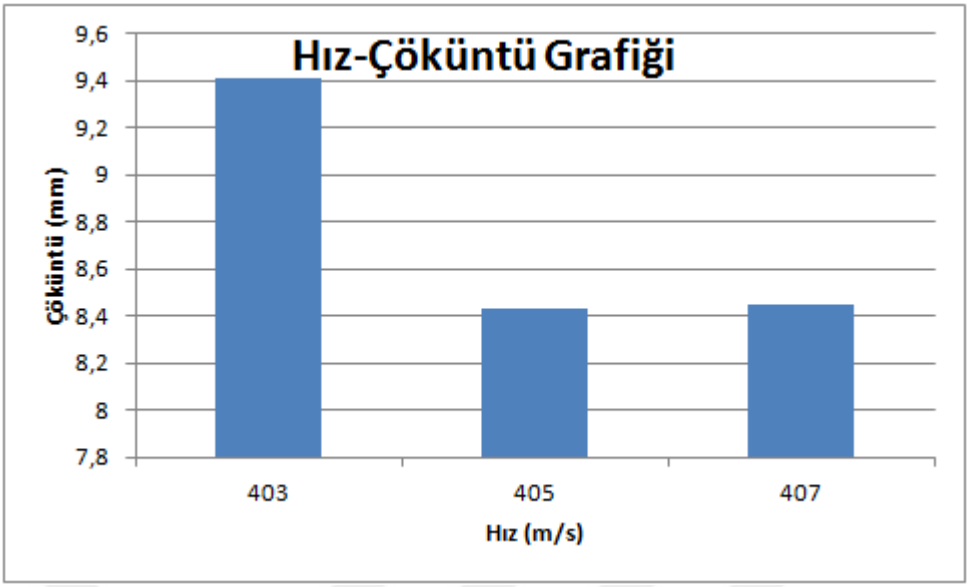
ATIŞ DÜZENEĞİ Test Equipment			**DESTEK MALZEMESİ** Backing Material						
Atış Mesafesi (m) Shot Distance	5		**Adı** Name					**Sıcaklığı** Temperature	
Hız Okuma Mesafesi (m) Velocity Reading Distance	2,5		Roma Plastina					36,8°C	
Namlu/Mühimmat Barrel / Gun	9x19 mm	9x19 mm	**Top Düşürme Değerleri (mm)** Results of Drop Test						
Barut Mik./Çekirdek Kütlesi (gn) Bullet Weight/Gunpowder Amount	-	124,00	19,10	18,20	19,35	20,10	20,00	**Ortalama** Average	19,35

Atış No Shot No	**Hız** Velocity (m/s)		**Deformasyon** Deformation (mm)	**Penetrasyon** Penetration (CP-PP)	**Not** Note	**Bağlama Metodu** Strapping Methods
1	405,17	405,21	8,43	PP		
2	403,22	403,71	9,41	PP		
3	407,40	407,55	8,45	PP		
4						
5						
6						

ACIKLAMALAR DESCRIPTION	**NOTLAR** NOTES
	(a): Düşük Hız / Low Velocity **(b):** Yüksek Hız / High Velocity **Olması Gereken Hız Aralığı** (Possible Velocity Interval) :

Şekil 4.25. 45+30 kat bazalt plakanın balistik test sonuçları

Şekil 4.25.'de 45+30 kat kevlar plakanın balistik test sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.26. 45+30 kat bazalt plakanın hız-çöküntü miktarı ilişki grafiği

4.2.4. Test numunelerinin ağırlıklarına göre enerji absorblama değeri

IIIA seviyesinde numuneler kıyaslandığında aramid kumaş kullanan plakalardan 20 kat plakada delinme meydana gelmiş ve tehdide karşı koruma sağlayamamıştır. 25 kat plakada atılan 5 atıştan birisi delinme meydana getirdiği için 25 bu tehlike göz önüne alınamaz ve koruma sağlayamamış olarak değerlendirilmiştir. Mevcut plakalarımızdan 30 katlı kevlar kumaş yapılan 6 atışın tamamında koruma sağlamıştır. Bazalt kumaştan yapılan 30 ve 45 katlara yapılan atışlarda da delinme meydana geldiği için ayrı ayrı değerlendirilmeye alınamamıştır. 45 ve 30 kat bazalt plakanın beraber kullanıldığında koruma sağlamış ve yapılan üç adet atışın üçünde de koruma sağlanmıştır. Dolayısı ile kıyaslama yapılırken 30 kat kevlar plaka ile 30+45 kat bazalt plaka arasında kıyaslama yapılmıştır.

$$\text{Yapı ağırlığına göre enerji asborblama (YAGEA)} = \frac{\text{Tehlikenin kinetik enerjisi(J)}}{\text{Yapı ağırlığı (g/m}^2\text{)}} \quad (4.1)$$

a) 30 kat kevlar plakanın yapı ağırlığına göre enerji absorblama değeri

Çizelge 4.4. Kevlar için enerji absorblama değeri

Mermi çekirdek hızı (m/s)	Yapı ağırlığına göre enerji absorblamadeğeri (J/g/m^2)
409	0.0359
402	0.0347
408	0.0357
405	0.0352
411	0.0362
400	0.0343

Ortalama yapı ağırlığına göre enerji absorblama değeri = 0.0353 J/g/m^2 olarak bulunmuştur.

b) 45+30 kat bazalt plakanın yapı ağırlığına göre enerji absorblama değeri

Çizelge 4.5. Bazalt plaka enerji absorblama değeri

Mermi çekirdek hızı (m/s)	Yapı ağırlığına göre enerji absorblama değeri (J/g/m^2)
405	0.0271
403	0.0269
407	0.0274

Ortalama yapı ağırlığına göre enerji absorblama değeri = 0.0268 J/g/m^2

4.2.5. Maliyet analizi

Maliyet analizi kıyaslama amaçlı yapıldığından vakum infüzyon yönteminde kullanılan sarf malzemeler ve diğer giderler her plaka için aynı maliyete sebep olacağından ayrıca hesaplanmamış, kullanılan kumaş ve reçine miktarı baz alınarak hesaplama yapılmıştır. Ayrıca fiyatlar firmalar arası farklılık göstereceğinden tek bir firma üzerinden alınan fiyatlar ile kıyaslama yapılmıştır.

Çizelge 4.6. Birim fiyat

Malzeme Cinsi	Birim Malzeme Maliyeti	Birim Fiyat
Aramid kumaş 300gr/m2	Birim fiyat/m^2	3.33n
Bazalt kumaş 200gr/m2	Birim fiyat/m^2	n
Elyaf tipi epoksi reçine	Birim fiyat/kg	2,01n

Çizelge 4.7. Kevlar kumaş plaka maliyet analizi

30 KAT KEVLAR KUMAŞ PLAKA İÇİN MALİYET ANALİZİ		
Kullanılan Malzeme Cinsi	**Kullanılan miktar**	**Fiyat**
Aramid kumaş	2.25 m2	7,49 n
Epoksi+sertleştirici	0,750 kg	1,5 n
Toplam Tutar		**8,99 n**

Çizelge 4.8. Bazalt kumaş plaka için maliyet analizi

30+45 KAT BAZALT KUMAŞ PLAKA İÇİN MALİYET ANALİZİ		
Kullanılan Malzeme Cinsi	**Kullanılan miktar**	**Fiyat**
Bazalt kumaş	5,62 m2	5,62 n
Epoksi+sertleştirici	0,710 kg	1,42 n
Toplam Tutar		**7,04 n**

Çizelge 4.6.'da malzemelerin birim fiyatı üzerinden hesaplama yapılmış ve çizelge 4.7.'de kevlar plakanın maliyeti 8,99 n bulnurken çizelge 4.8.'de bazalt plakanın maliyeti 7,04n bulunmuştur.Bazalt plaka 1,95 n kadar daha düşük maliyet fiyatı oluşmuştur.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada vakum infüzyon yöntemi ile farklı katmanlarda üretilen aramid kumaştan balistik plakalar üretilmiştir. Aramid kumaş plakaların 20 ve 25 katta delinme meydana gelirken 30 katta seviye IIIA ya göre uygun koruma sağladığı tespit edilmiştir. Bazalt plakalarda yapılan 30 ve 45 kat plakalar ayrı ayrı test edildiğinde seviye IIIA korumayı sağlayamamıştır. 45+30 kat beraber kullanıldığında ilk ince katlı plaka delinirken 45 katta herhangi bir delinme meydana gelmemiş ve çöküntü değerleri kevlar plakaya nazaran daha düşük çıkmıştır. Bununla beraber kevlar plaka 1397 g ağırlığında iken bazalt plakalar 1810 g gelmiştir. 45+30 kat bazalt plaka toplam kalınlığı 13.08 mm kalınlığında iken 30 kat kevlar 16 mm kalınlıkdadır. Nispeten ince plaka kullanılacak yerlerde avantaj sağlayacaktır. Fiyatları kıyaslandığında kevlar plaka 8.99 n iken bazalt plaka 7.04 n fiyatı ile 1.95 n kadar daha ucuza maal olmuştur.

Aramid kumaşlar balistikte en iyi sonucları veren malzeme olduğu gerçeği göz önüne alınırsa bazalt kumaşların verdiği sonuçlar ağırlık değerleri hariç umut verici olarak değerlendirilmektedir. Bazalt plaka katmanları azaltılıp korumayı sağlayacak en az katman değeri sağlandığında aradaki ağırlık farkının daha da azalacağı değerlendirilmektedir. Özellikle bazalt kumaşın alkali kimyasallara dirençli olması, ultraviyole ve nem direncinin yüksek olması, ısı yalıtımı yüksek olması bunun yanında fiyatının da düşük olması kevlar ile hibrit yapıda kullanılarak ağırlığını çok arttırmadan kevlar plakaların bu tür eksik yanlarını kapatabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle balistik yelekler ve balistik plakalar arazi şartlarında hem sıvı ve neme hemde ultraviyole ışınlarına bol miktarda maruz kalmaktadır. Kevlar kumaşın bu tür zayıf yönleri bazalt kumaş ile oluşturulacak hibrit yapıyla tamamlanabilecektir.

Sonuç olarak bazalt kumaş ile kevlar kumaştan yapılacak olan hibrit plakanın farklı katmanlarda üretilmesi ile koruma sağlayan minumum katman bulunup ağırlık yönünde ve çöküntü yönünden kıyaslanarak oluşturulacak hibrit yapının kullanılabilirliğinin araştırılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

ARICASOY, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 28s.

BERTHOLET, J. M., 1999. Composite Materials Mechanical Behavior and Structural Analysis. Spinger, Newyork, 124p.

BHATNAGAR, A., 2007. Lightweight Ballistic Composites, Military and Law Enforcement Applications. USA, 397p.

BİNGÖL, M., ÇAVDAR, K., 2016. Farklı Takviye Malzemelerinin Kompozit Malzeme Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesine Etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(2): 32-37.

BOZDOĞAN, F., ÜRGÜN S., TEMEL, E., MENGÜÇ SÜPÜREN, G., 2015. Balistik Koruma Amaçlı Kullanılan Tekstil Materyalleri, Özellikleri ve Balistik Performans Testleri. Tekstil ve Mühendis Dergisi, 2(14), 84-103.

BULUT, H., 2003. Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 88s.

CANDAN, C., 2005. Kompozit Zırh İmalat Parametrelerinin Terminal Balistik Özellikler Üzerine Etkileri. 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 8-10 Ocak, Cilt I, Denizli, s.14-87.

CANDAN, C., 2007. Hafif Silahlara Karşı Preslenerek ve Preslenmeden Üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen Zırh Plakalarının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 7-9 Kasım, Cilt I, İstanbul, s.27-35.

CAPRİNO, C., 2007. Ballistic Impact Behaviour Of Stitched Graphite/Epoxy Laminates, Composites Science and Thegnology, Newyork, 335p.

CEYHUN, V., 2003. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı. Ege Üniversitesi, Makine Mühendisleri Odası Yayını, Mühendis ve Makine, 44(51): 516-530.

DURGUN, İ., 2014. Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Kompozit Parça Üretimi, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 26-27 Mayıs, Cilt I, Bursa, s.5-7.

ERDOĞAN, M., 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri. Nobel Yayın LTD. ŞTİ., Ankara, 224s.

GOWER, H., L., 2007. Ballistic Impact Response Of Laminated Composite Panels, International Journal Of Impact Engineering, Newyork, 350p.

KARAGAN, G., 2008. Yüksek Performanslı Liflerin Balistik Amaçlı Kullanımı. Tekstik Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(2): 67-73.

KEVLAR, 2016. Aramid Fiber Technical Guide, 1(1): 1-21. http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers nonwovens/fibers/brands/kevlar.html, Erişim tarihi 12 Aralık 2018.

KHOJİN, S., 2007. Temperature Effects on Kevlar/hybrid and Karbon Fiber Composite Sandwiches Under Impact Loading. Composite Structures, 8(2): 197–206.

LBIE, 2018. Basalt Fiber Technical Guide, 1(1): 1-18. http://www.lbie.com/PDF/Basal_Products.pdf, Erişim tarihi 12 Aralık 2018.

LEE, J.Y., LİU,Y., HONG, L., 2003. Functionalized SiO_2 in poly(ethylene oxide)-based polymer electrolytes, Journal of Power Sources. USA, 57p.

NIJ STD 0101-04, 2000. Balistic Resistance of Personel Body Armor. Department of Justice Programs National İnstute of Justice, USA, 37p.

NOVOTNY, W.R., CEPUS, E., SHAHKARAMİ, A., VAZIRI, R., POURSARTIP, A., 2007. Numerical Investigation Of The Ballistic Efficiency Of Multi-ply Fabric Armours During The Early Stages Of Impact. International Journal Impact Engineering, 2(34): 71-78.

OBRADOVİC, V., STOJANOVİC, D., ZIVKOVİC, I., HAJNEMAN, J.R.,RADOJAVİC, V., USKOKOVİC, P.S., ALEXİC R., 2012. Ballistic Resistance of Nanomodified Hybrid Thermoplastic Composites. 5 Th International Scientific Conference On Defensive Technologies, 18-19 September, Serbia, 1(12): 301-304.

ÖZAYDIN, M.B., 1999. Kompozit Malzemelerinin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 37s.

ÖZŞAHİN, E., TOLUN, S., 2010. Yüzey Kaplaması ve Destek Katman İlavesinin Alüminyum Levhaların Balistik Performansına Etkileri, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4(2): 41-50.

SAPAGNUOLA, S. D., NAPADESKY, E., SANO, T., WOLBER, P.J., 2011. Investigation of Basalt Woven Fabrics for Military Applications, Army Research Laboratory, USA, 28p.

ŞENEL, F., BALYA B., PARNAS, L., 2004. İleri Kompozit Malzemelerin Balistik Analizi. Savunma Teknolojileri Kongresi, 4-7 Nisan, Cilt 2, Ankara, s.1-10.

TAN, V.B.C., LIM, C.T., CHEONG, C.H., 2003. Perforation of high-strength fabric by projectiles of different geometry", International Journal of Impact Engineering, 4(1): 25-28.

TEMİZ, S., 2005. Balistik Kumaş ve Test Yöntemlerine Yönelik Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 87s.

URL-1,https:// http://www.garantikompozit.com/pasgt, Erişim tarihi 12 Aralık 2018.

URL-2,https://http://www.dostkimya.com/tr/dokumanlar/urun-foyleri/kompozit-urunler, Erişim tarihi 12 Aralık 2018.

URL-3,https://http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/bazalt-elyaf%C4%B1, Erişim tarihi 12 Aralık 2018.

WAMBUA, P., 2007. The Response of Natural Fibre Composites to Ballistic Impact by Fragment Simulating Projectiles, Composite Structures, USA, 240p.

YANEN, C., SOLMAZ, Y. M., 2016. Tabakalı Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi ve Balistik Perforsmanlarının İncelenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 3(2): 351-362.

YAVAŞ, M. O., 2009. Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Dayanımı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 88s.

ZHANG, G., 2007., Effect of Frame Size, Frame Type and Clamping Pressure on The Ballistic Performance of Soft Body Armor. Newyork, 270p.

ZOR, M., 2012. Kompozit Malzemeler Genel Bilgiler, Ders Notları, 67s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Selçuk ULUS
Uyruğu **:** T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi **:** Ankara/16.12.1984
Telefon **:** 05553980119
Faks **:** -
e-mail **:** selcuk.ulus84mail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kanuni Süper Lisesi	2002
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-2008	Durst-Safa Kabin	Makine Mühendisi
2008-2018	Türk Silahlı Kuvvetleri	Subay

UZMANLIK ALANI

Balistik, Kompozit, Savunma

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR