

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞİK ELYAF ORYANTASYON AÇILARINDAKİ ARAMİD
ELYAFA TiB_2 TAKVİYE EDİLMESİ, MEKANİK VE BALİSTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Betül GÖKSEL

EKİM 2018

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında Betül GÖKSEL tarafından hazırlanan DEĞİŞİK ELYAF ORYANTASYON AÇILARINDAKİ ARAMİD ELYAFA TiB₂ TAKVİYE EDİLMESİ, MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Ayşegül Ülkü METİN
Üye (Danışman) : Prof. Dr. Recep ÇALIN
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hanifi ÇİNİCİ

30/10/2018

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Aileme



ÖZET

DEĞİŞİK ELYAF ORYANTASYON AÇILARINDAKİ ARAMİD ELYAFA TiB₂ TAKVİYE EDİLMESİ, MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

GÖKSEL, BETÜL

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI, YÜKSEK LİSANS

TEZİ

DANIŞMAN: PROF. DR. RECEP ÇALIN

EKİM 2018, 106 Sayfa

Bu çalışmada polimer matris malzeme olan epoksi reçine, takviye elemanı olarak ise aramid elyaf kullanılarak deneysel bir çalışma yapılmıştır. Dolgu malzemesi olarak epoksi reçineye sırasıyla kütlece %0, %1, %2 ve %4 oranında TiB₂ ilave edilmiştir. Aramid elyaf dizilim oryantasyonu 90° (yönsüz) ve 45° (yönlü) olacak şekilde iki farklı parametrede kullanılmıştır. Vakum torbalama üretim yöntemi ile epoksi ve TiB₂ karışımı aramid elyafa emdirilerek kompozit levhalar üretilmiştir. İlk olarak 90° açı ile yerleştirilmiş aramid elyaf plakalar daha sonra ise 45° açı ile yerleştirilmiş aramid elyaf plakalar üretilmiştir. Toplamda 8 farklı numune hazırlanmıştır.

Üretilen kompozit levhaların mekanik özellikleri incelenmek için çekme, eğme, darbe, mikro yapı, yoğunluk ve sertlik testlerine bakılmıştır. Ayrıca levhalara atışlar yapılmış olup sonuçları değerlendirilmiştir. Aramid elyaf dizilim oryantasyonu 90° olan numunelerin 45° olan numunelere oranla hem mekanik hem de balistik test sonuçlarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kevlar (aramid elyaf), TiB₂, Balistik, Darbe Testi, Eğme Testi, Çekme Testi, Sertlik Testi, Mikroyapı, Yoğunluk

ABSTRACT

ARAMID FIBER TiB₂ REINFORCEMENT AT DIFFERENT FIBER ORIENTATION ANGLES, MECHANICAL AND BALLISTICS INVESTIGATION

GÖKSEL, BETÜL

KIRIKKALE UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF DEFENSE TECHNOLOGIES

SUPERVISOR: PROF. DR. RECEP ÇALIN

OCTOBER 2018, 106 Pages

In this study, an experimental study was carried out using aramid fibers as reinforcements in epoxy resin, polymer matrix material. As filling material, the epoxy resin was added by 0%, 1%, 2% and 4% TiB₂, respectively. Aramid fiber knee orientation is used in two different parameters: 90° and 45°. With vacuum bag production method epoxy and TiB₂ mixture aramid fiber is absorbed and composite sheets are produced. Aramid fiber plates were first placed at 90° angle and aramid fiber plates placed at 45° angle were produced. 8 different samples were prepared in total.

The mechanical properties of the composite sheets were examined and tensile, bending, impact, microstructure, density and hardness tests were examined. The results were evaluated. Aramid fiber knee orientation was found to be better than the 45° samples of the samples with 90° aramid fiber knee orientation and the results of both mechanical and ballistic tests were found to be better.

Key words: Kevlar (aramid fiber), TiB₂, Ballistic, Impact test, Bending test, Tensile Test, Hardness Test, Microstructure, Density

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlarken yaptığım araştırmalar ve deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Recep ÇALIN'a, tez çalışmalarım esnasında bilimsel konularda yardımlarını gördüğüm hocalarım Sayın Araştırma Görevlisi Alemdar ONGUN'a, Sayın Araştırma Görevlisi Arda TANIŞ'a ve Sayın Araştırma Görevlisi Onur OKUR'a, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm tez çalışma arkadaşım Fatih BUYRULA, yardımlarını ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kardeşim Burak GÖKSEL'e, anneme ve babama çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Kaynak Özetleri.....	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	5
2.1. Kompozit Malzeme	5
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	7
2.1.2. Dokuma Yapılar	16
2.1.3. Dokuma Olmayan Yapılar	19
2.1.4. Takviye Malzeme Çeşitleri	19
2.2. Titanyum Diborür.....	24
2.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	27
2.3.1. Vakum Yöntemi	28
2.4. Balistik Özellik Testleri.....	29
2.4.1. Hedef Balistiği	29
2.4.2. Balistik Performansı Etkileyen Parametreler	32
2.4.3. Balistik Test Düzenegi	33
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	35
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	35
3.1.1. Kevlar.....	35
3.1.2. Epoksi ve Sertleştirici	36
3.1.3. TiB ₂	36
3.2. Deneysel Çalışmalar	37

3.3. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları	41
3.3.1. Mikro Yapı İncelemesi.....	41
3.3.2. Yoğunluk Testi.....	42
3.3.3. Çekme Testi	42
3.3.4. Eğme Testi	44
3.3.5. Sertlik Testi	44
3.3.6. Darbe Testi	45
3.3.7. Balistik Test	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
4.1. Mikro Yapı Sonuçları	48
4.2. Yoğunluk Testi Sonuçları.....	50
4.3. Çekme Testi Sonuçları	51
4.4. Eğme Testi Sonuçları	67
4.5. Sertlik Testi Sonuçları	85
4.6. Darbe Testi Sonuçları.....	87
4.7. Balistik Test Sonuçları	88
5. SONUÇLAR.....	98
KAYNAKÇA	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

2. 1. Kompozit malzeme bileşenleri	7
2. 2. Matris Malzeme Türüne Göre Kompozitler	8
2. 3. Matris Malzemenin Özellikleri	8
2. 4. Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması	9
2. 5. Gerilme-Şekil değiştirme ilişkisi	15
2. 6. Elyaf eksenine dik doğrultuda yüklenen birim hacim eleman	16
2. 7. Lif Temel Boyutlandırılması.....	17
2. 8. Elyaf dokuma malzeme örnekleri	17
2. 9. Atkı ve Çözümlü gösterimi	18
2. 10. 2 ve 3 boyutlu elyaf dokuma örnekleri	18
2. 11. a) 0° konumlu, (b) 0°, ±45°, 90° konumlu, dokuma olmayan fiber yapı.....	19
2. 12. Aramid elyafın yapısı	21
2. 13. Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı	24
2. 14. Titanyum-bor faz denge diyagramı	26
2. 15. TiB ₂ nin fiziksel özellikleri	26
2. 16. İşlem Tezgâhı	29
2. 17. Birincil ve ikincil lifler	31
2. 18. Bir lifin balistik darbeden önceki durumu, darbe altında enine ve boyuna hareketi ve koni formasyonu	32
2. 19. Atış test düzeneği şematik gösterimi	34
3. 1. Ultrasonik karıştırma (Cihaz adı: AGS Ultrasonic)	38
3. 2. Kevlar kumaşın yönlendirilmesinin gösterimi	38
3. 3. Deneyde kullanılan malzemelerin dizilimi	39
3. 4. Vakum torbası ile çevrilmiş malzeme.....	39
3. 5. a) Vakumlanmış malzeme b) Matris malzeme verilirken malzeme c) Matris malzeme verme işlemi bitmiş malzeme	40
3. 6. Üretilen kompozit plakalar.....	41
3. 7. Optik mikroskop	41

3. 8.Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti.....	42
3. 9.Instron 3369 Universal Çekme Test Cihazı	43
3. 10.Çekme deneyi numuneleri (a, b)	43
3. 11.Eğme Testi numuneleri	44
3. 12.Sertlik deneyi numuneleri (a, b).....	45
3. 13.Darbe Testi Cihazı.....	45
3. 14.Darbe Testi numunesi	46
3. 15.Balistik Deney Düzeneği	46
3. 16. a) Balistik deney numunesi, b) Mermi giriş görüntüsü, c) Mermi çıkış görüntüsü, d) Balistik deney numunesinin yandan görüntüsü	47
4. 1. 90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerin mikro yapı görüntüleri.....	49
4. 2. 90°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	52
4. 3. 90°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	52
4. 4.90°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	52
4. 5.90°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	53
4. 6.90°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	53
4. 7.90°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	54
4. 8.90°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	54
4. 9.90°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	54
4. 10.90°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	55
4. 11.90°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	55
4. 12.90°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	56
4. 13.90°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	56
4. 14.45°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	57
4. 15.45°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	57
4. 16.45°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	58
4. 17.45°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	58
4. 18.45°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	59
4. 19.45°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	59
4. 20.45°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	60
4. 21.45°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	60
4. 22.45°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	61
4. 23.45°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	61

4. 24.45°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	61
4. 25.45°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	62
4. 26.90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numunelerin maksimum çekme gerilme değerlerinin karşılaştırması	65
4. 27.90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numunelerin maksimum şekil değişirme değerlerinin karşılaştırması	66
4. 28. 90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	67
4. 29.90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	68
4. 30.90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	68
4. 31.90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	69
4. 32.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	69
4. 33.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	70
4. 34.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	70
4. 35.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	71
4. 36.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	71
4. 37.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	72
4. 38.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	72
4. 39.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	73
4. 40.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	73
4. 41.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	74
4. 42.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	74
4. 43.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	75
4. 44.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	75
4. 45.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	76
4. 46.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	76
4. 47.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	77
4. 48.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	77
4. 49.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	78
4. 50.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	78
4. 51.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	79
4. 52.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	79
4. 53.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	80
4. 54.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	80

4. 55.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	81
4. 56.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	81
4. 57.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	82
4. 58.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	82
4. 59.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği	83
4. 60.90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numunelerin maksimum eğme gerilme değerlerinin karşılaştırması	84
4. 61.Numunelerin sertlik test değerleri	86
4. 62.Atış yapılan 90°Kevlar0 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	89
4. 63.Atış yapılan 90°Kevlar1 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	90
4. 64.Atış yapılan 90°Kevlar2 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	91
4. 65.Atış yapılan 90°Kevlar4 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	92
4. 66.Atış yapılan 45°Kevlar0 a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü.....	93
4. 67.Atış yapılan 45°Kevlar1 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	94
4. 68.Atış yapılan 45°Kevlar2 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	95
4. 69.Atış yapılan 45°Kevlar4 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2. 1. Polimer Matrisli Malzemeler, Çelik ve Alüminyumun Mekaniksel Özelliklerinin Karşılaştırılması	11
2. 2. Termoplastik ve Termoset Farkları	14
2. 3. Aramid ve polietilen malzemelere ait özellikler	22
2. 4. Belli başlı fiberlerin karşılaştırılması	24
2. 5. Balistik performans parametreleri	32
2. 6. Balistik koruyucular için kullanılan standartlar	33
2. 7. NIJ standartında belirtilen balistik koruyucular için koruma seviyeleri	34
3. 1. Kevlar kumaşın özellikleri	36
3. 2. Epoksi ve sertleştirici malzemenin özellikleri	36
3. 3. TiB ₂ 'nin fiziksel özellikleri	37
3. 4. TiB ₂ miktarının kütlece oranı çizelgede verilmiştir	37
4. 1. 90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin deneysel yoğunluğu, teorik yoğunluğu ve % Porozite miktarı.....	50
4. 2. Numunelerin standart sapma, medyan ve ortalama değerleri	51
4. 3. 90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin Maksimum Çekme Gerilmesi ve % Uzama Değerleri ve Ortalamaları	63
4. 4. 90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin Maksimum Eğme Gerilmesi ve Ortalamaları.....	83
4. 5. Sertlik Deneyi Sonuçları	86
4. 6. Darbe testi enerjisi delinme değerleri	87
4. 7. Plakalara yapılan mermi test sonuçları	97

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER DİZİNİ

°C	Derece Santigrat
g	Gram
m ²	Metrekare
µm	Mikrometre
cm ³	Santimetreküp
ρ	Yoğunluk

KISALTMALAR DİZİNİ

GPa	Gigapascal
V ₅₀	Limit Hız
TiB ₂	Titanyum Diborür
NIJ	National Institute of Justice

1. GİRİŞ

1.1.Amaç ve Kapsam

İnsanlık tarihi boyunca hem daha gelişmiş silahlar arayışına girilmiş hem de bu silahlara karşı korunma hakkında araştırma ve geliştirmeler yapılmıştır. Araştırma ve geliştirmeler sonucunda silahların boyutlarında küçülme, ağırlıklarında azalma olurken menzillerinde ve etki alanlarında artma olmuştur. Buna bağlı olarak da balistik koruyucu malzemelerde daha hafif olunması daha mukavemetli olunması ön plana çıkmaya başlamıştır. Metal malzemelerden üretilen bu balistik koruyucu kompozit malzemeler yüksek mukavemetli fiberlerin gelişmesiyle de yerini daha hafif olan bu fiberlere bırakmıştır.

Günümüzde yüksek mukavemetli fiberler yalnızca savunma sanayisinde kullanılmayıp uzay, havacılık, denizcilik, inşaat, taşıt teknolojisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1,2].

1960'lı yılların sonlarına doğru Dupont firması tarafından yapılan çelikten daha hafif fakat beş kat daha mukavemetli bir fiber olan paraaramid fiberini geliştirmiştir. Geliştirilen bu fibere “Kevlar” adı verilmiştir. Teijen firması tarafından geliştirilen fibere de “Twaron” adı verilmiştir [3].

Aramid elyaflar; yüksek mukavemetli, düşük yoğunluklu, yüksek aşınma, yorulma ve kimyasal dayanımına sahip elyaflardır. Bu sebeple de kullanım alanı çok geniştir. TiB_2 ise yüksek aşınma ve korozyon direncine sahiptir [3].

Bu tez çalışmasında epoksi matris malzemesine değişik oranlarda TiB_2 ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlar aramid elyafa emdirilerek kompozit malzeme elde edilmiştir. Elde edilen levhaların, balistik ve mekanik özelliklerini incelemek amacı ile yapılmıştır.

Vakum torbalama üretim yöntemi ile epoksiye sırasıyla %0, %1, %2 ve %4 oranında TiB_2 ilave edilerek Kevlara emdirilmiştir. Böylelikle çalışmanın amacı farklı TiB_2 içeren kompozit malzemelerin balistik ve mekanik özelliklerinin incelenmesidir.

1.2.Kaynak Özetleri

Barut (2015) çalışmasında aramid kumaş kullanmıştır. Değişik tabaka sayısında ve basınçta üretilen kompozit malzeme plakaların balistik ve çekme mukavemeti davranışlarını incelemiştir. Yapılan deneylerden in iyi sonucu veren kompozit malzemenin aramid kumaş kat sayısı 20, kalınlığı 7,35mm ve en ideal basınç değerinin ise 42-63 bar aralığında olduğu saptanmıştır [3].

Özek (2005) çalışmasında hafif silahlara karşı balistik koruyucu malzemeler hazırlamıştır. Deneylerinde aramid elyaf kullanmıştır. Elde edilen balistik koruyucu kompozit malzemenin balistik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen numunelere çekme deneyi, darbe sönümleme deneyi ve balistik darbe deneyi yapılmış olup elde edilen bulgular yorumlanmıştır [4].

Da Silva (2005) çalışmasında aramid elyaf olan Kevlar 29 elyafını incelemiştir. Balistik darbe karşısında Kevlar 29 elyaf kompozit plakaların delinmesini, yüzey hasarını ve çöküntü miktarı ile mermi hızını inceleyerek, deneysel sonuçları kıyaslanmıştır. Sonuçların birbirine yakın çıktığını gözlemlemiştir. Nümerik modellemeye doğru sonuca ulaşılabilceğini tespit etmiştir [5].

Zhang ve arkadaşlar (2007) çalışmalarında aramid elyaf olan Kevlar balistik koruyucu malzemeler üzerinde çalışmıştır. 10 kat kevlerden oluşturulan numuneye, 9 mm'lik özel test mermisi ile atış yapılmıştır. Oluşan hasar incelenmiştir. İpliklerin kopması, merminin geçtiği noktalar ile balistik koruyucu malzeme arasında oluşan sürtünmelere dikkat etmiştir. Balistik koruyucu malzemeler test yapımında kullanılan çerçevelere bağlanmıştır. Çerçeve boyutunun küçülmesiyle mühimmat atık hızı ve kinetik enerjisi artmıştır. Böylelikle küçük çerçevelere sabitlenmiş balistik koruyucu malzemelerin

V_{50} parçacık testi hızı, daha büyük balistik koruyucu malzemelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir [6].

Yavaş (2008) çalışmasında kevlerden olan kompozit zırhların üzerine bir çalışma yapmıştır. Kevlara numunesine NIJ 0101.04 III-A koruma seviyesinde yapılan atışlarda olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir. Atışlar sonucunda III-A koruma seviyesinde $V_{ort}=436$ m/sn bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda numunenin bireysel koruma için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [7].

Walker (2001), çalışmasında Kevlar 29 elyafına farklı miktarlarda reçine emdirmiştir. Reçine miktarının balistik performansı nasıl etkilediğini incelemiştir. Yoğunluğu düşük olan Kevlar elyafında kütleli olarak bir azalma ve bunun sonucu olarak da çekme mukavemetinde azalma olmuştur. Reçine ilavesi ile daha yüksek balistik limit sağlandığı gözlemlenmiştir [8].

Temiz (2005), çalışmasında paraaramid ve PBO elyaf ile yumuşak bir kompozit malzeme elde etmiştir. Paraaramid ve E-cam elyafın epoksi reçine ile sertleştirilmesi sonucunda ise sert bir kompozit malzeme elde edilmiştir. Elde edilen iki kompozit malzemenin balistik özellikleri karşılaştırılmıştır. Balistik testleri sonucunda yumuşak kompozit malzemenin mermilere karşı koruma sağladığı gözlemlenirken sert kompozit malzemenin uygun bir koruma sağlayamadığı gözlemlenmiştir [9].

Ongun (2015), çalışmasında epoksi reçineye saf olarak ve değişik oranlarda nanokil takviye etmiştir. Matris malzeme karbon elyafa vakum yöntemi ile emdirilmiştir. Elde edilen 8 farklı kompozit plakaların mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular yorumlanmıştır [10].

Buitrego (2010), polimer matrise E-cam elyaf takviye ederek farklı kalınlıkta numune üretmiştir. Bu numunelerin balistik özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarında 7,5 mm çapında ve 1,7 gr ağırlığındaki çelik küre ile 80- 780 m/sn arasındaki hızlarda atışlar yapmıştır. Elde edilen sonuçlarda kalın olan numunelerin balistik dayanımının daha iyi olduğunu gözlemlemiştir [11].

Yılmaz (2012), el yatırma ve presleme tekniği yöntemi ile epoksi reçine matris elemanı ile Kevlar129, SB21 ve E-cam elyaflarını kullanarak farklı tabaka sayılarında numune üretmiştir. Bu numunelerin balistik performansını incelemiştir. Tabakalardaki kat miktarının farklı olmasının ve farklı lif kombinasyonlarının balistik performansa etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda optimum değerlerin E-cam (10x3 kat) / Kevlar129 (15 kat) / SB21 15 (kat) numunesinde ulaşılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlardan yüksek basınçlı presleme yöntemi kullanılarak üretilen numunelerin daha yüksek mermi hızlarına karşı balistik dayanımlarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir [12].

Yanen (2016) çalışmasında farklı kombinasyonlarda tabakalı hibrit kompozit malzeme üretimi yapmıştır. Polyester reçineye takviye elemanı olarak farklı kombinasyonlarla Karbon elyaf, cam elyaf ve aramid elyaf kullanmıştır. 30 katlı numuneler arasında en başarılı balistik test sonucunu veren numunenin [Karbon 10 kat / Aramid 10 kat / Cam 10 kat] kombinasyonunda olduğunu tespit etmiştir [13].

Reis ve arkadaşları (2012), epoksi matrisli takviye elemanı olarak Kevlar elyafı kompozit levhalara, epoksi ağırlığının %1,5, %3 ve %6 ağırlığı oranında nanokil eklemiştir. Elde edilen numunelerin düşük hız darbe ve darbe hasarı ilişkisini incelemişlerdir. En iyi sonuçları %6 oranda almalarına rağmen en iyi iyileşmenin %1,5' dan %3' e çıkarken olduğunu gözlemlemişlerdir. %3' den %6 ya %1,15 iyileşme görülürken, %1,5' den, %3' e %32,22'lik bir iyileşme görmüşlerdir [14].

Candan (2007) çalışmasında aynı tabaka sayısındaki yüksek moleküler yoğunluklu polietilen plakaları preslenerek ve preslenmeden üretmiştir. Elde edilen numunelerin balistik özelliklerini incelemiştir. Yapılan balistik testler sonucunda preslenerek elde edilen plakaların preslenmeden elde edilen plakalara oranla balistik testlerde daha başarılı olduğu tespit edilmiştir [15].

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1.Kompozit Malzeme

Kompozit malzeme tanım olarak, iki ya da daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemede bir arada toplayarak ya da yeni bir özellik kazandırmak amacı ile bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere denir.

Kompozit malzemeler yapıyı oluşturan malzemeler birbiri içerisinde çözünmezler ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa bir miktar çözünme görülebilir [16].

Mühendislik malzemelerinin değişik uygulamalarda belirli birtakım özellikleri barındırması istenir. Bunlar; çekme, basma, eğme, akma, sürtünme, yorulma mukavemeti, sertlik, tokluk rijitlik, aşınma direnci gibi mekaniksel özellikler, elektriksel iletkenlik, yalıtkanlık, ısı iletkenlik-yalıtkanlık, manyetik özellikler, yoğunluk vb. fiziksel özelliklere, kararlılık, korozyon direnci gibi kimyasal özelliklerdir. Malzeme seçiminde önem kazanan ve ölçülebilen bu özelliklerin yanında aynı zamanda malzemelerin birim maliyetleri, ihtiyaç duyulan miktar, kolay ulaşılması, işlenebilmesi ve şekillendirilebilmesi gibi diğer özellikler de mühendis ve işletmecilerin her zaman göz önünde bulundurdıkları faktörlerdir [16].

Kompozit malzemelerin tercih edilmesindeki en önemli nedenler;

- Yüksek rijitlik,
- Düşük ağırlık,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Aynı ağırlıktaki malzemelerle karşılaştırıldığında mukavemetlerinin çok daha iyi olması,
- Çekme dayanımlarının diğer malzemelere kıyasla daha iyi olması,
- Yorulma dayanımlarının daha iyi olması,

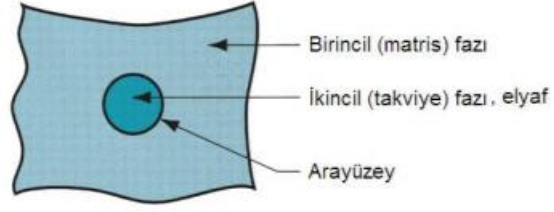
- Kompozit malzemelerin darbeyi soğurma enerjilerinin diğer malzemelere oranla daha iyi olması,
- Tasarımlarının daha esnek olması ve bunun sonucunda istenilen özelliklerin sağlayabilir olması,
- Korozyon tehlikesinin neredeyse olmaması [16,17]

Olumsuzlukları;

- Çoğu kompozitler anizotropiktir (Göstermiş olduğu özellikleri yöne bağlıdır. Bu durum üstünlükte olabilir, zayıflıkta olabilir.)
- Üretim güçlüğü (İmal usulleri yavaş ve pahalıdır)
- Kırılma uzamasının az oluşu [17]

Kompozit malzemeler mikroskopik olarak incelendiğinde heterojen bir malzeme gibi gözükse de makroskopik olarak incelendiğinde homojen bir malzeme olarak davranış gösterirler. Kompozit malzemelerin özelliklerini dört temel unsur belirler. Bunlar matris, fiber, ara yüzey ve mikro yapı özellikleridir [18,19].

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak, ikincil (takviye) faz malzemesi (fiber, parçacık vb.) ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan birincil (matris) malzeme bulunmaktadır. İkincil malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamakta iken matris malzeme, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirir. Matris olarak kullanılan malzemenin diğer bir amacı da ikincil malzemeleri yük altında bir arada tutabilmektir. Bu yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktadır. Böylelikle ikincil malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olunur [20].



Şekil 2. 1. Kompozit malzeme bileşenleri [21]

2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

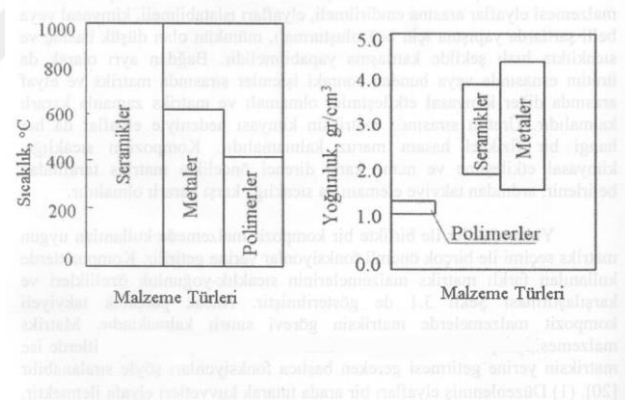
Kompozit malzemeler matris malzeme ve takviye elemanı olarak adlandırılan malzemelerden meydana gelirler. Kompozit malzemeler matris malzemenin türüne göre ve yapı bileşeninin şekline göre sınıflandırılırlar.

Matris malzeme türüne göre;

- Polimer Matrisli Kompozitler
- Seramik Matrisli Kompozitler
- Metal Matrisli Kompozitler



Şekil 2. 2.Matris Malzeme Türüne Göre Kompozitler [22]

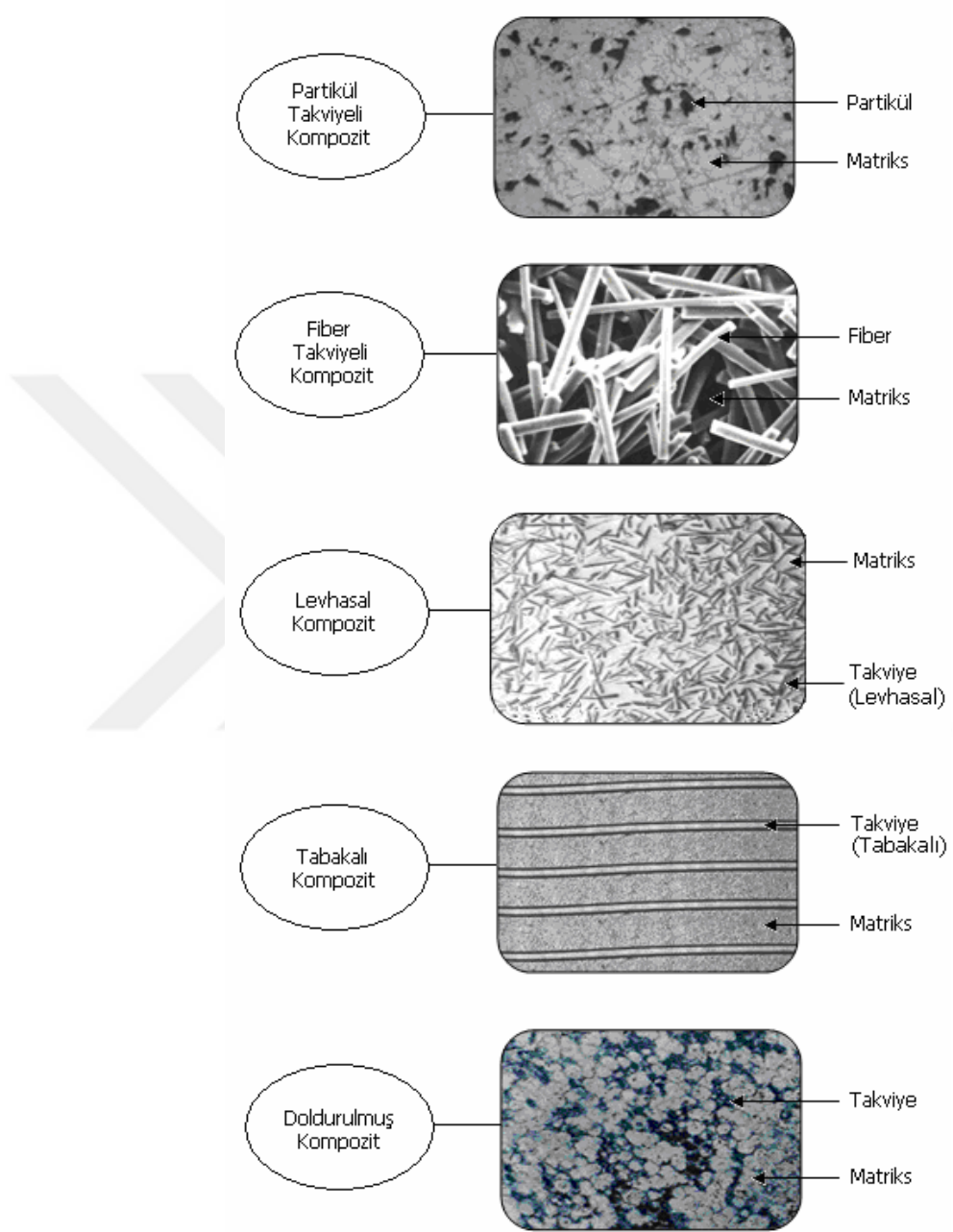


Şekil 2. 3.Matris Malzemenin Özellikleri [23]

Yapı bileşenlerinin şekline göre;

- Partikül (Parçacık) Takviyeli Kompozitler
- Fiber (Elyaf) Takviyeli Kompozitler
- Levhasal Kompozitler

- Tabaka Yapılı Kompozitler (Lamine Kompozitler)
- Dolgu Yapılı Kompozitler



Şekil 2. 4. Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması
[24]

2.1.1.1.Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu, yüksek sıcaklıkta birtakım özellikleri sağlamalarına karşın kırılgan olmaktadır. Ancak metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler, her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedirler. Bakır ve Alüminyum matrisli, Wolfram veya Molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti, bize bu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Bu tip kompozitler, matrisin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu kompozitler de metal matris içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi, gelişi güzel olarak dağıtılmış küçük parçalar halinde de olabilmektedir [18].

2.1.1.2.Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşimlerinden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte, rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği de gösterirler [18].

2.1.1.3.Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemeler en yaygın kullanılan kompozit malzeme çeşididir. Son 35-40 yıl içerisinde önemli gelişmeler göstermiş olup, günlük yaşantımız da ve endüstrinin hemen her dalında kullanılan malzemeler olmuştur. Yaygın olarak kullanılmasının sebepleri:

- Nispeten düşük fiyatları,
- Yüksek mukavemetleri,
- Kolay üretim yöntemleri,
- Yoğunluğu düşük hafif malzemeler olması,

- Atmosferik korozyona ve kimyasal maddelerin pek çoğuna karşı iyi bir direnç göstermeleri,
- Düşük viskozite ile fiberlerin iyi ıslanmasına izin veren ve işlem sırasında fiberlerin kaymasını önleyen düşük akım hızları,
- Kurlenme sırasında düşük uçuculuk,
- Epoksi ve takviye arasındaki bağda görülen büyük kayma gerilmelerinin artma eğilimini azaltan düşük büzülme oranları,
- Belirli özellikleri ve işleme gereksinimlerini karşılamak üzere çok fazla çeşidinin mevcut olmasıdır [10,25].

Çizelge 2. 1. Polimer Matrisli Malzemeler, Çelik ve Alüminyumun Mekaniksel Özelliklerinin Karşılaştırılması [10]

	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kopma Uzaması (%)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m/°C)
E-Camı	2.5	2.5	2-3.5	70	
S-Camı	2.5	2.8	4.57	86	
Cam / Epoksi	1.8		1.1	38.6	8.6
Grafit	1.4	1.4-1.8	4	230-240	
Grafit / Epoksi	1.6		1.5	181	0.02
Kevlar	1.4	3.3-3.7	3-3.15	63-67	
Çelik	7.8		0.64	206	11.7
Alüminyum	2.6		0.28	68.95	23

Çeşitli mühendislik uygulamalarında metallerin yerine tercih edilen polimer kompozitler sadece hafiflik, mekanik dayanım gibi özellikleri nedeni ile değil aynı zamanda insan dokuları ile uyum sağlayan ve sertlik derecesi ayarlanabilen yapay doku ve organlar gibi uygulamalarda metal ve seramik malzemelerin yerlerine kullanılmaktadır. Fiber olarak kullanılan plastik, yük taşıyıcı bir özelliğe sahiptir. Matris olarak kullanılan plastik ise esneklik verici, darbe emici özelliğine sahiptir. Kullanılabilecek plastik türleri de iki grupta incelenebilir [21]

Termoplastikler: Bu tür plastikler, ısıtıldığında yumuşar ve şekil verildikten sonra soğutulmaya bırakıldığında sertleşirler. Bu işlem sırasında plastiğin mikro yapısında herhangi bir değişim olmaz. Genellikle 5-50°C arasındaki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Bu gruba giren plastikler şu şekilde sıralanabilir:

- Naylon
- Polietilen
- Karbonflorür
- Akrilikler
- Selülozikler
- Viniller [26]

Termoset Plastikler: Bu tip plastiklerde ise ısıtılıp şekillendirildikten sonra soğutulduklarında mikro yapılarında oluşan değişim sebebiyle eski yapılarına dönüşümü mümkün değildir. Bu grubun belli başlı plastikleri ise şunlardır:

- Polyesterler
- Epoksiler
- Alkiter
- Aminler [26]

Termoset kompozit malzemeler, reçineler ile sertleştiricilerin belli oranlarda karıştırılması ve takviye malzemeye emdirilmesi ile elde edilir ve karışım esnasında reçine ile sertleştirici malzemeler arasında geri dönüşümü olmayan kimyasal reaksiyonlar ve bağlar meydana gelir. Katılan termosetler ısı ile bir daha sıvı hale dönüşmezler. Belli bir sıcaklık değerlerinin üzerine çıkıldığında mekanik özellikleri önemli ölçüde değişir. Bu sıcaklık cam geçiş sıcaklığı olarak bilinmektedir. Kullanılan reçine türüne, pişirme derecesine ve doğru bir karışım elde edilip edilmediğine bağlı olarak değişmektedir. Cam geçiş sıcaklığından büyük sıcaklıklarda, termoset polimer molekülleri rijit kristal bir yapıdan daha esnek amorf polimer bir yapıya dönüşürler ve bu değişim cam geçiş sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara tekrar inildiğinde geri dönüşüm özelliğine sahiptir. Cam geçiş sıcaklığından büyük sıcaklıklarda, reçine elastisite modülü dolayısıyla da basma ve kayma mukavemeti keskin bir şekilde düşme

gösterirken bunların dışında, su direnci ve renk stabilitesi gibi özellikler de önemli ölçüde düşmektedir [12]

Termosetler sıvı reçine halindedirler. Bir kez katılaştıktan (kür) sonra tekrar yumuşatması ve şekillendirilmesi mümkün değildir. Termoset reçineler küçük monomer moleküllerini, uzun ve aralarında kuvvetli bağlar bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal reaksiyon sonucu oluşur ve bu reaksiyonun gerçekleşmesi için genellikle katılaştırıcı kullanılır. Katılaştırıcı ilavesi ile sıvı durumdan önce jel haline gelir ve sonra da katılırlar. Termoset reçineler izotropiktirler. Plastikler arasında kalıpta şekil verilebilen, ısı direnci en yüksek polimerlerdir [12].

Termoplastiklerden daha sert ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Endüstride kullanılan matrislerin genel olarak %75'i termosettir. Oda sıcaklığındaki sınırlı çalışma zamanı, katılma için geçen uzun fabrikasyon zamanı, kopma esnasındaki düşük uzama termosetlerin dezavantajlarıdır. Epoksiler, polyesterler, vinylesterler, fenolikler, silikonlar, poliüretanlar ve akrilikler en yaygın kullanılan termoset matris malzemeleridir. Yüksek mukavemet göstermeyen durumlarda en çok kullanılan matris malzemesi polyester reçinedir [12].

Epoksi; bir tane oksijen atomu ile iki tane karbon atomundan oluşan bir kimyasal gruba verilen addır ve çekme, basma, aşınma, kimyasal ve darbe dayanımları oldukça yüksektir. En önemli özelliği, hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun, herhangi bir yüzeyi yapıştırma kabiliyetidir. Viskozitesi çok düşüktür ve oda sıcaklığında katılabilirler. Uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımları 150-200 °C'ye kadar artırılabilir. Büzülmesi %2'den az olan epoksi kür işlemlerinde uygun katalizörlerin kullanılması ile hızlandırılabilir. Sertleşme sırasında kendini çekme sorunu yoktur [12].

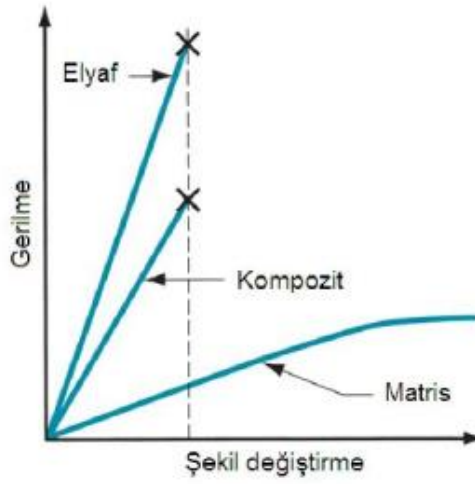
Epoksi termoset reçine sahip olabilecekleri formülasyonların çeşitliliği ve çok yönlü işlenebilirlik özellikleri sebebi ile birçok alanda kullanılabilir. Epoksi reçinenin avantajları şunlardır:

- Yüksek kopma mukavemeti,
- Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlaması,
- Yüksek aşınma direnci,
- Uçucu olamamaları ve kimyasal dirençlerinin yüksek olması,
- Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliği,
- Başlangıçtaki reçine sistemi sıvı formda olduğu için termoset kompozitleri işlenmesi kolay olması,
- Lifler, termosetlerle kolay ısıtılabilirdiğinden, boşluk ve gözenek daha az olması,
- Termoset kompozitlerin işlenmesinde, termoplastik kompozitlere göre, ısı ve basınç gereksinimi daha azdır ve bu da enerji kazanımı sağlar,
- Termoset kompozitlerin işlenmesinde, basit ve düşük maliyetli teçhizat kullanılabilir.
- Epoksi reçinenin dezavantajları:
- Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygun olması,
- Maliyetlerinin daha yüksek olması,
- Uzun kür zamanları gerektirmesi ve termoplastiklere göre düşük üretim oranları elde edilmesi,
- Kompozit parçalar, bir kez kür edilir, katılaştırıldığında tekrar şekil verilemezler [12].

Çizelge 2. 2.Termoplastik ve Termoset Farkları [10]

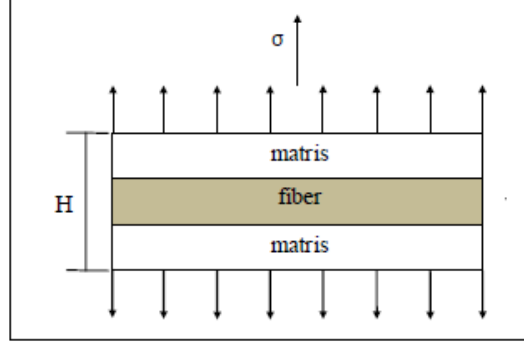
Termoplastikler	Termosetler
Isı ve basınç altında yumuşar ve böylece tamir edilebilir	Isıtmayla ayrıştırılamaz
Yüksek kopma şekil değiştirmeleri	Düşük kopma şekil değiştirmeleri
Belirsiz raf ömrü	Kesin raf ömrü
Yeniden işlenebilirlik	Tekrar işlenemez
Kolay işlenebilme ve yapışkan olmama	Yapışkan
Kısa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

Şekil 2.5.' de kompozit malzeme ve bileşenlerinin gerilme- şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir. Elyaf sert, ancak kırılgaçken matris (polimer) sünektir. Çoğu malzemenin elyaf halindeki dayanımı, kütle halindeki dayanımından daha büyüktür ve polimer matris içine gömülmesiyle beraber, elyafın dezavantajlarından kaçınılarak, dayanımından faydalanılan bir kompozit malzeme elde edilir. Matris, elyaf yüzeyini korur. Burkulmaya karşı direnç gösteren kütle şekli sağlar. Yük uygulanınca düşük dayanıma sahip matris (polimer), şekil değiştirerek gerilmeyi yüksek dayanımlı liflere aktarır [27].



Şekil 2. 5.Gerilme-Şekil değiştirme İlişkisi [10]

Elyafaların mukavemeti ve malzeme içerisindeki yönelimleri kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Elyafaların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyafalara iletilen yük miktarı artmaktadır. Uzun elyafaların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaf doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanır. Elyafa dik doğrultuda ise oldukça düşük mukavemet elde edilir. Her iki yönde de eşit mukavemet iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle sağlanabilir [28].

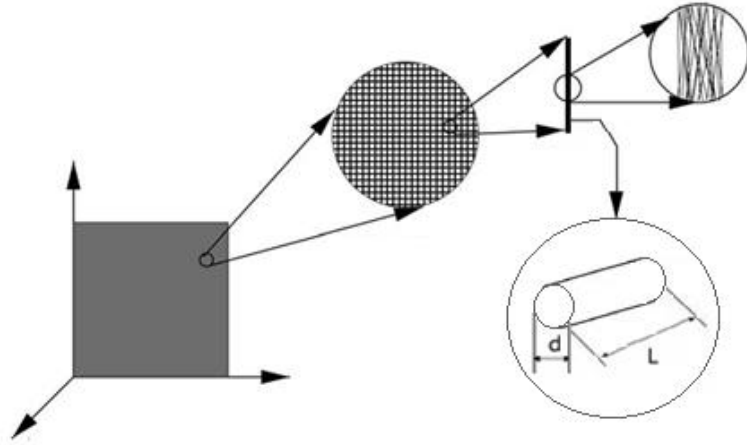


Şekil 2. 6.Elyaf eksenine dik doğrultuda yüklenen birim hacim eleman [12]

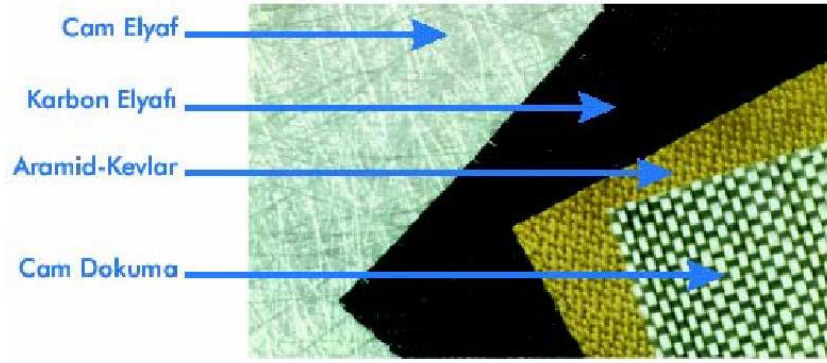
Şekil 2.6 da gösterildiği üzere elyaf eksenine dik doğrultuda gelen bir kuvvet uygulandığında, elyaf ve matris üzerinde eşit olarak yük uygulanır.

2.1.2. Dokuma Yapılar

Elyaf kelimesi lif kelimesinin çoğuludur ve daha yaygın olarak kullanılır. Liflerin çapı ortalama 0,01 mm mertebesinde ve narinlik oranı 10000'e kadar çıkabilmektedir. ($L/d \leq 104$). Lifler farklı kaynaklardan elde edilebilirler. Sentetik lifler ve doğal lifler olmak üzere ayrılırlar. Değişik özellikleriyle de lifler büyük çeşitlilik göstermektedir. Şekil 2.7.'de şematik olarak lif temel boyutlandırması gösterilmiştir [18,29].

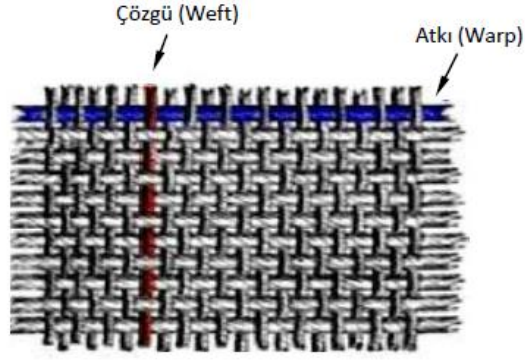


Şekil 2. 7.Lif Temel Boyutlandırılması



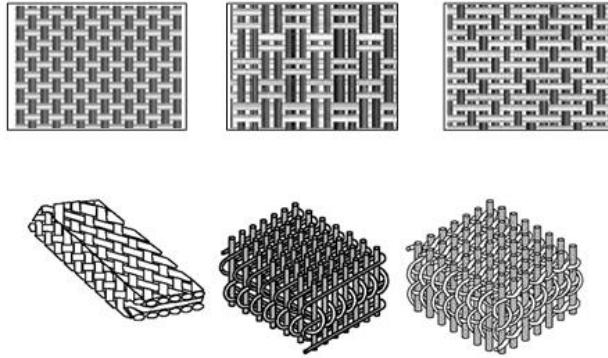
Şekil 2. 8.Elyaf dokuma malzeme örnekleri [29]

Elyaf dokuma yapılar 2 boyutlu ve 3 boyutlu olabilirler. 2 boyutlu elyaf dokuma bir yapı, 90° olarak iç içe geçmiş atkı ve çözgü liflerinden oluşur ve düzlem, twill ve basket olarak çeşitlendirilir. Birim alanda atkı ve çözgü yoğunluğu darbe enerjisinin daha hızlı ve kolay yayılabilmesini sağlar. Basket tipi dokuma düzlem tip dokumaya benzemektedir. Bu dokuma tipinde hem atkı yönünde hem de çözgü yönünde 2 veya daha fazla lif birlikte örülmüştür. Twill tipi dokuma da basket tipi örgüye benzer bir yapıya sahiptir ve bu dokuma tipinde ikişerli atkı ve çözgü lif çiftlerinden bir seferde bir adet lif dokunmuştur. Balistik koruyucu uygulamalarında en yaygın kullanılan dokuma şekilleri düzlem ve basket tipi dokumalardır. [30,31]



Şekil 2. 9.Atkı ve Çözü gösterimi [13]

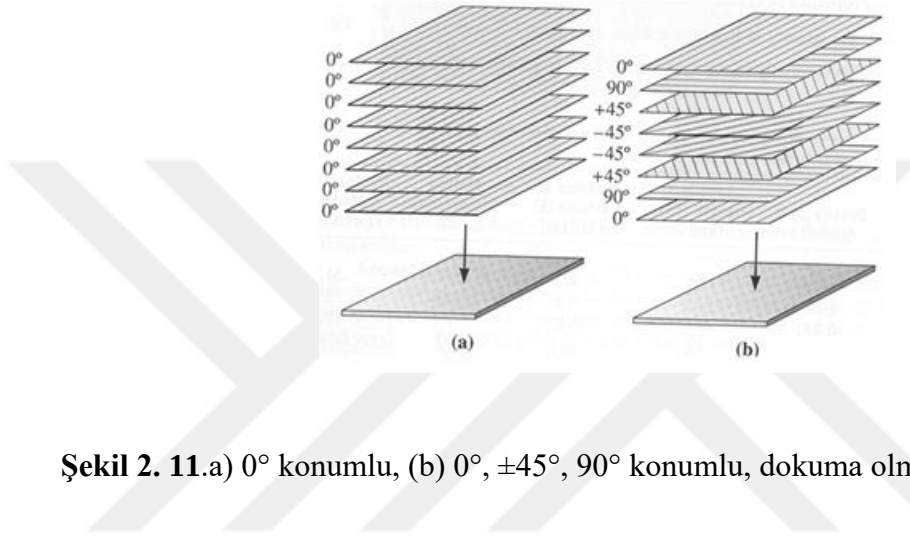
3 boyutlu dokuma çeşitleri temel olarak; örgülü, ortogonal, üç eksenli yapılardır. Darbeye karşı dirençleri yüksektir ve diğer kompozit zırh sistemlerine göre daha ince yapıda olan balistik koruyucu yeleklerde enerji sönümleme kabiliyetleri 2 boyutlu sistemler kadar verimli değildir. 2 boyutlu ve 3 boyutlu elyaf dokuma örneklerinin resimleri Şekil 2.10.'da sunulmuştur [32].



Şekil 2. 10.2 ve 3 boyutlu elyaf dokuma örnekleri

2.1.3. Dokuma Olmayan Yapılar

Dokuma olmayan fiber yapılar bir tabakanın aynı özellikli diğer bir tabaka ile Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi birbirlerine 0° , 45° veya 90° konumlanır. Bu fiber tabakanın birleşimi olacak şekilde bir reçine bağlayıcı kullanılarak birleştirilmesiyle üretilirler [12].



2.1.4. Takviye Malzeme Çeşitleri

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca takviye fiber türleri;

- Bor Elyaf
- Cam Elyaf
- Karbon Elyaf
- Yüksek yoğunluklu polietilen elyaf
- Poliamid elyaf
- Polyester elyaf
- Doğal organik fiberler
- Aramid elyaf

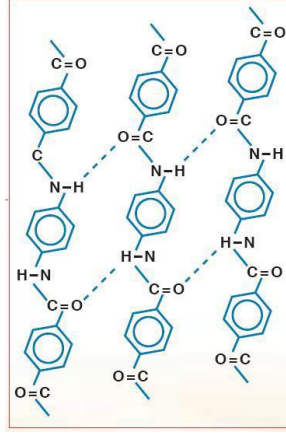
Yukarıda sıralanan fiberler arasında en çok cam, karbon ve aramid fiberleri kullanılmaktadır ve cam, karbon ve aramid fiberleri sağlam, sert ve sürekli biçimde üretilmektedirler [33].

2.1.4.1.Aramid Elyaf

Aramid kumaşlar yapı ve özelliklerine göre Meta-aramid ve Para-aramid olarak ikiye ayrılırlar. Metaaramidler ısı dirençleri çok yüksektir. Tutuşturulamazlar ve yakılamazlar. Aramid fiberlerin ısı koruyucu üretiminde kullanılan türleridir. Aramid kumaşların en bilinen türleri; Nomex (Dupont), Conex (Teijin) ve Conex HT (Teijin)'dir. Aramid kumaşların balistik uygulamalarda kullanılan türleri ise paraaramid fiberlerdir. En bilinen türleri ise Kevlar (Dupont), Twaron (Akzo) ve Technora (Teijin)'dir [34].

Aramid elyafların çekme mukavemeti çelikten yaklaşık 5 kat daha fazladır dolayısıyla da 1 m boyunda 1 kg ağırlığında bir aramid halat, aynı boy ve ağırlıkta bir çelik halattan 5 kat daha fazla yük taşıyabilmektedir. Aramid elyaflar bu yüksek çekme mukavemeti özelliği sayesinde balistik koruma amaçlı olarak kullanılabilirler. Aynı zamanda sürtünme ve aşınmaya da çok dayanıklıdır. Basmada ise aynı performansa sahip değildir [35].

Kevlar ve Twaron, 307-347 °C'de cam geçiş sıcaklığına ulaşırlar. Ortalama 497 °C civarında ise erimeye başlarlar. Polimerlerin üst kullanım sıcaklığının ortalama 250 °C ve erime sıcaklığının 300 °C'dir. Paraaramid lifler çok geniş bir ısı yelpazesinde mükemmel dayanıklılık özellikleri göstermektedirler. -196 °C gibi ve daha düşük sıcaklıklarda dahi dayanıklılığını korurlar. Mükemmel boyutsal kararlılık özellikleri gösterirler. Aramid elyaflar, kimyasal maddelerden ve nemden etkilenmeyen, birkaç kuvvetli asit ve alkali hariç kimyasal direnci çok iyi olan malzemelerdir. [4]



Şekil 2. 12.Aramid elyafların yapısı [4]

Kevların moleküler oryantasyonu iyidir. Mukavemeti ve elastisite modülü yüksektir. Aromatik halka yapısının sayesinde termal dayanımı oldukça iyi bir malzemedir. Aramid elyaflar direkt olan ultraviyole ışınlarına karşı hassastırlar. Kompozit malzemeler içerisinde yer aldıklarında direkt olarak ultraviyole ışınlarına maruz kalmadıkları için bu ışınların olumsuz etkilerinden çok az etkilenirler ya da hiç etkilenmezler.

Kevlar ipliğinin kopma mukavemeti bir çelik telden 5 kat daha yüksektir. Yoğunluğu ise çeliğin yoğunluğunun beşte biri oranındadır. Düşük ağırlıkta yüksek mukavemet, yüksek modül ve kesilmeye karşı yüksek dayanım göstermektedir. Elektrik iletkenliği düşük, yüksek sıcaklığa ve kimyasallara karşı yüksek dayanıma sahiptir [36].

Çizelge 2.3.'de Kevlar ve Spectra çeşitlerinin bazı mekanik özellikleri verilmiştir. Bu elyaflar mayından koruyucu botlar, kurşungeçirmez yelekler ve miğferler gibi birçok balistik koruyucu malzemede yaygın olarak kullanılmaktadırlar [37]

Çizelge 2. 3.Aramid ve polietilen malzemelere ait özellikler

Malzeme	Yoğunluk (g/m³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
Aramid				
Kevlar 29	1,44	70	2700-3000	3,5-4,2
Kevlar 49	1,44	112-135	2900-3400	2,4-2,8
Kevlar 129	1,44	88-99	3400-4200	3,3-3,5
Kevlar 149	1,44	143-175	2300-3400	1,5-1,8
Kevlar KM2	1,44	63-112	3000-3300	2,4-0,4
Technora	1,39	90	2800	4
Twaron	1,44	60	2600	3
Polietilen				
Spectra 900	0,97	117	2600-2800	3,5
Spectra 1000	0,97	172	2900-3000	2,7
Spectra 2000	0,97	87	2600	3,5

Kevlar liflerine baktığımızda Kevlar 49'un elastisite modülünün Kevlar 29'un iki katıdır. Kevlar 29'un uzama miktarının en iyidir. En düşük yoğunluğa Technora lifi sahiptir. Kevlar çeşitlerinin kullanım alanlarına ve özelliklerine bakılacak olursa;

K29 – Endüstriyel uygulamalarda asbestin yerini almıştır (kablo gibi), vücut ve araç zırhlarında, fren balatalarında vb.,

K49 – Kablo ve halatlar gibi yüksek elastisite modülü istenen yerlerde, tekne ve havacılıkta,

K100 – Kevların renkli versiyonudur. Eldivenlerde, spor malzemelerinde,

K119 – Yüksek uzama kabiliyetine sahiptir. Esnek ve yorulma dayanımı yüksek, araç kemerlerinde ve hortumlarında,

K129 – Hafifletilmiş, daha yüksek dayanıma sahip, hayat kurtarıcı aksesuarlarda, yüksek basınç altında çalışan yağ ve gaz sanayisinde,

K KM2 – Zırh uygulamaları için balistik direnci yükseltilmiştir [10]

Kevlar lifleri nemi absorbe edebilirler ve bu sebeple cam elyaf malzemelerden yapılan kompozitlere göre çevre şartlarına karşı daha hassas yapıya sahiptirler. Kopma dayanımı ve elastisite modülünün yüksek olmasına rağmen, sıkıştırılabilirlik değerleri nispeten zayıftır. Bununla birlikte, Kevların kesilmesi oldukça zordur [12].

Kevlar liflerinin önemli özellikleri;

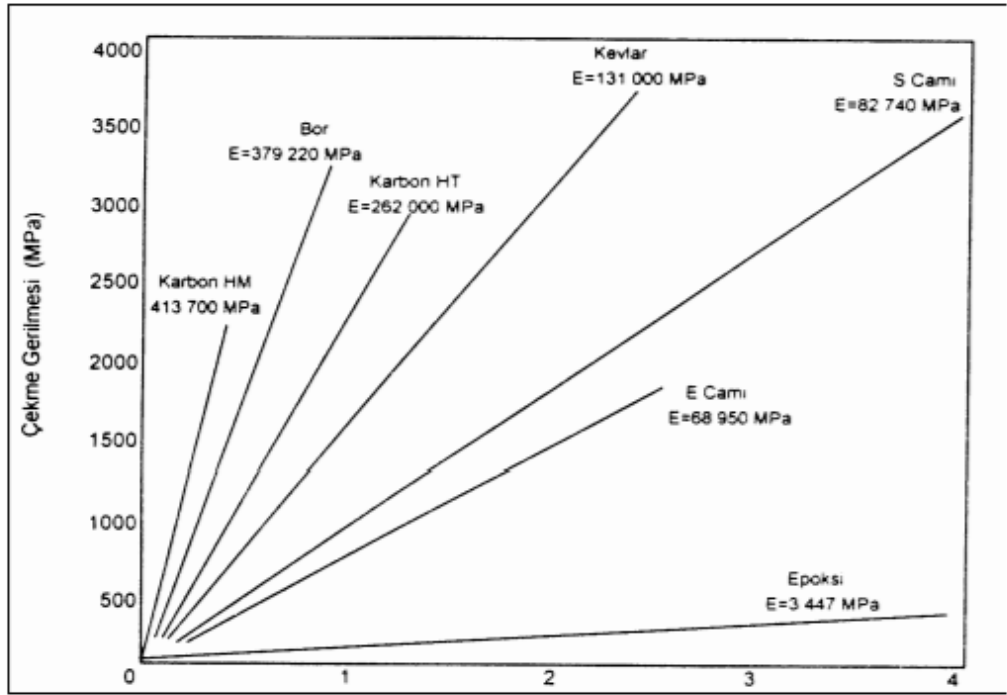
- Yüksek darbe,
- Yüksek aşınma,
- Yüksek yorulma ve kimyasal dayanımı,
- Düşük yoğunluk ve E-cam türü elyaflar yakın basınç dayanımı olarak özetlenebilir.

Dezavantajları ise;

- Bazı aramid elyaf türleri ultraviyole ışınlar maruz kaldığında bozulma gösterir. Bu sebeple sürekli karanlıkta saklanmaları gerekir.
- Elyaflar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskobik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır [12].

Çizelge 2. 4.Belli başlı fiberlerin karşılaştırılması [4]

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Modülüs (GPa)
S-Cam	2,49	4750	89
Alüminyum	3,28	1950	297
Karbon	2,00	2900	525
Kevlar 129	1,44	2860	64
Kevlar 149	1,44	3750	136



Şekil 2. 13.Elyaf ve matris malzemelerin gerilme uzama diyagramı [38]

2.2.Titanyum Diborür

Titanyum, korozyon dayanımı yüksektir ve biyolojik uyumluluk gösterir. Ancak yüksek sürtünme katsayısına ve düşük aşınma direncine sahiptir. Bu nedenle de mekanik mühendislik uygulamalarında kullanılamamaktadır [39].

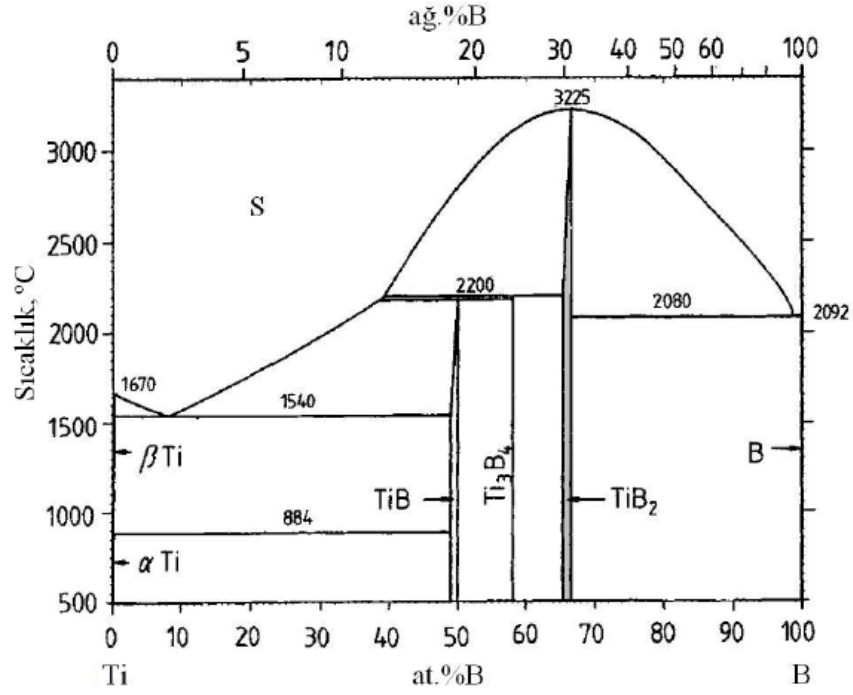
Titanyumun bu özelliklerini iyileştirmek için sertliği yüksek borür, karbür veya nitrürlü bileşikler tercih edilmektedir. TiB_2 ve TiC bileşikler yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Ayrıca metaller gibi elektriksel iletkenlikleri ve ısı iletkenlikleri yüksektir. Yani hem metalik malzeme özelliklerini hem de seramik malzeme özelliklerini bir arada göstermektedir.

Titanyum diborür;

- Düşük yoğunluğu,
- Yüksek sertliği,
- Yüksek elektriksel ve ısı iletkenliği,
- Aşınma ve korozyon dayanımı,
- 700 °C'ye kadar kimyasal kararlılığı ile ön plana çıkan mükemmel bir malzemedir [40].

Balistik koruyucu malzeme endüstrisi, takım çeliklerden, nükleer enerji endüstrisine, potarlardan, ergimiş tuz sistemlerinde katot malzemesi olarak kullanılmaya kadar yüksek sıcaklıkta iletkenlik ve korozyona dayanıklılık gerektiren mühendislik alanlarında yerini almıştır. Aşınma dayanımına ihtiyaç duyulan ortamlarda kullanılmaktadır. Ancak ergime noktasının yüksek olması sebebi ile sinterlenmesini güçleştirmektedir. Bu sebeple de ısı ile ekonomik faktörler uygulama alanını daraltmaktadır [40,41].

Titanyum ve bor elementlerine ait ikili faz diyagramı Şekil 2.14. de görülmektedir. Diyagrama bakıldığında, TiB_2 yaklaşık olarak kütlece %31 B içeren bir aralıkta oluşur. 3225 °C'de ise ergimektedir. Daha düşük bor oranlarında 2200 °C'ye kadar TiB_2 ile beraber Ti_3B_4 fazı da oluşmaktadır. 2200 °C'nin üzerinde katı faz içerisinde ilk sıvı fazlar ortaya çıkmaktadır. TiB_2 'nin oluştuğu aralıktan daha yüksek bor oranlarında ise kararlı halde olan faz yapıları 2080 °C'deki solidüs eğrisine kadar TiB_2 ve B'dir.



Şekil 2. 14. Titanyum-bor faz denge diyagramı [42]

Mol Ağırlığı (g/mol)		69,54
Renk		Gri
Teorik Yoğunluk ($\text{kg/m}^3 \cdot 10^{-3}$)		4,52
Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)		2920
Kristal Yapısı		Hegzagonal
Latis parametreleri	a (nm)	0,3030
	b (nm)	-
	c (nm)	0,3230
Termal Genleşme Katsayısı α ($10^{-6}/\text{K}$)	300-1300 K	4,6
	1300-2300 K	5,2
Termal İletkenlik Katsayısı κ (W/m.K)	300-1300 K	24,0
	1300-2300 K	26,3
Mikro sertlik (1N) (GPa)		25,5
Young Modülü, E (GPa)		541
Poisson Oranı, ν		0,09 - 0,11
Eğme Mukavemeti, $\sigma_{\text{eğme}}$ (MPa)		450 ± 70
Basma Mukavemeti, σ_{basma} (MPa)		1350
Çekme Mukavemeti, $\sigma_{\text{ç}}$ (MPa)		127
Kırılma Tokluğu ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)		$6,4 \pm 0,4$
Elektriksel Direnç, $\rho \times 10^8$ ($\Omega \cdot \text{m}$)		9

Şekil 2. 15. TiB_2 nin fiziksel özellikleri [43]

2.3.Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

İhtiyaçlar doğrultusunda istenilen özelliklere uygun kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. İlk dikkat edilmesi gereken faktörlerden biri ise üretim maliyetidir. Üretim maliyeti ise performans, tasarıma, malzeme seçimi ve şekil verme yöntemlerine bağlıdır. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin uygun şekilde seçilmesi üretim maliyetini önemli ölçüde azaltabilir.

- Dayanım ve tokluk,
- Düşük ağırlık,
- Yüksek sıcaklıkta kullanılabilirlik,
- Yorulma dayanımı,
- Düşük bakım masrafı,
- Korozyon dayanımı ve tamir kolaylıkları gibi parametreler bir arada düşünülmelidir.

En düşük maliyetle, en kolay üretilebilen bir kompozit üretim planı yapılması gerekmektedir. Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ise başlıca şu şekildedir [13].

- Elle yatırma yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Fiber Sarma
- Reçine Transfer Kalıplama (RTM) / Reçine Enjeksiyonu
- Profil Çekme
- Hazır Kalıplama
- Otoklav
- Vakum Yöntemi

Bu çalışmada vakum yönetimi kullanılmıştır ve vakum yönteminin özelliklerine yer verilmiştir.

2.3.1. Vakum Yöntemi

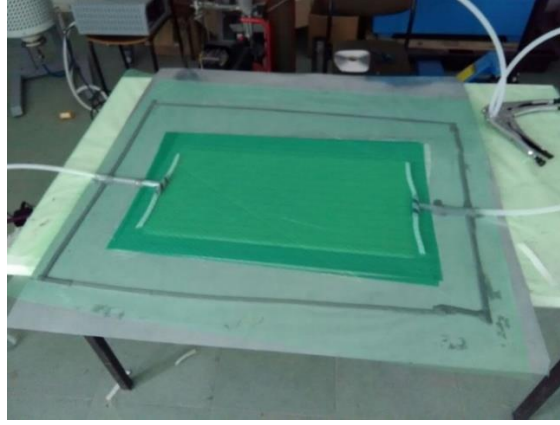
Bu yöntemde kompozit malzeme hazırlanan sistemin üzerine yerleştirilir ve en üstte de vakum torbası olacak şekilde hazırlanır. Torbanın içerisinde kalan havanın emilmesiyle vakum torbası yatırılan malzemeye basınç uygulayarak aşağıya çekilir [44].

Vakum yöntemi; vakumlanmış ortam içerisinde reçinenin ilerlemesi prensibine göre çalışır. Üretim için hazırlıkların tamamlanması ile birlikte üretim el değmeden gerçekleşir. Vakum yöntemi ile üretimde reçine sarfıyatı kontrol edilebilmektedir.

Reçinenin elyaf yüzeyine dağılımı ve kumaş tarafından emilmesi her yerde aynıdır. Bu sebeple de malzeme üzerinde reçine birikintisi veya kumaşların katlanması gibi problemler gözlenmez. Böylece ürünün yüzey kalitesinde ve yapısında homojen bir dağılım elde edilebilir.

Reçine, üretim esnasında vakum torbası altından ilerler. Bu şekilde de dışarı ile temas olmaz ve reçineden dışarı çıkan zehirli gazların da etrafa yayılması önlenmiş olur.

Vakum uygulamasıyla fazla reçinenin dışarı çekilir. Böylelikle kompozit yapı içindeki elyaf/reçine oranının daha yüksek olması sağlanır. Vakum yönteminin diğer bir özelliği ise reçinenin bütün katmanlar içine tam olarak nüfuz edebilmesidir. Bu şekilde hava kabarcıklarından arınmış katmanlı bir yapı üretimi mümkün olmaktadır. Malzemenin tamamı reçine ile ıslatılabilir [13].



Şekil 2. 16.İşlem Tezgâhı

2.4.Balistik Özellik Testleri

Balistik uygun bir sistem yardımıyla, ateşlenen ya da fırlatılan maddelerin yerçekiminin de etkisiyle yapmış olduğu hareketi inceleyen bilim dalıdır. Merminin namludan çıkıp hedefe varıncaya kadarki tüm aşamaları inceler. Balistik 3 aşamada incelenmektedir:

- İç balistik: Namlunun içinde meydana gelen olayları inceleyen bilim ve teknolojiye verilen addır.
- Dış balistik: Merminin namludan çıkıp uçuşu esnasındaki aerodinamik kuvvetleri inceleyen bilim ve teknolojiye verilen addır.
- Hedef balistiği: Mermi ve hedefin çarpışma dinamiğiyle ilgilenen bilim ve teknolojiye verilen addır [13,45].

2.4.1. Hedef Balistiği

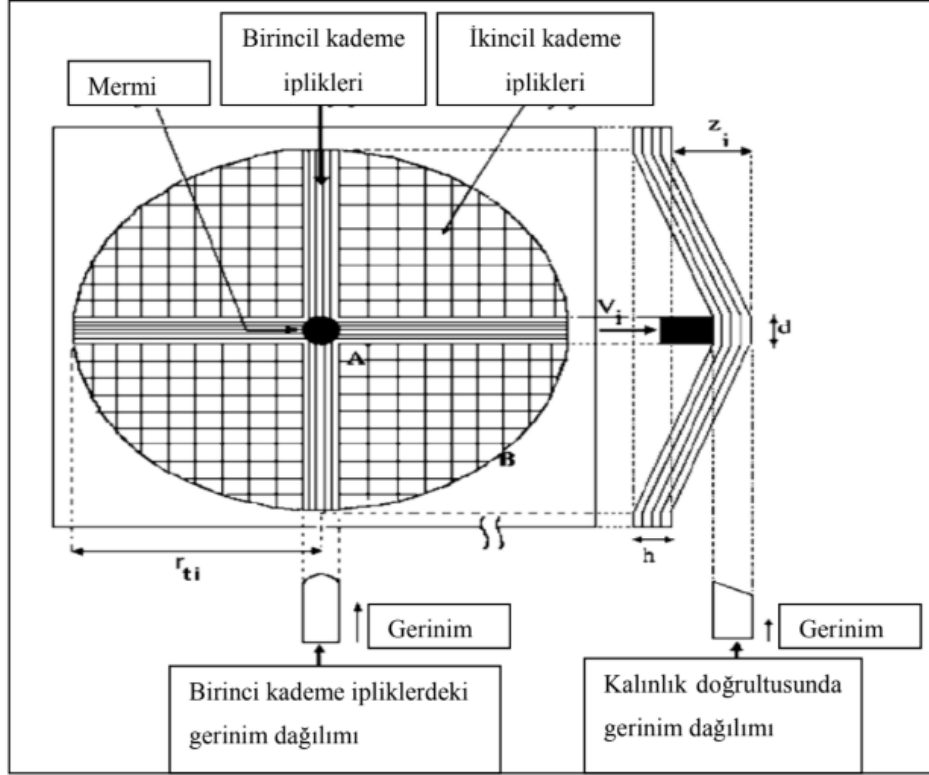
Hedef balistiği, merminin hedef üzerindeki etkileri ve hedefin mermi üzerindeki etkilerini inceler. Mermi hedefe ulaştığında meydana gelen olayları bütün yönleriyle ele alır. Hedefe etkime mekaniğini, balistik koruyucu arkasındaki etkileri, etrafa

saçılan parçaların yapılarını, toplu ölümcül durumları, yüksek basınçtaki patlamaları, ölümcül olmayan etkiler ile canlı organları ve dokuları üzerindeki hasarları gözlemler.

Ölümlerden ziyade oluşan hasarın incelenmesi için “yara balistiği” olarak bilinen bir dal sınıflandırılması yapılmıştır [46].

Darbe sırasında iki madde arasındaki ilişki yalnızca askeri sahada değil, birçok alanda mevcuttu. Sivil teknolojinin gelişmesiyle birlikte, malzemeler üzerine ani yüklemelerin, malzeme özelliklerine etkisi ile alakalı birçok sonuç elde edilmiştir. Bu ve benzeri şekilde gerçekleşen kısa süreli ve yüksek değerdeki yüklere maruz kalabilecek yapılarda, güvenli ve ideal tasarımın yapılabilmesi için kullanılacak malzemelerin bu yükler karşısındaki davranışlarının açık bir şekilde anlaşılması gerekmektedir [47].

Ateşli silahlardaki merminin tipi, küçük çaplı ateşli silahlar ile ağır ateşli silahlarda birbirinden farklıdır. Örnek verecek olursak tüfek, tabanca gibi küçük çaplı silahların mermileri, çarpma etkisi ile hedefi delmektedir. Büyük çaplı, ağır ateşli silahlar olan topların mermileri ise hedefi bulduğunda patlamaktadır. Ateşli silahlarda kullanılan barut, çok hızlı yanan bir maddedir. Yandığında ortaya çıkan gazların basıncı, ateşli silahlarda mermi için itici gücü oluşturmaktadır. Barut, düşük seviyeli patlayıcılar grubunda bulunmaktadır. Yandığında sestten yavaş bir parlama ortaya çıkmaktadır. Bu sayede, silahta barutun yanmasından oluşan basınç, mermiyi itecek kadar güç ortaya çıkarırken, namluya da zarar vermemektedir [47].

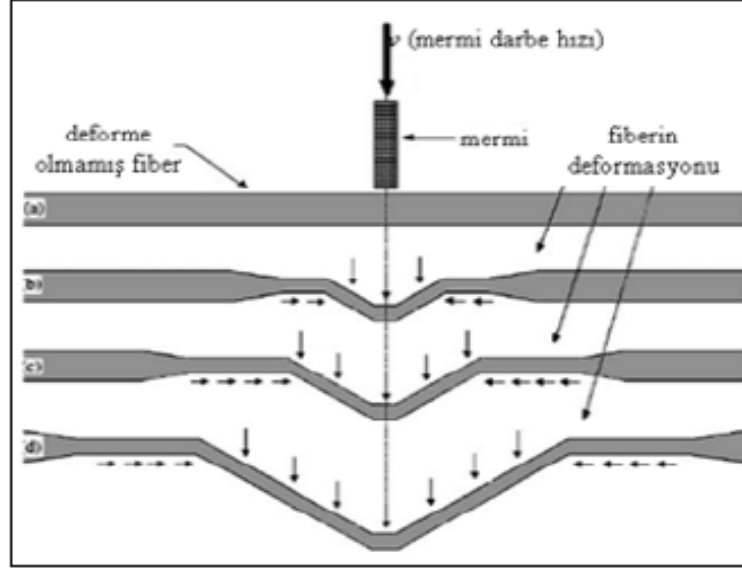


Şekil 2. 17. Birincil ve ikincil lifler [12]

Balistik koruyucu özelliği olan elyaf bir malzemede, tek bir lif üzerinden balistik darbenin analitik incelenmesi yapılırsa; merminin life çarpmasıyla birlikte darbe noktasına doğru (enine) ve darbe noktasından içeri doğru (boyuna) şekil değiştirme dalgası akışı meydana gelir. Sistemin analitik açıklaması için aşağıdaki kabuller mevcuttur.

- Mermi tam rijit elemandır ve balistik darbe esnasında deforme olmamaktadır
- Penetrasyonu esnasında mermi üniform hareket etmektedir
- Her bir tabakadaki fiberler müstakil hareket etmektedir
- Bütün tabakalarda aynı enine dalga ve boyuna dalga hızları söz konusudur.

[12]



Şekil 2. 18. Bir lifin balistik darbeden önceki durumu, darbe altında enine ve boyuna hareketi ve koni formasyonu [12]

2.4.2. Balistik Performansı Etkileyen Parametreler

Balistik performans parametreleri Çizelge 2.5.'de özetlendiği şekilde genel olarak mermi ve hedef yönünden değerlendirilebilir.

Çizelge 2. 5. Balistik performans parametreleri [13]

HEDEF	Malzeme Özellikleri ve Yapısı	Elastisite Modülü
		Alansal Yoğunluk
		Kalınlık
		Tabaka Sayısı
MERMİ	Fiziksel Özellikler	Ağırlık
		Kalibre
		Uç Geometrisi
		Sertlik
		Hız
		Vuruş Açısı

2.4.3. Balistik Test Düzeneği

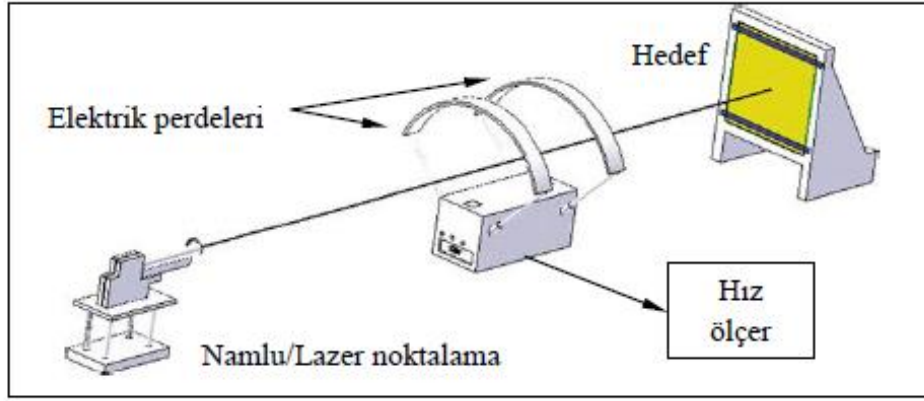
Dünyada balistik koruyuculuğu test etmek için birçok standart bulunmaktadır. Yaygın olarak kabul edilen standartlar NIJ (The US National Institute of Justice) ve HOSDB (UK Home Office Scientific Development Branch) tarafından kabul edilen standartlardır [48].

Bunun dışında NATO ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından da çeşitli askeri standartlar geliştirilmiştir. Çizelge de balistik koruyucular için kullanılan standartlar verilmektedir [48].

Çizelge 2. 6.Balistik koruyucular için kullanılan standartlar [48]

STANDART NO	STANDART ADI
TS 11164	Balistik koruyucu vücut zırhı
TS 13349	Askeri zırhlar – V ₅₀ balistik hız deneyi
STANAG 2920	Askeri zırh için balistik koruma standardıdır.
MIL-STD-662 F	Zırhların balistik testlerinde kullanılan V50 standardıdır.
NIJ-STD-0101.04	Malzemelerin balistik etkilerine direnme yeteneğini ölçen personel korumalarında kullanılan standartlardır.
NIJ-STS-0101.06	Vücut zırhları için balistik dayanımlarını ölçen standartlarıdır.

Hafif silahlara karşı kullanılan balistik koruyucular için balistik performansın ölçümünde iki ana tehdit göz önünde tutulmaktadır. Bunlardan birincisi parça tesirine karşı koruma diğeri ise mermi tesirine karşı korumadır. Mermiye karşı korumada NIJ 0101.06 standart değerleri referans olarak alınmıştır. Atış test sisteminin Şekil 2.19.’ verilmiştir. Testler esnasında sabit namlu ve lazer noktalama tertibatı kullanılarak mermilerin zırha dik olarak isabet etmesi sağlanmalıdır [13].



Şekil 2. 19.Atış test düzeneği şematik gösterimi [13]

Çizelge 2. 7.NIJ standartında belirtilen balistik koruyucular için koruma seviyeleri [48]

KORUMA SEVİYESİ	KALİBRE VE MERMİ TİPİ	MERMİ AĞIRLIĞI (g)	MERMİ HIZI (m/s)	TRAVMA DERİNLİĞİ (mm)
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

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.Deneyde Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan üretim ekipmanları:

-  İnfuzyon Vakum Hortum
-  İnfuzyon T Bağlantı
-  İnfuzyon Filesi
-  İnfuzyon Spiral Hortum
-  Vakum Naylonu
-  Vakum Sıdırmazlık Bandı
-  Ayırma Kumaşı

3.1.1. Kevlar

Kevlar Dupont firması tarafından geliştirilmiş olup firma tarafından elyafa verilen ticari isimdir. Yapılan çalışmada Dost Kimya Endüstriyel Hammadde San. ve Tic. Ltd. şirketinden temin edilen Kevlar 49 (200 g/m²) kullanılmıştır. Çizelge 3.1.'de Kevlar kumaşın özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 1.Kevlar kumaşın özellikleri

KEVLAR 49	ÖZELLİK	DEĞERİ
	Yoğunluk (g/m ³)	1,44
	Çekme Dayanımı (MPa)	2900-3400
	Elastisite Modülü (GPa)	112 – 135

3.1.2. Epoksi ve Sertleştirici

Çalışmada Dost Kimya Endüstriyel Hammadde San. ve Tic. Ltd. şirketinden temin edilen epoksi ve sertleştiricinin özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2.Epoksi ve sertleştirici malzemenin özellikleri

	Epoksi	Sertleştirici
Ticari İsim	Laminating Resin MGS L160	Hardener MGS H160
Yoğunluk (g/cm ³)	1,18-1,20	0,96-1
Akma Mukavemeti (MPa)	70-80	
Elastisite Modülü (GPa)	3,2-3,5	
Kopma Uzaması (%)	5-6,5	
Vizkosite (mPas)	700-900	10-50
Darbe Dayanımı (KJ/m ²)	40-50	

3.1.3. TiB₂

TiB₂; ISM Dış Ticaret Pazarlama Limited Şirketinden temin edilmiştir. 44 mikron partikül boyutuna sahip TiB₂ tozları kullanılmıştır. Bileşiğe ait başlıca fiziksel özellikler Çizelge de verilmiştir.

Çizelge 3. 3.TiB₂'nin fiziksel özellikleri

Molekül Kütlesi (g/mol)	69,54
Teorik Yoğunluğu (g/cm ³)	4,52
Termal İletkenlik (W/m*K)	25
Sertlik (kg/mm ²)	1800-2700
Partikül Büyüklüğü (µm)	44
Renk	Gri

3.2.Deneysel Çalışmalar

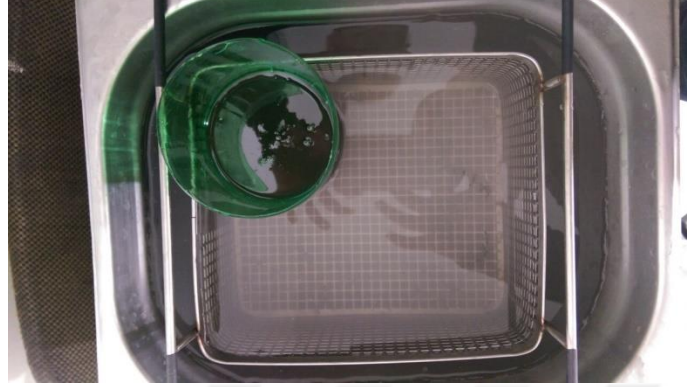
Polimer matrisli TiB₂ katkılı aramid elyafli kompozit malzemelerin yapım aşamasında epoksi reçine, sertleştirici, TiB₂, Kevlar kullanılmış olup vakumlu torba tekniği ile kompozit levhalar elde edilmiştir.

Yapılan literatür taramalarında ulaşılan sonuçlar baz alındığında, hazırlanan numunelerde epoksi reçine oranını 4:1 olarak alınması belirlenmiştir [49]. TiB₂ oranı ise epoksi ve sertleştiricinin toplam miktarının kütlece %0, %1, %2 ve %4'ü kadar olacak şekilde karışıma katılmıştır. Çizelge 3.4.'da her bir numune için sertleştirici ve TiB₂'nin kütlece ilave oranları verilmiştir.

Çizelge 3. 4.TiB₂ miktarının kütlece oranı çizelgede verilmiştir

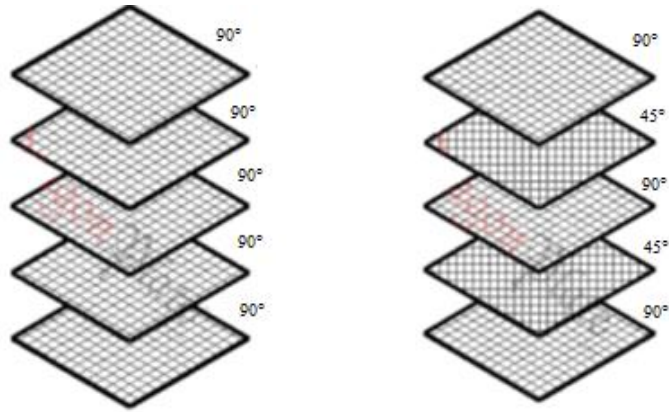
	SERTLEŞTİRİCİ %	TiB ₂ %
90° Kevlar 0	25	0
90° Kevlar 1	25	1
90° Kevlar 2	25	2
90° Kevlar 4	25	4
45° Kevlar 0	25	0
45° Kevlar 1	25	1
45° Kevlar 2	25	2
45° Kevlar 4	25	4

Epoksi, sertleştirici ve TiB_2 AGS Ultrasonik karıştırma cihazı ile partikül dağılımının homojen olmasını sağlamayabilmek için karıştırılmıştır.



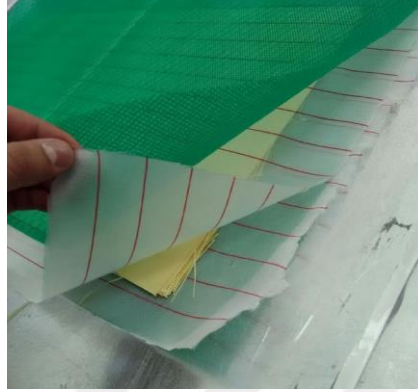
Şekil 3. 1.Ultrasonik karıştırma (Cihaz adı: AGS Ultrasonic)

Matris malzemesinin dağılması için infüzyon filesi serilmiştir. Daha sonra kompozit levhanın fileden ve yüzeyden kolay ayrılabilmesi için peel ply adı verilen ayırıcı kumaş serilmiştir. Ayırıcı yüzeyden sonra toplam 8 kat olacak şekilde Kevlar kumaş serilmiştir. Şekil 3.5.’teki iki farklı dizilim olarak üst üste yerleştirilmiştir.



Şekil 3. 2.Kevlar kumaşın yönlendirilmesinin gösterimi

Kevlar elyafın üzerine peel ply adı verilen ayırıcı kumaş, infüzyon filesi ve en üste vakum naylonu geçirilmiştir.



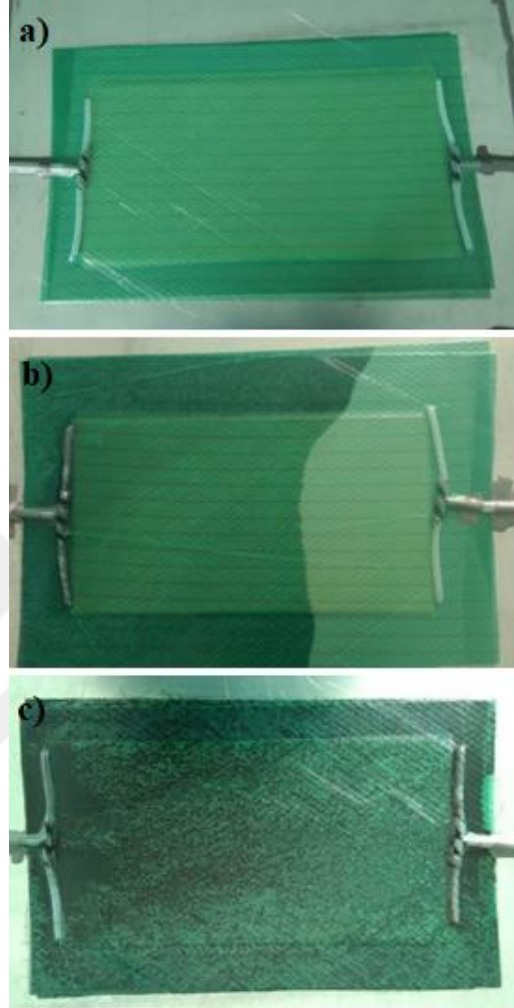
Şekil 3. 3.Deneyde kullanılan malzemelerin dizilimi

Tüm tabakaları vakum naylonu kaplayacak şekilde kapatılmıştır. Zemin ile naylon arasına çift taraflı vakum sızdırmazlık bandı çekilmiştir. Bu bantların arasına giriş ve çıkış kısmındaki havayı çekebilmesi ve matris malzemesini elyaflara dağıtabilmesi için hortum bağlanmıştır. Matris akışını homojen dağıtabilmek içinde giriş ve çıkışlara giren hortumun ucuna spiral hortum bağlanmış ve sızdırmazlık sağlanmıştır.



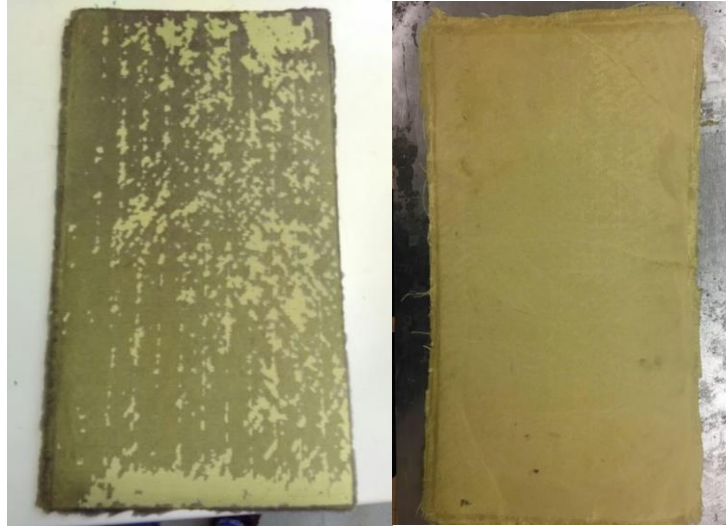
Şekil 3. 4.Vakum torbası ile çevrilmiş malzeme

Şekil 3.5.'de matris malzemesi verilmeden, verilme sırasında ve tamamen verildikten sonraki halleri gösterilmektedir.



Şekil 3. 5. a) Vakumlanmış malzeme b) Matris malzeme verilirken malzeme c)
Matris malzeme verme işlemi bitmiş malzeme

Hazırlanan karışım düzeneğe vakum yardımı ile nüfuz edilmiştir. 8 farklı plaka çeşidi hazırlanmıştır.



Şekil 3. 6.Üretilen kompozit plakalar

3.3.Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları

3.3.1. Mikro Yapı İncelemesi

Üretilen kompozit numunelerin mikro yapılarına Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Malzeme Bölümü Metalografi Laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse MA 100 marka optik mikroskop yardımı ile bakılmıştır.



Şekil 3. 7.Optik mikroskop

3.3.2. Yoğunluk Testi

Yoğunluk testi hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti ile Kırıkkale Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Metalurji Malzeme Bölümünde yapılmıştır.

Yoğunluk testi birim hacimdeki madde miktarı tayini TSEN ISO 3451-1 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3. 8.Hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti

Numunelerin yoğunlukları hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılmıştır;

- $\rho = m/v \text{ (g/cm}^3\text{)}$
- $\rho_{\text{teorik}} = m/v \text{ (g/cm}^3\text{)}$
- $\rho_{\text{deneysel}} = G_{\text{havada}} / (G_{\text{havada}} - G_{\text{suda}}) \text{ (g/cm}^3\text{)}$
- $\text{Porozite} = (\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}) / \rho_{\text{teorik}} \cdot 100$

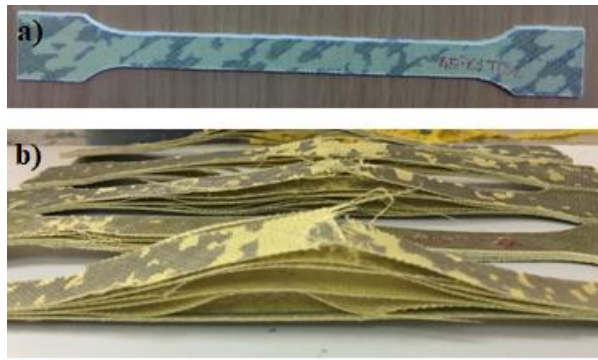
3.3.3. Çekme Testi

Çekme deneyi Ankara Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde bulunan Instron 3396 Universal Çekme Test cihazı ile yapılmıştır.

Çekme testlerinde TS EN ISO 527-4 standardı kullanılmıştır. Standartta belirtilen ölçülere göre 25*250 mm olacak şekilde numuneler çıkarılmıştır. Testler standart da belirtildiği üzere 2 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır.



Şekil 3. 9.Instron 3369 Universal Çekme Test Cihazı



Şekil 3. 10.Çekme deneyi numuneleri (a, b)

3.3.4. Eğme Testi

Eğme testi Ankara Gazi Üniversitesinde Teknoloji Fakültesinde bulunan Instron 3396 Universal Çekme Test cihazı ile yapılmıştır.

Eğme testi, malzemenin eğilme esnasındaki ve buna bağlı olarak malzemenin eğilme altında gerilme – şekil değiştirme hareketlerini gözlemlemek için yapılır.

Eğme testlerinde D7264/D7264M – 15 standardı kullanılmıştır. Numune ölçüleri 15*150 mm’dir. Testler standart da belirtildiği üzere 1 mm/dakika basma hızında yapılmıştır.

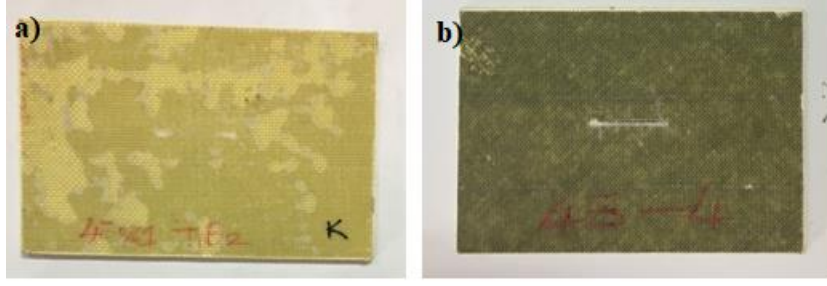


Şekil 3. 11.Eğme Testi numuneleri

3.3.5. Sertlik Testi

Shore-D sertlik testi Kırıkkale Makine ve Kimya Endüstri Kurumunda Silah Fabrikasında yapılmıştır.

Shore-D yöntemi kullanılarak sertlik ölçümü yapılmıştır. Mühendislik plastiklerinin sertlik ölçümünde Shore-D yöntemi kullanılmaktadır. Ölçüm genel olarak ISO 868 standardına göre yapılmaktadır. Genel olarak ürünün sertlik değerine 15sn boyunca, düz zemine, ~3mm kalınlığında, numunenin zemini sert bir yüzeye yapışırken uygulandıktan sonra uç derinliğine bağlıdır.



Şekil 3. 12.Sertlik deneyi numuneleri (a, b)

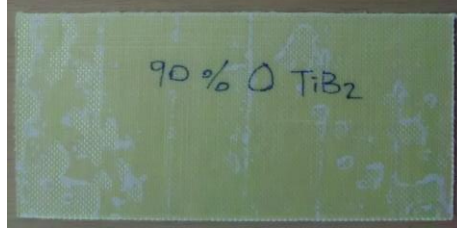
3.3.6. Darbe Testi

Darbe testi Gazi Üniversitesinde Teknoloji Fakültesinde Instron Wolpert cihazı ile yapılmıştır.

Darbe testi numunenin bir tek darbe sonucu verdiği tepki değeri incelenmiştir. Darbe testlerinde EN ISO 148.01 standardı kullanılmıştır. Numune ölçüleri 70*150 mm'dir.



Şekil 3. 13.Darbe Testi Cihazı



Şekil 3. 14.Darbe Testi numunesi

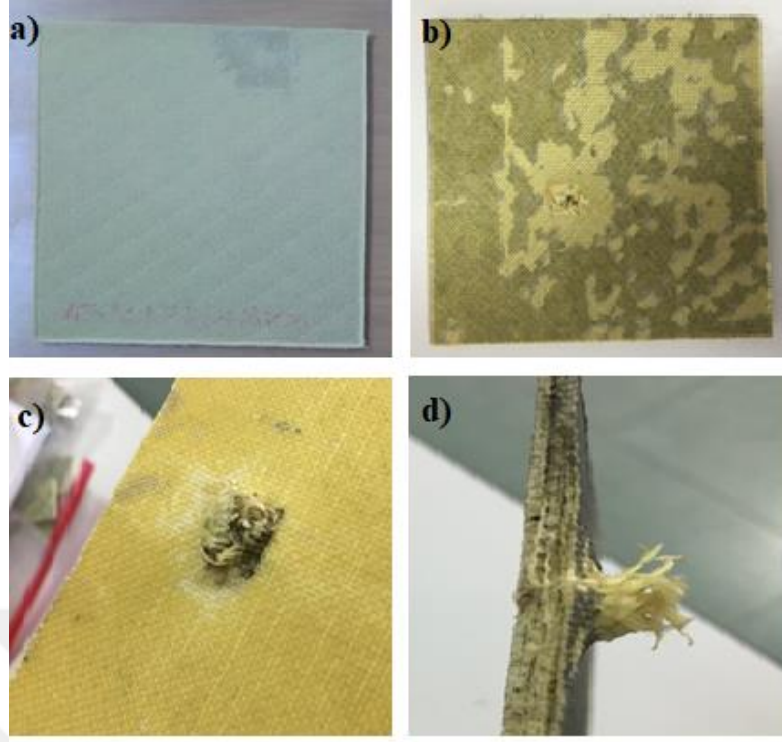
3.3.7. Balistik Test

Balistik deney Makine ve Kimya Endüstri kurumunda yapılmıştır.

NIJ-0101.06 standardı kapsamında deney yapılmıştır. Tabanca atışları 5 metre mesafeden yapılmıştır. Bu atışlar neticesinde deformasyon miktarları ölçülmüştür. Balistik testlerde 9 mm'lik mermi kullanılmıştır. Canik marka tabanca ile atış yapılmıştır.



Şekil 3. 15.Balistik Deney Düzeneği

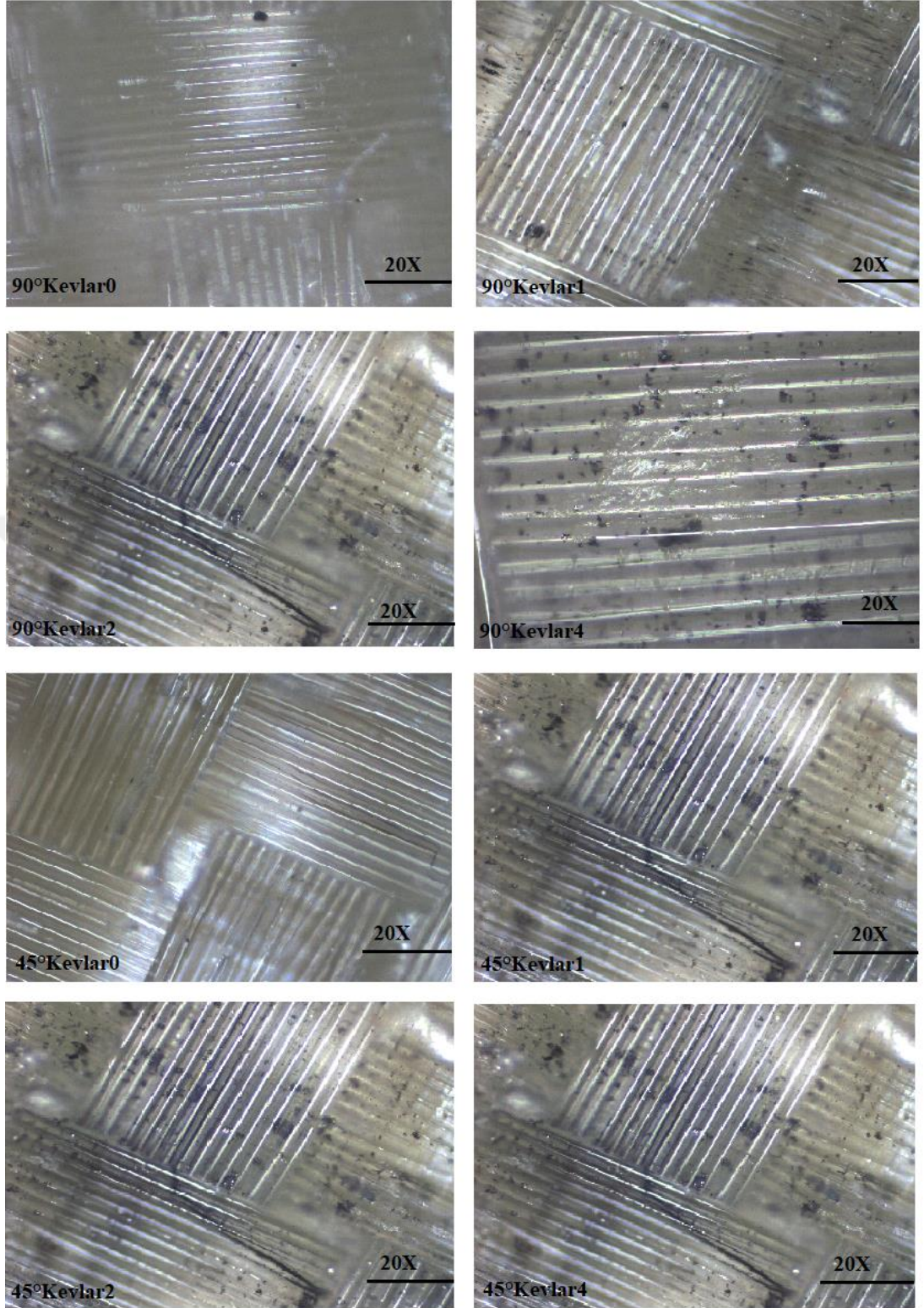


Şekil 3. 16. a) Balistik deney numunesi, b) Mermi giriş görüntüsü, c) Mermi çıkış görüntüsü, d) Balistik deney numunesinin yandan görüntüsü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Mikro Yapı Sonuçları

Elde edilen 8 farklı numune mekanik ve balistik testlere tabi tutulmadan önce optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir. 20X boyutunda büyütülmede umunelere bakılmış olup Kevlara emdirilen epoksi, sertleştirici ve TiB_2 'nin dağılımı incelenmiştir. 90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin her birinde epoksinin ve TiB_2 'nin Kevlar elyafına homojen dağılması beklenilmiştir. Ancak Şekil 4.1.'de de görüldüğü üzere kütlece %1, %2 ve %4 TiB_2 ilave edilen numunelerde TiB_2 partikül halinde toplanmıştır. Reçine ile TiB_2 arasında etkileşimin yeteri kadar iyi olmadığı ve bundan dolayı toplanmalar olduğu düşünülmektedir. TiB_2 'nin tanecik boyutunun yaklaşık 44 mikron olmasının da nano boyuttaki kompozitler ile kıyaslandığında daha az homojen dağılım sergilediği gözlenmiştir. Elde edilen görüntülerden üretim yönteminin homojen dağılım sağlaması için yeteri kadar etkin olmadığı tespit edilmiştir. Doğan (2018) yapmış olduğu çalışmada karbon nano tüp ve grafen nano partikül katkılı kompozit numunelerin mikro yapı sonuçlarını incelemiştir. Grafen nano partikül katkılı kompozitlerde çok sayıda koyu noktasal bölgelere rastlamıştır. Bunun sebebi olarak da hem reçine ile grafen nano partikülün arasındaki etkileşimin zayıf olduğunu hem de kütleme esnasında oluşan gaz salınımları hattının olduğunu gözlemlemiştir [50].



Şekil 4. 1. 90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerin mikro yapı görüntüleri

4.2.Yoğunluk Testi Sonuçları

90°Kevlar numeneler ile 45°Kevlar numunelere kütlece ilave edilen TiB_2 ve epoksinin ne kadarının numunelere nüfuz ettiği, numunelerde ne kadar gözenek olduğu yoğunluk testi ile tespit edilmiştir. Her bir numunenin deneysel yoğunluğu ve teorik yoğunluğu hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalardan her bir numunenin gözenek (porozite) miktarı bulunmuştur.

Çizelge 4. 1.90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin deneysel yoğunluğu, teorik yoğunluğu ve % Porozite miktarı

% TiB_2 Oranı	P Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	P Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Porozite %
90°Kevlar0	0,8856	1,3392	33,87
90°Kevlar1	0,9412	1,3717	31,38
90°Kevlar2	0,9158	1,4181	35,42
90°Kevlar4	0,9450	1,5000	37,00
45°Kevlar0	0,8545	1,3479	36,61
45°Kevlar1	0,9573	1,3755	30,40
45°Kevlar2	0,9200	1,4169	35,07
45°Kevlar4	0,9259	1,4956	38,09

Çizelge 4.1. incelendiğinde porozite miktarının en fazla olduğu numune 45°Kevlar4 olduğu tespit edilmiştir. Porozite miktarının en düşük olduğu numune ise 45°Kevlar1 numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Teorik yoğunluk ağırlıkça ilave edilen TiB_2 miktarı arttıkça artış göstermiştir. TiB_2 'nin yoğunluğunun (4,52 g/cm³) fazla olması buna etkindir. Kompozit malzemeler de TiB_2 partiküllerinde çökeltme meydana geldiğinden dolayı kütlece TiB_2 oranı arttıkça hava boşluğu da artarak porozite artışı olmuştur. Benzer bir durum da Türken (2013) çalışmasında görülmüştür. Çalışma da gümüş nano partiküller kullanmış ve partikül miktarı arttıkça porozite oranı artmıştır.

Üretilen kompozit malzemelerin porozite oranlarının %31-35 arasında değişiklik göstermiştir [51].

Numunelerin standart sapması, maksimum ve minimum değerleri ile medyan ve ortalaması ise çizelge 4.2.' de verilmiştir.

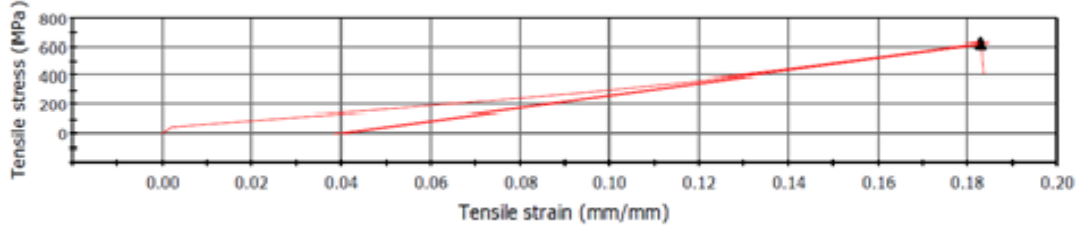
Çizelge 4. 2.Numunelerin standart sapma, medyan ve ortalama değerleri

	Porozite	Teorik Yoğunluk	Deneysel Yoğunluk
Numune adeti	8	8	8
Ortalama	34,73	1,41	0,99
Medyan	35,25	1,39	0,92
Standart Sapma	2,71	0,062	0,03
Minimum	30,40	1,34	0,86
Maksimum	38,09	1,50	0,96

4.3.Çekme Testi Sonuçları

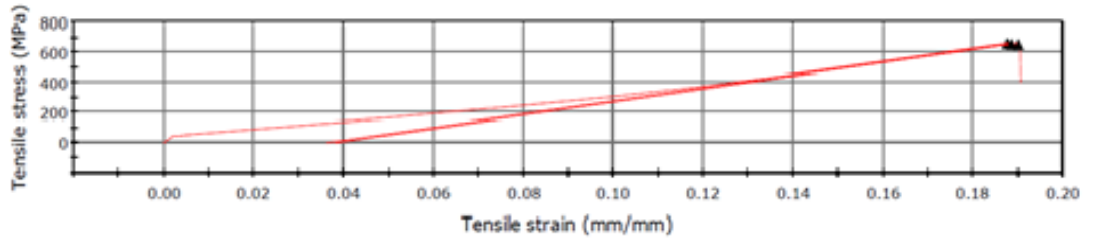
Numunelere uygulanan çekme testlerinin sonuçları gerilme – şekil değiştirme grafikleri olarak verilmiş ve maksimum ulaşabildikleri değerler incelenmiştir.

Her bir numuneden 3 adet üretilmiş olup bu numunelerin her biri çekme testine tabi tutulmuştur. 8 numunenin her biri için 3 farkı gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir ve aşağıda grafikler verilmiştir.



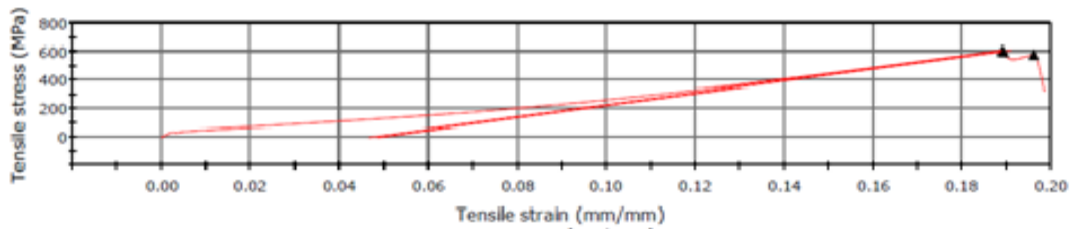
Şekil 4. 2. 90°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.2.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 625,34082 MPa, kopma değeri 626,93091MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1824969 mm/mm ‘dir.



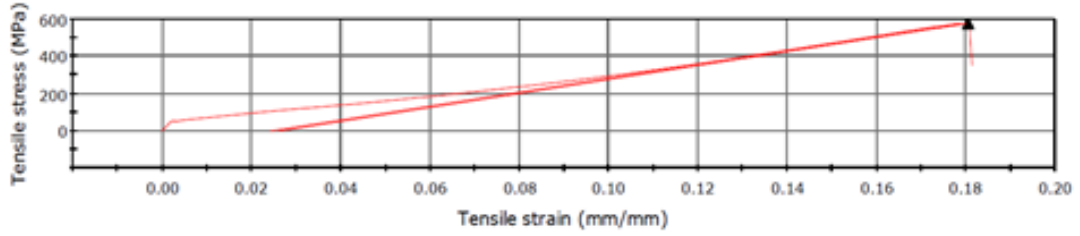
Şekil 4. 3. 90°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.3.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 654,90857 MPa, kopma değeri 648,94574 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1870457 mm/mm ‘dir.



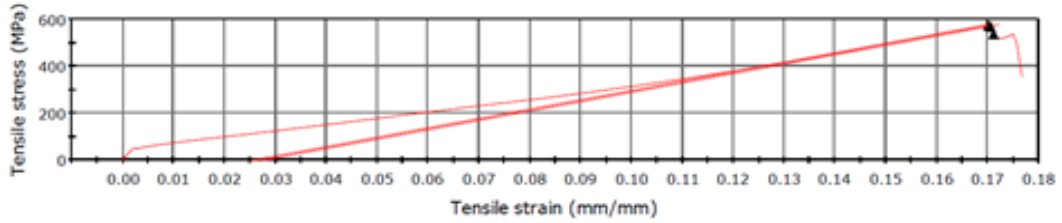
Şekil 4. 4.90°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.4.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 604,21936 MPa, kopma değeri 578,02966 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1888606 mm/mm ‘dir.



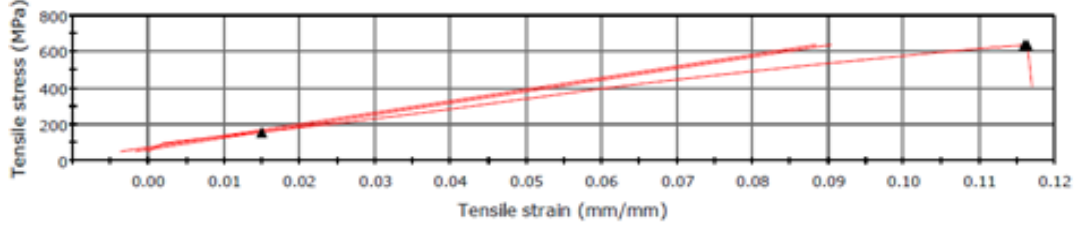
Şekil 4. 5.90°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.5.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 575,05505 MPa, kopma değeri 575,85461 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1801739 mm/mm ‘dir.



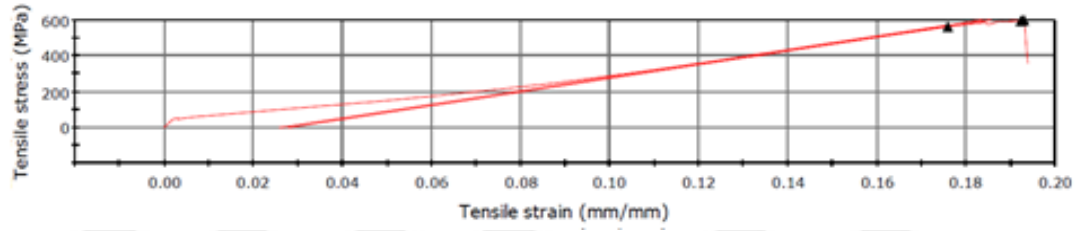
Şekil 4. 6.90°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.6.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 572,98621 MPa, kopma değeri 535,65479 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1699037 mm/mm ‘dir.



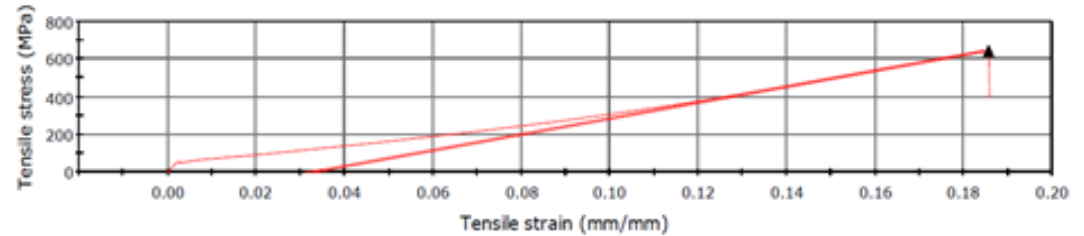
Şekil 4. 7.90°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.7.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 636,85370 MPa, kopma değeri 638,35358 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1159076 mm/mm 'dir.



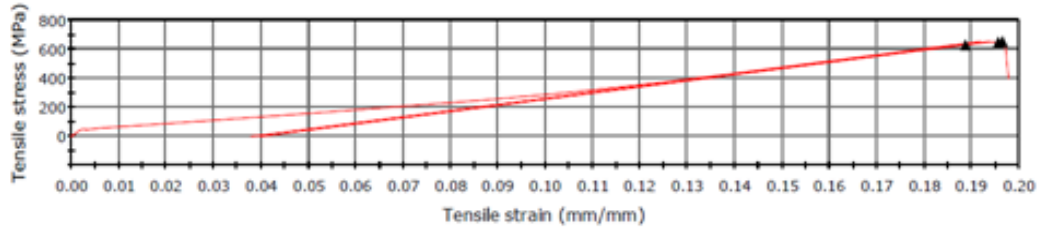
Şekil 4. 8.90°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.8.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 596,90051 MPa, kopma değeri 599,40662 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1922098 mm/mm 'dir.



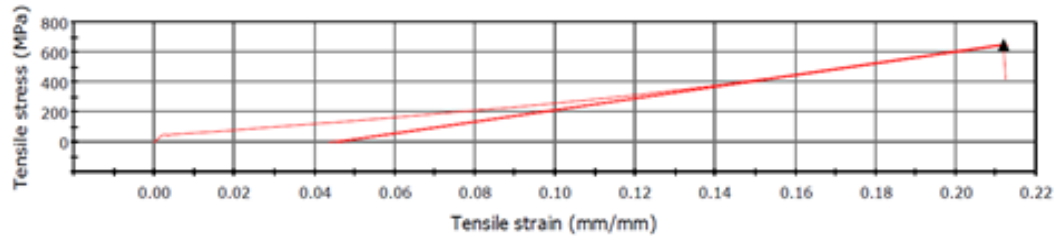
Şekil 4. 9.90°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.9.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 644,59442 MPa, kopma değeri 644,59442 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1855104 mm/mm ‘dir.



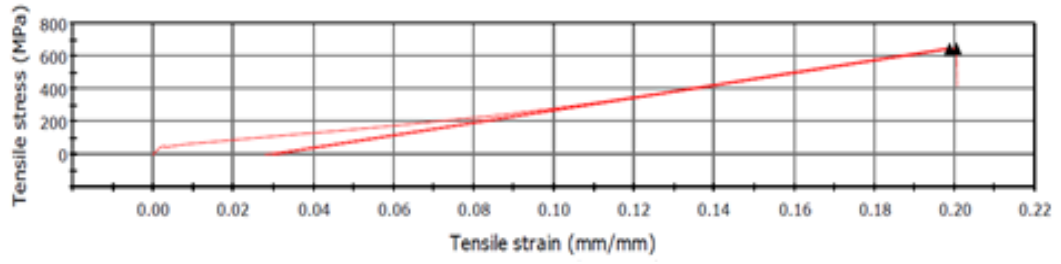
Şekil 4. 10.90°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.10.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 643,91547 MPa, kopma değeri 648,41888 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1954944 mm/mm ‘dir.



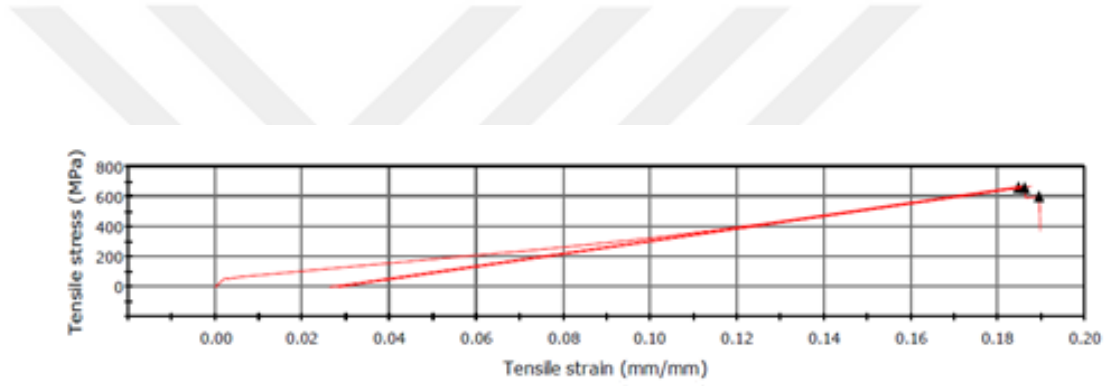
Şekil 4. 11.90°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.11.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 647,25854 MPa, kopma değeri 647,25854 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,2117289 mm/mm ‘dir.



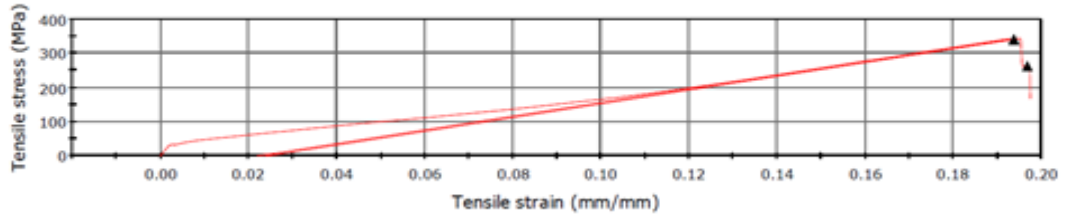
Şekil 4. 12.90°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.12.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 640,27911 MPa, kopma değeri 645,14514 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1985545 mm/mm ‘dir.



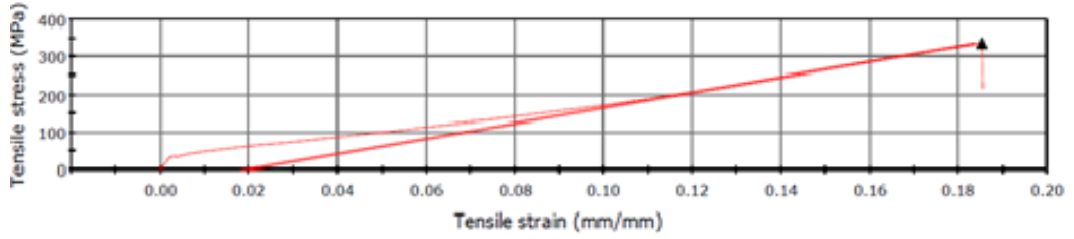
Şekil 4. 13.90°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.13.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 659,18414 MPa, kopma değeri 598,72168 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1846246 mm/mm ‘dir.



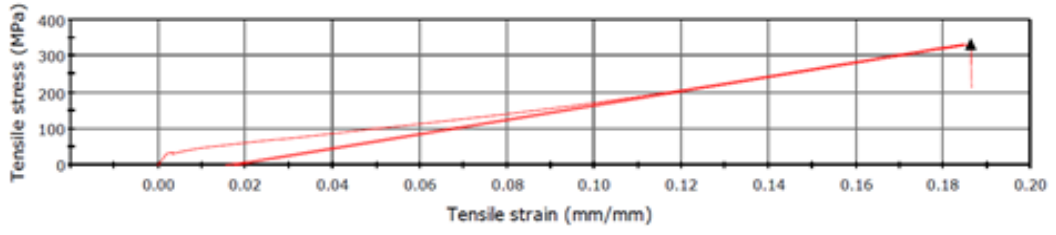
Şekil 4. 14.45°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.14.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 340,05402 MPa, kopma değeri 262,84830 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1936967 mm/mm ‘dir.



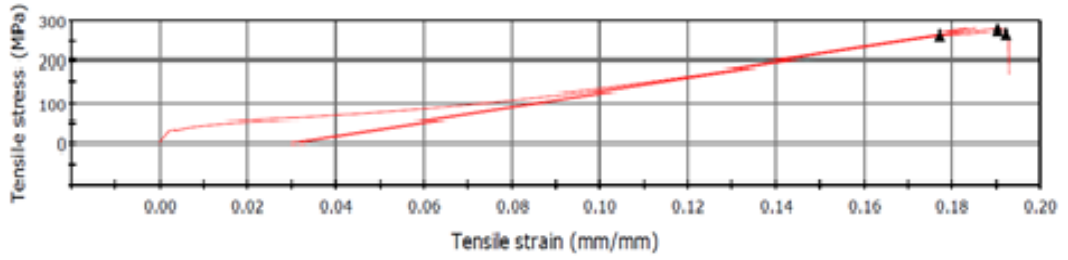
Şekil 4. 15.45°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.15.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 337,26376 MPa, kopma değeri 337,26376 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1851574 mm/mm ‘dir.



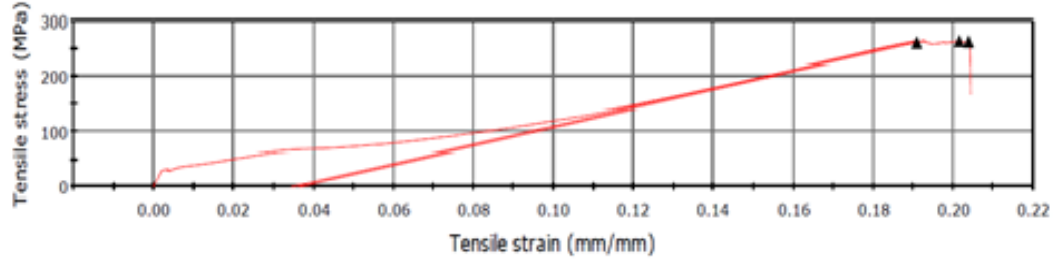
Şekil 4. 16.45°Kevlar0 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.16.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 331,95972 MPa, kopma değeri 331,98972 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1861372 mm/mm 'dir.



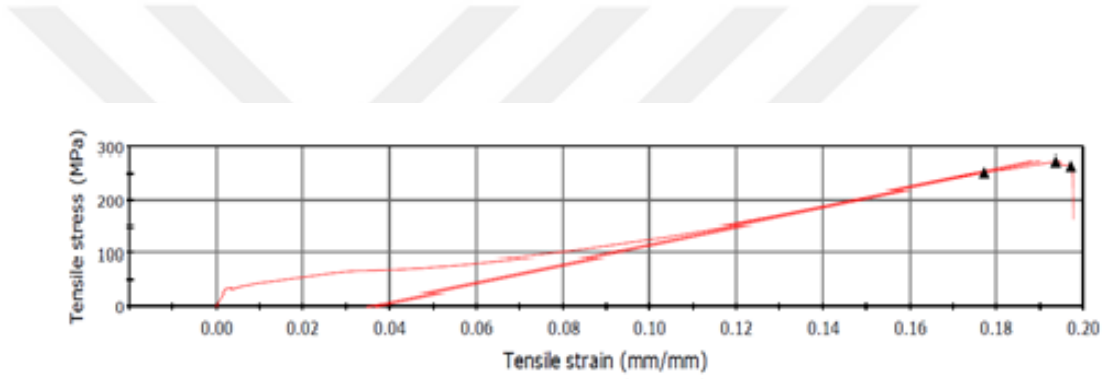
Şekil 4. 17.45°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.17.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 277,99728 MPa, kopma değeri 267,59744 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1901293 mm/mm 'dir.



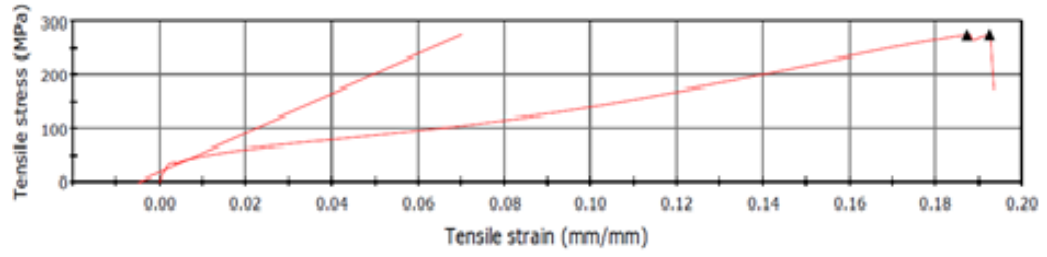
Şekil 4. 18.45°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.18.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 262,53098 MPa, kopma değeri 261,45398 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,2012856 mm/mm ‘dir.



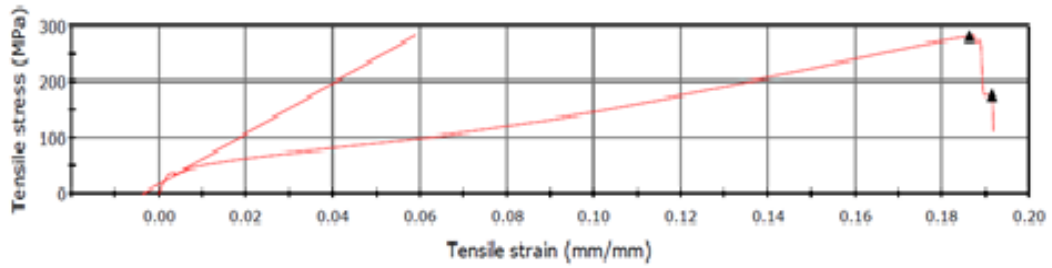
Şekil 4. 19.45°Kevlar1 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.19.’deki grafiğin maksimum çekme değeri 272,87659 MPa, kopma değeri 263,96732 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,193502 mm/mm ‘dir.



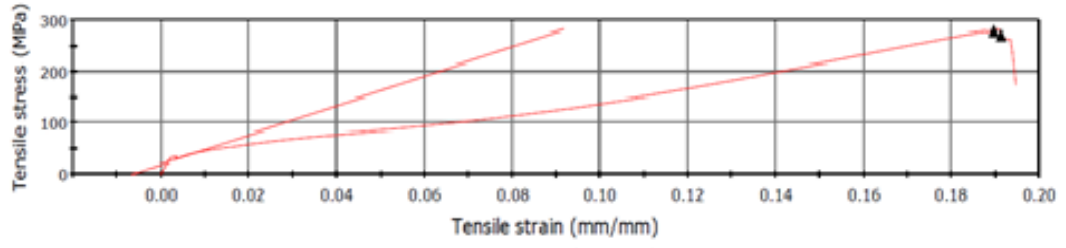
Şekil 4. 20.45°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.20.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 274,92999 MPa, kopma değeri 276,17432 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1870578 mm/mm 'dir.



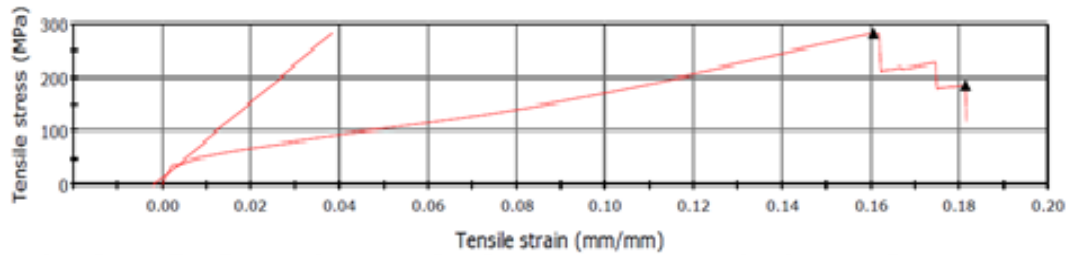
Şekil 4. 21.45°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.21.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 280,34015 MPa, kopma değeri 176,07805 MPa, yüzde şekil değiştirme büyüklüğü ise 0,1861191 mm/mm 'dir.



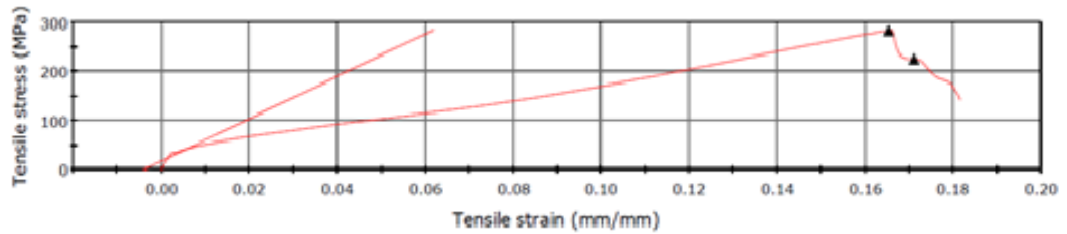
Şekil 4. 22.45°Kevlar2 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.22.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 278,21448 MPa, kopma değeri 269,50656 MPa, şekil değişirme büyüklüğü 0,18905048 mm/mm 'dir.



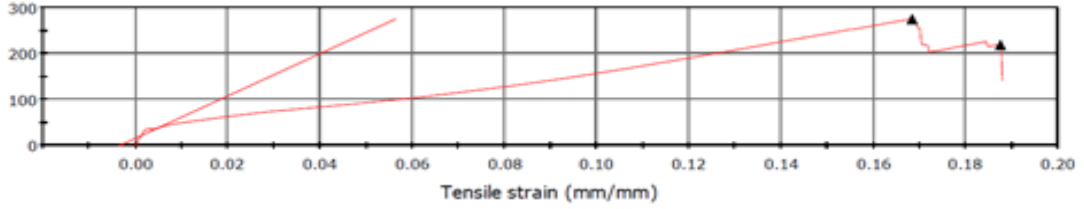
Şekil 4. 23.45°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.23.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 282,05075 MPa, kopma değeri 187,63666 MPa, şekil değişirme büyüklüğü 0,1604521 mm/mm 'dir.



Şekil 4. 24.45°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.24.'deki grafiğin maksimum çekme değeri 282,57706 MPa, kopma değeri 225,35751 MPa, şekil değiştirme büyüklüğü 0,1651624 mm/mm 'dir.



Şekil 4. 25.45°Kevlar4 Çekme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

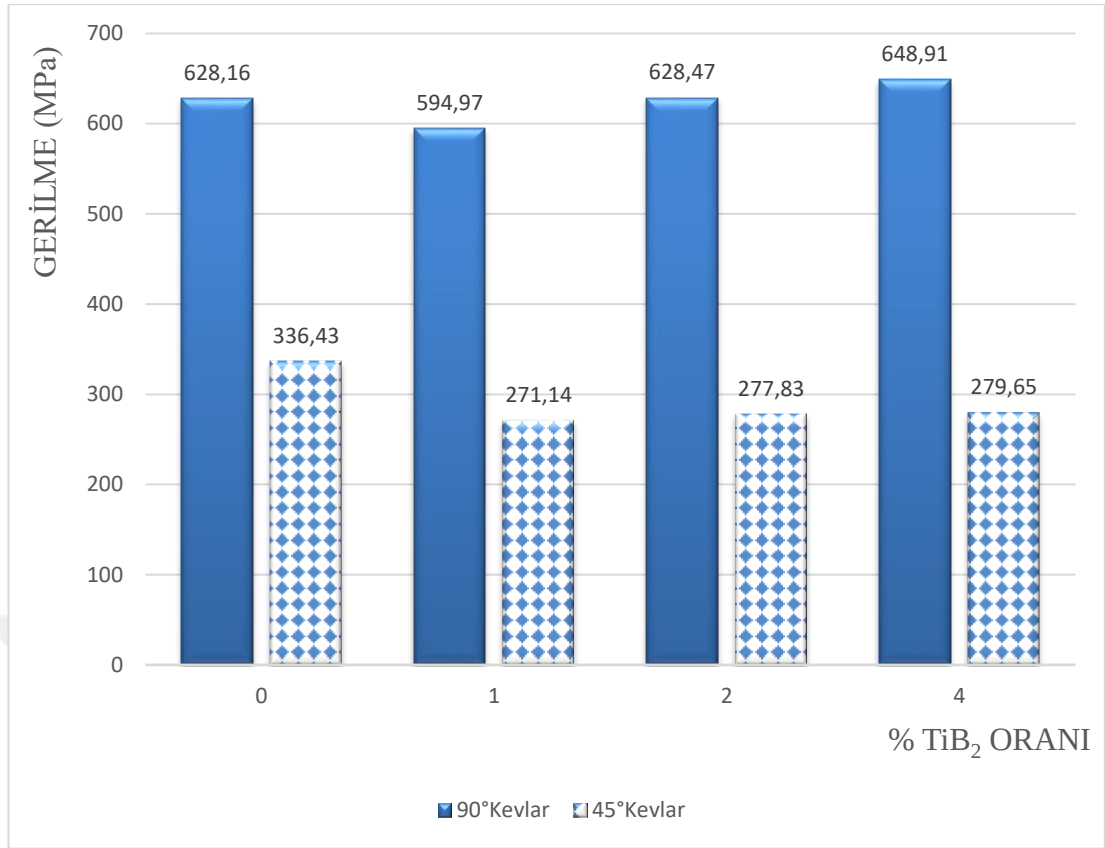
Şekil 4.25'deki grafiğin maksimum çekme değeri 274,32742 MPa, kopma değeri 218,49637 MPa, şekil değiştirme büyüklüğü 0,1683203 mm/mm 'dir.

Tüm grafiklerdeki maksimum çekme gerilmesi değeri ile yüzde şekil değiştirme büyüklüğünü tek bir çizelgede toplayacak olursak Çizelge 4.3.'ü elde etmiş oluruz. Çizelge 4.3.'de numunelerin maksimum çekme gerilmesi değeri ile yüzde şekil değiştirme büyüklüğünün ortalamaları alınmış ve bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4. 3.90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin Maksimum Çekme Gerilmesi ve % Uzama Değerleri ve Ortalamaları

	Çekme Değeri (MPa)	Ortalama Maksimum Çekme Değeri (MPa)	% Uzama Değeri	% Ortalama Uzama Değeri
90°Kevlar0	625,34082	628,15625	0,1824969	0,1861344
	654,90857		0,1870457	
	604,21936		0,1888606	
90°Kevlar1	575,05505	594,9649867	0,1801739	0,1553284
	572,98621		0,1699037	
	636,8537		0,1159076	
90°Kevlar2	596,90051	628,4701333	0,1922098	0,191071533
	644,59442		0,1855104	
	643,91547		0,1954944	
90°Kevlar4	647,25854	648,9072633	0,2117289	0,198302667
	640,27911		0,1985545	
	659,18414		0,1846246	
45°Kevlar0	340,05402	336,4258333	0,1936967	0,188330433
	337,26376		0,1851574	
	331,95972		0,1861372	
45°Kevlar1	277,99728	271,13495	0,1901293	0,1949723
	262,53098		0,2012856	
	272,87659		0,193502	
45°Kevlar2	274,92999	277,8282067	0,1870578	0,187409127
	280,34015		0,1861191	
	278,21448		0,18905048	
45°Kevlar4	282,05075	279,6517433	0,1604521	0,164644933
	282,57706		0,1651624	
	274,32742		0,1683203	

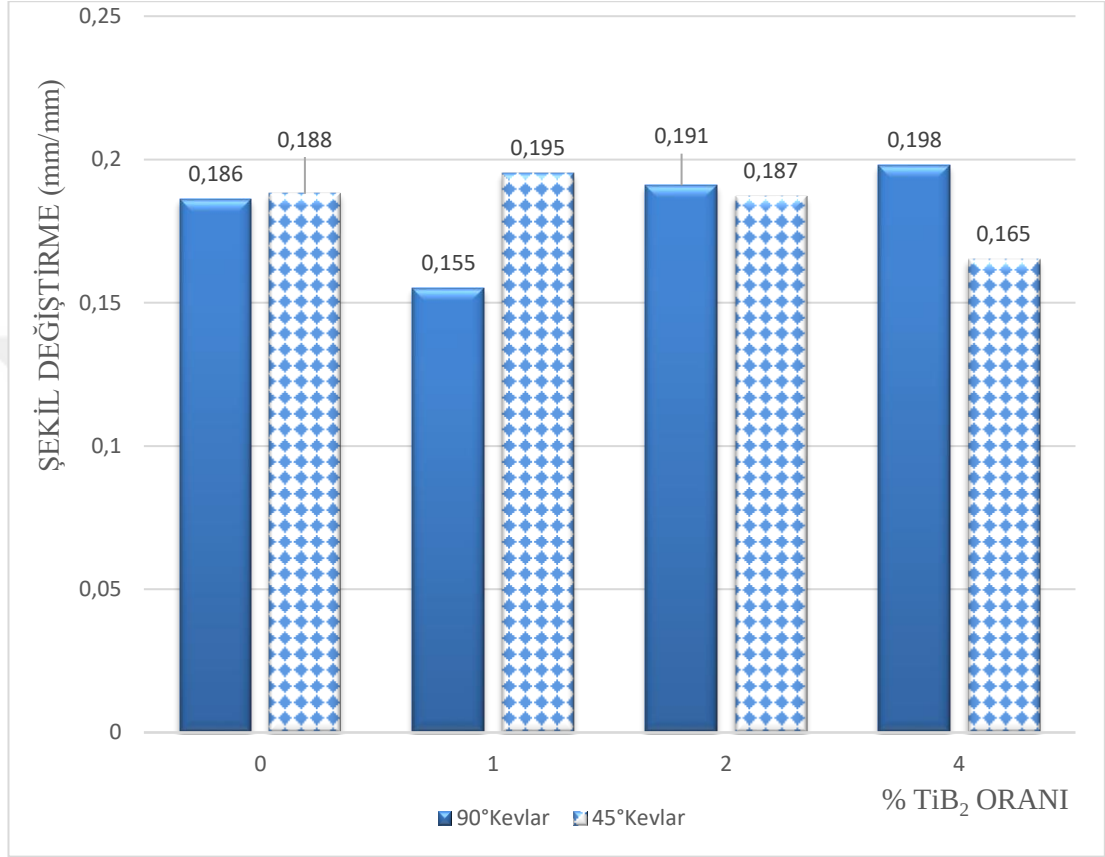
Çizelge 4.3. incelendiğinde maksimum gerilme 90°Kevlar4 numunesinde görülmüştür. Minimum gerilme ise 45°Kevlar1 numunesinde görülmüştür. 90°Kevlar4 numunesinin maksimum çekme gerilmesi 648,9072633 MPa iken 45°Kevlar0 numunesinin maksimum çekme gerilmesi 271,13495 MPa olduğu görülmüştür. Aynı zamanda maksimum şekil değiştirme değeri 90°Kevlar4 numunesinde görülmüştür. Minimum şekil değiştirme değeri ise 45°Kevlar4 numunesinde görülmüştür. 90°Kevlar1 numunesinde takviyenin homojen dağılmadığı görülmüş bu nedenle de çekme mukavemetinin düşük olduğu gözlenmiştir. TiB₂ miktarı ağırlıkça arttırıldığında numunelerde maksimum çekme dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak aynı eksenindeki Kevlar liflerine takviye edilen TiB₂ oranı arttıkça reçine içindeki taneciklerin kırılma ilerlemesinin zorlaştığı düşünülmektedir. Numunelerde az oranda bulunan TiB₂'nin kopma esnasında, doğrusal çatlaklar ve bu çatlakların çentik etkisi oluşturması düşünülebilir. TiB₂ reçinenin içinde liflere sarılarak, fazladan zincir yapılar oluşturmuş, köprü kırılmasının yolunu uzatmıştır. Benzer bir durumda Ongun (2015) çalışmasında gözlenmiştir. Karbon nano tüpe ilave edilen nanokil miktarının artması ile numunelerin maksimum çekme gerilmesinde artış gözlenmiştir [3,10].



Şekil 4. 26. 90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numunelerin maksimum çekme gerilme değerlerinin karşılaştırması

Fiberlerin yönlenmesi, şekli ve uzunluğu matrisin mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörlerdir. Şekil 4.26. 'de de görüldüğü üzere 90°Kevlar numunelerin maksimum çekme gerilmeleri 45°Kevlar numunelerin maksimum çekme gerilmelerinden daha yüksektir. Maksimum çekme gerilmesi en yüksek olan numune 90°Kevlar4 numunesi iken maksimum çekme gerilemesi en düşük olan numune 45°Kevlar1 numunesidir. Bunun sebebi olarak Kevlar elyafının matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek çekme mukavemeti sağlanırken açılı olarak yerleştirildiğinde çekme mukavemetinde azalma olmaktadır. Uygulanan kuvvete karşılık aynı eksen de direnç gösterilemediğinden 45°Kevlar numunelerinin çekme dayanımının azaldığı düşünülmektedir. Aşkın (2015) çalışmasında karbon polimer matrisli numuneler üretmiş ve çekme testi sonuçlarını incelemiştir. Benzer bir sonuç ile karşılaşmış olup 45 derece yönlü olarak yerleştirilen

karbon dokuma kumaşlı kompozit malzemelerin maksimum çekme dayanımlarının 0 derece yönsüz olarak yerleştirilen karbon dokuma kumaşlı kompozit malzemelere göre daha düşük olduğunu tespit etmiştir [51].



Şekil 4. 27.90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numunelerin maksimum şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırması

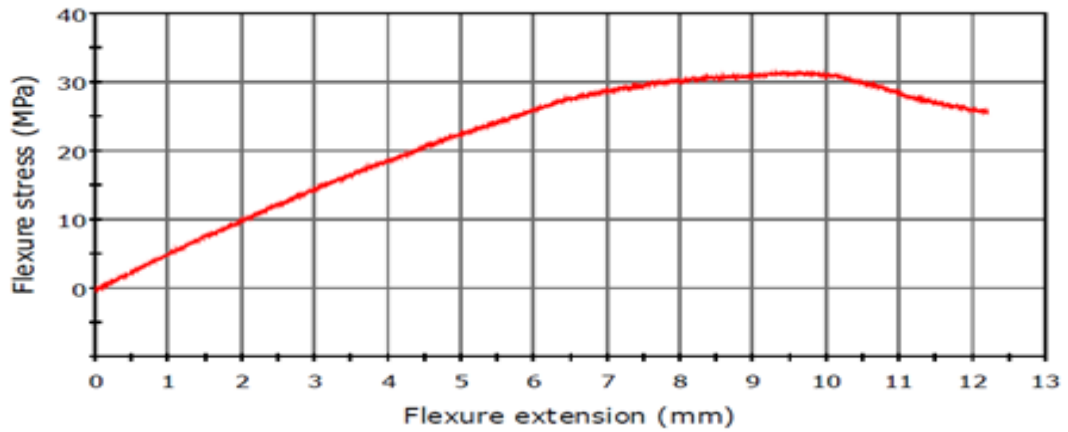
Şekil 4.27. incelendiğinde lif dizilimin farklı olması ile beraber farklı oranlarda ilave edilen TiB₂'nin şekil değiştirme üzerindeki katkısı gözlenmektedir. 90°Kevlar numunelerde TiB₂ oranı arttıkça şekil değiştirme artarken 45°Kevlar numunelerde TiB₂ oranı arttıkça şekil değiştirme azalmıştır. Maksimum şekil değiştirme değeri en yüksek olan numune 90°Kevlar4 numunesi iken maksimum şekil değiştirme değeri en düşük olan numune 45°Kevlar4 numunesidir. Bunun sebebi olarak Kevlar elyafının matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda

yüksek mukavemet sağlaması ve açılı olarak yerleştirildiğinde ise mukavemetinde azalma olduğu düşünülmektedir [13].

4.4.Eğme Testi Sonuçları

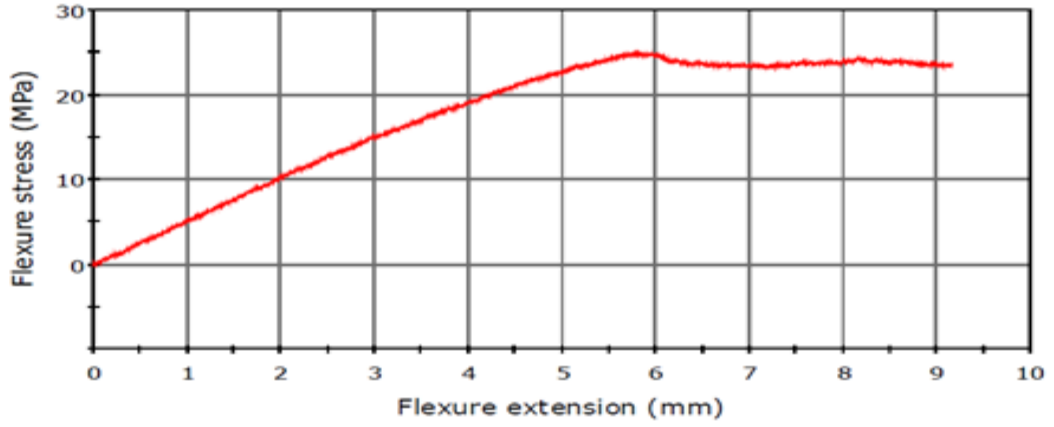
Numunelere uygulanan eğme testlerinin sonuçları eğme gerilmesi – şekil değiştirme grafikleri olarak verilmiş ve maksimum ulaşabildikleri değerler incelenmiştir.

Her bir numuneden 4 adet üretilmiş olup bu numunelerin her biri eğme testine tabi tutulmuştur. 8 numunenin her biri için 4 farklı gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir ve aşağıda verilmiştir.



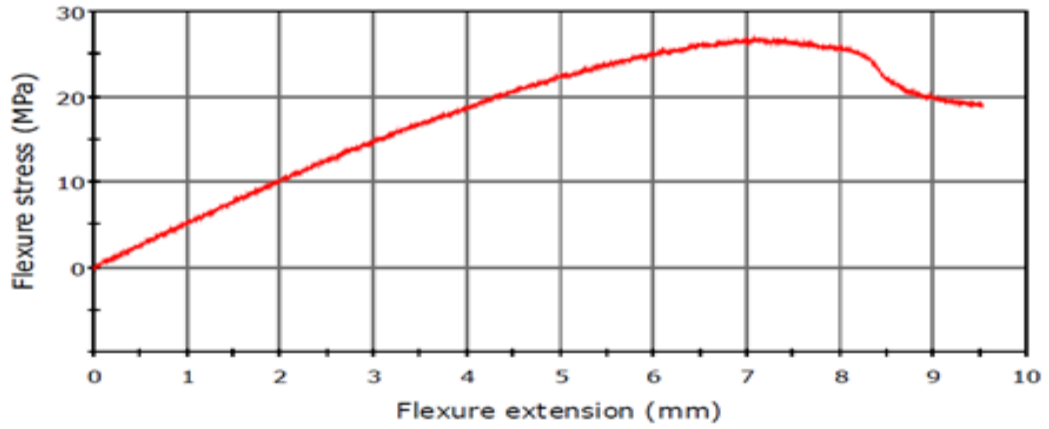
Şekil 4. 28. 90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.28.’deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 31,59608 MPa’dır.



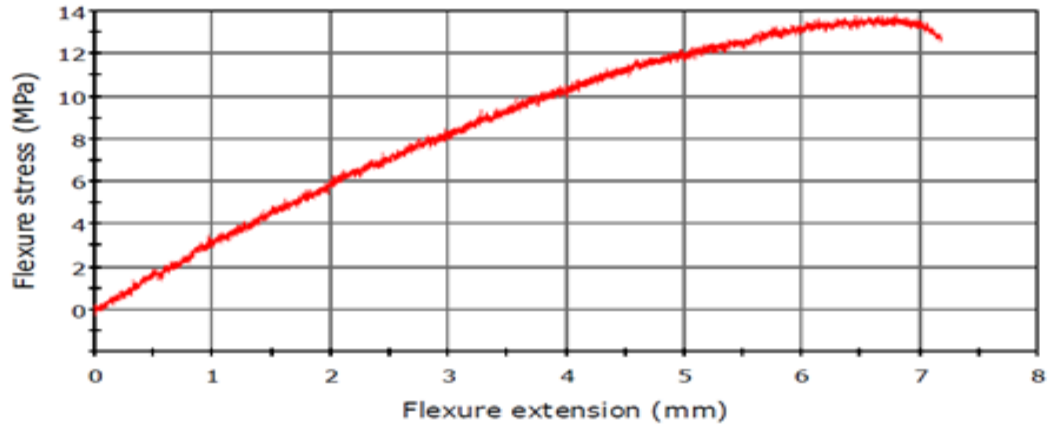
Şekil 4. 29.90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.29.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 25,09987 MPa'dır.



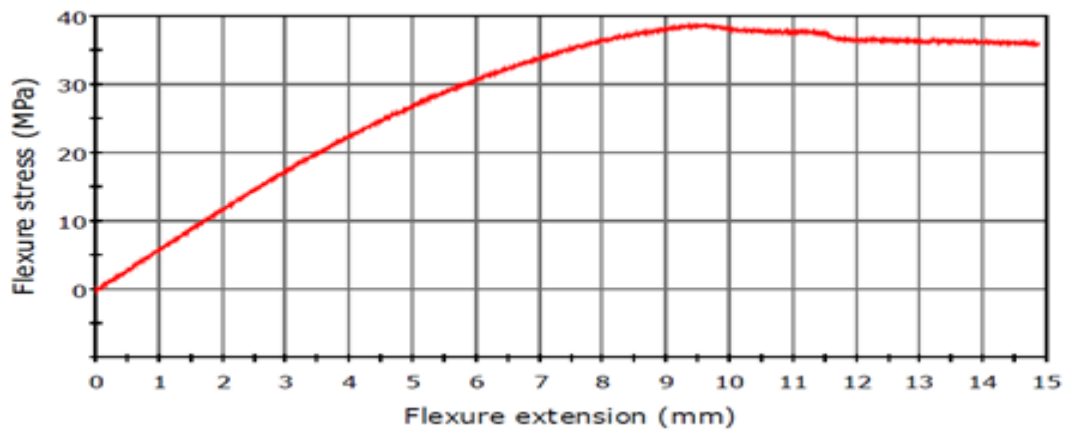
Şekil 4. 30.90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.30.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 26.99344 MPa'dır.



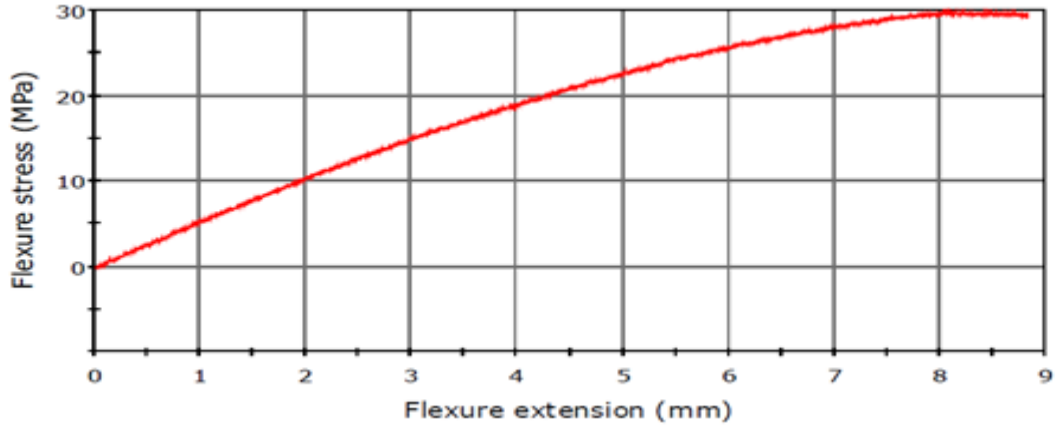
Şekil 4. 31.90°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.31.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 13,87517 MPa'dır.



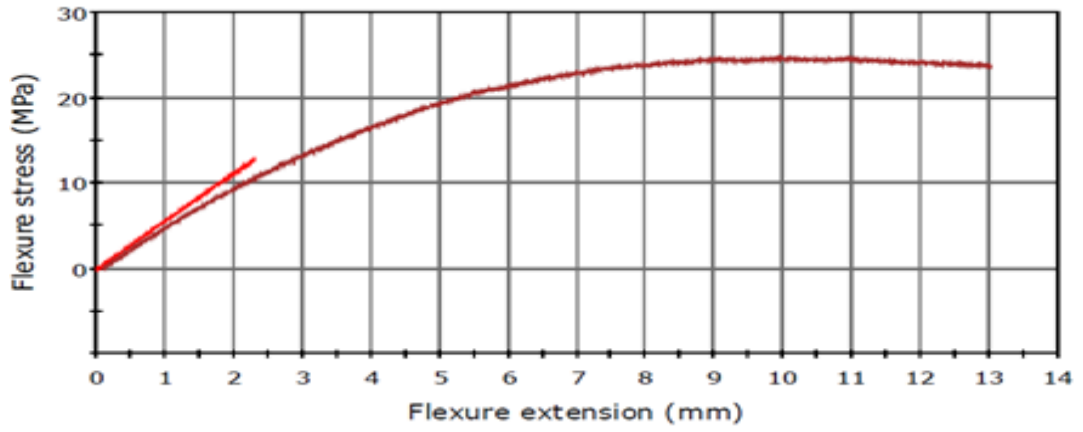
Şekil 4. 32.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.32.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 38,89280 MPa'dır.



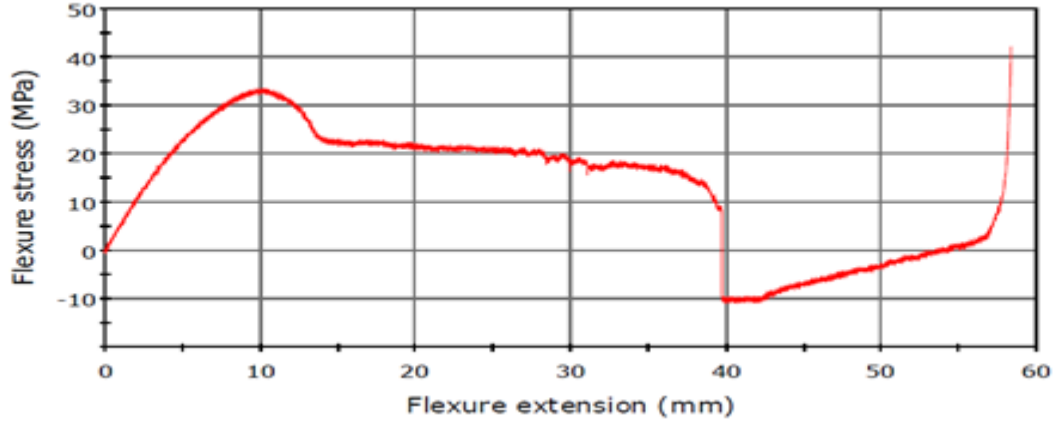
Şekil 4. 33.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.33.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 29,91425 MPa'dır.



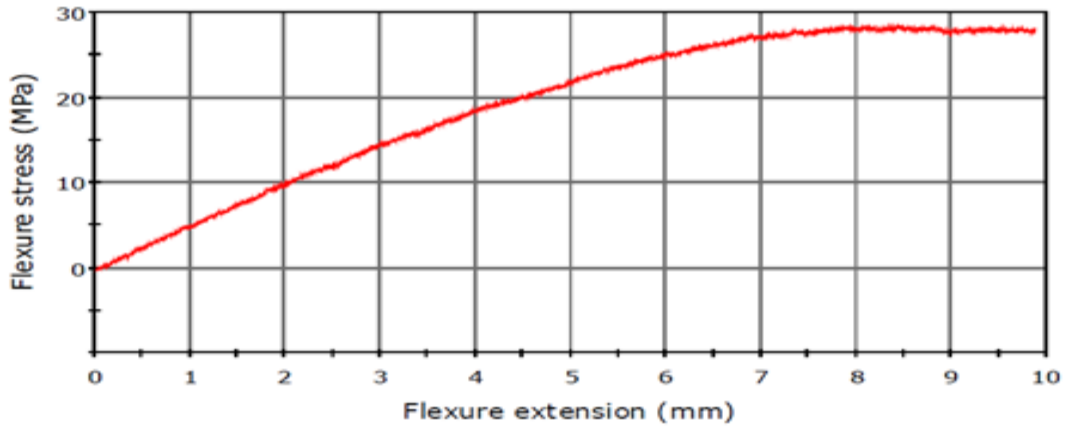
Şekil 4. 34.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.34.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 24,85269 MPa'dır.



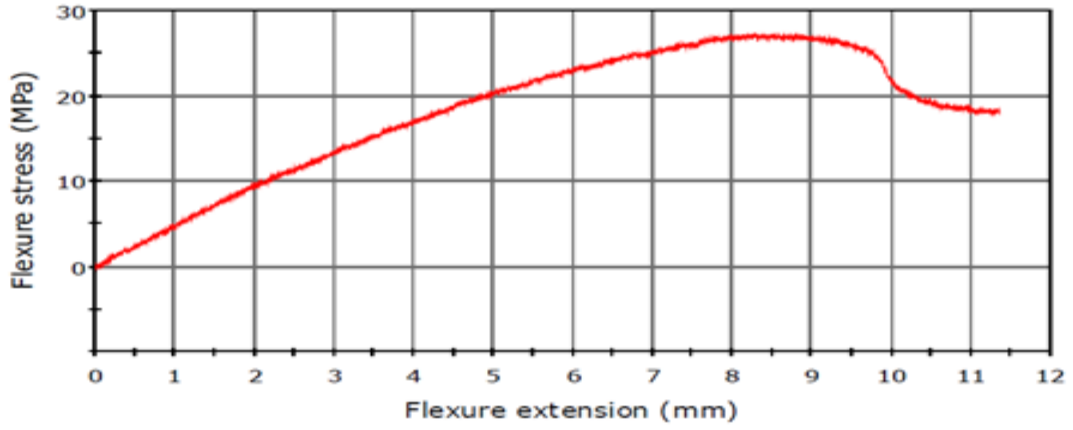
Şekil 4. 35.90°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.35.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 20,93695 MPa'dır.



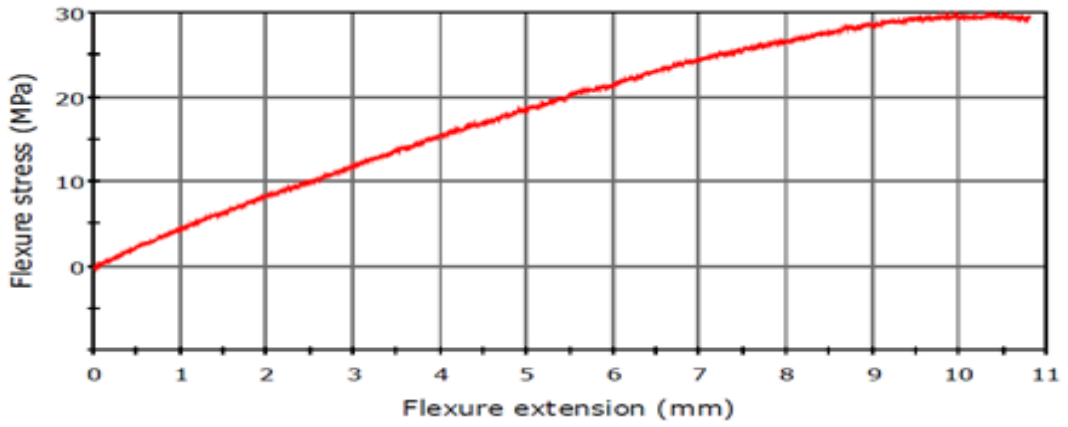
Şekil 4. 36.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.36.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 28,46624 MPa'dır.



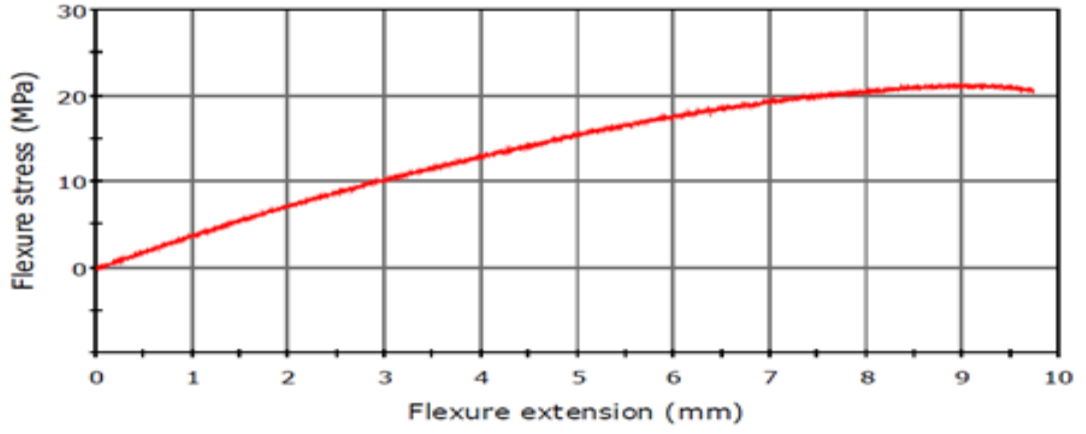
Şekil 4. 37.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.37.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 27,34189 MPa'dır.



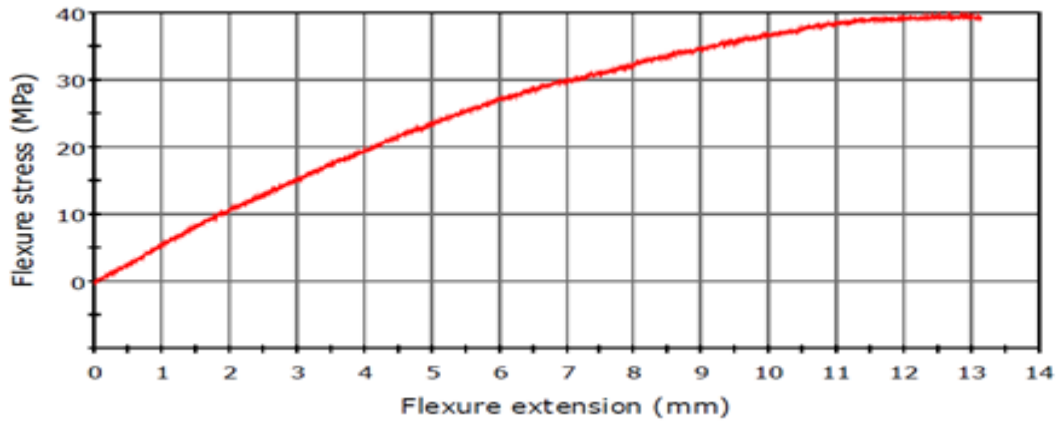
Şekil 4. 38.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.38.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 29,90230 MPa'dır.



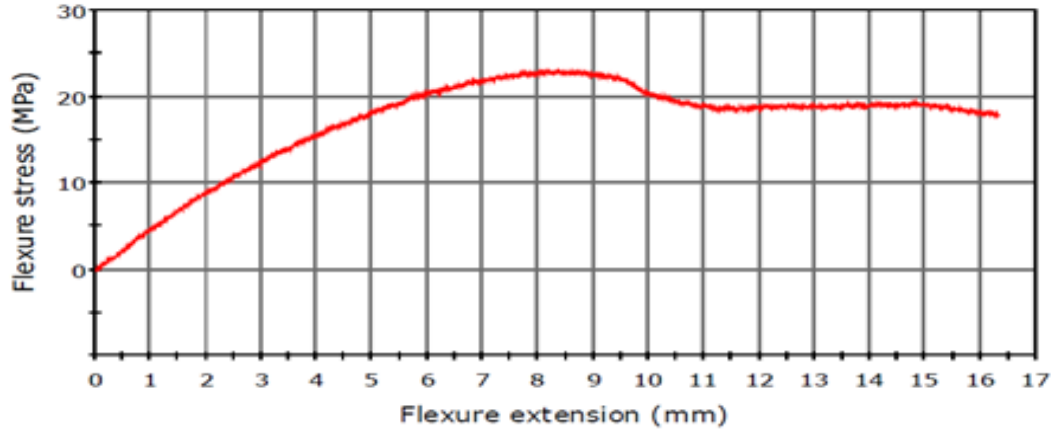
Şekil 4. 39.90°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.39.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 21,40237 MPa'dır.



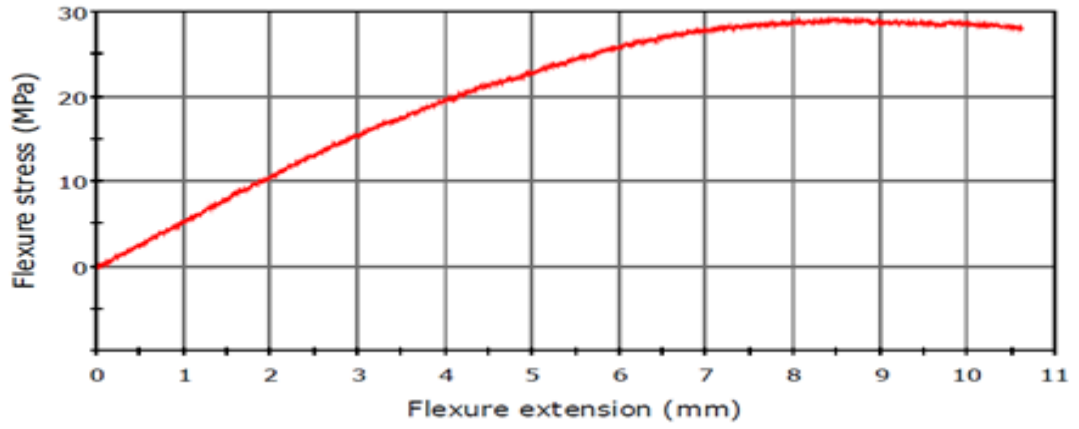
Şekil 4. 40.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.40,'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 39,70415 MPa'dır.



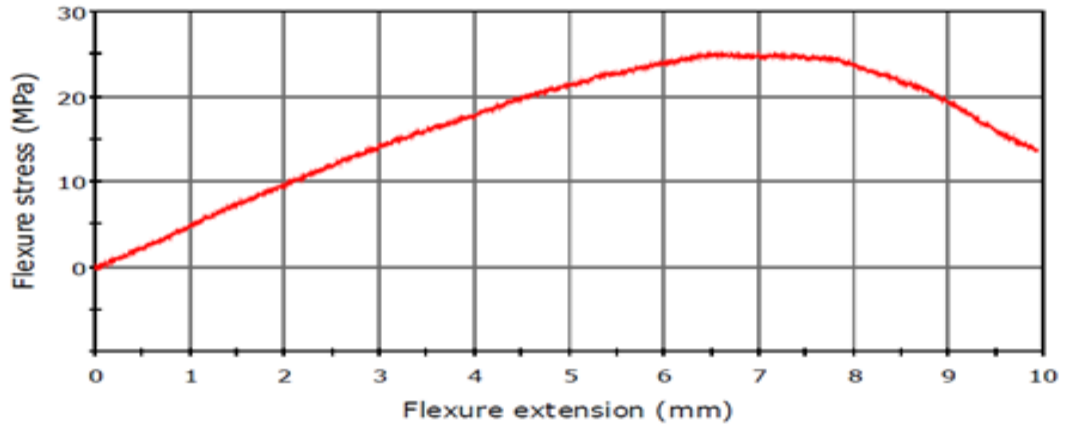
Şekil 4. 41.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.41.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 23,11514 MPa'dır.



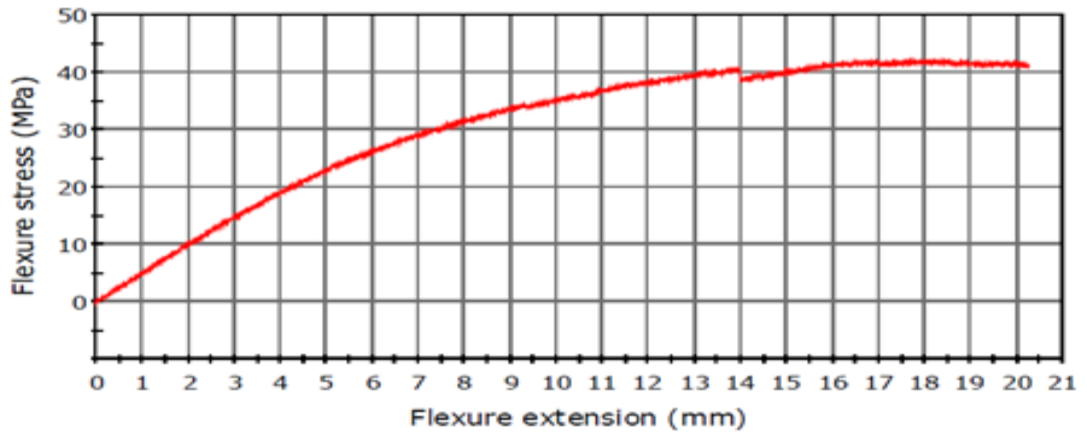
Şekil 4. 42.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.42.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 29,40819 MPa'dır.



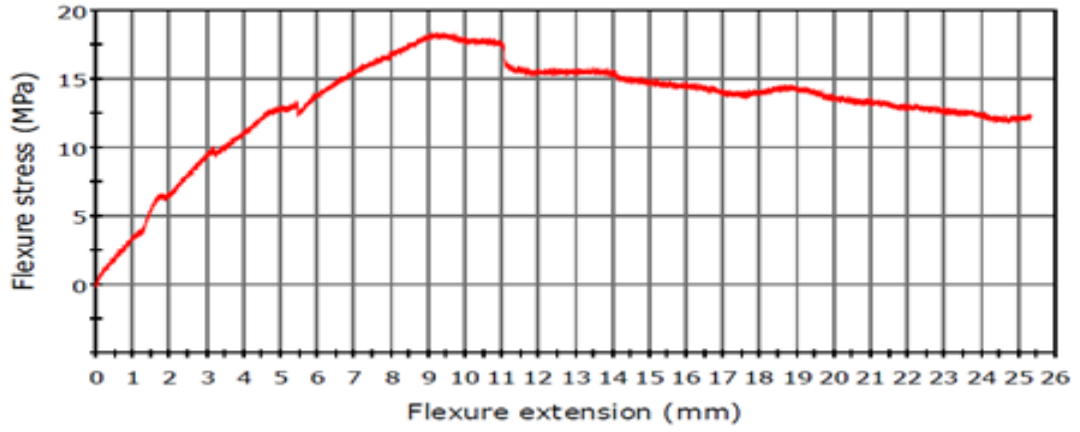
Şekil 4. 43.90°Kevlar4 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.43.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 25,19193 MPa'dır.



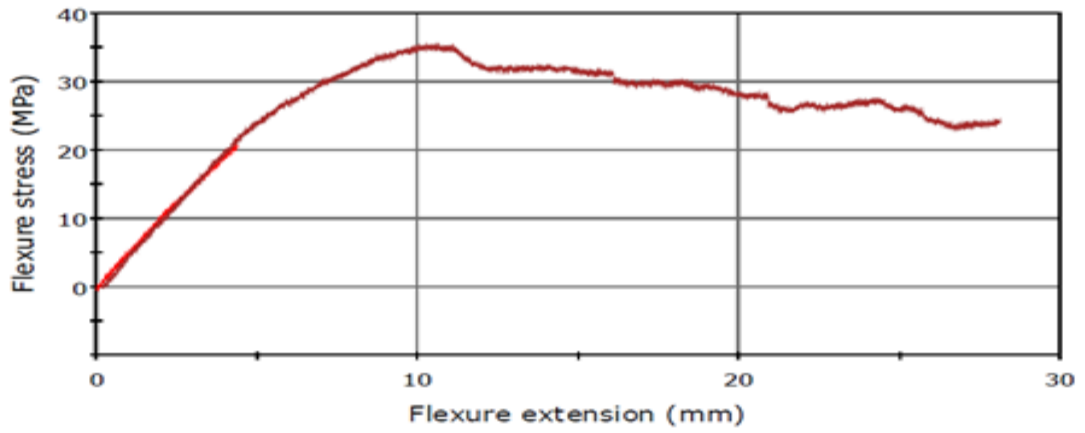
Şekil 4. 44.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.44.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 42,07533 MPa'dır.



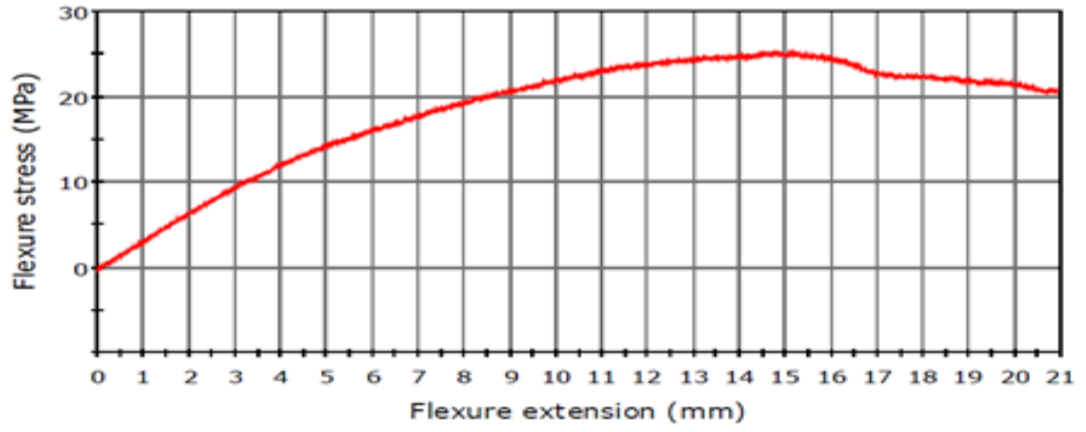
Şekil 4. 45.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.45.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 18,42615 MPa'dır.



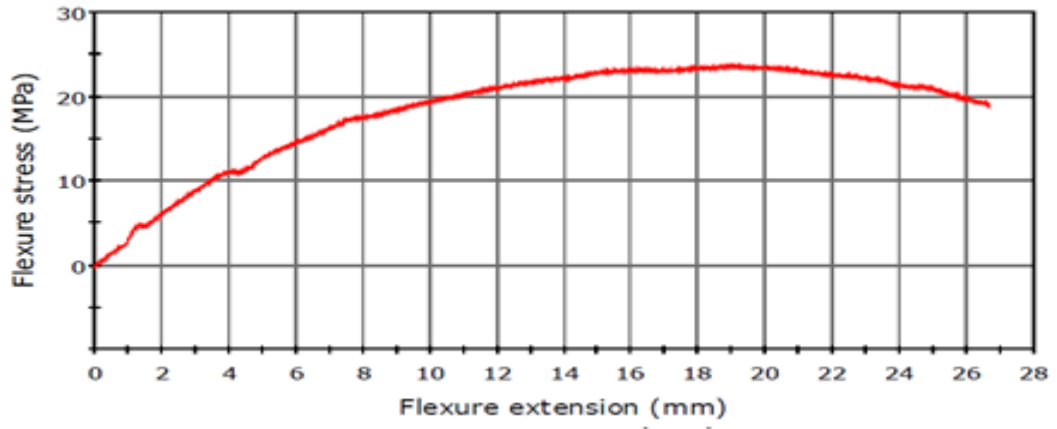
Şekil 4. 46.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.46.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 26,58620 MPa'dır.



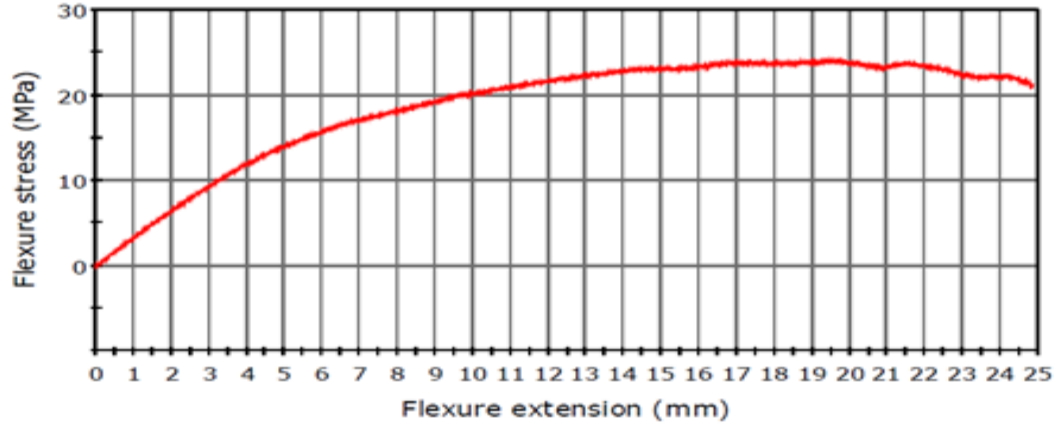
Şekil 4. 47.45°Kevlar0 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.47.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 25,39653 MPa'dır.



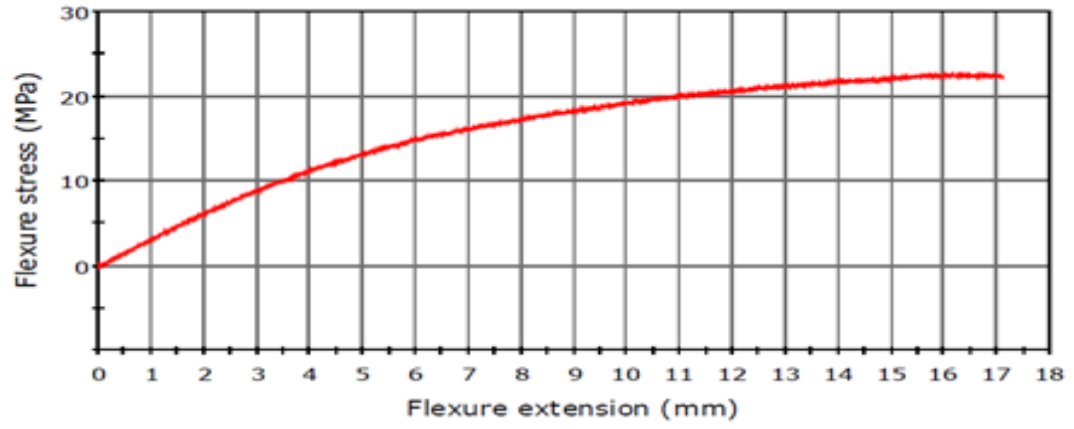
Şekil 4. 48.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.48.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 23,86830 MPa'dır.



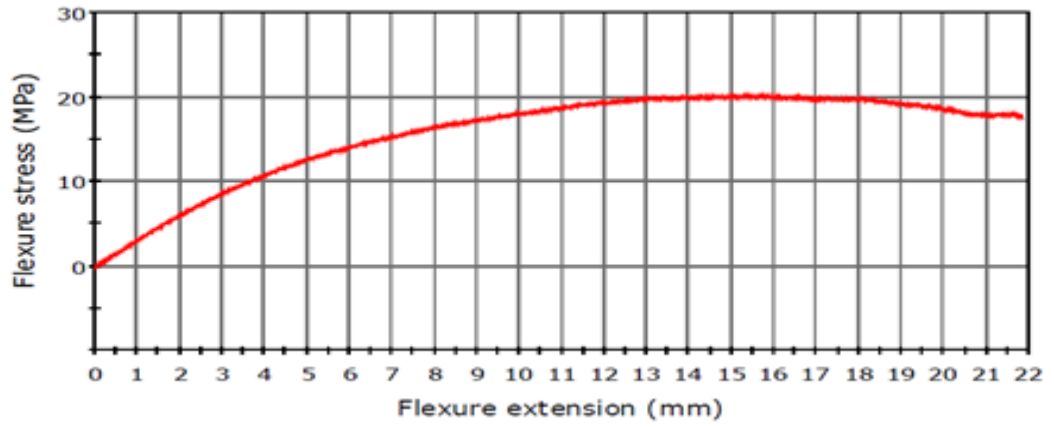
Şekil 4. 49.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.49.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 24,26707 MPa'dır.



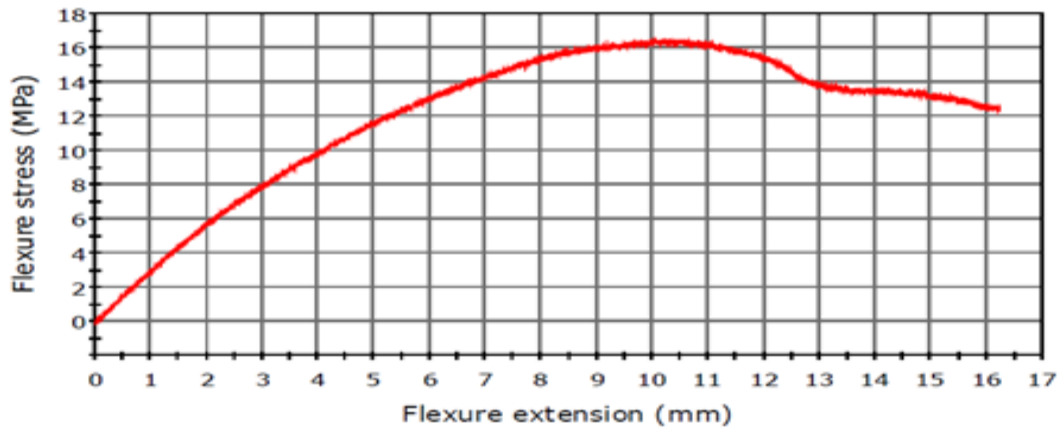
Şekil 4. 50.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.50.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 22,76354 MPa'dır.



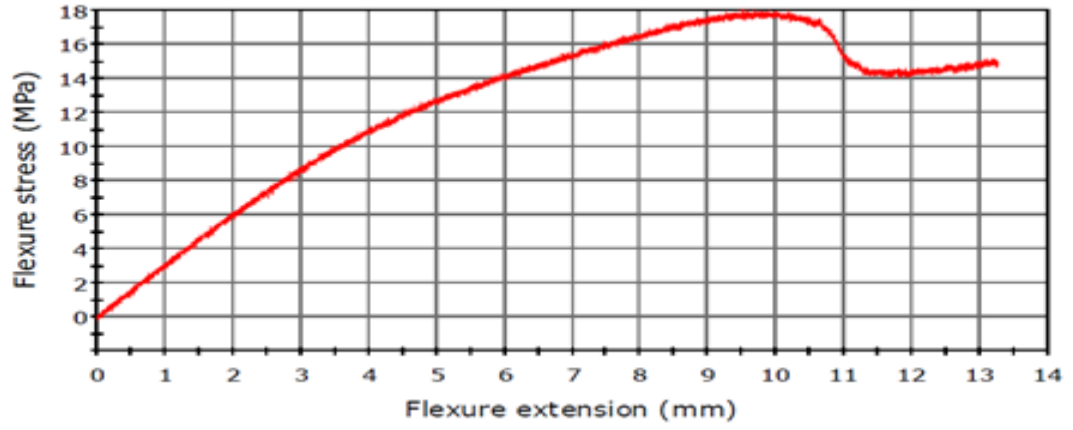
Şekil 4. 51.45°Kevlar1 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.51.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 20,35318 MPa'dır.



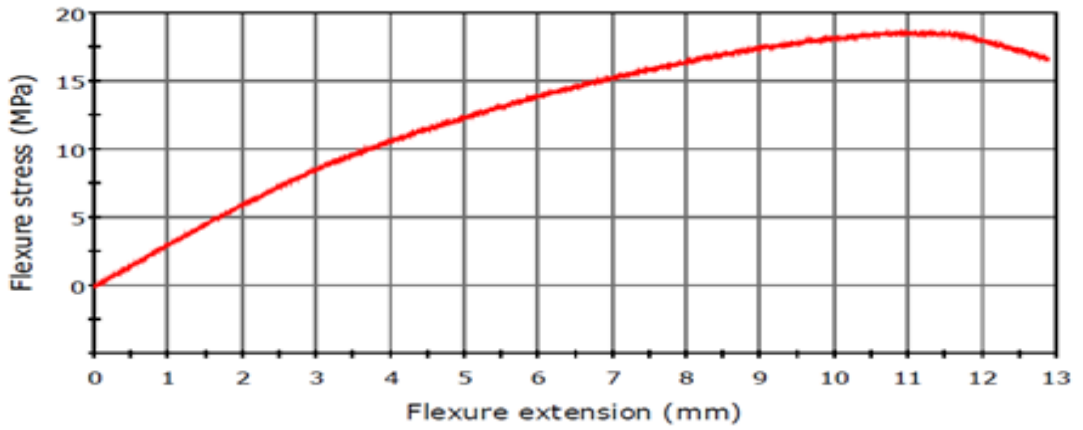
Şekil 4. 52.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.52.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 16,59576 MPa'dır.



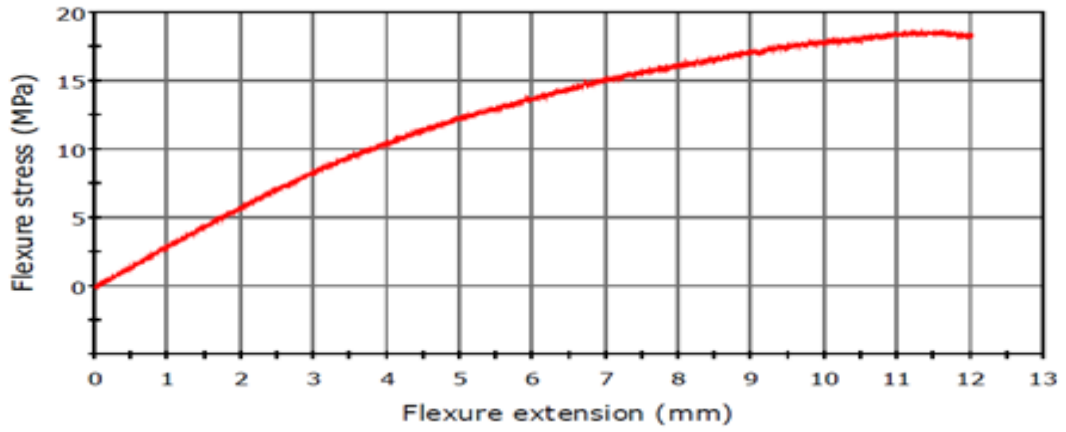
Şekil 4. 53.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.53.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 17,94068 MPa'dır.



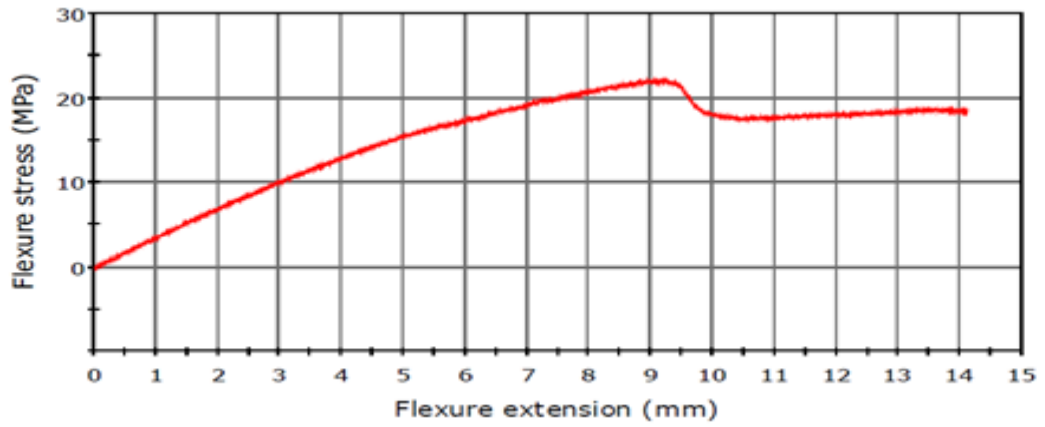
Şekil 4. 54.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.54.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 18,74874 MPa'dır.



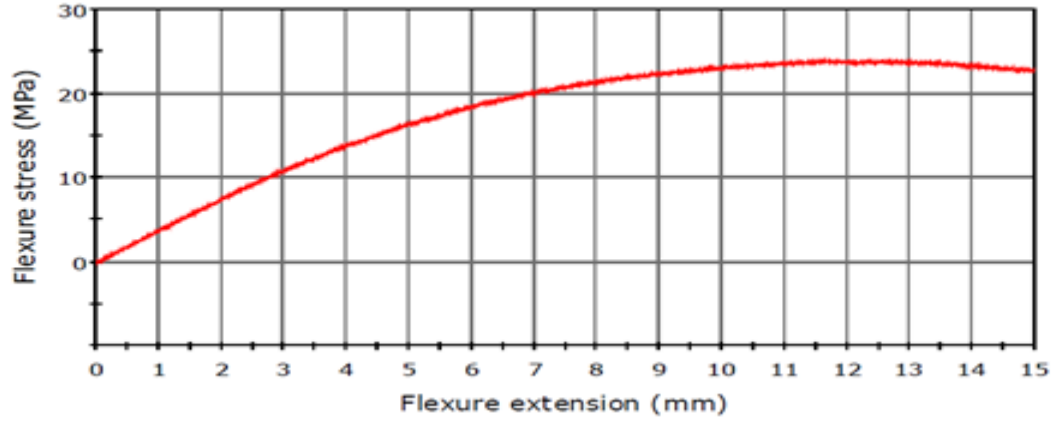
Şekil 4. 55.45°Kevlar2 Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.55.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 18,67896 MPa'dır.



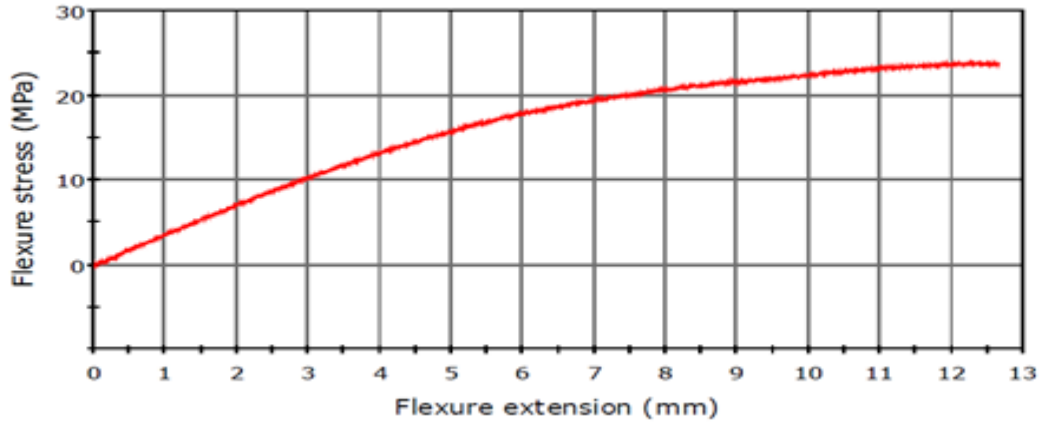
Şekil 4. 56.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.56.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 22,30297 MPa'dır.



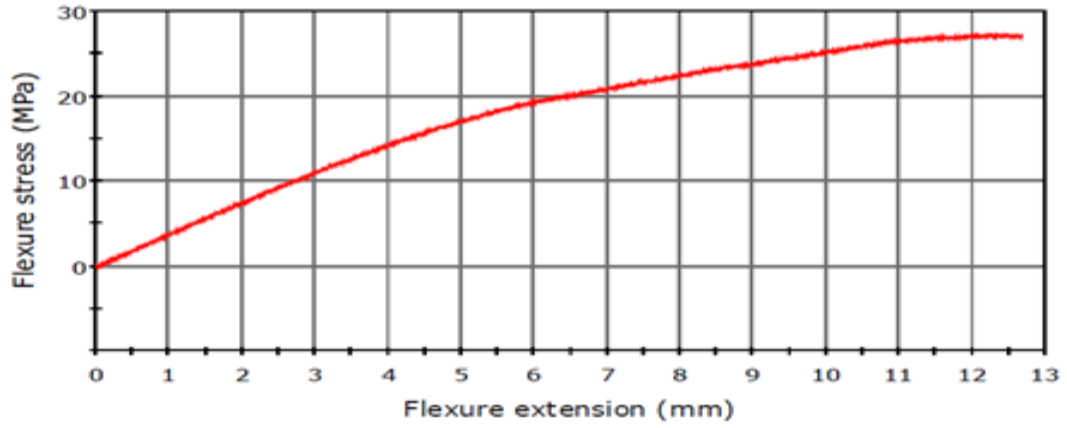
Şekil 4. 57.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.57.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 24,01212 MPa'dır.



Şekil 4. 58.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Şekil 4.58.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 23,94037 MPa'dır.



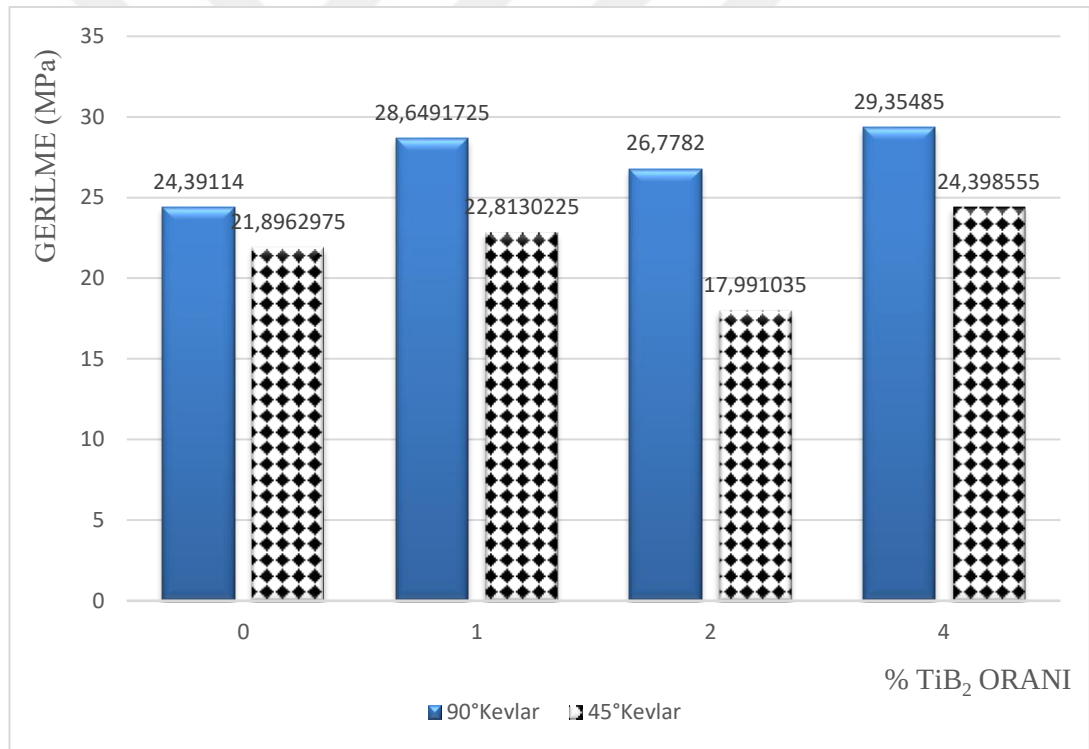
Şekil 4. 59.45°Kevlar4Eğme Testi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

Şekil 4.59.'deki grafiğinin maksimum eğme gerilmesi 27,33876 MPa'dır.

Çizelge 4. 4.90°Kevlar ve 45°Kevlar numunelerinin Maksimum Eğme Gerilmesi ve Ortalamaları

	Maksimum Eğme Gerilmesi MPa				Ortalama Maksimum Eğme Değeri (MPa)
90°Kevlar0	13,87517	31,59608	25,09987	26,99344	24,39114
90°Kevlar1	29,91425	24,85269	20,93695	38,8928	28,6491725
90°Kevlar2	21,40237	28,46624	27,34189	29,9023	26,7782
90°Kevlar4	25,1919	39,7042	23,1151	29,4082	29,35485
45°Kevlar0	17,17631	18,42615	26,5862	25,39653	21,8962975
45°Kevlar1	23,8683	24,26707	22,76354	20,35318	22,8130225
45°Kevlar2	16,59576	17,94068	18,74874	18,67896	17,991035
45°Kevlar4	22,30297	24,01212	23,94037	27,33876	24,398555

Çizelge 4.4. incelendiğinde maksimum gerilme 90°Kevlar4 numunesinde görülmüştür. Minimum gerilme ise 45°Kevlar2 numunesinde görülmüştür. 90°Kevlar4 numunesinin maksimum eğme gerilmesi 29,35485 MPa iken 45°Kevlar2 numunesinin maksimum eğme gerilmesi 17,991035 MPa olduğu görülmüştür. Farklı iki lif oryantasyonunda da TiB₂ miktarı ağırlıkça %1’den %2’ye arttığında maksimum eğme gerilmesinde azalma gözlenmişken %2’den %4’e arttığında ise maksimum eğme gerilmesinde artış gözlenmiştir. Bu ölçümlerden yola çıkarak epoksi içindeki TiB₂ ‘nin liflere yapışma ve tutunmayı artırarak kaymayı engellediği düşünülmektedir. Yapılan literatür taramalarına karşılık maksimum eğme gerilmelerinin düşük olmasının nedeni numune üretiminin sıcaklık ve basınç altında yapılmadığından dolayı olduğu düşünülmektedir [12,15].



Şekil 4. 60.90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numunelerin maksimum eğme gerilme değerlerinin karşılaştırması

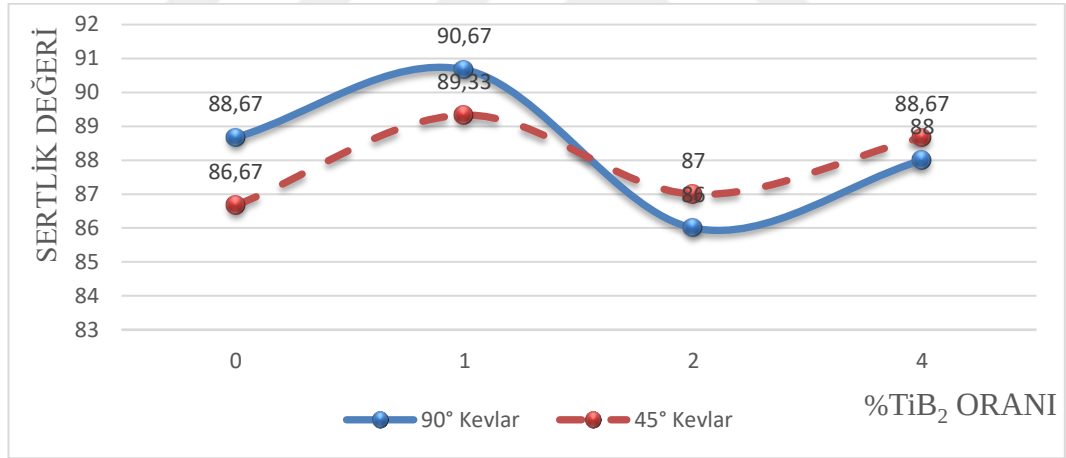
Elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörler basınç ve sıcaklıktır. Ayrıca fiberlerin yönelmesi, şekli ve uzunluğu matrisin mekanik özelliklerini etkiler. Şekil 4.60 'da görüldüğü üzere 90°Kevlar numunelerin maksimum eğme gerilmeleri 45°Kevlar numunelerin maksimum eğme gerilmelerinden daha yüksektir. Maksimum eğme gerilmesi en yüksek olan numune 90°Kevlar4 numunesi iken maksimum eğme gerilemesi en düşük olan numune 45°Kevlar2 numunesidir. Bunun sebebi olarak Kevlar elyafının matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile yüzeyden iç katmanlara doğru yük transferi gerçekleşirken açılı olarak yerleştirildiğinde aynı transfer ve dayanım gözlenmemektedir. Aşkın (2015) yapmış olduğu çalışmada 45 derece yönlü olarak yerleştirilen karbon dokuma fiberden elde edilen kompozitin maksimum eğme gerilmesinin deney sonuçlarımızla benzer şekilde 90 derecelik numunelere oranla daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca Aşkın (2015) çalışmasında elde ettiği sonuçlarda basınç ve sıcaklığın mukavemeti arttırdığını gözlemlemiştir. Numune üretimi basınç ve sıcaklık altında yapıldığında maksimum eğme gerilmesinin olumlu yönde etkileneceği görülmektedir [52].

4.5.Sertlik Testi Sonuçları

Bu çalışmada 90° Kevlar numuneler ile 45° Kevlar numunelere %0, %1, %2, %4 oranlarında TiB₂ ilave edilip elde edilen numunelere Shore D sertlik testi yapılmıştır. Her bir numune için 3 adet test yapılmış olup elde edilen sonuçların ortalaması incelenmiştir.

Çizelge 4. 5.Sertlik Deneyi Sonuçları

	Shore D			Ortalama Shore D
	1.Deney	2.Deney	3. Deney	
90° Kevlar 0	87,00	89,00	90,00	88,67
90° Kevlar 1	91,00	91,00	90,00	90,67
90° Kevlar 2	87,00	86,00	85,00	86,00
90° Kevlar 4	89,00	88,00	87,00	88,00
45° Kevlar 0	87,00	85,00	88,00	86,67
45° Kevlar 1	90,00	89,00	89,00	89,33
45° Kevlar 2	87,00	88,00	86,00	87,00
45° Kevlar 4	87,00	90,00	89,00	88,67



Şekil 4. 61.Numunelerin sertlik test değerleri

Şekil 4.61. 'de de görüldüğü üzere 90°Kevlar numuneler ile 45°Kevlar numuneler arasında deformasyona karşı gösterilen dirençler çok da farklı değildir. En düşük sertlik değeri kütlece %2 TiB₂ oranı içeren numunelerde görülmüştür. En yüksek sertlik değeri kütlece %1 TiB₂ oranı içeren numunelerde görülmüştür. TiB₂'nin tek başına sertlik değeri yüksektir (2600 Knoop Sertliği). 90°Kevlar numunelerde TiB₂

oranı arttıkça sertlik artmakta fakat kütlecce %2 TiB₂ içeren numunede emdirilen TiB₂'nin bütün yüzeyde eşit olarak dağılmadığından dolayı diğer TiB₂ oranlarına göre düşük bir sertlik değeri gösterdiği görülmektedir. Çoban (2011) çalışmasında polimer matrise 63 mikronluk alumina partikülleri ve 1 mikronluk alümina partikülleri ekleyerek farklı malzemeler üretmiş ve partikül boyutunun da sertliği etkilediğini tespit etmiştir [53].

4.6.Darbe Testi Sonuçları

Bu çalışmada 90° Kevlar numeneler ile 45° Kevlar numunelere kütlecce %0, %1, %2, %4 oranlarında TiB₂ ilave edilip elde edilen numunelere darbe testi yapılmıştır. Her bir numune için 4 adet test yapılmış olup elde edilen sonuçların ortalaması incelenmiştir.

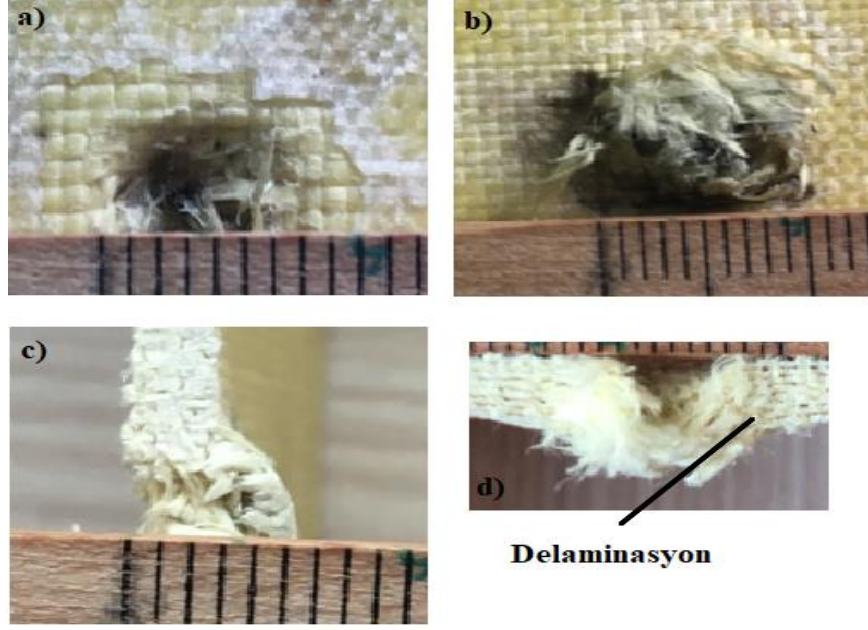
Çizelge 4. 6.Darbe testi enerjisi delinme değerleri

	Joule				Ortalama Joule Değeri
	1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney	
90° Kevlar 0	10,00	8,00	10,00	10,00	9,50
90° Kevlar 1	10,00	7,00	10,00	10,00	9,25
90° Kevlar 2	9,00	8,00	10,00	9,00	9,00
90° Kevlar 4	10,00	8,00	10,00	10,00	9,50
45° Kevlar 0	6,00	8,00	8,00	7,00	7,25
45° Kevlar 1	8,00	7,00	7,00	8,00	7,50
45° Kevlar 2	7,00	6,00	8,00	6,00	6,75
45° Kevlar 4	7,00	7,00	8,00	8,00	7,50

Çizelge 4.6. incelendiğinde numunelere uygulanan darbe sonucu meydana gelen hasar değerleri verilmiştir. 45°Kevlar numunelerin darbe dayanımları 90°Kevlar numunelere göre yaklaşık olarak %28 daha az darbeye dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Darbe dayanımında TiB₂ miktarından ziyade lif oryantasyonunun etkili olduğu düşünülmektedir. Ongun (2015) çalışmasında nanokil miktarını arttıkça darbe testlerinde numuneler reçine gelen darbeyi absorbe etmiştir ve nanokil reçinenin yapısını sertleştirmiş ve kompoziti daha sert bir hale getirmiştir. Bu çalışmada da ağırlıkça TiB₂ miktarı %4 olduğunda darbe dayanımının diğer numunelere oranla daha iyi olduğu gözlenmiştir [10].

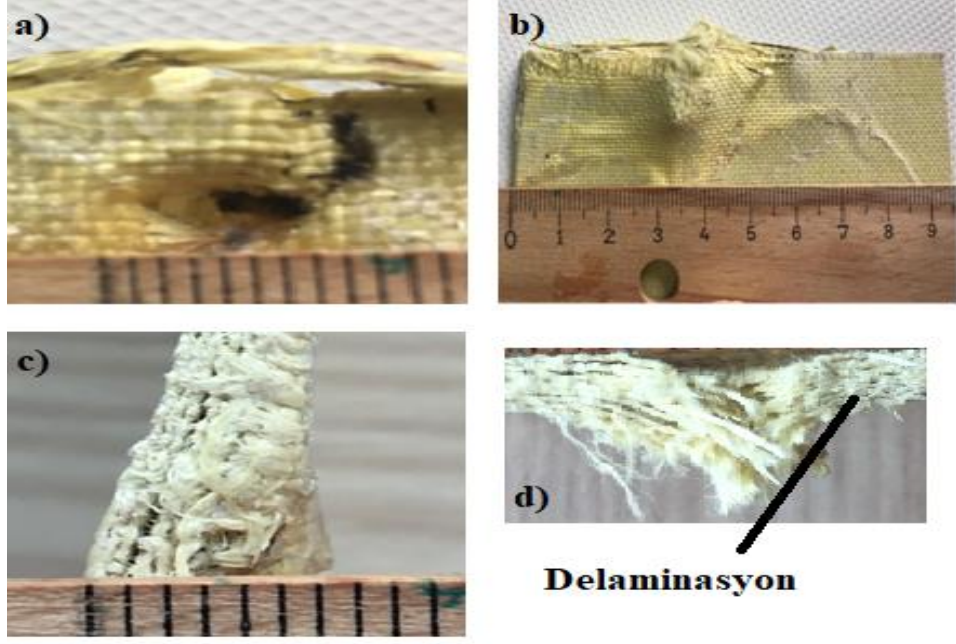
4.7.Balistik Test Sonuçları

Kırıkkale Makine ve Kimya Endüstri Kurumu Silah Fabrikasında yapılan atış deneylerinde Canik Tabanca markası ile 9 mm mermi kullanılmıştır. 8 farklı numune atış testine tabi tutulmuştur. Bu atışlar neticesinde deformasyon miktarları ölçülmüş olup merminin numune üzerindeki hasarına bakılmıştır. Elde edilen atış sonrası numune görüntülerini inceleyecek olursak;



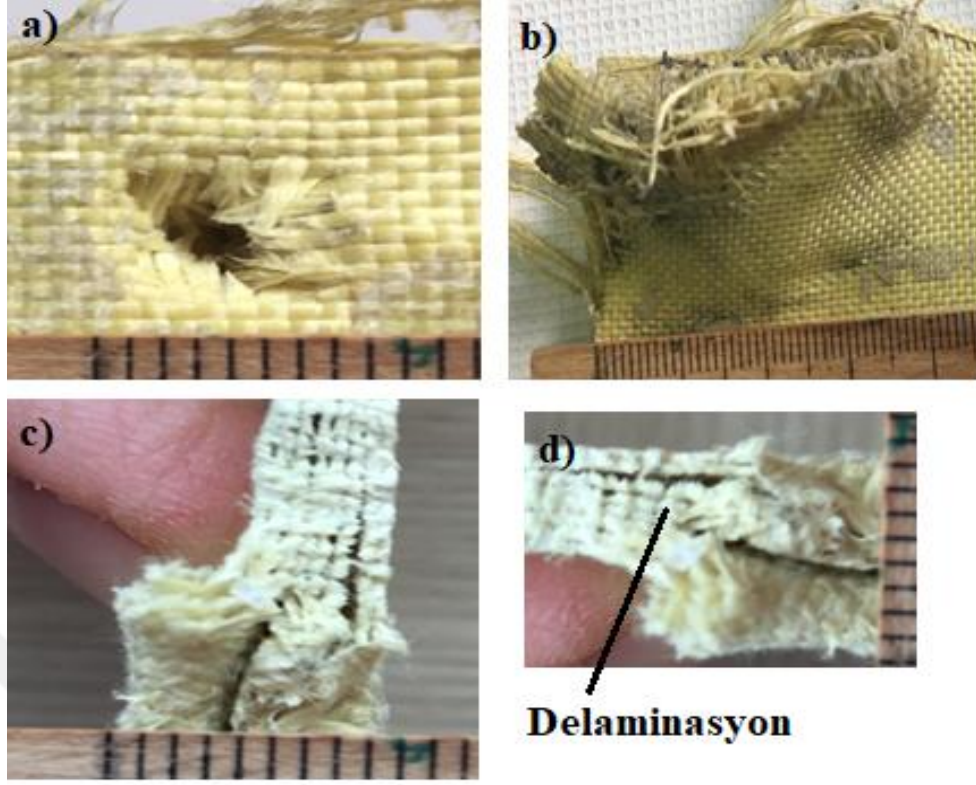
Şekil 4. 62.Atış yapılan 90°Kevlar0 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı
c) yarılma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

Şekil 4.62.'de 90°Kevlar0 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,8 mm, mermi çıkış çapı:10 mm, yarılma yüksekliği: 0,5 mm'dir.



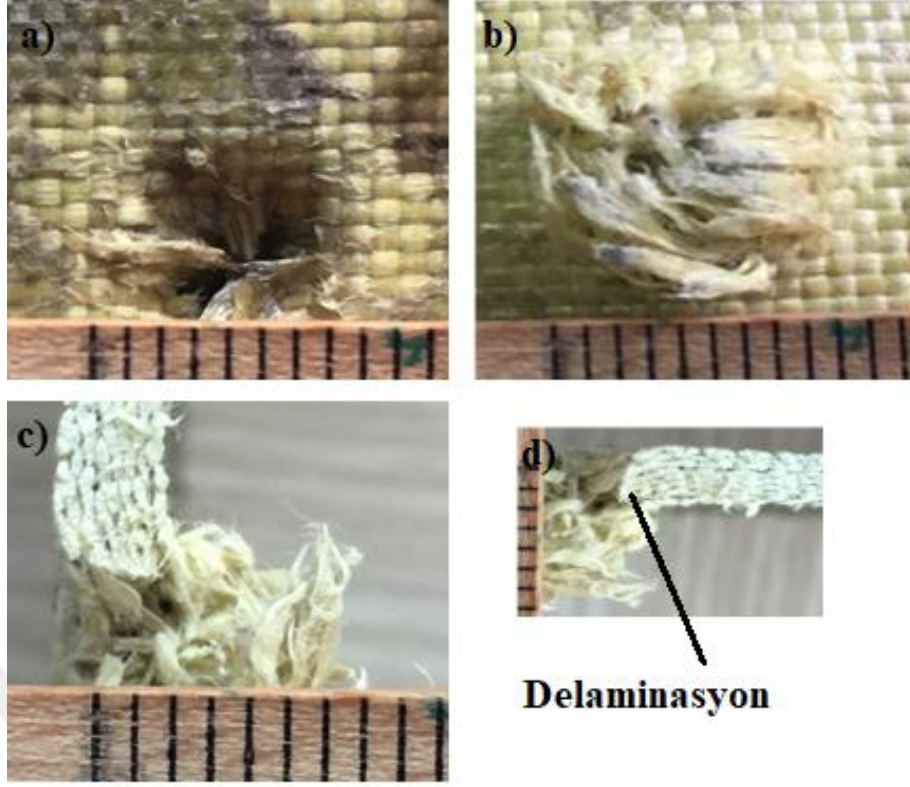
Şekil 4. 63.Atış yapılan 90°Kevlar1 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı
c) yarıлма yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

Şekil 4.63.'de 90°Kevlar1 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,8 mm, yarıлма yüksekliği: 0,6 mm'dir. Plakada delinme olmamıştır.



Şekil 4. 64.Atış yapılan 90°Kevlar2 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı
c) yarılma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

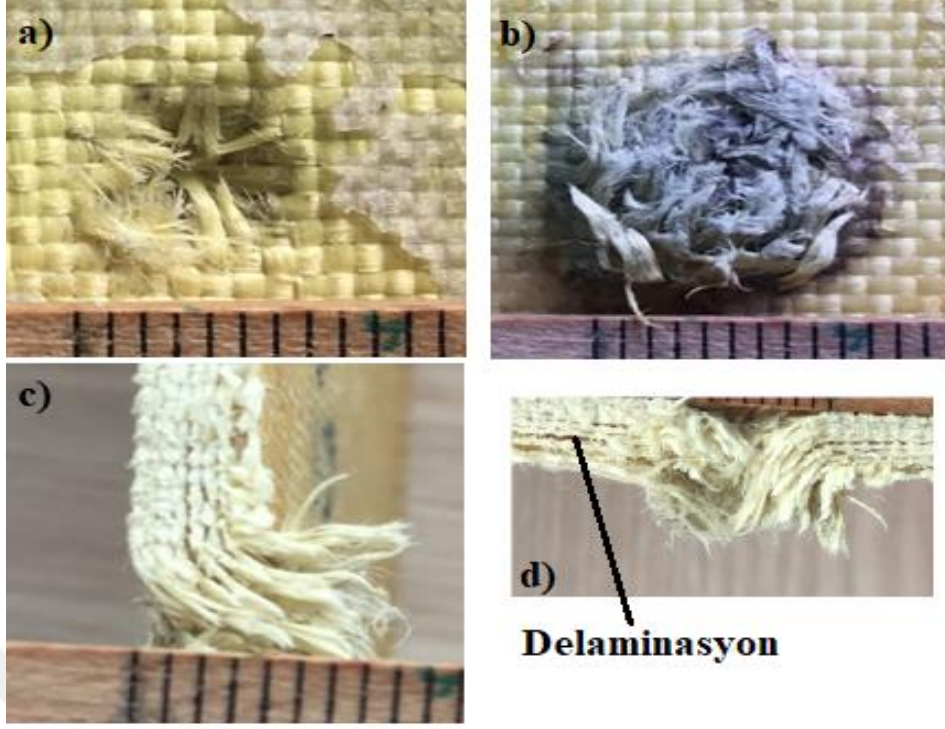
Şekil 4.64.'de 90°Kevlar2 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,8 mm, yarılma yüksekliği: 0,8 mm'dir. Plakada delinme olmamıştır.



Şekil 4. 65.Atış yapılan 90°Kevlar4 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

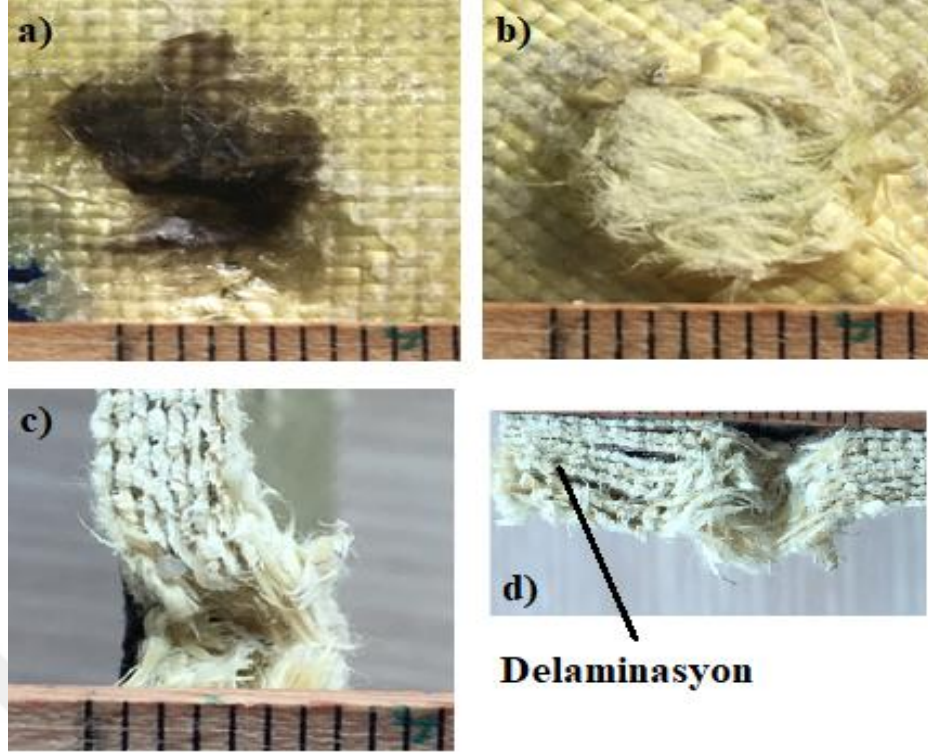
Şekil 4.65.'de 90°Kevlar4 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,8 mm, mermi çıkış çapı:10 mm, yarıma yüksekliği: 0,6 mm'dir.

90°Kevlar numunelerinde yapılan balistik deneylerinde ağırlıkça TiB_2 oranı %1 ve %2 olan numunelerde delinme meydana gelmemiştir. Mermi çekirdeği numune içerisinde kalmıştır. Ağırlıkça TiB_2 oranı %4 olan numunede delinme meydana gelmesinin nedeni olarak kevlara emdirilen epoksi ve TiB_2 'nin homojen dağılmadığı düşünülmektedir. Tüm numunelerde delaminasyon meydana gelmiştir. Numunelerde tabakalar arası açılma olup ani kopma meydana gelmiştir.



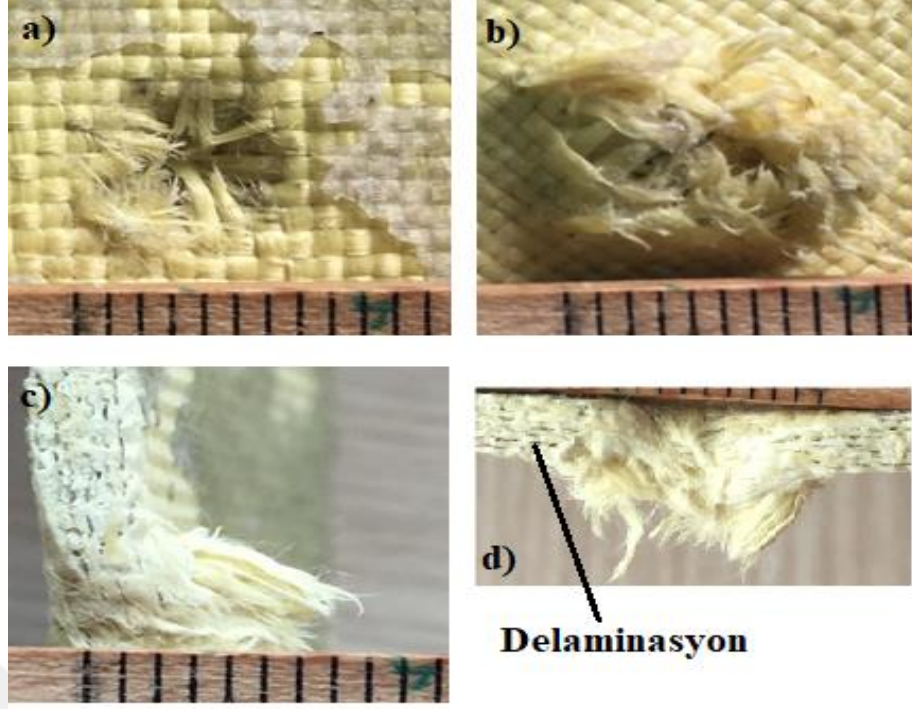
Şekil 4. 66.Atış yapılan 45°Kevlar0 a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarılma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

Şekil 4.66.'de 45°Kevlar0 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,8 mm, mermi çıkış çapı:11 mm, yarılma yüksekliği: 0,8 mm'dir.



Şekil 4. 67.Atış yapılan 45°Kevlar1 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı
c) yarılma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

Şekil 4.67.'de 45°Kevlar1 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,7 mm, mermi çıkış çapı:10 mm, yarılma yüksekliği: 0,7 mm'dir.



Şekil 4. 68.Atış yapılan 45°Kevlar2 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarılma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

Şekil 4.68.'de 45°Kevlar2 plakasına yapılan atış sonuncunda mermi giriş çapı:0,7 mm, mermi çıkış çapı:10 mm, yarılma yüksekliği: 0,6 mm'dir.



Şekil 4. 69.Atış yapılan 45°Kevlar4 plakanın a) mermi giriş çapı b) mermi çıkış çapı c) yarıma yüksekliği d) delaminasyon görüntüsü

Şekil 4.69.'de 45°Kevlar4 plakasına yapılan atış sonucunda mermi giriş çapı:0,8 mm, mermi çıkış çapı:12 mm, yarıma yüksekliği: 0,7 mm'dir.

45°Kevlar numunelerinde yapılan balistik deneylerinde tüm numunelerde delinme meydana gelmiştir. Numunede delinme meydana gelmesinin nedeni olarak kevlarlara emdirilen epoksi ve TiB_2 'nin homojen dağılmadığı düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çekme ve eğme testleri sonucunda 45°'lik oryantasyonla yerleştirilen numunelerin mukavemetinin 90°'lik oryantasyonla yerleştirilen numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle de 45°Kevlar numunelerinde mermiye karşı direnci daha düşük olduğu düşünülmektedir. Tüm numunelerde delaminasyon meydana gelmiştir. Numunelerde tabakalar arası açılma olup ani kopma meydana gelmiştir.

Çizelge 4. 7.Plakalara yapılan mermi test sonuçları

	Numune Kalınlığı (mm)	V_m (m/s)	Mermi Giriş Çapı (mm)	Mermi Çıkış Çapı (mm)	Yarılma Yüksekliği (mm)	Değerlendirme
90°Kevlar0	2,5	353	8	10	5	Delinme var
90°Kevlar1	2,5	356	8		6	Delinme yok
90°Kevlar2	2,5	357	8		8	Delinme yok
90°Kevlar4	2,5	355	8	10	6	Delinme var
45°Kevlar0	2,5	356	8	11	8	Delinme var
45°Kevlar1	2,5	356	7	10	7	Delinme var
45°Kevlar2	2,5	356	7	10	6	Delinme var
45°Kevlar4	2,5	356	7	12	7	Delinme var

Balistik deney sonuçlarından numunelerde genel olarak kesme delinmesi, fiber kopması, delaminasyon gözlenmiştir. 90°Kevlar1 ve 90°Kevlar2 numunelerinden delinme meydana gelmemiştir. Yapılan literatür taramalarında mermi hızının ve katman sayısının balistik performansı etkilediği tespit edilmiştir. Numunelerde reçine emiliminin ve homojen dağılımın yeteri kadar iyi sağlamadığından elyaflar arası yeterli bağ oluşturamadığı düşünülmektedir. Benzer bir durum da el yatırma tekniği kullanılarak tabakalı karma kompozit numune hazırlayan Yılmaz (2012)'nin balistik deneylerinde de görülmüştür. Candan (2007), çalışmasında preslenerek ve preslenmeden numuneler üretmiş yapılan atış deneyinin ardından preslenerek üretilen zırh plakalarının preslenmeden üretilen zırh plakalarına oranla %65 daha iyi sonuç verdiğini görmüştür. Bu nedenle de basınç altında üretilen numunelerin atış deneylerinde daha iyi performans vereceği düşünülmektedir [12,15].

5. SONUÇLAR

Epoksi matris ve Kevlar elyaf takviyesine katılan TiB_2 dolgulu kompozit levhaların, mikro yapıları incelendiğinde TiB_2 takviyesinin homojen olarak dağılmadığı topaklanma olduğu gözlenmiştir.

Yoğunluk testi sonuçlarına baktığımızda; porozite miktarının en fazla olduğu numune 45° Kevlar4 olduğu gözlenmiştir. Porozite miktarının en düşük olduğu numune ise 45° Kevlar1 numunesinde olduğu gözlenmiştir.

Epoksi matris ve 90° Kevlar elyaf takviyesine katılan TiB_2 dolgulu kompozit levhaların, kütlece %0 TiB_2 'li kompozit levhalarla kıyasladığımızda; kütlece %1 TiB_2 takviyeli numunelerin çekme gerilmesinde %5 azalma, %2 TiB_2 takviyeli numunelerin çekme gerilmesinde %0,5 artış, %4 TiB_2 takviyeli numunelerin çekme gerilmesinde %3,3 artış gözlenmiştir. Şekil değiştirmede ise TiB_2 oranı kütlece %4 olduğunda %6,5 artış gözlenmiştir.

45° Kevlar dizilimine sahip kompozit levhaların çekme gerilmelerine baktığımızda; kütlece %1 TiB_2 takviyeli numunelerin çekme gerilmesinde %19,4 azalma, %2 TiB_2 takviyeli numunelerin çekme gerilmesinde %17,4 azalma, %4 TiB_2 takviyeli numunelerin çekme gerilmesinde %16,9 azalma gözlenmiştir. Şekil değiştirmede ise kütlece %4 TiB_2 oranında %12,6 azalma gözlenmiştir.

90° Kevlar numunelerin eğme test sonuçlarına baktığımızda; TiB_2 miktarı kütlece %0 dan %1'e arttırıldığında maksimum eğme gerilmesi %17,5 artma, TiB_2 miktarı kütlece %0 dan %2'e arttırıldığında maksimum eğme gerilmesi %9,8 artma, TiB_2 miktarı kütlece %0 dan %4'e arttırıldığında maksimum eğme gerilmesi %20,4 artma gözlenmiştir.

45° Kevlar numunelerin eğme test sonuçlarına baktığımızda; TiB_2 miktarı kütlece %0 dan %1'e arttırıldığında maksimum eğme gerilmesi %4,2 azalma, TiB_2 miktarı kütlece %0 dan %2'e arttırıldığında maksimum eğme gerilmesi %17,8 azalma, TiB_2 miktarı

kütlece %0 dan %4'e arttırıldığında maksimum eğme gerilmesi %11,4 artma gözlenmiştir.

Kompozit levhaların sertlik sonuçlarını incelediğimizde numuneler arasında deformasyona karşı dirençlerinin çok da farklı olmadığı gözlenmiştir. En düşün sertlik değeri kütlece %2 TiB₂ oranı içeren numunelerde gözlemlenmişken en yüksek sertlik değeri ise 90°Kevlar1 numunesinde gözlemlenmiştir.

Kompozit levhaların darbe testi sonuçları incelendiğinde; 45°Kevlar numunelerin darbe dayanımları 90°Kevlar numunelere göre yaklaşık olarak %28 daha az darbeye dayanaklı olduğu gözlemlenmiştir.

Balistik test sonuçlarına bakıldığında; 90°Kevlar numunelerinde ağırlıkça TiB₂ oranı %1 ve %2 olan numunelerde delinme meydana gelmemiştir. Mermi ekirdeği numune içerisinde kalmıştır. 45°Kevlar numunelerin tamamında delinme meydana gelmiştir.

90°Kevlar numunelerin 45°Kevlar numunelere göre balistik ve mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu gözlenmiştir. Lif oryantasyonunda aynı ekseninde direnç gösteren liflerin mukavemeti olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Kütlece TiB₂ oranının arttırılması ile numunelerin darbe dayanımları da artmıştır. TiB₂'nin reçinenin yapısını sertleştirdiğinden dolayı olan bu artış ile kütlece TiB₂ oranı arttıkça numunelerin darbeye karşı dirençlerinin de artacağı tespit edilmiştir.

Balistik testler sonucunda yapılan incelemede en sık görülen hasarın fiber kopması ve lif tabakaları arasındaki ayrılma olduğu tespit edilmiştir.

90°Kevlar numunelerde kütlece TiB₂ oranı arttıkça çekme dayanımı arttığı gözlenmiştir. TiB₂ miktarının arttırılması ile numunelerin maksimum çekme dayanımlarının artacağı düşünülmektedir.

Kompozit malzemelere ilave edilen dolgu malzemelerinin oranları ve boyutları malzemenin hem mekanik özelliklerini hem de balistik özelliklerini etkilediği yapılan literatür taramalarında ve yapılan deneylerde görülmüştür.

Vakumlu torbalama tekniğın de basınç ve sıcaklık altında numune üretimi yapılacak olursa numunelerin mekanik özelliklerinin daha iyi sonuçlar vereceğı düşünölmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] T. Demir, Metal ve Katmanlı Zırh Malzemelerinin 7,62 mm lik Zırh Delici Mermiler Karşısında Balistik Başarımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 2008.
- [2] Yumak, N., PEKBEY, Y., ASLANTAŞ, K. (2014). Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi.10,1-21, 2014.
- [3] C. Barut, Aramid Esaslı Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2015.
- [4] T. Özek, Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2005.
- [5] Da Silva J.R., Paciornik, S., d’Almeida J.R.M. (2005). Evaluation of the effect of the ballistic damaged area on the residual impact strength and tensile stiffness of glass-fabric composite materials, Composite Structures, 64. 123-127.
- [6] Zhang, G.M., Batra R.C., Zheng, J. (2007). Effect of frame size, frame type, and clamping pressure on the ballistic performance of soft body armor. *Composites Part B: Engineering*, 39(3). 476-489.
- [7] M.O. Yavas, Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı. Yüksek Lisans Tezi. Konya Selçuk Üniversitesi, Konya, 2008.
- [8] Walker, J.D. Ballistic Limit Of Fabrics with Resin. 19 th International Symposium of Ballistic Interlaken Switzerland. May 2001, Interlaken-Switzerland, 2001.
- [9] S. Temiz, An investigation about ballistic fabrics and test methods, 3-95, 2005.

[10] A. Ongun, Karbon Nanotüp ve Nanokil Katkılı, Karbon Fiber/Epoksi Kompozitlerin Düşük Hız Darbe Testiyle Enerji Absorbsiyon Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2015.

[11] Buitrago, B.L, Shirley, Garcia-Castillo, S.K., Barbero, E. (2010). Experimental analysis of perforation of glass/polyester structures subjected to high-velocity impact. Elsevier Materials Letters, 64. 1052-1054.

[12] H. Yılmaz, Üç Fazlı Elyaf Tabakalı Karma Kompozit Yapının Balistik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2012.

[13] C. Yanen, Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 2016.

[14] Reis P. N. B., Ferreira J. A. M., Zhang Z. Y., Benameur T. ve Richardson M. O. V. (2012). Impact Response of Kevlar Composites with Nanoclay Enhanced Epoxy Matrix, *Composites: Part B*, no. 46. 7-14.

[15] Candan, C. The examination of terminal ballistic qualifications of high density polythene (UHMW-PE) armor plaque which are produced with pressing and without ressing against small arms. Proceedings of 8th International Fracture Conference, Nov. 2007. Istanbul-Turkey, pp176-185. 2007.

[16] M. Çalık, Zırh Tasarımında Kullanılan Farklı Geometriye Sahip Kompozit Kabukların Balistik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2004.

[17] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayıncılık, Ankara. 2015.

[18] SOY, U., Kompozit Malzemeler. Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Sakarya. 2009

[19] S. TAŞGETİREN, Kompozit Malzemelere Giriş Ders Notları. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 1999.

[20] E. Vatangül, Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi. Bitirme Projesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2008.

[21] M. Bulut, Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretim ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2014.

[22] <https://www.slideshare.net/DuranTuncel1/balpetei-kompozitler-56210673>
(Erişim Tarihi: 26.11.2018)

[23] Şahin, Y., Kompozit malzemelere giriş, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2000.

[24] C. Güven, Kompozit Malzemeler. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2014.

[25] M. Deniz, Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzenegın Tasarım ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2005.

[26] A. Onat, Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2015.

[27] M. Vural, Polimerler ve Kompozit Malzemeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[28] Zatorski, Z., (2007). Diagnostics of ballistic resistance of multilayered shields. Archive of Mechanical Engineering, LIV, 205-217.

[29] Vasiliev, V.V., Morozov, E.V., Mechanics and Analysis of Composite Materials. Elsevier Science Ltd., Oxford.2001

[30] Hsieh, C.Y., Mount, A., Jang, B.Z., Zee, P.H. Response of polymer composites under high velocity impact. 22nd Int. SAMPE Tech. Conference, 14-27, 1990.

[31] Csukat G.F. A study on the ballistic performance of composites. Wiley inter science macromol symposium, USA, 217-226, 2006.

[32] Grogan, J., Tekalur, A.S., Shukla, A., Bogdanovich, A., Coffelt, A.R., (2007). Ballistic resistance of 2D and 3D woven sandwich composites. Journal of Sandwich Structures and Materials, 9. 283-302.

[33] Olcay, Y., Akyol, M., Gemci, R. (2002). Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metodlarının etkisinin incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 7(1).93-116

[34] Yumak, N., PEKBEY, Y., ASLANTAŞ, K. (2014). Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi.10,1-21, 2014.

[35] Onuk, E. Kompozit İmalat Konferans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 1994.

[36] Galvez, V.S., Paradela, L.S. Analysis of failure of add-on armour for vehicle protection against ballistic impact. Elsevier Engineering Failure Analysis, 16. 1837–1845, 2009.

[37] Mark, E.J. Polymer Data Handbook. Oxford University Prss, 2st edittion, Oxford. 1999

[38]<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Fansys%2Fsayac2.php%3Fid%3D60&date=2014-07-08> (Erişim Tarihi: 26.11.2018)

[39] Viteri, V.S.D. ve Fuentes, E., (2013). Titanium and Titanium Alloys as Biomaterials Chapter, Tribology- Fundamentals and Advancements, Intech, s.155–182.

[40] Vallauri, D., Atías Adrián, I. ve Chrysanthou, A. (2008). TiC–TiB₂ composites: A review of phase relationships, processing and properties, Journal of the European Ceramic Society, 28(8). 1697–1713.

[41] Munro, R.G. (2000). Material properties of titanium diboride, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 105(5). 709.

[42] A. Turan, Yerli Hammaddelerden Hareketle TiB₂ Esaslı İleri Teknoloji Seramiklerin Üretilmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.

[43] K. Kurtoglu, Titantum Diborürün Karbotermik Redüksiyon Yöntemi İle Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.

[44] <http://www.peksen.com.tr/Uploads/Document/42c32601617a59c.pdf> (Erişim Tarihi: 06.06.2018)

[45] <http://docplayer.biz.tr/1820596-Mbm432-balistik-malzemeler.html> Erişim Tarihi: 08.03.2018)

[46] H. Deniz, Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62 mm’lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2009.

[47] S. Özgültekin, Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2012.

[48] Bozdoğan, F., Üngün, S., Temel, E., Mengüç, G. (2015). Balistik Koruma Amaçlı Kullanılan Tekstil Metaryelleri, Özellikleri ve Balistik Performans Testleri, Tekstil ve Mühendis, 22:98, 84-103.

[49] Tüzemen M., Ç., Salıncı E., Avcı A. (2017). Karbon Fiber/Epoksi Nanokompozit Plakalarda Nanopartikül Katkısının Fiber, Matris ve Boşluk Hacim Oranlarına Etkisi. Fen Bilimleri Dergisi, 5(1). 11-19.

[50] K. Doğan, Karbon Nano Tüp v Grafen Partikül Katkılı Fenolik Reçine Matrisli Nanokompozitlerin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 2018.

[51] T. Türken, Gümüş Nanopartiküller İle Kompozit İnce Boşluklu Fiber (Hollow Fiber) Membran Üretimi, Karakterizasyonu Ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013

[52] M. Y. Aşkın, Karbon Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015

[53] O. Çoban, Polimer Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyesinin Malzeme İç Yapısına, Mekanik Ve Tribolojik Özelliklere Etkisi. Doktora Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2011