

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÇELİK-FİBER LAMİNE KOMPOZİTLERİN BALİSTİK
PEFORMANSINA BİLEŞENLERİN ETKİSİ**

Hatice AKSU

Yüksek Lisans Tezi

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

HAZİRAN 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİK-FİBER LAMİNE KOMPOZİTLERİN BALİSTİK PEFORMANSINA BİLEŞENLERİN ETKİSİ

Tez Yazarı
Hatice AKSU

Danışman
Prof.Dr. Mehmet EROĞLU

HAZİRAN 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Çelik-Fiber Lamine Kompozitlerin Balistik Peformansına Bileşenlerin Etkisi
Yazarı:	Hatice AKSU
İlk Teslim Tarihi:	10.05.2022
Savunma Tarihi:	17.06.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof.Dr. Mehmet EROĞLU Fırat Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi.Met.ve Malz. Müh.	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof.Dr. Ali Kaya GÜR Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,Met.ve Malz.Müh.	Onayladım
Üye:	Doç.Dr. Ahmet YARDIMEDEN Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.Makina Müh.	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Çelik-Fiber Lamine Kompozitlerin Balistik Performansına Bileşenlerin Etkisi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

17.06.2022

Hatice AKSU



ÖNSÖZ

Günümüz modern dünyasında savunma ihtiyacıyla bu alana olan ilgi günden güne artmaktadır. Bu ilgi beraberinde yeni ve ileriye dönük teknolojik malzemelerde gelişimine zemin hazırlamaktadır. Bu tez çalışmamla birlikte daha etkin ve ultra yüksek performansa sahip malzemelerde balistik darbe mekanizmaları üzerine incelemeler sağlayıp yeni tabakalı kompozit malzemeler üreterek en kapsamlı sonuca ulaşmayı amaçladım. Ortaya çıkan verileri inceledim daha önceki çalışmalardan da destek alarak ileriye dönük yapılacak araştırmalara ve fikirlere ışık tutmasını umuyorum.

Tez hazırlama süresince zaman farketmeksizin her anımda yardımlarını, bilgi ve tecrübesini esirgemeyen çalışmamda değerli fikirlerinden yararlandığım danışman hocam sayın Mehmet EROĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi yanımda olan ve daima desteklerini hissettiren kıymetli anneme, babama, kardeşlerime ve arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından **MF.20.37** protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

Hatice AKSU
ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	10
2.1. Sentetik Fiberler	11
2.1.1. Cam Fiberler.....	12
2.2. Doğal Fiberler.....	12
2.2.1. Jüt Fiber.....	13
2.2.2. Bazalt Fiber	13
2.3. Metalik Fiberler	15
2.4. Doğal Fiber Kompozitler.....	16
2.5. Hibrit Kompozitler	16
2.6. Doğal-Sentetik Hibrit Kompozitler	17
2.7. Dokuma Kumaşlar	17
2.8. Polimer Reçineler	18
2.8.1. Polyester Reçine.....	18
2.8.2. Epoxy Reçine	18
2.8.3. Vinyl Ester Reçine	19
2.8.4. Fenolik Reçine	19
2.8.5. Polyurethane.....	19
2.9. Kompozit Üretim Yöntemleri.....	19
2.9.1. Spreyleme.....	19
2.9.2. Pres Kalıplama	19
2.9.3. Enjeksiyon Kalıplama	20
2.9.4. Elle Yatırma	20
2.10. Balistik Kompozitler.....	21
2.10.1. Balistik Fiberler.....	21
2.10.2. Fiber Takviyeli Balistik Kompozitler.....	22
2.10.3. Dokuma Balistik Malzemeler.....	23
2.10.4. Dokunmamış Hafif Zırhlar	23
2.10.5. Sert ve Yumuşak Zırhlar	24
2.10.6. Balistik Malzemelerin Testi	26
2.10.7. Balistik Ürünlerin Dizaynı	27
2.10.8. Şartnameler ve Standartlar	28
3. MATERYAL METOD	29
3.1. HİBRİT KOMPOZİTLER VE ÜRETİMİ.....	29
3.2. Mekanik Testler.....	40

3.2.1. Çekme Testi	51
3.2.2. Eğme Testi	52
3.2.3. Charpy Tokluk Testi.....	52
3.2.4. Kısa Kiriş Testi	53
3.3. Balistik Test.....	54
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Çekme Test Sonuçları.....	55
4.2. Eğme Test Sonuçları.....	68
4.3. Charpy Tokluk Testi Sonuçları.....	81
4.4. Kısa Kiriş Test Sonuçları.....	90
4.5. Balistik Test Sonuçları.....	101
5. SONUÇLAR.....	104
ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Çelik-Fiber Lamine Kompozitlerin Balistik Peformansına Bileşenlerin Etkisi

Hatice AKSU

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Haziran 2022, Sayfa: xiv + 109

Hibrit kompozitler, mukavemet/ağırlık oranı, düşük maliyet ve imalat kolaylığının gerekli olduğu mühendislik uygulamalarında önemli kullanıma sahiptir. Hibrit kompozitler, kompozit malzemelerde gerçekleştirilemeyen çekme modülü, basınç dayanımı ve darbe dayanımı gibi özelliklerin kombinasyonunu sağlar. Son zamanlarda hibrit kompozitler, yüksek verimli, yüksek performanslı yapısal malzemeler olarak kabul görmüş ve kullanımları hızla artmaktadır.

Bu çalışmada Jüt, Bazalt, Cam ve Çelik fiber içerikli hibrit kompozitlerin mekanik ve balistik özellikleri incelenmiştir. Deneyisel çalışmada, kompozit üretiminde jüt, bazalt, cam ve 304 tipi paslanmaz çelik dokuma kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak da sertleştiricisiyle beraber epoxy reçine seçilmiştir. Üretim sürecinde tüm hibrit ve hibrit olmayan kompozitler 8 katman fiber kullanılarak üretilmiştir. Mekanik testler için 4 farklı hibrit olmayan, 3 farklı ikili, 3 farklı üçlü ve 1 adet dörtlü hibrit kompozit üretilmiştir. Kompozit laminatların üretimi için elle yatırma tekniği kullanılmış olup, numunelerin 24 saat süreyle pres altında bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Hibrit kompozit üretimi sonrası gerekli standartlara göre çekme, eğme, tokluk ve kesme numuneleri çıkartılmıştır. Ayrıca, balistik testler için 4'lü hibrit kompozite yüksek karbonlu çelik levha ilave edilerek NIJ -0101.06'ya göre (Seviye-II standartında) atış testi yapılmıştır.

Yapılan mekanik testler sonucunda hibrit olmayan kompozitler de dayanımın yüksekten düşüğe doğru, bazalt, cam, çelik ve jüt şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Hibrit kompozitlerde ise en yüksek dayanımı 4'lü hibrit kompozitin sergilediği görülmüştür. Eğme durumu için hibrit olmayan kompozitler de dayanımın yüksekten düşüğe doğru, cam, bazalt, çelik ve jüt şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Hibrit kompozitlerde ise en yüksek eğme dayanımını 4'lü hibrit kompozit vermiştir. Tokluk değerlerine bakıldığında hibrit olmayan kompozitlerde en yüksek tokluk çelik dokuma kompozitlerde ve hibrit kompozitler içinde ise 4'lü kompozitte elde edilmiştir. Kesme testlerinde ise benzer sonuçlar elde edilmiştir. Balistik atış testinde ise 4'lü hibrit kompozite 2 mm 48 HV sertliğe sahip 2 mm sac ilavesi mermi geçirimini durdurmuştur.

Sonuç olarak jüte ilave edilen cam, bazalt ve paslanmaz çelik dokumanın mekanik ve balistik özellikleri arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hibrit kompozit, Jüt, Bazalt, Cam fiber, Çelik, Mekanik özellikler.

ABSTRACT

Effect of Components on Ballistic Performance of Steel-Fiber Laminated Composites

Hatice AKSU

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Defence Technologies

June 2022, Pages: xiv + 109

Hybrid composite materials have extensive engineering application where strength to weight ratio, low cost and ease of fabrication are required. Hybrid composites provide combination of properties such as tensile modulus, compressive strength and impact strength which cannot be realized in composite materials. In recent times hybrid composites have been established as highly efficient, high performance structural materials and their use is increasing rapidly.

In this study, mechanical and ballistic properties of hybrid composites containing Jute, Basalt, Glass and Steel fibers were investigated. In the experimental study, jute, basalt, glass and 304 type stainless steel fabric were used in composite production. Epoxy resin with its hardener was chosen as the matrix material. In the manufacturing process, all hybrid and non-hybrid composites were produced using 8 layers fibers. For mechanical tests, 4 different non-hybrid, 3 different double, 3 different triple and 1 quadruple hybrid composites were produced. The hand lay-up technique was used for the production of composite laminates, and it was carried out by keeping the samples under the press for 24 hours. After hybrid composite production, tensile, flexural, toughness and shear samples were extracted according to the required standards. In addition, for ballistic tests, a high carbon steel plate was added to the 4-hybrid composite and a shot test was carried out according to NIJ Standard-0101.06 (Level-II standard).

As a result of the mechanical tests, it was determined that the strength of non-hybrid composites was from high to low, in the order of basalt, glass, steel and jute. In hybrid composites, it was observed that the 4-hybrid composite exhibited the highest strength. For the bending condition, non-hybrid composites were also found to have strength from high to low, in the order of glass, basalt, steel and jute. In hybrid composites, on the other hand, 4-hybrid composite gave the highest bending strength. Considering the toughness values, the highest toughness was obtained in steel woven composites in non-hybrid composites and in 4-composite among hybrid composites. Similar results were also obtained in shear tests. In the ballistic shooting test, the addition of 2 mm sheet metal with a 48 HV hardness to the 4-hybrid composite stopped the bullet penetration.

As a result, it has been observed that addition of glass, basalt and stainless steel fabric to jute increase the mechanical and ballistic properties.

Keywords: Hybrid composite, Jute, Basalt, Glass fiber, Steel, Mechanical properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. a) Düz örgü, b) 5 komşulu saten dokuma ve c) Fitilli dokuma	18
Şekil 2.2. Elle yatırma yöntemi şematik gösterim [55].	20
Şekil 3.1. Cam Fiber Dokuma	29
Şekil 3.2. Bazalt Fiber Dokuma	30
Şekil 3.3. Jüt Fiber Dokuma	30
Şekil 3.4. Çelik Elek Tel	30
Şekil 3.5. 250 mm x 250 mm Cam Fiber Dokuma	32
Şekil 3.6. 250 mm x 250 mm Bazalt Fiber Dokuma	32
Şekil 3.7. 250 mm x 250 mm Çelik Elek Tel	33
Şekil 3.8. 250 mm x 250 mm Jüt Fiber Dokuma	33
Şekil 3.9. Kompozit üretiminde kullanılan Epoksi (LR285) ve Sertleştirici (LH287)	34
Şekil 3.10. 1 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	34
Şekil 3.11. 2 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	35
Şekil 3.12. 3 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	35
Şekil 3.13. 4 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	36
Şekil 3.14. 5 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	36
Şekil 3.15. 6 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	37
Şekil 3.16. 7 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	37
Şekil 3.17. 8 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	38
Şekil 3.18. 9 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	38
Şekil 3.19. 10 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	39
Şekil 3.20. 11 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü	39
Şekil 3.21. 1 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	40
Şekil 3.22. 2 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	40
Şekil 3.23. 3 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	41
Şekil 3.24. 4 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	41
Şekil 3.25. 5 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	42
Şekil 3.26. 6 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	42
Şekil 3.27. 7 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	43
Şekil 3.28. 8 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	43
Şekil 3.29. 9 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	44

Şekil 3.30. 10 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	44
Şekil 3.31. 11 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı	45
Şekil 3.32. 1 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	45
Şekil 3.33. 2 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	46
Şekil 3.34. 3 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	46
Şekil 3.35. 4 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	47
Şekil 3.36. 5 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	47
Şekil 3.37. 6 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	48
Şekil 3.38. 7 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	48
Şekil 3.39. 8 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	49
Şekil 3.40. 9 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri	49
Şekil 3.41. 10 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri.....	50
Şekil 3.42. 11 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri.....	50
Şekil 3.43. Çekme ve eğme testlerinin yapıldığı cihaz.....	51
Şekil 3.44. Charpy test cihazı	52
Şekil 3.45. Test öncesi çentikli ve çentiksiz numunelere ait temsili görüntü	53
Şekil 3.46. Kısa kiriş test düzeneği.....	53
Şekil 3.47. Sulu menevişli yay çeliği (Ck75)	54
Şekil 4.1. Kompozitlere ait ortalama çekme dayanımları	55
Şekil 4.2. Kompozitlere ait ortalama %uzama değerleri	55
Şekil 4.3. a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 7, h) 8, i) 9, j) 10, k) 11 nolu numuleri temsilen verilen çekme eğrileri.....	61
Şekil 4.4. 1 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	62
Şekil 4.5. 2 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	62
Şekil 4.6. 3 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	63
Şekil 4.7. 4 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	63

Şekil 4.8. 5 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	64
Şekil 4.9. 6 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	64
Şekil 4.10. 7 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	65
Şekil 4.11. 8 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	65
Şekil 4.12. 9 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	66
Şekil 4.13. 10 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	66
Şekil 4.14. 11 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü	67
Şekil 4.15. Kompozitlere ait ortalama eğme dayanımları	69
Şekil 4.16. Kompozitlere ait eğmede ortalama uzama (%) değerleri	69
Şekil 4.17. a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 7, h) 8, i) 9, j) 10, k) 11 nolu numuleri temsilen verilen eğme eğrileri.....	75
Şekil 4.18. 1 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	76
Şekil 4.19. 2 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	76
Şekil 4.20. 3 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	77
Şekil 4.21. 4 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	77
Şekil 4.22. 5 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	78
Şekil 4.23. 6 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	78
Şekil 4.24. 7 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	79
Şekil 4.25. 8 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	79
Şekil 4.26. 9 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	80
Şekil 4.27. 10 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	80
Şekil 4.28. 11 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü	81
Şekil 4.29. a) Çentikli numunelerin toklukları ve b) Absorbe ettikleri enerji miktarı	83
Şekil 4.30. a) Çentiksiz numunelerin toklukları ve b) Absorbe ettikleri enerji miktarı	84
Şekil 4.31. 1 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	85
Şekil 4.32. 2 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	85
Şekil 4.33. 3 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	86
Şekil 4.34. 4 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	86
Şekil 4.35. 5 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	87
Şekil 4.36. 6 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	87
Şekil 4.37. 7 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	88
Şekil 4.38. 8 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	88
Şekil 4.39. 9 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	89
Şekil 4.40. 10 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü	89

Şekil 4.41. 11 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü.....	90
Şekil 4.42. 1 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	90
Şekil 4.43. 2 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	91
Şekil 4.44. 3 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	91
Şekil 4.45. 4 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	91
Şekil 4.46. 5 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	92
Şekil 4.47. 6 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	92
Şekil 4.48. 7 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	92
Şekil 4.49. 8 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	93
Şekil 4.50. 9 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	93
Şekil 4.51. 10 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	93
Şekil 4.52. 11 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri.....	94
Şekil 4.53. Kısa kriş testiyle elde edilen ortalama kesme dayanımları.....	94
Şekil 4.54. 1 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	95
Şekil 4.55. 2 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	95
Şekil 4.56. 3 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	96
Şekil 4.57. 4 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	96
Şekil 4.58. 5 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	97
Şekil 4.59. 6 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	97
Şekil 4.60. 7 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	98
Şekil 4.61. 8 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	98
Şekil 4.62. 9 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	99
Şekil 4.63. 10 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	99
Şekil 4.64. 11 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü.....	100
Şekil 4.65. 4 no'lu numuneye ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi.....	101
Şekil 4.66. 11 nolu numuneye ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi.....	102
Şekil 4.67. 11 no'lu numune+1 adet Ck75 içerikli kompozite ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi.....	102
Şekil 4.68. 11 no'lu numune+1 adet Ck75 içerikli kompozite ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi.....	103
Şekil 4.69. 11 no'lu numune+2 adet Ck75 içerikli kompozite çarpan mermi görüntüsü.....	103

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Fiberlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [55].....	14
Tablo 2.2. Fiberlerin kompozit durumu için mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [55]	14
Tablo 3.1. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	29
Tablo 3.2. Üretilen hibrit kompozitlerde tabaka sıralaması ve kalınlıkları.....	31
Tablo 3.3. Ck75 kimyasal bileşimi	54
Tablo 4.1. Charpy tokluk testi sonuçları	82
Tablo 4.2. NIJ-0101.06'ye göre seviye II test sonuçları	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
α	: Alfa fazı
δ	: Delta fazı
σ	: Sigma fazı
σ_F	: Eğilme mukavemeti
δF	: Eğilme gerilimi
I	: Kayma dayanımı

Kısaltmalar

ASTM	: Amerikan test ve malzeme topluluğu (Amerikan Society for Testing and Materials)
2D	: İki boyutlu
3D	: Üç boyutlu
HEMA	: 2-hidroksietil metaakrilat
ILSS	: Katmanlar arası kesme mukavemeti (Interlaminar shear strength)
CAI	: Cerchar aşınma indeksi (Cerchar abrasivity index)
UV	: Ultraviyole
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscope)
NIJ	: Ulusal adalet enstitüsü (National institute of justice)
FRP	: Fiber takviyeli plastikler
BFRP	: Bazalt elyaf takviyeli plastikler
GFRP	: Cam elyaf takviyeli plastikler
HMPE	: Yüksek Modüllü Polietilen
PBO	: Polyphenylene Benzobisoxazole

1. GİRİŞ

Fiber olarak cam uzun süredir polimer matrisli kompozitler için farklı form ve yapılarda takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda jüt ve bazalt fiber de kompozit kullanımında önemli bir konuma gelmiştir. Yine çelik dokumların da belirli oranlarda kullanıldığı bilinmektedir. Bu fiberlerin gerek mekanik gerekse balistik özellikleri üzerinde farklı araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar bulunmakta olup, aşağıda verilmiştir.

Laranjeira vd. [1], doymamış polyester/jüt kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde fiber oryantasyonunun etkilerini araştırmışlardır. Basınçlı kalıplama tekniğini kullanarak düzgün dağılmış uzun jüt lifinden ve rastgele yönlendirilmiş kısa jüt lifinden kompozitler hazırlamışlardır. Düzgün dağılmış uzun jüt elyaf kompozitlerinin çekme özelliklerinin, rastgele yönlendirilmiş kısa jüt elyaf kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

De Carvalho vd. [2], düz dokuma kumaştan ve düz atkılı örme kumaştan yapılan jüt elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Kompozit üretimi için basınçlı kalıplama tekniğini kullanmışlar ve örgü ve dokuma kumaşlarda sırasıyla ağırlıkça %16-48 ve %26-38 elyaf ağırlık oranına ulaşmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, örme kumaşların kullanılması durumunda lif katılımının herhangi bir takviye edici etki getiremediğini ve zayıf bir lif-matris ara yüzünün geliştiğini bildirmişlerdir. Yaptıkları taramalı elektron mikroskobu çalışmalarıyla zayıf fiber-matris arayüzlerinin gelişimini göstermişlerdir. Bu zayıf arayüz nedeniyle matristen fibere stres aktarımı yeterli olmadığı ve bu nedenle kompozitin çekme özelliklerinin çekme yükü yönüne göre fiber oryantasyonu ve fiber içeriği ile önemli ölçüde değişmediği gösterilmiştir. Örme kumaşlarda, kumaş düzlemi boyunca elyafın düzensiz dağılımı zayıf elyaf-matris ara yüzünün gelişiminin nedeni olarak belirtilmiştir. Dokuma kumaş takviyeli kompozitler durumunda daha iyi çekme özellikleri rapor edilmiştir. Elyaf ağırlık oranının artmasıyla mukavemet iyileştiği görülmüştür. Bu da dokuma kumaşın atkılı örme kumaşlardan daha iyi takviye kabiliyetinin olduğunu göstermektedir.

De Albuquerque vd. [3], 2D ve 3D jüt kumaş takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 2D kumaş ve 3D ortogonal kumaş formunda saf ve yıkanmış jüt fiberlerini kullanarak sıcak presleme yöntemiyle kompozitler üretmişlerdir. Bu araştırmacılar ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini ASTM 3039'a göre test etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda; 2D jüt/epoksi ve 3D jüt/epoksi kompozitlerin modülleri, %26,6 ve %15,2 olarak bulunmuş olup, bunların saf jüt kullanımı durumundan daha yüksek olduğu gösterilmiştir. 2D jüt/epoksi kompozitler, çekme mukavemetinde daha iyi, gerilme deformasyonunda ise zayıf bulunmuştur.

Mishra vd. [4], jüt şerit takviyeli epoksi kompozitler üzerinde çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada kompozitler, takviye olarak işlenmemiş ve ağırlanmış jüt şeridi kullanılarak basınçlı

kalıplama tekniği ile üretilmiştir. Kompozitlerde farklı lif yüzdeleri kullanılmıştır. %50 elyaf oranında maksimum çekme modülü değerini bulmuşlardır. Fiber oranın %50'nin üzerine çıkması durumunda, fiber yüzdesinin artmasıyla çekme modülü azalmıştır. Araştırmacılar bunu, %50 fiber içeriğinin üzerinde fiberlerin reçine tarafından yeterince ıslatılmamasından kaynaklandığı sonucuna bağlamışlardır.

Ahmed vd. [5], dokuma jüt kumaş takviyeli polyester kompozitler üzerine çalışmışlardır. Düz dokuma jüt kumaşlar basınçlı kalıplama tekniği ile üretilmiştir. Kompozit laminatlar hem çözgü hem de atkı yönünde ASTM D 3039'a göre test edilmiştir. Elde edilen ortalama çekme mukavemeti çözgü ve atkı yönü için sırasıyla 80.19 MPa ve 40.50 MPa şeklindedir. Bu sonucu çözgü yönünde atkıya göre daha fazla sayıda fiber olmasına bağlamışlardır. Çözgü yönünde daha fazla fiber olması çatlak ilerlemesine karşı daha fazla direnç sağlamaktadır. Böylece kumaş takviyeli kompozitlerin çekme özelliklerini dokuma kumaş faktörlerinin nasıl etkilediği ortaya konulmuştur.

Mir vd. [6], Jüt/Epoksi kompozit laminatların mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarında kompozitleri, vakum infüzyon tekniği ile üretmişlerdir. Gerekli laminatlar üretildikten sonra, bu laminatlar hem çözgü hem de atkı yönünde çekme testine tabi tutulmuştur. Çözgü ve atkı yönünde gözlenen mukavemet sırasıyla 43 MPa ve 61 MPa olarak bulunmuştur. Mukavemetteki bu farklılığın birincil nedeni olarak fiber çapı ve dokuma şeklinin değişmesine bağlanmaktadır. Ayrıca atkı yönünde çözgü yönüne göre daha fazla sayıda fiberin bulunması atkı yönünde daha yüksek mukavemetin çıkma sebebi olarak belirtilmektedir. Munikenche vd. [7] tarafından da yapılan çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Bu araştırmacılar kompozit laminatın çözgü ve atkı yönü arasındaki mukavemet değişiminin nedeni olarak çözgü ve atkı ipliklerinin sayısındaki değişimi bildirmişlerdir.

Khan vd. [8], basınçlı kalıplama tekniğini kullanarak polivinil klorürde jüt çuval bezi takviye ederek kompozitler yapmışlar ve özelliklerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada %40 jüt fiber kompozitlerin, polimer matrisinde sürekli maksimum fiber oryantasyonu düzgün stres aktarımı nedeniyle kırık olanlara göre en iyi performansı göstermiştir. Düşük fiber seviyesinde, düşük yük transferi nedeniyle zayıf mekanik özellikler elde edilmiştir. Yine yüksek lif seviyesinde (%40'tan fazla), homojen olmayan stres transferi ve matris içindeki yüksek fiber aglomerasyonu nedeniyle zayıf mekanik özellikler gözlemlenmiştir.

Khan vd. [9], jüt ve E-camı fiberler ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitler arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Jüt çuval bezi ve E-camı (dokuma fitil) kullanılarak sıcak presleme yöntemiyle kompozitler üretilmişler, çekme ve eğilme özelliklerini incelemiştir. E-cam elyaf kompozitlerin çekme mukavemeti ve modülü, jüt fiber kompozitlerden sırasıyla %77 ve %180 daha yüksek bulunmuştur. E-cam elyaf kompozitlerin jüt elyaf kompozitlere göre %52 ve %166 daha yüksek eğilme mukavemeti ve modülü elde edilmiştir.

Acha vd. [10], press kalıplama işlemiyle asetonla yıkanmış jüt, deterjanla yıkanmış ve herhangi bir işlem görmemiş jüt kumaşları kullanarak jüt elyaf takviyeli kompozit laminatlar üretmişlerdir. Üretilen bu kompozit laminatlardan alınan örnekler kullanılarak çekme testleri yapılmıştır. Sonuçta jüt kumaşın modifikasyonunun ve oryantasyonunun kompozitlerin çekme özellikleri üzerindeki etkisi ortaya çıkartılmıştır.

Kompozitlere farklı yönlerde çekme testleri uygulamışlardır. Fiberin yarısının uygulanan kuvvet yönü ile hizalanması nedeniyle en yüksek değerler 0° yönelimli fiberlere sahip kompozit numunelerde gözlenmiştir. 45° yönünde test edildiğinde elde edilen modül, ana yöndeki (0°) modülden %30 daha az çıkmıştır. Çift yönlü kompozitler durumunda, ana yöndeki modül, tek yönlü kompozitler için karşılık gelen modülden daha düşük olarak rapor edilmiştir. Bunun nedeni, fiberin sadece yarısının her yöne gitmesidir. Bununla birlikte, çözgü ve atkı ipliğinin geçme noktasındaki kıvrımı, dokuma yapısında elyaf ambalajını daha az verimli hale getirmekte olup, bu herhangi bir tek yönlü kompozitlere kıyasla dokuma kompozitlerin modülünü azaltmaktadır. Tüm bu faktörler nedeniyle, her iki kompozit de aynı takviye malzemelerinden yapıldığında, genellikle iki yönlü kompozitlerin modülü, tek yönlü kompozitlerin yaklaşık üçte biri kadardır.

Rahman vd. [11], jüt elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin çekme özelliklerini iyileştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Tek vidalı bir ekstrüder ve bir enjeksiyon kalıplama makinesi kullanarak kompozitler üretilmiştir. Takviye olarak ham jüt fiber ve sodyum periyodatta işlem görmüş jüt lifi kullanılmıştır. Jüt elyaf takviyeli kompozitler üre solüsyonunda sonradan işleme tabi tutulmuştur. Oksitlenmiş jüt lifleri durumunda çekme özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir. Son işleminden dolayı çekme mukavemeti, işlem görmemiş ham jüt elyaf takviyeli kompozitlere göre %14-20 ve işlem görmemiş oksitlenmiş jüt elyaf kompozitlere göre %11-15 artmıştır.

Mohanty vd. [12], jüt elyaf takviyeli polyester amid kompozitlerin özellikleri üzerinde kimyasal yüzey modifikasyonunun etkisini incelemişlerdir. Jüt kumaşların ağartma, mum alma, alkali muamelesi ve siyanoetilasyonu işlemlerine tabi tutmuşlardır. Farklı kumaş katmanları ve reçine filmleri kullanarak pres kalıplama ile kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlerin çekme mukavemeti ve eğilme mukavemeti incelenmiştir. Çalışmada maksimum çekme mukavemeti alkali ile muamele edilmiş jüt kumaşları verirken, maksimum eğilme mukavemetini siyanoetillenmiş jüt kumaşları vermiştir. Alkali ile işlenmiş ve siyanoetillenmiş kumaşlardan elde edilen özellikler, deterjanla yıkanmış, mumu alınmış ve ağartılmış jüt kumaşlardan daha iyi özellik göstermiştir. Araştırmacılara göre, alkali işlemi lif yüzeylerinden doğal ve yapay kirlilikleri gidermekte ve böylece lif yüzey yapışkan özelliklerini pürüzlendirerek arttırmaktadır. Ayrıca, alkali işlemin mekanik kilitlenme bölgelerini artırarak fiber-matriks bağımlı geliştirdiği de belirtilmektedir. β -siyanoetil grubu polimer matrisi ile bir bağ oluşturduğundan, siyanoetillenmiş kumaşlar durumunda iyileştirilmiş mekanik özellikler fiber-matris arayüzünü geliştirmektedir.

Rahman vd. [13], jüt elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini son işlemle iyileştirmeye çalışmışlardır. Ham jütten enjeksiyon kalıplama ile kompozitler işlemsiz ve oksitlendirilmiş jüt kullanılarak üretilmiştir. Üretim sonrası kompozitlere ürotropin uygulanmıştır. Her üç durumda da, belirli bir lif içeriğinden sonra, lif yüklemesi ile çekme mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Ürotropinle işlenmiş kompozitlerin çekme mukavemeti, ham ve oksitlenmiş fiber kompozitlerden önemli ölçüde daha yüksektir. Ham jüt liflerine göre %14-20, oksitlenmiş jüt liflerine göre ise %8-15 artış tespit edilmiştir.

Bera vd. [14], jüt-PP kompozitlerinin arayüzey özelliklerini incelemişlerdir. Pres kalıplama tekniğinde jüt ve polipropilenden kompozitler üretmişlerdir. Jüt fiberleri NaOH ve ardından maleik anhidrat ve vinil trimetoksil silan ile işlemden geçirmişlerdir. ASTM 3039 D'ye göre kompozitlerin çekme özelliklerini bulmak için test prosedürü uygulanmıştır. Malik anhidrat ile muamele edilmiş jüt elyaf kompozitleri durumunda, malik anhidrat konsantrasyonu ile gerilme mukavemeti artmış ve %15 konsantrasyonlarda maksimum gerilme mukavemetine ulaşılmıştır. Vinil trimetoksil silan ile muamele edilmiş jüt elyaf kompozitleri durumunda, çekme mukavemetinin %10 konsantrasyonların da maksimum olduğu ve sabit kaldığı bulunmuştur. Sonuçta, malik anhidrat ile işlem yapılmış jüt fiberlerin için vinil trimetoksil silan ile muamele edilmiş jüt elyafdan daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Khan vd. [15], jüt fiber takviyeli kompozitler üzerinde birleştirme maddesinin etkisini incelemişlerdir. Jüt fiberlerden (ham ve 2-hidroksietil metaakrilat (HEMA) ile işlenmiş) ve vinil esterden presleme kalıplama tekniğiyle kompozitler üretilmiştir. HEMA ile işlenmiş fiberler ile yapılan kompozitlerin, işlem görmemiş olana kıyasla daha yüksek çekme ve eğilme mukavemeti sergilediği görülmüştür. HEMA işlemi lif yüzeyinin morfolojisinde ve topografyasında önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Bundan dolayı, fiber ve polimer matris arasında geliştirilmiş temas artmıştır.

Erajhi vd. [16], alüminize E-cam elyaf takviyeli doymamış polyester kompozitlerin su emme özelliklerini araştırılmışlardır. Oda sıcaklığında alüminize E-cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin, metalize edilmemiş E-cam takviyeli polyester kompozitlere kıyasla önemli ölçüde azaltılmış su emme gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Sutherland ve Soarcs [17], 5 ve 10 katlı dokuma fitil E-cam-polyester laminatlarda numune kalınlığının, çarpma kinetik enerjisinin ve çarpma hızının düşük hız darbe hasarı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Maksimum sapmaya karşı gelen enerji grafiğinden, 10 katlı numunelerin 5 kattan daha sert olduğunu göstermişlerdir. Malzemenin katmanlar arası kesme dayanımının sadece çevrede aşıldığı dairesel bir delaminasyon alanının basit varsayımıyla, 5 katlı testler için ILSS'nin çok doğru bir tahmininin yapıldığı sonucuna varmışlardır. Ancak, 10 katlı numuneler için, bu testler için dairesel delaminasyon varsayımı geçerli olmadığından, aynı yöntem bu değer için yarısını vermiştir.

Sugun ve Rao [18], cam, Kevlar ve karbon fiber kompozitler üzerinde tekrarlanan ağırlık düşürmeler altında düşük hızda darbe testleri gerçekleştirmişlerdir. Tekrarlanan ağırlık düşürme darbe testlerinin, polimer kompozitlerin darbe hasarı toleransının çok iyi anlaşılmasını sağladığı sonucuna varmışlardır.

Khondker vd. [19], cam örgülü tekstil kompozitlerinin darbe sonrası sıkıştırma (CAI) mukavemetini tahmin etmek için iki yöntem önermişlerdir. İlk yöntemde, hasar genişliği ve CAI dayanımı arasında doğrusal bir ilişki kurmak için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. İkinci yöntem, hasar bölgesini dairesel bir delik olarak idealleştirmeyi ve noktasal gerilim hasar kriterini kullanarak CAI'yi tahmin etmeyi içermektedir. Öngörülen sonuçlar ölçülen CAI dayanımları ile karşılaştırılmış ve iyi bir uyum (%5'ten az hata) elde edilmiştir.

Hosur vd. [20], karbon-cam kumaş epoksi hibrit kompozitlerin düşük hızlı darbe tepkisi üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Karşılaştırma amacıyla, karbon-epoksi ve cam-epoksi laminatlar üretilmiş ve test edilmiştir. Çalışmalarından, hibrit kompozitlerin, cam-epoksi laminatlardan daha büyük ve karbon-epoksi laminatlardan daha az sertlik sergilediğini bulmuşlardır. Cam elyafların kırılmaya karşı daha yüksek gerilimi olduğundan Arka yüzeyde cam kumaş kullanarak, hibrit laminatların darbe tepkisi artırılmıştır. Yapının hasar toleransının hibridizasyon ile büyük ölçüde artırılacağı sonucuna varmışlardır.

Fiore vd. [21], bazalt elyaf üretim teknolojisi hakkında tartışmış ve cam elyaf üretim teknolojisi ile karşılaştırmışlardır. Cam elyaf ile karşılaştırıldığında bazalt üretim sürecinin tehlikesiz ve çevre dostu olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bazaltın cam elyaftan daha az enerji tükettiği belirtilmiştir.

Fiore vd. [22], jüt ve bazalt kompozitler üreterek termal stres ve UV radyasyonunun karşı yaşlanma davranışına bakmışlardır. Her numune 14 gün, 28 gün, 56 gün ve 84 gün boyunca test edilmiştir. Mekanik testler yarı statik eğme testleri ve charpy darbe testleri ASTM standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hibrit kompozitin jüte göre daha fazla eğme özelliği ve yaşlanmaya karşı üstün direnç gösterdiğini göstermişlerdir.

Bulut [23], farklı ağırlık yüzdelere sahip grafen peletlerin bazaltın çekme, eğme ve darbe gibi mekanik özellikleri üzerindeki etkilerine bakmıştır. Çalışma sonunda, kompozit laminatın bağlanma mukavemetinin, grafen peletlerinin %0.1'i ile iyileştirildiği sonucuna varılmıştır [31].

Endüstride ilk kullanımından bu yana, metal elyaflar artık geniş bir aralıkta üretilmekte ve çeşitli elyaflı, dokunmuş veya dokunmamış şekillerde kullanılmaktadır. Metal lifler tek başına veya diğer geleneksel malzemelerle birlikte kullanılabilir ve en iyi sonuçlar elde edilebilir. Daha temiz, daha güvenli, daha sessiz ve daha konforlu bir dünyaya katkıda bulunan çok çeşitli olası uygulamalarla kanıtlanmış teknoloji sağlayabilir. Metal elyafın maliyetini belirleyen en önemli faktörler elyaf türü, bolluğu, üretim prosedürleri, çapı ve şeklidir. Endüstriyel uygulamalarda artan kullanımının nedeni, yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerine

bağlanmaktadır. Demet çekme, folyo tıraşlama, eriyik eğirme ve makineyle işleme gibi metal lifleri üretmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Üretilen lif daha sonra örme, örgülü, dokunmuş veya dokunmamış ürünlere dönüştürülebilir ve bu yöntemlerin her birinde üretilen lifler farklı uzunluk ve kesitlere sahip olabilmektedir [24].

Srivatsan vd. [25], sünek bir polimer matrisinde bulunan ince çelik tel fiber takviyeli kompozitlerde sıcaklığın darbe dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada üretilen, standart Charpy V-çentik numuneleri kırılmış ve sonuçta çelik fiber takviyeli kompozitlerde tokluğun takviyesize göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Callens vd. [26], sünek paslanmaz çelik fiberlerle güçlendirilmiş tek yönlü ve çapraz katlı kompozitlerin gerilme davranışını deneysel olarak çalışmışlardır. Yapışmanın % 50 artmasının artan gerilme mukavemetini ve uzamayı arttırdığı bulunmuştur. Ayrıca geliştirilmiş yapışma matrisde çatlak oluşumunu ve ilerlemesini yavaşlattığı görülmüştür.

Callens vd. [27], kırılğan ve sünek polimer matrisler için yüksek uzamaya sahip sürekli paslanmaz çelik lifler kullanmışlardır. Çelik fiber kompozitlerin, tipik karbon veya cam fiber kompozitlere göre 3–4 kat daha fazla uzama sergilediği bulunmuştur. Kırılğan epoksi matrisindeki çatlakların büyümesi sünek çelik liflerle sınırlanmıştır. Kırık yüzeyinin SEM görüntüleri, reçine bakımından zengin bölgelerde temiz ve düz epoksi kırılmaları ve lif bakımından zengin bölgelerde daha karmaşık bir hasar durumunun ortaya çıktığı görülmüştür. Çatlaklar numune uzunluğu boyunca homojen olarak dağılmıştır. SEM görüntüleri, fiber matris sıyrılma işleminin devam ettiğini, ancak çekme numunelerinin yüzeyinde hiçbir çatlak görülmediğini ortaya koymuştur.

Arıkan vd. [28], çelik elyaf içeriğinin, değişen çentik-derinlik oranları ile üretilen çelik elyaf takviyeli parçacık dolgulu polimer kompozitlerin kırılma davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kritik gerilim yoğunluğu faktörü birkaç yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Bunlar: Başlangıç çentik derinliği yöntemi, uyum yöntemi ve J-integral yöntemidir. Bu yöntemlerden elde edilen KIC değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, kritik gerilim yoğunluğu faktörleri KIC, eğilme mukavemeti ve eğilme modülünün artan çelik elyaf içeriği ile arttığını göstermiştir.

Callens vd. [29], Kompozitlerin çekme testlerinde yüksek sünekliğin iyileştirilmiş darbe performansına aktarıldığını gözlemlemişlerdir. Paslanmaz çelik fiber kompozitlerin yoğunluğu hesaba katıldığında, spesifik absorbe edilen enerjilerinin cam fiber kompozitlerle karşılaştırılabilir ancak karbon fiber kompozitlerinkinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Allaera vd. [30], bir sünek paslanmaz çelik lifli takviye malzemesi kullanarak yaptıkları çalışmada, paslanmaz çelik elyaf kompozit malzemenin spesifik mekanik özelliklerinin E-cam / epoksi gibi ticari ürünle benzer olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, farklı yönlerde yapılan yüklemelerle meydana gelen hasar morfolojisi, hem optik mikroskop hem de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiş olup, hasarın temel özellikleri belirlenmiştir.

Mosleh vd. [31], termoplastik ve termoset matrisler ile çeşitli çelik fiber dokuma şekilleri içeren bir dizi lamine kompozit kullanmışlardır. Çalışmada farklı parametrelerin etkisi belirlenmiştir. Kopmaya kadar yüksek matris uzaması, çelik fiber sünekliğinden daha iyi yararlanılmasına izin vermiştir. Daha ince liflerin, kalıntılar nedeniyle kopmaya karşı daha hassas olduğu görülmüştür. Çapraz katlı lamineler, muhtemelen artan delaminasyona bağlı olarak daha fazla enerji emilimi gösterirken, dokuma fiber yapıların daha lokalize hasara yol açtığı görülmüştür.

Askeri çatışmalar ve savaşlar dünya tarihi boyunca hiç durmayacak gibi görünüyor. Muharebe alanında ve çatışma durumlarında tehditlere karşı kişisel ve mal koruma düzeyi, hücum silahlarının gelişimine paralel olarak geliştirilmiştir. Vücut kalkanı olarak farklı malzemeler kullanılmış ve bunlar arasında hayvan derisinin yanı sıra ahşap kalkan ve metal kalkan da yer almaktadır. Balistik koruyucu malzemeler ağırlıklı olarak personel koruması için kullanılmaktadır. Balistik kalkanların kullanımı, çoğunlukla seramik gibi sert bir tabaka ve arkasından yumuşak malzemeden oluşan katmanlı kompozitlerdir. Sert bir plakaya çarpan bir mermi deforme olabilir ve kırılğan bir zırhın parçalanması sonucunda kullanıcılar için risk oluşturur. Yumuşak kısmın işlevi, küt merminin enerjisini sönümleyerek onu tutmaktır. Polimer ve doğal elyaftan oluşan kompozit kullanımı, kurşun geçirmez ve balistik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [32, 33].

Monteiro vd. [34], polyester kompozit destekli fique bitkisinden ekstrakte edilen yeni bir doğal elyaftan potansiyelini araştırmışlardır. Fique liflerinin eklenmesiyle polyester reçinenin visko-elastik ve termal özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Fique/polyester kompozit ile kil gövdede iz derinliğinin 15 mm olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada bu, polyester/Kevlar kompozit ile 23 mm olarak tespit edilmiştir. Yapılan maliyet analizi, polyester/fique kompozitin polyester/Kevlar kompozitten 13 kat daha ucuz olacağını göstermiştir.

Bandaru vd. [35], Kevlar ve bazalt fiber ile güçlendirilmiş hibrit polipropilen bazlı kompozitlerin balistik darbe performansı üzerinde çalışmışlardır. Biri simetrik istifleme sıralı, diğeri simetrik olmayan istifleme sıralı olmak üzere iki tip kompozit üretilmiştir. Bazalt ve Kevlar ipliklerle kumaş dokunarak hibridizasyon sağlanmıştır. Balistik darbe testleri, 365 m/s ile 435 m/s arasında değişen hızlarda kurşun çekirdekli ve pirinç kılıflı 9 mm mermi ile gerçekleştirilmiştir. Her iki laminat için bir dizi atışlar gerçekleştirilmiştir. Simetrik olmayan laminatta bazalt ön yüz, arka yüz ise 3D Kevlar kumaştan yapılmış olup, sonuçlar kıyaslanmıştır.

Salman vd. [36], farklı düzenleme ve kalınlıkta PVB fenolik takviyeli düz dokuma kenaf ve aramid elyaftan oluşan hibrit kompozitin özelliklerini incelemişlerdir. Bu kompozit, sıcak pres tekniği kullanılarak üretilmiştir. Hibrit kompozit, tek fiber katmanla karşılaştırıldığında yüksek etki göstermiş ve NIJ standardının üretimini karşılamamıştır.

Rahman vd. [37], balistik performansı iyileştirmek için amino işlevli çok duvarlı karbon nanotüpleri (NH₂-MWCNT) E-cam/epoksi'ye ekleyerek kompozitlerin performansı üzerine bir

çalışma yapmışlardır. Deneysel analize dayanarak, ağırlıkça %0.3 MWCNT'lerin eklenmesinin balistik sınır hızını yaklaşık %6 artırdığı, MWCNT'lerin daha yüksek ilavesinde ise balistik sınırı artırmadığı gösterilmiştir.

Salman vd. [38] arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Balistik kurşun geçirmezliğin mekanik özelliklerle ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır. İşlenmiş kenaf hibrit balistik yeğin geliştirilmesi kompozitin çekme, darbe ve eğme testleri yardımıyla ortaya çıkarılmıştır.

Abidin vd. [39], kenaf elyafı ve poliüretan (PU) köpüklü sandviçin çelik levhalarla uygunluğunu araştırmışlardır. Farklı kenaf elyaf yüzdelerinin (10, 20 ve 30) ve zırh levhası içindeki köpüğün kalınlığının etkisi (15, 30 ve 45 mm) ile sandviç panelin darbe dayanımı ve davranışı incelenmiştir. %20 kenaf ve 45 mm kalınlığındaki PU süngerin diğer numunelere göre daha düşük girinti derinliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu tip numunelerin merminin balistik etkisine karşı yüksek dirençli darbe davranışına sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Azmi vd. [40,130]. Çalışmalarında önde ve arkada 3 kat knef fiber ve ortada 4 kat x-ışınları filmi kullanarak elle yatırmayla 10 tabakalı kompozit üretmişlerdir. Yapılan testler sonucunda, bu çok katmanlı hibrit kompozitin, 240 m/s'ye kadar mermi hareketine dayanabildiği ve 135 J'e kadar darbe enerjisini sönümlediği görülmüştür.

Da Luz vd. [41], Hacimce %30 oranında jüt kumaş takviyeli MAS epoksi kompozit ve düz epoksi plakanın bir darbe özelliklerine bakmışlardır. Bu çalışmanın amacı, ikinci katman uygulandığında kompozitin darbe özelliklerini belirlemektir. MAS sisteminde ikinci katman jüt takviyeli epoksi kompozit ile ikame edilmiştir. Derinlik penetrasyonu, darbe hızı, artık hız ve dahili olarak sönümlenen enerji, 7.62 mm mühimmat kullanılarak NIJ 0101.06 standardına göre değerlendirilmiştir. Jüt epoksi kompozit tarafından daha yüksek enerji sönümlemesi gerçekleşmiş olup, düz epoksi ve Kevlar'dan daha iyi darbe performansına göstermiştir.

Monteiro vd. [42], çok katmanlı zırh sisteminde (MAS) kompozit bütünlük ve dalga empedansları üzerinde hacimce %10, 20 ve 30 olan jüt kumaş içeriğinin etkisini analiz etmişlerdir. MAS sisteminde ikinci katmanda kullanılan ticari malzemeler Kevlar ve Twaron gibi aramid fiber olup, çalışmada katman jüt kumaş ile değiştirilmiştir. Jüt kumaş polyester reçine ile takviye edilmiş ve 10 mm kalınlığa preslenmiş ve bu tabaka MAS sisteminde üçüncü bir tabaka olarak seramik levha ve alüminyum alaşımlı levha arasına konulmuştur. 7.62 mm mermi kullanılarak, mermi hızı, şok dalgaların empedansları ve hasar görüntülerinin kaydedildiği NIJ Standard sınıf III'e göre kompozit numuneler üzerinde balistik testler yapılmıştır. Polyester ile güçlendirilmiş dokuma jüt kullanılarak üretilen ve ikinci bir katman olarak kullanılan kompozitlerin, girinti derinliğinin 44 mm'den küçük olması gereken balistik standart şartını başarıyla karşıladığını bulmuşlardır. Jüt polyester kompozitin varlığı, alüminyum alaşımından oluşan üçüncü katmanın delinmesini önlemiş ve arka kilde küçük derinlikte girinti oluşturmuştur. Üç tip kompozit arasında, jüt kumaşın hacimce %30'u daha az parçalanmıştır.

Yapılan literatür taramalarında, yüksek mekanik özelliklerinden dolayı cam ve bazaltın, süneklik ve tokluk açısından metal fiberlerin hibrit kompozit üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasının özgünlüğü ilk defa bu proje dahilinde Jüt/Cam/Bazalt/Çelik fiber hibrit kompozit üzerine çalışılmış olmasıdır. Yukarıda da bahsedildiği gibi bazalt fiberler özellikleri itibariyle kompozit uygulamalarında oldukça önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada tokluk özellikleri artırılmış, darbelere karşı dirençli bir hibrit kompozit üretimi hedeflenmiştir. Bu türden bir kompozitin uygulama alanı olarak özellikle savunma alanında kullanılmak üzere göğüs zırhı ve patlamalara karşı darbe sönümleme özelliği iyi olan panellerin üretimi olarak düşünülmüştür.

Bu çalışmanın önemine bakıldığında; günümüzde hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar oldukça önem arz etmektedir. Gerek doğal gerekse yapay fiberlerde en önemli sorunlardan bir tanesi düşük süneklik ve düşük tokluk değerleridir. Sünekliği düşük fiberler yüksek uzama özellikli fiberlerle beraber bir matriste buluşturulabilirse iyileştirilmiş süneklik ve tokluk değerlerine sahip kompozitlerin üretilebileceği hususu öngörülmektedir. Ayrıca, kompozit üretiminde önemli noktaların başında gelen hususlardan bir tanesi ekonomiklik. Doğal fiberlerin yapay fiberlere göre oldukça ekonomik olduğu bilinen bir husustur. Bu bakımdan bu çalışmada jüt fiberlerin kullanımı ekonomik üretim açısından önem arz etmektedir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, aralarında belirgin bir arayüze sahip iki veya daha fazla kimyasal olarak farklı malzemenin birleşiminden oluşmaktadır. Kompoziti oluşturan bileşenler, kendi özelliklerini korurken, bunların kombinasyonu, bileşenlerinkinden daha üstün özellikler sergiler. Bileşenlerden biri sürekli bir faz oluşturmakta ve matris olarak adlandırılmaktadır. Diğer önemli bileşen ise takviye malzemesidir. Matris özelliklerini geliştirmek için genel olarak matrise eklenen takviye, lifler veya partiküller şeklindedir. Çoğu durumda takviye matristen daha sert, daha mukavemetli ve daha rijittir. Bir kompozitteki matris malzemesi, polimer matrisli kompozitlerde polimer, metal matrisli kompozitlerde metal ve seramik matrisli kompozitlerde seramik olup, kompozitin isimlendirilmesinde birincil rolü oynarlar. Polimerler termosetler (epoksiler, polyesterler, fenolikler, poliamid vb.) ve termoplastikler (polietilen, polistiren, polieter-eter-keton vb.) olarak sınıflandırılır. Metal matrislere örnek olarak alüminyum, magnezyum veya titanyum verilebilir. Seramik matrislere örnek olarak alümina, silisyum karbür veya titanyum karbür gösterilebilir. Parçacıklı takviyeler, tüm yönlerde yaklaşık olarak eşit boyutlara sahiptir. Takviye edici parçacıkların şekli küresel, kübik veya diğer herhangi bir düzenli veya düzensiz geometride olabilir. Lifli bir takviye, uzunluğunun kesit boyutlarından çok daha büyük olmasıyla karakterize edilir. Bununla birlikte, uzunluğun kesite oranı önemli ölçüde değişebilir.

Kompozit malzemeler, hafiflik, yüksek özgül mukavemet, yüksek özgül modül, korozyon direnci, yorulma ve darbe direnci, yüksek sıcaklık direnci vb. gibi geleneksel monolitik metallere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar nedeniyle kompozit malzemeler çeşitli endüstriyel sektörlerde geniş uygulama alanları bulmaktadır. Özellikle havacılıkta kanat, gövde, iniş takımları, antenler vb, otomotiv sektöründe gövde panelleri, tahrik milleri, yaprak yaylar, dişliler, gösterge panelleri vb, için kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kimya endüstrisinde borular, tanklar, basınçlı kaplar, hazneler, valfler vb, elektrik sektöründe panolar, gövdeler, şalt dişlileri ve izolatörler için kompozitlerin kullanıldığı bilinmektedir. Günlük yaşamımızda ise, iç ve dış paneller, sandalyeler, masalar, merdivenler, duş üniteleri vb, için kompozit malzemelerin kullanıldığı görülmektedir.

Son zamanlardaki en büyük gelişmelerin lif takviyeli kompozitler alanında olduğu görülmektedir. Fiber takviyeli plastikler (FRP), mükemmel spesifik özellikleri nedeniyle günümüz havacılık teknolojisinin çeşitli uygulamaları için başarıyla kullanılmaktadır. Fiber takviyeli bir polimerde lifler takviye görevi görürken matrisin görevleri fiberleri bir arada tutmak, kesme kuvvetlerini iletme ve bir kaplama olarak çalışmaktır. Fiberler, fiber takviyeli bir kompozit malzemenin ana bileşenidir. Bir kompozit laminatta en büyük hacim oranını oluştururlar ve kompozit yapıya etki eden yükün büyük kısmını üstlenirler. Bir kompozit, laminatın aşağıdaki özelliklerini etkilediğinden, fiberlerin tipi, miktarı ve yönünün doğru seçilmesi çok önemlidir.

1. Özgöl ağırlık
2. Çekme dayanımı ve modülü
3. Basma dayanımı ve modülü
4. Yorulma dayanımı
5. Elektrik ve ısıl iletkenlik
6. Maliyet

Fiberlerin yönlenmesine göre kompozitlerin malzeme davranışı yarı izotropik (tüm kısa lifler rastgele yönlenir, mekanik özelliklerin ayrıcalıklı bir yönü yoktur), anizotropik (tüm lifler karşılık gelen mekanik özelliklere sahip bir veya daha fazla yöne yönlenir) veya ortotropik (esas olarak birbirine dik olarak yönlendirilmiş fiberlere karşılık gelen malzeme davranışı) olarak sınıflandırılır. Kompozitlerdeki fiberler sentetik veya doğal olabilir [43].

2.1. Sentetik Fiberler

Kimyasal sentez yoluyla üretilen yapay liflere sentetik lifler denir ve ayrıca içeriklerine göre organik veya inorganik olarak sınıflandırılır. Genel olarak, fiber malzemelerin gücü ve sertliği, matrisinkinden çok daha iyidir. Matris malzeme, onları kompozit yapıda yük taşıyan bir bileşen haline getirir.

Sentetik fiberler, insan yapımı liflerdir ve 5 ila 15 mikron çapa sahip binlerce filamentten oluşmaktadır. Bu tür küçük boyutların işlenmesi zor olduğundan, ticari fiberlerin yararlı biçimi, çok sayıda filamentin bir demet halinde toplanmasıyla üretilen bir ipliklidir. Fiber takviyeleri, tek yönlü iplikler veya bantlar veya çift yönlü dokuma veya dokuma olmayan kumaşlar şeklinde olabilir. Pek çok sentetik fiber grubu bulunmakta olup, aşağıda önemli görülen bazı fiberle verilmiştir [43-45].

1. Cam fiber
2. Aramid fiber
3. Karbon fiber
4. Bor fiber
5. Al_2O_3 fiber
6. SiC fiber

2.1.1. Cam Fiberler

Cam fiber genellikle uçaklardan helikopter rotor kanatları kadar geniş bir alanda uygulama alanı bulmaktadır. Elektrik uygulamaları için E-camı türleri bulunmaktadır. S-glass ve S2-glass, E-camdan daha yüksek mukavemete sahip yapısal cam fiberleri tanımlanmaktadır. S-camı, magnezya-alümina-silikattan üretilmektedir. Cam fiberin avantajı diğer fiber malzemelere göre daha düşük maliyetli olmasıdır. Cam fiber beyaz bir renge sahip olup, kumaş malzeme olarak mevcuttur [46].

2.2. Doğal Fiberler

Doğal fiberler bitkisel, hayvansal ve mineral lifler olarak sınıflandırılmaktadır. Mineral liflere ait en önemli fiber bazalttır. Hayvansal kökenli lifler proteinlerden oluşur (ör. saç, ipek, yün vb.). Bitkisel kökenli doğal lifler, selülozdan (glikoz moleküllerinden yapılan doğal bir polimerik madde), ligninden ve değişen miktarlarda diğer doğal malzemelerin birleşiminden oluşmaktadır. Bitkisel lifler (selüloz veya bitki lifleri olarak da bilinir), bitkinin oluştukları ve ekstrakte edildikleri kısmına göre uygun bir şekilde sınıflandırılır. Bunlara keten, jüt, kenevir vb. dahildir. Yaprak lifleri bitkilerin yapraklarından çıkarılır.

İplik, hasır, kâğıt, kumaş gibi doğal fiberler geleneksel uygulamalar için kullanılmaktadır. Buna ek olarak, doğal lifler geleneksel sentetik dolgu maddeleri ile karşılaştırıldığında aşağıdaki avantajları sahip olduğu görülmektedir [47-50].

- a) Düşük yoğunluk
- b) Çevre dostu
- c) İyi ısı ve ses yalıtımı özellikleri
- d) Daha az alerjik etki
- h) Düşük maliyet
- ı) Atık bertarafı

Avantajlarının yanında bunların bazı dezavantajları da bulunmaktadır;

- a) Daha düşük mukavemet özellikleri, özellikle darbe mukavemeti
- b) Değişken kalite
- c) Liflerin şişmesine neden olan nem emilimi
- d) Sınırlı maksimum işlem sıcaklığı
- e) Zayıf yangın direnci

2.2.1. Jüt Fiber

Jüt, Corchorus cinsindeki bitkiden elde edilen bir lignoselülozik fiberdir. Ağırlıklı olarak Hindistan ve Bangladeş'te yetiştirilen jüt, 2 ila 3 aylık büyüme döneminde hasat edilir ve bu sırada 3-5 metre boyundadır. Jütün, jüt çubuğu olarak bilinen özlü bir çekirdeği vardır ve lifleri bu çekirdeğin etrafında uzunlamasına büyür.

Jüt lifi, ağartma olarak bilinen bir işlemle özden ayrılır. Çürüme, kesilmiş jüt saplarının birkaç hafta boyunca havuzlara yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Havuzdaki mikrobiyal etki, jüt fiberini yumuşatır ve lifler ile öz arasındaki bağları zayıflatır. Elyaf şeritleri daha sonra jüt çubuğundan elle çıkarılır ve kuruması için raflara asılır. Bu şekilde çok uzun lifler elde edilebilir. Esnekliği artırmak için çeşitli yağlar veya yumuşatıcılar ile işlenirse çürümüş jüt lifi, tekstil ürünlerine dönüştürülmek için uygun hale gelir.

Jüt fiberi yaklaşık %60 selüloz, %24 hemiselüloz, %13 lignin ve %3 suda çözünür bileşikler, yağlar ve mumlar gibi diğer küçük bileşenlerden oluşur. Selüloz ve hemiselüloz zincirleri fiber eksenine yaklaşık paralel uzanır. Bileşenler arasındaki hidrojen bağları ve diğer bağlantılar, jüt fiberine yüksek sertlik sağlar. Çok uzun zamandır jüt, ambalaj için kaba kumaşların üretilmesinde düşük değerli endüstriyel fiber olarak bilinmektedir. Daha sonraları, halı, jüt çuvalları, sunta, el sanatları vb. gibi çeşitlendirilmiş jüt ürünlerinin üretiminde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ayrıca, jüt lifi, jeotekstiller, tarımsal tekstiller vb. ambalaj ve diğer çeşitlendirilmiş ürünler için de uygulama alanı bulmaktadır. Jüt lifinin yüksek mukavemet, yüksek modül, düşük maliyet, işleme sırasında düşük enerji tüketimi, kayda değer tokluk, iyi termal ve elektriksel yalıtım özellikleri ve çeşitli şekillerde geniş ticari bulunabilirlik gibi avantajlarla dikkat çekici potansiyeli, onu kompozitte takviye olarak kullanım için çekici hale getirmiştir [51-55].

2.2.2. Bazalt Fiber

1923'te Amerikalı bilim adamları tarafından keşfedilmesinden bu yana bazalt, askeri araştırmalar için tercih edilen bir malzeme olup, İkinci Dünya Savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa ve Sovyetler Birliği tarafından savunma ve havacılık uygulamalarında kullanılmıştır. Son yıllarda, geliştirilmiş mekanik özelliklerinden dolayı bazalt liflerinin kullanımına yönelik ilgi artmıştır. Bu fiberler artık altyapı ve sivil uygulamalar için üst düzey hibrit kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır.

Bazalt fiberler, termo-kimyasal bir işlem vasıtasıyla volkanik bazalt kayadan üretilir ve cam elyaflarına benzer bir kimyasal yapıya sahiptirler. Ancak camla kıyaslandığında üstün mekanik mukavemet, termal kararlılık ve kimyasal dirence sahiptirler. Sürekli bazalt fiberler, istenen kompozit uygulamalar için 10–20 µm çaplarda ve 3-130 mm uzunluklarda hazırlanır. Bazalt fiber yüzeyindeki hidrojene bağlı silanol grupları aktif adsorpsiyon bölgeleri oluşturur ve yüksek

kimyasal kararlılığı, BF ile organosilanlar gibi ajanlar arasındaki etkileşimi arttırır. BF'nin kimyasal ve mekanik özellikleri ve maliyeti, hammaddenin bileşimine bağlıdır. BF'deki başlıca oksitler SiO₂ (ağırlıkça %44-47), Al₂O₃ (ağırlıkça %11-13), CaO'dur (ağırlıkça %10-12) ve MgO'dur (ağırlıkça %8-11). Diğer oksitler ağırlıkça %5'ten azdır.

Bazalt şu anda tercih edilen bir malzemedir ve son derece iyi modülü, yüksek mukavemeti, bozulmaya karşı geliştirilmiş dayanımı, yüksek sıcaklık direnci, mükemmel stabilitesi, iyi kimyasal direnci, kolay işlenmesi ve toksik olmayan, doğal, çevre dostu ve ucuz inorganik bir fiberdir. Tablo 2.1'de diğer fiberlerle karşılaştırılması açısından mekanik değerler verilmiştir [21-23].

Tablo 2.1. Fiberlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [55]

Fiber	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastik Modül (GPa)	%Uzama
E-Cam	2.56	1.4-2.5	76	1.8-3.2
Bazalt	2.8	2.8	89	3.15
Jüt	1.3	0.3-0.7	26.5	1.5-1.8

Bazalt fiberin umut verici doğası, düşük maliyeti ve üstün özellikleri, bazaltı FRP bazlı kompozitlerde takviye için önemli bir aday yapabilir. Farklı takviyelere sahip bazalt liflerin kompozit laminatlar içinde kullanıma sunulduğunu bildiren çeşitli araştırmalar mevcuttur. Tablo 2.2.'de kompozit durumu için mekanik değerler cam fiberle kıyaslanmıştır.

Tablo 2.2. Fiberlerin kompozit durumu için mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [55]

Test	Özellikler	Cam	Bazalt
Çekme	Çekme dayanımı (MPa)	582	506
	Modül (GPa)	16	25
Eğme	Eğme dayanımı (MPa)	224	505
	Modül (GPa)	15	23
Kesme	Kesme dayanımı (MPa)	36	41
Darbe	Abs. Enerji (J)	81	92

Bazalt elyaf takviyeli plastiklerin veya polimerlerin (BFRP) cam elyaf takviyeli plastikler (GFRP) ile basma mukavemeti, young modülü ve eğme davranışını karşılaştırdığında bazaltın üstün olduğu, camın yerini alma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan, fiber Bazaltın özelliklerini geliştirmek için bir başka olası alternatif, onu ileri yüksek mukavemetli ve pahalı lifler ile hibridize etmektir. Bu, onu son derece hafif, dayanıklı, uygun maliyetli hale

getirecek ve aynı zamanda hibrit kompozit dünyasında sayısız fırsatlar oluşturacaktır. Ayrıca bazalt, denizcilik, darbe veya balistik direnç uygulamaları gibi diğer uygulamalarda da kullanılabilir olma özelliğine sahiptir. Bazalt için çubuksu, lif ve tekstil kumaşlar gibi şekiller mümkündür [55, 56].

2.3. Metalik Fiberler

Paslanmaz çelik lifler, bulunabilirlik, uygulama ve malzeme özellikleri açısından en potansiyel metal liflerdir. Çelikte bulunan krom, bu metaller üzerinde yüksek korozyon direnci ile sonuçlanan kendi kendini iyileştiren bir oksit filmi oluşturur. Nikel ve molibden gibi elementler eklenerek daha fazla iyileştirme sağlanır. Bu alaşımlardan elde edilebilen çok çeşitli mekanik özellikler, korozyon dirençleri ve bazı durumlarda yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı dirençleri ile birlikte uygulamalarında son derece çok yönlü olmalarını sağlar.

Titanyum, diğer metallere kıyasla dikkate değer bir takım özelliğe sahiptir. Yüksek mukavemet ve korozyon direnci, yüksek erime noktası ve düşük yoğunluk özelliklerini bir araya getirmektedir. Bu metal, çelik kadar güçlü ama çok daha hafiftir. Bu nedenle, uçak yapıları, kimya tesisleri vb. gibi bir dizi yapısal uygulamada kullanılmaktadır.

Alüminyum, uçak gibi hafif araç yapılarında kullanılan ana malzemedir. Havacılık bileşenlerinin çoğunda alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Düşük yoğunlukludur ve yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe ve kimyasal korozyona karşı iyi bir dirence sahiptirler. Alüminyum da geri dönüştürülebilir ve özellikleri geri dönüşüm süreciyle bozulmaz. Alüminyum elyaf kompozitler, cam elyaf takviyeli kompozitlerden daha iyi mekanik, termal ve elektriksel özellikler gösterebilmektedir.

Kullanılan diğer lifler arasında bakır, sert, sünek, dövülebilir ve son derece yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe sahip olduğu için birçok uygulamada kullanılmaktadır. Genel olarak korozif ortamlara dirençli olmasına rağmen, bakır yine de oksitleyici maddelere karşı hassastır. Nikel, çoğunlukla paslanmaz çelik gibi aşındırıcı dirençli alaşımlarda kullanılır. Saf nikel ve alaşımları, demetlenmiş lifler olarak mevcuttur. Saf tantal, ağır, yoğun, dövülebilir ve sünek bir metaldir. Ek olarak, korozyona ve aside karşı olağanüstü bir dirence sahiptir [25-30].

2.4. Doğal Fiber Kompozitler

Kevlar, karbon, bor vb. gibi geleneksel fiberler, şüphesiz polimer kompozitlerde güçlü bir takviye sağlamakta, ancak genel ve günlük uygulamalar için çok yüksek bir maliyet teşkil etmektedirler. Bu tür fiberlerin kullanımı, fiberlerin yüksek maliyetinin çok önemli olmadığı havacılık ve askeri uygulamalar için haklı gösterilebilir. Çevre dostu malzemelere yönelik artan talep ve geleneksel fiber maliyetini düşürme isteği, doğal elyaf kompozitlerinin geliştirilmesine yol açmaktadır. Doğal fiberler, diğer tüm fiberlerle aynı parametreler ve özelliklerle karakterize edilir ve bir matriste sentetik muadilleriyle aynı takviye edici etkileri sunmaları beklenir. Ancak etkinlik ve takviye seviyesi farklı olabilir.

Doğal fiberler çevre dostu olup, cam fiberler ve mineral dolgulara göre daha düşük maliyet ve yoğunluktadırlar. Sertlik artırma ve ses sönümleme sağlama yeteneğine sahip oldukları hususu da bilinmektedir. Son on yıllarda, termoplastiklerin ve termosetlerin doğal lifli kompozitlerinin avrupalı otomobil üreticileri tarafından kapı kaplamaları/panelleri, koltuk arkalıkları, koltuk altları, tavan döşemeleri, paket tepsileri ve gösterge panoları gibi yerlerde kullanıma başlandığı görülmektedir. Demiryolu sektöründe, iç döşeme, bagaj kutuları, döşeme panelleri, çatı tavanları, pencere çerçeveleri ve panjurlar gibi uygulamalar için doğal elyaf kompozitlerin kullanıldığı bilinmektedir. Doğal elyaf kompozitler, ahşap ve kontraplakların ortadan kaldırılmasına yönelik olarak raylar, pervazlar, pencere çerçeveleri ve kapılar vb. gibi yapısal bileşenlerin imalatında kullanımı da öneilmektedir

Özellikle jüt kompozitler, abajurlar, valizler, kasklar, duş ve banyo üniteleri, elektrikli ev aletleri, borular, posta kutuları, tahıl depolama siloları, bölme ve asma tavan panelleri, biyogaz konteynırılarının kapaklarında ve düşük maliyetli, mobil veya prefabrike binaların yapımında kullanılmaktadırlar [1-10, 51-55].

2.5. Hibrit Kompozitler

İki veya daha fazla fiberin tek bir matris içine dahil edilmesi hibridizasyon olarak bilinir ve elde edilen malzeme genellikle hibrit kompozit veya basitçe hibrit olarak adlandırılır. Hibrit kompozitler, bir fiberin avantajını diğeriyle birleştirmek için yapılır. Örneğin, yüksek modüllü elyaf benzeri grafit, yüksek bir mukavemet-ağırlık oranına sahip olup, bunların darbe mukavemetlerinin geleneksel çelik ve alüminyum alaşımları ve ayrıca cam elyaf takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında genellikle nispeten düşük olduğu görülmektedir. Grafit fiber takviyeli kompozitlerin darbe özelliklerini arttırmanın etkili bir yöntemi, onlara yüksek mukavemetli cam elyafların küçük bir yüzdesini eklemekten geçmektedir. Cam elyafların dahil edilmesi darbe performansını iyileştirmenin yanı sıra, grafit elyaf kompozitlerin uygulanması için

bir sınırlama olan maliyeti de düşürmektedir. Farklı hibrit kompozitler şu şekilde sıralanabilir [15,18-20, 22, 55];

1. Farklı fiberlerin katmanlı olarak sıralandığı hibrit kopozitler
2. İki veya daha fazla fiberin birbirine karıştırılmasından oluşan hibrit kompozitler
3. İlk iki hibrit kompozit türünün kombine edildiği hibrit kompozitler
4. Sandviç tipi hibrit kompozitler

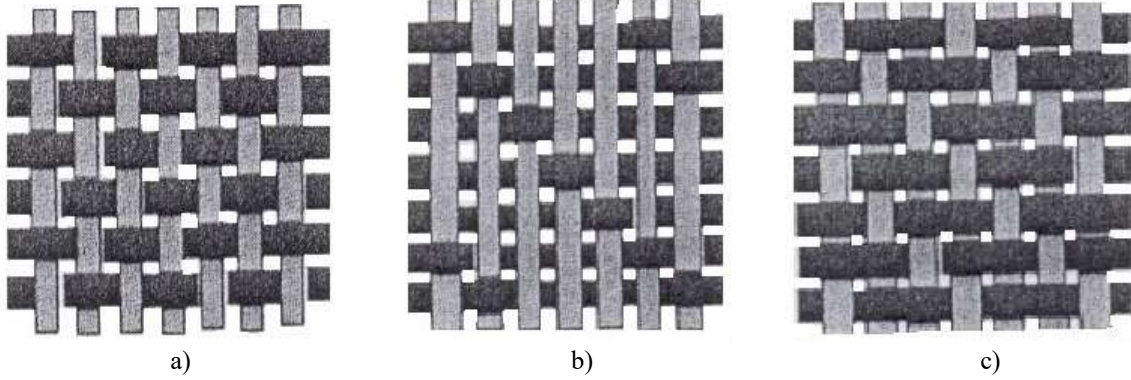
2.6. Doğal-Sentetik Hibrit Kompozitler

Doğal fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin çekiciliğine rağmen, düşük mukavemet değerleri önemli dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca, doğal liflerin hidrofilik yapısının hidrofobik matrisi olumsuz yönde etkilediği ve zayıf mukavemete neden olduğu gösterilmiştir. Buna ek olarak, doğal lifler çevreye duyarlı ve doğal lif kompozitlerinin mukavemetinde bozulmaya neden olan nispeten zayıf nem direncine sahiptir. Bu nedenle, polimer matriste tek başına doğal elyafın kullanılması, elyaf takviyeli bir kompozitin tüm teknik ihtiyaçlarını tatmin edici bir şekilde karşılamada yetersizdir. Üstün, ancak ekonomik bir kompozit geliştirmek için, doğal bir elyaf, her iki elyafın özelliklerinden en iyi şekilde yararlanmak için aynı matris malzemesinde sentetik bir elyaf ile birleştirilebilir. Bu ise, doğal-sentetik fiber hibrit bir kompozit ile sonuçlanır. Bu türden hibrit kompozitlerde kullanılan en yaygın sentetik fiber, diğer sentetik fiberlere kıyasla düşük maliyeti ve bulunabilirlik kolaylığı nedeniyle cam elyafıdır [18-20].

2.7. Dokuma Kumaşlar

Dokunmuş kumaşlar, iki dik yön boyunca yönlendirilmiş fiberlerden yapılmıştır. Bunlardan birine çözgü, diğerine dolgu (veya atkı) yönü denir. Fiberler birlikte dokunur, bu da dolgu ipliklerinin sabit bir deseni izleyerek çözgü ipliklerinin üzerinden ve altından geçtiği anlamına gelir. Düz dokumada (Şekil 2.1 a) her dolgu ipliği bir çözgü ipliğinin üzerinden, ardından bir çözgü ipliğinin altından geçer ve bu şekilde devam eder. Saten dokumada (Şekil 2.1 b) her dolgu ipliği, beşinci çözgü ipliğinin altına girmeden önce 4 çözgü ipliğinin üzerinden geçer. Bu nedenle '5 koşumlu saten' olarak adlandırılır. Benzer şekilde bir saten örgü 4'lü ve 8'li olabilir. Şekil 2.1 c bir fitilli örgüyü göstermektedir. Kumaş numarası, çözgü (uzunlamasına) ve dolgu (çapraz) yönünde birim en başına düşen iplik (uç) sayısıdır. Örneğin 22×12 kumaş numarası, inç başına çözgüde 22 iplik ve atkı yönünde 12 iplik anlamına gelir. İpliğin Tex'i, 1000 metredeki gram cinsinden kütlesidir. Kumaşın alan yoğunluğu veya alan ağırlığı, kumaşın metrekare başına gram cinsinden kütlesidir. Dengeli kumaş, çözgü ve atkı yönünde eşit sayıda ipliğin bulunduğu kumaştır. Dokuma kumaş kullanmanın avantajları, 0° ve 90° yönlerinde tek yönlü laminatlara göre daha dengeli, elle

yatırma işleminde daha kolay işlenmesi, gelişmiş enerji sönümleme özellikleri sağlaması ve karmaşık veya kavisli hale getirilmesinin kolay olması olarak sıralanabilir [26].



Şekil 2.1. a) Düz örgü, b) 5 komşulu saten dokuma ve c) Fitilli dokuma

2.8. Polimer Reçineler

Reçinenin ana işlevi; takviye lifler arasındaki gerilimi iletmek, lifleri bir arada tutmak için bir yapıştırıcı görevi görmek, lifleri mekanik ve çevresel hasarlardan korumaktır. Reçineler termoset ve termoplastik olarak bilinen iki ana gruba ayrılır. Termoplastik reçineler ısıtıldığında yumuşar ve yarı sıvı haldeyken şekillendirilebilir veya kalıplanabilir ve soğutulduğunda sertleşir. Üç boyutlu çapraz bağlı bileşimi nedeniyle yüksek ısı kararlılığı, kimyasal özdirenç, iyi boyutsal kararlılık ve ayrıca yüksek sürünme özelliklerine sahiptirler. Kompozit üretimi için yaygın olarak kullanılan termoset reçineler doymamış polyesterler, epoksiler, vinil esterler ve fenoliktir [55,56].

2.8.1. Polyester Reçine

Polyester reçinesinde istenen özellikleri elde etmek için bir dizi hammadde ve işleme teknolojisi mevcuttur. Polimer zincirlerinin oluşumu sırasında özelleştirilebilme veya uyarlanabilme kapasiteleri nedeniyle polyesterlere üretimi sırasında müdahalelerde bulunulabilir. Tüm farklı kompozit endüstrisinde sınırsız kullanışlılığa sahip oldukları bulunmuştur. Bu reçinelerin temel avantajı, özelliklerin (mekanik, kimyasal, elektrik) boyutsal stabilitesi, maliyeti ve işleme için yönetim kolaylığı dengesidir [55,56].

2.8.2. Epoxy Reçine

Epoksi reçineleri, çok çeşitli kompozit parçalar, yapılar ve beton onarımı gibi değişik uygulamalar için kullanıma sahiptir. Reçinenin yapısı, değişen performansa sahip farklı ürünler elde etmek için tasarlanabilir. Epoksi reçinelerin doymamış polyester reçinelere göre en büyük

basınç 150 ila 1.000 psi beraberce uygulanmaktadır. Basınçla kalıplanmış bileşenlerde kullanılan tipik termoset reçineler; polyesterler, vinil esterler, epoksiler ve fenoliktir. Basınçla kalıplanmış ürünler; cihaz muhafazaları, büyük kaplar ve kar motosikletleri gibi pek çok alanda parça üretimi için kullanılmaktadır [55, 56].

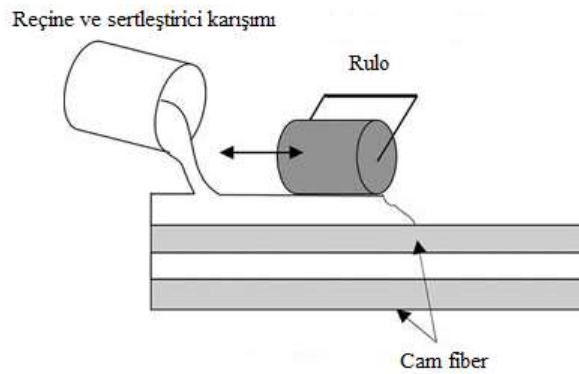
2.9.3. Enjeksiyon Kalıplama

Granül halindeki malzemer bir huniden doğrudan ısıtılmış helezon bölgesine gelir ve buradan pistonlu vidalı namlunun sürtünme hareketi ile ergimiş olarak kalıba doğru iletilir. Daha sonra plastik, uygun bir meme yoluyla, boşluğun konfigürasyonuna göre soğuduğu ve sertleştiği bir kalıp deliği alanına enjekte edilir [55, 56].

2.9.4. Elle Yatırma

Elle yatırma küçük ve büyük takviyeli ürünün imalatı için en eski, en basit ve en genel olarak kullanılan yaklaşımdır. Elle yatırma, bir polimer kompozit ürün sağlamak için açık kalıplama prosedürüdür. Ahşap, metal, plastik veya bu maddelerin bir kombinasyonundan yapılmış düz bir yüzey, boş bir boşluk veya pozitif biçimli bir kalıp elle yatırma yöntemi için kullanılabilir. Tamamlanmış kompozit ürünlerin çıkarılmasını kolaylaştırmak için zeminine bir kalıp ayırıcı maddesi uygulanır. Daha sonra önceden kesilmiş fiber dokumalar serilip üzeri rulo yardımıyla reçinelenir ve bu işlem tabakalı olarak son tabakaya kadar devam eder. Daha sonra kompozitler oda sıcaklığında veya bir fırında kürlenir. Doymamış polyester, vinil ester ve epoksi gibi ısıyla sertleşen reçineler, en yaygın kullanılan reçinelerden bazılarıdır [55, 56].

Bu tez çalışmasında da elle yatırma yöntemi kullanılmış olup, yöntemin şematik gösterimi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Elle yatırma yöntemi şematik gösterim [55].

2.10. Balistik Kompozitler

Balistik kompozitler, patlayıcı tozun icadı ile savaş alanının dinamikleri değişmiş ve terörizmden savaşa kadar insanlık tabanca veya tüfekten ateşlenen mermiler, sertleştirilmiş çelik parçaları gibi yüksek hızlı mermilere maruz kalmıştır. Bir el bombası veya büyük top mermisi patlamaları veya ev yapımı bombalar büyük tehdit haline gelmişti. Birinci ve ikinci dünya savaşları sırasında, personel koruyucu donanımları hakkındaki bilgiler, çelik kullanımıyla sınırlıydı. Ancak çelik zırhın ağırlığı ve esneklik eksikliği nedeniyle yalnızca hareket eden ağır zırhlı araçlarda kullanılmış olup, personel koruması tamamen eksikti.

Baş koruyucu kaskın ilk kullanımı birinci dünya savaşı sırasında fransız ordusu tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu kask, askerleri kafa yaralanmalarından korumak için modifiye edilmiş bir metal başlıktı. Aynı savaş sırasında almanya ağır göğüs zırhları, ingiltere daha hafif göğüs zırhları ve italya zırhlı yelekleri piyasaya sürmüştü.

Personelin korunması için Vietnam döneminde flak ceketler kullanılmış, ancak bu ceketler ağır ve hacimliydi ve yüksek hızlı mermilere karşı sınırlı koruma sağlıyordu. Son yirmi ila otuz yıl boyunca, çeşitli endüstrilerdeki, üniversitelerdeki ve devlet laboratuvarlarındaki bilim adamları ve mühendisler, balistik malzemeler ve bunların yüksek hızlı mermilerle etkileşimi üzerine araştırma çalışmalarını başlatmışlar ve konu üzerine çalışmalar devam etmektedir [56, 57].

2.10.1. Balistik Fiberler

Yüksek performanslı sentetik balistik fiberler, onları endüstriyel uygulamalar için kullanılan diğer sentetik liflerden ayıran üstün özelliklere sahiptir. Balistik fiberlerin çekme mukavemeti ve modülü önemli ölçüde daha yüksek olup, fiber uzaması daha düşüktür. Bu fiberler, cam ve grafit fiberleri gibi kırılğan liflerden daha kolay dokuma tezgahlarında dokunabilirler. Balistik fiberler ayrıca otomotiv ve havacılık endüstrileri tarafından kullanılan bir dizi kimyasala, endüstriyel çözücülere ve yağlayıcılara karşı doğal direnç göstermektedirler.

Her yüksek performanslı balistik fiberi üretmek için kullanılan polimer ve üretim şekli olan eğirme işlemi nedeniyle üstün özelliklere sahiptirler. Bu balistik fiberlerin mukavemet özellikleri, dönme yönü etrafında moleküler bir yönelimdeki yapısal özellikleri ve zincirin doğrusallık derecesi ile ilgili olan tek zincirin kapladığı etkin enine kesit alanı ile belirlenir. Üretim süreci, bir balistik fiberde hem mikroskobik yapıyı hem de zincir yönelimini kontrol eder. Bununla birlikte önemli bir başka husus, balistik fiberlerin en yüksek özelliklerini verebilen ancak üreticilerin makul bir maliyet yapısında büyük miktarlarda elyaf üretmesine yardımcı olan elyaf imalatının ekonomisidir.

Hafif fiber takviyeli zırhın mevcut başarısı uzun bir süreç almış olup, geliştirme 1970'lerin başında başlamıştır. İlk on beş yıl boyunca, kompozitin mekanizması anlaşılmaya çalışılmıştır. İlk kompozitler birkaç fiber çeşidi ile sınırlı kalmıştır. Yeni hafif balistik fiberler, tezgah ölçeğinden

tam ölçekli üretime geçmeye başladığında, rekabet artmış ve müşteriler daha düşük ağırlık ve daha yüksek balistik koruma talep etmeye başlamıştır.

Yüksek Modüllü Polietilen (HMPE) 1980'lerin ortalarında ve PBO 1990'ların sonlarında tanıtılmıştır. Yeni ve daha verimli liflerle birlikte başka teknolojiler de geliştirilmiştir. En önemli teknolojilerden biri, geleneksel elyaf büküm ve dokuma teknolojilerinden geçmeden yeni yüksek performanslı balistik elyafların bir ağda birleştirilmesi olmuştur. Bu teknoloji, hafif zırhın tüm dinamiklerinde önemli ilerleme kaydetmiştir. Yumuşak zırh daha hafif ve daha rahat hale gelmiş ve kalıplanmış zırh sadece sudan daha hafif olmakla kalmamış, aynı zamanda tüfek mermilerini de durdurabilir hale gelmiştir. Yeni zırh teknolojileri ağırlık tasarrufu ve daha yüksek performans açısından gelişmeye devam etmektedir. Yüksek performanslı fiberlerden, dokuma teknolojisinde ve dokumasız çapraz katlı tek yönlü teknolojilerdeki sürekli iyileştirme nedeniyle, hafif zırhın ağırlık azalması her on yılda bir %10 ila %20 arasında gelişme göstermektedir [56, 57].

2.10.2. Fiber Takviyeli Balistik Kompozitler

Fiber takviyeli balistik zırh, bir grup bireysel malzemeleri içine alan genel bir terimdir. Grupların bazılarında, fiberler yalnızca dokuma malzemelere dönüştürülmekte veya yüksek performanslı fiberler bir bağlayıcıyla birleştirilip dokunmamış tek yönlü malzemeler dönüştürülmektedirler. Bu tanımlama grubundaki malzemeler yumuşak zırhlar için kullanılmaktadır.

Bazı gruplar, sert kalıplanabilir zırh sistemleriyle ilgilenir. Bu, nispeten zayıf bir polimeri yüksek mukavemetli balistik fiber takviyesi ile birleştirerek elde edilir. Uygun bir polimer/balistik fiber oranı ile yüksek balistik özellikler elde edilmektedir. Güçlendirilmiş zırh fiberleri ve matris içeren malzemeye prepreg adı verilir. Prepreg, bir matris ile birleştirilmiş dokuma bir malzemeden veya doğası gereği bir matris içerebilen çapraz katlı tek yönlü bir malzemeden yapılabilir. Bir prepreg kullanılarak, bir kalıplama aleti, ısı ve basınç altında çeşitli basit ve karmaşık şekillerde balistik ürünler kalıplanabilir.

Fiber takviyeli balistik zırh, sahada polis ve askerin karşılaştığı balistik tehditlerin sunduğu talepleri karşılamak için yeterli esnekliği sağlar. Hafif, yüksek performanslı bir balistik ürün üretmenin amacı, balistik tehdidin yanı sıra diğer herhangi bir özel gereksinimi karşılamayı da amaçlayabilir. Hafif fiber takviyeli balistik kompozitler, düşük enerjili tabanca mermilerini ve yüksek enerjili tüfek mermilerini yenmek için neredeyse sınırsız ürün seçimi sağlamak üzere tasarlanabildiğinden, bu kompozitler tüm zırh endüstrileri tarafından küresel olarak kullanılmaktadır. Zırh üreticisi, ekonomik, yüksek verimli ve oldukça karmaşık olan çeşitli esnek ve sert kalıplanmış zırhlar üretmek için fiber takviyeli balistik zırh kullanır [56-58].

2.10.3. Dokuma Balistik Malzemeler

Lifleri dokuyarak bir kumaşa dönüştürmek, insan uygarlığının ilk aşamalarında geliştirilmiş bir teknolojidir. Ancak, bu teknoloji yüksek hızlı otomatik dokuma tezgahları ile geliştirilmiştir. Fiberin dokuma tezgahı ile temas ettiği her aşamada yapılan bir takım modifikasyonlar sayesinde dokuma işlemindeki elyaf hasarı en aza indirilmektedir. Tüm bu gelişmelere rağmen, dokuma işlemi sırasında fiberler genellikle bükülür ve bir miktar fiber de zarar görür.

Tipik bir dokuma işleminde, lifler dokumadan önce bükülür. Elyafın bükülmesi, elyafın elyafa karışmasını azaltarak fiberlerin fiziksel özelliklerini korur. Bununla birlikte, bükülme, aynı zamanda bir fiber demeti içindeki tek tek elyaflar ile mermi temasını da azaltır. Belirli esnek zırh uygulamaları için dokunan kumaşlar, dokuma işleminin bir sonucu olarak toplanan herhangi bir pisliği gidermek için daha fazla işlenir. Bu işleme dokuma kumaşın temizlenmesi denir. Kumaş temizlendikten sonra su itici bir kaplama uygulanabilir. Bu, aramid kumaş için çok önemli olup, nemin nüfuz etmemesi kumaşın balistik direncini artırır. Balistik ve tekstil mühendisleri, dokuma zırh malzemelerinden daha yüksek balistik performans elde etmek için bir araya gelmektedirler [59-60]. Dokuma elyaf bükülmesini sınırlandırarak veya ortadan kaldırarak, fiberleri kumaş tipi zırh malzemesine dikerek balistik performansı artırılabilir. Bir kumaşın balistik performansı şunlara bağlıdır [57];

1. Balistik liflerin fiziksel özellikleri
2. Çözü ve atkı yönünde liflerin sıklığı
3. İplikteki büküm seviyesi
4. Kumaşın örgü tasarımı
5. Dokuma işlemi sırasında iplikte hasar
6. Dokuma sonrası işlemler

2.10.4. Dokunmamış Hafif Zırhlar

Son on ila on beş yıl içinde hafif balistik malzemelerin gelişimi, daha hafif ve daha güçlü suni fiberlerin bulunması ve dokuma işlemi sırasında bükülme ve kıvrımdan kaçınarak dokunmasına bağlanmaktadır. Balistik malzemelerle mermi etkileşimini artırmak için daha fazla işlenen geleneksel dokuma balistik malzemeler alanında geliştirilmekte olan bir dizi yeni teknoloji bulunmaktadır. Ancak Honeywell'in benzersiz patentli teknolojileri ile üretilen dokumasız hafif zırh malzemeleri, dokuma kumaşlara kıyasla daha yüksek balistik performansa sahiptir. Bu patentli teknoloji işleminde, balistik fiberler birbirine paralel olarak hizalanır ve daha sonra hizalanmış liflerden oluşan sürekli bir ağ oluşturmak için bir bağlayıcı veya reçine uygulanır. Ağ, ileriki işlemler için fiber aralığını korur. Benzer şekilde hizalanmış liflerden oluşan bir ağ, sürekli bir rulo

oluşturmak için 90 derecede uygulanır. 0 derece ve 90 derece ağlar, tek yönlü çapraz katlı bir rulo ürünü oluşturmak için daha da birleştirilir. Bu teknoloji tarafından geliştirilen rulo ürün, HMPE, aramid ve PBO fiberleri gibi her tür sürekli yüksek performanslı balistik elyafa uygulanabilir. Yumuşak zırh uygulamaları için bazı dokumasız konsolide ürünlerin üzerine ince bir film lamine edilir. Dokumasız, çapraz katlı tek yönlü balistik malzemelerin balistik performansı şunlara bağlıdır;

1. Balistik liflerin fiziksel özellikleri
2. Fiberlerin sıklığı
3. Bir iplik demeti içindeki fiberin birbirine karışma miktarı
4. Makro düzeyde fiber yayılımı
5. Reçine türü
6. Reçine miktarı
7. Reçine ve fiber arasındaki bağ

Zırh ürünleri, diğer özellikleri korurken balistik tehdidi en düşük ağırlıkta yenmek için %100 dokumasız çapraz katlı malzeme veya %100 dokuma zırh malzemeleri kullanmak veya birden fazla malzeme türünü birleştirmek için tasarlanabilir. Bir başka dokumasız balistik malzeme türü, keçe konfigürasyonuna dönüştürülen kıyılmış balistik malzemeler biçimindedir. Keçe malzemeleri ve diğer alanlardaki teknolojiler oldukça ileri düzeyde olsa da, ancak keçe ile ilgili yeni araştırmalar onu hafif balistik malzemeler için güçlü bir aday haline getirebilir [57, 60].

2.10.5. Sert ve Yumuşak Zırhlar

Polis, kolluk kuvvetleri ve ordu, iki tür kişisel vücut koruması giyer. Bunlar genel olarak "yumuşak" ve "sert" zırh olarak sınıflandırılır. Polis ve kolluk kuvvetleri için yumuşak zırhlar nispeten esnektir ve vücut zırhını giyen kişinin vücut çevresine uyacak şekilde uyarlanabilir. Esnek zırh daha çok tabanca mermilerini durdurmak için tasarlanmıştır ve genellikle göze çarpmaz. Bununla birlikte, askeri ve barışı koruma görevlileri için tabancalardan gelen mermilerin yanı sıra patlamalardan kaynaklanan parçaları da durdurmak için tasarlanmış durumda genellikle büyük ve görünürdür. Hafif, yüksek performanslı sert zırh, genellikle belirli bir şekli korumak için kalıplanır. Sert zırhın tipik bir örneği, askeri ve polis balistik kaskıdır [56].

2.10.5.1 Yumuşak Zırh

Dünyadaki kolluk kuvvetlerinin çoğu, yelek adı verilen esnek, yumuşak, gizlenebilir bir fanila giyer. Bu tür yelekler tabanca mermilerinden korunmak için tasarlanmıştır, ancak tüfek mermilerinden veya bıçak gibi sivri uçlu silahlardan korunmaz. Bu iç çamaşırlara veya yeleklere

bazen "kurşun geçirmez yelekler" de denir, ancak hiçbir giysi kesinlikle tüm mermileri durduramaz. Bu yelekleri tanımlamanın daha iyi bir yolu, 'kurşun geçirmez' olmalarıdır. Bir başka yanlış da, böyle bir yeleğin kullanıcının üst vücudunu koruyacağıdır. Aslında yelek sadece kritik organları korur; gizlenebilir yelek giyen kişinin ellerini, boynunu, başını ve bacaklarını korumaz.

Yüksek performanslı aramid fiberlerden ilk ticari esnek yelekler 1970'lerin sonlarında geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu tür yeleklerin önceki versiyonları ağır, hantal ve dikişleri zayıftı. 1980'lerin ortalarında aramid elyaf teknolojisinin ilerlemesi ve Yüksek Modüllü Polietilenin (HMPE) piyasaya sürülmesiyle yelekler çarpıcı değişiklikler geçirdi. Balistik yelekler daha ince, hafif ve rahatlık için özel olarak tasarlanmaya başlanmıştı. Bir dizi patentli teknolojiye dayalı hibrit balistik malzemeler üretilmeye başlandı.

Yeni veya kullanılmış bir yeleği test etmenin basit bir yöntemi yoktur. Yelek üreticilerinin yeleği tanımlayan uygun bir etikete sahip olmaları gerekmektedir. Etiket, aynı yelek üzerinde kontrollü balistik koşullar altında tahribatlı bir testin sonucunu açıklar. Standart testlerde kullanılacak genel prosedür belirli mermi türlerini ve hızları belirtir. Yine, bu sıkı bir şekilde kontrol edilen bir testtir ve saha koşullarında mermi penetrasyon riski ile herhangi bir ilişkisi yoktur.

Yumuşak zırh, kişisel olmayan güvenlik uygulamaları için de sıklıkla kullanılır. Bu uygulamalar, bir araçta seyahat eden askeri veya barış güçlerini korumak içindir. Yumuşak zırh, aracın zeminini ve duvarlarını kaplar. Bu tür uygulamalarda, bir battaniye şeklinde katlanabilir veya devrilebilir tipte bir yumuşak zırha sahip olunması arzu edilir. Benzer şekilde, bomba battaniyeleri genellikle yumuşak zırhtan oluşur ve bombalardan veya diğer patlayıcı cihazlardan gelen parçaları durdurmak için kullanılır. Diğer bir yumuşak zırh uygulaması, uçak motorlarını oldukça yüksek hızda hareket eden kırık motor kanatlarından korumak içindir [56,57].

2.10.5.2. Sert Zırh

Polis ve kolluk kuvvetleri için sert zırh, genellikle yumuşak zırh yeleğine eklenir. Tüfek mermisinin kullanılması riskinin olduğu özel hareketler için tasarlanmıştır. Göze çarpmayabilir, ancak genellikle oldukça belirgindir. Sert zırh, çelik veya titanyum paneller, diğer malzeme türleri ile desteklenmiş seramik ve kalıplanmış çapraz katlı HMPE balistik plakaları içerir. Bir askeri yeleğe önden ve arkadan hayati organları kapatmak için en az iki sert zırh, bazı yeleklerde ise boyun ve kasık bölgesini kapatan beşe kadar sert zırh takılabilir.

Sert bir zırh, arkasında bir yumuşak zırh yeleği olsun ya da olmasın, test edildiği mermiler için uygun şekilde etiketlenmelidir. Bilgiler, test standardından ve durdurmak için tasarlandığı tüfek mermilerinin türünü içermelidir. Askeri ve polis balistik kaskları, askeri araçlar, elde tutulan kalkanlar, helikopter, askeri kargo uçakları ve sivil araçlar sert zırhın diğer uygulamaları olarak verilebilir [60].

2.10.6. Balistik Malzemelerin Testi

Balistik malzemelerin, süreçlerin ve tasarımın amaçlanan balistik tehdide karşı koymak için uygunluğunu belirlemek için testler yapılır. Hafif yumuşak ve sert zırh testleri, satın alma yetkilisi tarafından belirtilen teste göre yapılır. ABD kolluk kuvvetleri, tabanca ve tüfek mermilerine karşı test için NIJ Test Standardı 0101.04'ü takip eder. Testler, NIJ Standardında belirtilen tehditlere karşı gerçekleştirilir. Benzer şekilde, askeri yumuşak zırh ve sert zırh tedariki, ordu tarafından yayınlanan şartnameye göre yapılır.

Balistik malzemelerin test edilmesi özellikle önemlidir. Çünkü özellikler ve buna eşlik eden performans, işleme ve tasarım parametreleriyle ilişkili önemli değişikliklere tabidir. Malzeme seçimi, süreç geliştirme, tasarım ve kalite kontrolüne yardımcı olmak için standartlaştırılmış özel testler gereklidir. Balistik malzemeler için testler, hem tahribatsız hem de tahribatlı koşullar açısından tutarlı olmalıdır. Balistik fiberler üzerindeki testler, laboratuvar ortamında kontrollü koşullarda fiberler kopartılarak yapılır. Tahribatsız muayene, bitmiş yeleğin veya kalıplanmış bileşenin dokuma veya çapraz katlama işlemi ve montajı veya kalıplanması sırasında gerçekleştirilir. Hafif balistik hammaddelerin ve bitmiş ürünlerin üretiminde kalite kontrol önemli bir rol oynamaktadır. Yeniden üretilebilirlik ve tek biçimlilik, balistik laboratuvarında ve ayrıca sahada yapılan balistik testler sırasında bitmiş ürün serisinin tamamının aynı şekilde performans göstermesini sağlamak için gereklidir. Bu amaca ulaşmak için, mümkün veya pratik olduğu ölçüde tüm bileşenlerin kalitesini kontrol etmek, montaj veya kalıplama sürecinde önemli rol oynar.

Partiden partiye varyasyon ve muhtemelen montaj ve kalıplama sırasındaki varyasyon bilgisi, bitmiş balistik ürünlerin kısa vadeli ve uzun vadeli balistik performansını korumak için önemlidir. Malzeme kalifikasyonu ve parti kabul testleri sıklıkla gereklidir. Askeri uygulamalar için kalifikasyon, çeşitli zorlu saha koşullarında geniş bir süre boyunca ürün performansını karşılamak ve uygunluğu sağlamak için genellikle çok kapsamlı bir dizi test gerektirir. Kabul, esasen eşdeğer balistik performansı sağlamak için yeterli olduğu düşünülen, büyük olasılıkla yeterlilik testi serilerinden seçilen birkaç balistik testi içerebilir.

Çoğu durumda, nihai ürün kabul için bir gereklilik olarak, tahribatlı ve tahribatsız kapsamlı testlere tabi tutulabilir. Ürünün, beklenen balistik tehditlere ve ortamlara nasıl yanıt vereceğini belirlemek için ürünün geliştirilmesi sırasında sıklıkla bu tür testler gereklidir. Sonuçlara bağlı olarak, tasarım buna göre değiştirilebilir.

Nitelik testleri, seçilen malzemelerle ve belirtilen üretim prosedürlerine uygun olarak üretilen nihai ürünün istenen yanıtı ve gerekli çalışma koşullarına dayanma kabiliyetini sağlayacağından emin olmak için sıklıkla gereklidir. Ürünü kalifiye ettikten sonraki üniteler, tutarlı kalite ve tekrar üretilebilirlik için kabul testine tabi tutulur. Yeterlilik testleri kapsam olarak oldukça geniş olabilirken, kabul testleri genellikle kalite ve performansı değerlendirmek için maliyet ve programa uygun olarak seçilen bir veya birkaç testle sınırlıdır. Bazı durumlarda, balistik testler

sırasında her partiden sınırlı sayıda ürün imha edilmek üzere test edilebilir. Sıklıkla, son ürünle birlikte atış paketleri veya kalıplanmış test panelleri hazırlanır [57].

Balistik zırhın testlerde başarısız olmasının başlıca nedenleri şöyle sıralanabilir;

1. Yanlış balistik tehditlere karşı test yapmak ve numunenin iyi tutturulmamasına dikkat etmemek
2. Balistik dalgalanma ve malzemeyi dikkate almadan balistik dizayn yapmak,
3. Malzemelerin yetersiz kontrolleri
4. Yetersiz kontrol edilen balistik fiber dokuma veya çapraz katlı imalat teknikleri
5. Balistik malzemelerin yanlış uygulanması

2.10.7. Balistik Ürünlerin Dizaynı

Hafif fiber takviyeli zırh ürünlerinin tasarımı, bazı nedenlerden dolayı kolay değildir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir [57];

- Bitmiş balistik ürünler, her biri belirli bir yöne yönlendirilmiş bir dizi ayrı katmandan oluşur.
- Balistik malzemelerin anlaşılması, balistik tehditten balistik tehdiye değişir.
- Mermi penetrasyonu sırasında yüksek gerilim seviyesinde sınırlı verilerle karşılaşılmaktadır.
- Matematiksel modeller, doğrusal malzemelerden doğrusal olmayan viskoelastik malzemelere geçişin erken aşamalarında.
- Hibrit malzemeler, her malzemenin mermileri yenmedeki katkısını hesaplamayı zorlaştırır.
- Mermi deformasyonu karmaşık bir olgudur ve tüm parametreler tam olarak anlaşılmamıştır.
- Ürünü destekleyici koşulların katkısı balistik performansı etkiler.

Yelek tasarımı genellikle aşağıdaki faktörlere dayanmaktadır;

1. Geçmiş yelek tasarım deneyimi,
2. Malzeme balistik performans dalgalanmasını anlama,
3. Standart tehditler altında balistik veriler,
4. Deneme yanılma yöntemi, bilinen ve bilinmeyen malzemelerin karıştırılması ve eşleştirilmesi,

5. Nem, UV ve sıcaklığa maruz kalmanın balistik malzeme üzerindeki etkisinin anlaşılması,

2.10.8. Şartnameler ve Standartlar

Şartnameler, satın alma ihtiyacını karşılamak için zırhın performansını belirten belgelerdir. Spesifikasyonlar, göreve özel bir belge veya çok çeşitli balistik ve diğer gereksinimleri kapsayan genel, oldukça geniş bir belge türüdür. 1980'lerin sonlarından bu yana, ABD ordusu da dahil olmak üzere birçok ülke, ürün bazlı spesifikasyonlardan performans bazlı spesifikasyonlara geçmiştir. Bu hareket, ordunun balistik yeleklerin, miğferlerin ve göğüs zırhlarının performansını artırmasına yardımcı olmuştur. Fransız ve diğer Avrupa ordusunun benzer girişimleri, kapsama alanının iyileştirilmesine yardımcı olmuş ve aynı zamanda askeri kaskların ve göğüs zırhı kitlerinin ağırlığını ve maliyetini düşürmeyi devam ettirmiştir.

Ulusal Teknoloji Enstitüsü (NIJ) 0101.04 gibi standartlar, bir emniyet teşkilatının ihtiyaçlarını karşılamak için yumuşak veya sert kalıplanmış bir zırhın karşılaması gereken performans gereksinimini belirten teknik belgelerdir. Standart, kesin ve ayrıntılı bir test yöntemi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu standardın gerekliliklerine uygunluk, bağımsız bir laboratuvar tarafından test edilir veya satıcı tarafından garanti edilir. Standardın kapsadığı kişisel vücut zırhı, balistik performans düzeyine göre yelek tiplerine göre sınıflandırılır. Sertifikalı bir zırh, test standardında belirtilen tehdide karşı minimum performansa sahip olmalıdır. Pek çok ülke NIJ standardını olduğu gibi benimserken, bazıları standardı değiştirmiş ve bazıları yerel balistik tehditlere ve polisin gereksinimlerine dayanan tamamen yeni bir standart ortaya çıkarmıştır [57].

3. MATERYAL METOD

3.1. HİBRİT KOMPOZİTLER VE ÜRETİMİ

Bu deneysel hibrit kompozit üretiminde jüt, cam elyaf, bazalt elyaf ve 304 tipi paslanmaz çelik tel dokumalar kullanılarak bunlardan hibrit olan ve hibrit olmayan tabakalar elde edilmiştir. Matris malzemesi olarak epoxy reçine ve sertleştiricisi kullanılmıştır. Reçine, cam ve bazalt dokumalar Dost Kimya (İstanbul) şirketinden satın alınmıştır. Jüt ve 304 tipi paslanmaz çelik dokuma ticari piyasadan temin edilmiş olup, bunlara ait özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir.

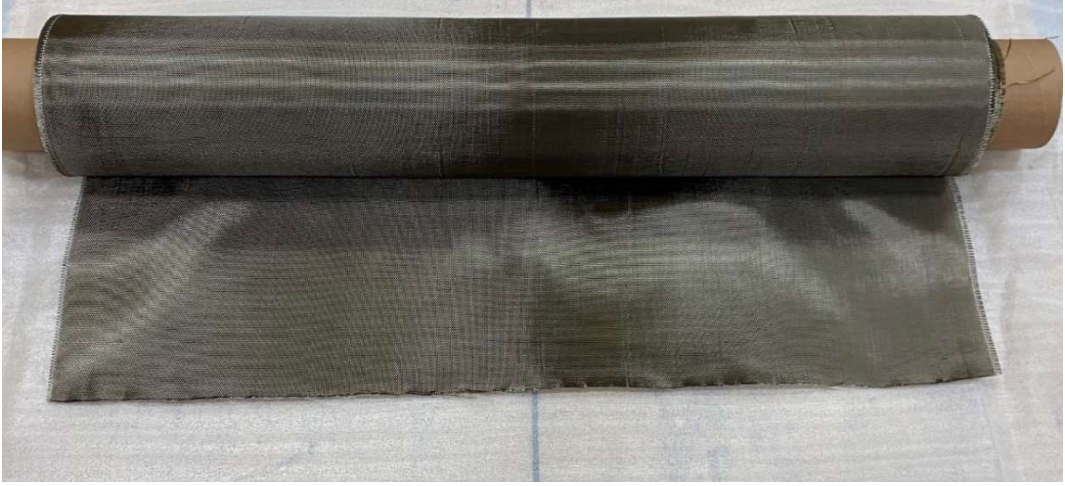
Tablo 3.1. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Fiber	Cam Elyaf	Bazalt Elyaf	Çelik Elek (Tel)	Jüt
Fiber çapı	0,15	0,14	0,04	0,55
Alan Ağırlığı (g/m ²)	202	210	120	75

Proses öncesi kullanılan fiber malzemelere ait görüntüler Şekil 3.1-Şekil 3.4 arasında görüntülenmektedir.



Şekil 3.1. Cam Fiber Dokuma



Şekil 3.2. Bazalt Fiber Dokuma



Şekil 3.3. Jüt Fiber Dokuma

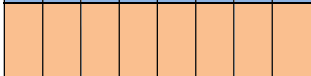
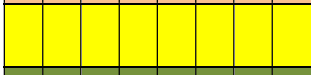
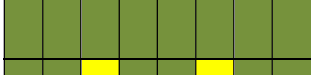
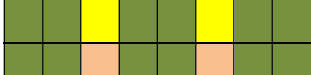
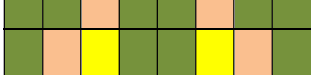
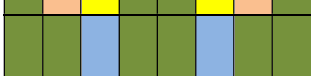
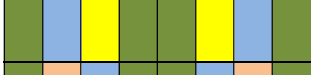
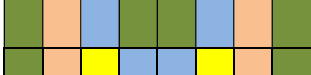
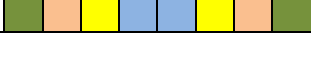


Şekil 3.4. Çelik Elek Tel

Üretim sürecinde laminatlar, tüm hibrit ve hibrit olmayan kompozit için 8 katman kullanılarak üretilmiştir. Dokuma katmanları özel bir makas kullanılarak (250 mm x 250 mm) boyutlarında kesilmiştir. Kompozit laminatların üretimi için elle yatırma tekniği kullanılmış olup, matris malzemesinin elyaf katmanları üzerine katman katman uygulanması ve sonrasında 24 saat süreyle pres altında (0.2 MPa) bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Hibrit ve hibrit olmayan kompozit laminatların hazırlanmasında 100:40 ağırlık oranına dayalı sertleştirici (MOMENTIVE-MGS LH285) ile epoksi reçinesi (MOMENTIVE-MGS LR285) karışımı kullanılmıştır. Presten çıkartılan numuneler yine 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilerek kürleme işlemi tamamlanmıştır.

Üretilen deneysel kompozitlerin tabaka dizilimleri ve kalınlıkları Tablo 3.2’de sırasıyla verilmektedir.

Tablo 3.2. Üretilen hibrit kompozitlerde tabaka sıralaması ve kalınlıkları

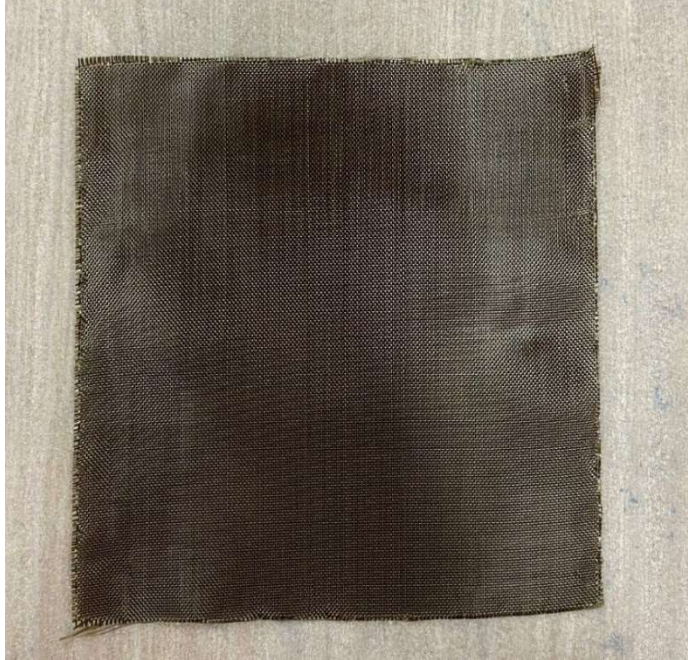
Kompozit No	Dizilim Kısa Gösterimi	Kalınlık	Dizilim
1 No’lu Numune	C-C-C-C-C-C-C-C	1.21	
2 No’lu Numune	B-B-B-B-B-B-B-B	1.25	
3 No’lu Numune	Ç-Ç-Ç-Ç-Ç-Ç-Ç-Ç	1.18	
4 No’lu Numune	J-J-J-J-J-J-J-J	3.71	
5 No’lu Numune	J-J-Ç-J-J-Ç-J-J	3.15	
6 No’lu Numune	J-J-B-J-J-B-J-J	3.18	
7 No’lu Numune	J-B-Ç-J-J-Ç-B-J	2.85	
8 No’lu Numune	J-J-C-J-J-C-J-J	3.08	
9 No’lu Numune	J-C-Ç-J-J-Ç-C-J	2.78	
10 No’lu Numune	J-B-C-J-J-C-B-J	2.98	
11 No’lu Numune	J-B-Ç-C-C-Ç-B-J	2.05	

J:Jüt Ç:Çelik B:Bazalt C:Cam

Tablodaki hibrit ve hibrit olmayan dizilimler yukarıdan aşağıya doğru 8 kat ile oluşturulmuştur. Üretim öncesi fiberler ve çelik dokuma 250 mm x 250 mm ebatlarında kesilerek prosese hazır hale getirilmiş olup görüntüleri Şekil 3.5-Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.5. 250 mm x 250 mm Cam Fiber Dokuma



Şekil 3.6. 250 mm x 250 mm Bazalt Fiber Dokuma



Şekil 3.7. 250 mm x 250 mm Çelik Elek Tel



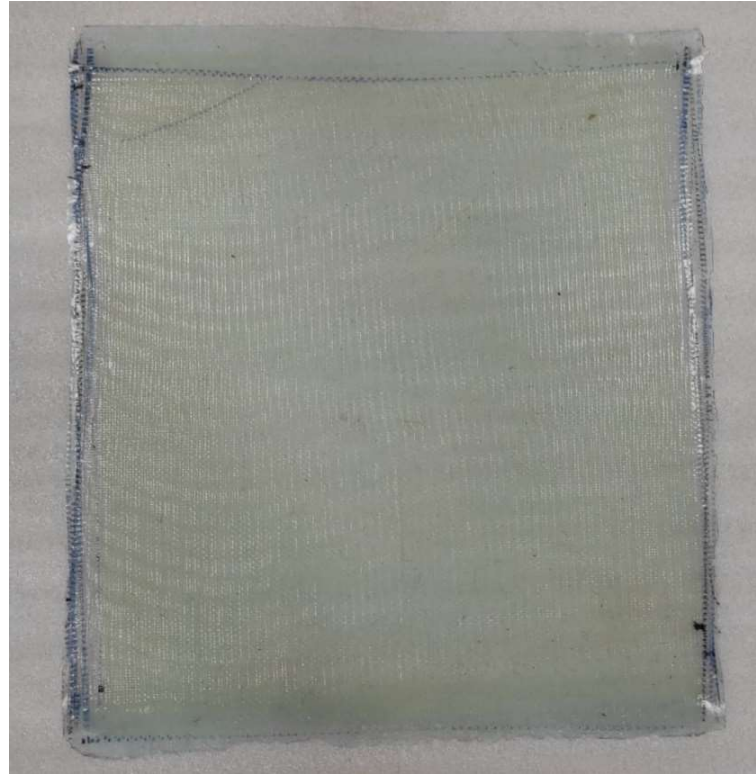
Şekil 3.8. 250 mm x 250 mm Jüt Fiber Dokuma

Çalışmada kullanılan epoksi (LR285) ve sertleştirici (LH287) Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

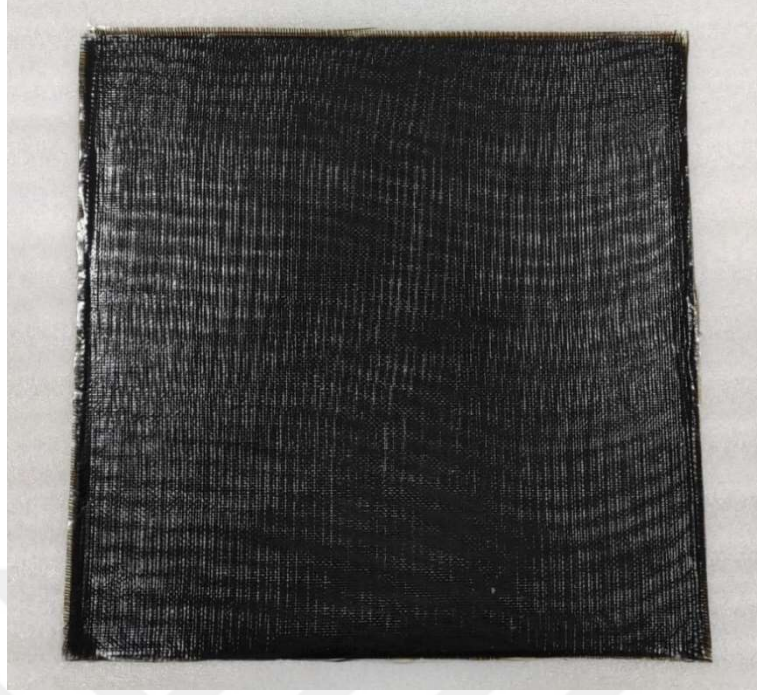


Şekil 3.9. Kompozit üretiminde kullanılan Epoksi (LR285) ve Sertleştirici (LH287)

Üretilen kompozit numunelere ait pres sonrası 250 mm x 250 mm görüntüler Şekil 3.10- Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.10. 1 no’lu numunenin pres sonrası görüntüsü



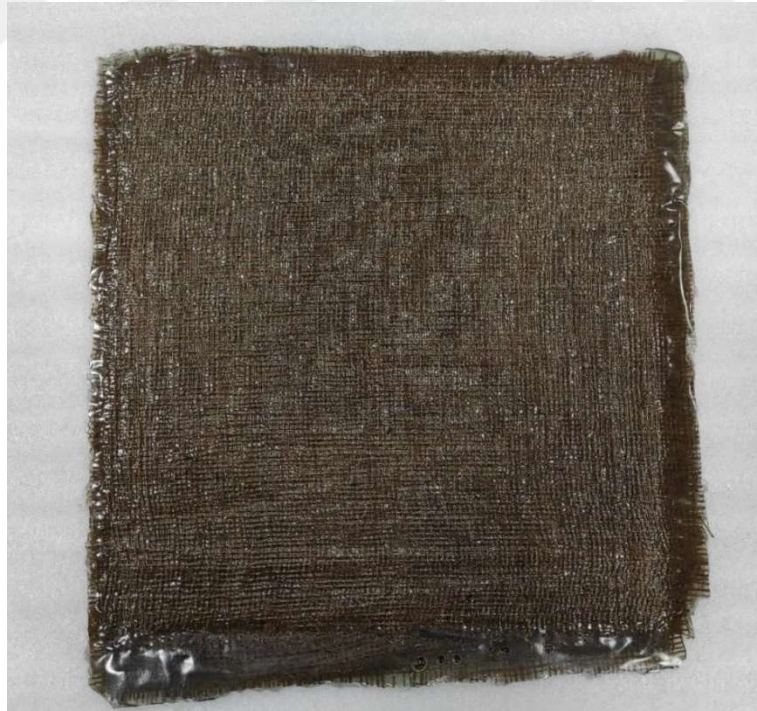
Şekil 3.11. 2 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



Şekil 3.12. 3 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



Şekil 3.13. 4 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



Şekil 3.14. 5 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



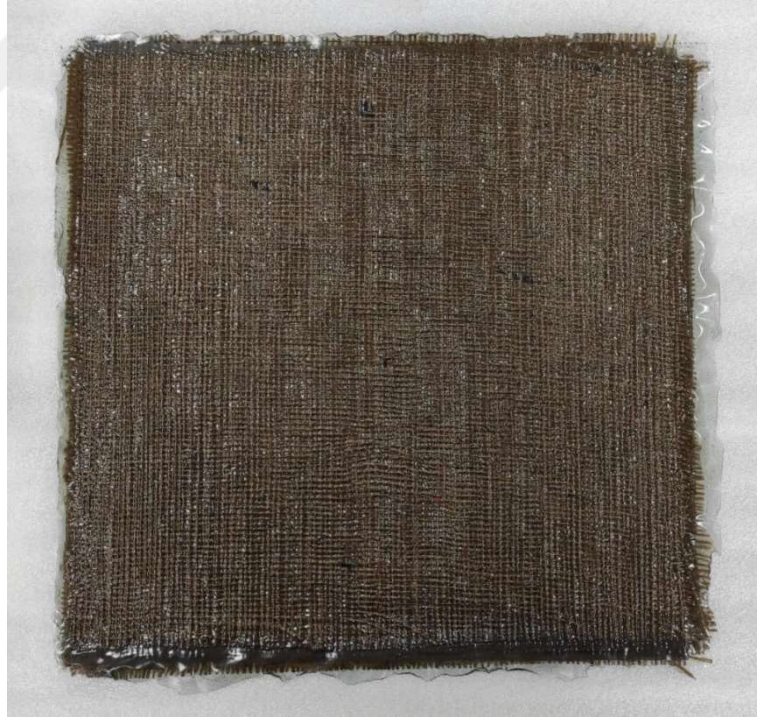
Şekil 3.15. 6 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



Şekil 3.16. 7 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



Şekil 3.17. 8 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



Şekil 3.18. 9 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



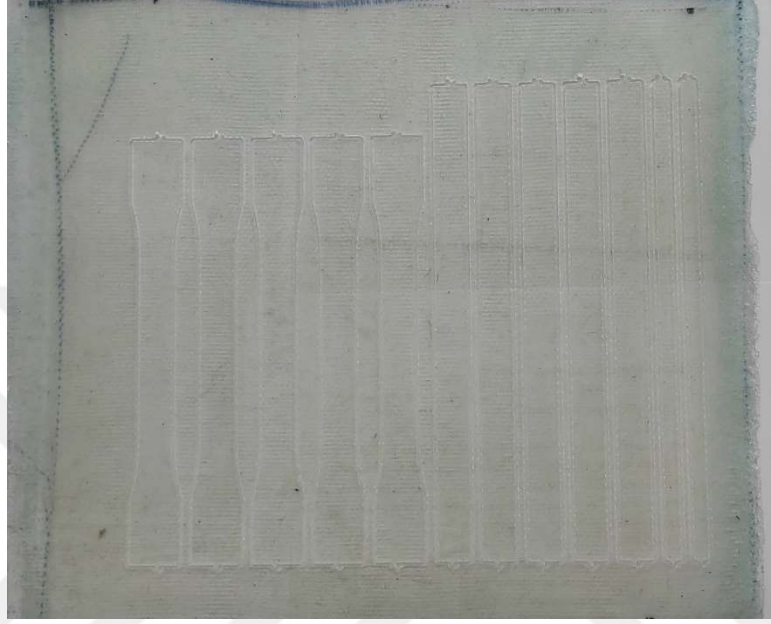
Şekil 3.19. 10 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü



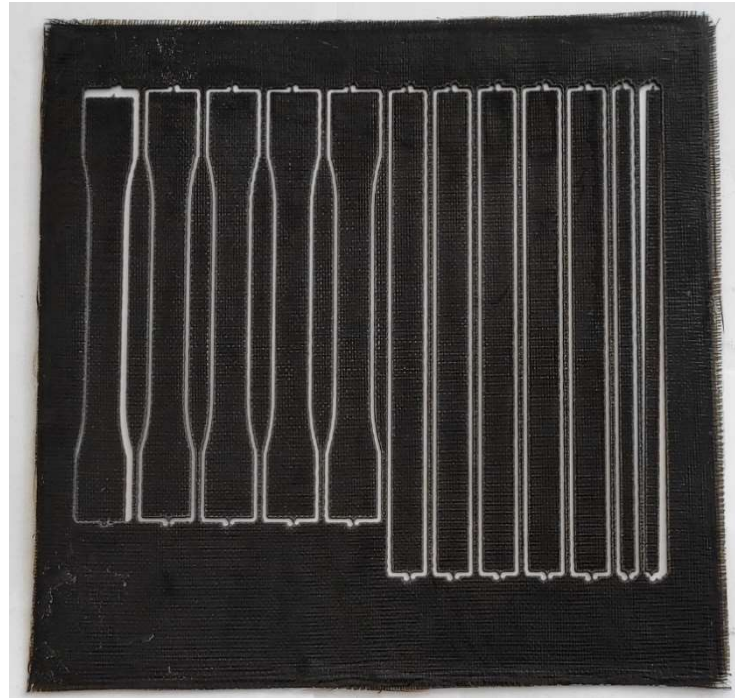
Şekil 3.20. 11 no'lu numunenin pres sonrası görüntüsü

3.2. Mekanik Testler

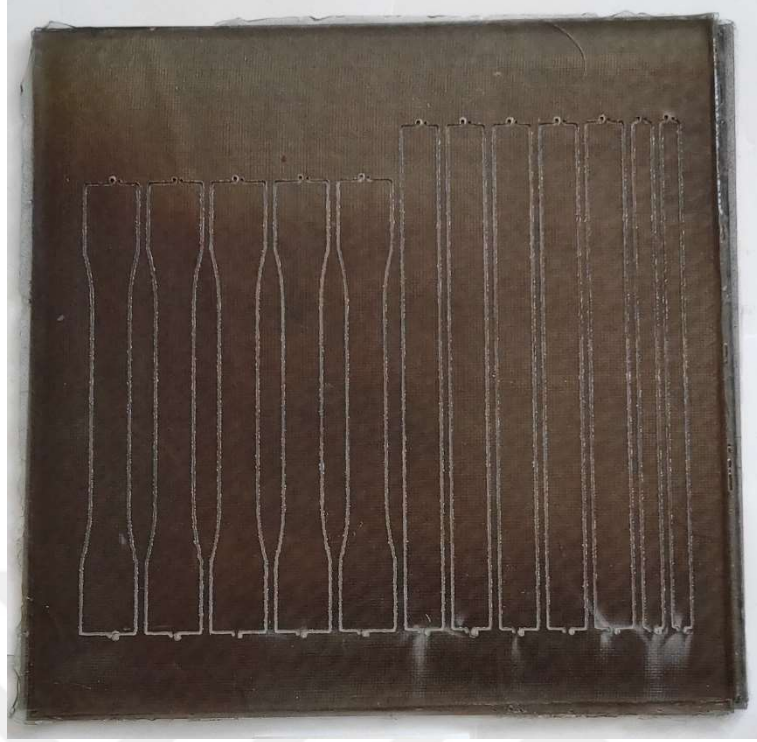
Üretilen 250 mm x 250 mm ebatlarında hibrit ve hibrit olmayan kompozitlerden çekme, basma, tokluk ve kesme özelliklerinin belirlenmesi için numuneler su jeti kullanılarak kesilmiştir. Her bir numune Şekil 3.21-Şekil 3.31 arasında görüntülenmektedir.



Şekil 3.21. 1 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.22. 2 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.23. 3 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.24. 4 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.25. 5 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.26. 6 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.27. 7 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.28. 8 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.29. 9 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı

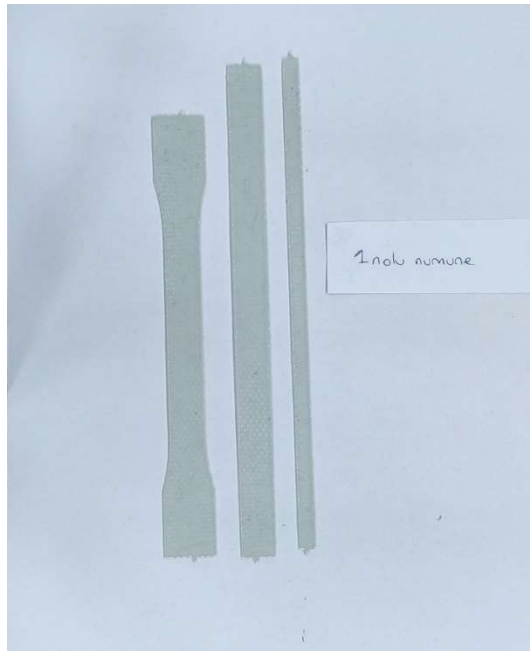


Şekil 3.30. 10 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı



Şekil 3.31. 11 no'lu kompozitten su jetiyle test numunelerinin çıkartılışı

Şablondan çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk numuneleri ilgili ASTM standartlarına göre çıkartılmış olup her bir numuneyi test için temsili görüntüleri Şekil 3.32-Şekil 3.42 arasında verilmektedir.



Şekil 3.32. 1 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.33. 2 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.34. 3 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.35. 4 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.36. 5 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.37. 6 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.38. 7 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.39. 8 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.40. 9 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.41. 10 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri



Şekil 3.42. 11 no'lu kompozite ait çekme, eğme, kısa kiriş ve tokluk testlerine ait temsili numune görüntüleri

3.2.1. Çekme Testi

Çekme testi gerilme altında birim şekil değişimi verilerinin elde edilmesini sağlar, bileşenlerin tasarımı için önemli olan çeşitli mekanik özellikleri doğrulamak için kullanılabilecek en yaygın testlerden biridir. Mevcut çalışmada ASTM 638-10 standardı kullanılmıştır. Çekme testi Shimadzu AG-X marka çekme test cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Testin yapıldığı cihaz Şekil 3.43’de gösterilmiştir. Standart çekme numunesinin boyutları; dar kısmın genişliği 13 mm ve uzunluğu 57 mm, toplam genişlik 19 mm, toplam uzunluk 165 ve eğrilik yarıçapı 76 mm dir. Test prosedürleri sırasında, numune, test makinesinin tutucuları arasında tutturulmuş ve 2 mm/dk’lık sabit bir hızda çekilerek değerler alınmıştır. Her bir test için en az 5 numune çekilerek ortalama değerler bulunmuştur.



Şekil 3.43. Çekme ve eğme testlerinin yapıldığı cihaz

3.2.2. Eğme Testi

3 noktalı eğme testi Üniversal test makinesinde (Shimadzu AG-X serisi) yapılmıştır Şekil 3.43. Dikdörtgen numuneler ASTM 790 standardına göre 100 mm x 12,7 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Açıklık-kalınlık oranı 16:1 olarak ayarlanmıştır. Numunelere, kırılana kadar 2 mm/dk hızında yükleme yapılmıştır.

Eğilme mukavemeti ve eğilme gerilimi, denklem (3.1) ve denklem (3.2) kullanılarak bulunmaktadır; burada P yük-sehim eğrisi (N) üzerindeki maximum yükü, L açıklık (mm) ve b ve h sırasıyla numunenin genişliği (mm) ve kalınlığıdır (mm),

$$\sigma_F = 3P_{max}L/(bh^2) \quad (3.1)$$

$$\delta_F = 6Dh/(L^3) \quad (3.2)$$

3.2.3. Charpy Tokluk Testi

Darbe dayanımı, kırılma anında malzeme tarafından absorbe edilen enerjinin ölçüsüdür. ASTM D256'ya uygun olarak darbe enerjisini ölçmek için Charpy darbe testi yapılmıştır. Her durumda, boyutları (65 mm x 12,7 mm) olan 5 çentikli ve 5 çentiksiz numune test edilmiş ve değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 3.44'de testin yapıldığı Charpy test cihazı görüntülenmektedir. Tüm numuneler Şekil 3.45'de görüldüğü gibi çentikli ve çentiksiz olarak teste hazırlanmıştır.



Şekil 3.44. Charpy test cihazı



Şekil 3.45. Test öncesi çentikli ve çentiksiz numunelere ait temsili görüntü

3.2.4. Kısa Kiriş Testi

Üretilen kompozitlerin tabakaları arası kayma dayanımları hakkında bilgi edinmek için kısa kiriş testi yapılmıştır. Test, ASTM D2344-84'e göre, 1 ton kapasiteli çekme makinasında 2 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Testte boyutları 25 mm x 5 mm x t mm olan numuneler kullanılmıştır. Her bir örnek için 5 numuneyle çalışılmış olup ortalama değerler hesaplanmıştır. Katmanlar arası kayma dayanımı $I = 0.75P / b.t$ formülüyle bulunmuştur. Burada P kırılmadaki maksimum yük, b genişlik ve t kalınlıktır. Şekil 3.46'da short beam test cihazı görüntülenmektedir.



Şekil 3.46. Kısa kiriş test düzeneği

3.3. Balistik Test

Balistik test için çalışmada mekanik özellikler ile tokluk özellikleri göz önünde bulundurularak 11 nolu numune temel hibrit kompozit olarak kabul edilmiştir. Bu bakımdan bu kompozite içine 1 ve 2 tabaka 1 mm kalınlığında sertliği 48 HRC olan Ck 75 normunda çelik levha sac kullanılarak NIJ-0101.06'ya göre (Seviye-II standartında) atış testi yapılmıştır. Ayrıca kıyas yapılması için 8 tabakalı jüt kompozite de atış yapılmıştır. Kullanılan (Ck75) yay çeliği Şekil 3.47'de gösterilmiş olup kimyasal bileşimi Tablo 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.47. Sulu menevişli yay çeliği (Ck75)

Tablo 3.3. Ck75 kimyasal bileşimi

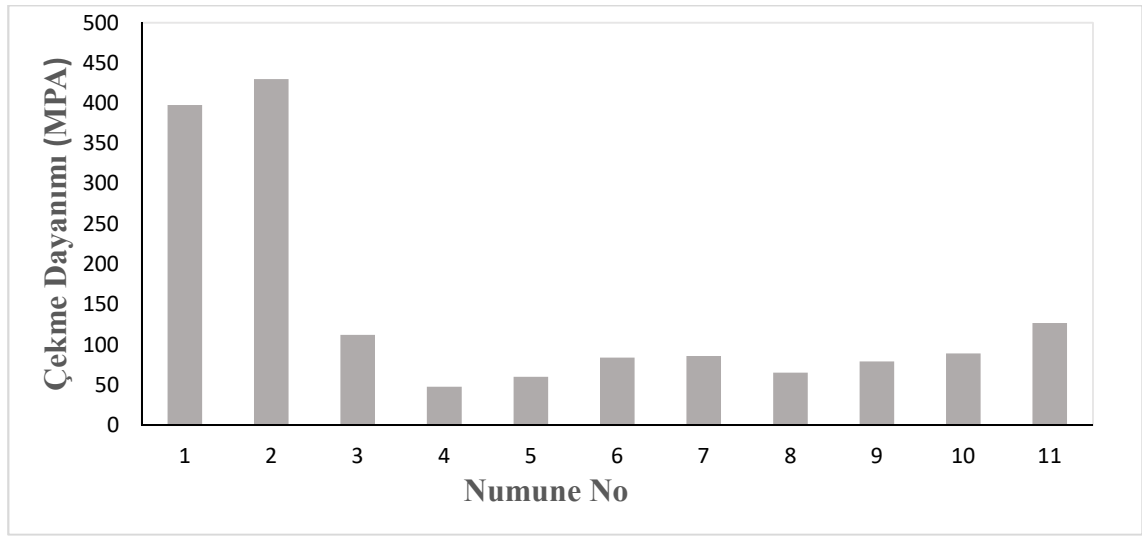
Ck75	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo
%	0.7-0.8	0.15-0.35	0.60-0.90	≤0.40	0.025	0.025	≤0.40	≤0.10

250 mm x 250 mm ebatlarında üretilen bu numunelere Seviye II atış testi uygulanmıştır. NIJ standartlarına göre Canik-SFX marka silah kullanılarak 9x19 FMJ mermi kullanılarak 5 m mesafeden atışlar gerçekleştirilmiştir. Merminin çıkış hızı verilere göre 390 m/sn dir.

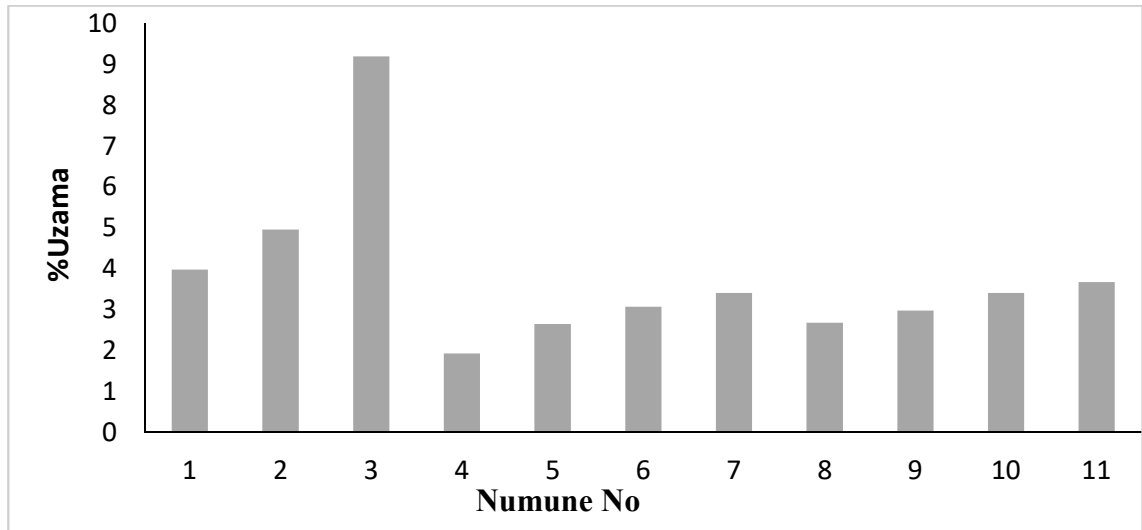
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çekme Test Sonuçları

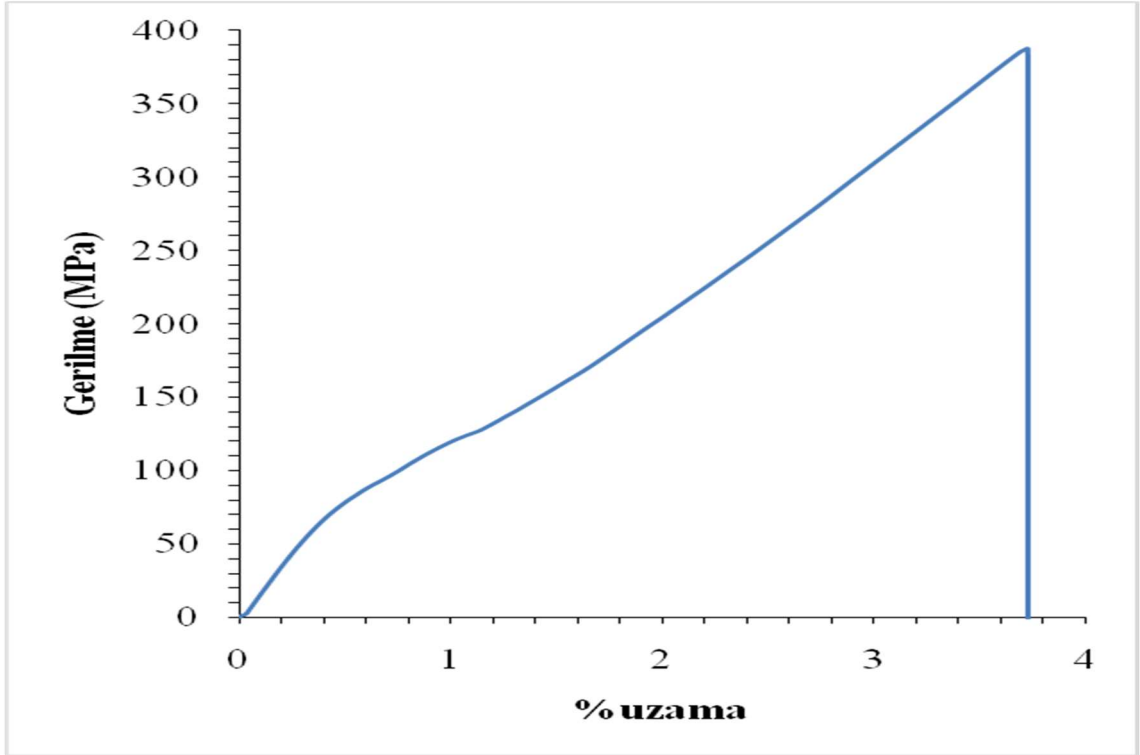
Kompozitlerin çekme testi sonrası elde edilen ortalama çekme gerilmesi değerleri Şekil 4.1. ve % uzama değerleri Şekil 4.2’de çubuk grafiği olarak verilerken her bir gruptaki bir numunenin çekme eğrileri de Şekil 4.3’de sırasıyla verilmiştir. Test sonucunda numunelerin son hali Şekil 4.4-Şekil 4.14 arasında görüntülenmektedir.



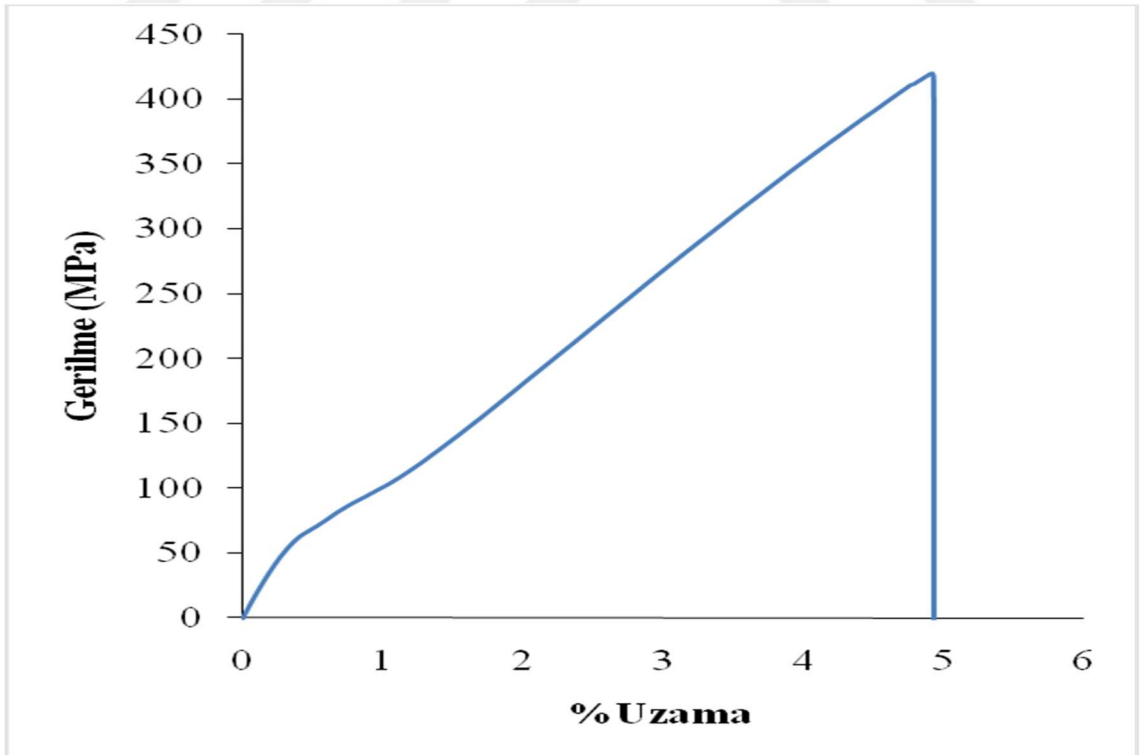
Şekil 4.1. Kompozitlere ait ortalama çekme dayanımları



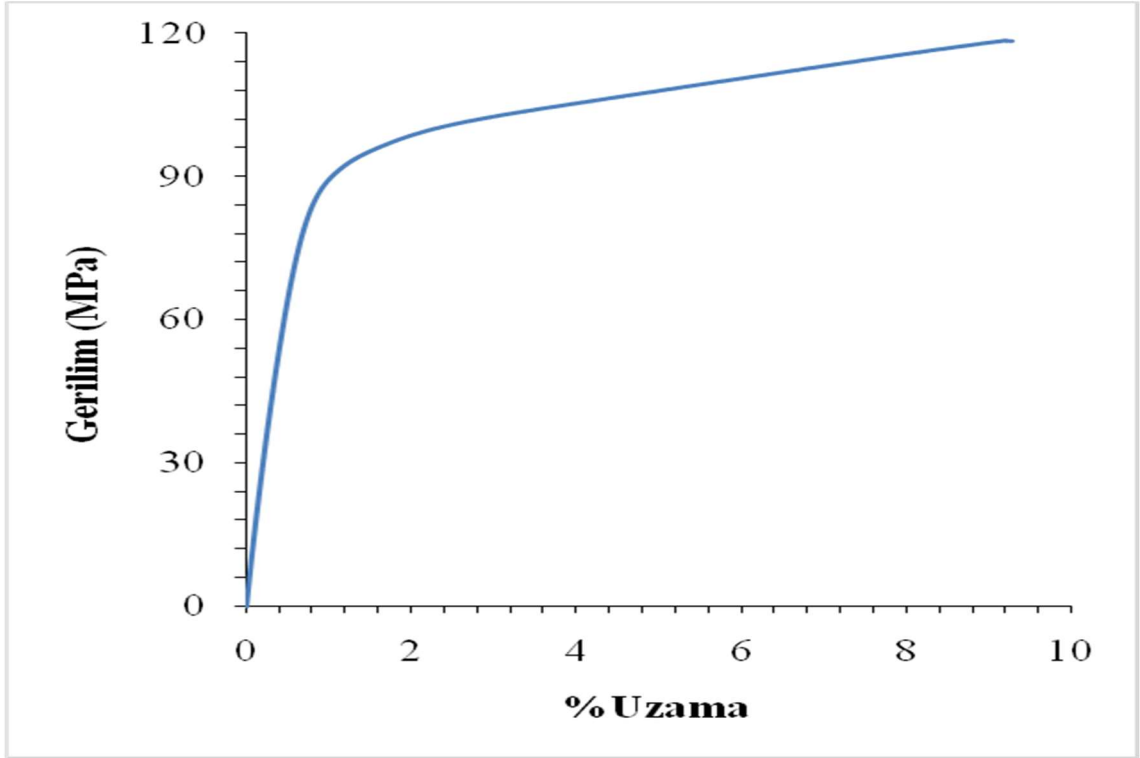
Şekil 4.2. Kompozitlere ait ortalama %uzama değerleri



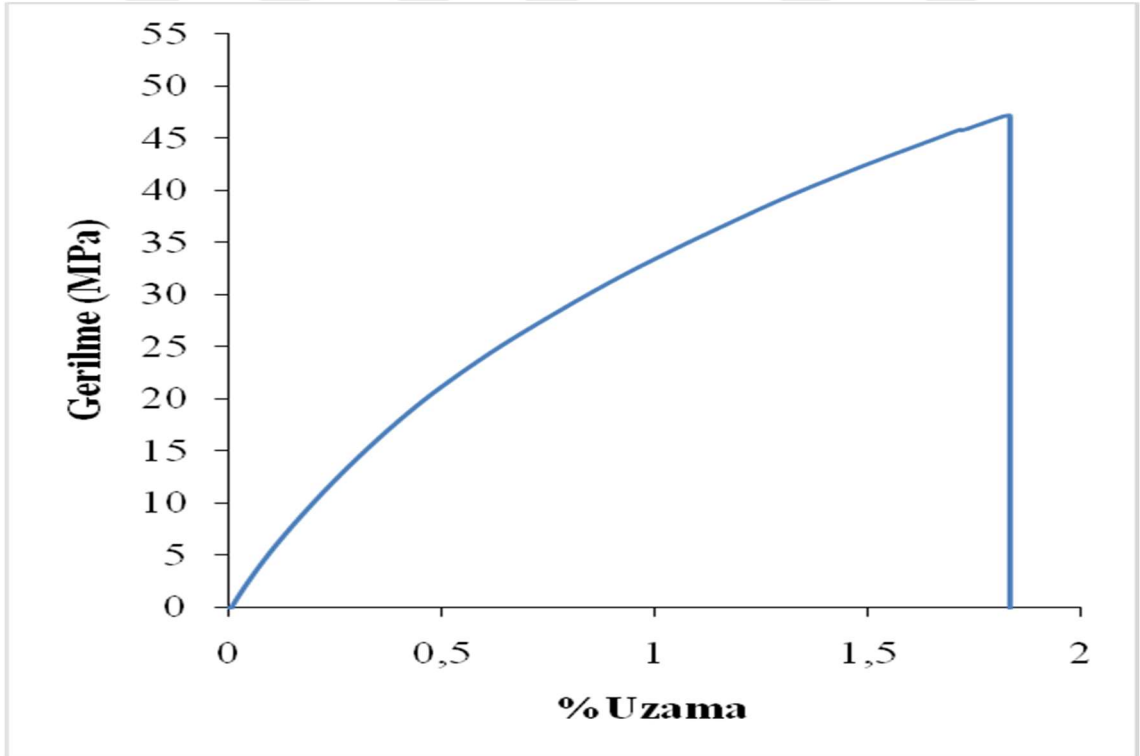
a) 1 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



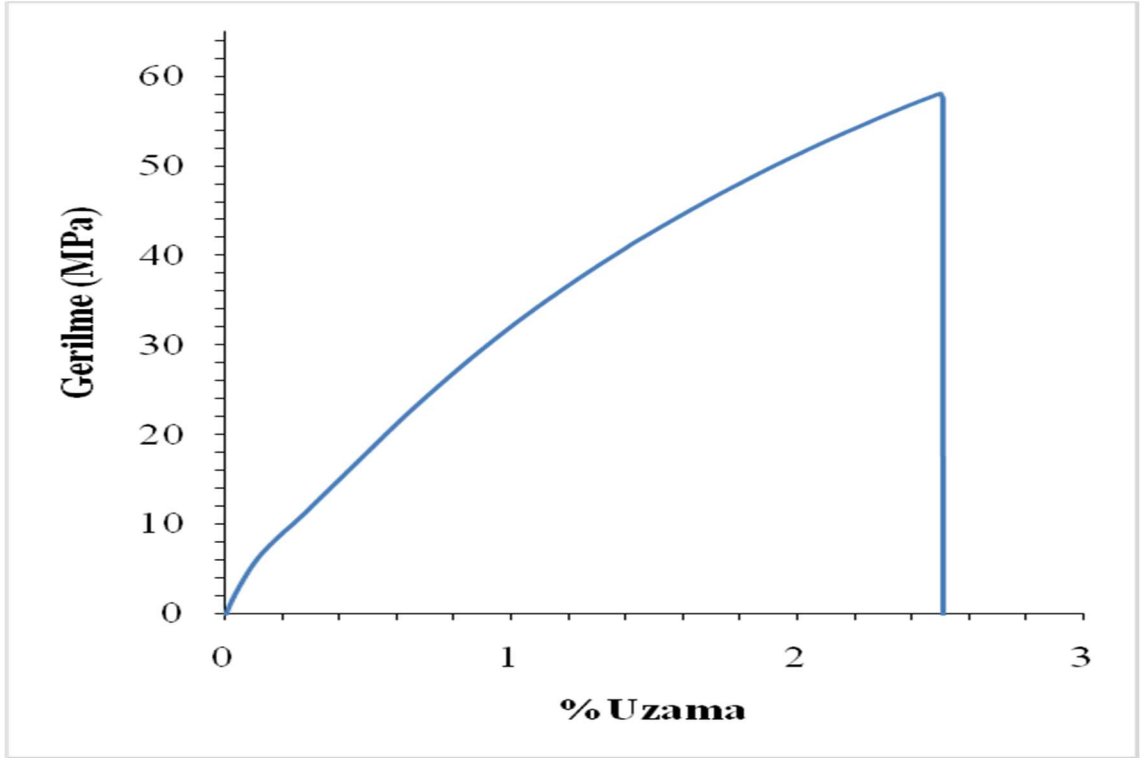
b) 2 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



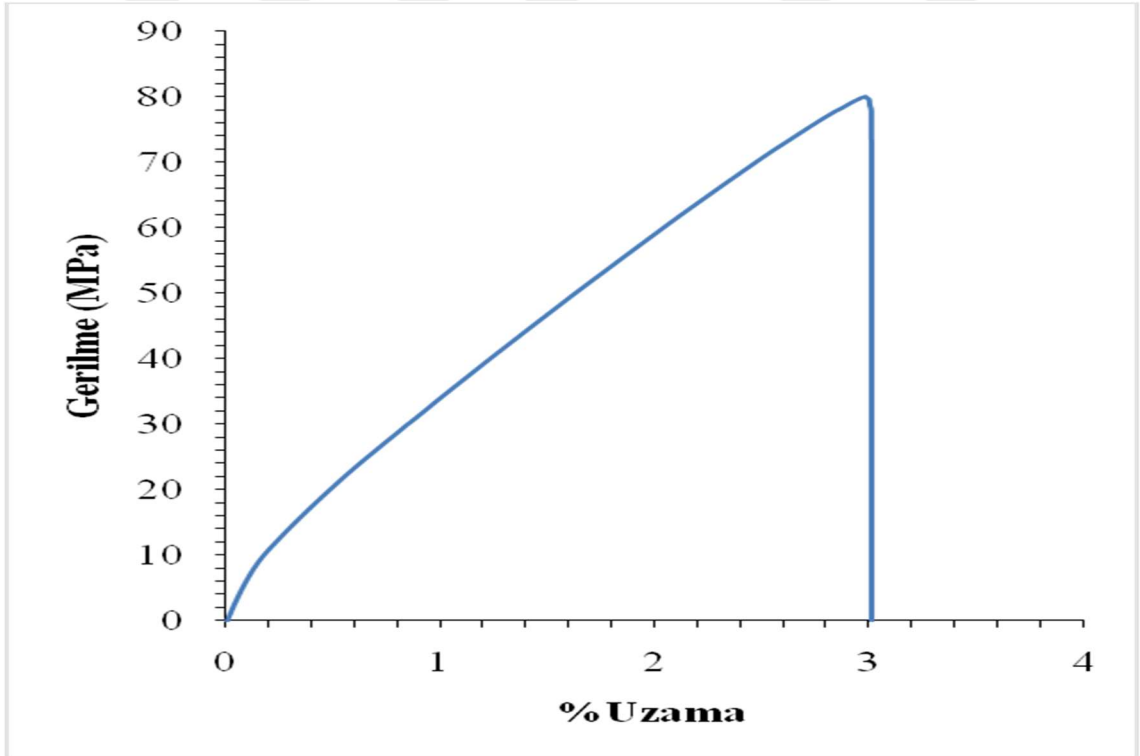
c) 3 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



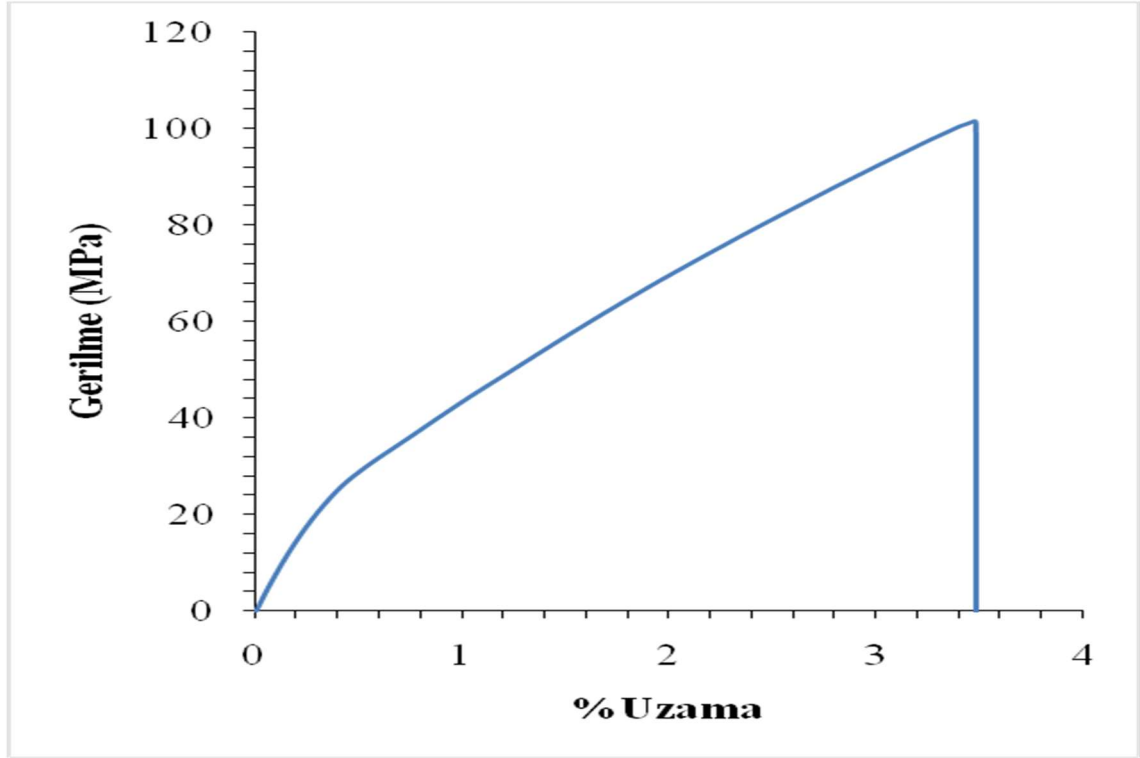
d) 4 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



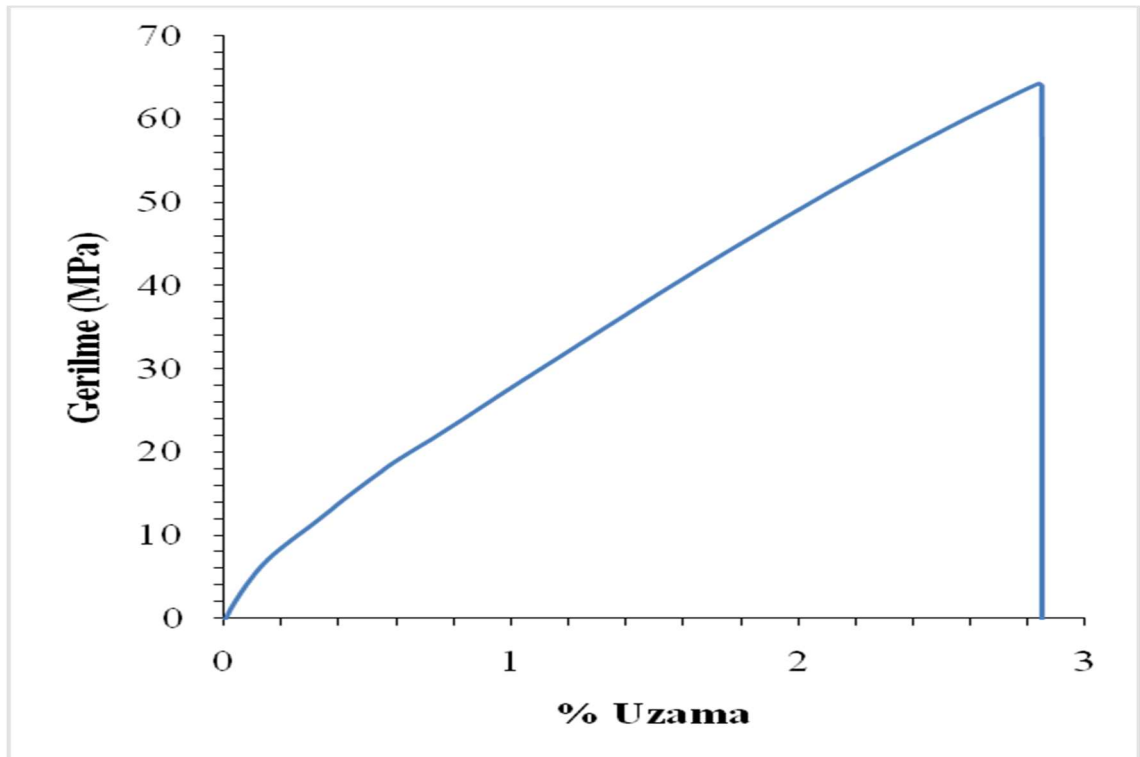
e) 5 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



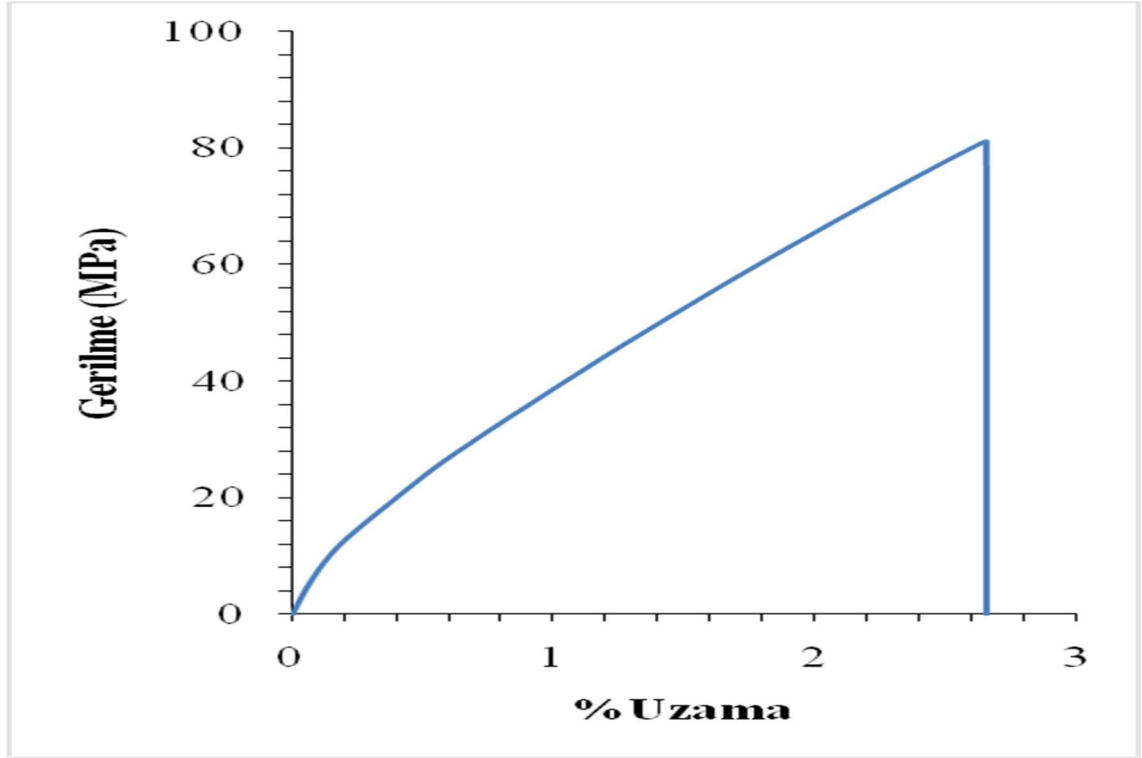
f) 6 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



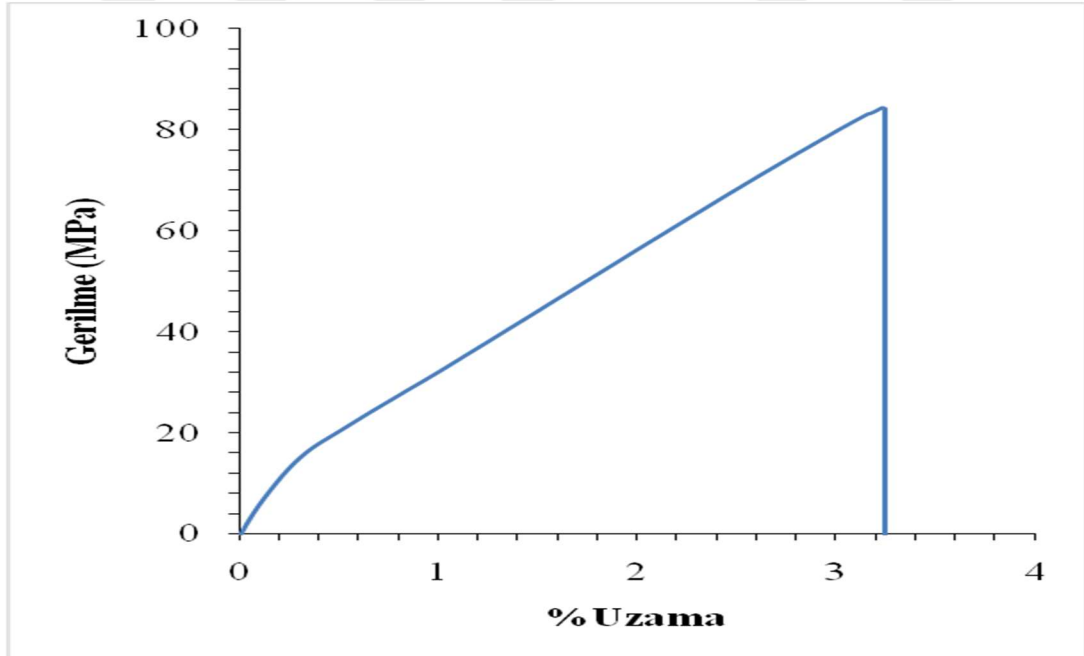
g) 7 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



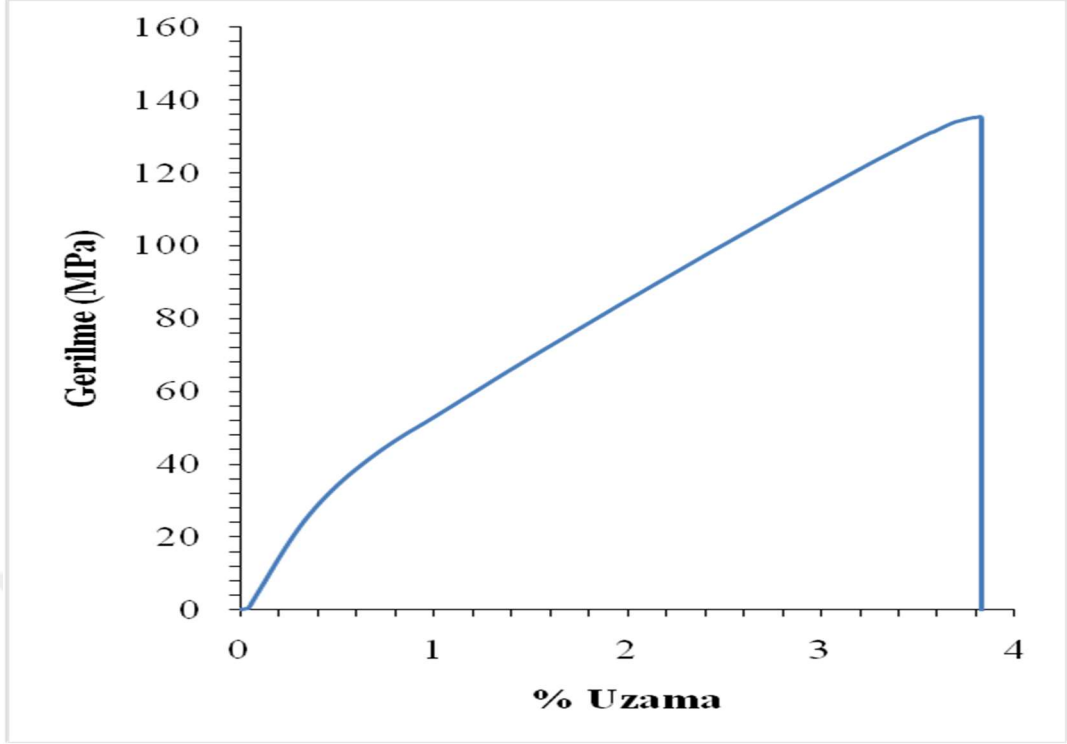
h) 8 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



i) 9 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



j) 10 no'lu numuneye ait çekme eğrisi



k) 11 no'lu numuneye ait çekme eğrisi

Şekil 4.3. a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 7, h) 8, i) 9, j) 10, k) 11 nolu numuleri temsilen verilen çekme eğrileri.

Test sonunda numune görüntüleri sırasıyla Şekil 4.4- Şekil 4.14 arasında görünmektedir.



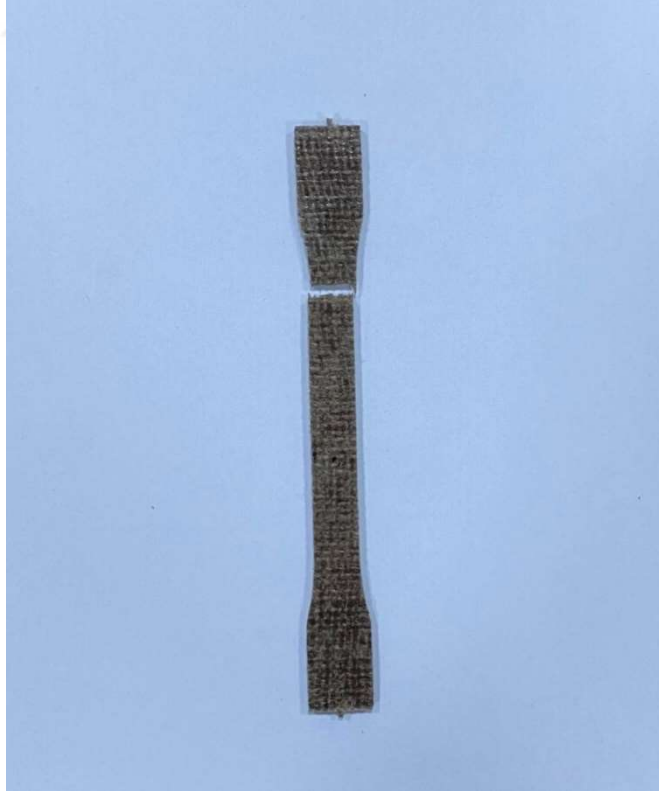
Şekil 4.4. 1 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.5. 2 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.6. 3 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.7. 4 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



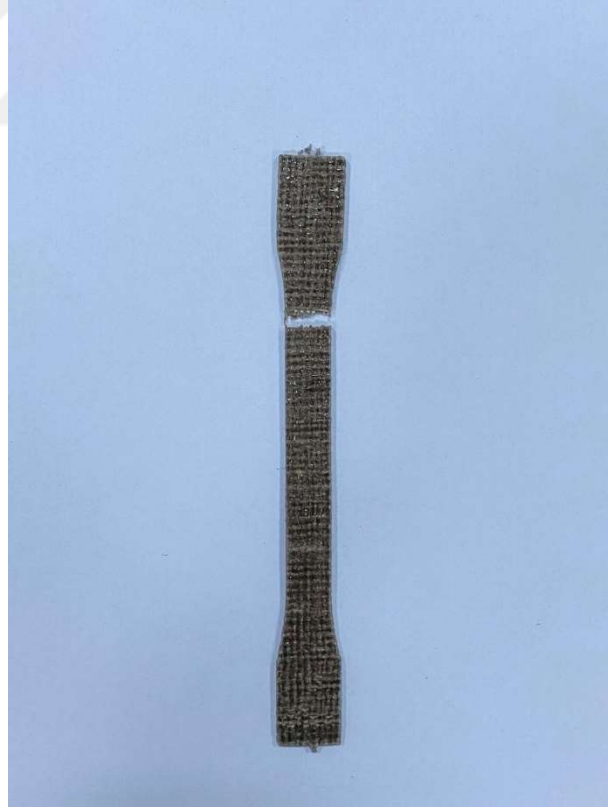
Şekil 4.8. 5 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



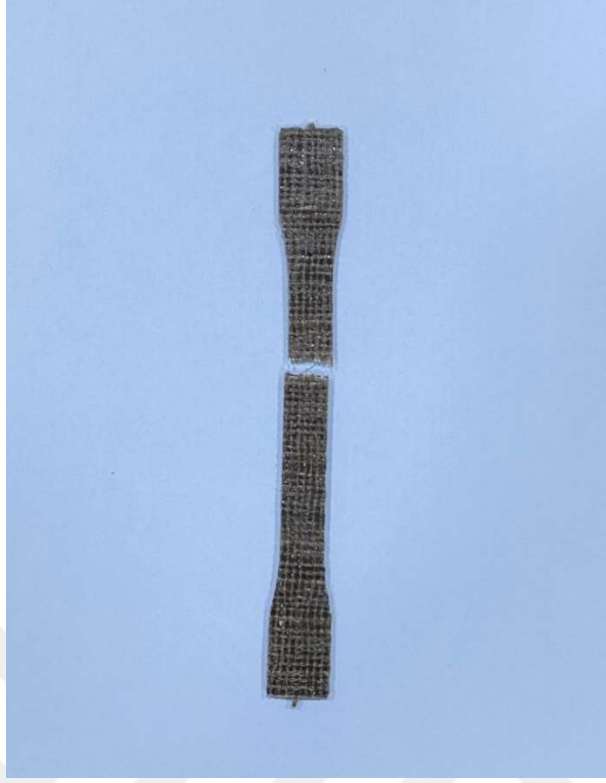
Şekil 4.9. 6 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



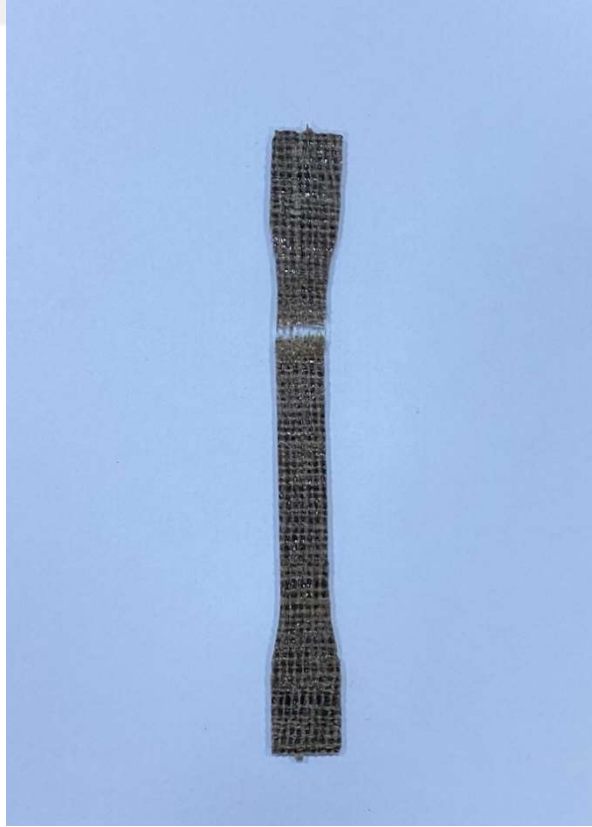
Şekil 4.10. 7 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



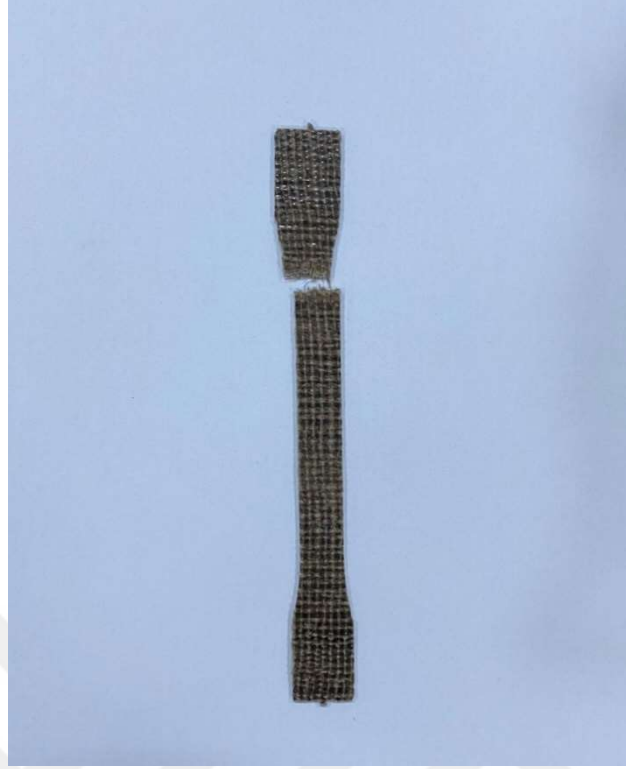
Şekil 4.11. 8 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.12. 9 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.13. 10 no'lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.14. 11 no’lu numunenin çekme testi sonrası görüntüsü

Şekil 4.1’de kompozitlerin çekme dayanımı değerlerine bakıldığında hibrit olmayan kompozitler içerisinde en yüksek çekme dayanımını bazaltın verdiği ve bunu cam, sonra çelik ve daha sonra jütün takip ettiğini görmekteyiz. Bulunan bu değerler literatür sonuçlarıyla da uyum içindedir [15-17, 21-22]. Hibrit kompozitlere bakıldığında, jüte ilave edilen gerek bazalt gerekse cam ve çelik jütün çekme dayanımlarını arttırmaktadır. Ancak, hangi ilavenin daha etkili olduğuna baktığımızda en etkili takviyenin bazalt olduğu görülmektedir. Hibrit olmayan durumda en yüksek mukavemet değerini sergileyen bazalt jütle hibrit kompozit yaptığında doğal olarak jütle beraber mukavemet artışına yol açmaktadır. Cam elyaf dokuma ve çelik dokuma jütle beraber mukavemet artışına katkısı sağlasa da, cam elyafın bazalttan sonra en iyi değeri verdiği görülmektedir. En az katkı sağlayan dokumanın ise çelik dokuma olduğunu görmekteyiz. Yine bu durum, hibrit olmayan durumdaki mukavemet değerleri göz önüne alındığında, bu sonuçların da gayet makul ve beklenen sonuçlar olduğu görülecektir.

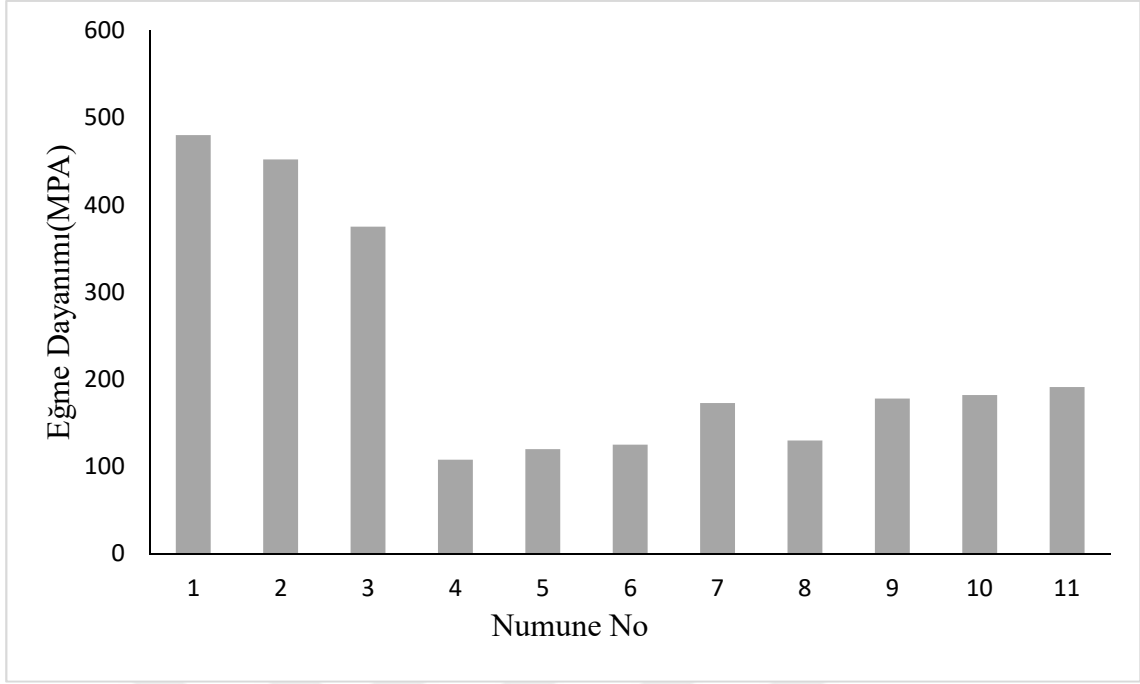
Şekil 4.2’de kompozitlerin yüzde uzama değerlerine bakıldığında hibrit olmayan kompozitler içerisinde en yüksek uzamayı çeliğin verdiği, bunu bazalt, cam ve daha sonra jütün takip ettiğini görmekteyiz. Hibrit kompozitlere bakıldığında, jüte ilave edilen gerek bazalt gerekse cam ve çelik, jütün uzama değerlerini arttırmaktadır. Ancak, hangi ilavenin daha etkili olduğuna baktığımızda en etkili takviyenin bazalt olduğu görülmektedir. Hibrit olmayan durumda en yüksek uzama değerini sergileyen çeliğin jütle hibrit kompozit yaptığında uzama değerinde belirli bir artışa

sebepler olsa da beklenilen oranda ya da çeliğin hibrit olmayan durumundaki yüksek artışı jütlerle beraber sergileyemediği görülmektedir. Bu durum çelik lif kalınlığının bazalt ve cama göre daha düşük olması ve metalik özelliğinden dolayı epoksi matris ve jüt ile bazalt ve cama göre yeterli bağlanmaya sahip olmaması ile ilişkilendirilmektedir (bu durum tokluk deneyi sonrası alınan SEM görüntülerinde açık bir şekilde görülmektedir) [25-27]. Bazaltın cam'a göre jüt'ün sürekliliğini arttırmada daha etkili olmasının gerekçesine bakıldığında, Şekil 4.2'de görüleceği gibi hibrit olmayan durumda da bazalt cam elyafa göre daha yüksek sünekliğe sahip olup, bu yükseklik kendisini hibrit durumda da devam ettirmiştir. Cam elyafa göre yüksek süneklik bazaltın cam elyafa göre daha yüksek alan ağırlığı ile ilişkilendirilmektedir.

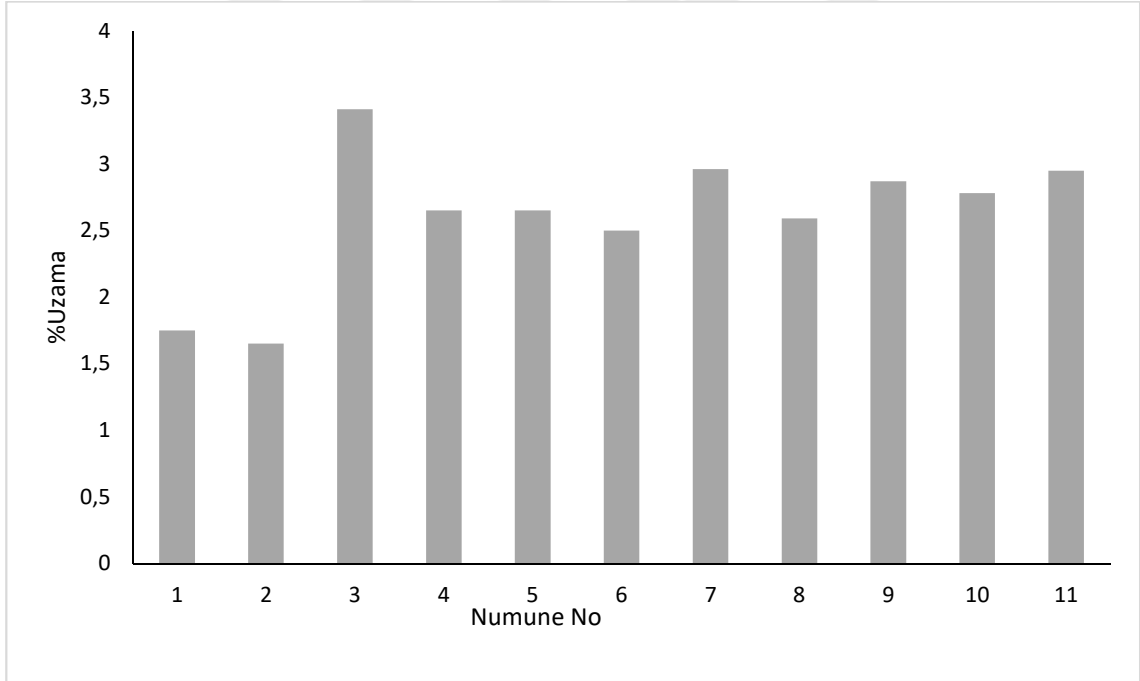
4.2. Eğme Test Sonuçları

Yapılan eğme test sonuçlarında elde edilen eğme dayanımı ve yüzde uzama ortalama değerler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de verilmiştir. Yine bu test sonucunda elde edilen gerilim-uzama (%) grafikleri Şekil 4.17'de verilmiştir. Test sonunda numuneler ait görüntüler Şekil 4.18-Şekil 4.28'de verilmiştir. Kompozitlerin eğme dayanımı değerlerine bakıldığında hibrit olmayan kompozitler içerisinde en yüksek eğme dayanımını camın verdiği ve bunu bazalt, sonra çelik ve daha sonra jütün takip ettiğini görmekteyiz. Bulunan bu değerler literatür sonuçlarıyla da uyum içindedir[47-49,51]. Hibrit kompozitlere bakıldığında, jüte ilave edilen gerek cam gerekse bazalt ve çelik jütün eğme dayanımını arttırmaktadır. Ancak, hangi ilavenin daha etkili olduğuna baktığımızda en etkili takviyenin cam ve bazalt olduğu görülmektedir. Hibrit olmayan durumda eğme mukavemeti değerleri jütten yüksek olan fiberlerin jütle hibrit kompozit yaptığı doğal olarak mukavemet artışına ol açmaktadır. Hibrit olmayan durumdaki mukavemet değerleri göz önüne alındığında, bu sonuçların da gayet makul sonuçlar olduğu görülecektir.

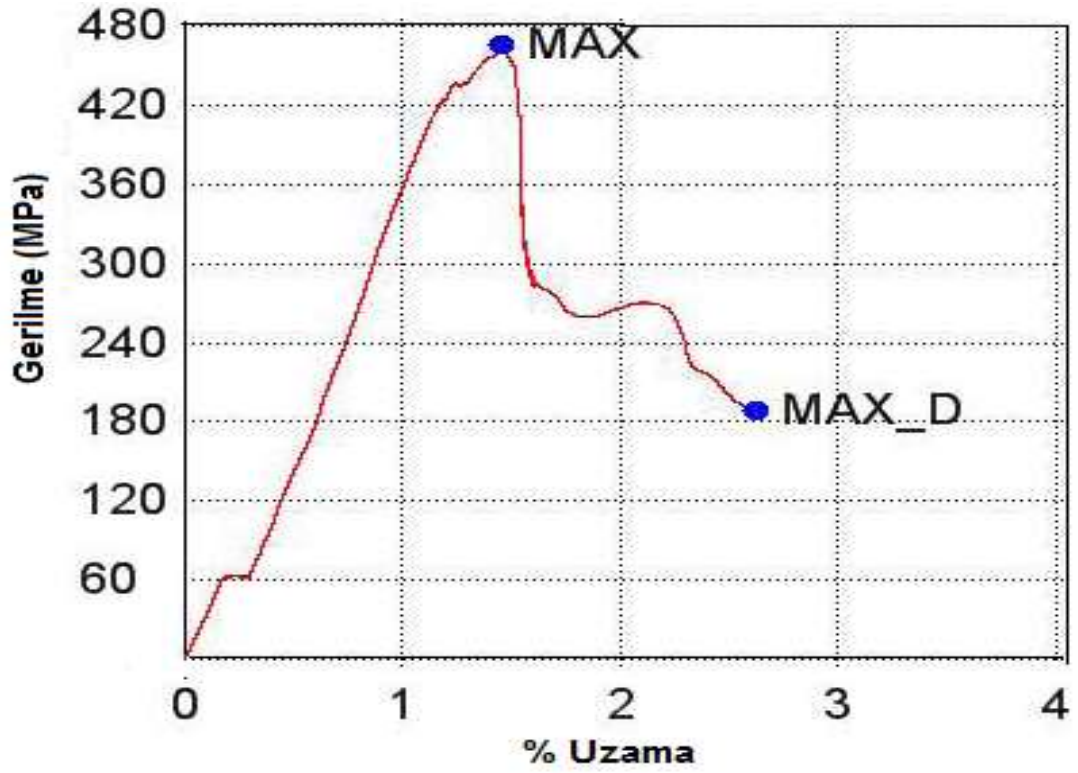
Üretilen kompozitlerin eğmede ortalama yüzde uzama değerlerine bakıldığında, hibrit olmayan kompozitler içerisinde en yüksek uzamayı çeliğin verdiği, bunu jüt, bazalt ve cam'ın takip ettiğini görmekteyiz. Eğme sonuçları genel olarak literatürle uyumlu olmakla beraber, çalışılan hibrit kompozitler açısından bakıldığında bu türden hibritlemeye ait eğme sonuçları ilk defa bu tez çalışmasıyla ortaya konulmuştur.



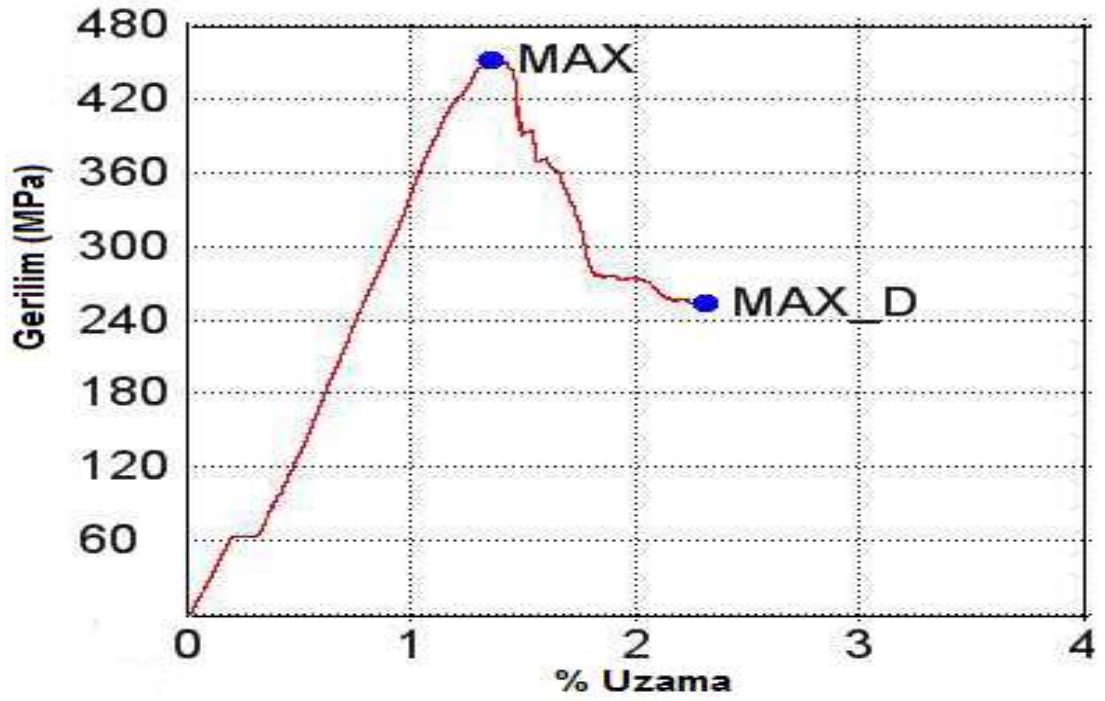
Şekil 4.15.Kompozitlere ait ortalama eğme dayanımları



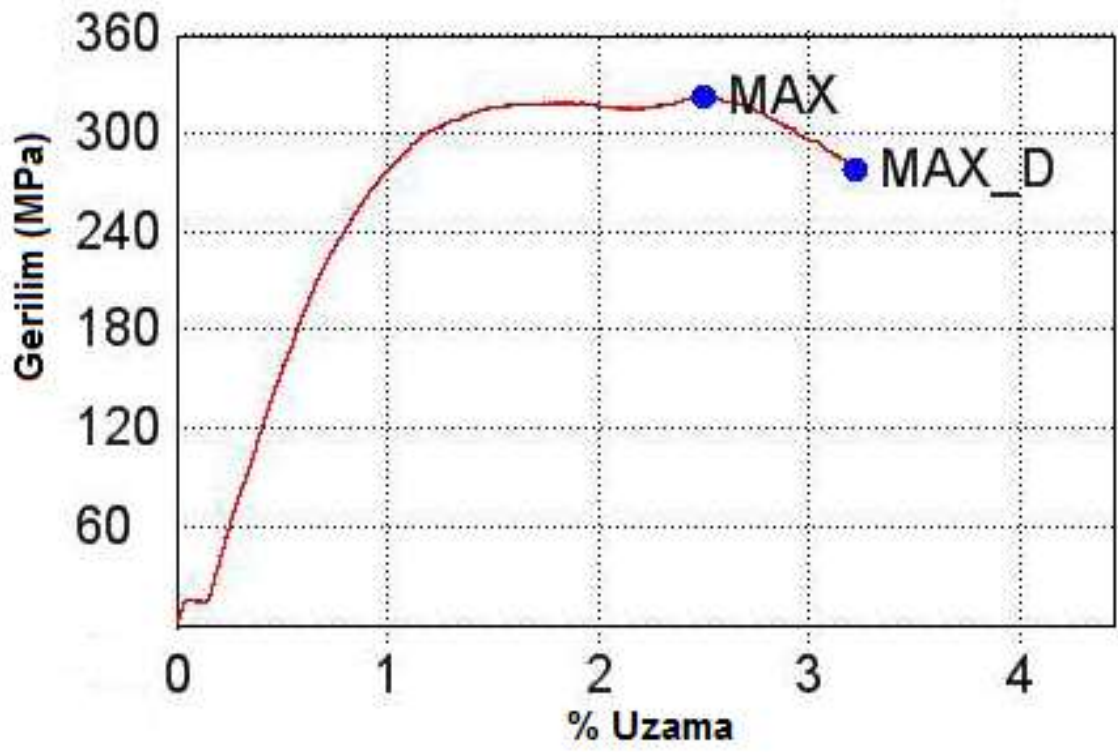
Şekil 4.16.Kompozitlere ait eğmede ortalama uzama (%) değerleri



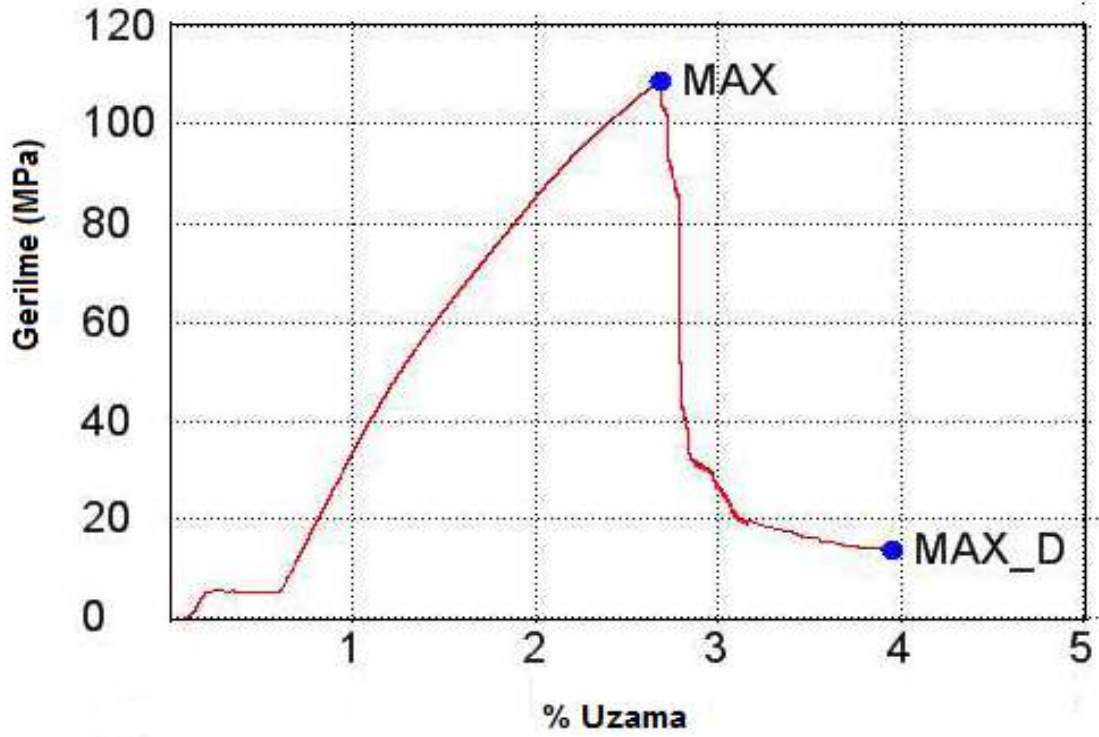
a) 1 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



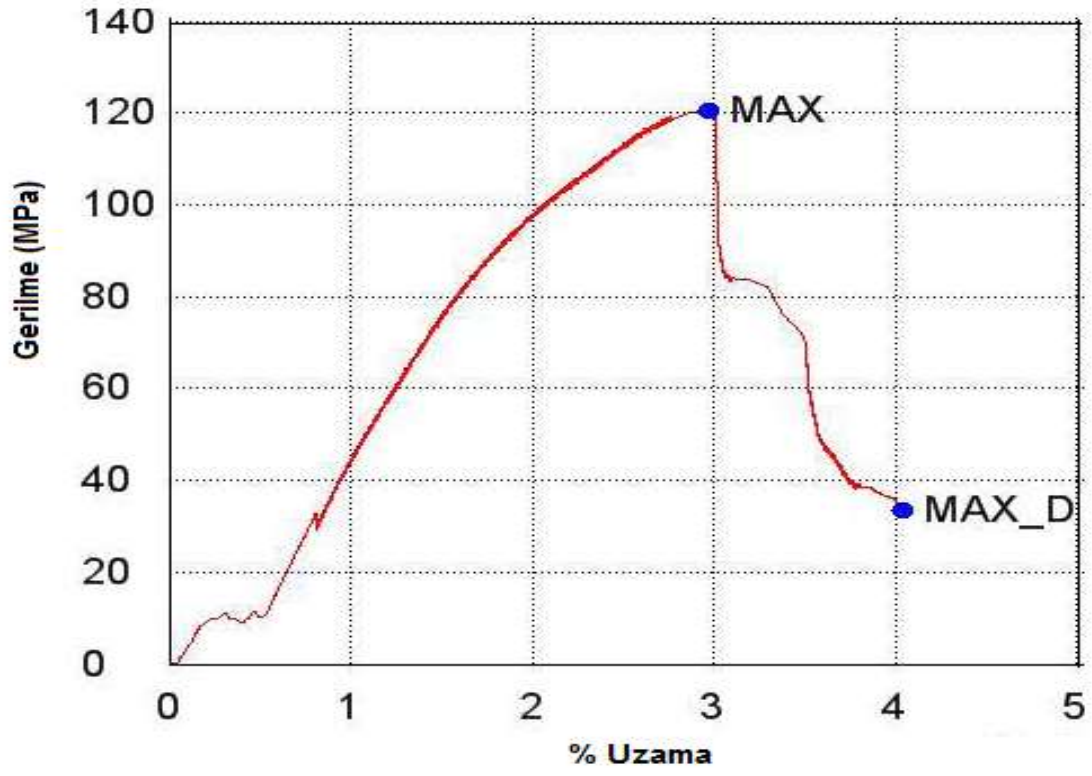
b) 2 numuneye ait eğme eğrisi



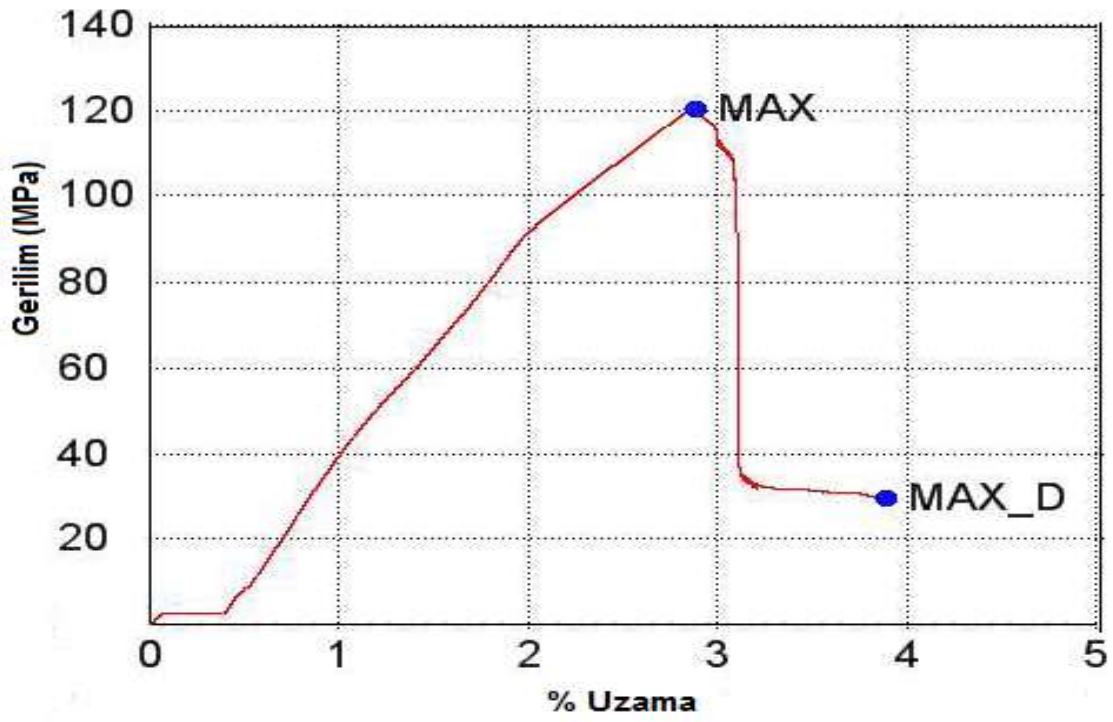
c) 3 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



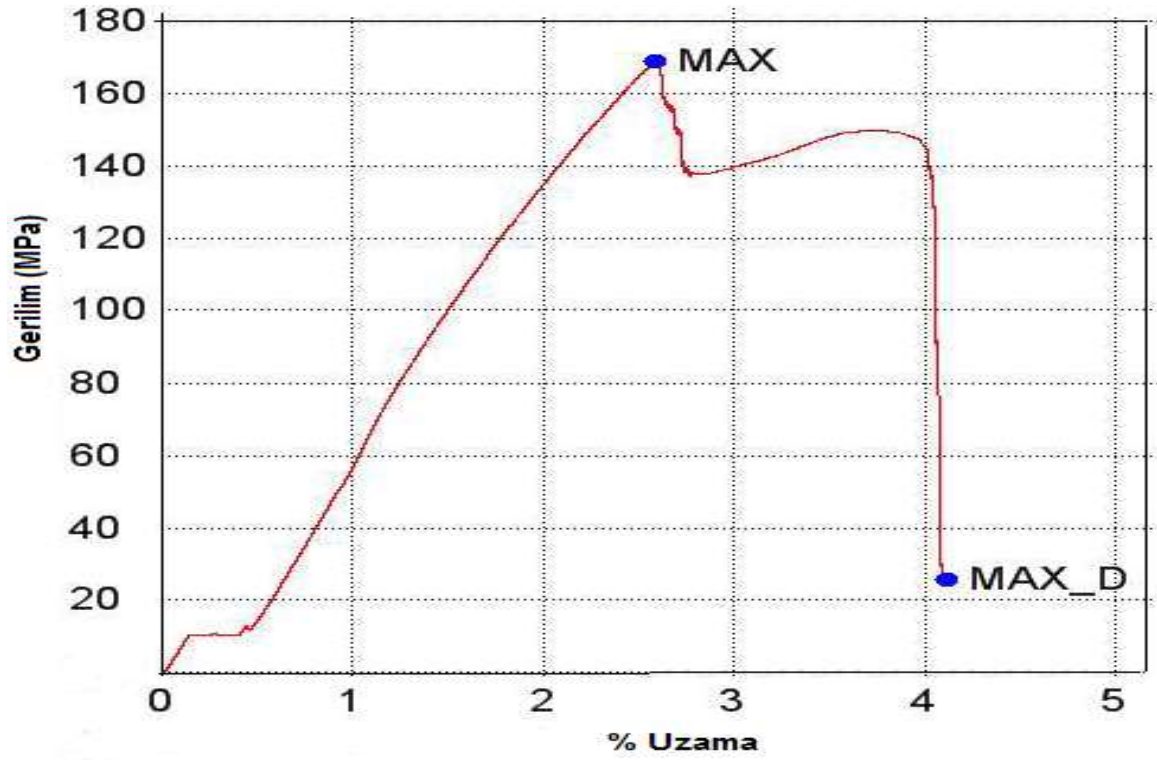
d) 4 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



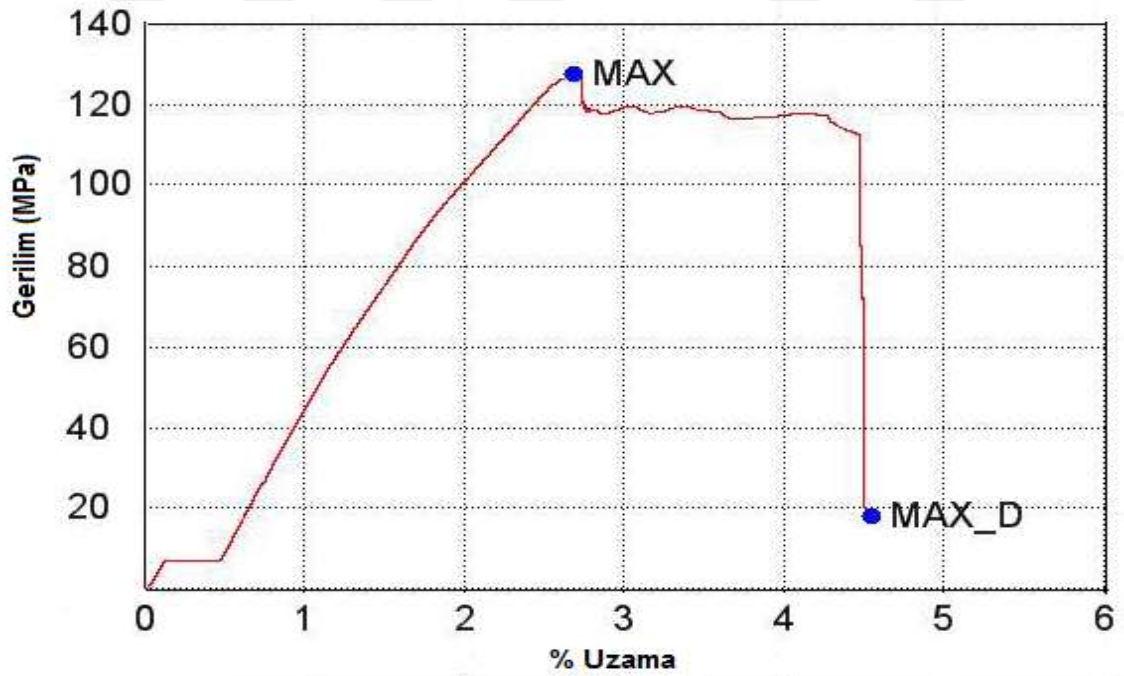
e) 5 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



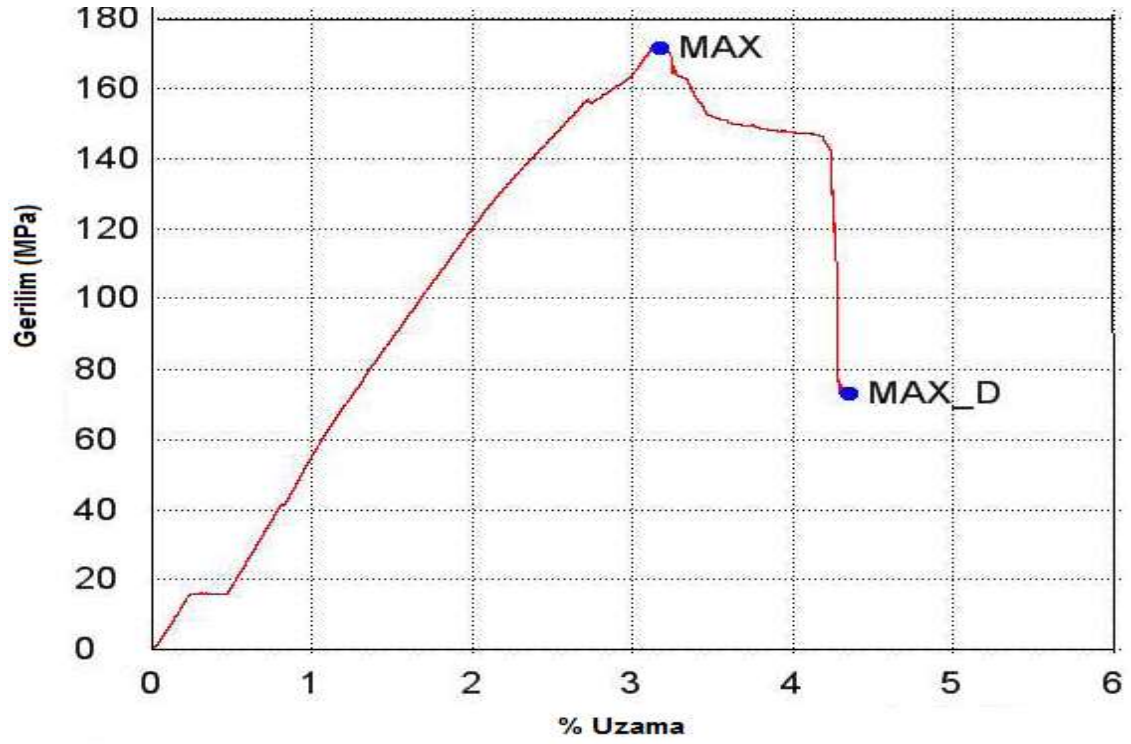
f) 6 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



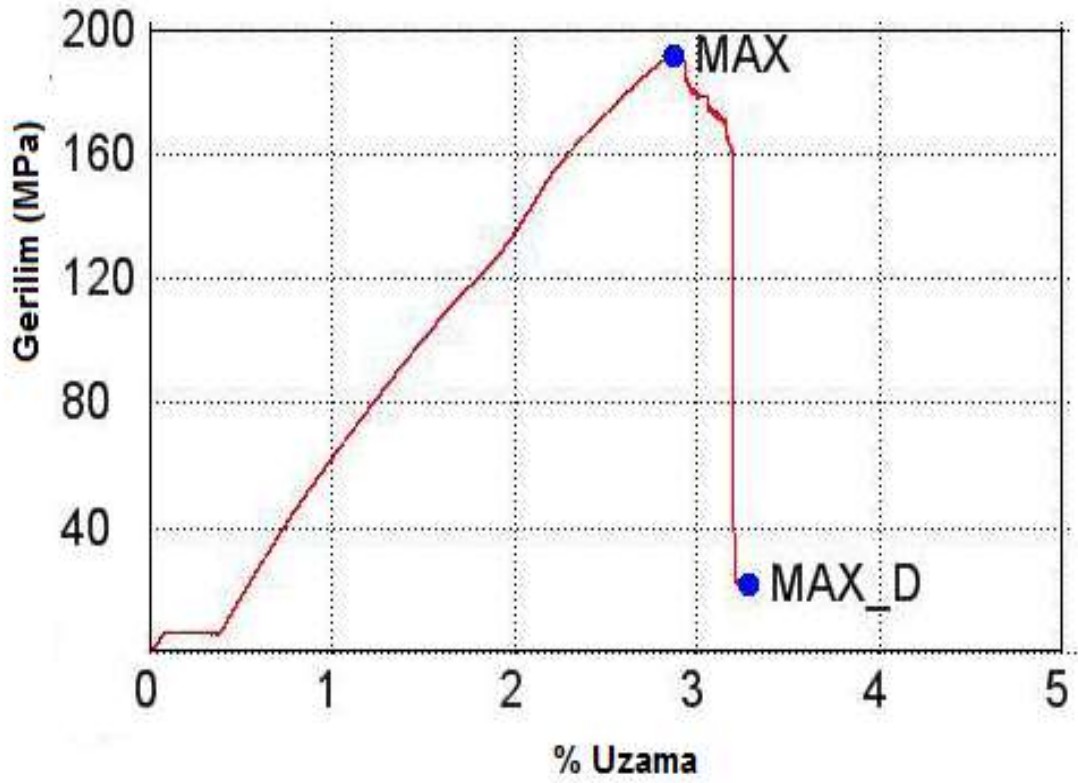
g) 7 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



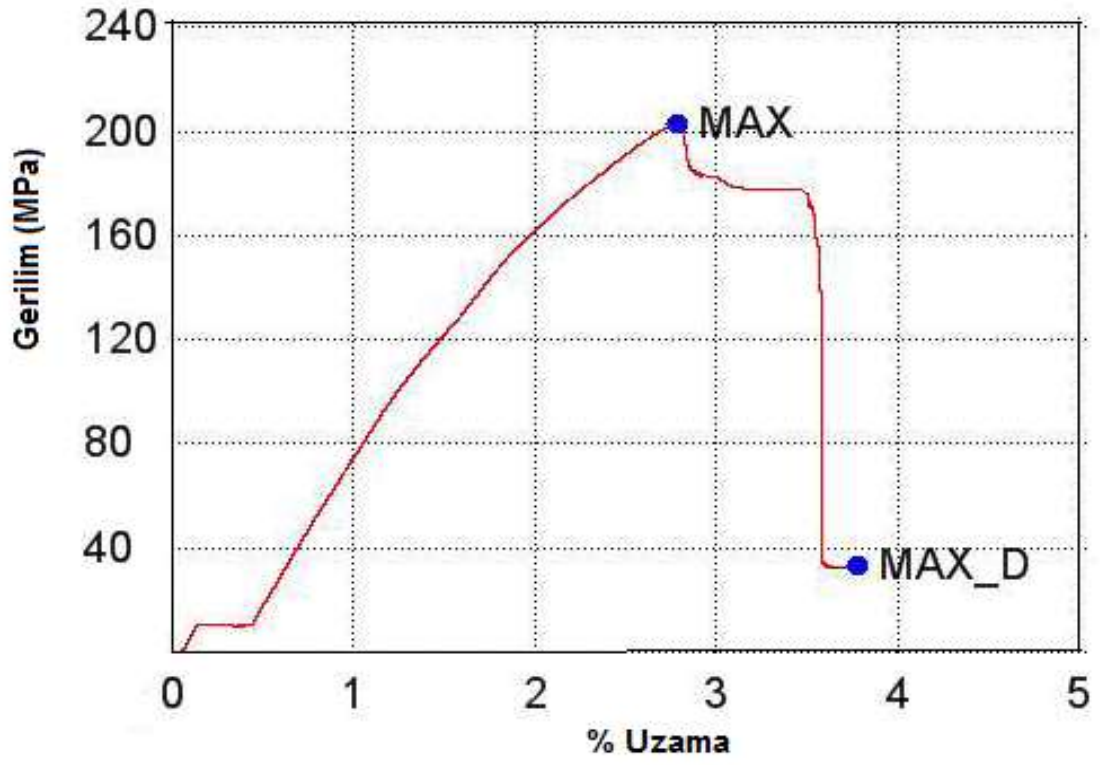
h) 8 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



i) 9 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



j) 10 no'lu numuneye ait eğme eğrisi



k) 11 no'lu numuneye ait eğme eğrisi

Şekil 4.17. a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 7, h) 8, i) 9, j) 10, k) 11 nolu numuleri temsilen verilen eğme eğrileri.

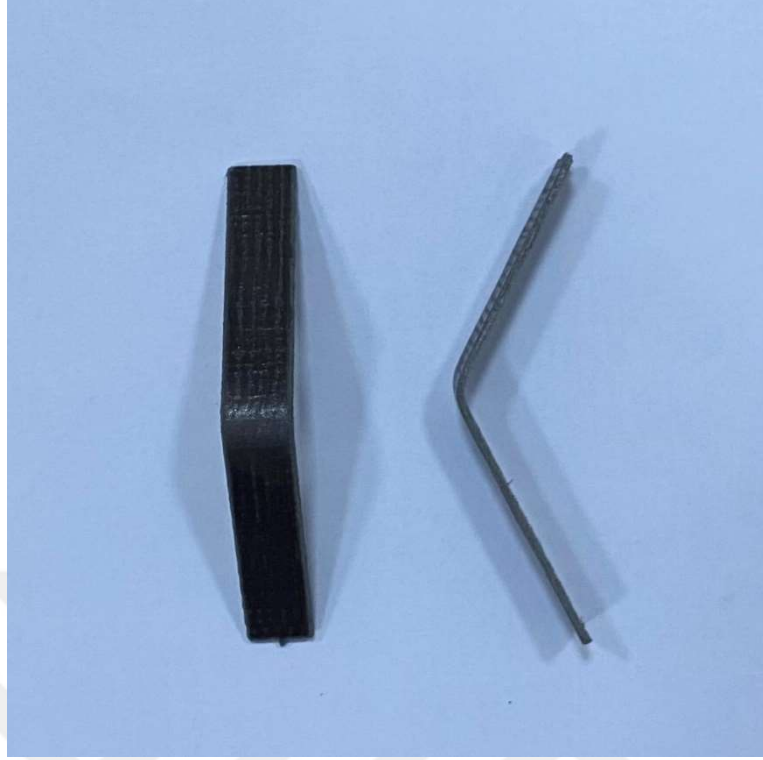
Yapılan eğme testi sonunda numunelerin son hali Şekil 4.18- Şekil 4.28 arasında görüntülenmektedir.



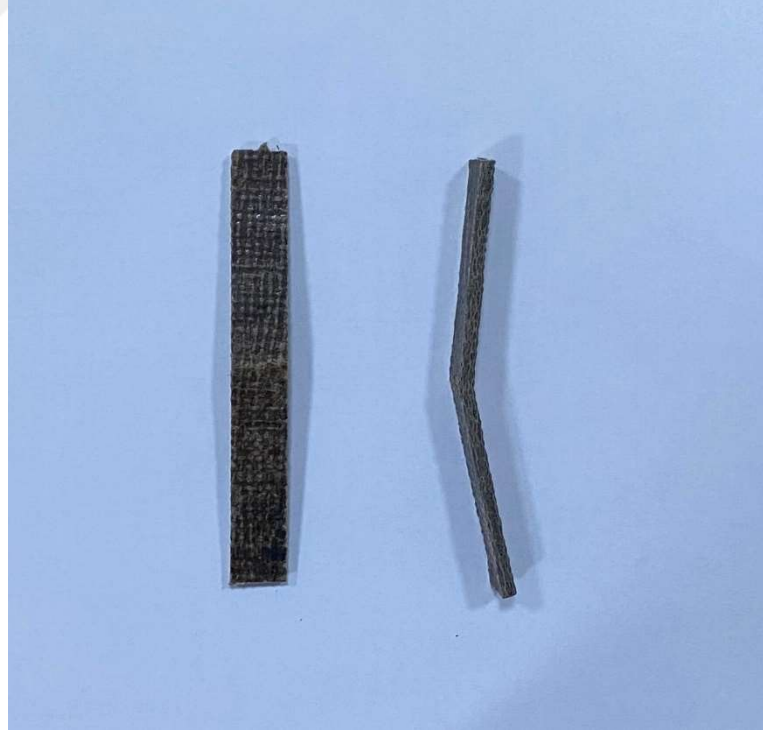
Şekil 4.18. 1 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



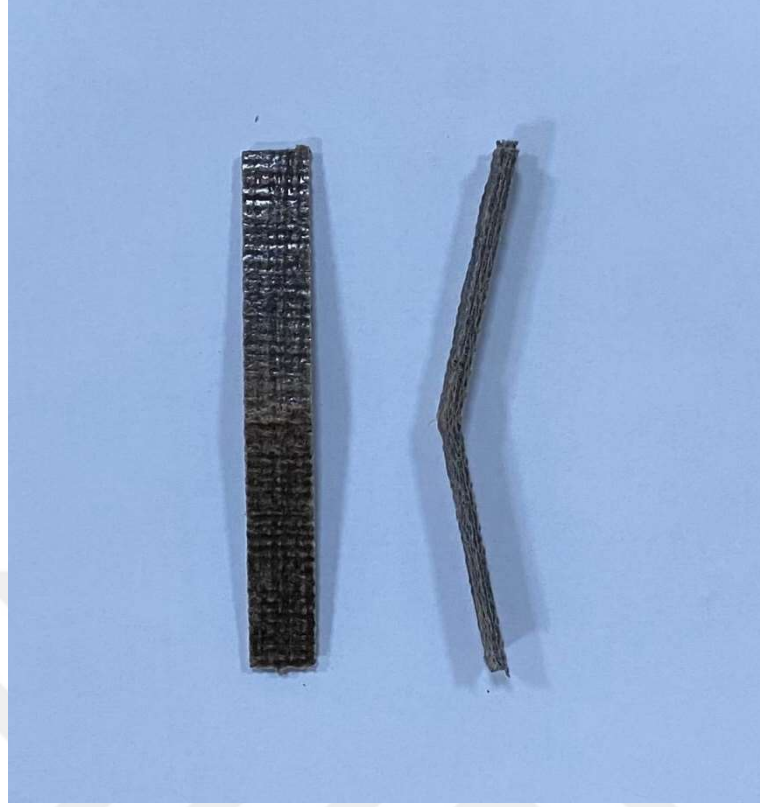
Şekil 4.19. 2 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.20. 3 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.21. 4 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.22. 5 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.23. 6 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.24. 7 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



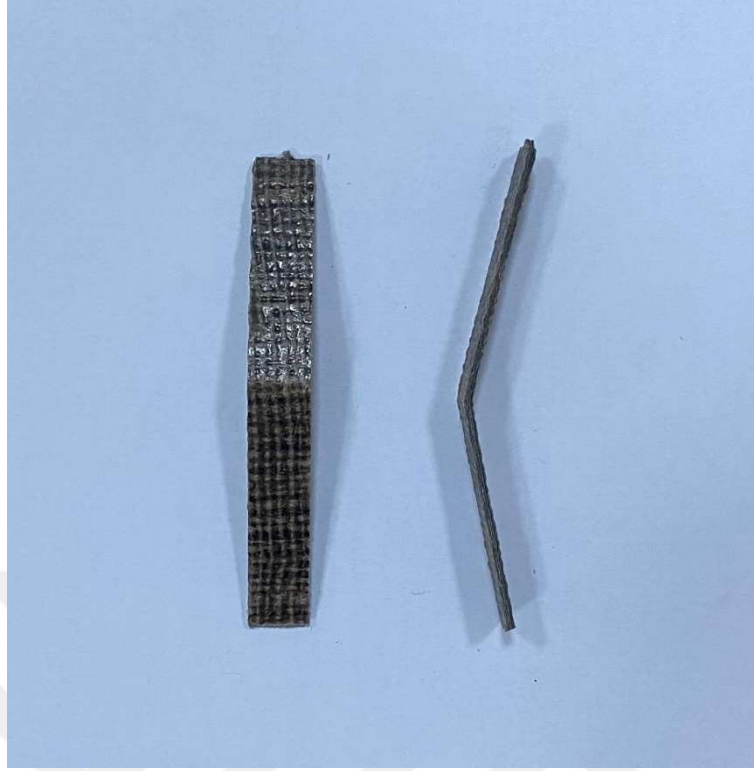
Şekil 4.25. 8 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.26. 9 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.27. 10 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.28. 11 no'lu numunenin eğme testi sonrası görüntüsü

4.3. Charpy Tokluk Testi Sonuçları

Yapılan Charpy testi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 4.1, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir. Verilen bu tablo ve şekillerden de görüleceği gibi hibrit olmayan kompozitlerde en yüksek tokluğu çelik fiberler göstermiş olup, onu bazalt, cam ve jüt takip etmiştir. Bu durum makul bir sonuç olup, lif özellikleriyle direkt ilgilidir. Oldukça iyi bilindiği üzere metalik malzemeler metal dışı malzemelere göre yüksek süneklik ve tokluk özelliklerine sahiptirler dolayısıyla bu çalışmada en yüksek tokluk değerleri paslanmaz çelik elekle elde edilmiştir [29, 30]. Paslanmaz çelikten sonra yüksek tokluk değerleri bazalt dokumada elde edilmiş olup, bu durum bazaltın sahip olduğu yüksek mekanik değerlerle ilişkilendirmektedir [35]. En düşük tokluk değerleri jüt dokumada elde edilmiş olup, yine bu durum jütün doğası ve sahip olduğu düşük mekanik özelliklerle ilişkilendirilmektedir [6-9]. Hibrit olmayan kompozitlerde çentikli ve çentiksiz olma durumundaki değerlere bakıldığında beklendiği gibi çentiksiz numunelerin çentikli numunelere göre daha düşüktür. Bu durum numunenin kırılma şekliyle ilişkilidir. Çentikli numunelerin kenarı kırıcı çekice gelecek şekilde konulurken, çentiksiz numuneler düz olarak konulmaktadır. Bu ise kenar durumu için çatlak başlaması ve ilerlemesi için daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmasıyla izah edilmektedir [61-63]

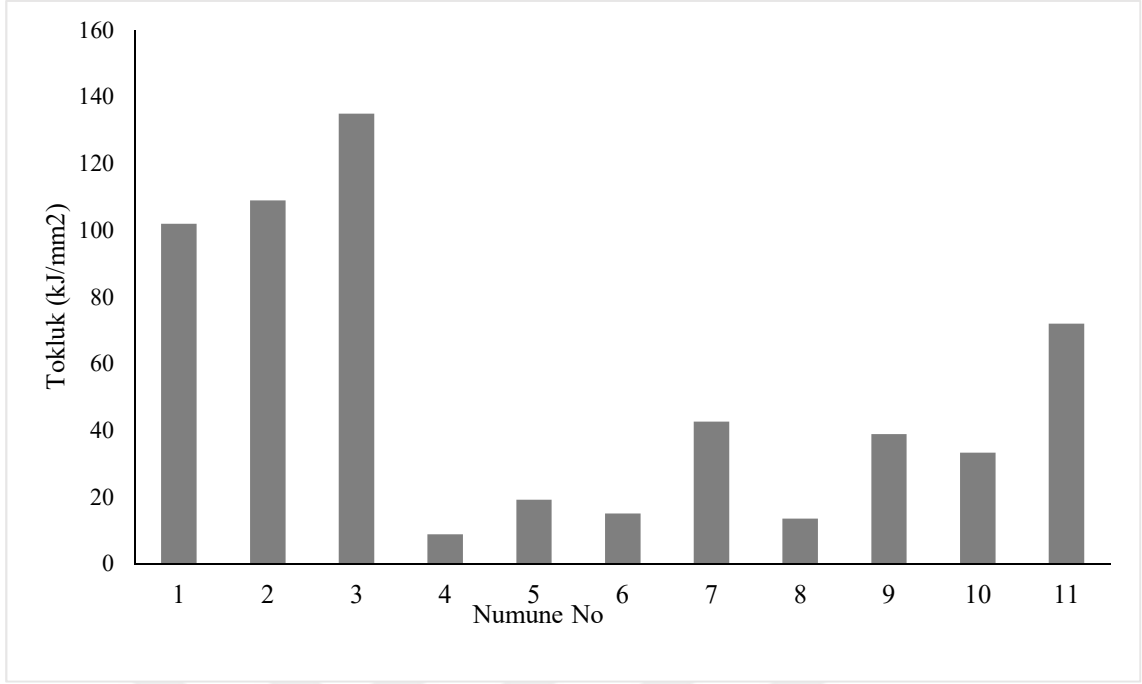
Hibrit kompozitlerin tokluklarına bakıldığında, hibrit olmayan fiberlerin sahip olduğu özellikler kendilerini hibrit durumunda da göstermiştir. En çok etkili olan fiber paslanmaz çelik olmuştur. Bunun gerekçesi metalik olma ve dolayısıyla deformasyon özelliğinin yüksek olmasına

bağlanmaktadır [29, 30].Yine çentikli ve çentiksiz olma durumlarına bakıldığında, hibrit olmayan kompozitlerdeki benzer etkinin hibrit olma durumunda da ortaya çıktığı görülmektedir [61-63].

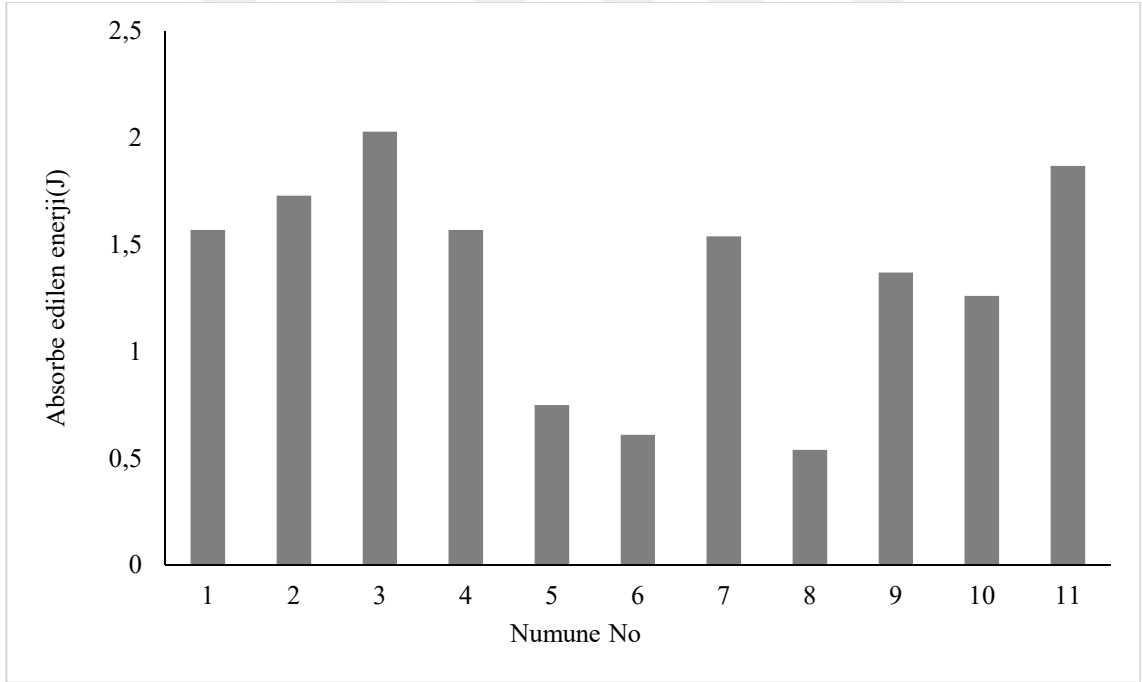
Charpy testi sonucunda numunelerin test sonrası görüntüleri Şekil 4.31-Şekil 4.41 arasında görüntülenmekte olup kırık yüzeylerden alınan SEM görüntüleri Şekli 4.42 de verilmiştir. Bu resimlerden de görüleceği gibi, paslanmaz çelik fiberler kırılırken uzama gösterirken, bazalt, cam ve jüt'ün terli uzama göstermeden kırıldıkları gayet açıktır. Dolayısıyla plastik deformasyona uğrayarak kırılan paslanmaz çeliğin tokluğunun yüksek çıkmasının gerekçesi buna bağlanmaktadır [30].

Tablo 4.1. Charpy tokluk testi sonuçları

Dizilim kısa gösterimi	Kalınlık (mm)	Çentiksiz		Çentikli	
		Absorbe edilen enerji (J)	Tokluk (kJ/mm ²)	Absorbe edilen enerji (J)	Tokluk (kJ/mm ²)
J ₈	3.71	0,27	5,798969	0,42	8,935204
B ₈	1.25	1,42	89,94142	1,73	109,2283
C ₈	1.21	1,36	88,99135	1,57	102,2971
Ç ₈	1.18	1,85	123,7141	2,03	135,5932
J6B2	3.18	0,38	9,649631	0,61	15,15377
J6C2	3.14	0,32	8,153368	0,54	13,56638
J6Ç2	3.09	0,51	13,05736	0,75	19,31555
J4B2Ç2	2.85	1,32	36,58544	1,54	42,71308
J4C2Ç2	2.78	1,13	32,0784	1,37	38,9365
J4B2C2	2.98	0,98	26,09126	1,26	33,37322
J2B2C2Ç2	2.05	1,52	58,43902	1.87	72,05685

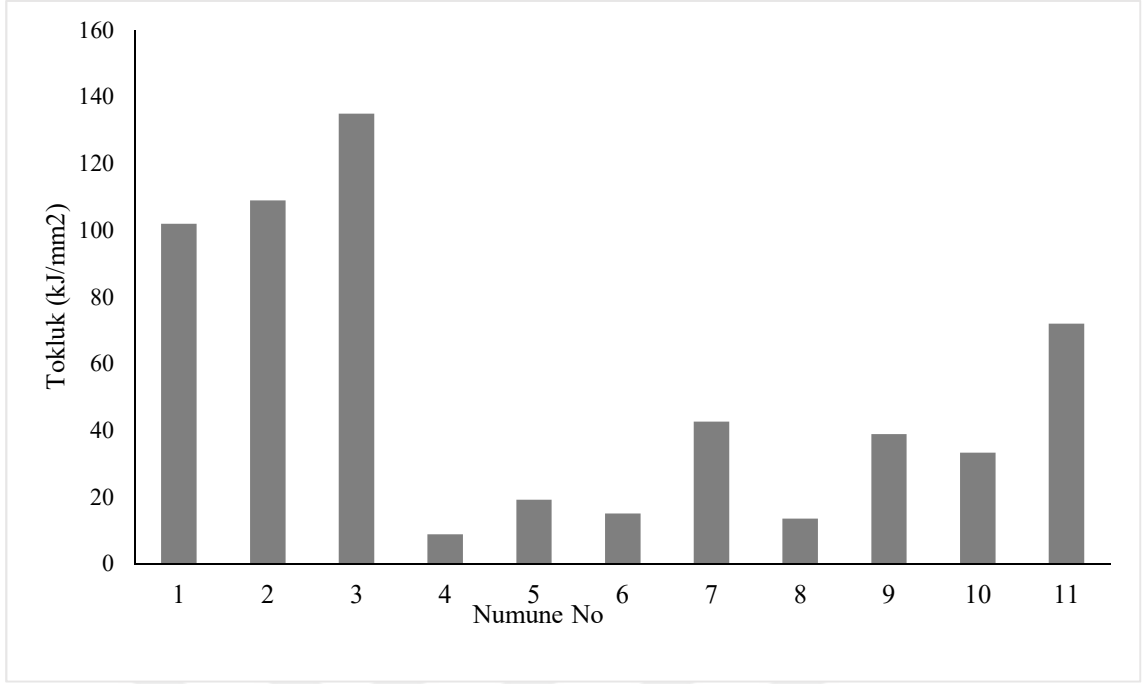


a)

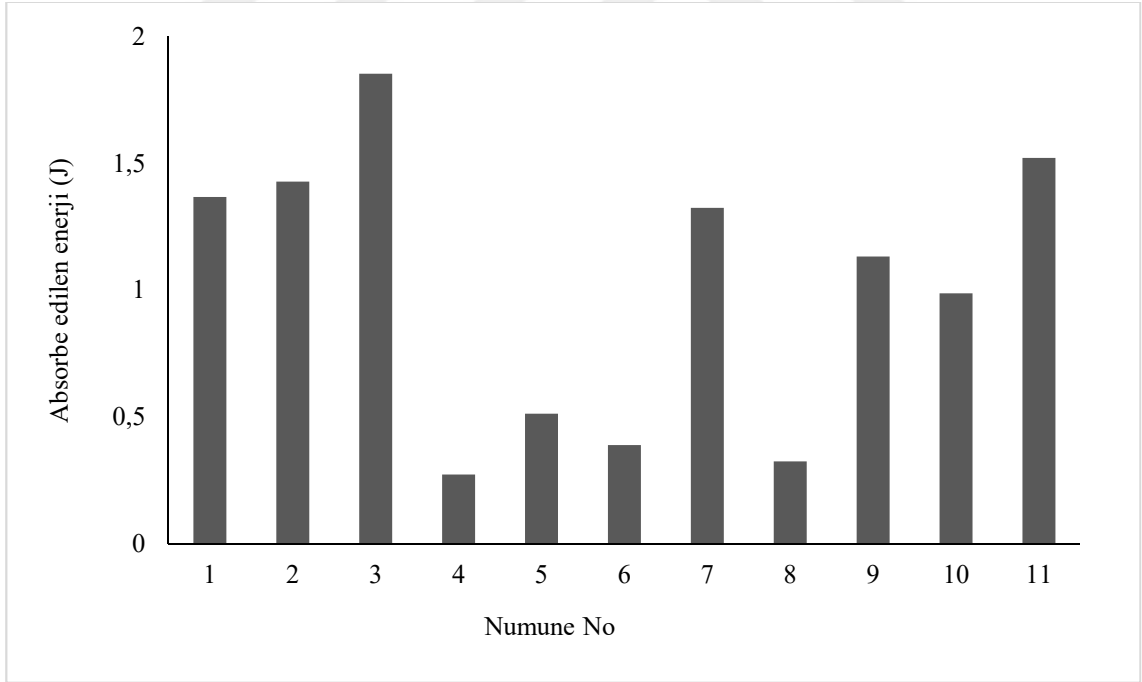


b)

Şekil 4.29. a) Çentikli numunelerin toklukları ve b) Absorbe ettikleri enerji miktarı



a)



b)

Şekil 4.30. a) Çentiksiz numunelerin toklukları ve b) Absorbe ettikleri enerji miktarı

Test sonucunda numunelerin son hali Şekil 4.31-Şekil 4.41 arasında görünmektedir.



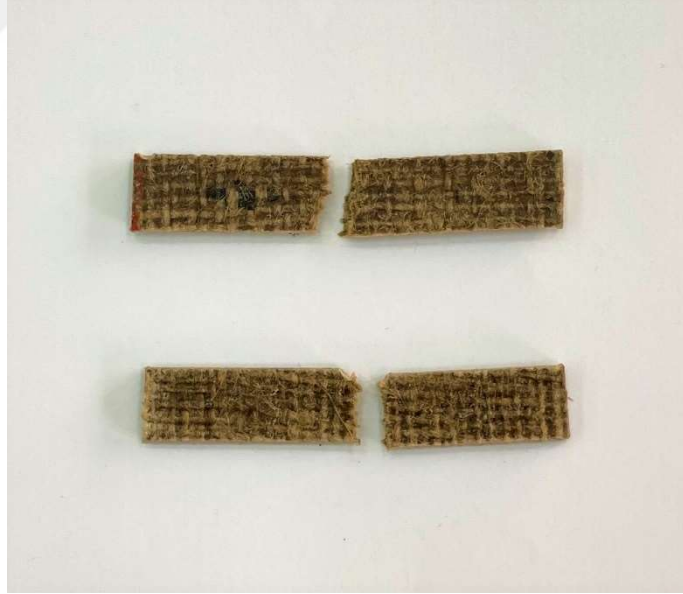
Şekil 4.31. 1 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.32. 2 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.33. 3 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.34. 4 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.35. 5 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.36. 6 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.37. 7 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.38. 8 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.39. 9 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü

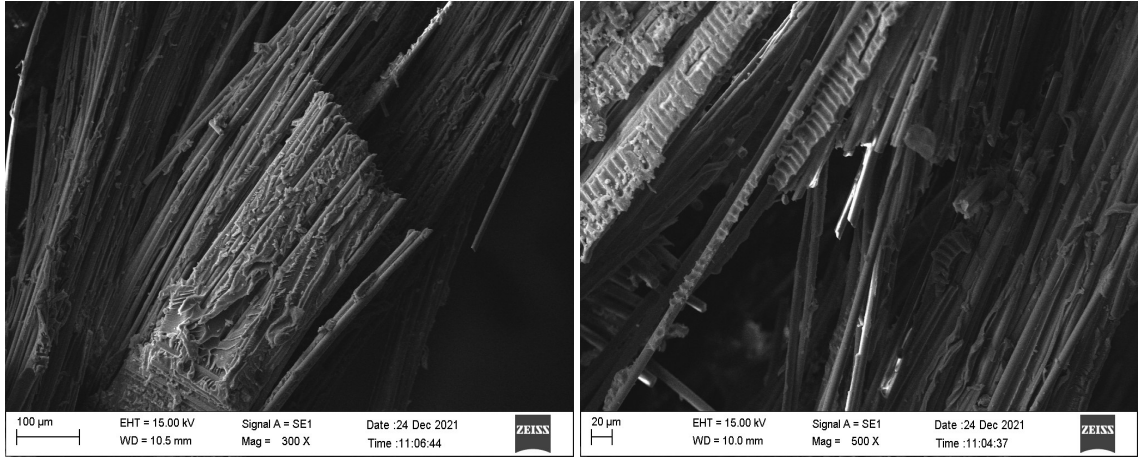


Şekil 4.40. 10 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü

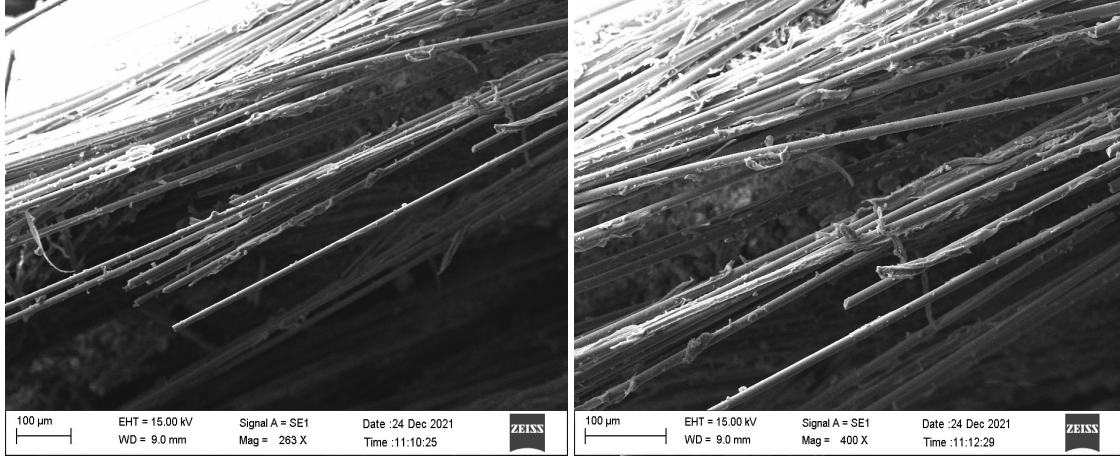


Şekil 4.41. 11 no'lu numunenin charpy testi sonrası görüntüsü

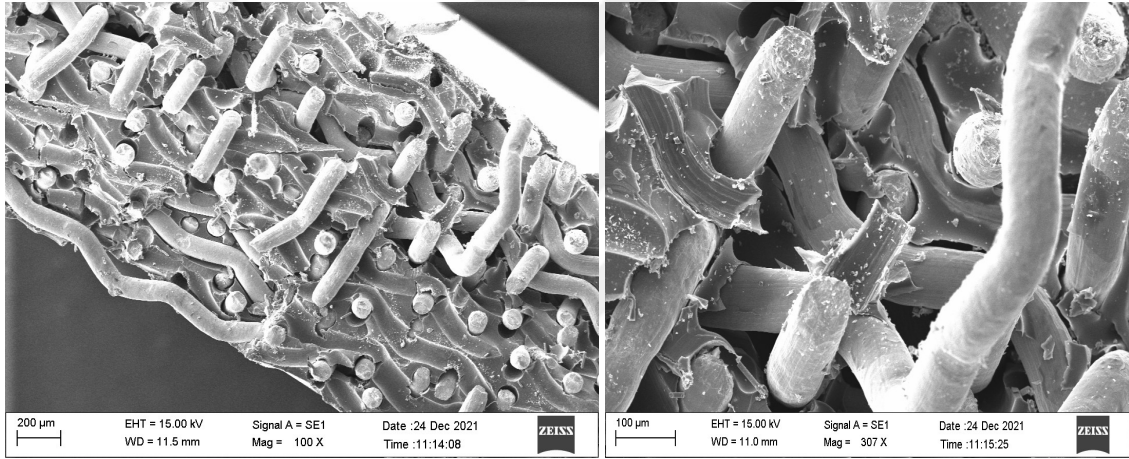
Test sonucunda numunelerin SEM görüntüleri Şekil 4.42-Şekil 4.52 arasında görünmektedir.



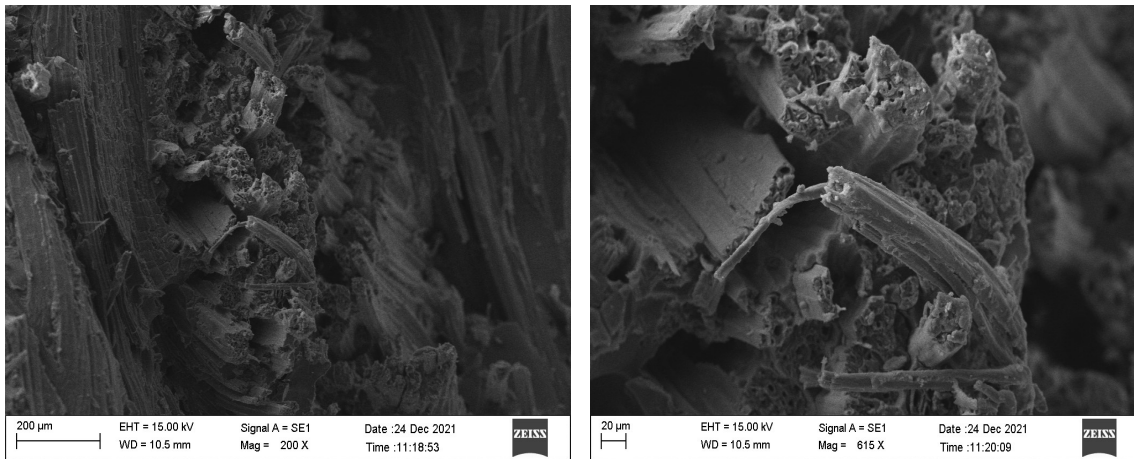
Şekil 4.42. 1 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



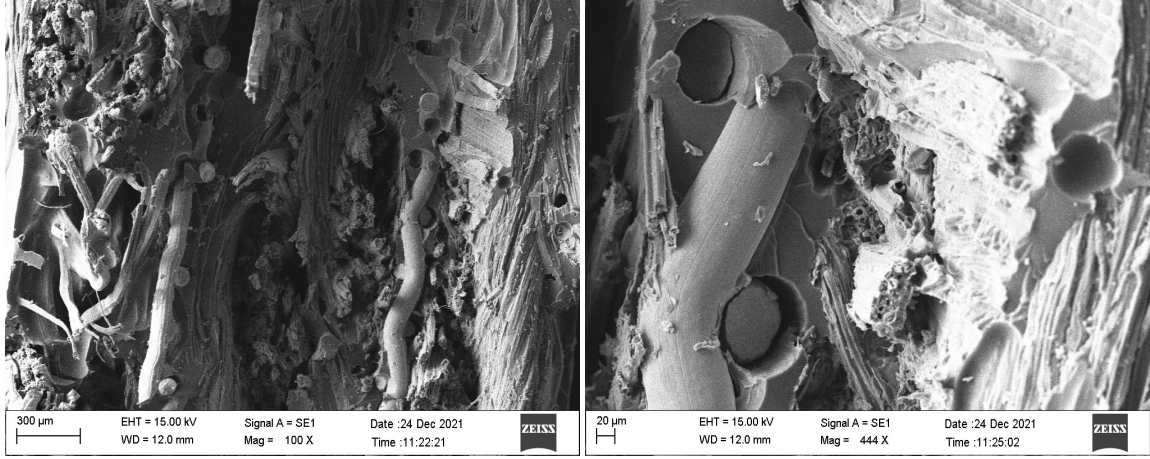
Şekil 4.43. 2 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



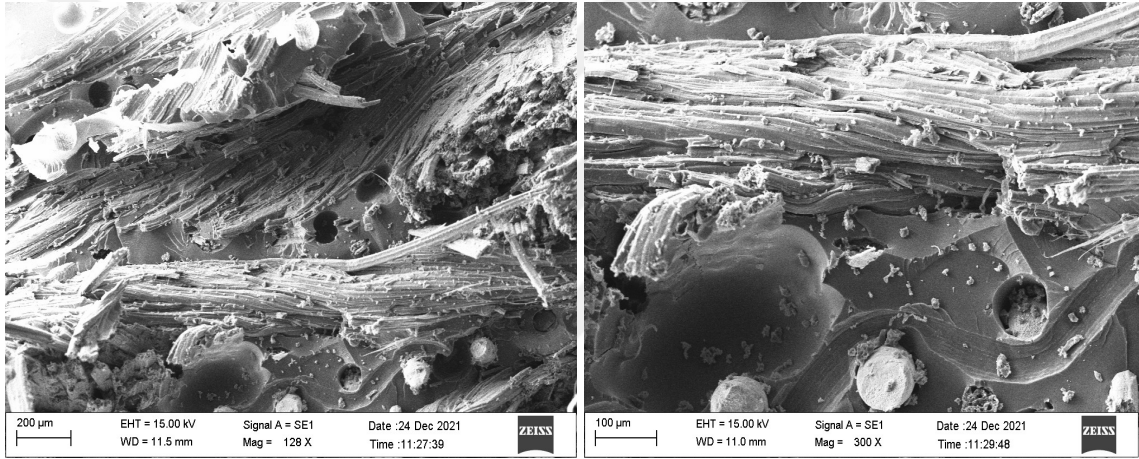
Şekil 4.44. 3 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



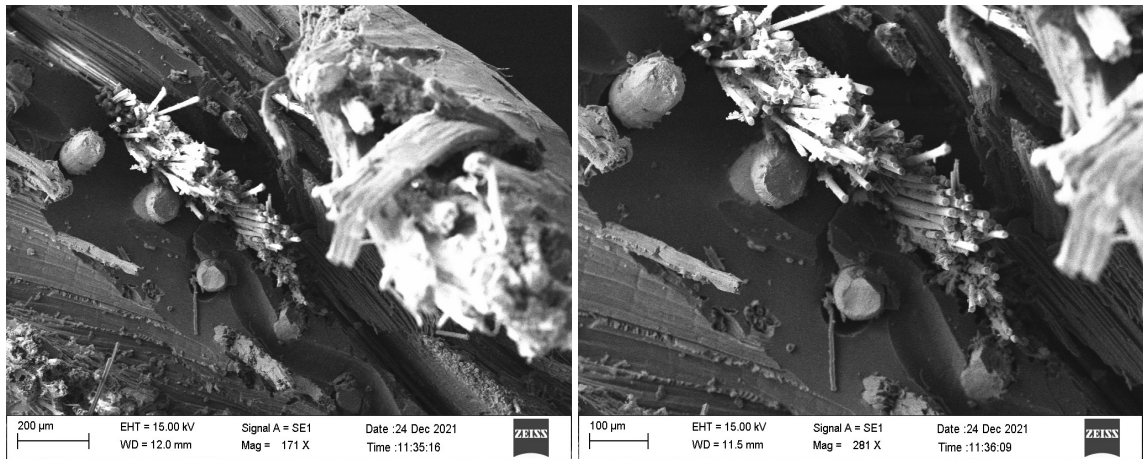
Şekil 4.45. 4 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



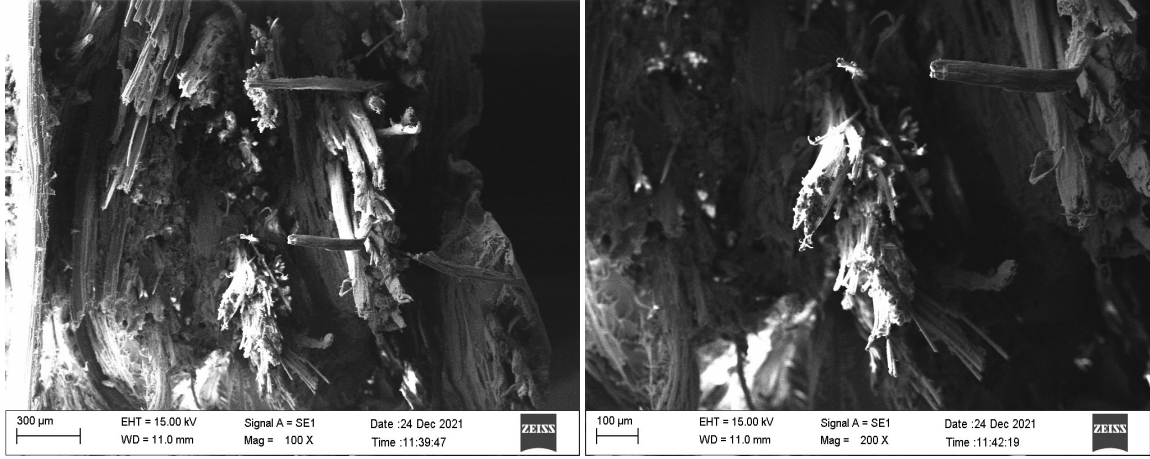
Şekil 4.46. 5 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



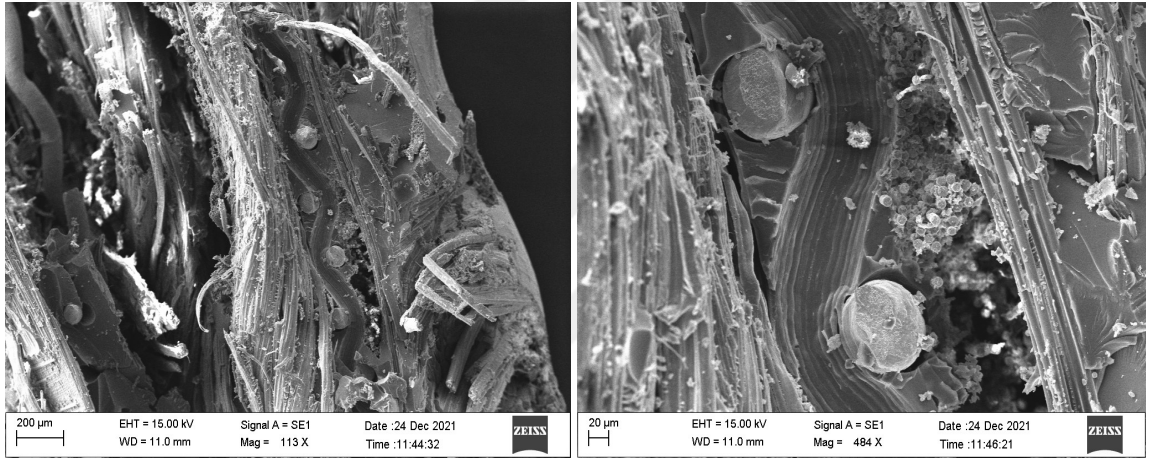
Şekil 4.47. 6 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



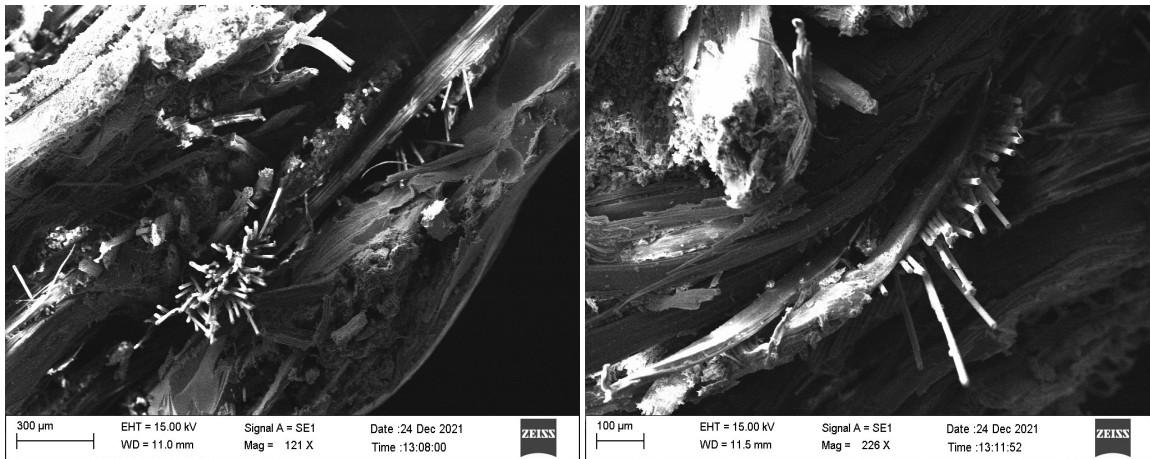
Şekil 4.48. 7 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



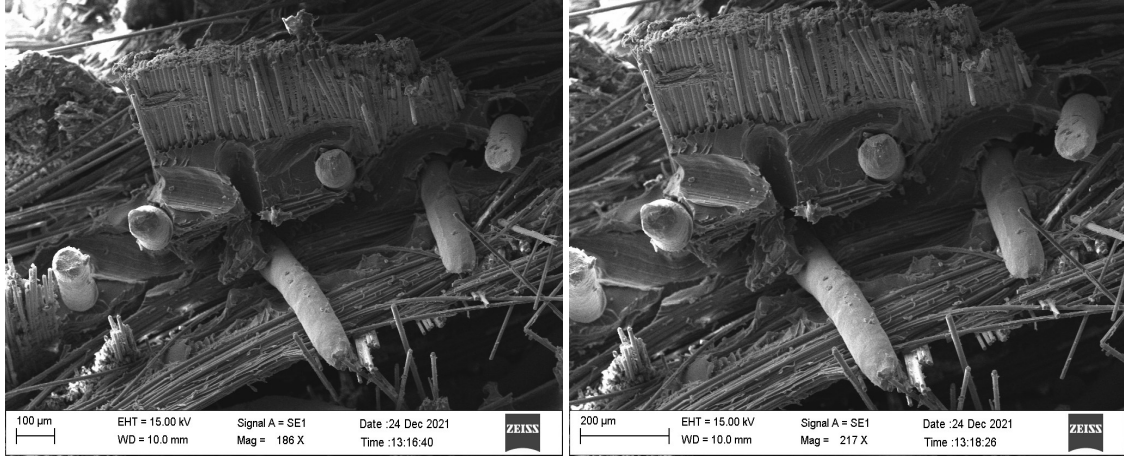
Şekil 4.49. 8 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



Şekil 4.50. 9 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



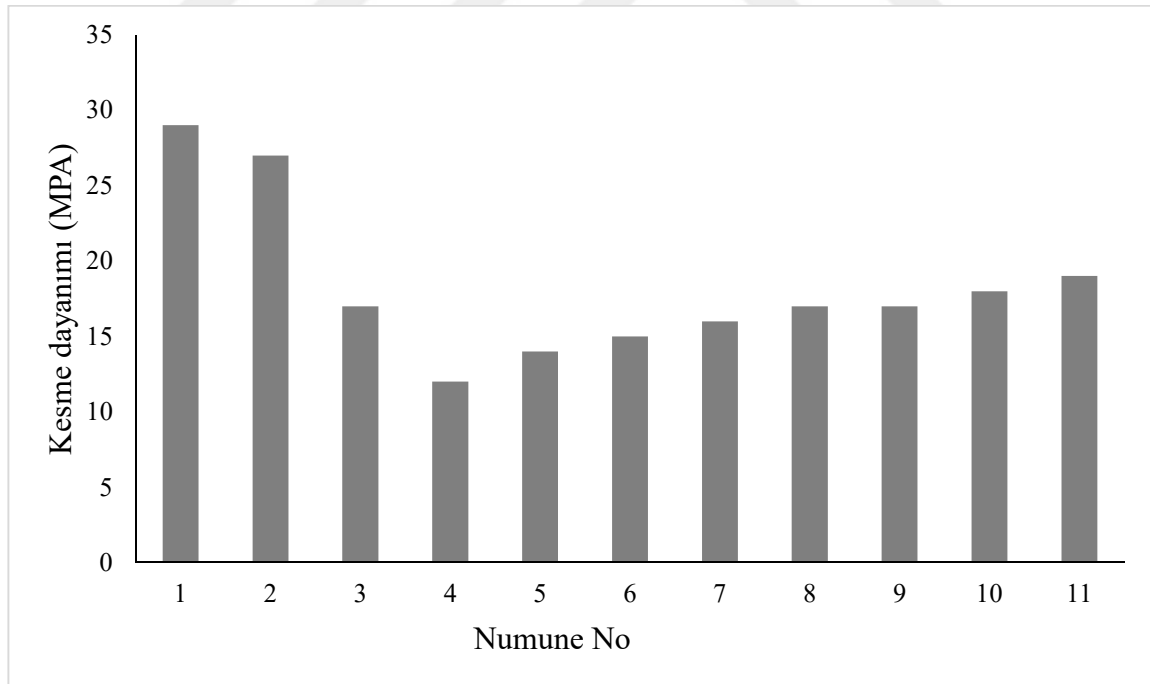
Şekil 4.51. 10 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri



Şekil 4.52. 11 no'lu numuneden alınan SEM kırık yüzey resimleri

4.4. Kısa Kriş Test Sonuçları

Kısa kriş testiyle tabakalar arası kayma dayanımı değerleri tespit edilmiş olup, bulunan ortalama değerler Şekil 4.53'de verilmiştir. Numuelere ait test sonrası görüntüler Şekil.4.54-Şekil 4.64'de görünmektedir.

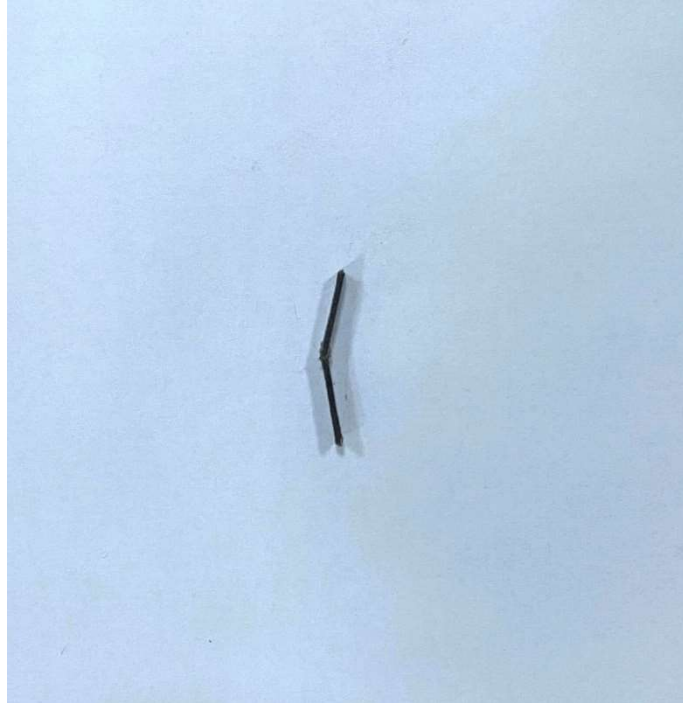


Şekil 4.53. Kısa kriş testiyle elde edilen ortalama kesme dayanımları

Test sonucunda numunelerin son hali Şekil 4.54-Şekil 4.64 arasında görünmektedir.



Şekil 4.54. 1 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.55. 2 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.56. 3 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.57. 4 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.58. 5 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.59. 6 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.60. 7 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.61. 8 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.62. 9 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.63. 10 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.64. 11 no'lu numunenin short beam testi sonrası görüntüsü

Tabakalar arası kayma dayanımını bulmak için yapılan kısa kriş test sonuçlarında elde edilen kayma dayanımı değerlerine bakıldığında hibrit olmayan kompozitler içerisinde en yüksek kayma dayanımını camın verdiği ve bunu bazalt, sonra çelik ve daha sonra jütün takip ettiğini görmekteyiz. Hibrit kompozitlere bakıldığında, jüte ilave edilen gerek cam gerekse bazalt ve çelik jütün kesme dayanımını arttırmaktadır. Ancak, hangi ilavenin daha etkili olduğuna baktığımızda en etkili takviyenin cam ve bazalt olduğu görülmektedir. Hibrit olmayan durumda kesme dayanım değerleri jütten yüksek olan fiberler jütle hibrit kompozit yaptığında doğal olarak kesme dayanımında artışa yol açmaktadır. Kısa kriş testinde hasar mekanizması şu şekilde açıklanabilir; delaminasyon olarak bilinen önemli kırılma modu, katmanlar arası kayma gerilimi ile gerçekleşir. Kısa kriş kesme testinde maksimum kayma gerilimi, normal gerilimin sıfır olduğu nötr düzlemde maksimum kayma gerilimi değerinin meydana geldiği homojen kriş teorisinden farklı olarak başka gerilimlerin olabileceği alanda meydana gelir. Temel mekanizma fiber kopması, mikro burkulma ve tabakalar arası kesme çatlaması olarak gerçekleşmektedir. Fiberler ile matris arasındaki bağlanma oldukça önem taşımaktadır. Fiber ile matris arası uyum (bağlanma) ne kadar iyi ise tabakalar arası kesme dayanımı da o oranda artış göstermektedir [64].

4.5. Balistik Test Sonuçları

Tabanca (Canik-SFX marka silah kullanılarak 9x19 FMJ) ile 5 metreden yapılan testte alınan sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablo’dan da görüleceği gibi 8 tabaka jüt, 2 tabaka jüt-2 tabak bazalt-2 tabaka cam-2 tabaka paslanmaz çelik elekten oluşan kompozitler ve bunlara 1 adet Ck 75 çelik ilaveli kompozitler mermi tutmada başarısız olmuşlardır. Ancak hibrit kompozit içine 2 adet 1 mm kalınlığındaki Ck75 sac ilavesi testte başarı göstermiştir. Atış yapılan numunelerin merminin geldiği ön yüz ve merminin çıktığı arka yüz resimleri Şekil 4.65-Şekil 4.68’de verilmiştir. İlk mermide başarı gösteremeyen numunelere 2. atışlar yapılmamıştır. Ancak ilk mermide başarı gösteren 11 nolu numune + 2 adet Ck 75 içerikli kompozite 4 adet atış yapılmıştır. Şekil 4.69’da başarı gösteren kompozite çarpan mermi görüntüsü verilmektedir.

Tablo 4.2. NIJ-0101.06’ye göre seviye II test sonuçları

Kompozit	Başarı durumu
4 nolu numune (J-J-J-J-J-J)	Başarısız
11 nolu numune (J-B-Ç-C-C-Ç-B-J)	Başarısız
11 nolu numune + 1 adet Ck 75	Başarısız
11 nolu numne + 2 adet Ck 75	Başarılı



a)

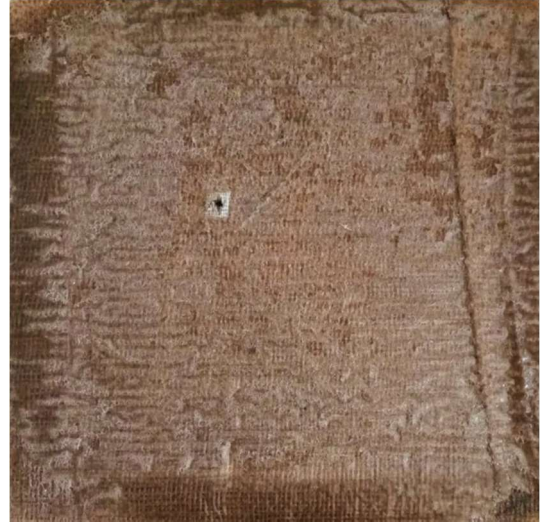


b)

Şekil 4.65. 4 no’lu numuneye ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi



a)



b)

Şekil 4.66. 11 nolu numuneye ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi



a)



b)

Şekil 4.67. 11 no'lu numune+1 adet Ck75 içerikli kompozite ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi



a)



b)

Şekil 4.68. 11 no'lu numune+2 adet Ck75 içerikli kompozite ait a) mermi giriş yüzeyi ve b) mermi çıkış yüzeyi



Şekil 4.69. 11 no'lu numune+2 adet Ck75 içerikli kompozite çarpan mermi görüntüsü

Balistik test sonuçlarının genel olarak literatür ile uyumlu olduğu [56] görülmekle beraber, bu türden bir hibrit kompozitin balistik özelliği ilk defa bu tez çalışmasında gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇLAR

- 1) Hibrit olmayan kompozitlerde en yüksek çekme dayanımı bazalt fiber içerikli kompozitlerde görülmüş olup, bunu cam, çelik ve jüt takip etmiştir. Hibrit kompozitlerde en yüksek çekme dayanımı jüt-bazalt-cam-çelik içerikli kompozitlerde görülmüştür.
- 2) Hibrit olmayan kompozitlerde çekmede en yüksek uzama çelik elek içerikli kompozitlerde görülmüş olup, bunu bazalt, cam ve jüt takip etmiştir. Hibrit kompozitlerde çekmede en yüksek uzama jüt-bazalt-cam-çelik içerikli kompozitlerde görülmüştür.
- 3) Hibrit olmayan kompozitlerde en yüksek eğme dayanımı cam fiber içerikli kompozitlerde görülmüş olup, bunu bazalt, çelik ve jüt takip etmiştir. Hibrit kompozitlerde en yüksek eğme dayanımı jüt-bazalt-cam-çelik içerikli kompozitlerde görülmüştür.
- 4) Hibrit olmayan kompozitlerde eğmede en yüksek uzama çelik elek içerikli kompozitlerde görülmüş olup, bunu cam, bazalt ve jüt takip etmiştir. Hibrit kompozitlerde eğmede en yüksek uzama jüt-bazalt-cam-çelik içerikli kompozitlerde görülmüştür.
- 5) 8 tabaka jüt, 8 tabaka hibrit (2 Jüt, 2 bazalt, 2 cam ve 2 çelik) ve 8 tabaka hibrit (2 Jüt, 2 bazalt, 2 cam ve 2 çelik) + 1 tabaka 1 mm kalınlıkta Ck 75 çelik seviye II testinde başarı gösterememiştir. Başarı 8 tabaka hibrit kompozite 2 tabaka Ck 75 sac ilavesiyle sağlanabilmiştir.

ÖNERİLER

- 1) Bu tez çalışmasında gerek hibrit olmayan, gerekse hibrit kompozitler 8 tabaka olarak alınmıştır. Bu çalışmanın devamı olarak tabaka sayısı artırılarak benzer çalışmalar yapılabilir.
- 2) Bu çalışmanın devamı olarak, çelik elek mesh sayısı değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir.
- 3) Bu çalışmada jütler hep hibrit kompozit dışında kalacak şekilde üretim yapılmıştır. Fiberlerin dizilim sıralaması değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir.
- 4) Bu çalışmada matris olarak epoxy reçine ve sertleştirici kullanılmış olup, reçine tipi değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Laranjeira, E., De Carvalho, L. H., De L. Silva, S. M. ve d'Almeida, J. R. M. (2006). Influence of fiber orientation on the mechanical properties of polyester/jute composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(12), 1269-1278. doi:10.1177/0731684406060577
- [2] De Carvalho, L. H., Cavalcante, J. M. F. ve d'Almeida, J. R. M. (2006). Comparison of the mechanical behavior of plain weave and plain weft knit jute fabric-polyester-reinforced composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45(7), 791-797. doi:10.1080/03602550600611933
- [3] De Albuquerque, A. C., Joseph, K., de Carvalho, L. H. ve d'Almeida, J. R. M. (2000). Effect of wettability and ageing conditions on the physical and mechanical properties of uniaxially oriented jute-roving-reinforced polyester composites, *Composites Science and Technology*, 60(6), 833-844. doi:10.1016/S0266-3538(99)00188-8
- [4] Mishra, H., Dash, B., Tripathy, S. ve Padhi, B. N. (2000). A study on mechanical performance of jute-epoxy composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 39(1), 187-198. doi:10.1081/PPT-100100023
- [5] Ahmed, K. S. ve Vijayarangan, S. (2007). Experimental characterization of woven jute-fabric-reinforced isothalic polyester composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 104(4), 2650-2662. doi:10.1002/app.25652
- [6] Mir, A., Zitoune, R., Collombet, F. ve Bezzazi, B. (2010). Study of mechanical and thermomechanical properties of jute/epoxy composite laminate, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(11), 1669-1680. doi:10.1177/0731684409341672
- [7] Munikenche Gowda, T., Naidu, A. ve Chhaya, R. (1999). Some mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(3), 277-284. doi:10.1016/S1359-835X(98)00157-2
- [8] Khan, M. A. ve Bhattacharia, S. (2007). Effect of novel coupling agent on the mechanical and thermal properties of unidirectional jute—vinyl ester composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26(6), 617-627. doi:10.1177/0731684407075563
- [9] Khan, M. A., Islam, T., Rahman, M. A., Islam, J. M. M., Khan, R. A., Gafur, M., Mollah, M. Ve Alam, A. (2010). Thermal, mechanical and morphological characterization of jute/gelatin composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 49(7), 742-747. doi:10.1080/03602551003652698
- [10] Acha, B. A., Marcovich, N. E. ve Reboredo, M. M. (2005). Physical and mechanical characterization of jute fabric composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 98(2), 639-650. doi:10.1002/app.22083
- [11] Rahman, M. R., Huque, M. M., Islam, M. N. ve Hasan, M. (2008). Improvement of physico-mechanical properties of jute fiber reinforced polypropylene composites by post-treatment, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(11), 1739-1747. doi:10.1016/j.compositesa.2008.08.002
- [12] Mohanty, A., Khan, M. ve Hinrichsen, G. (2000). Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics-polyester amide composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31(2), 143-150. doi:10.1016/S1359-835X(99)00057-3
- [13] Rezaur Rahman, M., Hasan, M., Monimul Huque, M. ve Nazrul Islam, M. (2010). Physico-mechanical properties of jute fiber reinforced polypropylene composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(3), 445-455. doi:10.1177/0731684408098008
- [14] Bera, M., Alagirusamy, R. ve Das, A. (2010). A study on interfacial properties of jute-PP composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(10), 3155-3161. doi:10.1177/0731684410369723
- [15] Khan, R. A., Khan, M. A., Zaman, H. U., Pervin, S., Khan, N., Sultana, S., Saha, M. ve Mustafa, A. (2010). Comparative studies of mechanical and interfacial properties between jute and e-glass fiber-

- reinforced polypropylene composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(7), 1078-1088. doi:10.1177/0731684409103148
- [16] Errajhi, O.A.Z., Osborne, J.R.F., Richardson, M.O.W. ve Dhakal, H.N. (2005). Water absorption characteristics of aluminized e-glass fibre reinforced unsaturated polyester composites, *Composite Structures*, 71(3-4), 333-336. doi:10.1016/j.compstruct.2005.09.008
- [17] Sutherland, L.S. ve Guedes Soares, C. (1999). Impact tests on woven- roving e-glass/polyester laminates, *Composite Science and Technology*, 59(10), 1553-1567. doi:10.1016/S0266-3538(99)00023-8
- [18] Sugun, B.S. ve Rao, R.M.V.G.K. (2004). Low-velocity impact characterization of glass, carbon and kevlar composites using repeated drop tests, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(15), 1583-1599. doi:10.1177/0731684404039798
- [19] Khondker, O.A., Herszberg, I. ve Hamada, H. (2004). Measurements and prediction of the compression-after-impact strength of glass knitted textile composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(2), 145-157. doi:10.1016/j.compositesa.2003.10.008
- [20] Hosur, M.V., Adbullah, M. ve Jeelani, S. (2005). Studies on the low-velocity impact response of woven hybrid composites, *Composite Structures*, 67(3), 253-262.
- [21] Fiore, V., Scalici, T., Di Bella, G. ve Valenza, A. (2015). A review on basalt fibre and its composites. *Composites Part B: Engineering*, 74, 74-94. doi:10.1016/j.compositesb.2014.12.034
- [22] Fiore, V., Scalici, T., Badagliacco, D., Enea, D., Alaimo, G. ve Valenza, A. (2016). Aging resistance of bio-epoxy jute-basalt hybrid composites as novel multilayer structures for cladding, *Composite Structures*, 160, 1319-1328. doi:10.1016/j.compstruct.2016.11.025
- [23] Bulut, M. (2017). Mechanical properties of Basalt/Epoxy composite laminates containing grapheme nano pellets, *Composites Part B: Engineering*, 122, 71-78. doi:10.1016/j.compositesb.2017.04.013
- [24] Vleurinck, J. ve Baerdemcaeker, J.D. (2017). An introduction to metal fiber technology, *White Paper*, 9.
- [25] Srivatsan, T. S., Lam, P. C. ve Krause, J. (1999). The impact toughness characteristics of steel wire-reinforced polymer composites, *Materials Letters*, 39, 324-328. doi:10.1016/S0167-577X(99)00028-2
- [26] Callens, M. G., Gorbatikh, L., Bertels, E., Goderis, B., Smet, M. ve Verpoest, I. (2015). Tensile behaviour of stainless steel fibre/epoxy composites with modified adhesion, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 69, 208-218. doi:10.1016/j.compositesa.2014.11.022
- [27] Callens, M. G., Gorbatikh, L. ve Verpoest, I. (2014). Ductile steel fibre composites with brittle and ductile matrices, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 61, 235-244. doi:10.1016/j.compositesa.2014.02.006
- [28] Arikan, H., Avci, A. ve Akdemir, A. (2004). Fracture behaviour of steel fibre reinforced polymer composite, *Polymer Testing*, 23(6), 615-619. doi:10.1016/j.polymertesting.2004.02.002
- [29] Callens, M. G., De Cuyper, P., Gorbatikh, L. ve Verpoest, I. (2015). Effect of fibre architecture on the tensile and impact behaviour of ductile stainless steel fibre polypropylene composites, *Composite Structures*, 119, 528-533. doi:10.1016/j.compstruct.2014.09.028
- [30] Allaer, K., De Baere, I., Lava, P., Van Paepegem, W. ve Degrieck, J. (2014). On the in-plane mechanical properties of stainless steel fibre reinforced ductile composites, *Composites Science and Technology*, 100, 34-43. doi:10.1016/j.compscitech.2014.05.009
- [31] Mosleh, Y., Clemens, D., Gorbatikh, L., Verpoest, I. ve van Vuure, A. W. (2015). Penetration impact resistance of novel tough steel fibre-reinforced polymer composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(8), 624-635. doi:10.1177/0731684415574538
- [32] Al-Haik, M., Borujeni, A.Y. ve Tehrani, M. (2016). Ballistic damage of hybrid composite materials, *In Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection*, Chen, X., Ed.; Elsevier, Amsterdam, The Netherland, 323–361. doi:10.1016/B978-1-78242-461-1.00005-4

- [33] Pach, J., Pyka, D., Jamroziak, K. ve Mayer, P. (2017). The experimental and numerical analysis of the ballistic resistance of polymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 113, 24-30. doi:10.1016/j.compositesb.2017.01.006
- [34] Monteiro, S.N., Drelich, J.W., Lopera, H.A.C., Nascimento, L.F.C., Da Luz, F.S., da Silva, L.C., Dos Santos, J.L., Da Costa Garcia Filho, F., De Assis, F.S., Lima, É.P. ve Bezerra, W. B. A. (2019). Natural fibers reinforced polymer composites applied in ballistic multilayered armor for personal protection—an overview, *Green Materials Engineering*, 33-47. doi:10.1007/978-3-030-10383-5_4
- [35] Bandaru, A.K., Ahmad, S. ve Bhatnagar, N. (2017). Ballistic performance of hybrid thermoplastic composite armors reinforced with Kevlar and basalt fabrics, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 97, 151–165. doi:10.1016/j.compositesa.2016.12.007
- [36] Salman, S.D., Leman, Z., Sultan, M.T.H., Ishak, M.R. ve Cardona, F. (2017). Effect of kenaf fibers on trauma penetration depth and ballistic impact resistance for laminated composites, *Textile Research Journal*, 87(17), 2051-2065. doi:10.1177/0040517516663155
- [37] Rahman, M., Hosur, M., Zainuddin, S., Vaidya, U., Tauhid, A., Kumar, A., Trovillion, J. ve Jeelani, S. (2013). Effects of amino-functionalized MWCNTs on ballistic impact performance of E-glass/epoxy composites using a spherical projectile, *International Journal of Impact Engineering*, 57, 108-118. doi:10.1016/j.ijimpeng.2013.01.011
- [38] Salman, S. D. ve Leman, Z. B. (2018). Physical, mechanical and ballistic properties of kenaf fiber reinforced poly vinyl butyral and its hybrid composites, In *Natural fibre reinforced vinyl ester and vinyl polymer composites*, Woodhead Publishing. Amsterdam, The Netherlands, 249–263. doi:10.1016/B978-0-08-102160-6.00013-5
- [39] Zainol Abidin, M. H., Mohamad, M. A. H., Zaidi, A. M. A. ve Wan Mat, W. A. (2013). Experimental study on ballistic resistance of sandwich panel protection structure with kenaf foam as a core material against small arm bullet, In *Applied Mechanics and Materials*, 315, 612-615. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.315.612
- [40] Azmi, A.M.R., Sultan, M.T.H., Jawaaid, M., Talib, A.R.A. ve Nor, A.F.M. (2018). Tensile and flexural properties of a newly developed bulletproof vest using a kenaf/x-ray film hybrid composite, *BioResources*, 13(2), 4416–4427. doi:10.15376/biores.13.2.4416-4427
- [41] Luz, F. S. D., Lima Junior, E. P., Louro, L. H. L. ve Monteiro, S. N. (2015). Ballistic test of multilayered armor with intermediate epoxy composite reinforced with jute fabric, *Materials Research*, 18, 170-177. doi:10.1590/1516-1439.358914
- [42] Monteiro, S. N., Pereira, A. C., Ferreira, C. L., Pereira Júnior, É., Weber, R. P. ve Assis, F. S. D. (2018). Performance of plain woven jute fabric-reinforced polyester matrix composite in multilayered ballistic system, *Polymers*, 10(3), 230. doi:10.3390/polym10030230
- [43] Abdullah-Al-Kafi, Abedin, M. Z., Beg, M. D. H., Pickering, K. L. ve Khan, M. A. (2006). Study on the mechanical properties of jute/glass fiber-reinforced unsaturated polyester hybrid composites: Effect of surface modification by ultraviolet radiation, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(6), 575-588. doi:10.1177/0731684405056437
- [44] Loos, A. C., Springer, G. S., Sanders, B. A. ve Tung, R. W. (1980). Moisture absorption of polyester-E glass composites, *Journal of Composite Materials*, 14(2), 142-154. doi:10.1177/002199838001400206
- [45] Loos, A. C. ve Springer, G. S. (1979). Moisture absorption of graphite-epoxy composites immersed in liquids and in humid air. *Journal of Composite Materials*, 13(2), 131-147. doi:10.1177/002199837901300205
- [46] Loos, A. C., Springer, G. S., Sanders, B. A. ve Tung, R. W. (1980). Moisture absorption of polyester-E glass composites, *Journal of Composite Materials*, 14(2), 142-154. doi:10.1177/002199838001400206
- [47] John, M. J. ve Anandjiwala, R. D. (2008). Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. *Polymer composites*, 29(2), 187-207. doi: 10.1002/pc.20461

- [48] Cheung, H. Y., Ho, M. P., Lau, K. T., Cardona, F. ve Hui, D. (2009). Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications, *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 655-663. doi:10.1016/j.compositesb.2009.04.014
- [49] Venkateshwaran, N., Elayaperumal, A. ve Sathiya, G. K. (2012). Prediction of tensile properties of hybrid-natural fiber composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 793-796. doi: 10.1016/j.compositesb.2011.08.023
- [50] Saba, N., Tahir, P. M. ve Jawaid, M. (2014). A review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites, *Polymers*, 6(8), 2247-2273. doi:10.3390/polym6082247
- [51] Biswas, S., Ahsan, Q., Cenna, A., Hasan, M. ve Hassan, A. (2013). Physical and mechanical properties of jute, bamboo and coir natural fiber. *Fibers and Polymers*, 14(10), 1762-1767. doi: 10.1007/s12221-013-1762-3
- [52] Li, X., Tabil, L. G. ve Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review, *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25-33. doi:10.1007/s10924-006-0042-3
- [53] Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M. ve Islam, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications, *International Journal of Polymer Science*, 2015. doi:10.1155/2015/243947
- [54] Khan, M. A., Shehrzade, S. ve Hassan, M. M. (2004). Effect of alkali and ultraviolet (UV) radiation pretreatment on physical and mechanical properties of 1, 6-hexanediol diacrylate-grafted jute yarn by UV radiation, *Journal of Applied Polymer Science*, 92(1), 18-24. doi:10.1002/app.13593
- [55] Singh, J., Kumar, M., Kumar, S. ve Mohapatra, S. K. (2017). Properties of glass-fiber hybrid composites: a review, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(5), 455-469. doi:10.1080/03602559.2016.1233271
- [56] Nurazzi, N. M., Asyraf, M. R. M., Khalina, A., Abdullah, N., Aisyah, H. A., Rafiqah, S. A., Sabaruddin, F. A., Kamarudin, S. H., Norraahim, M. N. F. ve Ilyas, R. A. (2021). A review on natural fiber reinforced polymer composite for bullet proof and ballistic applications, *Polymers*, 13(4), 646. doi:10.3390/polym13040646
- [57] Bhatnagar, A. (Ed.). (2016). *Lightweight Ballistic Composites: Military And Law-Enforcement Applications*, Woodhead Publishing.
- [58] David, N. V., Gao, X. L. ve Zheng, J. Q. (2009). Ballistic resistant body armor: contemporary and prospective materials and related protection mechanisms, *Applied Mechanics Reviews*, 62(5). doi:10.1115/1.3124644
- [59] Zee, R. H. ve Hsieh, C. Y. (1998). Energy absorption processes in fibrous composites, *Materials Science and Engineering: A*, 246(1-2), 161-168. doi:10.1016/S0921-5093(97)00735-1
- [60] Tan, V. B. C., Tay, T. E. ve Teo, W. K. (2005). Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions, *International Journal of Solids and Structures*, 42(5-6), 1561-1576. doi:10.1016/j.ijsolstr.2004.08.013
- [61] Abd El-baky, M. A., Attia, M. A., Abdelhaleem, M. M. ve Hassan, M. A. (2020). Mechanical characterization of hybrid composites based on flax, basalt and glass fibers. *Journal of Composite Materials*, 54(27), 4185-4205. doi:doi.org/10.1177/0021998320928509
- [62] Abd El-baky, M. A. (2019). Experimental investigation on impact performance of glass-polypropylene hybrid composites: effect of water aging. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 32(5), 657-672. doi:10.1177/0892705718772876
- [63] Özbek, Ö., Bozkurt, Ö. Y. ve Erklığ, A. (2020). Low velocity impact behaviors of basalt/epoxy reinforced composite laminates with different fiber orientations. *Turkish Journal of Engineering*, 4(4), 197-202. doi:10.31127/tuje.644025
- [64] Selmy, A. I., Elsesi, A. R., Azab, N. A. ve Abd El-baky, M. A. (2012). In-plane shear properties of unidirectional glass fiber (U)/random glass fiber (R)/epoxy hybrid and non-hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 431-438. doi: 10.1016/j.compositesb.2011.06.001

ÖZGEÇMİŞ

Hatice AKSU[illegible]

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler:

1. Fırat Üniversitesi BAP (FÜBAP) MF.20.37 numaralı Yüksek Lisans tezi projesi, 2022.

Proje üyeleri;

Araştırmacı Danışman: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Araştırmacı Öğrenci: Hatice AKSU

Bu Yüksek Lisans tez projemizle yaptığımız çalışmada Çelik-Fiber Lamine Kompozitlerin Balistik Performansına Bileşenlerin Etkisi araştırılmıştır. Jüt, Bazalt, Cam ve Çelik fiber içerikli hibrit kompozitlerin mekanik ve balistik özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada, kompozit üretiminde jüt, bazalt, cam ve 304 tipi paslanmaz çelik dokuma kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak da sertleştiricisiyle beraber epoxy reçine seçilmiştir. Üretim sürecinde tüm hibrit ve hibrit olmayan kompozitler 8 katman fiber kullanılarak üretilmiştir. Mekanik testler için 4 farklı hibrit olmayan, 3 farklı ikili, 3 farklı üçlü ve 1 adet dördü hibrit kompozit üretilmiştir. Kompozit laminatların üretimi için elle yatırma tekniği kullanılmış olup, numunelerin 24 saat süreyle pres altında bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Hibrit kompozit üretimi sonrası gerekli standartlara göre çekme, eğme, tokluk ve kesme numuneleri çıkartılmıştır. Ayrıca, balistik testler için 4'lü hibrit kompozite yüksek karbonlu çelik levha ilave edilerek NIJ -0101.06'ya göre (Seviye-II standartında) atış testi yapılmıştır. Atış testine başarı gösteren ve gösteremeyen kompozitler detaylı olarak incelenmiştir.