

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

**Nano Grafen Katkılı Kevlar ve Jüt Elyaf Kompozitlerin Darbe ve Balistik
Davranışının İncelenmesi**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Necibullah KURBAN**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Mekanik Bilim Dalı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar AYZ

NİSAN – 2022

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

**Nano Grafen Katkılı Kevlar ve Jüt Elyaf Kompozitlerin Darbe ve Balistik
Davranışının İncelenmesi**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Necibullah KURBAN
36203621013**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Mekanik Bilim Dalı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar AYAZ

NİSAN – 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yaşar AYAZ'a,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme,

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, İÜ-BAP FYL-2021-2686 numaralı “ Nano Grafen Katkılı Kevlar ve Jüt Elyaf Kompozitlerin Darbe ve Balistik Davranışının İncelenmesi” başlıklı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne

Teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “**Nano Grafen Katkılı Kevlar ve Jüt Elyaf Kompozitlerin Darbe ve Balistik Davranışının İncelenmesi**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Necibullah KURBAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Kompozit Malzemelerin Önemi ve Kullanım Alanları	1
1.2 Genel Bilgiler.....	2
1.2.1 Kompozit malzemeler	2
1.2.2 Elyafli kompozitler.....	3
1.2.3 Aramid elyafı.....	4
1.2.4 Jüt lifler	5
1.3 Epoksi reçine.....	6
1.4 Nano grafen.....	7
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	9
3. YÖNTEM	28
3.1 Kompozit Plaka Üretimi	28
3.1.1 Üretim Aşamaları	29
3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması	35
3.3 Deney Numunelerinin Çekme Testinin Yapılması	38
3.4 Deney Numunelerinin Kayma Testinin Yapılması.....	39
3.5 Deney Numunelerinin Darbe Testinin Yapılması.....	40
3.6 Deney Numunelerinin Balistik Testinin Yapılması.....	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	45
4.1 Çekme Deney Sonuçları	45
4.1.1 Katkısız epoksi kompozitlerin çekme test sonuçları	45
4.1.2 % 0.2 oranında G katkılı epoksi kompozitlerin çekme test sonuçları.....	49
4.2 Kayma Deney Sonuçları	58
4.2.1 Katkısız epoksi kompozitlerin kayma test sonuçları.....	59
4.2.2 % 0.2 oranında G katkılı epoksi kompozitlerin kayma test sonuçları.....	61
4.3 Darbe Deney Sonuçları	68
4.3.1 Katkılı ve katkısız jüt kompozitin darbe test sonuçları	68
4.3.2 Katkılı ve katkısız kevlar kompozitin darbe test sonuçları	75
4.3.3 Katkılı ve katkısız jüt+kevlar kompozitin darbe test sonuçları.....	81
4.4 Balistik Deney Sonuçları	88
4.4.1 Katkısız epoksi kompozitlerin balistik test sonuçları.....	89
4.4.2 % 0.2 oranında G katkılı epoksi kompozitlerin balistik test sonuçları.....	91
5. SONUÇ	94
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 : Plakaların boyut ve katkı oranları	28
Çizelge 3.2 : NİJ standartları.....	42
Çizelge 3.3 : Merminin teknik özellikleri	44
Çizelge 4.1 : Katkısız kompozitlerin çekme dayanımları	45
Çizelge 4.2 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin çekme dayanımları.....	50
Çizelge 4.3 : Bütün numunelere ait maksimum çekme değerleri	54
Çizelge 4.4 : Katkısız kompozitlerin kayma dayanımları	59
Çizelge 4.5 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin kayma dayanımları	62
Çizelge 4.6 : Numunelere ait maksimum kayma değerleri	65
Çizelge 4.7 : Katkılı ve katkısız kompozit numuneler ve uygulanan yükler	68
Çizelge 4.8 : 10 j, 20 j ve 30 j yük altında kompozitlerin absorbe ettikleri enerjileri	87
Çizelge 4.9 : Jüt kompozit plakanın balistik test değerleri	90
Çizelge 4.10 : Kevlar kompozit plakanın balistik test değerleri	90
Çizelge 4.11 : Jüt+keklar kompozit plakanın balistik test değerleri	90
Çizelge 4.12 : % 0.2 oranında G katkılı jüt plakanın balistik test değerleri	92
Çizelge 4.13 : % 0.2 oranında G katkılı kevlar plakanın balistik test değerleri.....	92
Çizelge 4.14 : % 0.2 oranında G katkılı jüt+keklar plakanın balistik test değerleri.....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Jüt, kevlar ve jüt+kevlar kompozit malzemeler.....	3
Şekil 1.2 : Aramid elyaf kumaşı.....	5
Şekil 1.3 : Jüt bitkisi.....	5
Şekil 1.4 : Hasat edilmiş jüt demetleri	6
Şekil 1.5 : Epoksi reçine ile sertleştirici.....	7
Şekil 1.6 : Katkılı plakada kullanılan grafen nano partikül tozu.....	8
Şekil 3.1 : Kullanılan kevlar makası ve kesilen kevlar ve jüt parçaları	29
Şekil 3.2 : 300x500 mm’lik boyutunda kesilen kevlar ve jüt kumaşları.....	29
Şekil 3.3 : Vakum infüzyon file kesimi	30
şekil 3.4 : Balistik için 20 tabakalı jüt ile kevlar kumaşları	30
Şekil 3.5 : Vakum infüzyon yöntemi için numune hazırlama.....	31
Şekil 3.6 : Vakum infüzyon yöntemi uygulama hazır numune.....	31
Şekil 3.7 : Reçine ve sertleştirici.....	32
Şekil 3.8 : Kullanılan tartı	32
Şekil 3.9 : Hassas tartı.....	33
şekil 3.10 : Karışım için hazırlanan reçine, sertleştirici ve grafen	33
Şekil 3.11 : Karışımında kullanılan matkap	34
Şekil 3.12 : Grafen katkısız epoksinin vakum infüzyon yöntemi ile emdirilmesi.....	34
Şekil 3.13 : Grafen katkılı epoksinin vakum infüzyon yöntemi emdirilmesi	35
Şekil 3.14 : Üretilen kompozit plakalar (jüt+kevlar, jüt ve kevlar)	35
Şekil 3.15 : HSG HS-Z1390 model lazer kesim makinesi.....	36
Şekil 3.16 : Spiral kesim makinesi.....	36
Şekil 3.17 : Çekme testi için üretilen numune boyutu	37
Şekil 3.18 : Kayma testi için üretilen numune boyutu	37
Şekil 3.19 : Çekme, kayma ve darbe testleri için hazırlanan numuneler	37
Şekil 3.20 : SHIMADZO AGS X 100 KN çekme cihazı.....	38
Şekil 3.21 : Çekme testi için yapılan numune örneği.....	38
Şekil 3.22 : SHIMADZO AGS X 100 KN çekme cihazı.....	39
Şekil 3.23 : Kayma testi yapılan numune örneği	40
Şekil 3.24 : INSTRON CEAST 9350 darbe cihazı	41
Şekil 3.25 : Test cihazına numune yerleşimi	41
Şekil 3.26 : Atış test sisteminin şeması.....	43
Şekil 3.27 : Deney düzeneği.....	43
Şekil 3.28 : Çekirdek ölçüleri.....	44
Şekil 4.1 : Katkısız kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği	46
Şekil 4.2 : Katkısız kompozitlerin maksimum gerilme grafiği	46
şekil 4.3 : Katkısız jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği	47
Şekil 4.4 : Katkısız jüt kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	47
Şekil 4.5 : Katkısız kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği.....	48
Şekil 4.6 : Katkısız kevlar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	48
Şekil 4.7 : Katkısız jüt+kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği	49
Şekil 4.8 : Katkısız jüt+kevlar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	49
Şekil 4.9 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği	50
Şekil 4.10 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum gerilme grafiği.....	50
Şekil 4.11 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği	51
Şekil 4.12 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği	51
Şekil 4.13 : % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği	52

Şekil 4.14 : % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	52
Şekil 4.15 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği.....	53
Şekil 4.16 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	53
Şekil 4.17 : Bütün numunelerin maksimum çekme kuvvet grafiği.....	54
Şekil 4.18 : Bütün numunelerin maksimum gerilme grafiği.....	55
Şekil 4.19 : Jüt kompozitte oluşan hasarlar.....	55
Şekil 4.20 : Kevlar kompozitte oluşan hasarlar	56
Şekil 4.21 : jüt+evler kompozitte oluşan hasarlar	56
Şekil 4.22 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitte oluşan hasarlar	57
Şekil 4.23 : % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitte oluşan hasarlar.....	57
Şekil 4.24 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar kompozite oluşan hasarlar	58
Şekil 4.25 : Katkısız kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği	59
Şekil 4.26 : Katkısız kompozitlerin maksimum gerilme grafiği	60
Şekil 4.27 : Katkısız jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği	60
Şekil 4.28 : Katkısız kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği.....	61
Şekil 4.29 : Katkısız jüt+kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği	61
Şekil 4.30 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği.....	62
Şekil 4.31 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum gerilme grafiği.....	62
Şekil 4.32 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği	63
Şekil 4.33 : % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği	63
Şekil 4.34 : % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği.....	64
Şekil 4.35 : Numunelerin uygulanan maksimum kuvvet grafiği	65
Şekil 4.36 : Bütün numunelerin maksimum gerilme grafiği.....	65
Şekil 4.37 : Grafen katkısız kompozitlerde oluşan hasarlar.....	66
Şekil 4.38 : % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerde oluşan hasarlar	67
Şekil 4.39 : 10 j altında jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği.....	69
Şekil 4.40 : 10 j altında jüt kompozitin enerji-zaman grafiği	69
Şekil 4.41 : 20 j altında jüt kompozitin kuvvet çökme grafiği.....	69
Şekil 4.42 : 20 j altında jüt kompozitin enerji-zaman grafiği	70
Şekil 4.43 : 30 j altında jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği	70
Şekil 4.44 : 30 j altında jüt kompozitin enerji-zaman grafiği	70
Şekil 4.45 : 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği	71
Şekil 4.46 : 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği	71
Şekil 4.47 : 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt kompozitin enerji-zaman grafiği	72
Şekil 4.48 : 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt kompozitin enerji-zaman grafiği.....	72
Şekil 4.49 : Katkısız jüt kompozitin 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar.....	73
Şekil 4.50 : G katkılı jüt kompozitin 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar.....	74
Şekil 4.51 : 10 j altında kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği.....	75
Şekil 4.52 : 10 j altında kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği.....	75
Şekil 4.53 : 20 j altında kevlar kompozitin kuvvet çökme grafiği	75
Şekil 4.54 : 20 j altında kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.55 : 30 j altında kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği.....	76
Şekil 4.56 : 30 j altında kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.57 : 10, 20 ve 30 j altında G katkısız kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği	77
Şekil 4.58 : 10, 20 ve 30 j altında G katkılı kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği.....	77
Şekil 4.59 : 10, 20 ve 30 j altında G katkısız kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği	78
Şekil 4.60 : 10, 20 ve 30 j altında G katkılı kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği.....	78
Şekil 4.61 : Katkısız kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar	79

Şekil 4.62 : G katkılı kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar	80
Şekil 4.63 : 10 j altında jüt+kevlar kompozitin kuvvet- çökme grafiği	81
Şekil 4.64 : 10 j altında jüt+kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği	81
Şekil 4.65 : 20 j altında jüt+kevlar kompozitin kuvvet çökme grafiği	81
Şekil 4.66 : 20 j altında jüt+kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği	82
Şekil 4.67 : 30 j altında jüt+kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği	82
Şekil 4.68 : 30 j altında jüt+kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği	82
Şekil 4.69 : 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt+kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği	83
Şekil 4.70 : 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt+kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği	83
Şekil 4.71 : 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt+kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği	84
Şekil 4.72 : 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt+kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği	84
Şekil 4.73 : Katkısız jüt+kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar.....	85
Şekil 4.74 : G katkılı jüt+kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar.....	86
Şekil 4.75 : Değerlendirmeye alınan numunelerin absorbe ettiği enerji grafiği	87
Şekil 4.76 : Test tezgahı macun yerleştirilmesi	88
Şekil 4.77 : Test tezgahı ve zırh plakası.....	89
Şekil 4.78 : Balistik atış sonrası kevlar plakanın yüzeyleri ile yerleştirilen macun yüzeyi.....	89
Şekil 4.79 : Balistik atış sonrası % 0.2 oranında g katkılı kevlar plakanın ön ve arka yüzü ile yerleştirilen macun yüzeyi.....	91
Şekil 4.80 : Balistik atış sonrası % 0.2 oranında g katkılı jüt+kevlar plakanın ön ve arka yüzü ile yerleştirilen macun yüzeyi	92

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

MMT	: Montmorillonit
OMMT	: Modifiye edilmiş MMT
SEM	: Kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu
KNT	: Karbon nanotüp
NK	: Nanokil
STF	: Koloidal kesme kıvamlaştırıcı sıvı
SEA	: Spesifik enerji emilimi
MAS	: Katmanlı zırh sistemi
NIJ	: National institute of justice
G	: Nano grafen

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO GRAFEN KATKILI KEVLAR VE JÜT ELYAF KOMPOZİTLERİN DARBE VE BALİSTİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

NECİBULLAH KURBAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

100+X sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Yaşar AYZ

Kevlar kumaş balistik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Jüt ise bitkisel esaslı ve düşük maliyetli bir kumaştır. Bu çalışmada Kevlar kumaş ve jüt kumaşın birlikte kullanılması ile daha ekonomik balistik yeleklerin üretilmesi hedeflenmektedir. Nano grafen kompozitlerde mukavemet artırıcı etkisinden dolayı tercih edilmektedir. Reçineye katkı olarak da nanografen kullanılmıştır. Bu çalışmada jüt kumaşlar, Kevlar kumaşlar ve jüt+kevrler kumaşlar ile birlikte % 0.2 oranında grafen katkısı kullanılarak darbe ve balistik davranışları incelenmiştir. Kompozit malzemeler balistik test için 20 katmanlı ve darbe testlerinde 12 katmanlı olarak teste uygun şekilde vakum infüzyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Darbe ve balistik testleri öncesi aynı kompozit malzemelere çekme ve kayma testleri yapılarak davranışları incelenmiştir. Testler için hazırlanan jüt, kevrler ve jüt+kevrler kompozit numunelerde MGS Laminasyon LR160 Reçine, reçinenin ağırlıkça %25 HGS LH160 sertleştirici kullanılmıştır. Reçine ve sertleştiricinin ağırlıkça %0 ve % 0.2 oranında nano grafen kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jüt elyaf, Kevlar elyaf, Grafen, Darbe testi, Balistik testi

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF IMPACT AND BALLISTIC BEHAVIOR OF NANO GRAPHENE DOPED KEVLAR AND JUTE FIBER COMPOSITES

NECİBULLAH KURBAN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

100+X page

2022

Supervisor: Doç. Dr. Yaşar AYAZ

Kevlar fabric is frequently used in ballistic studies. Jute, on the other hand, is a plant-based and low-cost fabric. In this study, it is aimed to produce more economical ballistic vests by using Kevlar fabric and jute fabric together. Nano graphene is preferred in composites because of its strength-enhancing effect. Nanographene was also used as an additive to the resin. In this study, impact and ballistic behavior of jute fabrics, Kevlar fabrics and jute+kevlar fabrics were investigated by using 0.2% graphene additive. Composite materials were prepared by vacuum infusion method in accordance with the test as 20 layers for ballistic testing and 12 layers for impact tests. Before the impact and ballistic tests, the tensile and shear tests were performed on the same composite materials and their behavior was examined. MGS Lamination LR160 Resin and 25% HGS LH160 hardener by weight of the resin were used in the jute, kevlar and jute+kevlar composite samples prepared for the tests. 0% and 0.2% by weight of the resin and hardener nano graphene was used.

Keywords: Jute fiber, Kevlar fiber, Graphene, Impact test, Ballistic test

1. GİRİŞ

1.1 Kompozit Malzemelerin Önemi ve Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler yıllardan beri insanların başta barınma olmak üzere pek çok ihtiyaçlarını karşılamıştır. İlerleyen teknoloji göz önüne alındığı zaman söz konusu bu malzemeler daha fonksiyonlu bir biçimde geliştirilerek daha farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeleri oluşturan en az iki farklı malzeme, tek başına kullanıldıkları zamanlarda kompozit malzeme ihtiyacını ortadan gideremezken ancak iki malzemenin belirli oranlarda birleştirilmesiyle duyulan ihtiyaca cevap vermektedir. Kompozit malzemelerin kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Yapılan arkeolojik çalışmalar sonucunda M.Ö. 1500 yıllarında Mısır'da (internet,” <https://tr.wikipedia.org/wiki/M%C4%B1s%C4%B1r>”) barınak için yapılan evlerin duvarlarında çamur ile bambu beraber kullanılarak kompozit bir malzeme elde edilmiştir.

Kompozit malzemeler günümüzde savunma sanayi, otomotiv sanayi, inşaat işleri, ahşap sektörü, sağlık vb. bir çok alanda kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin söz konusu ihtiyaçlara tam olarak cevap vermemeleri nedeniyle bu malzemelerin araştırmalar sonucunda geliştirilip daha etkin hale gelmesi sağlanmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda kompozit malzemelerin kullanım alanı genişlemiş ve daha dayanıklı malzemeler elde edilmeye çalışılmıştır. Sağlık alanında diş hekimlerinin diş kompozit dolgusu olarak kullandığı amalgam cıvanın farklı metallerle oluşturduğu karışımlardır. Bu şekilde dolguya sertlik kazandıracak olan metal cıva ile esneklik ve işlevsellik kazandırılarak kullanılmıştır. Yine örnek verilecek olursa çelik yelek olarak adlandırılan malzemenin daha etkin olarak kullanılması için jüt elyaf kumaş, Kevlar kumaş, epoksi ve grafen gibi dayanıklı malzemeler yardımıyla istenilen dayanıklılığa ulaşması hedeflenmiştir.

Genel olarak savunma sanayisinde kullanılan çelik yelekler kullanım açısından karşıdan gelecek olan mermi vb. darbelerin etkilerini absorbe ederek kullananların bu gibi durumlardan daha az zarar görmesini sağlamaktadır. Yakın tarihte, savunma sanayisinde kullanılan bu çeliğin ağır bir metal olmasından ötürü daha hafif ve daha dayanıklı kompozit malzemeler kullanılarak daha fazla kullanışlı yelekler yapılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda pek çok bilimsel araştırmada; elyaf gibi farklı malzemelerden epoksi ve farklı

katkı maddelerden daha hafif ve daha etkili malzemeler belirli oranlarda kullanılarak balistik ve darbeye karşı dayanıklı yelekler elde edilmiştir. Bu tezde bahs edilen bu malzemenin, epoksi reçineyle beraber grafenin de oranları değiştirilerek daha geliştirilmiş bir malzeme elde etmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak kompozit malzemelerin burada kullanılma amacı balistik olarak silahın vereceği etkiyi sönmüleyerek hedefin daha az zarar görmesini sağlamaktır. Balistik olarak tarihte kullanılan deri, katmanlı ipek ve zırhlar vb. teknolojinin getirdiği yeniliklerle ateşleme gücü yüksek olan silahların balistik davranışlarından zarar görmesinden ötürü bu etkiyi absorbe etmek için kompozit malzemelerin kullanılmasının gerektiğini öne çıkarmıştır. Balistik davranışları incelenen bu malzemelerin kullanılan etken maddelerine göre verdiği hasarlar tespit edilerek optimum değerler bu hesaplamalardan alınıp daha etkili yelekler elde edilmiştir. Bu yüzden bu tez için kullanılacak malzemeler olan grafen, jüt elyaf, kevlar elyaf ve epoksi belirlenmiş olup bu maddelerden elde edilecek savunma yeğinin balistik davranışları yine bu tezde belirlenmiş yöntemler doğrultusunda test edilip ortaya çıkan yeğinin savunma sanayisinde veya diğer sektörlerde kullanılabilirliği ölçülmüştür.

1.2 Genel Bilgiler

1.2.1 Kompozit malzemeler

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya daha farklı gruptaki malzemelerin özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde yapılan bir birleştirilme işlemi olarak adlandırılır. Karbon fiber plastikler, otomobil lastikleri ve sermetler bunlara örnek olarak gösterilebilirler. Bir kompozit malzeme, genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranında kullanılan tali fazı olan takviye elemanlarından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler veya alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz. Bir kompozit malzeme bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunu çevreleyen matris malzemesinin bulunduğu bilinmektedir. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitliğini ve dayanımını arttırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve

gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf ve matrisi bir arada tutmanın yanında çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılğan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca matris, plastik ve süneklik üstünlüklerinden dolayı elyaflarda kırılğan çatlakların yayılmasını önler. Şekil 1.1’de tez için üretilen kompozit malzemelere örnek verilmiştir (Bağatır, 2018).



Şekil 1.1: Jüt, keklar ve Jüt+keklar üretilen kompozit malzemeler

1.2.2 Elyafli kompozitler

Takviye eden fazın görevi yük taşımasıdır. Yükün %70-80’lik bir bölümünü bu faz taşımaktadır. Kompozit malzemelerde asıl dayanımı etkileyen kısım elyaf türü ve kompozit oranıdır. Bunların yönlenme ve dağılım durumuna göre özellikleri değişmektedir. Elyafların asıl yükü taşıyan kısmı uç bölgeleridir. Kompozit malzemenin

mukavemetinin iyi olabilmesi için yükü aynı doğrultuda yönlendirmesi gerekmektedir. Eğer yük elyaflara dik bir açı ile uygulanırsa istenilen mukavemet değerlerini vermez. Yük farklı oryantasyonlarda gelecek ise katlı olarak elyaf farklı açılarda yönlendirilmelidir. Böylece kompozit malzemedeki elyaflar iki veya üç boyutlu olarak yönlendirilir (Tuncer, 2018).

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf çeşitleri (Tuncer, 2018);

- Cam Elyaf
- Karbon Elyaf
- Aramid Elyaf
- Bor Elyaf
- Oksit Elyaf
- Yüksek Yoğunluklu Polyetilen Elyaf
- Polyester Elyaf
- Seramik Elyaf
- Doğal Organik Elyaf

1.2.3 Aramid elyafı

Aramid kelimesinin kökü aslında bir naylon türü olan aromatik poliamid malzemesinden gelir. Ticari ismi ise kevlar'dır. Aramid elyafın diğer elyaflara göre bilinen en önemli özellikleri; yüksek çekme dayanımı, darbe dayanımı, aşınma dayanımı, kimyasal maddelere karşı dayanım, hafiflik, yüksek basınçlara dayanımdır. Aramid elyafı doğal olarak sarı bir renge sahiptir. Dezavantajı ise ultraviyole ışınlarına maruz kalması durumunda bozulmalar olur. Bu yüzden karanlık ortamlarda saklanmalıdır (Tuncer, 2018).

Aramid elyafı piyasada askeri sanayi alanlarında balistik uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda ince, Şekil 1.4'de gösterildiği gibi hafif kurşun geçirmez yelekler yapımında sürekli tercih edilen kompozit malzemelerdir (Tuncer, 2018).



Şekil 1.2: Aramid elyaf kumaşı

1.2.4 Jüt lifleri

Doğal liflerin en ucuzu olan jüt bitkisi *Corchorus* familyasından yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir. Ticari amaçla yetiştirilen çeşitleri ise beyaz jüt diye bilinen ve daha hafif *Corchorus Capsularis* ve daha yumuşak ve güçlü olan *Corchorus Olitorius*'tur. Jüt lifleri işlendikten sonra bile doğal parlaklığını koruduğundan altın elyaf olarak da adlandırılırlar. Bu bitkilerin boyu 2 m ile 4 m arası olabilir. Şekil 1.5'de yetiştirilmekte olan jüt bitkileri görülmektedir (Muzoğlu, 2018).



Şekil 1.3: Jüt bitkisi (Muzoğlu, 2018)

Pamuktan sonra dünyada en fazla üretimi yapılan bitkidir. Tropik iklimde yetişen bu bitkinin anavatanı Hindistan'dır. Dünya çapında üretiminin %80'i Hindistan, Pakistan ve Bangladeş'te gerçekleştirilir. Üretimin bu bölgelerde fazla olmasının bir nedeni de işçiliğin çok ucuz olmasıdır. Bu bölgeler dışında Çin ve Malezya'da da yetiştirilmeye başlanmıştır. Ayrıca Akdeniz ülkelerinde de *Corchorus Olitorius* cinsi yetiştirilmektedir. Amerika'da ise Teksas ve Güney Karolina eyaletlerinde üretilmektedir. Şekil 1.6.'da hasat edilmiş jüt bitkileri görülmektedir (Muzoğlu, 2018).



Şekil 1.4: Hasat edilmiş jüt demetleri (Muzoğlu, 2018)

1.3 Epoksi Reçine

Gelişmiş kompozitlerde tercih edilen her elyaf türü ile uyumlu olan bir reçinedir. Epoksi grubunun polimerizasyonu ile elde edilirler. Formülleri değiştirilerek özellikleri kontrol edilebilir ve istenilen özellikler ayarlanabilir. Özellikle uçak sanayinde formülleri değiştirilerek geliştirilmiş epoksi reçineler kullanılmaktadır.

Matris olarak epoksi reçineler tercih edildiğinde yüksek bağ özellikleri ve mukavemet sağlar. Kimyasal dirençleri yüksektir. Aynı zamanda uçucu olmayan bir malzemedir. Polyester reçine ile kıyaslandığında maliyeti daha yüksektir. Genellikle cam elyaf ve karbon elyaf ile birlikte kullanımında tercih edilir. Epoksi reçinenin özellikleri (Tuncer, 2018):

Yüksek mekanik özellikler (Tuncer, 2018)

- Suya Dayanım
- Islak halde 140° C, kuru halde 220° C'ye kadar ısı dayanımı
- Sertleşme sırasında düşük oranında çekme

- Yüksek maliyet
- İnsan vücuduna zararlı olmasıdır.



Şekil 1.5: Epoksi reçine ile sertleştirici (internet, “<https://dostkimya.com/>”)

1.4 Nano Grafen

Karbonun doğada bulunan allotropları grafit ve elmadır. Grafit levha biçiminde iki boyutlu olarak üst üste yığılmasıyla katman şeklinde oluşan yapıdır. Grafen ise bunların bal peteği örgüsünde olanlardan bir tanesine verilen isimdir. Bunun yanında kompozit malzemelerde grafen ailesinden olan karbon nanotüp aynı sınıflandırma içerisinde. Karbonun sert bir atom olmasından dolayı bu elemanların nanopartikül boyutlarında kompozit malzemelerde katkı malzemesi olarak kullanımı mukavemette artışlar sağlamaktadır. Grafen ve karbon nanotüp az miktarda kullanıldığında bile gözle görülür bir artış sağlamaktadır (Tuncer, 2018).

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki grafen bileşeni eklenmesi burkulma önlemesinin yanı sıra titreşim sönümleme, elektriksel ve termal özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Grafen tek eksenli kompozit malzemelerde katmanlar arası kayma mukavemetini de önemli ölçüde arttırmaktadır (Tuncer, 2018).



Şekil 1.6: Katkılı plakada kullanılan grafen nano partikül tozu (internet, “<https://stringfixer.com/tags/yameraktan>”)

2. LİTERATÜR TARAMASI

Safri vd. (2014), tarafından yapılan çalışmada düşük ve yüksek hızlı çarpmalar kaşısında uçak yapılarının beka kabiliyetinin nasıl geliştirileceği önemli bir sorundur. Yapısal başarısızlığa öncelikle kırılma neden olduğundan, malzeme mekanizmalarının ve mekanizmasının temelden anlaşılması, sorunu çözmek için gereken en önemli adımlardan biridir. Yüksek hızlı bir darbede, kırılma genellikle sıkıştırmanın baskın olduğu etkilenmiş bir bölgede meydana gelir. Düşük hızlı bir darbe için, genellikle görünmez çatlaklar meydana gelir, ancak bunlar çıplak gözle görülemez. Kompozit yapıların etkin tasarımı için hedeflerin etkisinde yer alan deformasyon ve hasar mekanizmalarını anlamak önemlidir.

Afrouzian vd. (2017), tarafından yapılan çalışmanın amacı, çekme, eğilme ve enine yüklere maruz kalan nanosilika partiküllerle güçlendirilmiş cam elyaf takviyeli kompozit laminatta hasarı karakterize etmektir. Kompozitlerin ve nanokompozitlerin perforasyon tepkisini, eğilme ve çekme davranışlarını elde etmek için çekme, üç nokta eğilme, yarı statik girinti testi ve balistik darbe testleri kullanılmıştır. Nanoparçacık varlığında kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti ve sertliğini, darbe enerjisi absorpsiyonunu ve başarısızlık mekanizmalarını belirlemek için deneysel test serileri gerçekleştirilmiştir. El yatırma yöntemi, %40 fiber hacim oranına sahip 12 katmanlı dokuma cam fiberden oluşan nanokompozitleri üretmek için kullanılmıştır. Kompozitler, matrise göre ağırlıkça %0, %0.5, %1 ve %3 oranında organik olarak modifiye edilmiş nano-silika eklenerek güçlendirilmiştir. Sonuçlar, ağırlıkça %0.5 nanoparçacıklarda enerji absorpsiyonunun ve gerilme mukavemetinin maksimum olduğunu, ancak eğilme mukavemetinin ağırlıkça %3'te en yüksek değere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, yarı statik penetrasyonda maksimum kuvvette en yüksek enerji absorpsiyonu, elastik enerji ve enerji absorpsiyonu %0.5 nanosilika içeriğinde meydana gelmiştir. Balistik testler durumunda, nanosilikanın etkisi yarı statik girintiden daha somuttur. %0.5 nanosilikada nanokompozit, diğer kompozitler ve nanokompozitlere kıyasla daha yüksek balistik limit ve enerji absorpsiyonu kaydetmiştir. SEM görüntüleri, % 0.5 oranlı nanokompozitlerdeki kırılma yüzeylerinin pürüzlü olduğunu ve diğer numunelere kıyasla daha fazla çatlak ucu

oluşturduğunu, bu da statik ve dinamik testlerde daha yüksek enerji absorpsiyonuna katkıda bulunduğunu göstermiştir.

Muzoğlu (2018), tarafından yapılan çalışmada, doğal lif ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışı üzerine farklı ortam koşullarının ve farklı fiber oryantasyon açılarının etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Fiber olarak dokuma jüt ve dokuma Ecam kumaşlar, matris olarak da epoksi reçinesi kullanılarak (0c/30j)2s, (0c/45j)2s, (0c/90j)2s, (30c/-60j)2s, (45c/-45j)2s, (02c/902j)s, (0c/90j)2as, (02c/902j)as oryantasyon açılara sahip 8 tabakalı simetrik ve antisimetrik hibrit kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen hibrit kompozit plakalar oda koşulları, deniz suyu ve soğuk ortam olmak üzere 3 farklı ortam koşulunda 60 gün boyunca bekletilmişlerdir. 60 gün sonunda hibrit kompozitler bekletildikleri ortamlardan alınarak burkulma testlerine tabi tutulmuşlardır. Testlerden elde edilen veriler doğrultusunda, her bir ortam koşulu için hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışları incelenmiştir. Burkulma deneyleri sonucunda bütün ortam koşulları için, en yüksek kritik burkulma yükünün (0c/30j)2s dizilimli hibrit kompozit numunelerde olduğu, en düşük kritik burkulma yükünün ise (45c/-45j)2s dizilime sahip hibrit kompozit numunelerde olduğu belirlenmiştir. Deniz suyunda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin, oda koşullarında bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerine göre azaldığı görülmüştür. Soğuk ortamda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin ise oda koşullarına göre arttığı gözlemlenmiştir. Simetrik istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitler ile antisimetrik istifleme dizilimli hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri karşılaştırıldığında; simetrik dizilimli hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükü değerlerinin antisimetrik dizilimli hibrit kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Simetrik dizilimli hibrit konfigürasyonlar kendi içinde karşılaştırıldığında, (30c/-60j)2s ve (45c/-45j)2s istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitlerin burkulma dayanımlarının (0c/30j)2s, (0c/45j)2s, (0c/90j)2s, (02c/902j)s istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitlerin burkulma dayanımlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, farklı ortam koşullarının, farklı istifleme dizilimlerinin ve farklı oryantasyon açılarının doğal lif ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerine doğrudan etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Davoodi vd. (2011), tarafından yapılan çalışma, doğal elyaf kompozitlerin çevresel, teknik ve ekonomik avantajlarından dolayı farklı alanlarda uygulamaları artacaktır. Bununla birlikte, düşük mekanik özellikleri, otomotiv yapısal bileşenlerindeki özel

uygulamalarını sınırlamıştır. Diğer takviyeler veya matrislerle hibridizasyonlar, doğal fiber kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirebilir. Ayrıca, geometrik optimizasyonlar yapısal mukavemet iyileştirmesinde önemli bir role sahiptir. Davoodi vd. (2011) tarafından yapılan çalışma, tanımlanmış ürün tasarım spesifikasyonunun (PDS) güvenlik parametrelerini yerine getirmek için en iyi geometrik tampon kirişi konseptini seçmeye odaklanılmıştır. Geliştirilen hibrit kompozit malzemenin mekanik özellikleri, aynı ön eğrilik, kalınlık ve genel boyutlara sahip farklı tampon kirişi konseptlerinde ele alınmıştır. Düşük hızlı darbe testi, aynı koşullar altında Abaqus V16R9 yazılımında simüle edilmiştir. Bir değerlendirme matrisi oluşturmak için sapma, gerinim enerjisi, kütle, maliyet, kolay imalat ve nervür olasılığı olan altı ağırlıklı kriter analiz edilmiştir. En iyi konsepti seçmek için Topsis yöntemi kullanılmıştır. Küçük bir arabanın tampon kirişi için tanımlanmış malzeme modeline sahip çift şapka profilinin (DHP) kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca seçilen konseptin, tanımlanan PDS'ye uyum sağlamak için katkılı nervürler eklenerek veya tampon kirişinin kalınlığı artırılarak güçlendirileceği ifade edilmiştir.

Manero vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, Kevlar 29 darbeye dayanıklı kompozitler, balistik dirençli zırh da dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitin enerji emilimindeki ilerleme ve ağırlığın azaltılması, uygulamadaki etkinliklerini arttırmak için kritik öneme sahiptir. Termoset reçine sistemleri için tokluğu ve enerji emilimini arttırmak amacıyla karbon nano tüpler ve nano boyutlu çekirdek kabuk kauçuk parçacıkları eklenir [Manero vd. 2015]. Manero vd. (2015) tarafından yapılan çalışma, nano partikül katkı maddelerinin, artık Raman spektral kaymalarına karşılık gelen Kevlar 29 lifleri aracılığıyla kompozitin enerji emilimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Üç sınıf Kevlar kompoziti üzerinde V50 balistik testi gerçekleştirilmiş ve enerji emme özellikleri balistik bir darbe testi ve atış sonrası Raman spektroskopisi ile değerlendirilmiştir. Hem 1611 cm⁻¹ hem de 1649 cm⁻¹ referans Raman bantlarını araştırarak, katkı maddelerinin enerji emilimini ve genel kompozit performansını nasıl arttırdığı konusunda bir tartışma sunulmaktadır. Bu çalışma, iki farklı nano katkı maddesi tarafından kullanılan farklı mekanizmaların, matris sertleştirme, kavitasyon ve güçlendirme yoluyla ağırlıkça % 1 nano ve mikro boyutlu parçacıklar ilavesiyle V50 balistik performansını sırasıyla % 7.3 ve % 8 artırdığını göstermektedir.

Khodadadi vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada düz dokunmuş Kevlar kumaş ve kauçuk matrisinden oluşan kompozit panellerin darbe performansı araştırılmıştır. Deneysel testlerle birlikte sonlu bir eleman (FE) modeli, düzgün kumaş ve kompozitin darbe

yüklemesi altında tepkisini simüle etmek için geliştirilmiştir. Kumaşın her çözgü ve atkı ipliği ayrı ayrı modellenmiş ve kompoziti oluşturmak için kauçuk matris ağı ile birleştirilmiştir. Doğal kauçuğun Kevlar / kauçuk kompozitlerin darbe dayanımı üzerindeki etkisini anlamak için, farklı formülasyonlu iki tip kauçuk düşünülmüş ve mekanik özellikleri bölünmüş Hopkinson basınç çubuğu testleri ile elde edilmiş ve modele atanmıştır. Sayısal sonuçlar, hem temiz kumaş hem de kompozit için deneysel verilerle iyi bir uyum göstermiştir. Kauçuk matrisin Kevlar kumaşının kompozit esnekliğini koruyarak balistik performansını geliştirdiği gösterilmiştir. Yüksek sertlikteki kauçuk matris kompoziti, daha güçlü moleküller arası zincirlerin varlığı nedeniyle düşük sertlikteki kauçuk matris kompozitine kıyasla daha yüksek enerji emme kapasitesine sahiptir. Ayrıca, darbe yüklemesi altında kumaş ve kompozitin deformasyon ve hasar mekanizması araştırılmıştır.

Krushnamurty vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada organik olarak modifiye edilmiş montmorillonit nanokil, epoksi ve E-cam-epoksi kompozitlerine ilave edilmiştir. Nanokil içeriğinin (ağırlıkça % 0 ila % 5 arasında değişen) nispi çapraz bağlantı yoğunluğu ve epoksi matrisinin kırılma tokluğu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Diferansiyel tarama kalorimetrisi, nanokil üzerinde bulunan amino fonksiyonel grupların, epoksi matris ile reaksiyona girdiğini ve ağırlıkça % 3 ve % 5 ilavesinde çapraz bağ yoğunluğunu sırasıyla % 13 ve % 18 oranında artırdığını göstermiştir. Epoksi kompozitlerin tokluğu, ağırlıkça % 3 nanokil ilavesiyle % 25 oranında artarken, ağırlıkça % 5 oranında azalmıştır. E-cam-epoksi kompozitlerin eğilme mukavemeti ve gerilme mukavemeti, ağırlıkça % 3 nanokil ilavesinde sırasıyla % 12 ve % 11 oranında artmış, ağırlıkça % 5 ilavesinde bu özellikler matris gevrekleşmesi nedeniyle azalmıştır. İlginç bir şekilde, matris gevrekleşmesinin, darbe enerjisinin yayılmasını sağlayan gevrekleşmiş matrisin spallasyonuna bağlı olarak darbe direncinin arttırılmasında faydalı olduğu bulunmuştur. Ağırlıkça % 5 nanokil ilavesi, darbe mukavemetini % 29 arttırmış ve kompozitin arka yüz şişmesini % 31 azaltmıştır. Bu sonuçlar, daha iyi darbe mukavemetine sahip cam-epoksi kompozitlerin tasarımına ve gerçekleştirilmesine yol açacağı söylenebilir.

Chandramohan ve Kumar (2017), tarafından yapılan çalışma polimer biyo-kompozitlerin geliştirilmesi üzerine deneysel bir araştırma sunmaktadır. Toz haline getirilmiş hindistan cevizi kabuğu, ceviz kabuğu ve pirinç kabuğu, hibrit kompozit numuneler oluşturmak için bio epoksi reçine ile takviye olarak kullanılmıştır. Her numunedeki lif bileşimleri 1:1 iken reçine ve sertleştirici bileşimi sırasıyla

10:1'dir. Üretilen kompozitler, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, kesme mukavemeti ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikleri değerlendirmek için ASTM standartlarına göre test edilmiş ve hem nemli hem de nemsiz olarak değerlendirilmiştir. Testin sonucu, hibrit kompozitin mekanik yükler altında tekli cam elyaf katkılı kompozitten çok daha iyi özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Ancak ceviz kabuğu ve hindistan cevizi kabuğu lifinin dahil edilmesinin özellikleri iyileştirebileceği tespit edilmiştir.

Bozkurt (2006), tarafından yapılan çalışmada, kıvrılmayan cam elyaf katkılı polimer kompozitler için bir matris reçinesi olarak uygulamak üzere, epoksi esaslı nanokompozitler, modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş silikat nanopartiküller hazırlanmıştır. Silikat nanopartiküllerin cam katkılı kompozitlerin mekanik, termal ve alev geciktirici özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Laminatlar elle serme tekniği ile üretilmiş ve sıkıştırma altında sertleştirilmiştir. Katmanları araya koymak ve silikat katmanlarının matris içinde daha iyi dağılmasını sağlamak için silikat (montmorillonit, MMT) parçacıkları heksadesiltrimetilamonyum klorür (HTAC) sürfaktanları ile muamele edilmiştir. Yüzey işlemi ile ve yüzey işlemi olmadan silikatların X-ışını kırınımı, katmanlı silikatın katmanlar arası aralıklarının yüzey işlemi ile arttığını göstermiştir. Çekme testleri, silikat yüklemesinin kompozit laminatların gerilme mukavemeti ve modülü üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Laminatların bükülme özellikleri, cam elyafları ve epoksi matrisi arasındaki gelişmiş arayüz nedeniyle silikat ilavesiyle iyileştirilmiştir. Modifiye edilmiş MMT (OMMT) ilavesiyle, laminatların interlaminar kesme mukavemeti (ILSS) hafifçe azalmış, ancak laminatların kırılma tokluğu (KIC) artmıştır. Kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve sonuçlar, matristeki silikatların varlığı nedeniyle kırılma mekanizmalarının değiştiğini ortaya koymuştur. Diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) sonuçları, modifiye edilmiş silikat parçacıklarının kompozit laminatların cam geçiş sıcaklıklarını (T_g) arttırdığını göstermiştir. OMMT partiküllerinin dahil edilmesi, kıvrımsız cam elyaf katkılı epoksi kompozitlerin dinamik mekanik özelliklerini arttırmıştır. Epoksi matrikse silikat partikül ilaveleri nedeniyle kompozitlerin alev direncinin arttığı bulunmuştur.

Dındar (2019), tarafından yapılan çalışmada, E-cam ve karbon elyaflarla güçlendirilmiş epoksi bazlı kompozit malzemenin üretimi esnasında, epoksi içerisine ilave edilen karbon nanotüp (KNT) ve nanokil (NK) katkısının kompozit malzemenin mekanik özelliklerine, yorulma, burkulma ve darbe davranışlarına etkileri incelenmiştir. Bu

kapsamda nano partiküller epoksi reçineye ağırlıkça % 0.5 oranlarında ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ile homojenize edilmişlerdir. Katkısız, KNT ve NK içeren kompozit plakalar el yatırması yöntemi ile üretilmiştir. Kumaş takviye elemanı olarak tek yönlü ve dikişli kıvrımsız kumaş türleri tercih edilmiştir. Kompozit malzemelere ait kopma mukavemetleri, elastisite modülleri, kritik burkulma dayanımları, genel değişken şartlarda (çeki-çeki) yorulma dayanımları, ve darbe dayanım yükleri elde edilerek grafikler halinde sunulmuş ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (SEM) alınmıştır. Deney sonuçlarına göre KNT ve NK katkıların kompozit malzemelerin çekme, burkulma ve yorulma mukavemetlerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Diğer taraftan ağırlık düşürmeli darbe testlerinde ise düşük enerjili deneylerde darbe dayanımında artış görülürken yüksek enerjili deneylerde sonuçlar katkısız plakalara benzer çıkmıştır.

Vignesh vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada emniyet görevlileri tarafından kullanılan kurşun geçirmez yelekler, tamamen tehdit geçirmez olmadığından kurşun geçirmez yelekler yerine “Kurşuna dayanıklı” yelekler olarak adlandırılabilir. 0.357 SIG veya 9mm toplar gibi tabanca kalibrelerinden serbest bırakılan mermiler, yeleklerin dayanamayacağı çok yüksek bir hızda hareket eder. Bu yelekler çoğunlukla kevlar, spektrumlar ve dyneema gibi para-aramidlerle desteklenen seramik veya çelik plakalardan yapılır. Kevlar aromatik bir poliamid familyasından gelen organik bir liftir. Kevlar, onu diğer poliamid familyalarından ayıran eşsiz bir moleküler yapıya sahiptir. Para-aramid yapısı kevlarlara yüksek gerilme mukavemeti, yüksek modül, esneklik, termal kararlılık ve tokluğun optimum bir kombinasyonunu verir. Farklı uygulamalarda kullanılmak üzere farklı Kevlar çeşitleri üretilmektedir. Kevlar-29, balistik koruma için kurşun geçirmez yeleklerde en yaygın kullanılan malzemedir. Mukavemet ve esnekliğine rağmen kevlar, balistik koruma için daha az güvenilir olmasını sağlayan zayıf sıkıştırma mukavemeti gibi dezavantajlarına sahiptir. Kevlar lifler güçlü olmasına ve yüksek gerilme mukavemetine sahip olmalarına rağmen, sıkıştırma kuvveti ile başa çıkma kabiliyeti zayıftır. Ayrıca, bu plakaların dahil edilmesi, ceketlerin ağırlığını önemli ölçüde artırır. Grafen ise altıgen kafes yapıda düzenlenmiş iki boyutlu bir karbon atomu allotropudur. Şimdiye kadar bulunan en güçlü malzeme olduğu bulunmuştur ancak bir kağıttan çok daha hafiftir. Vignesh vd. (2020), tarafından yapılan çalışmada, grafen nanoparçacıklar kevlar lif katmanları arasına laminat olarak yerleştirilmiş ve bu güçlendirilmiş malzeme üzerinde dinamik balistik etki analizi yapılmıştır. Eşdeğer gerilmeler, toplam deformasyon, maksimum ana gerilme ve yeleklerin ve merminin yönlü hızı araştırılmış ve sonuçlar

grafen laminatlarla takviye edilmiş yeleklerin balistik performansında önemli bir artış göstermektedir.

Naik vd. (2020), tarafından yapılan çalışmada Kevlar kompozitleri üzerinde balistik etki arenasında son teknoloji ürünü bir derleme sunmaktadır. Kevlar elyaf katkılı kompozitlerle ilgili araştırmalar, yapısal özellikler ve karakterizasyon, geliştirme, çeşitli mühendislik ve müttefik sektörlerde uygulama, balistik etki sonrası başarısızlık mekanizmaları ve analizde kullanılan yöntemler üzerine odaklanmıştır. Amaç, bu alandaki araştırmanın durumunu göstermek, araştırma için zorlukları ve potansiyel alanları tanımlamaktır.

Khodadadi vd. (2019), tarafından yapılan çalışma, yüksek hızda darbe yüklemesi altında bir koloidal kesme kıvamlaştırıcı sıvı (STF) ile emprenye edilmiş dokuma Kevlar kumaşından oluşan elyaf katkılı kompozit malzeme araştırılmıştır. STF, silis nanoparçacıklarının ağırlıkça % 15, 25, 35 ve 45 yükte polietilen glikol içinde dağıtılmasıyla hazırlanmıştır. Silika nanoparçacık yükünün enerji Emilimi ve balistik sınır üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Reolojik sonuçlar, dört nanosilika yüklemesinde ve daha yüksek yüklemelerde kayma kalınlaşmasının daha düşük kayma hızında daha yüksek kayma kalınlaşması olduğunu göstermiştir. SEM görüntüleri, nanosilika parçacıklarının süspansiyonda iyi dağıldığını doğrulamıştır. Dışarı çekme testinin sonuçları, nanosilika yüklemesini arttırarak, ipliği STF ile emprenye edilen kumaştan dışarı çekmek için gereken kuvvetin arttığını göstermektedir. Kevlar kumaşının darbe direnci performansı, STF'nin varlığı nedeniyle önemli ölçüde artırılmıştır. Her ne kadar yüksek hız etki sonuçları nanosilika yüklemesini arttırarak, kompozitlerin enerji Emiliminin arttığını, ancak yüksek nanosilika yüklemesinde STF'nin etkinliğinin azaldığını göstermektedir. Daha fazla araştırma için, balistik sınırdaki enerji Emilimi, spesifik enerji Emilimini (SEA) vermek üzere, saf ve emdirilmiş kumaşların alansal yoğunluğu ile normalleştirilmiştir. % 15 nanosilika yüklemesinin SEA'sının, düzgün kumaşa göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca, SEA'nın temiz kumaşinkinden 2.3 kat daha büyük olduğu, ağırlıkça % 35 STF / Kevlar kompozitlerde en yüksek SEA ortaya çıkmaktadır.

Micheli vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada, elektromanyetik parazitlerden mekanik şokları ve kalkanları aynı anda emebilen bir malzeme geliştirmek hedeflenmiştir. Bu çok işlevliliğe yönelik birkaç katmanlı kompozit malzeme tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Test edilen kompozit örnekler, hibrit çok ölçekli malzemeden yapılmış ~3,5 mm kalınlığındaki karolardır: imalat, Kevlar kumaşının ve karbon fiber katlarının

birkaç katmanının karbon nanotüpleri ile güçlendirilmiş bir polimerik matris içine entegre edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Elektromanyetik kalkan etkinliği bir yankılanma odası vasıtasıyla ölçülmüştür. Katmanlı kompozitlerin performansları metalik davranışa 80 dB'ye kadar ekranlama değerleriyle yaklaşır. Darbe testleri, railgun olarak bilinen kurum içi inşa edilmiş doğrusal elektromanyetik hızlandırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tasarlanan kompozit malzemeden ince ve hafif bir karonun, katmanlı yapının lokal delaminasyonu ile yüksek enerji etkilerini emebildiğini göstermektedir.

Nascimento vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada doğal elyaf katkılı polimer kompozitler çok katmanlı zırh sisteminin (MAS) bir bileşeni olarak araştırılmıştır. Bu kompozitlerin, geleneksel yüksek mukavemetli sentetik aramid kumaş laminat kompoziti KevlarTM, MAS ikinci tabakasıyla aynı kalınlıkta değiştirilirken avantajlar sağladığı bulunmuştur. Çalışma ebexy kompozitlerin takviyesi olarak ebegümeci ve jüt liflerine dayanan diğer üç doğal kumaş için KevlarTM'in ikame edilmesi olasılığını araştırmıştır. Farklı oranlarda ebegümeci ve jüt lifi, laminat kompozit plakalar üretmek için epoksi ile ayrı olarak karıştırılmıştır. Bu plakalar, nispeten yüksek enerjili 7.62 mm'ye karşı balistik test edilen ikinci Al_2O_3/Nb_2O_5 seramik MAS katmanı olarak ayarlanmıştır. MAS'ın arkasındaki insan vücudunu simüle eden kil tanıklarında mermi nüfuzunun neden olduğu girinti derinliği değerleri her zaman güvenlik standardı sınırının altında olmalıdır. Bu girinti değerleri, ikinci katman olarak KevlarTM ile MAS'da elde edilenlere benzerdi. Bununla birlikte, önemli ekonomik avantajlar, sentetik Kevlar'a kıyasla incelenen doğal kumaş kompozitlerini desteklemektedir.

Tuncer (2018), tarafından yapılan çalışmada tabakalı kompozit plakalara nano boyutta katkı maddesi eklenmesi ile kompozit malzemelerde mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. İncelemelerin ışığında kompozit üretiminde katkı maddesi ilavesi ile malzemenin dayanımının nasıl değiştiği incelenmiş ve daha mukavemetli kompozit malzemelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Kompozit malzemelerde iki farklı amaçla dolgu veya katkı malzemesi kullanılabileceği bilinmektedir. Bunlardan biri mekanik özellikleri iyileştirmek için kullanılan takviye edici nitelikte olan dolgu maddeleridir. Diğeri ise ticari alanda yaygın olarak kullanılan ve maliyet düşürücü nitelikte olan dolgu veya katkı maddeleridir. Bu çalışmada farklı özelliklere ve tanecik boyutlarına sahip katkı malzemeleri kullanılmıştır. Ağırlıkça farklı oranında grafen, silika ve kalsit nano partiküller reçine içerisine ilave edilerek tabakalı kompozit plakalar hazırlanmıştır. Nano partikül etkisinin incelenmesi için iki farklı oryantasyona sahip plakalar üretilmiştir.

Plakalardan ASTM standardına uygun numuneler elde edilmiş ve tek eksenli mekanik çekme deneyleri yapılarak, katkı maddesinin kompozit malzemenin mukavemetine olan etkileri incelenmiştir. Tabakalı cam elyaf kompozit malzemelere nano partikül ilavesinin malzemenin dayanımında etkili bir rol oynadığı görülmüştür. İlave edilecek katkı oranlarında optimum noktaların olduğu belirlenmiştir. Özellikle optimum oranda grafen nano partikül kullanımı katkısız kompozit malzemelere göre kopma dayanımında %20 oranında artışa sebep olmuştur. Numunelerin su emme davranışları üzerine deneyler yapılmıştır. Tabakalı cam elyaf kompozit malzemelerin suya karşı mekanik davranışta önemli bir değişime uğramadığı gözlemlenmiştir.

Adams vd. (1989), tarafından yapılan çalışmada yüksek oranda ortotropik bir kompozit malzemeye, örneğin tek yönlü olarak güçlendirilmiş bir kompozit malzemeye bile saf eksenel çekme yüklemesi uygulayabilen bir çekme darbesi test cihazı tasarlanmış ve yapılmıştır. Charpy, Izod ve plaka darbesi gibi mevcut darbe testi yöntemleri, çok karmaşık stres durumlarına neden olarak sonuçların yorumlanmasını zorlaştırmıştır. Cihaz tasarımının detayları ve üstesinden gelinmesi gereken enstrümantasyon sorunları tartışılmıştır.

Akdoğan (2008), tarafından yapılan çalışma düşük enerjili bir serbest düşme test düzeneğinin tasarım ve imalatını, kurulan bu düzenekte yapılan düşük enerji seviyelerinde darbe testine ait örnekleri içermektedir. Metallere şekil vermekte kullanılan makinalar ayrıntılı olarak incelenmiş, çekiçlerin çeşitleri ve genel tasarım esasları sunulmuştur. Yapılan bu incelemelerin ışığı altında; serbest düşme test düzeneğinin, metallere şekil verme amacıyla kullanılan makinalar arasında en basit ve en ucuzu olduğuna karar verilmiştir. İmal edilen bu serbet düşme test düzeneğinin ana parçalarını; iki adet kızak direği, bir adet örs, bir adet koç, bir adet hız ölçüm sistemi ve bir adet serbest bırakma mekanizması oluşturmaktadır. Test düzeneğinin düşme yüksekliği yaklaşık olarak 4 – 4.5 metredir ve elde edilecek maksimum hız yaklaşık olarak 8 m/s olmaktadır. Bu yükseklikten bırakılacak olan 7 kg'lık bir koç, 190 J çarpışma enerjisi oluşturmaktadır. Ayrıca bu test düzeneği sayesinde, düşük enerji seviyelerindeki çarpışma testleri dışında, yüksek hızda talaşsız çubuk kesme, sac çekme ve şişirme gibi diğer metallere şekil verme işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir.

Monteiro vd. (2018), yaptıkları çalışmada düz dokuma jüt kumaş katkılı polyester matris kompozitlerin balistik performansı, çok katmanlı bir zırh sisteminde (MAS) ikinci katman olarak araştırılmıştır. Hacimce % 30'a kadar olan jüt kumaşın hacim fraksiyonları,

laminat kompozitleri üretmek için ortoftalik polyester ile karıştırılmıştır. Balistik testler yüksek hızlı 7.62 mm mühimmat kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnsan bedenini simüle eden bir kil tanığı bloğundaki merminin neden olduğu penetrasyon derinliği, MAS balistik performansını uluslararası standarda göre değerlendirmek için kullanılmıştır. Testlerden sonra kırılan malzemeler taramalı elektron mikroskop (SEM) ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, jüt kumaş kompozitlerinin, aramid kumaş laminatı olan çok daha güçlü Kevlar™ 'a benzer kalınlıkta MAS ikinci katmanı gibi bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu benzer balistik davranışın mekanizması ve jüt kumaş kompozitlerinin Kevlar™ üzerindeki karşılaştırmalı avantajları tartışılmıştır.

Tüzemen vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada farklı oranlardaki nanopartikül takviyesinin fiber, matris ve boşluk hacim oranlarına etkisi incelenmiştir. Karbon fiber/epoksi nanokompozit plakalar vakum infüzyon yöntemi (VİY) ile üretilmiştir. Üretim öncesinde matris elemanı olan epoksi içerisine farklı oranlarda nanopartikül katılmıştır. Üretilen nanokompozitler standartlarda verilen ölçülerde hazırlandıktan sonra yakma testine tabi tutulmuştur. Nanopartikül katkısı arttıkça hem epoksinin viskozitesi hem de epoksi içerisinde nanopartikül kümelenmeleri artmıştır. Bunun sonucunda üretim esnasında epoksinin basınç altında vakumlanması ve fiberleri ıslatması zorlaşmıştır. Yakma testi sonucunda %5 nanopartikül katkısının boşluk hacim oranını %221 arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yahaya vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, bir laminat konfigürasyonunda el yerleştirme yöntemi kullanılarak bir doğal/sentetik hibrit kompozit hazırlanmıştır. Doğal liflerin çok çeşitli uygulamalarda kullanılmasının avantajları, çevresel kaygılarla birlikte, araştırmacıları doğal/sentetik fiber hibrit kompozitleri keşfetmeye yöneltmiştir. Doğal elyaf, yüksek performanslı sentetik elyaf Kevlar (aramid elyaf) ile hibridizasyon için sistematik olarak seçilmiştir. Bu seçim, maliyet, kullanılabilirlik ve mekanik özelliklerin dikkate alındığı analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç kenaf liflerinin Kevlar ile hibridizasyon için en potansiyel lifler olduğunu göstermektedir. Kenaf/Kevlar hibrit kompozitlerini imal etmek için el yerleştirme yöntemi benimsenmiştir. Ardından uluslararası standartlara göre yapılan mekanik ve balistik testler uygulanmıştır. Bu çalışmaya dayanarak, kürleşme sonrası sıcaklık, kenaf içeriği ve reçine-sertleştirici karıştırma oranının kenaf-Kevlar hibrit kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiler sağladığı bulunmuştur. Kenaf içeriği ve lif oryantasyonu üzerindeki deneysel çalışmalar, dokuma ve tek yönlü kenaf fiber katkılı kompozitlerin, dokuma

olmayan mat ile karşılaştırıldığında daha iyi gerilme ve eğilme özellikleri sergilediğini göstermektedir. Hibrid kompozitlerde kenaf lifinin artan hacim fraksiyonunun gerilme ve eğilme özelliklerini azalttığı da fark edilmektedir. SEM mikrograflarına dayanarak, hibrit kompozitler tipik yarma işlemi ve arayüzey kesme kırığı nedeniyle başarısız olmuştur. Kenaf mat ile kompozit, laminatlarda yüksek boşluğu ve zayıf arayüzey bağımlı içerir. Araştırma, dış katmanlar olarak Kevlar ile hibrit kompozitin diğer hibrit kompozitlere kıyasla daha iyi bir mekanik özellik sergilediğini ortaya koymuştur. İşlenmiş kenaf liflerine sahip hibrid kompozitler, işlenmemiş hibrid kompozitlerden daha yüksek mekanik özelliklerle sonuçlanmıştır. Bununla birlikte, yüksek kenaf içeriğine sahip hibrid kompozitler düşük yoğunluk (0.88 g / m^3) göstermiş ve yüksek boşluk içeriğine (% 25.67) sahip olduğu görülmüştür. Su emme testinden sonra, darbe mukavemeti yaklaşık % 45.38'den % 78.52'ye düşürüldü. Kenaf-Kevlar hibrid kompozitlerin mekanik özellikleri lif içeriğinin bir fonksiyonudur. Kevlar-kenaf (78/22) oranlı hibrit kompozitler, diğer hibrit kompozitlere kıyasla daha iyi mekanik özellikler sergilemiştir. Balistik ölçüm testleri melez kompozitler, farklı darbe ve artık hızlarda mermi simüle eden mermiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En yüksek V50, örnek 14B'de (452 m/s), 12.7 mm kalınlığında, örnek 14 A'nın (295 m / s) üzerinde olan ve 10.43 mm kalınlığında % 34 oranında gözlenmiştir. 9.7 mm kalınlığında numune 8B, 393 m/s ' lik bir V50 sergilemiştir. 8.08 mm kalınlığında bir numune 8A'nın 295 m/s 'lik bir V50'si vardı. Spesifik enerji emilimi açısından, numune 8A, 8 Kevlar'dan % 40.09 daha az emerken, numune 8B, 8 Kevlar'dan % 37.71 daha az emmiştir. Sonuçlar hibrid tip B'de kenaf tabakalarının eklenmesine bağlı olarak enerji emiliminde önemli bir azalmaya işaret etmektedir. Balistik özelliklerin kompozitlerin kalınlığı ve alansal yoğunluğu ile arttığı gözlenmiştir. Kenaf-Kevlar hibrid kompozitlerinde katmanlar arası delaminasyon başarısızlık biçimleri olarak gözlenmiştir. Genel olarak, deneysel sonuçlar balistik etki uygulamaları için kenaf-Kevlar hibrid kompozitlerin potansiyelini göstermektedir.

İşık vd. (2013), tarafınad yapılan çalışma, muharebe araçları ile savunma maksatlı kullanılan teknolojik sistemlerin manevra için hafif olması ve beka için etkin koruma sağlaması önem arz etmektedir. Bekaya yönelik olarak istenen balistik koruma seviyesi farklı malzemelerle geliştirilen zırh sistemleri ile sağlanabilmektedir. Zırh tasarımında önemli parametrelerin başında koruma/ağırlık optimizasyonu bulunmaktadır. Beka yeteneği için ihtiyaç duyulan koruma seviyesini; zorlu arazi şartlarındaki güç, hız ve manevra ihtiyacı ile aracın hareket menzili ihtiyacı sınırlandırmaktadır. En etkin koruma

seviyesinin sağlanması için, yeni geliştirilen darbe dirençleri yüksek mukavemetli Zylon, Kevlar, Spectra gibi balistik örgülü kumaşlar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek mukavemete, kırılma tokluğuna, yorulma dayanımına ve balistik özelliklere sahiptir[İşik vd. (2013)]. İşik vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada, çoklu-ölçek yaklaşımı ile bir ipliği oluşturan mikro-ölçekteki liflerin malzeme özelliklerine dayanarak balistik örgülü kumaşın makro-ölçekli kopma davranışının en az hata ile tahmini incelenmiştir. Merminin zırha nüfuz etmesi; lif ve ipliklerin malzeme özellikleri, dokuma yapısı, mermi geometrisi, kütlesi ve hızı, katmanların etkileşimi, sınır şartları, ipliklerin birbirleriyle ve mermi ile olan etkileşim parametrelerine bağlıdır. Çarpma hızı ve kütlesi bilinen bir mermiyi durduracak örgülü kumaşın malzeme özelliklerine göre minimum katman kalınlığının doğru tespit edilmesi tasarımın en önemli sürecidir

Jung vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada, cam elyaf katkılı polipropilen (GFPP) kompozitlerin düşük hızlı darbe testi, tabakalar arası kırılma tokluğu dikkate alınarak simüle edilmiştir. Simülasyonda, katmanlar arası hasar, sırasıyla süreklilik hasar mekaniği (CDM) ve koheziv bölge yöntemi (CZM) modelleri kullanılarak modellenmiştir. Katmanlar arası hasar modeli için BK kriteri, mod I ve mod II ve karma modun kırılma tokluğu testlerinden elde edilen deneysel sonuçlarla birlikte kullanılmıştır. Geliştirilen hasar modelini ve delaminasyon gibi çeşitli özellikleri doğrulamak için düşük hızlı darbe testleri yapılmış. ve kuvvet-yer değiştirme özellikleri değerlendirilmiştir. Son olarak, katmanlar arası kırılma tokluğu ile geliştirilen hasar modelinin, katmanlar arası delaminasyon dahil olmak üzere GF/PP kompozitlerinin darbe davranışını doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Evcı ve Gülgeç (2012), tarafından yapılan çalışma, geliştirilmiş darbe performans özellikleri nedeniyle, kompozitler, darbe enerjisini emmek için mühendislik ve askeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin darbe tepkisinin belirlenmesi, mühendis ve imalatçıya arıza kriterlerini, ilk arızanın başlamasını ve laminatlar boyunca hasar büyümesini anlaması için kritik bilgi sağlar. Evcı ve Gülgeç (2012), tarafından yapılan çalışmada çalışma, darbe hasarı büyümesinin araştırılmasını ve üç farklı kompozit tipinde Hertzian başarısızlığının ve maksimum kuvvet eşiklerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Tek yönlü E-Glass, dokuma E-Glass ve dokuma Aramid 100 × 100 mm boyutlarındaki kompozit numuneler, aletli darbe test sistemi ile düşük hızlı darbeye tabi tutulmuştur. Kompozitlerin geri tepme, set üstü perforasyon ve perforasyon limitleri bulunmuştur. Ayrıca hem tek yönlü hem de düz örgülü E-Glass kompozitlerinin

enerji profil diyagramları elde edilmiştir. Test sonuçlarına göre, düşük hızlı darbe koruma sınırında dokuma kompozitlerin tek yönlü kompozitlere göre daha üstün olduğu bulunmuştur. Dokuma kompozitlerde hasar büyümesinin daha küçük bir alanda sınırlı olduğu da gözlemlenmiştir. Darbe testleri, deformasyon hızı duyarlılığının bir sonucu olarak, kompozit malzemelerin dinamik yükleme altındaki mukavemetinin statik yükleme durumuna göre önemli ölçüde arttığı sonucuna varmaktadır.

Sivasaravanan vd. (2014), tarafından yapılan çalışmada, Epoksi/Nanokil/Cam elyafın hibrit kompozitleri Hand-layup tekniği ile hazırlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan cam elyafı çift yönlü E-cam elyafıdır: 45° yönlendirme). Kompozit numuneler bir plaka şeklinde yapılmıştır. Numunenin hazırlanmasında eklenen nanokilin ağırlıkça %'si, ağırlıkça %1 ila ağırlıkça %5 arasında değişmektedir.

Czechowski vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada, bir kompozitin seçilmiş bir statik özelliğinin ampirik bir araştırması sunulmaktadır. Bazı balistik ürünlerin imalatında kullanılan çok katmanlı kompozit malzemenin kalite ve özelliklerini incelemek amacıyla, çekme testi, sertlik testi, eğilme testi ve delaminasyon testi yapılmıştır.

Jambari vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada dokuma Kenaf/Kevlar Hibrit İplik, doğal ve sentetik liflerin iplik veya iplik formundaki kombinasyonları kullanılmıştır. İplik, bir kumaş türü elyaf katkılı malzeme oluşturmak için dokunur. Daha sonra kumaş, hibrit bir kompozit oluşturmak için reçine olarak epoksi ile üretilir. Kompozit üretimi için, vakumlu torbalama elle yatırma yöntemi ile dokuma kumaş Kenaf/Kevlar hibrit iplik kompoziti hazırlanmıştır. Dokuma kumaş Kenaf/Kevlar hibrit iplik kompoziti, matris olarak toplam lif içeriği %40 ve %60 Epoksi ile üretilmiştir. Kenaf/Kevlar hibrit ipliğin elyaf oranları, sırasıyla 30/70, 50/50 ve 70/30 ağırlık fraksiyonunda değiştirilmiştir. Dokuma kumaş Kenaf/Epoksi ve dokuma kumaş Kevlar/Epoksi kompozitleri de karşılaştırma için üretilmiştir. Beş numune kompozitin mekanik özellikleri buna göre test edilmiştir. Sonuç, Kenaf/Kevlar Hibrit İplik kompozit dokuma kumaşın mukavemet ve modül değerinin Kevlar elyaf içeriği arttıkça arttığını göstermiştir. Bu nedenle, hibrit kompozit numuneler arasında 30/70 kompozisyonlu dokuma kumaş Kenaf/Kevlar Hibrit İplik kompozitleri, Kevlar %100 numunesinden %28 daha düşük olan 148.8 J ile en yüksek enerji absorpsiyonunu sergilemiştir. Bulgu, yüksek performanslı ürünün uygulanması için kompozit malzeme olarak üretilebilecek doğal elyaf ile sentetik elyafın potansiyel bir kombinasyonunun olduğunu göstermiştir. Hibrit kompozit numuneler arasında 30/70 kompozisyonlu dokuma kumaş Kenaf/Kevlar Hibrit İplik

kompozitleri, Kevlar %100 numunesinden %28 daha düşük olan 148.8 J ile en yüksek enerji absorpsiyonunu sergilemiştir. Bulgu, yüksek performanslı ürünün uygulanması için kompozit malzeme olarak üretilebilecek doğal elyaf ile sentetik elyafın potansiyel bir kombinasyonunun olduğunu göstermiştir. Hibrit kompozit numuneler arasında 30/70 kompozisyonlu dokuma kumaş Kenaf/Kevlar Hibrit İplik kompozitleri, Kevlar %100 numunesinden %28 daha düşük olan 148.8 J ile en yüksek enerji absorpsiyonunu sergilemiştir. Yüksek performanslı ürünün uygulanması için kompozit malzeme olarak üretilebilecek doğal elyaf ile sentetik elyafın potansiyel bir kombinasyonunun olduğunu göstermiştir.

Lee vd. (2003), tarafından yapılan çalışmada, koloidal kesme kalınlaştırıcı sıvı (etilen glikol içinde dağılmış silika parçacıkları (450 nm)) ile emprenye edilmiş dokuma Kevlar® kumaştan oluşan bir kompozit malzemenin balistik penetrasyon performansı araştırılmıştır. Emprenye edilmiş Kevlar kumaş, esnek, ancak penetrasyona dirençli bir kompozit malzeme sağlar. Yeni kompozit malzemenin etkinliğini göstermek için ~244 m/s'de parça simülasyon mermisi (FSP) balistik penetrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, malzeme esnekliğinde herhangi bir kayıp olmaksızın kumaşa kesme kalınlaştırıcı sıvının eklenmesi nedeniyle balistik penetrasyon direncinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu balistik test koşulları altında, emdirilmiş kumaş hedefleri, önemli ölçüde daha az kalınlık ve daha fazla malzeme esnekliği sunarken, eşit alan yoğunluğuna sahip düzgün kumaş hedeflerine eşdeğer performans göstermiştir. Balistik performanstaki artışın, kesme kalınlaşma tepkisi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir ve balistik çarpma sırasında kumaş-sıvı etkileşiminin olası mekanizmaları tanımlanmıştır.

Yilmazcoban ve Doner (2016), tarafından yapılan çalışmada, zırh matrisi katmanları için karbon fiber katkılı alüminyum petek, aramid ve kontrplak malzemeler kullanılmıştır. Kompozit katmanların sıralanma kabiliyetini belirlemek için, üç farklı kompozit için sıralı sandviç panellerin altı kombinasyonunun tümü için balistik testler, 36 kalibrelik tek çekirdekli bir mermi kullanılarak 700 m/s hızında değerlendirilmiştir. Çeşitli test koşullarının daha sonraki çalışmaları için daha ucuz ve güvenilir çözümler elde etmek için bilgisayar destekli balistik simülasyonlar analiz edilmiştir. Yeterli korelasyonların yapılabilmesi için test sonuçları ve bilgisayar simülasyonları birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Berk vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada, aramid/epoksi ve karbon-aramid/epoksi hibrit kompozitlerin balistik performansı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu kompozitler, vakum destekli reçine infüzyon kalıplama tekniği ile üretilmiştir. Gelişmiş

kompozit malzemelerin balistik testinde 7.62 M61 tipi AP (Zırh Delici) mermiler kullanılmıştır. Bir lazer hız ölçüm sistemi ile ölçülen altı farklı darbe hızı seçilmiştir. Artık hızlar, test edilen numunelerin arka yüzeyinden hız ölçüm tuzakları ile ölçülmüştür. Sayısal çalışma için ön işlemci olarak ANSYS yazılımı, çözücü olarak LS-DYNA yazılımı kullanılmıştır. Üç farklı sayısal model oluşturulmuştur. Deneysel testler ve sayısal simülasyonlar yapıldıktan sonra, enerji korunumuna dayalı olarak balistik sınır hızları hesaplanmıştır.

Lomov vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada, tekstil kompozitlerindeki hasarı karakterize etmeye yönelik bir test dizisi önerilmektedir.

Ramesh vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada, sisal-jüt-cam elyaf katkılı polyester kompozitler geliştirilmiş ve çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Arayüz özellikleri, iç çatlaklar ve kırık yüzeylerin içyapısı SEM kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sisal-jüt elyafının GFRP ile birleştirilmesinin, özellikleri iyileştirebileceğini ve cam elyaf katkılı polimer kompozitler için alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Hannon ve Tiernan (2008)'ın yaptığı çalışmanın odak noktası, öncelikle sac metal testine odaklanılarak geliştirilmiş ana çift eksenli test sistemlerinin kapsamlı bir incelemesini sunmaktır. Çalışma çift eksenli çekme testi cihazlarının bir incelemesini ve çift eksenli test için numune tasarımını içerir. Sac malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için sac metal işleme endüstrisinde metalin çift eksenli testi yaygınlaşıyor. Yaygın tek eksenli testin aksine çift eksenli çekme testinin kullanılmasının birincil nedeni, sac biçimindeki metalin büyük ölçüde anizotropik olmasıdır, yani imalatında kullanılan biçimlendirme işlemi nedeniyle farklı yönlerde değişen mekanik mukavemete sahip olmasıdır. Standart çekme testi, mekanik özellikleri yalnızca bir yönde belirlediğinden, elde edilen test verileri, derin çekme gibi çok yönlü şekillendirme süreçlerine uygulanamayabilir. Çift eksenli testler, servis sırasında tipik olarak birden fazla yönde yüklenebilen makine ve yapısal bileşenlerde kullanılan metallerin test edilmesi için de giderek daha önemli hale gelmektedir. Çift eksenli yükleme, geleneksel çekme testi yöntemleriyle belirlenenden çok daha az yüklerde malzemenin bozulmasına neden olabilir. Yukarıda belirtilen nedenler, çift eksenli test alanında araştırma faaliyetlerine yol açmıştır.

Bhatnagar vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada düzlem içi katkılı kompozit laminat veya herhangi bir enjeksiyonla kalıplanmış polimerik numuneyi aynı anda iki ana

yönde yüklemek için çift eksenli gerilim testleri için yeni bir mekanizma geliştirilmiştir. Bu mekanizma, herhangi bir tek eksenli gerilim test makinesine uyarlanabilir ve böylece pahalı özel makinelerde test yürütme maliyetini azaltabilir. Fikstür, herhangi bir polimerik malzeme sistemi üzerindeki çift eksenli yükleme durumunu karakterize etmek için gerekli olan eşit çift eksenli gerilim durumunu sağlar ve aynı zamanda, eş eksenli olmayan gerilimi kısa bir aralıkta test etmek için yeniden yapılandırılabilir. Mekanizma şu anda enjeksiyonla kalıplanmış kısa lifli poliamid ve nanoparçacık katkılı PP termoplastik kompozitlerin başarısızlık davranışını anlamak için kullanılmaktadır.

D'antino ve Papanicolaou (2018), tarafından yapılan çalışmada, çimento ve kireç esaslı matrisler içine gömülü karbon, cam, bazalt ve çelik liflerden oluşan dört farklı inorganik matrisli kompozitin mekanik özellikleri, iki farklı çekme testi düzeneği kullanılarak araştırılmıştır. Numune boyuna gerinim davranışını incelemek için analog LVDT'ler ve dijital görüntü korelasyon (DIC) ölçümleri kullanılmıştır. Çekme testlerinin sonuçlarının güvenilirliğini değerlendirmek için iki kriter önerilmiştir. Sonuçlar arasındaki karşılaştırma, test kurulumunun inorganik matrisli kompozitlerin çekme davranışı üzerindeki güçlü etkisini göstermiştir.

Micheli vd. (2016), tarafından yapılan araştırmanın genel amacı, aynı anda mekanik şokları absorbe edebilen ve elektromanyetik parazitlerden kalkan bir malzeme geliştirmektir. Bu tür çok işlevliliği hedefleyen birkaç katmanlı kompozit malzeme tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. karakterizasyon, 0.8-8.0 GHz aralığında elektromanyetik ekranlama etkinliği ve yaklaşık 400 m'de ateşlenen metalik mermilerin çarpması üzerine enerji soğurma kapasitesi açısından gerçekleştirilmiştir. /s ve 1000 m/s (bu hız, havacılık yapılarındaki potansiyel mekanik şokların düşük enerji aralığını keşfetmeye izin verir). Test edilen kompozit numuneler, hibrit çok ölçekli malzemeden yapılmış ~3,5 mm kalınlığındaki karolardır. İmalat, birkaç katman entegre edilerek gerçekleştirilmiştir. Kevlar kumaş ve karbon fiber, karbon nanotüplerle güçlendirilmiş bir polimerik matris içinde katlanmıştı. Elektromanyetik perdeleme etkinliği, bir yankı odası vasıtasıyla ölçülmüştür; katmanlı kompozitlerin performansları, 80 dB'ye kadar koruma değerleriyle metalik davranışa yaklaşmıştır. Darbe testleri, demiryolu tabancası olarak bilinen, şirket içi yerleşik bir doğrusal elektromanyetik hızlandırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tasarlanan kompozit malzemeden ince ve hafif bir karonun,

katmanlı yapının lokal delaminasyonu ile yüksek enerji etkilerini absorbe edebildiğini göstermektedir.

Huang ve Chen (2016), tarafından yapılan çalışma, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeleri (FGM'ler) formüle etmek için Al_2O_3 ve ZrO_2 'yi karıştırmışlardır. Al_2O_3 yüksek mukavemet ve sertlik sergilediği için seramik malzeme olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Al_2O_3 ve ZrO_2 karışımlarından $1500\text{ }^{\circ}C$ 'de sinterlenerek dört katmanlı ve on bir katmanlı Al_2O_3 - ZrO_2 FGM's üretilmiştir. Ayrıca, çeşitli Al oranları karıştırılarak test sayfaları oluşturulmuştur. Al_2O_3 ve ZrO_2 kırılma tokluklarını ve sertliklerini analiz etmek için. Sonuçlar, % 90 Al_2O_3 - %10 ZrO_2 tabakasının 15.12 GPa sertlik gösterdiğini ve %50 Al_2O_3 - % 50 ZrO_2 tabakasının $4,7\text{ MPa m}^{0,5}$ kadar yüksek bir kırılma tokluğu elde ettiğini ortaya koymuştur. Darbeye dayanıklılık testi, dört katmanlı Al_2O_3 -(%0, %10, %20, %30) ZrO_2 FGM, onbir katmanlı Al_2O_3 -(0-) dahil olmak üzere çeşitli test tabakalarının analiz edilmesini içermektedir. Balistik testler, aynı alan yoğunluğuna (4.64 g/cm^2) veya kalınlığa (11mm) sahip FGM'lerin en yüksek enerji emilimini elde etmiştir. Deneysel sonuçlar, FGM'lerin seramik konilerin oluşumunu ve yayılmasını geciktirebileceğini doğrulamıştır. Spesifik olarak, sertleştirilmiş alümina malzemeler radyal ve çevresel çatlakların büyümesini engeller, seramik konilerin oluşumunu geciktirir, konilerin arka düzleme çarpmasını azaltır ve mermi çarpması yaşayan seramik malzemelerin nüfuz etme direncini artırır. Bu özellikler havacılık, otomobil, askeri sanayi ve biyotıp gibi alanlardaki uygulamalar için önemli özelliklerdir.

Tabiei ve Nilakantan (2008), tarafından yapılan çalışmada kuru dokuma kumaş kompozitlerinin balistik etkisi araştırılmıştır. Dokuma kumaşların balistik penetrasyon direncini daha da artırmak hedeflenmiştir. İpliklerde ve kumaşta deneysel testler, balistik penetrasyon direnci, mermi özellikleri ve hata modlarına da dikkat edilmiştir.

Sorrentino vd. (2014), zırhların balistik davranışını tahmin etmek için birkaç analitik model vardır, ancak bu modeller genellikle fiber/matris hacim fraksiyonunun, fiberlerin mekanik özelliklerinin veya düşünülen kompozit laminat türlerinin bir fonksiyonu olarak balistik performansların yalnızca ortalama değerlerini sağlar. Bu nedenle, belirli bir malzeme tarafından yapılan balistik zırhların gerçek davranışını analitik olarak tahmin etmek zordur. Sorrentino vd. (2014), tarafından yapılan çalışmada, hem termoset reçine ile emprenye edilmiş Kevlar 29 kumaşlarından oluşan kompozit zırhların performansını hem de balistik sınır hızını tahmin etmek için analitik bir modelin güvenilirliğinin araştırılması

hedeflenmiştir. Üretilen zırhlar, balistik limit V 50'yi belirlemek için balistik testlere, zırh üretimi için kullanılan teknolojik süreç ve malzemelerin uygunluğunu göstermeye izin verilen testler tabi tutulmuştur.

Nayak vd. (2020), tarafından yapılan bildiride, kurşun geçirmez yelekler gibi balistik uygulamalar için koruyucu zırhlarda kullanılan doğal lifli kompozitlerin bir incelemesi sunulmaktadır. Sonuçları derlemeyi ve aynı uygulama için kullanılan mutlak sentetik kompozitlere alternatif olarak doğal fiber kompozitleri oluşturmayı amaçlanmıştır. İnceleme, en son makaleleri iki kategori sadece doğal lifler ve doğal ve sentetik lifli hibrit kompozitler altında değerlendirmiştir. Keten, bazalt, curaua, kenaf, aramid, jüt, hindistan cevizi ve kenevirden oluşan bir dizi lifi kapsamaktadır. Çalışma, kompozitleri sergiledikleri balistik sınıra ve standart balistik testler sırasında ölçülen arka yüz imzasına göre sistematik olarak sınıflandırır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bulgular, balistik zırhlarda kullanılan Kevlar gibi standart malzemelerle karşılaştırılmıştır. Hibrit kompozitlerin, düz doğal elyaf kompozitlere kıyasla üstün özellikler sunduğu görülmektedir. Doğal lifler, mevcut kompozitlere ekolojik ve ekonomik bir alternatif sağlar. İncelemede, balistik uygulamalar alanında doğal lifler için umut verici sonuçlar göstermekte olduğu ve bunların zırhtaki sentetik liflerin yerini almak için aktif olarak düşünülmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Chen vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada küresel boşluk genişleme teorisi uygulanır. Mermi burnunun direncinin ve mermi gövdesinin sürtünmesinin mermilerin nüfuz derinlikleri ve artık hızları üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır. Çift katmanlı kompozit hedeflere penetrasyon derinliğini kademeli olarak artırarak, çift katmanlı kompozit ile normal çarpma sırasında ogival burun mermilerinin kalıntı hızlarını, balistik sınır hızlarını ve penetrasyon derinliklerini belirleyen analitik modeli geliştirmek için sayısal hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca balistik testler için 6061-T651 alüminyum, 5083-H116 alüminyum, polikarbonat (PC) ve polimetilmetakrilat (PMMA) plakalardan yapılmış çift katmanlı kompozit hedefleri vurmak için NATO 0.30" zırh delici (AP) mermiler kullanmıştır.

Yanen ve Solmaz (2016), yaptıkları çalışmada, tabakalı hibrit kompozitlerin bireysel zırh malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışma kapsamında farklı fiber takviye açılarına, farklı tabaka sayılarına ve farklı kalınlıklara sahip Cam Fiber/Aramid Fiber/Karbon Fiber tabakalı kompozit plakaların balistik deneyleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Bu amaçla 200x200mm boyutlarındaki 30

tabakalı farklı kalınlıkta 4 adet plaka elle yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Farklı fiber takviye açılarının balistik performansının incelenmesi için 0° , 45° , plain ve twill kumaşlar kullanılmıştır. Üretimi yapılan tabakalı hibrit kompozit plakaların balistik testleri Elazığ Özel Harekât Şube Müdürlüğü atış poligonlarında Beretta marka tabanca ile 9mm FMJ mermi kullanılarak yapılmıştır.

Taş ve Ayaz (2019), tarafından yapılan çalışmada çeşitli kompozit malzemelerin balistik zırh malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla ASTM B265 özellikli titanyum levha, CT709 Aramid Fiber Kumaş 200 gr/sgm plain kullanılarak farklı katmanlarda farklı kompozit malzemeler üretilmiştir. Elde edilen balistik malzemelerin 9 mm FMJ mermi karşısında gösterdikleri balistik dayanımları NIJ-STD-0101.06 standardına göre incelenmiştir. Sonuç olarak giyilebilirlik ve taşıma açısından hafif ve balistik açısından da NIJ-STD-0101.06 standardına göre IIA seviyesinde başarılı numuneler üretilmiştir.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada kevlar ve jüt elyaf ve Kevlar+jüt elyaf kumaşlarda darbe ve balistik davranışlar araştırılmıştır. Kullanılan reçineye %0 ve % 0.2 oranında grafen ilave edilmiştir. Literatür çalışmalarında en iyi mukavemet değeri % 0.2 oranındaki grafen katkılarından elde edildiği için bu katkı oranı kullanılmıştır.

Önce üretilen kompozit malzemelerden numuneler alınarak çekme ve kayma testleri yapılmıştır. Daha sonra kompozit tabakalardan yapılacak testlere uygun numuneler alınarak darbe ve balistik testleri yapılmıştır.

3.1 Kompozit Plaka Üretimi

Bu tez çalışmasında Kevlar kumaş, Jüt kumaş ve Jüt+kevlar kumaşları birlikte kullanılarak Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit tabakalar üretilmiştir. Kullanılan kumaşlar Aramid (kevlar) 200 gr/m² – plain WR balistik ve Jüt'tür. Epoksi olarak MGS Laminasyon LR160 Reçine ile HGS LH160 sertleştirici 1/0.25 oranında kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak 3 nm boyutunda nano grafen kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de belirtildiği gibi balistik için 20 tabakalı ve çekme, kayma ve darbe testleri için 12 katlı 6 farklı plaka üretilmiştir.

Çizelge 3.1: Plakaların boyut ve katkı oranları

G Katkısı	Kompozit Plakalar	Balistik için Boyut	Değer Testler için Boyut
%0	Jüt	(250x250)mm	(300x500) mm
%0	Kevlar	(250x250)mm	(300x500) mm
%0	Jüt+kevlar	(250x250)mm	(300x500) mm
% 0.2	Jüt	(250x250)mm	(300x500) mm
% 0.2	Kevlar	(250x250)mm	(300x500) mm
% 0.2	Jüt+kevlar	(250x250)mm	(300x500) mm

3.1.1 Üretim aşamaları

İlk aşamada balistik için 250x250 mm'lik boyutunda 60 parça kevlar kumaşı ve 60 parça jüt kumaşı şekil 3.1'de belirtilen Robuso EC şarjlı kevlar makası ile kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 3.1: Kullanılan kevlar makası ve kesilen kevlar ve jüt parçaları

Diğer testler için 300x500 mm'lik boyutlarında 6 farklı plakadan ikişer taneden toplam 72 parça jüt ve 72 parça kevlar şekil 3.2 deki gibi kevlar makası ile kesilmiştir.



Şekil 3.2: 300x500 mm'lik boyutunda kesilen kevlar ve jüt kumaşları

Kevlar ile Jüt kesimlerinden sonra vakum infüzyon yöntemine şekil 3.3 deki gibi vakum naylonu, Peel ply kumaşı ve vakum infüzyon file kesimi yapılmıştır.



Şekil 3.3: Vakum infüzyon file kesimi

Plaka üretimi yapılacak olan jüt, kevlar ve jüt+kevlar şekil 3.4'deki gibi bir jüt bir kevlar olarak üst üste bırakılıp balistik için 20 tabakalı 10 parça jüt ve 10 parça kevlar ve diğer testler için 12 tabakalı 6 parça jüt ve 6 parça kevlar kullanılarak üretime uygun şekilde hazırlanmıştır.

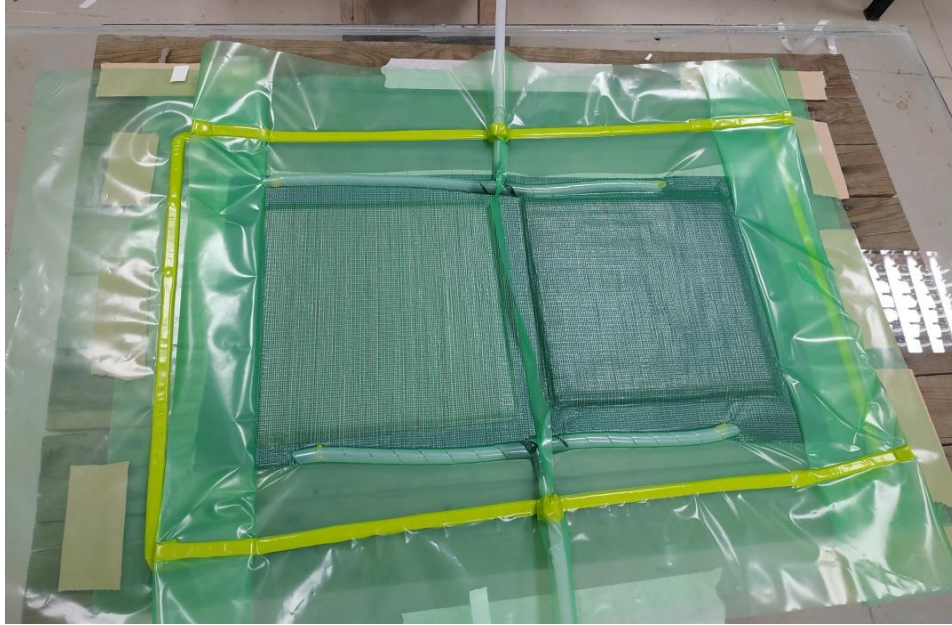


Şekil 3.4: Balistik için 20 tabakalı jüt ile kevlar kumaşları

21 derece oda sıcaklığında pürüzsüz yüzeyli masada şekil 3.5-3.6 deki gibi ilk önce vakum naylonu serilip her tarafı plaster bandı ile sabitlenmiştir. Sonra LSM 7000 vakum sızdırmaz bandı yapıştırılmıştır. Daha sonra sırası ile üretilecek plaka kumaşları üstüne peel ply kumaşı, vakum infüzyon filesi ve onun üstüne de vakum naylonu, vakum infüzyon T bağlantısı, spiral hortum ve İnfüzyon hortumu vakum pompasına göre kesilip yerleştirilmiştir.



Şekil 3.5: Vakum infüzyon yöntemi için numune hazırlama



Şekil 3.6: Vakum infüzyon yöntemi uygulamaya hazır numune

%0 Grafen katkılı numune için MGS Laminasyon LR160 Reçine ve reçinenin ağırlıkça %25 HGS LH160 sertleştirici ayrı ayrı tartılmıştır (Şekil 3.7-3.8).

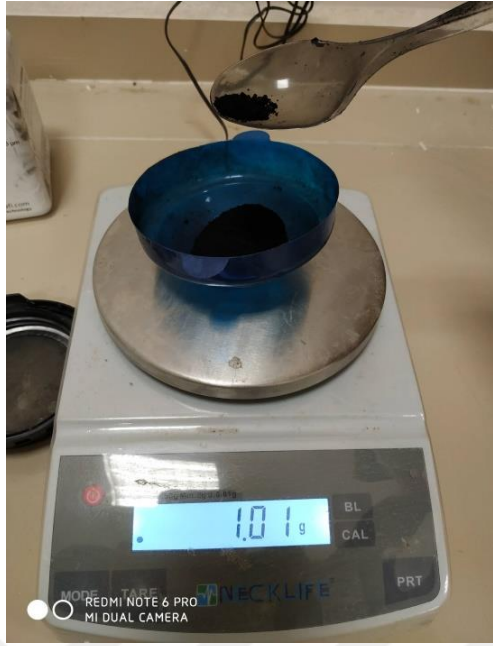


Şekil 3.7: Reçine ve sertleştirici



Şekil 3.8: Kullanılan tartı

% 0.2 Grafen katkılı numune için hassas tartı ile MGS Laminasyon LR160 Reçine, reçinenin ağırlıkça %25'i Hadener HGS LH160 sertleştirici ve reçine ile sertleştiricinin ağırlıkça % 0.2'si oranında nano grafen ayrı ayrı tartılmıştır (Şekil 3.9-3.10).



Şekil 3.9: Hassas tartı



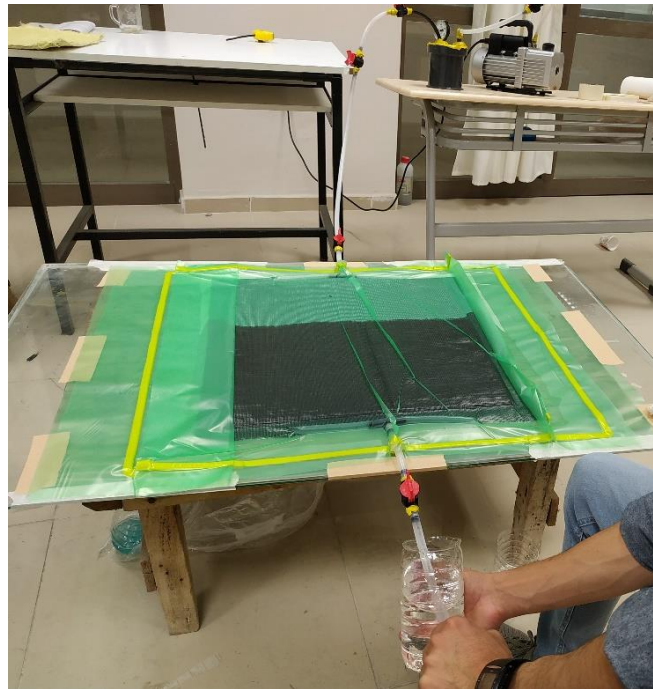
Şekil 3.10: Karışım için hazırlanan reçine, sertleştirici ve grafen

Hazırlanan 9 grafen katkılı ve 9 grafen katkısız olmak üzere 18 plaka belirtilen yöntem ile üretilmiştir. Epoksi karışımında dakikada 0-2800 devir hızına sahip matkap kullanılmıştır (şekil 3.11)



Şekil 3.11: Karışımında kullanılan Matkap

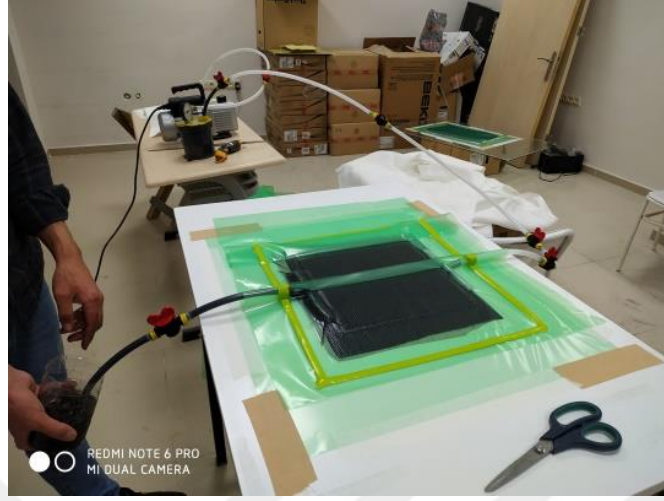
Vakum infüzyon yönteminde hazırlanan numuneye 1/2HP gücünde VP250 modeli 2 Sdage vacuum pompa ile karıştırılan reçine vakumlandı. Şekil 3.12’de % 0 Grafen katkılı reçinenin tabakalara emdirilmesi ve Şekil 3.13’de % 0.2 Grafen katkılı reçinenin tabakalara emdirilmesi görülmektedir.



Şekil 3.12: Grafen katkısız epoksinin vakum infüzyon yöntemi ile emdirilmesi

Vakum infüzyon yönteminde, numuneye epoksi reçineyi emzirdikten sonra

kapatılması için iki tarafa vakum vanası ve 2 vakum vanası pompa ile numune arasına olası oluşan boşluğu gidermek için güvenli bölge bırakılmıştır.



Şekil 3.13: Grafen katkılı epoksinin vakum infüzyon yöntemi emdirilmesi

3.2 Deney Numunelerinin Oluşturulması

Şekil 3.14’ de vakum infüzyon yöntemi ile oluşturulan kompozit plakaların balistik testi için 250x250 mm boyutunda pakalar üretilmiştir. Diğer testler için hazırlanan büyük boyutta plakalardan test için uygun boyutta numuneler kesilerek çıkarılmıştır. Jüt kompozit plakalar Şekil 3.15’deki HSG HS-Z1390 model lazer kesim makinesi ve kevlar ve jüt+kevlar plakaları lazer kesemediğinden Şekil 3.16’daki spiral kesim makinesi ile deney boyutlarına uygun şekilde kesim işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.14: Üretilen kompozit plakalar (jüt+Kevlar, jüt ve kevlar)

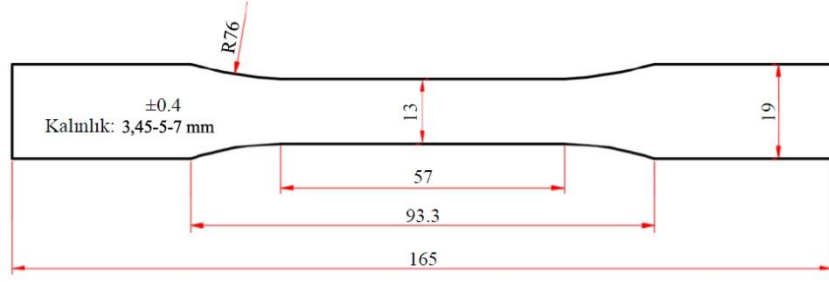


Şekil 3.15: HSG HS-Z1390 model lazer kesim makinesi

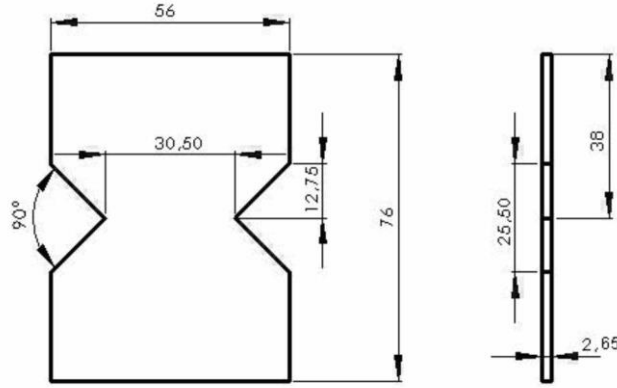


Şekil 3.16: Spiral kesim makinesi

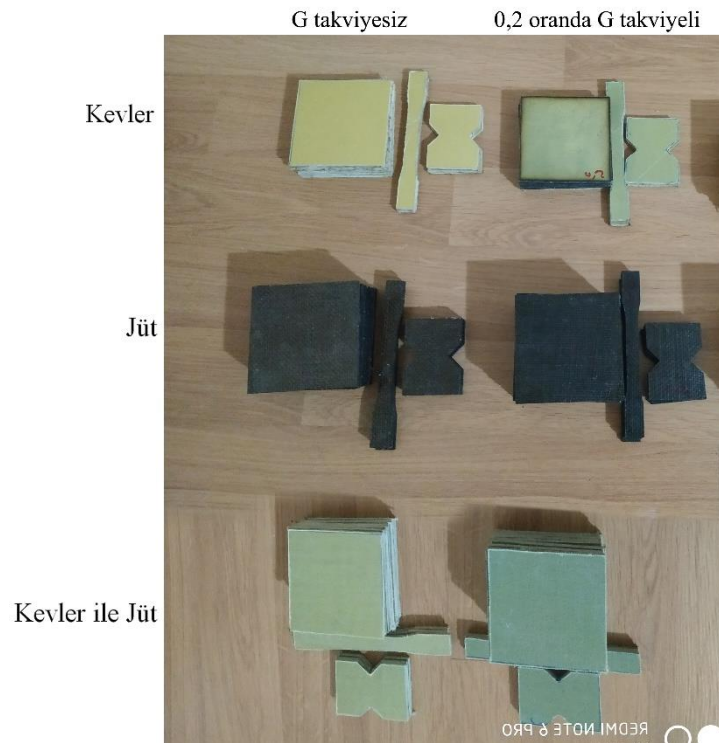
Deney numuneleri için ASTM D638 I standardına göre Şekil 3.17’de boyutları verilen ve 6 farklı kompozit plaka için toplam 18 adet çekme testi numunesi hazırlandı. ASTM D7078 standardına göre Şekil 3.18 de boyutları ve 6 farklı kompozit plaka için toplam 18 adet kayma testi numunesi hazırlanmıştır. Darbe testi için 100x100 mm boyutunda 3 farklı yük ve 6 farklı numune için 54 adet darbe testi numunesi kesilmiştir. Şekil 3.19 da çekme, kayma ve darbe testleri için hazırlanan numuneler görülmektedir.



Şekil 3.17: Çekme testi için üretilen numune boyutları



Şekil 3.18: Kayma testi için üretilen numune boyutları



Şekil 3.19: Çekme, kayma ve darbe testleri için hazırlanan numuneler

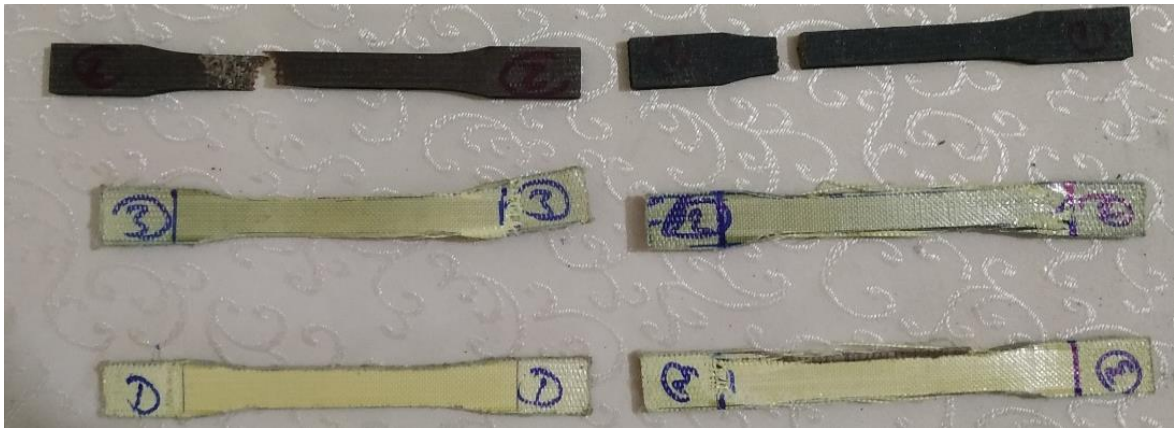
3.3 Deney Numunelerinin Çekme Testinin Yapılması

Standarda göre kesilen çekme numuneleri SHİMADZO AGS X 100 KN çekme cihazı kullanılarak test edilmiştir. SHİMADZO AGS X ± 100 kN çekme kapasitesine sahip standartlar doğrultusunda kabul gören optimum çalışma koşullarına uyum sağlayan test cihazıdır. Test numunesi bu alete sabitlenmiş ve her numuneden 3 adet olmak üzere toplam 18 adet numune 5mm/dakika çekme hızı ile çekme testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.20).



Şekil 3.20: SHİMADZO AGS X 100 KN çekme cihazı

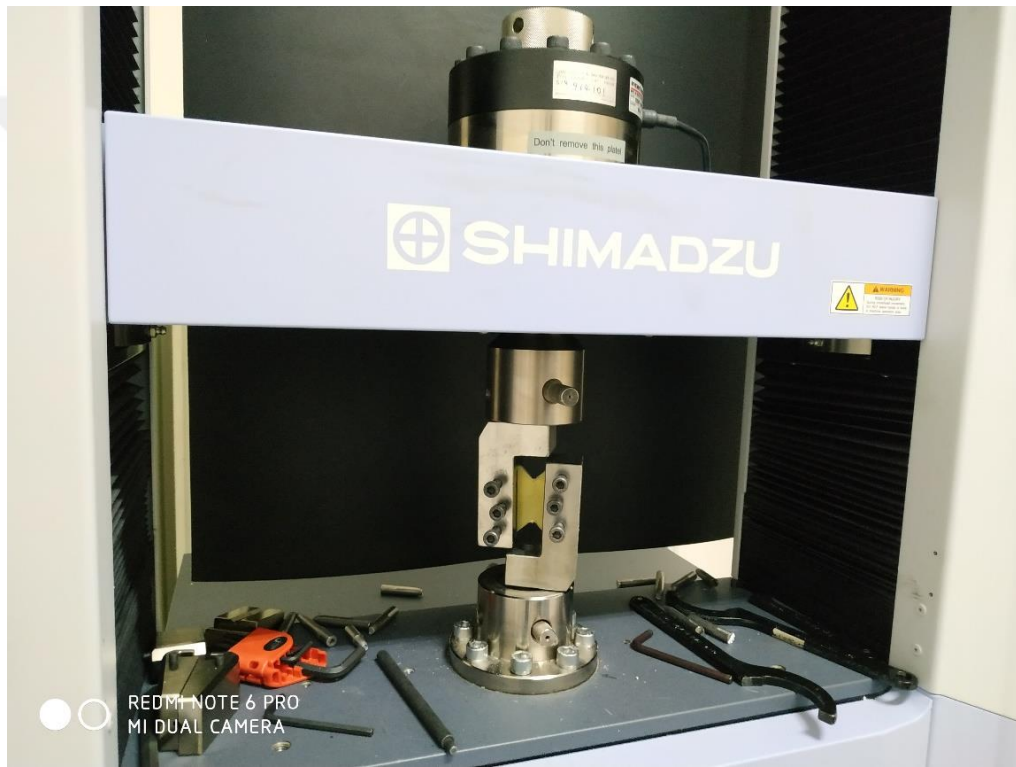
Şekil 3.21’de çekme testi yapılan her bir farklı kompozitten birer adet numune görülmektedir. Yapılan teste grafen katkılı jüt ve grafen katkısız jütte kopma olmuştur. %0 ve % 0.2 grafen katkılı Kevlar ve jüt+keklar numunelerde kopma üst katmanlarında olup katmanlar arası ayrışma ve hasar oluşmuştur.



Şekil 3.21: Çekme testi için yapılan numune örneği

3.4 Deney Numunelerinin Kayma Testinin Yapılması

Standarda göre kesilen kayma numuneleri SHİMADZO AGS X 100 KN çekme cihazı kullanılarak test edilmiştir. SHİMADZO AGS X ± 100 kN çekme kapasitesine sahip standartlar doğrultusunda kabul gören optimum çalışma koşullarına uyum sağlayan test cihazıdır. Test numunesi bu alete sabitlenmiştir. Numune kalınlığı kevlar 3.45mm, jüt 5 ve Jüta+Kevlar 7 mm, genişliği 13 mm ve ilk boyu 115 mm olan, her numuneden 3 adet olmak üzere 18 adet numune 5mm/dakika hızı ile kayma testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: SHİMADZO AGS X 100 KN çekme cihazı

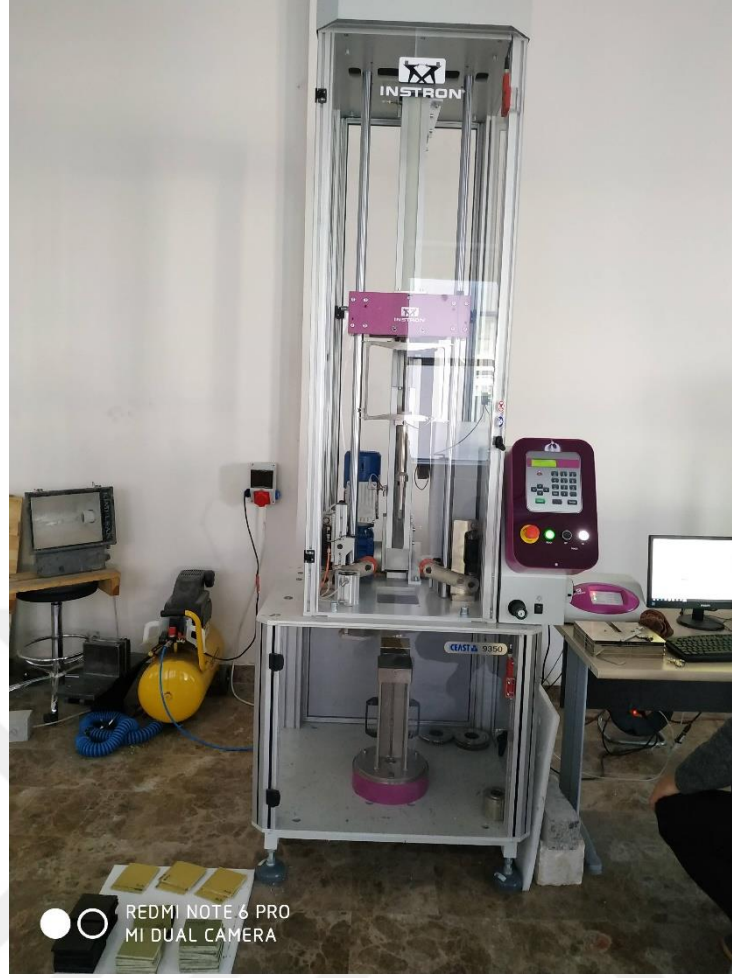
Şekil 3.23’de kayma testi yapılan her bir farklı kompozitten birer adet numune görülmektedir. %0 ve % 0.2 grafen katkılı jüt numunelerde kırılmalar oluşmuştur. % 0 ve % 0.2 grafen katkılı kevlar ve jüt+kevlar numunelerde deformasyon oluşmuştur.



Şekil 3.23: Kayma testi yapılan numune örnekleri

3.5 Deney Numunelerinin Darbe Testinin Yapılması

Darbe testi İNSTRON CEAST 9350 marka maksimum düşen kütle 70 kg (154lbs), maksimum tüp kapasitesi ve yükü uygulama kapasitesi 222KN (50.000 LBS) olan darbe cihazı ve 20 mm çapında hemisphere vurucu ucu ile darbe uygulanmıştır (Şekil 3.24). Grafen katkısız ve grafen katkılı 12 katlı jüt, kevlar ve jüt+kevlar birlikte kompozitlerin darbe davranışının araştırılması için kompozit numunelere darbe testleri uygulanmıştır. Numunelerin dayanımını araştırmak amacıyla numunelere 3 farklı yük ile 6 farklı numuneye her yük için üçer tane toplamda 54 numuneye darbe testi uygulanmıştır. Numune boyutları 100x100 mm ebatında kesilmiştir. Numunelere 10 j, 20j ve 30j olmak üzere 3 farklı yük uygulanmıştır.



Şekil 3.24: INSTRON CEAST 9350 darbe cihazı



Şekil 3.25: Test cihazına numune yerleşimi

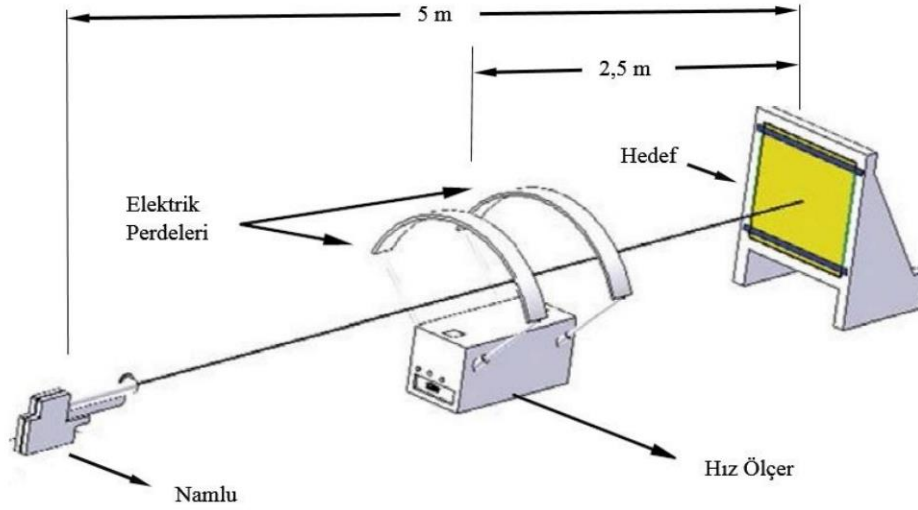
3.6 Deney Numunelerinin Balistik Testlerinin Yapılması

Bu çalışmada üretilen % 0.2 oranında nano grafen katkı ve katkısız jüt, kevlar ve jüt+kevlar 6 farklı numuneye 21 derece oda sıcaklığında kapalı ortamda balistik testleri yapılmıştır. Balistik testler bazı standartlar göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmada kompozit numunelerin balistik performansının ölçümünde National Institute of Justice (NIJ) değerleri referans olarak alınmıştır. NIJ0101.06 standardında kullanılan merminin kalibresi, tipi, ağırlığı ve hızı dikkate alınarak çeşitli koruma seviyeleri tanımlanmıştır. Çizelge 3.2’de NIJ standartları Yanen ve Solmaz (2015) verilmiştir.

Çizelge 3.2: NIJ standartları (Yanen ve Solmaz, 2015)

Koruma Seviyesi	Mermi Tipi	Atış Hızı (m/sn)	Çekirdek Ağırlığı (gr)
Seviye II-A (5m mesafeden)	9mm FMJ	373± 9.1	8
	40 S&W FMJ	352±9.1	11.7
Seviye II (5m mesafeden)	357 Mag. JSP	436±9.1	10.2
	9mm FMJ	398±9.1	8.0
Seviye III-A (5m mesafeden)	0,44 Mag. JSP	436±9.1	15.6
	9mm FMJ RN	448±9.1	8.1
Seviye III (15m mesafeden)	7,62 mm NATO FMJ	838±9.1	9.6
Seviye IV (15m mesafeden)	30 kalibre M2 AP	878±9.1	10.8

Hafif silahlara karşı kullanılan zırhlar için balistik performansın ölçümünde iki ana tehdit göz önünde tutulmaktadır. Bunlardan birincisi parça tesirine karşı koruma, diğeri ise mermi tesirine karşı korumadır. Mermiye karşı korumada NIJ 0101.06 standart değerleri referans olarak alınmıştır. Bu kapsamda atış test sisteminin şeması Şekil 3.26 da verilmiştir. Test düzeneğinde bulunan hız ölçüm cihazı ile merminin hızı tespit edilmektedir. Testler sırasında atışlar bir kişi tarafından yapılarak bütün numuneler için aynı şartlarda atış yapılması sağlanmıştır.



Şekil 3.26: Atış test sisteminin şeması (Yanen ve Solmaz, 2015)

Deney Sarsılmaz Kılınç 2000 marka 9 mm tabanca ile NIJ 0101.06 standardında belirtildiği gibi 5 m mesafeden yapılmıştır. Hedef ile tabanca arasında hedeften 2.5 m mesafede olacak şekilde hız ölçüm cihazı konumlandırılmıştır. Bu atışlar neticesinde farklı hızlarda meydana gelen deformasyon oluşan çöküntü miktarlarıyla ölçülmüştür. Deney düzeneği Şekil 3.27 de verilmiştir.



Şekil 3.27: Deney düzeneği

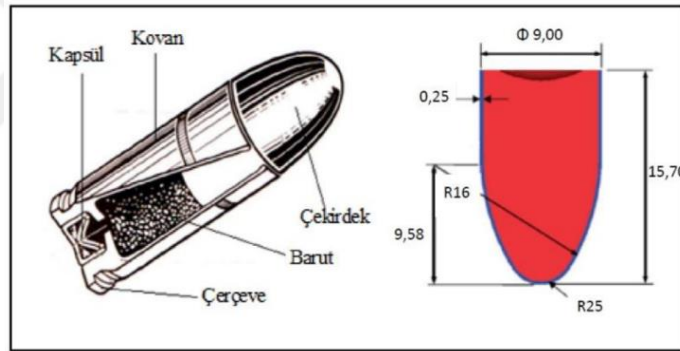
Bu çalışma kapsamında yapılan balistik testlerde 9 mm pirinç gövdeli, mermi kullanılmıştır. Kullanılan 9 mm merminin teknik özellikleri çizelge 3.3'de, yapı resmi ve çekirdek ölçüleri Şekil 3.28 de verilmiştir (Yanen ve Solmaz, 2015).

Kinetik enerjiye sahip bir merminin hedef üzerindeki delici etkisi, merminin kütlesine, enerjisine, hedefe vuruş açısına ve mermi ile zırh malzemesinin metalurjik yapısına bağlıdır. Merminin kütlesi (m) ve çarpma anındaki hız (V_m) olduğunda merminin kinetik enerjisi altaki denklemden elde edilebilir (Yanen ve Solmaz, 2015);

$$E_k = mV_m^2$$

Çizelge 3.3: Merminin teknik özellikleri

Çekirdek çapı (mm)	9.08
Çekirdek ağırlığı (gr)	8
Kovan ağırlığı (gr)	3.80
Çekirdek uzunluğu (mm)	15.70
Standart barut miktarı (gr)	0.41±



Şekil 3.28: Çekirdek ölçüleri [42]

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Çekme Deney Sonuçları

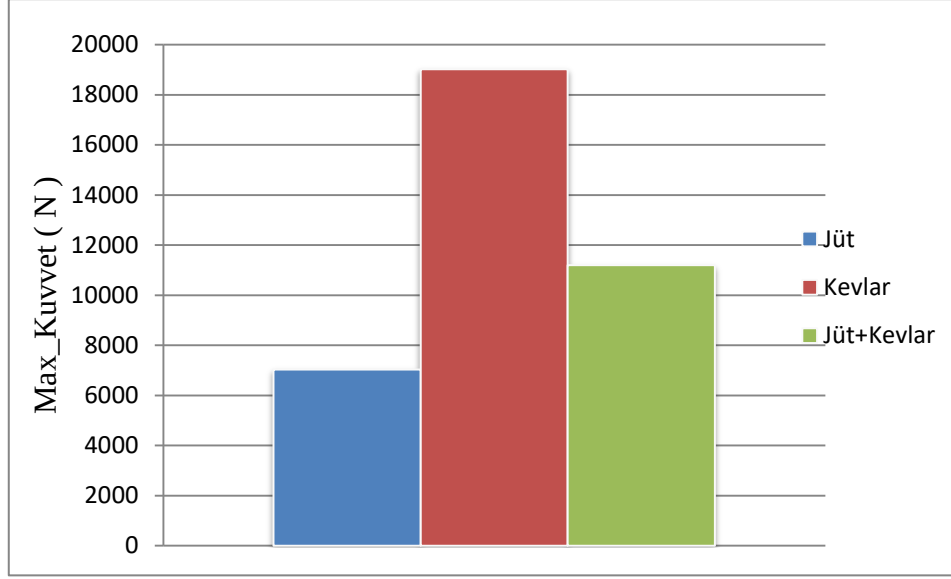
Bu çalışmada 6 farklı numune üretilip karşılaştırılmıştır. İlk üç numune jüt, kevlar ve jüt+kevlar birlikte kompozit katkısız numuneler olup diğer üç numunelerde jüt, kevlar ve jüt+kevlar katkılı olup % 0.2 oranlarda nano seviyede kalınlıkları bulunan grafen epoksi reçine içerisine karıştırılarak kompozit yapının çekme dayanımı incelenmiştir. Grafen reçinenin ağırlıkça % 0.2 oranında kullanılmıştır. Aynı özelliklere sahip en az üç numune üzerine monotonik artan eksenel çekme deneyleri yapılmış olup, bulunan sonuçların ortalama değerleri alınarak çizelgelerde gösterilmiştir. Katkı maddeleri olarak grafenin ağırlıkça % 0.2 gibi düşük oranlarda kullanılmasının sebebi tanecik boyutunun çok küçük olması ve epoksi reçine ile daha kolay yapışabilme özelliğine sahip olmasından dolayıdır. Düşük miktarda kullanımı bile mukavemeti arttırabilmektedir.

4.1.1 Katkısız epoksi kompozitlerin çekme test sonuçları

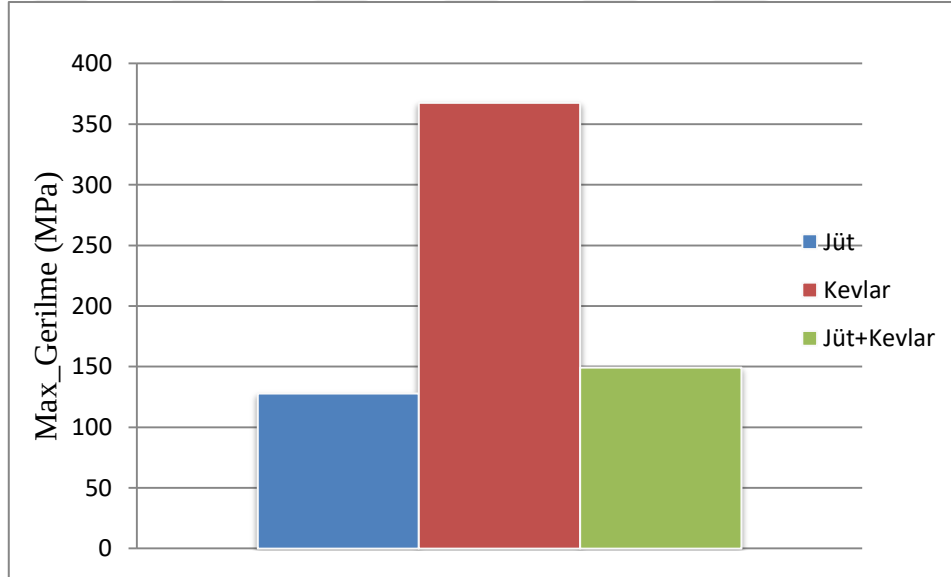
Grafen takviyesi yapılmayan jüt, kevlar ve jüt+kevlar kompozitlerin maksimum çekme dayanımları çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu üç kompozitin maksimum çekme kuvvetleri grafiksel olarak şekil 4.1’de ve maksimum gerilmeleri şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Katkısız kompozitlerin çekme dayanımları

Epoksi Kompozitler	Max_Kuvvet (N)	Max_Gerilme (MPa)	Max_Uzama (mm)	Max_Yüzde Uzama (%)
Jüt	7032,90	127,87	2.8507	2.47887
Kevlar	19023,54	367,60	7.81486	6.795
Jüt+Kevlar	11205,29	149,40	7.6624	6.66

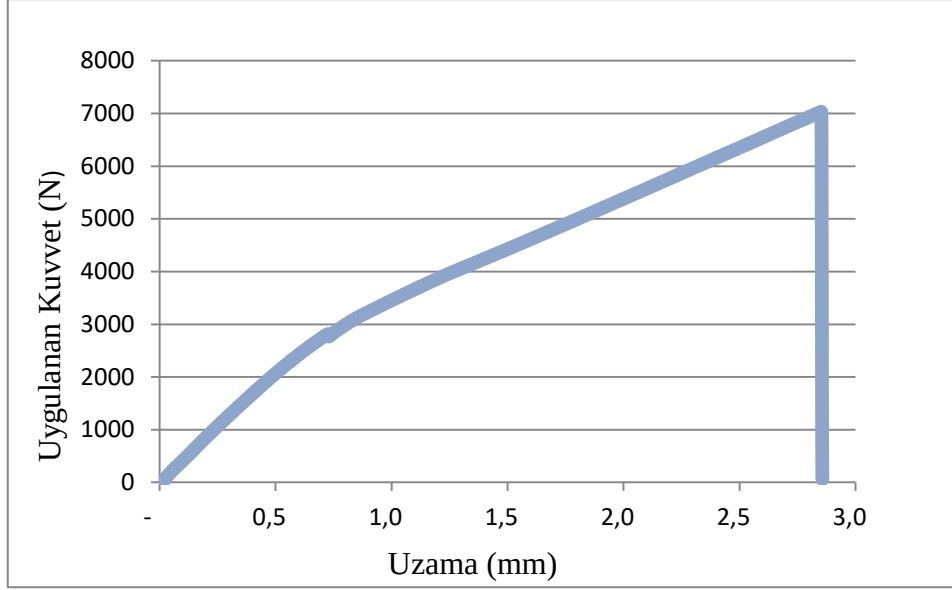


Şekil 4.1: Katkısız kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği

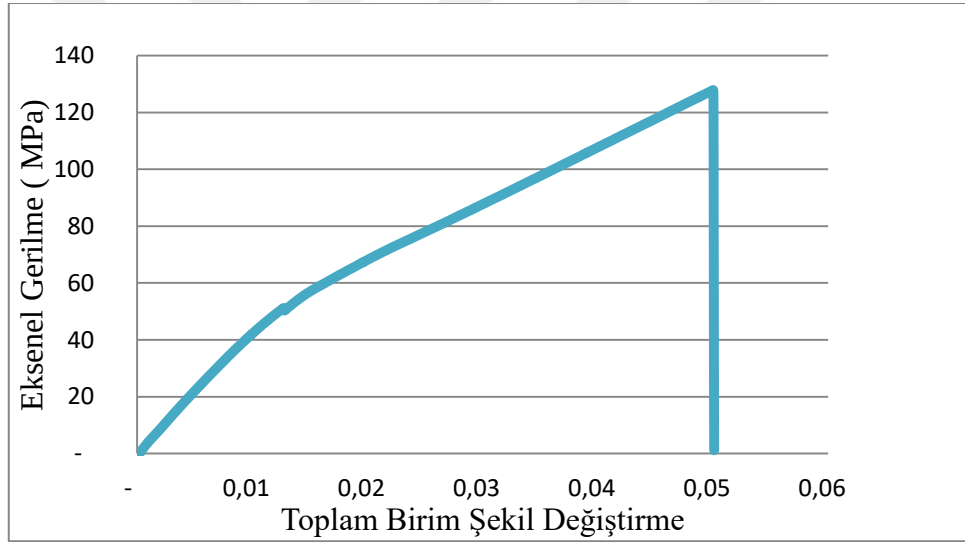


Şekil 4.2: Katkısız kompozitlerin maksimum gerilme grafiği

Katkısız jüt elyaf kompozit malzemenin kuvvet-uzama grafiği şekil 4.3’de ve gerilme-toplam şekil değiştirme grafiği şekil 4.4’de verilmiştir.

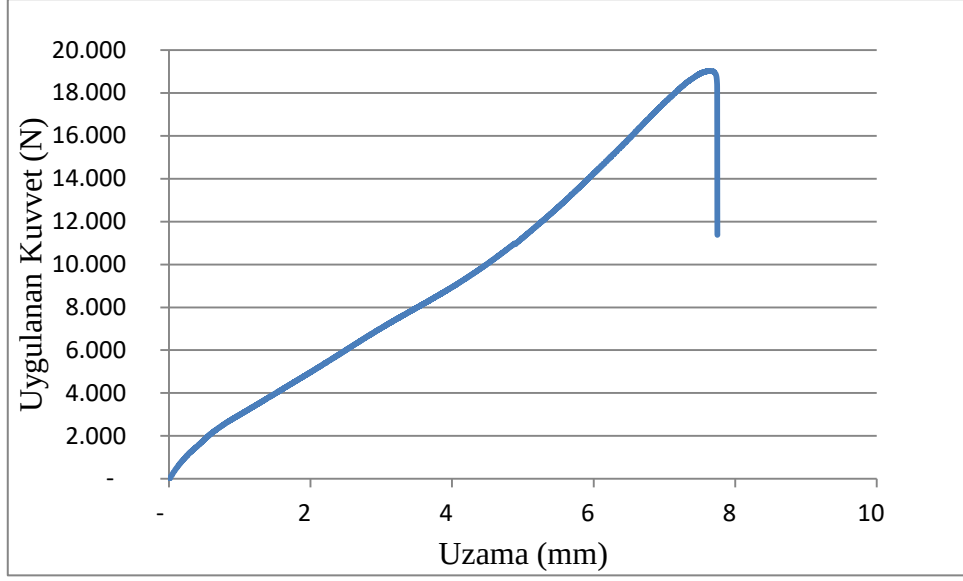


Şekil 4.3: Katkısız jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği

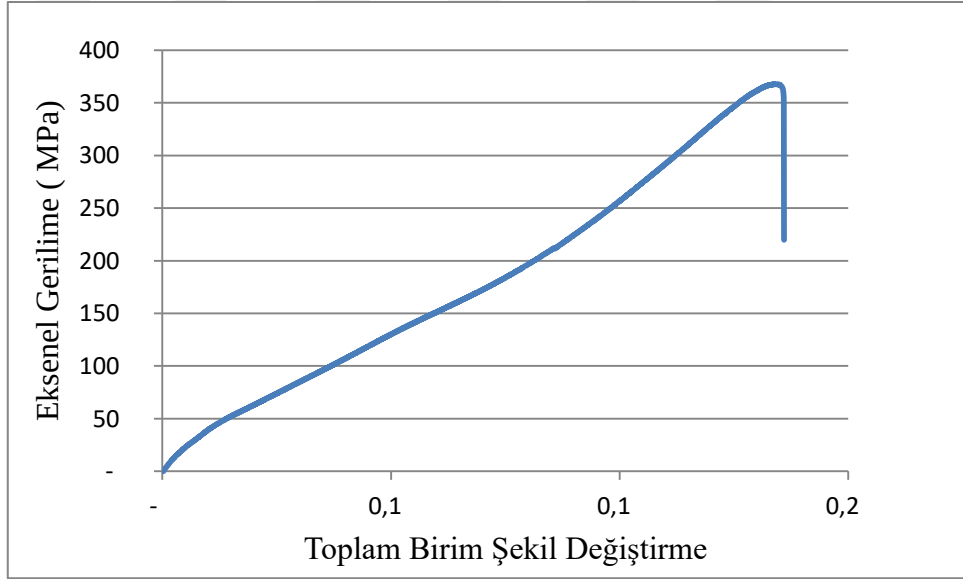


Şekil 4.4: Katkısız jüt kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Katkısız kevlar kompozit malzemenin kuvvet-uzama grafiği şekil 4.5’de ve gerilme-şekil değiştirme grafiği şekil 4.6’de verilmiştir.

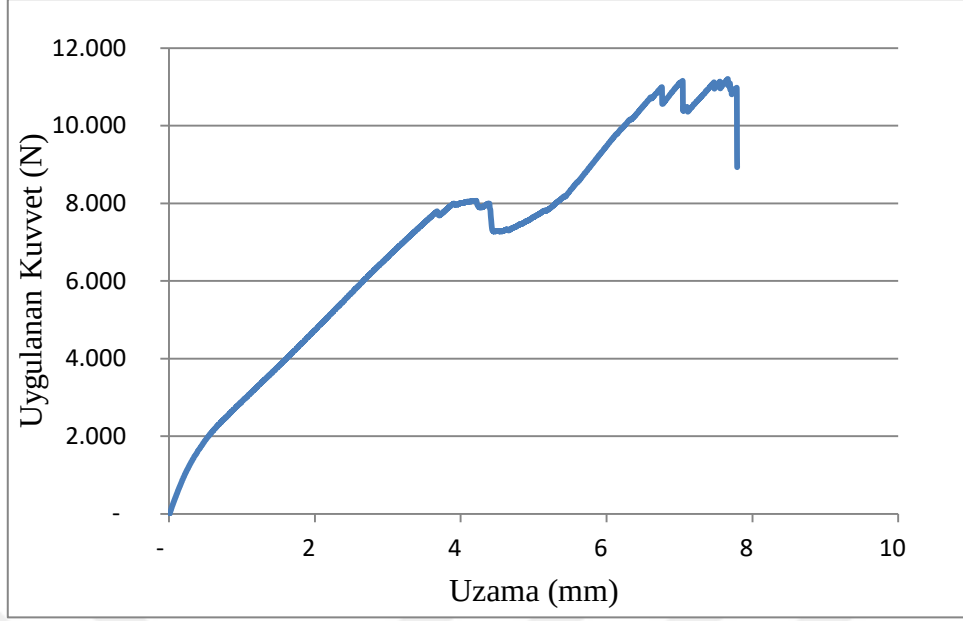


Şekil 4.5: Katkısız kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği

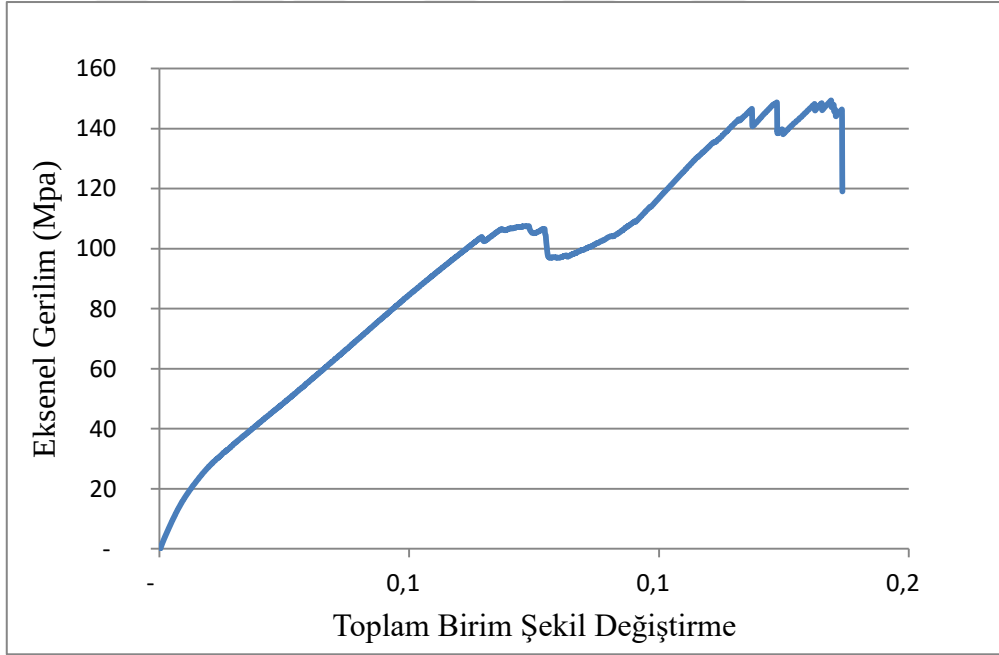


Şekil 4.6: Katkısız kevlar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.

Katkısız jüt+kevlar elyaf kompozit malzemenin kuvvet-uzama grafiği şekil 4.7’de ve gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7: Katkısız jüt+keklar kompozitin kuvvet-uzama grafiği



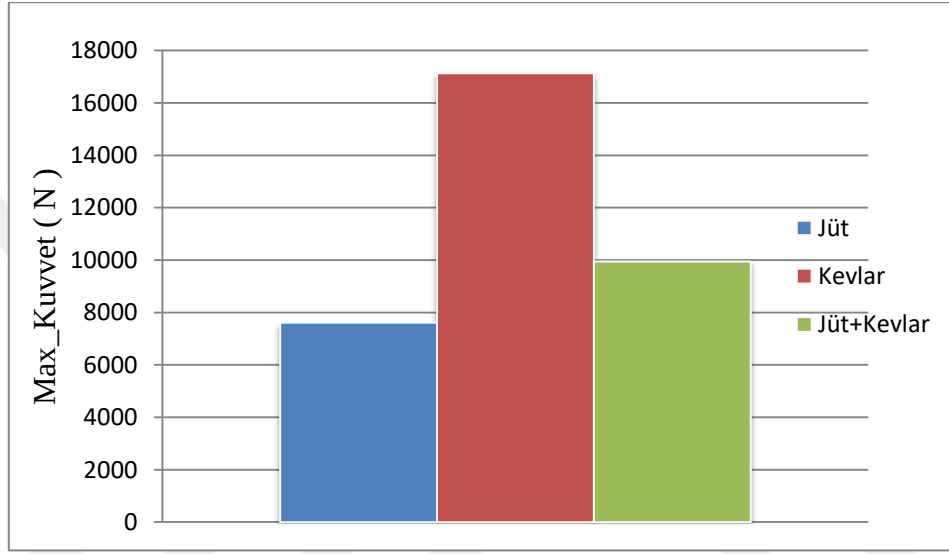
Şekil 4.8: Katkısız jüt+keklar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme

4.1.2 % 0.2 Oranında grafen katkılı epoksi kompozitlerin çekme test sonuçları

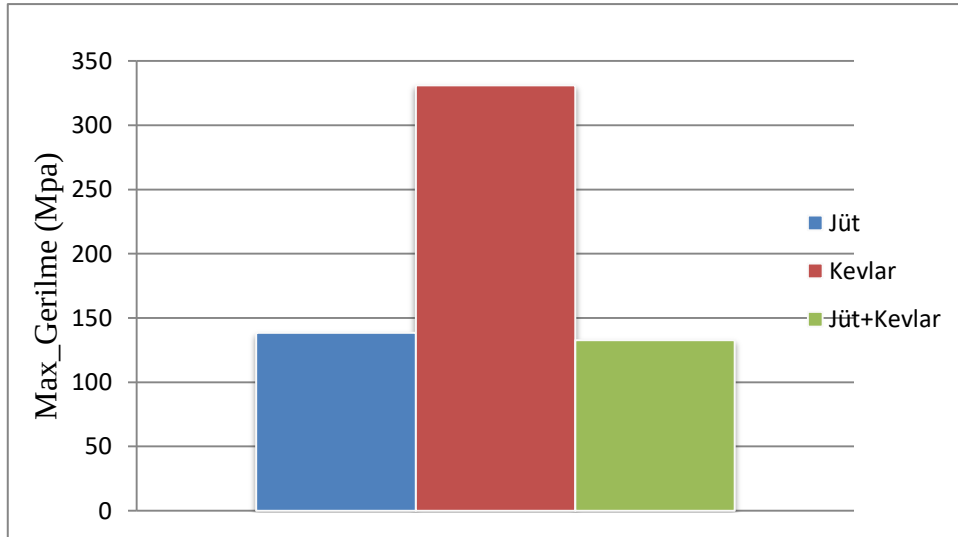
% 0.2 oranında grafen takviyesi yapılan jüt, keklar ve jüt+keklar kompozitlerin maksimum çekme dayanımları çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu üç kompozitin maksimum kuvvetleri grafiksel olarak şekil 4.9'de ve maksimum gerilmeleri şekil 4.10'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin çekme dayanımları

Epoksi Kompozitler	Max_Kuvvet (N)	Max_Gerilme (MPa)	Max_Uzama (mm)	Max_Yüzde Uzama (%)
Jüt	7614,25	138,44	3.119	2.7124
Kevlar	17138,12	331,17	7.67466	6.6753
Jüt+Kevlar	9957,15	132,76	7.20659	6.2666

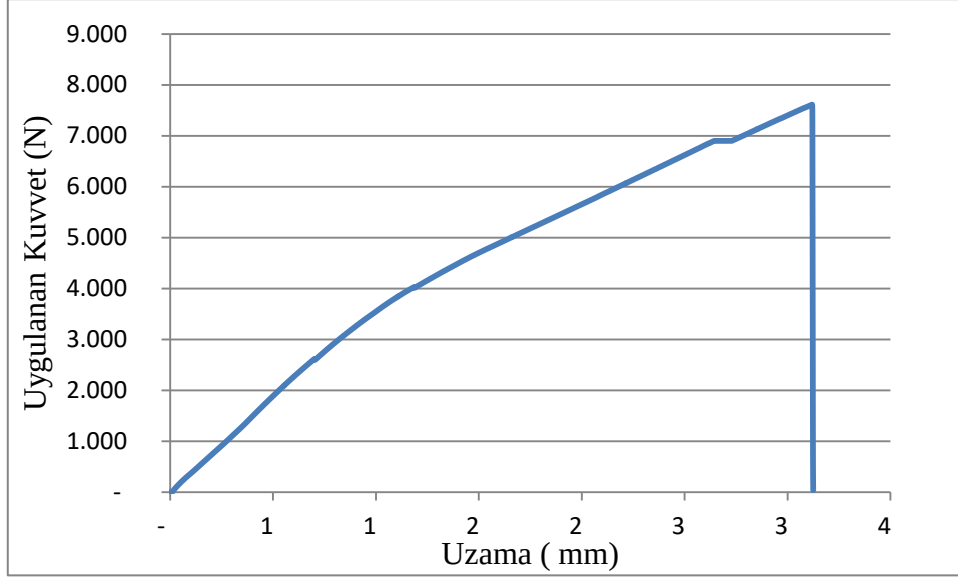


Şekil 4.9: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği

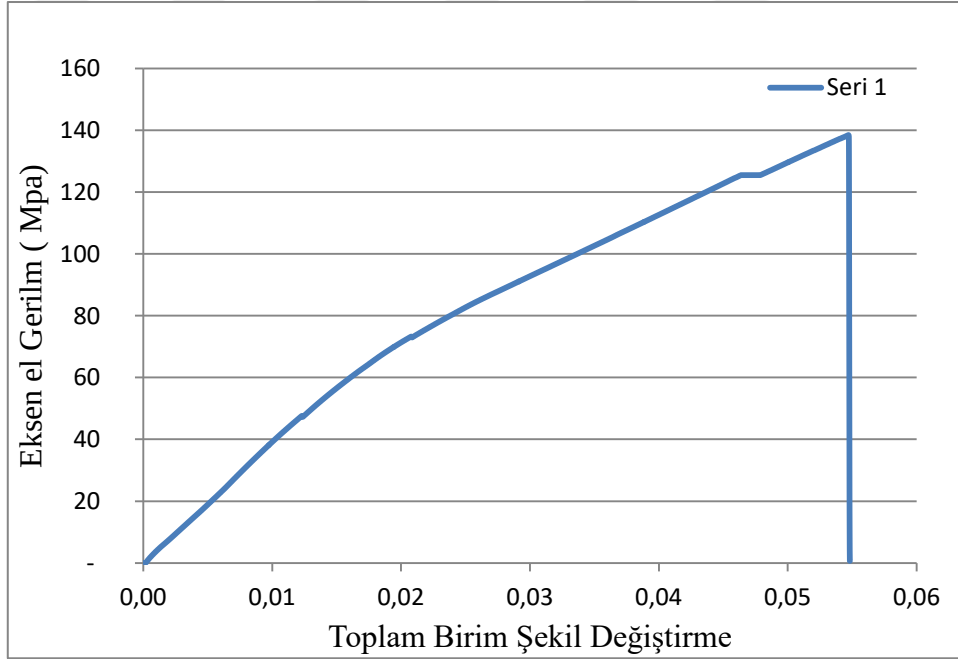


Şekil 4.10: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum gerilme grafiği

% 0.2 oranında grafen katkılı jüt elyaf kompozit malzemenin kuvvet-uzama grafiği şekil 4.11’de ve gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 4.12’de verilmiştir.

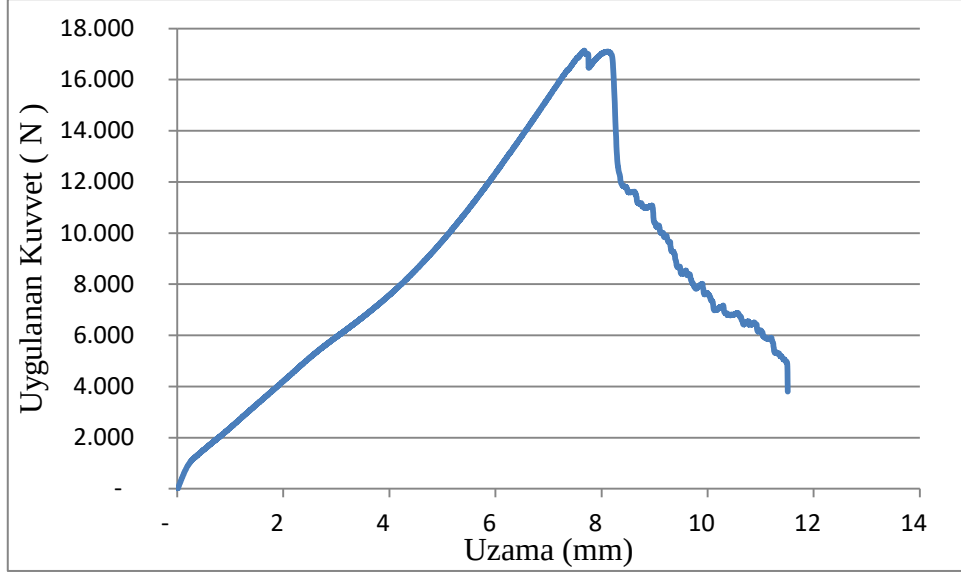


Şekil 4.11: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği

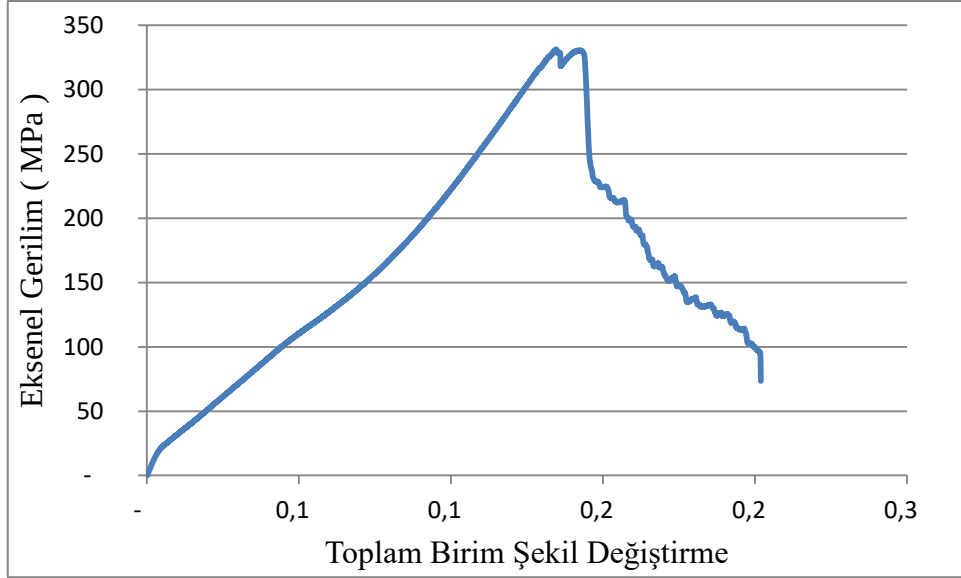


Şekil 4.12: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

% 0.2 oranında grafen katkılı kevlar elyaf kompozit malzemenin kuvvet-uzama grafiği şekil 4.13’de ve gerilme-birim şekil değiştirme grafiği şekil 4.14’de verilmiştir.

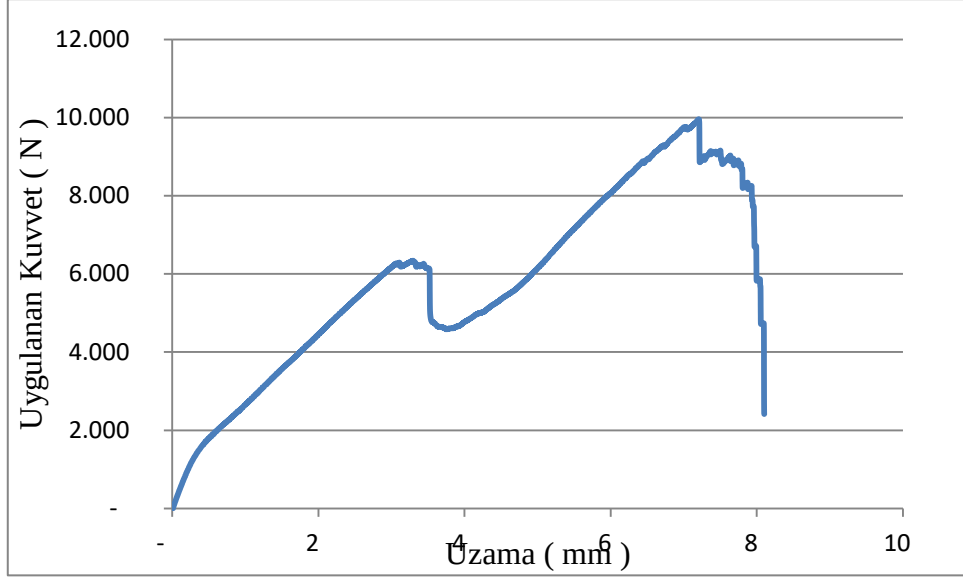


Şekil 4.13: % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği

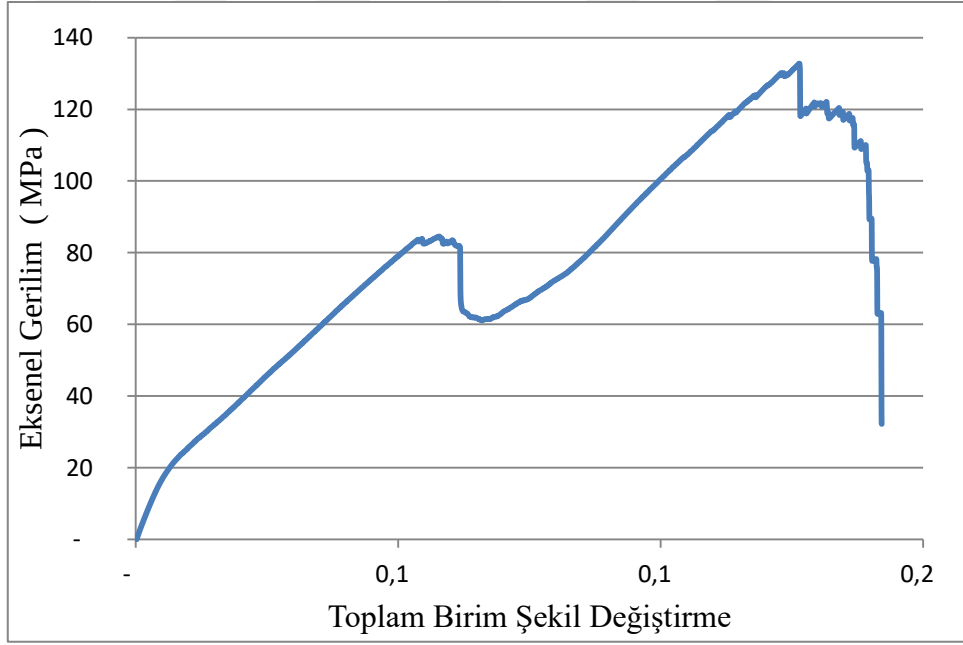


Şekil 4.14: % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

% 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar elyaf kompozit malzemenin Kuvvet-Uzama grafiği şekil 4.15’de ve gerilme-birimşekil değiştirme grafiği şekil 4.16’de verilmiştir.



Şekil 4.15: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+keklar kompozitin kuvvet-uzama grafiği



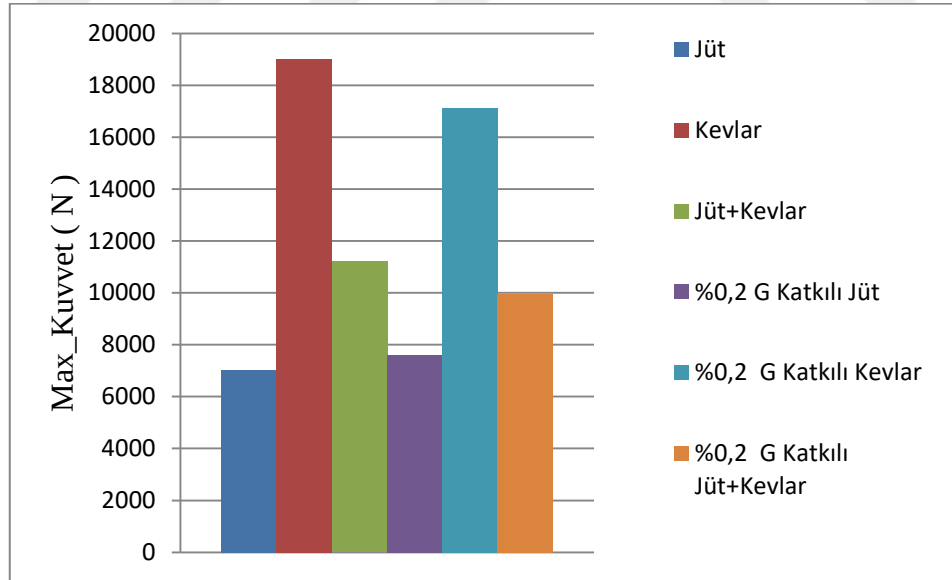
Şekil 4.16: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+keklar kompozitin gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

Bütün numunelere ait sonuçlar incelendiğinde çekme deneyinde grafen nanopartikül takviyesi kullanılan jüt elyaf kompozit numunelerin çekme dayanımını artarken keklar ve jüt+keklar elyaf kompozit numunelerinde azaltmıştır. Çizelge 4.3'de ve şekil 4.17'de grafiksel olarak gösterildiği gibi en yüksek uygulama kuvveti grafen katkısız keklar elyaf kompozitte çıkmış iken en düşük uygulama kuvveti grafen katkısız jüt elyaf kompozitte çıkmıştır. Gerilme değerleri incelendiğinde çizelge 4.3 ve şekil 4.18'de

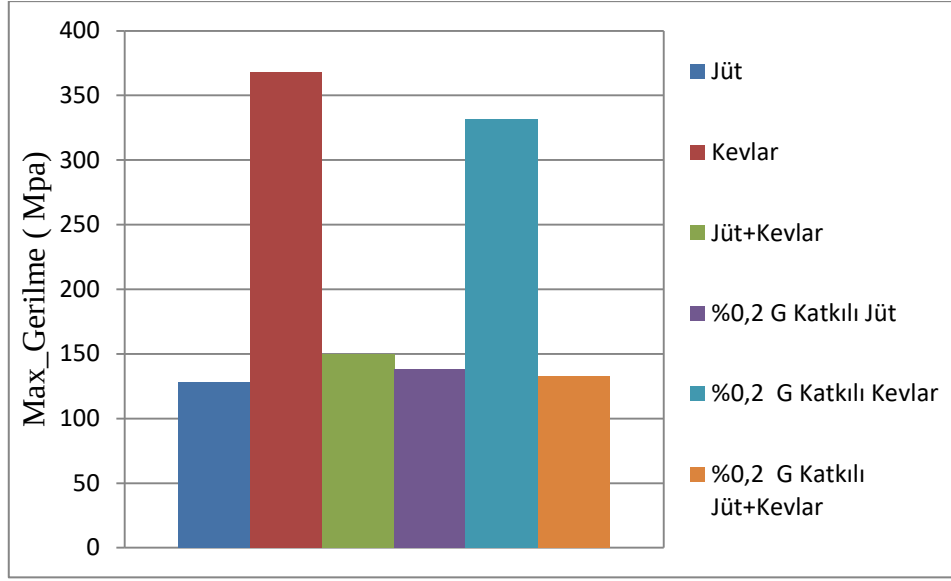
belirtildiği gibi en yüksek gerilme grafen katkısız kevlar elyaf kompozitte çıkmış iken en düşük gerilme değeri grafen katkısız jüt elyaf kompozitte çıkmıştır.

Çizelge 4.3. Bütün numunelere ait maksimum çekme değerleri

Epoksi Kompozitler	Max_Kuvvet (N)	Max_Gerilme (MPa)	Max_Uzama (mm)	Max_Yüzde Uzama (%)
Jüt	7032,90	127,87	2,85	2,48
Kevlar	19023,54	367,60	7,81	6,80
Jüt+Kevlar	11205,29	149,40	7,66	6,66
% 0.2 G katkılı Jüt	7614,25	138,44	3,12	2,71
% 0.2 G katkılı Kevlar	17138,12	331,17	7,67	6,68
% 0.2 G katkılı Jüt+Kevlar	9957,15	132,76	7,21	6,27



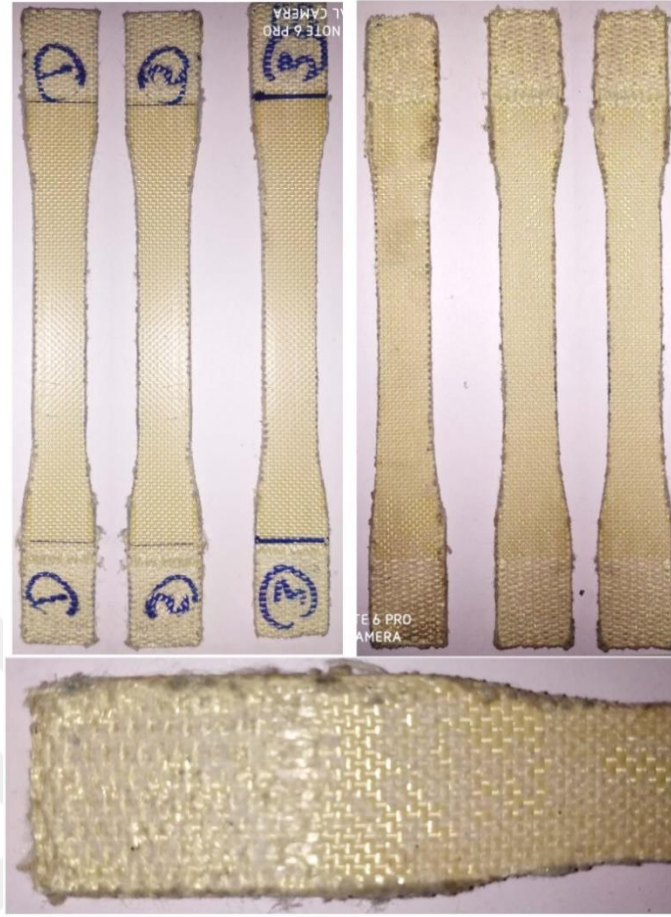
Şekil 4.17: Bütün numunelerin maksimum çekme kuvvet grafiği



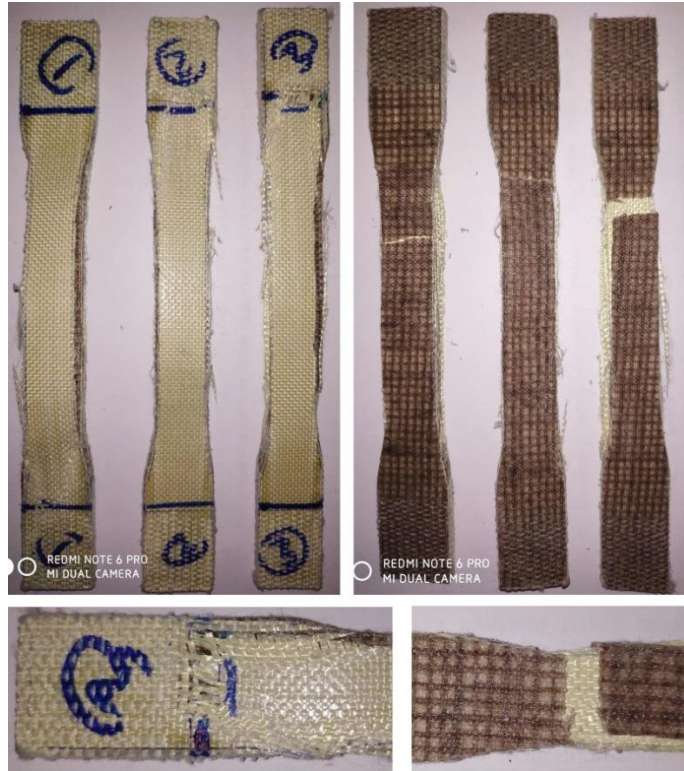
Şekil 4.18: Bütün numunelerin maksimum gerilme grafiği



Şekil 4.19: Jüt kompozitte oluşan hasarlar



Şekil 4.20: Kevlar kompozitte oluşan hasarlar



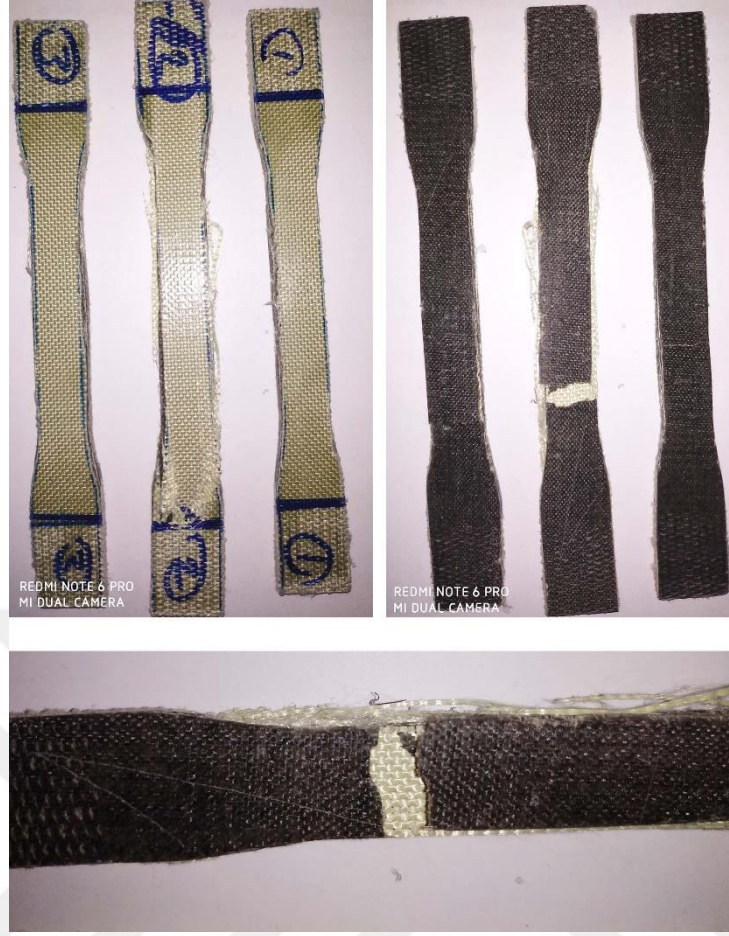
Şekil 4.21: Jüt+kevler kompozitte oluşan hasarlar



Şekil 4.22: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitte oluşan hasarlar



Şekil 4.23: % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitte oluşan hasarlar



. Şekil 4.24: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar kompozitte oluşan hasarlar

Şekil 4.19-4.24’de katkılı ve katkısız jüt, kevlar ve jüt+kevlar elyaf kompozitlerin çekme deney sonucu hasar yüzeyleri görülmektedir. Jüt elyaf numunelerde kopma oluşup, kevlar ve jüt+kevlar elyaf numunelerde deformasyon meydana gelmiş ve jüt katlarında kopma oluşmuştur.

4.2 Kayma Deney Sonuçları

Bu çalışmada kayma deneyinde 6 farklı numune üretilip karşılaştırılmıştır. İlk üç numune jüt, kevlar ve jüt+kevlar kompozit katkısız numuneler olup, diğer üç numune de jüt, kevlar ve jüt+kevlar katkılı olup % 0.2 oranında nano seviyede kalınlıkları bulunan grafen katkısı epoksi reçine içerisine karıştırılarak kompozit yapının kayma dayanımı incelenmiştir. Grafen, reçinenin ağırlıkça % 0.2’si oranında kullanılmıştır. Aynı özelliklere sahip en az üç numune üzerine monotonik artan aksel kayma deneyleri yapılmış olup, bulunan sonuçların ortalama değerleri alınarak çizelgelerde gösterilmiştir. Katkı maddeleri olarak grafenin ağırlıkça % 0.2 gibi düşük oranda kullanılmasının sebebi tanecik boyutunun çok

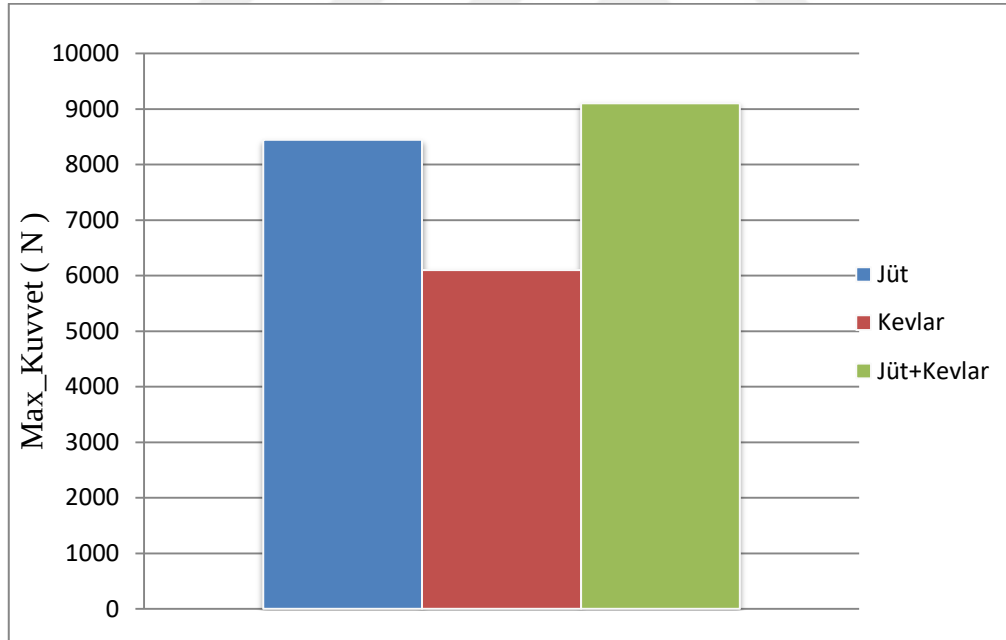
küçük olması ve epoksi reçine ile daha kolay yapışabilme özelliğine sahip olmasından dolayıdır. Düşük miktarda kullanımı bile mukavemeti arttırabilmektedir.

4.2.1 Katkısız epoksi kompozitlerin kayma test sonuçları

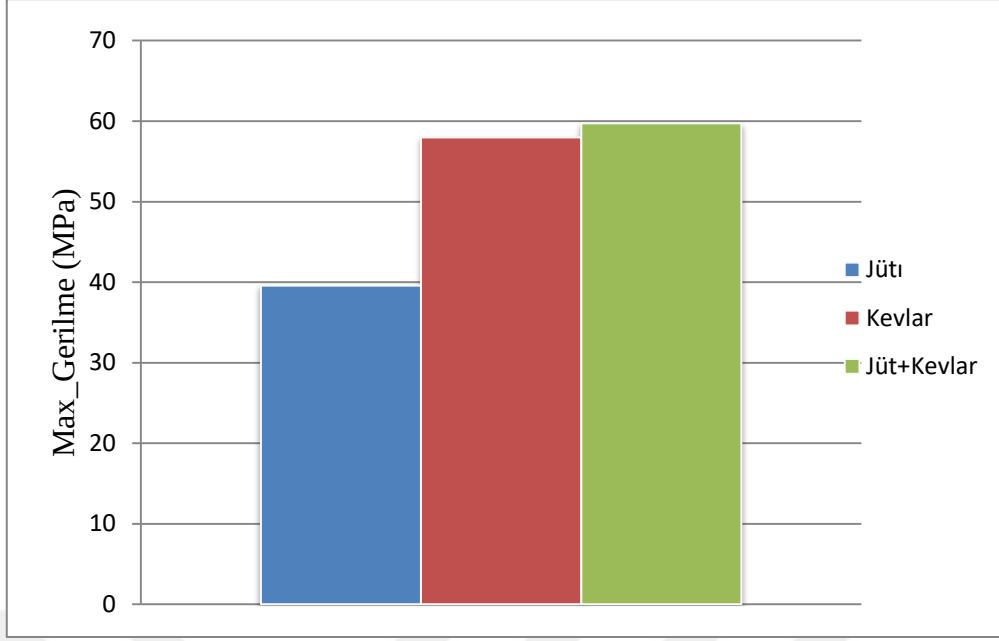
Grafen takviyesi yapılmayan jüt, kevlar ve jüt+kevlar kompozitlerin maksimum kayma dayanımları çizelge 4.4’de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu üç kompozitin maksimum kuvvetleri grafiksel olarak şekil 4.25’de ve maksimum gerilmeleri şekil 4.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.4: Katkısız kompozitlerin kayma dayanımları

Epoksi Kompozitler	Max_Kuvvet (N)	Max_Gerilme (MPa)	Max_Uzama (mm)	Max_Yüzde Uzama (%)
Jüt	8445,04	39,56	29,61	44,43
Kevlar	6099,22	57,96	22,93	89,91
Jüt+Kevlar	9104,63	59,70	24,35	95,48

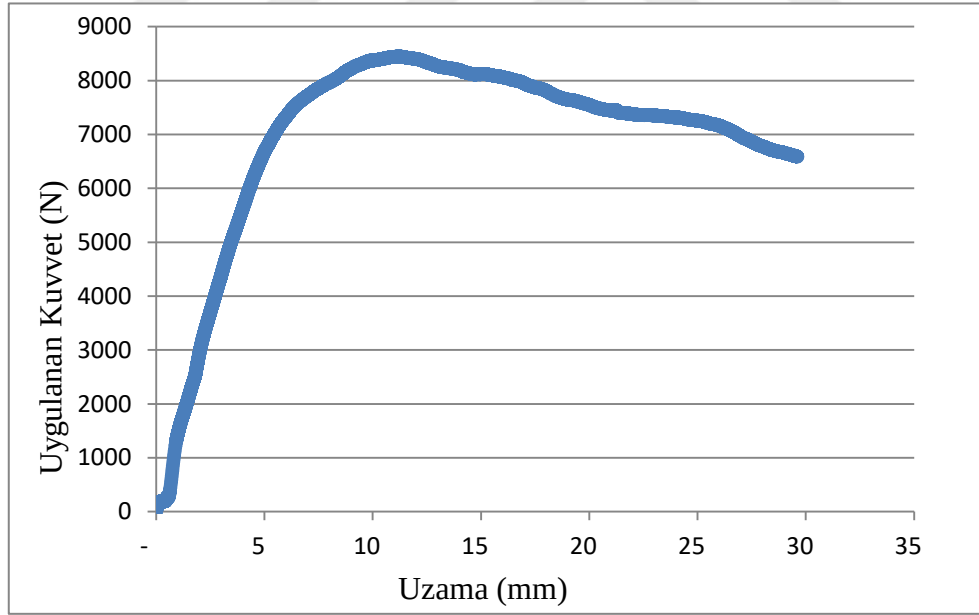


Şekil 4.25: Katkısız kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği



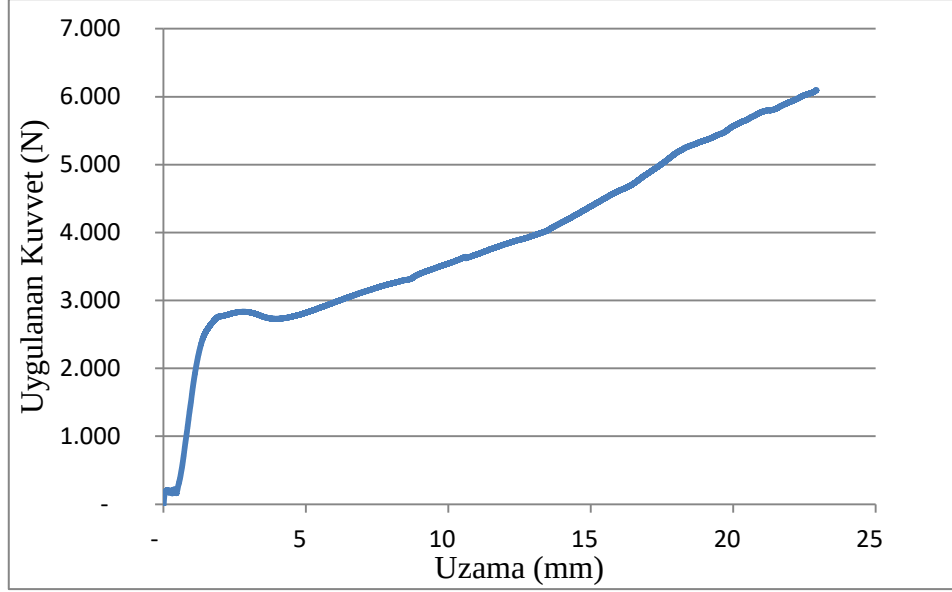
Şekil 4.26: Katkısız kompozitlerin maksimum gerilme grafiği

Katkısız jüt elyaf kompozit malzemenin uygulanan kayma deney sonucunda uygulanan kuvvet-uzama grafiği şekil 4.27’de verilmiştir.



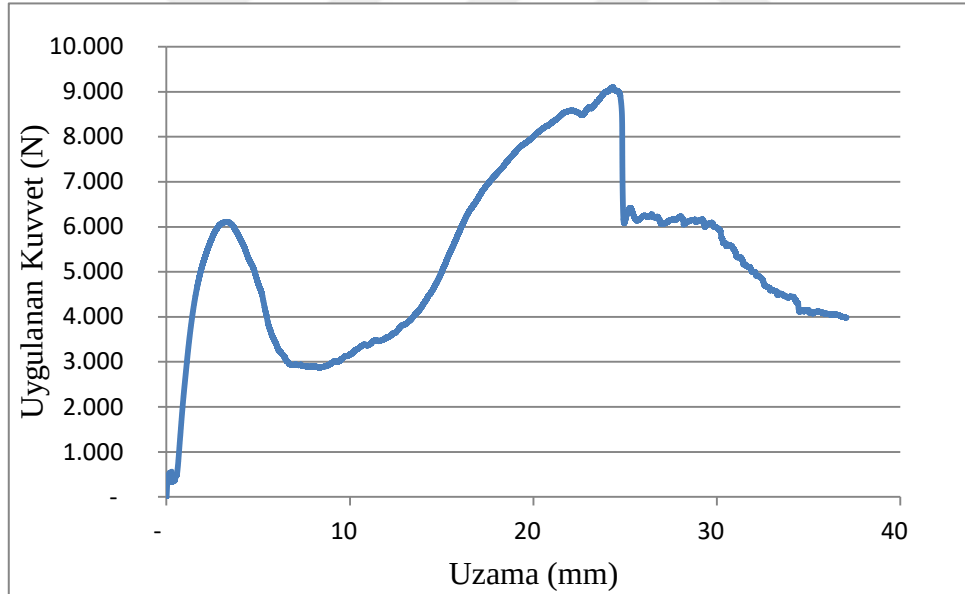
Şekil 4.27: Katkısız jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği

Katkısız Kevlar elyaf kompozit malzemenin uygulanan kayma deney sonucunda uygulama kuvvet-uzama grafiği şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28: Katkısız kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği

Katkısız jüt+kevlar elyaf kompozit malzemenin yapılan kayma deney sonucunda kuvvet-uzama grafiği şekil 4.29'de verilmiştir.



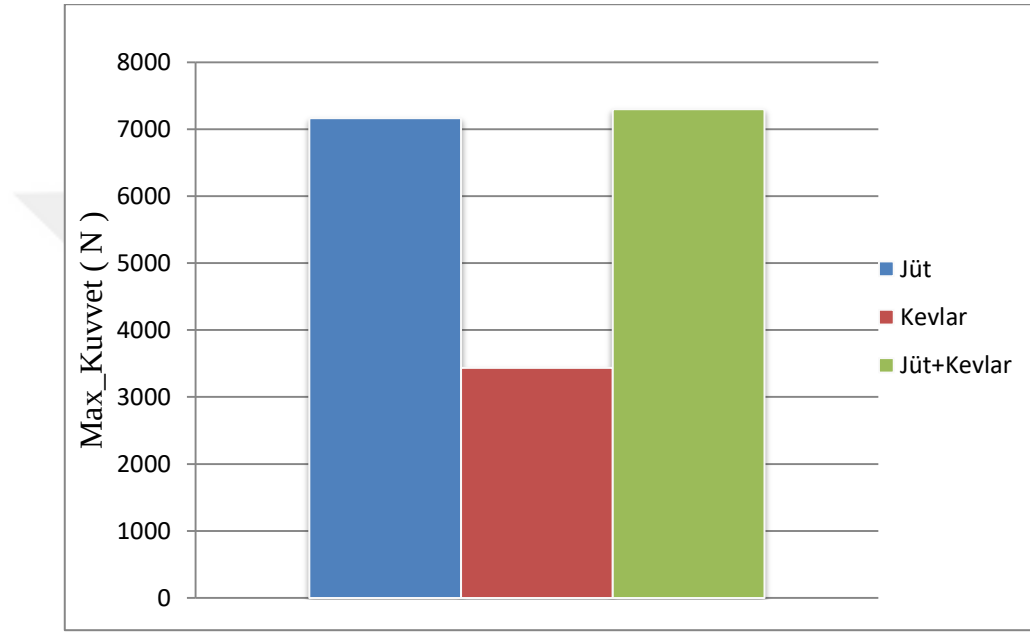
Şekil 4.29: Katkısız jüt+kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği

4.2 % 0.2 Oranında Grafen Katkılı Epoksi Kompozitlerin Kayma Test Sonuçları

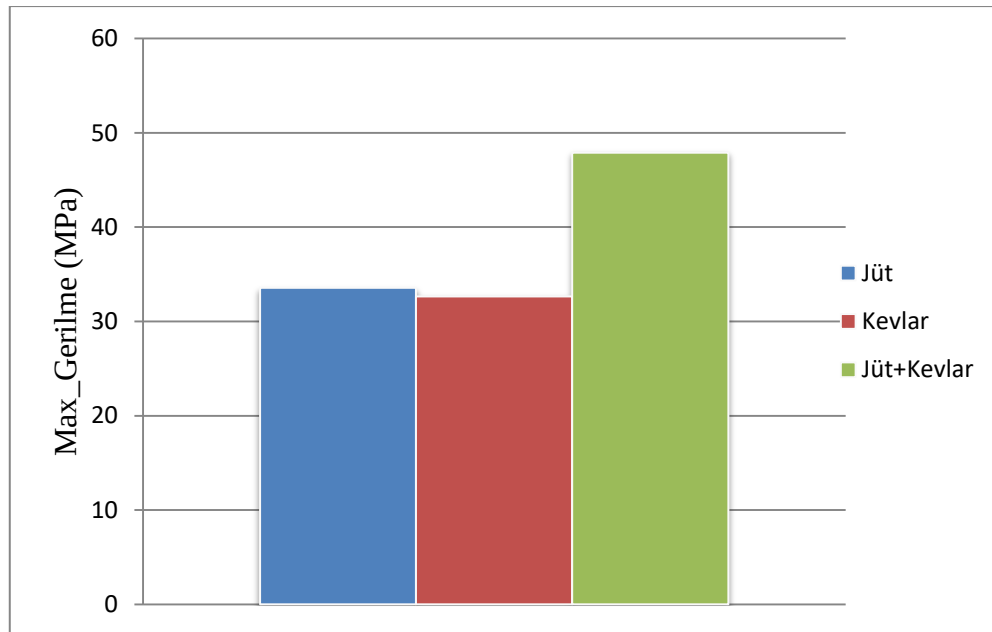
% 0.2 oranında grafen takviyesi yapılan jüt, kevlar ve jüt+kevlar kompozitlerin maksimum kayma dayanımları çizelge 4.5'de gösterilmiştir. Aynı zamanda bu üç kompozitin maksimum kuvvetleri grafiksel olarak şekil 4.30'da ve maksimum gerilmeleri şekil 4.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin kayma dayanımları

Epoksi Kompozitler	Max_Kuvvet (N)	Max_Gerilme (MPa)	Max_Uzama (mm)	Max_Yüzde Uzama (%)
Jüt	7165,48	33,56	6,69	25,59
Kevlar	3435,90	32,65	19,26	19,26
Jüt+Kevlar	7303,13	47,89	25,03	25,03

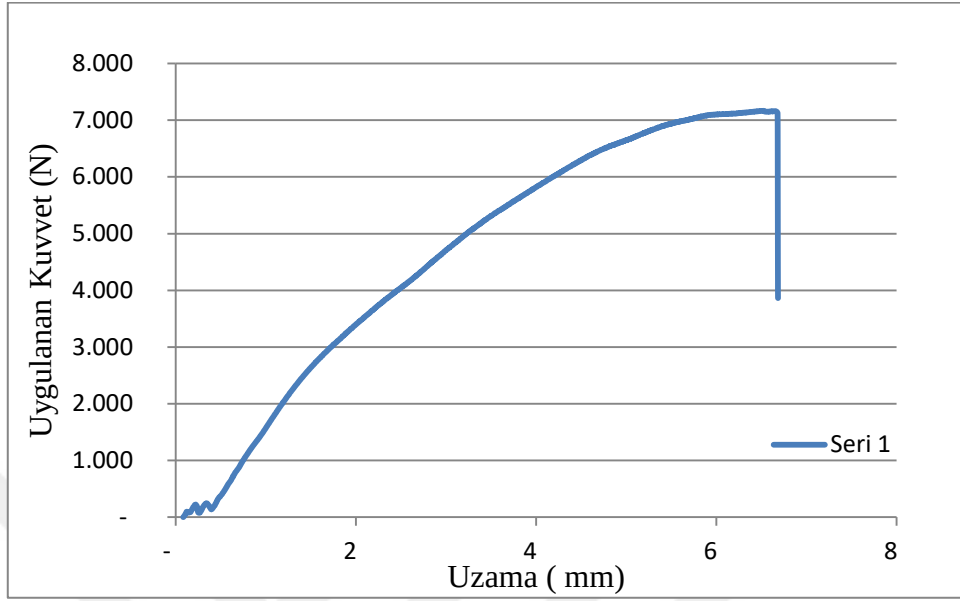


Şekil 4.30: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum kuvvet grafiği



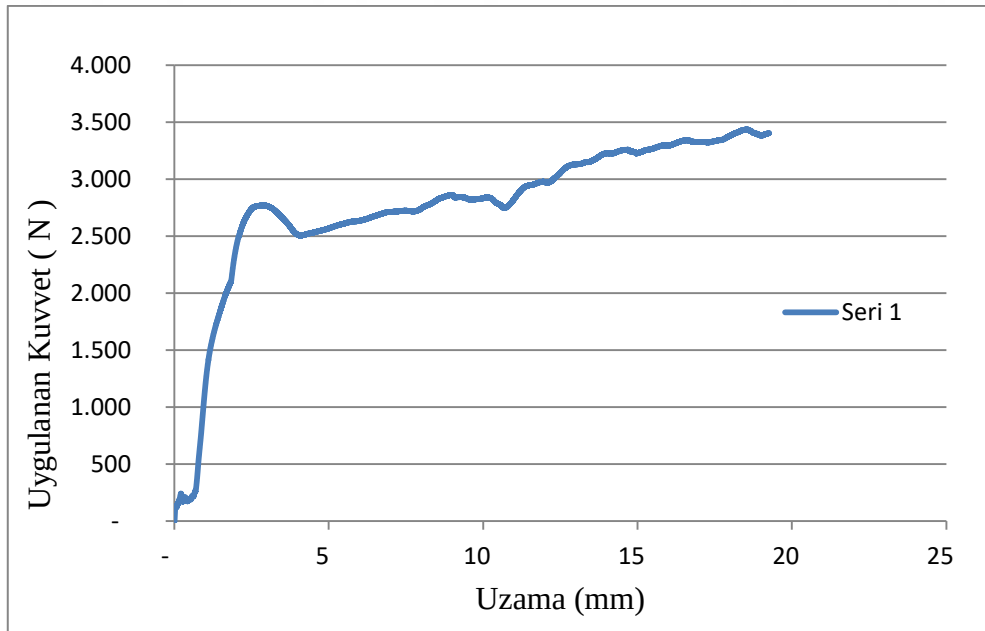
Şekil 4.31: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerin maksimum gerilme grafiği

% 0.2 oranında grafen katkılı jüt elyaf kompozit malzemenin uygulanan kayma deney sonucunda kuvvet-uzama grafiği şekil 4.32’de verilmiştir.



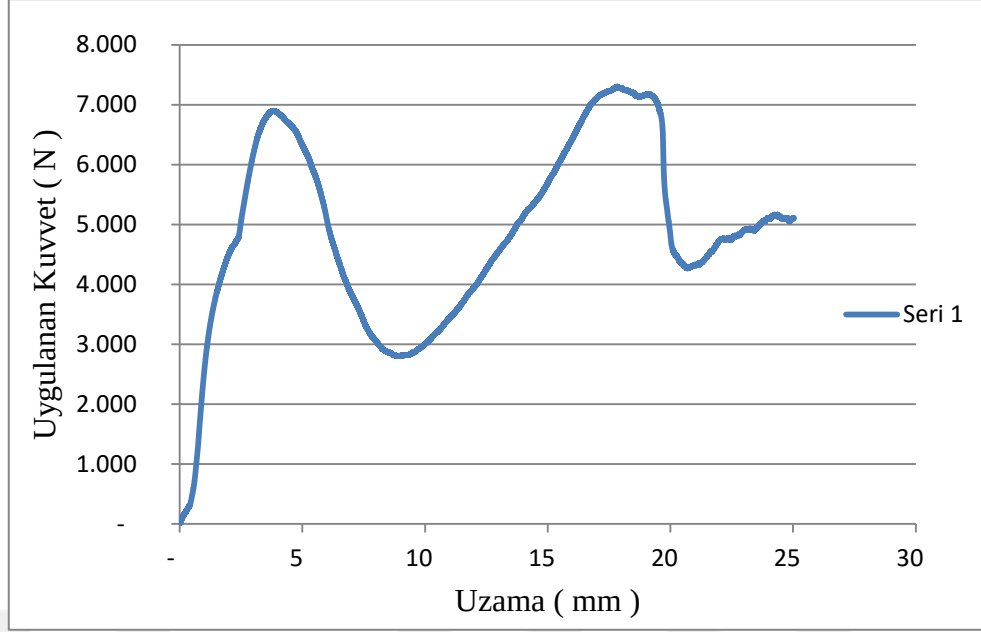
Şekil 4.32: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt kompozitin kuvvet-uzama grafiği

% 0.2 oranında grafen katkılı kevlar elyaf kompozit malzemenin uygulanan kayma deney sonucunda uygulama kuvvet-uzama grafiği şekil 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.33: % 0.2 oranında grafen katkılı kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği

% 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar elyaf kompozit malzemenin uygulanan kayma deney sonucunda uygulama kuvvet-uzama grafiği şekil 4.34’de verilmiştir.



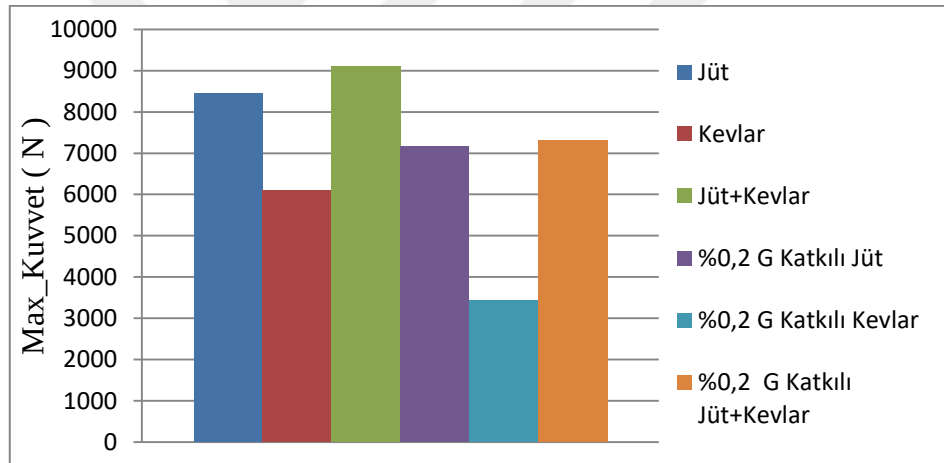
Şekil 4.34: % 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar kompozitin kuvvet-uzama grafiği

Bütün numuneler çekme test cihazında kaymaya zorlandıktan sonra çentik bölgesinde oluşan deformasyonlar ve kırılmalar gözlemlenmiştir. Numunelere ait sonuçlar incelendiğinde kayma deneyinde grafen nanopartikül katkısı kullanılan jüt, kevlar ve jüt+kevlar elyaf kompozit numunelerinde kayma dayanımında her hangi bir artış izlenmemiştir.

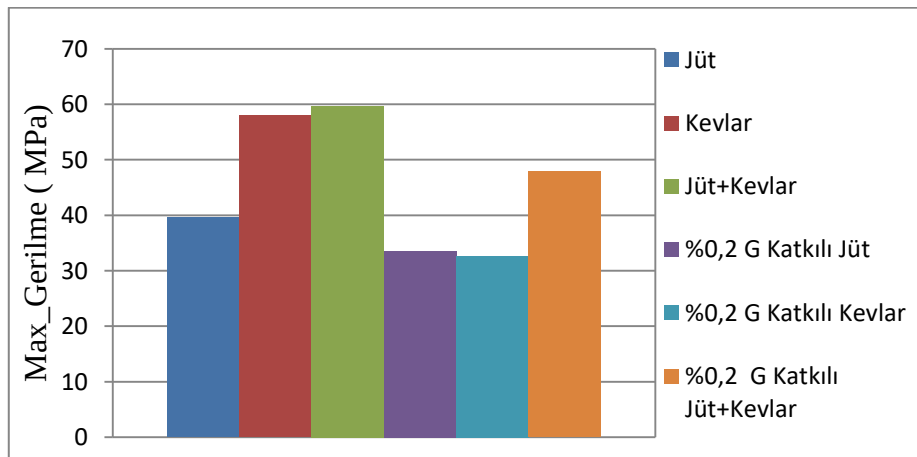
Çizelge 4.6'da ve şekil 4.35'de grafiksel olarak gösterildiği gibi en yüksek uygulama kuvveti, grafen katkısız jüt+kevlar elyaf kompozitte çıkmış iken, en düşük uygulama kuvveti grafen katkılı kevlar elyaf kompozitte çıkmıştır. Gerilme değeri incelendiğinde, çizelge 4.6 ve şekil 4.36.'de belirtildiği gibi en yüksek gerilme, grafen katkısız jüt+kevlar elyaf kompozitte çıkmışken, en düşük gerilme değeri grafen katkılı kevlar elyaf kompozitte çıkmıştır.

Çizelge 4.6: Numunelere ait maksimum kayma test sonuçları

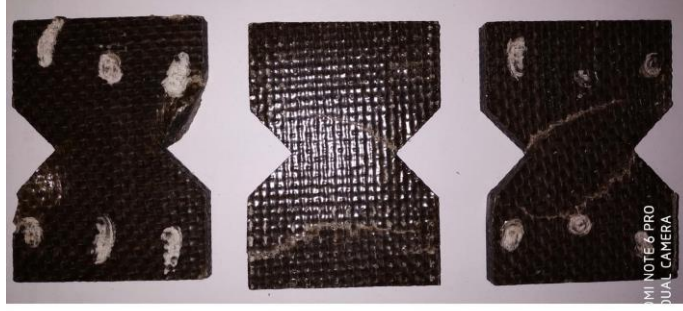
Epoksi Kompozitler	Max_Kuvvet (N)	Max_Gerilme (MPa)	Max_Uzama (mm)	Max_Yüzde Uzama (%)
Jüt	8445,04	39,56	29,61	44,43
Kevlar	6099,22	57,96	22,93	89,91
Jüt+Kevlar	9104,63	59,70	24,35	95,48
% 0.2 G katkılı Jüt	7165,48	33,56	6,69	25,59
% 0.2 G katkılı Kevlar	3435,90	32,65	19,26	19,26
% 0.2 G katkılı Jüt+Kevlar	7303,13	47,89	25,03	25,03



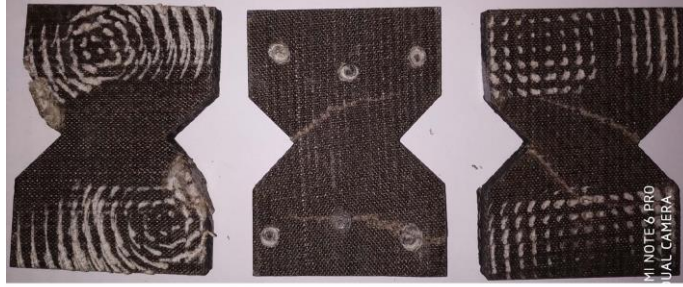
Şekil 4.35: Numunelerin uygulanan maksimum kuvvet grafiği



Şekil 4.36: Bütün numunelerin maksimum gerilme grafiği



Jüt
Ön Yüzü



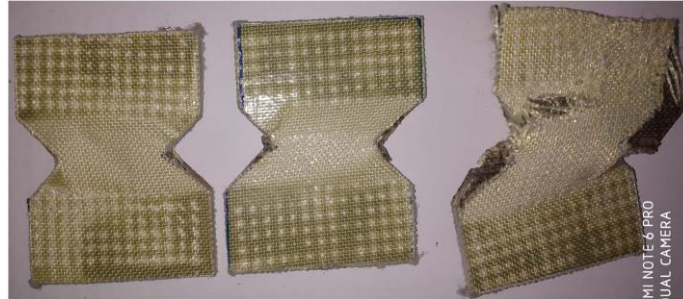
Jüt
Arka Yüzü



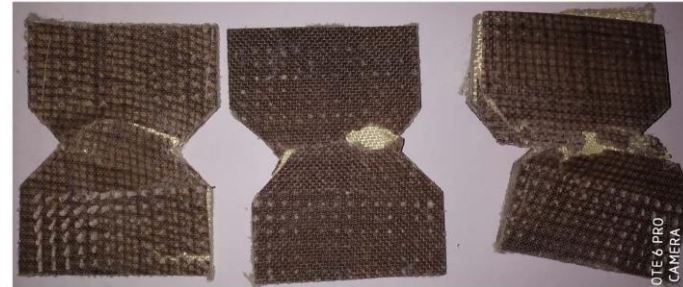
Kevlar
Ön Yüzü



Kevlar
Arka Yüzü

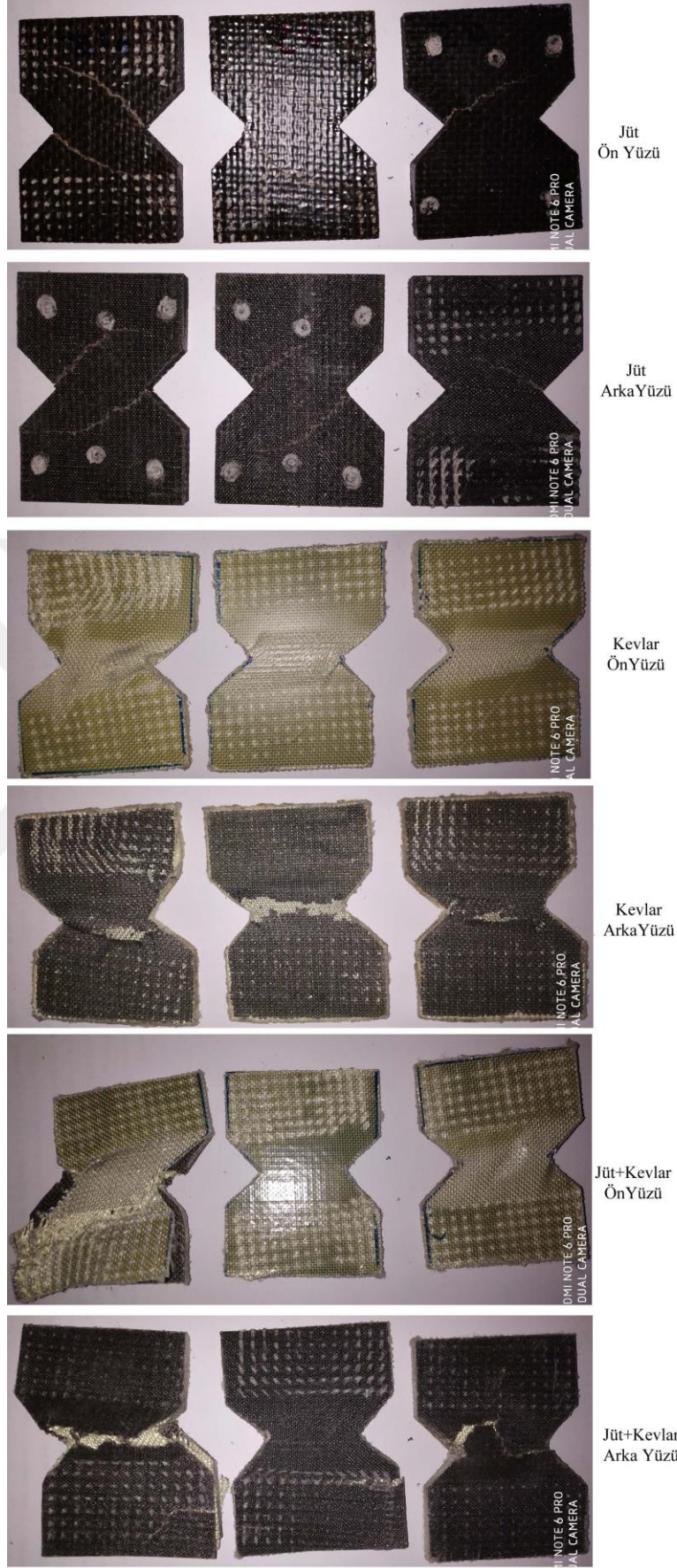


Jüt+Kevlar
Ön Yüzü



Jüt+Kevlar
Arka Yüzü

Şekil 4.37: Grafen katkısız kompozitlerde oluşan hasarlar



Şekil 4.38: % 0.2 oranında grafen katkılı kompozitlerde oluşan hasarlar

Şekil 4.37-4.38’de katkılı ve katkısız jüt, kevlar ve jüt+kevlar elyaf kompozitlerin kayma deney sonucu hasar yüzeyleri gösterilmektedir. Jüt elyaf numunelerde deformasyon ve kırılma oluşup, kevlar ve jüt+kevlar elyaf numunelerde deformasyon ve jüt katlarında kopma ve kırılma oluşmudur.

4.3 Darbe Deney Sonuçları

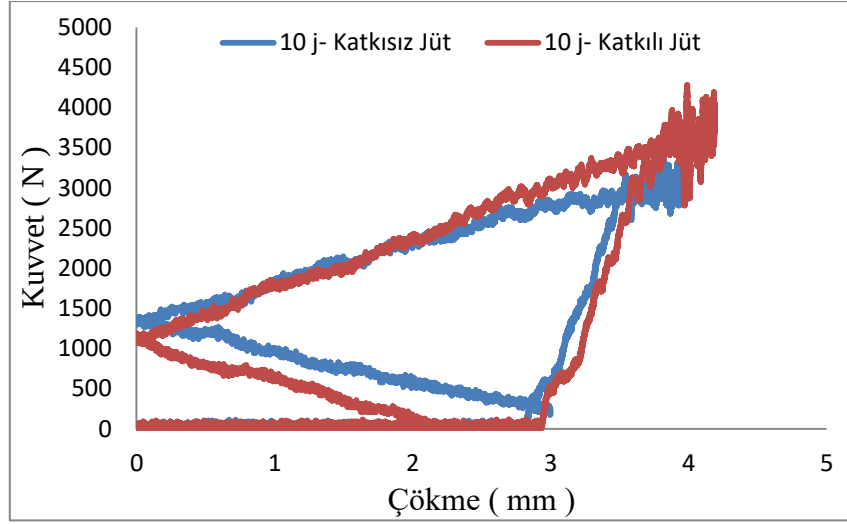
Bu çalışmada % 0 ve % 0.2 oranında nano grafen katkılı jüt, kevlar ve jüt+kevlar elyaf kompozitlerin 100x100 mm boyutlarında her bir numuneye çizelge 4.7’deki gibi 10 j, 20 j ve 30 j olmak üzere üç farklı yük ve her birisinden üçer adet olmak üzere toplam 54 test yapılmıştır. Yapılan bütün testlerde tek vurucu darbe ucu ve hızla darbe davranışları incelenmiştir. Testleri yapılan numunelerin absorbe edilen enerjisi, kuvvet-çökme değerleri sırası ile grafiksel olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.7: Katkılı ve katkısız kompozit numuneler ve uygulanan yükler

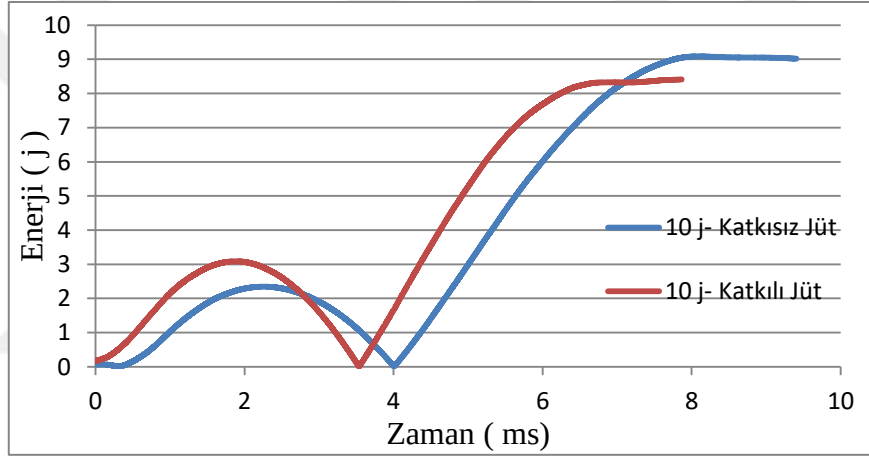
Epoksi Kompozitler	Uygulanan Toplam Enerji (J)
Jüt	10, 20, 30
Kevlar	10, 20, 30
Jüt+Kevlar	10, 20, 30
% 0.2 G katkılı Jüt	10, 20, 30
% 0.2 G katkılı Kevlar	10, 20, 30
% 0.2 G katkılı Jüt+Kevlar	10, 20, 30

4.3.1 Katkılı ve katkısız jüt kompozitin darbe test sonuçları

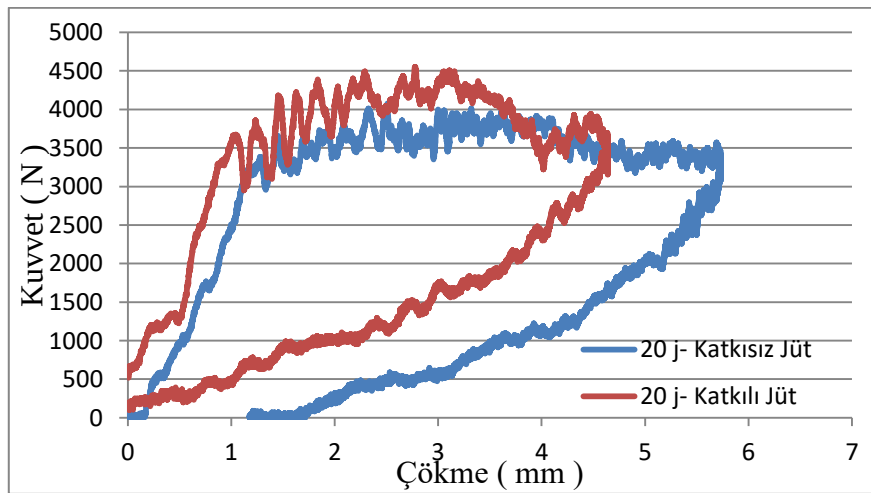
% 0 ve % 0.2 oranında nano grafen katkılı jüt elyaf kompozit numunelerin 10 j, 20 j ve 30 j darbe enerji değerleri altında Şekil 4.39-4.44’de temas kuvvet-çökme ve absorbe edilen enerji-zaman değişimleri grafiksel olarak verilmiştir.



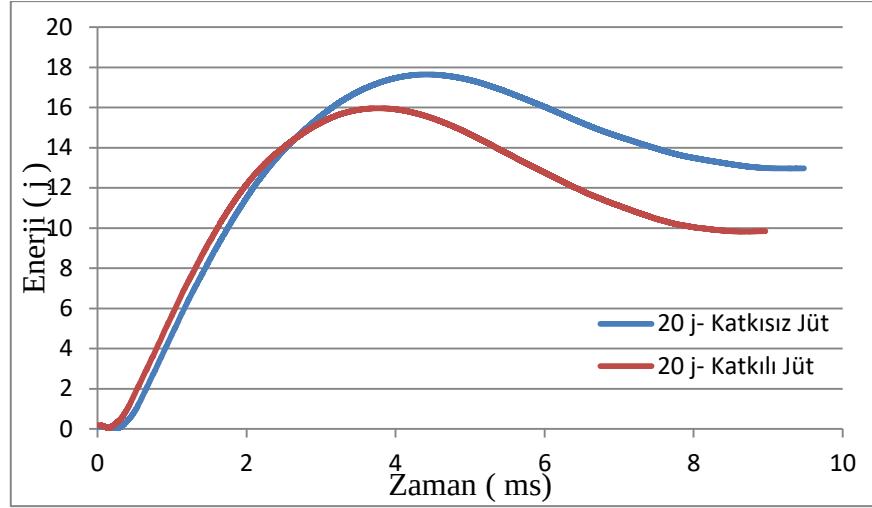
Şekil 4.39: 10 j altında jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği



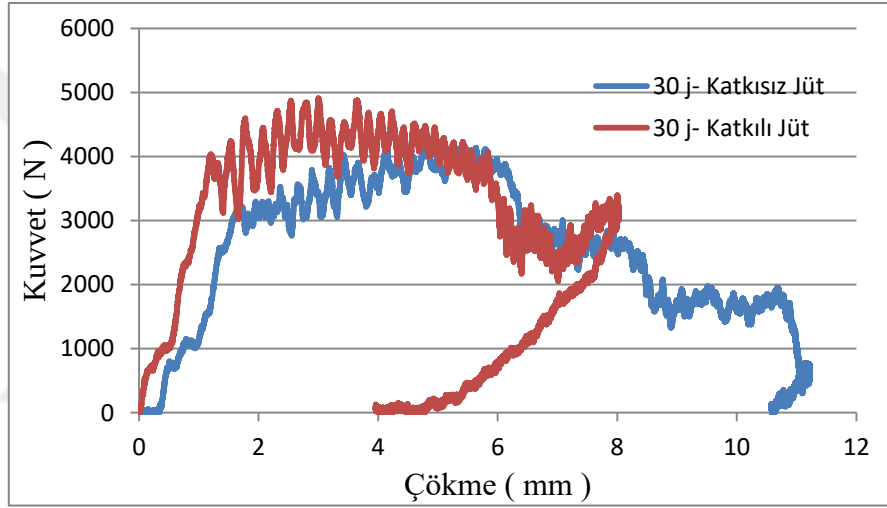
Şekil 4.40: 10 j altında jüt kompozitin enerji-zaman grafiği



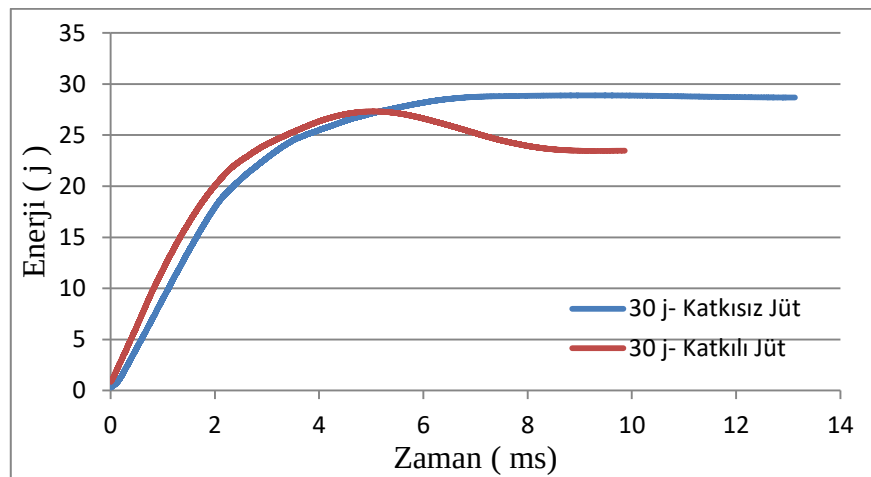
Şekil 4.41: 20 j altında jüt kompozitin kuvvet çökme grafiği



Şekil 4.42: 20 j altında jüt kompozitin enerji-zaman grafiği



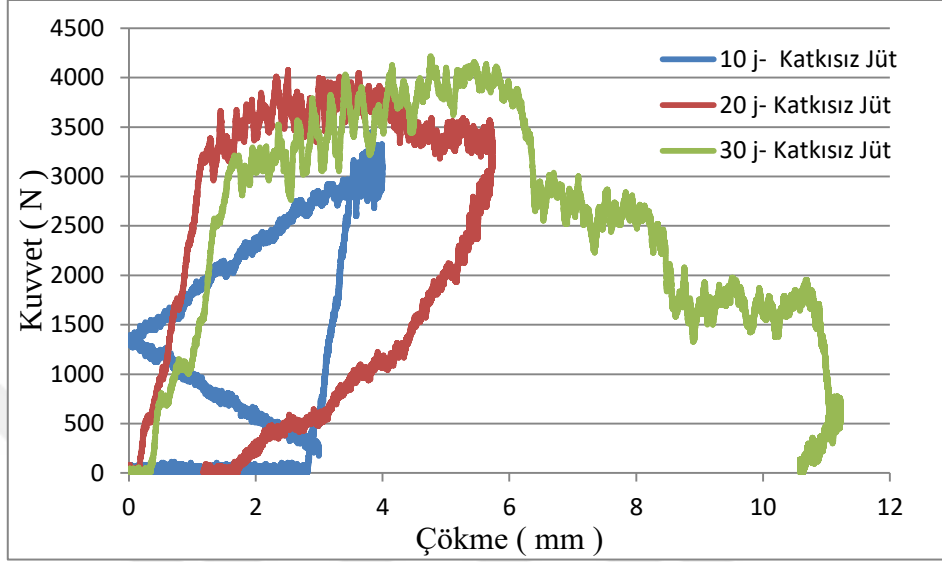
Şekil 4.43: 30 j altında jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği



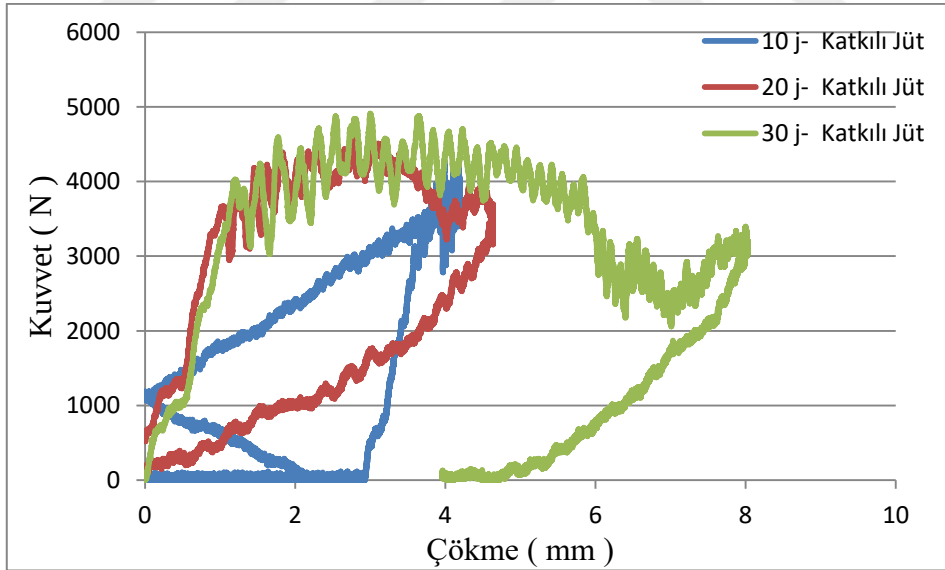
Şekil 4.44: 30 j altında jüt kompozitin enerji-zaman grafiği

Şekil 4.45-4.46 grafiklerinde katkılı ve katkısız jüt kompozitin kuvvet değeri 10 j yük altındaki temas kuvvet grafik eğrisi katkısız jüt'te 3000-3500 N arasında iken, katkılı

jüt'te 4000 N'i aşmıştır. Aynı şekilde 20 j ve 30 j yükleri altında katkılı jüt ile elde edilen kuvvet katkısız jüt ile elde edilen kuvvetten yüksek çıkmıştır. Grafen katkısı ile maksimum çökme değeri 10 j yük için değişmemiş ancak 20 j ve 30 j yük altında maksimum çökme değerleri azalmıştır.



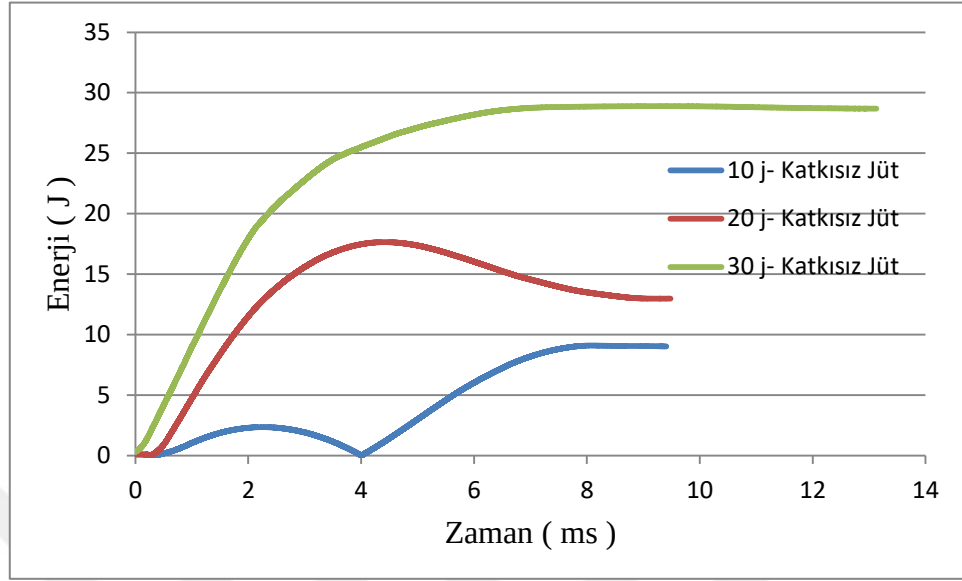
Şekil 4.45: 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği



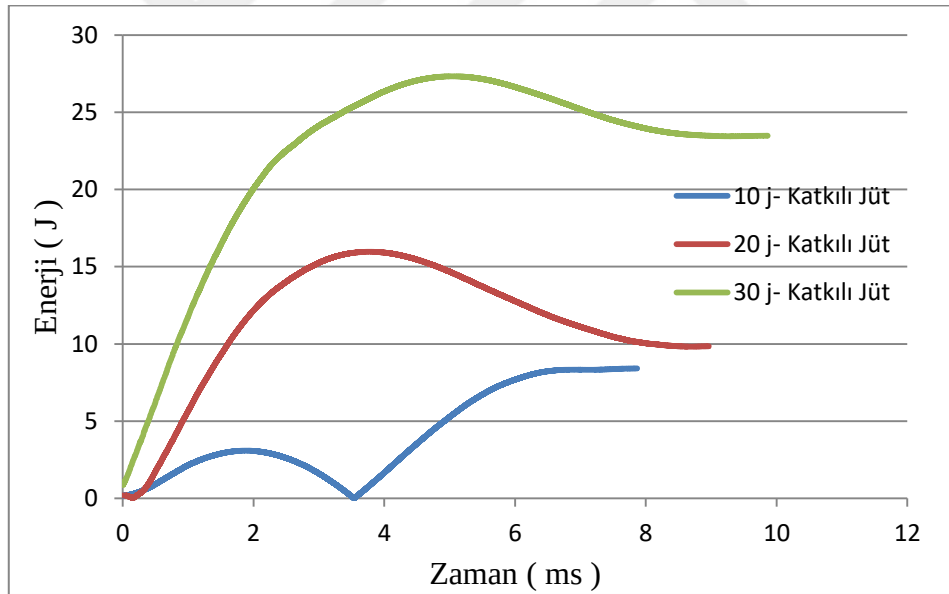
Şekil 4.46: 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt kompozitin kuvvet-çökme grafiği

Şekil 4.47-4.48'deki enerji-zaman grafiklerine bakıldığında 10 j yük altındaki enerji grafik eğrisinde katkısız jütte toplam enerji 9.08 j iken, katkılı jütte 8,4'dür. 10 j yükleri altında katkılı jüt ile elde edilen enerji değeri katkısız jüt ile elde edilen enerji değerinden az çıkmış iken, 20 j ve 30 j yükleri altında katkılı jüt ile elde edilen enerji değeri katkısız jüt ile elde edilen enerji değerinden yüksek çıkmıştır. Absorbe edilen enerji değerlerine

bakıldığında 10 j, 20 j ve 30 j yüklerinde katkılı jütten ilde edilen değerler, katkısız jütten elde edilen değerinden az çıklıştır.

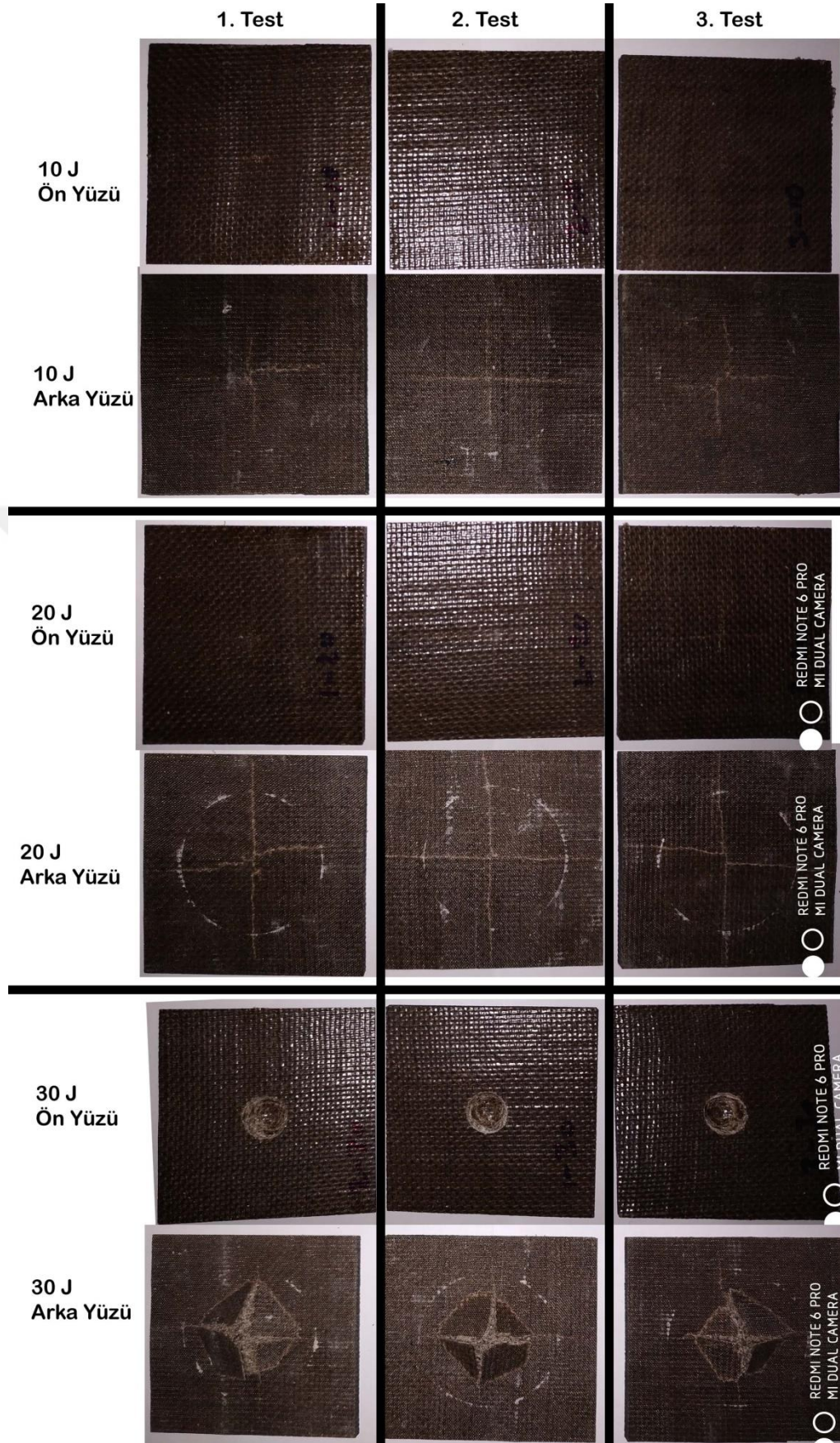


Şekil 4.47: 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt kompozitin enerji-zaman grafiği

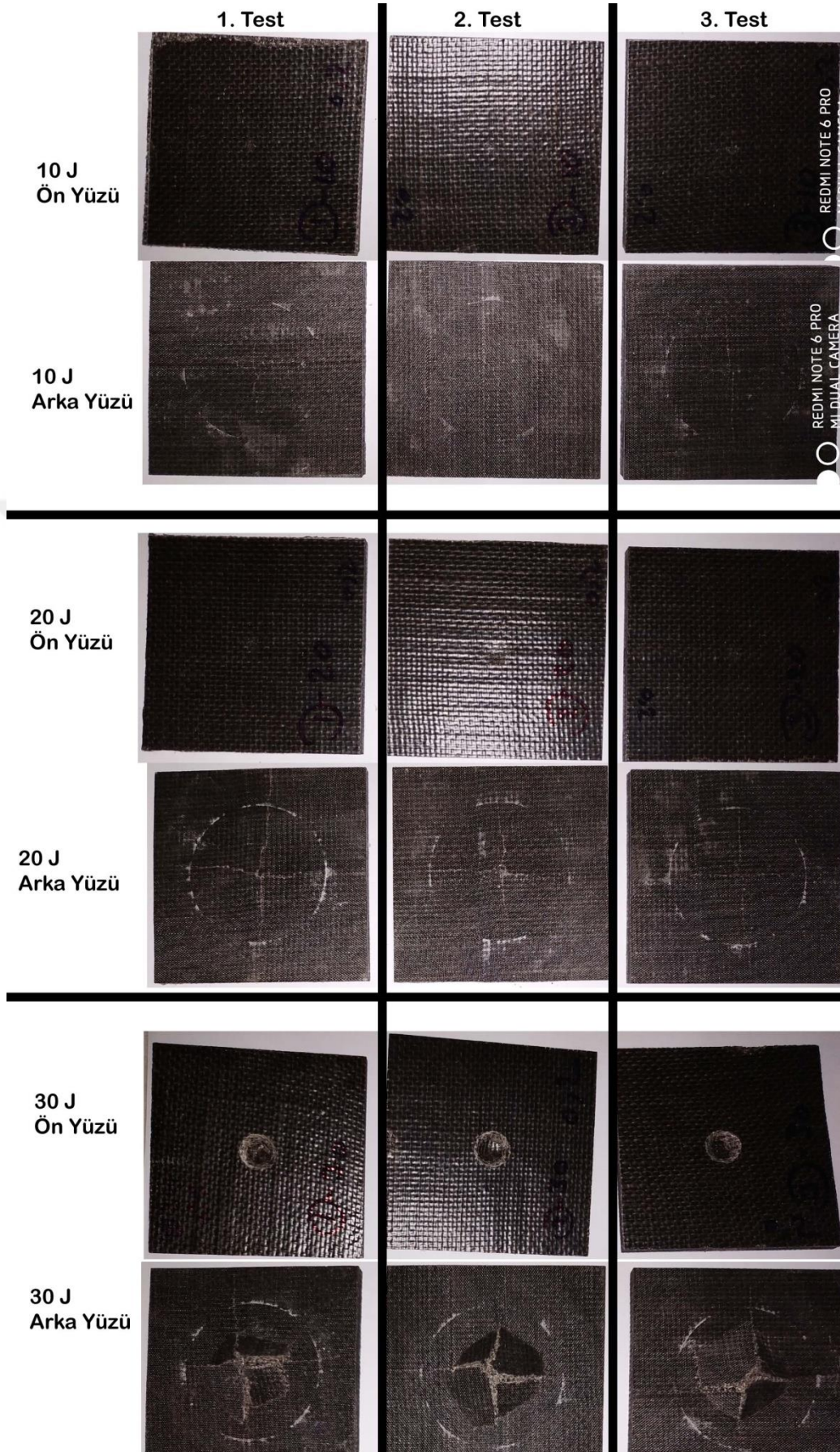


Şekil 4.48: 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt kompozitin enerji-zaman grafiği

Jüt kompozit plakaların darbe sonucu oluşan hasar analizinde darbe uygulanan yüzeyi, şekil 4.49-4.50'de belirtildiği gibi katkılı ve katkısız jütte benzer şekilde 10 j yükte vurucu ucun izi kalırken, arka yüzde artı şeklinde kırılma çizdiği oluşmuştur. 20 j yükte ise ön yüzü daha belirgin olup arka yüzeyde kırılma çizdiği artmıştır. 30 j'de numunenin ön yüzü delinerek arka yüzünde hasar oluşmuştur.



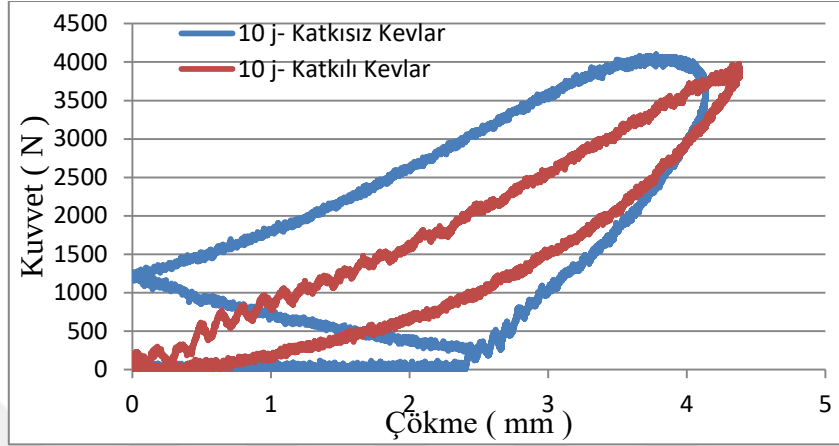
Şekil 4.49: Katkısız jüt kompozitin 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar



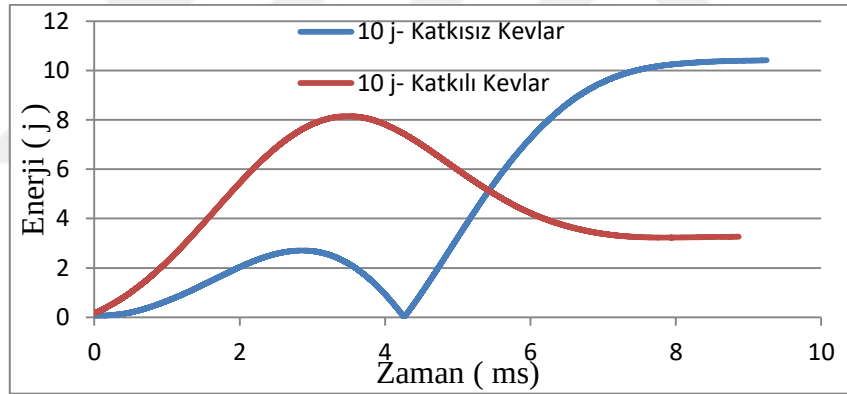
Şekil 4.50: G katkılı jüt kompozitin 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar

4.3.2 Katkılı ve katkısız kevlar kompozitin darbe test sonuçları

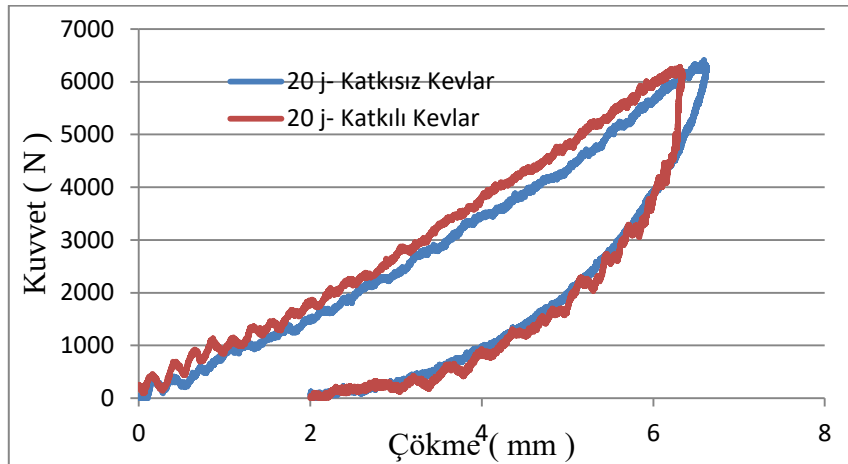
% 0 ve % 0.2 oranında nano grafen katkılı kevlar elyaf kompozit numunelerin 10 j, 20 j ve 30 j darbe enerji değerleri Şekil 4.51-4.56'da temas kuvveti-çökme ve absorbe edilen enerji-zaman değişimleri grafiksel olarak verilmiştir.



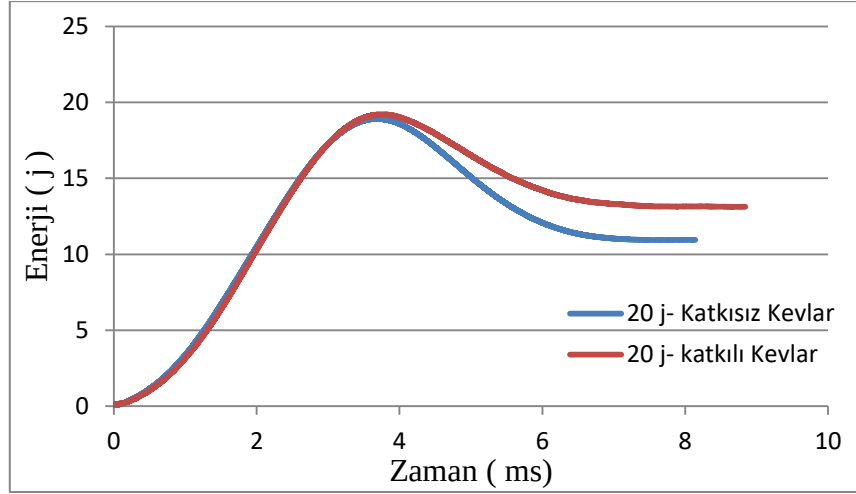
Şekil 4.51: 10 j altında kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği



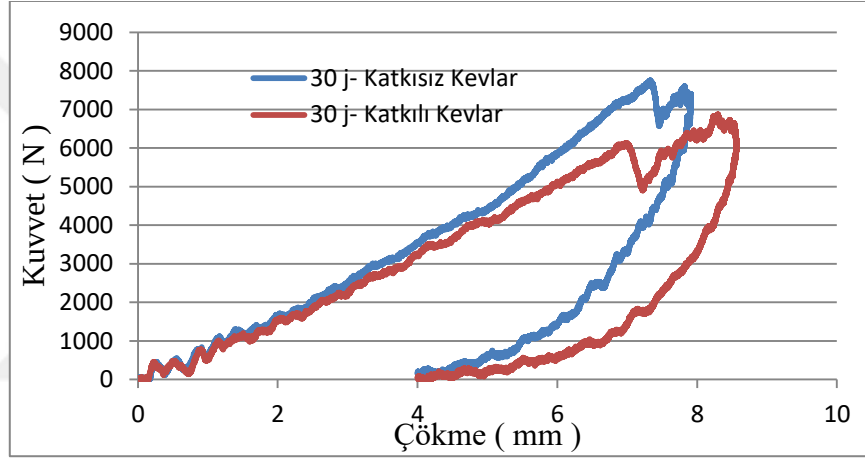
Şekil 4.52: 10 j altında kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği



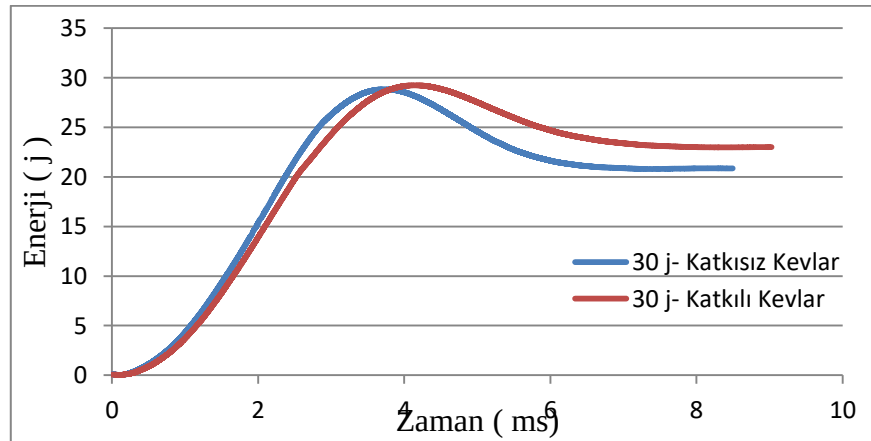
Şekil 4.53: 20 j altında kevlar kompozitin kuvvet çökme grafiği



Şekil 4.54: 20 j altında kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği

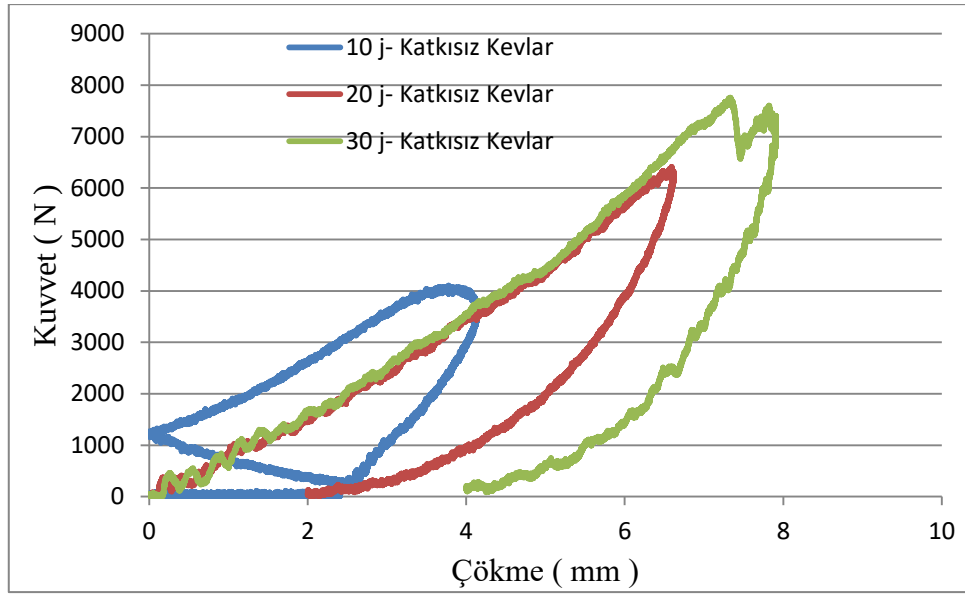


Şekil 4.55: 30 j altında kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği

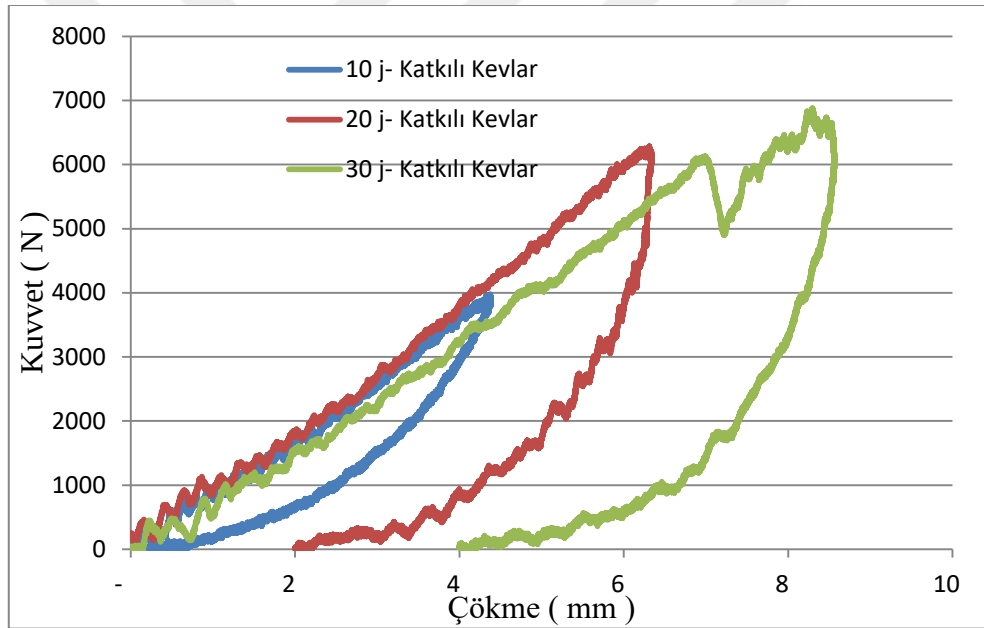


Şekil 4.56: 30 j altında kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği

Şekil 4.57-4.58 grafiklerinde katkılı ve katkısız kevlar kompozitin 10 j, 20 j ve 30 j yükleri altında, temas kuvvet-çökme grafiklerine bakıldığında katkısız kevlar kompozitin temas kuvvet değeri yüksek çıkmıştır.

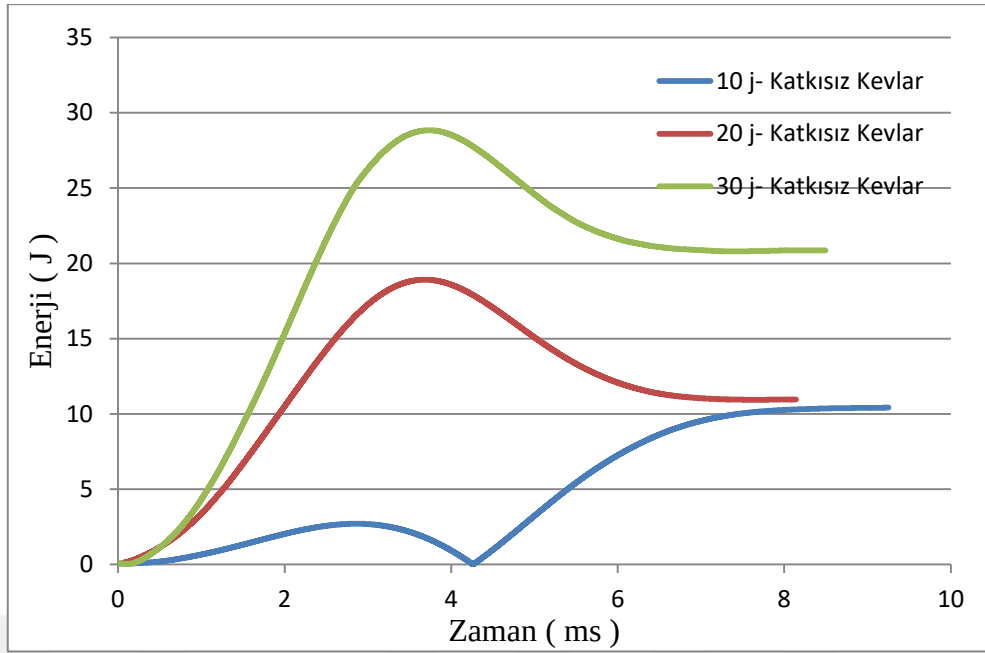


Şekil 4.57: 10, 20 ve 30 j altında G katkısız kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği

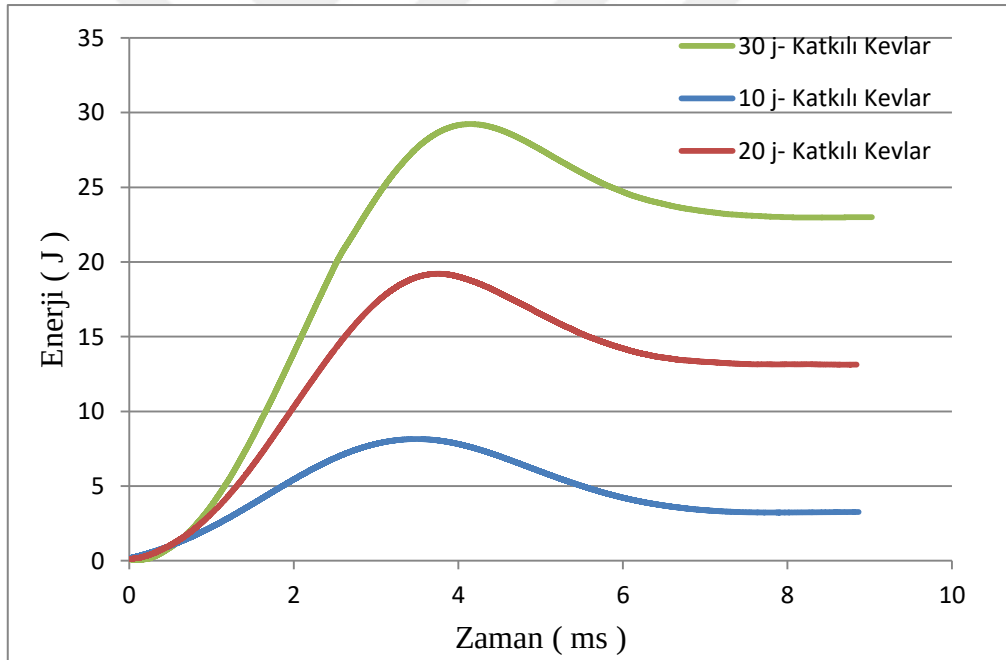


Şekil 4.58: 10, 20 ve 30 j altında G katkılı kevlar kompozitin kuvvet-çökme grafiği

Şekil 4.59-4.60'daki enerji-zaman grafiklerine bakıldığında 10 j yük altında toplam enerji grafik eğrisinde katkısız kevların değeri katkılı kevların değerinden yüksek çıkmış iken, 20 j ve 30 j de katkılı kevlarda yüksek çıkmıştır. Absorbe edilen enerji değerine bakıldığında aynı şekilde 10 j yük altında katkısız kevlar değeri yüksek çıkmış iken, 20 j ve 30 j yük altında katkılı kevlar daha yüksek çıkmıştır.

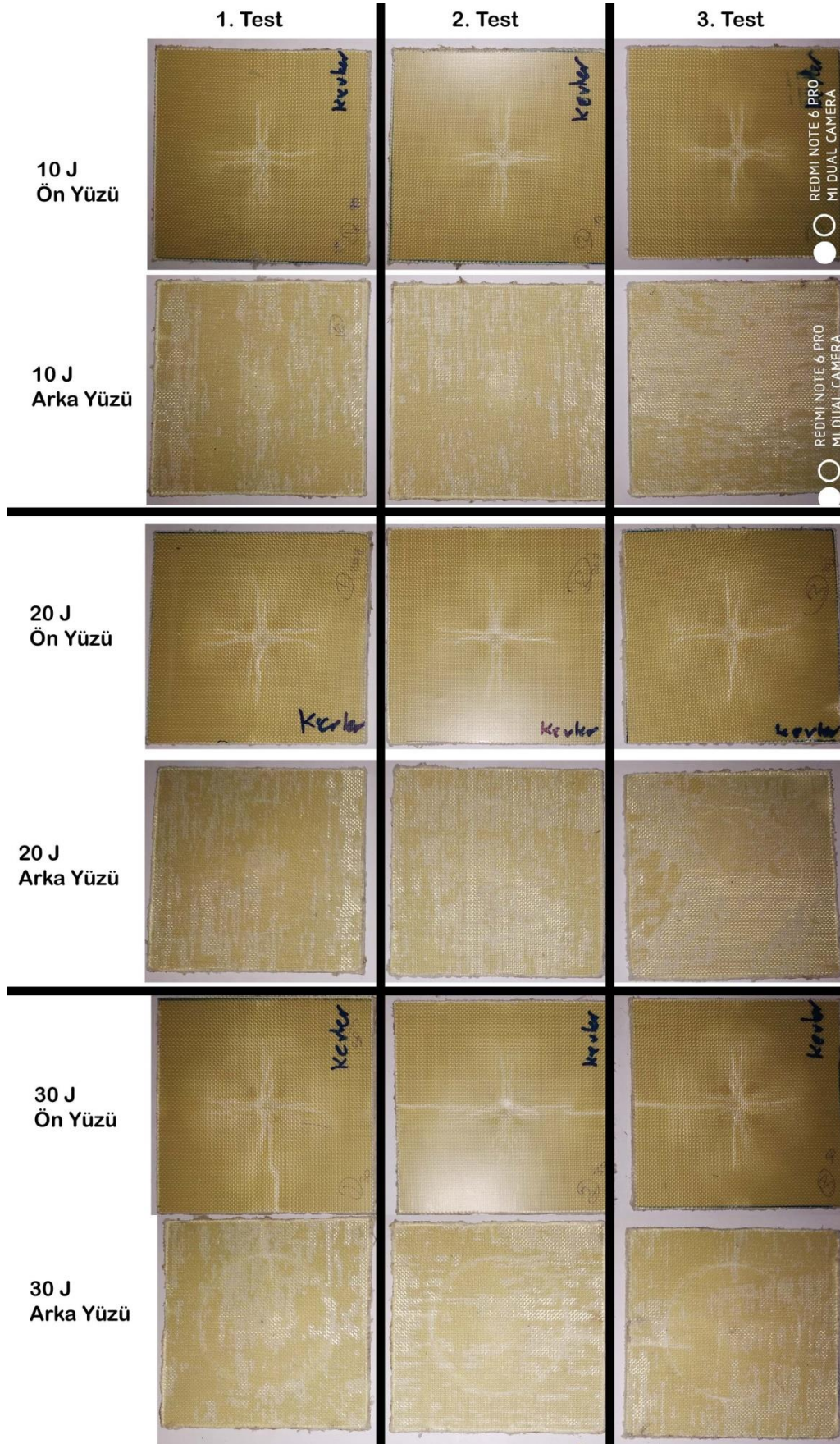


Şekil 4.59: 10, 20 ve 30 j altında G katkısız kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği

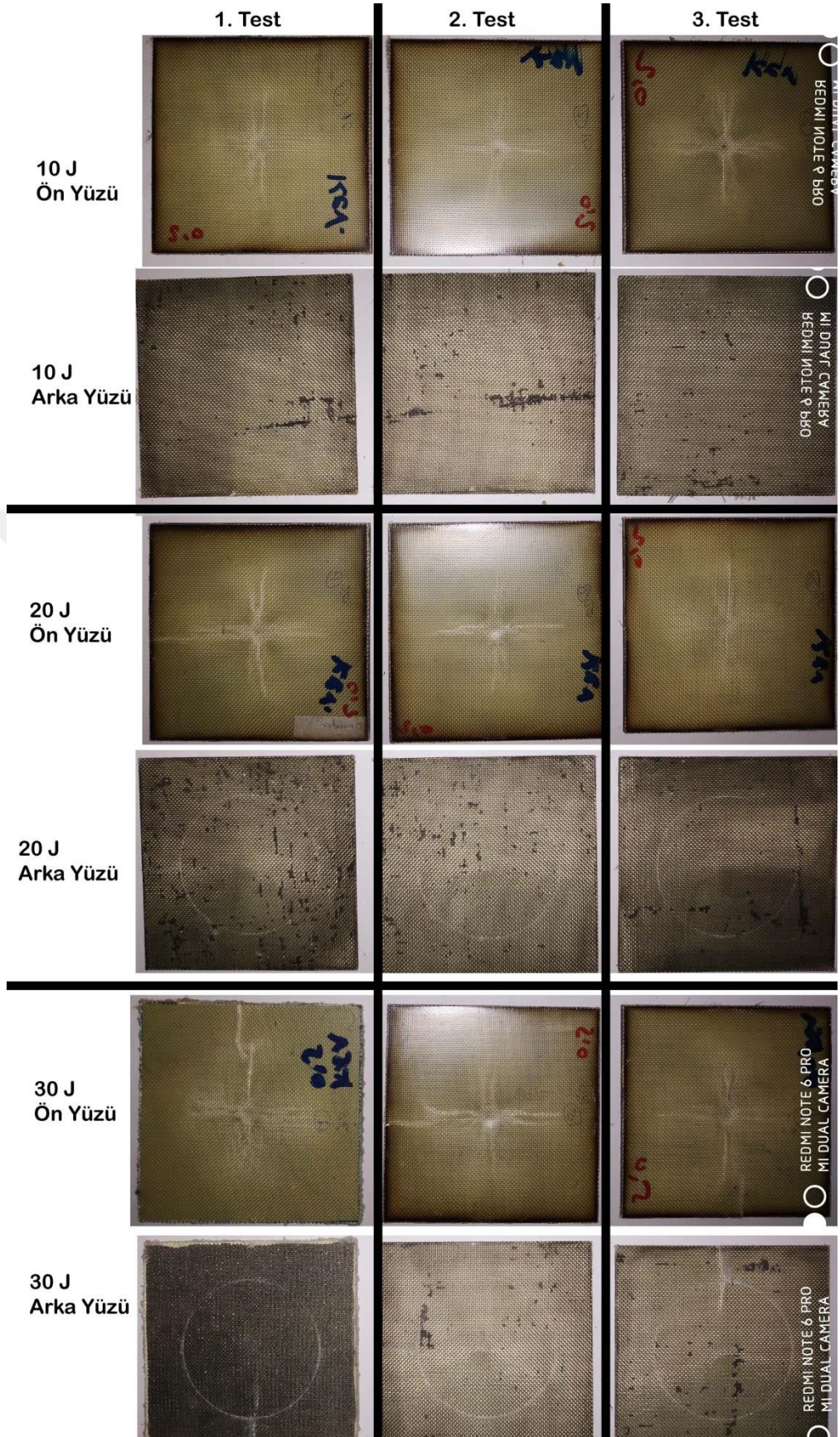


Şekil 4.60: 10, 20 ve 30 j altında G katkılı kevlar kompozitin enerji-zaman grafiği

Kevlar kompozit plakaların darbe sonucu oluşan hasar analizinde darbe uygulanan yüzeyleri, şekil 4.61-62'de görüldüğü gibi 10 j ve 20 j yüklerde katkılı ve katkısız kevlarlarda artı çizik şekilde ezilme oluşmuş olup, bu ezilme 30 j'da daha belirgin haldedir. Numunelerin arka taraflarında 10 j için her hangi bir değişiklik izlenmemiş olup, 20 j yükte çok az ezilme görülmüş ve 30 j yükte daire gibi çizik ve artı şeklinde ezilme olduğu görülmüştür.



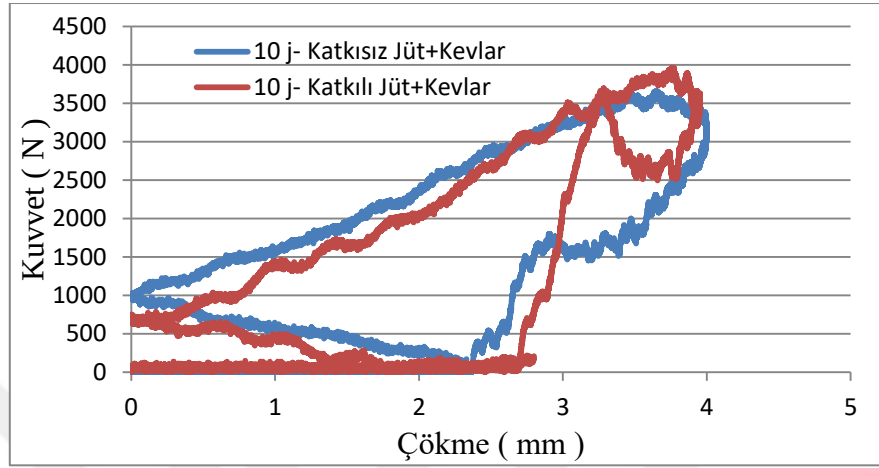
Şekil 4.61: Katkısız kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar



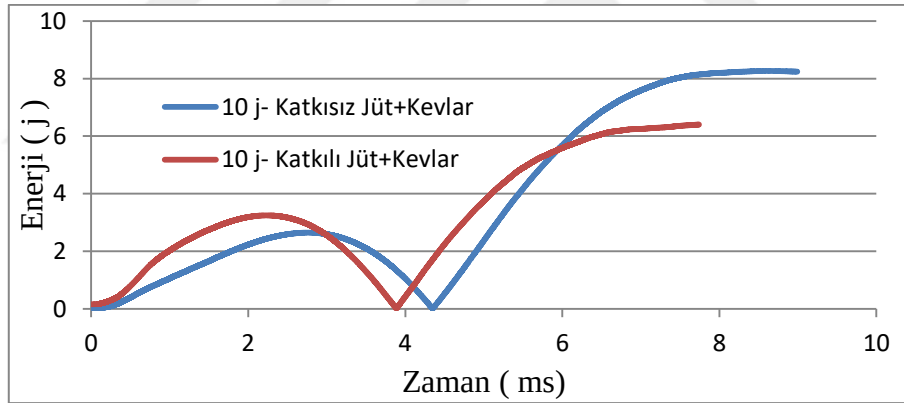
Şekil 4.62: G katkılı kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar

4.3.3 Katkılı ve katkısız jüt+keklar kompozitin darbe test sonuçları

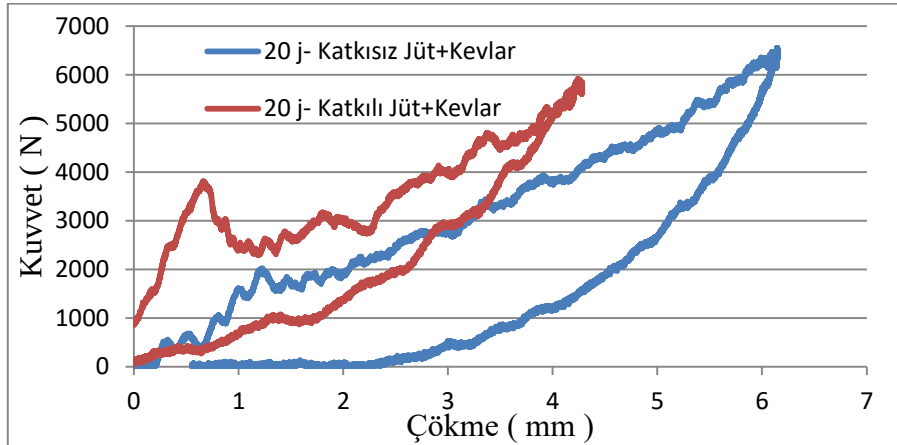
Katkısız ve % 0.2 oranında nano grafen katkılı jüt+keklar elyaf kompozit numunelerin 10, 20 ve 30 J darbe enerji değeri Şekil 4.63-4.68’de temas kuvveti-çökme ve absorbe edilen enerji-zaman değışimleri grafiksel olarak verilmiştir.



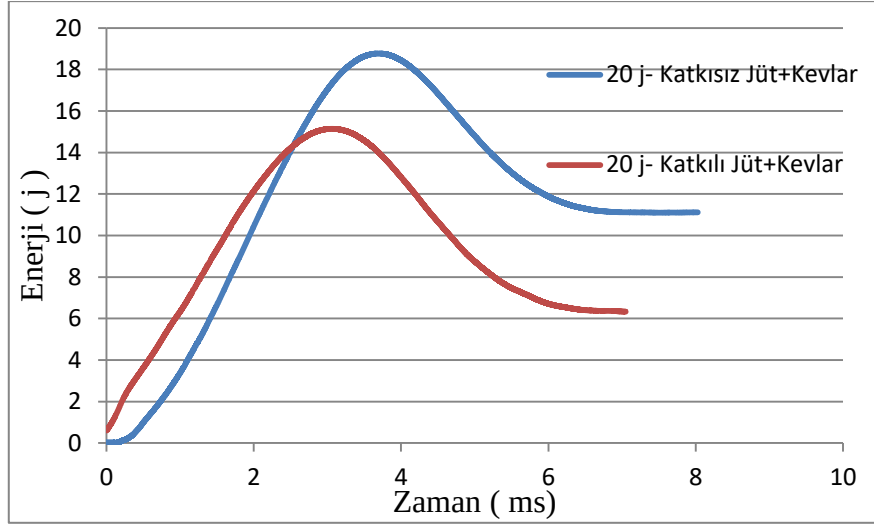
Şekil 4.63: 10 j altında jüt+keklar kompozitin kuvvet-çökme grafiğı



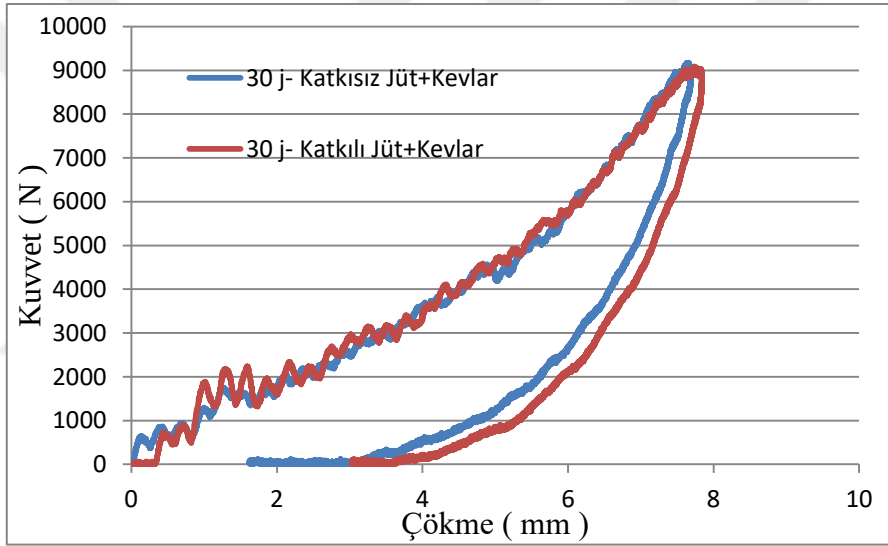
Şekil 4.64: 10 j altında jüt+keklar kompozitin enerji-zaman grafiğı



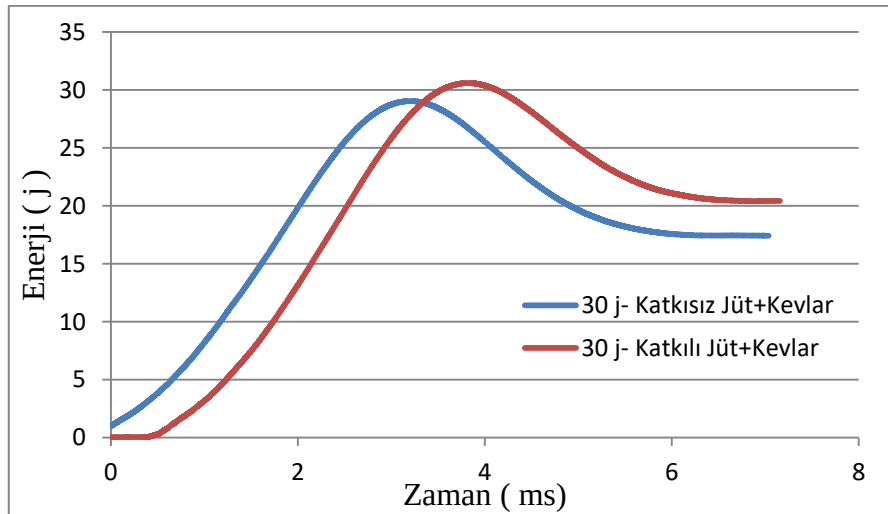
Şekil 4.65: 20 j altında jüt+keklar kompozitin kuvvet çökme grafiğı



Şekil 4.66: 20 j altında jüt+keklar kompozitin enerji-zaman grafiği

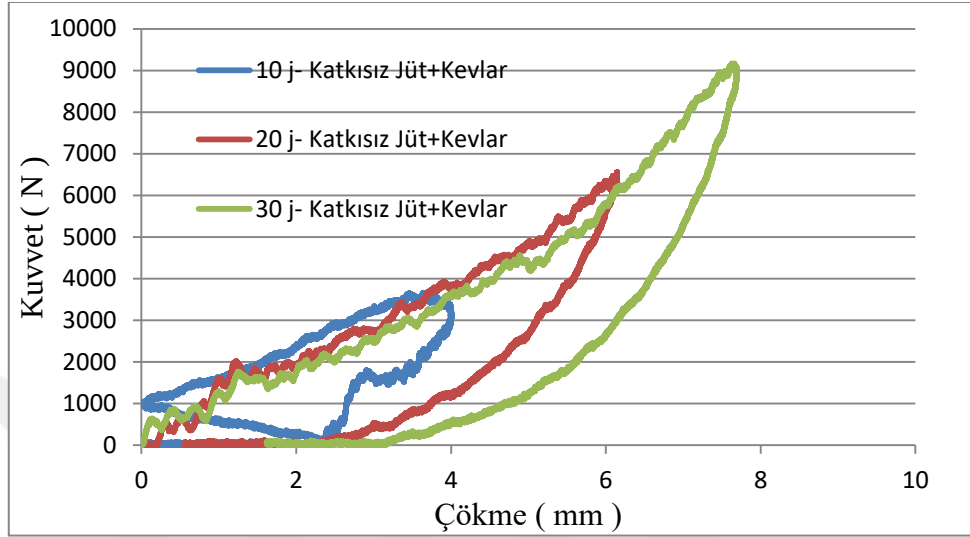


Şekil 4.67: 30 j altında jüt+keklar kompozitin kuvvet-çökme grafiği

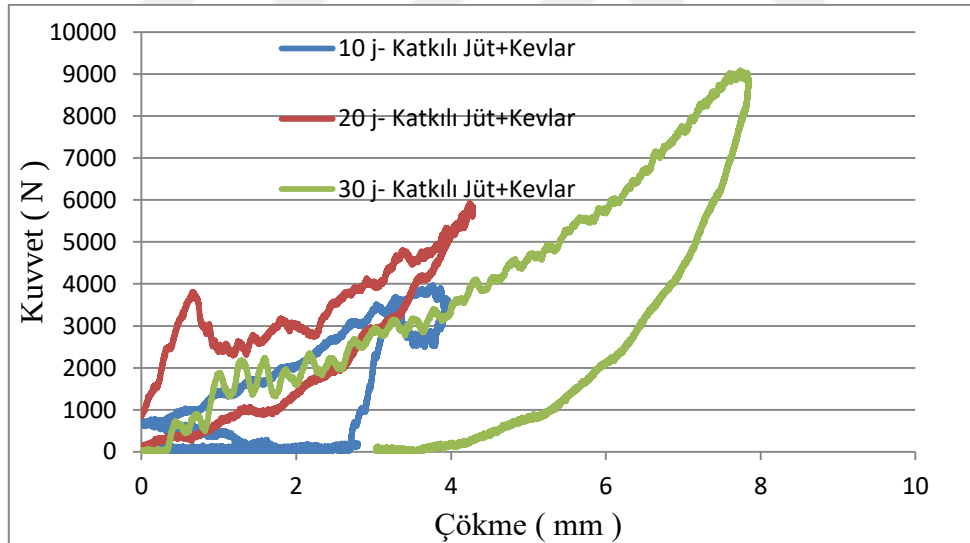


Şekil 4.68: 30 j altında jüt+keklar kompozitin enerji-zaman grafiği

Şekil 4.69-4.70 grafiklerinde katkılı ve katkısız jüt+keklar kompozitin temas kuvvet-çökme grafiklerine bakıldığında 10 j yük altında G katkısı etkili olup kuvvet değeri yüksek çıkmış iken 20 j ve 30 j de G katkısı etkili olmayıp kuvvet değeri daha düşük çıkmıştır.

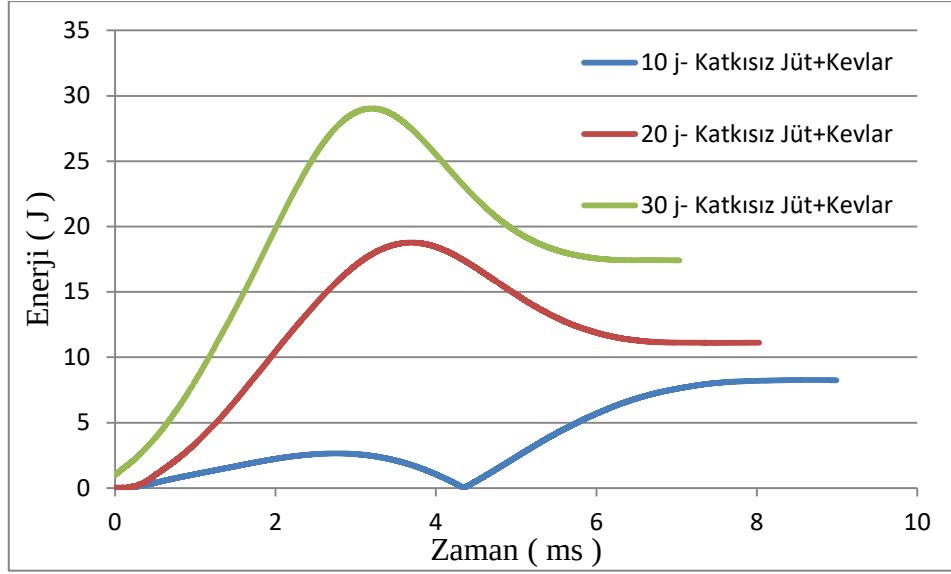


Şekil 4.69: 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt+keklar kompozitin kuvvet-çökme grafiği

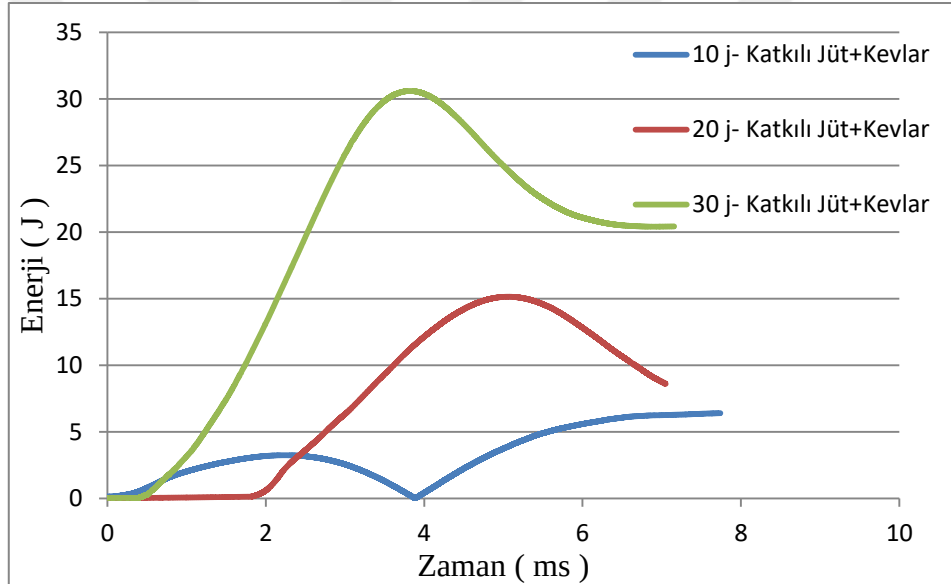


Şekil 4.70: 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt+keklar kompozitin kuvvet-çökme grafiği

Şekil 4.71-4.72'deki enerji-zaman grafiklerine bakıldığında toplam enerji grafik eğrisi 10 j ve 20 j de katkısız jüt+keklar'ın değeri katkılı jüt+keklar'ın değerinden yüksek çıkmış iken 30 j de katkılı jüt+keklar değeri daha yüksek çıkmıştır. Absorbe edilen enerji değerine bakıldığında aynı şekilde 30 j yük altında katkılı jüt+Kevlar değeri yüksek çıkmış iken 20 j ve 30 j de katkısız jüt+keklar'ın değeri daha yüksek çıkmıştır.

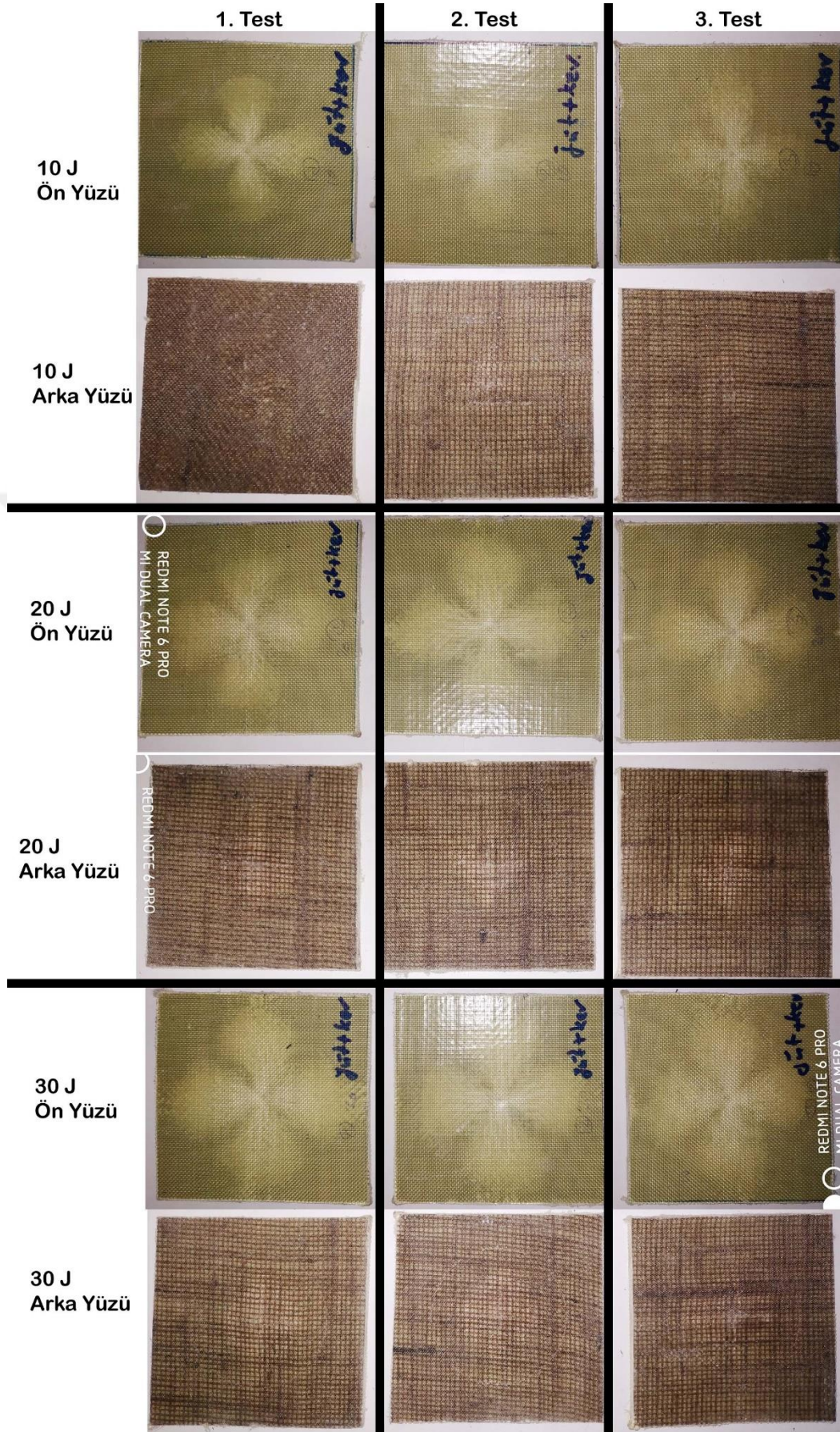


Şekil 4.71: 10, 20 ve 30 j altında G katkısız jüt+keklar kompozitin enerji-zaman grafiği

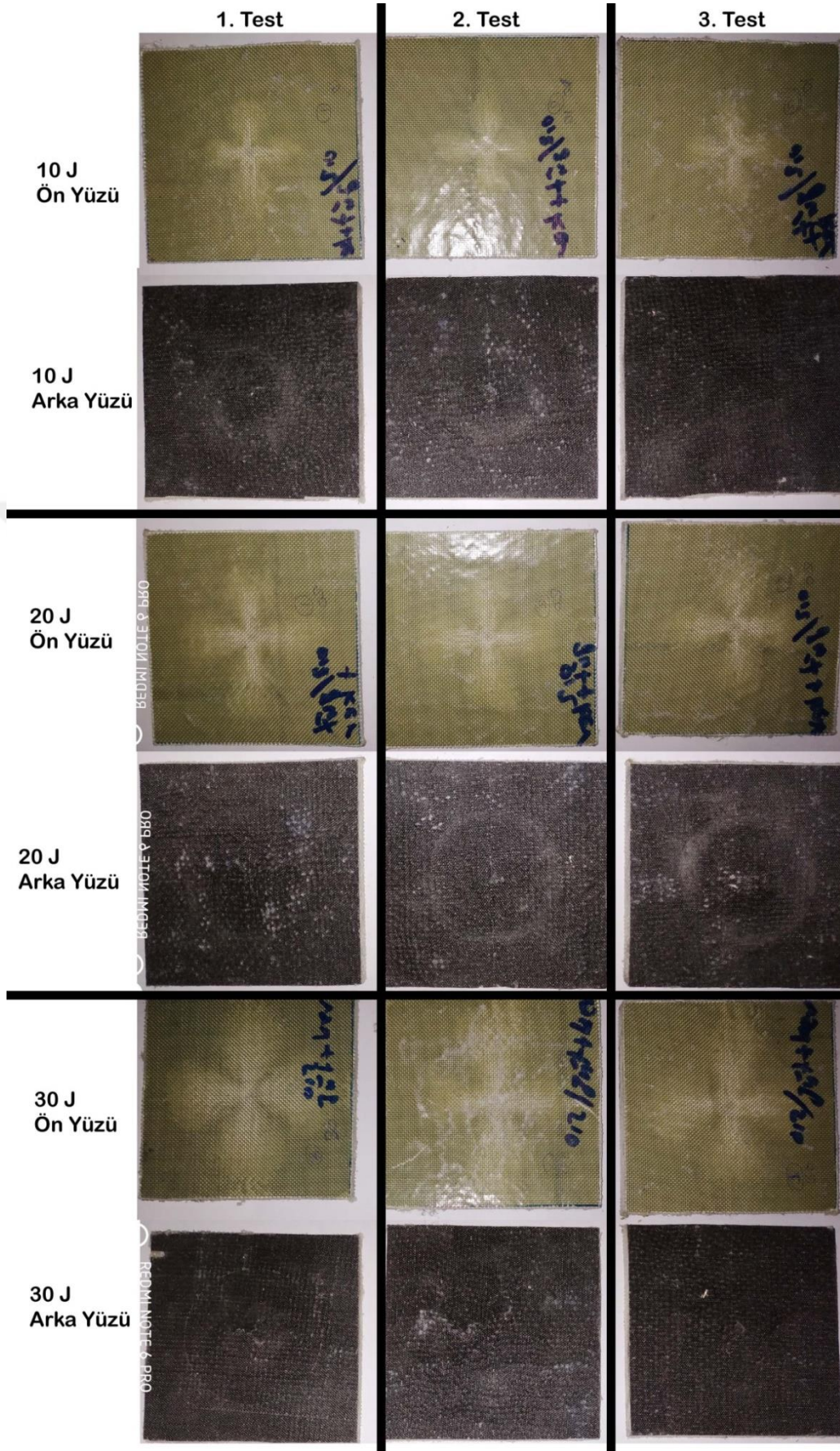


Şekil 4.72: 10, 20 ve 30 j altında G katkılı jüt+keklar kompozitin enerji-zaman grafiği

Jüt+keklar kompozit plakaların darbe sonucu oluşan hasar analizinde jüt ve Kevlar kompozitlerine göre daha az hasar görülmüştür. Darbe uygulanan yüzeyi, şekil 4.73-74'de görüldüğü bu hasar gibi katkılı ve katkısız jüt+Kevlar de 10 ve 20 j yüklerde artı çizik oluşmuş olup, 30 j'da daha belirgin dir. Numunelerin arka taraflarında ise 10 j için herhangi bir değişiklik izlenmeyip, 20 j için az miktarda ezilme ve 30 j için daire şeklinde çizik ve artı şeklinde ezilme olduğu görülmüştür.



Şekil 4.73: Katkısız Jüt+kevlar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar

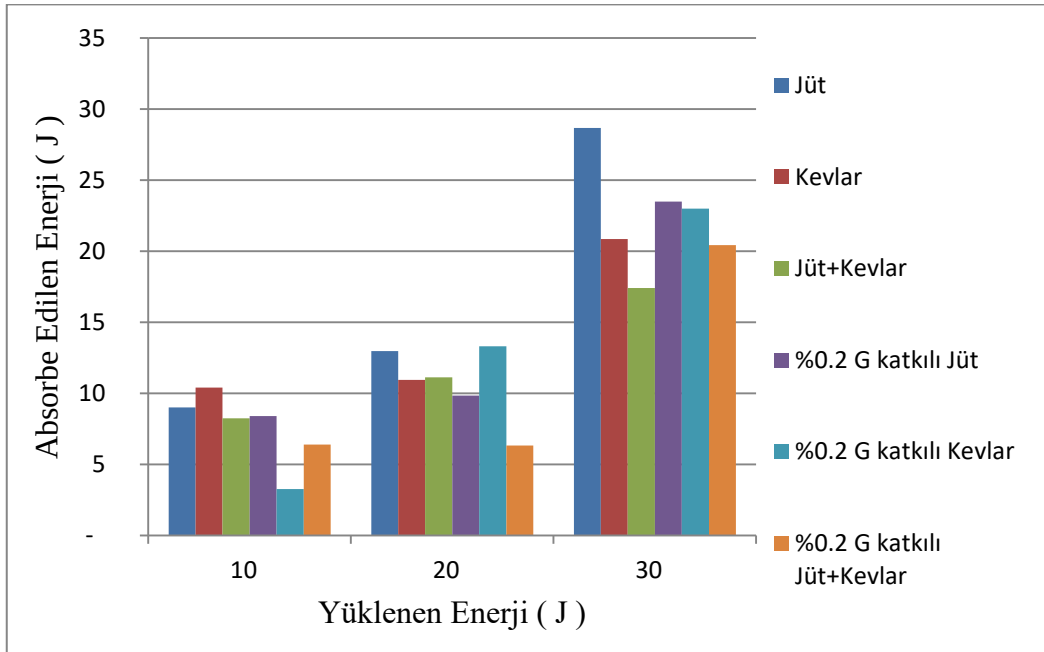


Şekil 4.74: G Katkılı jüt+keklar kompozitte 10, 20 ve 30 j yük altında oluşan hasarlar

Üç farklı yük ile 6 farklı kompozite yapılan bütün testlerin absorbe eden enerjisi 10 j, 20 j ve 30 j yükleri altında çizelge 4.8’de belirtilmiştir. Şekil 4.75’de 10 j, 20 j ve 30 j yük altında absorbe edilen enerji grafiğine bakıldığında 10 j’de en yüksek değer katkısız kevlarda çıkmış iken, en düşük değer katkılı kevlarda çıkmıştır. 10 j’de absorbe edilen enerjisine bakıldığında grafen katkısı hiç bir kompozitte etkili olmamıştır. 20 j için en yüksek değeri katkılı kevlarda çıkmış iken, en düşük değer ise katkılı jüt+kevlarda çıkmıştır. 20 j’de absorbe edilen enerjisine bakıldığında grafen takviyesi sadece keklar kompozitinde etkili olmuştur. 30 j’de ise absorbe edilen enerjisi en yüksek katkısız jütte çıkmış iken, en düşük değeri ise katkısız jüt+kevlarda çıkmıştır. 30 j’de absorbe edilen enerjisine bakıldığında grafen takviyesi jüt hariç değer kompozitlerde etkili olmuştur.

Çizelge 4.8: 10 j, 20 j ve 30 j yük altında kompozitlerin absorbe ettikleri enerjileri

Epoksi Kompozitler	10 j Absorbe edilen enerji (j)	20 j Absorbe edilen enerji (j)	30 j Absorbe edilen enerji (j)
Jüt	9.01	12.97	28.68
Kevlar	10.41	10.95	20.85
Jüt+Kevlar	8.23	11.12	17.41
% 0.2 G katkılı Jüt	8.40	9.84	23.50
% 0.2 G katkılı Kevlar	3.26	13.30	23.00
% 0.2 G katkılı Jüt+Kevlar	6.40	6.32	20.42



Şekil 4.75: Değerlendirmeye alınan numunelerin absorbe ettiği enerji grafiği

4.4 Balistik Deney Sonuçları

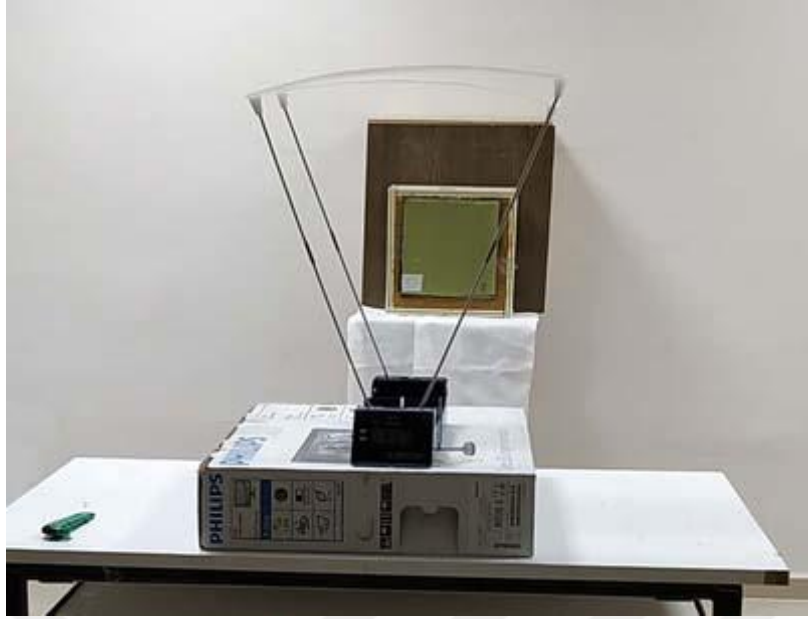
Bu çalışmada 250x250 mm boyutunda 20 tabakalı hazırlanan katkısız ve % 0.2 oranında nano grafen katkılı jüt, kevlar ve jüt+kevlar kompozit numunelere balistik atış deneyleri yapılmıştır. 6 farklı numuneye altışar adet atış deneyi yapıp tüm deney sonuçlarından kullanılan kompozitler ve kombinasyonları için bilgi elde edilmiştir.

Balistik test sürecinde farklı zırh malzemesinden hazırlanan her bir zırh plakası test tezgahına yerleştirilmiştir. Test tezgahı 300x300x100 mm boyutunda olup, Şekil 4.76'daki gibi içine macun yerleştirilip yüzeyi ölçü olabilecek şekilde düzeltilmiş olup, bu macun yerleştirilme işlemi bütün test plakaları için tekrarlanmıştır. Test tezgahına macun plakanın bütün yüzeyi tam temas edecek şekilde sabitlenip destek malzeme bağlantısı, uygun test tezgâhı tarafından sıkı bir şekilde tutturulmuştur.

Test 21 °C oda sıcaklığında, kapalı alanda yapılmıştır (Şekil 4.77). Atışlar 5 m mesafeden sarsılmaz marka 9 mm tabanca ile yapılmıştır.



Şekil 4.76: Test tezgahına macun yerleştirilmesi



Şekil 4.77: Test tezgahı ve zırh plakası

Hız ölçüm cihazı şekil 4.77’de görüldüğü gibi, tezgah masası hizasına 2.5 m uzaklıkta masa üstüne sabit şekilde yerleştirilip, her atışın hız ölçümü yapılmıştır.

4.4.1 Katkısız epoksi kompozitlerin balistik test sonuçları

Şekil 4.78’de katkısız kevlar kompozit plakasının ön ve arka yüzlerinin atış sonrasının fotoğrafları verilmiştir. Kevlar plakasına 6 adet ateş yapılmış olup, yapılan atışların bir tanesi plaka kenarına isabet ettiği için delinmiştir ve diğer 5 atışta ise delinmemiştir. Diğer katkısız jüt ve jüt+kevlar plakalarında yapılan 6 adet atışın tümünde de plakalar delinmiştir.

Ön Yüzeyi

Arka Yüzeyi

Macun yüzeyi



Şekil 4.78: Balistik atış sonrası kevlar plakanın yüzeyleri ile macun yüzeyi

Aynı zamanda katkısız bu üç kompozit plakanın balistik değerleri çizelge 4.9-4.11’de görülmektedir.

Çizelge 4.9: Jüt kompozit plakanın balistik test değerleri

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çökme Miktarı (mm)	Sonuç
1	364	530.0	-	Delindi
2	364	530.0	-	Delindi
3	368	541.7	-	Delindi
4	365	532.9	-	Delindi
5	365	532.9	-	Delindi
6	366	535.8	-	Delindi

Çizelge 4.10: Kevlar kompozit plakanın balistik test değerleri

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çökme Miktarı (mm)	Sonuç
1	365	530.0	-	Delindi
2	363	504.1	10	Delinme yok
3	364	512.7	25	Delinme yok
4	364	518.4	30	Delinme yok
5	365	532.9	40	Delinme yok
6	363	524.2	15	Delinme yok

Çizelge 4.11: Jüt+kevlar kompozit plakanın balistik test değerleri

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çökme Miktarı (mm)	Sonuç
1	363	527.1	-	Delindi
2	368	541.7	-	Delindi
3	369	544.6	-	Delindi
4	370	547.6	-	Delindi
5	369	544.6	-	Delindi
6	370	547.6	-	Delindi

Katkısız jüt numunede ortalama atış hız değeri 365.3 m/sn'dır. Bu numune ortalama atış hızına göre NIJ Seviye II-A standardına göre koruma seviyesindedir. Ancak numune delindiğinden koruma sağlamamaktadır.

Katkısız kevlar numunede ortalama atış hız değeri 364 m/sn'dır. Bu numune ortalama çöküntü değeri 24 mm'dir. Bu numune NIJ Seviye II-A standardına göre, hız koruma seviyesindedir.

Katkısız jüt+kevlar numunede ortalama atış hız değeri 368.2 m/sn'dır. Bu hız NIJ Seviye II-A standardına uygundur. Ancak numune delindiğinden koruma sağlamamaktadır.

4.4.2 % 0.2 Oranında grafen katkılı epoksi kompozitlerin balistik test sonuçları

Şekil 4.80-81'de katkılı kevlar ve katkılı jüt+ kevlar kompozit plakaların ön ve arka yüzünün atış sonrası fotoğraflar verilmiştir. Katkılı kevlar plakasına 6 adet ateş yapılmış ve yapılan atışların tamamında plakalar delinmemiştir. Diğer katkılı jüt ve jüt+kevlar plakalarında yapılan altı şar atışın tümünde de plakalar delinmiştir.



Şekil 4.79: Balistik atış sonrası % 0.2 oranında G katkılı kevlar plakanın ön ve arka yüzü ile yerleştirilen macun yüzeyi



Şekil 4.80: Balistik atış sonrası % 0.2 oranında G katkılı jüt+keklar plakanın ön ve arka yüzü ile yerleştirilen macun yüzeyi

Aynı zamanda % 0.2 oranında grafen katkılı bu üç kompozit plakanın balistik değerleri Çizelge 4.12-4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.12: % 0.2 oranında G katkılı jüt plakanın balistik test değerleri

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çökme Miktarı (mm)	Sonuç
1	355	504.1	-	Delindi
2	360	518.4	-	Delindi
3	365	532.9	-	Delindi
4	367	538.8	-	Delindi
5	370	547.6	-	Delindi
6	368	541.7	-	Delindi

Çizelge 4.13: % 0.2 oranında G katkılı keklar plakanın balistik test değerleri

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çökme Miktarı (mm)	Sonuç
1	361	498.4	10	Delinme yok
2	362	498.4	12	Delinme yok
3	365	512.7	15	Delinme yok
4	367	518.4	20	Delinme yok
5	368	515.5	25	Delinme yok
6	362	521.3	13	Delinme yok

Çizelge 4.14: % 0.2 oranında G katkılı jüt+kevlar plakanın balistik test değerleri

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çökme Miktarı (mm)	Sonuç
1	364	530.0	-	Delindi
2	369	544.6	-	Delindi
3	370	547.6	-	Delindi
4	366.1	536.1	-	Delindi
5	369	544.6	-	Delindi
6	364	530.0	-	Delindi

% 0.2 oranında grafen katkılı jüt numunede ortalama atış hız değeri 364.2 m/sn'dır. Bu hıza karşılık gelen NIJ Seviye II-A standardına göre, numune delindiğinden koruma sağlanmamaktadır.

% 0.2 oranında grafen katkılı kevlar numunede ortalama atış hız değeri 364,2 m/sn'dır. Bu numunede ortalama çöküntü değeri 15.8 mm'dir. Bu numune NIJ Seviye II-A standardına göre hız koruma seviyesindedir.

% 0.2 oranında grafen katkılı jüt+kevlar numunede ortalama atış hız değeri 367 m/sn'dır. Bu hıza karşılık gelen NIJ Seviye II-A standardına göre, numune delindiğinden koruma sağlanmamaktadır.

5. SONUÇ

Çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çekme deneyinde grafen nanopartikül katkısı kullanılan jüt kumaş kompozit numunelerinde çekme dayanımı artarken kevlar kumaşı ve jüt+kevlar kumaş kompozit numunelerinde azalmıştır. Sonuç olarak çekme testinde en yüksek mukavemet grafen katkısız kevlar kumaş kompozitte çıkmışken en düşük mukavemet grafen katkısız jüt kumaş kompozitte çıkmıştır.

2. Kayma testinde çentik bölgesinde oluşan deformasyonlar ve kırılmalar gözlemlenmiştir. Numunelere ait sonuçlar incelendiğinde grafen nanopartikül katkı kullanılarak jüt, kevlar ve jüt+kevlar kumaş kompozit numunelerin hiç birisinin kayma dayanımı artmasında etkili olmamıştır. Sonuçlara bakıldığında en yüksek kayma dayanımı grafen katkısız jüt+kevlar elyaf kompozitte çıkmışken en düşük grafen katkılı kevlar elyaf kompozitte çıkmıştır. Bunun sebebi kevlar kompozitlerin daha esnek yapıda olup daha erken deformasyona uğramasıdır.

3. Darbe testlerinde üç farklı enerji yükünde 6 farklı kompozitte yapılan testlerde absorbe edilen enerjinin en yüksek değeri jüt kompozitte ortaya çıkmıştır. Jüt 30 j yük altında delinmiştir. Jüt'te grafen katkısı daha gevrek kompozit oluşturduğundan etkili olmamıştır. Kevlar kompoziti ise 20 j ve 30 j de absorbe edilen enerjisi jüt kompozitinden düşük ve jüt+kevlar kompoziten yüksek çıkmıştır. Kevlarda delinme olmamıştır. Grafen katkılı kevlarda absorbe edilen enerjisi daha yüksek çıkmıştır. Jüt+kevlar kompozitte delinme olamamış ve grafen katkısı absorbe edilen enerjiyi arttırmıştır.

4. Balistik testlerde 6 farklı kompozit ile yapılan testlerde grafen katkılı Kevlar kompozitlerde ortalama çökme değeri 25 mm çıkmışken katkısız kevlar kompozitte çökme değeri 40 mm çıkmıştır. Sonuç olarak grafen katkılı ve grafen katkısız jüt ve jüt+kevlar kompozitlerinde delinme olup sadece grafen katkılı ve katkısız kevlar kompozitlerde delinme olmamıştır. Grafen takviyesinin Kevlar kumaşın balistik koruyuculuğuna katkı sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Afrouzian, A. Aleni, H.M. Liaghat, G.H. & Ahmadi. H.** (2017). Effect Of Nano-Particles On The Tensile. Flexural And Perforation Properties Of The Glass/Epoxy Composites. *36 (12)*. 900-916.
- [2] **Adams, D. F. & Adams, L. G.** (1989). A tensile impact test apparatus for composite materials. *Experimental mechanics* 29.4, 466-473.
- [3] **Akdoğan, M. A.** (2008). Düşük Enerjili Serbest Ağırlık Düşme Test Düzeneği Tasarım Ve İmalatı. Düşük Enerji Seviyelerinde Darbe Testi Yapılması (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [4] **Bozkurt, E.** (2006). Silika Nanopartiküller İle Modifiye Edilmiş Epoksi Matriksli Kıvrımsız Fiber Katkılı Kompozitlerin Mekanik Ve Termal Özellikleri (Yüksek Lisans Tezi). İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği, İzmir.
- [5] **Berk, B. Karakuzu, R. & Toksoy, A. K.** (2017). An experimental and numerical investigation on ballistic performance of advanced composites. *Journal of Composite Materials* 51.25, 3467-3480.
- [6] **Bhatnagar, N. Bhardwaj, R. Selvakumar, P. & Brieu, M.** (2007). Development of a biaxial tensile test fixture for reinforced thermoplastic composites. *Polymer Testing* 26.2, 154-161.
- [7] **Chandramohan, D. & John Presin Kumar, A.** (2017). "Experimental data on the properties of natural fiber particle reinforced polymer composite material." *Data in brief* 13, 460-468.
- [8] **Czechowski, L. Jankowski, J. & Kubiak, T.** (2012). Experimental tests of a property of composite material assigned for ballistic products. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.
- [9] **Chen. H. C. Chen, Y. L. & Shen, B. C.** (2012). Ballistic resistance analysis of double-layered composite material structures. *Theoretical and applied fracture mechanics* 62, 15-25.

- [10] **Davoodi, M. M. Sapuan, S.M. Ahmad, D. Aidy, A. Khalina, A. & Jonoobi, M.** (2011). Concept selection of car bumper beam with developed hybrid bio-composite material. *Materials & Design* 32.10, 4857-4865.
- [11] **Dindar, B.** (2019). Elyaf Katkılı Kompozitlerde Nanopartikül Katkısının Yorulma, Burkulma Ve Darbe Davranışına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi (Doktora Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [12] **D'antino, T. & Papanicolaou, C. C.** (2018). Comparison between different tensile test set-ups for the mechanical characterization of inorganic-matrix composites. *Construction and Building Materials* 171, 140-151.
- [13] **Evcı, C. & Gülgeç, M.** (2012). An experimental investigation on the impact response of composite materials. *International Journal of Impact Engineering* 43, 40-51.
- [14] **Hannon, A. & Tiernan, P.** (2008). A review of planar biaxial tensile test systems for sheet metal. *Journal of materials processing technology* 198.1-3, 1-13.
- [15] **Huang, C.Y. & Chen, Y.L.** (2016). Effect of mechanical properties on the ballistic resistance capability of Al₂O₃-ZrO₂ functionally graded materials." *Ceramics International* 42.11, 12946-12955.
- [16] **Işık, H. Değirmenci, E. & Evcı, C.** (2013). Örgülü Kumaşların Balistik Darbe Enerji Sönümleme Mekanizmalarının İncelenmesi *Savunma Bilimleri Dergisi* 12.2, 145-162.
- [17] **Jung, K.H. Kim, D.H. Kim, H.J. Park, S.H. Jhang, K.Y. & Kim, H.S.** (2017). Finite element analysis of a low-velocity impact test for glass fiber-reinforced polypropylene composites considering mixed-mode interlaminar fracture toughness. *Composite Structures* 160, 446-456.
- [18] **Jambari, Sh. Yahya M. Y. Abdullah, M. R. & Jawaid, M.** (2017). Woven Kenaf/Kevlar Hybrid Yarn as potential fiber reinforced for anti-ballistic composite material. *Fibers and Polymers* 18.3, 563-568.
- [19] **Khodadadi, A. Liaghat, G. Ahmadi, H. Bahramian, A. R. & Razmkhah, O.** (2019). Impact Response Of Kevlar/Rubber Composite. *Composites Science And Technology* 184, 107880.
- [20] **Krushnamurty, K. Srikanth, I. Rangababu, B. Majee, S. K. Bauri, R. & Subrahmanyam, C.** (2015). Effect Of Nanoclay On The Toughness Of Epoxy And

Mechanical. Impact Properties Of E-Glass-Epoxy Composites. VBRI Press. 6 (8). 684-689.

[21] **Khodadadi, A. Liaght, GH. Vahid, S. Sabet, A. R. & Hadavinia, H.** (2019). Ballistic Performance Of Kevlar Fabric İmpregnated With Nanosilica/PEG Shear Thickening Fluid. *Composites Part B: Engineering* 162, 643-652.

[22] **Kölük Taş, M.** (2019). Tabakalı kompozit malzemelerin balistik zırh özelliklerinin geliştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

[23] **Lee, Young S. Wetzel, E. D. & Wagner, N. J.** (2003). The ballistic impact characteristics of Kevlar® woven fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid. *Journal of materials science* 38.13, 2825-2833.

[24] **Lomov, S. V. Lvanov, D. S. Truong, T. C. Verpoest, I. Baudry, F. Vanden Bosche, K. & Xie, H.** (2008). Experimental methodology of study of damage initiation and development in textile composites in uniaxial tensile test. *Composites Science and Technology* 68.12, 2340-2349.

[25] **Muzoğlu, M.** (2018). Farklı Ortam Koşullarında Bekletilen Doğal Lif Katkılı Hibrit Kompozitlerin Burkulma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demiral Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İsparta

[26] **Manero, A. Gibson, J. Freihofer, G. Gou, J. & Raghavan, S.** (2015). Evaluating The Effect Of Nano-Particle Additives İn Kevlar® 29 İmpact Resistant Composites." *Composites Science And Technology* 116, 41-49.

[27] **Micheli, D. Vricella, A. Pastore, R. Delfini, A. Giusti, A. Albano, M. Marchetti, M. Moglie, F. & Mariani Primiani, V.** (2016). Ballistic And Electromagnetic Shielding Behaviour Of Multifunctional Kevlar Fiber Reinforced Epoxy Composites Modified By Carbon Nanotubes. *Carbon* 104,141-156.

[28] **Monteiro, S. N. Pereira, A. C. Ferreira, C. L. Junior, E. P. Weber, R. P. & Assis, F. S.** (2018). Performance Of Plain Woven Jute Fabric-Reinforced Polyester Matrix Composite İn Multilayered Ballistic System. *Polymers* 10.3, 230.

[29] **Micheli, D. Vricella, A. Pastore, R. Delfini, A. Giusti, A. Albano, M. Marchetti, M. Moglie, F. & Mariani Primiani, V.** (2016). Ballistic and electromagnetic shielding behaviour of multifunctional Kevlar fiber reinforced epoxy composites modified by carbon nanotubes. *Carbon* 104, 141-156.

- [30] **Naik, S. Dandagwhal, R. D. & Loharkar, P. K.** (2020). A Review On Various Aspects Of Kevlar Composites Used İn Ballistic Applications. *Materials Today: Proceedings* 21, 1366-1374.
- [31] **Nascimento, L. F. C. Louro, L. H. L. Monteiro, S. N. Gomes, A. V. Marçal, R. L. S. B. Junior, E. P. L. & Margem, J. I.** (2017). Ballistic Performance Of Mallow And Jute Natural Fabrics Reinforced Epoxy Composites İn Multilayered Armor. *Materials Research* 20, 399-403.
- [32] **Nayak, S. Y. Sultan, M. Th. H. Shenoy, S. B. Kini, Ch. R. Samat, R. Shah, A. U. M. & Amuthakkannan, P.** (2020). Potential of natural fibers in composites for ballistic applications—a review. *Journal of Natural Fibers*, 1-11.
- [33] **Ramesh. M. Palanikumar, K. & Hemachandra Reddy, K.** (2013). Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites. *Composites Part B: Engineering* 48, 1-9.
- [34] **Safri, S. N. A. Sultan, M. T. H. Yidris, N. & Mustapha, F.** (2014). Low velocity and high velocity impact test on composite materials—a review. *Int. J. Eng. Sci* 3.9 50-60.
- [35] **Sivasaravanan, S. Bupesh Raja, V. K. & Manikandan** (2014). Impact characterization of epoxy LY556/E-glass fibre/nano clay hybrid nano composite materials. *Procedia Engineering* 97, 968-974.
- [36] **Sorrentino, L. Bellini, C. Corrado, A. Polini, W. & Arico, R.** (2014). Ballistic performance evaluation of composite laminates in kevlar 29. *Procedia Engineering* 88, 255-262.
- [37] **Tuncer, C.** (2018). CACO3. SİO2 Ve Grafen Nano Partikül Katkısının Tabakalı Cam Elyaf Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [38] **Tüzemen, M. Ç. Salamcı, E. & Avcı, A.** (2017). Karbon Fiber/Epoksi Nanokompozit Plakalarda Nanopartikül Katkısının Fiber. Matris ve boşluk hacim oranlarına etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji* 5.1, 11-19.
- [39] **Tabiei, A. & Nilakantan, G.** (2008). Ballistic impact of dry woven fabric composites: a review. *Applied Mechanics Reviews* 61.1.
- [40] **Vignesh, S. Surendran, R. Sekar, T. & Rajeswari, B.** (2020). Ballistic İmpact Analysis Of Graphene Nanosheets Reinforced Kevlar-29. *Materials Today: Proceedings*

- [41] **Yahaya, R. Sapuan, S. M. Jawaid, M. Leman, Z. & Zainudin, E. S.** (2015). Mechanical And Ballistic Properties Of Natural Fibre Aramid Hybrid Laminated Composites. *University Putra Malaysia*.
- [42] **Yilmazcoban, I. K. & Doner, S.** (2016). Ballistic Protection Evaluation of Sequencing the Composite Material Sandwich Panels for the Reliable Combination of Armor Layers. *Acta Physica Polonica. A.* 130.1.
- [43] **Yanen, C. & Solmaz, M. Y.** (2016). Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi Ve Balistik Performanslarının İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 3.2.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Necibullah KURBAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2018. İnönü Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi. İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans :** Halen devam etmekte. İnönü Üniversitesi. İnşaat Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı Program

MESLEKİ DENEYİM:

- **Ağustos 2018- Ekim 2018** İnşaat Mühendisi Halkalı istasyonu. Marmaray hattı (İstanbul) Saha denetimi – Şantiye(İstanbul Ray)