



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ORYANTASYON AÇILARINA  
SAHİP JÜT TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN  
FREZELENMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ali İmran KILIÇKAP**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**EKİM-2018  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ali İmran KILIÇKAP tarafından hazırlanan “**Farklı Oryantasyon Açıklarına Sahip Jüt Takviyeli Kompozitlerin Frezelenmesinin Araştırılması**” adlı tez çalışması 19.10.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

#### Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

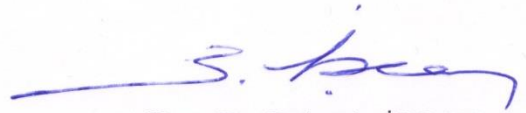
#### Üye

Dr. Öğrt. Üy. Oktay ADIYAMAN

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin IŞÇAN  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ali İmran KILIÇKAP  
Tarih: 19.10.2018

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FARKLI ORYANTASYON AÇILARINA SAHİP JÜT TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN FREZELENMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali İmran KILIÇKAP

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2018, 71 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK  
Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN  
Dr. Öğrt. Üyesi Oktay ADIYAMAN

Petrol temelli yapay malzemelerin yaygın kullanımı, geri dönüşümündeki zorluklardan dolayı büyük bir çevresel problemdir. Ancak dünyadaki çevresel farkındalık, kompozitlerde geri dönüşümlü ve çevre açısından sürdürülebilir malzemelerin geliştirilmesini önemli kılmıştır. Bu da malzeme üreticilerini yaşam döngüsünün tüm aşamalarında çevresel etkileri dikkate alarak çevre ile uyumlu malzemeler üretmeye yönlendirmektedir. Bu amaçla, çevre ile uyumlu ve geri dönüşümlü doğal takviyeli kompozitler araştırma konusu olmuştur. Son birkaç yılda keten, jüt, kenevir, ananas ve sisal gibi doğal elyaflar kullanılarak çevre dostu kompozitlerin üretiminde ciddi artışlar olmuştur. Bu çalışmada, 0°/90°, 30°/-60° ve ±45° yönlendirme açılara sahip jüt elyaf takviyeli kompozit plakaların 2, 3 ve 4 ağızlı sert karbür (WC) parmak freze ile frezelenmesinde, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. İlerlemenin artması kesme kuvvetini, deformasyon faktörünü ve yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Kesme kuvvetinin artması, deformasyon faktörünü artırırken kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü düşürmüştür. Kesici takım ağız sayısının artması ise, frezeleme performansını artırmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Deformasyon, Frezeleme, Jüt, Kesme Kuvveti, Kompozit, Yüzey Pürüzlülüğü.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

#### **INVESTIGATION OF MILLING OF JUTE REINFORCED COMPOSITES WITH DIFFERENT ORIENTATION ANGLES**

**Ali İmran KILIÇKAP**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**2018, 71 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK**

**Assoc. Prof. Dr. Ahmet YARDIMEDEN**

**Assist. Prof. Dr. Oktay ADIYAMAN**

The widespread use of petroleum-based artificial materials is a major environmental problem due to the difficulties in recycling. However, environmental awareness in the world has made it important to develop recyclable and environmentally sustainable materials in composites. This leads material producers to produce environmentally compatible materials taking environmental considerations into account at all stages of their life cycle. For this purpose, environmentally compatible and recycled natural reinforced composites have been the subject of research. In the last few years, there has been a significant increase in the production of environmentally friendly composites using natural fibers such as flax, jute, hemp, pineapple, and sisal. In this study, the effect of cutting parameters such as cutting speed and feed rate on cutting force, delamination factor and surface roughness were experimentally examined in milling with 2, 3 and 4 flute numbers cemented carbide (WC) end mills of jute fiber reinforced composite plates having  $0^\circ/90^\circ$ ,  $30^\circ/-60^\circ$  and  $\pm 45^\circ$  oriental angles. The increase in feed rate increased the cutting force, deformation factor and surface roughness. Increasing the cutting force reduced the cutting force and surface roughness while increasing the deformation factor. Increasing the number of flutes end mill increased the milling performance.

**Keywords:** Composite, Cutting Force, Delamination, Jute, Milling, Surface Roughness.

## ÖNSÖZ

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; Giriş, Genel Bilgiler, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışma, Sonuçlardır. Giriş bölümünde konunun önemi ve konu ile ilgili literatür çalışmaları verilmiştir. Genel Bilgiler bölümünde doğal kompozit malzemeler, onların sınıflandırılması ve özelliklerinin yanı sıra kesici takımlar ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili bilgilere değinilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde jüt takviyeli kompozitin üretimi, deneylerde kullanılan makine, teçhizat ve deney parametreleri verilmiştir. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde doğal kompozitlerin çekme deney sonuçları ile frezeleme deneylerinde elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçlar bölümünde ise en iyi sonuçların hangi numuneden elde edildiğine değinilmiştir.

Bu tez çalışmasında, tez konusunun seçiminden çalışmaların tamamlanmasına ve yazılmasına kadar olan süreçte değerli yardımlarını eksik etmeyen ve bana sürekli yol gösteren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e, çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen ve tezime destek veren Sayın Doç. Dr. Erol KILIÇKAP'a, deneylerin yapılmasında bana laboratuvar imkânlarını tanıyan Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Vadat ORUÇ'a ve Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Hüseyin AYDIN'a, ve tüm eğitim hayatım boyunca bana çok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ali İmran KILIÇKAP  
BATMAN-2018

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>TABLolar LİSTESİ .....</b>	<b>xii</b>
<b>KISALTMALAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Kaynak Araştırması .....	3
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>7</b>
2.1. Kompozit Malzemeler ve Sınıflandırılması.....	7
2.2. Doğal Kompozitler .....	9
2.3. Doğal Kompozitlerde Yaygın Kullanılan Lifler .....	13
2.3.1. Keten (Flax) .....	13
2.3.2. Kenevir (Hemp) .....	13
2.3.3. Jüt (Jute).....	14
2.3.4. Rami (Ramie).....	14
2.3.5. Sisal.....	14
2.3.6. Kenaf.....	14
2.3.7. Pamuk .....	14
2.3.8. Abaka .....	15
2.4. Doğal Kompozitlerde Kullanılan Liflerin Özellikleri .....	15
2.5. Kesici Takım Malzemeleri.....	16
2.6. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü.....	18
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>21</b>
3.1. Deney Malzemesinin Üretimi .....	21
3.2. Çekme Testi .....	22
3.3. Takım Tezgâhı .....	24
3.4. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi .....	24
3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçü Aleti.....	26
3.6. Deformasyon Faktörünün Tespiti .....	27
3.7. Kesici takım ve İşleme Parametreleri .....	28
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>29</b>
4.1. Çekme Mukavemeti .....	30

4.2. Frezelemede Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi .....	31
4.3. Deformasyon Faktörünün Belirlenmesi .....	46
4.4. Yüzey Pürüzlüğünün Belirlenmesi .....	57
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>71</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elyaf bitki türleri (Ramesh ve ark., 2017) .....	11
Şekil 2.2. Bitki hücre duvarında fibrillerin, mikrofibrillerin ve selülozun düzenlenmesi ..... (Rojas ve ark. 2015).....	15
Şekil 2.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Akkurt, 1985) .....	19
Şekil 3.1. Dokuma jüt kumaş.....	21
Şekil 3.2. $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip kompozitin vakum infüzyon yöntemi ile üretimi .....	22
Şekil 3.3. Üretilen $0^\circ/90^\circ$ yönlendirme açısına sahip JETP kompozitin resmi .....	22
Şekil 3.4. Shimadzu AG-X çekme testi cihazı.....	23
Şekil 3.5. Test numunesinin çekme cihazına bağlanması.....	23
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan CNC dik işleme merkezi .....	24
Şekil 3.7. Kesme kuvvetinin ölçülmesi .....	25
Şekil 3.8. Kesme kuvveti ölçüm düzeneği.....	25
Şekil 3.9. Dinamometre üzerindeki bileşenler.....	26
Şekil 3.10. Kompozit üzerinden pürüzlülüğün alınması.....	27
Şekil 3.11. Deformasyon faktörünün belirlenmesi .....	27
Şekil 4.1. $0^\circ/90^\circ$ yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvveti-uzama diyagramı .....	30
Şekil 4.2. $30^\circ/-60^\circ$ yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvveti-uzama diyagramı .....	30
Şekil 4.3. $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvveti-uzama diyagramı .....	31
Şekil 4.4. $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı ( $V=25$ m/dak, $f=0.04$ mm/dev, Takım ağız sayısı=2) .....	32
Şekil 4.5. $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı ( $V=25$ m/dak, $f=0.08$ mm/dev, Takım ağız sayısı=2) .....	33
Şekil 4.6. $\pm 45^\circ$ yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı ( $V=25$ m/dak, $f=0.12$ mm/dev, Takım ağız sayısı=2) .....	33

Şekil 4.7. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=25 m/dak, f=0.04 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	33
Şekil 4.8. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.04 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	34
Şekil 4.9. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=75 m/dak, f=0.04 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	34
Şekil 4.10. 0°/90° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=2) .....	34
Şekil 4.11. 0°/90° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	35
Şekil 4.12. 0°/90° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=4) .....	35
Şekil 4.13. ± 45° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	35
Şekil 4.14. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	36
Şekil 4.15. 0°/90° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=3) .....	36
Şekil 4.16. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (0°/90°) .....	37
Şekil 4.17. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (± 45°).....	38
Şekil 4.18. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (30°/-60°).....	39
Şekil 4.19. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (0°/90°) .....	40
Şekil 4.20. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (± 45°).....	41
Şekil 4.21. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (30°/-60°).....	42
Şekil 4.22. Takım ağız sayısının kesme kuvveti üzerine etkisi .....	43
Şekil 4.23. Elyaf yönlendirme açısının kesme kuvveti üzerine etkisi .....	44
Şekil 4.24. Frezelenmiş yüzeylere ait görüntüler .....	47
Şekil 4.25. Takım ağız sayısına bağlı hasar görüntüleri .....	47
Şekil 4.26. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi (0°/90°).....	48
Şekil 4.27. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi (± 45°) .....	49

Şekil 4.28. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi (30°/-60°).....	50
Şekil 4.29. Kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkisi (0°/90°) .....	51
Şekil 4.30. Kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkisi ( $\pm 45^\circ$ ).....	52
Şekil 4.31. Kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkisi (30°/-60°).....	53
Şekil 4.32. Takım ağız sayısının deformasyon faktörü üzerine etkisi .....	54
Şekil 4.33. Elyaf yönlendirme açısının deformasyon faktörü üzerine etkisi .....	55
Şekil 4.34. İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü (Yönlendirme açısı: 30°/-60°, $V$ : 50 m/dak, $f$ : 0,08 mm/dev, Takım uç sayısı: 3) .....	57
Şekil 4.35. İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü (Yönlendirme açısı: 30°/-60°, $V$ : 75 m/dak, $f$ : 0,12 mm/dev, Takım uç sayısı: 2) .....	58
Şekil 4.36. İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü (Yönlendirme açısı: 0°/90°, $V$ : 50 m/dak, $f$ : 0,12 mm/dev, Takım uç sayısı: 4).....	58
Şekil 4.37. İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü (Yönlendirme açısı: $\pm 45^\circ$ , $V$ : 75 m/dak, $f$ : 0,12 mm/dev, Takım uç sayısı: 2) .....	58
Şekil 4.38. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi .....	60
Şekil 4.39. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.....	61
Şekil 4.40. Takım ağız sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.....	62
Şekil 4.41. Elyaf yönlendirme açısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.....	63

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Doğal liflerin sınıflandırılması (Hodzic ve Shanks, 2014).....	10
Tablo 2.2. Bazı bitkisel liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Faruk ve ark., 2012).....	16
Tablo 2.3. Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri (Özdemir ve ark., 2000; Schey, 1987) .....	17
Tablo 2.4. Kompozitlerin talaşlı işlenmesinde kullanılan kesici takım malzemelerinin fiziksel özellikleri (Akkurt, 1985) .....	18
Tablo 3.1. Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri .....	25
Tablo 3.2. Time TR-200 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazına ait teknik özellikler .....	26
Tablo 3.3. TiAlN kaplı WC kesici takıma ait bazı özellikler .....	28
Tablo 3.4. Kesme Parametreleri ve Değerleri.....	28
Tablo 4.1. Frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğüne ait toplu sonuçlar .....	29
Tablo 4.2. $V$ : 50 m/dak ve $f$ : 0,08 mm/dev için kompozitlerin işlenmiş yüzeyine ait görüntüler.....	59

## **KISALTMALAR**

<b>CBN</b>	: Kübik Bor Nitrür
<b>CVD</b>	: Kimyasal Buhar kertme
<b>DET</b>	: Doğal Elyaf Takviyeli
<b>DF</b>	: Deformasyon Faktörü
<b>ETKM</b>	: Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler
<b>HSS</b>	: Yüksek Hız elięi
<b>JETP</b>	: Jüt Elyaf Takviyeli Plastik
<b>MCD</b>	: Tek Kristalli Elmas
<b>MDF</b>	: Orta Yoğunluklu Lif Levhalar
<b>PCD</b>	: Çok Kristalli Elmas
<b>PVD</b>	: Fiziksel Buhar kertme
<b>RSM</b>	: Tepki Yüzey Metodu
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
<b>WC</b>	: Sert Karbür, Tungsten Karbür

## 1. GİRİŞ

Araştırmacılar ve mühendisler, yüksek mukavemet ağırlık oranı, aşınmaya karşı direnç ve yüksek kırılma tokluğu gibi benzersiz avantajlara sahip olan elyaf takviyeli polimer esaslı kompozitler üzerine son 30 yılda giderek artan bir oranda ilgilenmeye başlamışlardır (Lau ve Cheung, 2017). Özellikle ham maddesi petrol olan sentetik elyaflar yüksek mukavemet ve sertliklerinden dolayı polimer kompozitlerde yerini almıştır (Kabir ve ark. 2012). Karbon, cam ve aramid gibi yüksek mukavemetli elyaflardan ve düşük mukavemetli polimer matristen oluşan bu kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, inşaat ve spor endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu elyafların biyolojik olarak bozulmasının zor olması, başlangıçtaki işleme maliyetlerinin yüksek oluşu, geri dönüştürülmesindeki zorluklar, enerji tüketiminin yüksek olması ve insan ve çevre üzerinde sağlık açısından tehlike oluşturması vb. özelliklerden dolayı ciddi dezavantajları vardır (Kabir ve ark. 2012; Jabar 2017). Bu dezavantajlar küresel iklim değişikliğine ve sera gazı emisyonlarındaki artışa sebep olmaktadır.

Biyolojik bozunum, maddelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde bir değişime neden olan canlı organizmaların hareketi ile kimyasal olarak parçalanmasıdır. Mikroorganizmaları içeren çevresel atıkların ayrışmasından evsel atıkların ayrışmasına kadar biyolojik parçalanmaları içerir. Biyolojik bozulumu zor olan ve dolayısıyla doğal çevreye olumsuz etki sunan cam elyaf takviyeli polimer kompozitler birçok yapısal problemi gidermek için uzun yıllar düşük maliyet ve iyi mukavemet avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılsa da çevresel farkındalıktan dolayı bu malzemelerin kullanımını birçok batılı ülke tarafından endişe ile karşılanmaktadır. Bu doğrultuda geri dönüşümlü ve çevre açısından sürdürülebilir kompozit malzemelerin geliştirilmesi önem kazanmıştır. Bu da malzeme üreticilerini yaşam döngüsünün tüm aşamalarında çevresel etkileri dikkate alarak çevre ile uyumlu malzemeler üretmeye yönlendirmektedir. Ayrıca Amerika Birleşik Devletinde, üreticiler çöp ve toksit miktarını azaltmak, tek kullanımlık değil de tekrar kullanılabilen ürünleri kullanmak, kırılan ve bozulan ürünleri tekrar onararak kullanmak ve geri dönüştürülmüş içerikli ürünleri satın almak gibi konularda teşvik edilmektedir (Lau ve Hung, 2017).

Geleneksel kompozitlerin en yaygın türleri genellikle cam, karbon veya aramid elyaflarla takviye edilmiş epoksi, doymamış polyester reçine, poliüretanlar veya fenoliklerdir. Bu kompozitlerin yapılarda iş göremez hale geldiklerinde bilinen

geleneksel yöntemlerle ayrışması oldukça zordur. Çünkü bileşenler birbirine çok sıkı bir şekilde bağlı ve nispeten kararlıdır ve bu yüzden ayrılması ve geri dönüştürülmesi güçtür. Boeing 787 ve Airbus 350 gibi geliştirilen uçaklarda kullanılan malzemelerin % 50'den fazlasını yapısal bileşen olarak kompozitler oluşturmaktadır. Kompozit parçaların ömürlerinin sona ermesinden sonra geri dönüşümü ciddi bir problemdir. Üretim aşamasında elyaf ve reçineleri yapmak için enerji kullanımı da tartışılan bir diğer problemdir. Bu nedenle, doğal elyaf ve biyolojik olarak bozulabilir matris ile üretilen bir biyo-kompozitin kullanım alanı bulabilmesi için mekanik ve diğer özelliklerinin cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin özelliklerine yakın olarak üretilmesi istenir. Bu da yukarıda belirtilen birçok çevresel problemin çözülmesine yardımcı olur (Lau ve Cheung, 2017).

Son birkaç yılda keten, jüt, kenevir, ananas ve sisal gibi doğal elyaflar kullanılarak çevre dostu kompozitlerin üretiminde ciddi bir artış görülmektedir. Genel olarak, doğal elyaf takviyeli kompozit oluşturmak için bitki esaslı ve hayvan esaslı iki tür elyaf kullanılmaktadır. Bitki esaslı elyaflar, doğada bol miktarda bulunduğu için dolayı, hammadde maliyeti nispeten düşüktür ve kompozitler yapmak için cam gibi sentetik elyaflarla rekabet edebilir durumdadır. Bununla birlikte, hayvan esaslı elyafların doğadan temin edilmesi zordur ve maliyeti yüksek olduğundan daha az kullanım alanı bulmaktadır. Doğal kompozitlerde, doğadan temin edilen sisal, kenevir, jüt, kenaf, keten ve bambu gibi elyaflar doğrudan takviye elemanı olarak kullanılmaktadır (Lau ve Cheung, 2017). Bu elyaflar esas olarak selüloz, lignin, hemiselüloz, pektin ve ekstraktif maddelerden oluşmaktadır. İlk zamanlarda, doğal elyaf uygulamaları ev eşyaları gibi basit ve dayanım gerektirmeyen parçalar ile sınırlıydı. Bunun nedeni, bu malzemelerin dayanımları, şekillendirilmesi, işlenmesi gibi bilgilerin yetersiz olmasından kaynaklanmaktaydı. Çevresel kaygılar ve endüstriyel talepler, araştırmacıları çeşitli endüstrilerde doğal elyafların kullanılması yönünde çalışmalar yapma konusunda motive etmiştir. Bu amaçla, doğal elyaf takviyeli (DET) kompozit üretimi ve mekanik dayanımı ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. DET kompozit malzemeler basınç altında kalıplama, vakum altında kalıplama, elle yatırma, reçine transfer yöntemi gibi birincil imalat yöntemleri kullanılarak tek işlemde istenilen nihai form elde edilecek şekilde üretilebilirler. Bununla birlikte, nihai forma yakın olarak üretilen bu parçaların montaj gereksinimlerini karşılamak için delme, frezeleme veya tornalama gibi bazı ikincil işlemlere hala ihtiyaç duyulmaktadır.

Kompozitlerin işlenmesinde kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden biri olan frezeleme, düzlemsel parçalar için sıklıkla kullanılıp istenilen ölçü ve toleransların sağlanabildiği bir son işlemdir. Ancak DET kompozitlerin frezelenmesinde, malzemenin içyapısından ve elyafların kesilmesi sırasında kesme bölgesinde elyaf kopması, fiber/reçine ayrılması, gerilme yoğunlaşması, mikroçatlaklar, yüzey hasarı ve pürüzlülük istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hasarların en aza indirilmesi için uygun kesme parametrelerini belirlemek verimlilik açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açılara sahip jüt elyaf takviyeli kompozit plakaların 2, 3 ve 4 ağızlı sert karbür (WC) parmak frezeler ile frezelenmesinde kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

### 1.1. Kaynak Araştırması

Doğal, çevre dostu, yenilenebilir malzemelere olan ilgi, Kyoto protokolü başta olmak üzere, emisyon oranlarının düşürülmesi için uygulanan yaptırımlar sonucu günden güne artmaktadır. Özellikle otomotiv sanayinde araçların hafifletilerek emisyon değerlerinin düşürülmesi için maliyetleri düşük, dayanım/ağırlık oranları yüksek olan doğal elyafların kullanımı yaygınlaşmaktadır (Bakkal ve Savaş, 2012; Bakkal ve ark. 2012).

2003 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde yaklaşık olarak 43.000 ton doğal elyaf, takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu miktar 2010 yılına gelindiğinde 315.000 ton civarına ulaşarak toplamda kullanılan takviye malzemelerinin (cam, karbon ve doğal elyaf) %13'ünü oluşturmuştur. 2020 yılında bu miktarın yaklaşık olarak 830.000 ton olması öngörülmekte ve toplamda kullanılacak takviye malzemesinin tüm temel kimyasal yapı bloklarının en az %10'unun, 2050 yılına kadar ise %50'sinin yenilenebilir ve bitki bazlı kaynaklardan oluşturulmasını hedeflemiştir. Gelecekte biyo-kompozitlerin yeni nesil yapısal malzemeler olarak geniş kullanım alanı bulacak olması bu alandaki çalışmaların hızla artmasına sebep olmuştur (Yan ve ark., 2014). Ancak bu tür kompozitlerin talaşlı işlenmesi ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Talaşlı işleme, kompozit malzemelerin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesi için hayati önem taşımaktadır. Delik delme ve kanal açma işlemlerinde çeşitli nedenlerden dolayı malzeme üzerinde hasarlar oluşmaktadır. Kanal açma işlemi, kanal kenarlarında ve yüzeyinde hasarlar, mikroçatlaklar, fiber kopması ve matris yanması şeklinde hasarlara yol açarak kompozit parçaların ve kesici takımın performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Babu ve ark., 2013; Nassar ve ark., 2017). Bu tür olumsuzluklar kesme parametreleri, kesici takım-malzeme çifti ve soğutma şartları gibi parametrelerle kontrol altına alınabilir.

Dippon ve ark. (2000), MDF'nin parmak freze ile frezelenmesinde, kesme kuvvetlerinin tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında kesme kuvvetlerini tahmin etmek için dinamik bir model önermişlerdir.

Miklaszewski ve ark. (2000), ahşap esaslı malzemelerin frezelenmesinde çok kristalli elmas (PCD) takım aşınmasının mikromekaniğini taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak incelemişlerdir. İncelemelerinde takımdaki aşınma mekanizmalarını belirlemişlerdir.

Sabeel ve ark. (2008), jüt-hindistan cevizini dokuma kumaş olarak kullanarak hibrit kompozitler üretmişler ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır.

Davim ve ark. (2009), orta yoğunluklu lif levhanın (MDF) frezelemesinde yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Onlar yüzey pürüzlülüğü ile kesme parametreleri arasında bir ilişki kurmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğünün artan kesme hızı ile düştüğünü ve artan ilerleme ile arttığını belirlemişlerdir.

Jayabal ve Natarajan (2010), Hindistan ceviz elyaflı kompozitlerin delinmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonunda kesme kuvvetlerini ve takım aşınmasını minimum seviyede tutmak için gerekli olan delme parametrelerini genetik algoritmayı kullanarak optimize etmişlerdir.

Jayabal ve ark. (2011), cam ve hindistan cevizi elyaflı hibrit kompozitlerin delinmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Onlar matkap çapı, kesme hızı ve ilerleme gibi bazı delme parametrelerinin etkileşimlerini ve bunların hibrid kompozitlerin delinmesi esnasında ilerleme kuvveti, tork ve takım aşınması üzerine etkilerini

ilişkilendirmek için bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, kesme kuvvetleri üzerine ilerleme ve matkap çapının kesme hızından daha fazla etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Vinayagamoorthy ve Rajeswari (2012), elle yatırma yöntemini kullanılarak doğal jüt takviyeli izoftalik polyester kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri bu doğal kompozitleri dört ağızlı parmak freze çakısı kullanarak farklı kesme parametrelerinde frezelemişlerdir. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve moment üzerine etkilerini Taguchi ve Bulanık Mantık yöntemlerini kullanarak araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve moment üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme ve orta kesme derinliğinin minimum kesme kuvveti elde etmek için uygun olduğunu ve yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük kesme derinliğinin ise minimum kesme momenti için en uygun koşullar olduğunu tespit etmişlerdir.

Babu ve ark. (2013), kenevir, jüt ve muz yaprağını takviye elemanı olarak kullanarak doğal elyaf takviyeli kompozitler üretmişlerdir ve bu kompozitlerin frezelenebilirliğini incelemişlerdir. Farklı lif takviyeli doğal kompozitlerin frezelemesinde kesme hızı ve ilerleme gibi çeşitli işleme parametrelerinin işlenmiş yüzeyde oluşan hasar ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile ele almışlardır. Onlar, Taguchi deneysel tasarımının etkili ve verimli bir yöntem olduğunu ve bu tür malzemelerin işlenmesinde kolaylıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kenevir lif takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde, diğer fiber takviyeli kompozitlerin frezelemesinden daha az hasar oluştuğunu ve yüzey pürüzlülüğünün (Ra) daha küçük olduğunu tespit etmişlerdir. İlerlemenin ve kesme hızının deformasyon faktörü (DF) ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. Genellikle, dört farklı elyaf takviyeli kompozitin frezelemesinde, yüksek kesme hızının ve düşük ilerlemenin minimum hasar oluşumuna katkı sağladığını görmüşlerdir.

Chegdani ve ark. (2015.a), doğal elyaf türlerinin frezelemesinde, tribolojik davranışı incelemişlerdir. Bu doğrultuda üç farklı kısa doğal elyafı (bambu, sisal ve miscanthus) takviye elemanı olarak polipropilen'i matris olarak kullanarak kompozitler üretmişlerdir. Bambu elyaf takviyeli kompozitin diğer kompozitlerden daha iyi bir ara bağ yapısına sahip olduğunu ve işlenmiş yüzeylerinin daha düşük pürüzlülüğe sahip

olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca frezelenmiş yüzeylerin SEM görüntülerinden, doğal elyaf takviyeli kompozitlerdeki kopma mekanizmalarının tamamen sünek olmadığını ve elastikiyetinin elyaf tipine bağlı olduğunu görmüşlerdir. Bu durumu, doğal elyafların mekanik özelliklerinden ve elyafların bir birleri arasında oluşturduğu bağ yapısından kaynaklandığını vurgulamışlardır.

Chegdani ve ark. (2015.b), başka bir çalışmada hurma ağacı liflerini ve çam ağacı iğnelerini takviye elemanı, polipropilen'i matris malzemesi olarak kullanarak kompozit paneller üretmişlerdir ve onların frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin hasar faktörü üzerine etkilerini tepki yüzey metodu (RSM) kullanarak modellemişlerdir. Bu modelin doğruluğunu deneysel olarak kanıtlamışlardır. Kesme hızının işlenmiş yüzeyin kalitesini etkileyen önemli bir faktör olduğu belirtmişlerdir.

Harun ve ark. (2015), kenaf takviyeli kompozitleri farklı kesme parametrelerinde frezeleyerek kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Kenaf elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde, düşük yüzey pürüzlülüğü için kesme hızının yüksek ve ilerlemenin düşük tutulması gerektiğini vurgulamışlardır.

Sankar ve ark. (2015), jüt takviyeli polyster kompozitlerin frezelenmesinde işleme parametrelerini Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz yöntemini kullanarak optimize etmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve elyaf açısının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Balasubramanian ve ark. (2016), doğal jüt elyaf takviyeli polyester kompozitin frezelenmesinde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve momenti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve momenti üzerine etkilerini Taguchi yöntemi kullanılarak analiz etmişlerdir. Ayrıca Bulanık Mantık yöntemini kullanarak tahmini bir model geliştirmişlerdir.

Azmi ve ark. (2016), kenaf elyaf takviyeli plastik kompozitlerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme parametrelerini RSM yöntemi kullanarak araştırmışlardır. Onlar, bu malzemenin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen işleme parametresinin kesme hızı ve ilerleme olduğunu belirtmişlerdir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kompozit Malzemeler ve Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler nispeten yeni bir alan olup, II. Dünya savaşı esnasında mevcut klasik malzemelerin tek başına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve zamanla bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmiştir. Bu gelişmelerin sebebi malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı elde edilmesidir. Bu nedenle, spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Bu malzemeler belirli uygulama alanları için, üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli spesifik konfigürasyonda, değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar (Şahin, 2000).

Çağdaş uygulamalarda önemli bir ileri mühendislik malzemesi grubu olarak ortaya çıkan kompozitler iki veya daha fazla malzemenin karması ve/veya kombinasyonu ile ortaya çıkar. Karışmaz olmaları nedeniyle malzeme içerisinde fazlar arası büyük miktarda iç yüzey (ara yüzey) oluşur. Kompozitlerde sürekli faza matris adı verilir. Kesintili (parçalı) veya elyaf (fiber) şeklindeki fazlar ise matrislerden ayrı bölgeler olarak malzeme içerisinde takviye elemanı olarak yer alır (Geçkinli, 1992; Cöcen ve Önel, 1997).

Kompozit malzemeler alışılmışın dışındaki düşük esneme miktarı, yüksek mukavemet, düşük ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, iyi korozyon direnci, yüksek sertlik ve düşük iletkenlikten oluşan kombinasyonları elde etmek için seçilebilmektedirler (Erdoğan, 1998). Bunlardan optimum özellikler elde etmek için; bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü bir şekilde dağıtılması ve iki ayrı malzemenin homojen karıştırılarak kompozit (karma) bir malzeme oluşturulmalıdır (Şahin, 2000).

Yukarıdaki tanımlara göre, kompozit malzemelerde genelde aşağıdaki koşullar aranmaktadır.

- İnsan yapısı olmalı, dolayısıyla doğal bir malzeme olmamalı,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilmeli,

- Farklı malzemeler üç boyutlu olarak bir araya getirilmeli,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşımalıdır (Broutman, ve Krock, 1991).

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özellikler aşağıda verilmiştir.

- Mekanik dayanım (basınç, çekme, eğilme ve darbe),
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği ve ısı direnç,
- Elektrik iletkenliği ve elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Hafiflik,
- Görünüm vb. özellikler şeklinde sıralanabilir (Jones, 1987).

Bu amaca yönelik olarak, kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak tüm yöntemlerde değişmeyen temel ilke, bileşenlerinin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Bir kompozitin yapısı, genelde matris olarak adlandırılan sürekli bir faz ile onun içinde dağılmış değişik özelliklere sahip donatı fazından meydana gelmektedir.

Kompozit malzemeleri oluşturma seçeneklerine göre sınıflandırma zordur ve değişik açılardan sınıflandırma yapılabilir. Kompozit malzeme; kuvvetleri takviyeye iletmek, lifleri ortamın etkisinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemelerin tokluğunu arttırmak gibi görevleri üstlenen matrise ve matris malzemesine göre kompozit malzeme belli bir sınıflandırmaya tabi tutulur. Bunlar;

- a) Plastik matrisli malzemeler
- b) Metal matrisli malzemeler
- c) Seramik matrisli malzemeler
- d) Karbon/grafit matrisli malzemelerdir.

Sınıflandırmayı takviye elemanına göre yapacak olursak, Bunlar;

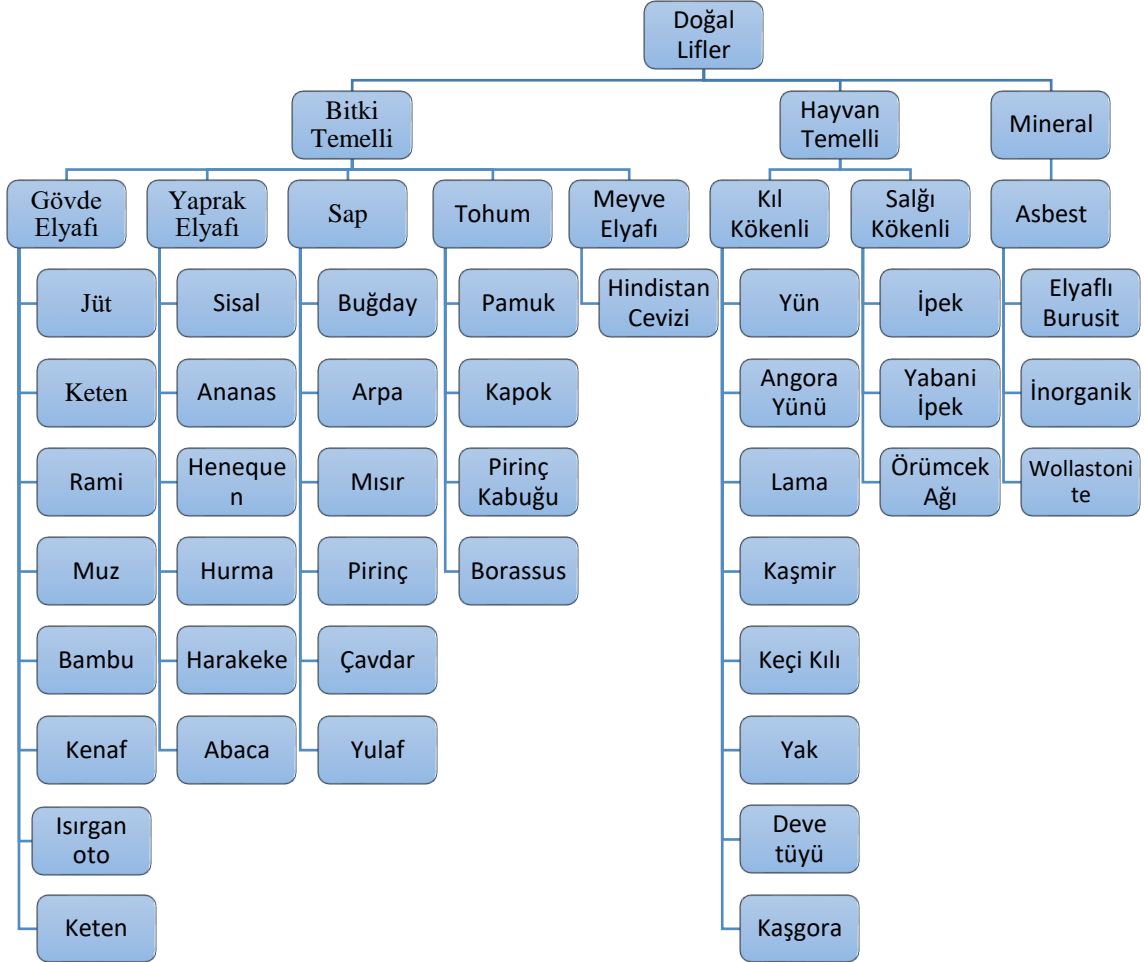
- a) Fiber takviyeli (elyaflı) kompozit malzemeler,
- b) Parçacıklı kompozit malzemeler,
  - Dağınımla (dispersiyonla) mukavemetlendirilmiş,
  - Partikül takviyeli kompozit malzemeler,
- c) Tabakalı kompozit malzemelerdir.

Takviyelerin yapılışı bakımından sınıflandırması ise,

- a) Elyaf takviyeli kompozit malzemeler (ETKM): Burada matris kuvvetleri elyafa iletilir. Kuvvet tümüyle elyaf tarafından taşınır ve özellikler anizotropiktir.
- b) Küçük parçalarla dayanımı artırılmış malzemeler: Kuvvetler matris tarafından taşınır. Küçük parçacıklar (0.01-0.1 $\mu$ m) metal malzemede dislokasyonların hareketini engelleyerek dayanımı artırır. Özellikleri izotropiktir. Örneğin çökme sertleşmesi uygulanmış alüminyum alaşımlar.
- c) İri parçacık takviyeli kompozit malzemeler: Yükü matris ve takviye birlikte taşırlar. Özellikleri izotropiktir. Örnek olarak beton verilebilir.

## 2.2. Doğal Kompozitler

İlk çağlardan beri, insanlar dayanımı düşük malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için bu malzemelerin içerisine doğada bulunan bitki ve/veya hayvan liflerini katarak dayanımlarını arttırmaya çalışmışlardır. Bunun en iyi örneği kerpiçlerdir. Günümüzde kullanılan liflerin %65'i bitkisel ve hayvansa %34'ü ise kimyasal kökenlidir (MEB, 2007). Bu malzemelerin düşük dayanımlarından dolayı çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Ancak, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin kullanımı çevresel etkilerden, ekonomik faydalardan ve üretimdeki düşük enerji talebi nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Doğal kompozitlerde kullanılan takviye elemanları bitkisel, hayvansal ve mineral temelli olarak sınıflandırılabilir (Tablo 2.1, Şekil 2.1).

**Tablo 2.1.** Doğal liflerin sınıflandırılması (Hodzic ve Shanks, 2014)



Şekil 2.1. Elyaf bitki türleri (Ramesh ve ark., 2017)

a) Susam Bamyası (Roselle), b) Sisal, c) Pamuk (Cotton), d) Hindistan Cevizi Lifi (Coir), e) Kenevir (Hemp), f) Bambu (Bamboo), g) Muz (Banana), h) Şeker Kamışı (Sugar Cane), i) Ananas Yaprağı (Pineapple Leaf), j) Keten (Flax), k) Mısır (Corn), l) Palmiye (Palm), m) Kenaf, n) Yılan Çimeni (Snake Grass) ve o) Fil Otu (Elephant Grass).

Elyaf bitki türleri, kompozit malzemelerin nihai özellikleri üzerinde büyük önem taşımaktadır. Bu özelliklerden başlıcaları (Messiry, 2017);

1. Fiziksel özellikler
  - ✓ Nem emme
  - ✓ Morfolojik yapı
  - ✓ Parçalanabilirlik
  - ✓ Yoğunluk
2. Mekanik özellikler
  - ✓ Çekme mukavemet
  - ✓ Basma mukavemeti
  - ✓ Eğilme mukavemeti
  - ✓ Makaslama mukavemeti
  - ✓ Yorulma mukavemeti
  - ✓ Süneklik
  - ✓ Young modülü
  - ✓ Poisson oranı
  - ✓ Sertlik
  - ✓ Sürünme direnci
3. Termal özellikler
  - ✓ Termal genleşme katsayısı
  - ✓ Termal iletkenlik
  - ✓ Özgül ısı kapasitesi
4. Kimyasal özellikler
5. Elektriksel özellikler
6. Üretim özellikleri
  - ✓ Kolay işleme
  - ✓ Sertleştirme kabiliyeti
  - ✓ Şekillenebilirlik
  - ✓ Mevcudiyet
  - ✓ Birleştirme teknikleri
7. Çevresel Etki
8. Maliyet'tir.

Endüstride kullanılan malzemelerin seçiminde, malzemeye ait özelliklerin bir biri ile uyumu aranmaktadır. Bunlar (Messiry, 2017);

- Young modülü/yoğunluk ilişkisi
- Spesifik young modülü - özgül mukavemet ilişkisi
- Termal iletkenlik - genleşme katsayısı ilişkisi
- Doğal frekans - yoğunluk ilişkisi
- Maksimum çalışma sıcaklığı – mukavemet ilişkisi
- Mukavemet - uzama ilişkisi
- Güç - maliyet ilişkisi
- Spesifik rijitlik - özgül mukavemet ilişkisi.

### **2.3. Doğal Kompozitlerde Yaygın Kullanılan Lifler**

#### **2.3.1. Keten (Flax)**

Keten, *Linum Usitatissimum* liflerine aittir. Ilıman bölgede yetişir ve dünyadaki en eski lif ürünlerinden biridir. Son yıllarda sürdürülebilir malzemelerin geliştirilmesi için artan gereksinimler, keten elyafın kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanımını hızla yaygınlaştırmaktadır. En çok katma değeri, yüksek tekstil pazarlarında kullanılmasıdır. Ayrıca günümüzde kompozit alanında yaygın olarak kullanılan doğal bir elyaf tipidir. Maliyeti düşüktür ve cam elyafı ile karşılaştırılabilir mekanik özelliklere sahiptir. Keten elyaf ile termoplastik, termoset ve biyolojik olarak parçalanabilen matrislerle yapılan kompozitler iyi mekanik özellikler sergilemektedirler (Yan ve ark., 2014).

#### **2.3.2. Kenevir (Hemp)**

Kenevir, ısırgançillere yakın, Cannabinaceae familyasına mensup, ılıman iklimlerde yetişen yıllık odunsu bir bitkidir. Günümüzde iki alt türü vardır. Bunlar *Cannabis Sativa* ve *Cannabis Indica*'dır. Elyaf üretimi için kullanılan ve endüstriyel öneme sahip olan cinsi *Cannabis Sativa*'dır. Kenevir şu anda gıda dışı tarıma yönelik alanlarda Avrupa Birliği desteği kapsamındadır.

### 2.3.3. Jüt (Jute)

Doğal liflerin en ucuzu olan jüt bitkisi *Corchorus* familyasından yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir. En ucuz doğal elyaflardan biridir ve en yüksek üretim hacmine sahip olan elyaf lifidir. Yaygın olarak Bangladeş, Hindistan ve Çin’de yetişir.

### 2.3.4. Rami (Ramie)

Rami bitkisi *Urticaceae* (*Boehmeria*) familyasına ait yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir. Genellikle sıcak ve orta kuşak iklim bölgelerinde yetişmektedir. Tayland, Kore, Çin ve Filipinler’de üretilmektedir.

### 2.3.5. Sisal

Sisal, *Agave Sisalana* familyasından olup Brezilya ve Doğu Afrika’da ticari olarak üretilmektedir. Sisal bitkisi 7-8 yıllık olduğunda lifleri için kullanılabilir. Yaprakların %80-85’i sudur. Yapraklardan çürütme yöntemiyle lifler elde edilir. Bu bitkiden 15-20 yıl boyunca ürün alınabilir.

### 2.3.6. Kenaf

Kenaf, *Hibiscus Cannabinus* familyasından olup yıllık olarak üretilir ve yaklaşık 300 türü vardır. Kenaf, bitkisi Amerika Birleşik Devletleri’nde yeni bir ürün ve kompozit üretiminde iyi bir hammadde olarak gösterilmektedir. Hindistan, Bangladeş, Tayland, Afrika, Avrupa’nın güneyi ve Amerika’nın ılıman iklim bölgelerinde yetişir. Kenaf bitkisi 4 ile 5 ayda 1,5m ile 3,5m arasında büyüebilmektedir. Elyaf üretiminin yanı sıra kâğıt üretiminde de kullanılmaktadır (Hodzic ve Shanks, 2014).

### 2.3.7. Pamuk

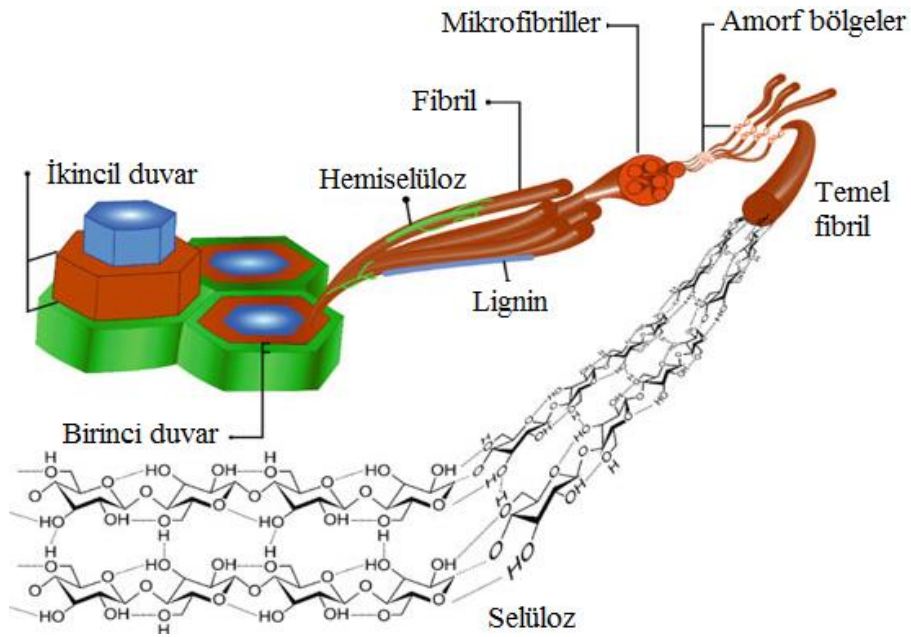
Pamuk (*Gossypium Hirsutum*) bitkisi *Malvaceae* familyasına ait anavatanı Hindistan olan yıllık bir bitkidir. Pamuk bitkisi kök, sap, yaprak, çiçek ve tohumdan oluşmaktadır Diğer doğal elyaflarla karşılaştırıldığında, Pamuk oldukça zayıftır.

### 2.3.8. Abaka

Abaka (*Musa Textilis*) Musaceae familyasından olup 8-20 yıl yaşayan tropikal bir bitkidir. Filipinler ve Ekvator'da yetişir ve dünya üretiminin %96'sını bu ülkeler karşılamaktadır.

### 2.4. Doğal Kompozitlerde Kullanılan Liflerin Özellikleri

Bitkisel lifler yapıları gereği selüloz esaslı malzemeler olup, amorf karakterli lignin ve hemiselüloz matris içerisinde mikrofibriller içermektedir. Bitki liflerinin temeli 1-50 mm arasında uzunluk ve 10-50 µm çapına sahip tek hücreli olmalarıdır. Bitki lifleri mikroskopik tüplere, yani merkezi lümeni çevreleyen hücre duvarlarına benzer (Tsoumis, 1991). Bitki lifleri çeşitli hücre duvarlarından oluşur. Bu hücre duvarları çeşitli pektin, hemiselüloz ve ligninin bir matrisine gömülmüş yönlendirilmiş yarı-kristalli takviye selüloz mikrofibrillerinden oluşur. Bu tip mikrofibriller tipik olarak 10-30 nm aralığında bir çapa sahiptir. Bunların uzatılmış zincir yapısında 30-100 selüloz molekül vardır ve lifin kimyasal yapısındaki hidrojen köprüleri ve diğer bağlar life dayanım ve rijitlik kazandırmaktadır. Bir bitki lifinin hücre duvarlarındaki fibriller, mikrofibriller ve selülozun tipik düzenlenmesi Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Bitki hücre duvarında fibrillerin, mikrofibrillerin ve selülozun düzenlenmesi (Rojas ve ark. 2015)

Kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri esas itibariyle liflerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin bir fonksiyonu olan takviye cinsine bağlıdır. Kompozit malzemenin özellikleri, uygulanan yüke, takviye açısına, matris malzemesine, ortam şartlarına vb. durumlara bağlı olarak değişmektedir. Bazı bitkisel liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Bazı bitkisel liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Faruk ve ark., 2012)

<i>Elyaf</i>	<i>Kopma mukavemeti (MPa)</i>	<i>Young modülü (GPa)</i>	<i>Kopma uzaması (%)</i>	<i>Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</i>
Abaka	400	12	3-10	1,5
Bambu	140-230	11-17	-	0,6-1,1
Keten	345-1035	27,6	2,7-3,2	1,5
Kenevir	690	70	1,6	1,48
Jüt	393-773	26,5	1,5-1,8	1,3
Kenaf	930	53	1,6	-
Sisal	511-635	9,4-22	2,0-2,5	1,5
Rami	560	24,5	2,5	1,5
Ananas	400-627	1,44	14,5	0,8-1,6
Hindistan Cevizi	175	4-6	30	1,2

## 2.5. Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takımlar talaş kaldırma işleminde, talaş kaldırılacak malzemeye şekil verme, kesme, delme, koparma, diş açma ve istenilen toleransta ölçüye getirme işlemi esnasında değişik zorlamalara maruz kalırlar. Kesici takımlar bu zorlamaları karşılamak zorundadır. Bu doğrultuda kesici takımlarda aranan özellikler, yüksek sertlik, yüksek basma dayanımı, yüksek aşınma direnci, yüksek darbe dayanımı, yüksek tokluk, yüksek kızıl sertlik, kimyasal kararlılık, kolay şekillendirilebilme, düşük maliyet ve kolay temin edilebilmedir. Talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitliliği ve farklılığı takımın kullanılmasında gerekli olan farklılıklar ve aşırı artan ihtiyaçlar nedeniyle teknolojik rekabet ortaya çıkmış bu da metalik ve metalik olmayan çok sayıda takım malzemesinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu malzemelerle kesme işlemi ve takım geliştirilmesi büyük oranda farklı şartlarda yapılan farklı uygulamalar ile elde edilmektedir (Şahin, 2003).

Bir kesici takımın kesme esnasında yüksek sıcaklıklarda kesme yeteneğini muhafaza etmesi için yüksek sertliğe sahip olması gerekir. Uçta meydana gelen sıcaklık için kesici sertliği yeterli değilse o zaman takım hızla bozulur ve kullanılmaz hale gelir. Takım sürekli dönme çevriminde ısıtma ve soğutma etkisini yenmesi için yeterli ısı

darbe direncine ve sertliğe sahip olması gerekir. Tablo 2.3’de bazı takım ve kaplama malzemelerinin sertlikler değerleri verilmiştir. Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler, basınç, sürtünme, ısı oluşumu ve aşınma vb. olaylar dikkate alınarak uygun sertlikteki kesici takımlar seçilmelidir (Özdemir ve ark., 2000 ).

**Tablo 2.3.** Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri  
(Özdemir ve ark., 2000; Schey, 1987)

<i>Takım Malzemesi veya Bileşeni</i>	<i>Sertlik, HV</i>
Martenzitik çelik	500-1000
Nitrürlenmiş çelik	950
Sementit (Fe <sub>3</sub> C)	850-1100
Sert krom kaplama	1200
Alumina	2100-2400
WC (kobalt bağlı)	1800-2200
W <sub>2</sub> C	2200
(Fe, Cr) <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1200-1600
VC	2800
TiC	3200
TiN	3000
B <sub>4</sub> C	3700
SiC	2600
CBN	6500
Polikristalin elmas	5500-8000
Elmas	8000-12000

Kesici takımlar işlenecek malzemeye bağlı olarak seçilir. Örneğin tahta bir malzemenin işlenmesinde Yüksek Hız Çeliği (HSS) kullanılırken, Sert bir malzemenin işlenmesinde WC veya PCD takımlar kullanılır. Bilindiği gibi takımlar; takım çelikleri, sinterlenmiş karbürler, sert karbürler, sermentler, kübik bor nitrürle (CBN), elmaslar ve seramikler olarak sınıflandırılır. Yumuşak bir malzemenin işlenmesinde sert bir takım tercih edilirken, sert bir malzemenin işlenmesinde yumuşak takım kullanılmalıdır. Ancak böyle bir takım olmadığı için kesici takımlarda kaplamalar devreye girmiştir. Kimyasal buhar çökertme (CVD) ve fiziksel buhar çökertme (PVD) yöntemleri ile kesici takımlar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC, TiAlN gibi malzemeler ile kaplanabilmektedirler. Kesici takım malzemelerinin bazı özellikleri Tablo 2.4’te verilmektedir.

**Tablo 2.4.** Kompozitlerin talaşlı işlenmesinde kullanılan kesici takım malzemelerinin fiziksel özellikleri (Akkurt, 1985)

Özellikler	$Al_2O_3$	$Al_2O_3+TiC$	Sialon	Sert Metal (K10)	PCD	CBN	MCD
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,91	4,28	3,20	14,7	4,12	4,28	3,52
Basma dayanımı (Gpa)	4,00	5,50	3,50	4,44	7,60	3,55	8,68
Kırılma	2,33	2,94	5,00	10,48	8,81	3,7	3,4
Knopp sertliği (Gpa)	16	17	13	17	50	27,5	57-104
Young modülü (Gpa)	380	390	300	593	776	587	1141
Isıl uzama kat. (10 <sup>-6</sup> /°K)	8,5	7,8	3,2	5,4	4,2	4,7	1,5-4,8
Isıl iletkenlik (W/m/°K)	8,4	9,0	20-25	100	540	44	500-
Aşınma katsayısı	0,76	0,92	0,91	1,15	3,89	1,34	2,14-

## 2.6. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü

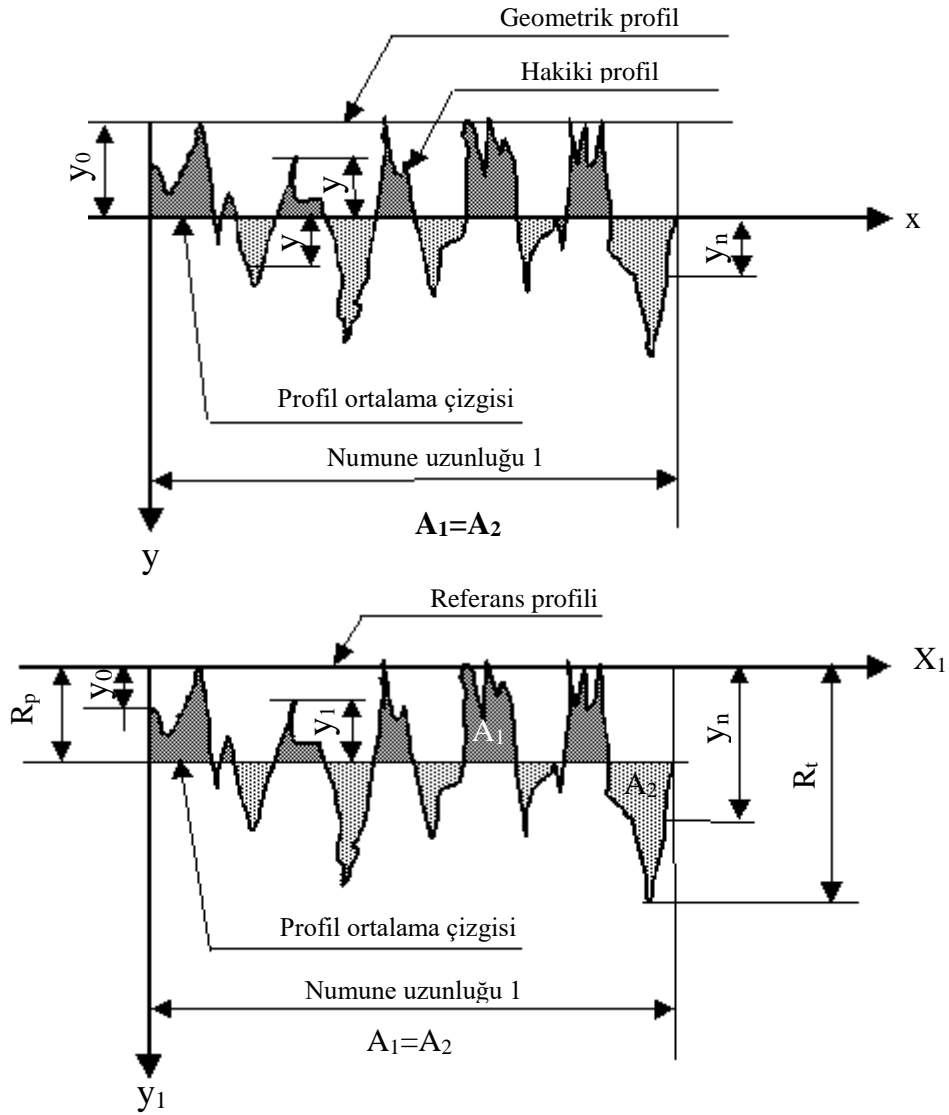
Yüzey kalitesi, parça yüzeyinde genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelen düzgünlük olarak ifade edilmektedir. Parçanın yüzey kalitesini gösteren düzgünlük iki türdür. Birincisi çok küçük yüzeysel hatalardan meydana gelen ve yüzey pürüzlülüğü denilen mikro geometrik düzgünlük, ikincisi parçanın ideal şeklinden sapmalarını belirten ve form düzgünlüğü de denilen makro geometrik bozukluktur. Tamamen giderilemeyecek şekilde olan ve ekonomik bakımdan uygun görülen her iki yüzey düzgünlüğü parçanın fonksiyonuna göre belirli sınırlar içerisinde tutulması gerekir. Bu sınırlar fonksiyonel ve ekonomik faktörler göz önüne alınarak tayin edilir.

Yüzey pürüzlülüğü bir takım çıkıntı ve girintilerden meydana gelmiştir. Ölçme tekniğinin gelişmesi ile bu düzgünlük kolayca ölçülebilir. Ayrıca bu yöntem uygun olarak yüzey pürüzlülüğünü somut bir şekilde ifade eden ve uluslararası standartlarda kabul edilen bir sistem kurulmuştur. Bu sisteme göre pürüzler, yüzeye dik olan kesitlere göre tespit edilir. Bu kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları tayin edilir (Şekil 2.3). Profil ile ortalama çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olmak üzere bu çizginin yeri tespit edilir. Yüzey pürüzlülüğü profilin aritmetik olarak ortalama yüksekliğidir ve Ra ile gösterilir. Böylece referans olarak profilin ortalama çizgisi alınırsa, yüzey pürüzlülüğü;

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l yx dx \quad (2.1)$$

$$Ra = \frac{|y_0| + \dots + |y_n|}{n} \quad (2.2)$$

Bağıntısı ile ifade edilir. Burada  $y_0 \dots y_n$  geometrik ortalama için pürüz yükseklikleri ve numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır. Bu ana ifadenin yanı sıra, pürüzlülüğü karakterize eden pürüzlülüğün eni, dalga yüksekliği, dalga eni, kesici takımın çoğunlukta olan izleri gibi ikinci mertebeden faktörler de vardır (Akkurt, 1985).



Şekil 2.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Akkurt, 1985)

Yüzey pürüzlülüğünün birimi mikrometredir ( $\mu\text{m}=10^{-3}$  mm). Teorik bakımdan yüzey pürüzlülüğünü ifade etme imkânı sonsuz olmasına rağmen pratik nedenlere dayanarak, tercih edilen diziler veya yüzey pürüzlülüğü temsili sayıları tespit edilmiştir. Müşterek çarpanı (1.25) olup R10 serisinden oluşan ve tercih esnasında gerçekleşen yüzey pürüzlülüğü, işleme usulüne de bağlıdır. Ra'nın yanı sıra, en yüksek çıkıntı ile en

düşük çıkıntı arasındaki uzaklığı belirten  $R_t$  değerleri de pürüzlülük kontrolünde kullanılmaktadır. Ancak maksimum pürüzlülüğü ifade eden  $R_t$  değeri ölçülen yere göre değiştiğinden bu yöntem yetersizdir. Bu nedenle yüzeyin maksimum pürüzlülüğü, ezilme yüksekliği denilen  $R_p$  ile ifade edilmektedir. Burada referans (ölçme) profili olarak en yüksek çıkıntıya teğet olan çizgi alınırsa,  $R_p$ ;

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_1 dx \quad (2.3)$$

$$R_p = \frac{y_0 + \dots + y_n}{n} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir.  $R_a$  ile  $R_p$  arasındaki belirli bir bağlantı olmamakla birlikte Şekil 2.3'te istatistiki değerlere dayanarak sayısal bağıntı yazılabilir. Bu bağıntı ortalama değer olarak;

$$R_a = (0,2 \dots \dots \dots 0,25) \times R_p \quad (2.5)$$

$$R_p = 0,6 \times R_t \quad (2.6)$$

alınabilir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Daha önceki çalışmalardan ve yapılan araştırmalardan, elyaf takviyeli kompozitlerin işlenebilirliğiyle ilgili işleme bölgesinde hasar, elyaf kopması, elyaf matris ayrılması gibi sorunlar olduğu bilinmektedir. Bunlar, elyafların aşındırıcı doğasından kaynaklanmaktadır. Polimerik kompozitlere takviye olarak daha az aşındırıcı özelliğe sahip doğal elyafların ilavesi ile bu sorunların bazılarının üstesinden gelinebilir. Bu çalışmada;  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $\pm 45^{\circ}$  ve  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  yönlendirme açalarına sahip jüt elyaf takviyeli plastik (JETP) kompozitler üretilerek, onların parmak freze ile frezelenmesi araştırılmıştır. Frezelemede kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametreleri ile takım ağız sayısının kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

#### 3.1. Deney Malzemesinin Üretimi

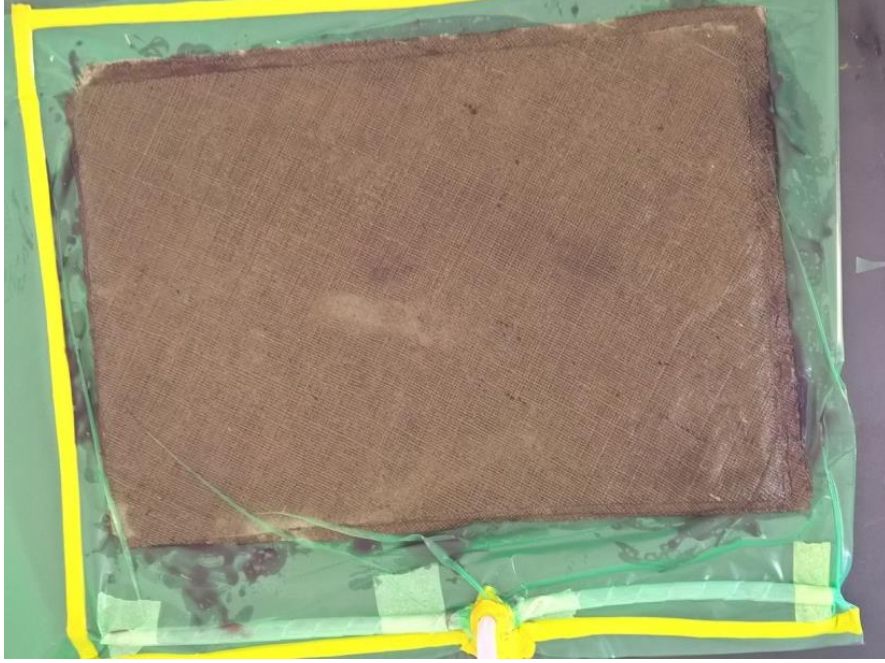
Deneysel çalışmada, takviye malzemesi olarak kullanılan jüt dokuma kumaş  $320 \text{ gr/m}^2$  ağırlığında, 8 atkı ve 9 çözgü sıklığındadır (Şekil 3.1). Matris malzemesi olarak; MGS RIM135/RIMH135 epoksi reçine ve sertleştirici seçilmiştir. Reçine, üretici firmasının önerdiği karışım oranına göre 100 gr epoksi içerisine 50 gr sertleştirici ilave edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Dokuma jüt kumaş

Nemden arındırılmış dokuma jüt kumaşlar  $300 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$  ölçülerinde  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açalarına sahip olacak şekilde kesilerek 12 tabakadan oluşan dokuma jüt katmanlı kompozit plaka haline Şekil 3.2.'de görüldüğü

gibi, vakum destekli infüzyon yöntemi ile dönüştürüldü. Yaklaşık 10 mm kalınlığına sahip olan tabakalı kompozitler; ilk önce 250 mm x 550 mm boyutunda (Şekil 3.3), daha sonra çekme numunesi için 20 mm x 250 mm boyutunda ve frezeleme deneyleri için de 40 mm x 250 mm boyutlarında kesildi.



Şekil 3.2.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitin vakum infüzyon yöntemi ile üretimi



Şekil 3.3. Üretilen  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozitin resmi

### 3.2. Çekme Testi

Çekme testleri, Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuar'ında bulunan, 100 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu marka Autograph AG-X model universal test cihazında (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5) gerçekleştirilmiştir.

Deneyler ASTM 3039 standardına uygun olarak 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme cihazından alınan sinyaller Trapezium X Materails Testing yazılımında grafikler haline getirilmiştir. Çekme numuneleri 25 mm x 250 mm boyutunda her yönlendirme açısı için 3 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kompozit malzemelerin çekme kuvveti belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Shimadzu AG-X çekme testi cihazı



Şekil 3.5. Test numunesinin çekme cihazına bağlanması

### 3.3. Takım Tezgâhı

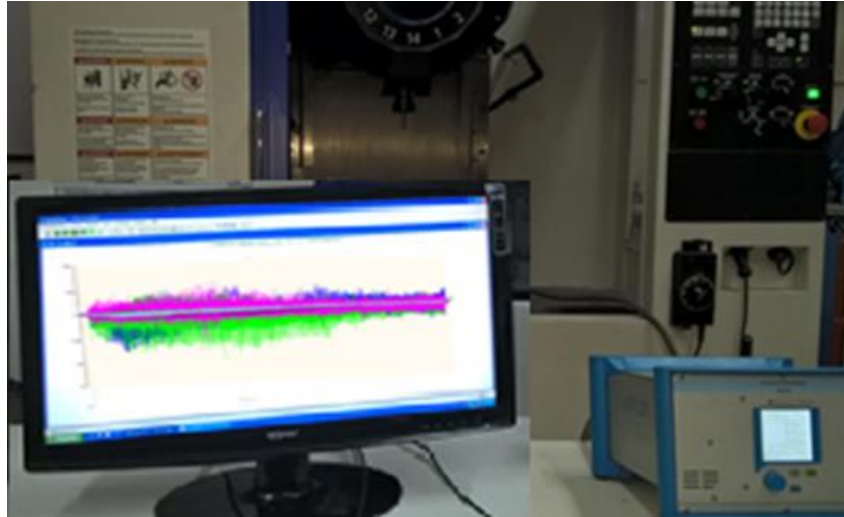
$0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açlarına sahip JETP kompozitlerin parmak freze ile frezelenmesinde Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan Brother marka Speedio S500X1 model işleme merkezi kullanılmıştır. Tezgâhın gücü 9.5 kW, iş mili maksimum devri 10.000 dev/dak, SO230-2:2006 standartlarına göre hassasiyeti 0.004 mm, tabla boyutları 600x400 mm, taret sayısı 14'tür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan CNC dik işleme merkezi

### 3.4. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi

Jüt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin parmak freze ile frezelenmesinde kesme kuvvetlerini ölçmek için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan üç bileşene sahip Kistler 9257B tipi Dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden alınan sinyaller Kistler marka 5070A model yükselticiye aktarılmıştır. Dinamometrenin tezgâh ve bilgisayara bağlanmış görüntüsü Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7. Kesme kuvvetinin ölçülmesi

Kistler marka 9257B model dinamometreye ait özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir (Kistler 9257B, 2018).

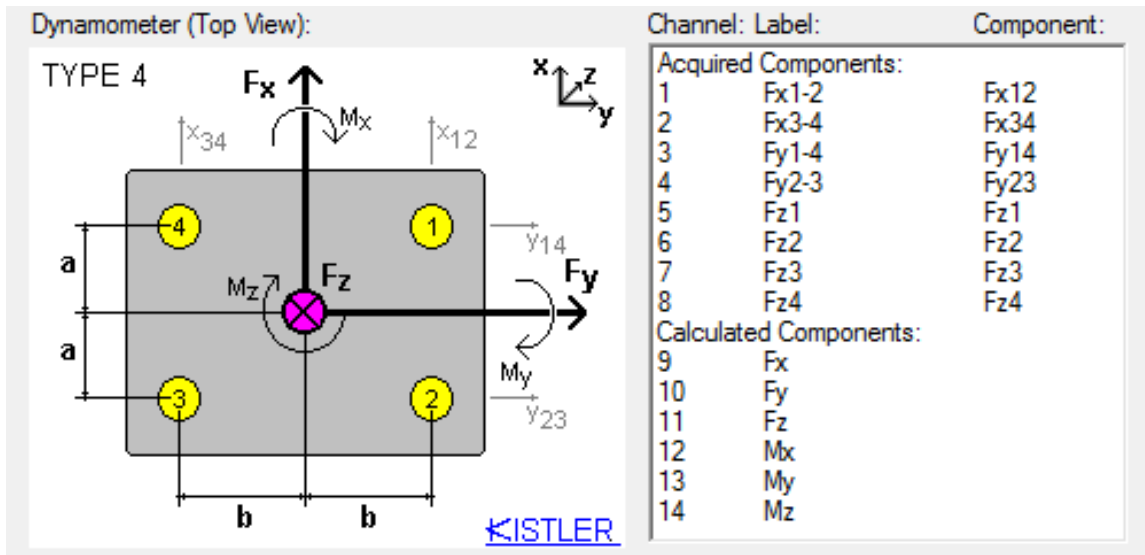
Tablo 3.1. Kistler 9257B dinamometrenin özellikleri

Özellikler	Birimi	Type 9257B
Ölçüm aralığı (Fx, Fy, Fz)	kN	-5.00, 10.0
Eksen sayısı	-	3
Ölçüm modu	-	Direkt
İşlem sıcaklık aralığı	°C	0...70
Boyut	mm	170x100x60
Koruma derecesi	IP	67

Dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri amplifikatörden RS232C bağlantısı ile bilgisayara aktarılıp Dynaware yazılımı ile grafik haline getirilmiştir. Kesme kuvveti ölçüm düzeneği Şekil 3.8’de ve dinamometre üzerinde etkili olan bileşenler Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kesme kuvveti ölçüm düzeneği



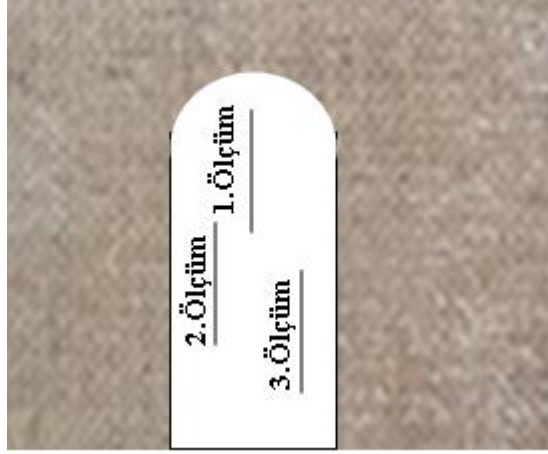
Şekil 3.9. Dinamometre üzerindeki bileşenler

### 3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçü Aleti

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan ölçü aleti, Time marka TR-200 modelinde olup dijital göstergeli mekanik iğnelidir. Time TR-200 portatif yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazına ait özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir. Pürüzlülük ölçme işlemi kanal eksenine paralel olarak yapılmış olup, işlenmiş yüzeylerden 3 adet ortalama yüzey pürüzlük değeri ( $R_a$ ) ölçülerek ortalaması alınmıştır (Şekil 3.10).

**Tablo 3.2.** Time TR-200 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazına ait teknik özellikler

Özellikler	Birimi	TR-200
Ölçüm aralığı ( $R_a$ , $R_q$ )	$\mu\text{m}$	0,01-40
Ölçüm aralığı ( $R_z$ , $R_y$ , $R_p$ , $R_t$ , $R_{3z}$ )	$\mu\text{m}$	0,02-160
Örnekleme uzunluğu	-	0,25; 0,8; 2,5
Hareket hızı	mm/sn	1,0
Ekran çözünürlüğü	$\mu\text{m}$	0,001
Çalışma sıcaklığı	°	5-45
Detektör	-	TS100 Elmas



Şekil 3.10. Kompozit üzerinden pürüzlülüğün alınması

### 3.6. Deformasyon Faktörünün Tespiti

Deformasyon, fiber takviyeli plastik kompozitlerin frezelemesinde oluşan kompozit malzemelerin dezavantajlarından biridir. Farklı yönlendirme açalarına sahip JETP kompozitlerin parmak freze ile frezelenmesinde, kanal kenarlarında oluşan deformasyonu belirlemek için Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarında bulunan Novel marka NMM-800 TRF model optik mikroskop kullanılmıştır. Frezelenmiş kenardaki deformasyon faktörünü (DF) belirlemek için, deformasyon bölgesindeki maksimum hasar ( $W_{maks}$ ) ölçülerek (Şekil 3.11) deformasyon faktörü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$DF = \frac{W_{maks.}}{W} \quad (3.1)$$

Burada,  $W$  kanal genişliği (freze çapı)  $W_{maks}$  ise maksimum genişliktir.



Şekil 3.11. Deformasyon faktörünün belirlenmesi

### 3.7. Kesici takım ve İşleme Parametreleri

Farklı yönlendirme açılarına sahip JETP kompozitlerin parmak freze ile frezelenmesinde, K10 kalitesinde, 8 mm çapında, 30° helis açısına sahip 2, 3 ve 4 kesici ağızlı TiAlN kaplı sert karbür (WC) parmak freze takımları kullanılmıştır. Bu kesici takıma ait bazı boyutlar Tablo 3.3'te verilmiştir.

**Tablo 3.3.** TiAlN kaplı WC kesici takıma ait bazı özellikler

<i>Parmak freze</i>	<i>Ağız sayısı</i>	<i>Kesme boyu (mm)</i>	<i>Toplam boy (mm)</i>
		16	63
			
			

Farklı yönlendirme açılarına sahip JETP kompozitlerin parmak freze ile frezelenmesinde, talaş derinliği sabit tutularak üç farklı kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Kesme Parametreleri ve Değerleri

<i>Parametreler</i>	<i>Değerleri</i>
Kesme hızı, $V$ (m/dak)	25, 50 ve 75
İlerleme, $f$ (mm/dev)	0,04; 0,08 ve 0,12
Talaş derinliği (mm)	2

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

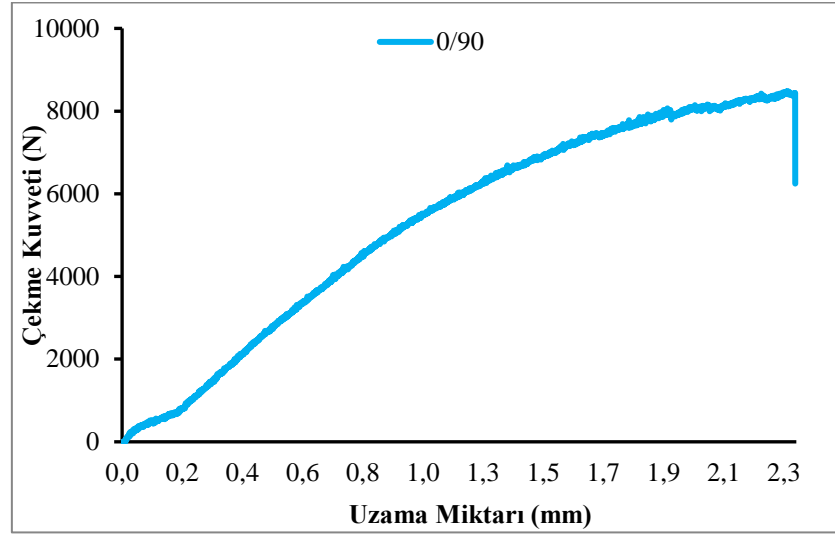
Vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş farklı yönlendirme açılına sahip JETP kompozit plakaların frezelenmesinde; kesme hızı (V) ve ilerleme (f) gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti (F), deformasyon faktörü (DF) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de ve analizleri de aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğüne ait toplu sonuçlar

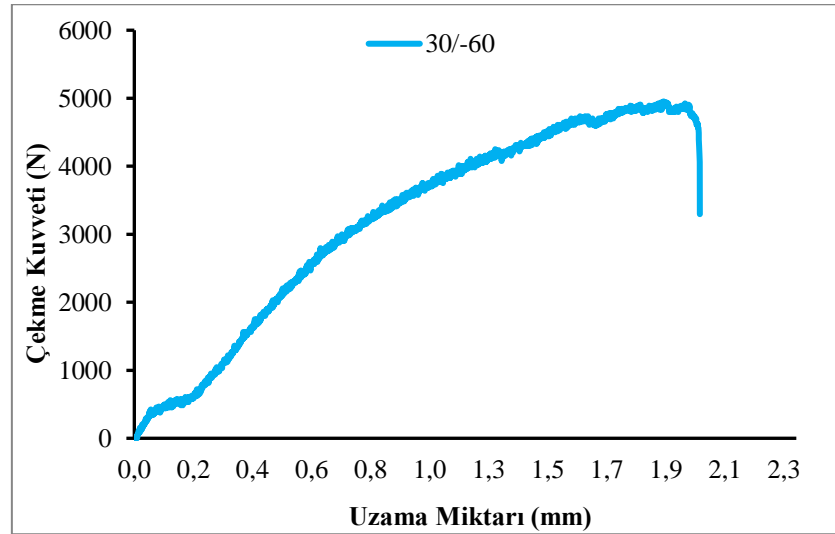
Takım ağız sayısı, TAS	V, (m/dak)	f, (mm/dev)	D. No.	0/90°			D. No.	±45°			D. No.	30°-60°		
				F,(N)	DF	Ra		F,(N)	DF	Ra		F, (N)	DF	Ra
2	25	0,04	1	74	1,07	5,17	28	39	1,04	6,62	55	49	1,05	6,47
		0,08	2	79	1,10	6,30	29	37	1,05	7,40	56	56	1,06	7,30
		0,12	3	87	1,14	6,89	30	43	1,07	8,10	57	61	1,06	7,97
	50	0,04	4	70	1,13	5,01	31	31	1,07	6,10	58	45	1,08	5,95
		0,08	5	73	1,17	6,10	32	34	1,09	7,15	59	51	1,11	7,01
		0,12	6	79	1,20	6,54	33	37	1,13	7,70	60	55	1,14	7,56
	75	0,04	7	62	1,21	4,46	34	27	1,1	5,52	61	40	1,13	5,40
		0,08	8	69	1,24	4,84	35	29	1,14	6,90	62	47	1,17	6,72
		0,12	9	75	1,30	5,37	36	34	1,17	7,28	63	50	1,20	7,08
3	25	0,04	10	67	1,05	4,96	37	29	1,02	6,40	64	44	1,03	6,27
		0,08	11	72	1,08	6,18	38	32	1,05	7,12	65	51	1,06	6,90
		0,12	12	82	1,12	6,61	39	39	1,07	7,91	66	58	1,08	7,68
	50	0,04	13	64	1,11	4,78	40	27	1,06	5,90	67	42	1,07	5,67
		0,08	14	68	1,15	5,82	41	30	1,09	6,87	68	47	1,10	6,50
		0,12	15	70	1,19	6,29	42	37	1,13	7,46	69	53	1,11	7,26
	75	0,04	16	59	1,18	4,24	43	23	1,10	5,32	70	39	1,11	5,18
		0,08	17	68	1,21	4,40	44	28	1,13	6,41	71	47	1,15	6,26
		0,12	18	75	1,27	5,20	45	34	1,15	6,83	72	51	1,18	6,70
4	25	0,04	19	53	1,03	4,74	46	26	1,01	6,02	73	40	1,02	5,91
		0,08	20	56	1,07	5,98	47	28	1,02	6,87	74	47	1,04	6,68
		0,12	21	61	1,10	6,36	48	32	1,05	7,46	75	55	1,06	7,26
	50	0,04	22	47	1,09	4,56	49	25	1,04	5,72	76	37	1,06	5,62
		0,08	23	50	1,12	5,66	50	26	1,07	6,43	77	44	1,08	6,30
		0,12	24	54	1,17	5,31	51	30	1,10	7,10	78	49	1,12	7,01
	75	0,04	25	42	1,16	4,41	52	22	1,09	5,26	79	32	1,11	5,12
		0,08	26	49	1,20	4,30	53	24	1,14	6,30	80	39	1,13	6,19
		0,12	27	50	1,25	5,06	54	28	1,18	6,70	81	41	1,15	6,52

#### 4.1. Çekme Mukavemeti

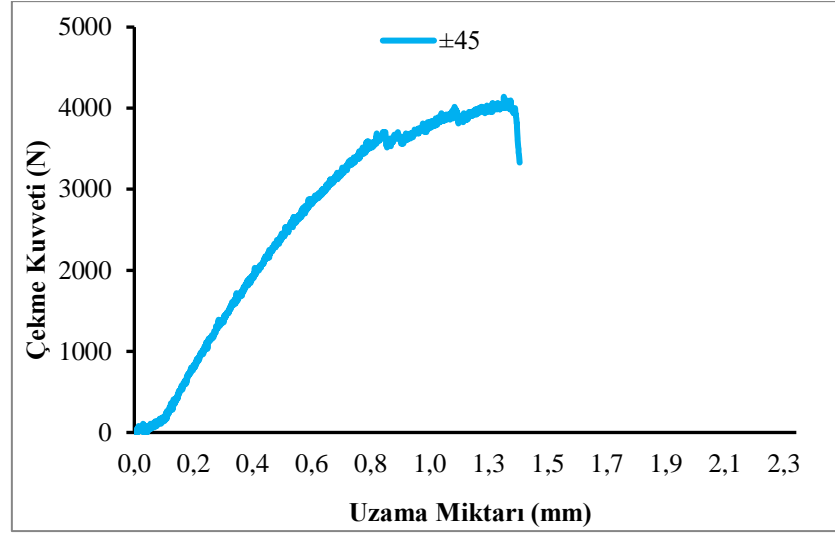
Üretilen JETP kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çekme testleri yapılmıştır. Kompozit çekme testi numuneleri ASTM D3039 standartlarına uygun olarak kesilmiş ve çekme testi için hazır hale getirilmiştir.  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açılarına sahip kompozit numunelere ait kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.1-4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1.  $0^{\circ}/90^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvveti-uzama diyagramı



Şekil 4.2.  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvveti-uzama diyagramı



Şekil 4.3.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvveti-uzama diyagramı

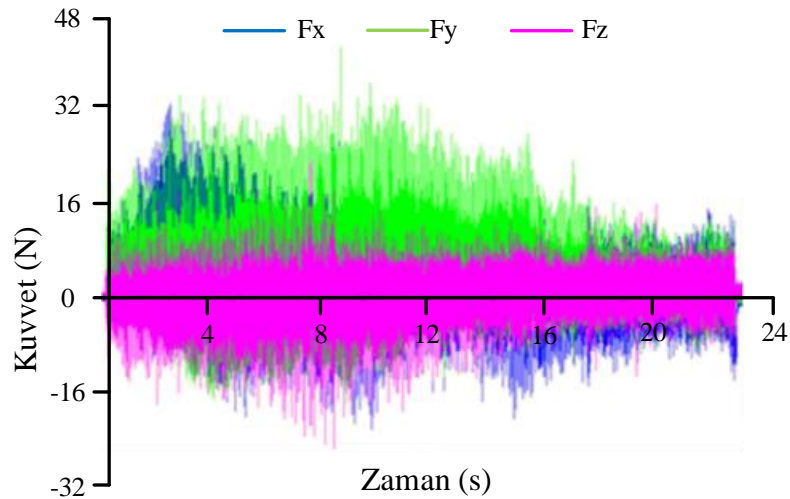
Şekil 4.1-4.3'ten görüldüğü gibi,  $0^\circ/90^\circ$ ,  $30^\circ/-60^\circ$  ve  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açlarına bağlı olarak elde edilen maksimum çekme kuvvetleri sırasıyla 8484 N, 4953 N ve 4140 N olarak elde edilmiştir.  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvvetinin yüksek çıkması  $90^\circ$  yönündeki liflerin çekme kuvveti yönünde olmasındandır.  $30^\circ/-60^\circ$  ve  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitlerin çekme kuvveti  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitin çekme kuvvetinden daha az çıkmıştır. En düşük çekme kuvveti  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozit numunelerden elde edilmiştir. Bu durum,  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitlerde yönlendirme açısının asal kayma düzleminde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kompozitlerin çekme deneyi sonuçları uzama miktarı olarak değerlendirildiğinde en çok uzama  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozit numunelerden elde edilirken en düşük uzama ise  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açılı kompozit numunelerden elde edilmiştir.

#### 4.2. Frezelemede Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi

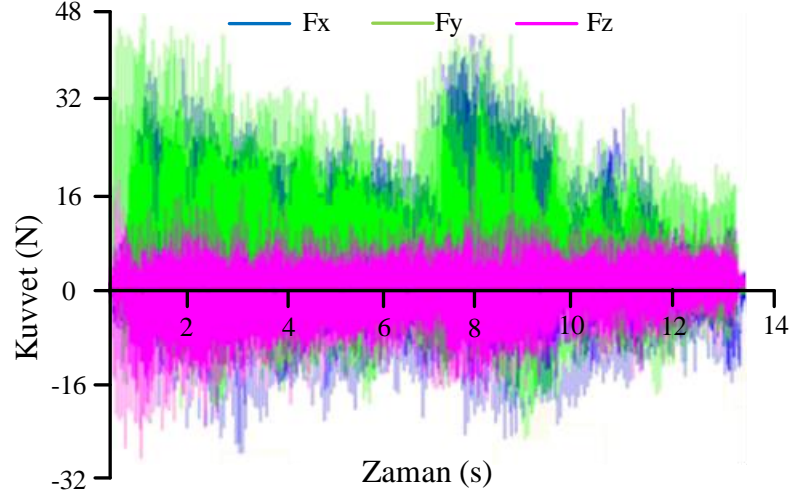
Fiber takviyeli kompozit malzemelerin yapı elemanı olarak kullanıldığı endüstrilerde, bu malzemelerin frezelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozitlerin yapısından, işleme parametrelerinden, kesici takım geometrisi ve malzemesinden ve çevresel etkilerden dolayı bu malzemelerin frezelenmesinde, açılan kanal bölgesinde ve kompozit tabakalar arasında hasarlar oluşmaktadır. Kompozitlerde oluşan bu hasarlar katman kırılması, deformasyon, elyaf kırılması ve fiber-matris arayüz ayrılması olarak

görülmektedir. Bunların birinin veya birkaçının kompozitte bulunması malzemenin mukavemetinde ciddi azalmalara neden olarak yorulma ömrünün düşmesine ve düşük yüklerde yorulma hasarına neden olmaktadır. Bu hasarlardan kurtularak yapıların ömrünün uzatılması gerekmektedir. Bu hasarlara neden olan parametrelerden biri de kesme parametreleridir. Kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri tabaka ayrılması, kanal yüzey yüzey kalitesi, deformasyon, elyaf çekmesi ve matris çatlaması gibi sorunlara sebep olan kesme kuvvetlerinde değişikliğe neden olur. Kesme kuvvetlerinin davranışını ve büyüklüğünü bilmek, kesme gücünü tahmin etmek ve sıkı toleranslar ve düşük takım aşınması elde etmek için çok önemlidir. Kuvvet bileşenlerinin uygun tahmini, takım tezgahı titreşimlerini önlemek, iş parçası yüzey kalitesini geliştirmek, geometrik doğruluğu, proses stabilitesini garanti etmek ve ayrıca mil ünitelerinin dinamik performansını analiz etmek için kesme parametrelerinin doğru seçilmesi gerekir (Wang ve ark., 2011, Ventura ve Hassui, 2013 ).

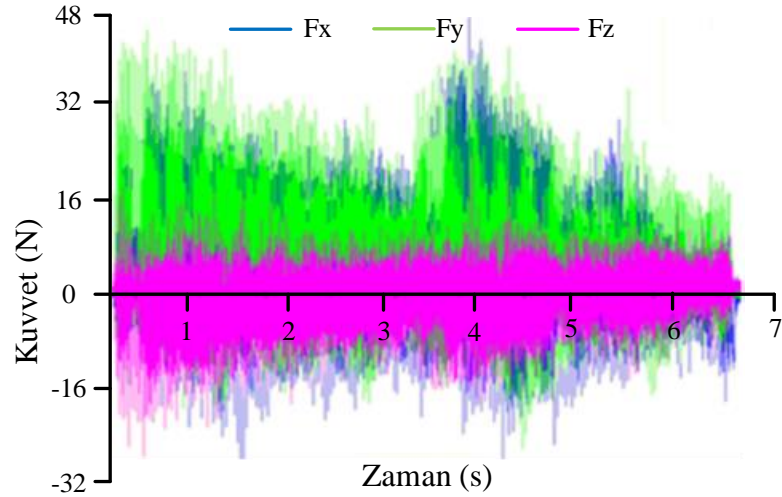
Farklı yönlendirme açalarına sahip JETP kompozit numunelerin 2, 3 ve 4 ağızlı parmak freze ile frezelenmesinde, farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde elde edilen bazı kesme kuvveti bileşenlerinin zamana bağlı diyagramları Şekil 4.4-4.15'te gösterilmiştir.



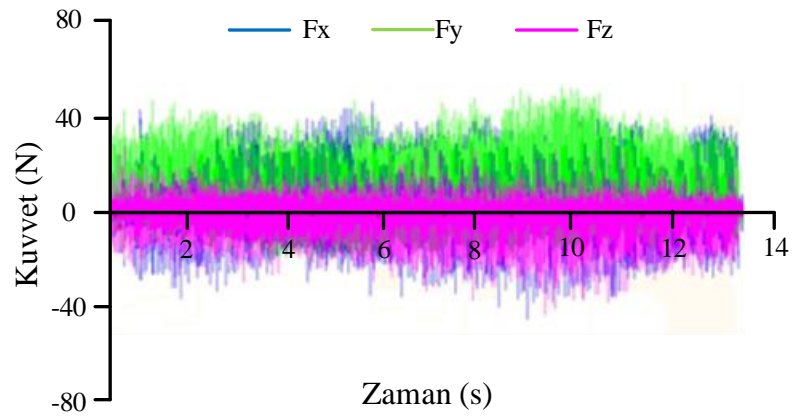
Şekil 4.4.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=25$  m/dak,  $f=0.04$  mm/dev, Takım ağız sayısı=2)



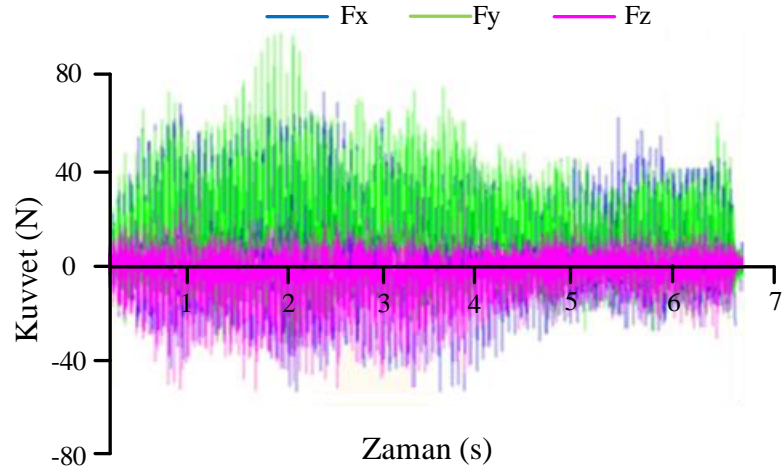
Şekil 4.5.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=25$  m/dak,  $f=0.08$  mm/dev, Takım ağız sayısı=2)



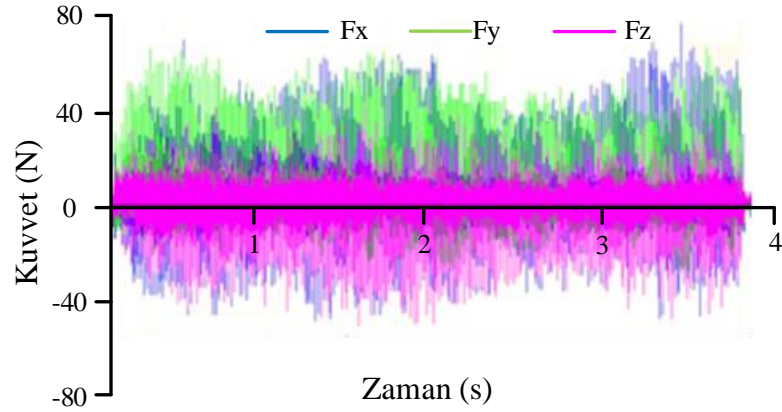
Şekil 4.6.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=25$  m/dak,  $f=0.12$  mm/dev, Takım ağız sayısı=2)



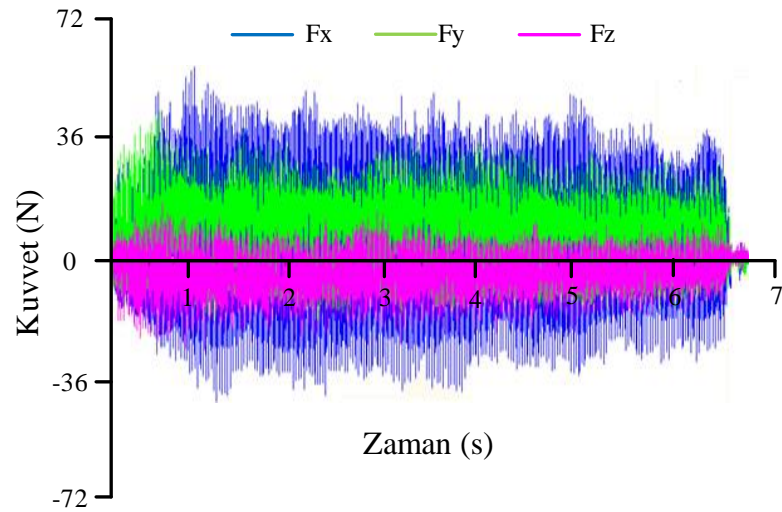
Şekil 4.7.  $30^\circ/-60^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=25$  m/dak,  $f=0.04$  mm/dev, Takım ağız sayısı=3)



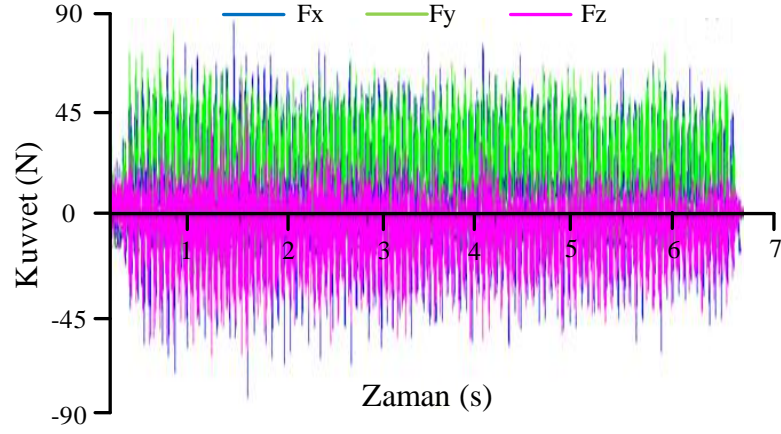
Şekil 4.8. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.04 mm/dev, Takım ağız sayısı=3)



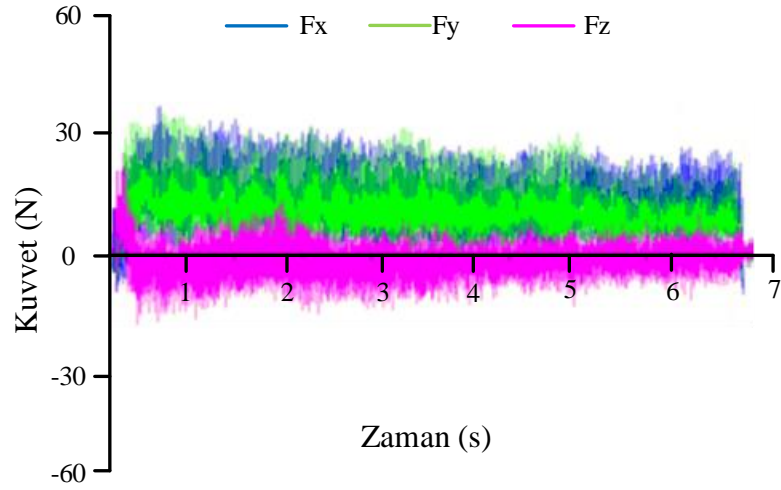
Şekil 4.9. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=75 m/dak, f=0.04 mm/dev, Takım ağız sayısı=3)



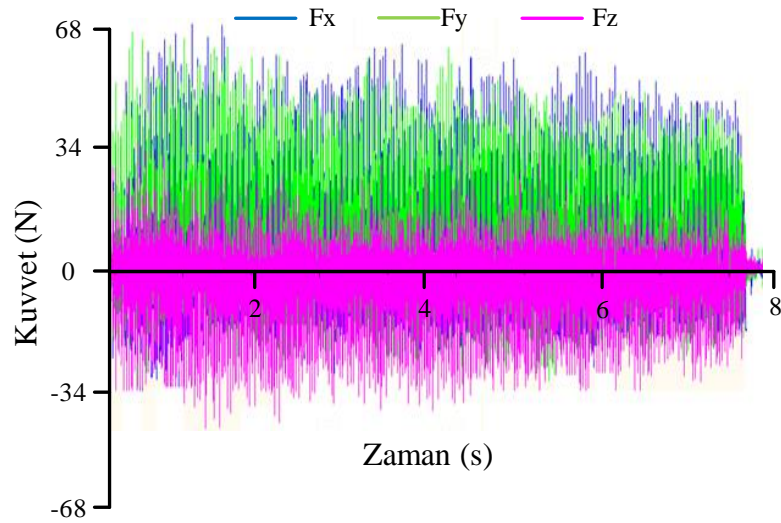
Şekil 4.10. 0°/90° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=2)



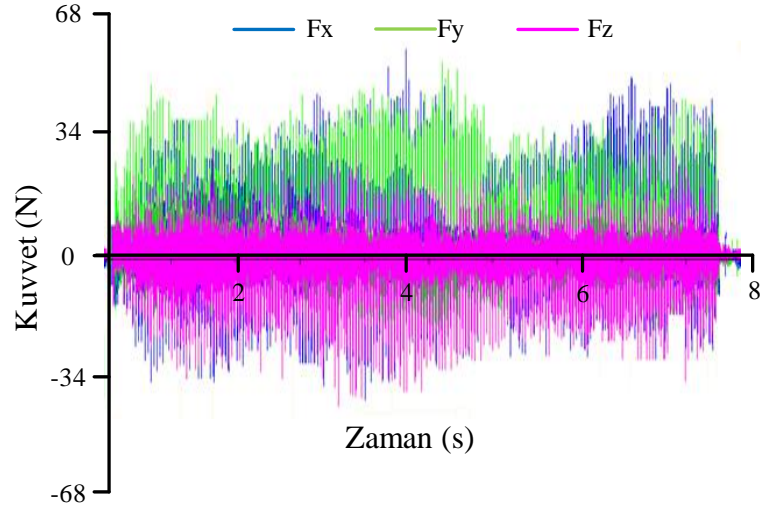
Şekil 4.11.  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=50$  m/dak,  $f=0.08$  mm/dev, Takım ağız sayısı=3)



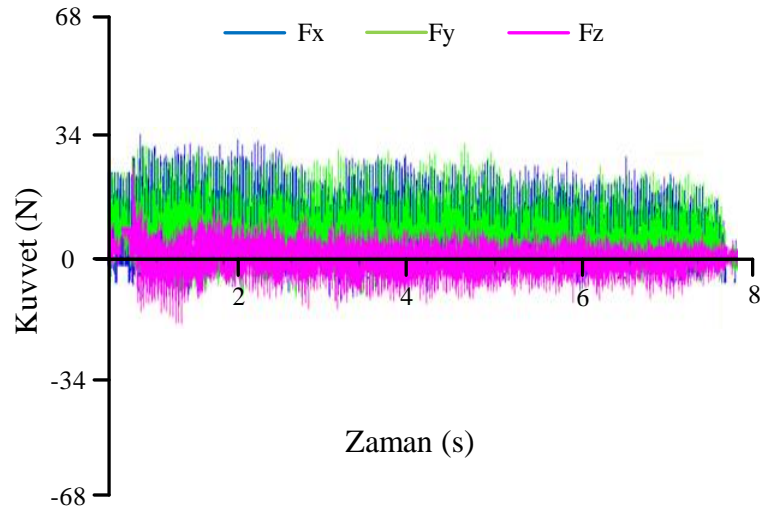
Şekil 4.12.  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=50$  m/dak,  $f=0.08$  mm/dev, Takım ağız sayısı=4)



Şekil 4.13.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı  
( $V=50$  m/dak,  $f=0.08$  mm/dev, Takım ağız sayısı=3)



Şekil 4.14. 30°/-60° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=3)

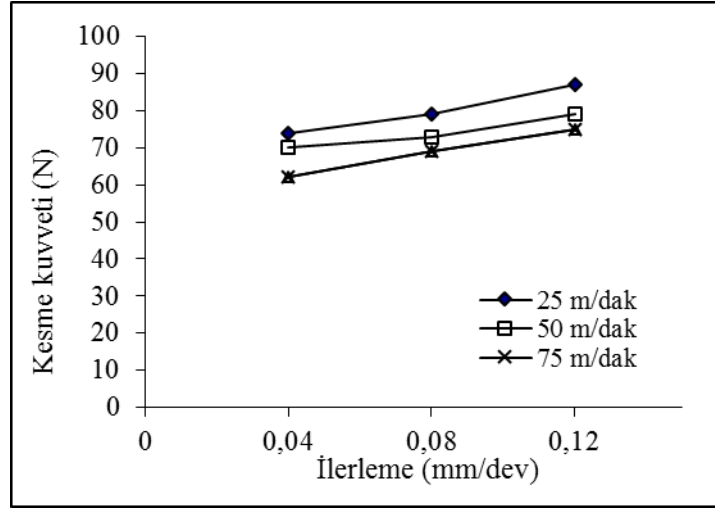


Şekil 4.15. 0°/90° yönlendirme açısına sahip JETP kompozite ait kesme kuvveti diyagramı (V=50 m/dak, f=0.08 mm/dev, Takım ağız sayısı=3)

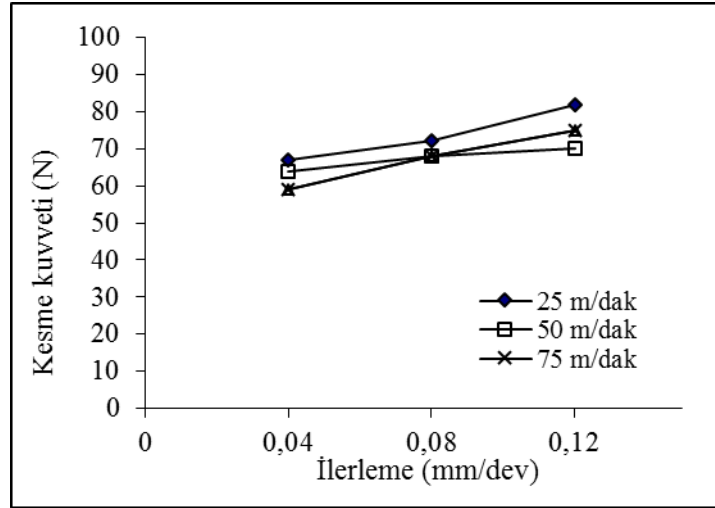
Şekil 4.4 - Şekil 4.15'te kompozitlerin frezelenmesine ait kesme kuvveti bileşenlerinde; Fx kanal ekseni (ilerleme) yönündeki, Fy takımın ilerleme doğrultusuna dik yöndeki ve Fz ise takımın kesme düzlemine dik yöndeki kuvvetleri göstermektedir. Frezeleme esnasında asıl kuvvet ilerleme doğrultusunda (Fx) oluşmaktadır. Ancak kompozit malzemelerde fiberlerin yönlendirme açısına bağlı olarak bu durum değişiklik gösterebilir. Z yönündeki kuvvet (Fz); Fx ve Fy kuvvetlerinden daha düşük oluşmaktadır. Kesme kuvvetinin (F) hesaplaması için kuvvet bileşenlerinin değerleri denklem 4.1'de yerine yazılmalıdır.

$$F = (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)^{1/2} \quad (4.1)$$

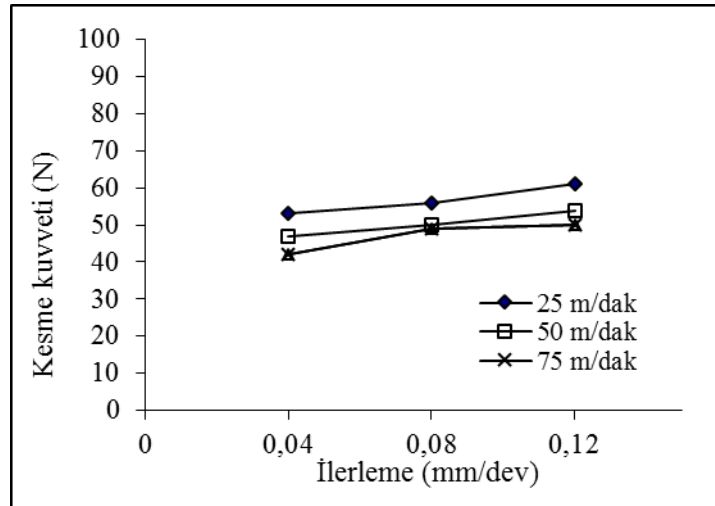
Kesme hızına, ilerlemeye, yönlendirme açısına ve takım ağız sayısına bağlı olarak elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 4.16-4.23'te verilmiştir.



a) Takım ağız sayısı: 2

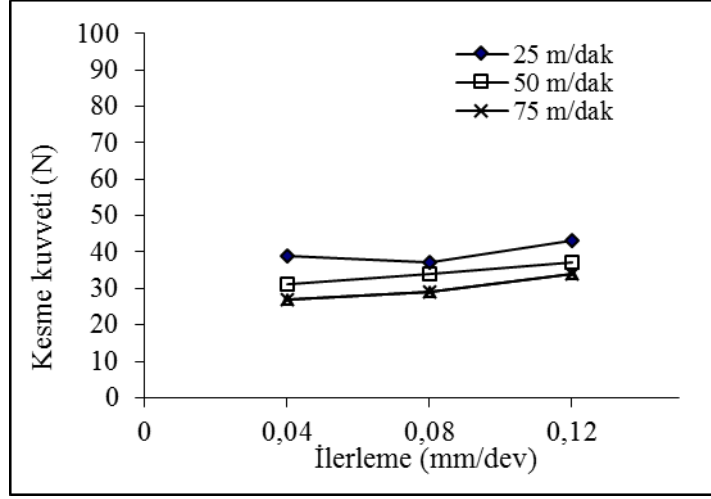


b) Takım ağız sayısı: 3

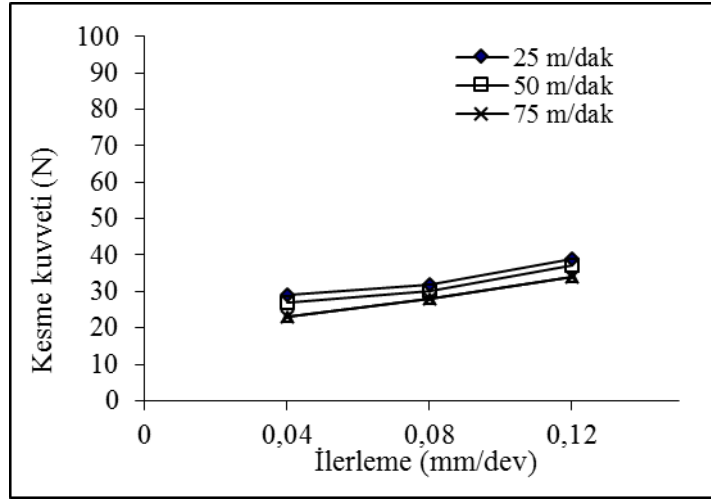


c) Takım ağız sayısı: 4

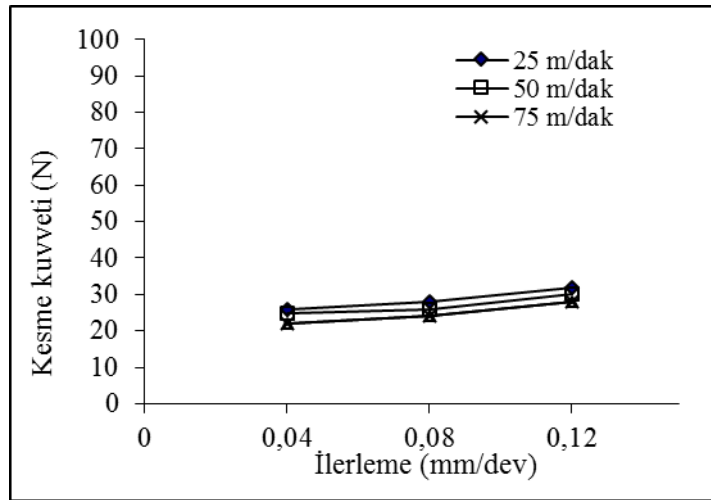
Şekil 4.16. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (0°/90°)



a) Takım ağız sayısı: 2

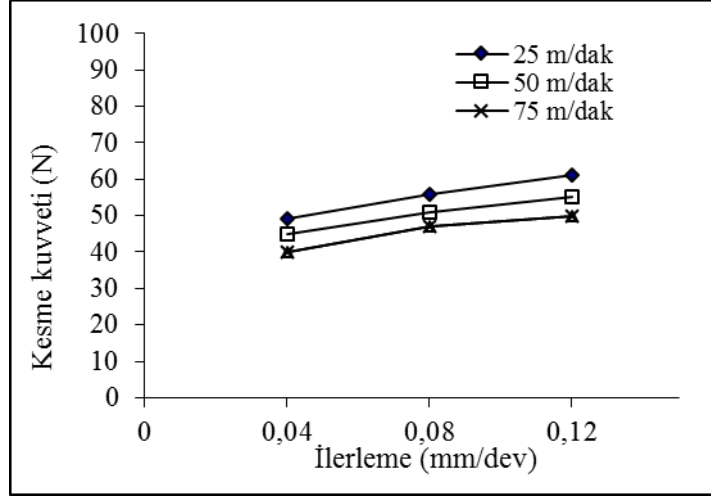


b) Takım ağız sayısı: 3

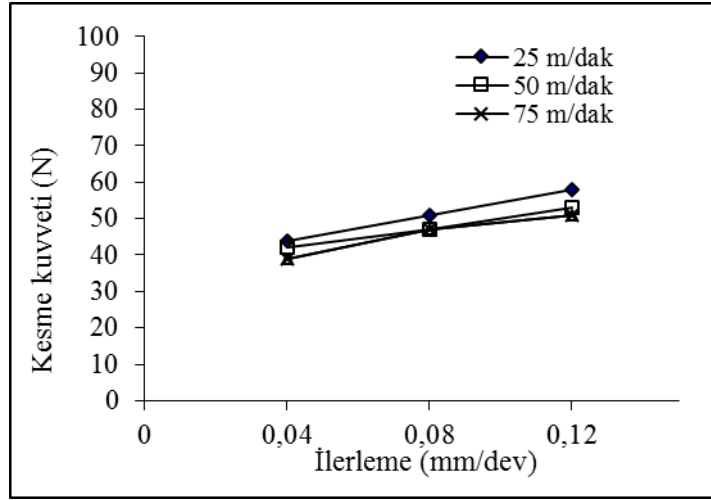


c) Takım ağız sayısı: 4

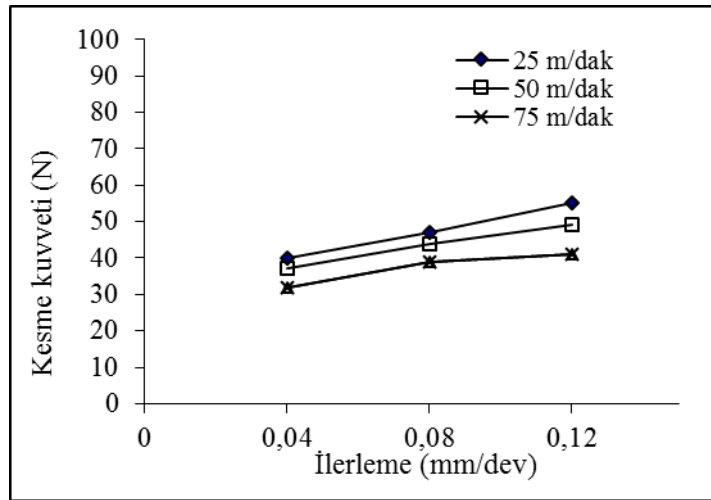
Şekil 4.17. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi ( $\pm 45^\circ$ )



a) Takım ağız sayısı: 2

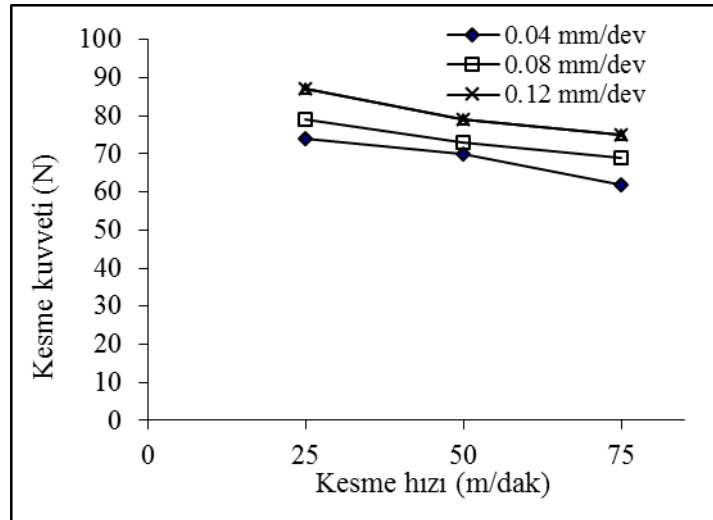


b) Takım ağız sayısı: 3

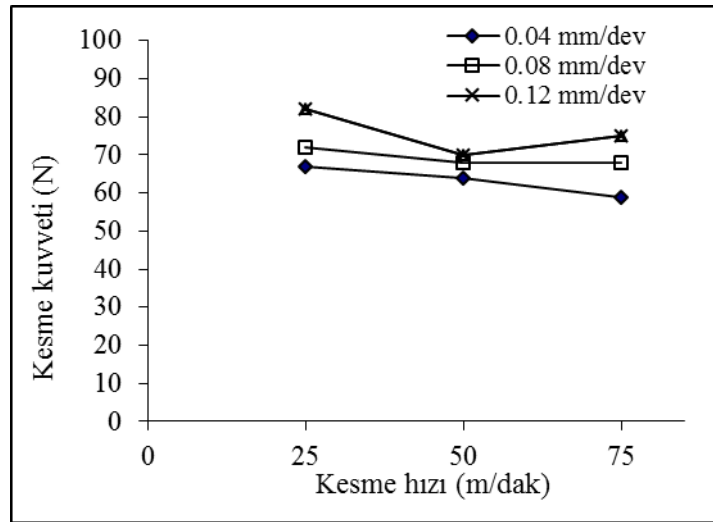


c) Takım ağız sayısı: 4

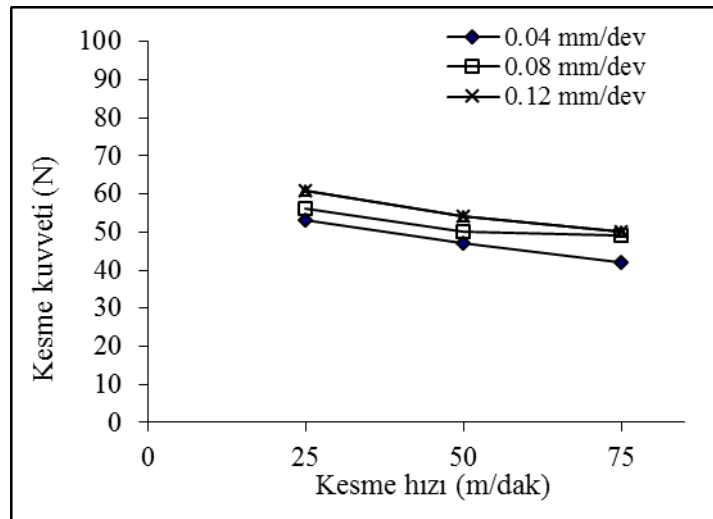
Şekil 4.18. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (30°/-60°)



a) Takım ağız sayısı: 2

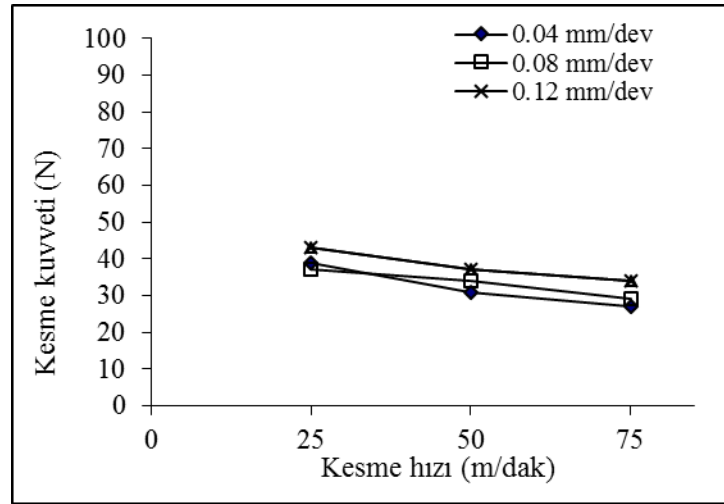


b) Takım ağız sayısı: 3

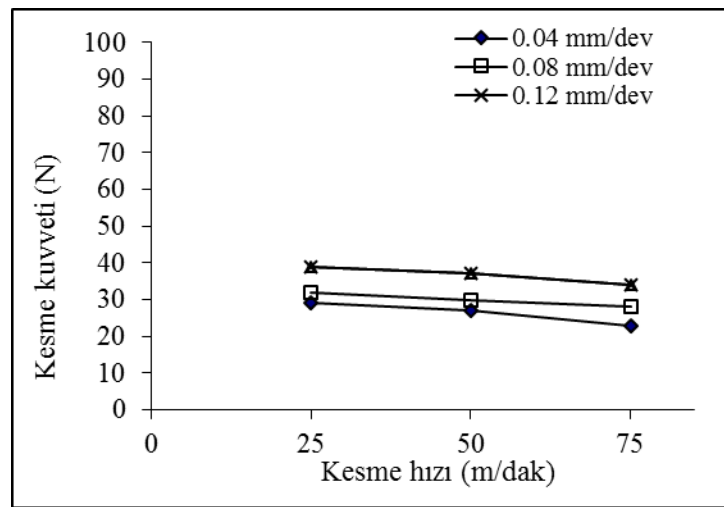


c) Takım ağız sayısı: 4

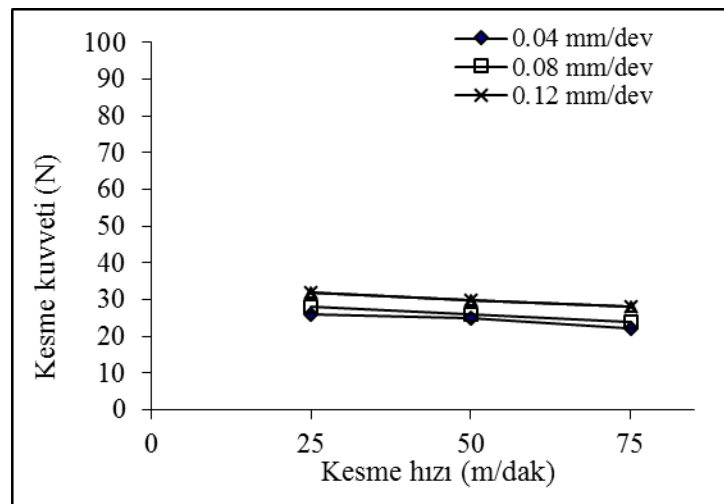
Şekil 4.19. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (0°/90°)



a) Takım ağız sayısı: 2

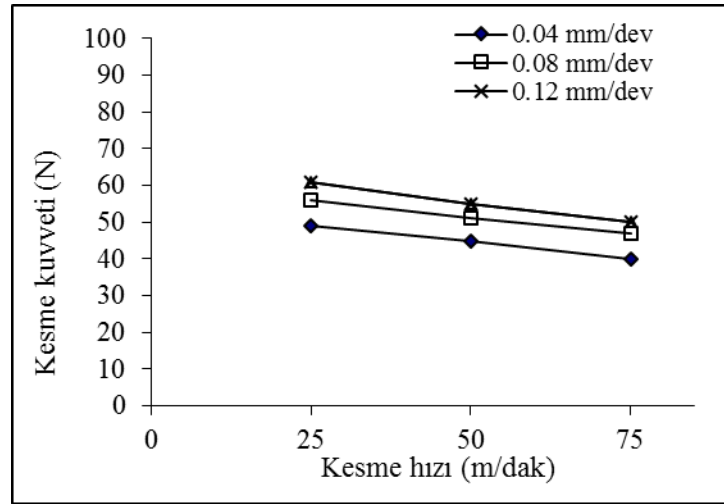


b) Takım ağız sayısı: 3

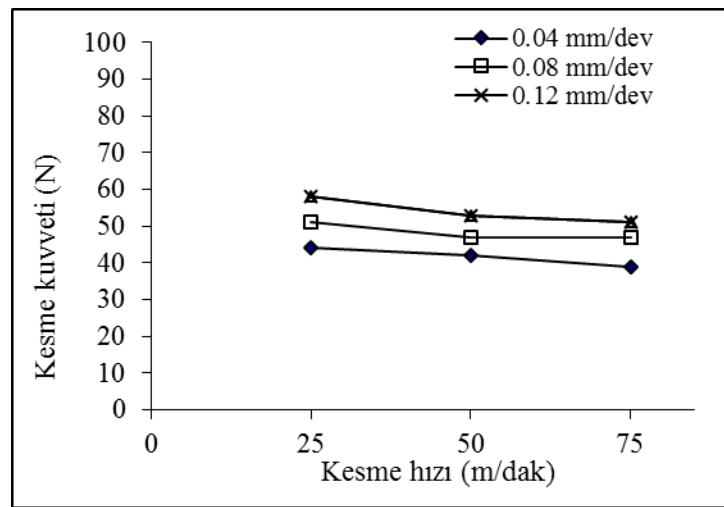


c) Takım ağız sayısı: 4

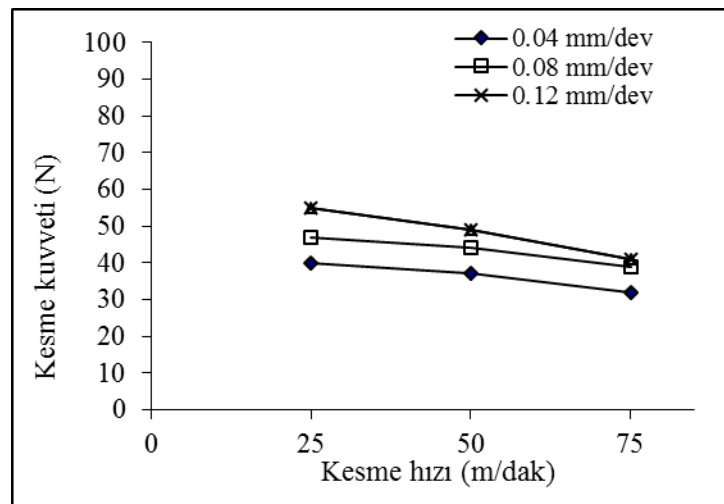
Şekil 4.20. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi ( $\pm 45^\circ$ )



a) Takım ağız sayısı: 2

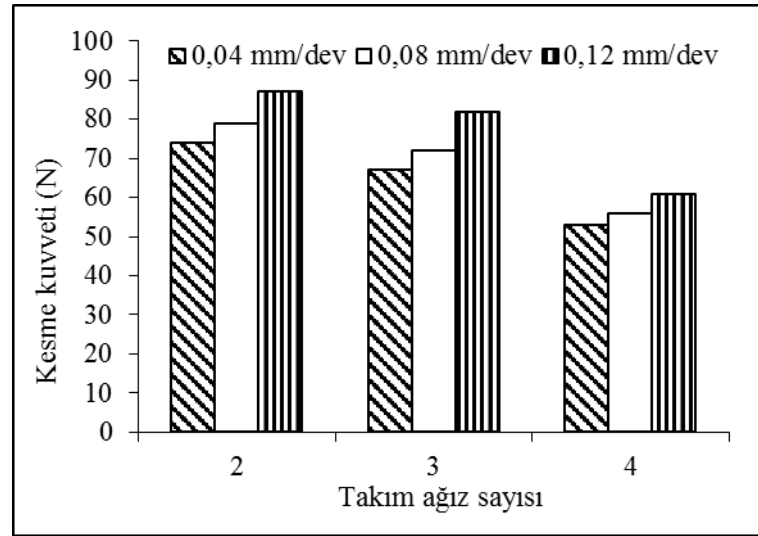


b) Takım ağız sayısı: 3

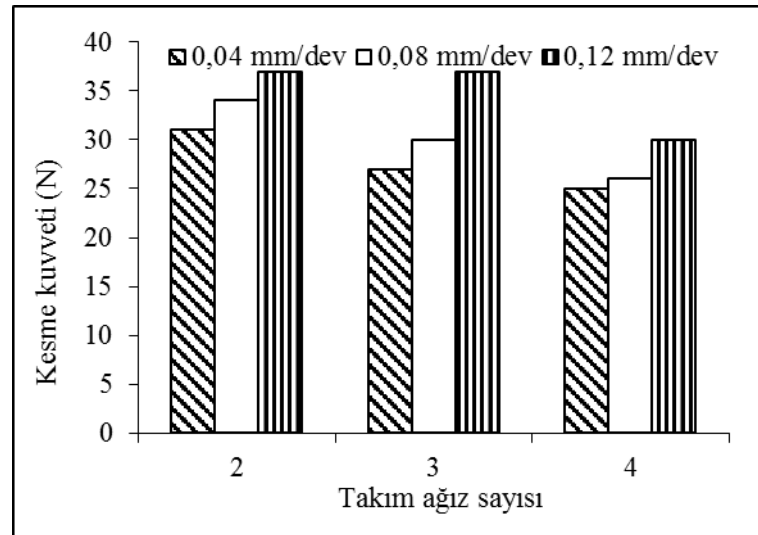


c) Takım ağız sayısı: 4

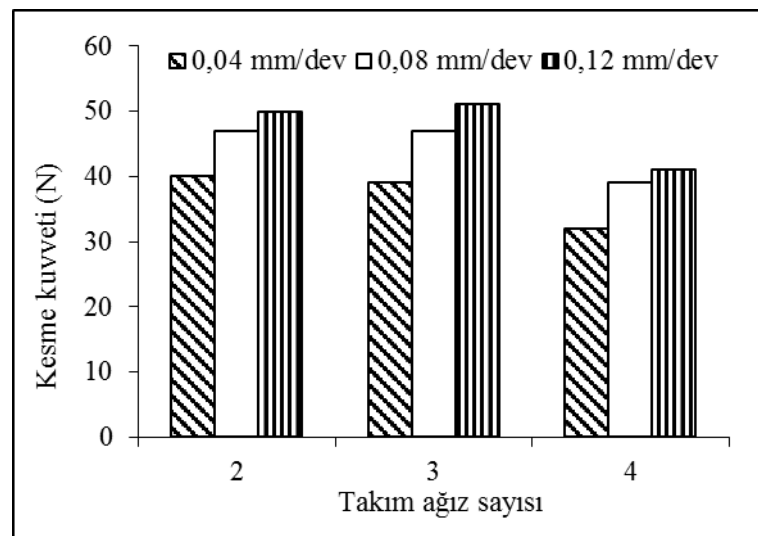
Şekil 4.21. Kesme hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (30°/-60°)



a) V: 25 m/dak, Malzeme: 0°/90°

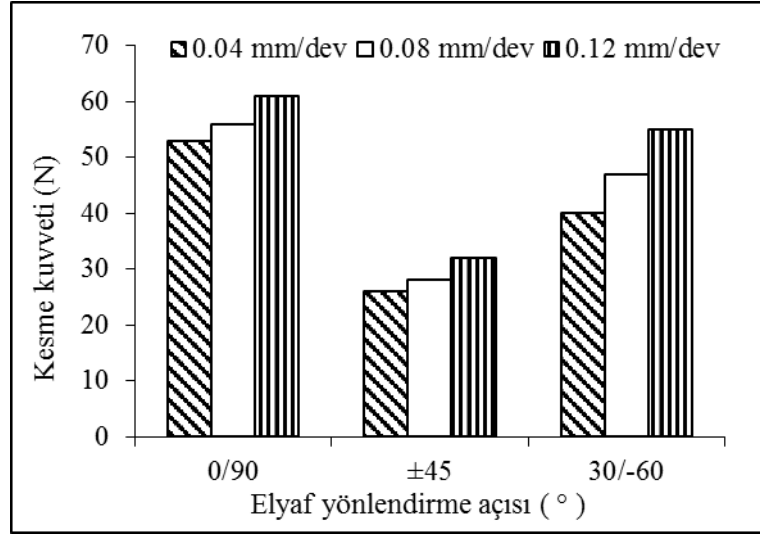


b) V: 50 m/dak, Malzeme: ± 45°

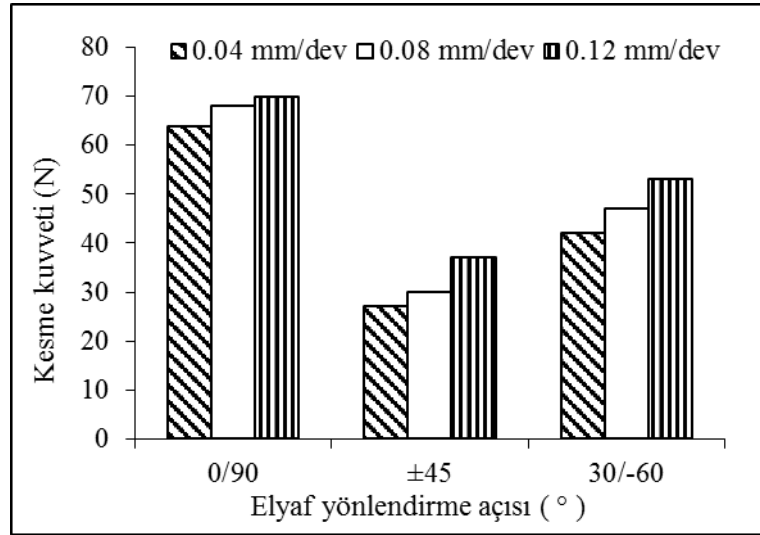


c) V: 75 m/dak, Malzeme: 30°/-60°

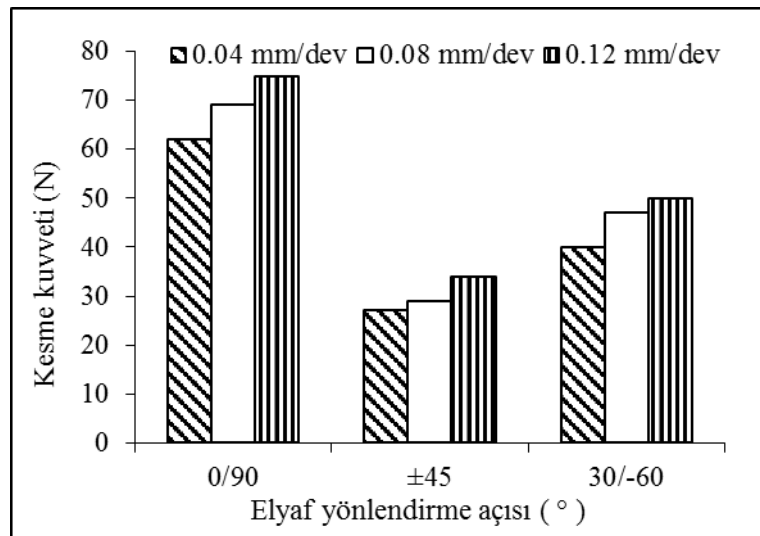
Şekil 4.22. Takım ağız sayısının kesme kuvveti üzerine etkisi



a) V: 75 m/dak, Takım ağız sayısı: 4



b) V: 50 m/dak, Takım ağız sayısı: 3



c) V: 25 m/dak, Takım ağız sayısı: 2

Şekil 4.23. Elyaf yönlendirme açısının kesme kuvveti üzerine etkisi

Şekil 4.16-4.18'den görüldüğü gibi, JETP kompozit numunelerin frezelemesinde ilerlemenin artması ile kesme kuvvetlerinde bir artış olmaktadır. İlerlemenin artması ile kesici takım jüt elyafları kesecek zaman bulamamakta ve elyafları kopararak işlemektedir. Bu durum kesme kuvvetinde artışa neden olmaktadır. Suresh ve ark. (2012) artan ilerleme oranının dinamik etkilere sebep olduğunu ve bunun da kesme kuvvetini arttırdığını ifade etmişlerdir. Birim zamanda iş parçası/takım ara yüzey etkileşiminin artmasından dolayı kesme kuvvetinde artış olmaktadır (Çakır, 1999; Chinchani ve Choudhury, 2013).

Şekil 4.19-4.21'den kesme hızının artması kesme kuvvetlerinde düşüşe neden olmaktadır. Bunun nedeni, kesme hızının artması ile kesme sıcaklığının artmasıdır. Epoksi düşük ısı iletkenliğine (0.363 W/m-K) sahip olduğundan dolayı, kesme işlemi sırasında üretilen ısı kesme bölgesinden hızlı bir şekilde uzaklaşmamakta ve takım ucu çevresinde birikerek matrisin kararlılığını yok etmektedir. Kesme hızının artması JETP kompozitin matris malzemesi olan epoksinin sıcaklığını arttırmakta ve daha düşük kuvvetlerde frezelenmesine sebep olmaktadır. Pecat ve ark. (2012) elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesinde, yüksek kesme hızında düşük kesme kuvveti elde edilmesini, matris malzemesinin termo-mekanik yüke maruz kalarak mukavemetindeki azalmaya bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Şekil 4.22'de, kesici takım ağız sayısının da kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Kesici takım ağız sayısı arttıkça kesme kuvveti düşmektedir. En büyük kesme kuvveti 2 ağızlı takımlarla elde edilirken en düşük kesme kuvveti 4 ağızlı takımlarla elde edilmiştir. Bunun nedeni kesici takımın kesme işlemi bir turda 2 ağızlı takımında  $180^\circ$ 'de, 3 ağızlı takımında  $120^\circ$ 'de ve 4 ağızlı takımında ise  $90^\circ$ 'de gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

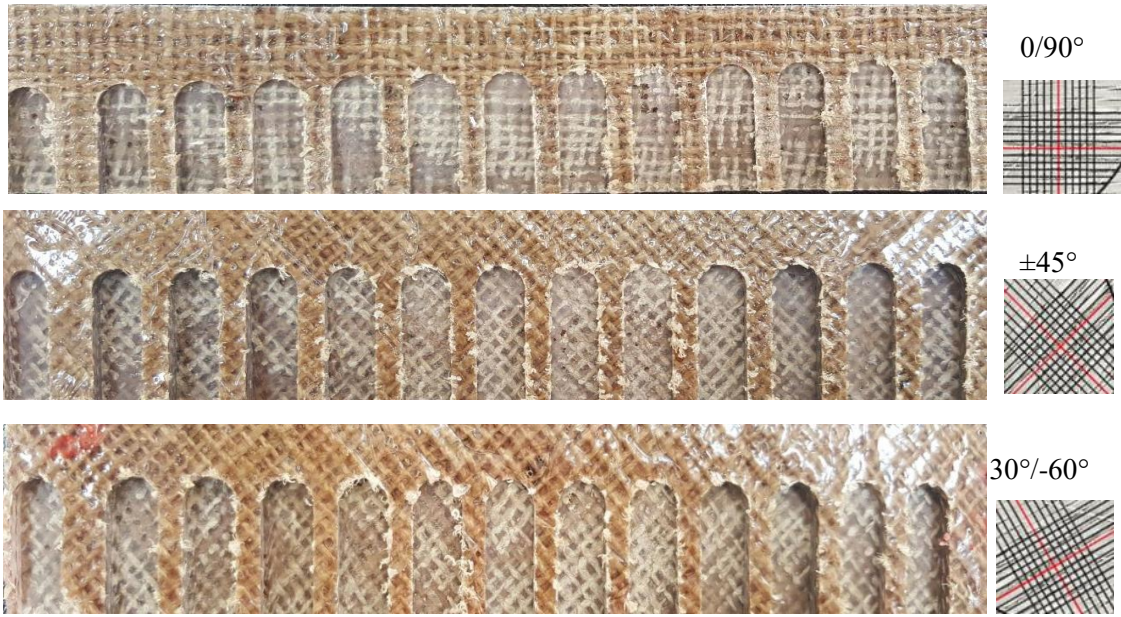
Bu kompozitlerin frezelenmesinde yönlendirme açılarının da kesme kuvveti üzerine etkisinin önemli olduğu Şekil 4.23'den görülmektedir.  $0^\circ/90^\circ$ ,  $30^\circ/-60^\circ$  ve  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açılarına sahip JETP kompozitlerin 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarla frezelenmesinde, aynı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde en düşük kesme kuvveti  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip malzemelerden elde edilirken en büyük kesme kuvveti  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip malzemelerden elde edilmiştir. Elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde, kesici takımın kesme kenarı  $0^\circ$ 'den  $180^\circ$ 'ye kadar değişen açılara sahip elyaflarla karşılaşmaktadır. Kesme kuvvet, elyaf açısının  $90^\circ$  olduğu açıda

maksimum bir değere ulaşmaktadır.  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozitin frezelenmesinde yüksek kesme kuvveti oluşmasının nedeni, elyaflar bu açıda asal normal gerilme düzleminde olmasından kaynaklanmaktadır. Kesme kuvveti  $\pm 45^\circ$  elyaf açısında en düşük değerde olmaktadır. Bunun sebebi ise bu yönlendirme açısının asal kayma düzlemi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. He ve ark. (2017), dört farklı elyaf yönlendirme açısına ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $0/180^\circ$ ) sahip kompozitlerin işlenmesinde en küçük kesme kuvvetinin  $45^\circ$  elyaf yönlendirme açısına sahip kompozitlerden elde edildiğini ve  $0/180^\circ$  ve  $90^\circ$  elyaf yönlendirme açısına sahip kompozitlerden elde edilen kesme kuvvetinin birbirine yakın olduğunu belirtmişlerdir. Wang ve ark. (1995), Zhang ve ark. (2009) ve Zaghbani ve ark. (2012) maksimum kesme kuvvetinin  $90^\circ$  fiber açısında meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

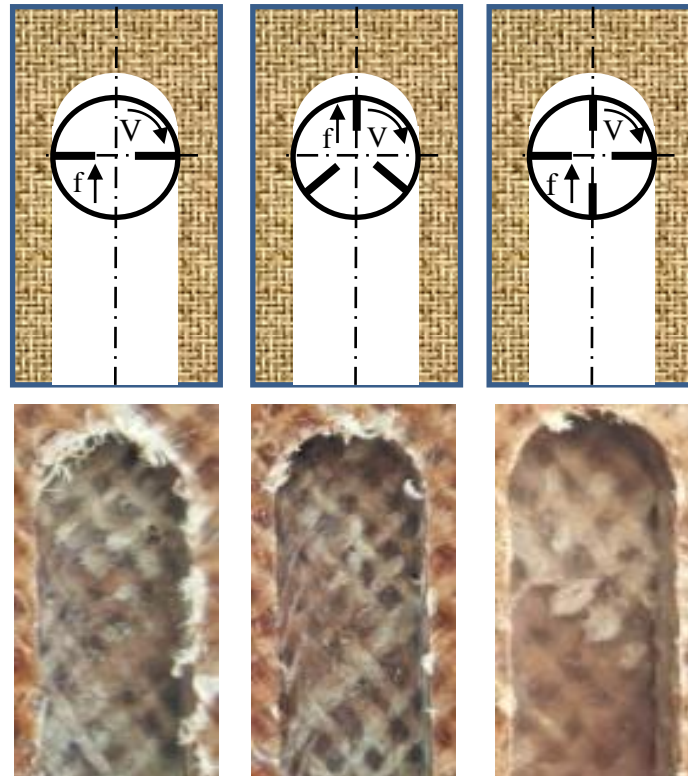
### 4.3. Deformasyon Faktörünün Belirlenmesi

Metalik malzemelerden farklı olarak, elyaf takviyeli kompozitlerin talaşlı işlenmesinde işleme bölgesinde hasarlar oluşmaktadır. Bu hasarların büyüklüğü kompozit malzemenin yapısından, işleme parametrelerinden, kesici takım malzemesi ve geometrisinden etkilenmektedir. Deformasyon, elyaf kırılması ve fiber/matris arayüz ayrılması en yaygın görülen hasar çeşitlerindedir. Bu hasarlardan dolayı kompozitlerin mekanik özelliklerinde azalmalara ve bu da malzemelerin yorulma ömürlerinin düşmesine ve yorulma hasarına neden olmaktadır.

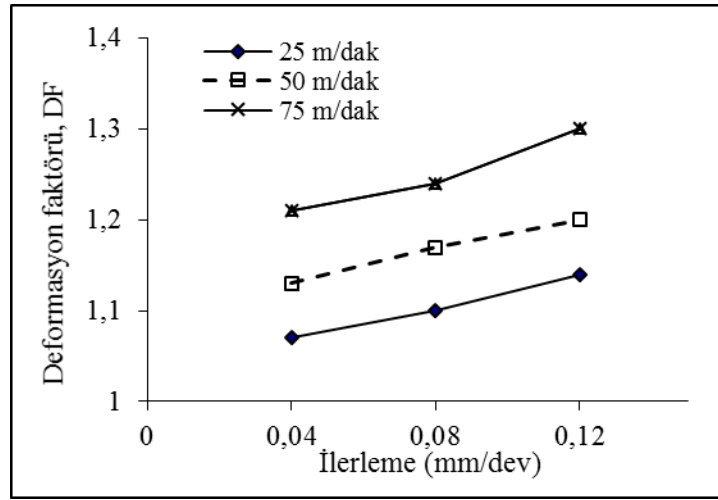
$0^\circ/90^\circ$ ,  $30^\circ/-60^\circ$  ve  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açılarına sahip JETP kompozit numunelerin frezelenmesinde, iş parçası üzerinde oluşturulan kanal boyunca elyaf kopması, elyaf yırtılması, elyaf/matris arayüzeyinde çatlak oluşması gibi bazı hatalar oluşmaktadır. Oluşan bu hataların maksimum genişliği ölçülür ve eşitlik (3.1) kullanılarak deformasyon faktörü hesaplanır.  $0^\circ/90^\circ$ ,  $30^\circ/-60^\circ$  ve  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açılarına sahip JFRP kompozit numunelerin 2, 3 ve 4 ağızlı parmak frezeler ile frezelemede oluşan deformasyon görüntüleri Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te, ilerleme ve kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkileri ise Şekil 4.26 - Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



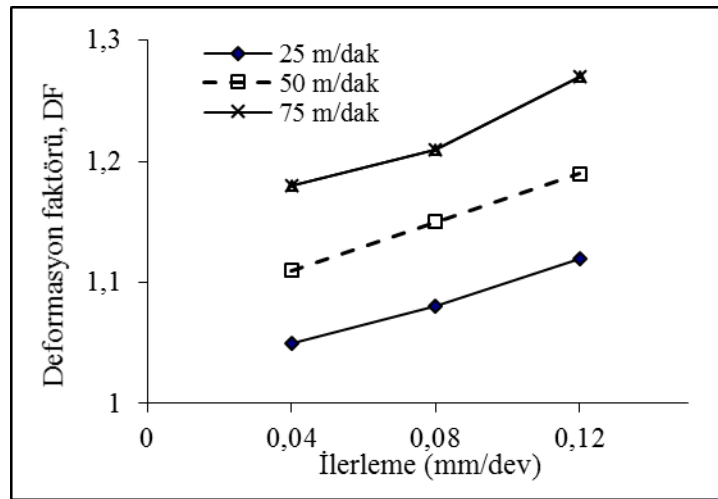
Şekil 4.24. Frezelenmiş yüzeylere ait görüntüler



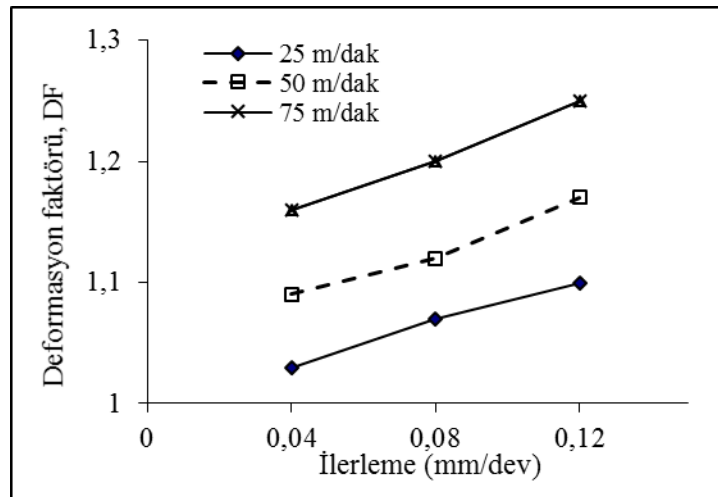
Şekil 4.25. Takım ağız sayısına bağlı hasar görüntüleri



a) Takım ağız sayısı: 2

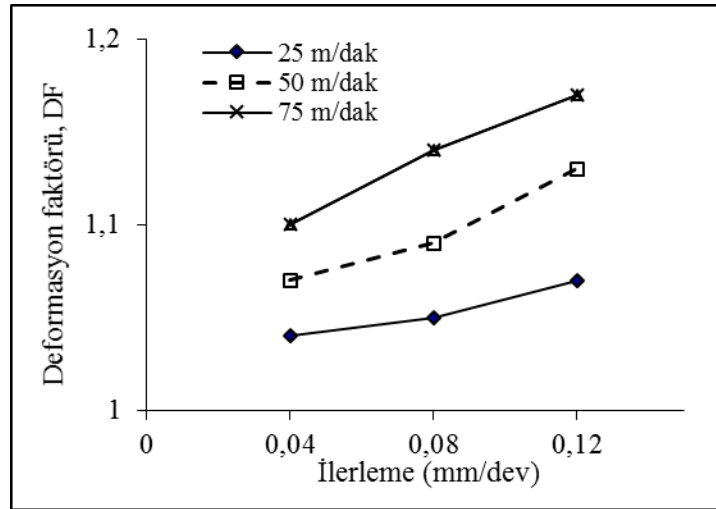


b) Takım ağız sayısı: 3

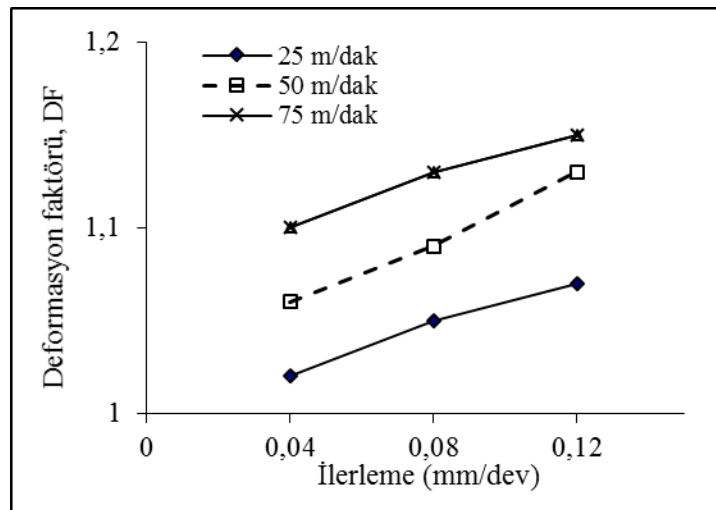


c) Takım ağız sayısı: 4

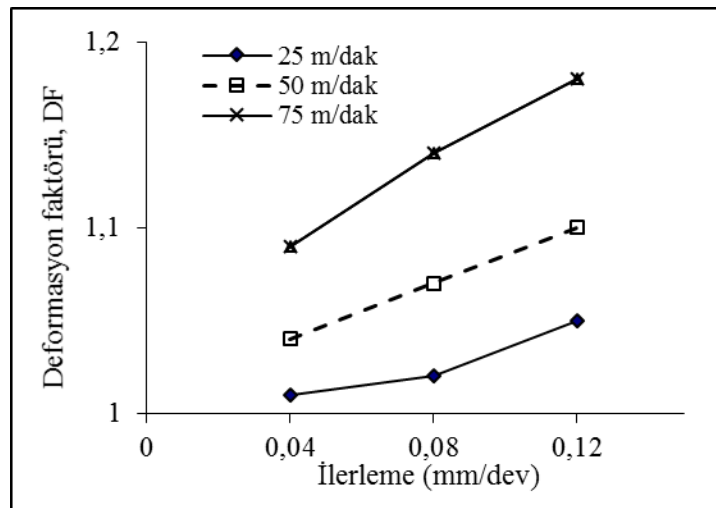
Şekil 4.26. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi (0°/90°)



a) Takım ağız sayısı: 2

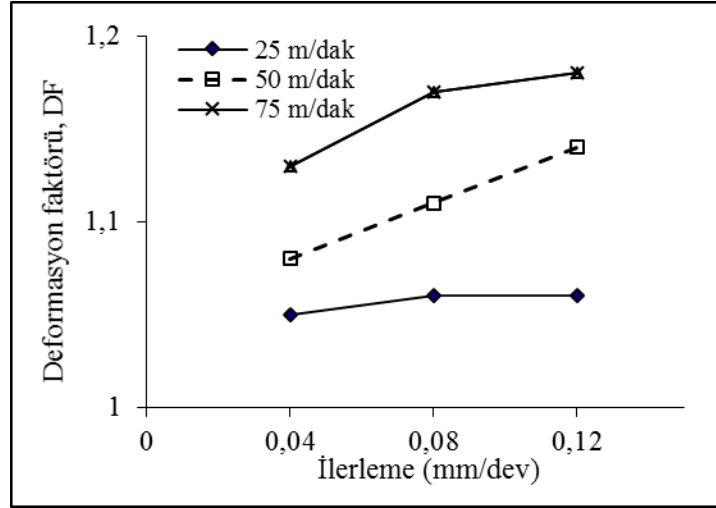


b) Takım ağız sayısı: 3

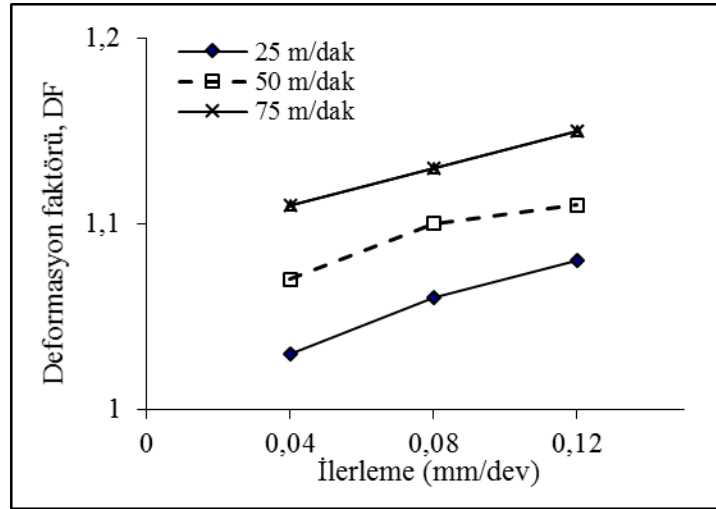


c) Takım ağız sayısı: 4

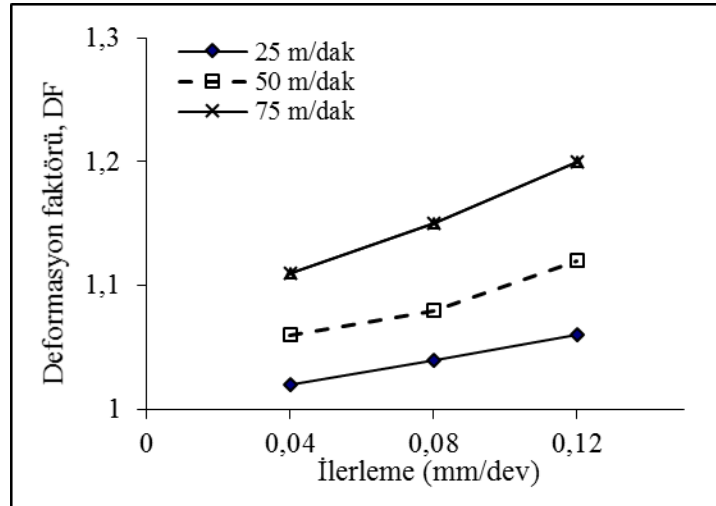
Şekil 4.27. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi ( $\pm 45^\circ$ )



a) Takım ağız sayısı: 2

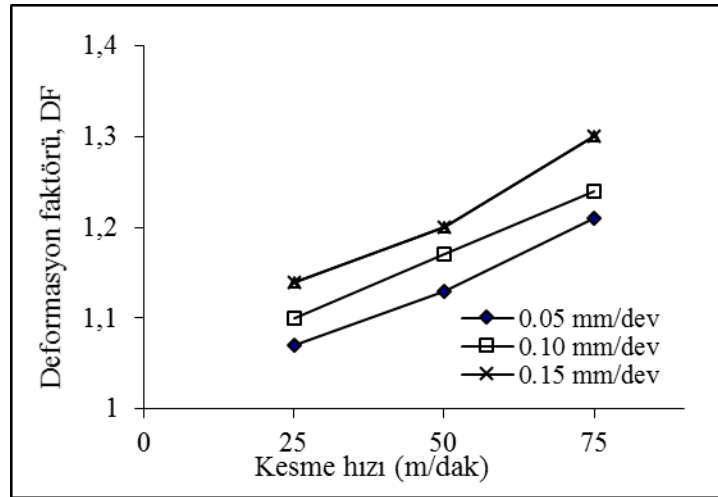


b) Takım ağız sayısı: 3

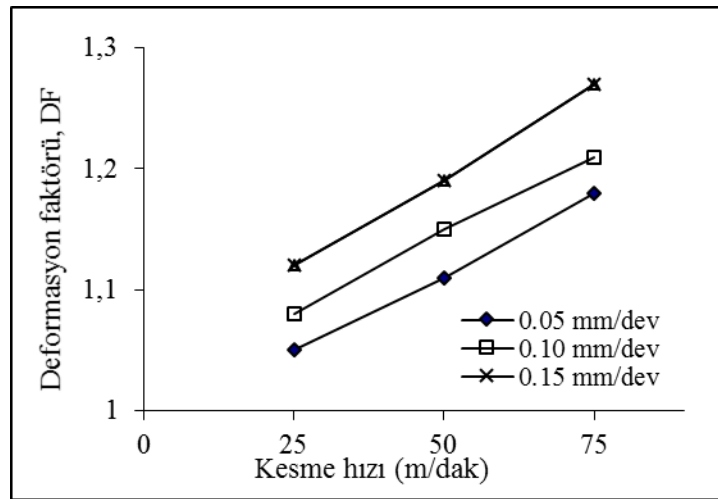


c) Takım ağız sayısı: 4

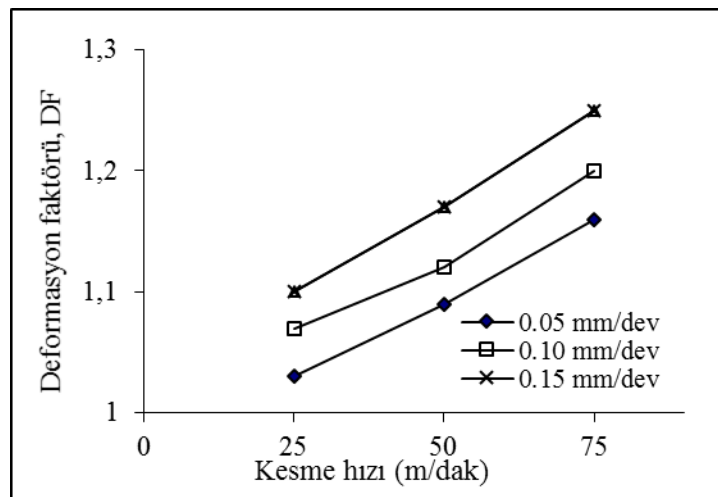
Şekil 4.28. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerine etkisi (30°/-60°)



a) Takım ağız sayısı: 2

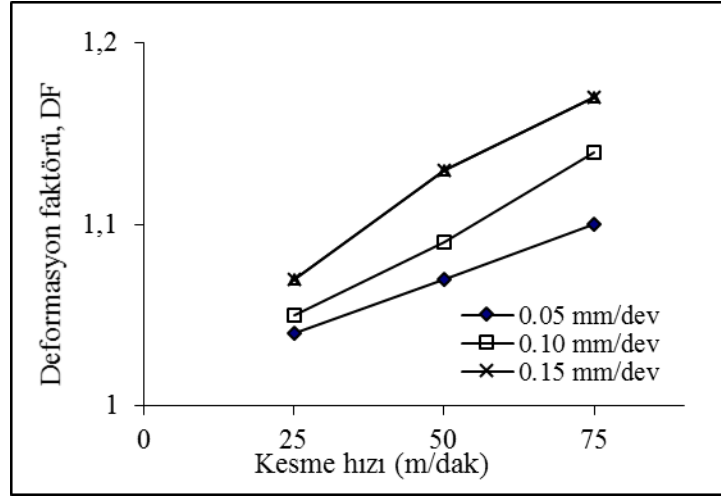


b) Takım ağız sayısı: 3

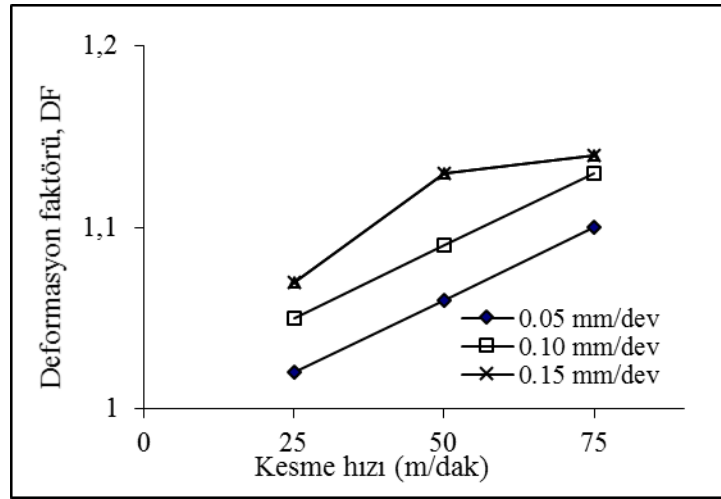


c) Takım ağız sayısı: 4

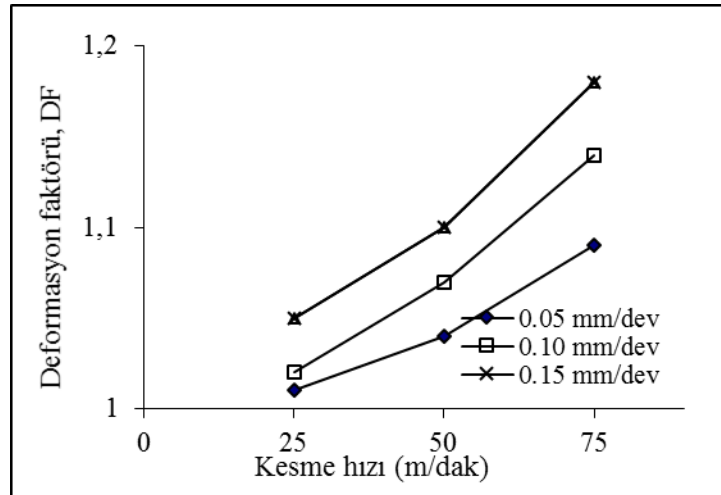
Şekil 4.29. Kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkisi (0°/90°)



a) Takım ağız sayısı: 2

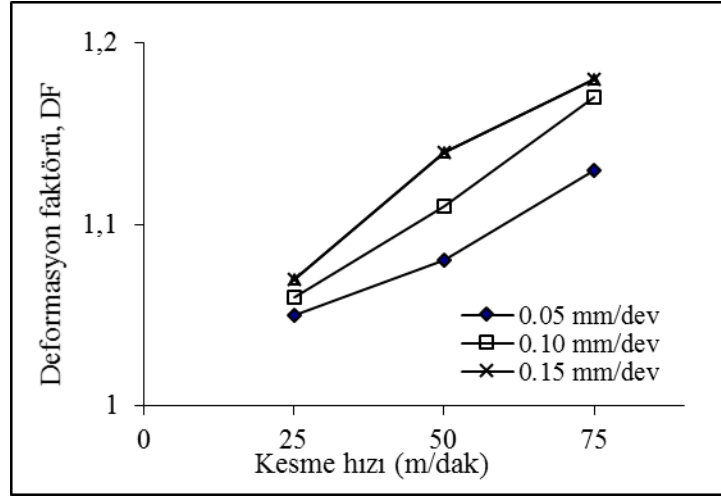


b) Takım ağız sayısı: 3

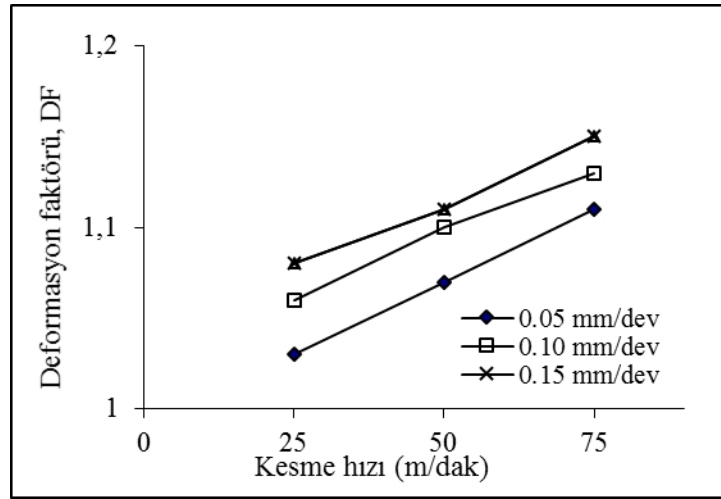


c) Takım ağız sayısı: 4

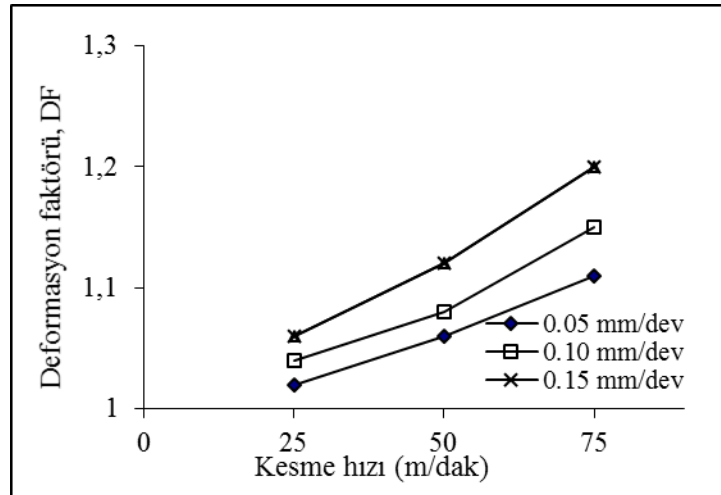
Şekil 4.30. Kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkisi ( $\pm 45^\circ$ )



a) Takım ağız sayısı: 2

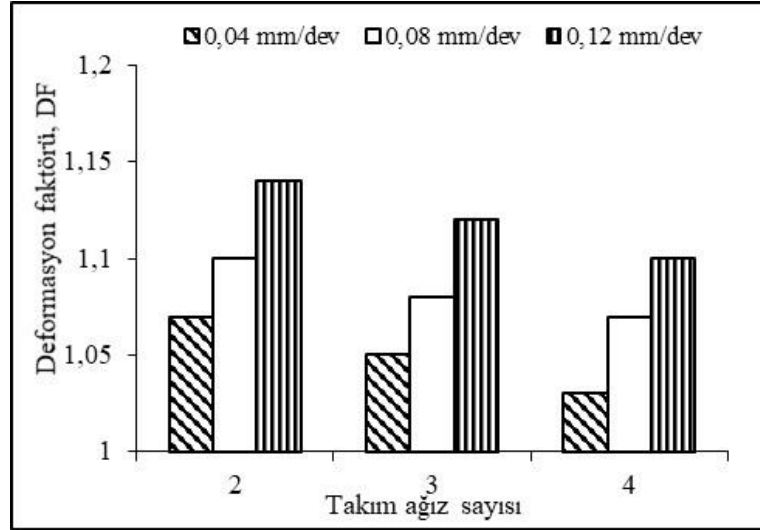


b) Takım ağız sayısı: 3

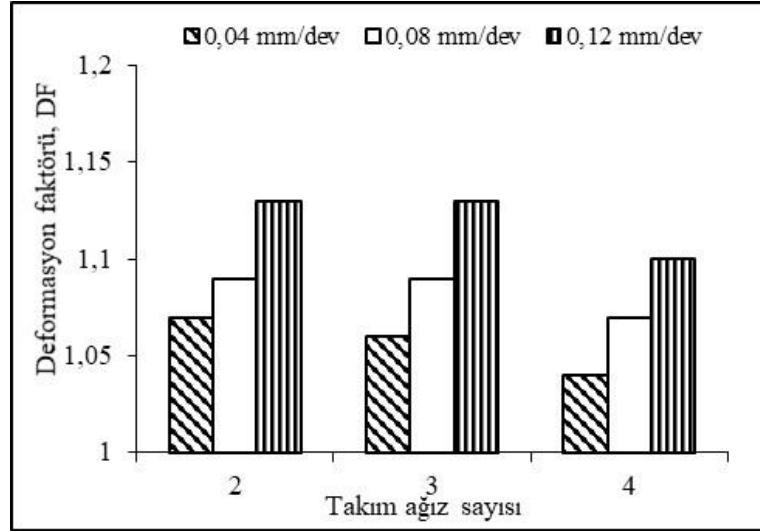


c) Takım ağız sayısı: 4

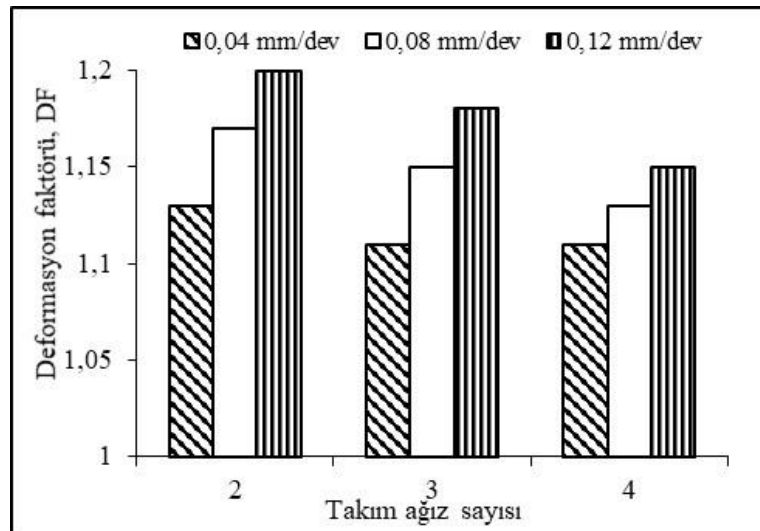
Şekil 4.31. Kesme hızının deformasyon faktörü üzerine etkisi (30°/-60°)



a) V:25 m/dak, Malzeme: 0°/90°

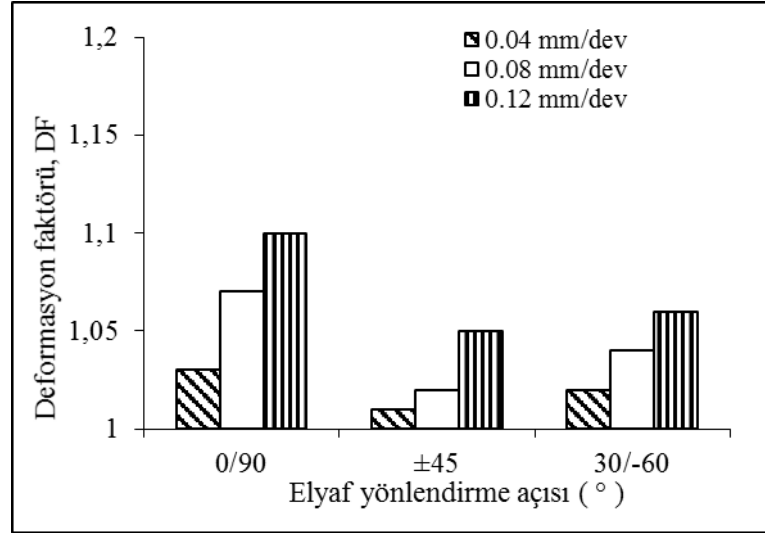


b) V:50 m/dak, Malzeme: ± 45°

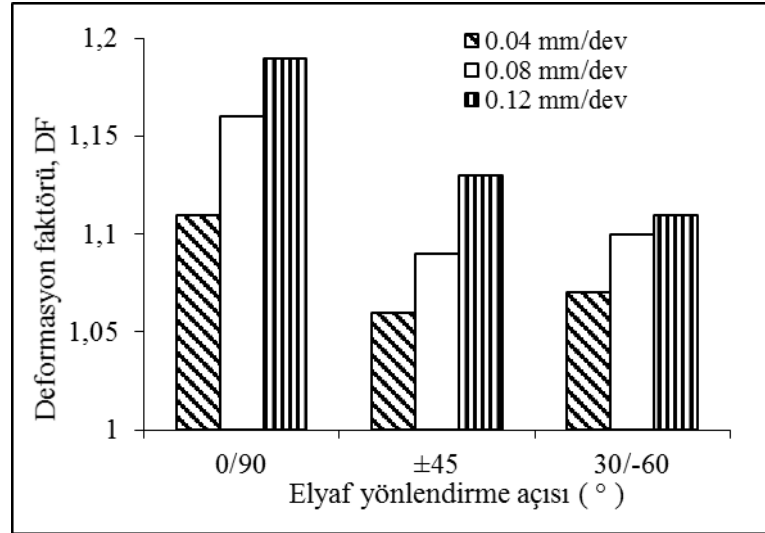


c) V:75 m/dak, Malzeme: 30°/-60°

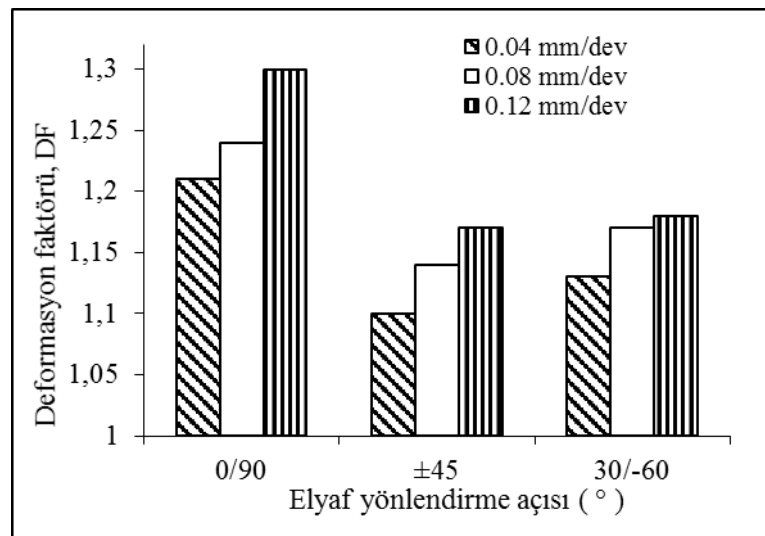
Şekil 4.32. Takım ağız sayısının deformasyon faktörü üzerine etkisi



a) V:25 m/dak, Takım ağız sayısı: 4



b) V:50 m/dak, Takım ağız sayısı: 3



c) V:25 m/dak, Takım ağız sayısı: 2

Şekil 4.33. Elyaf yönlendirme açısının deformasyon faktörü üzerine etkisi

Şekil 4.26 - 4.28'den,  $0^\circ/90^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  ve  $30^\circ/-60^\circ$  yönlendirme açılarına sahip JETP kompozitlerin frezelenmesinde, ilerlemenin artması ile deformasyon faktörün arttığı görülmektedir. Yüksek ilerleme oranlarında, kesici takım kompozit malzemedeki elyafların bir kısmını kesecek zaman bulamamaktadır. İlerleme oranındaki artışın oluşturduğu yüksek ilerleme kuvvetinden dolayı, kesilmeyen bu elyaflar ilerleme yönünde itilmesinden dolayı kopmalar oluşmaktadır. Bu da deformasyon faktörünün büyük olmasına neden olmaktadır. Krishnamorthy ve ark. (2009) ilerleme oranındaki artışın iş parçası ve kesici takım arasındaki teması arttırdığını ve ilerleme kuvvetinin yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Tsao ve Hocheng (2004) yaptıkları çalışmada deformasyon faktörü üzerine en önemli etkinin ilerleme olduğunu belirtmişlerdir.

Şekil 4.29 - 4.31'de görüldüğü gibi kesme hızının artması kompozit malzemedeki deformasyon faktörünü arttırmıştır. Yüksek kesme hızlarında malzemenin kesme sıcaklığı arttığından ve dolayısıyla malzemenin özelliği bozulduğundan, fiber ve matris arasındaki bağ zayıflayarak deformasyonun artmasına neden olmuştur. Erkan ve ark. (2013), deformasyonun daha yüksek kesme hızlarında artan plastik deformasyon kaynaklandığını vurgulamışlardır.

Şekil 4.32'den kesici takım ağız sayısı deformasyon faktörü üzerinde kesme parametrelerinden daha az bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Kesici takım ağız sayısının artması deformasyon faktörünü azaltmaktadır. Bu sonuç çeşitli araştırmacılar tarafından da dile getirilmiştir (Miklaszewski ve ark., 2000; Dippon ve ark., 2000).

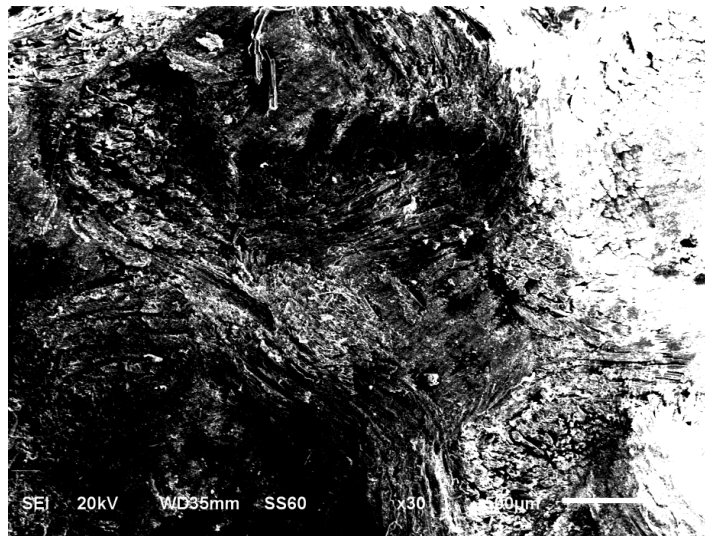
Deformasyon faktörünün tüm yönlendirme açısına göre değişimi Şekil 4.33'te görülmektedir. En düşük deformasyon faktörü  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitten elde edilirken en yüksek deformasyon faktörü  $0^\circ/90^\circ$  yönlendirme açısına sahip kompozitten elde edilmiştir.  $\pm 45^\circ$  yönlendirme açısına sahip JETP kompozitin deformasyon faktörünün düşük çıkması, bu malzemenin kesme kuvvetinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Deformasyon faktörünün en düşük değerleri tüm yönlendirme açılarında düşük ilerleme, kesme hızı ve daha yüksek takım ağız sayısından elde edilmiştir.

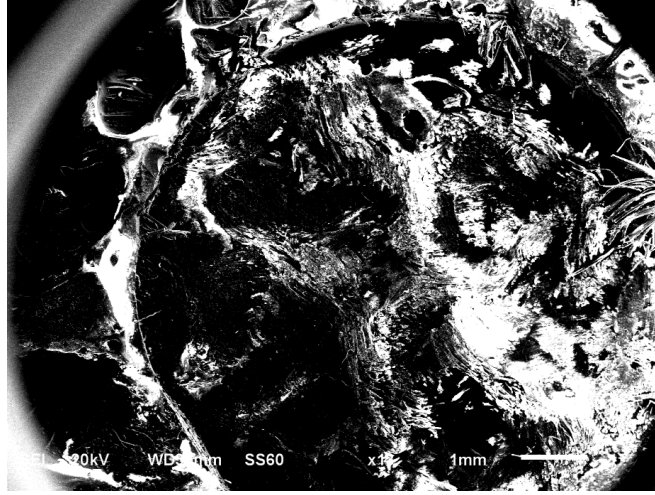
#### 4.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

Yüzey pürüzlülüğü, işleme kalitesine bağlı iş parçasının kalitesini belirleyen önemli parametrelerden biridir. İmal edilen bir parçanın performans kalitesi, kısmen, imalat sürecinden kaynaklanan yüzey kalitesi ile belirlenir. Uçak parçaları, nükleer reaktörler veya otomobil parçaları gibi yüksek yük çevriminde yüklere maruz kalan ürünlerin yorulma ömrü, yüzey bütünlüğünden ve kalitesinden büyük ölçüde etkilenir. Başka bir ifadeyle imalat süreci iş parçasını yorulma, sünme ve gerilme korozyonu çatlamasına karşı direnç üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Tsao ve Hocheng, 2004). İş parçası malzemesinin sertliği ve mekanik özellikleri ile birlikte işleme parametreleri, takım malzemesi ve takım geometrisi gibi parametreler yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkiye sahiptirler. İşleme kalitesi kesme parametreleri ve takım geometrisi gibi işleme parametreleri ile yakından ilgilidir. Bundan dolayıdır ki yüzey pürüzlülüğünü minimum seviyede tutmak önemlidir.

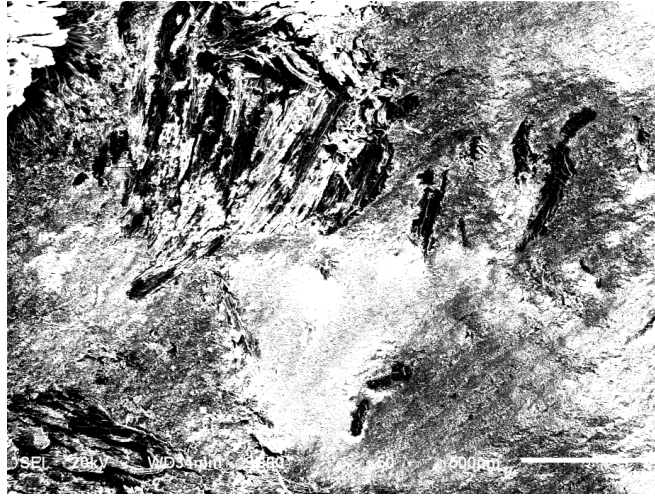
$0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $\pm 45^{\circ}$  ve  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  yönlendirme açlarına sahip JETP kompozit numunelerin 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarla farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde frezelenmesinde, iş parçasına ait SEM görüntüleri Şekil 4.34-4.37de, optik görüntüleri Tablo 4.2’de ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi ise Şekil 4.38 - 4.41’de verilmiştir.



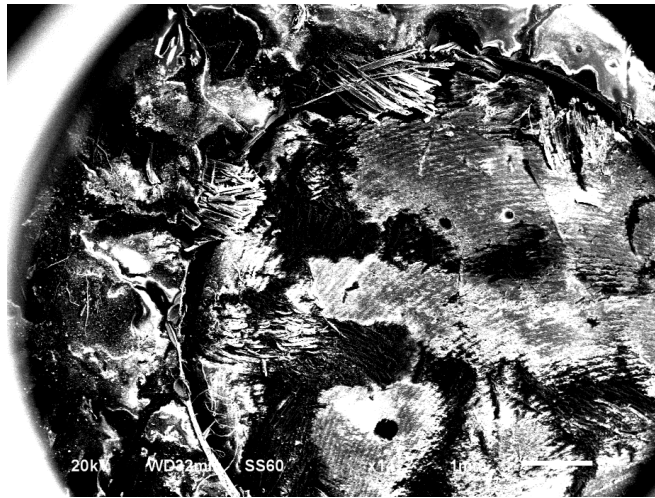
**Şekil 4.34.** İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü  
(Yönlendirme açısı:  $30^{\circ}/-60^{\circ}$ ,  $V$ : 50 m/dak,  $f$ : 0,08 mm/dev, Takım uç sayısı: 3)



**Şekil 4.35.** İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü  
(Yönlendirme açısı: 30°/60°,  $V$ : 75 m/dak,  $f$ : 0,12 mm/dev, Takım uç sayısı: 2)







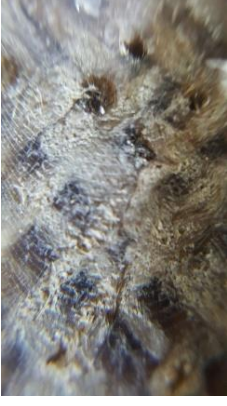

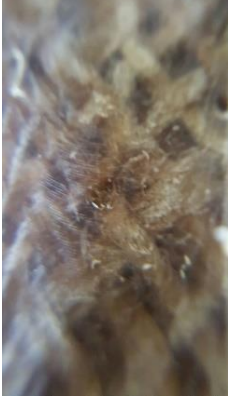





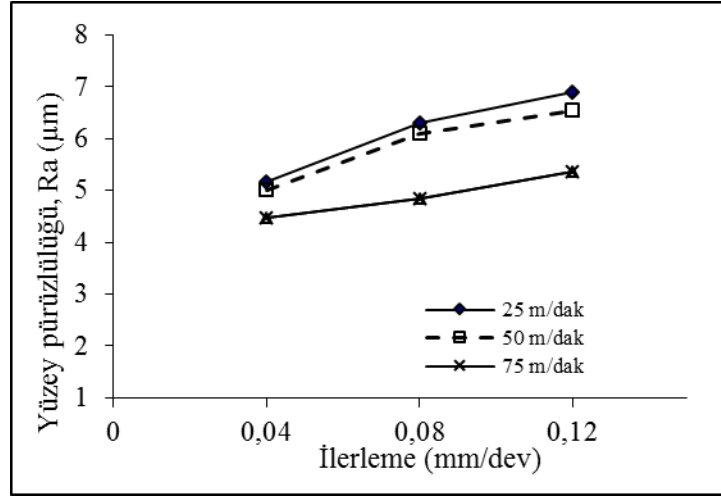
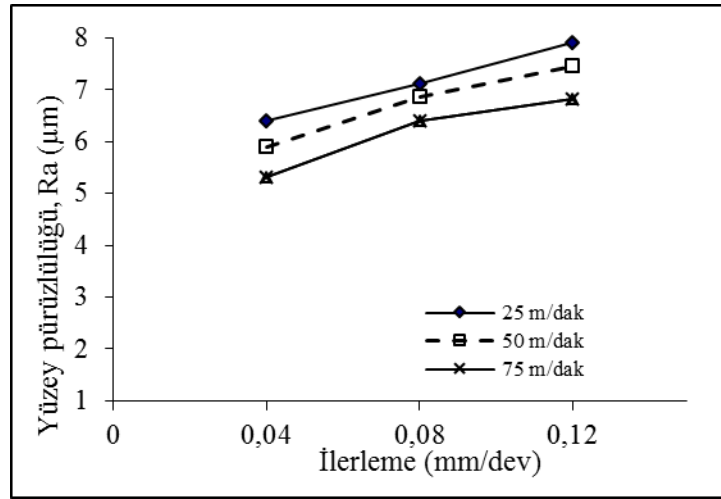
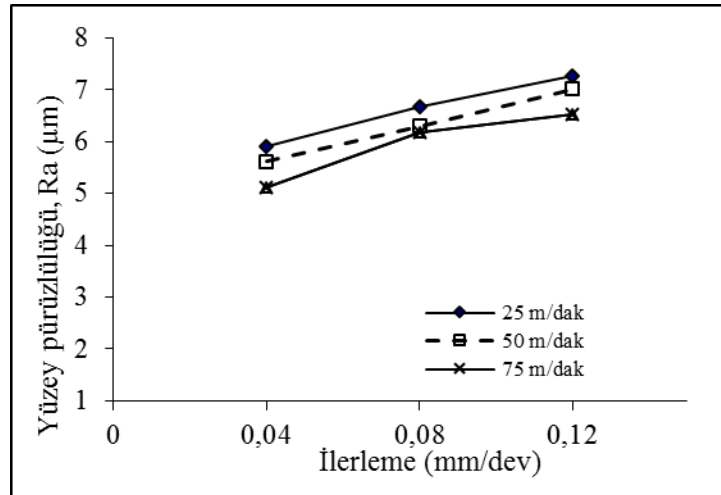
**Şekil 4.36.** İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü  
(Yönlendirme açısı: 0°/90°,  $V$ : 50 m/dak,  $f$ : 0,12 mm/dev, Takım uç sayısı: 4)

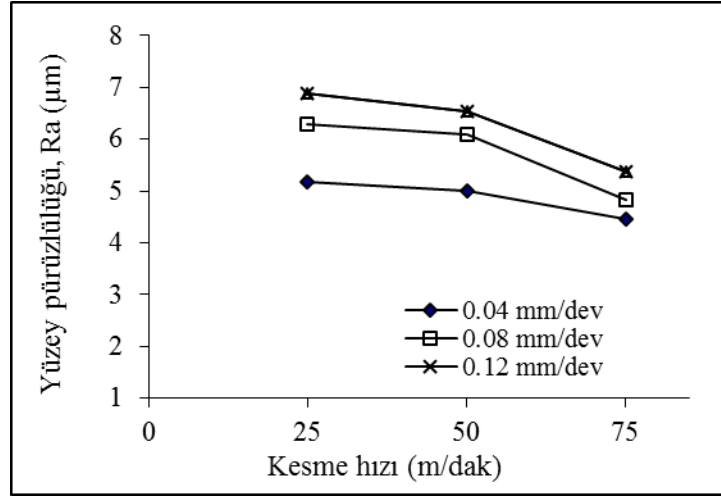
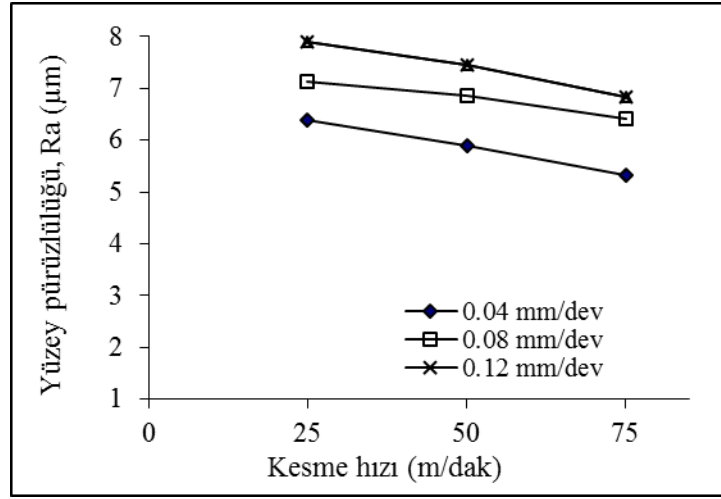
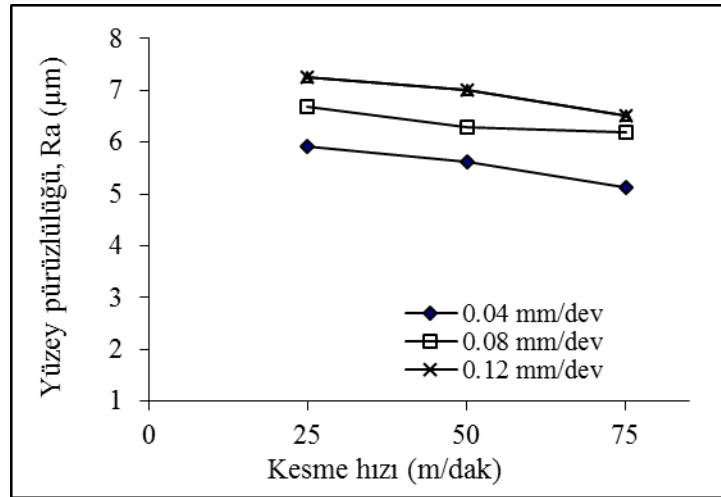


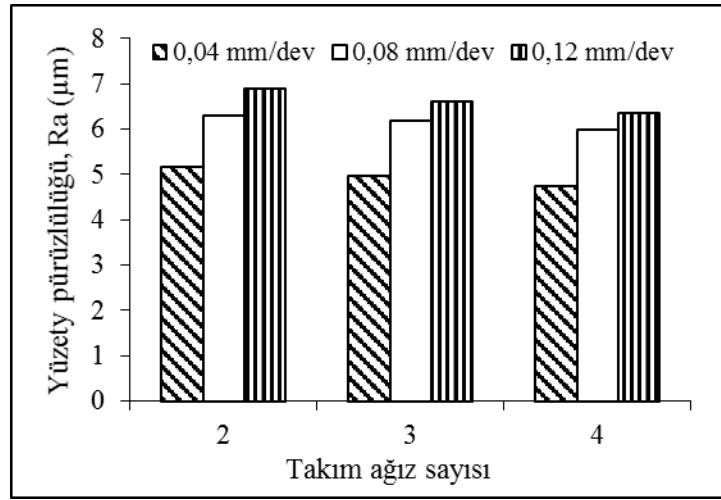
**Şekil 4.37.** İşlenmiş yüzeye ait SEM görüntüsü  
(Yönlendirme açısı:  $\pm 45^\circ$ ,  $V$ : 75 m/dak,  $f$ : 0,12 mm/dev, Takım uç sayısı: 2)

**Tablo 4.2.** *V: 50 m/dak ve f: 0,08 mm/dev için kompozitlerin işlenmiş yüzeyine ait görüntüler*

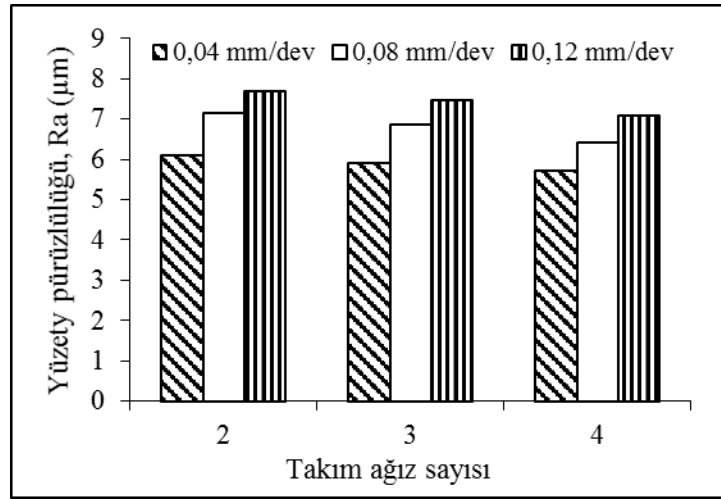
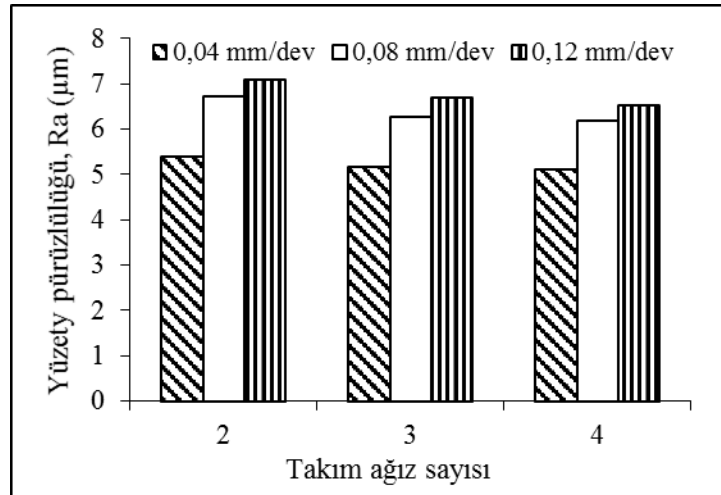
<i>Elyaf Yönlendirme Açısı</i>	<i>Kesici Takım Ağız Sayısı</i>		
			
$0^{\circ}/90^{\circ}$			
$\pm 45^{\circ}$			
$30^{\circ}/60^{\circ}$			

a) Elyaf yönlendirme açısı:  $0^\circ/90^\circ$ , Takım ağız sayısı: 2b) Elyaf yönlendirme açısı:  $\pm 45^\circ$ , Takım ağız sayısı: 3c) Elyaf yönlendirme açısı:  $30^\circ/-60^\circ$ , Takım ağız sayısı: 4**Şekil 4.38.** İlerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi

a) Elyaf yönlendirme açısı:  $0^{\circ}/90^{\circ}$ , Takım ağız sayısı: 2b) Elyaf yönlendirme açısı:  $\pm 45^{\circ}$ , Takım ağız sayısı: 3c) Elyaf yönlendirme açısı:  $30^{\circ}/-60^{\circ}$ , Takım ağız sayısı: 4**Şekil 4.39.** Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi

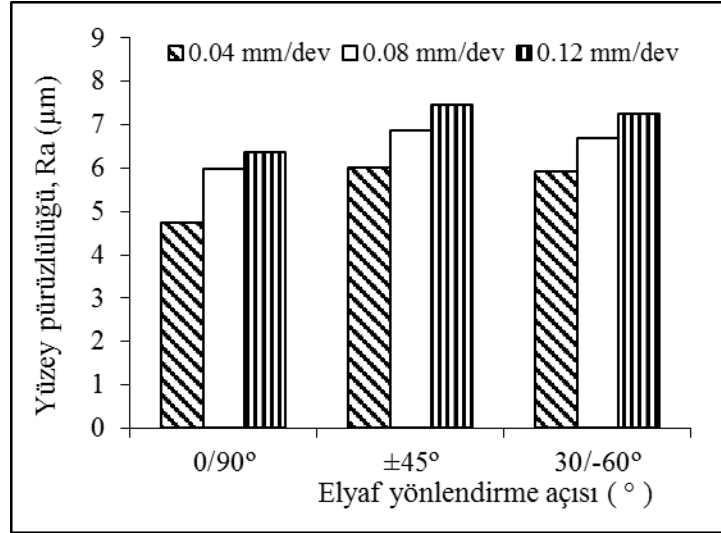


a) V:25 m/dak, Malzeme: 0°/90°

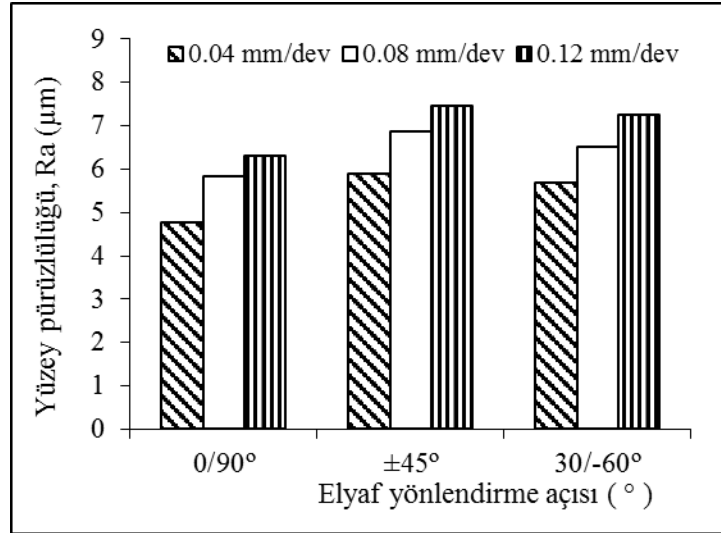
b) V:50 m/dak, Malzeme:  $\pm 45^\circ$ 

c) V:75 m/dak, Malzeme: 30°/-60°

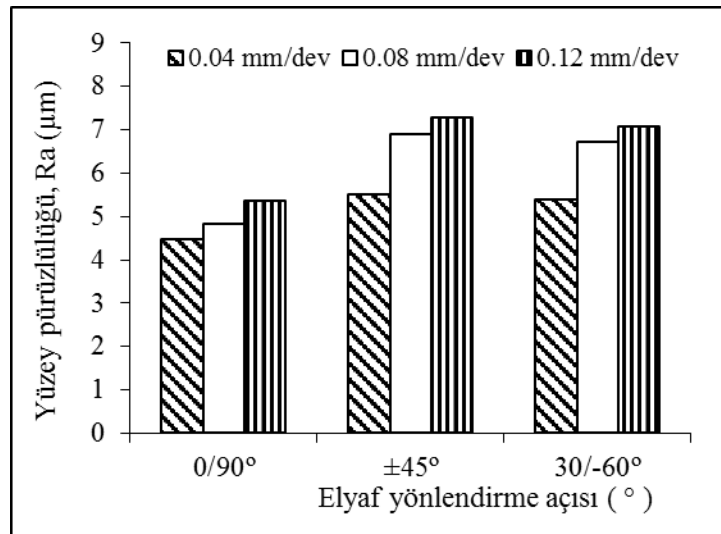
Şekil 4.40. Takım ağız sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi



a) V:25 m/dak, Takım ağız sayısı: 4



b) V:50 m/dak, Takım ağız sayısı: 3



c) V:25 m/dak, Takım ağız sayısı: 2

Şekil 4.41. Elyaf yönlendirme açısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi

JETP kompozitlerin frezelenmesinde, ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görüldü. Bu durum tüm yönlendirme açısına sahip JETP kompozitlerde aynı olmaktadır. Aynı zamanda kesme hızının artması ile işlenmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. JETP kompozitlerde yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkması bu kompozit malzemelerin frezelenmesi sırasında kesici kenar kesme işleminin her anında farklı elyaf açıları ile karşılaşmasıdır. Kesme yönü ve elyaf yönlendirme arasındaki etkileşim açısı işleme esnasında kesici kenarın konumuna ve elyaf yönüne bağlı olarak değişir. Bu durum JETP kompozitlerin frezelenmesinde kesme işleminin elyafların kopması, uzaması ve bükülmesi şeklinde gerçekleşmesine neden olduğundan kötü bir yüzey meydana gelmesine sebep olur. Yönlendirme açısına bağlı olarak, en düşük yüzey pürüzlülüğü  $0^{\circ}/90^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitte elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitlerde elde edildi. Bu malzemelerin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerine kesici takım ağız sayısının da önemli bir etkisi vardır. Kesici takım ağız sayısı arttığında takımın bir devrinde elyafları kesme sayısı da artmakta ve bu da elyafları koparmadan ziyade kestiği için yüzey pürüzlülüğü düşmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiş  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açılarına sahip JETP kompozit plakaların 2, 3 ve 4 ağızlı takımlarla frezelenmesinde, kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir.

- Farklı yönlendirme açısına ( $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$ ) sahip jüt takviyeli kompozitlerin üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir.
- Jüt fiber takviyeli epoksi kompozitlerin çekme kuvveti üzerine yönlendirme açısı önemli bir etkiye sahiptir. En yüksek çekme kuvveti  $0^{\circ}/90^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip jüt takviyeli kompozitten elde edilirken en düşük çekme kuvveti  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip jüt takviyeli kompozitten elde edilmiştir.
- Bu kompozitlerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvveti, ilerleme oranından, kesme hızından, kesici takım ağız sayısından ve kompozitin yönlendirme açısından önemli derecede etkilenmektedir.
- Artan ilerleme ile kesici takım jüt elyafları kesecek zaman bulamadığından elyafları kopardığından kesme kuvveti yüksek çıkmıştır.
- Yüksek kesme hızı, kesme kuvvetlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur.
- Aynı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde en düşük kesme kuvveti  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitten, en büyük kesme kuvveti ise  $0^{\circ}/90^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitten elde edilmiştir.
- Kesici takım ağız sayısı arttıkça kesme kuvveti düşmektedir. En büyük kesme kuvveti 2 ağızlı takımlarla elde edilirken en düşük kesme kuvveti 4 ağızlı takımlarla elde edilmiştir.
- Deformasyon faktörü İşleme parametrelerinde önemli ölçüde etkilenmektedir. Yüksek ilerleme değerlerinde kesici takım kompozit malzemedeki elyafların bir kısmını kesecek zaman bulamadığından yüksek deformasyon faktörü elde edilmiştir.
- Kesme hızının artması deformasyon faktörü artmasına neden olmuştur. En düşük deformasyon faktörü  $\pm 45^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitten elde edilirken en yüksek deformasyon faktörü  $0^{\circ}/90^{\circ}$  yönlendirme açısına sahip kompozitten elde edilmiştir.

- Deformasyon faktörü kesici takım ağız sayısında etkilenmektedir. Düşük bir deformasyon elde edilebilmesi için ağız sayısı fazla olan kesici takımlar kullanılmalıdır.
- $0^{\circ}/90^{\circ}$ ,  $30^{\circ}/-60^{\circ}$  ve  $\pm 45^{\circ}$  farklı yönlendirme açısına sahip JFRP kompozitlerde ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.
- Kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünün düşmesine neden olmuştur. En düşük yüzey pürüzlülüğü  $0^{\circ}/90^{\circ}$  açısına sahip kompozitte elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise  $\pm 45^{\circ}$  açısına sahip kompozitlerde elde edildi.
- Kesici takım ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü düşmüştür.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 1985, Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Azmi, H., Haron, C. H. C., Ghani, J. A., Suhail, M., Sanuddin, A. B. and Song, J. H., 2016, Study on machinability effect of surface roughness in milling kenaf fiber reinforced plastic composite (Unidirectional) using response surface methodology, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (7), 4761-4766.
- Babu, G. D., Babu, K. S. and Gowd, B. U. M., 2013, Effect of machining parameters on milled natural fiber reinforced plastic composites, *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 1, 1-12.
- Bakkal, M. ve Savaş, M., 2012, Cam elyafla güçlendirilmiş doğal elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi, *3.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 29-30 Kasım 2012, Balıkesir.
- Bakkal, M., Bodur, M. S., Berkalp, O. B. and Yılmaz, S., 2012, The effect of reprocessing on the mechanical properties of the waste fabric reinforced composites, *Journal of Material Processing Technology*, 212 (11), 2541-2548.
- Balasubramanian, K., Sultan, M. T. H., Cardona, F. and Rajeswari, N., 2016, Machining analysis of natural fibre reinforced composites using fuzzy logic, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 152, 1-7.
- Broutman, L. J. and Krock, R. H., 1991, Modern Composite Materials, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
- Chegdani, F., Mezghani, S., El Mansori, M. and Mkaddem. A., 2015.a, Fiber type effect on tribological behavior when cutting natural fiber reinforced plastics, *Wear*, 332-333, 772-779.
- Chegdani, F., Mezghani, S. and El Mansori, M., 2015.b, Experimental study of coated tools effects in dry cutting of natural fiber reinforced plastics, *Surface and Coatings Technology*, 284, 264-272.
- Chinchanikar, S. and Choudhury, S. K., 2013, Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach, *Measurement*, 46, 1572–1584.
- Cöcen Ü. ve Önel K., 1997, Metal matrisli kompozitlerde dayanım artımı ve düktilite, *7. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli, 138-145.
- Çakır, C. M., 1999, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Ceylan Matbaacılık, Bursa, Türkiye, 32-36.
- Davim. J. P., Clemente. V. C. and Silva, S., 2009, Surface roughness aspects in milling MDF, *International Journal of advanced Manufacturing Technology*, 49, 49-55.

- Dippon, J., Ren, H., Amara, F. B. and Altintas, Y., 2000, Orthogonal cutting mechanics of medium density fibreboards, *Forest Products Journal*, 50 (7/8), 25–30.
- Erdoğan, M., 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt: II, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Erkan, O., Işık, B., Cicek, A. and Kara, F., 2013, Prediction of damage factor in end milling of glass fibre reinforced plastic composites using artificial neural network. *Applied Composite Materials*, 20, 517-536.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P. and Sain, M., 2012, Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010, *Progress in Polymer Science*, 37, 1552- 1596.
- Geçkinli, A. E., 1992, İleri Teknoloji Malzemeleri, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Sayı: 1454, İstanbul.
- Harun, A., Haron, H. C., Ghani, J. A., Mokhtar, S. and Ting, S. T., 2015, Study the effect of milling parameters on surface roughness during milling kenaf fibre reinforced plastic, *Advanced in Environmental Biology*, 9, 46-52.
- He, Y., Qing, H., Zhang, S., Wang, D. and Zhu. S., 2017, The cutting force and defect analysis in milling of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composite, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93, 1829-1842.
- Hodzic, A. and Shanks, R., 2014, Natural Fibre Composites Materials, Processes and Properties, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering: Number 47.
- Jabbar, A., 2017, Sustainable Jute-Based Composite Materials Mechanical and Thermomechanical Behaviour , Springer Briefs.
- Jayabal. S. and Natarajan. U, 2010, Optimization of thrust force, torque and tool wear in drilling of coir fiber-reinforced composites using Nelder-Mead and genetic algorithm methods, *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51, 371-381.
- Jayabal. S, Natarajan. U. and Sekar. U, 2011, Regression modeling and optimization of machinability behavior of glass-coir polyester hybrid composite using factorial methodology, *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55, 263-273.
- Jones, M. J., 1987, Mechanics of Composite Materials, Scripta Book Company, WashigtonD.C., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kabir, M., Wang, H., Lau, K. and Cardona, F., 2012, Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview, *Composites Part B Engineering*, 43(7), 2883-2892.
- Kistler 9257B, 2018, Multicomponent Dynamometer Data Sheet.

- Krishnamorthy, A., Boopathy, S. R. and Palanikumar, K., 2009, Delamination analyses in drilling of CFRP composites using response surface methodology. *Journal of Composite Materials*, 43, 2885-2902.
- Lau, A. K. and Cheung, K. H. Y., 2017, Natural Fiber-Reinforced Biodegradable and Bioresorbable Polymer Composites, Lau, A. K. and Hung A.P.Y., Natural Fiber-Reinforced Biodegradable and Bioresorbable Polymer Composites, Woodhead Publishing.
- Lau, A. K. and Hung A. P. Y., 2017, Natural Fiber-Reinforced Biodegradable and Bioresorbable Polymer Composites, Woodhead Publishing,
- Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi, (MEB), 2007, Tekstil yüzeyleri,  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Tekstil%20Lifler.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Tekstil%20Lifler.pdf)
- Messiry, M. E., 2017, Natural Fiber Textile Composite Engineering, Apple Academic Press, Inc.
- Miklaszewski, S., Zurek, M., Beer, P. and Sokolowska, A., 2000, Micromechanism of polycrystalline cemented diamond tool wear during milling of wood-based materials, *Diamond and Related Materials*, 9, 1125-1128.
- Nassar, M. M. A., Arunachalam R., and Alzebdeh, K. I., 2017, Machinability of natural fiber reinforced composites: a review, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88, 2985-3004.
- Özdemir Ö., İpek, M. ve Zeytin, S., 2000, Kesici Takım Malzemeleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 487, 1-10.
- Pecat, O., Rentsch, R. and Brinksmeier, E., 2012, Influence of milling process parameters on the surface integrity of CFRP, *Procedia CIRP*, 1, 466-470.
- Ramesh, M., K. Palanikumar, K. and Reddy, H., 2017, Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 558-584.
- Rojas, J., Bedoya, M. and Ciro, Y., 2015, Current trends in the production of cellulose nanoparticles and nanocomposites for biomedical applications, In M. Poletto & H. L. Ornaghi, (Eds.), *Cellulose—fundamental aspects and current trends*. Rijeka: InTech.
- Sabeel, A. K. and Vijayarangan, S., 2008, Tensile, flexural and interlaminar shear properties of woven jute and jute-glass fabric reinforced polyester composites. *Journal of Material Processing Technology*, 207, 330-335.
- Sankara, B. R., Umamaheswarrao, P., Srinivasulu, V. and Chowdari, G. K., 2015, Optimization of Milling Process on Jute Polyester Composite using Taguchi based

- Grey Relational Analysis coupled with Principle Component Analysis, *Materials Today: Proceedings*, 2, 2522-2531.
- Schey, J. A., 1987, Introduction to Manufacturing Processes, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Comp., p. 472-477, New York.
- Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V. N. and Samuel, G. L., 2012, Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 75–86.
- Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şahin, Y., 2003, Talaş Kaldırma Prensipleri-1, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Tsao, C. C. and H. Hocheng, 2004, Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(10), 1085-1090.
- Tsoumis, G., 1991, Science and technology of wood: Structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Ventura, C. E. H. and Hassui, A., 2013, Modeling of cutting forces in helical milling by analysis of tool contact angle and respective depths of cut, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 2311–2319.
- Vinayagamoorthy, R. and Rajeswari, N., 2012, Analysis of cutting forces during milling of natural fibered composites using fuzzy logic, *International Journal of Composite Materials and Manufacturing*, 2, 15-21.
- Wang, D., Ramulu, M. and Arola, D., 1995, Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite. Part I: Unidirectional Laminate, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35 (12), 1623-1638.
- Wang, H., Qin, X., Ren, C. and Wang, Q., 2011, Prediction of cutting forces in helical milling process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58, 849–859.
- Yan, L., Chouw, N. and Jayaraman, K., 2014, Flax fibre and its composites. *Composites Part B*, 56, 296-317.
- Zaghbani, I., Chatelain, J.F., Berube, S., Songmene, V. and Lance, J., 2012, Analysis and modelling of cutting forces during the trimming of unidirectional CFRP composite laminates, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 12 (4), 337-357.
- Zhang, L. C., 2009, Cutting composites: A Discussion on mechanics modelling, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (9), 4548-4552.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ali İmran KILIÇKAP  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ERGANİ – 1991  
**Telefon** : 0539 821 48 64  
**Faks** : -  
**e-mail** : a.imrankap21@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ergani Lisesi, Merkez, Ergani	2009
Üniversite	: Harran Üniversitesi, Merkez, Şanlıurfa	2013
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	-

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-2018	Altıntaş Group	AR-GE, Proje Tasarım

### UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalât

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR