



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JÜT VE KETEN FİBER TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN FREZELENME
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

Mehmet Suat ALP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Suat ALP tarafından hazırlanan “Jüt ve Keten Fiber Takviyeli Kompozitlerin Frezelenme Performansının Belirlenmesi” adlı tez çalışması 07/08/2019 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. Erol KILIÇKAP

Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY

İmza

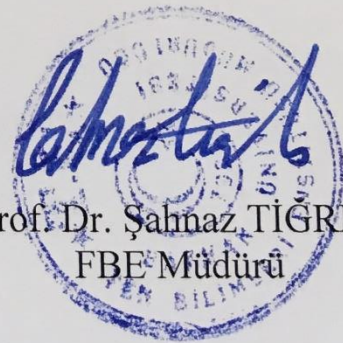
[Signature of Erol KILIÇKAP]

[Signature of Yahya Hışman ÇELİK]

[Signature of Şehmus BADAY]

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TIGREK
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.

İmza

Mehmet Suat ALP

Tarih: 07/08/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JÜT VE KETEN FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN FREZELENME PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Mehmet Suat ALP

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2019, 142 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY

Ekolojik faydaları yanı sıra yüksek mekanik özelliklere düşük ağırlıkları ile ulaşmaları nedeniyle doğal fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Doğal fiber takviyeli kompozitler; üretimleri sonrası, kullanım alanlarına göre frezeleme, delme ve tornalama gibi ikincil bir işleme tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu çalışmada, doğal fiberlerden elde edilen Jüt Fiber Takviyeli Plastik (JFTP) ve Keten Fiber Takviyeli Plastik (KFTP) kompozitlerin frezeleme performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Frezeleme deneyleri için kesici takım olarak yüksek hız çeliği (HSS), TiN kaplı HSS ve sert karbür (WC) parmak freze çakıları kullanılmıştır. Deneyler; 2500, 5000 ve 7500 dev/dak dönme devirlerinde, 0,01; 0,015 ve 0,02 mm/dev ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Dönme devri, ilerleme, kesici takım ve kompozit malzeme cinsinin kesme kuvveti, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; dönme devrinin artmasıyla titreşim ve deformasyon faktörünün arttığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. İlerlemenin artmasıyla da kesme kuvveti, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerleri için en uygun değerler WC parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde elde edilmiştir. Bunu, TiN kaplı HSS ve HSS parmak freze çakıları takip etmiştir. Titreşim değerlerinde ise en düşük değerler HSS, en yüksek ise WC parmak freze çakılarından elde edilmiştir. KFTP kompozitlerde oluşan deformasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülük değerleri JFTP kompozitlerinkinden daha yüksek hesaplanmıştır. Ancak KFTP kompozitlerin frezelenmesinde elde edilen kesme kuvvetleri JFTP kompozitlerinkinden daha düşük olmuştur. JFTP ve KFTP kompozitlerdeki titreşim değerleri ise bir birine oldukça yakın olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon Faktörü, Frezeleme, JFTP Kompozit, Kesici Takım Cinsi, Kesme Kuvveti, KFTP Kompozit, Titreşim, Yüzey Pürüzlülüğü.

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF MILLING PERFORMANCE OF JUTE AND FLAX FIBER REINFORCED COMPOSITES

Mehmet Suat ALP

**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

2019, 142 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Asst. Prof. Dr. Şehmus BADAY

The usage area of natural fiber reinforced composite materials has been increasing day by day due to their attaining to not only ecological benefits but also high mechanical properties with their low weight. After the production of natural fiber reinforced composites, they need to be subjected to secondary processes such as milling, drilling and turning processes according to their field of use. In this study, it was aimed to determine milling performance of Jute Fiber Reinforced Plastic (JFRP) and Flax Fiber Reinforced Plastic (FFRP) composites, which are obtained from natural fibers. High speed steel (HSS), TiN coated HSS and cemented carbide (WC) end mills were used as cutting tools for milling experiments. Experiments were carried out at the spindle speeds of 2500, 5000 and 7500 rpm, and the feed rates of 0.01, 0.015 and 0.02 mm/rev. The effects of spindle speed, feed rate, cutting tool and composite material types on cutting force, vibration, delamination factor, and surface roughness were investigated. As a result of the experiments, it was seen that vibration and delamination factor increased, and cutting force and surface roughness values decreased with increasing spindle speed. It was observed that cutting force, vibration, delamination factor and surface roughness values increased with increasing feed rate. The most appropriate values for cutting force, delamination factor and surface roughness values were obtained in experiments where WC end mill was used. This was followed by TiN coated HSS and HSS end mills, respectively. In vibration values, the lowest values were obtained from HSS end mill, and the highest values were obtained from WC end mill. Delamination factors and surface roughness values in FFRP composites were calculated higher than those of JFRP composites. However, the cutting forces obtained in milling FFRP composites were lower than those of JFRP composites. Vibration values in JFRP and FFRP composites were measured to be very close to each other.

Keywords: Cutting Force, Cutting Tool Type, Delamination Factor, FFRP Composite, JFRP Composite, Milling, Surface Roughness, Vibration.

ÖNSÖZ

“Jüt ve keten fiber takviyeli kompozitlerin frezelenme performansının belirlenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmam, 5 bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; Giriş, Kaynak Araştırması, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışma, Sonuçlar ve Önerilerdir. Giriş bölümünde; konunun önemine ve kompozit malzemelerin tanımına, kompozit malzemelerin sınıflandırılmasına ve özelliklerine yer verilmiştir. Kaynak Araştırması bölümünde; konu ile ilgili yapılmış literatür çalışmaları anlatılmıştır. Materyal ve Yöntem bölümünde; deneylerde kullanılan kompozit malzemeler, makinalar, teçhizatlar, cihazlar ve deney parametreleri açıklanmıştır. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde; jüt ve keten fiber takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetleri, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğünün frezeleme parametrelerine bağlı sonuçları verilmiştir. Sonuçlar ve Öneriler bölümünde ise bu kompozitlerin frezelenmesinde; dönme devri, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı olarak kesme kuvveti, titreşim, defromasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğünün nasıl değiştiği ve ileriki çalışmalarda hangi konulara dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Tez çalışmamın; konu seçiminden, çalışmaların tamamlanmasına ve yazılmasına kadar tüm süreçte desteğini esirgemeyen ve bana sürekli yol gösteren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK’e, deneysel çalışma süresi boyunca desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım; Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şehmus BADAY’a, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN’e, Sayın Öğr. Gr. Eyyüp Hikmet KINACI’ya ve Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca her koşulda bana maddi ve manevi desteği esirgemeyen, tüm aileme sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Mehmet Suat ALP
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemeler	2
1.1.1. Kompozit malzemelerin yapısı	3
1.1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	4
1.1.3. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler	7
1.1.4. Doğal Kompozitler	10
1.2. Talaş Kaldırma İşlemi.....	13
1.2.1. Talaş kaldırma işleminin mekaniği.....	13
1.2.2. Talaş kaldırma işleminin dinamiği	14
1.2.3. Alın frezeleme işleminde talaş kaldırma işlemi.....	15
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Deneyde Kullanılan Materyaller.....	30
3.1.1. Kompozit malzemeler	30
3.1.2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar	30
3.1.3. Frezeleme işlemlerinin gerçekleştirildiği CNC Tezgâhı	31
3.1.4. Kesme parametrelerinin belirlenmesi	33
3.1.5. Kesme kuvvetlerinin ölçümü	34
3.1.6. Titreşimlerin ölçülmesi	35
3.1.7. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü.....	35
3.1.8. Deformasyon ölçümü.....	36
3.2. DeneySEL Çalışmaların Yapılışı	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Frezeleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi	42
4.2. Frezeleme Parametrelerinin Titreşim Üzerine Etkisi.....	51
4.3. Frezeleme Parametrelerinin Deformasyon Faktörü Üzerine Etkisi	58
4.4. Frezeleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78

5.1. Sonuçlar	78
5.2. neriler	80
KAYNAKLAR	81
EKLER	88
EK-1 Kompozitlerin frezelenmesinden elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvet grafikleri ...	88
EK-2 Kompozitlerin frezelenmesinde elde edilen titreşim grafikleri.....	115
ZGEMİř	142

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin oluşum yapısı	3
Şekil 1.2. Farklı şekilli elyaf takviyeli kompozitler (Şahin, 2006).....	7
Şekil 1.3. Elyaf bitki türleri (Udhayasankar ve ark., 2015; Ramesh ve ark., 2017)	11
Şekil 1.4. Metal kesme işleminde talaş kalınlığı ve kesme hızının değişme durumu (Neşeli, 2006).....	15
Şekil 1.5. Metal kesme işleminde dalga oluşumu (Neşeli, 2006).....	15
Şekil 1.6. Alın frezelemede açılar ve kesme kuvvetleri (Sarı, 2008)	16
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan JFTP ve KFTP kompozitler	30
Şekil 3.2. Kompozitlerin cihaza sabitlenmesi için delinen delikler	30
Şekil 3.3. Parmak freze takımlarının şematik gösterimi.....	31
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan kesici takımlar	31
Şekil 3.5. Maintek marka CNC Tezgâhı.....	32
Şekil 3.6. ARFM 1Y-M4 model yüksek frekans motoru	32
Şekil 3.7. Kesici takımın izlediği yol	33
Şekil 3.8. Kistler 9257B dinamometre	34
Şekil 3.9. Kistler 5070-A çok kanallı amplifier.....	34
Şekil 3.10. NI 9230 sinyal toplama modülü	35
Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	35
Şekil 3.12. JFTP ve KFTP kompozitlerde oluşan deformasyon şekli	36
Şekil 3.13. Deney düzeneği ve numune bağlantıları	37
Şekil 3.14. Titreşim ölçüm aparatı için hazırlanan düzenek.....	37
Şekil 3.15. Titreşim ölçüm cihaz aparatının görüntüsü	37
Şekil 3.16. Deney düzeneği	38

Şekil 3.17. Deney düzeneğinin tüm bileşenleri ile gösterimi	38
Şekil 3.18. Jüt Fiber takviyeli kompozit melzemenin işlenmesi	39
Şekil 3.19. Jüt Fiber takviyeli kompozit melzemenin işlenmesi	39
Şekil 4.1. JFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	42
Şekil 4.2. JFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	43
Şekil 4.3. JFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	43
Şekil 4.4. JFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	44
Şekil 4.5. JFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	44
Şekil 4.6. JFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	45
Şekil 4.7. KFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	45
Şekil 4.8. KFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	46
Şekil 4.9. KFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	46
Şekil 4.10. KFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	47
Şekil 4.11. KFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	47
Şekil 4.12. KFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	48
Şekil 4.13. 0,015 mm/dev ilerleme ve 5000 dev/dak dönme devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği.....	49
Şekil 4.14. 0,015 mm/dev ilerleme ve TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	49
Şekil 4.15. 5000 dev/dak dönme devri ve TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için ilerleme ve kompozit malzeme cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği	50

Şekil 4.16. JFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği	52
Şekil 4.17. JFTP kompozit malzemenin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği	53
Şekil 4.18. JFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği	54
Şekil 4.19. KFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği	55
Şekil 4.20. KFTP kompozit malzemenin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği	56
Şekil 4.21. KFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği	57
Şekil 4.22. JFTP kompozitin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri	58
Şekil 4.23. JFTP kompozitin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri	58
Şekil 4.24. JFTP kompozitin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri	59
Şekil 4.25. KFTP kompozitin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri	59
Şekil 4.26. KFTP kompozitin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri	59
Şekil 4.27. KFTP kompozitin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri	59
Şekil 4.28. JFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	60
Şekil 4.29. JFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	60
Şekil 4.30. JFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	61
Şekil 4.31. JFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	61
Şekil 4.32. JFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	62

Şekil 4.33. JFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	62
Şekil 4.34. KFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	63
Şekil 4.35. KFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	63
Şekil 4.36. KFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	64
Şekil 4.37. KFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	64
Şekil 4.38. KFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	65
Şekil 4.39. KFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	65
Şekil 4.40. 0,015 mm/dev ilerleme ve 2500 dev/dak dönem devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği	66
Şekil 4.41. 0,015 ilerleme ve WC parmak freze çakısı için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği	66
Şekil 4.42. 7500 dev/dak dönme devri ve WC parmak freze çakısı için ilerleme ve kompozit malzeme cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği.....	67
Şekil 4.43. JFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	69
Şekil 4.44. JFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	69
Şekil 4.45. JFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	70
Şekil 4.46. JFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	70
Şekil 4.47. JFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	71
Şekil 4.48. JFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	71
Şekil 4.49. Frezeleme parametrelerinin JFTP kompozitin yüzey pürüzlülük üzerine etkisi	72

Şekil 4.50. KFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	73
Şekil 4.51. KFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	73
Şekil 4.52. KFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	74
Şekil 4.53. KFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	74
Şekil 4.54. KFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	75
Şekil 4.55. KFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	75
Şekil 4.56. Frezeleme parametrelerinin KFTP kompozitin yüzey pürüzlülük üzerine etkisi	76
Şekil 4.57. 0,015 mm/dev ilerleme ve 5000 dev/dak dönem devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği.....	76
Şekil 4.58. 0,015 ilerleme ve WC parmak freze çakısı için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	77
Şekil 4.59. 5000 dev/dak dönme devri ve WC parmak freze çakısı için ilerleme ve kompozit malzeme cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	77

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1.1. Doğal lifler ve sınıflandırılması (Udhayasankar ve ark., 2015; Kılıçkap, 2018).....	10
Tablo 3.1. Parmak freze takımlarının boyutları	31
Tablo 3.2. Deney parametreleri.....	33
Tablo 3.3. Frezeleme deneyindeki G kodları	33
Tablo 4.1. JFTP kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesinden elde edilen sonuçlar	40
Tablo 4.2. KFTP kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesinden elde edilen sonuçlar	41
Tablo 4.3. JFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri	52
Tablo 4.4. JFTP kompozit malzemenin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri	53
Tablo 4.5. JFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri	54
Tablo 4.6. KFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri	55
Tablo 4.7. KFTP kompozit malzemenin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri	56
Tablo 4.8. KFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Talaş Derinliği (mm)
As	: Talaş Kesit alanı (mm ²)
b	: Talaş Genişliği (mm)
B	: İşlenen Yüzeyin Genişliği (mm)
D	: Freze Çakısı Çapı (mm)
F_d	: Deformasyon Faktörü
F_n	: Normal Kuvvet (N)
F_r	: Radyal Kuvvet (N)
F_s	: Kesme Kuvveti (N)
F_{sz}	: Bir Diş Karşılık Gelen Kesme Kuvveti (N)
F_t	: Teğetsel Kuvvet (N)
F_v	: İlerleme Kuvveti (N)
F_x	: X Yönündeki Kuvvet (N)
F_y	: Y Yönündeki Kuvvet (N)
F_z	: Z Yönündeki Kuvvet (N)
k	: Yaklaşma Açısı (°)
ks	: Özgül Kesme Kuvveti (N/mm ²)
n	: Dönme Devri (mm/dev)
S	: Devir Başına İlerleme (mm/dev)
t	: Talaş kalınlığı (mm)
S_z	: Diş Başına İlerleme (mm/diş)
U	: Dakikadaki İlerleme (mm/dak)
V	: Kesme Hızı (m/dak)
W	: Frezelenen Kanalin Nominal Genişliği (mm)
W_{maks}	: Frezelenen Kanalda Hasara Uğramış Maksimum Kesit (mm)
α	: Boşluk Açısı (°)
β	: Kama Açısı (°)
γ	: Talaş Açısı (°)

Kısaltmalar

DFT	: Doğal Fiber Takviyeli
HSS	: Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)
JFTP	: Jüt Fiber Takviyeli Plastik
KFTP	: Keten Fiber Takviyeli Plastik
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
WC	: Sert Karbür, Tungsten Karbür

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan doğal hayatı koruma ve sürekliliğini sağlama bilinci, yenilenebilir doğal fiber takviyeli (DFT) kompozit malzemelere ve bunların çeşitli alanlardaki uygulamalarına ilgiyi oldukça arttırmıştır. DFT kompozitler ekonomik ve ekolojik faydalarının yanı sıra düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanım, yüksek kırılma dayanımları, tokluk, sertlik, korozyon dirençleri gibi mekanik özelliklere düşük ağırlıklarıyla ulaşmaları sayesinde akademi ve sanayinin ilgisini çekmektedir. Bu avantajlı özelliklerinden dolayı uzay, havacılık, otomotiv, denizcilik, robot, spor endüstrisi, nükleer endüstrisi ve kimya sanayi gibi farklı mühendislik alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

DFT kompozitler, geniş kullanım alanlarına ve üstün mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen üretilmesinde zorluklar mevcuttur. DFT kompozit malzemeler; elle yatırma, püskürtme, reçine transfer, basınç altında kalıplama, vakum altında kalıplama gibi yöntemler kullanılarak üretilmektedirler (Barreto ve ark., 2011, Andersons ve Joffe, 2011). Ancak doğal fiberlerin ıslanabilirlik ve yapışma özelliklerinin kötü olması, mekanik özelliklerini nispeten düşürür (Santulli ve ark., 2013). Bu nedenle doğal fiberlerin üretim ve kullanım aşamasındaki yüzey etkinliğinin artırılması ile ilgili çalışmalar literatürde geniş bir yer tutmaktadır. Doğal fiber takviyeli kompozit malzeme üretiminde ara yüzey etkinliğini arttırmak için; alkali işlem, silan, isosiyanat ve titanat esaslı bağlayıcılar ile işlemler yaygın olarak kullanılmaktadır (Li ve ark., 2007). Alkali işlem, takviye liflerini genellikle çeşitli konsantrasyonlarda sodyum hidroksit (NaOH) ile farklı sıcaklık veya sürede muamele işlemidir (Joshi ve ark., 2004). Seki (2009), yaptığı çalışmada %5 oranındaki NaOH ile işlem yapılan jüt takviyeli epoksi ve polyester kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin arttığını belirtmiştir. Jüt dokuma ve polyester arasındaki yapışmayı arttırmak için %0,1; %0,3 ve %0,5 oranlarında silan bağlayıcısının kullanıldığı bir diğer çalışmada, DFT kompozitin eğilme ve ara yüzey kayma mukavemeti araştırılmıştır (Sever ve ark., 2010). Seki ve ark. (2011) yaptıkları bir başka çalışmada, jüt lifine uygulanan düşük frekans ve radyo frekans oksijen plazmanın jüt lifi takviyeli polyester kompozitin ara yüzey etkileşimini geliştirerek tabakalar arası kayma gerilmesini sırasıyla %72 ve %129 oranında arttırdığını göstermişlerdir. Bulut ve Erdoğan (2011) yaptıkları derleme çalışmada, doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde selüloz esaslı doğal liflerin içyapılarını, mekanik ve fiziksel özelliklerini ve kompozit üretiminde ara yüzey etkinliğini arttırmak için kullanılan başlıca iyileştirme yöntemlerini

ayrıntılı olarak incelenmişlerdir. Karabulut ve Aktaş (2014), dokuma jüt kumaşların %0, %5, %10, %15 oranlarında NaOH ile yüzey modifikasyonu sonrası polyester reçine ile tabakalı kompozit üreterek mekanik özelliklerini deneysel olarak belirlemişlerdir. NaOH oranı arttıkça dokuma tipi jüt/polyester kompozit numunelerin ağırlıkça fiber hacim oranının %46'dan (%0 NaOH) %40'a (%15 NaOH) düştüğünü gözlemlemişlerdir. Ara yüzey etkinliğini iyileştirme ile ilgili olarak yapılan literatür araştırması ışığında, jüt ara yüzey iyileştirmeleri için; özellik, maliyet ve bulunabilirlik açısından NaOH ile çalışmanın uygun olduğu kanısına varılmıştır (Karabulut ve Aktaş, 2014, Van de Weyenberg, 2006).

Farklı üretim ve kullanım aşamasından geçirilerek yüzey etkinliği arttırılan ve dolayısıyla mekanik özellikleri geliştirilen DFT kompozitler, endüstriyel uygulamalarda nihai forma yakın şekilde üretilmelerine rağmen; boyut toleransı, yüzey kalitesi ve diğer fonksiyonel özellikleri karşılamaları için frezeleme, tornalama ve delme gibi ikinci bir işleme de tabii tutulmalıdır. Çelik ve ark. (2019), farklı oryantasyon açılara sahip jüt takviyeli polimer matrisli kompozitlerin frezelenmesinde; oryantasyon açısı, kesme hızı, ilerleme ve freze çakısı ağız sayısının kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkilerini incelemişlerdir. İlerlemenin artmasıyla kesme kuvvetinin, yüzey pürüzlülük değerinin ve deformasyon faktörünün arttığını, kesme hızı ve freze çakısı ağız sayısının artmasıyla kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ancak deformasyon faktörünün arttığını belirtmişlerdir. En düşük kesme kuvvetini $\pm 45^\circ$ oryantasyon açısına sahip kompozitten ve en düşük yüzey pürüzlülük değerini ve deformasyon faktörünü $0/90^\circ$ oryantasyon açısına sahip kompozitten elde edildiğini vurgulamışlardır. Yapılan çalışmada da görüldüğü gibi fiber takviyeli kompozitlerin nihai forma getirilmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyonun işlem parametrelerinden etkilendiği görülmektedir. Bunların optimum değerinde olması için farklı çalışmalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalara kaynak araştırmasında daha geniş yer verilmiştir.

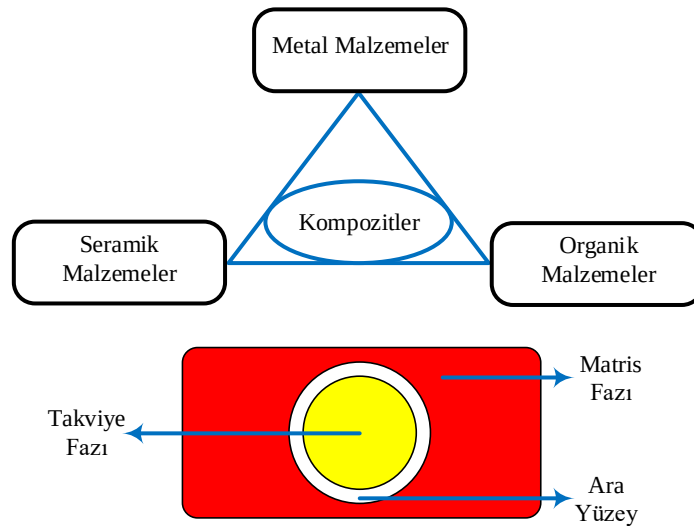
1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde, bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesi ile oluşan malzemelerdir. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler özelliklerini devam ettirmektedirler (Rosato, 1997).

Tarihsel süreç içerisinde, binlerce yıl önce kompozit malzemelerden faydalandığı bilinmektedir. Saman takviyeli kerpiç bloklar kullanılarak yapılan evler buna en iyi örnektir. Günümüzde ise geleneksel malzemelerin yetersiz olduğu veya özelliklerinin geliştirilmesi gerekliliği durumunda özel malzeme olarak kullanılmaktadır. Özellikle Amerika’da 1930’lu yıllarda cam elyafın bulunması ile modern kompozitin üretimi başlamış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarında yerini almıştır. Kompozit malzemeler malzeme bilimi açısından değerlendirildiğinde nispeten yeni ve ileri teknoloji malzemeler olarak değerlendirilebilir. Kompozit malzemenin en önemli özelliği mikro düzeyde homojen olmasıdır.

1.1.1. Kompozit malzemelerin yapısı

Genel itibariyle malzemeler; metal, seramik ve organik malzemeler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu üç sınıf malzemenin kendilerine göre bazı üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, bu malzemelerden iki veya daha fazlasının üstün özelliklerini tek bir malzemede toplanması amacıyla makro düzeyde birleştirilerek üretilen kompozit malzemeler; matris fazı, takviye fazı ve ara yüzeyden oluşur. Şekil 1.1’de kompozit malzemelerin oluşum yapısı verilmiştir (Kaya, 2015).



Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin oluşum yapısı

Takviye fazı, matris ana fazı içerisinde dağılmış takviye elemanlardan oluşur. Kompozit malzemelerde yükü taşıyan takviye elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için üstün mekanik özelliklere sahip olması gerekir. Çünkü matris fazına

uygulanan bir kuvvet, ara yüzey bağı vasıtasıyla takviye edici faza iletilir ve dağıtılır. Takviye fazı, bu kuvveti taşıyarak kompozit malzemesinin tahribatını engeller. Bu nedenle takviye elemanı ile matris malzemesinin uygun bir ara yüzey oluşturması için faz uyumunun dikkate alınması gerekir. Takviye elemanı olarak cam, karbon, aramid gibi sentetik fiberler veya jüt, keten, sisal gibi doğal fiberler kullanıldığında, matris malzemesi olarak polimerler tercih edilir. Ancak takviye elemanı olarak bor karbür (B_4C), silisyum karbür (SiC), titanyum karbür (TiC), magnezyum oksit (MgO), alüminyum oksit (Al_2O_3) gibi seramik parçacıklar kullanıldığında ise matris malzemesi olarak alüminyum ve magnezyum gibi metaller tercih edilir (Hahn ve Tsai, 1980; İnternet adresi, 2019).

Matris malzemesi ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağı, genellikle kırılma özelliği sergilerler. Buna rağmen ara yüzey bağı, oluşan herhangi bir kuvveti çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye fazına iletir. Bu bölge malzemenin elastikiyet modülünü etkileyen en önemli bölgedir. Bu yüzden kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde oluşmasına bağlıdır. İstenilen bir şekilde ara yüzey bağı elde edilen kompozit malzemelerin bazı üstün özellikleri temel olarak aşağıdaki gibidir (Qu, 1993).

- ✓ Yüksek mukavemet,
- ✓ Yüksek korozyon dayanımı,
- ✓ Yüksek termal dayanım,
- ✓ Yüksek sertlik,
- ✓ Mükemmel akustik iletkenlik,
- ✓ Düşük ağırlık,
- ✓ Estetik görünüm,
- ✓ Ekonomiklik.

1.1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kısaca açıklandığı üzere, mekanik dayanımını yerine getiren farklı geometrik parçalardan ve bu parçaları bir arada tutan polimer, metal veya seramik malzemelerden oluşur. Yapılarında pek çok malzeme barındıran kompozit malzemelerin sınıflandırılması çok değişik şekillerde yapılabilir. Fakat en yaygın sınıflandırma şekli, yapısında bulunan matris ve takviye malzemeye göre yapılmaktadır (İnternet adresi, 2019).

1.1.2.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler

Matris malzemeler, kompozit malzemenin kullanım amacına ve üretim tekniğine göre metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir.

Metall matrisli kompozit malzemeler; ana malzemeleri çeşitli metal ve metal alaşımı olan kompozitlerdir. Bu kompozitlerde metal esaslı yapı içine gömülen ikinci faz (takviye), değişik geometrik şekilde olabilir. Metall esaslı malzemeler, takviye edildikleri malzemelere göre üstün özelliklere sahiptir. Seramiklerin yüksek elastiklik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri bir araya getirilerek aşınmaya dayanıklı ve gerilme mukavemeti yüksek malzemeler elde edilebilir.

Seramik matrisli kompozit malzemeler; yüksek elastiklik modülüne sahip, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları (1,5 - 3,0 gr/cm³) için oldukça kullanışlıdır. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi yalıtkan özellik sergilerler. Bu kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan olduklarından çok düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler. Ayrıca termal şoklara karşı dayanıklı oldukları söylenemez. Bu nedenle çoğunlukla liflerle takviye edilirler.

Polimer matrisli kompozit malzemeler; çoğunlukla petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir (Vasiliev ve Morozov, 2001). Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır. **Termoset matrisler;** lif takviyeli kompozit yapımında daha fazla kullanılır ve sıvı halde bulunurlar, katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılaşır. Termoset reçineler izotropiktirler. Lif takviyeli kompozit yapımında genellikle düşük viskozitede olmaları tercih edilir. Poliamidler, plastikler arasında olan, şekil verilebilen, ısı direnci en yüksek polimerlerdir (Itoh ve ark., 2002). **Termoplastik matrisler;** genellikle sünek ve ısı ile eritilebilir, soğutma ile katılaştırılırlar. Bu da onlara tekrar şekil verdirilebilme kabiliyeti sağlar. Termoplastikler amorf veya yarı kristalin yapıda olabilirler. Amorf yapı, termoplastiklerde moleküllerin geliş güzel düzenlenmiş bir formda olması demektir. Kristalin yapı ise moleküllerin sıkı paketlenmiş düzenli bir formda olmasıdır (Kaya, 2015).

1.1.2.2. Takviye elemanına göre kompozit Malzemeler

Matris malzemesine göre yapılan sınıflandırmadan sonra en yaygın sınıflandırma takviye elemanına göre yapılmaktadır. Kompoziti oluşturan takviye elemanına göre kompozitler dört ana gruba ayrılır. Bunlar;

- ✓ Elyaf takviyeli kompozitler,
- ✓ Parçacık takviyeli kompozitler,
- ✓ Tabakalı kompozitler,
- ✓ Karma kompozitlerdir.

Elyaf takviyeli kompozitler; kompozit malzemelerin en yaygın türünü teşkil eder. Bu kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam elyaf almıştır. Bunu karbon elyaf takip etmektedir. Elyaf takviyeli kompozitlerdeki takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır.

Parçacık takviyeli kompozitler; takviye malzemesinin cinsi, boyutları ve özellikleri, onun kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar, çoğunlukla kompozitin sertliğini artırmada etkilidir. Ancak dayanımı artırmada fazla bir etki göstermezler. Parçacık takviyeler, her ne kadar yaygın olarak fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için kullanılsa da birçok durumda sadece maliyeti azaltmak için kullanılırlar. Parçacık takviyeli kompozitlerde performansı etkileyen çok farklı faktörler vardır. Bunların içinde, parçacık boyut dağılımları, yüzey enerjileri, hacimsel oranlar, homojen dağılma ve eksen oranı öne çıkanlardır.

Tabakalı kompozitler; kompozit yapıların en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan bir tipidir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme karşı dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilirler.

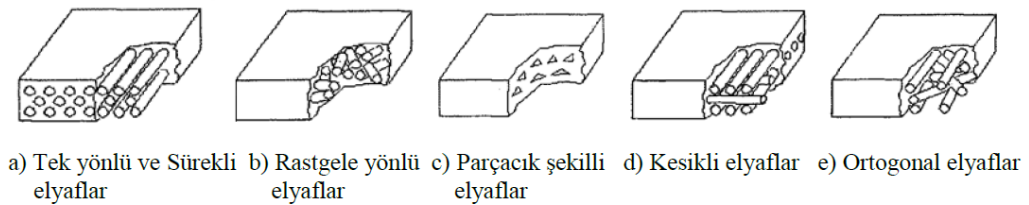
Karma kompozitler; aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunması ile elde edilen kompozitlere denir. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler de denilmektedir. Bu alan özellikle birden fazla takviye elemanının farklı özelliklerinden yararlanma amacıyla ortaya çıkmıştır. Örneğin, aramidin maliyeti kısmen düşük ancak basma mukavemeti kötüdür. Grafit ise; düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyaftır. Bu iki elyaf kullanılarak tasarlanan hibrid

kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de aramid elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır (Vasiliev ve Morozov, 2001; İnternet adresi, 2019).

1.1.3. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler; yumuşak ve sünek matris içerisine dayanıklı, sert ve elastikliği yüksek elyaflar takviye edildiğinde yorulma dayanımı, çekme dayanımı ve özgül dayanım iyileştirilmiş olur. Matris malzemesi, kuvveti elyaflara ileterek tokluk ve yumuşaklık niteliği sağlarken, elyaf uygulanan yükün birçoğunu kendisiyle taşımaktadır.

Elyaf takviyeli kompozitlerde çoğu zaman farklı takviye elemanlarından da yararlanılmaktadır. Elyaflar; sürekli (uzun), kesikli (kısa), tek yönlü, çok yönlü veya örgü biçiminde bulunabildiği gibi tabakalar şeklinde, yönlü elyaflar halinde de bulunabilirler. Sürekli elyaflar yönlendirilme nitelikleri gereği diğer takviye elemanlarına istinaden daha üstün niteliklere sahip yapıdadırlar. Farklı elyaf şekilli kompozitlere ait görüntü Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Elyaflar, matris içerisine tek yönlü ve sürekli, rastgele düzlemsel yönlendirilmiş, parçacık şekilli, kesikli ve ortogonal elyaflar şeklinde takviye edilebilirler (Şahin, 2006).



Şekil 1.2. Farklı şekilli elyaf takviyeli kompozitler (Şahin, 2006)

1.1.3.1. Kompozit malzemelerde kullanılan elyaflar ve özellikleri

Matris malzemesi içinde bulunan elyaf malzemeler, diğer takviye malzemelerine göre çok daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Örneğin düşük yoğunluklarıyla beraber sertliğe ve yüksek elastiklik modülüne sahip olan elyaflar, kimyasal korozyona da dayanıklıdırlar. Elyaflar, farklı formlarda olabilirler (Şekil 1.2). Günümüzde, en yaygın kullanılan elyaf, sürekli elyaftır. Bu elyaflar nitelikçe modern kompozitlerin oluşumunda önemli bir yere sahiptirler. Sürekli elyaflardan olan cam elyaflar, kullanılan en eski

takviye elemanlarıdır. Son zamanlarda geliştirilen karbon, bor ve aramid elyaflar da yaygın kullanılmaktadır. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri, büyük kütsel türlele oranla yapısal hata potansiyelini en aza düşürmüştür. Bunun dışında, üstün mikro yapısal nitelikler taşımaları, tane boyutlarının ufak oluşu, boy/çap oranının artmasıyla matris malzeme yönünden elyaflara aktarılan yük potansiyelinin artması, elastisite modülünün yüksek olması elyaf takviyelerinin kompozit malzemelerde kullanılmasını ve üstün performanslı mühendislik malzemesi olarak tanımlanmasını sağlamıştır (Vatangül, 2008).

1.1.3.2. Cam elyaflar

Cam elyaflar, basit bir cam şişeden yüksek saflıktaki kuartz camına kadar birçok türdeki camın imalatı ile gerçekleştirilmektedir. Cam, amorf bir malzemedir. Bir silisyum atomu ve dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Ayrıca üç boyutlu moleküler yapıya sahiptir. Hafif bir malzeme olan ve metalik olmayan silisyum, doğada çoğu zaman oksijenle beraber silisyum dioksit (SiO_2) şeklinde bulunmaktadır. Cam üretimi için silis kumu, ilave malzemeleriyle beraber kuru halde bulunurken yaklaşık 1260 °C'ye kadar ısıtılır ve soğutmaya bırakıldığında yapısı sertleşerek meydana gelmiş olur. Cam elyafların birkaç özelliği aşağıda yazıldığı gibi sıralanabilir:

- ✓ Yüksek çekme mukavemetlerine sahiptirler, mukavemeti birim ağırlık başına çeliğe göre yüksektir.
- ✓ Düşük ısı dirence sahiptirler. Yanıcı değildirler, fakat aşırı sıcaklıkta yumuşarlar.
- ✓ Kimyasal malzemelere karşı direnç gösterirler.
- ✓ Nem emme nitelikleri yoktur, fakat cam elyaflı kompozit malzemelerde matris ve cam elyaf arasında nemin tesiriyle çözülme meydana gelebilir. Özel elyaf kaplama sistemleriyle bu etken ortadan kaldırılabilir.
- ✓ Elektriği iletme özellikleri yoktur. Bu özelliğinden ötürü elektriksel yalıtımın önem kazandığı yerlerde cam elyaflı kompozitlerin tercih edilmesi ve kullanılması da artmaktadır (Vatangül, 2008).

Cam elyaf üretiminde silis kumuna farklı katkı ürünleri ilave edildiğinde oluşan yapı, malzemelerin tesiri ile farklı niteliklere sahip olur. Dört çeşit türde cam elyaf bulunmaktadır. Bunlar; A camı, C camı, E camı ve S camıdır. **A camı**; yüksek ölçüde içinde alkali bulunduran bir camdır. Bu sebeple elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür,

ancak bu cam türünün kimyasal direnci yüksektir. **C camı;** kimyasal çözeltilere direnci oldukça yüksektir. Bu bağlamda korozyona dayanıklıdır. **E camı;** düşük alkali oranı sebebiyle elektriksel yalıtkanlığı başka cam türlerine istinaden çok iyi konumdadır. Çok yüksek mukavemete sahiptir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli alanlar için geliştirilen kompozitlerde özellikle elektriksel yalıtkanlığından dolayı çoğu zaman E camı kullanılır. **S camı;** yüksek mukavemete sahip bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Bunun dışında yüksek sıcaklıklarda çok iyi yorulma direncine sahiptirler. Bu nitelikleri sebebiyle havacılık ile uzay endüstrisinde tercih edilme sebebidir (Vatangül, 2008).

1.1.3.3. Bor elyaflar

Bor elyaflar, çekirdek olarak isimlendirilen ince bir flâma üzerine bor kaplanarak elde edilirler. Çekirdek çoğunlukla tungstendir. Bor elyaflar yüksek elastiklik modülüne ve çekme mukavemetine sahiptirler. Dayanımlarını 640 °C sıcaklığa kadar muhafaza edebilirler (Vatangül, 2008).

1.1.3.4. Silisyum karbür elyaflar

Üretimleri, silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile oluşmaktadır. 0,1 mm ile 0,14 mm çaplarında üretilmektedirler. Bor elyafların yüksek sıcaklıktaki özelliklerinden daha iyidir. Silisyum karbür elyaf 1370 °C’de mukavemet özelliğinin yalnızca %30’unu kaybeder (Vatangül, 2008).

1.1.3.5. Grafit (Karbon) elyaflar

Grafit elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunlukla birlikte yüksek tokluk ve mukavemet değerleridir. Grafit elyafların, sürtünme mukavemetleri çok yüksektir. Ayrıca nemden etkilenmezler. Yorulma ve aşınma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu sebeple sivil ve askeri uçak yapılarında geniş bir kullanıma sahiptirler. Grafit elyaflar farklı plastik matrislerle ve epoksi reçinelerle tercih edilirler. Bununla birlikte karbon elyaflar magnezyum, alüminyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar (Rouchan, 1987).

1.1.3.6. Aramid elyaflar

Elyafar arasında en yüksek mukavemet oranına sahip olanlardan biri Aramid elyaflardır. Aramidler 1970’li yılların başında piyasaya girmiştir. Kevlar olarak ta bilinmektedir. Polimer matrislerin takviye edilmesinde kullanılmaktadır. Hafif, yüksek mukavemet ve yüksek tokluk en belirgin özellikleridir. Bu üstün özelliklerinden dolayı balistik halatlar, lastikler, contalar, kablolar ve koruyucu elbise uygulamalarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca karbon elyaflarla beraber, kumanda yüzeylerinde hibrid kompozit olarak ta kullanılmaktadırlar. Aramid elyafların elektriksel iletkenliği yoktur (Chawla, 1987; Chang, 2001; Bağatır, 2018).

1.1.4. Doğal Kompozitler

İlk çağlardan beri, insanlar düşük dayanımlı malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için doğada bulunan bitki veya hayvan liflerini bu malzemelerin içerisine katmışlardır. Bunun en iyi örneği kerpiçlerdir. Günümüzde kullanılan liflerin %65’i bitkisel ve hayvansal, %34’ü ise kimyasal kökenlidir.

Tablo 1.1. Doğal lifler ve sınıflandırılması (Udhayasankar ve ark., 2015; Kılıçkap, 2018)



Doğal malzemeler, düşük dayanımlarından dolayı çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Ancak, son zamanlarda çevresel bilincin gelişmesi, ekonomik faktörler ve üretimdeki düşük enerji talebi nedeniyle kompozit malzemelerin kullanımında ön plana çıkmıştır. Doğal kompozitlerde kullanılan takviye elemanları bitkisel, hayvansal ve mineral temelli olarak sınıflandırılabilir. Tablo 1.1’de doğal liflerin sınıflandırılması, Şekil 1.3’te doğal kompozitlerde kullanılan bitki türleri verilmiştir (Kılıçkap, 2018).



Şekil 1.3. Elyaf bitki türleri (Udhayasankar ve ark., 2015; Ramesh ve ark., 2017)

Elyaf bitki türleri; kompozit malzemelerin nem emme, morfolojik yapı, parçalanabilirlik, yoğunluk gibi fiziksel özellikler, çekme, basma, eğilme, darbe ve yorulma gibi mekanik özellikler, termal iletkenlik ve özgül ısı kapasitesi gibi termal özellikler, korozyona ve asitlere karşı dayanıklılık gibi kimyasal özellikler, kolay işlenebilme, şekillendirilebilirlik gibi üretimsel özellikler ve elektriksel yalıtım, biyolojik olarak bozulabilme, ekonomiklik gibi diğer özellikler üzerinde büyük önem taşımaktadır. Ancak endüstride kullanılan malzemelerin seçiminde, malzemeye ait bu özelliklerin bir biri ile uyum içerisinde olması istenmektedir. Örneğin uyum içerisinde istenen özellikler; young modülü/yoğunluk, güç/maliyet, çekme mukavemeti/uzama, mukavemet/maksimum

çalışma sıcaklığı, yoğunluk/doğal frekans ve rijitlik/ölgül mukavemet ilişkileridir (Messiry, 2017).

Son yıllarda sürdürülebilir malzemelerin geliştirilmesi için artan gereksinimler, doğal kompozitlerde keten, kenevir, abaka, jüt, rami, sisal ve kenaf gibi elyafların kullanımını arttırmıştır.

Keten; *Linum Usitatissimum* liflerine aittir. Dünyadaki en eski lif ürünlerinden biridir. Ilıman bölgelerde yetişir. En çok katma değeri, yüksek tekstil pazarlarında kullanılmasıdır. Ayrıca günümüzde kompozit alanında yaygın olarak kullanılan doğal bir elyaf tipidir. Doğal olduğu için maliyeti düşüktür, ancak cam elyafla karşılaştırılabilir mekanik özelliklere sahiptir.

Kenevir; *Cannabaceae* familyasına mensup olup keten gibi ılıman bölgelerde yetişir. Yıllık olarak yetişen odunumsu bir bitkidir. Şu anda tarıma yönelik alanlarda Avrupa Birliği desteği kapsamındadır.

Abaka; *Musaceae* familyasındandır. Ömrü 8 ile 20 yıl arasında değişir. Tropikal bir bitki türü olup Filipinler ve Ekvator'da yetişir. Üretiminin %96'lık gibi büyük bir kısmı bu ülkeler karşılamaktadır.

Jüt; *Corchorus* familyasından olup yaklaşık 100 çeşidi mevcuttur. Doğal liflerin en ucuz olan bitkilerinden biridir. Buna ilaveten en yüksek üretim hacmine sahiptir. Çin, Hindistan ve Bangladeş'te yaygın olarak yetiştirilmektedir.

Rami; *Urticaceae* (*Boehmeria*) familyasına aittir. Jüt gibi 100 çeşidi olan bir bitkidir. Genellikle sıcak ve orta kuşak iklim bölgelerinde yetişmektedir. Genel olarak Kore, Tayland, Filipinler ve Çin gibi ülkelerde yetiştirilmektedir.

Sisal; *Agave Sisalana* familyasındandır. Bu bitkinin ancak 7 ile 8 yıllık bir süre zarfından sonra elyaflarından yararlanılmaktadır. Yapraklardan çürütme yöntemiyle elyaflar elde edilir. Bu bitkiden 15-20 yıl boyunca elyaf alınabilir. Brezilya ve Doğu Afrika'da ticari olarak üretilmektedir.

Kenaf; *Hibiscus Cannabinus* familyasındandır. Kenevir gibi yıllık olarak üretilir. Jüt ve Rami bitkisinin yaklaşık 3 katı kadar türü vardır. Kenaf bitkisi, ABD'de kompozit üretiminde iyi bir hammadde olarak gösterilmektedir. Tayland, Hindistan, Afrika, Bangladeş, Avrupa'nın güneyi ve Amerika'nın ılıman iklim bölgelerinde yetişir. Yaklaşık 5 ayda maksimum 3,5 m boyuna ulaşabilmektedir. Kenaf bitkisinden kâğıt ta üretilmektedir (Yan ve ark., 2014; Hodzic ve Shanks, 2014; Kılıçkap, 2018).

1.2. Talaş Kaldırma İşlemi

1.2.1 Talaş kaldırma işleminin mekaniği

Talaşlı imalat, iş parçası yüzeyinden kesici takımlar yardımıyla talaş kaldırılarak yapılan bir şekillendirme işlemidir. Kaldırılan talaş, kesme bölgesinde kontrol edilebilmektedir. Talaş oluşumunun kontrolü, operasyonun özelliğine göre öncelik arz edebilir. Genel olarak talaşlı imalatın amacı malzemeyi belirli bir şekil ve boyuta getirmekse olsa bile, verimli bir talaşlı imalat için işlemlerin uygun talaş oluşumunu sağlayacak şekilde yapılması gerekir. Bunun için talaşın uygun bir formda çıkarılması, gerekirse talaşın talaş kırma mekanizmaları ile kırılması sağlanmalıdır. Talaş kırma işleminin nedeni, sadece işlem sırasında oluşacak talaşın depolama kolaylığı değil, aynı zamanda kesme bölgesinden uzaklaşan talaşın temasta bulunacağı takım veya iş parçasına verebileceği zararları engellemek ve oluşan ısının büyük bir bölümünün talaşla ortamdan uzaklaşmasını sağlamaktır (Neşeli, 2006).

Talaşlı imalat işlemlerinde yapılan işlem ve kaldırılan talaş hacmi ne olursa olsun, kontrollü bir talaş oluşumu daima istenen bir şarttır. Talaş kaldırma işleminin anlaşılabilmesi, değişik tipteki malzemelerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışlarının anlaşılmasına bağlıdır. Bu işlemin bir kısmı, talaş kaldırma işleminin kalitesini etkileyen deformasyon, sıcaklık ve kuvvetlerin belirlenmesi işlemidir. Sıcaklık, talaş kaldırma işlemini doğrudan etkiler. Sıcaklık yeterince yüksek olursa, takım malzemesi üzerinde negatif etki sergiler. Bu negatif etki takımın hızlı aşınmasına ve dolayısıyla kesme kuvvetlerinin artmasına neden olur. Artan kesme kuvveti güç ve momenti doğrudan etkilerler. Kesme kenarlarının tasarımı, belirli işleme şartları altında tutulmasını gerektirir.

Kesici takım geometrisinin tasarımı sırasında, gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin, takım ömrü ve uç mukavemeti üzerindeki etkileri oldukça önemlidir. Bir kesici kenar ile bir malzemeden talaş kaldırma sırasında, kesici takım iş parçası malzemesinin bir bölümünü plastik olarak deforme eder ve talaşı keser. Talaş olarak ayrılacak malzeme tabakası üzerindeki gerilmeler, bu tabaka kesici kenara yaklaştıkça artar. Bu artan gerilmeler malzemenin akma sınırına ulaştığı anda metal içerisinde elastik ve plastik deformasyonlar meydana getirir.

Talaş kaldırma işlemi için gerekli enerjinin büyük bir kısmı kayma düzlemi civarında harcanır. Oluşan talaşın takım yüzeyi boyunca akışını sağlamak amacıyla kesici

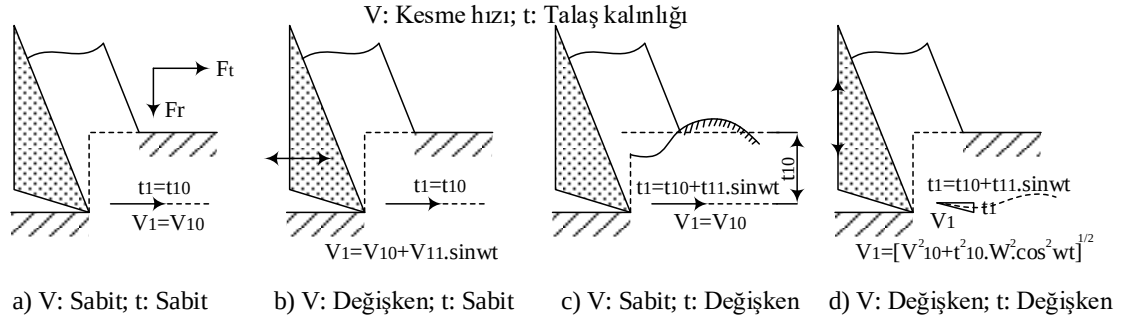
kenar iş parçasına doğru bastırılır ve bunun sonucunda kayma meydana gelir. Malzemenin kayma düzlemi boyunca olan plastik davranışı, talaşın ve talaş kaldırılan yüzeyin şekil değiştirme (deformasyon) sertleşmesi üzerine etkide bulunur. Deformasyon sertleşmesi kesme kuvvetini artırır, kayma açısını azaltarak daha kalın bir talaşın, kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde akmasına neden olur. Deformasyon miktarı takımın talaş açısının büyüklüğüne bağlıdır (Neşeli, 2006).

Kayma düzlemi iş parçasından kaldırılacak malzemenin talaşa dönüştüğü düzlemdir. Ancak bu düzlemde ortaya çıkan kayma gerilmesinin takım yüzeyi boyunca etkilerinin analiz edilmesi gerekir. Talaş kaldırma sırasında takım/talaş ara yüzeyinde bir etkileşim mevcuttur. Talaş oluşumu, temas uzunluğu üzerine etkide bulunan kayma açısından etkilenir. Talaşın temas uzunluğu boyunca takım yüzeyindeki hareketinin niteliği, talaş kaldırma işleminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktördür. Kayma açısının, bu anlamda, talaş ile takım yüzeyi arasındaki temas uzunluğu üzerine bazı etkileri mevcuttur. Bu bölgede kuvvetler ve sıcaklıklar takımı önemli ölçüde etkiler. Kayma açısı küçük ise kayma kuvveti büyüktür. Büyük talaş açısı talaşın daha büyük bir yarıçap etrafında daha az kıvrılması ve daha düşük kuvvetlerin oluşması demektir. Birçok talaş kaldırma işleminde kesme yönünün esas kesme kenarına dik olmayıp belirli bir açı yaptığı eğik kesme söz konusudur ki bu durum takım geometrisini ve talaş akış yönünü değiştirir.

Talaş açısının, temas uzunluğu üzerine etkisi söz konusudur. Temas uzunluğu, büyüyen talaş açısıyla azalır, daha büyük pozitif talaş açısı daha küçük temas uzunluğu demektir. Talaş oluşumu deforme olmamış talaş kalınlığına, ilerlemeye, kesme hızına, talaş açısına ve iş parçasının mukavemetine bağlıdır. Talaş oluşumu, talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkan eğilme kuvveti etkisiyle meydana gelir (Neşeli, 2006).

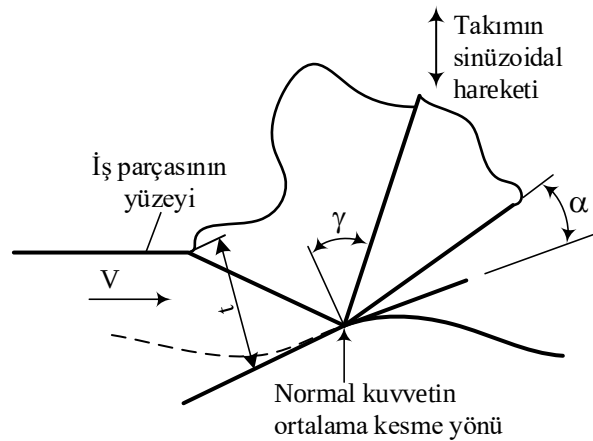
1.2.2. Talaş kaldırma işleminin dinamiği

Takım tezgâhları, fonksiyonları gereği dinamik yüklerin birçok çeşidine aynı anda maruzdurlar. Bu yüklemeler karşısında takım tezgâhlarının gösterdiği davranış biçimleri, takım tezgâhlarının dinamik davranışlarını belirlerler. Tezgâhlarda her konumda bir dinamik davranış olacağı için, tezgâhların tasarımı yapılırken o tezgâhın en kritik dinamik davranışının etkilerinin incelenmesi gerekir. Metal kesme işleminin dinamiğini anlamak için Şekil 1.4'teki kesme hızı ve talaş kalınlığına bağlı dört durumu incelemek gerekir.



Şekil 1.4. Metal kesme işleminde talaş kalınlığı ve kesme hızının değişme durumu (Neşeli, 2006)

Şekil 1.4'te; kesme hızı ve talaş kalınlığının sabit olması, talaş kaldırmanın kararlı olduğunu gösterir. Talaş kalınlığı sabit olduğu halde, kesme hızının değişken olduğu durumda, takım kesme doğrultusunda titreşmektedir. Bu durumların herhangi birinde tırlama titreşimi oluşabilir. Başka bir deyişle, bu durumlar kesme işleminde tırlama titreşimi şartları altında ortaya çıkan gerçek durum bileşenleridir. Tırlama titreşimi bunların birinin veya birkaçının bileşkesi olarak ortaya çıkabilir. Tırlama titreşimi üzerinde en etkili durumun kesme hızı ve talaş kalınlığının değişken olmasıdır. Talaş kalınlığının ani değerini etkileyen bir harekette takımın radyal kuvvet (F_r) doğrultusunda izafi takım ve iş parçası deplasmanına sebebiyet verecektir. Şekil 1.5'te dalga durumu esnasında sinüzoidal olarak titreşen takımın izleyeceği yol görülmektedir. Talaşlı imalat esnasında t ve V 'nin değişken olması, efektif talaş açısı (γ) ve efektif boşluk açısını (α) sürekli değiştirmektedir (Neşeli, 2006).



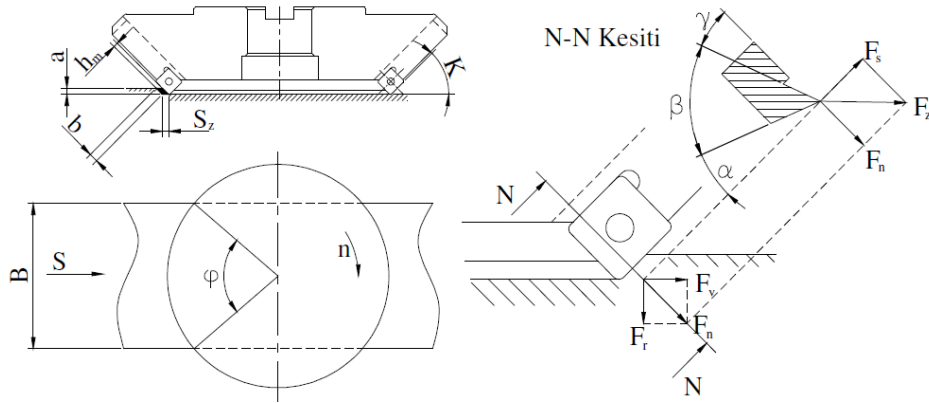
Şekil 1.5. Metal kesme işleminde dalga oluşumu (Neşeli, 2006)

1.2.3. Alın frezeleme işleminde talaş kaldırma işlemi

Alın frezelemede takım eksenine islenen yüzeye diktir. Kesme esasen dişlerin yan kenarı ile gerçekleşir (Şekil 1.6). Bu bakımdan frezenin yaklaşma açısı (k) talaş kaldırma

olayını önemli ölçüde etkiler. $k=90^\circ$ ve $k<90^\circ$ frezeler vardır; pratikte daha çok $k<90^\circ$ ($k=45^\circ \dots 60^\circ$) olan frezeler kullanılır. Frezenin önemli olan boyutu çapıdır (d).

Frezenin konumu işlenen yüzeyin genişliğine (B) göre simetrik veya asimetrik olabilir. Simetrik frezelemede frezenin yatay eksenini, işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakıştırır. Asimetrik frezelemede bu iki çizgi çakışmaz. Simetrik frezelemede $B=d$ olduğu durumda işlem tam kavrama, $B<d$ olduğu durumda kısmi kavrama şeklinde olur. Freze ile parça arasında iyi bir kavrama sağlamak amacıyla genellikle $B<d$ olan kısmi kavramalı frezeleme tercih edilir. Bu bakımdan frezenin çapı d : kısa talaşlı, örneğin dökme demir gibi malzemeler için $d=1,4.B$; uzun talaşlı, örneğin çelik gibi malzemeler için $d=1,6.B$ alınır (Sarı, 2008).



Şekil 1.6. Alın frezelemede açılar ve kesme kuvvetleri (Sarı, 2008)

1.2.3.1. Frezeleme işleminde kesme hızı ve ilerleme

Frezeleme, prensip olarak kendi eksenini etrafında dönen bir freze çakısının doğrusal hareket ederek iş parçası yüzeyinden talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme işleminde önemli olan kesme parametreleri; kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğidir. Talaş derinliği (a); işleme kalitesine, malzeme ve kesici takımın özelliklerine göre belirlenir. Ancak kesme hızı ve ilerleme sayısal veriler doğrultusunda hesaplanarak belirlenir. Kesme hızının hesabında denklem 1.1 kullanılır. İlerleme hesabında ise denklem 1.2, 1.3 ve 1.4 kullanılır.

$$V = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000 \quad (1.1)$$

$$S = S_z \cdot Z \quad (1.2)$$

$$U = S \cdot n \quad (1.3)$$

$$U = S_z \cdot Z \quad (1.4)$$

Denklemlerde; V: kesme hızı (m/dak), d: freze çakısı çapı (mm), n: freze çakısının dönme devri (dev/dak), S: devir başına ilerleme (mm/dev), S_z : diş başına ilerleme (mm/diş), Z: diş sayısı ve U: dakikadaki ilerleme (mm/dak) dir.

1.2.3.2. Frezeleme işleminde kesme kuvvetleri

Frezeleme işlemlerinde, kesme kuvveti, normal kuvvet, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvetler bulunmaktadır. Frezeleme işleminde bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti (F_{sz}) denklem 1.5 ile hesaplanır (Sarı, 2008).

$$F_{sz} = A_s \cdot k_s \quad (1.5)$$

Burada; k_s : özgül kesme kuvveti (N/mm²), A_s : talaş kesit alanı (mm) dır. Ortalama kesme kuvveti (F_s) ise denklem 1.6'daki gibi olur.

$$F_s = Z \cdot F_{sz} \quad (1.6)$$

Simetrik frezelemede ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ilerleme kuvveti (F_v) deneylere dayanan denklem 1.7 ve 1.8'deki bağıntılara göre tayin edilebilir (Sarı, 2008).

$$F_v = (0,3 \dots \dots \dots 0,4) \cdot F_s \quad (1.7)$$

$$F_r = (0,85 \dots \dots \dots 0,95) \cdot F_s \quad (1.8)$$

1.2.3.3. Talaş kaldırma işlemine yaklaşma açısının etkisi

Yaklaşma açısı, kesici kenar ile ilerleme yönü arasında kalan açıdır. Bu açı talaşın oluşumunu etkilediği gibi kesme kuvvetlerinin yönünü, kesme işlemine katılan kesici kenar uzunluğunu, kesici kenar ile iş parçası arasındaki temas alanını ve kullanılan takım ile yapılacak talaş kaldırma işlemlerini de etkiler. Yaklaşma açısı 45° ile 90° arasında değişir. Yaklaşma açısı kesici takımın çeşitli yönlerde talaş kaldırmasına izin verecek ve işlemler için gerekli takım sayısını azaltacak şekilde seçilmelidir. Buna ek olarak, kesici takım daha büyük bir uç açısına, dolayısıyla daha güçlü bir uca sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Uygun yaklaşma açısının seçimiyle talaş kalınlığı azaltılarak basıncın daha büyük bir kesici kenar uzunluğu üzerine dağılımı sağlanır. Yaklaşma açısının kesme başlangıcında ve sonunda 19 takımın mukavemeti, kesme esnasında kuvvetlerin etkime yönleri ve talaş akışı üzerinde etkisi vardır (Sarı, 2008).

Yaklaşma açısı, talaş derinliği ve talaş genişliği üzerine etki etmektedir. Bu açının artması ile talaş genişliği azalır, talaş kalınlığı artar. Yaklaşma açısı 90° olduğu zaman

talaş kalınlığı ilerleme miktarına eşit olur. Verilen talaş derinliğinde birim alandaki yük, dik kesmedeki kesici takımla karşılaştırıldığında, meyilli takımların kullanılması ile azalır. Daha büyük yaklaşma açısı da büyük kuvvet oluşturur. Yaklaşma açısının 90° 'den küçük olması halinde ise kesici uç parçaya en zayıf noktası olan uç kısmıyla değil, çok daha güçlü, ilk darbeye çok daha dayanıklı olan ana kesici kenarıyla girer ve ilk temastan itibaren aşırı bir darbeye maruz kalmadan kesme işlemini sürdürür. Uygun bir yaklaşma açısının seçimi halinde özellikle tufallı veya sert kabuklu yüzeylerde kesici kenar sert tabakayı ezmek yerine kesecek, iş parçasına girişte büyük bir avantaj sağlanacaktır. Tufallı veya sert kabuklu, sert tabakanın aşındırıcı özelliğinden dolayı yaklaşma açısının doğru seçilmesi takım ömrü üzerinde olumlu etkide bulunur (Çakır, 1999).

Kesici uç parçadan çıkarken yaklaşma açısı, parçanın son kısmında kalan malzeme tabakası üzerinde, takımın ilerlemesi nedeniyle oluşan basıncı ve kesici kenar üzerindeki basınç değişimini etkiler. Büyük bir yaklaşma açısıyla kesme bölgesinin terk edilmesi durumunda kesici kenar üzerindeki basıncın aniden sıfırlanmasından dolayı ilerleme ve talaş kalınlığında ani bir artış görülecek ve kesici uç öne doğru bir esneme yapacaktır. Bu fazla yük kesici kenarın kırılmasına neden olabilir. 90° 'lik bir yaklaşma açısında talaş derinliği efektif kesici kenar uzunluğuyla aynı uzunluğa sahiptir. Bu durumda talaş kalınlığı ilerlemeye eşittir. 45° 'lik bir açı için, aynı ilerleme ve talaş derinliğinde kesici kenar uzunluğu çok büyük bir artış gösterir (yaklaşık olarak iki kat artar) talaş kalınlığı ise azalır (Çakır, 1999). Yaklaşma açısındaki değişim ilerlemeyi ve bunun sonucunda talaş debisini etkiler ve aynı talaş derinliği ve talaş kalınlığı için daha büyük bir ilerleme değeri elde edilir. Bu durum, genellikle basınç dağılımı ve kesici kenarın daha büyük bir kısmının kullanılması açısından avantajlıdır. Talaş kalınlığı, yaklaşma açısının değeri değiştikçe ilerlemeye bağlı olarak değişir. Yaklaşma açısının seçimi, kesici kenar üzerindeki birim alana gelen basıncı belirlemesi nedeniyle, takım ömrünü etkiler. Talaşın kalınlığı yaklaşma açısı ve kesici kenarın dayanabileceği basınç miktarı ile ilişkilidir. İnce bir talaş, basıncı kesici kenar boyunca dağıtır ve kalın talaşa göre daha düşük güç gerektir (Sarı, 2008).

Bir parçanın işlenmesi için geçen zaman ilerlemenin arttırılması ile ve 90° 'den küçük bir yaklaşma açısı kullanılması ile azaltılabilir. İlerlemedeki artış işleme zamanının azaltılmasını ve kesici kenarın daha iyi kullanımını sağlayacak, takım ömrünü arttıracaktır. Yaklaşma açısının daha küçük seçilmesi daha büyük uç açısına sahip, daha mukavemetli kesici uçların kullanımına imkân verir. Bu durumda kesici kenarın daha

büyük bir kesiti olacaktır. İş parçasına giriş ve çıkışta daha avantajlı olan küçük yaklaşma açıları genellikle mukavemeti arttırmak amacıyla kullanılmalı, büyük yaklaşma açıları ise sadece 90°'lik faturalara doğru olan talaş kaldırma işlemlerinde ve profillere erişiminin zor durumlarda tercih edilmelidir.

Yaklaşma açısı yatay düzlemdeki kesme kuvvetlerinin yönünü de etkiler. Büyük bir yaklaşma açısı büyük bir ilerleme kuvveti ve daha küçük bir radyal kuvvetin ortaya çıkmasına neden olurken daha küçük yaklaşma açısı kuvvetler arasında daha dengeli bir ilişkinin kurulmasını sağlar. Takımın yaklaşma açısı, açı küçüldükçe talaş kalınlığının azalması ve genişliğinin artması nedeniyle, talaş oluşumunu etkiler. Daha küçük yaklaşma açılarında (45°-60°) talaş oluşumu daha yumuşak ve daha düzgündür. Talaşların şekli ve yönü kesici kenarın köşe radyüsüne bağlı olarak değişir. Talaş akış yönünü yaklaşma açısı kadar talaş kalınlığına bağlı olarak köşe radyüsü de etkiler. Küçük talaş kalınlıkları köşe radyüsünden etkilenen, dairesel şekilli talaş kesitlerinin elde edilmesini; büyük talaş derinlikleri ise köşe radyüsünden daha az, yaklaşma açısından daha fazla etkilenen dışa dönük, spiral talaş kesitlerinin elde edilmesini sağlar. İlerleme, talaş kesitinin genişliğini ve talaş akısını etkiler.

Verilen kesme şartlarında takım geometrisindeki değişiklikler, talaş oluşumu üzerinde iki etkiye sahiptir: birincisi, kayma açısı üzerine etki diğeri ise talaş kalınlığı üzerine etkilidir. Bu iki etki birbiriyle ilişkili ve birinin değişimi diğerini etkiler. Pozitif uçlu takımlar daha küçük kama açısının (β) kullanılmasına müsaade eder. Dolayısı ile daha düşük takım kuvvetleri oluşur. Talaş açısı değerindeki artış hem ilerleme hem de kesme kuvvetlerini düşürür. Talaş açısının optimum bir değeri mevcut olup, daha fazla artış kesici ucun dayanımını zayıflatığından aşınmayı artırır (Sarı, 2008).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalat işlemlerinde; yüzey pürüzlülüğü, deformasyon, kesme kuvvetleri, titreşim, takım aşınması ve ömrü gibi talaş kaldırmaya etki eden faktörler birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametreler genel olarak takım tezgâhın özellikleri, operatörün becerisi ve çevresel faktörlerdir. Ancak ayrıntılı olarak incelendiğinde, bu parametrelerin kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, kesici takımın cinsi ve geometrisi, iş parçasının özellikleri, soğutma ve yağlama şartları, takım tezgâhının gücü, ısı oluşumu ve sürtünme olduğu yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Akün (1956), tezgâh titreşimlerinin önemi üzerinde durmuştur. Titreşim probleminin çok karmaşık olduğunu belirterek bu titreşimlerin analizler ile belirlenebileceğini ifade etmiştir. Bu doğrultuda, tornalama deneylerinde, kesici takım ve iş parçası üzerindeki titreşimleri incelemiştir. Kesici takım malzemesi ve geometrisi, talaş kesiti, kesme hızı ve iş parçası malzemesinin titreşimler üzerine oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca titreşimin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir ölçüt olacağı hususunu ele alınmış ve yaptığı deneyler ile bu kabulün doğru olduğunu vurgulamıştır.

Santhanakrishnan ve ark. (1988), farklı fiber takviyeli (cam, karbon ve aramid) kompozit boruların tornalanmasında; kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüz pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca işlenmiş yüzeylerde gözledikleri morfolojiyi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz etmişlerdir.

Hocheng ve ark. (1993), karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemenin frezelenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve kesme kuvvetlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Daha büyük elyaf açısına sahip kompozit malzemenin frezelenmesinde, daha büyük kesme kuvvetlerinin oluştuğunu ve bunun da daha düşük yüzey kalitesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, artan ilerlemenin yüzey pürüzlülük değerinin artmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lin ve Ting (1995) yaptıkları araştırmada; bakır alaşımının 5; 7,5 ve 10 mm çapa sahip matkaplarla 600, 1500 ve 2400 dev/dak dönme devrinde ve 60, 130 ve 200 mm/dak ilerleme değerlerinde delinmesinde, kesme parametrelerinin ilerleme kuvveti ve momenti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca ilerleme kuvveti ve momentini yanıl aşınma ile ilişkilendirmişlerdir. Dönme devri arttıkça ilerleme kuvveti ve momentinin azaldığını,

ilerleme ve matkap çapı arttıkça ilerleme kuvveti ve momentinin arttığını ifade etmişlerdir. Artan yanal aşınmanın ise ilerleme kuvvetinin artmasına neden olduğunu vurgulamışlardır.

El-Wardany ve ark. (1996), dökme demirin farklı matkap çaplarıyla delinmesinde; delik sayılarına bağlı olarak matkap ucunda oluşan titreşim sinyallerini incelemişlerdir. Ayrıca bu titreşim sinyallerine bağlı olarak matkaptaki aşınma oranlarını belirlemişlerdir. Matkap aşınma türlerinde güç spektrum eğrileri ile ifade etmişlerdir. Delik sayısı arttıkça titreşimlerin ve dolayısıyla aşınmanın arttığını belirtmişlerdir.

Lin ve Chen (1996), hasır örgülü karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin yüksek kesme hızlarında delinmesiyle ilgili gerçekleştirmiş oldukları deneylerde; kesme hızının, ilerlemenin ve delme uzunluğunun artmasıyla ilerleme kuvvetinin arttığını ve buna paralel olarak kesici takımında oluşan aşınmanın da arttığını tespit etmişlerdir.

Lin ve Ting (1996), bakır alaşımlarının farklı kesme parametrelerinde delinmesinde; kesme parametrelerinin yanal aşınma üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca deneysel çalışmadan elde ettikleri verileri yapay sinir ağlarında modellemişlerdir. Yapay sinir ağlarında, sample ve batch modelli geri yayımlı algoritmaları kullanmışlardır. Kullandıkları yöntemler arasında en iyi sonuçlarının sample modelli geri yayımlı algortmadan elde edildiğini belirtmişlerdir.

Li ve Tso (1999) yaptıkları delme işleminde; kesme hızı, ilerleme ve matkap çapı gibi kesme parametrelerinin takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca takım aşınmasının ve kesme parametrelerinin kesme akımı sinyalleri üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Akım sinyalleri ve kesme parametreleri arasındaki ilişkiye dair analizleri kısmi deneysel tasarım ve regresyon analizi ile farklı takım aşınma durumları altında gerçekleştirmişlerdir. Yanal aşınma ve matkap çapı arttıkça iş mili ve ilerleme motoru akım sinyallerinin arttığını vurgulamışlardır.

Choudhury ve Raju (2000) yaptıkları delme işleminde; dönme devri, ilerleme ve matkap uç mesafesinin takım aşınmasına etkisini tespit etmek için bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Artan matkap uç mesafesi, ilerleme ve dönme devrinin aşınmayı arttırdığını belirtmişlerdir.

Davim ve Reis (2005), karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin sementit karbür kesici takımlarla frezelenmesinde oluşan deformasyon faktörünü ve yüzey pürüzlülüğünü deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları, Taguchi deney

tasarım dizisine göre gerçekleştirmişlerdir. Artan ilerleme ile yüzey pürüzlülük değerinin ve deformasyon faktörünün arttığını, artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını, ancak deformasyon faktörünün arttığını belirtmişlerdir.

Davim ve ark. (2007), % 55 elyaf oranına ve 0/90° oryantasyon açısına sahip karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin 5 mm çapındaki K20 sementit karbür matkaplarla delinmesinde oluşan deformasyon faktörlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda artan kesme hızı ve ilerleme ile deformasyon faktörünün arttığını vurgulamışlardır.

Tsao ve Hocheng (2007), karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin delinmesinde; ilerleme ve dönme devrinin ilerleme kuvveti üzerine etkilerini deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Bu iki yöntemle elde ettikleri ilerleme kuvvetlerini oranlayarak bir ilerleme faktörü elde etmişlerdir. İlerlemenin artmasıyla ilerleme faktörünün arttığını, dönme devri arttıkça ilerleme faktörünün azaldığını belirtmişlerdir.

Berger ve ark. (2008), elyaf takviyeli kompozit malzemenin uygun işlem parametrelerinde frezelenabilirliğini incelemişlerdir. Frezeleme deneylerinde, genellikle deformasyon faktörünün oluştuğunu, bunun yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerleri kullanılarak azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Canpolat (2008), cam fiber takviyeli plastik kompozitlerin HSS, TiN ve karbür matkaplarla delinmesinde; kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülük değeri üzerine etkilerini analiz etmiştir. İlerleme değerinin artmasıyla, yüzey pürüzlülük değerinin arttığını belirtmiştir. En iyi yüzey kalitesinin karbür matkaplarla delinen yüzeylerden elde edildiğini vurgulamıştır.

Karnik ve ark. (2008), karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin delinmesinde; matkap uç açısı, ilerleme ve dönme devrinin deformasyon faktörü üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmadan elde ettikleri verileri yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Devir sayısının artmasıyla deformasyon faktöründe azalış olduğunu, ilerleme ve matkap uç açısı arttıkça deformasyon faktöründe artış olduğunu gözlemişlerdir.

Davim ve ark. (2009), endüstriyel uygulamalarda kullanılan orta yoğunluklu lifli levhaların frezelenmesinde; kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. İlerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, dönme devri arttıkça azaldığını belirtmişlerdir.

Ekici ve Işık (2009), cam fiber takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarını; kesme hızı, ilerleme ve takım geometrisine bağlı olarak araştırmışlardır. Delme deneylerini 2, 3 ve 4 ağızlı, 60°, 90° ve 120° uç açılı HSS matkaplarla gerçekleştirmişlerdir. Artan kesme hızıyla yüzey hasar faktöründe azalma olduğunu ve artan ilerleme, matkap uç açısı ve ağız sayısı ile yüzey hasar faktörlerinde artış olduğu belirtilmiştir.

Erkan ve Işık (2009), cam fiber takviyeli plastik kompozitlerin 2, 3 ve 4 ağızlı freze çakıları ile frezelenmesinde; kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Artan ilerleme ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, artan kesme hızı ve freze ağız sayısı ile yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını belirtmişlerdir. En iyi yüzey kalitesini; 4 ağızlı freze çakısının kullanıldığı, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinde elde etmişlerdir.

Faraz ve ark. (2009), 4 mm çapa sahip kaplamasız karbür matkaplar kullanarak 0,1 mm/dev ilerleme ve 50 m/dak kesme hızında karbon fiber takviyeli plastik kompozitleri delmişlerdir. karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzeme yüzeyinde delinen delik sayısının delme kuvveti, deformasyon faktörü ve takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kompozit malzeme yüzeyinde delinen delik sayısı arttıkça delme kuvvetinin, deformasyon faktörünün ve takım aşınmasının arttığını belirtmişlerdir. Delme esnasında takımda oluşan aşınmanın kesici kenar boyunca olduğunu ifade etmişlerdir.

Kalla ve ark. (2010), farklı oryantasyon açılara sahip karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemelerin 500, 1000 ve 1500 dev/dak dönme devri ve 0,102; 0,203 ve 0,305 ilerleme değerleri için helisel frezelenmesinde ölçülen kesme kuvvetlerini yapay sinir ağları ile modellemişlerdir. Oryantasyon açısı yüksek olan kompozitlerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetlerinin daha büyük elde edildiğini ve bu sonucun yapay sinir ağları yöntemiyle de örtüştüğünü gözlemlemişlerdir.

Rusinek (2010), karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemenin frezelenmesinde, dönme devri ve ilerleme değerlerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Dönme devrinin artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığını ve ilerlemenin artması ile de arttığını belirtmiştir. Ayrıca düşük ilerleme değerleri için takım ömrünün olumlu yönde etkilendiğini de vurgulamıştır.

Bayraktar (2011), karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin farklı geometriye sahip kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlarla frezelenmesinde; takım geometrisinin, takım cinsinin ilerlemenin ve dönme devrinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarları üzerine etkilerini araştırmıştır. Optimum parametreleri Taguchi metodu ile belirleyerek, en etkili parametreyi varyans analizi ile değerlendirmiştir. Bütün kesici takımlarda artan ilerleme ile hem kesme kuvvetlerinin hem de yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını gözlemlemiştir. Kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde, daha iyi yüzey kalitesi ve daha az yüzey hasarının elde edildiği tespit etmiştir. Kesici takımlarda ağız sayısı ve helis açısı arttıkça, yüzey pürüzlülük değerlerinde ve yüzey hasarlarında artış olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametrenin ilerleme olduğunu analizler sonucunda görmüştür.

Hintze ve ark. (2011), karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin frezelenmesinde; deformasyonun yüzey hasarı ve elyaf açıları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Büyük uç açısına sahip kesici takımlarla yapılan frezeleme işlemlerinde, deformasyona bağlı olarak yüzey hasarının arttığını, düşük oryantasyon açılı malzemelerle yapılan frezeleme işlemlerinde ise deformasyona bağlı olarak yüzey hasarlarının azaldığını ifade etmişlerdir.

Çelik ve Kılıçkap (2012), G10 EPGC 201 kompozit malzemenin delinmesinde; matkap uç açısının, ilerlemenin ve kesme hızının delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyon faktörü üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Matkap uç açısı, ilerleme ve kesme hızının delik giriş ve çıkışındaki deformasyon faktörünü önemli ölçüde etkilediğini ve deformasyon faktörüne en fazla etki eden parametrenin ilerleme olduğunu belirtmişlerdir.

Kılıçkap ve Çelik (2012), cam fiber takviyeli plastik kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür (WC) kesici takımlarla frezelenmesinde; kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinde azalma olduğunu ve ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerinde artış olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, kesici takım malzeme cinsinin yüzey kalitesi üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğunu da belirterek en iyi yüzey kalitesinin WC kesici takımlardan, daha sonra sırasıyla TiN kaplı HSS ve HSS kesici takımlardan elde edildiğini belirtmişlerdir.

Nor Khairusshima ve ark. (2012), karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemelerin frezelenmesinde; kesme parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı değerlerinde daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini ve bu şartlar altında daha az takım aşınmasının olduğunu vurgulamışlardır.

Wang ve ark. (2012), frezeleme işlemlerinde; kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Talaş derinliği ve dönme devri arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığını belirtmişlerdir.

Şu ana kadar yapılmış çalışmalar incelendiğinde, yüz yılın 2. çeyreğine kadar geleneksel malzemelerin şekillendirilmesinde karşılaşılan problemlerin ele alındığı, yüz yılın 2. çeyreğinden günümüze kadar ise fiber takviyeli kompozitlerden özellikle cam fiber takviyeli plastik ve karbon fiber takviyeli plastik gibi sentetik fiber takviyeli kompozitlerin şekillendirilmesi üzerine çalışmaların yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak bu çalışmalar artarak devam etmektedir (Masuelli, 2013; Naresh ve ark. 2013; Yashiro ve ark. 2013; Wang ve ark. 2016; Prashanth ve ark. 2018; Çelik ve ark. 2019).

Son zamanlarda sera gazındaki artış, küresel ısınma ve sağlık problemlerindeki artış; insanoğlunu çevresel farkındalığa ve özellikle de yaşam döngüsü analizi ile ilgili değerlendirmeler yapmaya itmiştir. Bunun sonucu olarak geleneksel malzemelere ve sentetik fiber takviyeli kompozitlere rekabet edebilecek doğal fiber takviyeli (DFT) kompozitlerin mühendislik malzemesi olarak kullanılmasına ve şekillendirilmesine yönelik çalışmalar başlamıştır. DFT kompozitlerin şekillendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Babu ve ark. (2013), kenevir, jüt ve muz fiber takviyeli doğal kompozitlerin frezelenmesinde; fiber cinsinin, ilerlemenin ve kesme hızının deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. DFT kompozitlerden elde edilen deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerini cam fiber takviyeli plastik kompozit ile karşılaştırmışlardır. Kesme hızı arttıkça deformasyon faktörünün ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını, ilerleme arttıkça deformasyon faktörünün ve yüzey pürüzlülük değerinin arttığını belirtmişlerdir. Düşük bir deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değeri için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca jüt fiber takviyeli doğal kompozitte oluşan deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerinin diğer kompozitlerden daha yüksek olduğunu tespit

etmişlerdir. Kenevir ve muz fiber takviyeli doğal kompozitlerdeki değerlerin ise cam fiber takviyeli plastik kompozite yakın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Debnath ve ark. (2014), sisal-epoksi ve sisal-polipropilen kompozitlerin delinmesinde, termoset (epoksi) ve termoplastik (polipropilen) matris malzemelerinin talaş oluşumu üzerine etkilerini karakterize etmişlerdir. Ayrıca matkap geometrisi, ilerleme ve dönme devrinin delme kuvvetleri ve delinmiş yüzey hasarları üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Termoplastik matrisli doğal kompozitlerde oluşan talaşın sürekli talaş olduğunu, termoset matrisli doğal kompozitlerde ise oluşan talaşın kesikli olduğunu ifade etmişlerdir. Matkap geometrisindeki değişikliğin talaş oluşumu üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, ancak düşük dönme devri ve ilerleme değerlerinde halka tipi talaşların oluştuğunu vurgulamışlardır. Delme kuvvetinin dönme devrinin artması ile azaldığını ve ilerlemenin artması ile arttığını belirtmişlerdir. Mikrografik görüntülerden delme sırasında oluşan hasarın sisal-polipropilen kompozitlere göre sisal-epoksi kompozitlerde daha fazla olduğunu ve hasarların lif çekilmesi, lif ile matris arasında bağların kopması ve polimer bulaşması şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Vinayagamoorthy ve ark. (2014), ağırlıkça farklı oranlarda doğal vetiver ve jüt fiberler ile sentetik cam fiberden oluşan sandviç kompozit malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri farklı uç açılara sahip HSS matkaplarla 500, 1000, 1500 ve 2000 dev/dak dönme devrinde ve 0,1; 0,2; 0,3 ve 0,4 mm/dev ilerleme değerlerinde delmişlerdir. Matkap uç açısının, dönme devrinin ve ilerlemenin ilerleme kuvveti ve momenti üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Dönme devri arttıkça ilerleme kuvvetinin azaldığını ve momentin arttığını, ilerleme arttıkça ilerleme kuvvetinin ve momentin arttığını, matkap uç açısı arttıkça ilerleme kuvvetinin arttığını ve momentin azaldığını belirtmişlerdir.

Nasir ve ark. (2015), keten fiber takviyeli plastik (KFTP) kompozitlerin delinmesinde; kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan deformasyonun çekme dayanıma etkisini araştırmışlardır. Keten liflerinin yüksek selüloz içeriğinden dolayı, deformasyona uğramalarının daha meyilli olduğunu, deformasyonu en az seviyede tutmak için kesme hızının yüksek ve ilerlemenin düşük seçilmesi gerektiğini ve deformasyonun çekme dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Abilash ve Sivapragash (2016), bambu fiber takviyeli kompozitleri 4, 6 ve 8 mm çapa sahip matkaplarla 500, 860 ve 1360 dev/dak dönme devrinde ve 18, 26 ve 24 mm/dak ilerleme değerlerinde delmişlerdir. Kesme parametrelerinin deformasyon faktörüne etkilerini araştırarak varyan analizi ile analiz etmişlerdir. İlerlemenin deformasyon faktörü üzerinde en etkili parametrenin olduğunu ve bunu sırasıyla matkap çapı ve dönme devri takip ettiğini ifade etmişlerdir.

Azmi ve ark. (2016), vakum infüzyon yöntemi kullanarak kenaf fiber takviyeli plastik kompozit malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri kompoziti farklı ilerleme, dönme devri ve talaş derinliği parametrelerinde frezeleyerek kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülük üzerine en etkili kesme parametresinin ilerleme olduğunu, kesme hızının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülük üzerinde önemli bir etki sergilemediğini ve iyi bir yüzey kalitesi için düşük ilerleme değerinin seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Jani ve ark. (2016), ağırlıkça % 60 kenevir ve % 40 kevlar ile takviye edilmiş hibrid kompozitlerin farklı hareket hızlarında su jeti ile işlenmesinin malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Hareket hızı arttıkça malzeme kaldırma oranının arttığını ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Pickering ve ark. (2016), DFT kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesindeki son gelişmeler ile ilgili derleme bir çalışma yapmışlardır. Özellikle ara yüzey mühendisliğindeki gelişmelere değindikleri çalışmalarında nem ve hava koşullarının bu özellikler üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Ayrıca DFT kompozitlerde fiber cinsinin çekme, eğme ve çentik darbe dayanımı gibi mekanik özelliklere etkisini ayrıntılı olarak ele almışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda, DFT kompozitlerin mekanik özellikler ve maliyet açısından cam fiber takviyeli plastik kompozitlere yakın özellikler sergilediğini belirtmişlerdir.

Chegdani ve ark. (2017), DFT kompozitlerden bambu, sisal ve mikantus'un mekanik yapısı ile profil frezeleme işlemiyle indüklenen işlenmiş yüzeylerin topoğrafi sinyallerindeki analiz ölçekleri arasındaki ilişkiyi bulmayı amaçlamışlardır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü üzerine fiber sertliğinin ve ilerlemenin katkı oranını göstermek için varyans analizi gerçekleştirilmişlerdi. Fiber sertliğinin ve ilerlemenin işlenmiş yüzey

pürüzlülüğüne katkı oranının, kompozit içindeki doğal lif yapısının mekanik özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Nassar ve ark. (2017), DFT kompozitlerin delinmesi, frezelenmesi ve tornalanmasında; fiber cinsine bağlı kullanılan kesme parametrelerine yer vererek, kompozit malzeme cinsinin ve kesme parametrelerinin oluşan yüzey pürüzlülük ve deformasyon faktörü üzerine etkilerini ayrıntılı olarak anlatan derleme bir çalışma yapmışlardır. Daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü için kesme hızının yüksek ve ilerlemenin düşük seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Frezeleme ve delme işlemlerinde karşılaşılan en büyük sorunun deformasyon faktörü olduğunu belirtmişlerdir. Deformasyonun genellikle fiber çekmesi, kesilmemiş fiber ve reçineden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Rajmohan ve ark. (2018), DFT kompozitlerin talaşlı olarak işlenmesinde kesme parametrelerinin optimum işleme kalitesi üzerine etkilerini tartışmışlardır. Delme işleminde; yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden en önemli parametrelerin dönme devri ve matkap çapı olduğunu, deformasyon faktörü, kesme kuvveti ve torku üzerine ise etki eden en önemli parametrenin ilerleme olduğunu ifade etmişlerdir. Deliklerin kalitesini iyileştirmek için yüksek dönme devri ve düşük ilerleme kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Chegdani ve Mansori (2019), KFTP polipropilen kompozitlerin frezelenmesinde; ilerleme ve kesme hızının ilerleme kuvveti, kesme enerjisi, kesme sürtünme katsayısı ve takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kesme hızının artması ile kesme kuvvetinin, kesme enerjisinin ve kesme sürtünme katsayısının arttığını, ilerlemenin artması ile kesme kuvvetinin arttığını ancak kesme enerjisinin ve kesme sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca kesici takımlarda difüzyon ve adhezyon aşınmaların meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Çelik ve ark. (2019), farklı oryantasyon açılara sahip jüt fiber takviyeli plastik (JFTP) kompozit malzemelerin farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde 2, 3 ve 4 ağızlı freze çakıları ile frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetlerini, deformasyon faktörlerini ve yüzey pürüzlülük değerlerini analiz etmişlerdir.

Maleki ve ark. (2019a), KFTP kompozitlerin farklı özelliklere sahip matkaplarla delinmesinde; kesme parametrelerinin ilerleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. İlerleme arttıkça ilerleme

kuvvetinin de arttığını ve ilerleme kuvveti üzerinde matkap cinsi ve ilerlemenin önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca deformasyonun ve yüzey pürüzlülüğünün matkap cinsinden önemli ölçüde etkilendiği, ancak ilerleme ve kesme hızından etkilenmediğini gözlemlemişlerdir.

Maleki ve ark. (2019b) yaptığı bu çalışmada ise JFTP kompozitlerin farklı özelliklere sahip matkaplarla delinmesinde; kesme parametrelerinin ilerleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. İlerlemenin ilerleme kuvveti üzerinde en büyük etkiye sahip parametre olduğunu belirtmişlerdir. İlerleme ve kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetinin arttığını, artan ilerleme ile deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerinin düşme eğiliminde olduğunu ve matkap cinsinin ilerleme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

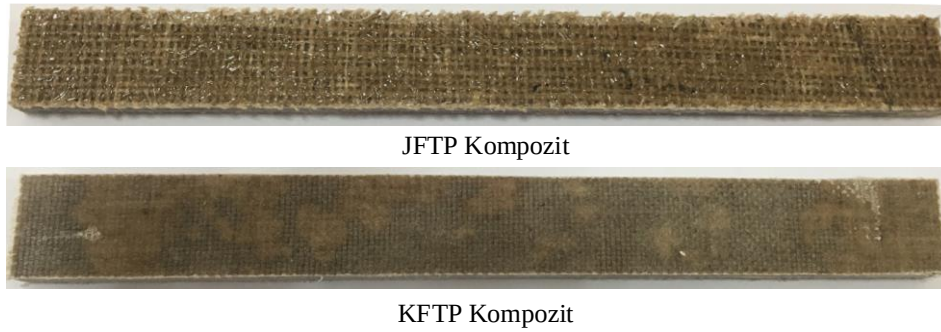
Yapılan çalışmalar incelendiğinde, fiber takviyeli plastik kompozitlerin talaşlı olarak işlenmesinde, genellikle deformasyon faktörü (yüzey hasarı), yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerine odaklanıldığı, ancak bu kompozitlerin işlenmesinde, kesme parametrelerinin titreşim üzerine etkilerinin ayrıntılı olarak ele alınmadığı görülmüştür. Bu çalışmada, doğal fiber takviyeli kompozitlerden JFTP ve KFTP kompozitlerin farklı özelliklere sahip parmak freze çakıları ile frezelenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneyde Kullanılan Materyaller

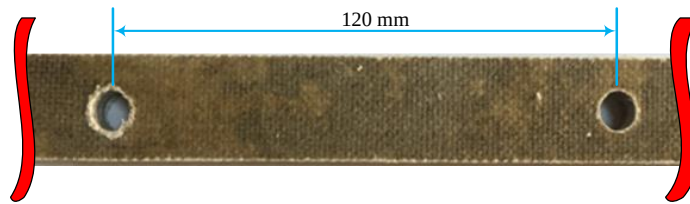
3.1.1. Kompozit malzemeler

Bu çalışmada, hem ekonomik olmaları hem de cam fiber takviyeli kompozitlere yakın özellikler sergiledikleri için jüt fiber takviyeli plastik (JFTP) ve keten fiber takviyeli plastik (KFTP) kompozitler, frezeleme işlemleri için tercih edilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi ile 12 tabaka şeklinde üretilmiş olan doğal fiber takviyeli (DFT) kompozitlerin oryantasyon açısı $0/90^\circ$ ve kalınlığı 10 mm'dir. DFT kompozitlerden JFTP kompozitin çekme dayanımı 34 MPa ve KFTP kompozitin çekme dayanımı ise 49 MPa'dır. Şekil 3.1'de frezeleme deneylerinde kullanılan DFT kompozitlerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan JFTP ve KFTP kompozitler

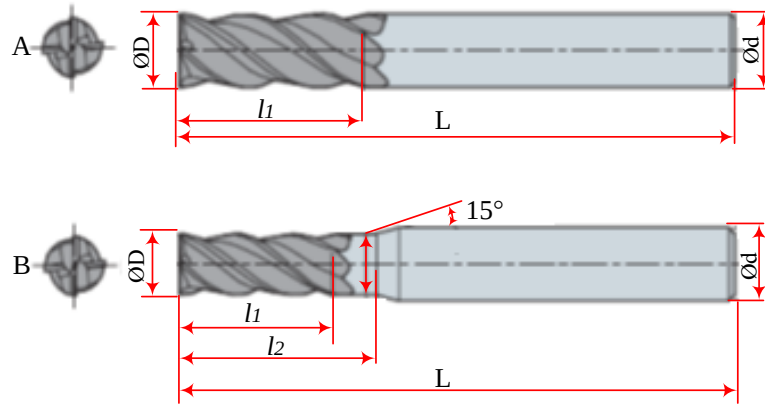
20 mm genişliğinde ve 200 mm uzunluğunda olan bu kompozitler, kuvvet ölçüm cihazına bağlama amacıyla 8 mm çapındaki matkaplarla Şekil 3.2'de gösterildiği gibi delinmiştir.



Şekil 3.2. Kompozitlerin cihaza sabitlenmesi için delinen delikler

3.1.2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Frezeleme deneyleri, çapı 4 mm olan HSS, TiN Kaplı HSS ve sert karbür (WC) parmak freze takımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parmak freze takımlarının şematik görüntüsü Şekil 3.3'te, boyutları Tablo 3.1'de ve görüntüleri ise Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Parmak freze takımlarının şematik gösterimi

Tablo 3.1. Parmak freze takımlarının boyutları

Parmak Freze	Tip	ØD (mm)	Ød (mm)	d1 (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)	L (mm)
WC	A	4	4	4	9	12	50
HSS	B	4	6	3,98	9	12	50
TiN kaplı HSS	B	4	6	3,98	9	12	50



a) WC



b) HSS



c) TiN kaplı HSS

Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan kesici takımlar

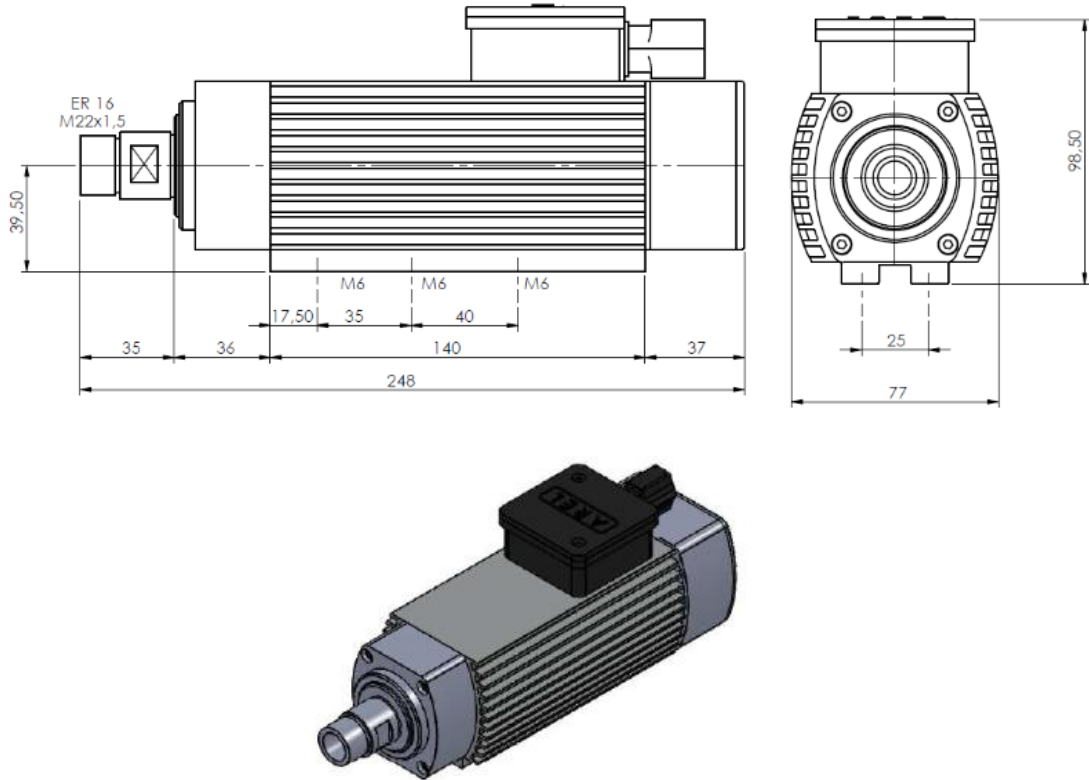
3.1.3. Frezeleme işlemlerinin gerçekleştirildiği CNC Tezgâhı

Frezeleme deneylerinde, Batman Üniversitesi Merkez Kampüs Yerleşkesi Meslek Yüksekokulu atölyesinde bulunan ve Şekil 3.5’te fotoğraf resmi verilen, (800x1200) mm² tabla boyutuna sahip Maintek marka CNC Tezgâhı kullanıldı. CNC Tezgâhının bilgisayar ile bağlantısı yapıp yönetim yazılımına kesici takım ucunun izleyeceği yol ve kesme parametreleri G kodları girilerek tanımlandı ve frezeleme deneyleri gerçekleştirildi.



Şekil 3.5. Maintek marka CNC Tezgâhı

CNC tezgâhı, yerli üretim olan Arel marka ARFM 1Y-M4 model maksimum 24000 devir yapabilen yüksek frekans motoruna sahiptir. Bu motorun yapısı Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. ARFM 1Y-M4 model yüksek frekans motoru

3.1.4. Kesme parametrelerinin belirlenmesi

Deneylerde uygulanan kesme parametreleri literatür çalışması, CNC tezgahı ve takım uçlarının mekanik yapıları ve ön deney gözlemleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Belirlenen deney parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Her bir numune ve kesici takım için 9 deney olmak üzere toplam 54 deney yapılmıştır.

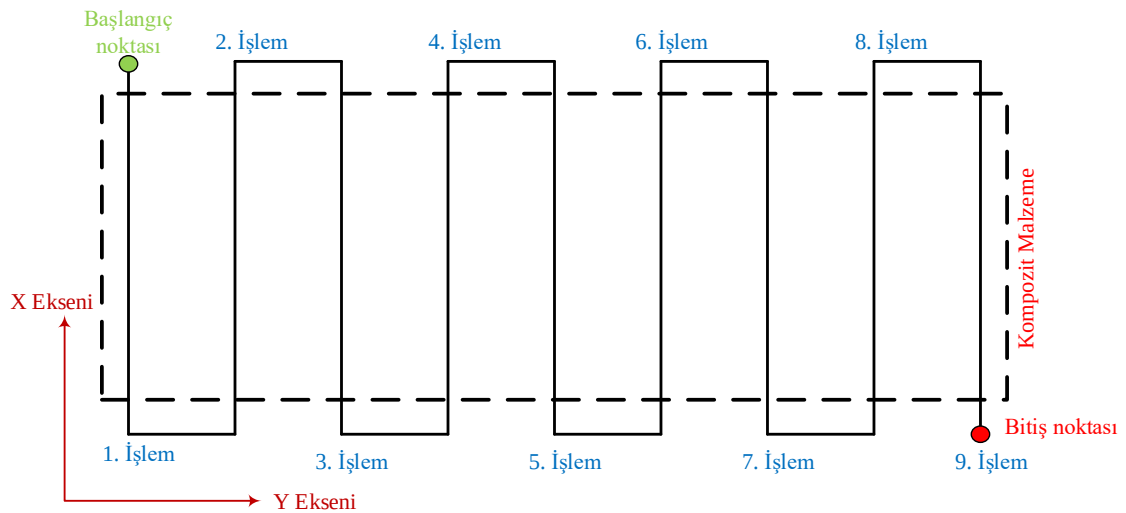
Tablo 3.2. Deney parametreleri

Deney İşlemi	a Talaş derinliği (mm)	n Dönme devri (dev/dak)	u İlerleme (mm/dak)	s İlerleme (mm/dev)	X Mesafe (mm)	Y Mesafe (mm)
1	2	2500	25	0,01	35	12
2	2	2500	37,5	0,015	35	12
3	2	2500	50	0,02	35	12
4	2	5000	50	0,01	35	12
5	2	5000	75	0,015	35	12
6	2	5000	100	0,02	35	12
7	2	7500	75	0,01	35	12
8	2	7500	112,5	0,015	35	12
9	2	7500	150	0,02	35	-

Freze tezgâhı yönetim yazılımına girilen G kodları Tablo 3.3’te verilmiştir. Bu kodlara göre kesici takımın izleyeceği yol ise Şekil 3.7’de temsili olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Frezeleme deneyindeki G kodları

N10 G15 G17 G40 G49 G80;	N100 M3 S5000;	N190 X35;
N20 M6 T1;	N110 G1 Y-36 F50;	N200 Y-84;
N30 M3 S2500;	N120 X0;	N210 X0 F112.5;
N40 G1 Z-2 F25;	N130 Y-48;	N220 Y-96;
N50 X35;	N140 X35 F75;	N230 X35 F150;
N60 Y-12;	N150 Y-60;	N240 G0 Z5;
N70 X0 F37.5;	N160 X0 F100;	N250 M5 M30;
N80 Y-24;	N170 M3 S7500;	
N90 X35 F50;	N180 G1 Y-72 F75;	



Şekil 3.7. Kesici takımın izlediği yol

3.1.5. Kesme kuvvetlerinin ölçümü

Frezeleme esnasındaki kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarından temin edilen Kistler marka 9257B model kuvvet ölçüm cihazı (Dinamometre) kullanılmıştır. Dinamometre; 170 mm uzunluğunda, 100 mm genişliğinde, F_x , F_y ve F_z olmak üzere üç yönde kuvvet ölçebilen, ölçüm aralığı -5 kN ile 10 kN ve işlem sıcaklığı 0 ile 70° arasında olan teknik özelliklere sahiptir. Frezeleme deneylerinde kullanılan Kistler marka 9257B dinamometre Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kistler 9257B dinamometre

Kistler 9257B dinamometreden gelen sinyaller, çok kanallı amplifier olan Kistler 5070-A ile bilgisayara aktarılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi ve gerekli grafiklere dönüştürülmesi için Kistler DynoWare 2825A yazılımı kullanılmıştır. Kistler 5070-A amplifier’in görüntüsü Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Kistler 5070-A çok kanallı amplifier

3.1.6. Titreşimlerin ölçülmesi

Deneylerde, kesici takım üzerinde oluşan titreşimleri ölçmek için Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümündeki National Instruments NI 9230 3 kanallı bir C Serisi dinamik sinyal toplama modülü kullanılmıştır. Cihaz 3 boyutlu ivme değişimlerini ölçerek titreşim verilerini sağlamıştır. Ölçümler, cihazın yazılımı ile bilgisayar ortamına aktarılarak raporlanmış ve grafik haline getirilmiştir. Şekil 3.10'da NI 9230 sinyal toplama modülü gösterilmiştir.



Şekil 3.10. NI 9230 sinyal toplama modülü

3.1.7. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

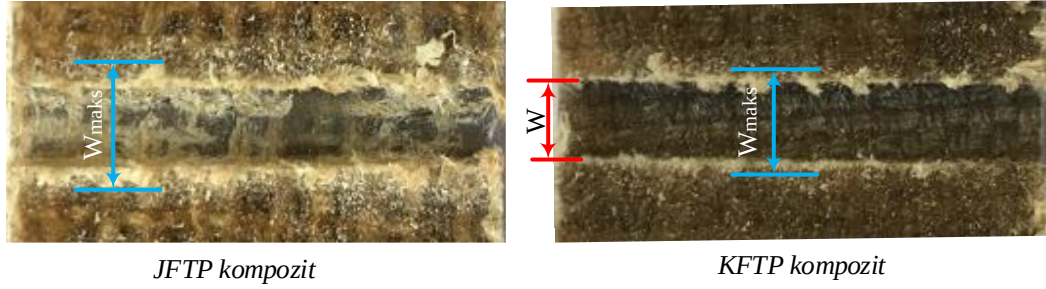
Frezelenen kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için Time marka TR200 model dijital göstergeli ve mekanik iğneli yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Time TR200 yüzey pürüzlülük cihazının ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) ölçüm aralığı 0,01-40 μm 'dir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), frezelenen yüzeylere paralel olarak ölçülmüştür. Ölçümler üç kez tekrarlanmış olup üçünün ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü hesaplanmıştır. Şekil 3.11'de Time TR200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

3.1.8. Deformasyon ölçümü

JFTP ve KFTP kompozitlerin frezeleme işlemlerinden sonra, kanal civarında oluşan deformasyonu ölçmek için Nikon Epiphot 200 model optik bir mikroskop kullanılmıştır. JFTP ve KFTP kompozitlerin kanal civarında oluşan deformasyon görüntüsü Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. JFTP ve KFTP kompozitlerde oluşan deformasyon şekli

Şekil 3.12’de gösterilen frezelenen kanalda hasara uğramış maksimum kesit (W_{maks}), tüm frezeleme parametreleri için ölçüldü. Ölçülen bu değer frezelenen kanalın nominal genişliğine (W), diğer bir değişle freze çakısı çapına (D) oranlanarak deformasyon faktörü (F_d) hesaplandı (Eşitlik 3.1).

$$F_d = W_{maks}/W \quad (3.1)$$

3.2. Deneysel Çalışmaların Yapılışı

DFT kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve WC parmak freze çakıları kullanılarak sabit talaş derinliği, farklı dönme devri ve ilerleme değerleriyle frezelenmesinde; frezeleme parametrelerinin kesme kuvveti, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlüğü üzerine etkilerini belirlemek için bir dizi deney yapılmıştır. Bu işlemler her bir parametre için CNC tezgâhına girilen G kodları ile gerçekleştirilmiştir.

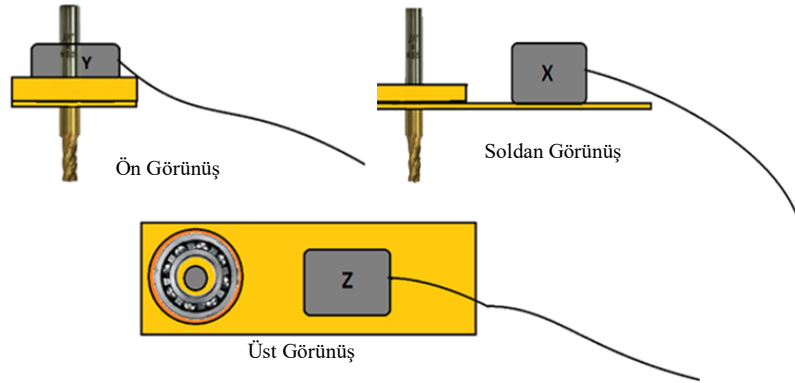
Freze işlemi sırasında kesme kuvvetleri, CNC tezgâhına sabitlenmiş dinamometre yardımıyla çok kanallı yükselticiye (amplifier) iletilen sinyaller vasıtasıyla bilgisayara aktarılıp DynoWare programı kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 3.13’te CNC tezgâhının tablasına sabitlenen dinamometre görüntüsü verilmiştir.

Titreşim ölçümleri, titreşim ölçüm cihaz aparatının parmak freze çakısına montajı yapılarak alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve aktarılan verilerin NI CompactDAQ yazılımına işlenmesiyle elde edilmiştir. Parmak freze çakısından titreşim

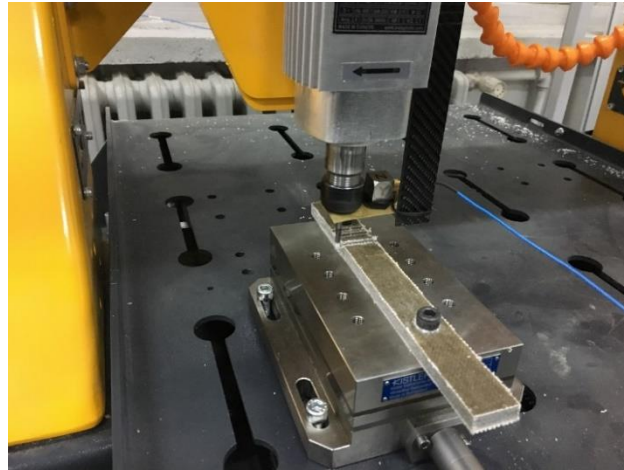
verilerini elde etmek için düzenek hazırlanmış ve bu düzenek Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Parmak freze çakısına montajlanan titreşim ölçüm cihaz aparatının görüntüsü ise Şekil 3.15'te verilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.16'da, deney düzeneğinin tüm bileşenleri ile gösterimi Şekil 3.17'de, JFTP ve KFTP kompozitlerin işlenme görüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.13. Deney düzeneği ve numune bağlantıları



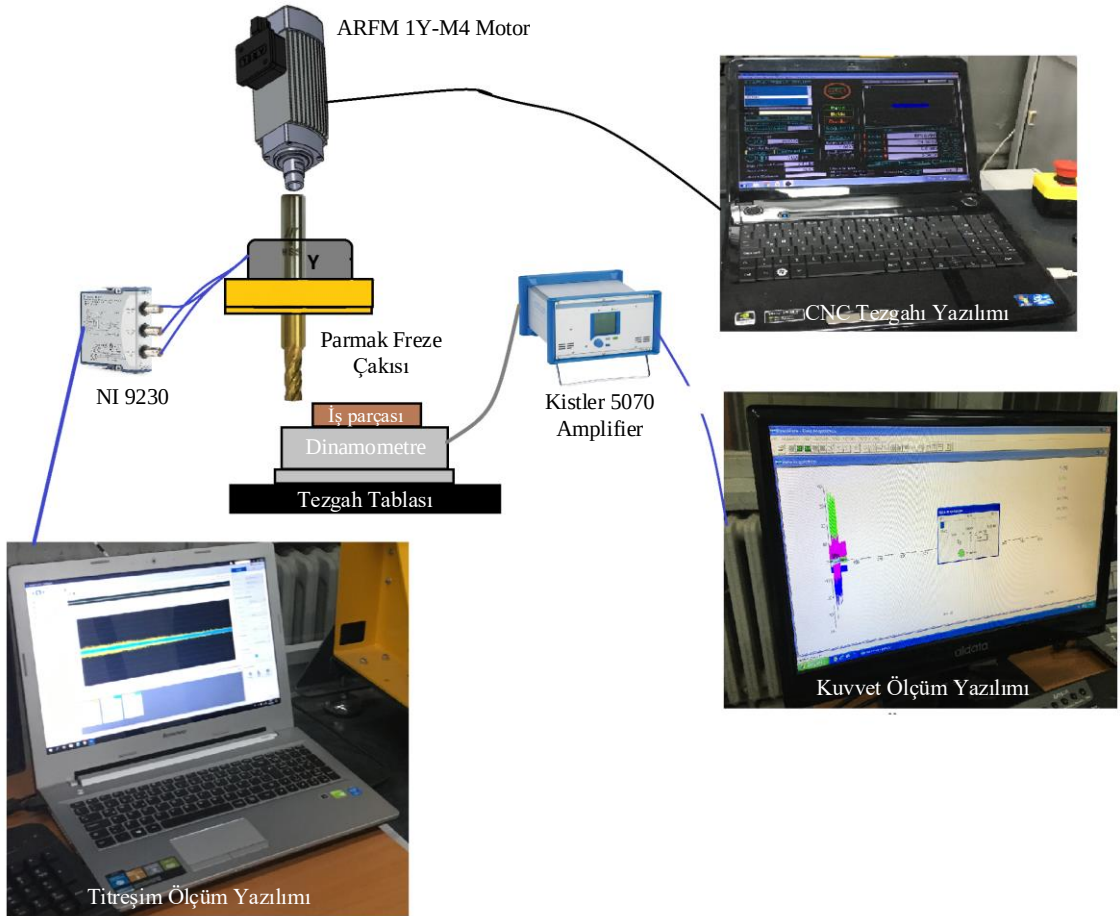
Şekil 3.14. Titreşim ölçüm aparatı için hazırlanan düzenek



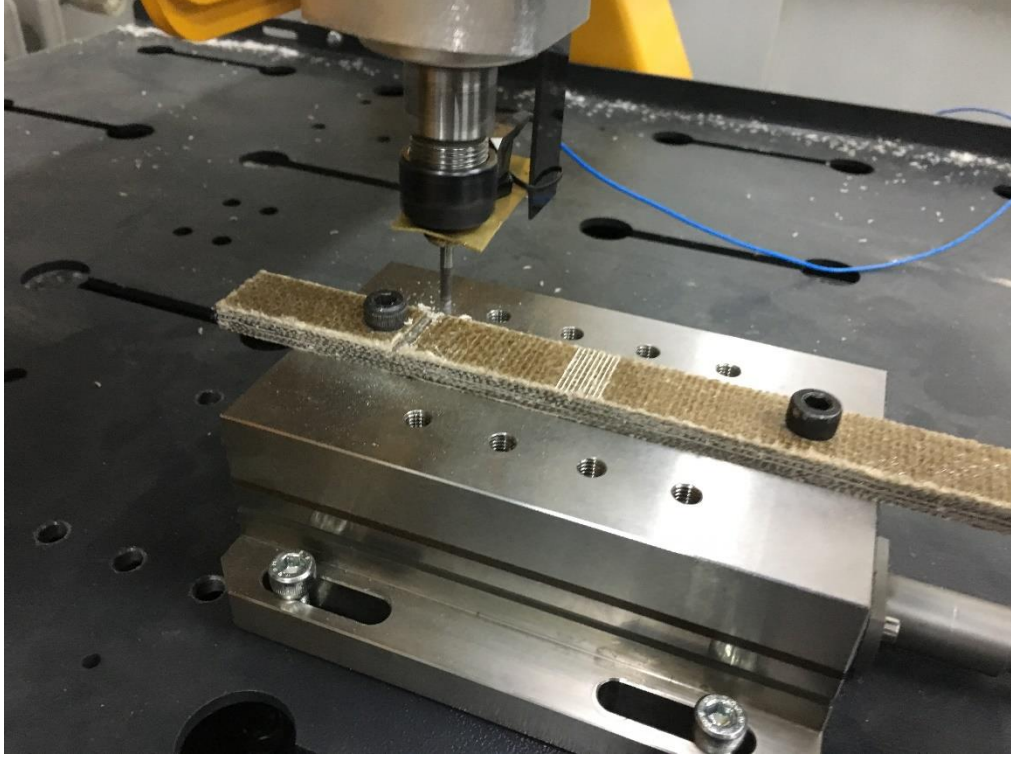
Şekil 3.15. Titreşim ölçüm cihaz aparatının görüntüsü



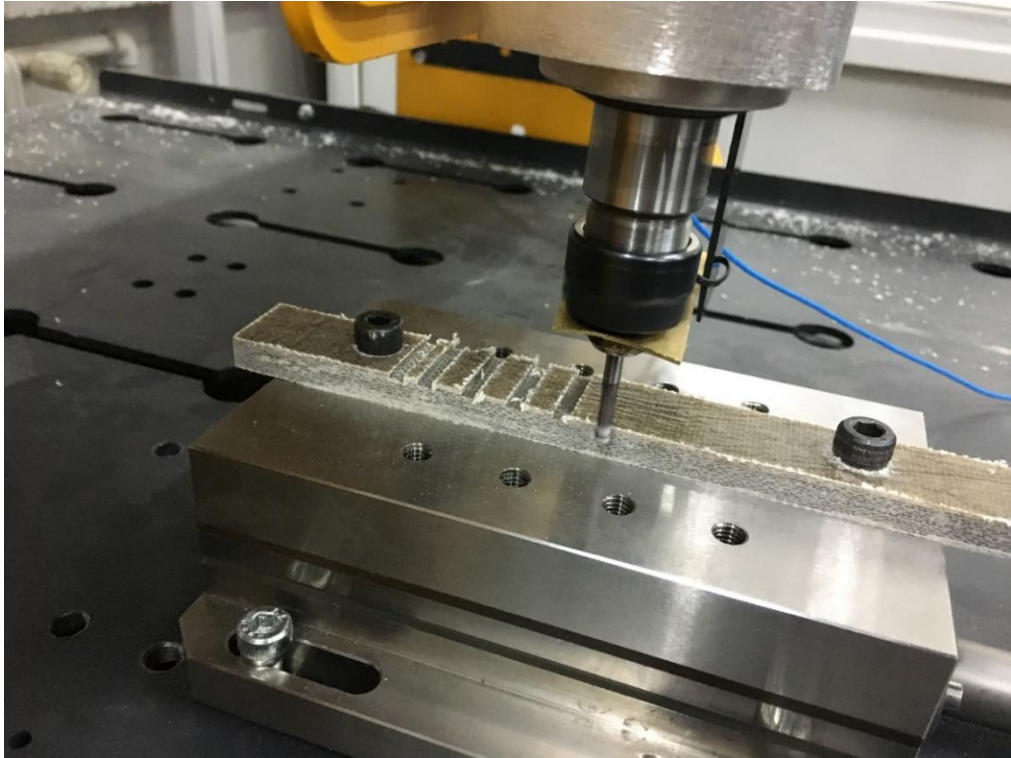
Şekil 3.16. Deney düzeneği



Şekil 3.17. Deney düzeneğinin tüm bileşenleri ile gösterimi



Şekil 3.18. Jüt Fiber takviyeli kompozit melzemenin işlenmesi



Şekil 3.19. Jüt Fiber takviyeli kompozit melzemenin işlenmesi

Şekil 3.13-3.19’da verilen şekillerde de görüldüğü gibi dinamometre ve titreşim ölçüm cihazlarının eksenleri (X, Y ve Z), CNC makinasının ekseni ile aynı doğrultuda olacak şekilde tezgâha sabitlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Talaşlı imalat yöntemlerinde, üretim esnasında kesici takım ile iş parçası temas halinde oldukları için iş parçası ve takım arasında sürtünme meydana gelmektedir. Bu sürtünme kesme hızı, ilerleme, iş parçası ve kesici takım malzemeleri gibi parametrelerden etkilenmektedir. Bu parametrelerin yanlış seçimi, kesici takıma gelen kuvvetlerin ve titreşimlerin artmasına sebebiyet vererek işlenmiş yüzeyin kalitesini kötüleştirmektedir. JFTP ve KFTP kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesinin kesme kuvveti, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmış ve sonuçları Tablo 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. JFTP kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesinden elde edilen sonuçlar

Deney No	n - Dönme Devri (dev/dak)	S - İlerleme (mm/dev)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim Standart Sapma Genliği			Deformasyon Faktörü (Fd)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)	
				X	Y	Z			
HSS	1	2500	0,01	43,48	0,024307	0,026414	0,020983	1,038	6,12
	2	2500	0,015	47,53	0,025649	0,023452	0,021167	1,048	6,21
	3	2500	0,02	54,77	0,040922	0,054149	0,039411	1,065	6,38
	4	5000	0,01	42,89	0,058149	0,054385	0,046016	1,052	5,83
	5	5000	0,015	45,17	0,049225	0,064174	0,04557	1,062	5,97
	6	5000	0,02	52,45	0,049344	0,051409	0,042542	1,071	6,08
	7	7500	0,01	40,13	0,116491	0,108679	0,090436	1,067	5,43
	8	7500	0,015	42,31	0,129252	0,144744	0,116923	1,071	5,62
	9	7500	0,02	48,27	0,119952	0,112938	0,099565	1,081	5,78
WC	10	2500	0,01	40,87	0,133642	0,132667	0,160159	1,010	4,93
	11	2500	0,015	43,21	0,136685	0,138485	0,156989	1,019	5,24
	12	2500	0,02	49,62	0,149866	0,149514	0,159118	1,022	5,48
	13	5000	0,01	38,74	0,307481	0,209562	0,257874	1,020	4,53
	14	5000	0,015	42,19	0,315169	0,205777	0,257543	1,029	4,69
	15	5000	0,02	47,52	0,310134	0,207467	0,256586	1,038	4,77
	16	7500	0,01	36,75	0,547256	0,358827	0,363786	1,033	4,18
	17	7500	0,015	39,21	0,551086	0,349428	0,355243	1,042	4,39
	18	7500	0,02	40,91	0,571925	0,377193	0,375722	1,043	4,45
TiN Kaplı HSS	19	2500	0,01	41,92	0,060328	0,061135	0,052983	1,028	5,41
	20	2500	0,015	45,29	0,060089	0,06117	0,053242	1,038	5,56
	21	2500	0,02	53,86	0,064286	0,069524	0,059548	1,044	5,79
	22	5000	0,01	39,91	0,093352	0,107335	0,088463	1,052	5,12
	23	5000	0,015	44,18	0,112809	0,122294	0,104247	1,057	5,37
	24	5000	0,02	49,76	0,109472	0,114471	0,099617	1,058	5,71
	25	7500	0,01	39,45	0,215742	0,24754	0,172958	1,060	4,73
	26	7500	0,015	41,75	0,182507	0,241313	0,146973	1,067	4,89
	27	7500	0,02	47,52	0,248684	0,294134	0,206573	1,072	4,92

Tablo 4.2. KFTP kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesinden elde edilen sonuçlar

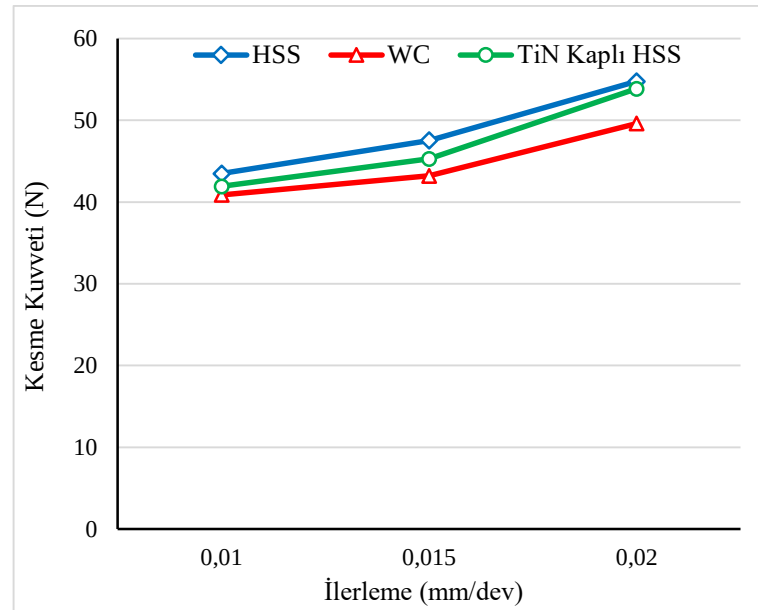
Deney No	n - Dönme Devri (dev/dak)	S - İlerleme (mm/dev)	Kesme Kuvveti (N)	Titreşim Standart Sapma Genliği			Deformasyon Faktörü (Fd)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)	
				X	Y	Z			
HSS	1	2500	0,01	52,22	0,020325	0,020428	0,019166	1,053	6,32
	2	2500	0,015	53,78	0,016226	0,024437	0,018938	1,057	6,41
	3	2500	0,02	56,22	0,02951	0,02486	0,022283	1,067	6,45
	4	5000	0,01	39,87	0,056712	0,05176	0,042618	1,062	6,12
	5	5000	0,015	42,15	0,056303	0,055534	0,044739	1,071	6,28
	6	5000	0,02	48,59	0,055615	0,052289	0,043929	1,076	6,37
	7	7500	0,01	37,67	0,133875	0,110554	0,092808	1,086	5,84
	8	7500	0,015	40,61	0,138528	0,153403	0,120475	1,091	5,98
	9	7500	0,02	42,40	0,140142	0,117034	0,101243	1,098	6,08
WC	10	2500	0,01	36,19	0,139135	0,143326	0,170582	1,024	5,86
	11	2500	0,015	41,89	0,137861	0,148372	0,17115	1,039	6,02
	12	2500	0,02	50,53	0,13894	0,145502	0,165726	1,043	6,17
	13	5000	0,01	32,19	0,303823	0,209563	0,263535	1,038	5,52
	14	5000	0,015	34,57	0,3026	0,20666	0,260395	1,048	5,68
	15	5000	0,02	35,19	0,305648	0,204696	0,261849	1,052	5,76
	16	7500	0,01	29,77	0,543229	0,352761	0,362555	1,052	5,02
	17	7500	0,015	30,57	0,529637	0,349731	0,357675	1,062	5,28
	18	7500	0,02	31,91	0,54746	0,360822	0,367357	1,072	5,43
TiN Kaplı HSS	19	2500	0,01	47,52	0,044628	0,041493	0,039209	1,041	6,04
	20	2500	0,015	48,73	0,068202	0,062086	0,060343	1,052	6,19
	21	2500	0,02	51,23	0,079534	0,079562	0,077986	1,060	6,27
	22	5000	0,01	33,98	0,092158	0,098366	0,079666	1,051	5,84
	23	5000	0,015	39,48	0,094777	0,098298	0,081033	1,061	5,97
	24	5000	0,02	47,27	0,102199	0,113025	0,087684	1,065	6,11
	25	7500	0,01	33,73	0,180232	0,243243	0,157347	1,080	5,50
	26	7500	0,015	35,11	0,195497	0,235117	0,167729	1,085	5,64
	27	7500	0,02	36,61	0,176313	0,245897	0,163527	1,092	5,79

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilen ortalama kesme kuvvet (F_s) değerleri, deney esnasında Kistler 9257B dinamometreden gelen sinyallerin çok kanallı amplifier olan Kistler 5070-A ile bilgisayara aktarılması ve Kistler DynoWare 2825A yazılımı ile ölçülen ortalama F_x (ilerleme doğrultusu), F_y (normal doğrultu) ve F_z (radyal doğrultu) kuvvetlerinin karekök içerisinde karelerinin toplanmasıyla elde edilmiştir. EK-1’de dinamometre ile ölçülen ve Kistler DynoWare 2825A yazılımı ara yüzeyinden elde edilen F_x , F_y ve F_z kuvvet grafikleri verilmiştir.

4.1. Frezeleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi

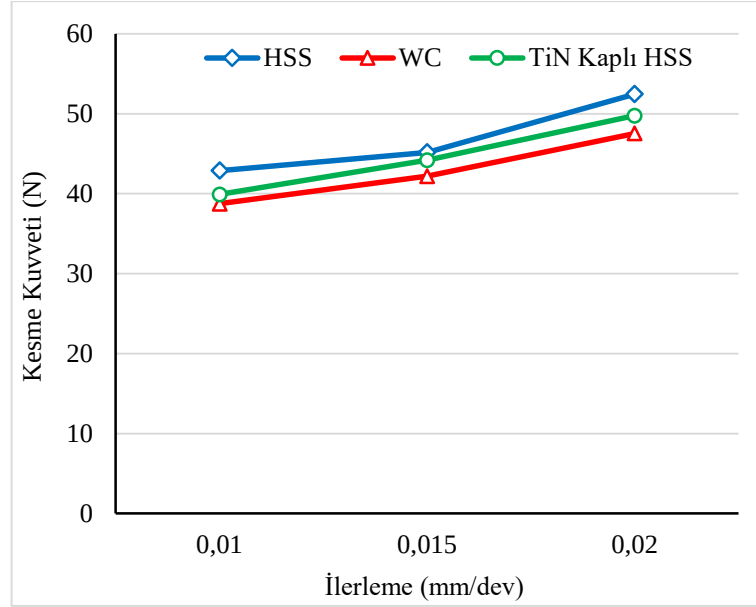
Talaşlı işlemede iş parçasını şekillendirebilmek ve talaş kaldırmak için gerekli kuvvet, kesme kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Kesme kuvvetleri malzemenin bileşenlerine, sertliğine, mikroyapısına, kullanılan kesici takım malzemesi ve geometrisine, işleme parametrelerine, oluşan sıcaklığa ve tezgâhın rijitliği gibi parametrelere bağlıdır. Bu doğrultuda kesme kuvvetlerinin kesici takım devri, ilerleme oranı ve kesme ortamı gibi işleme parametrelerden nasıl etkilendiğini bilmek önem arz etmektedir. JFTP ve KFTP kompozitlerin farklı parametrelerde frezelenmesiyle elde edilen kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

JFTP kompozitin frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafikleri; 2500, 5000 ve 7500 dev/dak dönme devirleri için sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

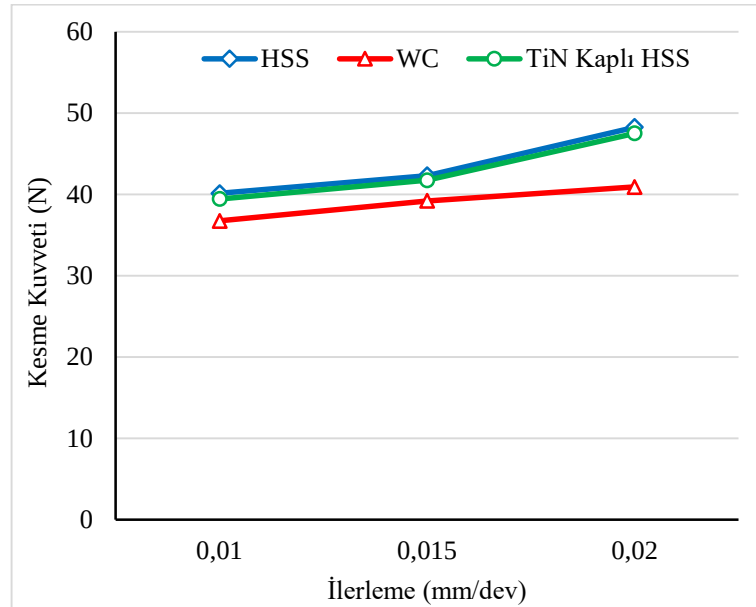


Şekil 4.1. JFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

Şekil 4.1-4.3'te görüldüğü gibi ilerlemenin kesme kuvveti üzerinde büyük bir etkisi olmuştur. Tüm kesici takımlar için ilerlemenin artması kesme kuvvetlerini arttırmıştır. Kesici takım cinsi ise kesme kuvveti değerlerini değiştirmiştir. En düşük kesme kuvveti değerleri WC parmak freze çakılarından, en yüksek ise HSS parmak freze çakılarından elde edilmiştir.

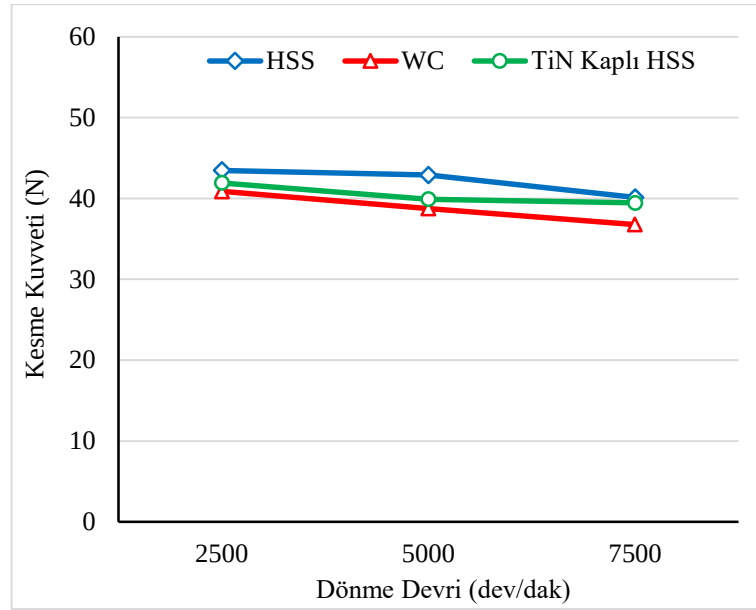


Şekil 4.2. JFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

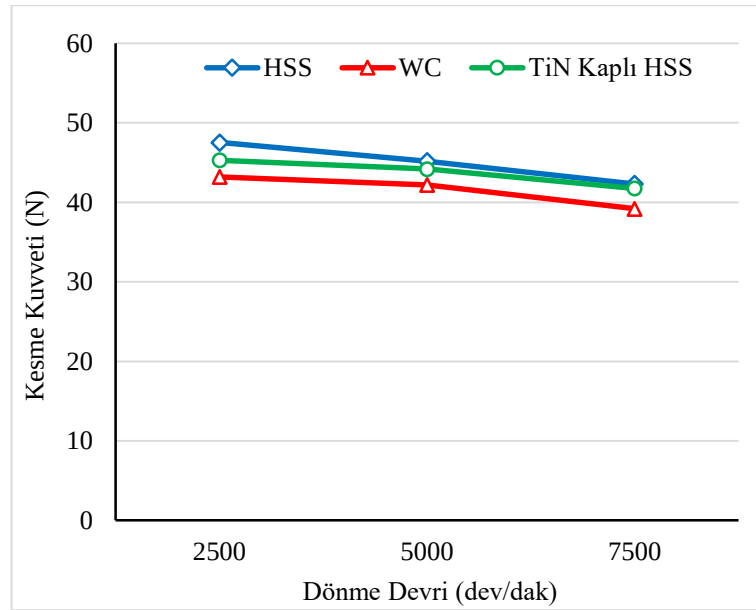


Şekil 4.3. JFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

JFTP kompozitlerin dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafikleri; 0,01; 0,015 ve 0,02 mm/dev ilerleme oranları için sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



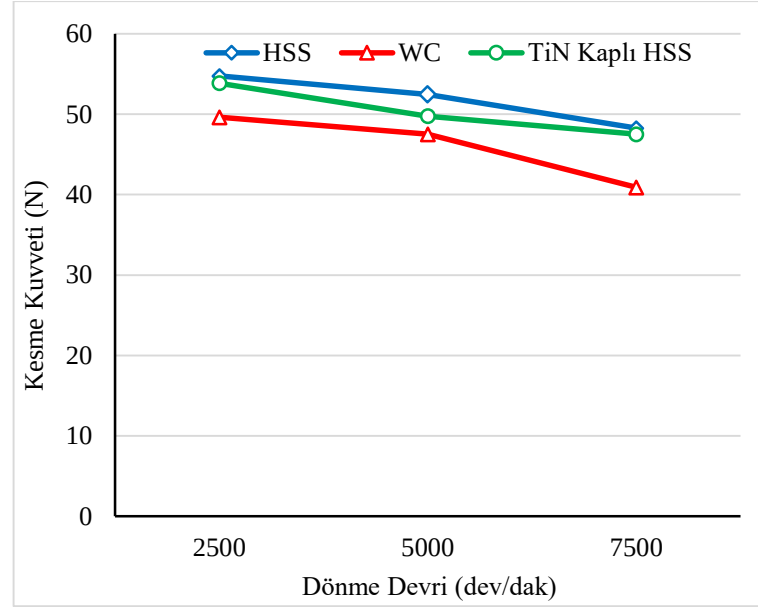
Şekil 4.4. JFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.5. JFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

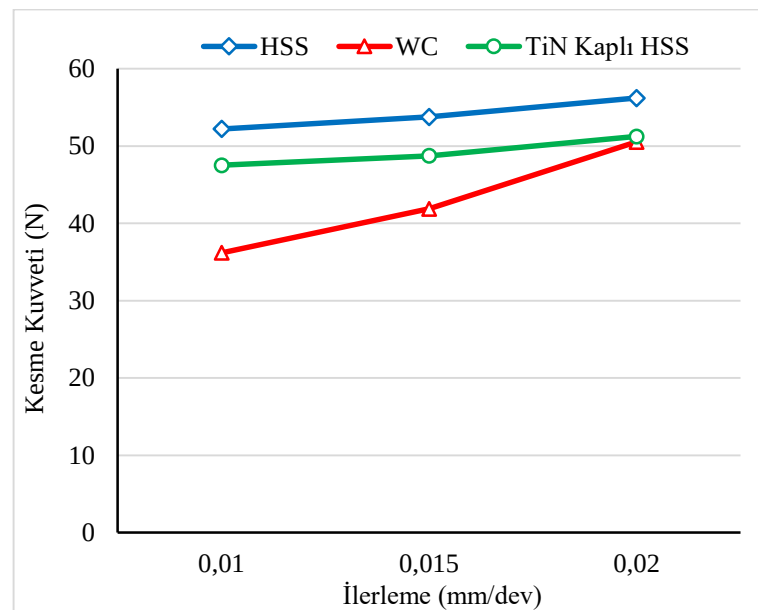
Şekil 4.1-4.3'te olduğu gibi Şekil 4.4-4.6'da da en düşük kesme kuvveti değerleri WC parmak freze çakılarından, en yüksek ise HSS parmak freze çakılarından elde edilmiştir. TiN kaplı HSS parmak freze çakılarından elde edilen kesme kuvveti değerleri, WC ve HSS parmak freze çakılarından elde edilen değerler arasında olmuştur. Ayrıca ilerlemenin aksine kesme hızındaki artış kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açmıştır. JFTP kompozitlerin frezelenme deneylerinde; tüm parmak freze çakıları için en düşük kesme kuvveti; yüksek dönme devri ve düşük ilerleme değerlerinde (dönme devri: 7500

dev/dak, ilerleme: 0,01 mm/dev), en yüksek kesme kuvveti ise düşük dönme devri ve yüksek ilerleme değerlerinde (dönme devri: 2500 dev/dak, ilerleme: 0,02 mm/dev) elde edilmiştir. Minimum ve maksimum elde edilen değerler; HSS parmak freze çakısı için 40,13 N ve 54,77 N, TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için 39,45 N ve 53,86 N ve WC parmak freze çakısı için 36,75 N ve 49,62 N'dur.

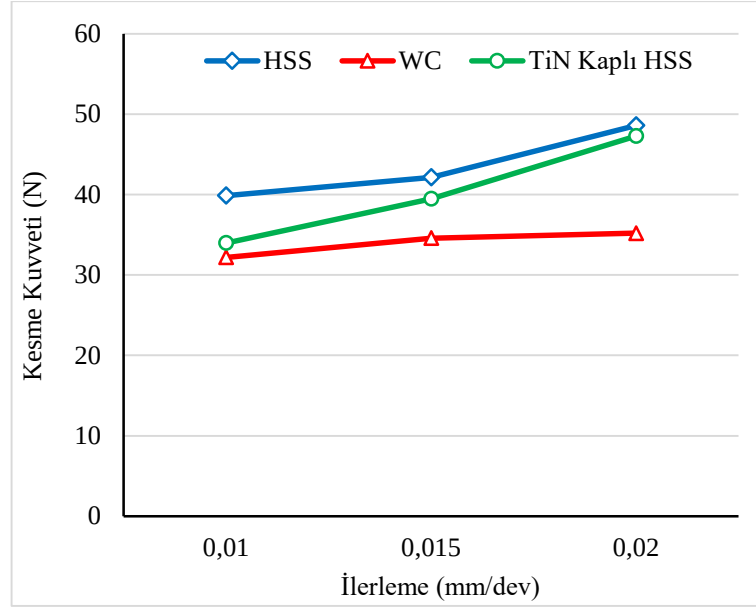


Şekil 4.6. JFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

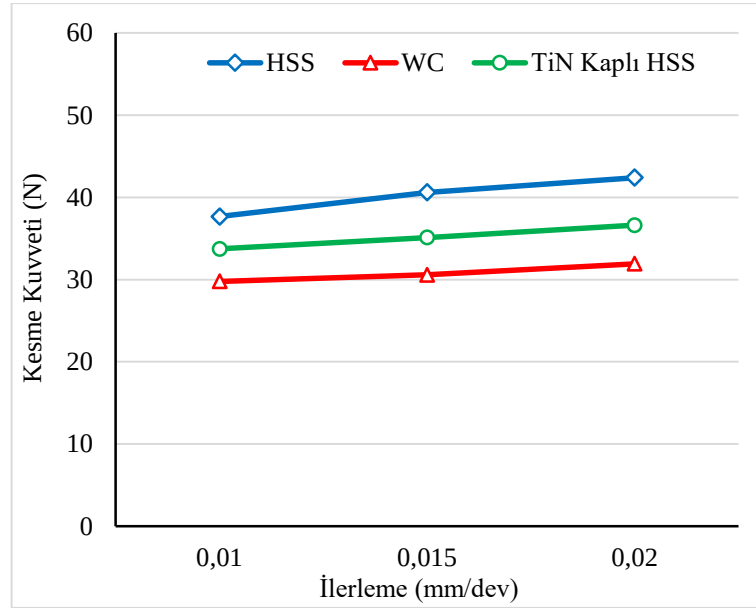
KFTP kompozitlerin frezelenmesinde, frezeleme parametrelerine bağlı kesme kuvvet grafikleri Şekil 4.7 - 4.12'de verilmiştir.



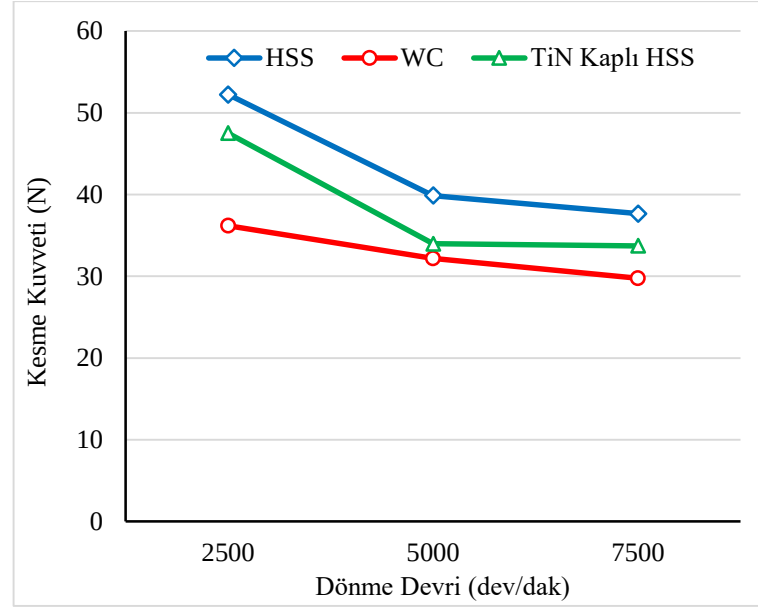
Şekil 4.7. KFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



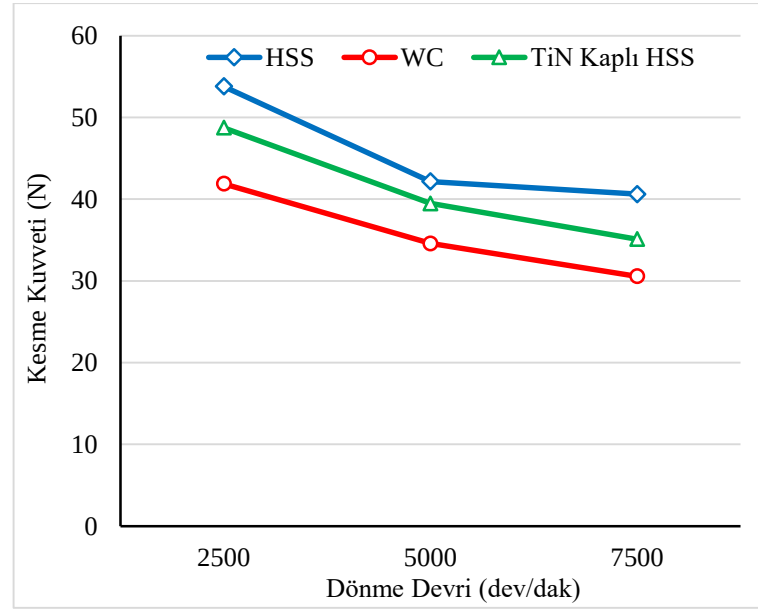
Şekil 4.8. KFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



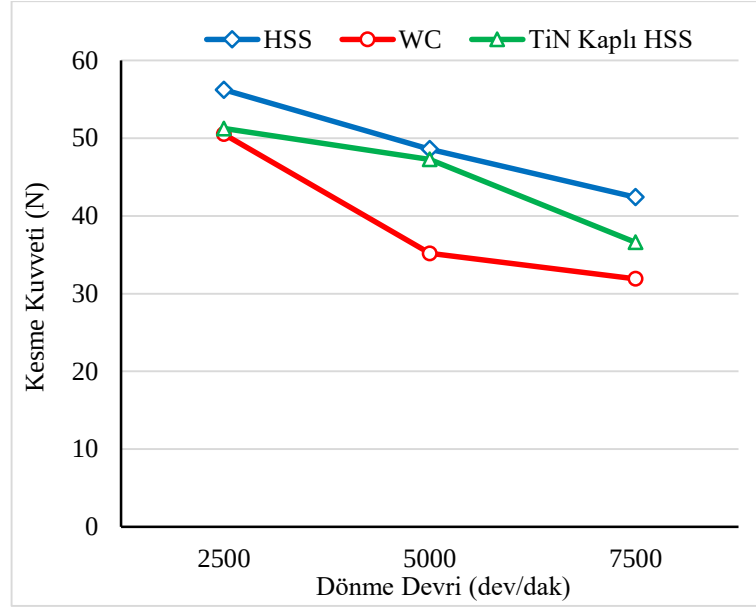
Şekil 4.9. KFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.10. KFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.11. KFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

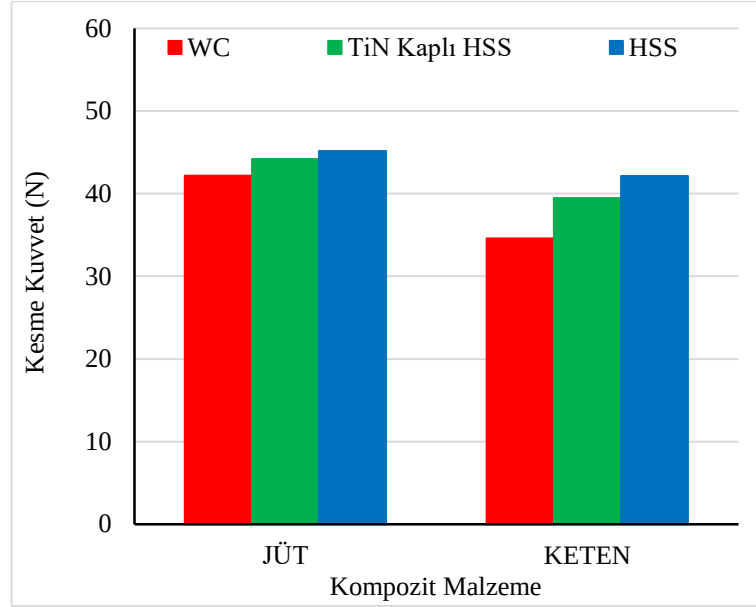


Şekil 4.12. KFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerleme ile frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

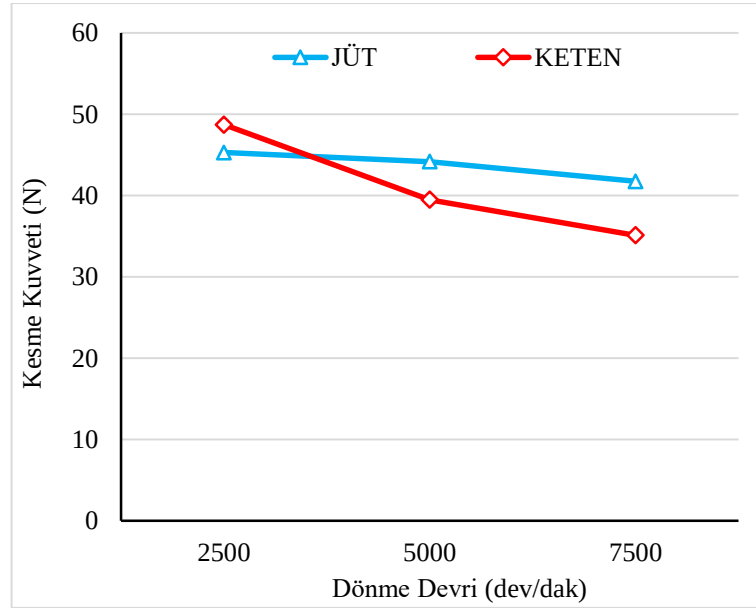
JFTP kompozitlerin frezelenmesinde olduğu gibi KFTP kompozitlerin frezelenmesinde de ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı, dönme devrinin artmasıyla kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. TiN kaplı HSS parmak freze çakılarına göre WC parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde daha düşük kesme kuvveti, HSS parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde ise daha yüksek kesme kuvveti gözlemlenmiştir.

KFTP kompozitlerin frezelenme deneylerinde; 7500 dev/dak dönme devri ve 0,01 mm/dev ilerleme için düşük kesme kuvvetleri, 2500 dev/dak dönme devri ve 0,02 mm/dev ilerleme için yüksek kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Elde edilen düşük ve yüksek kesme kuvvetlerinin değerleri; HSS parmak freze çakısı için 37,67 N ve 56,22 N, TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için 33,73 N ve 51,23 N ve WC parmak freze çakısı için 29,77 N ve 50,53 N'dur. KFTP kompozitlerin farklı kesme parametreleriyle frezelenmesinde, en düşük kesme kuvvetleri WC parmak freze çakılarının kullanıldığı, en yüksek kesme kuvvetleri ise HSS parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde meydana gelmiştir.

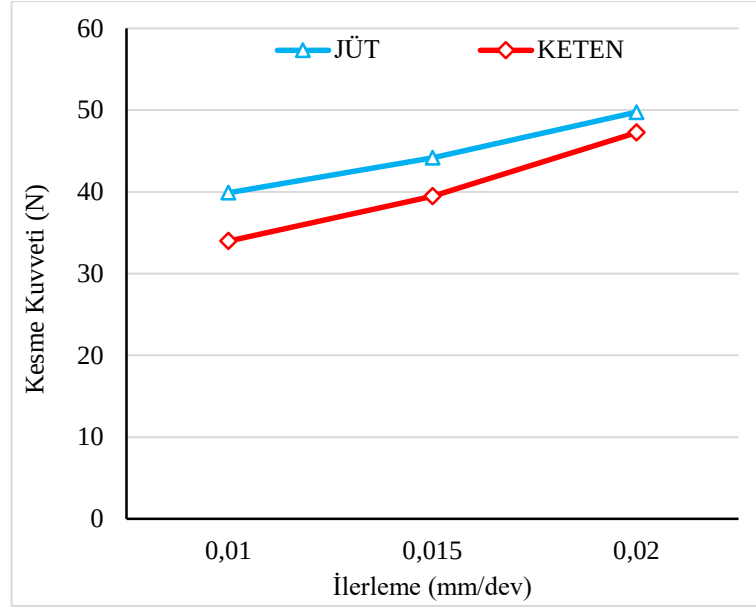
JFTP ve KFTP kompozitlerin WC, TiN kaplı HSS ve HSS parmak freze çakıları kullanılarak farklı dönme devri ve ilerleme parametrelerinde frezelenmesinde, frezeleme parametrelerinin JFTP ve KFTP kompozitlerdeki kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.13-4.15'te grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 0,015 mm/dev ilerleme ve 5000 dev/dak dönme devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.14. 0,015 mm/dev ilerleme ve TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.15. 5000 dev/dak dönme devri ve TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için ilerleme ve kompozit malzeme cinsine bağlı kesme kuvvet grafiği

Kesme kuvvetleri bakımından JFTP ve KFTP kompozit malzemeler değerlendirildiğinde, JFTP kompozit malzemelerin frezelenmesinde daha yüksek kesme kuvvet değerleri elde edilmiştir. KFTP kompozitlere göre daha düşük çekme dayanımına sahip olan JFTP kompozitlerin frezelenmesinde daha yüksek kesme kuvvetlerinin elde edilmesi, parmak freze çakılarının JFTP kompozitlerin frezelenmesinden daha çok etkilendiği anlamına gelmektedir. Öte yandan, farklı parmak freze çakılarının (HSS, TiN kaplı HSS ve WC) kullanıldığı frezeleme işlemlerinde, kesici takımın değişmesi kesme kuvvetlerinin değişmesine neden olmuştur. Bu durum, parmak freze çakılarının iş parçasına temas ettiği yüzeylerdeki sürtünme katsayısı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. WC parmak freze çakıları ile işlenen kompozitlerde düşük sürtünme katsayısının oluşması, kesme kuvvetlerinin düşük olarak elde edilmesini sağlarken; HSS parmak freze çakıları ile işlenen kompozitlerde daha yüksek sürtünme katsayısının oluşması, takımın ilerlemesini zorlaştırarak kesme kuvvetini arttırmıştır. İlerleme ve dönme devrinin değişmesi de kesme kuvvetlerini etkilemiştir. İlerlemenin artması, birim zamanda kaldırılan talaş hacmini artırır. Bu artış kesme kuvvetlerinde dinamik bir etki oluşturur ve kesme kuvvetini artırır. Başka bir deyişle birim zamanda iş parçası/takım temasının artmasından ötürü kesme kuvvetinde de artış olmaktadır (Çakır, 1999). Dönme devrindeki artış ise sürtünmeden dolayı ısı oluşumunu arttırmaktadır. Artan ısı, kesme bölgesinde matris malzemesinin yumuşamasına neden olduğu için kesme kuvvetlerinin düşük olarak elde edilmesine yol açmıştır.

4.2. Frezeleme Parametrelerinin Titreşim Üzerine Etkisi

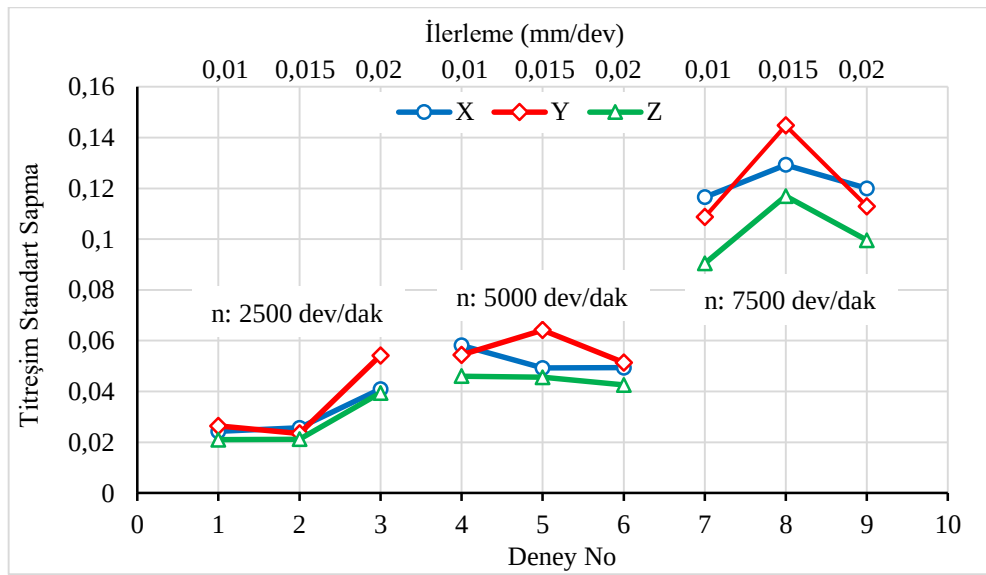
Titreşim, bir maddenin denge noktası etrafındaki salınımıdır. Bu salınımlar periyodik olabileceği gibi rastgele de olabilmektedir. Talaşlı imalatla, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı tezgâh üzerinde frekansı yüksek titreşimler meydana gelmektedir. Tezgâh üzerinde oluşan titreşimlerin ölçülmesi mümkündür. Bu titreşimler takım aşınması hakkında kestirimler yapma imkânı sunmaktadır. Titreşim ölçüm yöntemleri çok çeşitli olmakla birlikte en çok kullanılan yöntemlerden biri ivmeölçer aracılığıyla ölçüm yapmaktır. Bir ivmeölçerin kesici takım üzerine, iş parçası üzerine veya tezgâh üzerine yerleştirilmesi ile X, Y ve Z doğrultusundaki titreşim değerleri belirlenebilir.

JFTP ve KFTP kompozitlerin frezelenmesinde, frezeleme parametrelerine bağlı oluşan takım titreşim genlikleri ölçülmüştür. Titreşim ölçüm cihazından elde edilen ölçüm genlikleri, cihazın yazılımı ile bilgisayar ortamına aktararak raporlanmış ve grafik haline getirilmiştir. Grafik haline getirilen titreşim genlikleri EK-2’de verilmiştir. Belirlenen parametre değerlerinde raporlanan titreşimler ise frekans değerlerine göre minimum, maksimum ve standart ortalama genlik değerleri olarak gruplandırılmıştır. JFTP kompozit malzemelerin HSS, WC ve TiN kaplı HSS parmak freze çakıları ile frezelenmesinde elde edilen ve gruplandırılan bu değerler Tablo 4.3 - 4.5’te, standart sapma değerlerinin grafikleri Şekil 4.16 - 4.18’de verilmiştir. Ayrıca KFTP kompozit malzemelerin HSS, WC ve TiN kaplı HSS parmak freze çakıları ile frezelenmesinde elde edilen ve gruplandırılan değerler Tablo 4.6 - 4.8’de, standart sapma değerlerinin grafikleri ise Şekil 4.19 - 4.21’de verilmiştir.

Titreşim standart sapma grafiklerinde, dönme devrinin artmasıyla sapma değerlerinin arttığı görülmüştür. İlerlemenin artması ise genel olarak titreşim sapma değerini arttırmıştır. Ancak bazı deneylerde artan ilerleme ile bu saptamada düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, ortam şartları ve işlenen malzemenin yapısı gibi faktörlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Düşük ilerleme ve dönme devirlerinde daha az titreşim sapma değerleri oluşurken, yüksek ilerleme ve dönme devirlerinde daha fazla titreşim sapma değerleri oluşmuştur. JFTP ve KFTP kompozitlerin titreşim standart sapma değerleri bir birine yakın olarak elde edilmiştir. Kesici takımlarda ise en düşük titreşim sapma değerleri HSS parmak freze çakılarında gözlemlenirken, en yüksek titreşim sapma değerleri WC parmak freze çakılarında gözlemlenmiştir. Bu da, kesici takımların rijitliği, sertliği ve dolayısıyla titreşimi absorbe etme özelliği ile ilgilidir.

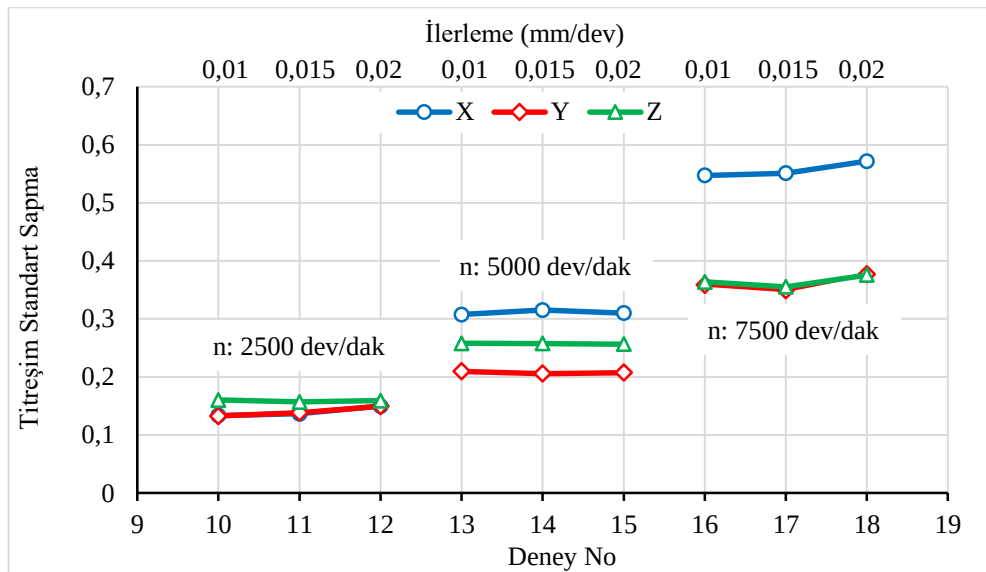
Tablo 4.3. JFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze $\dot{\text{c}}\text{a}}\text{k}\text{ı}\text{s}\text{ı}$ ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri

Deney No	Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Eksenler	Minimum Değer (g)	Maksimum Değer (g)	Standart Sapma
1	2500	0,01	X	-0,2709	0,3106	0,024307
			Y	-0,2016	0,2742	0,026414
			Z	-0,2507	0,2213	0,020983
2	2500	0,015	X	-0,3115	0,3397	0,025649
			Y	-0,1753	0,2359	0,023452
			Z	-0,2537	0,2354	0,021167
3	2500	0,02	X	-0,6083	0,6303	0,040922
			Y	-0,3932	0,3669	0,054149
			Z	-0,5859	0,3984	0,039411
4	5000	0,01	X	-0,5720	0,5355	0,058149
			Y	-0,4535	0,3703	0,054385
			Z	-0,3345	0,4107	0,046016
5	5000	0,015	X	-0,3134	0,4074	0,049225
			Y	-0,3299	0,3493	0,064174
			Z	-0,2895	0,313	0,04557
6	5000	0,02	X	-0,4647	0,6722	0,049344
			Y	-0,2408	0,3140	0,051409
			Z	-0,3458	0,3927	0,042542
7	7500	0,01	X	-0,8064	0,8129	0,116491
			Y	-0,4482	0,7549	0,108679
			Z	-0,4817	0,5018	0,090436
8	7500	0,015	X	-0,7378	0,8398	0,129252
			Y	-0,5598	0,5997	0,144744
			Z	-0,5190	0,7033	0,116923
9	7500	0,02	X	-1,0827	0,6149	0,119952
			Y	-0,4750	0,5514	0,112938
			Z	-0,3843	0,6553	0,099565

**Şekil 4.16.** JFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze $\dot{\text{c}}\text{a}}\text{k}\text{ı}\text{s}\text{ı}$ ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği

Tablo 4.4. JFTP kompozit malzemenin WC parmak freze çıkışı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri

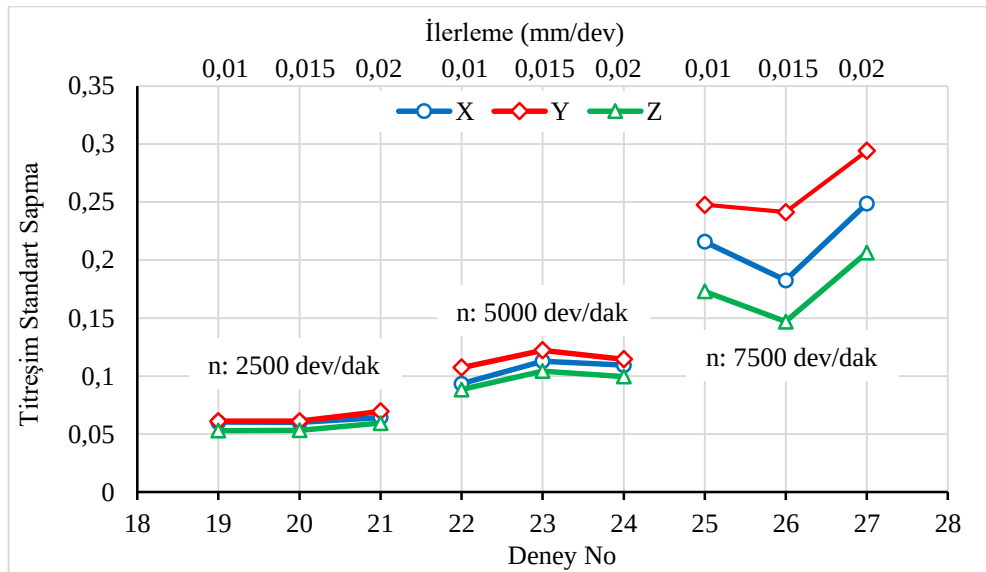
Deney No	Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Eksenler	Minimum Değer (g)	Maksimum Değer (g)	Standart Sapma
10	2500	0,01	X	-1,0534	1,0575	0,133642
			Y	-0,8606	1,0977	0,132667
			Z	-1,0720	1,3249	0,160159
11	2500	0,015	X	-1,1389	1,2351	0,136685
			Y	-0,8621	1,0087	0,138485
			Z	-0,9690	1,1693	0,156989
12	2500	0,02	X	-1,3758	1,2055	0,149866
			Y	-0,8766	1,1445	0,149514
			Z	-0,9255	1,4298	0,159118
13	5000	0,01	X	-1,9950	2,4310	0,307481
			Y	-1,1227	1,5917	0,209562
			Z	-1,4275	1,5948	0,257874
14	5000	0,015	X	-2,2012	2,0170	0,315169
			Y	-1,2444	1,3591	0,205777
			Z	-1,5597	1,8338	0,257543
15	5000	0,02	X	-1,8923	2,1927	0,310134
			Y	-1,3049	1,2119	0,207467
			Z	-1,4702	1,4694	0,256586
16	7500	0,01	X	-3,6320	3,7323	0,547256
			Y	-1,6740	2,0958	0,358827
			Z	-2,0248	2,3161	0,363786
17	7500	0,015	X	-2,9794	3,2378	0,551086
			Y	-1,5958	1,6770	0,349428
			Z	-1,9562	2,2046	0,355243
18	7500	0,02	X	-3,4003	3,9884	0,571925
			Y	-2,0241	2,0349	0,377193
			Z	-1,9378	2,1452	0,375722



Şekil 4.17. JFTP kompozit malzemenin WC parmak freze çıkışı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği

Tablo 4.5. JFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri

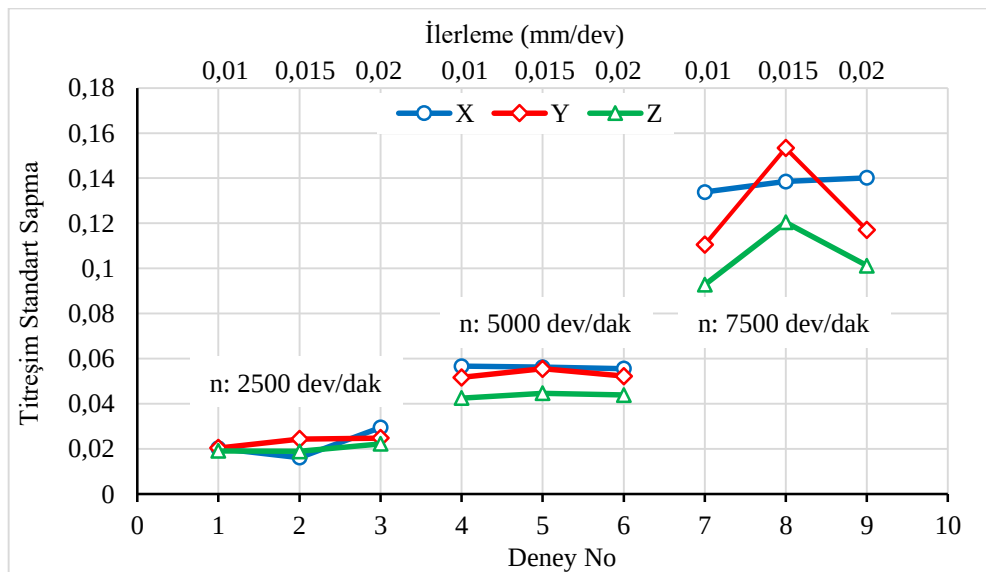
Deney No	Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Eksenler	Minimum Değer (g)	Maksimum Değer (g)	Standart Sapma
19	2500	0,01	X	-0,6224	0,5876	0,060328
			Y	-0,4446	0,4373	0,061135
			Z	-0,3562	0,3510	0,052983
20	2500	0,015	X	-0,6262	0,6758	0,060089
			Y	-0,4333	0,5783	0,06117
			Z	-0,4968	0,6371	0,053242
21	2500	0,02	X	-0,6011	0,6020	0,064286
			Y	-0,6536	0,6074	0,069524
			Z	-0,6832	0,5034	0,059548
22	5000	0,01	X	-0,6148	0,6023	0,093352
			Y	-0,4836	0,8759	0,107335
			Z	-0,3902	0,6270	0,088463
23	5000	0,015	X	-0,7087	0,8030	0,112809
			Y	-0,8273	1,0997	0,122294
			Z	-0,5066	0,6944	0,104247
24	5000	0,02	X	-0,7539	0,7080	0,109472
			Y	-0,6185	0,8797	0,114471
			Z	-0,4279	0,6420	0,099617
25	7500	0,01	X	-1,0968	1,1746	0,215742
			Y	-0,9638	1,8232	0,24754
			Z	-0,6796	0,9765	0,172958
26	7500	0,015	X	-0,9955	0,8500	0,182507
			Y	-0,9421	1,5226	0,241313
			Z	-0,5626	0,9473	0,146973
27	7500	0,02	X	-1,1017	1,2051	0,248684
			Y	-1,1442	1,9724	0,294134
			Z	-0,7119	1,1418	0,206573



Şekil 4.18. JFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği

Tablo 4.6. KFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze akısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri

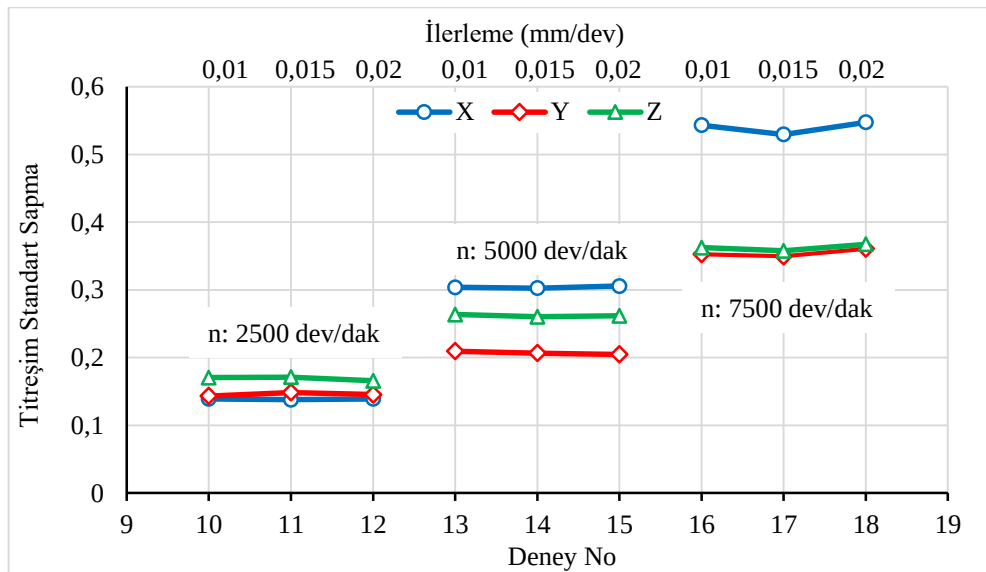
Deney No	Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Eksenler	Minimum Değer (g)	Maksimum Değer (g)	Standart Sapma
1	2500	0,01	X	-0,1956	0,2015	0,020325
			Y	-0,1364	0,2304	0,020428
			Z	-0,1507	0,1369	0,019166
2	2500	0,015	X	-0,3764	0,3198	0,016226
			Y	-0,1783	0,3531	0,024437
			Z	-0,1872	0,2780	0,018938
3	2500	0,02	X	-0,3747	0,3942	0,02951
			Y	-0,1872	0,4102	0,02486
			Z	-0,1783	0,3726	0,022283
4	5000	0,01	X	-0,4333	0,5388	0,056712
			Y	-0,2066	0,3001	0,05176
			Z	-0,3747	0,3035	0,042618
5	5000	0,015	X	-0,4854	0,5413	0,056303
			Y	-0,3968	0,3693	0,055534
			Z	-0,3009	0,3657	0,044739
6	5000	0,02	X	-0,3568	0,6738	0,055615
			Y	-0,3054	0,3601	0,052289
			Z	-0,3351	0,3799	0,043929
7	7500	0,01	X	-1,0311	0,7215	0,133875
			Y	-0,4105	0,6005	0,110554
			Z	-0,4564	0,6295	0,092808
8	7500	0,015	X	-0,8785	1,0825	0,138528
			Y	-0,5750	0,6304	0,153403
			Z	-0,5764	0,5733	0,120475
9	7500	0,02	X	-1,1255	0,7048	0,140142
			Y	-0,5154	0,6355	0,117034
			Z	-0,4638	0,7846	0,101243



Şekil 4.19. KFTP kompozit malzemenin HSS parmak freze akısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği

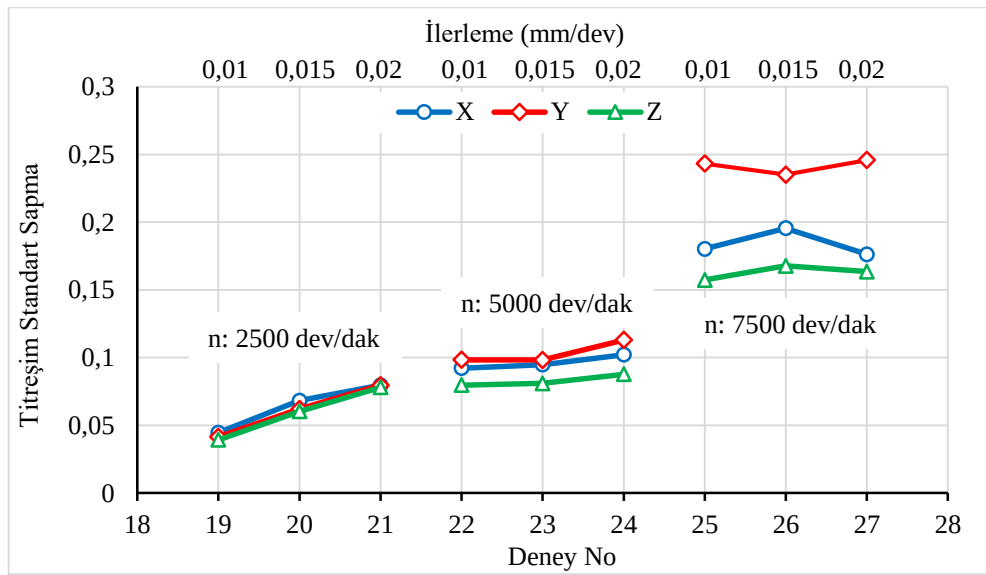
Tablo 4.7. KFTP kompozit malzemenin WC parmak freze akısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri

Deney No	Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Eksenler	Minimum Değer (g)	Maksimum Değer (g)	Standart Sapma
10	2500	0,01	X	-1,0227	1,0406	0,139135
			Y	-0,8269	1,0151	0,143326
			Z	-0,8640	1,0882	0,170582
11	2500	0,015	X	-0,9629	1,1581	0,137861
			Y	-0,7738	1,0436	0,148372
			Z	-1,0344	1,0800	0,171115
12	2500	0,02	X	-0,9918	1,0783	0,13894
			Y	-0,7982	1,0947	0,145502
			Z	-0,8483	1,6370	0,165726
13	5000	0,01	X	-1,9586	1,6851	0,303823
			Y	-1,4650	1,2664	0,209563
			Z	-1,8185	1,8859	0,263535
14	5000	0,015	X	-2,1132	2,1736	0,3026
			Y	-1,2290	1,1718	0,20666
			Z	-1,7676	1,7017	0,260395
15	5000	0,02	X	-2,0667	2,2555	0,305648
			Y	-1,3444	1,2333	0,204696
			Z	-1,4467	1,8436	0,261849
16	7500	0,01	X	-3,9659	3,4619	0,543229
			Y	-1,5180	1,9378	0,352761
			Z	-2,0105	2,1991	0,362555
17	7500	0,015	X	-3,1503	3,2324	0,529637
			Y	-1,5217	2,1292	0,349731
			Z	-1,9463	2,4049	0,357675
18	7500	0,02	X	-3,0937	3,2250	0,54746
			Y	-1,7402	1,9153	0,360822
			Z	-2,4593	2,1485	0,367357

**Şekil 4.20.** KFTP kompozit malzemenin WC parmak freze akısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği

Tablo 4.8. KFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim genlik değerleri

Deney No	Dönme Devri (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Eksenler	Minimum Değer (g)	Maksimum Değer (g)	Standart Sapma
19	2500	0,01	X	-0,4113	0,3982	0,044628
			Y	-0,2946	0,3213	0,041493
			Z	-0,2499	0,2779	0,039209
20	2500	0,015	X	-0,4968	0,4652	0,068202
			Y	-0,4268	0,5238	0,062086
			Z	-0,4124	0,4298	0,060343
21	2500	0,02	X	-0,5219	0,5628	0,079534
			Y	-0,5022	0,6489	0,079562
			Z	-0,4895	0,5287	0,077986
22	5000	0,01	X	-0,5496	0,5846	0,092158
			Y	-0,4457	0,9354	0,098366
			Z	-0,4033	0,5002	0,079666
23	5000	0,015	X	-0,7630	0,6095	0,094777
			Y	-0,4200	0,8755	0,098298
			Z	-0,4033	0,5144	0,081033
24	5000	0,02	X	-1,0423	1,0225	0,102199
			Y	-0,6751	1,1656	0,113025
			Z	-0,7016	0,5928	0,087684
25	7500	0,01	X	-1,0354	0,9861	0,180232
			Y	-0,8439	1,7980	0,243243
			Z	-0,4631	0,9800	0,157347
26	7500	0,015	X	-0,9705	1,1581	0,195497
			Y	-0,8981	1,5140	0,235117
			Z	-0,7277	0,9203	0,167729
27	7500	0,02	X	-1,0200	1,0454	0,176313
			Y	-0,9766	1,8629	0,245897
			Z	-0,7549	1,1771	0,163527



Şekil 4.21. KFTP kompozit malzemenin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde elde edilen titreşim standart sapma grafiği

4.3. Frezeleme Parametrelerinin Deformasyon Faktörü Üzerine Etkisi

Metalik malzemeler ile kıyaslandığında fiber takviyeli kompozit malzemelerin talaşlı olarak işlenmesinde, hasarlar meydana gelmektedir. Kompozit malzemelerin işlenmesinde en yaygın görülen hasarlar, deformasyon, elyaf kırılması ve fiber/matris ara yüzey ayrılmasıdır. Bu hasarlardan dolayı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri zayıflamakta ve bu durum da kompozit malzemenin kullanım ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, kompozit malzemeler işlenirken oluşan hasarların minimize edilmesi önem arz etmektedir. Minimum hasar için işleme parametrelerinin, kesici takım malzemesinin ve geometrisinin uygun olarak seçilmesi gerekmektedir.

JFTP ve KFTP kompozit malzemelerin frezelenmesinde, iş parçası üzerinde açılan kanal boyunca deformasyon meydana gelmiştir. Kompozit malzemelerin HSS, TiN Kaplı HSS ve WC parmak freze çakıları ile frezelemesinde oluşan bazı deformasyon görüntüleri Şekil 4.22 - 4.27’de verilmiştir.



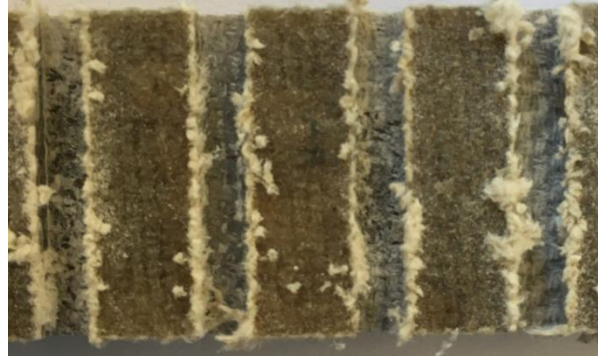
Şekil 4.22. JFTP kompozitin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri



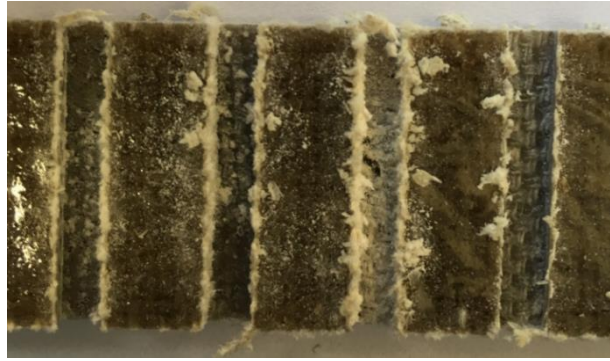
Şekil 4.23. JFTP kompozitin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri



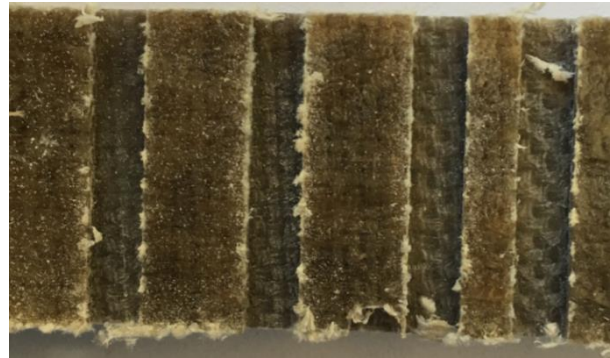
Şekil 4.24. JFTP kompozitin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri



Şekil 4.25. KFTP kompozitin HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri

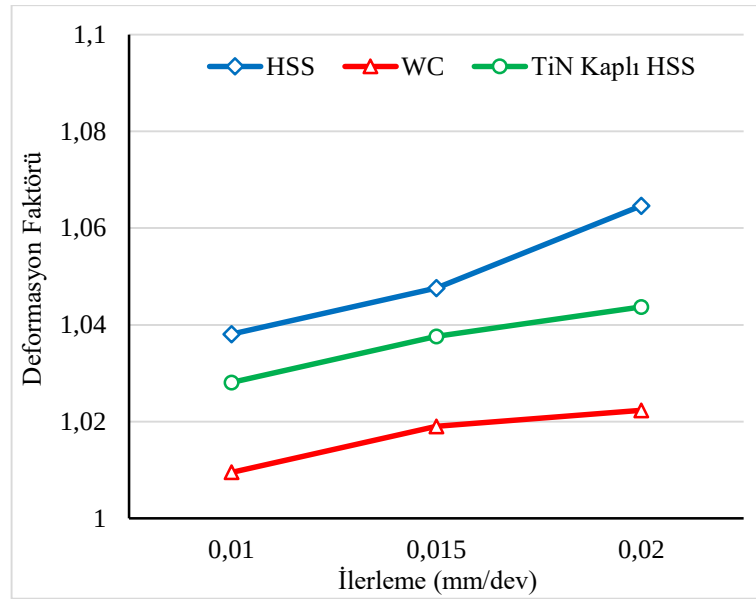


Şekil 4.26. KFTP kompozitin TiN kaplı HSS parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri

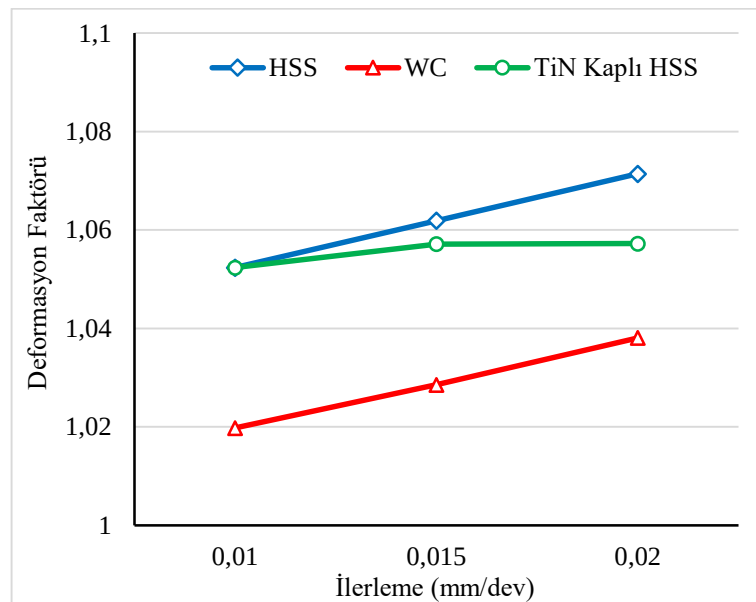


Şekil 4.27. KFTP kompozitin WC parmak freze çakısı ile frezelenmesinde oluşan deformasyon görüntüleri

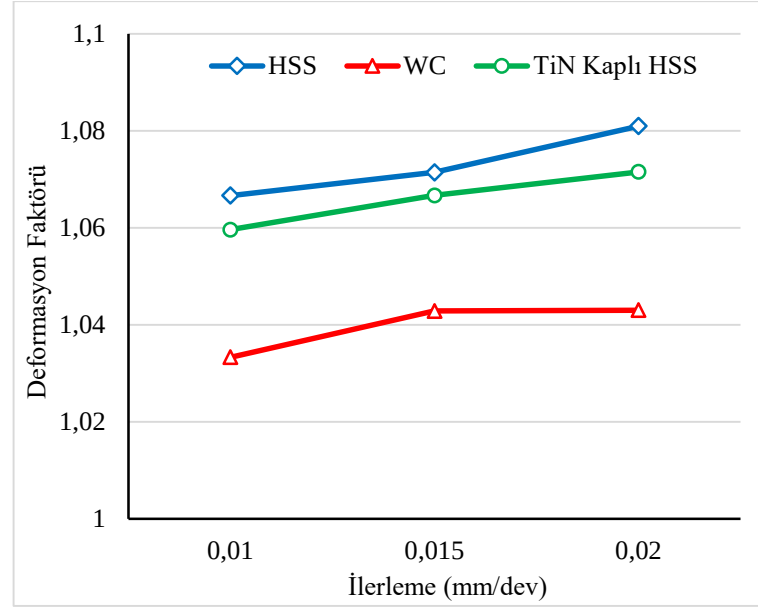
Şekil 4.22 - 4.27’de görüldüğü gibi, meydana gelen deformasyonlar, kullanılan parmak freze cinsine göre farklılıklar göstermiştir. Ayrıca bu deformasyonlar, dönme devri ve ilerlemeye göre de değişmektedir. JFTP ve KFTP kompozitlerin, HSS, TiN kaplı HSS ve WC parmak freze çakıları ile farklı dönme devri ve ilerleme değerlerinde frezelenmesiyle elde edilen deformasyonlar, denklem 3.1’deki eşitlik kullanılarak deformasyon faktörü şeklinde hesaplanmıştır. JFTP kompozit malzemeler için yapılan frezeleme deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda, frezeleme parametrelerinin deformasyon faktörü üzerindeki etkileri Şekil 4.28 - Şekil 4.33’te verilmiştir.



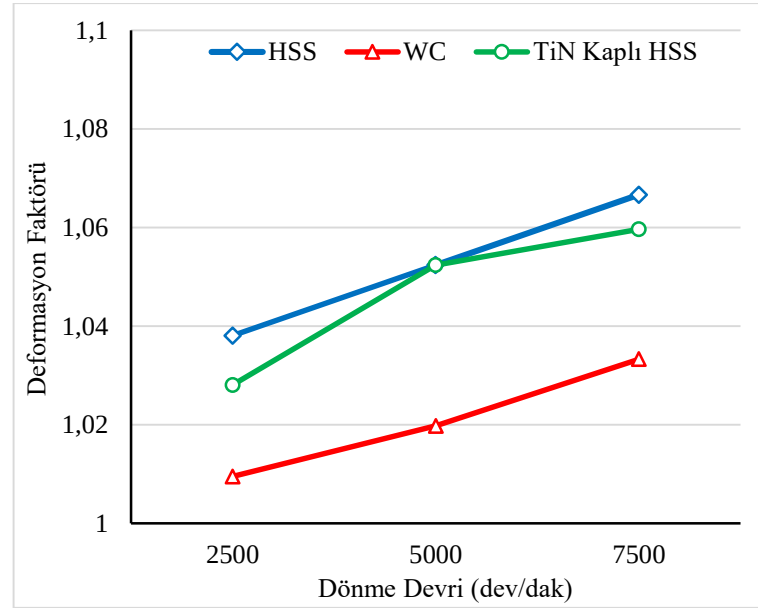
Şekil 4.28. JFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



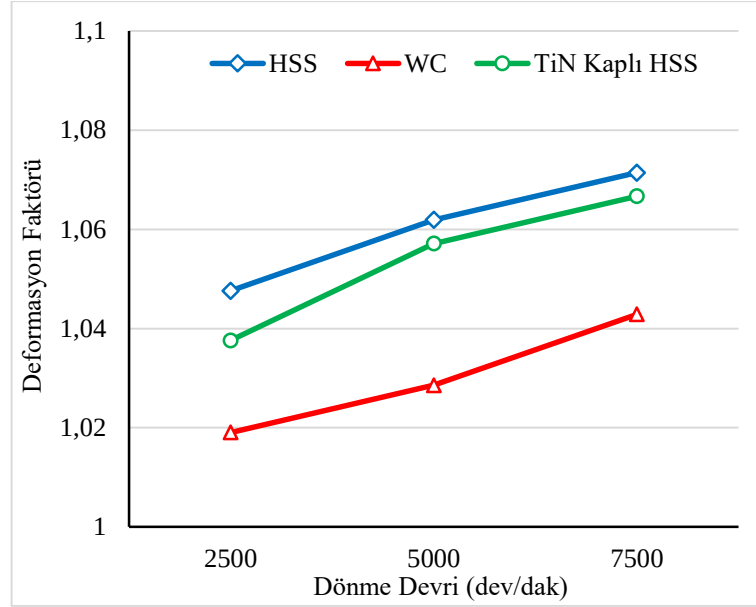
Şekil 4.29. JFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



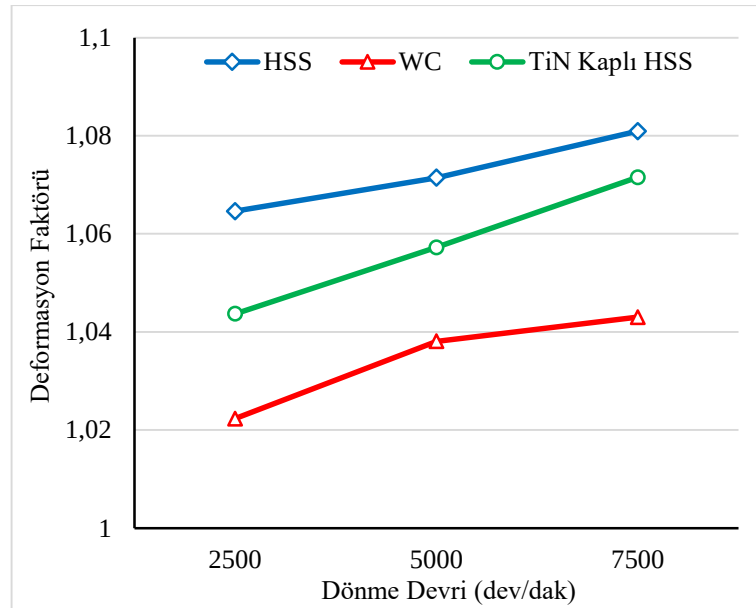
Şekil 4.30. JFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



Şekil 4.31. JFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

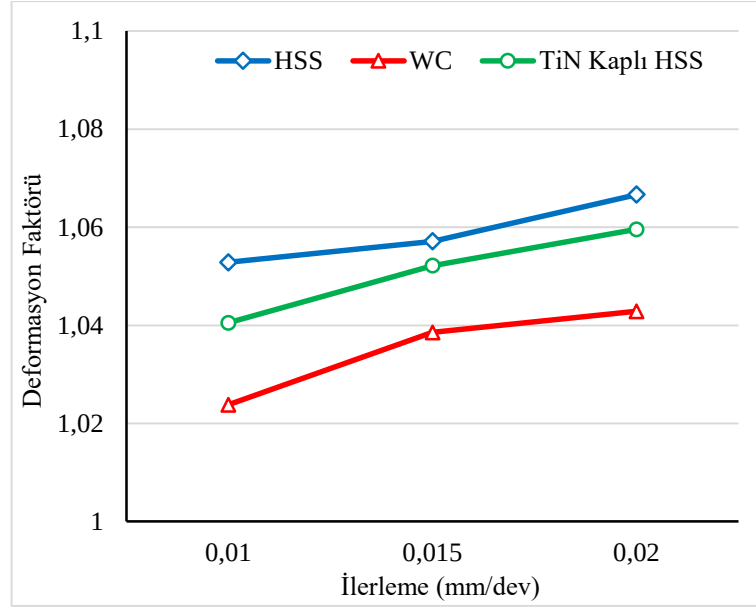


Şekil 4.32. JFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

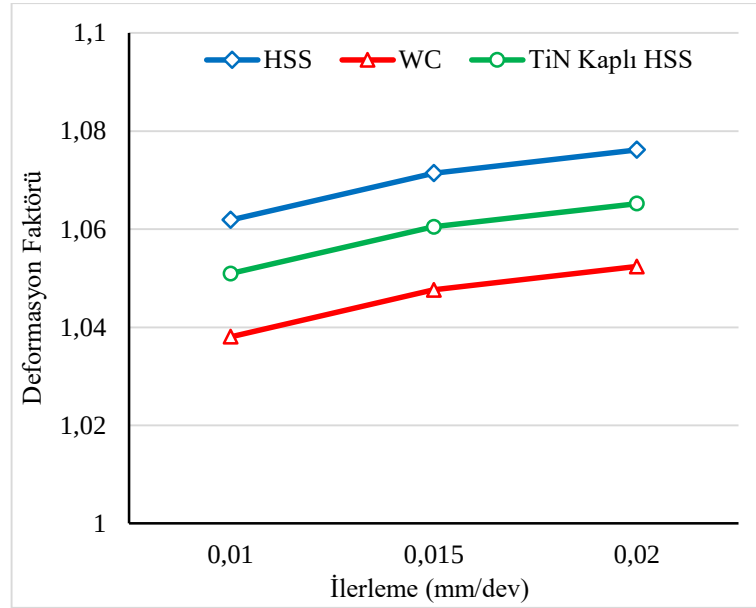


Şekil 4.33. JFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

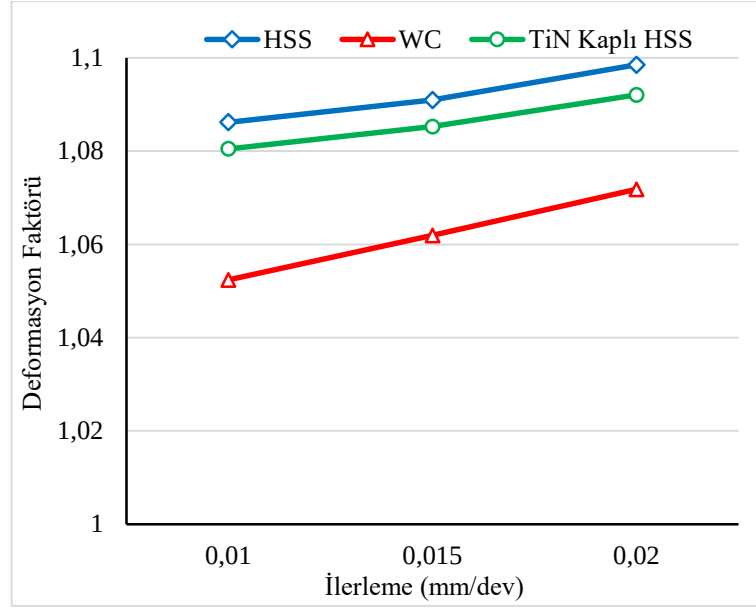
KFTP kompozit malzemeler için yapılan frezeleme deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda, frezeleme parametrelerinin deformasyon faktörü üzerindeki etkileri Şekil 4.34 - Şekil 4.39'da verilmiştir.



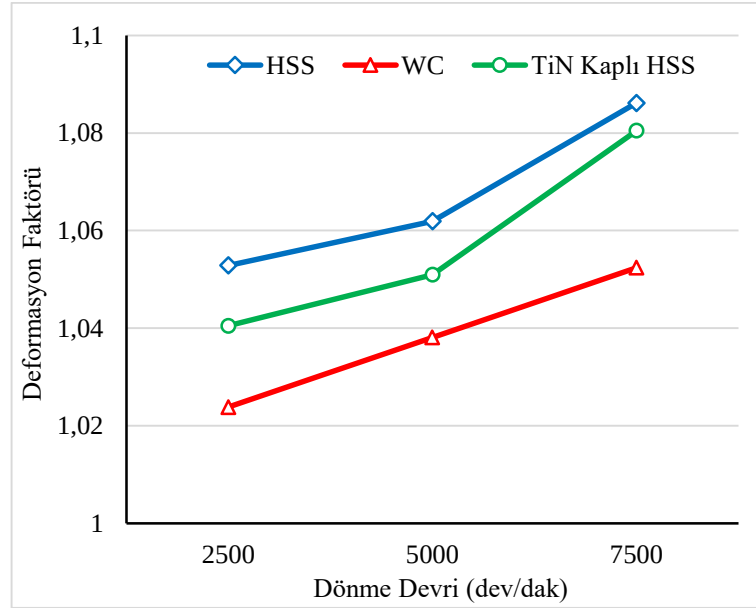
Şekil 4.34. KFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



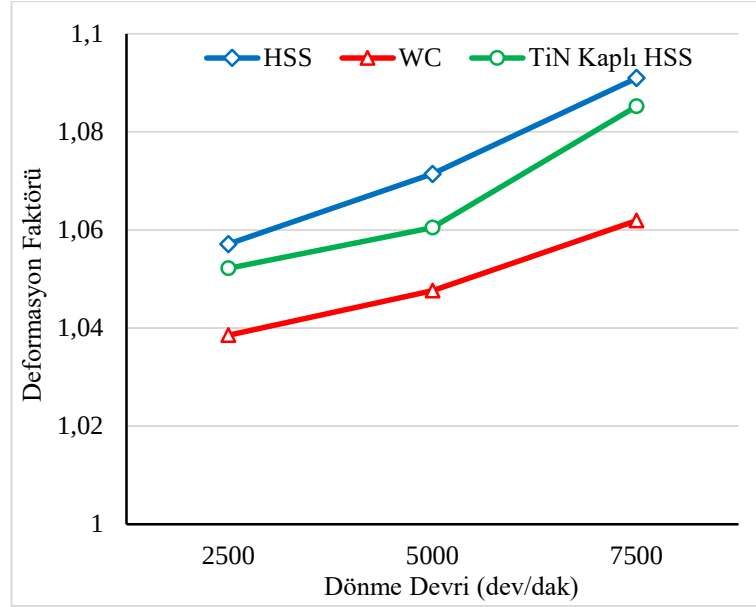
Şekil 4.35. KFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



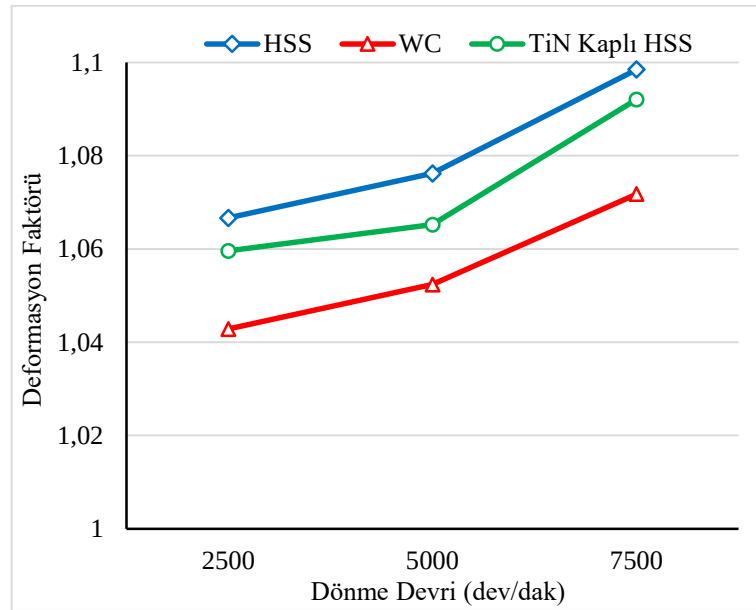
Şekil 4.36. KFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



Şekil 4.37. KFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

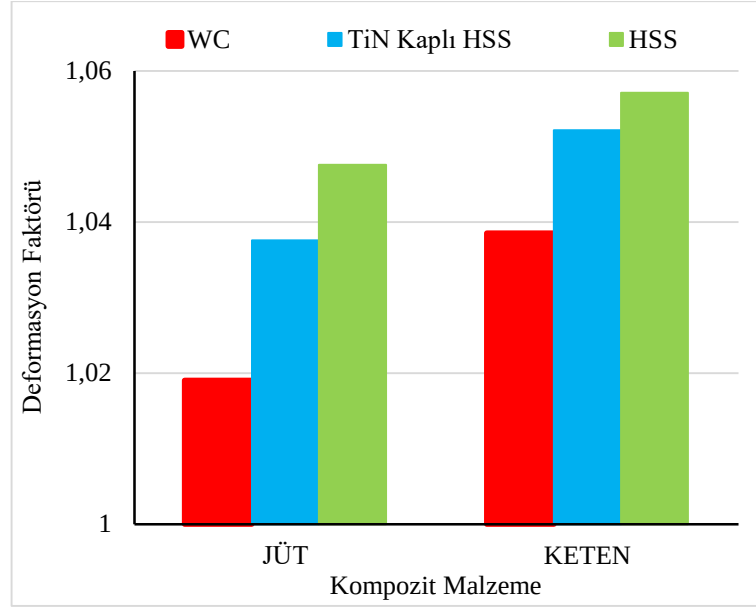


Şekil 4.38. KFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

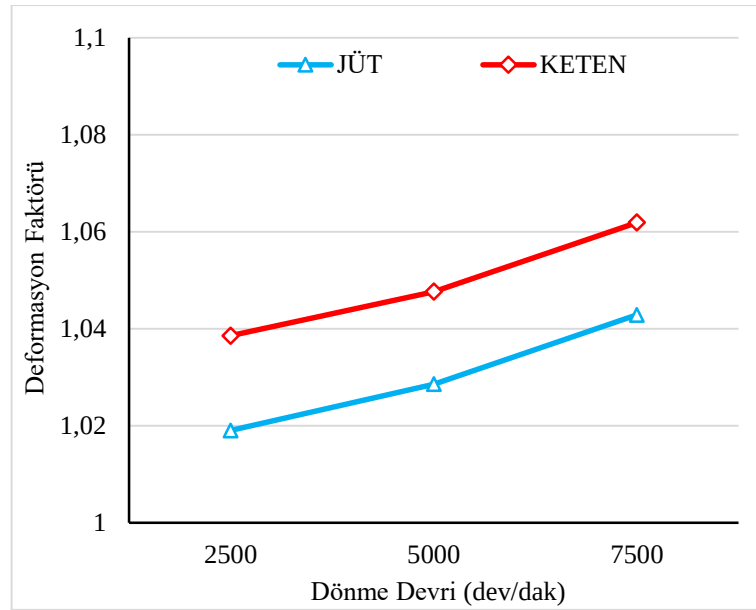


Şekil 4.39. KFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

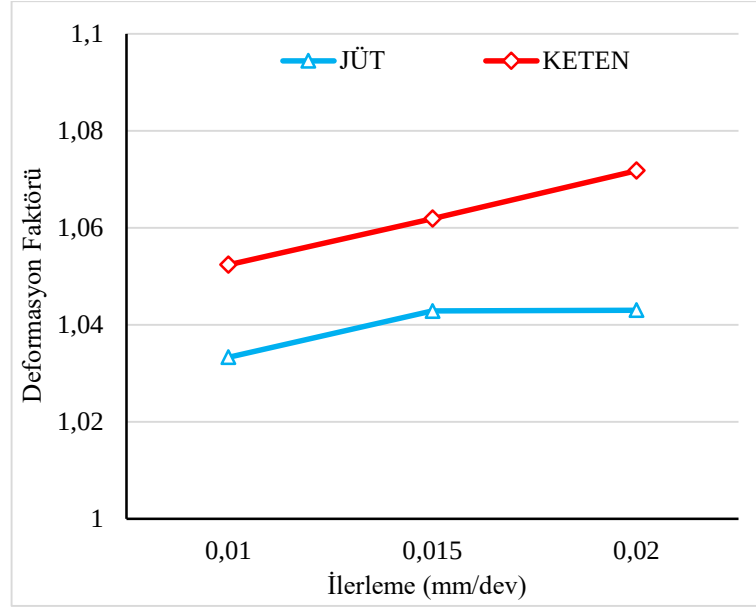
JFTP ve KFTP kompozit malzemeler için yapılan frezeleme deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda; 0,015 mm/dev ilerleme ve 2500 dev/dak dönme devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü Şekil 4.40’da, WC parmak freze çakısı ve 0,015 mm/dev ilerleme için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı deformasyon faktörü Şekil 4.41’de, WC parmak freze çakısı ve 7500 dev/dak dönme devri için ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.40. 0,015 mm/dev ilerleme ve 2500 dev/dak dönem devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



Şekil 4.41. 0,015 ilerleme ve WC parmak freze çakısı için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği



Şekil 4.42. 7500 dev/dak dönme devri ve WC parmak freze çakısı için ilerleme ve kompozit malzeme cinsine bağlı deformasyon faktörü grafiği

Deformasyon faktörü grafiklerinden görüldüğü gibi JFTP ve KFTP kompozitlerin frezelenmesinde, ilerlemenin artması ile deformasyon faktörün arttığı görülmektedir. Yüksek ilerleme değerlerinde, parmak freze çakıları; JFTP ve KFTP kompozitlerdeki fiberlerin bir kısmını kesecek zaman bulamamaktadır. Ayrıca ilerleme değerindeki artışın oluşturduğu yüksek kesme kuvveti, kesilmeyen bu fiberleri kanalın dışına doğru iterek koparmaktadır. Kopan fiberlerin deformasyon faktörünü arttırdığı düşünülmektedir. İlerlemede olduğu gibi dönme devrindeki artışın da deformasyon faktörünü arttırdığı görülmüştür. Yüksek dönme devrinde, sürtünmeden dolayı oluşan ısı; matrisin yumuşamasına ve dolayısıyla kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açmıştır. Matrisin yumuşamasından dolayı matris/fiber arasındaki bağ zayıflamıştır. Ayrıca yumuşayan matris içerisinde takımın fiberlere teması ile titreşim artmıştır. Artan titreşimin deformasyon faktörünü arttırdığı düşünülmektedir.

Kesici takımlarda, en düşük deformasyon faktörü WC parmak freze çakılarından en yüksek HSS parmak freze çakılarından elde edilmiştir. Kesici takım cinsine bağlı oluşan kesme kuvvetinin deformasyon faktörünü etkilediği düşünülmektedir.

JFTP kompozitlere göre KFTP kompozitlerde daha yüksek deformasyon faktörü oluşmuştur. Yapılan bu çalışmada, kesme kuvveti ve titreşim ile deformasyon faktörü bir paralellik göstermemiştir. Bu doğrultuda, JFTP kompozitlere göre KFTP kompozitlerde

daha yüksek deformasyon faktörü oluşmasının nedeni, jüt ve keten fiberlerin kimyasal yapısı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Frezelenen JFTP kompozitlerde, en yüksek deformasyon faktörü; 0,02 mm/dev ilerleme ve 7500 dev/dak dönme devri ile HSS parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde 1,081 olarak elde edilmiştir. En düşük deformasyon faktörü ise 0,01 mm/dev ilerleme ve 2500 dev/dak dönme devri ile WC parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde 1,010 olarak elde edilmiştir. Frezelenen KFTP kompozitlerde de en yüksek ve en düşük deformasyon faktörü aynı frezeleme parametrelerinden elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 1,098 ve 1,024'tür.

4.4. Frezeleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

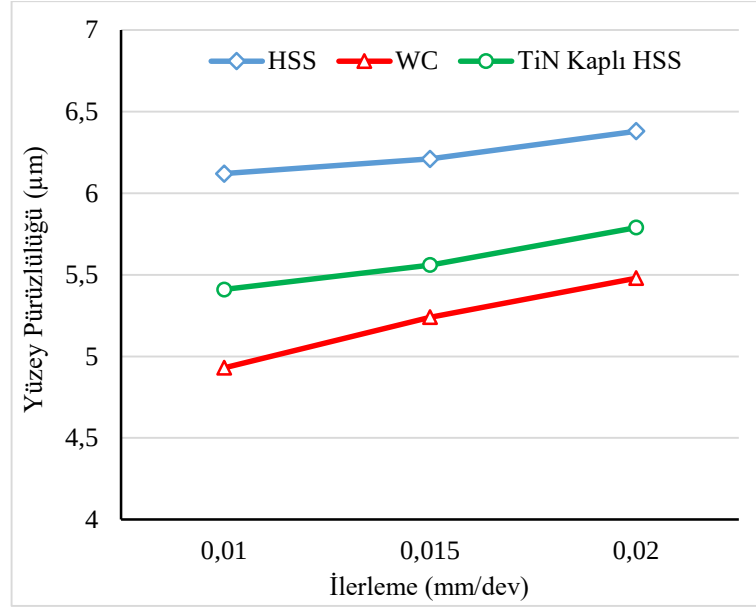
Yüzey pürüzlülüğü, işleme parametrelerine bağlı iş parçasının kalitesini belirleyen önemli parametrelerden biridir. İmal edilen bir parçanın performans kalitesi, kısmen imalat sürecinden kaynaklanan yüzey kalitesi ile belirlenir. Deformasyon faktöründe olduğu gibi yüzey kalitesi de kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini zayıflamakta ve kullanım ömrünü azalmaktadır.

Kompozit malzemeler işlenirken yüzey pürüzlülük kalitesinin arzu edilen toleranslar dâhilinde olması istenmektedir. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri, takım malzemesi, takım geometrisi, dönme devri, ilerleme ve talaş derinliği gibi işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkisi vardır. Bu parametrelerin bir biri ile uyumlu seçilmesi, yüzey pürüzlülük değerinin arzu edilen toleranslar dâhilinde elde edilmesini sağlayacaktır.

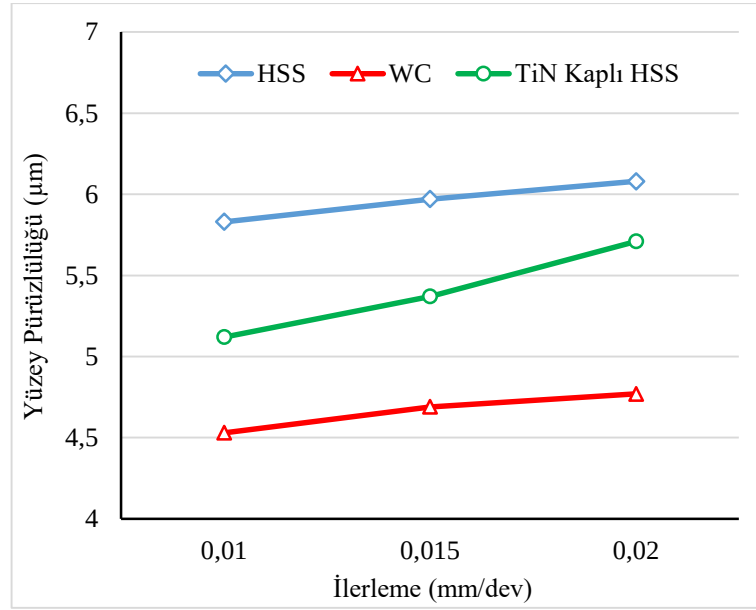
JFTP kompozit malzemeler için farklı frezeleme parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri Şekil 4.43 - 4.49'da verilmiştir.

KFTP kompozit malzemeler için farklı frezeleme parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri Şekil 4.50 - 4.56'da verilmiştir.

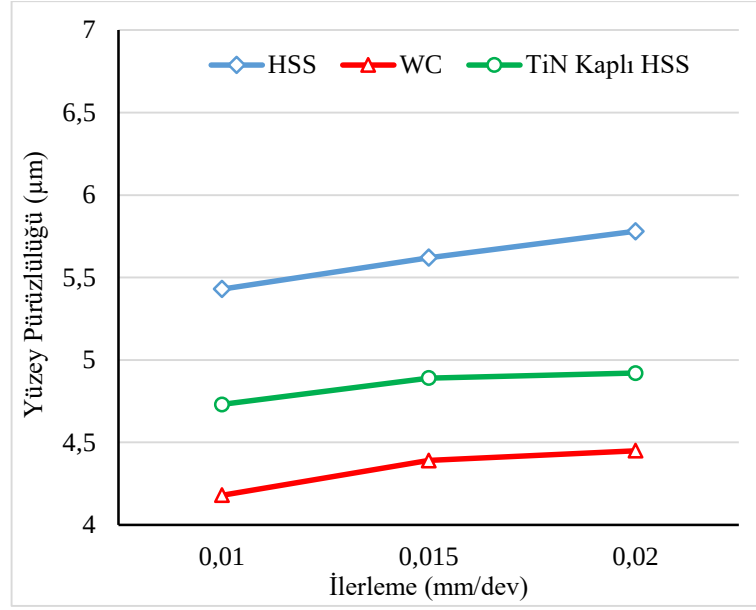
JFTP ve KFTP kompozitlerin WC, TiN kaplı HSS ve HSS parmak freze çakıları kullanılarak farklı dönme devri ve ilerleme parametrelerinde frezelenmesinde, frezeleme parametrelerinin JFTP ve KFTP kompozitlerdeki yüzey pürüzlülük üzerine etkileri ise Şekil 4.57-4.59'da grafik halinde gösterilmiştir.



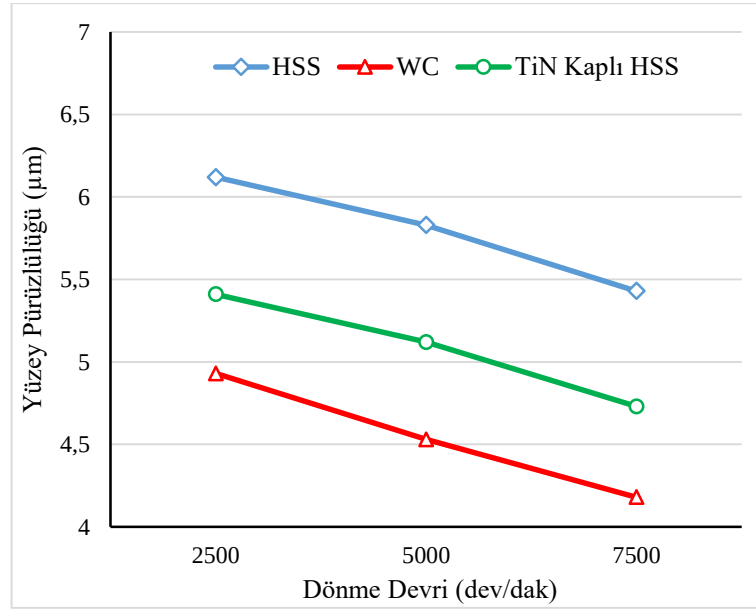
Şekil 4.43. JFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



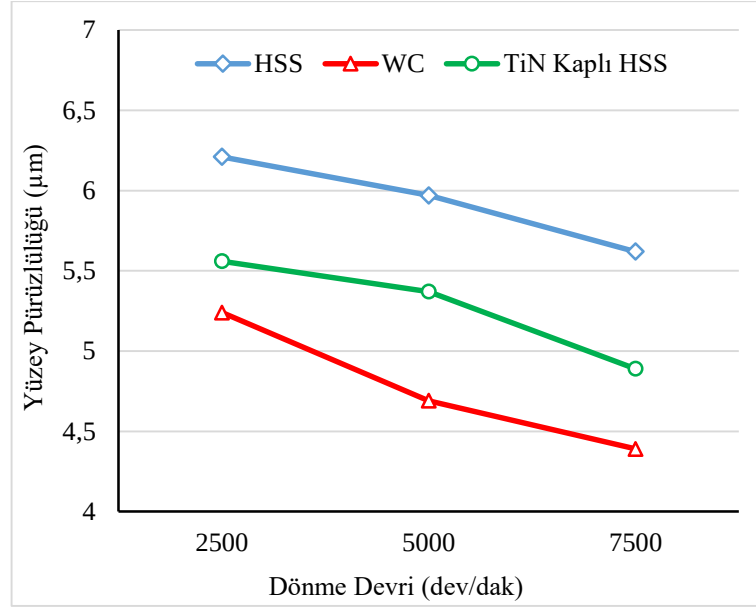
Şekil 4.44. JFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



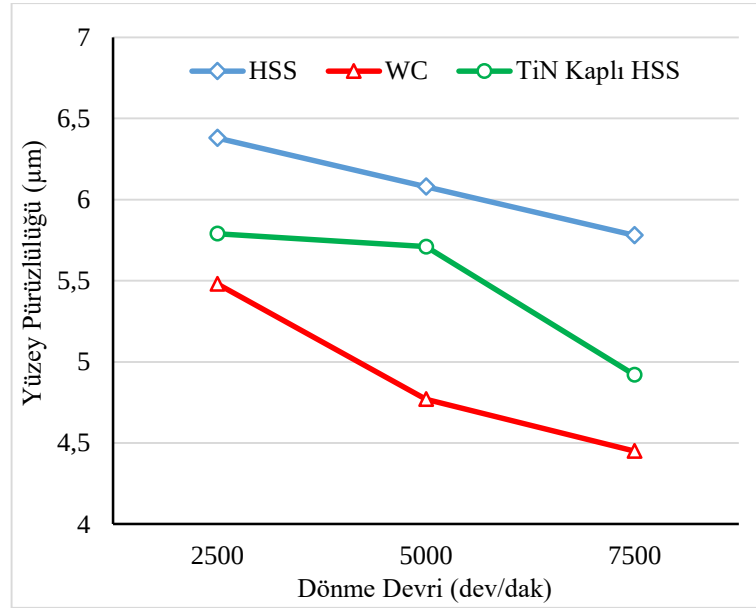
Şekil 4.45. JFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



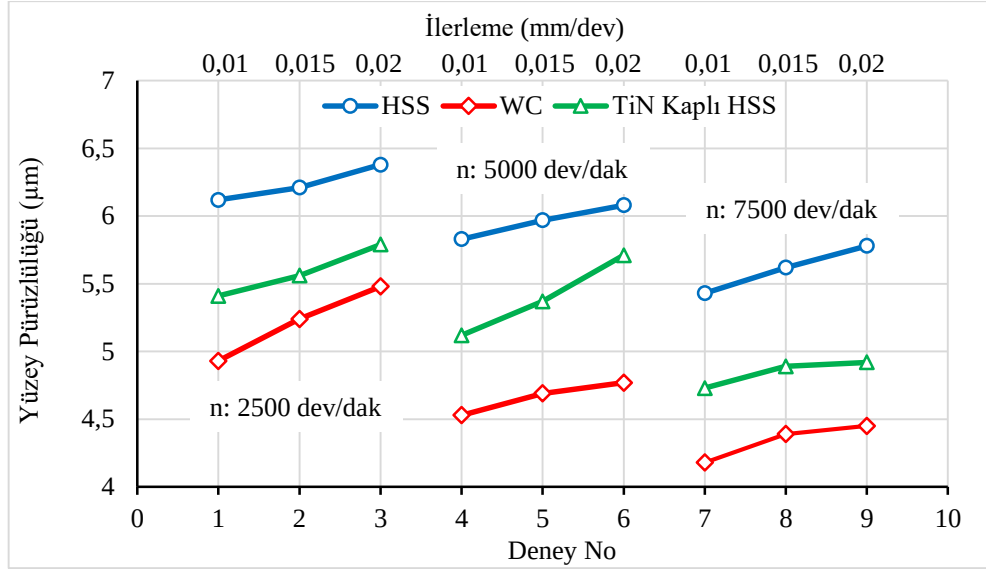
Şekil 4.46. JFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 4.47. JFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



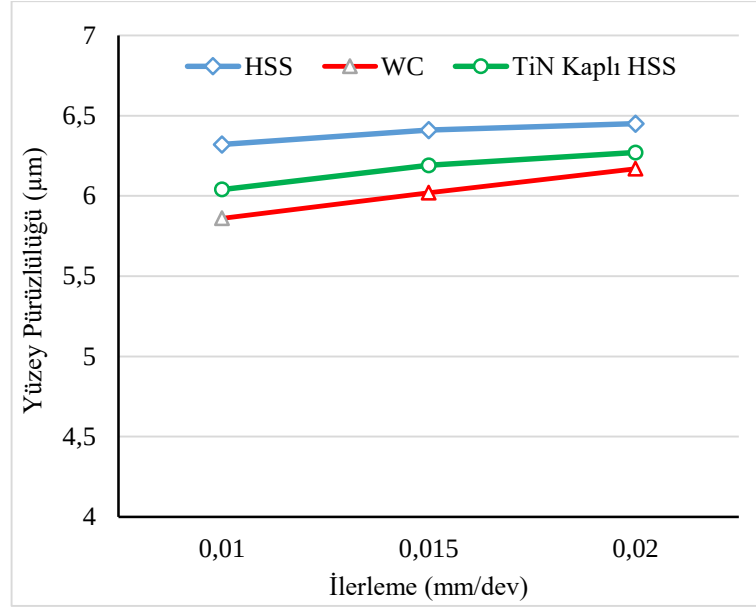
Şekil 4.48. JFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



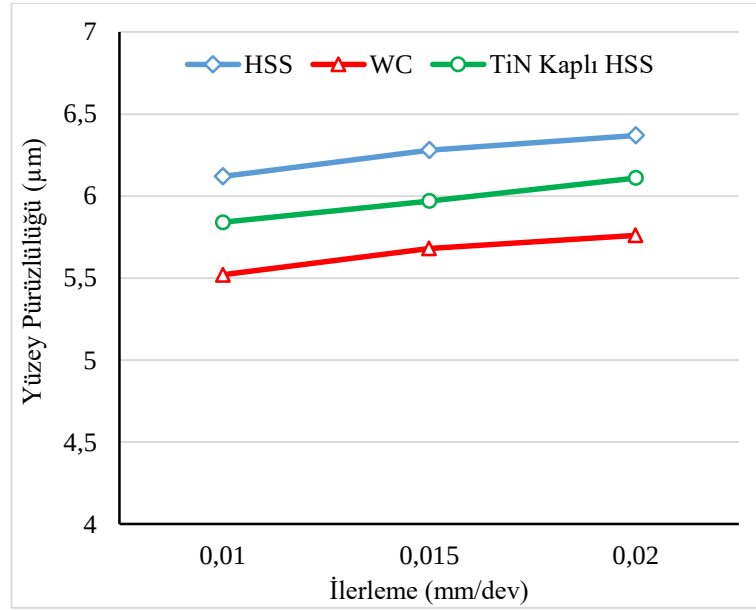
Şekil 4.49. Frezeleme parametrelerinin JFTP kompozitin yüzey pürüzlülük üzerine etkisi

JFTP kompozitlerin frezelenmesinde, ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, dönme devrinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca WC parmak freze çakıların kullanıldığı deneylerde, daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilirken HSS parmak freze çakıların kullanıldığı deneylerde, daha yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Frezelenen JFTP kompozitlerde, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri; 0,02 mm/dev ilerleme ve 2500 dev/dak dönme devri ile HSS parmak freze çakıların kullanıldığı deneylerde görülmüştür. Bu değer 6,38 µm'dir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,01 mm/dev ilerleme ve 7500 dev/dak dönme devri ile WC parmak freze çakıların kullanıldığı deneylerde elde edilmiştir. Elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri 4,18 µm'dir. WC parmak freze çakısından gözlemlenen en kötü yüzey kalitesi, HSS parmak freze çakısından gözlemlenen en iyi yüzey kalitesine yakın elde edilmiştir.

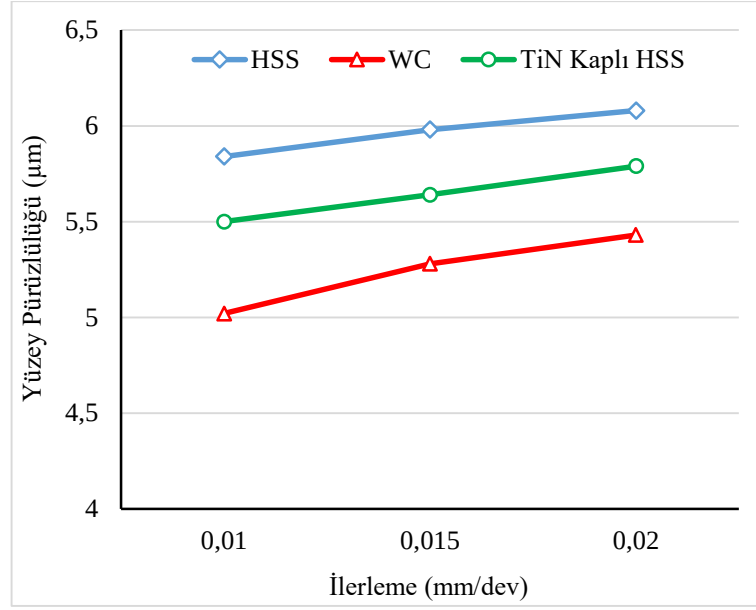
JFTP kompozitlerde yüzey pürüzlülük değerlerinin geleneksel malzemelere göre yüksek çıkması, bu kompozit malzemelerin frezelenmesi sırasında kesici kenar kesme işleminin her anında farklı elyaf açıları ile karşılaşmasıdır. Kesme yönü ve elyaf yönlendirme arasındaki etkileşim açısı işleme esnasında kesici kenarın konumuna ve elyaf yönüne bağlı olarak değişir. Bu durum JFTP kompozitlerin frezelenmesinde kesme işleminin elyafların kopması, uzaması ve bükülmesi şeklinde gerçekleşmesine neden olduğundan kötü bir yüzey meydana gelmesine sebep olmuştur.



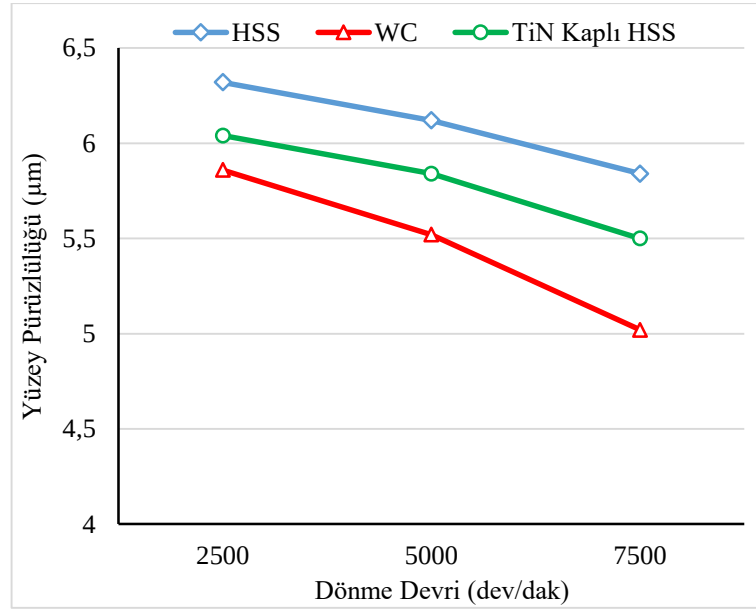
Şekil 4.50. KFTP kompozitin 2500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



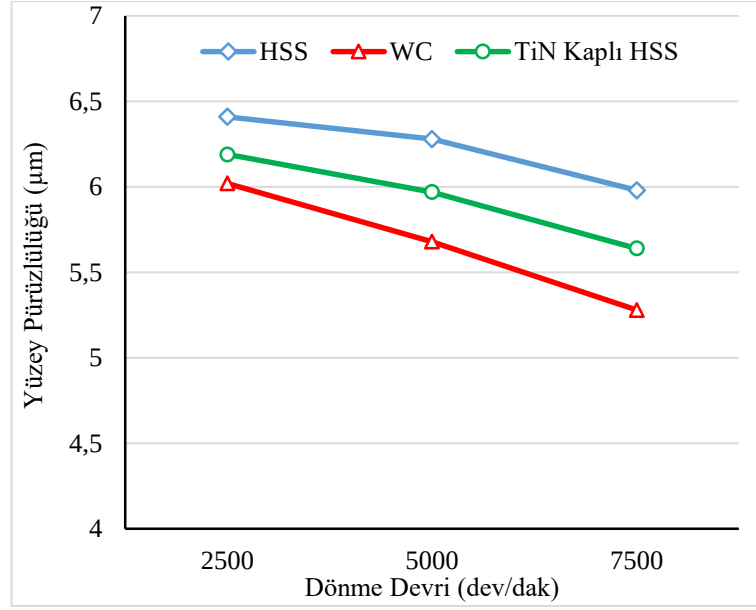
Şekil 4.51. KFTP kompozitin 5000 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



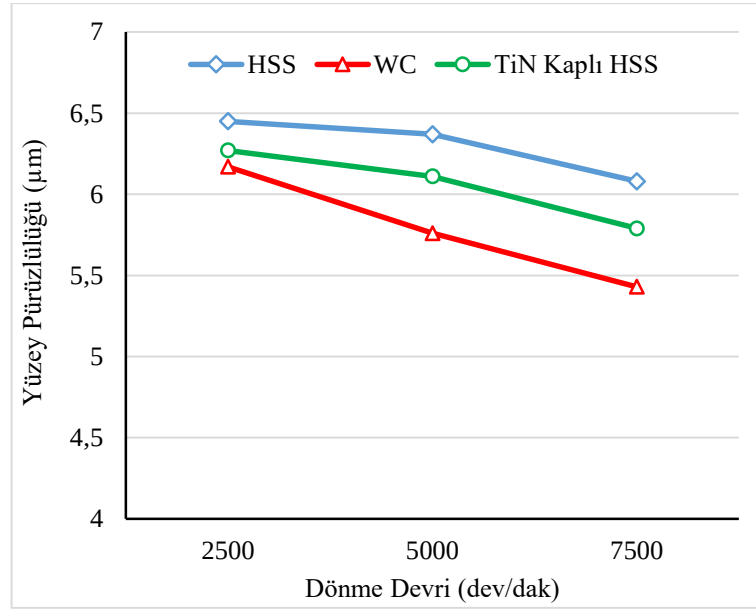
Şekil 4.52. KFTP kompozitin 7500 dev/dak dönme devriyle frezelenmesinde, ilerleme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



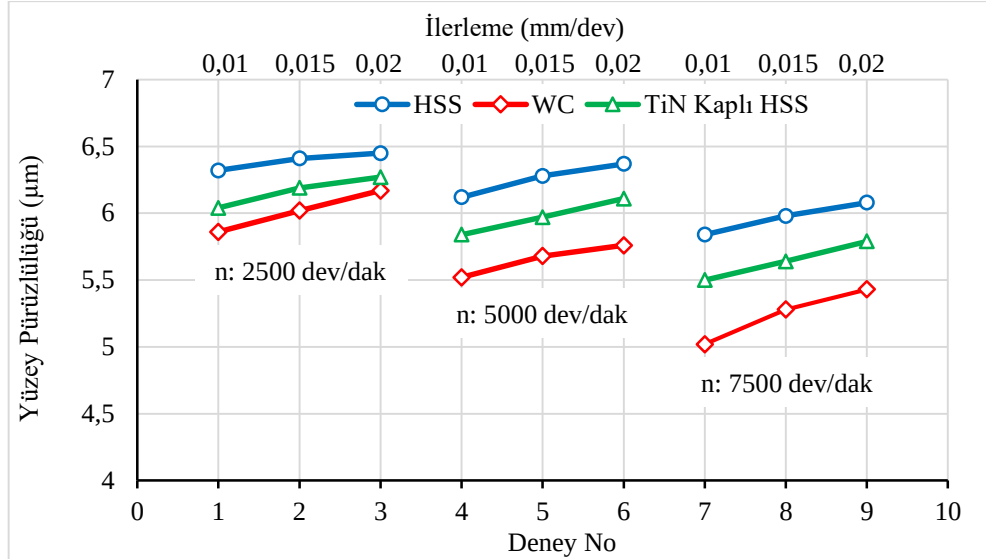
Şekil 4.53. KFTP kompozitin 0,01 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 4.54. KFTP kompozitin 0,015 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

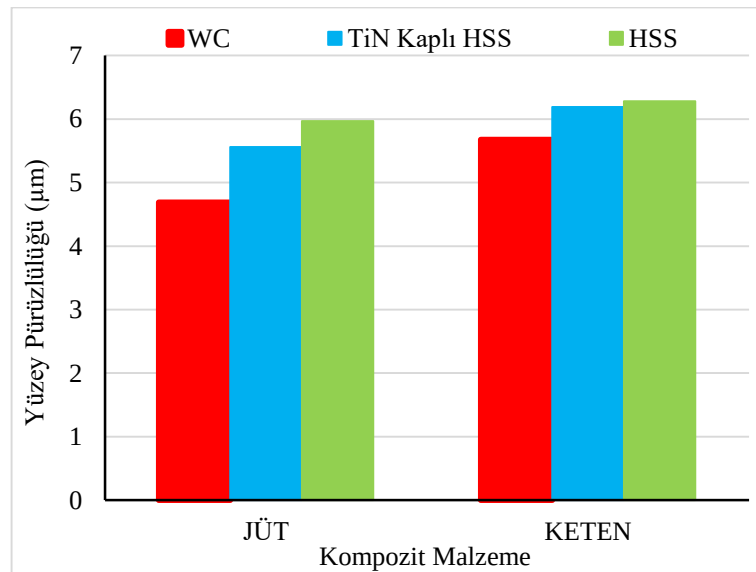


Şekil 4.55. KFTP kompozitin 0,02 mm/dev ilerlemeyle frezelenmesinde, dönme devri ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

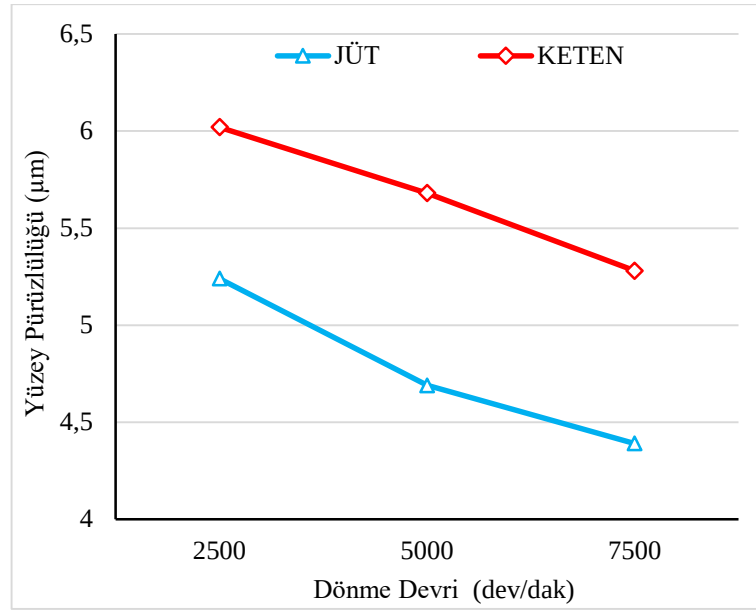


Şekil 4.56. Frezeleme parametrelerinin KFTP kompozitin yüzey pürüzlülük üzerine etkisi

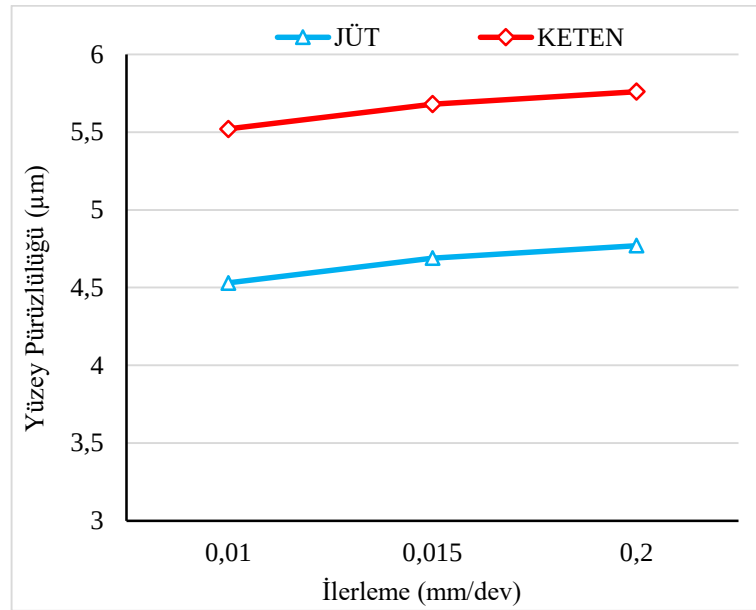
KFTP kompozitlerin frezelenmesinde de artan ilerleme ile yüzey pürüzlülük değeri artmış, artan dönme devri ile yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. JFTP kompozitlerde olduğu gibi KFTP kompozitlerde de WC parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde, daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri, HSS parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde, daha yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Frezelenen KFTP kompozitlerde, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri; 0,02 mm/dev ilerleme ve 2500 dev/dak dönme devri ile HSS parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde, en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,01 mm/dev ilerleme ve 7500 dev/dak dönme devri ile WC parmak freze çakılarının kullanıldığı deneylerde görülmüştür. En yüksek ve en düşük gözlemlenen yüzey pürüzlülük değerleri 6,45 μm ve 5,02 μm 'dir.



Şekil 4.57. 0,015 mm/dev ilerleme ve 5000 dev/dak dönem devri için kompozit malzeme ve kesici takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 4.58. 0,015 ilerleme ve WC parmak freze çakısı için dönme devri ve kompozit malzeme cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği



Şekil 4.59. 5000 dev/dak dönme devri ve WC parmak freze çakısı için ilerleme ve kompozit malzeme cinsine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

JFTP ve KFTP kompozitlerin aynı frezeleme parametrelerinde frezelenmesi sonucu oluşan yüzeylerdeki pürüzlülük değerleri incelendiğinde; JFTP kompozitlere göre KFTP kompozitlerde, daha kötü yüzey kalitesinin elde edildiği tespit edilmiştir. Tüm parametreler göz önüne alındığında; en düşük yüzey pürüzlülük değeri, JFTP kompozitlerin WC parmak freze çakısı kullanılarak düşük ilerleme ve yüksek dönme devriyle frezelenmesinde, en yüksek ise KFTP kompozitlerin HSS parmak freze çakısı kullanılarak yüksek ilerleme ve düşük dönme devriyle frezelenmesinde görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, doğal fiber takviyeli kompozitlerden JFTP ve KFTP kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve WC parmak freze çakıları ile frezelenmesinde, kompozit malzeme cinsinin, parmak freze çakısının, ilerlemenin ve dönme devrinin kesme kuvveti, titreşim, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Frezeleme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri;

- JFTP ve KFTP kompozitlerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvveti; ilerleme, dönme devri ve kesici takım cinsinden önemli derecede etkilenmiştir.
- Dönme devrinin artmasıyla kesme kuvveti azalmıştır.
- Kesme kuvveti üzerinde en etkili parametre ilerleme olmuştur. İlerleme oranının artmasıyla, kesici takım JFTP ve KFTP kompozitleri kesecek zaman bulamadığından fiberleri koparmıştır. Dolayısıyla artan ilerleme ile kesme kuvveti yüksek çıkmıştır.
- Kesici takım uçlarının kesme kuvveti üzerine etkileri incelendiğinde, kesme kuvveti değerleri büyükten küçüğe doğru HSS, TiN Kaplı HSS ve WC parmak freze çakılarından elde edilmiştir.
- JFTP kompozitlerin frezelenmesinde ölçülen kesme kuvvetleri; HSS parmak freze çakısı için 40,13 N ile 54,77 N arasında, TiN kaplı HSS freze çakısı için 39,45 N ile 53,86 N arasında ve WC parmak freze çakısı için 36,75 N ile 49,62 N arasında ölçülmüştür. KFTP kompozitlerin frezelenmesinde ölçülen kesme kuvvetleri ise HSS parmak freze çakısı için 37,67 N ile 56,22 N arasında, TiN kaplı HSS freze çakısı için 33,73 N ile 51,23 N arasında ve WC parmak freze çakısı için 29,77 N ile 50,53 N arasında ölçülmüştür. Ölçülen kesme kuvvetlerinin frezeleme parametresine bağlı olarak yaklaşık iki katına kadar arttığı görülmüştür.

Frezeleme parametrelerinin titreşim üzerine etkileri;

- Titreşim standart sapma değerleri üzerine dönme devri ve ilerlemenin etkileri belirgin olarak görülmüştür.
- Dönme devrinin artmasıyla titreşim standart sapma değerleri artmıştır.
- İlerlemenin artmasıyla bazı deneylerde titreşim standart sapma değerleri düşse de genel olarak artmıştır.

- Kesici takım uçlarında en yüksek titreşim standart sapma değeri WC, en düşük ise HSS parmak freze çakılarından ölçülmüştür. Daha yüksek sertliğine ve rijitliğe sahip kesici takımlar titreşimi absorbe edemeyerek yüksek titreşim genliği oluşturduğundan titreşim standart sapma değeri yüksek çıkmıştır.
- JFTP ve KFTP kompozitlerde, titreşim standart sapma değerlerinin bir birine yakın olduğu gözlemlenmiştir.
- Kompozitlerin frezelenmesinde, X, Y ve Z doğrultusundaki en düşük titreşim standart sapma değerleri; 2500 dev/dak dönme devri ve 0,01 mm/dev ilerleme ile HSS parmak freze çakısının kullanıldığı deneyde elde edilmiştir. En yüksek ise 7500 dev/dak dönme devri ve 0,02 mm/dev ilerleme ile WC parmak freze çakılarının kullanıldığı deneyde elde edilmiştir. JFTP kompozit için X, Y ve Z doğrultusundaki en düşük titreşim standart sapma değerleri sırasıyla 0,024307; 0,026414 ve 0,020983'tür. En yüksek ise sırasıyla 0,571925; 0,377193 ve 0,375722'dir. KFTP kompozitlerin X, Y ve Z doğrultusundaki en düşük ve en yüksek titreşim standart sapma değerleri sırasıyla 0,020325; 0,020428; 0,019166 ve 0,54746; 0,360822; 0,367357'dir.

Frezeleme parametrelerinin deformasyon faktörü üzerine etkileri;

- İlerleme arttıkça deformasyon faktörü artmıştır.
- Dönme devrinin artması deformasyon faktörü artmasına neden olmuştur.
- Kesici takımlarda, en yüksek deformasyon faktörü HSS parmak freze çakılarından, en az ise WC parmak freze çakılarından elde edilmiştir.
- KFTP kompozitlerde oluşan deformasyon faktörünün JFTP kompozitlerde oluşan deformasyon faktöründen daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Kompozitlerin frezelenmesinde, tüm kesici takımlar için en düşük deformasyon faktörü; 2500 dev/dak dönme devri ve 0,01 mm/dev ilerleme değerlerinden, en yüksek ise 7500 dev/dak dönme devri ve 0,02 mm/dev ilerleme değerlerinden gözlemlenmiştir. JFTP kompozitlerin frezelenmesinde kesici takım cinsine bağlı olarak gözlemlenen en düşük ve en yüksek deformasyon faktörleri; HSS parmak freze çakısı için 1,038 ve 1,081, TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için 1,028 ve 1,072, WC parmak freze çakıları için 1,010 ve 1,043'tür. KFTP kompozitlerde ise HSS parmak freze çakısı için 1,053 ve 1,098, TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için 1,041 ve 1,092, WC parmak freze çakıları için 1,024 ve 1,072'dir.

Frezeleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri;

- Yüzey pürüzlülüğü üzerine frezeleme parametreleri incelendiğinde, dönme devrinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.
- İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri artmıştır.
- Kesici takımlarda, HSS parmak freze çakıların kullanıldığı deneylerde daha yüksek pürüzlülük değerleri elde edilirken WC parmak freze çakıların kullanıldığı deneylerde daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
- JFTP ve KFTP kompozitlerin frezelenmesinde, JFTP kompozitin KFTP kompozite oranla yüzey pürüzlülük sonuçlarının daha verimli elde edildiği belirlenmiştir.
- Kompozitlerin frezelenmesinde, tüm kesici takımlar için en düşük yüzey pürüzlülük değerleri; 7500 dev/dak dönme devri ve 0,01 mm/dev ilerleme değerlerinden, en yüksek ise 2500 dev/dak dönme devri ve 0,02 mm/dev ilerleme değerlerinden elde edilmiştir. JFTP kompozitlerin frezelenmesinde, elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değerleri HSS, TiN kaplı HSS ve WC parmak freze çakıları için sırasıyla 5,43 μm 4,73 μm ve 4,18 μm 'dir. Bu kesici takımlarda ölçülen en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri ise sırasıyla 6,38 μm , 5,79 μm ve 5,48 μm 'dir. KFTP kompozitlerin frezelenmesinde ise elde edilen en düşük ve en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri; HSS parmak freze çakısı için 5,84 μm ve 6,45 μm , TiN kaplı HSS parmak freze çakısı için 5,50 μm ve 6,27 μm , WC parmak freze çakısı için 5,02 μm ve 6,17 μm 'dir.

5.2. Öneriler

JFTP ve KFTP kompozitlerin frezelenmesinde karşılaşılan sorunların başında, yüzey kalitesinin kötü ve deformasyon faktörünün yüksek olması gelmektedir. Yüzey kalitesi ve deformasyon faktörü her ne kadar kesici takım, dönme devri ve ilerleme gibi frezeleme parametrelerine bağlı olarak değişiklik gösterse de elde edilen yüzey kalitesi ve deformasyon faktörü daha düşük seviyelere düşürülebilir. Bunun için frezeleme deneylerinde farklı soğutma sıvıları tercih edilebilir. Ayrıca frezelenen kompozitlere dışardan titreşimler uygulanarak soğutma sıvılarının ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkileri ayrıntılı olarak incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abilash, N. and Sivapragash, M., 2016, Optimizing the delamination failure in bamboo fiber reinforced polyester composite, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 28, 92-102.
- Akün, F., 1956, Tezgah titresimlerinin işlenen parçanın durumu üzerine etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Andersons, J. and Joffe, R., 2011, Estimation of tensile strength of an oriented flax fibre reinforced polymer composite, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42 (9), 1229-1235.
- Azmi, H., Haron, C. H. C., Ghani, J. A., Suhaily, 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, *ARPJ 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 fiberreinforced plastic composites, *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 1, 1-12.
- Bağatır, T., 2018, Grafen nanopartikül takviyesinin kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, 46 sayfa.
- Barreto, A. C. H., Rosa, D. S., Fechine, P. B. A. and Mazzetto, S. E., 2011, Properties of sisal fibers treated by alkali solution and their application into cardanol-based biocomposites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42 (5), 492-500.
- Bayraktar, Ş., 2011, Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin frezeleme işleminde işlenebilirliğinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 99 sayfa.
- Berger, D., Bleicher, F., Dorn, C. and Puschitz, F., 2008, Optimised machining of fibre reinforced material, DAAM International Scientific Book, Vienna, Austria, doi: 10.2507/daam.scibook.2008.01.
- Bulut, Y. ve Erdoğan, U. H., 2011, Selüloz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı, *Tekstil ve Mühendis*, 18 (82), 26-35.
- Canpolat, N., 2008, Değişik takviyeli kompozit malzemenin matkapla delinebilirliğinin ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 77 sayfa.
- Chawla K. K., 1987, Composite materials, Science and Engineering, 140-283s, Springer Verlag New York Inc.

- Chang, K. K., 2001, Aramid fibers. Eds. Miracle, D.B. and Donaldson, S.L., Composites, *ASTM International*, Volume 21.
- Chegdani, F. and Mansori, M. E., 2019, Tribo-functional effects of double-crossed helix on surface finish, cutting friction and tool wear mechanisms during the milling process of natural fiber composites, *Wear*, 426-427 (Part B), 1507-1514.
- Chegdani, F., Mezghani, S. and Mansori M. E., 2017, Correlation between mechanical scales and analysis scales of topographic signals under milling process of natural fibre composites, *Journal of Composite Materials*, 51 (19), 2743-2756.
- Choudhury, S. K. and Raju, G., 2000, Investigation into crater wear in drilling, *International Journal Machine Tools and Manufacture*, 40, 887-898.
- Çakır, M. C., 1999, Modern talaşlı imalatın esasları, Vipas Yayınları, Bursa, 324 sayfa.
- Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E., 2012, G10 EPGC 201 kompozit malzemenin delinmesinde oluşan deformasyona etki eden parametrelerin araştırılması, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 206-211.
- Çelik, Y. H., Kilickap, E. and Kilickap A. İ., 2019, An experimental study on milling of natural fiber (jüte)-reinforced polymer composites, *Journal of Composite Materials*, 0 (0), 1-11. Doi: 10.1177/0021998319826373.
- Çelik, Y. H., Kilickap, E. and Koçyiğit, N., 2019, Evaluation of drilling performances of nanocomposites reinforced with graphene and graphene oxide, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100 (9-12), 2371-2385.
- Davim, J. P. and Reis, P., 2005, Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments, *Journal of Materials Processing Technology*, 160 (2), 160-167.
- Davim, J. P., Clemente, V. C. and Silva, S., 2009, Surface roughness aspects in milling MDF (medium density fibreboard), *International Journal of advanced Manufacturing Technology*, 49 (1-2), 49-55.
- Davim, J. P., Rubio, J. C. and Abrao, A. M., 2007, A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates, *Composite Science and Technology*, 67 (9), 1939-1945.
- Debnath, K., Singh, I. and Dvivedi, A., 2014, Drilling characteristics of sisal fiber-reinforced epoxy and polypropylene composites, *Materials and Manufacturing Processes*, 29, 1401-1409.
- Ekici, E. ve Işık B., 2009, Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarının deneysel olarak incelenmesi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 1-6.

- Erkan, Ö. ve Işık, B., 2009, Cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin işlenmesi esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, p.1-6.
- El-Wardany, T. I., Gao, D. and Elbestawi, M. A., 1996, Tool condition monitoring in drilling using vibration signature analysis, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36 (6), 687-711.
- Faraz, A., Biermann, D. and Weinert, K., 2009, Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49 (15), 1185-1196.
- Hintze, W., Hartmann, D. and Schütte., C., 2011, Occurrence and propagation of delamination during the machining of carbon fibre reinforced plastics (CFRPs)-An experimental study, *Composites Science and Technology*, 71 (15), 1719-1726.
- Hocheng, H., Puw, H. Y. and Huang, Y., 1993, Preliminary study on milling of unidirectional carbon fibre-reinforced Plastics, *Composites Manufacturing*, 4 (2), 103-108.
- Hodzic, A. and Shanks, R., 2014, Natural fibre composites, Materials Processes and Properties, Woodhead Publishing, 1st edition, 408 page.
- Itoh, M., Inoue, K., Hirayama, N., Sugimoto, M. and Seguchi, T., 2002, Fiber reinforced plastics using a new heat-resistant silicon based polymer, *Journal of materials science*, 37 (17), 3795-3801.
- İnternet adresi, 2019, Kompozit malzemeler ve özellikleri: <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html> [Ziyaret Tarihi: 23 Mayıs 2019].
- Jani, S. P., Kumar, A. S., Kumar, M. A. and Kumar, M. U., 2016, Machinability of hybrid natural fiber composite with and without filler as reinforcement, *Materials and Manufacturing Processes*, 31 (10), 1393-1399.
- Joshi, S. V., Drzali, L. T., Mohanty, A. K. and Arora, S., 2004, Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?, *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35 (3), 371-376.
- Kalla, D., Sheik-Ahmed, J. and Twomey, J., 2010, Prediction of cutting forces in helical end milling fiber reinforced polymers, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50 (10), 882-891.
- Karabulut, N. ve Aktaş, M., 2014, Jüt lifi takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin yüzey modifikasyon işlemiyle iyileştirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 55 (649), 43-49.
- Karnik, S. R., Gaitonde, V. N., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrão, A. M. and Davim, J. P., 2008, Delamination analysis in high speed drilling of carbon fibre reinforced

- plastics (CFRP) using artificial neural network model, *Material & Design*, 29, 1768-1776.
- Kaya, A. İ., 2015, Atık kağıtlardan geri kazanılmış liflerden kompozit malzeme üretim olanaklarının araştırılması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 239 sayfa.
- Kılıçkap, A. İ., 2018, Farklı oryantasyon açılarına sahip jüt takviyeli kompozitlerin frezelenmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, 71 sayfa.
- Kılıçkap, E. ve Çelik, Y. H., 2012, Cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 99-103.
- Li, X., Tabil, L. G. and Panigrahi, S., 2007, Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review, *Journal of Polymers and the Environment*, 15 (1), 25-33.
- Li, X. and Tso, S. K., 1999, Drill wear monitoring based on current signals, *Wear*, 231, 172-178.
- Lin, S. C. and Chen, I. K., 1996, Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed, *Wear*, 194, 156-162.
- Lin, S. C. and Ting, C. J., 1995, Tool wear monitoring in drilling using force signals, *Wear*, 180, 53-60.
- Lin, S. C. and Ting, C. J., 1996, Drill wear monitoring using neural network, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36 (4), 465-475.
- Maleki, H. R., Hamed, M., Kubouchi, M. and Arao, Y., 2019a, Experimental investigation on drilling of natural flax fiber-reinforced composites, *Materials and Manufacturing Processes*, 34 (3), 283-292.
- Maleki, H. R., Hamed, M., Kubouchi, M. and Arao, Y., 2019b, Experimental study on drilling of jute fiber reinforced polymer composites, *Journal of Composite Materials*, 53 (3), 283-295.
- Masuelli, M. M., 2013, Introduction of fibre-reinforced polymers – polymers and composites: Concepts, properties and processes, INTECH Publisher, doi: 10.5772/54629.
- Messiry, M. E., 2017, Natural fiber textile composite engineering, Apple Academic Press, 1st edition, ISBN 9781771885546, 360 page.
- Naresh, N., Rajasekhar, K. and Reddy, P. V. B., 2013, Parametric analysis of GFRP composites in CNC milling machine using Taguchi method, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 6, (1), 102-111.

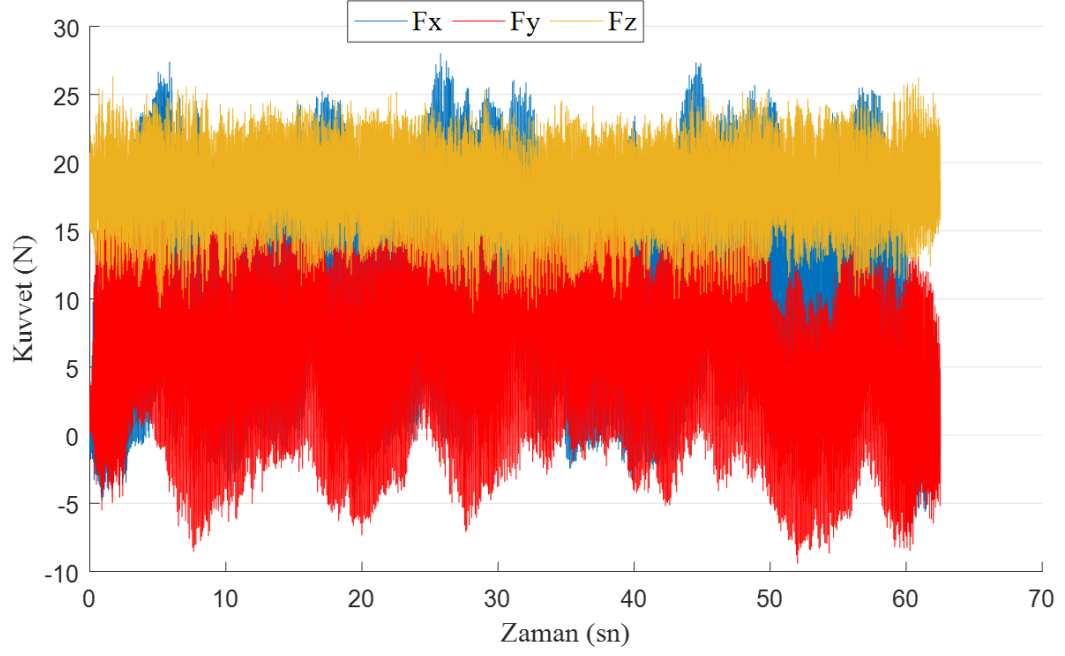
- Nasir, A. A. A., Azmi, A. L. and Khail, A. N. M., 2015, Measurement and optimisation of residual tensile strength and delamination damage of drilled flax fibre reinforced composites, *Measurement*, 75, 298-307.
- Nassar, M. M. A., Arunachalam, R. and Alzebdeh, K. I., 2017, Machinability of natural fiber reinforced composites: A review, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88 (9-12), 2985-3004.
- Neşeli, S., 2006, Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 148 sayfa.
- Nor Khairusshima, M. K., Che Hassan, C. H., Jaharah, A. G. and Nurul Amin, A. K. M., 2012, Tool wear and surface roughness on milling carbon fiber-reinforced plastic using chilled air, *Journal of Asian Scientific Research*, 2 (11), 593-598.
- Prashanth, I. S. N. V. R., Shankar, D. V. R., Hussain M. M. and Mouli, B. C., 2018, Critical analysis in milling of GFRP composites by various end mill tools, *Materials Today: Proceedings*, 5 (6), 14607-14617.
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A. and Le T. M., 2016, A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance, *Composite Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112.
- Qu, J., 1993, The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials, *Mechanics of Materials*, 14 (4), 269-281.
- Rajmohan, T., Vinayagamoorthy, R. and Mohan K., 2018, Review on effect machining parameters on performance of natural fibre-reinforced composites (NFRCS), *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-21, doi:10.1177/0892705718796541.
- Ramesh, M., Palanikumar, K. and Reddy, K. H., 2017, Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 558-584.
- Rosato, D. V., 1997, Designing with reinforced composites: Technology, Performance, Economics (Spe Books), Publisher: Hanser Verlag. ISBN-10: 1569902119.
- Rouchan, J., 1987, Matériaux composites pour d'aéronefs, Ecole Nationale Supérieure d'Ingenieurs de Constructions Aéronautiques, 95 page.
- Rusinek, R., 2010, Cutting process of composite materials: An experimental study, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 45 (4), 458-462.
- Santhanakrishnan, G., Krishnamurthy, R. and Malhota, S. K., 1988, Machinability characteristics of fibre reinforced plastics composites, *Journal of Mechanical Working Technology*, 17, 195-204.

- Santulli, C., Sarasini, F., Tirillò, J., Valente, T., Valente, M., Caruso, A. P., Infantino, M., Nisini, E. and Minak, G., 2013, Mechanical behaviour of jute cloth/wool felts hybrid laminates, *Materials & Design*, 50, 309-321.
- Sarı, H., 2008, Frezelemede takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 98 sayfa.
- Seki, Y., 2009, Innovative multifunctional siloxane treatment of jute fiber surface and its effect on the mechanical properties of jute/thermoset composites, *Materials Science and Engineering: A*, 508 (1-2), 247-252.
- Seki, Y., Sarikanat, M., Sever, K., Erden, S. and Gulec, H. A., 2011, Effect of the low and radio frequency oxygen plasma treatment of the jute fiber on mechanical properties of jute fiber/polyester composite, *Fibers and Polymers*, 11 (8), 1159-1164.
- Sever, K., Sarikanat, M., Seki, Y., Erkan, G. and Erdoğan, U. H., 2010, The mechanical properties of c-methacryloxypropyltrimethoxy silane-treated jute/polyester composites, *Journal of Composite Materials*, 44 (5), 913-1924.
- Şahin, Y., 2006, Kompozit malzemelere giriş: Kompozit – nanokompozit malzemeler ve istatistiksel modeller oluşturulması, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Tsai, S. W. and Hahn, H. T., 1980, Introduction to composite materials, Technomic Publishing Company, Lancaster, PA.
- Tsao, C. C. and Hocheng, H., 2007, Effect of tool wear on delamination in drilling composite materials, *International Journal of Mechanical Sciences*, 49 (8), 983-988.
- Udhayasankar, R. and Karthikeyan, B.A., 2015, Review on coconut shell reinforced composites, *International Journal of ChemTech Research*, 8(11), 624-637.
- Van de Weyenberg, I., Chi Truong, T., Vangrimde, B. and Verpoest, I., 2006, Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline fibre treatment, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37 (9), 1368-1376.
- Vasiliev, V. V. and Morozov, E. V., 2001, Mechanics and analysis of composite materials, Elsevier, ISBN:0-08-042702-2.
- Vatangül, E., 2008, Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ANSYS 10 programı ile ısı gerilme analizi, Bitirme Projesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İzmir.
- Vinayagamoorthy, R., Rajeswari, N. and Karuppiyah, B., 2014, Optimization studies on thrust force and torque during drilling of natural fiber reinforced sandwich composites, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 8 (6), 385-392.

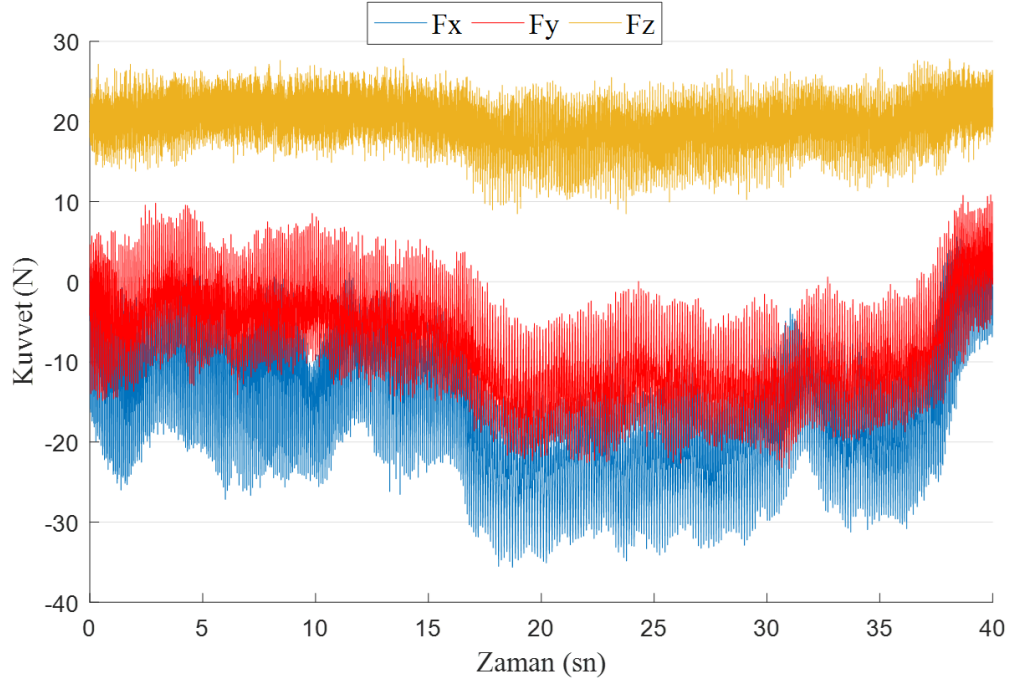
- Wang, H., Qin, X., Ren, C. and Wang, Q., 2012, Prediction of cutting forces in helical milling process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58 (9-12), 849–859.
- Wang, F., Wang, Y., Hou, B., Zhang, J. and Li, Y., 2016, Effect of cryogenic conditions on the milling performance of aramid fiber, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83 (1-4), 429-439.
- Yan, L., Chouw, N. and Jayaraman, K., 2014, Flax fibre and its composites, *Composites Part B: Engineering*, 56, 296-317.
- Yashiro, T., Ogawa, T. and Sasahara, H., 2013, Temperature measurement of cutting tool and machined surface layer in milling of CFRP, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 70, 63-69.

EKLER

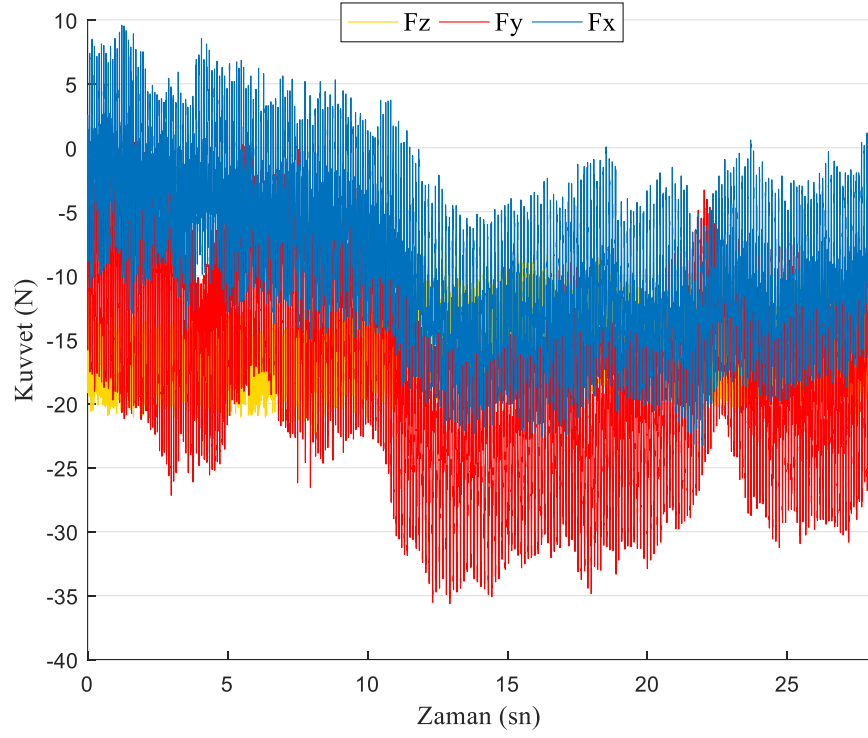
EK-1 Kompozitlerin frezelenmesinden elde edilen Fx, Fy ve Fz kuvvet grafikleri



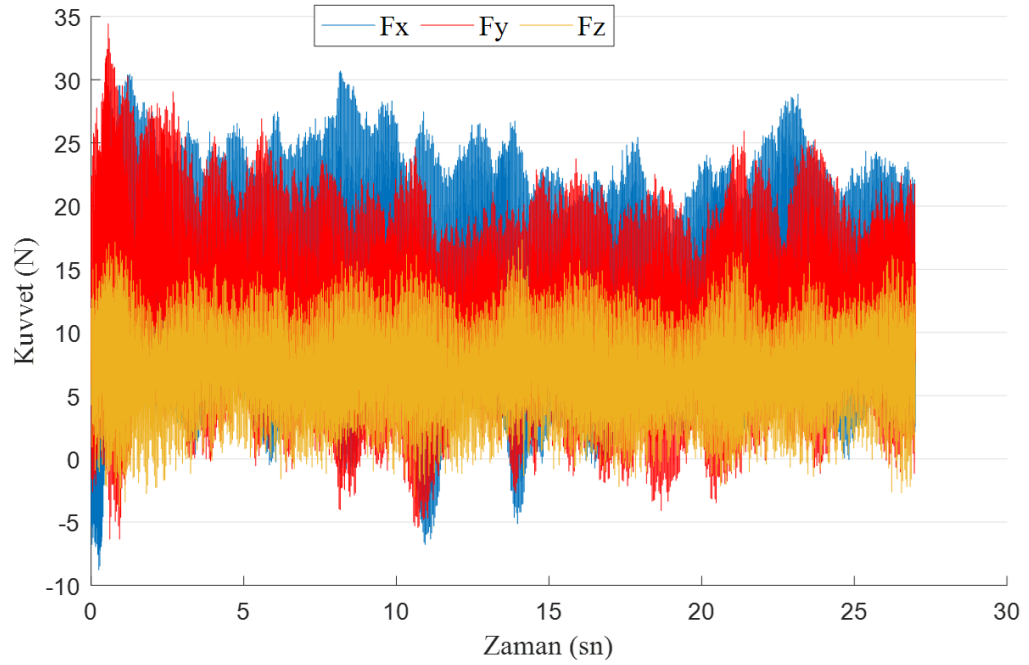
Şekil 1. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



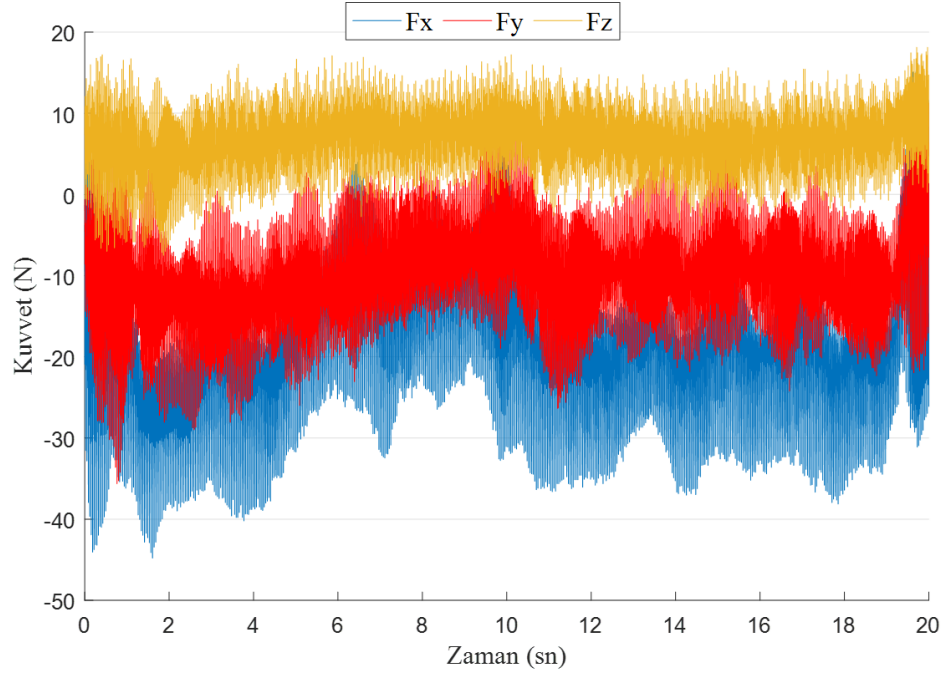
Şekil 2. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



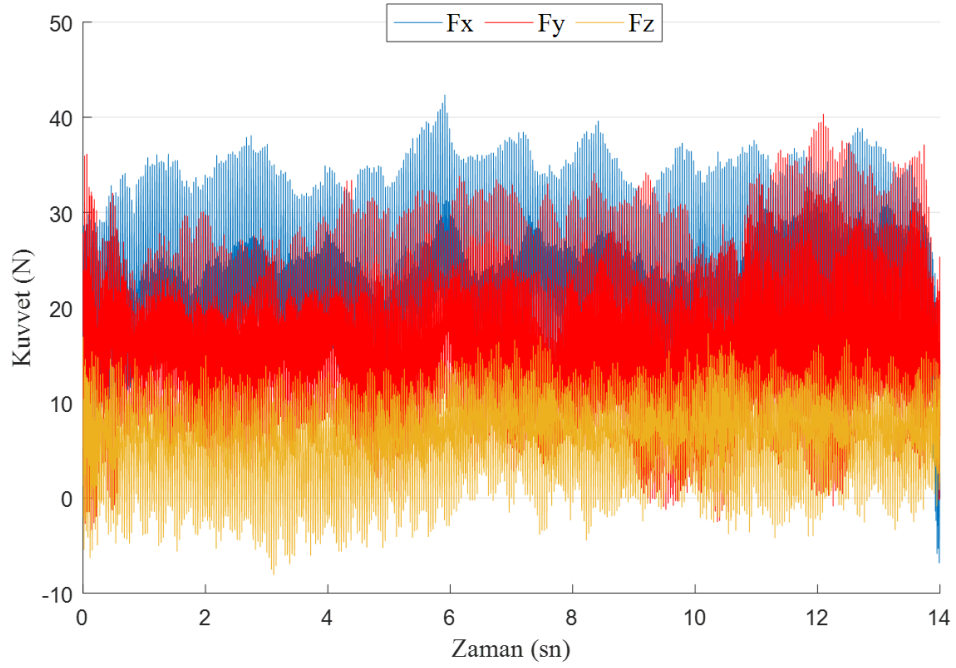
Şekil 3. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



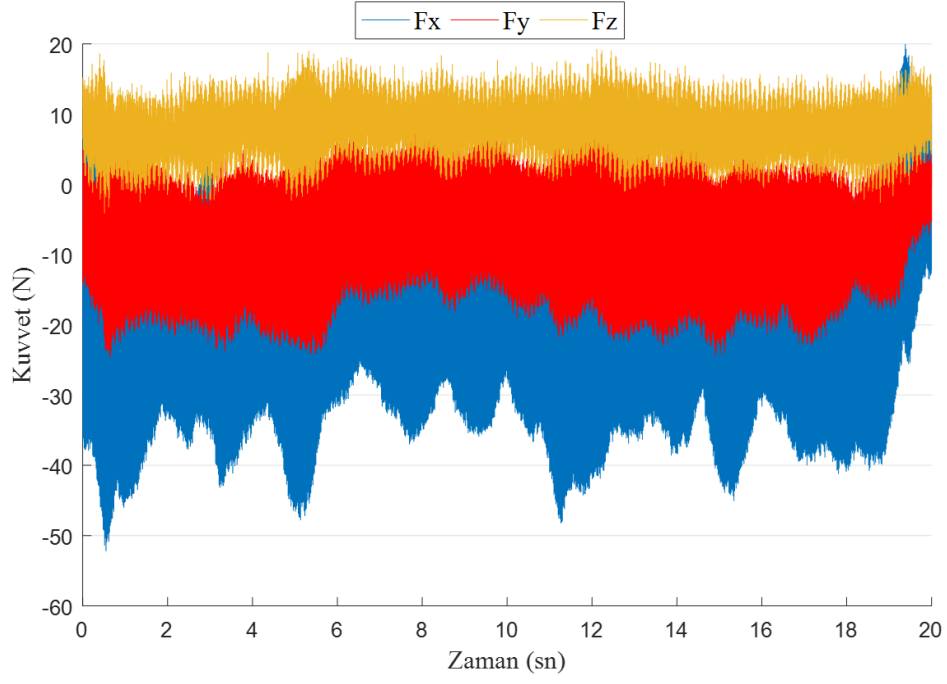
Şekil 4. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



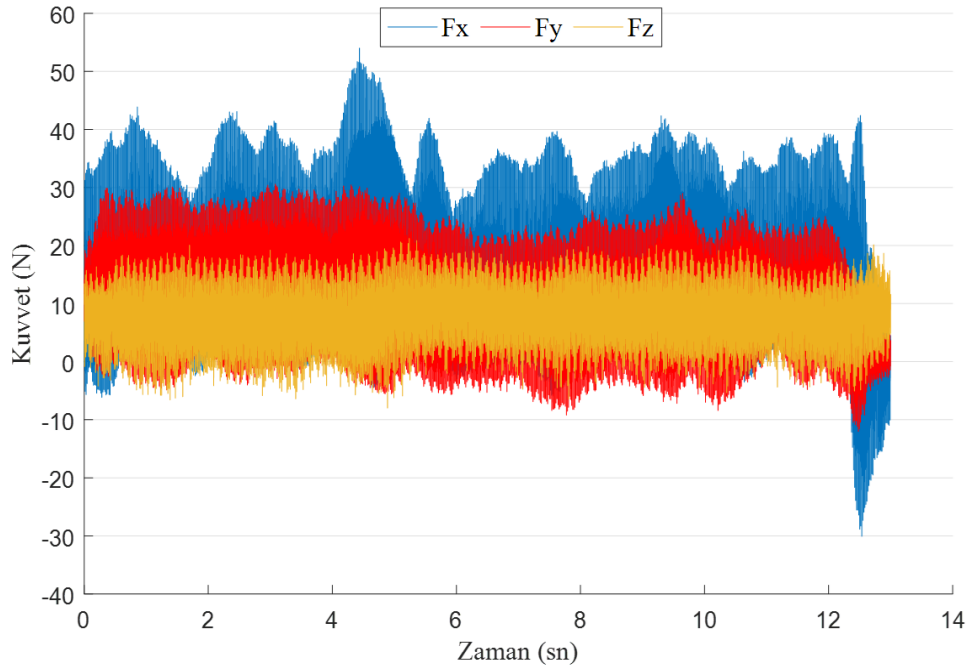
Şekil 5. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



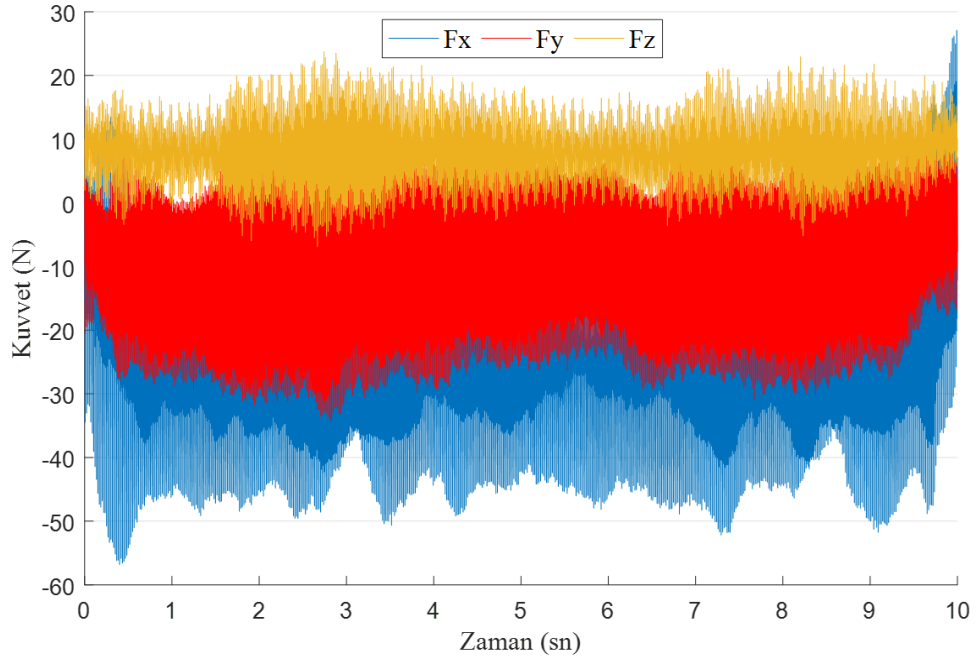
Şekil 6. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



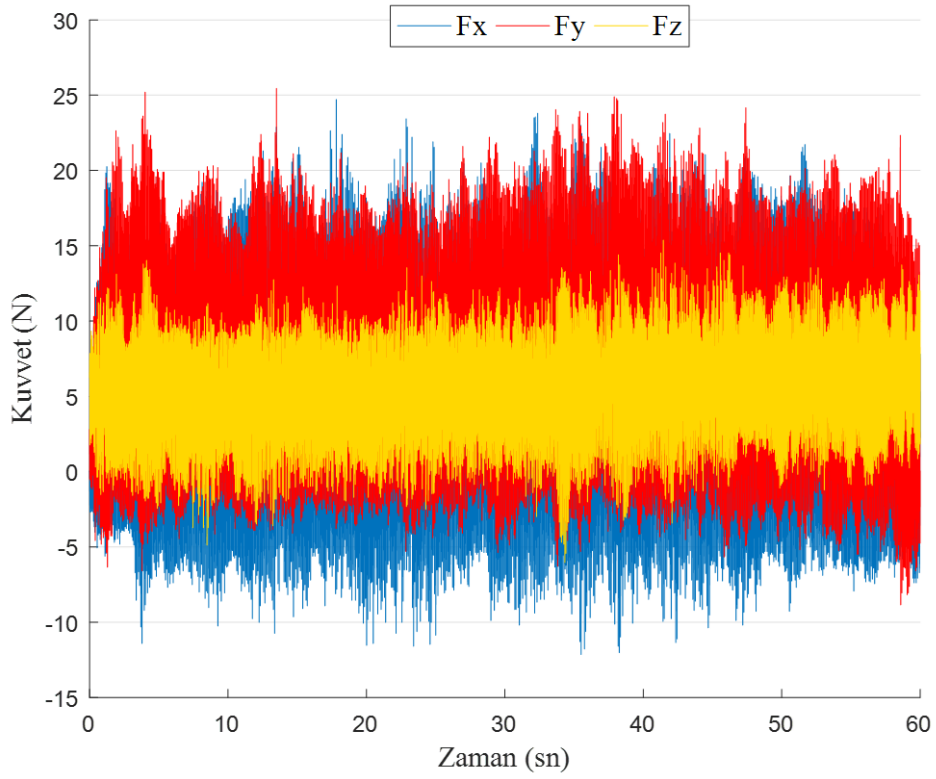
Şekil 7. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



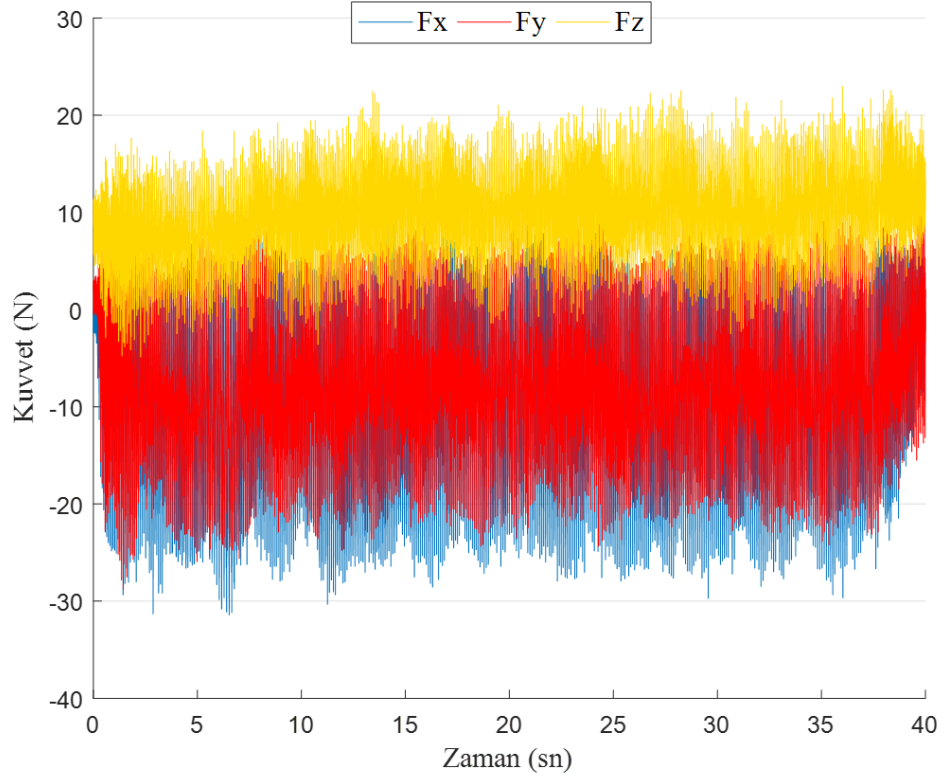
Şekil 8. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 75000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



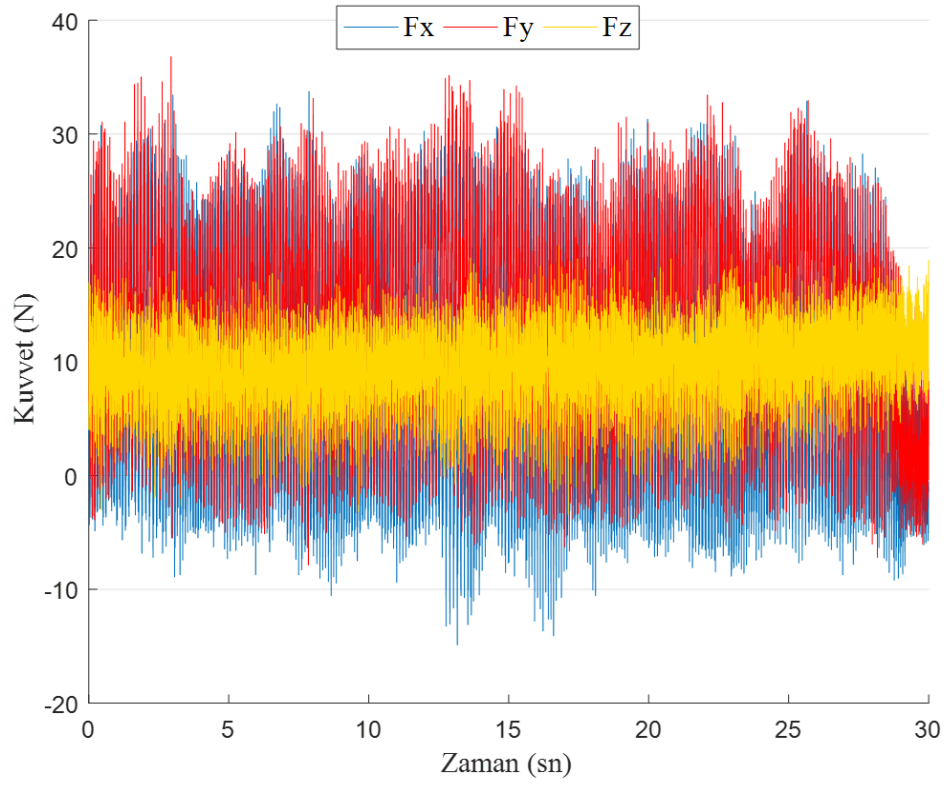
Şekil 9. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



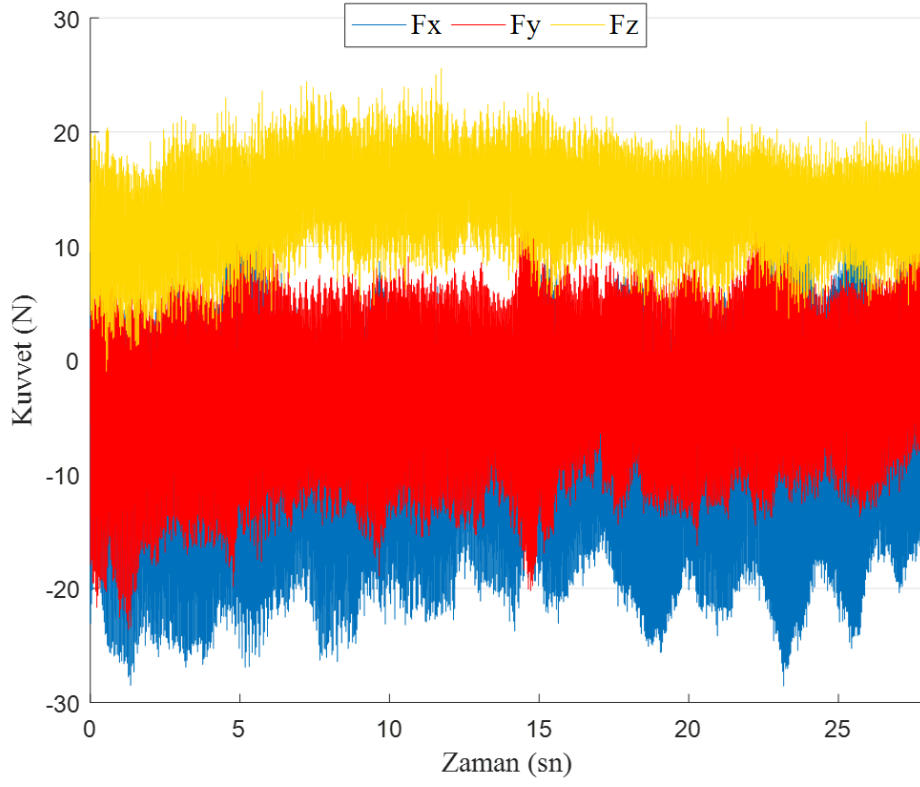
Şekil 10. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



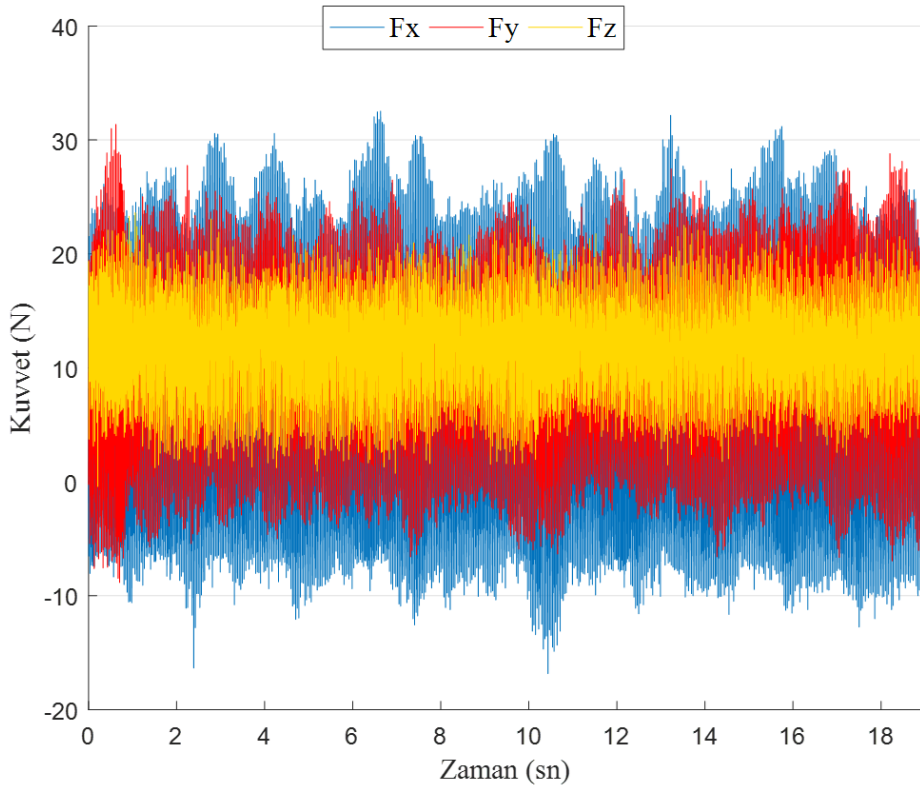
Şekil 11. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



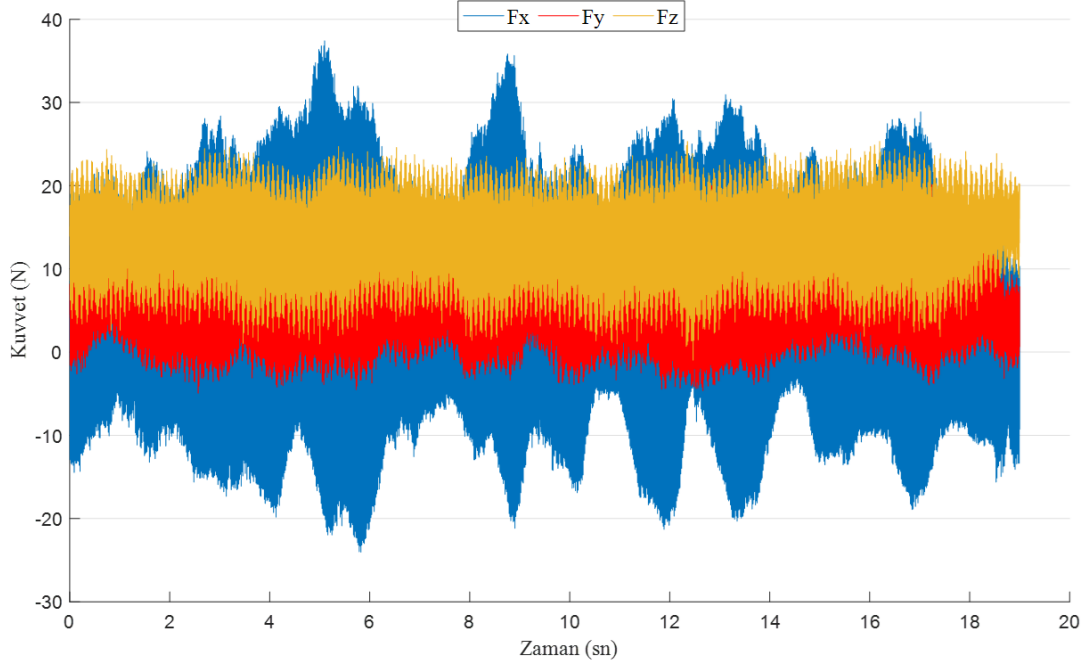
Şekil 12. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



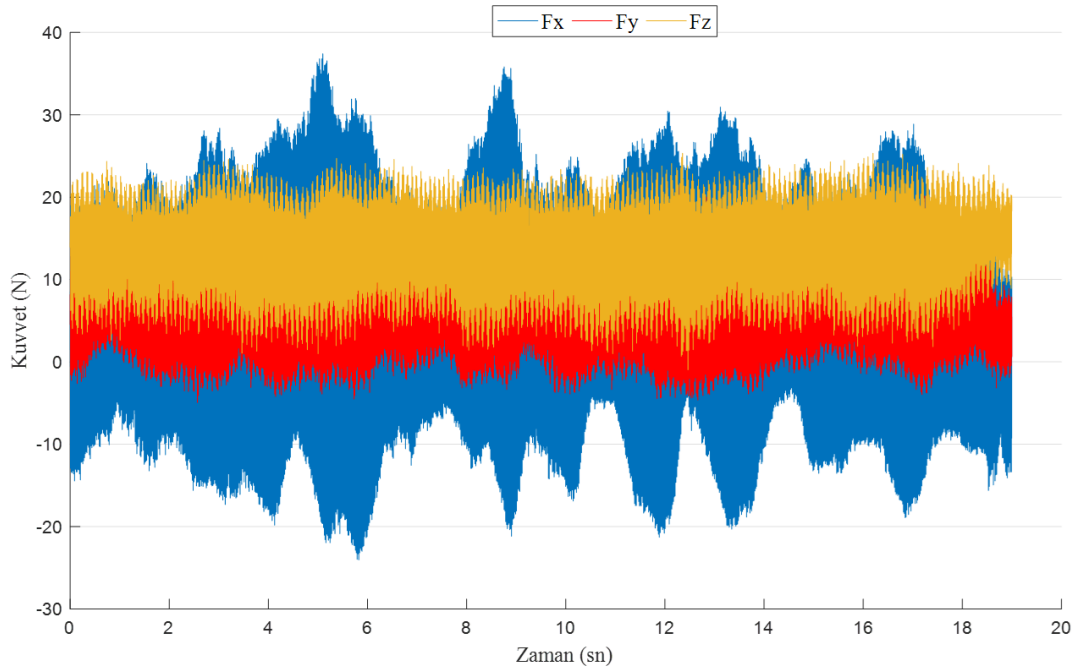
Şekil 13. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



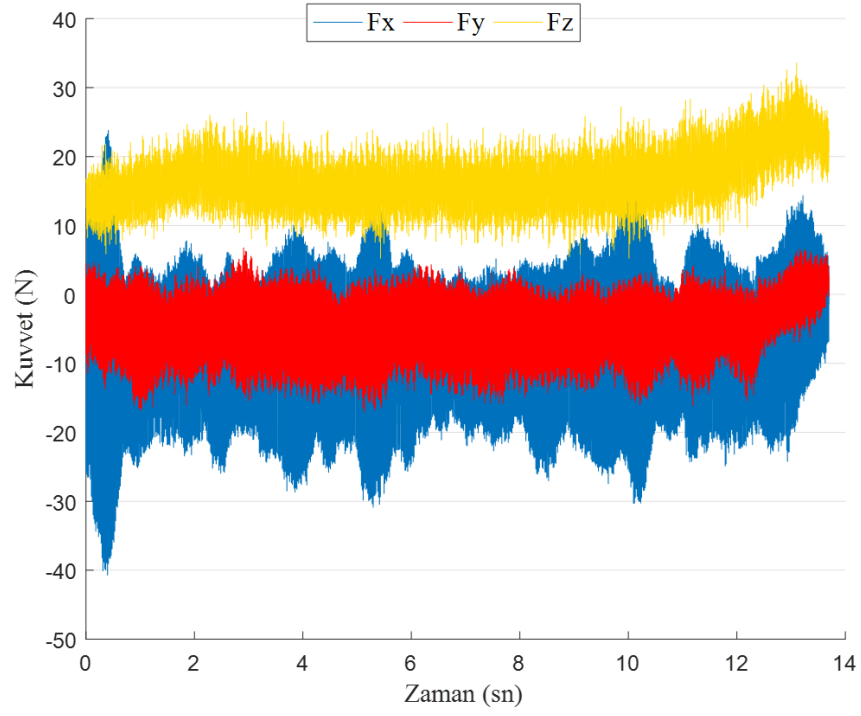
Şekil 14. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



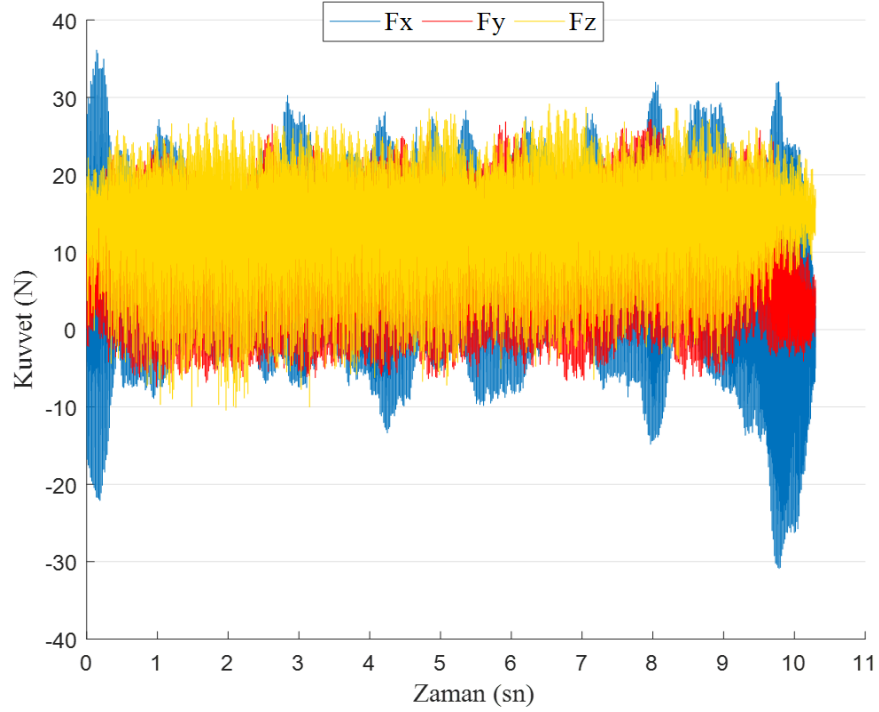
Şekil 15. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



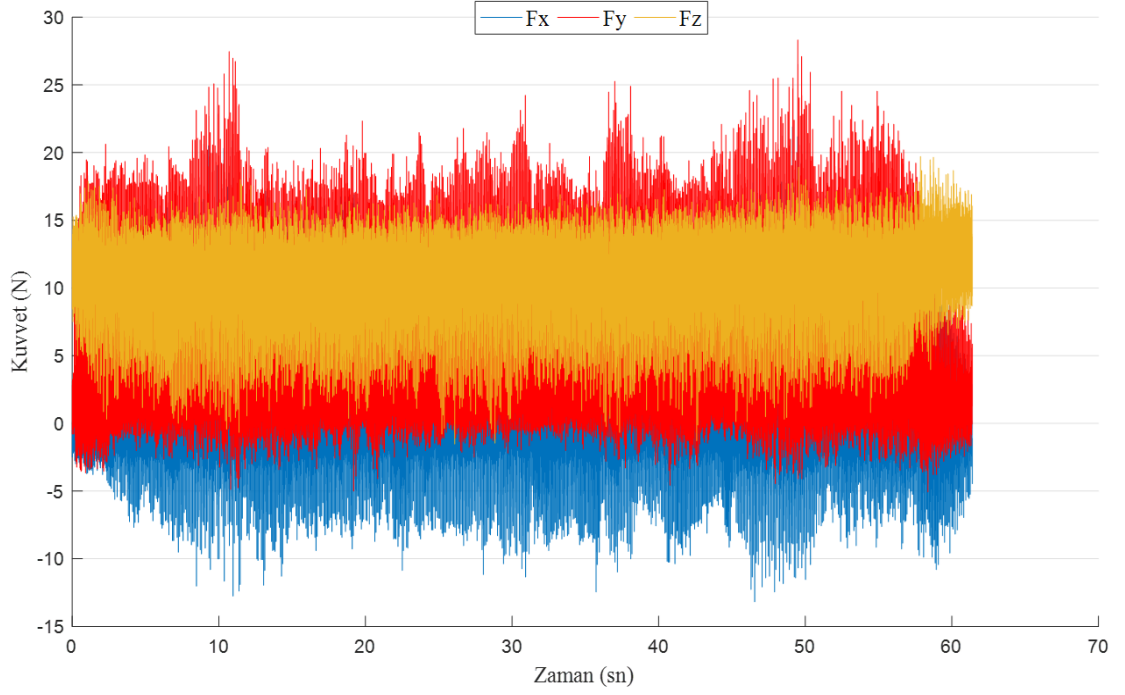
Şekil 16. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



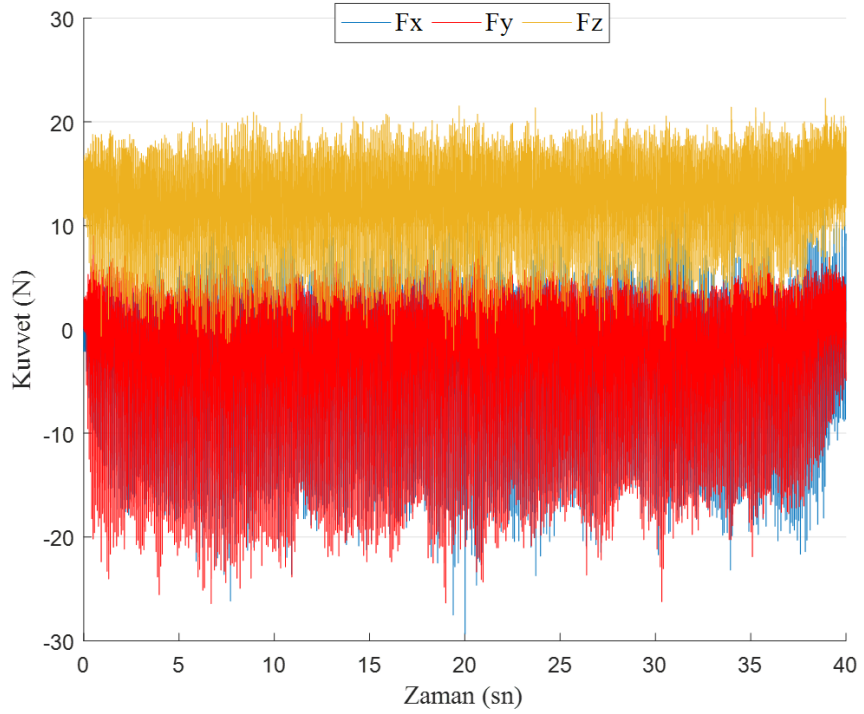
Şekil 17. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



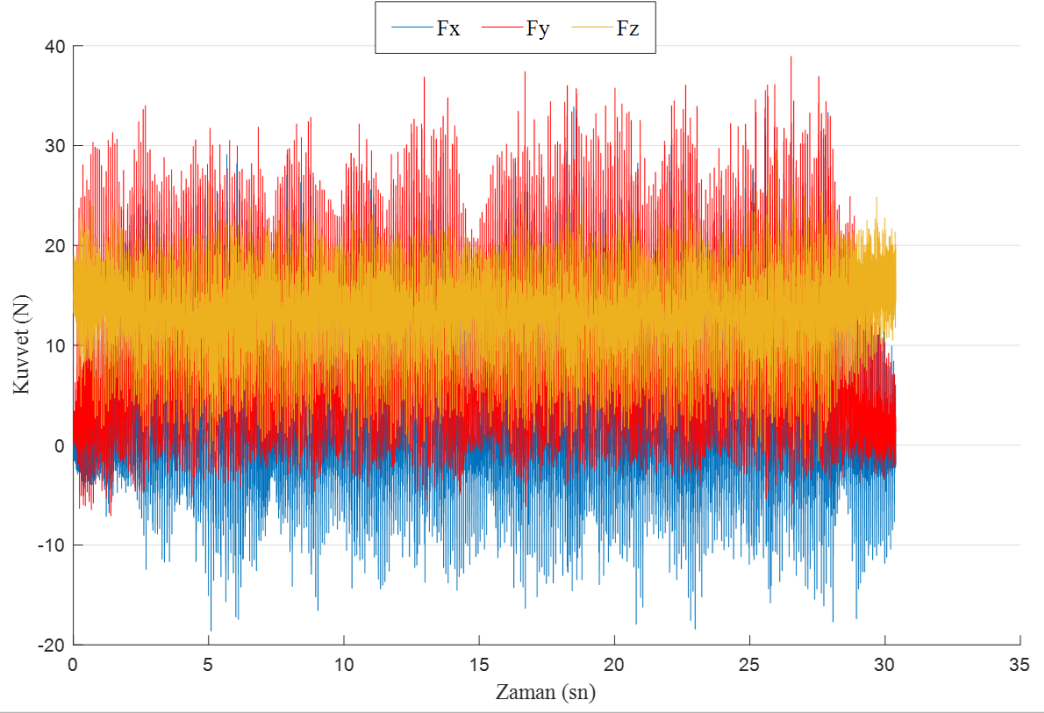
Şekil 18. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



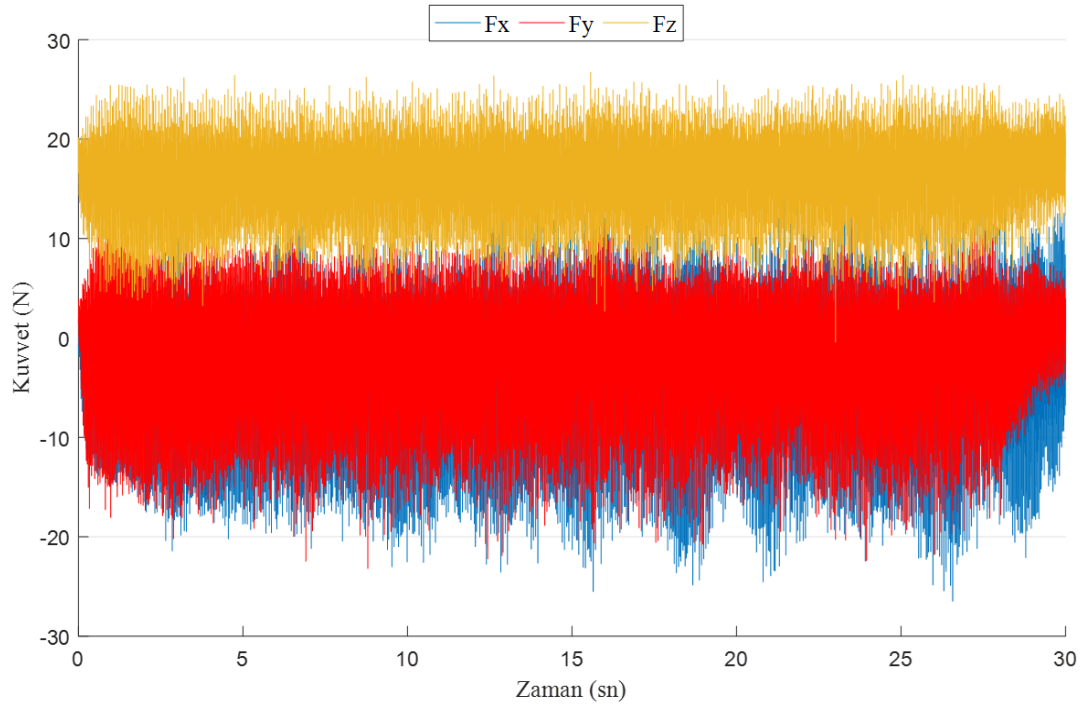
Şekil 19. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



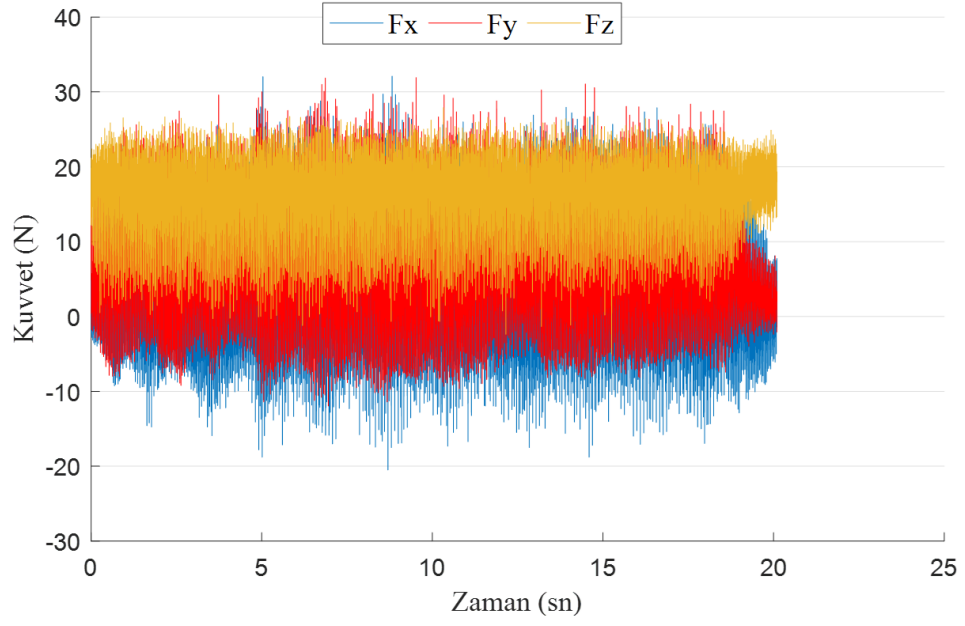
Şekil 20. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



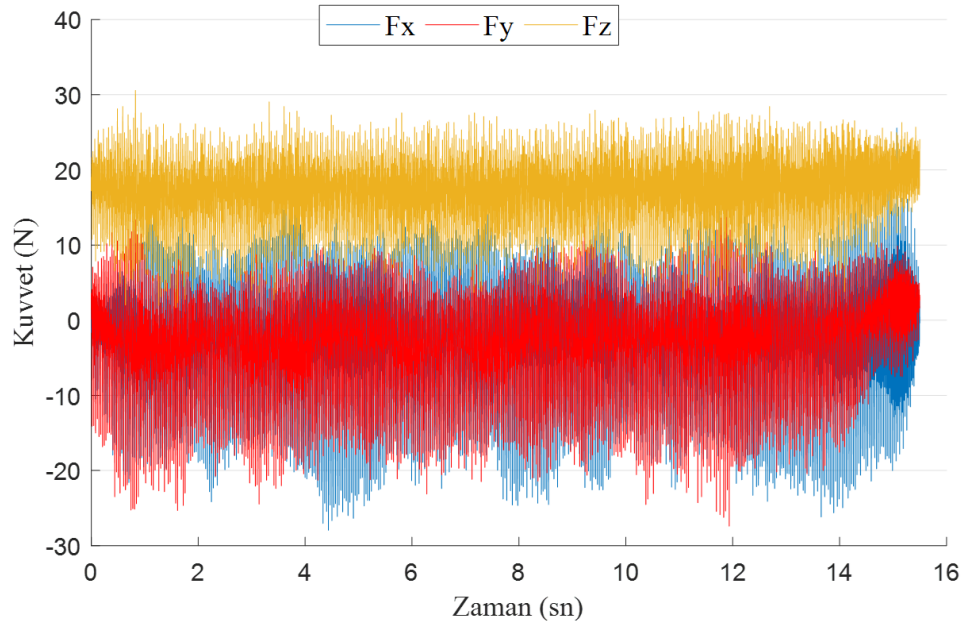
Şekil 21. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



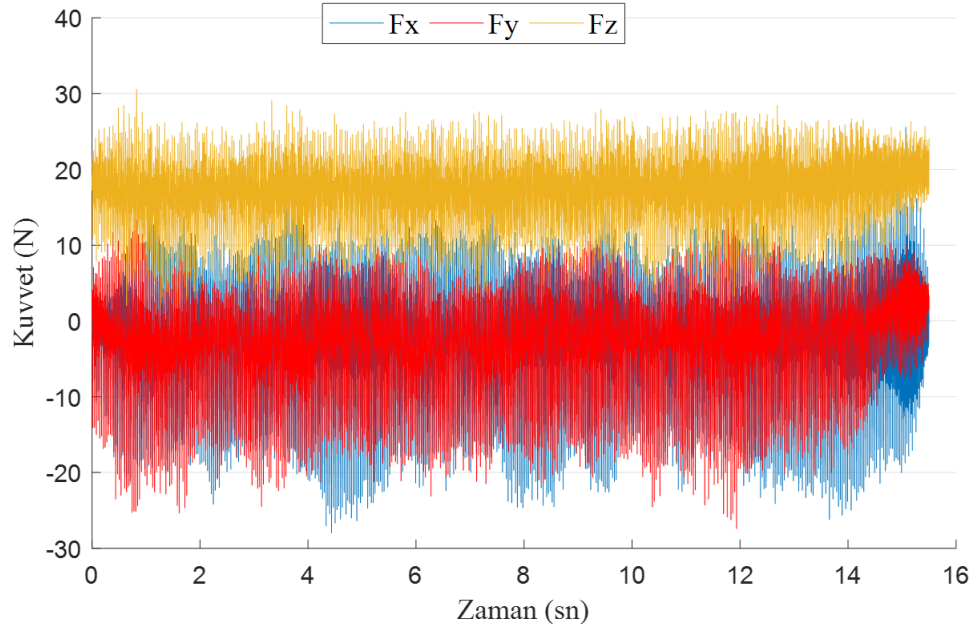
Şekil 22. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



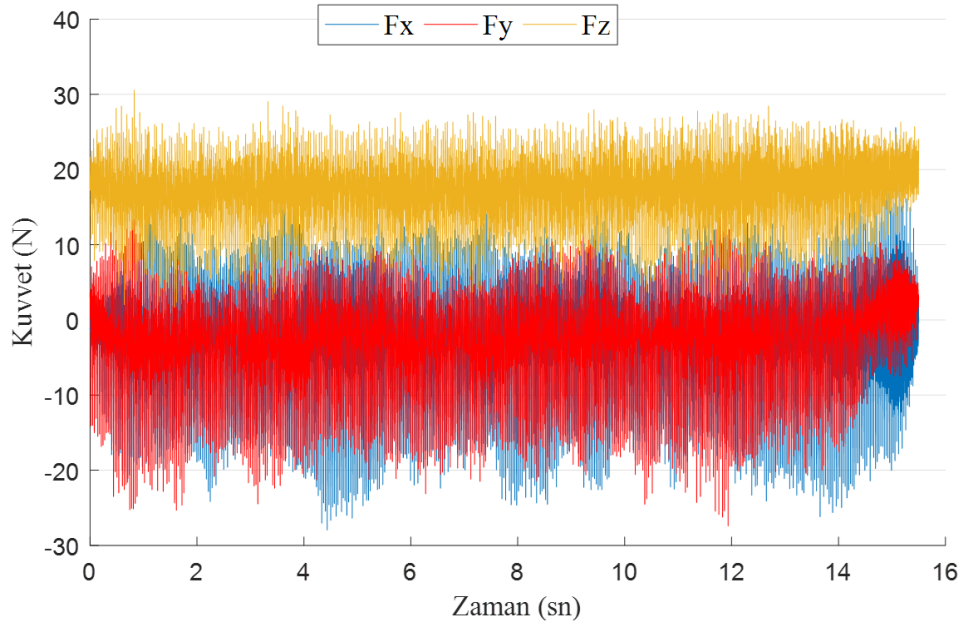
Şekil 23. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



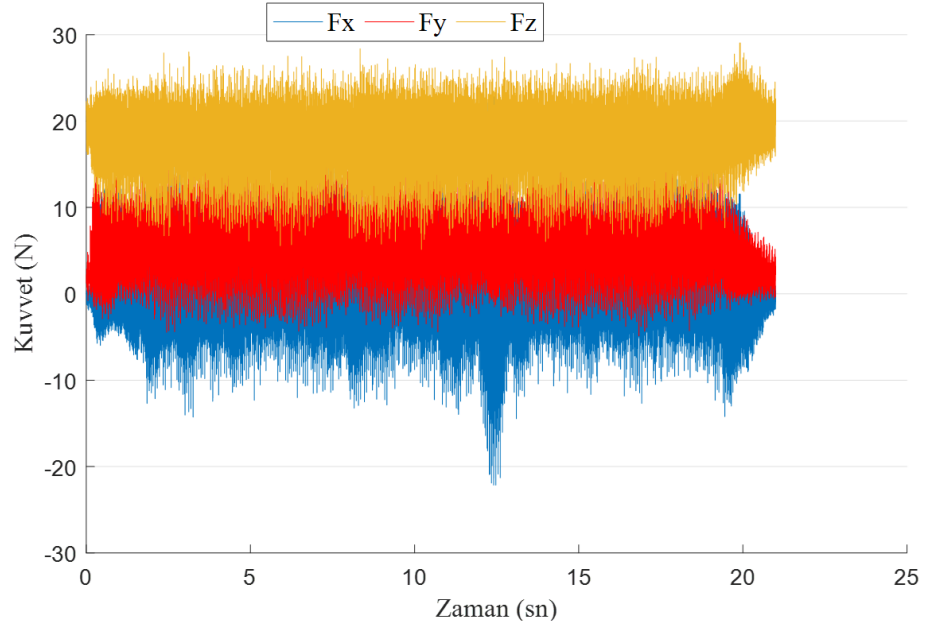
Şekil 24. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



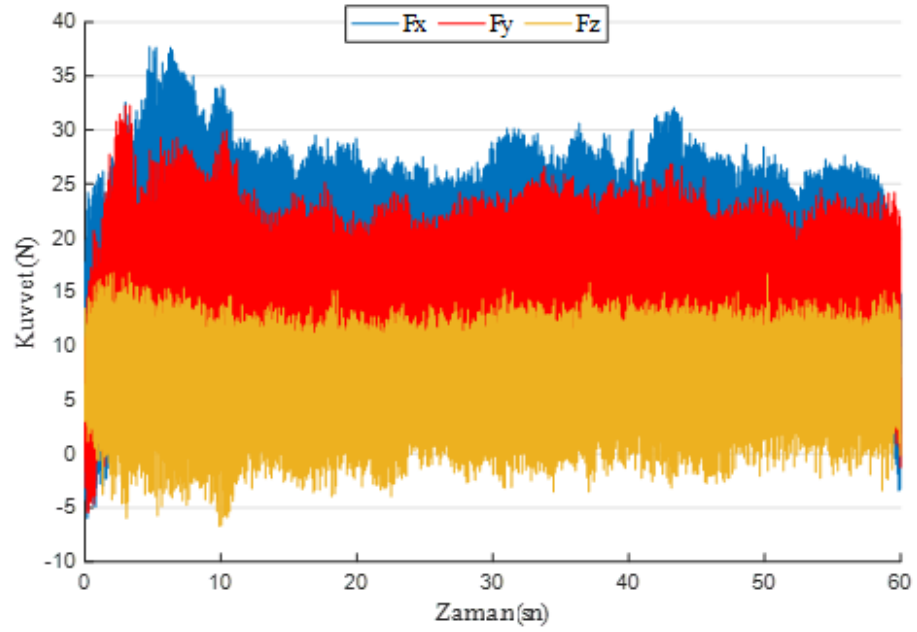
Şekil 25. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



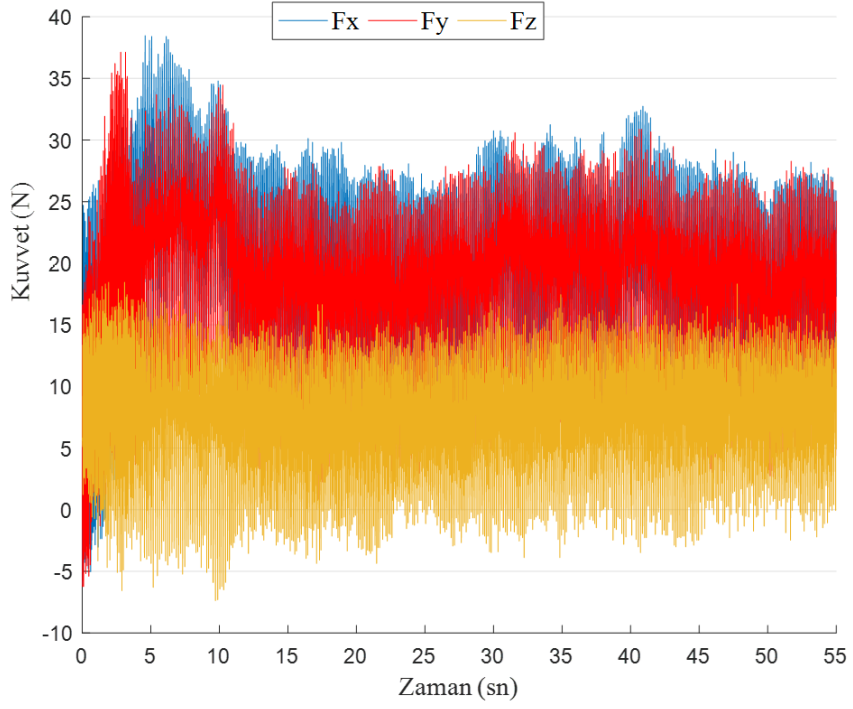
Şekil 26. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



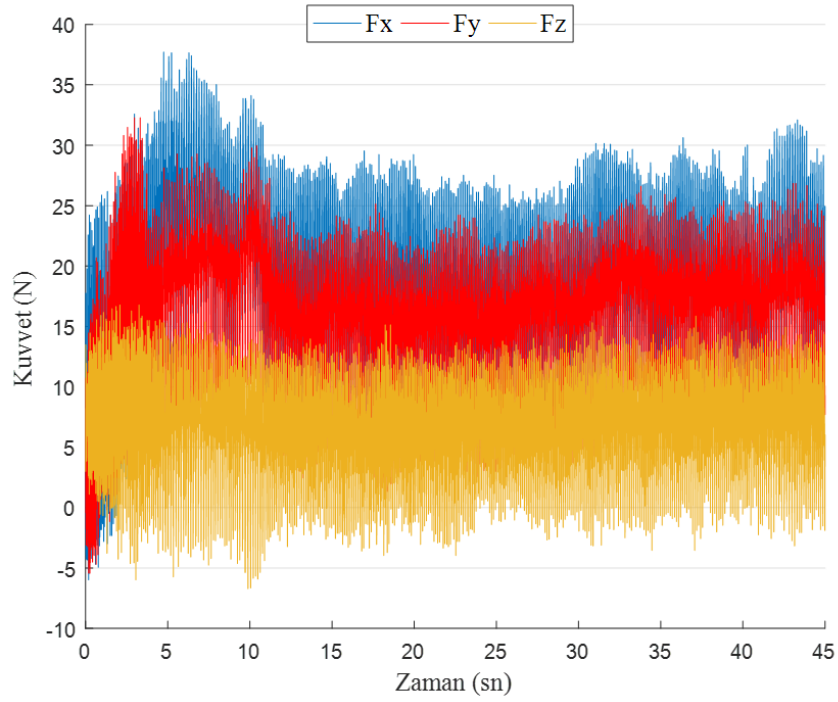
Şekil 27. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



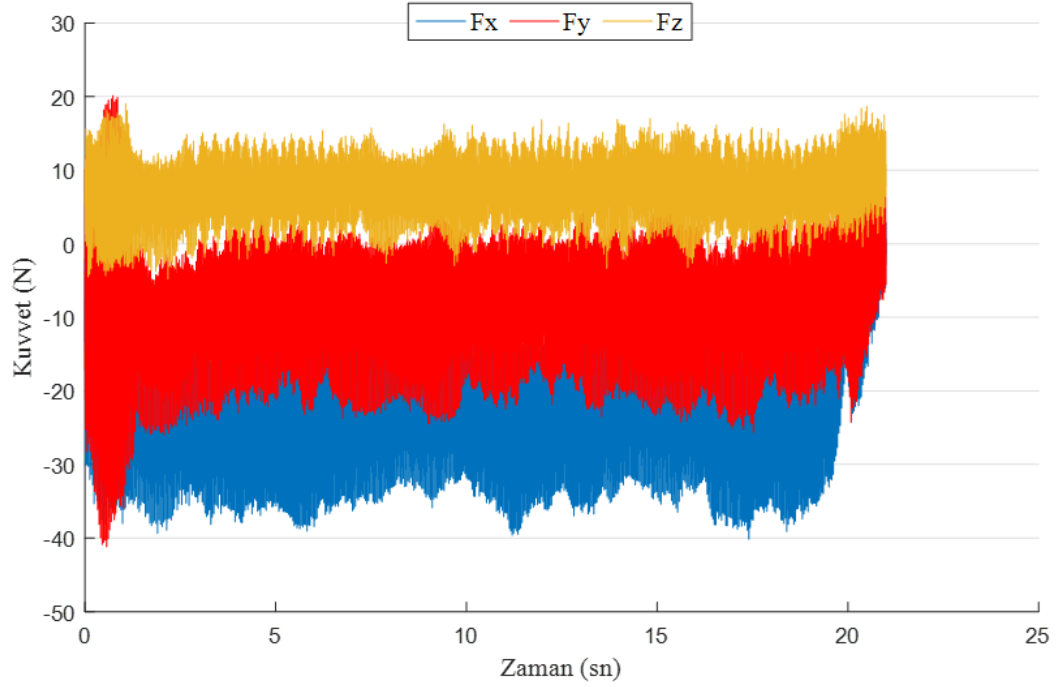
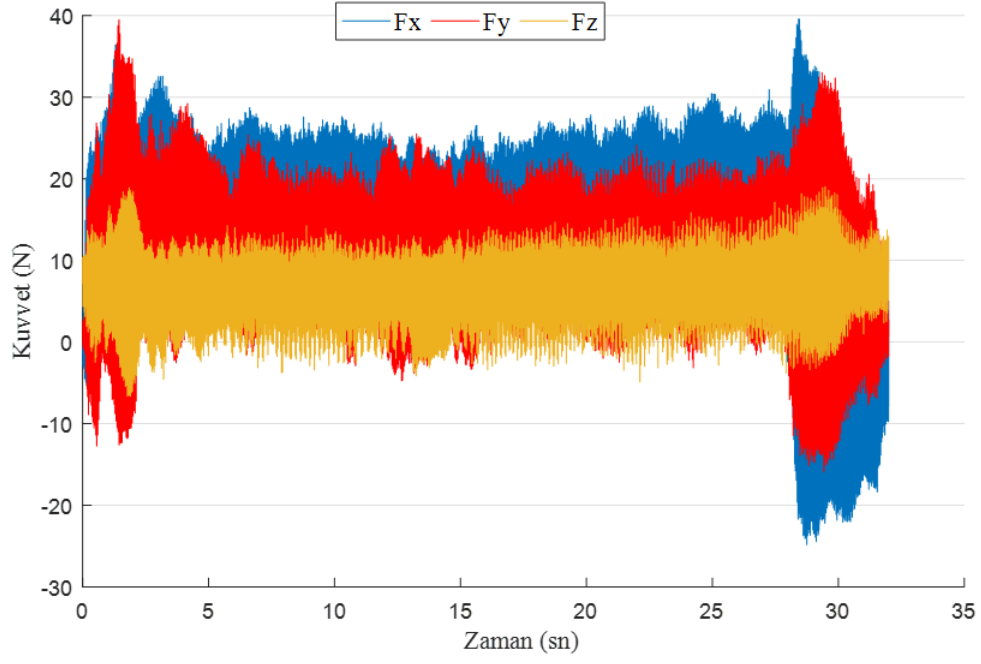
Şekil 28. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev

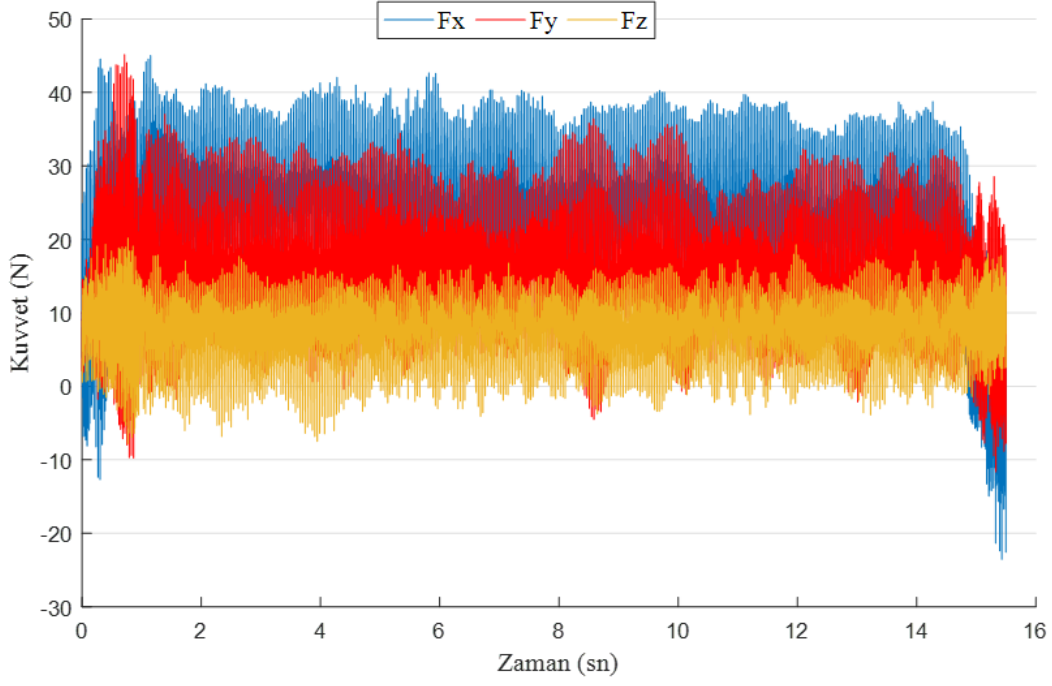


Şekil 29. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev

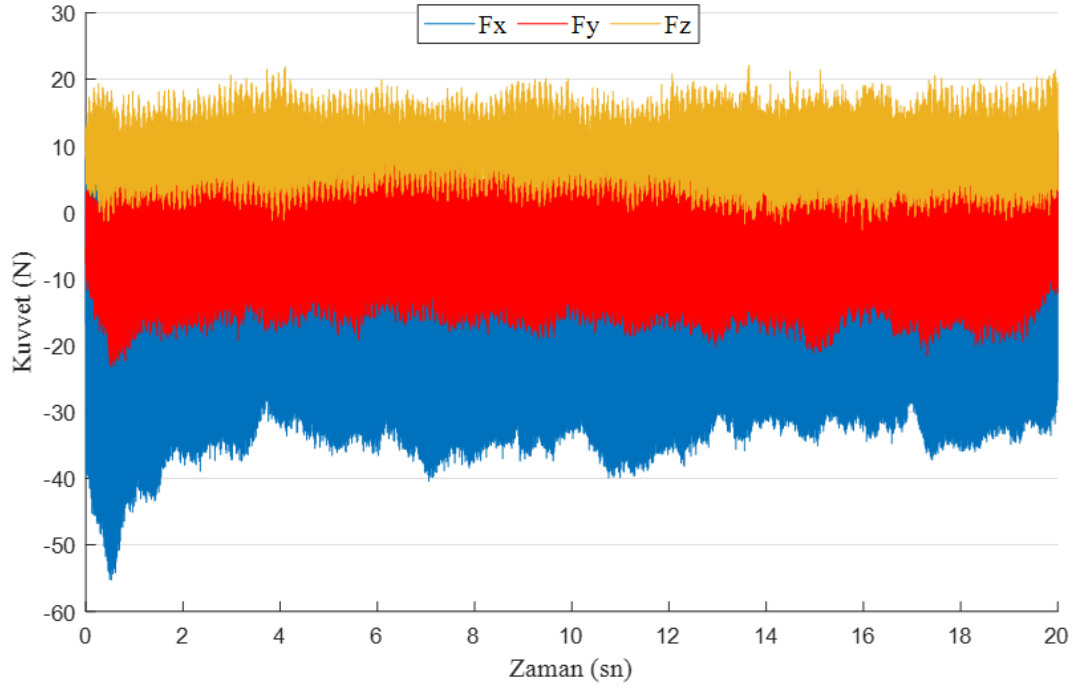


Şekil 30. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev

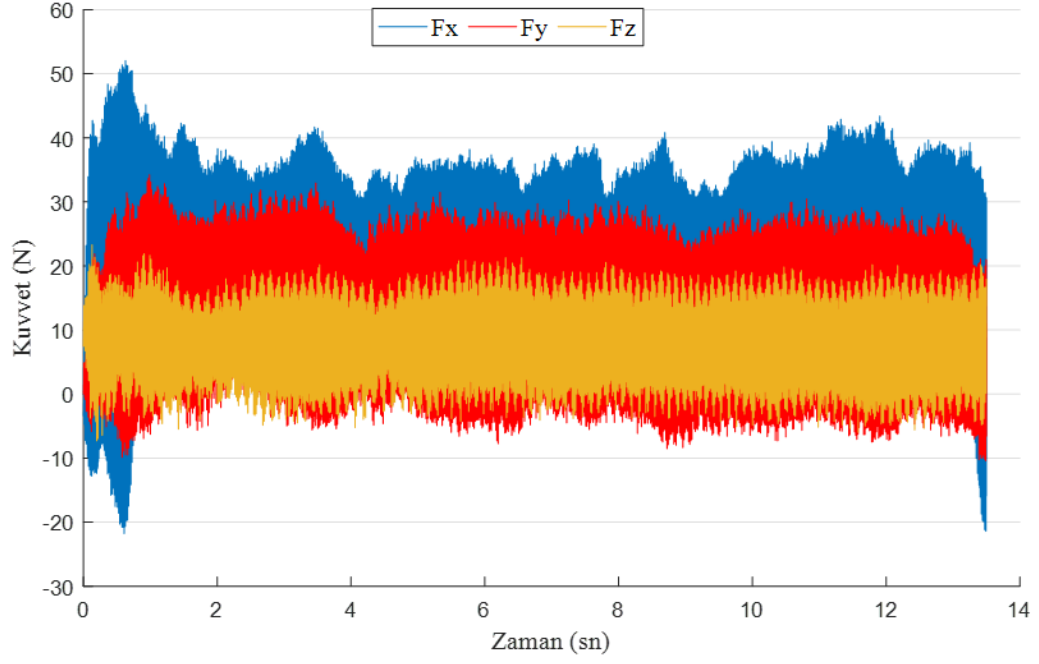




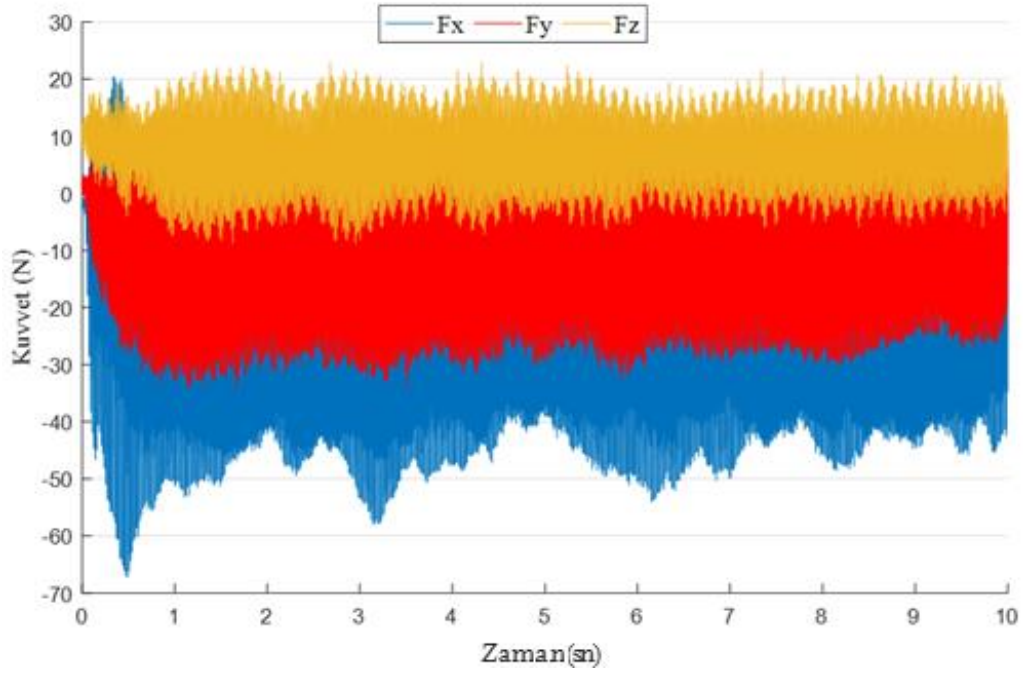
Şekil 33. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



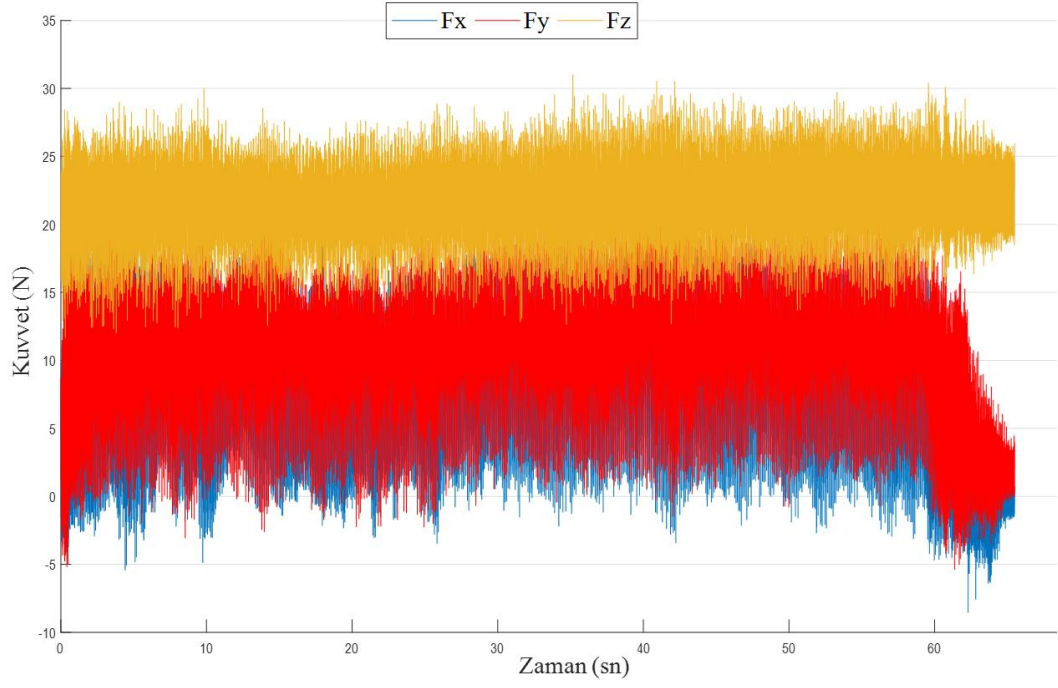
Şekil 34. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



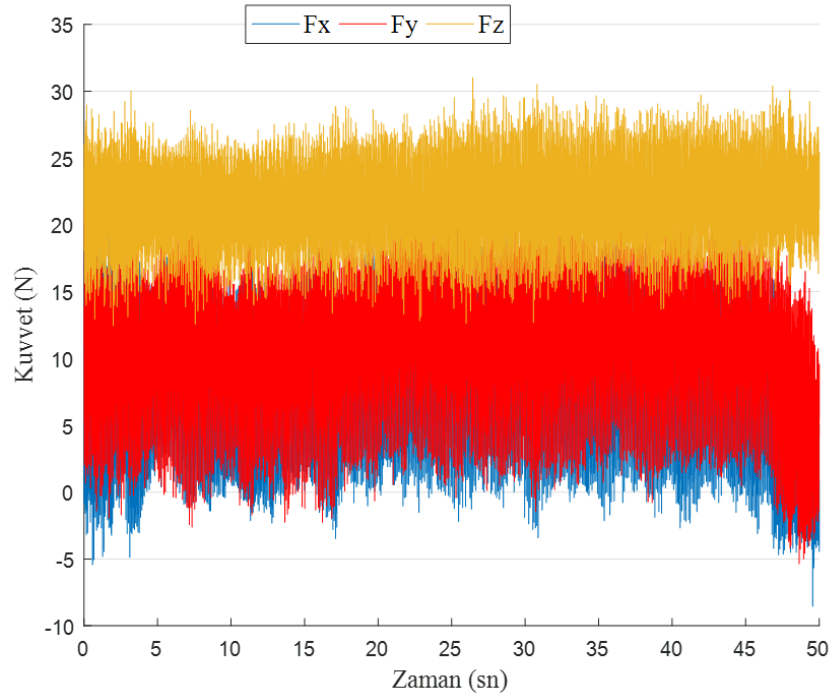
Şekil 35. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



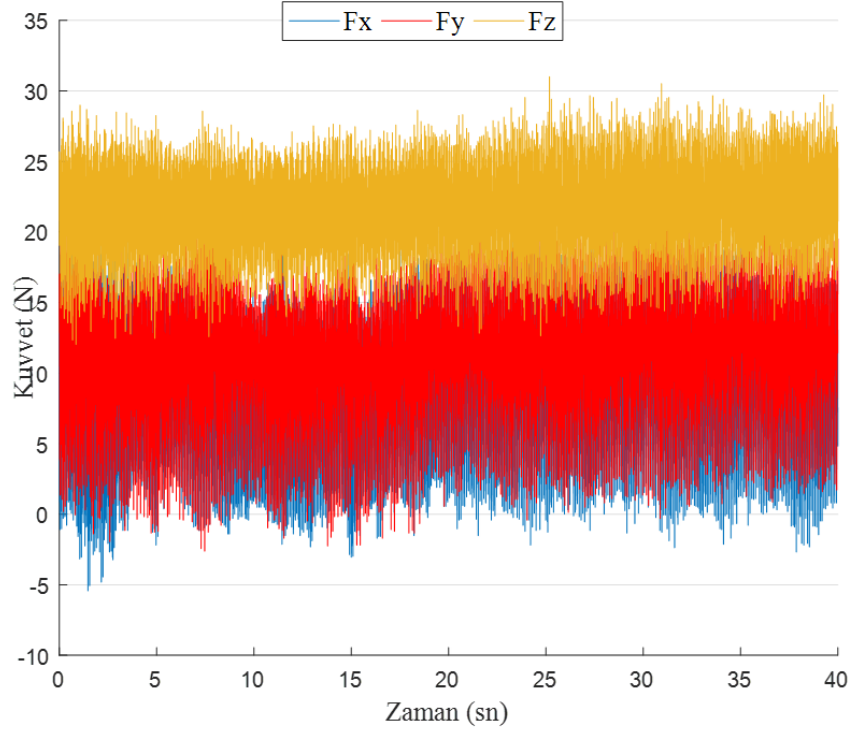
Şekil 36. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



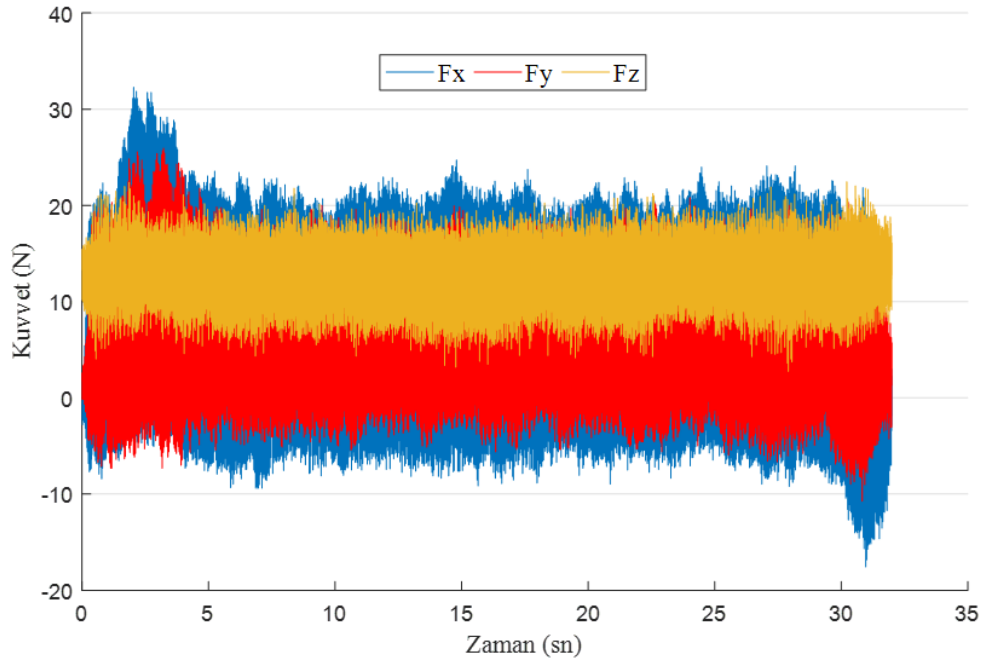
Şekil 37. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



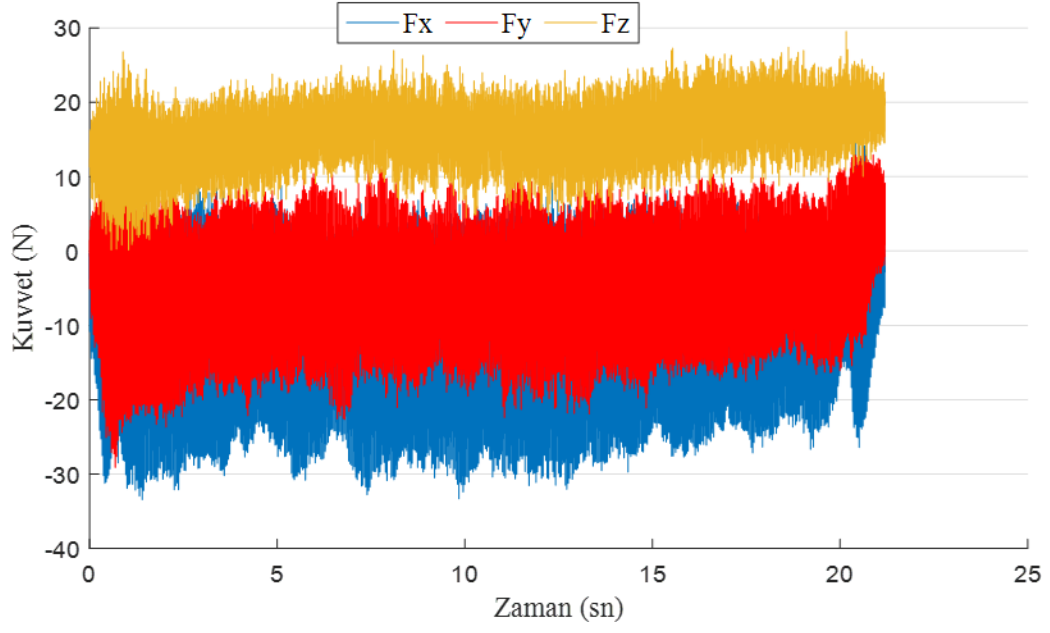
Şekil 38. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



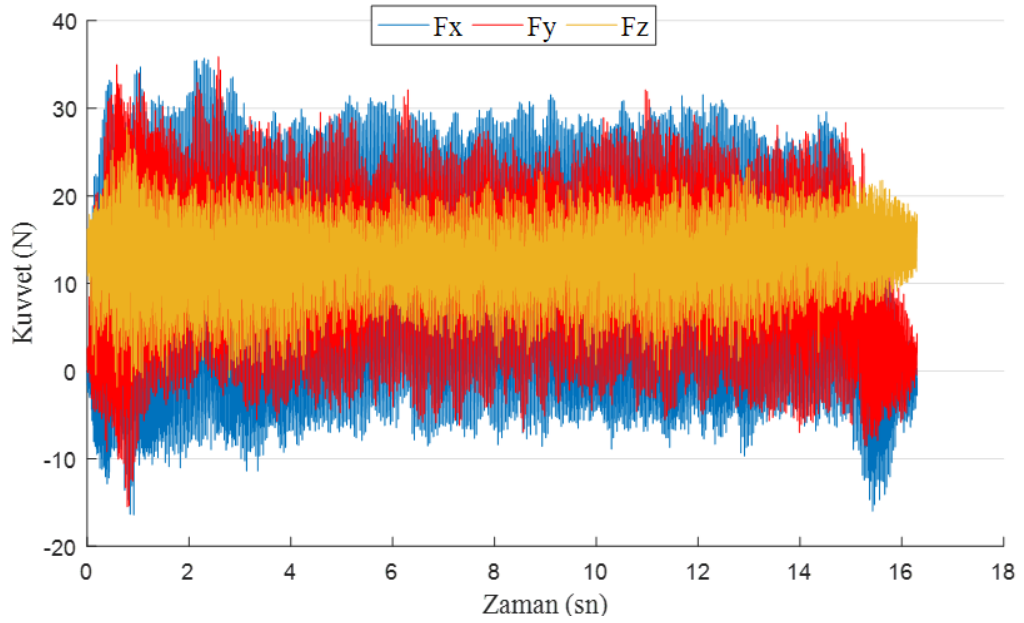
Şekil 39. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



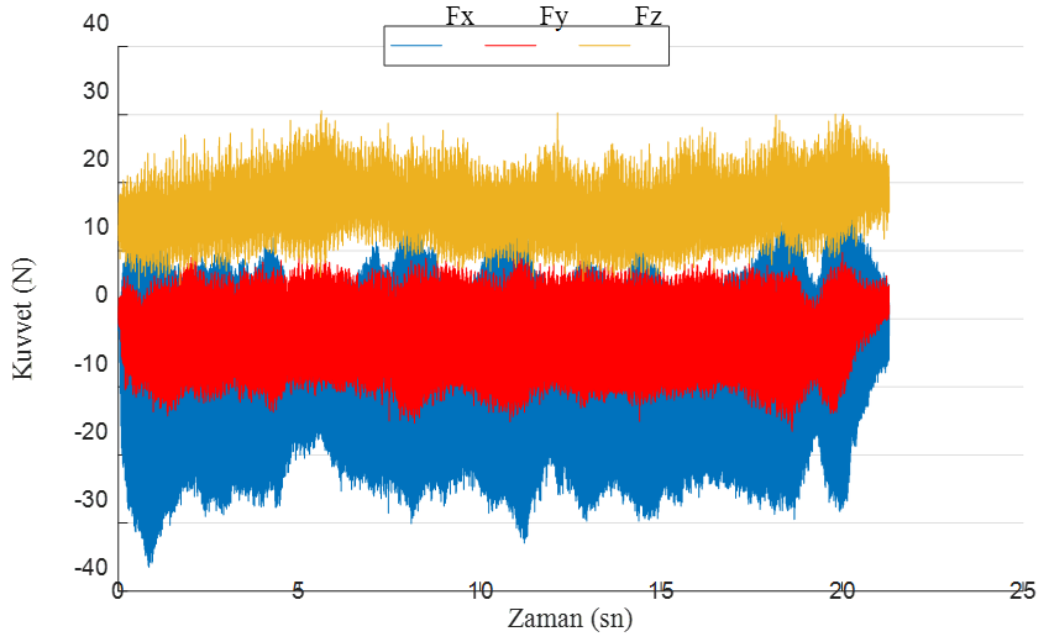
Şekil 40. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



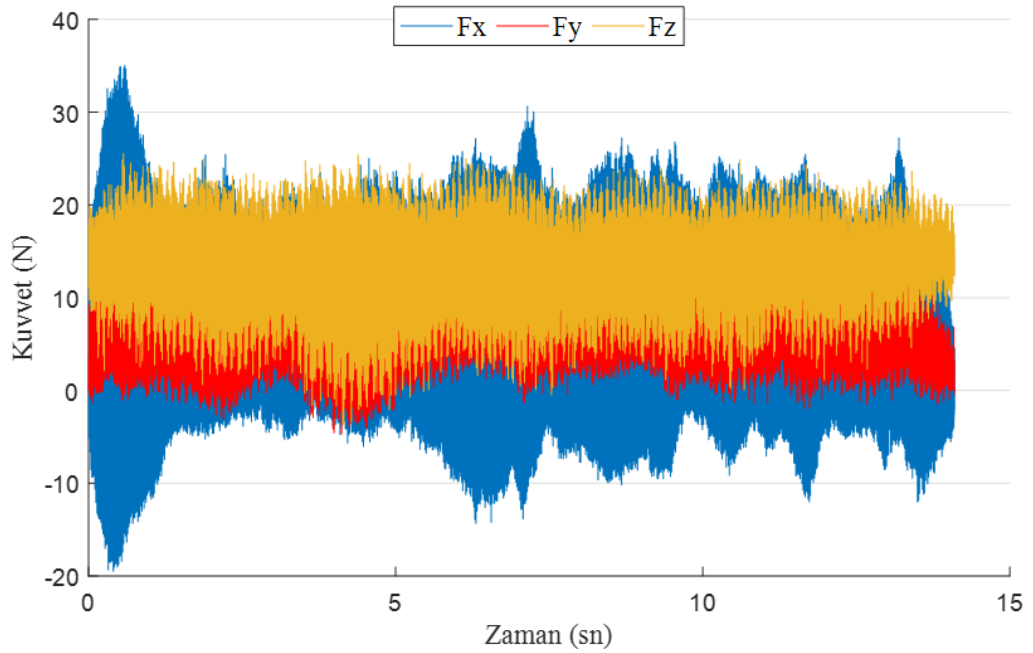
Şekil 41. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



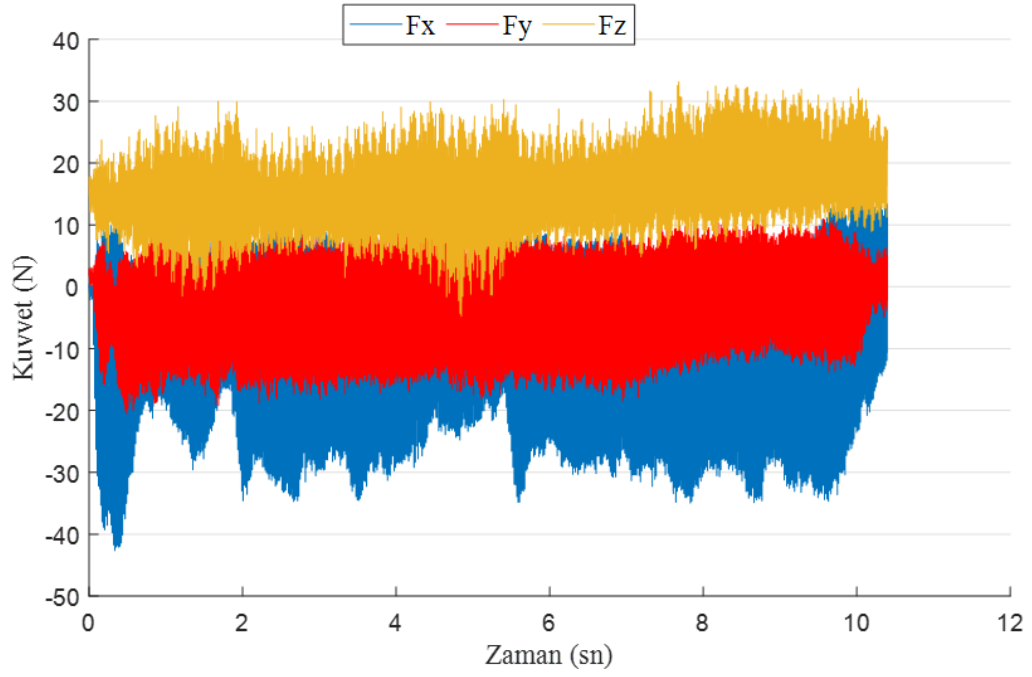
Şekil 42. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



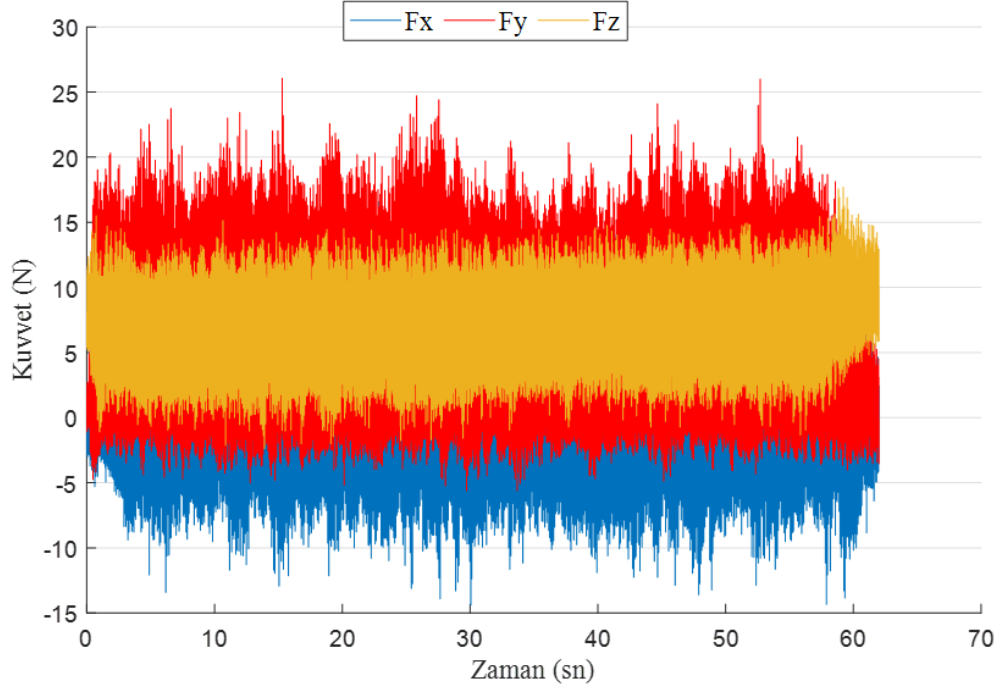
Şekil 43. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



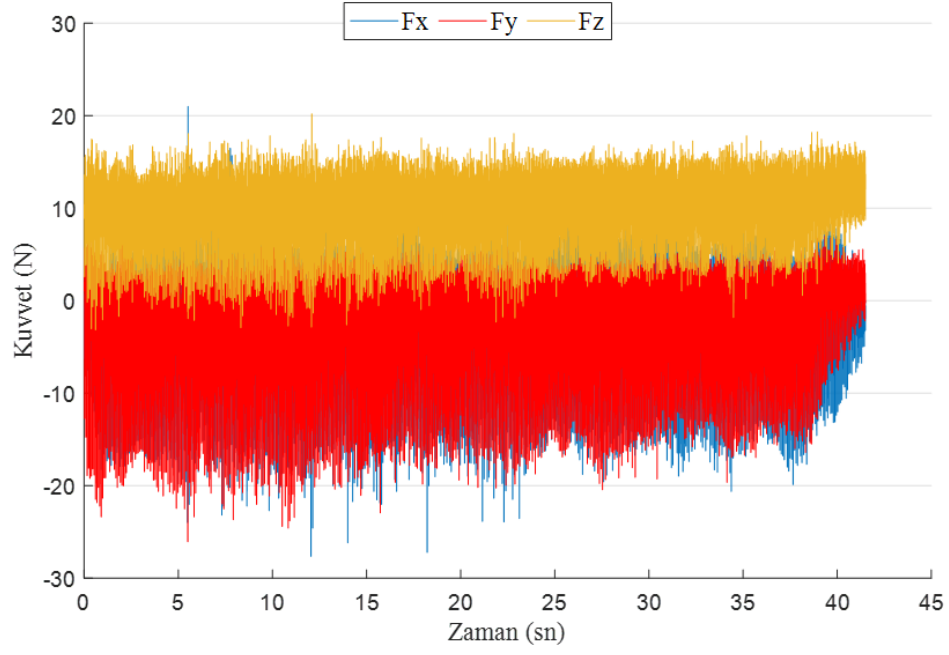
Şekil 44. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



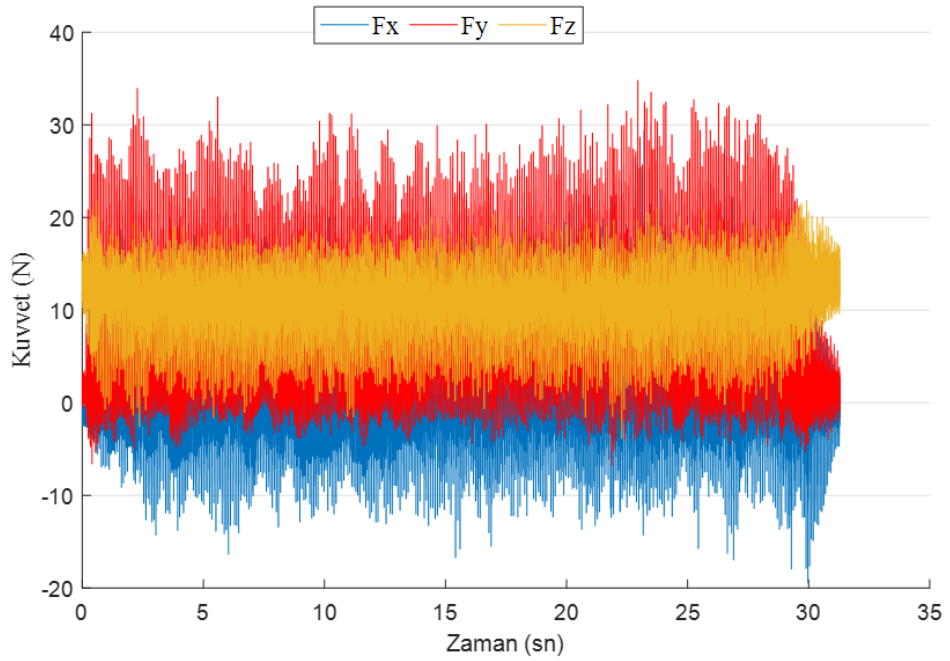
Şekil 45. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



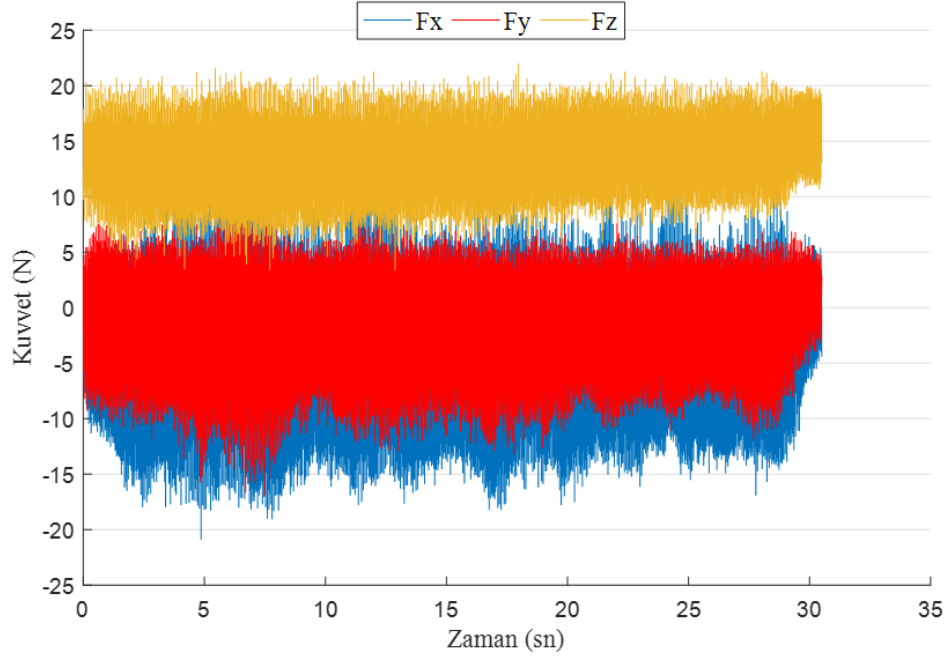
Şekil 46. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



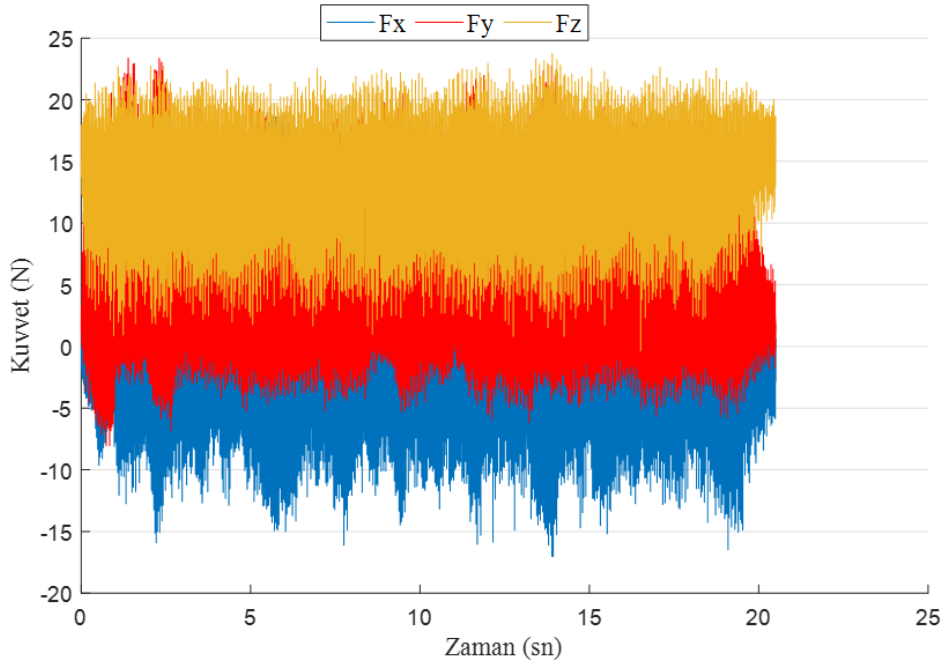
Şekil 47. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



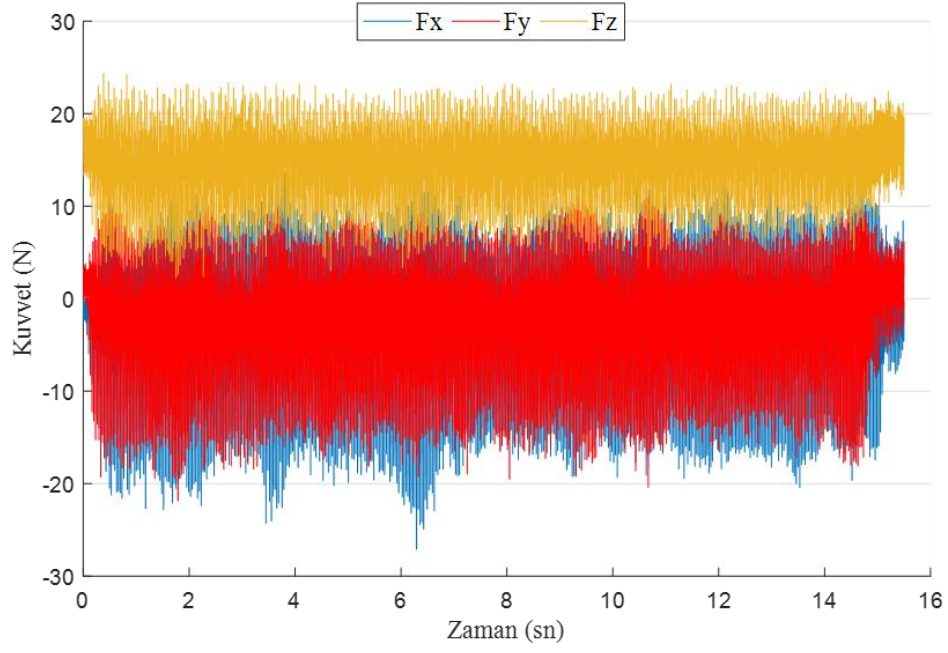
Şekil 48. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



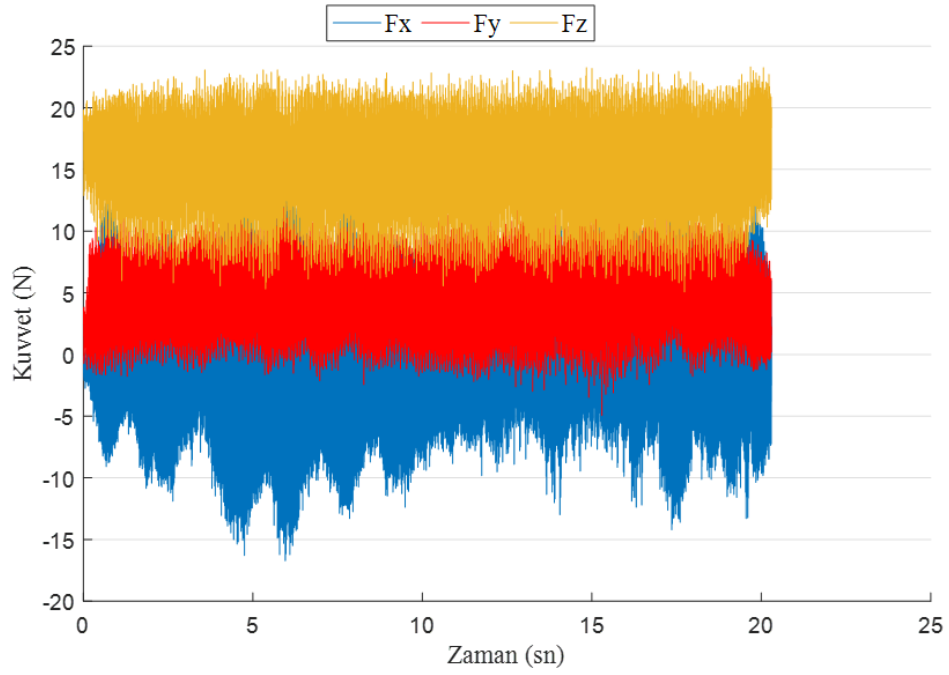
Şekil 49. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



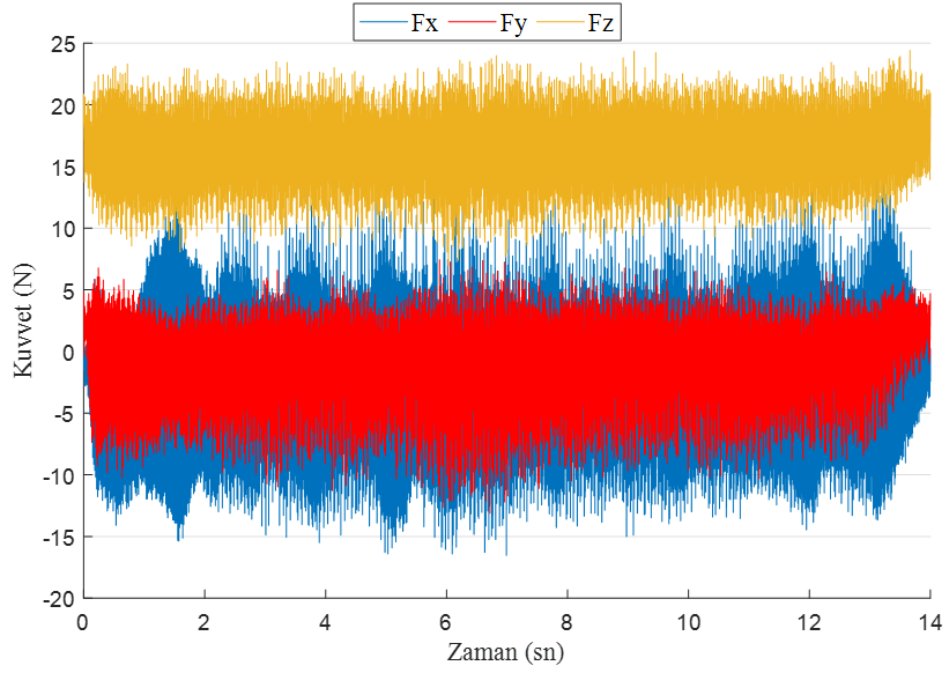
Şekil 50. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



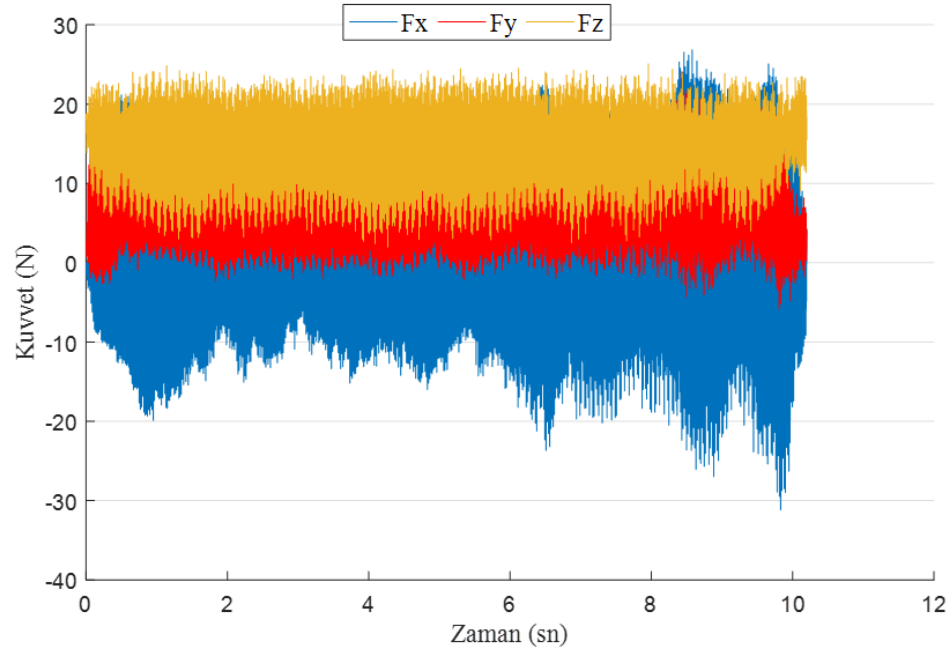
Şekil 51. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



Şekil 52. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev

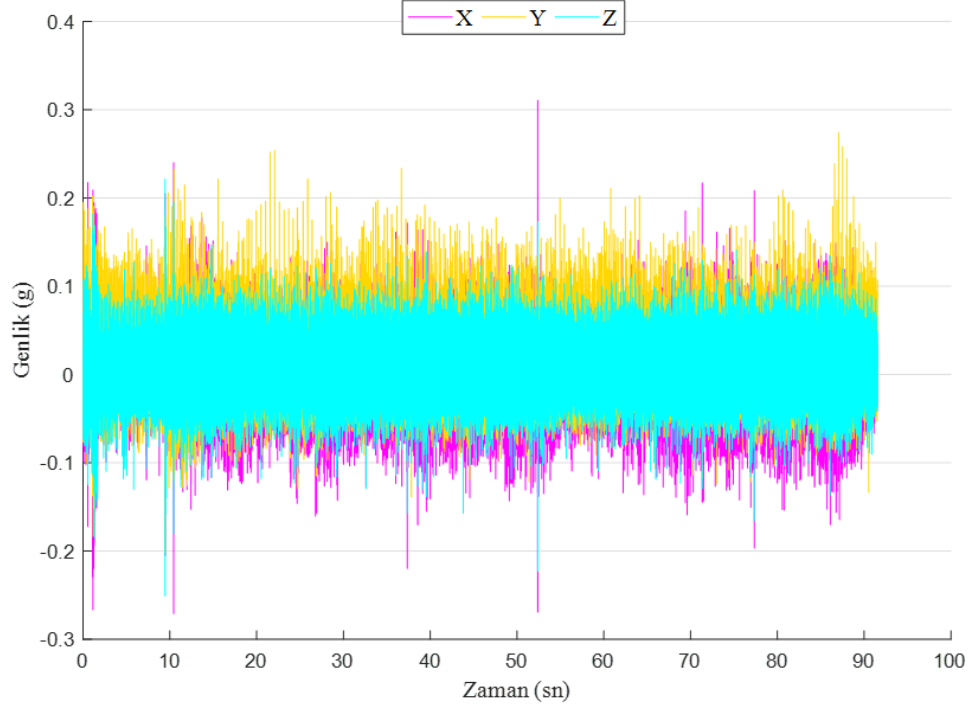


Şekil 53. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev

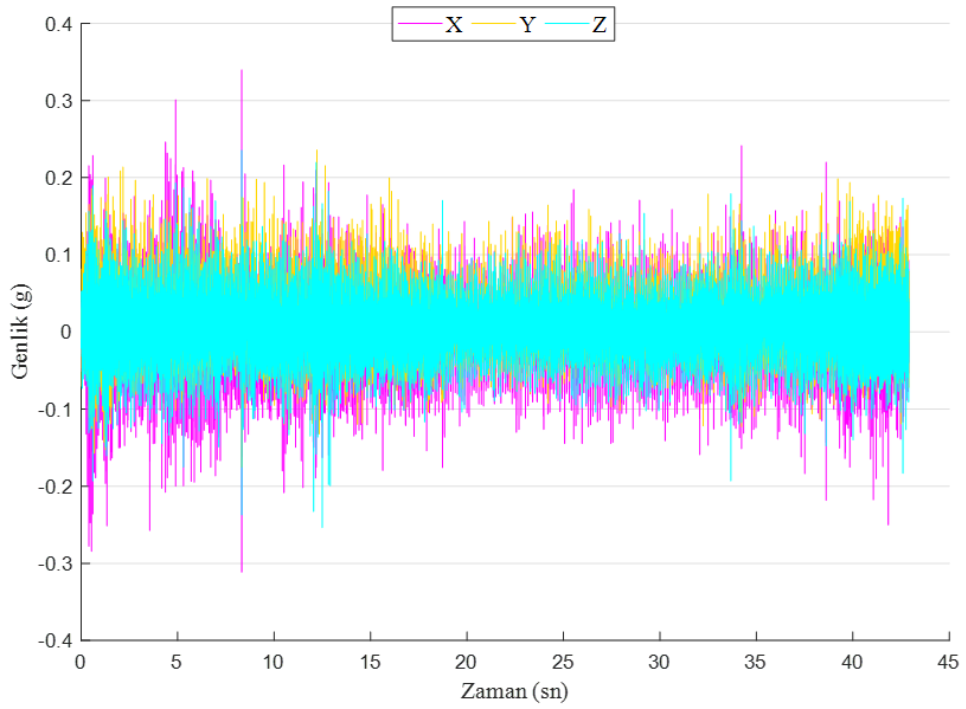


Şekil 54. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev

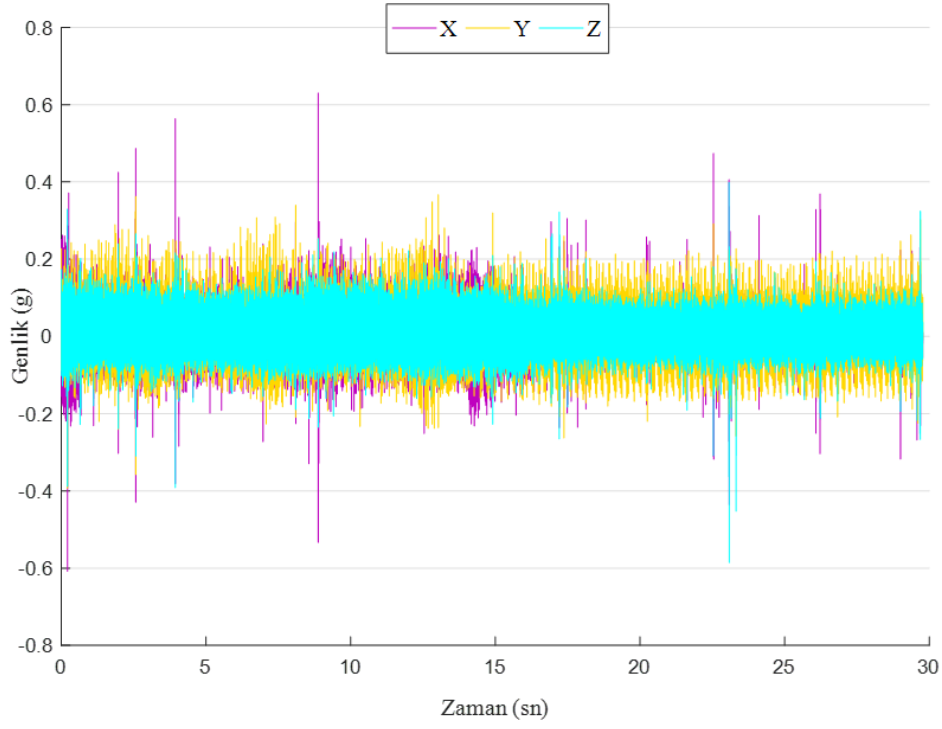
EK-2 Kompozitlerin frezelenmesinde elde edilen titreşim grafikleri



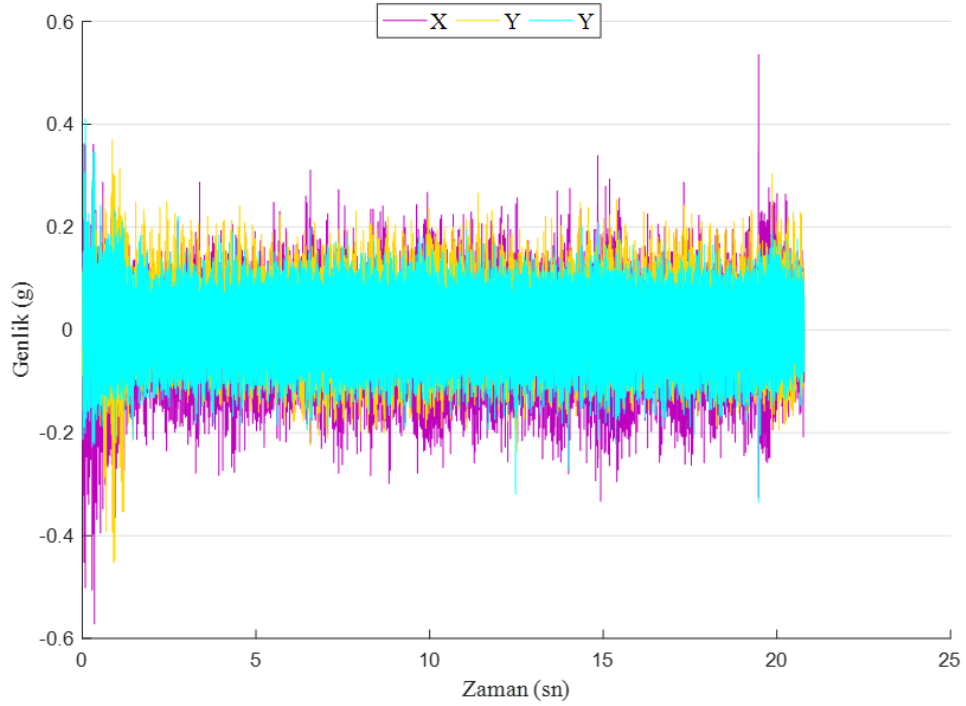
Şekil 1. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



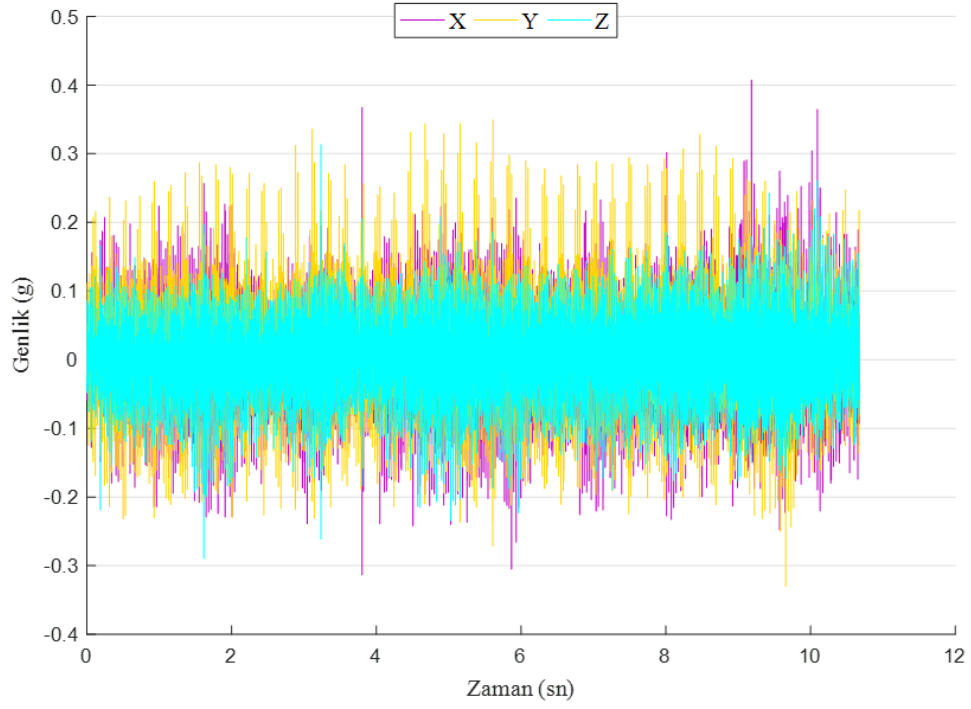
Şekil 2. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



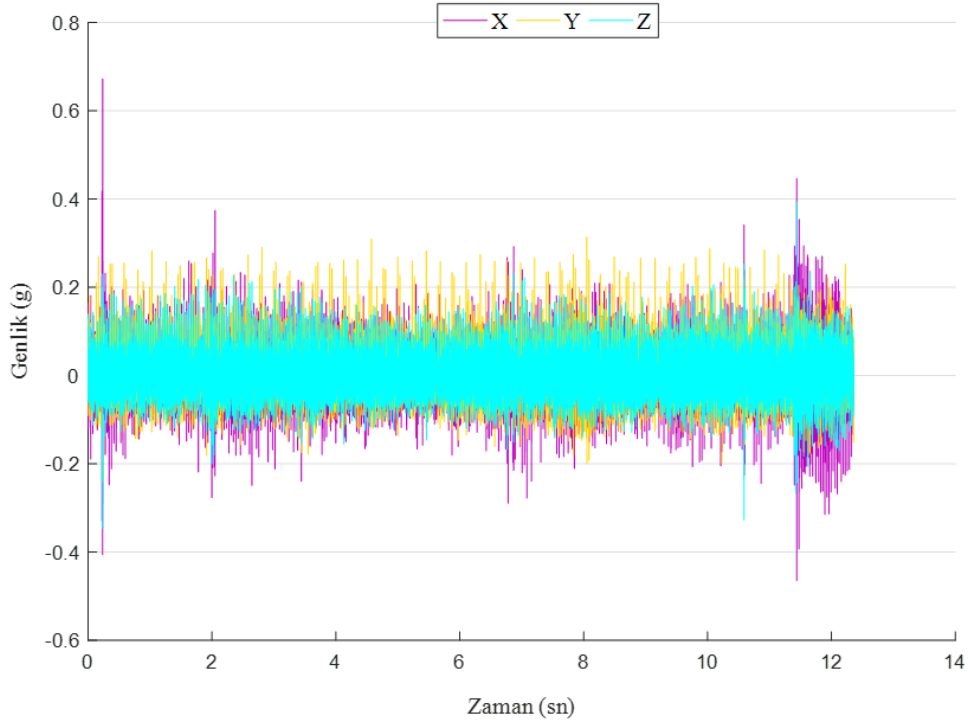
Şekil 3. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



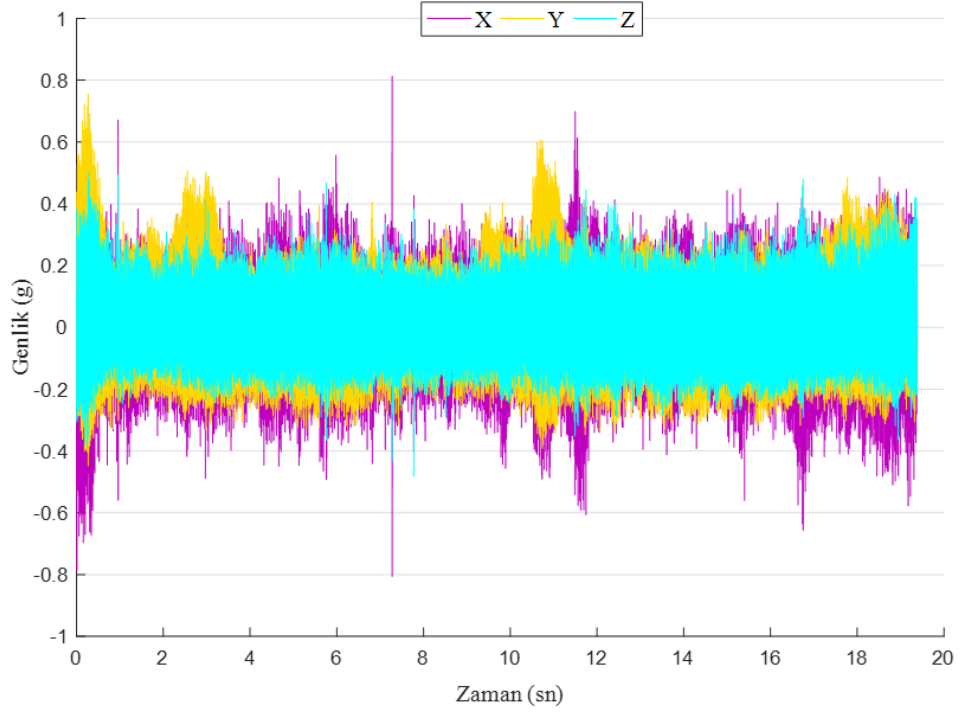
Şekil 4. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



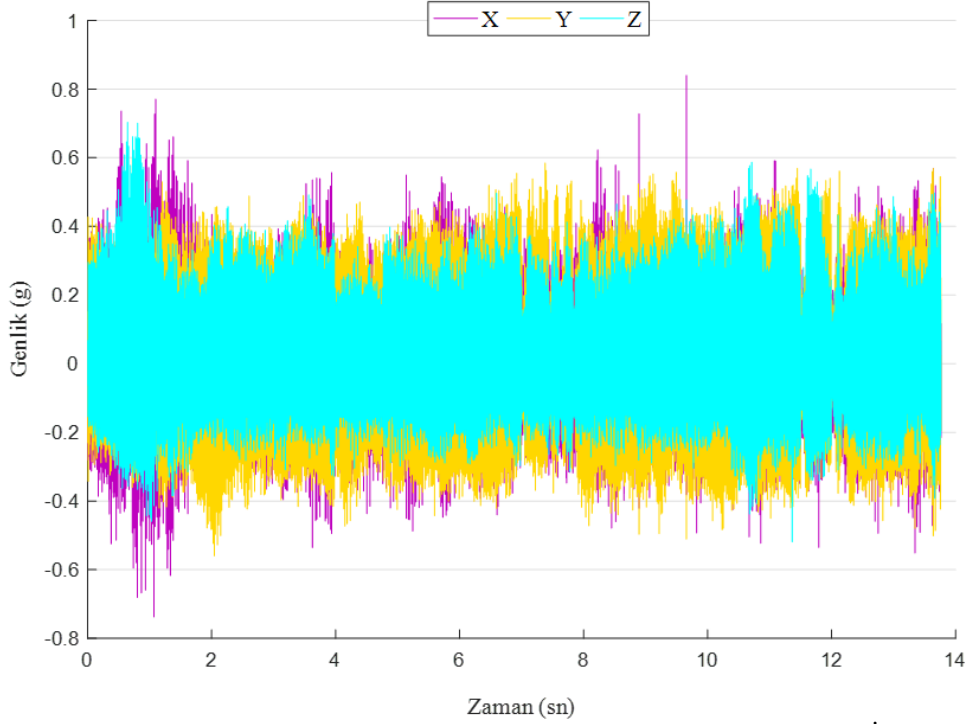
Şekil 5. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



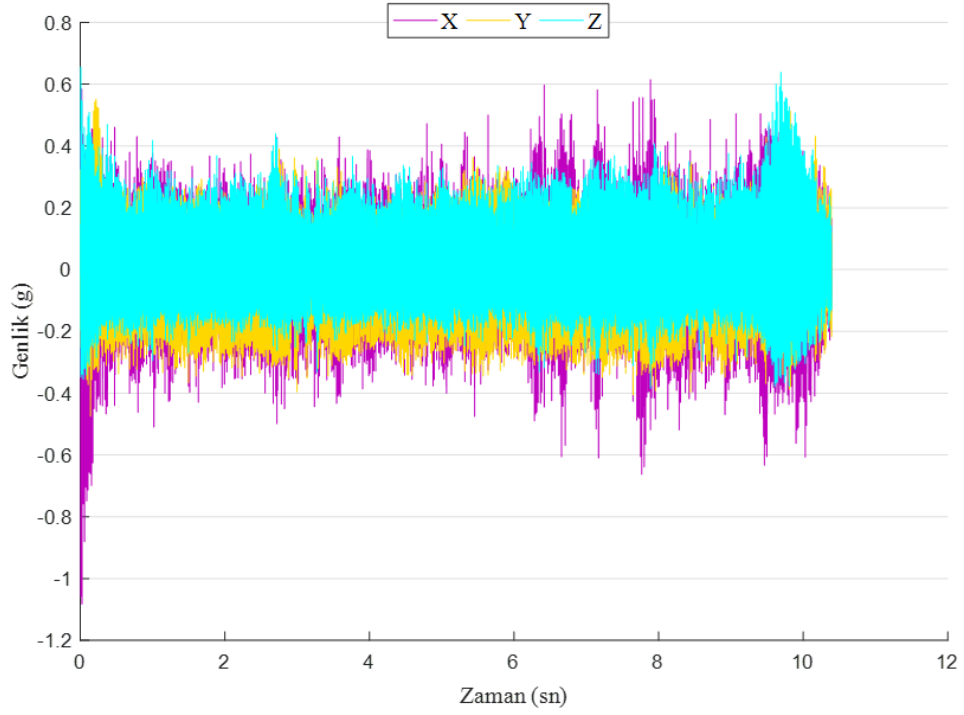
Şekil 6. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



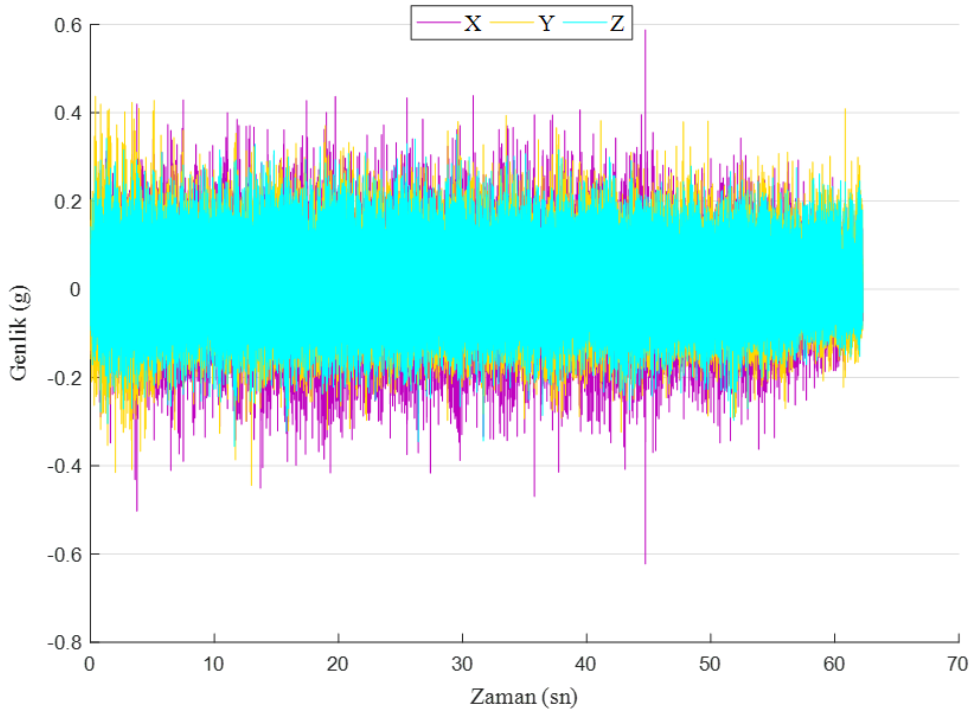
Şekil 7. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



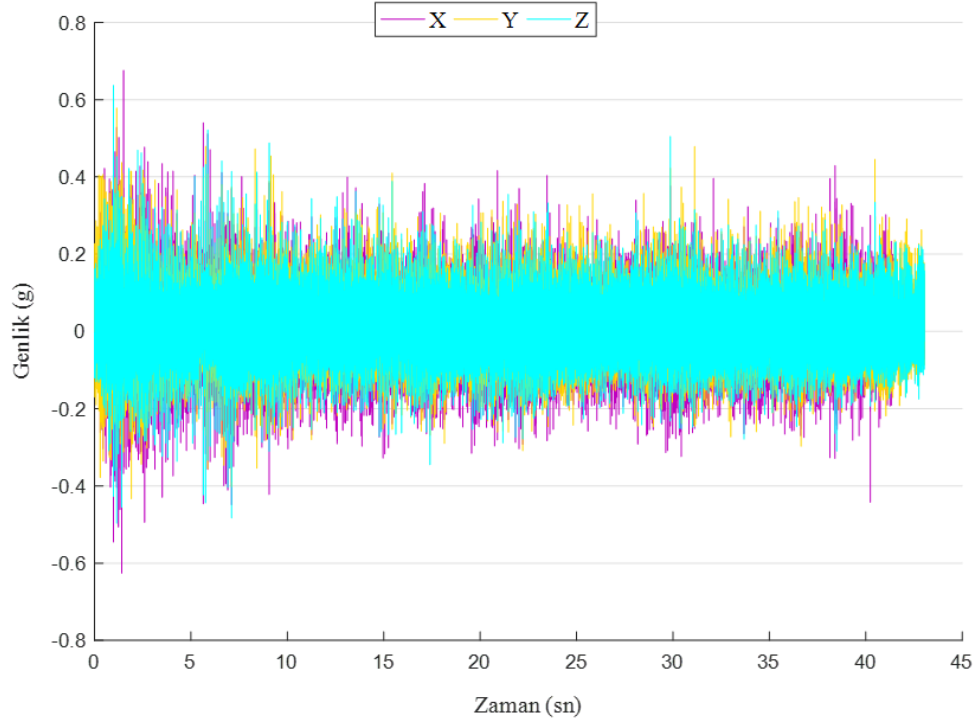
Şekil 8. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 75000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



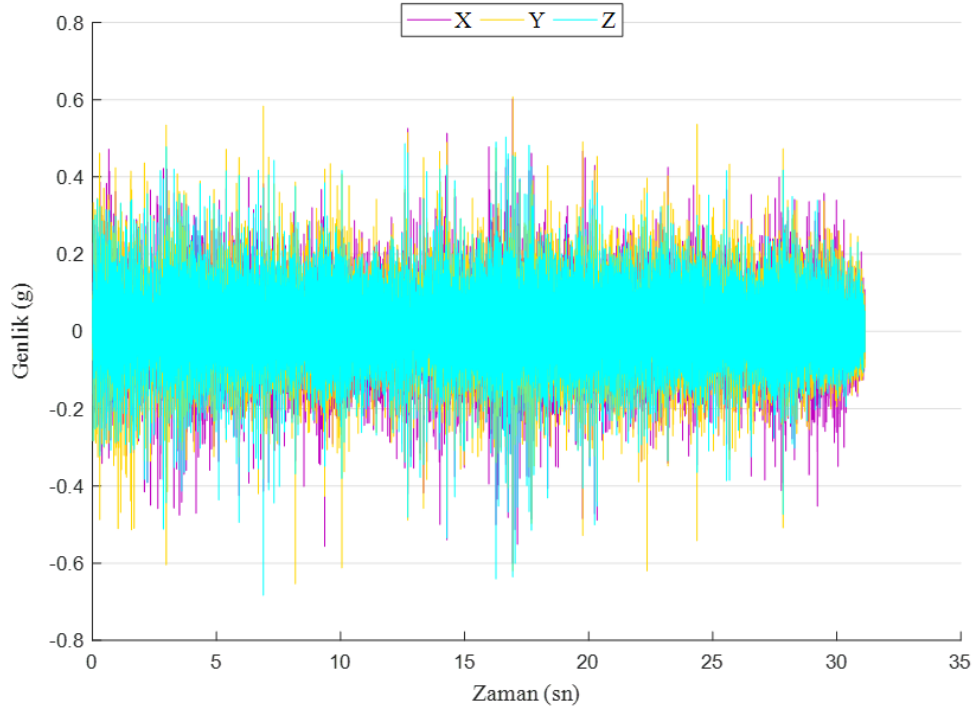
Şekil 9. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



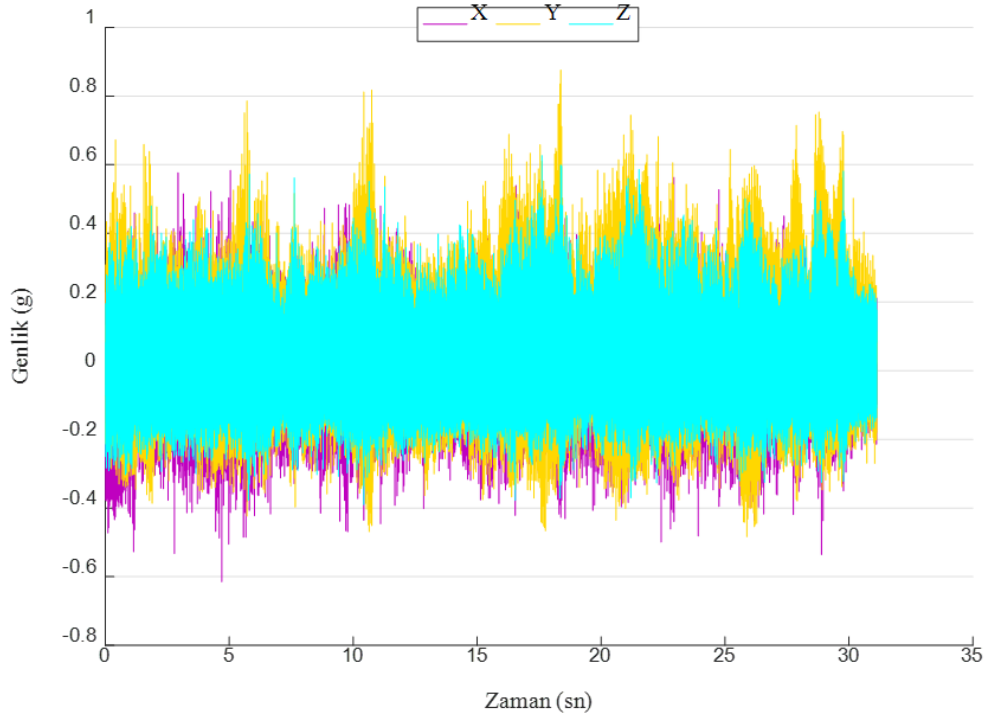
Şekil 10. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



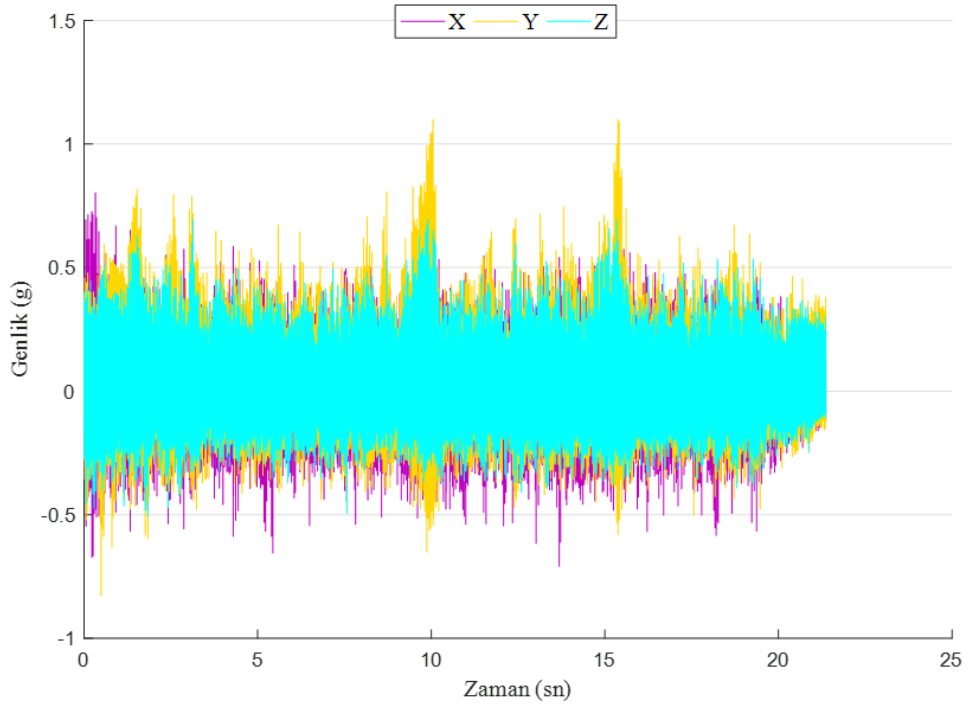
Şekil 11. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



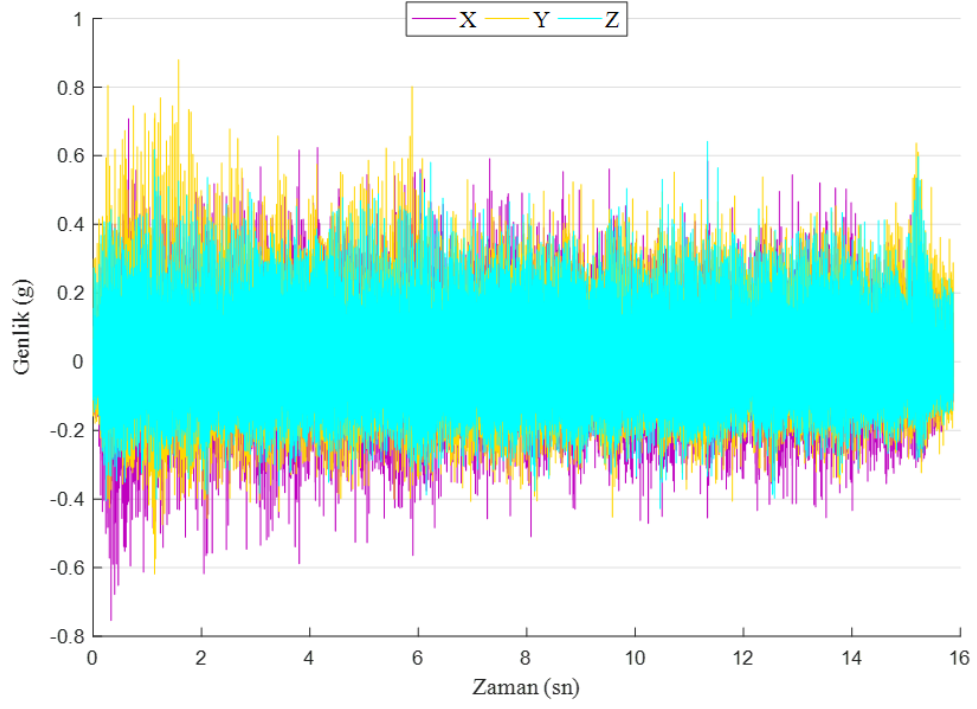
Şekil 12. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



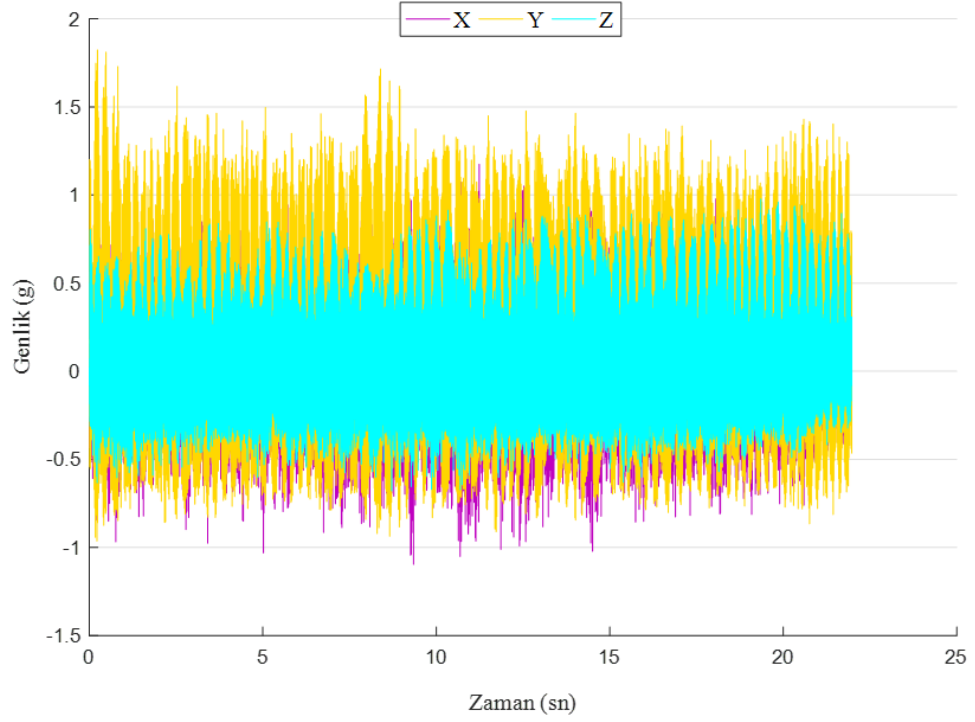
Şekil 13. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



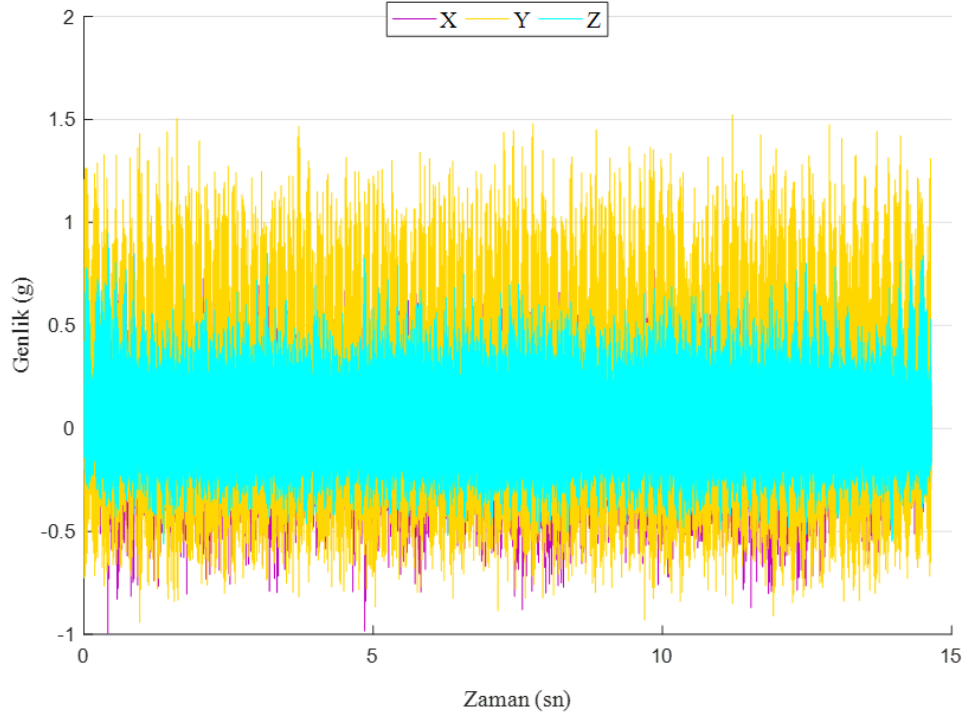
Şekil 14. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



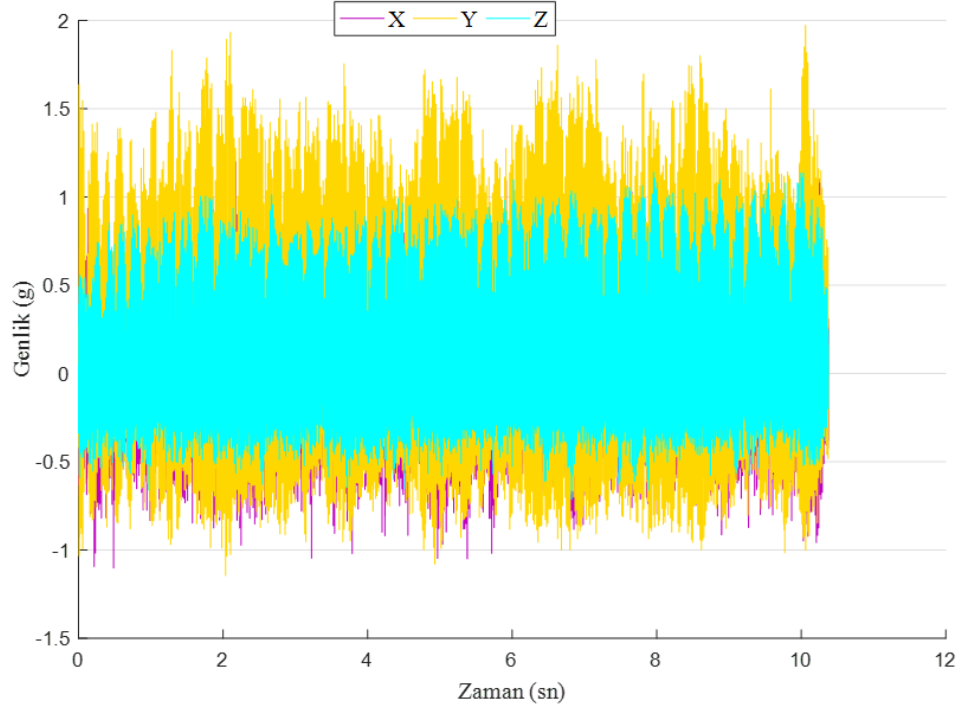
Şekil 15. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



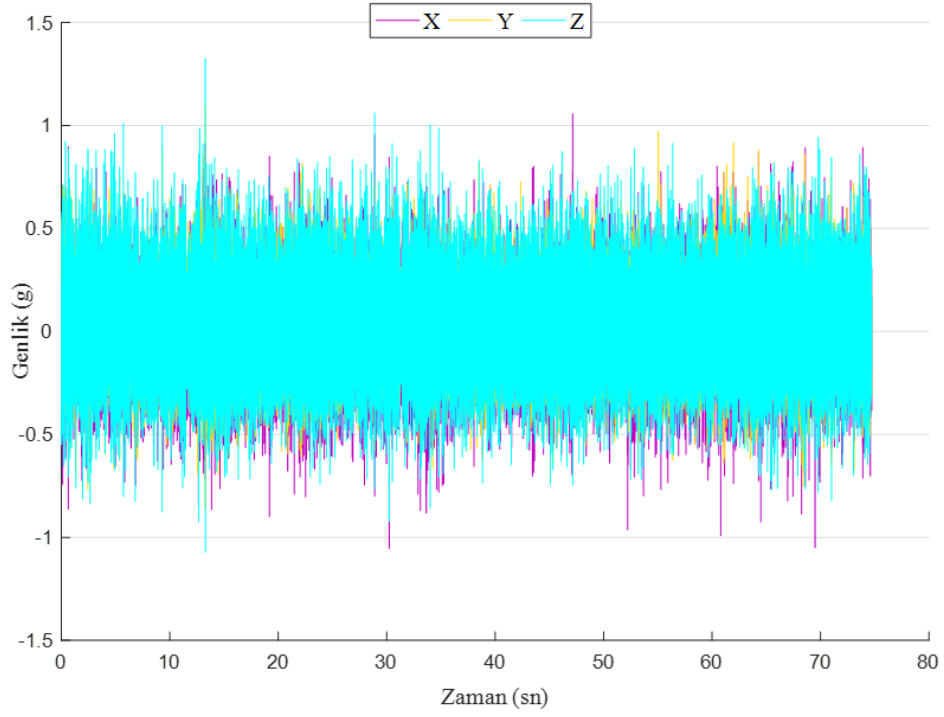
Şekil 16. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



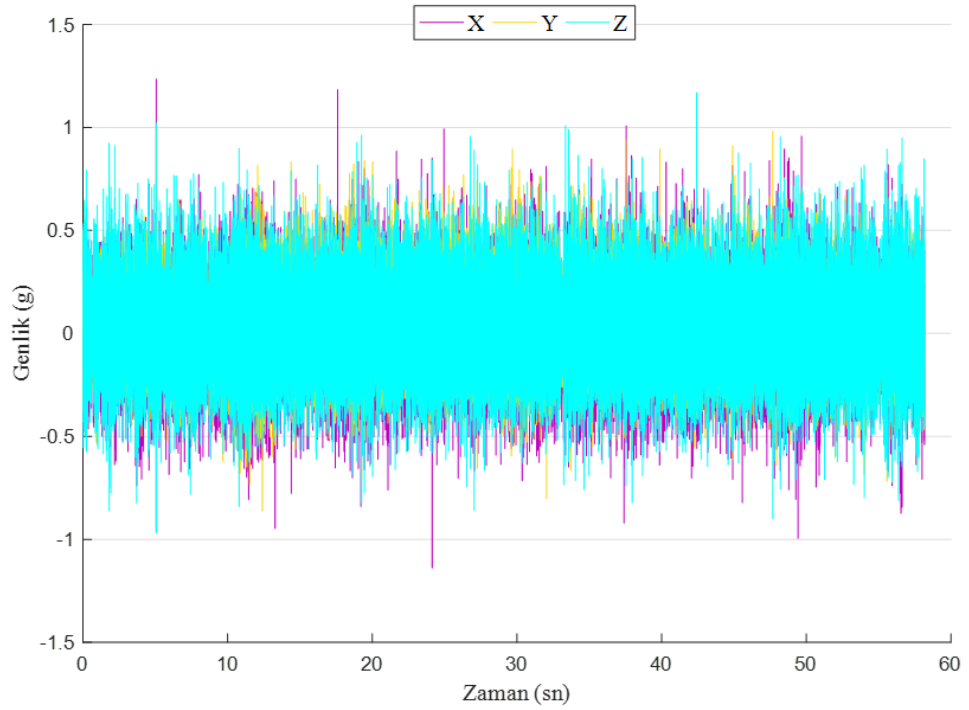
Şekil 17. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



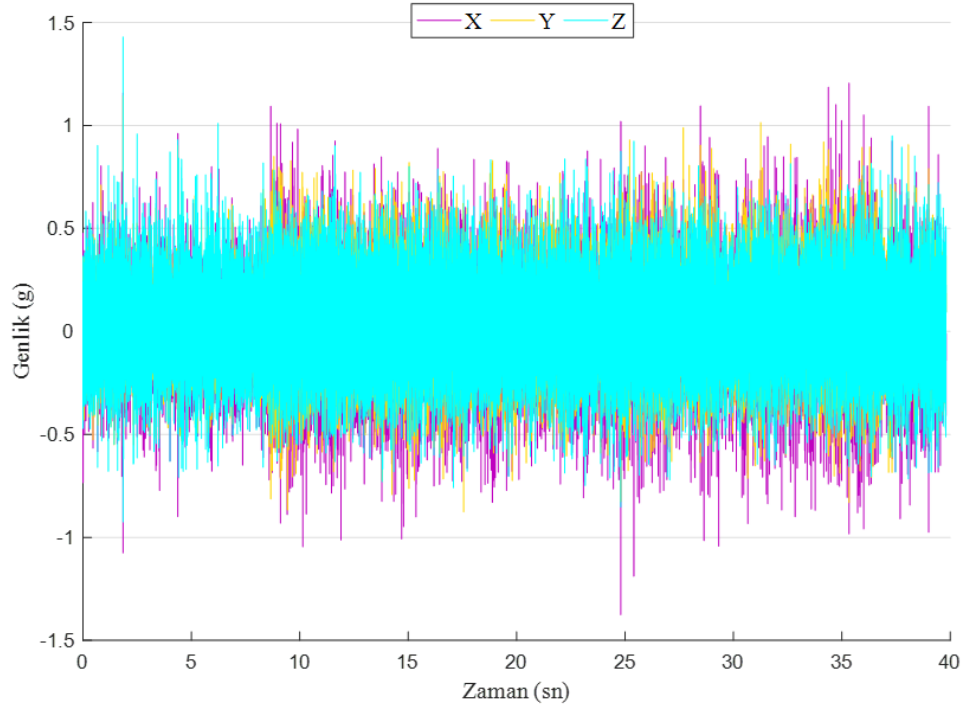
Şekil 18. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



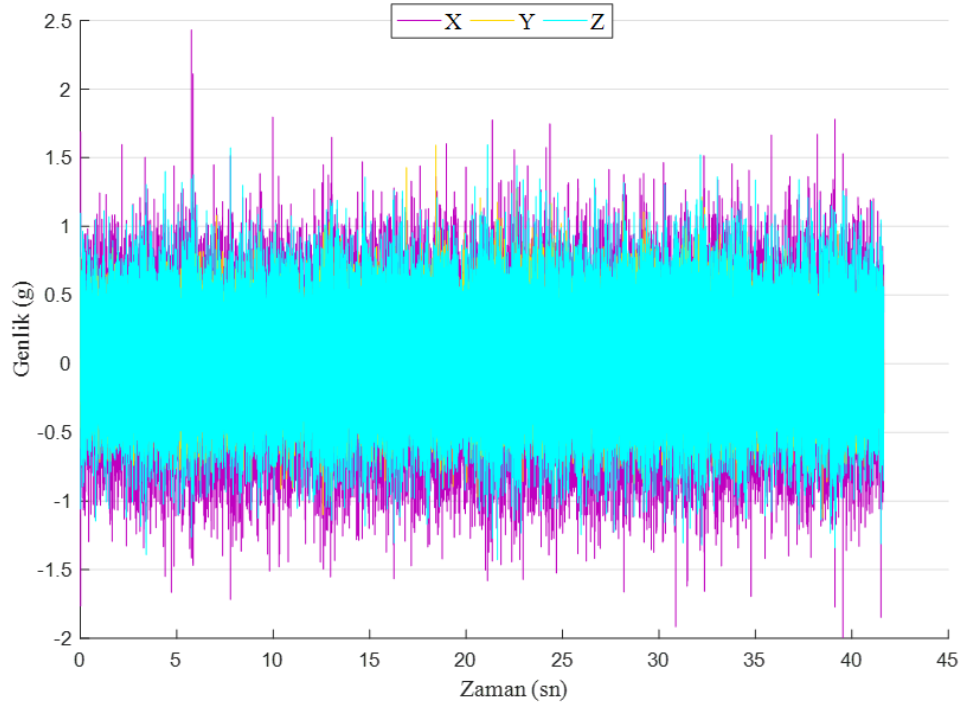
Şekil 19. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



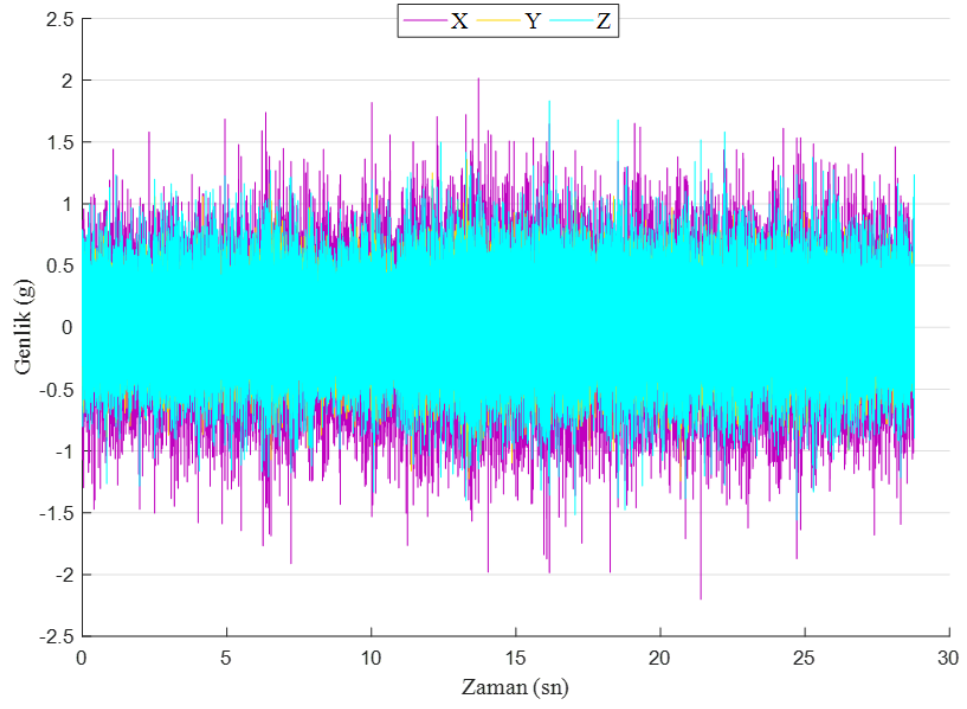
Şekil 20. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



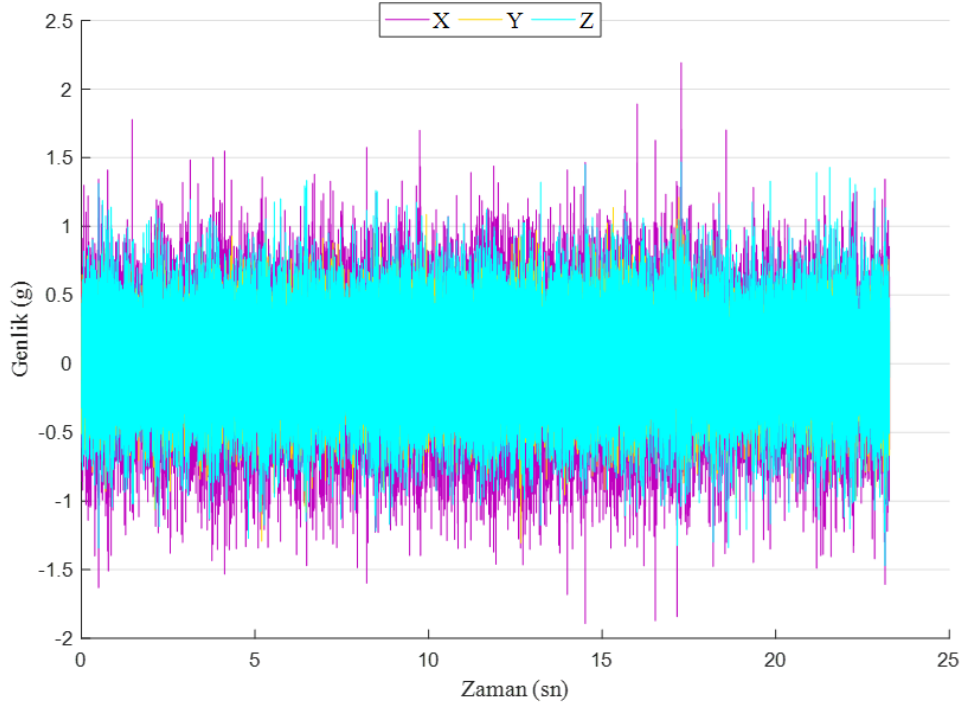
Şekil 21. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



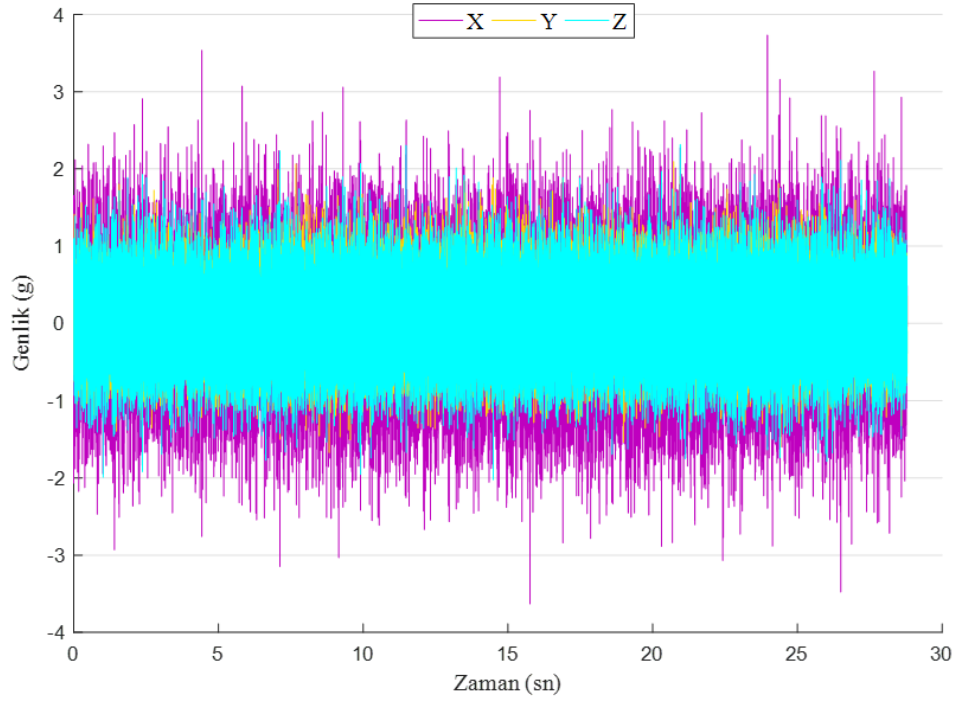
Şekil 22. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



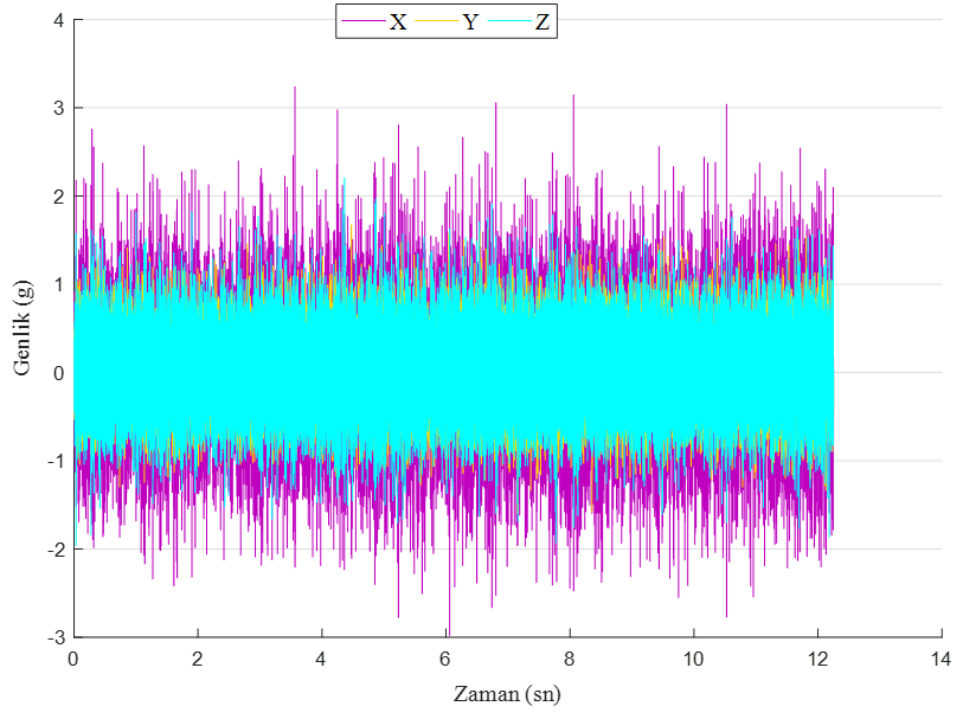
Şekil 23. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



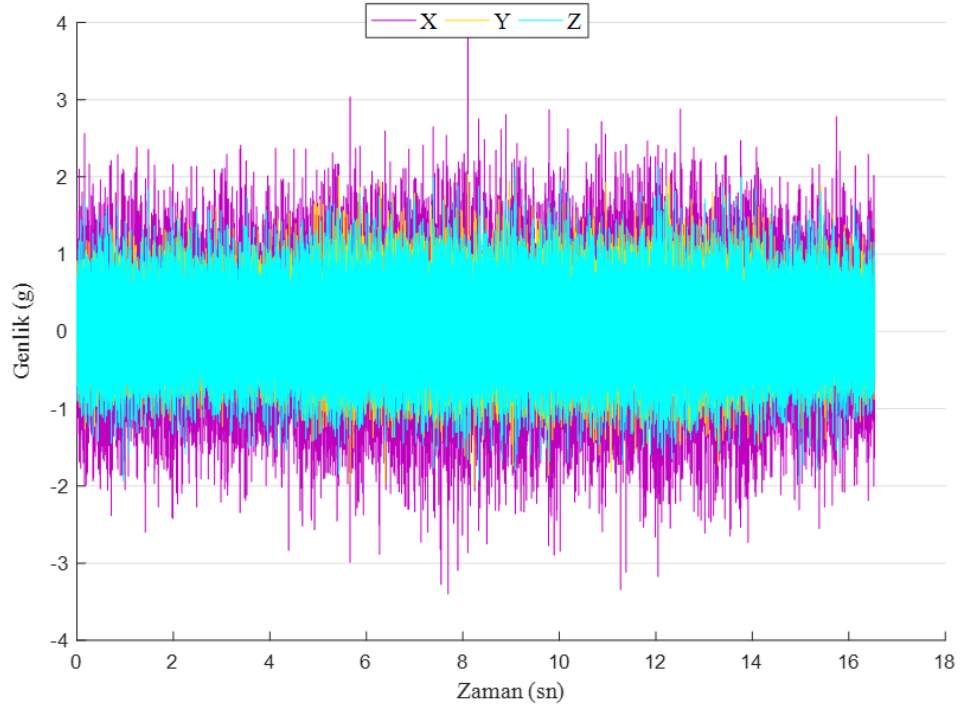
Şekil 24. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



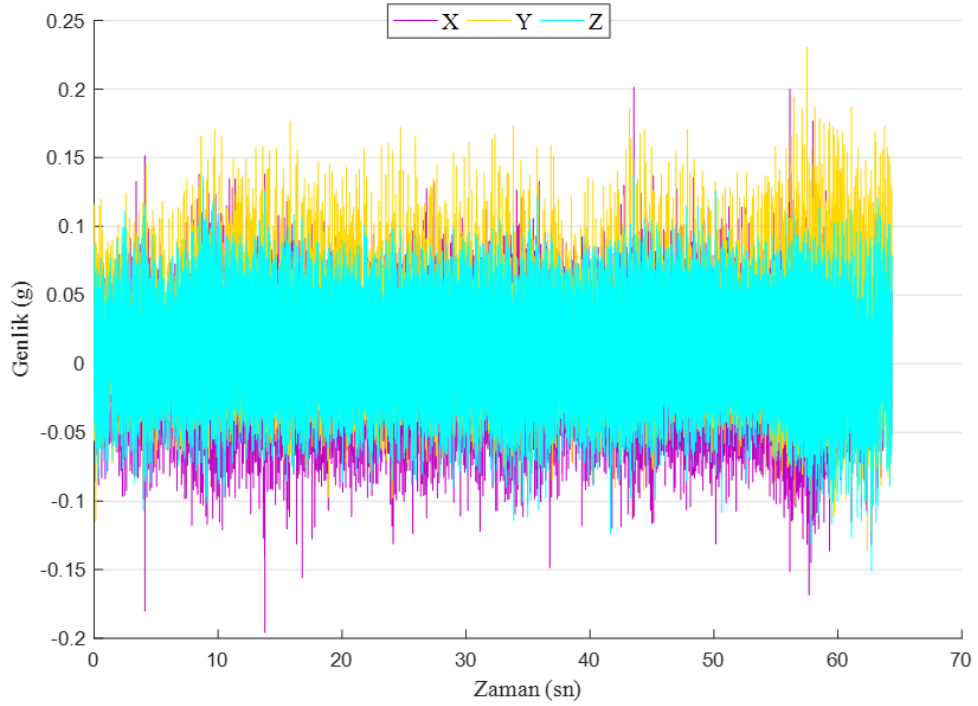
Şekil 25. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



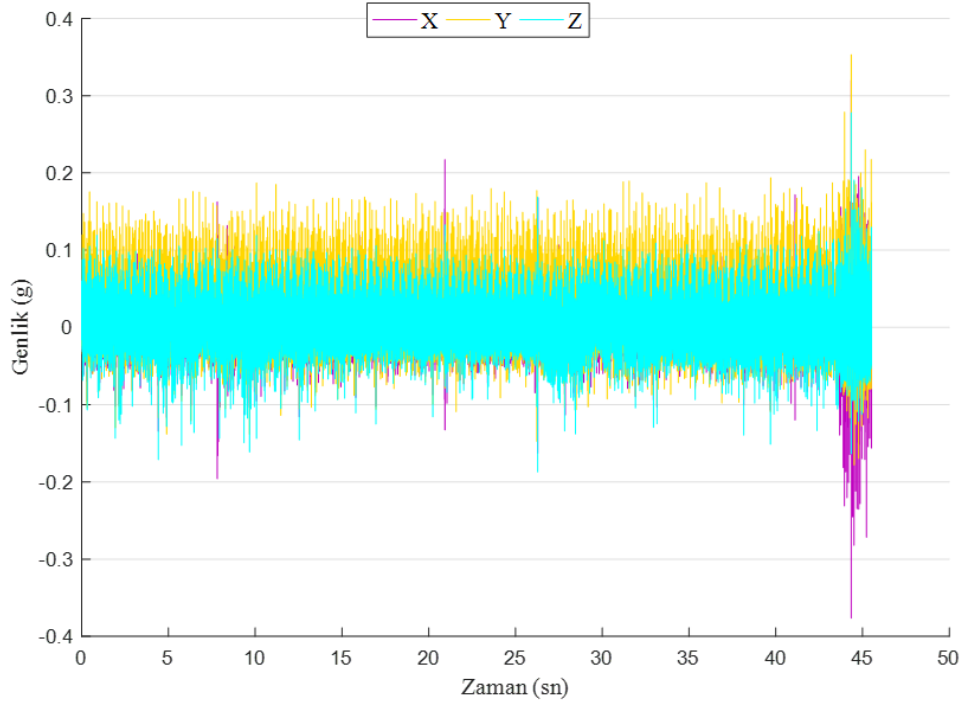
Şekil 26. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



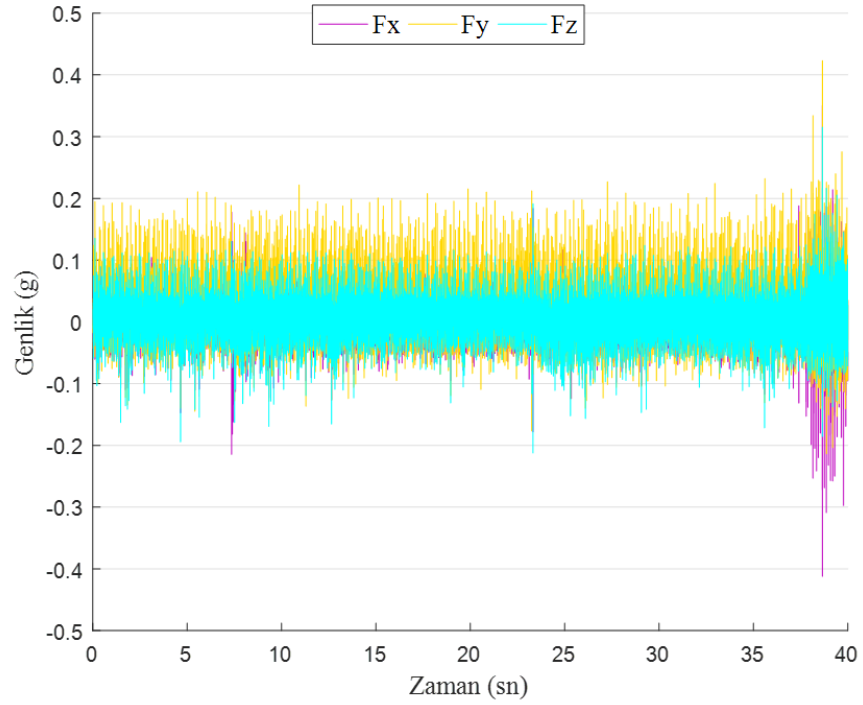
Şekil 27. Kompozit malzeme: JFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



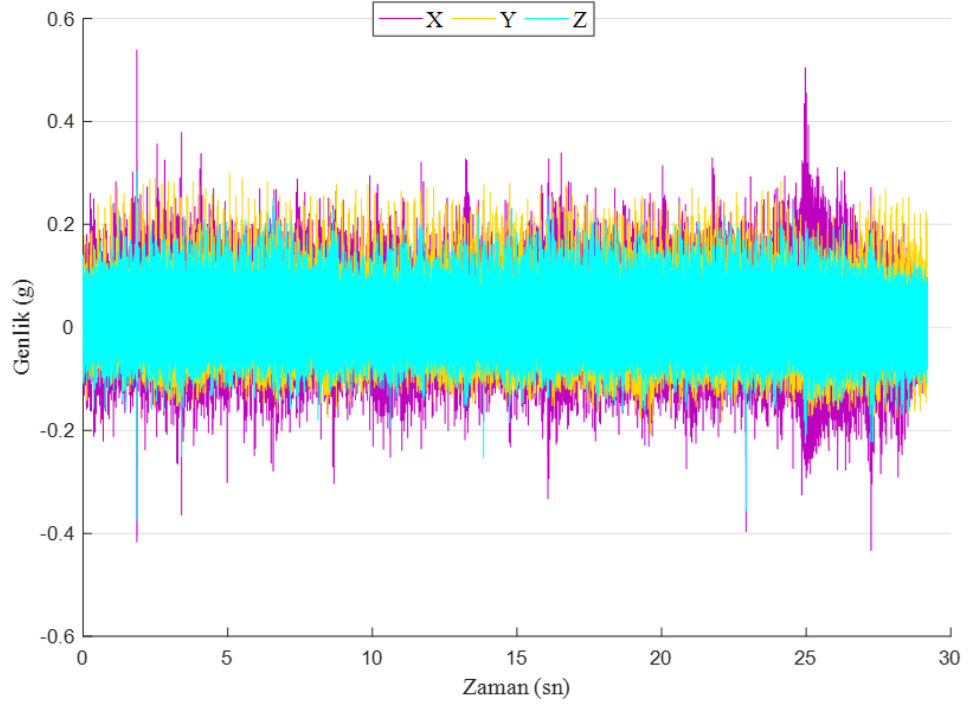
Şekil 28. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



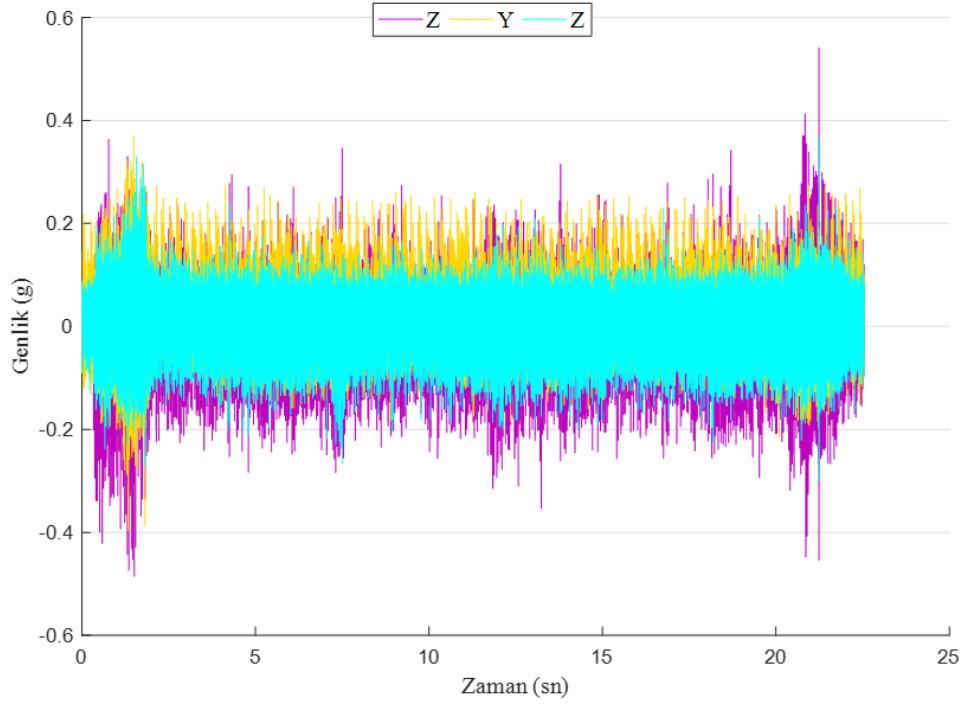
Şekil 29. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



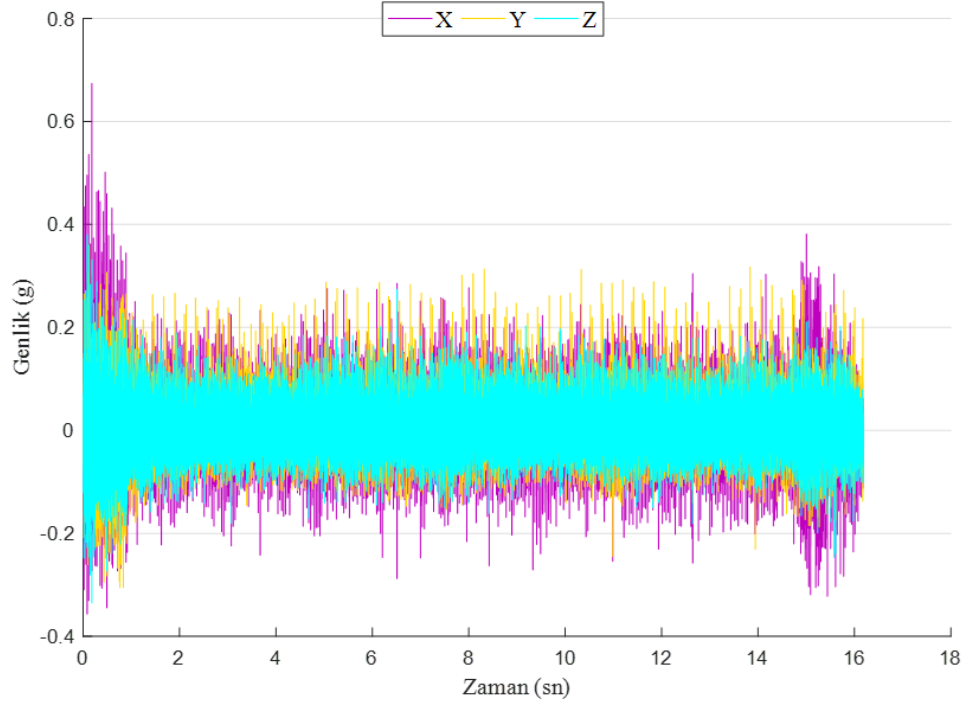
Şekil 30. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



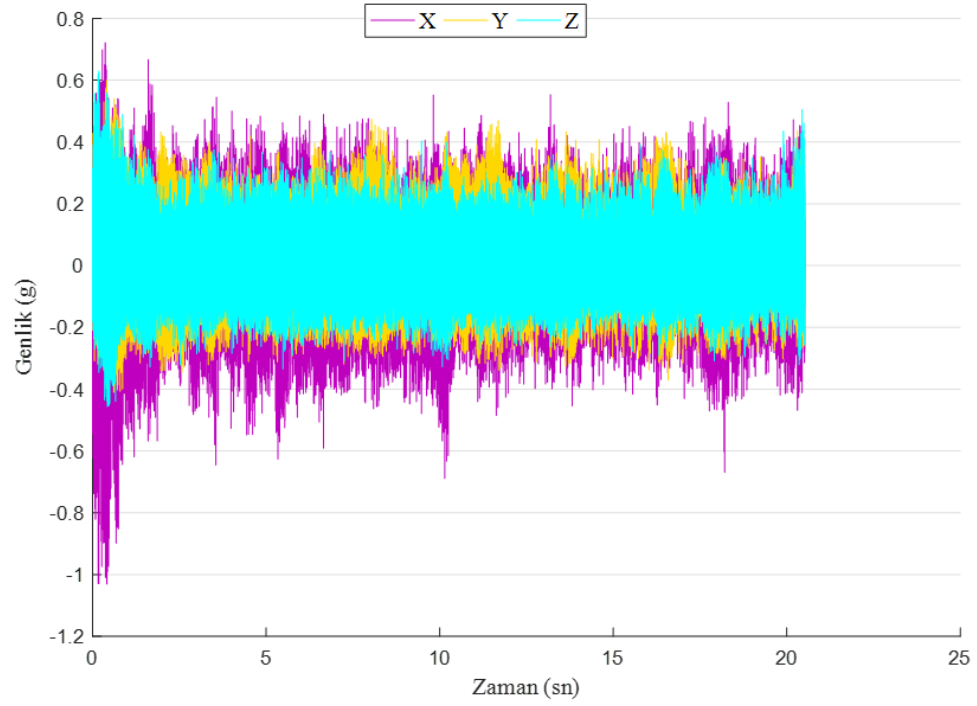
Şekil 31. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



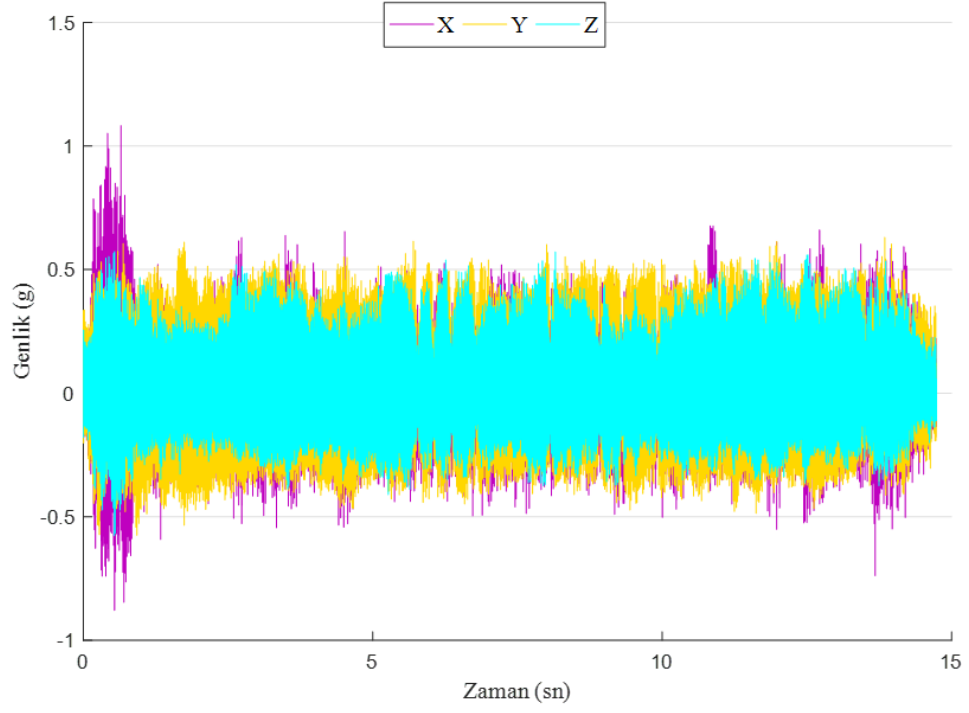
Şekil 32. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



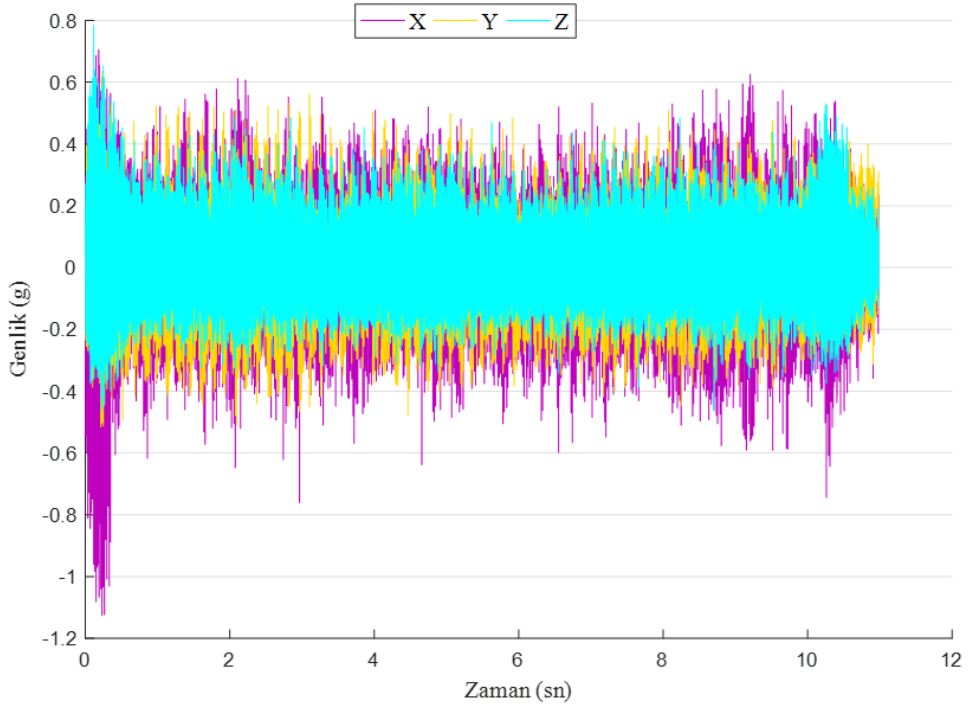
Şekil 33. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



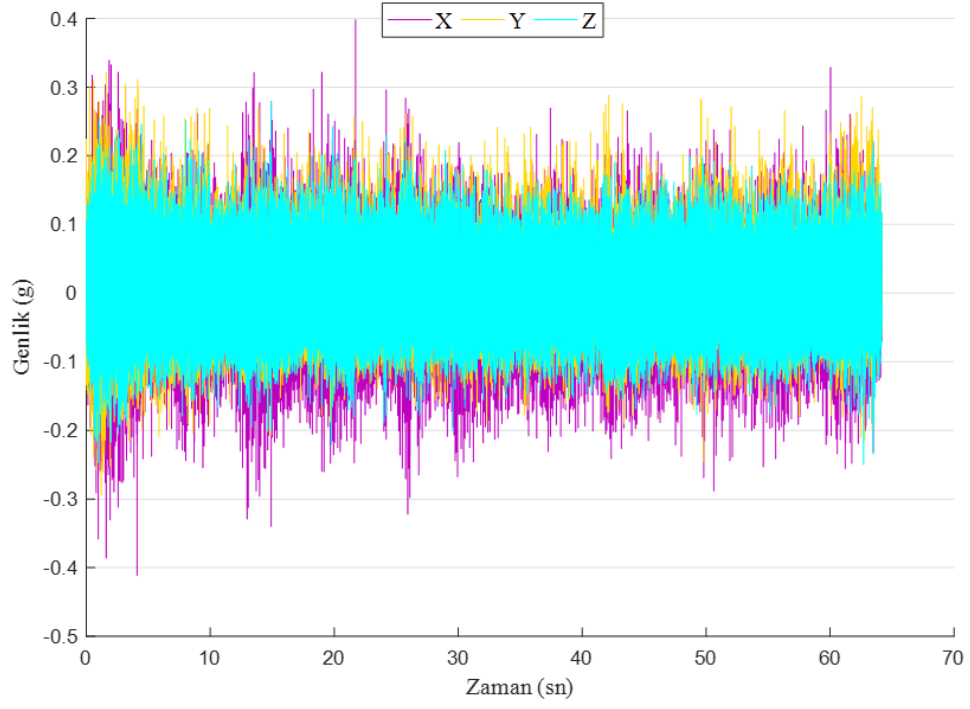
Şekil 34. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



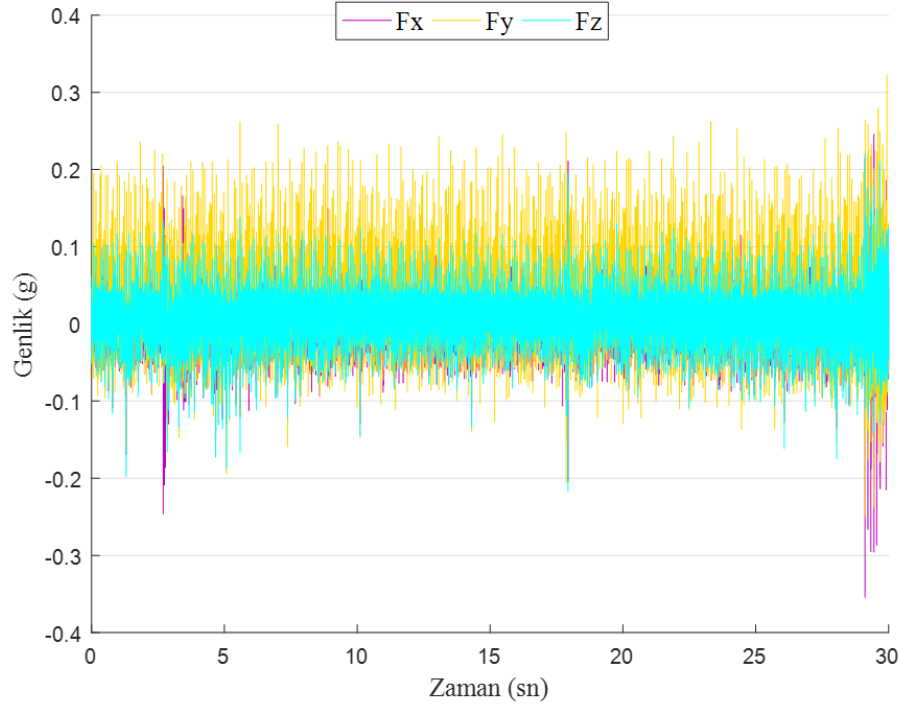
Şekil 35. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



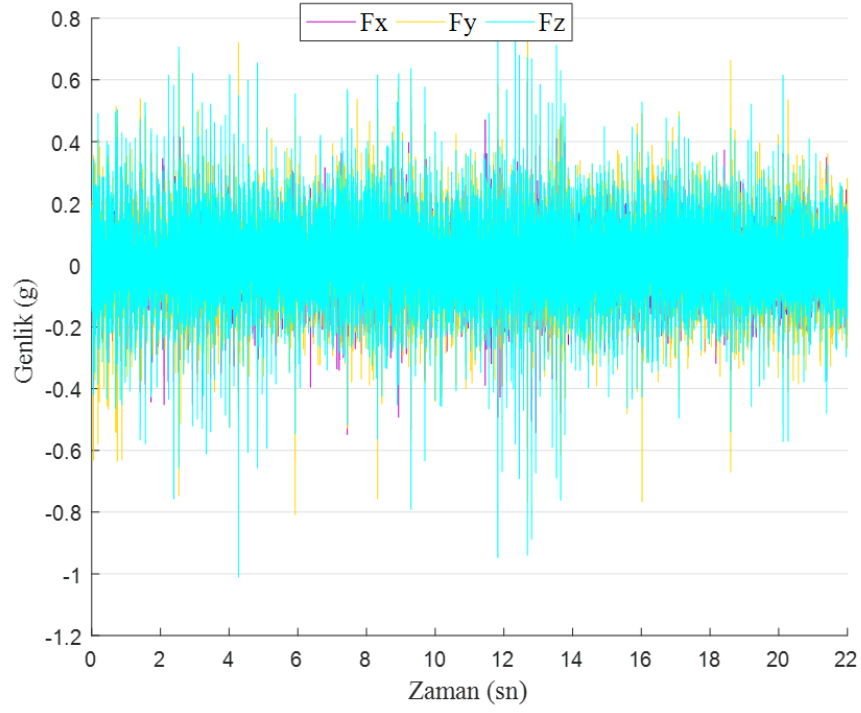
Şekil 36. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



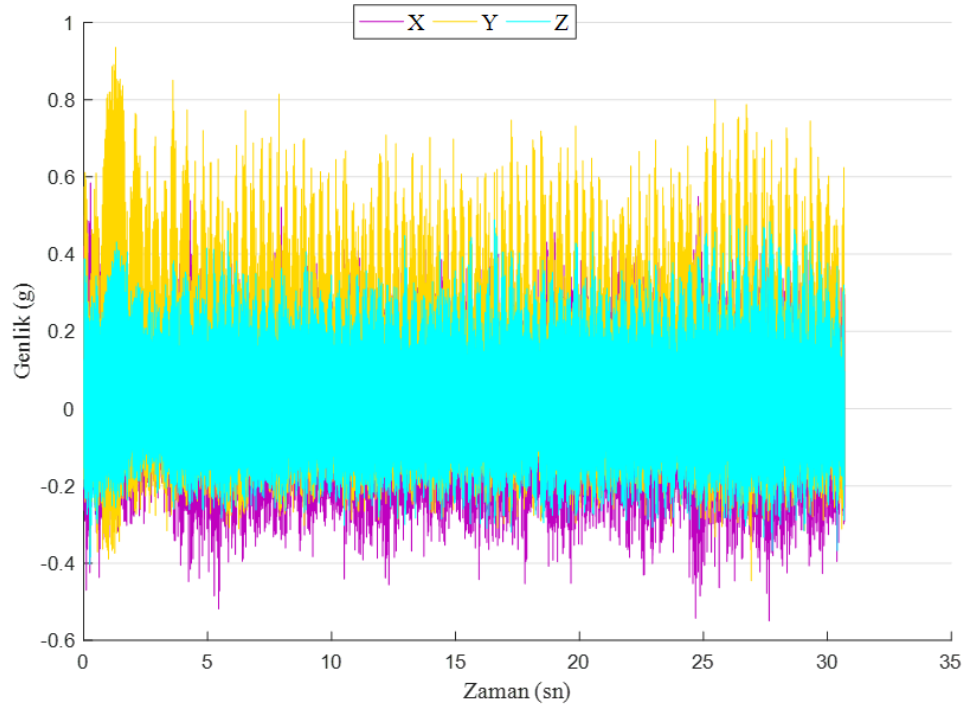
Şekil 37. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



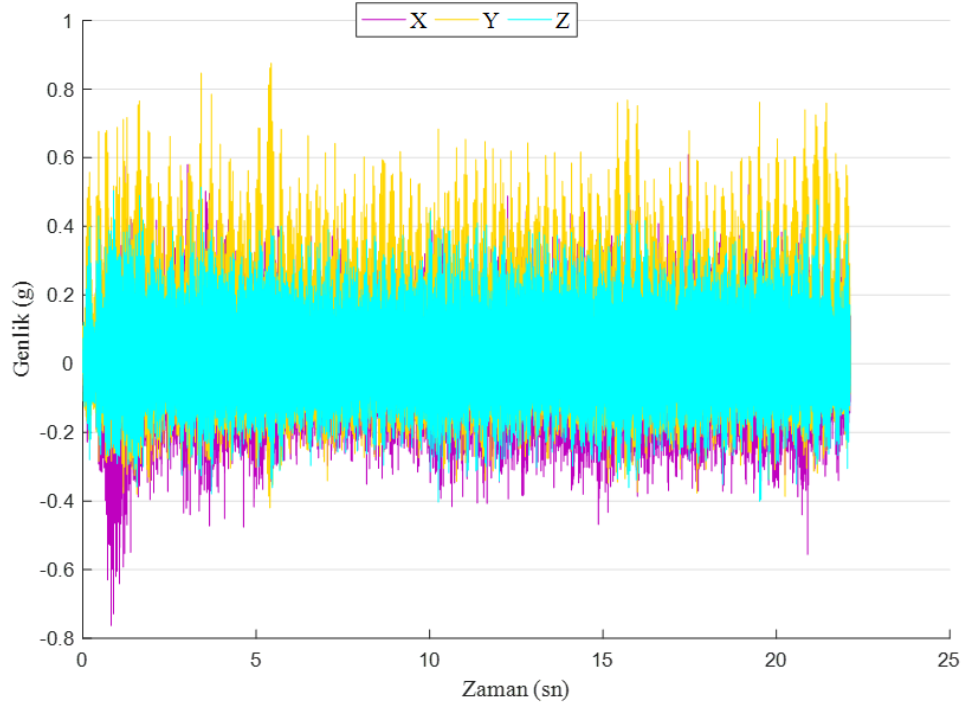
Şekil 38. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



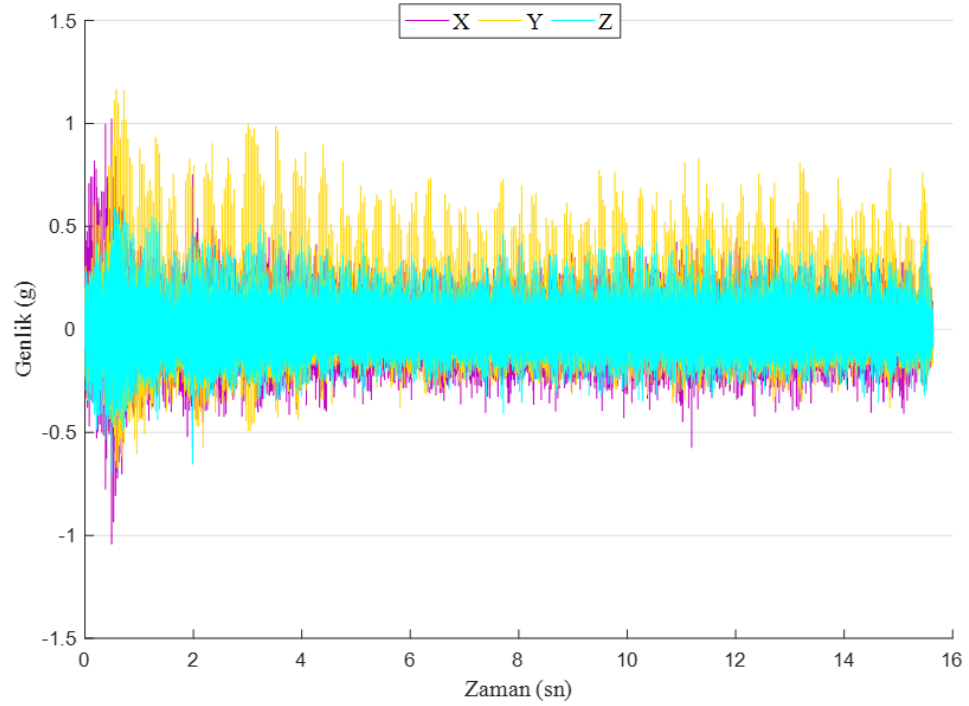
Şekil 39. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



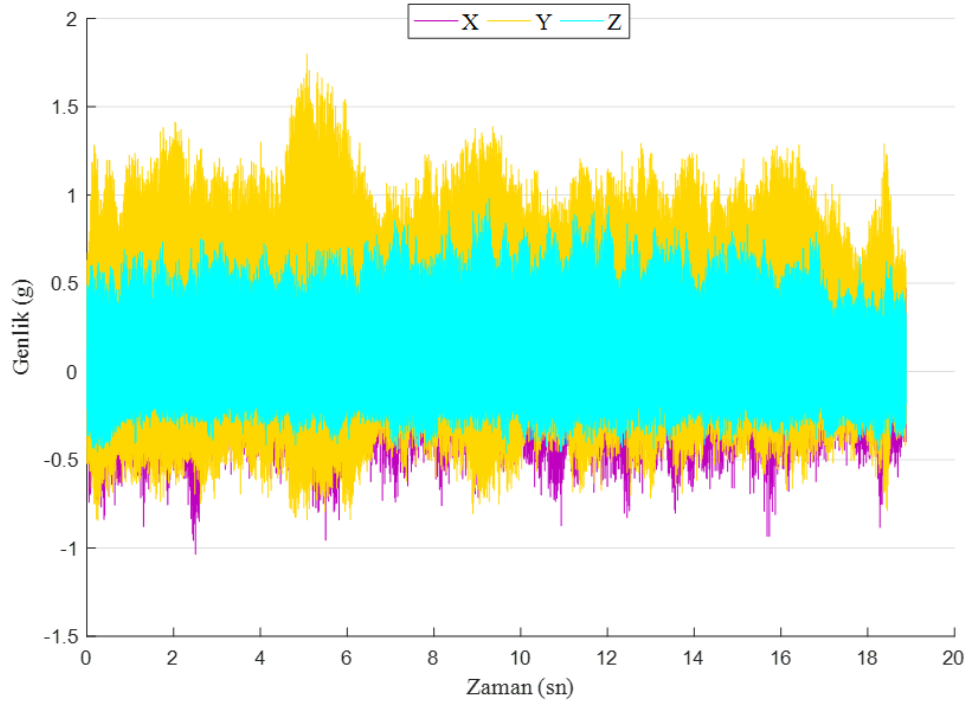
Şekil 40. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



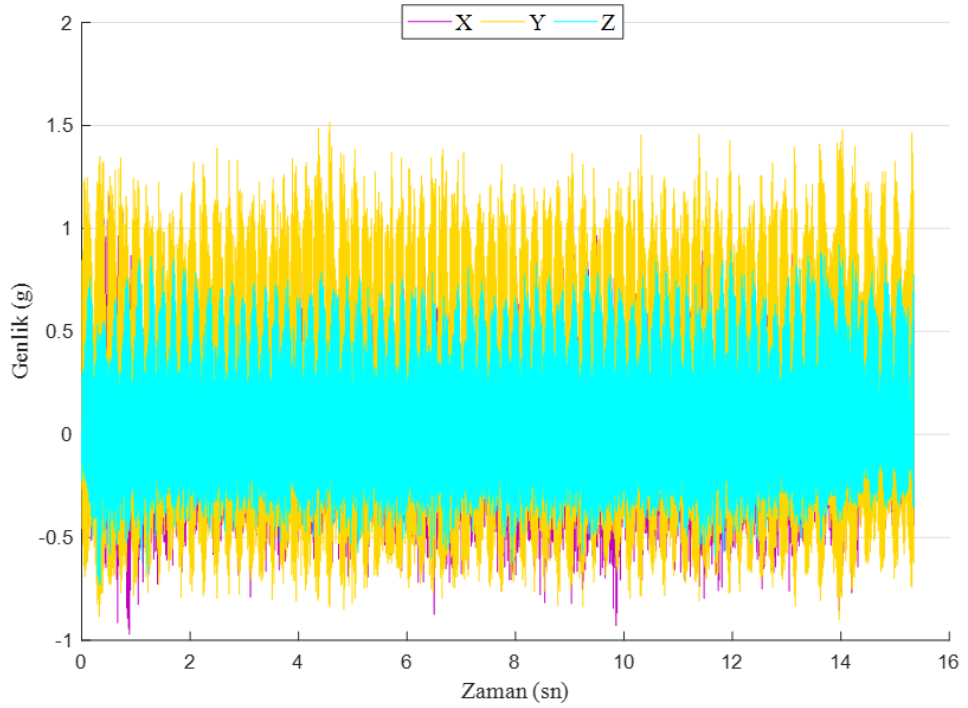
Şekil 41. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



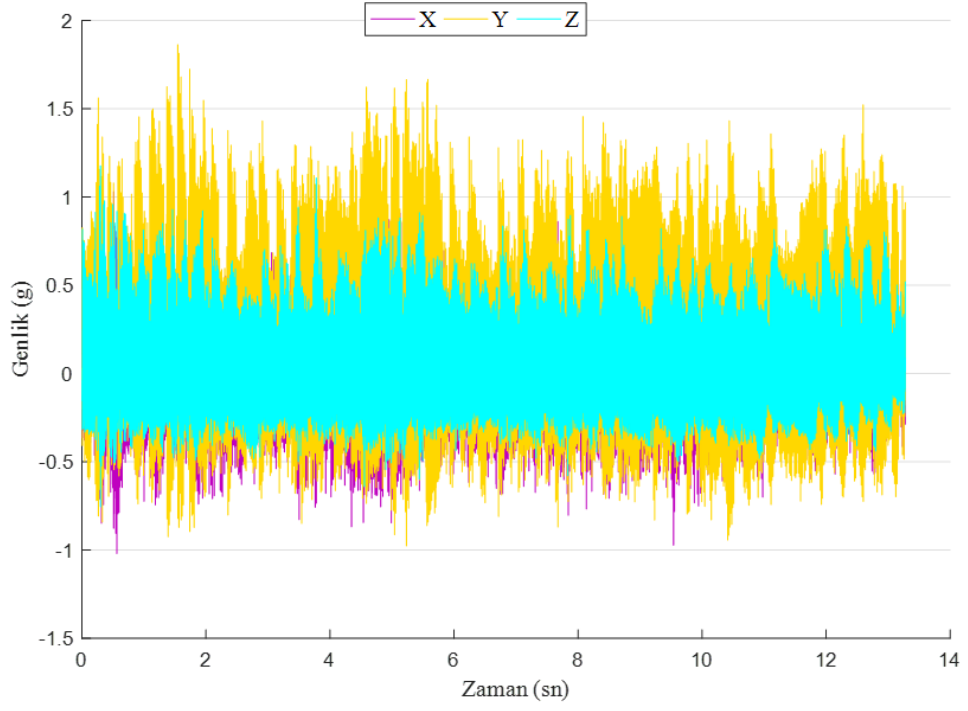
Şekil 42. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



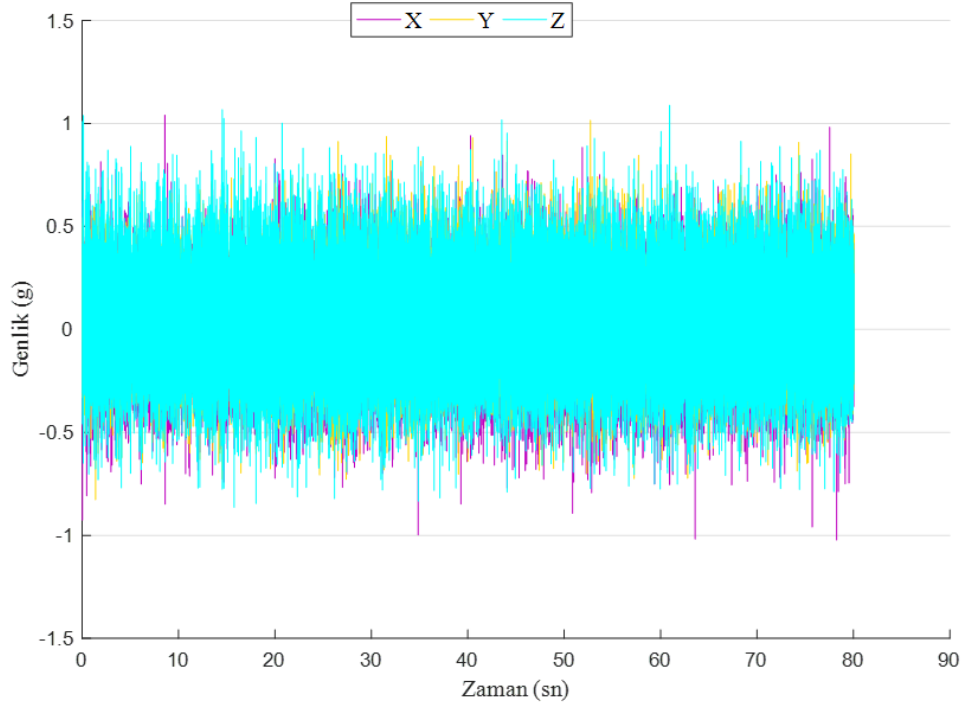
Şekil 43. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



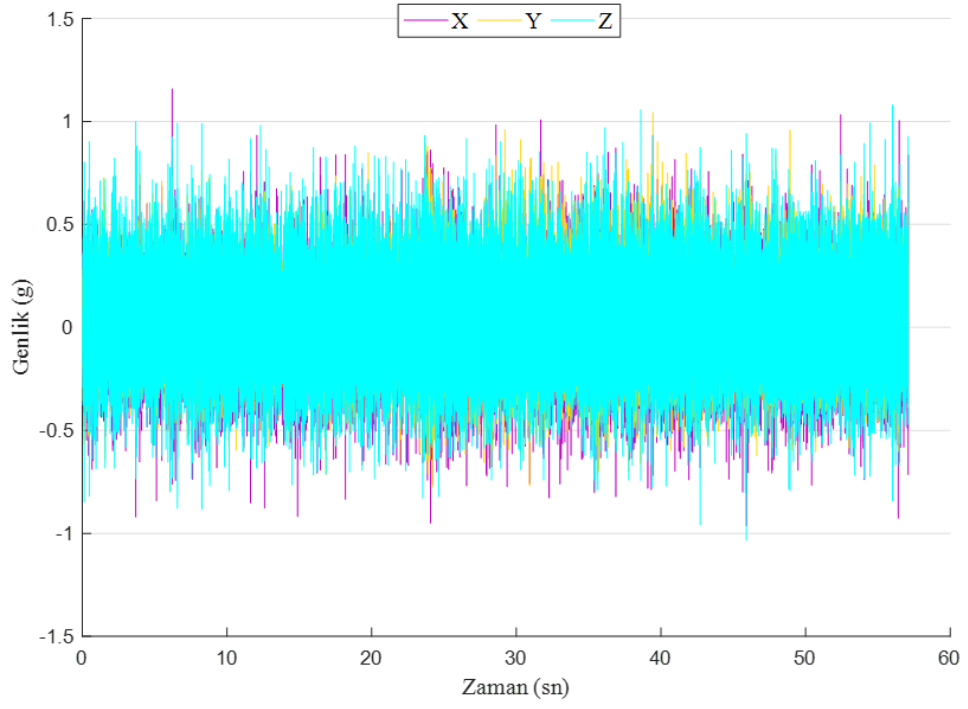
Şekil 44. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



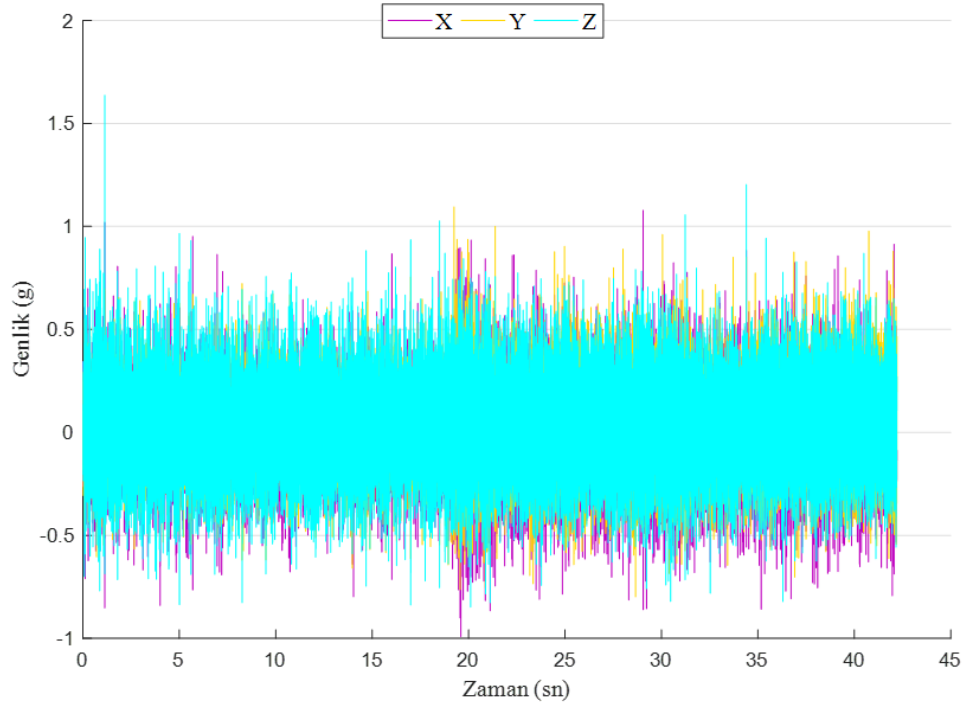
Şekil 45. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: TiN Kaplı HSS, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev



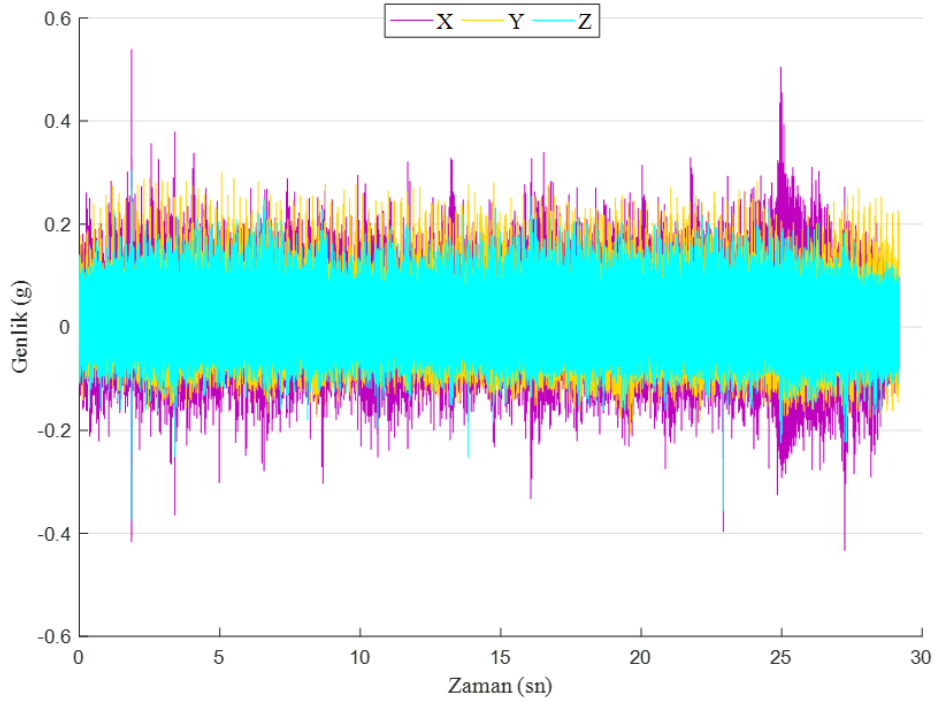
Şekil 46. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev



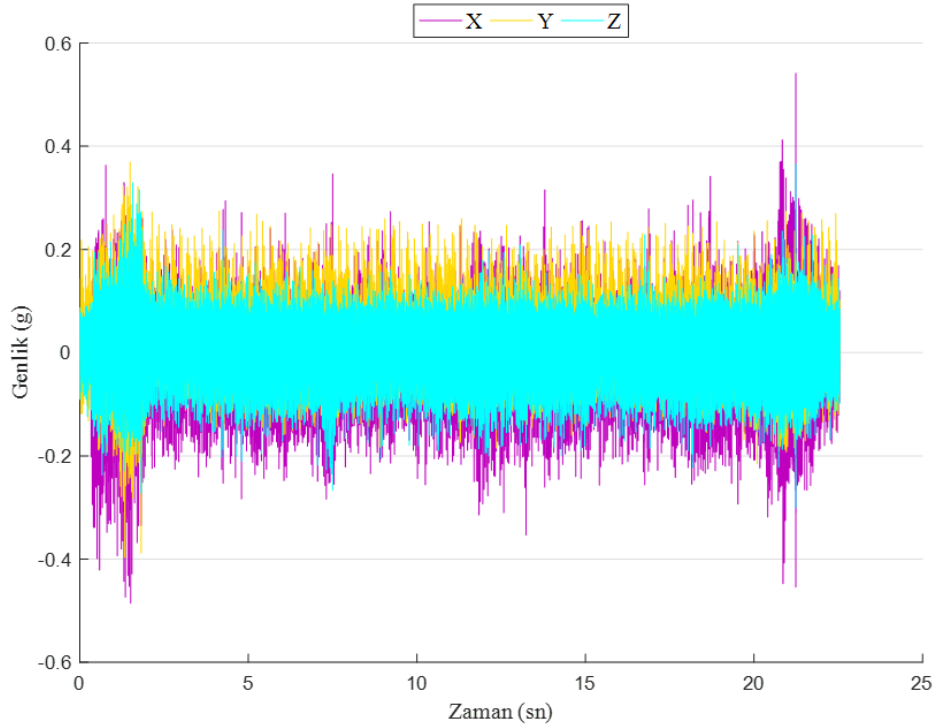
Şekil 47. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



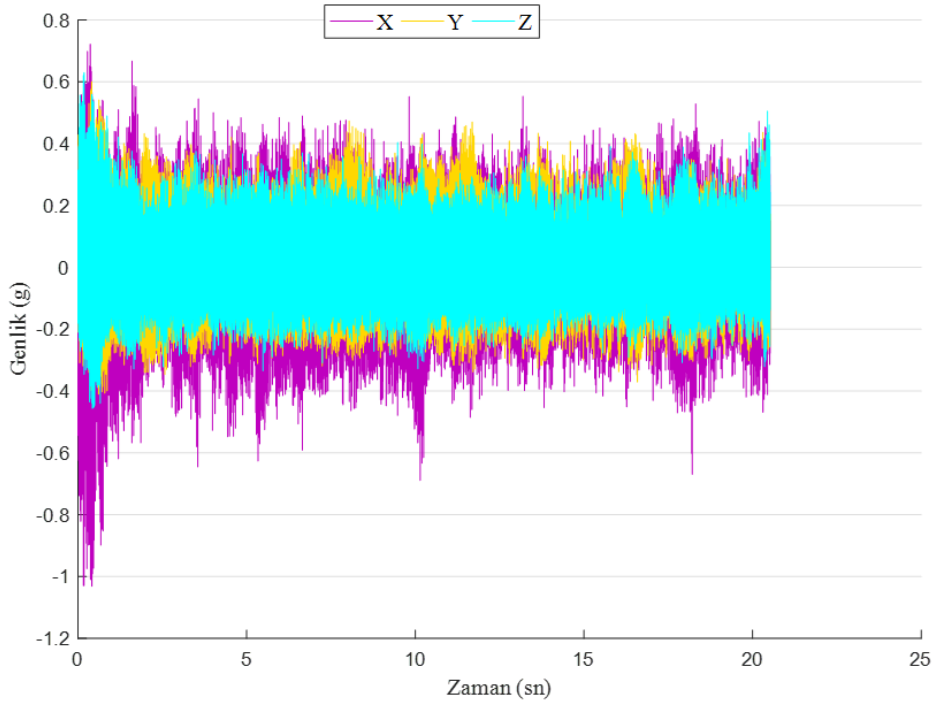
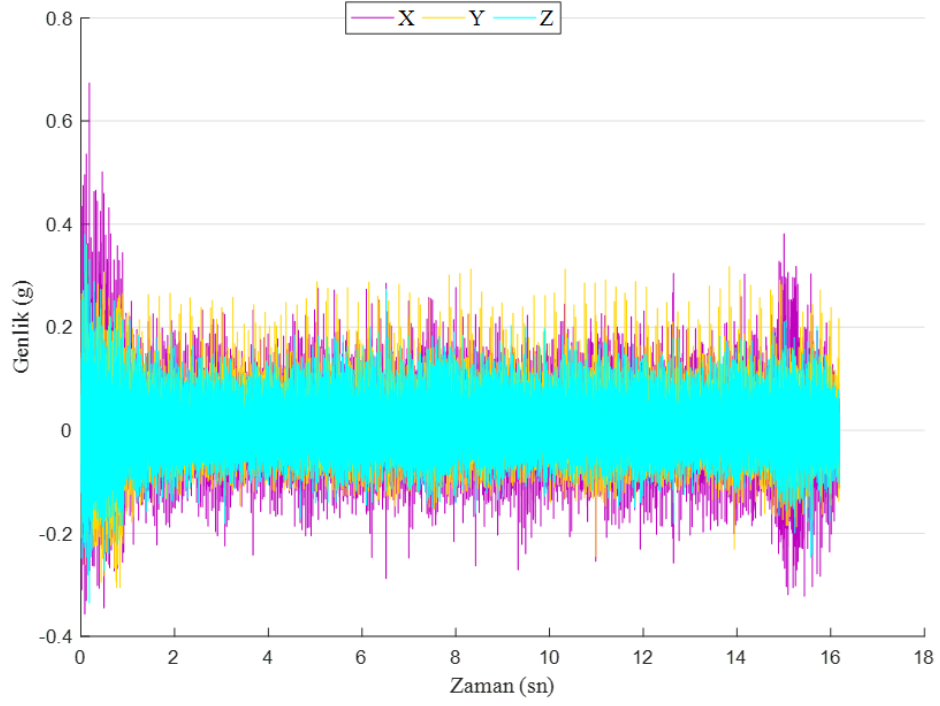
Şekil 48. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 2500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev

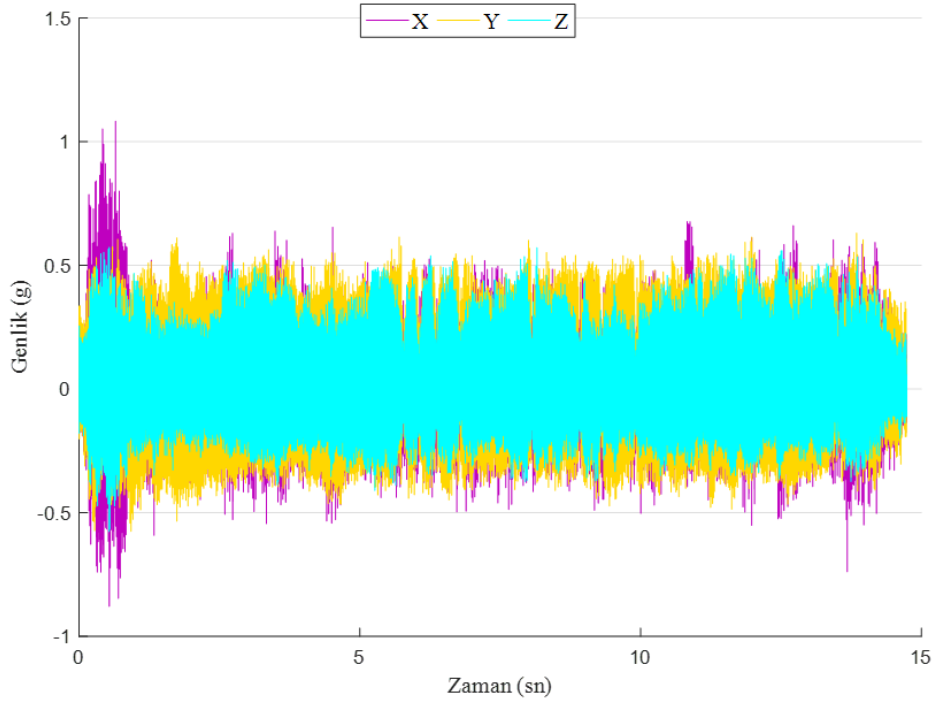


Şekil 49. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,01 mm/dev

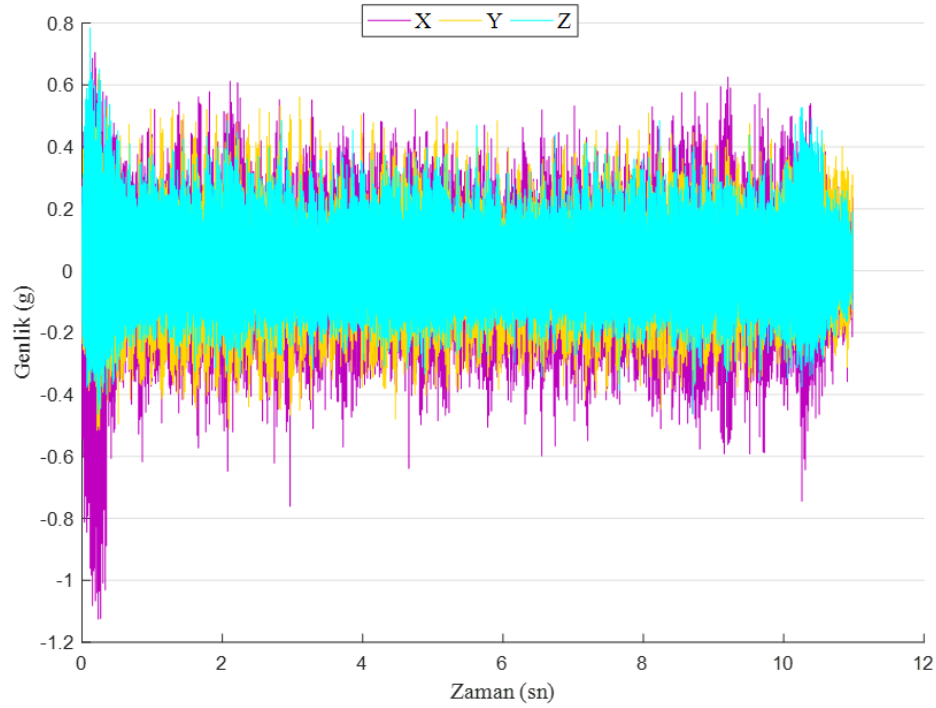


Şekil 50. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 5000 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev





Şekil 53. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,015 mm/dev



Şekil 54. Kompozit malzeme: KFT, Kesici takım: WC, Dönme devri: 7500 dev/dak ve İlerleme: 0,02 mm/dev

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Suat ALP
Uyruğu : T. C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kozluk – 08.05.1981
Telefon : 505 343 06 45
Faks : 0488 217 36 01
e-mail : mehmet-suatalp@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Fatih Lisesi, Merkez, Batman	1998
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Merkez, Konya	2004
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2014
Yüksek Lisans	: Bingöl Üniversitesi, Merkez, Bingöl	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2004-2008	Milli Eğitim İl Müdürlüğü	Öğretmen
2009-2016	Batman Üniversitesi	Memur
2016-	Batman Üniversitesi	Şube Müdürü

UZMANLIK ALANI

Bilişim Teknolojisi
 Nükleer Fizik
 Konstrüksiyon ve İmalat

YABANCI DİLLER

İngilizce