

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**HAVACILIK ALANINDA KULLANILAN KARBON PREPREG KOMPOZİT  
MALZEMELERİN TALAŞLI İMALATINI ETKİLEYEN  
PARAMETRELERİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Latif Alper GAGA**

**Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**HAZİRAN 2020**

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**HAVACILIK ALANINDA KULLANILAN KARBON PREPREG KOMPOZİT  
MALZEMELERİN TALAŞLI İMALATINI ETKİLEYEN  
PARAMETRELERİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Latif Alper GAGA  
(171203001)**

**Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL**

**HAZİRAN 2020**



**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 171203001 numaralı öğrencisi **Latif Alper GAGA'nın** “**Havacılık Alanında Kullanılan Karbon Prepreg Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalatını Etkileyen Parametrelerin Analizi**” adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 03/06/2020 tarih ve 2020/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ..... ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak .....edilmiştir.

**Öğretim Üyesi Adı Soyadı**

**İmzası**

**Tez Savunma Tarihi :** .../.../.....

**1) Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL**

.....

**2) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Yusuf KAYNAK**

.....

**3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Haydar ŞAHİN**

.....

**Not:** Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Havacılık Alanında Kullanılan Karbon Prepreg Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalatını Etkileyen Parametrelerin Analizi” adlı tezin, proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (03/06/2020)

Latif Alper GAGA



## ÖNSÖZ

“Türk mühendislerinin alnında cumhuriyetin istikbalini aydınlatan ışıık parıldar.”

M. Kemal ATATÜRK

Bu çalışmayı hazırlarken yol gösteren, ilgisini esirgemeyen ve tez danışmanlığını yapan İstanbul Gedik Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Savaş DİLİBAL hocama, Dr. Öğr. Üyesi Haydar ŞAHİN hocama, tezin yazım aşamasında destek olan Yüksek İnşaat Mühendisi Taha TOLTAR, Proses Mühendisi Ali Haydar ÖZCAN, Kalite Kontrol Yöneticisi Güven Ertan PATLAR, Montaj Mühendisi Bilge SAĞLAM ve Makine Öğretmeni Ümit DOĞAN’a, yüksek lisans süresince destek olan Kale Havacılık Operasyonlar Direktörü Yasin KARABULAK bey’e ve Kale Havacılık Mühendislik Müdürü Bilal Yaka bey’e, deney düzeneklerini hazırlarken destek olan Kale Havacılık Üretim Süpervizörü Hüseyin Kır bey’e, her türlü imkanı sağlayan ve destek veren Kale Havacılık şirketine, aldığım her kararda yanımda olan ve destek veren babam Reşat GAGA, annem Aysel GAGA ve kardeşim Aslı GAGA’ya teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2020

Latif Alper GAGA

---

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                           | iv   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                    | v    |
| KISALTMALAR .....                                                                    | vi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                 | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                   | viii |
| ÖZET.....                                                                            | x    |
| ABSTRACT .....                                                                       | xi   |
| 1. GİRİŞ .....                                                                       | 1    |
| 1.1 Çalışma Konusu .....                                                             | 1    |
| 1.2 Tezin Amacı .....                                                                | 2    |
| 2. KOMPOZİT MALZEMELER VE KARBON PREPREG TALAŞLI İMALATI LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... | 4    |
| 2.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri .....                                    | 4    |
| 2.2 Kompozit Malzemelerin Yapısı ve Sınıflandırılması.....                           | 9    |
| 2.2.1 Matris malzeme cinsine göre sınıflandırılması.....                             | 10   |
| 2.2.2 Takviye elemanlarının şekil ve yerleştirilmesine göre sınıflandırılması ...    | 12   |
| 2.3 Karbon Prepreg Kompozit Malzemeler.....                                          | 14   |
| 2.4 Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalatı ve Literatür Araştırması .....             | 19   |
| 2.4.1 Talaş kaldırma işlemlerinin mekaniği .....                                     | 22   |
| 2.4.2 Talaş kaldırma işlemlerinin dinamiği .....                                     | 23   |
| 2.4.3 Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı .....                                    | 26   |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                                           | 32   |
| 3.1 Deneyde Kullanılan Materyaller .....                                             | 33   |
| 3.1.1 Karbon prepreg malzeme.....                                                    | 33   |
| 3.1.2 Deneylerde kullanılan kesici takımlar .....                                    | 35   |
| 3.1.3 Frezeleme işlemlerinin yapıldığı CNC tezgah.....                               | 38   |
| 3.1.4 Kesme parametrelerinin belirlenmesi .....                                      | 38   |
| 3.1.5 Kesici takım titreşimlerinin ölçümü .....                                      | 41   |
| 3.1.6 Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....                                                  | 43   |
| 3.1.7 Deformasyon ölçümü.....                                                        | 44   |
| 3.2 Deneysel Analizler .....                                                         | 45   |
| 4. DENEYSEL ANALİZLERİN SONUÇLARI .....                                              | 57   |
| 4.1 Frezeleme İşlemlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .....                          | 58   |
| 4.2 Frezeleme İşlemlerinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi.....                            | 59   |
| 4.3 Frezeleme İşlemlerinin Deformasyon Faktörüne Etkisi.....                         | 60   |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                        | 62   |
| 5.1 Sonuçlar.....                                                                    | 62   |
| 5.2 Öneriler.....                                                                    | 64   |
| KAYNAKLAR .....                                                                      | 66   |
| EKLER.....                                                                           | 69   |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                        | 111  |

## KISALTMALAR

|                       |                                                 |
|-----------------------|-------------------------------------------------|
| <b>a</b>              | : Talaş Derinliği                               |
| <b>A<sub>s</sub></b>  | : Talaş Kesit Alanı                             |
| <b>d</b>              | : Freze Çakısı Çapı                             |
| <b>F</b>              | : İlerleme                                      |
| <b>F<sub>n</sub></b>  | : Devir Başına İlerleme                         |
| <b>F<sub>s</sub></b>  | : Ortalama Kesme Kuvveti                        |
| <b>F<sub>sz</sub></b> | : Bir Diş Karşılık Gelen Ortalama Kesme Kuvveti |
| <b>F<sub>z</sub></b>  | : Diş Başına İlerleme                           |
| <b>K<sub>s</sub></b>  | : Özgül Kesme Kuvveti                           |
| <b>M<sub>RR</sub></b> | : Birim Zamanda Kaldırılan Talaş Miktarı        |
| <b>n</b>              | : Takım Dönme Devri                             |
| <b>PMK</b>            | : Polimer Matrisli Kompozitler                  |
| <b>U</b>              | : Dakikadaki İlerleme                           |
| <b>V<sub>c</sub></b>  | : Kesme hızı                                    |
| <b>Z<sub>c</sub></b>  | : Diş Sayısı                                    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                               | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Çizelge 2.1:</b> Matris - Takviye elemanı malzeme cinsine göre kompozitler .....                                           | 12                  |
| <b>Çizelge 3.1:</b> Takım Kesme Parametreleri .....                                                                           | 39                  |
| <b>Çizelge 3.2:</b> Deney düzeneğinde kullanılan veriler .....                                                                | 54                  |
| <b>Çizelge 3.3:</b> Deney verileri ile hesaplanan tüm değerler .....                                                          | 55                  |
| <b>Çizelge 4.1:</b> Karbon prepreg kompozit malzemesinin farklı parametrelerle<br>frezelenmesinden elde edilen sonuçlar ..... | 57                  |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 : Karbon prepreg malzeme ile imal edilmiş uçak kanadı .....                         | 2  |
| Şekil 1.2 : Kompozit malzeme talaşlı imalatı .....                                            | 3  |
| Şekil 2.1 : Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları .....                       | 5  |
| Şekil 2.2 : Airbus A350 XWB uçağında genel malzeme kullanım oranları.....                     | 6  |
| Şekil 2.3 : Kompozit malzeme yapısı ve genel malzeme grupları .....                           | 9  |
| Şekil 2.4 : Farklı şekilli elyaf (fiber) takviyeli kompozitler .....                          | 13 |
| Şekil 2.5 : Parçacıklı kompozit.....                                                          | 13 |
| Şekil 2.6 : Prepreglerin kullanım avantajları .....                                           | 16 |
| Şekil 2.7 : Farklı kompozit malzeme üretim yöntemlerinin performans<br>karşılaştırması.....   | 17 |
| Şekil 2.8 : Farklı malzemelerin yoğunluk, çekme dayanımı ve modülü<br>karşılaştırılması ..... | 17 |
| Şekil 2.9 : Karbon fiber kompozit malzemelerin geçmişten geleceğe kullanım<br>miktarı .....   | 18 |
| Şekil 2.10: Talaş kaldırma işleminde talaş kalınlığı ve kesme hızının değişme<br>durumu ..... | 24 |
| Şekil 2.11: Metal kesme işleminde dalga oluşumu .....                                         | 25 |
| Şekil 2.12: Alın frezelemede açılar ve kesme kuvvetleri .....                                 | 25 |
| Şekil 2.13: Karbon prepreg malzemelerin delinmesinde esas alınan temel öğeler ...             | 29 |
| Şekil 2.14: Giriş bölgesinde oluşan delaminasyon gösterimi.....                               | 30 |
| Şekil 2.15: Çıkış bölgesinde oluşan delaminasyon gösterimi .....                              | 30 |
| Şekil 2.16: Delaminasyon faktörünün gösterimi .....                                           | 31 |
| Şekil 3.1 : Deney düzeneği akış diyagramı .....                                               | 32 |
| Şekil 3.2 : Karbon prepreg kompozit ön görünüş.....                                           | 33 |
| Şekil 3.3 : Karbon prepreg kompozit arka görünüş .....                                        | 34 |
| Şekil 3.4 : CATIA üzerinde karbon prepreg deney düzeneğinin çizimi.....                       | 34 |
| Şekil 3.5 : Tezgâh üzerinde bağlanmış karbon prepreg malzeme .....                            | 35 |
| Şekil 3.6 : Parmak freze teknik resimi.....                                                   | 35 |
| Şekil 3.7 : Takım 1 teknik resim verileri .....                                               | 36 |
| Şekil 3.8 : Takım 2 Teknik Resim Verileri.....                                                | 36 |
| Şekil 3.9 : Takım 3 Teknik Resim Verileri.....                                                | 36 |
| Şekil 3.10: 3 ağızlı, 4 ağızlı Ti-Al ve 7 ağızlı Ti-Al karbür freze .....                     | 36 |
| Şekil 3.11: 3 Ağızlı karbür takım uç açısı ölçümü .....                                       | 37 |
| Şekil 3.12: 4 Ağızlı Ti-Al kaplı karbür takım uç açısı ölçümü .....                           | 37 |
| Şekil 3.13: 7 Ağızlı Ti-Al kaplı karbür takım uç açısı ölçümü .....                           | 37 |
| Şekil 3.14: DMG DMC 835V Tezgahı.....                                                         | 38 |
| Şekil 3.15: Manus Post üzerinde NC program görüntüsü .....                                    | 39 |
| Şekil 3.16: Temsili takım yolu gösterimi .....                                                | 40 |
| Şekil 3.17: Fikstürlenmiş malzemenin CATIA üzerinde görünüşü .....                            | 40 |
| Şekil 3.18: Takım yollarının CATIA üzerinde görünüşü .....                                    | 41 |
| Şekil 3.19: İlk takım yolunun CATIA üzerinde çalışması .....                                  | 41 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.20: Çekiç testi cihazı frekans algılayıcısı .....                                                       | 42 |
| Şekil 3.21: Çekiç testi cihazı çekici .....                                                                     | 42 |
| Şekil 3.22: İvme ölçer kablosu .....                                                                            | 42 |
| Şekil 3.23: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....                                                                 | 43 |
| Şekil 3.24: Yüzey pürüzlülüğü cihazı ölçüm bölümü .....                                                         | 43 |
| Şekil 3.25: Yüzey pürüzlülüğü cihazının parça üzerinde çalışma görüntüsü .....                                  | 44 |
| Şekil 3.26: Deformasyon görüntüleme mikroskobu .....                                                            | 44 |
| Şekil 3.27: Doformasyon görüntüsü .....                                                                         | 45 |
| Şekil 3.28: CATIA üzerinde oluşturulan takım yolları ve iş parçası fikstürlü<br>görünümü .....                  | 46 |
| Şekil 3.29: Takım yolu parametreleri .....                                                                      | 46 |
| Şekil 3.30: CATIA üzerinde takım geometrisi ve teknik resimi .....                                              | 47 |
| Şekil 3.31: CATIA üzerinde takım devir ve ilerleme parametreleri .....                                          | 47 |
| Şekil 3.32: Tezgâh ünitesi üzerinde kuvvetlerin gösterilmesi .....                                              | 48 |
| Şekil 3.33: Çekiç testi NI9234 modülü, ivme ve kuvvet ölçme ekipmanları .....                                   | 48 |
| Şekil 3.34: İvme ölçer ve çekiç ekipmanları .....                                                               | 49 |
| Şekil 3.35: Takım üzerine bağlanmış ivme ölçer görünümü .....                                                   | 49 |
| Şekil 3.36: Takım üzerinde oluşan ivme ve kuvvetlerin ölçümü .....                                              | 50 |
| Şekil 3.37: 3 Ağızlı karbür takım çekiç testi grafiği.....                                                      | 50 |
| Şekil 3.38: 4 Ağızlı Ti-Al kaplama karbür takım çekiç testi grafiği .....                                       | 51 |
| Şekil 3.39: 7 Ağızlı Ti-Al kaplama karbür takım çekiç testi grafiği .....                                       | 51 |
| Şekil 3.40: Parça üzerindeki yüzey pürüzlülüklerinin tespit edilmesi.....                                       | 52 |
| Şekil 3.41: Bir kanal içerisindeki yüzey pürüzlülüğünün okunması .....                                          | 52 |
| Şekil 3.42: Parça üzerindeki deformasyonların ölçümünün yapılması .....                                         | 53 |
| Şekil 3.43: Parça üzerindeki deformasyonların kalibrasyon eki ile tespit edilmesi ..                            | 53 |
| Şekil 3.44: Parça üzerindeki deformasyonların görüntülenmesi .....                                              | 53 |
| Şekil 4.1 : İlerleme, dönme devri ve takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülüğünün<br>karşılaştırılması .....        | 59 |
| Şekil 4.2 : İlerleme, dönme devri ve takım cinsine bağlı kesme kuvveti grafiklerinin<br>karşılaştırılması ..... | 60 |
| Şekil 4.3 : İlerleme, dönme devri ve takım cinsine deformasyon faktörü grafiklerinin<br>karşılaştırılması ..... | 61 |

# HAVACILIK ALANINDA KULLANILAN KARBON PREPREG KOMPOZİT MALZEMELERİN TALAŞLI İMALATINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN ANALİZİ

## ÖZET

Kompozit malzemelerden ekolojik faydalarının yanında yüksek mekanik özellikleri, düşük ağırlıkları ve çevresel faktörlere gösterdikleri direnç ile, fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanım alanları her geçen gün artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Fiber takviyeli kompozitler; üretimleri sonrası, kullanım alanlarına göre frezeleme, delik delme gibi ikincil bir işleme tabi tutulmaları gerekmektedir. Çeşitli kalıplar üzerinde farklı üretim yöntemleri ile üretilmiş olan kompozitler, kalıplardan çıkartıldıktan sonra geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinden farklı bir şekilde işlenirler. Şekil verme işlemleri kalıpta tamamlanmış olan kompozit malzemelere son şeklini vermek için frezeleme ve delik delme işlemleri uygulanır. Bu çalışmada, fiberlerden elde edilen karbon prepreg kompozit malzemelerin frezeleme işlemlerinde kullanılan takımların, takımların ilerleme ve dönme devir sayıları parametrelerinin nasıl sonuçlar ortaya çıkartacağı incelenmiştir. Bu yapılan çalışmalar sonucunda malzeme üzerinden yüzey pürüzlülük değerleri, deformasyon faktörü değerleri ve talaşlı imalatın yapıldığı CNC tezgâhtan alınan kuvvet değerleri ile birlikte grafikler yardımıyla hangi parametrelerin en iyi sonuç verdiği karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Çalışma sırasında CNC tezgâhta sırasıyla 3 ağızlı karbür takım, 4 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım ve 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım kullanılmıştır. Takımlar ile birlikte CNC tezgâhta dönme devri olarak 1000, 2000 ve 3000 dev/dk, ilerleme olarak ise 100, 150 ve 200 mm/dk kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Deformasyon Faktörü, Frezeleme, Karbon Prepreg Kompozit, Kesici Takım Cinsi, Kesme Kuvveti, Titreşim, Yüzey Pürüzlülüğü, Talaşlı İmalat*

# **THE ANALYSIS OF PARAMETERS AFFECTING MACHINING OF CARBON PREPREG COMPOSITE MATERIALS USED IN AVIATION AREAS**

## **ABSTRACT**

Besides ecological benefits from composite material with their high mechanical features, light weights and resistance they show against environmental factors the usage scope of composite material is increasing day by day. After their production, fiber reinforced composites should be subjected to machining such as milling and drilling according to their usage areas. Composites which have been produced by different production techniques, after being extracted, are processed differently other than by traditional machining operations. For the composite materials whose forming process have been completed with mold, milling and drilling operations are applied to take their final shape. This study will be focusing on the effects of tool parameters such as feeds and speeds, on the carbon prepreg composite materials' machining process. Evaluations of these examinations will be considered as best parameters, using graphics, with analyzing the surface roughness values, deformation factors and cutting forces obtained from CNC machine. During the trials 3 flutes carbide tool, 4 flutes Ti-Al coated carbide tool and 7 flutes Ti-Al coated carbide tool were experimented. For each tool during machining operation 1000, 2000, 3000 rev/min spindle speed and 100, 150, 200 mm/min feed rates have been used.

**Keywords:** *Deformation factor, milling, carbon prepreg composite, cutter type, cutting force, vibration, surface roughness, machining*

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Çalışma Konusu

Havadan ağır ilk motorlu uçağı Wright kardeşler 1903 yılında tasarlamışlardır ve üretmişlerdir. Tahtadan ve kanvas kumaştan üretilen uçaklarda uçuş sırasında verimin artırılması gerekliliği, motor gücünün artması, uçağın ağırlığının azalması, bu hava araçlarında kullanılabilecek yeni malzeme ihtiyacını doğurdu. Bu uçaklarda kullanılan kanvas kumaşların yerine vernikli kumaşlar ve tahtaların yerine ise çelik borular kullanılmaya başlandı. Verimlilik artırmak için ağırlığın düşürülmesi gerekliliğinden ilk olarak 1940'lı yılların başından itibaren alüminyum monokok kullanılmaya başlandı. Bu alüminyum monokoklu sistemler günümüzde hala araba şaselerinde kullanılmaktadır. Günümüzde dahi ağırlık, hala hava araçları için en ciddi sorundur. Bu sorunu bütünüyle çözmek imkansız olsada, kompozit malzemeler bu sorunu çözebilmek için kullanılabilecek en uygun malzemelerdir. Bir diğer taraftan kompozit malzemelerin özgül rijitlik değerleri ve özgül mukavemet değerleri esas alındığında düşük yoğunluklarından dolayı konvensiyonel malzemelere göre üstünlük sağlıyorlar. Sektörde ileri malzeme teknolojileri ihtiyacı duyan kurumlar performans ve maliyet önemi açısından değişiklik göstermektedir. Örneğin askeri havacılıkta, performans ihtiyaçları maliyet ihtiyaçlarından önce gelmektedir. Yapılan çalışmalarda kompozit malzeme üretim ve işleme yöntemlerinin maliyetinin yüksek olmasına rağmen daha düşük işçilik ve montaj saati ihtiyacından dolayı toplam maliyetin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin bu avantajlı durumları üzerine kompozitlerin işlenebilirliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışma içerisinde kompozit malzemelerin genel özellikleri, kullanım alanları, havacılıktaki yerleri, avantajları ve dezavantajları üzerine bilgiler verilip genel talaşlı imalat yöntemleri ve kompozit malzemelerin talaşlı imalat yöntemleri üzerine bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte karbon prepreg kompozit malzemenin talaşlı imalatta farklı dönme devri ve ilerleme hızlarında nasıl tepki göstereceği araştırılmıştır. Frezeleme deneyleri sonucunda malzeme üzerinde takımların çalıştığı

kanallar erisinden yüzey pürüzlülüğü değeri alınmıştır ve kanal erisindeki deformasyon faktörü değeri hesaplanmıştır.



**şekil 1.1 :** Karbon prepreg malzeme ile imal edilmiş uçak kanadı

**Kaynak:** (Url-1, 2020)

## 1.2 Tezin Amacı

Teknolojinin artmasıyla havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzeme sayısı artmaktadır. Kompozit malzemelerin havacılık sektöründeki kullanım alanları ilk çalışmalarda sadece araçların i bölümleri olurken, özellikleri geliştirilen kompozit malzemeler artık hava araçlarının kanat ve gövde bölümlerinde de kullanılır olmuştur. Bu durum kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin ve evre şartlarına gsterdiğı direnç ile mümkün olmuştur. Hava araçlarında önceleri sadece i bölümlerde kompozit kullanılmasınn sebebi yeterli mekanik özellikleri gösterebilen kompozitlerin düşük ağırlıklarından faydalanılmasının istenmesiydi. Günümüze gelindiğinde hava araçlarında hemen hemen her bölüm çerisinde kullanılan kompozitler çeşitli talaşlı imalat işlemlerinden geçmektedir. Kalıplar yardımıyla çeşitli üretim yöntemleri ile üretilen kompozitler frezeleme ile son şekillerini alıp delik delme işlemleri ile de montaj operasyonlarına hazır hale gelmektedirler. Yapılan bu talaşlı imalat işlemlerinin malzemeler üzerinde en kabul edilebilir hasarı oluşturacak şekilde yapılması gerekmektedir. Frezeleme işlemlerinde kompozit malzemenin işlem uygulanan bölgelerinde deformasyon oluşmaması ve delik delinen bölgeleri içinde delaminasyon oluşmaması için gerekli önlemler alınması gerekmektedir. Bu nlemler; imalatı yapılacak malzemeye uygun tezgah seçimi,

doğru takım seçimi, doğru ilerleme ve dönme devri ile çalışılması, doğru fisktürleme yöntemi kullanımı gibi önlemlerdir. Bu çalışma içerisinde karbon prepreg bir malzemenin farklı dönme devri ve ilerleme ile frezelenmesi üzerine deneyler yapılacaktır. Havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan karbon prepreg malzemesinin üzerinde aynı talaş derinliğinde kanallar açılmıştır ve sonuçlar incelenmiştir. Dönme devri ve ilerleme parametrelerinin artması ve azalmasıyla birlikte malzemenin işlenmesi sırasında tezgahtan ne kadar yük çektiği, yüzey pürüzlülük değerlerinin nasıl değiştiği, deformasyon faktörü değerinin nasıl etkilendiği üzerine çalışma yapılmıştır. Bulunan değerler ile birlikte grafikler oluşturulmuştur ve kullanılan takımlara göre istenen malzeme kalitesinin yakalanması için öneriler sunulmuştur.



**Şekil 1.2 :** Kompozit malzeme talaşlı imalatı

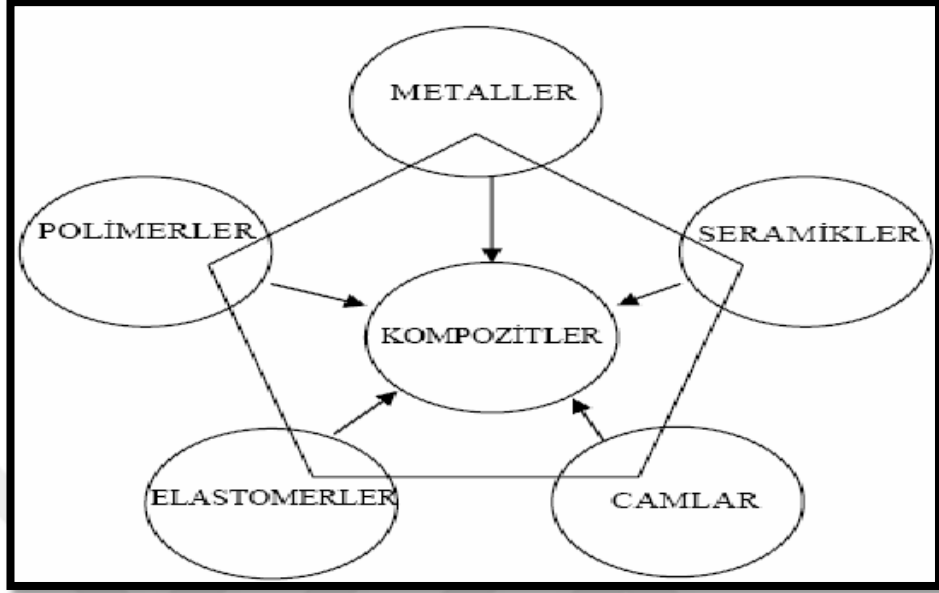
**Kaynak:** (Url-2, 2020)

## **2. KOMPOZİT MALZEMELER VE KARBON PREPREG TALAŞLI İMALATI LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri**

Kompozit malzemeler insanlığın ilk ortaya çıkışından itibaren var olan, bilinçli ya da bilinçsiz bir şekilde iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilerek, yeni oluşan malzemede yeni ve daha güçlü özellikler kazandırılması sırasında ortaya çıkan malzemelerdir. Bu haliyle basit bir şekilde kompozit malzemelerin farklı özelliklere sahip iki farklı malzemenin birleştirilerek yeni özelliklere kavuşmuş yeni bir malzeme olarak tanımlayabiliriz. Kompozit malzemeler ilk halinde inşaat işleri için daha kuvvetli ve korunaklı yapıların yapılması için kullanılmış ve kullanımı yaygınlaşmıştır. En ilkel kompozit malzemelere örnek olarak kerpiçten yapılan evleri örnek olarak söyleyebiliriz. Çamur ve saman ile oluşturulan malzeme bir kalıpta kurutularak sadece saman ya da sadece çamur kullanılarak yapılan evlere göre çok daha sağlam ve uzun ömürlü olmuş ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Normal şartlarda sadece saman sapı ile yapılan evlerde su baskınları ve soğuk-sıcak havalarda korunaksız olması, sadece çamur ile yapılan evlerde yine su baskınlarında ve darbelerde dayanıksız olması yeni bulunan kerpiç malzemesinin kullanımını zorunlu kılmıştır. Zaman içerisinde bilinçsiz bir şekilde yine kompozit malzeme denemeleri birçok yapı malzemelerinde ve el aletlerinde keşfedilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde kompozit malzeme oluşturmak için yapılan çalışmalarda kullanılan malzemelerin özellikleri tam değerleriyle bilinmekte ve yeni oluşturulmaya çalışılan malzemelerin özellikleri de istenilen özelliklere göre değiştirilebilmektedir. Günümüzde özellikle otomotiv, savunma sanayi, havacılık ve ileri otomasyon teknolojilerinde daha çok kullanılmaya başlanılan kompozit malzemelerin özellikleri oluşturuldukları malzeme özelliklerine göre çok büyük farklar göstermektedirler. Kompozit malzemeler şu anda kullandığımız birçok günlük teknoloji ürünüde, kullandığımız kara, deniz ve hava taşıtlarında ve sağlık sektörünün tam olarak içerisinde ve artık vazgeçilmez olarak hayatımızın içerisinde yer almaktadırlar. Gelecek teknolojiler ile kompozit malzeme çeşitleri ve kullanım

alanları artacaktır. Aslında bize gezegenimizin sunmadığı malzeme özelliklerini suni olarak bizim kazandırarak kullandığımız bu malzemeler gelecekte de büyük bir sanayi ham malzemesi olacak, kullanımı her sektör için artacaktır.

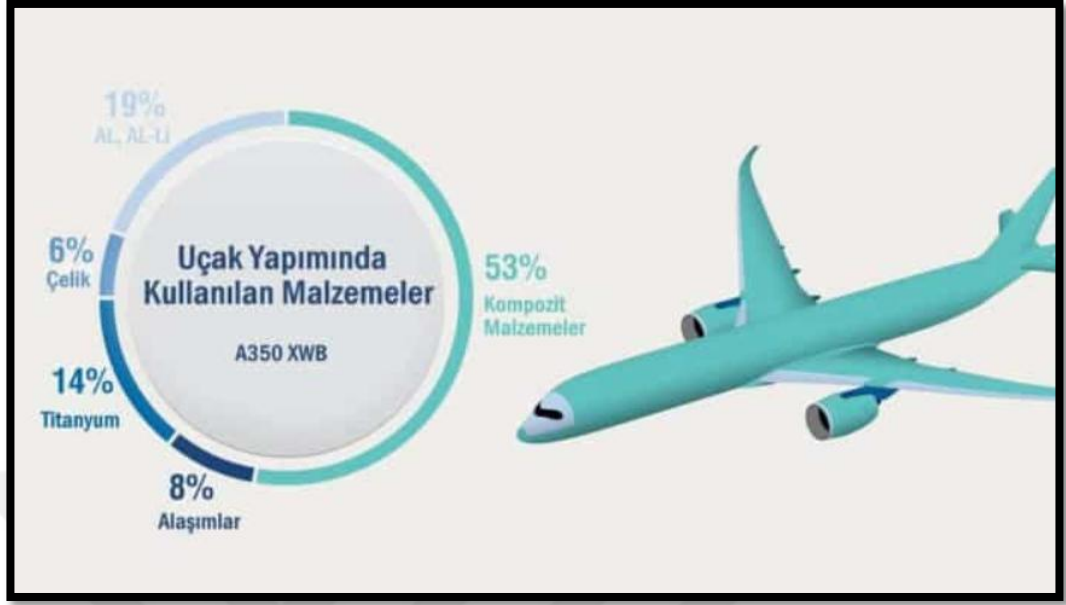


**Şekil 2.1 :** Kompozit malzemelerin üretildikleri malzeme sınıfları

**Kaynak:** (Url-3, 2020)

Kompozit malzemeler artık her sektöre girmiş olsa da bazı çok büyük yatırım ve ARGE çalışmaları yapılan sektörler yeni kompozit malzemelerin bulunmasını ve piyasaya yayılmasını sağlamaktadırlar. Bu sektörden başlıcaları havacılık ve uzay sanayi, askeri ve savunma sanayi olarak gösterilebilir. Bu sektörlerde bulunan yüksek yatırım ve ARGE maliyetleri mühendisler için çalışma alanlarını ve deneme çalışmalarını artırmaktadır. Yeni malzemelerin kullanımı da bununla birlikte artmaktadır. Uzay ve havacılık sanayisinde kompozit malzemelerin tercih edilmesinin sebebi önemli ölçüde hafiflik ve sağlamlık nitelikleridir. Bu nitelikler ile amaç daha düşük yakıt harcamak, verimliliği sağlamak ve yüksek hızlara çıkabilmektir. Kompozit malzemelerin kullanımında maddi avantajlar kadar stratejik performanslarda önemlidir. Özellikle yorulma, titreşim ve ısı dayanımı gibi özellikler uzay ve havacılık sanayinde kompozit malzemeleri öne çıkaran avantajlardır. Kompozit malzemeler önemli farklar yaratan özelliklerinden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gün geçtikçe daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Beşinci nesil savaş uçaklarında kompozit malzeme kullanımı uçağın toplam ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Bu sayede silisyum karbür, bor karbür, cam,

alümina karbon ve kevlar elyafı farklı reçinelerle değişik kompozit malzeme oluşturulmasında kullanılmaktadır.



**Şekil 2.2 :** Airbus A350 XWB uçağında genel malzeme kullanım oranları

**Kaynak:** (Url-4, 2020)

Verilen bu bilgiler neticesinde kompozit malzemelerin başlıca özellikleri, sağladıkları avantajlar ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir;

Kompozit malzemelerin genel özellikleri;

- Kompozit malzemeler genel olarak karışım anlamına gelsede çözen ve çözünen bileşenlerden meydana gelmez.
- Kompozit malzemelerin üretilmeleri sırasında bileşenler arasında atom alışverişi olmaz bileşenler birbirlerini kimyasal olarak etkilemezler.
- Kompozit malzemeler arasında olası bir durumda atom alışverişi olursa ve malzemeler birbiri içerisinde çözünürse malzeme artık kompozit olarak değil, alaşım olarak adlandırılır.
- Kompozit malzemelerin üretilmeleri sırasında malzemelerin birbiri ile etkileşimi nanometre seviyesinde olursa bu oluşan kompozitlere nano kompozitler denir.
- Kompozit malzemeleri oluşturma aşaması planlanırken, ana malzeme olarak matris ismi verilen bir ana malzeme ve daha çok kompozitin özelliklerini belirleyen ve daha mukavim olan takviye elemanı kullanılır. Bu malzemeler arasından takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük

taşıma özelliğini belirlerken, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici ve geciktirici bir rol oynar.

Kompozit malzemelerin sağladığı başlıca avantajlar;

- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı (Özgül Mukavemet): Kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre çok daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olabilirler. Bu yüksek mukavemet özelliklerine sahip kompozitler metal alaşımlı birçok malzemenin yetersiz kaldığı alanlarda kullanılabilirler.
- Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı (Özgül Rijitlik): Rijitlik/yoğunluk oranı yüksek kompozitler üretilebilir.
- Hafiflik üstünlükleri: Kompozit malzemeler genel olarak muadili olan bir çelik profilin ortalama  $\frac{1}{4}$  ağırlığına sahiptir. Bu haliyle kompozit malzemeler hem daha hafif hemde daha yüksek mukavemet değerleri gösterebilirler.
- Yüksek Dielektrik Direnç: Kompozit malzemeler yüksek elektrik yalıtım özelliğine sahiptir. Bu sebepler makine parçasının imalatında önemli yer tutabilir. Ayrıca elektrik-elektronik sektöründe yaygın olarak kullanılırlar.
- Korozyon üstünlüğü: Kompozit malzemelerin ihtiva ettiği malzemeler ile metal alaşımlı malzemelere göre çevre şartlarında antikorozyf özellikleri çok daha iyidir. Kompozit malzemelerin yüksek kimyevi dirençleri sayesinde kimyasal tesislerinde ve diğer kimyasal korozyon riski taşıyan uygulama alanlarında kullanılabilir.
- Çeşitlilik üstünlüğü: Kompozit malzemeler çok farklı özelliklere sahip malzemelerin uygun üretim koşullarında bir araya getirilerek oluşturulabilir. Bu durum bize farklı çeşit ve özelliklerde malzeme oluşturabilmemize imkan tanır.
- Kalıplama esnekliği ve kolaylığı: Kompozit malzemeler çok daha fazla parçadan oluşabilecek diğer malzemelerle üretilecek olan parçalar için çok daha kolay bir üretim yöntemi anlayışı sunar. Hem kalıp oluşturulduktan sonra uygulama işlemlerinde hem de kalıplama sonrası malzemeyi uygun bir şekilde elde etmede kompozit malzemelerin ciddi üstünlükleri vardır.
- Tasarım kolaylığı ve esnekliği: Geleneksel kalıplama ve talaşlı imalat yöntemleri ile üretilmiş olan malzemelere göre çok daha esnek tasarım

anlayışı sunabilen kompozit malzemeler birçok alanda tasarım zorluğu yaşanan bölgeler için kullanılabilir.

- Şeffaflık sağlayabilmeleri: Kompozit malzemeler saydam olacak şekilde tasarlanabilir ve üretilebilir. Kompoziti oluşturacak malzemelere bağlı olan bu özellik ışık geçirgenliğinin ihtiyaç olduğu çeşitli alanlarda kullanılabilir.
- Metal yüzeylere uygulanabilirliği: Metal üzerindeki bağlayıcılığı kötü yönde etkileyecek artık malzemelerin iyi temizlenmesi durumunda metallere yüzeylerene montaj edilebilir ve metalleri korozyondan korumak için kullanılabilir.
- Isıl dayanımı: Genel olarak kullanılan reçine çeşidine bağlı bir özellik olsada termoset plastik içerisinde yer alan polyester termosetler yumuşayarak şekil değiştirmezler.
- Tamir ve montaj edilebilirliği: Malzemeler hasar aldıkları durumlarda tamir edilebilirler ve aynı zamanda montaj kolaylığıda sağlar. Genel olarak tamir işleminde malzemeye uygun bir kalıptan yardım alınır ve sonrasında zıpara ve boya ile malzeme olması gerek görünüm ve mekanik özelliklere tekrar sahip olur.
- İşlenebilirlik: Kompozit malzemeler geleneksel talaşlı imalat yerine daha basit yöntemler ile işlenebilirler. Bu amaç ile malzeme üzerinde kullanılacak olan takım tezgahlarının malzemeye göre seçilmesi daha iyi sonuçlar verecektir.
- Sızdırmazlık: Kompozit malzemenin hangi malzemelerden oluştuğuna bağlı bir durum olsada genel olarak iyi bir sızdırmazlık sağlarlar.

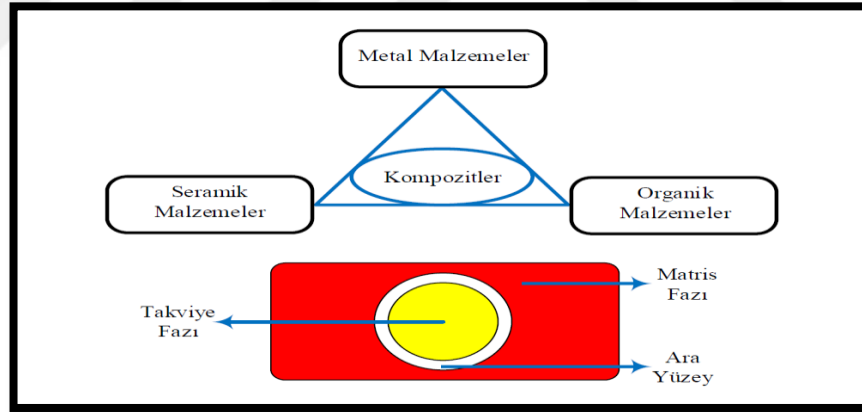
Kompozit malzemelerin dezavantajları;

- Kompozit malzemeler üretim yönteminin yapılışına, kalitesine göre farklı özellikler gösterebilir. Bu da malzemenin her zaman ideal özellikler sunamamasına sebep olabilir. Standartlaştırılmış bir kalite sunulabilmesi için üretim yöntemi çok önemli bir yer tutar.
- Özellikle tabakalı kompozitler, tabakalar arası kayma gerilemelerine çok dirençli olmadıklarından kullanılacakları yere göre üretilmeleri önemlidir. Aksi durumda tabakalar arası kaymalar meydana gelebilir ve bu da delaminasyon meydana getirebilir.

- Farklı üretim yöntemlerinde malzeme özelliklerine bağlı olarak bazı kompozit malzemeler gevrek özellikleri ile kolaylıkla zarar görebilirler. Onarımları durumunda da farklı sorunlar ortaya çıkabilir.
- Malzemelerin zarar görmeleri durumunda onarım yapılması gerekmektedir. Onarım işlemi öncesinde malzemelerin çok iyi bir şekilde temizlenmesi ve sıcak kurutulması gerekmektedir. Bu durumda bazı kurutma yöntemleri uzun süre alabilir.

## 2.2 Kompozit Malzemelerin Yapısı ve Sınıflandırılması

Malzemeler yapısal olarak genellikle metal, organik malzemeler ve seramik olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılırlar. Bu malzemelerin kendilerine göre farklı üstün ve zayıf yönleri vardır. Gelişen çağda teknolojik gelişmelere bağlı olarak kompozit malzeme oluşumu için iki veya daha fazlası bir araya gelerek üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacı ile makro düzeyde birleştirilir. Bu birleştirme sonucunda oluşan kompozit malzemeler takviye fazı, matris fazı ve arayüzeyden oluşurlar. Şekil 2.3’de kompozit malzemelerin oluşum yapıları verilmiştir.



**Şekil 2.3 :** Kompozit malzeme yapısı ve genel malzeme grupları

**Kaynak:** (Url-5, 2020)

Kompozit malzemelerde takviye fazı, matris ana fazı içerisinde dağılmış olan takviye elemanlarından oluşur. Genel olarak kompozit malzemelerde yükü takviye elemanları taşır ve takviye elemanlarının bu oluşumda fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için üstün mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Çünkü matris fazına uygulanmış olan bir kuvvet ara yüzeyler vasıtası ile takviye elemanlarına iletilir ve dağıtılır. Takviye fazı uygulanmış olan bu kuvveti taşıyarak malzemedeki oluşabilecek tahribatı engeller. Bu nedenlerle takviye elemanı ve

matris malzemesinin uyum içerisinde olması çok önemlidir. Bu iki faz birbiri arasında bir ara yüzey oluşturur. Takviye elemanı ve matris malzemesi arasındaki bağı kurma ve malzemenin bütünü bir arada tutma görevini üstlenen ara yüzey bağı, genel olarak kırılma özellikleri gösterebilir. Bu duruma rağmen ara yüzey bağı üzerine gelen kuvveti herhangi bir kırılmaya ve çözünmeye uğramadan takviye fazına iletir. Bu bölge kompozit malzemenin elastiklik modülünü etkileyen en önemli bölge konumundadır. Bu sebepler ile kompozit malzemenin mekanik özellikleri ara yüzey bağının istenilen şekilde oluşturulmuş olmasına bağlıdır. Bu şekilde oluşturulmuş bir ara yüzey bağının bazı üstün özellikleri şu şekildedir;

- Yüksek mukavemet,
- Yüksek termal dayanımı,
- Yüksek korozyon dayanımı,
- Yüksek Sertlik,
- Mükemmel akustik iletkenlik,
- Estetik görünüm,
- Düşük Ağırlık
- Ekonomiklik.

Kompozit malzemeler verilen bu bilgiler doğrultusunda, mekanik dayanımı yerine getiren farklı geometrik malzemelerden ve bu malzemeleri bir arada tutan seramik, polimer veya metal malzemelerden oluşur. Yapılarında farklı malzeme grupları barındırabilen kompozit malzemelerin sınıflandırılabilmesi çok farklı şekillerde yapılabilir. Fakat en yaygın sınıflandırma şekli matris malzeme cinsine ve takviye malzemesi cinsine göre sınıflara ayırmaktır.

### **2.2.1 Matris malzeme cinsine göre sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler kullanım amacına ve üretim yöntemine göre farklı matris malzemeler kullanılarak oluşturulabilir. Bunlar metal, seramik ve polimer malzemelerdir.

*Metal matris kompozit malzemeler;* Bu malzemelerde ana yapı metal matristen oluşur ve genellikle de takviye elemanı olarak seramiklerin kullanıldığı bir yapı oluşturulur. Metal içerikli malzemeler, takviye edilecekleri malzemelere göre üstün özelliklere sahip olabilirler. Seramiklerin üstün elastiklik özellikleri ile metallerin

plastik şekil değiştirme özellikleri birleştirilerek gerilme mukavemeti yüksek ve aşınmaya karşı dayanıklı kompozit malzemeler elde edilebilir.

*Seramik matris kompozit malzemeler;* Seramik matrisli kompozit malzemeler yüksek elastiklik modülüne sahip, hafif (1,5 – 3,0 gr/cm<sup>3</sup>) ve yüksek sıcaklığa dayanıklı oldukları için oldukça kullanışlıdır. Bu malzemelere ayrıca çok iyi yalıtkan özellik gösterirler. Seramik matrisli kompozitler malzemeler özellikle yüksek sıcaklık ortamlarında çalışması gereken durumlarda kullanılır. Kırılgan ve sert olduklarından tokluğa ve çok düşük sünekliğe sahiptirler. Seramik matris kompozit malzemelerin ayrıca termal şoklara dayanıklı oldukları da söylenemez. Bu sebeple genellikle lifler ile takviye edilirler. Seramik matris ve kullanılacak olan lifler değişik yapılarda bir araya getirilip kullanılacak alanın ihtiyacına göre imal edilirler. Askeri zırhlar, yine çeşitli askeri amaçlı parçalar ve yüksek performans beklenen havacılık araçları bu malzemelerin kullanım alanlarından bazılarıdır.

*Polimer matris kompozit malzemeler;* Polimer matris içerikli kompozit malzemeler genel olarak petrokimya esaslı ürünler olup kompozit malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Polimer matrisli kompozit malzemeler uzun süreli kullanıma uygun, korozyona dirençli, işlemesi kolay, birim kütle başına yük taşıma kapasitesi yüksek ve şekillendirilebilen malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olarak iki ana gruba ayrılırlar. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları kevlar fiber, cam fiber, karbon fiber ve bor fiberlerdir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler, tel sarma, elle sıvama, kese kalıplama işlemi, sıvı akış tekniği, pultrüzyon metodu, enjeksiyon kalıplama, takviyeli reaksiyon, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir. PMK'lerin genel olarak kullanım alanlarını şöyle sıralayabiliriz; hafifliği sebebiyle otomotiv sektörü, korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları ve diğer taşımacılık endüstrileri ile spor malzemeleri, yanmazlık özelliği istenen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlar sıralanabilir. Termoset matrisler; genel olarak lif takviyeli kompozit malzeme ihtiyacı olan alanlarda kullanılır. Oluşumu öncelikle sıvı haldedir ve bir proses ile birlikte önce jel haline gelirler ve sonrasında katılaşır. Termoset reçineler amorf yapıdadırlar. Genel olarak düşük viskozitede olmaları tercih edilir. Termoplastik matrisler; Genellikle sünek bir yapıdadırlar ve ısı ile eritilebilirler, soğutma ile de katılaşır. Bu özellikler malzemeye tekrardan şekil verebilme kabiliyeti kazandırır. Termoplastik

matrisler genellikle yarı kristalin yapıda olabilirler. Termoplastik matrisler, termoset matrislere göre daha tok ve daha düşük kırılganlık özellikleri gösterirler.

**Çizelge 2.1:** Matris - Takviye elemanı malzeme cinsine göre kompozitler

| <b>Matris Malzemeleri</b> | <b>Takviye Elemanları</b> | <b>Kompozit Yapının Şekli</b> |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Polimerler                | Elyaf/Lifler              | Tabakalar                     |
| Metaller                  | Granül                    | Kaplamalar                    |
| Seramikler                | Whiskers                  | Film – Boya                   |
|                           | Pudra                     | Bal Peteği (Honey-Comb)       |
|                           | Yonga                     | Filaman Sarılmış Yapılar      |

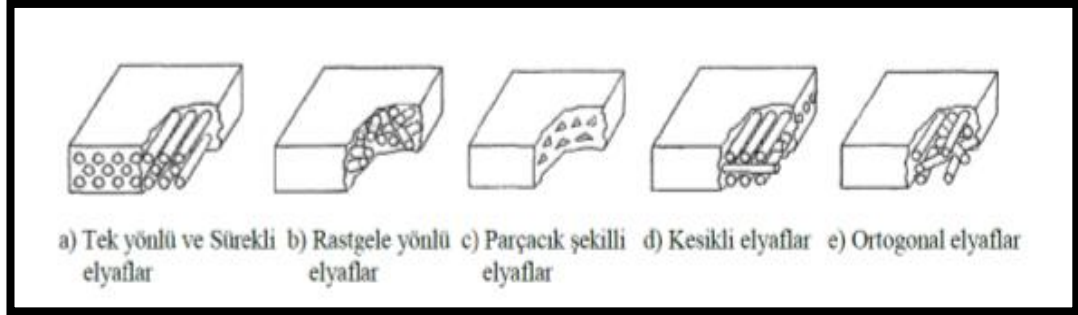
### 2.2.2 Takviye elemanlarının şekil ve yerleştirilmesine göre sınıflandırılması

Kompozit malzemelerde matris malzeme cinsine göre oluşturulan sınıflandırmadan sonra en yaygın sınıflandırma yöntemi takviye elemanlarına göre yapılan sınıflandırmadır. Kompozit malzemeyi oluşturan takviye elemanlarına göre sınıflandırmada kompozitler dört ana gruba ayrılırlar. Bunlar şöyledir;

- Elyafli kompozitler
- Parçacıklı kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Karma kompozitler

*Elyaf takviyeli kompozitler;* Elyaf takviyeli kompozitler, kompozit malzemeler içerisindeki en yaygın türdür. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak en çok cam elyaf malzemeler kullanılır. Cam elyaf malzemeleri karbon elyaf malzemesi takip etmektedir. Elyaf takviyeli kompozitlerin oluşumunda bulunan takviye lifleri uzun liflerden, kısa kesilmiş liflerden, dokuma kumaş vb. değişik formlardan olabilirler. Her oluşturulma biçiminde farklı sonuçlar elde edilir. Bu durumu daha genel olarak özetlemek gerekirse liflerin kompozit malzeme içerisinde nasıl uzandığı aynı zamanda kompozit malzemenin özelliklerini de belirler. Elyafların matris içinde yerleştirilmesinde uzun elyafların birbirine paralel bir şekilde yerleştirilmesi yüksek mukavemet değerleri sağlarken, elyafların birbirine dik olarak yerleştirilmesi düşük bir mukavemet değeri sağlar ve bu istenen bir durum değildir. Fakat bazı durumlarda bu yerleştirmelere de ihtiyaç duyulur. Bu durumun

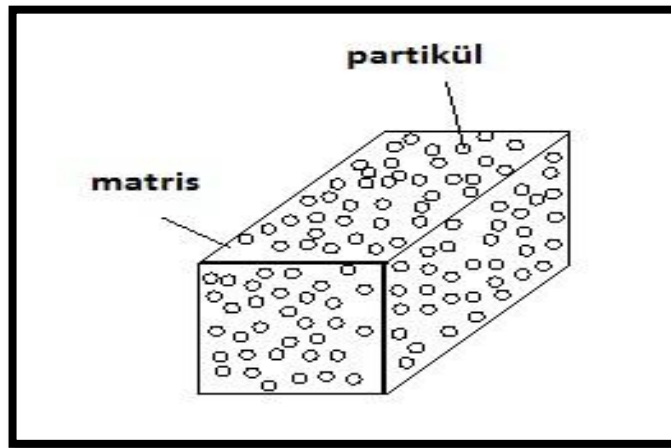
haricinde elyafların iki boyutta yerleştirilmesi eşit mukavemet imkanı sunarken kısa elyafların kullanımı ise izotrop bir yapı oluşturulmasına katkı sağlar.



**Şekil 2.4 : Farklı şekilli elyaf (fiber) takviyeli kompozitler**

**Kaynak:** (Şahin, 2006)

*Parçacıklı kompozitler;* Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde takviye malzemesinin boyutu, cinsi ve özellikleri onun kompozit malzemesine olan katkısını belirler. Parçacıklar genellikle kompozitin sertliğini artırmada etkilidir. Ancak dayanımı çok bir etki gösteremezler. Parçacık takviyeler her ne kadar mekanik ve fiziksel özellikleri artırmak için kullanılıyor olsada genellikle maliyeti azaltmak için kullanılır. Parçacık takviyeli kompozitlerde performansı etkileyen birçok faktör vardır. Bunların içerisinde yüzey enerjileri, parçacık boyut dağılımı, homojen dağılma, hacimsel oranlar ve eksen oranları genellikle dikkate alınanlardır. Partikül ve matris yapıları birbiri içerisinde çözünmezler. En yaygın kullanılanı plastik matris içerisinde yer alan metal parçacıklarıdır.



**Şekil 2.5 : Parçacıklı kompozit**

**Kaynak:** (Url-6, 2020)

*Tabakalı kompozitler;* Bu kompozit yapılar en yaygın ve en eski kullanıma sahip olan kompozit malzeme tipidir. Farklı yerleştirmeler ile oluşturulmuş elyaf kaymanlarının birleşimi ile yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Tabakalı kompozitler ihtiva ettiği özelliklere göre genel olarak ısı ve neme dayanıklıdır. Tabakalı kompozitler mukavemetli yapıları ve hafiflik özellikleri ile metallere oranla daha da avantajlıdır. Tabakalı kompozit malzeme yapılarından olan sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak iskeletleri ve dış katmanlarında, kanat ve kuyruk grubunun iç yapısı ve dış yapısında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tabakalı kompozit yapılarından olan sandviç kompozit yapılar da uçak yapılarında yaygın olarak kullanılırlar. Sandviç kompozit yapılar, yük taşıma özellikleri olmayan ve yalnızca izolasyon özelliği sunan düşük yoğunluklu bir yapının alt ve üst bölgelerine mukavemetli levhaların yüklenmesi ile oluşturulur.

*Karma kompozitler;* Kompozit malzemenin yapısında iki ya da daha fazla takviye elemanının ihtiva etmesi durumunda oluşturulmuş olur. Bu yapılara aynı zamanda hibrit kompozit yapılar da denir. Bu oluşturulan kompozitler çok fazla çalışma alanı oluşturduğu için yeni kompozit tipleri için uygun bir çalışma alanıdır. Örnek olarak kevlar, yapısı ve üretim yöntemi itibarıyla tok ve ucuz bir elyafdır fakat basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise yapısı ve üretim yöntemine bağlı olarak düşük tokluğa sahip, pahalı ancak yüksek basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyaf ile oluşturulan hibrit kompozit yapıda tokluk grafit kompozitten daha yüksek, basma mukavemeti kevlar elyafı kompozitten yüksek ve maliyeti de grafit elyafı kompozit yapıdan daha düşük olur.

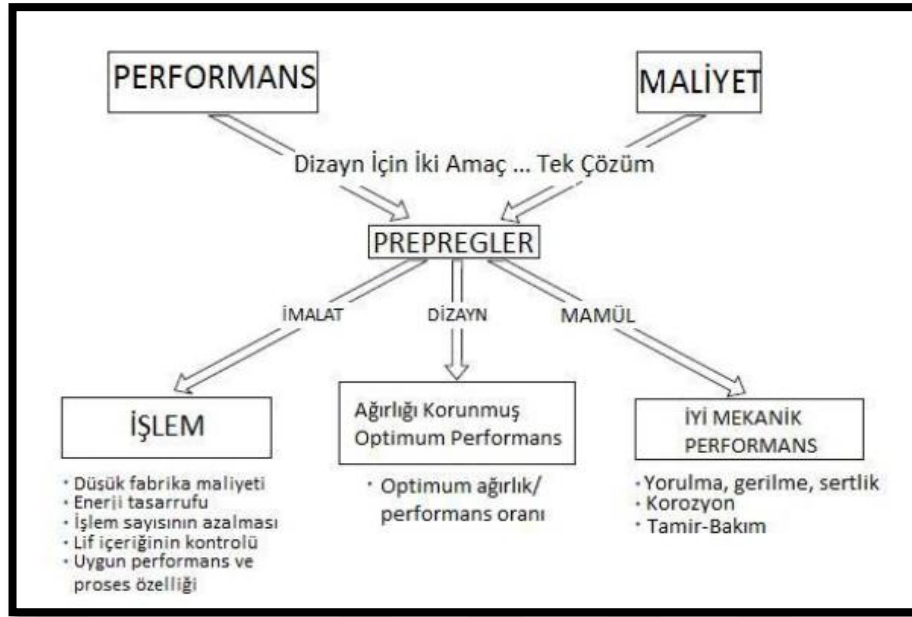
### **2.3 Karbon Prepreg Kompozit Malzemeler**

Prepreg, önceden reçine emdirilmiş ve basınçlı bir üretim yöntemi ile üretilmiş lifli bir polimer takviyesidir. Prepregler belirli bir sıcaklık ve basınç altında kurlenirler. Kurlenme sonucunda emdirilmiş olan bu reçine sertleşerek kimyasal ve ısı dayanımı yüksek, dayanıklı ve hafif bir kompozit yapı oluştururlar. Karbon prepreg kompozitler termoset ve termoplastik olarak iki ana kategoriye ayrılırlar. Bunlar önemli ölçüde teknik açıdan farklılık gösterirler. Yapılan deneysel çalışmalarda karbon prepreg malzemelerin kullanılmasının sebebi havacılık ve uzay sanayisinde fazlaca tercih edilmesidir. Karbon prepreg malzemelerin yapısı ve üretim yöntemleri kullanılacak amaca göre değişiklik gösterebilir genel olarak üretim yöntemlerinde

ufak değişiklikler vardır. Bu değişiklikler malzemenin durum karşısında nasıl tepki vereceğininde etkiler.

Geleneksel el yatırma kullanmak yerine prepreglerin birçok avantajı vardır.

- Prepreglerin maksimum güç özellikleri: El yatırma yöntemi ile % 50 reçine içeriği elde etmek oldukça zordur. Fakat prepregler ile bu sağlanabilir ve bu durumda, bitmiş kompozit bölümünün ağırlığının % 50 kumaş ve % 50 reçinenin oluşturduğu anlamına gelir. Aşırı reçine, genel özellikleri azaltır fakat kırılma direnci artırır. Prepreglerin çoğu %35 civarında reçine içerirler. Bu durum oluşturulan malzemenin maksimum sertleşme özellikleri için idealdir fakat normal el yatırma yönteminde genel olarak imkansız bir durumdur.
- Prepreglerde parça düzgünlüğü: Prepreg üretim yöntemi ile üretilen parçalar elle yapılan diğer üretim yöntemlerine göre daha düzgün çıkmaktadır, bu da üretimde zaman kazandırmaktadır. Bu durumda her parça birbirine benzer ve aynı kalınlıkta üretilir.
- Daha düşük karışıklık ve daha düşük atık: Prepreg üretim yöntemine göre diğer üretim yöntemlerinde kompozit hazırlama işlemleri ve kürlenme işlemi sırasında malzeme içerisine nüfus etmemiş fazla reçine akacaktır, ancak prepreglerde böyle bir sorun söz konusu değildir.
- Daha düşük kürlenme süresi: Prepreglerin üretiminde ısı kürlenme işlemi yapıldıktan sonra malzeme kullanıma hazırdır. Uygun saklama koşullarının ardından yada direkt olarak kullanılabilir. Tipik bir el yatırma yönteminde olduğu gibi tam bir kürlenme sağlamak için uzun süre beklememiz gerekmemektedir.
- Daha iyi estetik görünüm: Prepreglerde kalıp hazırlama ve kalıp ayırma kullanılmaktadır ve el yatırma ile hazırlanan bir parçanın estetik görünüm bileşenlerini doğrudan etkileyecektir. Prepreg üretim yöntemi ile üretilen parçalarda daha iyi bir görünüm elde edilebilir. Bununla birlikte cam prepregler hava kabarcıkları oluşturmaz ve parlak, pürüzsüz bir yüzey elde edilebilir.



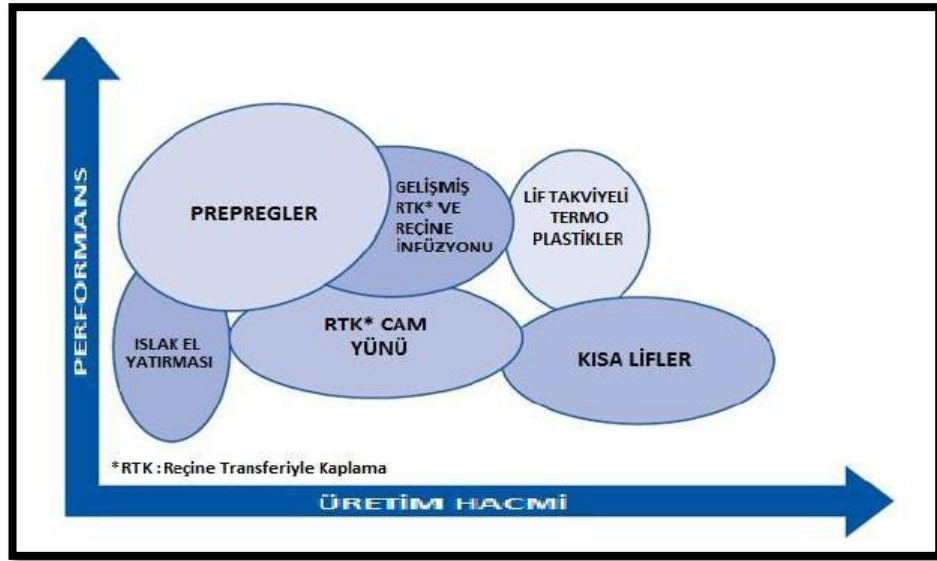
**Şekil 2.6 : Prepreglerin kullanım avantajları**

**Kaynak:** (Url-7, 2020)

Prepreglerin kullanmanın avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

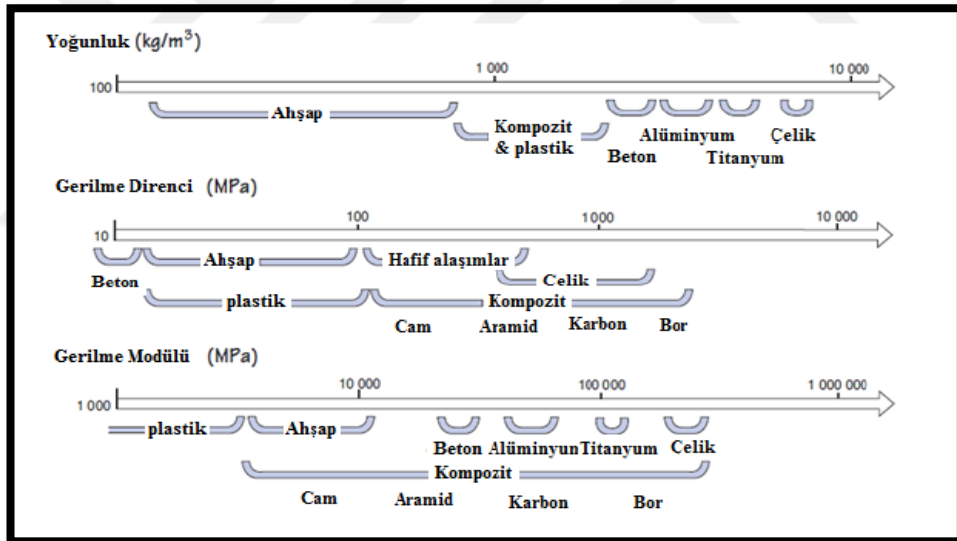
- **Maliyet:** Prepreglerin imal edilmesi pahalı bir yöntemdir ve reçine, kür, elyaf maliyetlerini azaltsanız bile prepregler daha maliyetlidir.
- **Raf ömrü:** Cam prepregler oda sıcaklığında (23,8°C) altı aya kadar saklanabilirler. Ayrıca prepreglere uygulanacak ön ısıtma, ısıtma işlemi ve daha sıcak ortamda malzeme saklamak raf ömrünü önemli derecede azaltır. Prepreg malzemenin raf ömrünü artırmak için soğuk tutmak ve hatta donmasını sağlamak gerekmektedir.
- **Gerekli ısı kürü:** Prepreg hazırlarken bir vakum torbası ve ısı kaynağı ve olması gerekmektedir. En az 132,2°C'ye ulaşılmalı ve bu sıcaklık bir süre korunmalıdır. Genellikle prepreg üretiminde otoklav kullanılır fakat herhangi bir ısı kaynağıda yeterli olabilir.

Prepreg malzemelerin performans ve üretim hacimleri bakımından konumu, Şekil 2.7'de diğer imalat işlemlerinden çıkan malzemeler ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.7 : Farklı kompozit malzeme üretim yöntemlerinin performans karşılaştırması

Kaynak: (Url-8, 2020)



Şekil 2.8 : Farklı malzemelerin yoğunluk, çekme dayanımı ve modülü karşılaştırılması

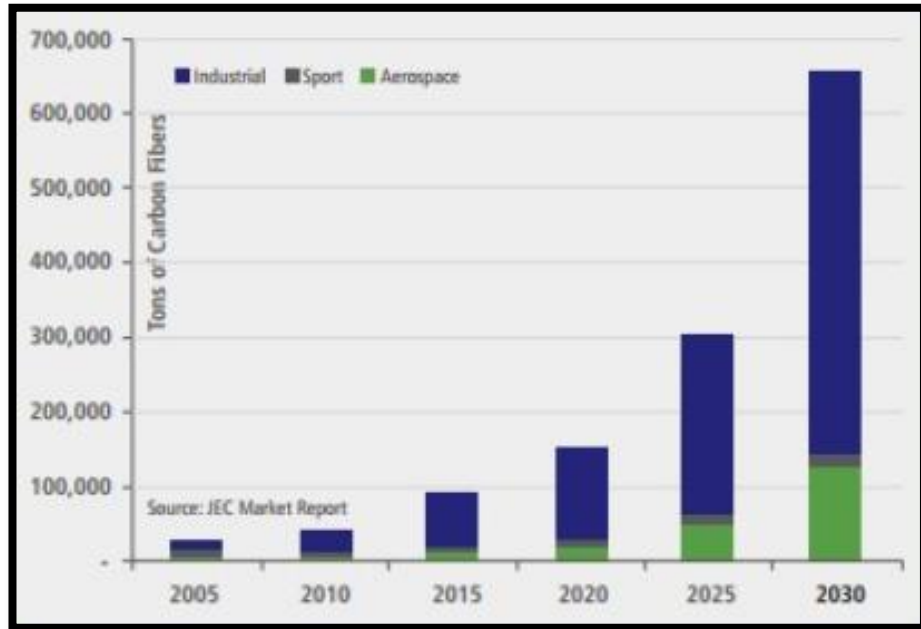
Kaynak: (Url-9, 2020)

Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de verilen bilgiler neticesinde havacılık sektöründe neden karbon prepreg malzemelerin tercih edildiği açıkça bellidir. Hem üretim yöntemi avantajlarından faydalanmak hemde karbon malzemesinin özelliklerinden faydalanmak amaç edinilmiştir.

Karbon prepreg malzemelerin havacılık alanındaki yerinden söz etmemiz gerekirse; bir önceki bilgilerde de verdiğim üstün direngenlik, super hafiflik, yüksek

mukavemet ve tokluk ve de ısı direnç özellikleri sayesinde yeni çağda kullanılan en üst seviye kompozit malzemeler olmuştur. Bu gelişmiş özellikleri sayesinde uzay, ulaşım, denizcilik, enerji, savunma ve inşaat alanlarında kullanılabilecek en ideal malzemelerden biri olmuştur.

Verilen bilgiler neticesinde şu anda en üst teknolojilerin çıkış noktası olan uzay ve havacılık endüstrisinde bulunan NASA, Lockheed Martin, Boeing, Airbus ve Ryttheon gibi askeri ve ticari uydu, roket, füze sistemleri ve hava araçları gibi kritik teknolojileri geliştiren kuruluşlar kompozit ve prepreg teknolojileri pazarında büyük bir hacim oluşturmaktadır. Bu konuda örnek vermek gerekirse Boeing şirketinin 787 Dreamliner uçaklarında uçağın toplam ağırlığının %50'sini büyük bir bölümü ön emridilmiş dokumalar (prepreg) kullanılarak üretim işlemleri tamamlanmış kompozit parçalar kullanılmıştır. Hem askeri hemde sivil havacılık için ürünler ortaya koyan Lockheed Martin firmasında F-35 savaş uçaklarında ana aksamın üretiminde prepreg malzemeler çok ciddi bir yer tutmaktadır. Çok daha komplike tasarımlar yapılmasına sebep olan bazı zorlu koşullar için geleneksel üretim yöntemleri ve malzemeler yeterli olamamaktadır. Montaj ve üretim esnasında karşılaşılan bu zorluklar için kompozit malzeme tasarımları ve montaj işlemleri her bakımdan çok daha avantajlı olmuştur.



**Şekil 2.9 :** Karbon fiber kompozit malzemelerin geçmişten geleceğe kullanım miktarı

**Kaynak:** (Url-10, 2020)

Yukarıdaki Şekil 2.9’da görüleceği üzere karbon fiber kompozit malzemelerin geçmişten günümüze ve geleceğe kullanım miktarları grafik üzerinde gösterilmiştir. Buradan da görüleceği üzere karbon fiber kompozit malzemelerin kullanım miktarları geleceğe parabolik olarak artmıştır. Gelecekte endüstrinin her alanında çok fazla kullanım alanı oluşturacak olan karbon fiber kompozit malzemeler çeşitli üretim yöntemleri ve kalite standartları ile kendine sektörde çokça yer bulacaktır.

#### **2.4 Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalatı ve Literatür Araştırması**

Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinden farklı olarak bazı farklılıklar içerir. Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinde frezelemenin içerisinde genel olarak alın frezeleme ve slot kesim yöntemleri kullanılırken kompozit malzemelerin talaşlı imalatında kalıp içerisinde çıkmış ve belirli bir şekli almış olan kompozit malzemenin arda kalan kısımlarının malzeme üzerinden alınması amaç edinilir. Bu durumda malzemenin ve takımların zarar görmemesi için özel takımlar ve özel kesim yöntemleri ile çalışılır. Takım geometrisi ve sahip olduğu parametreler doğrudan kompozit malzemenin işlem yapılan yüzeyindeki kaliteyi etkiler. Geleneksel talaşlı imalat ve kompozit malzemelerin talaşlı imalatı için yapılmış çalışmalar için literatür çalışması yapıp çalışma için kullanılabilecek parametre değerleri tespit edilmiştir. Kullanılan yöntemler ve kullanılan materyaller incelenmiştir. Frezeleme ve delik delme konusunda; yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, deformasyon, titreşim, takım ömrü ve aşınması gibi talaş kaldırmaya etki eden girdiler birçok parametrelerden etkilenmektedir. Bu parametreler genel olarak ele alındığında tezgahın özellikleri, çevresel faktörler ve operatörün becerisidir. Aynı şekilde operatörün iş parçasını tezgaha uygun bağlaması ve verileri uygun kullanmasında önemli faktörler içerisinde. Bu konuda süreklilik sağlanması gerekmektedir. Fakat ayrıntılı olarak araştırıldığında bu girdilerin, parametrelerin ilerleme hızı, kesme hızı, kesici takımın cinsi ve geometrisi, talaş derinliği, soğutma ve yağlama durumları, iş parçasının malzeme cinsi ve özellikleri, tezgah gücü, sürtünme ve ısı oluşumu olduğu yapılmış olan çalışmalar açıkça anlaşılmaktadır. Bu yapılan çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibi incelenmiştir.

Akün (1956), takım tezgahının titreşimleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Tezgahta oluşan titreşim problemlerinin karmaşık bir yapıda olduğunu belirtmiştir ve analizler yardımı ile bu titreşimlerin bulunabileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda genel olarak

tornalama deneylerinde, iş parçası ve kesici takım üzerindeki titreşimleri ele almıştır. Takım geometrisi ve malzemesi, kesme hızı, kesiti ve iş parçasının titreşimler üzerinde oldukça ciddi bir etkiye neden olduğunu belirtmiştir. Yapılan çalışmalarda ayrıca titreşimlerin yüzey pürüzlülüğünü de etkileyen önemli bir etki olduğunu tespit edip öneminden bahsetmiştir.

Santhanakrishnan ve ark. (1998), Farklı fiber takviyeli (aramid, karbon ve cam) kompozit malzemelerin, genellikle boruların tornalanması işlemleri, kesme girdilerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ayrıca talaşlı imalat yaptıkları yüzeylerde gözlemledikleri morfolojiyi taramaları electron mikroskobu (SEM) ile analiz etmişlerdir.

Chen ve Lin (1996), yaptıkları çalışmalarda karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemelerin yüksek kesme hızında delinmesiyle ilgili yapmış oldukları deneylerde ilerlemenin, kesme hızının ve delme uzunluğunun artmasıyla kesici takımda oluşan hasarın arttığını ve ilerleme kuvvetinde arttığını tespit etmişlerdir.

Tsao ve Hocheng (2007), yapılan çalışmalarda karbon fiber takviyeli plastik kompozit malzemelerin delme işlemlerinde, dönme devrinin ve ilerleme hızının ilerleme kuvveti üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmalar sonucunda ilerlemenin artırılmasıyla ilerleme faktörünün arttığını, dönme devri arttıkça da ilerleme faktörünün azaldığını görmüşlerdir.

Berger ve ark. (2008), yapılan çalışmalarda elyaf takviyeli kompozit malzemenin uygun girdiler altında talaşlı imalatını araştırmışlardır. Frezeleme çalışmalarında, parça üzerinde deformasyon oluştuğunu, deformasyon faktörünü azaltmak için ise düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı ile azaltılabileceğini göstermişlerdir.

Canpolat (2008), yapılan çalışmalarda cam fiber takviyeli kompozitlerde HSSi, TiN ve karbür matkaplar kullanılarak delik delme imalatı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Verilen kesme girdilerinin yüzey pürüzlülük değeri üzerinde etkilerini araştırmışlardır. İlerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığını tespit etmişlerdir. En yüksek yüzey kalitesi ise karbür matkaplarla delinen malzemelerde elde edilmiştir.

Karnik ve ark. (2008), yapılan çalışmalarda karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin delik delme işlemlerinde, kesici takım ilerleme ve dönme devri,

matkap uç açısı faktörlerinin deformasyon faktörüne nasıl etki ettiğini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri verileri modellemişlerdir. Matkap ucunun açısı ve ilerleme arttıkça deformasyon faktörünün artma eğilimi gösterdiğini, devir sayısının artırılması ile deformasyon faktöründe azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ekici ve Işık (2009), cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin delik delme işlemlerinde oluşan deformasyon faktörü; ilerleme, dönme devri ve takım geometrisine bağlılığını incelemişlerdir. Yapılan deneylerde 2, 3 ve 4 diş sayısına sahip 60°, 90° ve 120° takım ucu açılı HSS matkaplar ile çalışmışlardır. Artırılan ilerleme, matkap ucu açısı ve diş sayısı ile deformasyon faktöründe artış olduğu ve artan kesme hızıyla deformasyon faktöründe azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Işık ve Erkan (2009), cam fiber takviyeli kompozit malzemeler üzerinde 2, 3 ve 4 diş sayılı frezelerle çalışma yapmışlardır. Çalışmalarda kesme girdilerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde nasıl etki oluşturduklarını incelemişlerdir. Artırılan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğü değerinin artış gösterdiğini, artırılan freze diş sayısı ve kesme hızı ile yüzey pürüzlülük değerinin azalma eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir. En yüksek yüzey kalitesi diş sayısının 4 olduğu frezede gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda düşük ilerleme ve yüksek dönme devrinde yüzey pürüzlülüğü için en iyi sonucu elde etmişlerdir.

Kalla ve ark. (2010), yapılan çalışmalarda karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin, farklı oryantasyon açılara sahip yapılarında 500, 1000 ve 1500 dev/dak freze dönme devri ve 0,102, 0,203 ve 0,305 ilerleme değerleri ile helisel frezelemede ölçülen kesme kuvvetlerini incelemişlerdir ve modellemişlerdir. Çalışmalar sonucunda oryantasyon açısı yüksek olan kompozit malzemelerin frezelenmesi ile oluşan kesme kuvvetlerin oryantasyon açısı küçük olan kompozit malzemelere göre daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Bayraktar (2011), yapılan çalışmalarda karbon fiber takviyesi ile oluşturulmuş kompozit malzemelerin farklı geometrilerde kaplamalı ve kaplaması olmayan karbür kesici takımlarla talaşlı imalatında; kesici takım cinsinin, kesici takım geometrisinin, dönme devri ve ilerlemenin kesme kuvveti, yüzey hasarı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde nasıl etki oluşturduklarını incelemiştir. Kullanılabilecek en optimum değerleri bulabilmek için farklı metodlar kullanarak değerlendirmiştir. Bütün

kullanılan kesici takımlar için artan ilerleme hızı değeri ile hem yüzey pürüzlülüğü değerinin hem de kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemiştir. Kesici takımlarda helis açısı ve diş sayısı arttıkça, yüzey pürüzlülük değerinde ve yüzey hasarlarında artma olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde en etkin girdinin ilerleme hızı olduğunu yaptığı çalışmalar sonucunda tespit etmiştir.

#### **2.4.1 Talaş kaldırma işlemlerinin mekaniği**

İş parçası üzerinden kesici takımlar ile talaş kaldırılarak tamamlanan işleme talaşlı imalat denir. İş parçası üzerinden kaldırılan talaşın kontrol edildiği bölge kesme bölgesidir. Talaşlı imalatla kaldırılan talaşın kontrolü, yapılacak olan operasyonun nasıl olduğuna göre değişiklik gösterir. Talaşlı imalatla genel olarak amaç iş parçasını daha önceden belirlenen bir boyuta ve şekile getirmek olsa da, verimli bir işlemin gerçekleştirilmesi için talaş kaldırma işleminin uygun talaş çıkmasını sağlayacak bir şekilde yapılması gerekmektedir. Uygun talaş oluşumunu sağlamak için talaşın uygun bir biçimde çıkarılması, gerekli görüldüğü durumlarda ise talaşın talaş kırma işlemleri ile kırılması gerekmektedir. Talaşlı imalatla talaş kırma işlemlerinin sebebi, yalnızca imalat sırasında çıkacak talaşın depolama kolaylığı değil, ayrıca imalatın yapıldığı bölgeden ayrılan talaşın temas edebileceği iş parçasına ve takıma verebileceği zararı ortadan kaldırmak ve temas bölgesinde oluşan ısının talaşa yüklenmesi ile çalışılan bölgeden uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

Frezeleme ve delik delme işlemleri yapılırken farklı talaş hacimleri kaldırılabilir ve işlemler birbirinden farklı olabilir fakat kontrollü talaş oluşumunu sağlamak daima amaçlanan bir durumdur. Talaşlı imalatla talaş kaldırma işlemini anlamak için farklı tipteki malzemelerden nasıl talaşların ortaya çıktığını anlamak gerekmektedir. Bu işlemlerin özünde ise kaldırılan talaşın kalitesini etkileyen deformasyon faktörü, kesme kuvvetlerinin belirlenmesi işlemi ve sıcaklık vardır. Talaşlı imalatla sıcaklığın yeri çok önemlidir ve talaş kaldırma işlemini en çok etkileyen bir faktörlerden biridir. Sıcaklık belirli bir derece üzerinde takım için negatif etkiler sergiler. Bu oluşan negatif etki takımların kısa sürede aşınmasına ve bu sebeple de kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olur. İmalat sırasında dengesiz bir şekilde artan kesme kuvveti ise momenti ve gücü doğrudan etkiler. Takım kesici kenarlarının tasarımı bu etkiler ile beraber korunuyor olması gerekmektedir.

Talaşlı imalatta kesici takım tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken konulardan birkaçı şöyledir; talaşlı imalat yapılacak malzeme cinsi, takım ömrü ve uç mukavemeti. Bir kesici takım kenarları ile talaş kaldırma işleminde, kesici takım talaş kaldırılacak malzemenin bir bölümünü plastik deformasyona uğratarak talaşı keser ve talaş olarak malzemeden ayrılacak bölümler üzerindeki gerilmeler kesici takım kenarına yaklaşması ile artar. Talaşlı imalat sırasında bu artan gerilmeler kesilen malzemenin akma sınırına ulaştığı anda metal içerisinde plastik ve elastik deformasyonlar meydana getirir.

Talaşlı imalatta harcanan enerjinin büyük bir kısmı kayma düzlemi civarında harcanır. Kesici takım ile oluşturulan talaşın takım yüzeyi boyunca akışını sağlamak için kesici kenar talaş kaldırılacak malzemeye doğru bastırılır ve bunun sonucunda kaymalar meydana gelir. Talaş kaldırılan malzemenin kayma düzlemi boyunca olan plastik davranışı, talaşın ve talaş kaldırılan yüzeyin şekil değiştirme sertleşmesi üzerinde etkilerde bulunur. Deformasyon sertleşmesi kayma açısını azaltır, kesme kuvvetini artırarak daha kalın bir talaş yüzeyi üzerinde akmasına sebep olur. Deformasyon miktarı takımın talaş büyüklüğüne bağlıdır. (Neşeli, 2006).

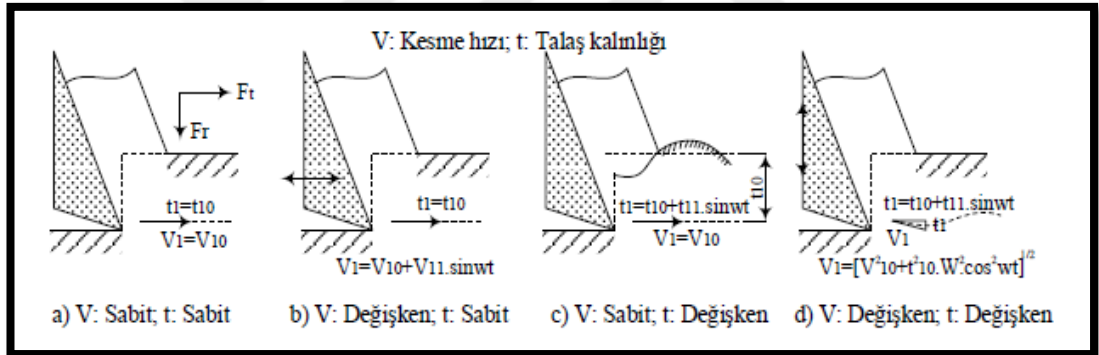
Kayma düzlemi talaş kaldırılacak malzemenin kaldırılacak talaşa dönüştüğü düzlemdir. Anca bu düzlemde ortaya çıkan kayma gerilemesinin kesici takım yüzeyi boyunca analiz edilmesi gerekmektedir. Talaş kaldırma sırasında takım/talaş ara yüzeyinde etkileşimler meydana gelir. Kesici takım etkisiyle oluşan talaş, temasta üzerine etkide bulunan kayma açısındanda etkilenir. Oluşan talaşın temas uzunluğu boyunca takım yüzeyindeki hareketinin niteliği talaşlı imalat için çok önemli bir faktördür. Kayma açısının, oluşan talaş ve kesici takım yüzeyi arasındaki temas uzunluğu üzerinde bazı etkileri mevcuttur. Bu bölgede oluşan sıcaklıklar ve kuvvetler takımı çok önemli ölçüde etkiler. Kayma açısı küçük ise kayma kuvveti büyüktür.

#### **2.4.2 Talaş kaldırma işlemlerinin dinamiği**

Talaşlı imalat için kullanılan tezgahlar yaptıkları iş neticesinde dinamik yüklerin birçok çeşidine, birçok farklı doğrultudan aynı anda maruz kalmaktadırlar. Tezgaha karşı uygulanan bu dinamik yükler karşısında tezgahın gösterdiği davranışlar tezgahların dinamik davranışlarını belirler. Tezgahlar üzerinde her konumda dinamik davranışlar olacağından dolayı tezgah tasarımları yapılırken imalatın yapılacağı

tezgahın en kritik dinamik davranışları incelenmeli ve tasarım buna göre belirlenmelidir. Talaş kaldırma işleminin dinamiğini anlamak için Şekil 2.9’da verilen talaş kalınlığı ve kesme hızına bağlı aşağıdaki dört durumu anlamak ve incelemek gerekmektedir.

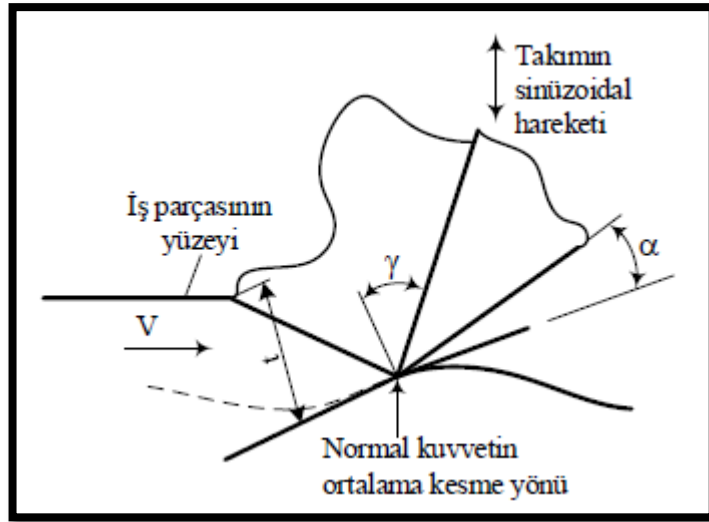
Şekil 2.10’ da talaş kalınlığı ve kesme hızının sabit tutulması, talaş kaldırma işleminin kararlı olacağını gösterir. İşlemede talaş kalınlığı sabit tutulduğu halde, kesme hızının ise değişken olduğu durumlarda takım kesme doğrultusunda titreşim hareketleri gösterecektir. Böyle bir işlemede titreşimler tırlama oluşturabilir ve bu istenmeyecek bir durumdur ve kaliteyi ciddi bir şekilde düşürür. İşlemede tırlama titreşimi bu durumların bileşkesi olarak ortaya çıkabilir. Talaş kalınlığı ve kesme hızı değişimleri tırlama titreşimi üzerindeki en etkili faktörlerdir. Şekil 2.11’de dalga durumu esnasında sinüzoidal olarak titreşen takımın izleyeceği yol görülmektedir. Talaşlı imalat esnasında  $V$  ve  $t$ ’nin değişken olması, efektif talaş açısı ( $\gamma$ ) ve efektif boşluk açısını ( $\gamma\alpha$ ) sürekli olarak değiştirmektedir.



**Şekil 2.10:** Talaş kaldırma işleminde talaş kalınlığı ve kesme hızının değişme durumu

**Kaynak:** (Neşeli, 2006)

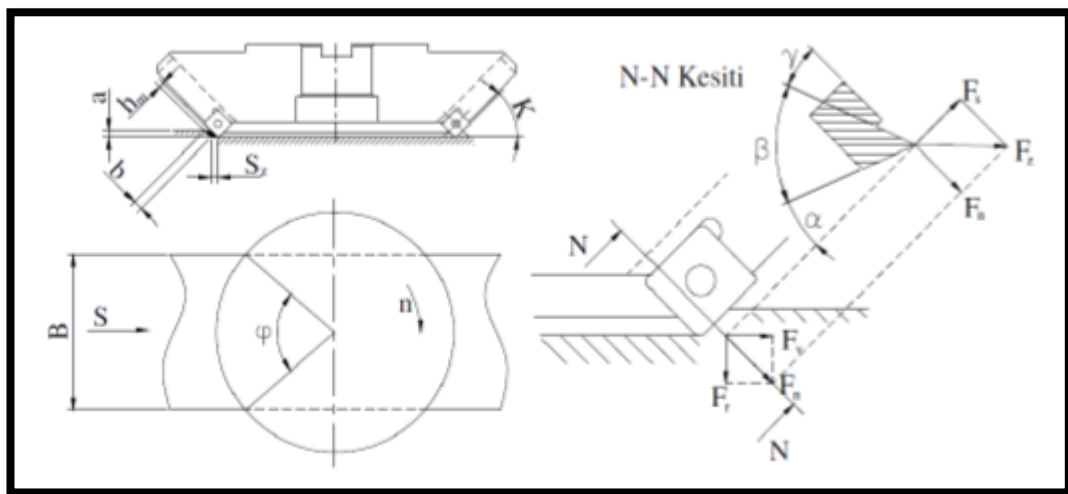
Talaşlı imalatta alın frezeleme işlemlerinde kesici takım işlenen yüzeye dik olarak çalışır. Talaşlı imalar takımın yan kenarı ile gerçekleştirilir (Şekil 2.11). Bu durumda takımın yaklaşma açısı ( $k$ ) imalatı önemli şekilde etkiler. Takımlar için  $k=90^\circ$  ve  $k<90^\circ$  frezeler vardır; genel olarak daha çok  $k<90^\circ$  ( $k=45^\circ \dots 60^\circ$ ) olan takımlar kullanılmaktadır. Takımın en önemli parametrelerinden biri çapıdır ( $d$ ).



**Şekil 2.11:** Metal kesme işleminde dalga oluşumu

**Kaynak:** (Neşeli, 2006)

*Frezeleme işleminde kesme hızı ve ilerleme;* Talaşlı imalatta frezeleme işleminde kendi eksenini etrafında dönen bir freze takımının doğrusal hareket ederek talaş kaldırılacak iş parçasının yüzeyinden talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme işleminde yapılacak işin kalitesini ve doğruluğunu belirleyen parametreler; ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğidir. Talaş derinliği ( $a$ ); kesici takım özelliklerine, malzeme özelliklerine ve işleme kalitesine göre belirlenir. Fakat ilerleme ve kesme hızı sayısal veriler doğrultusunda belirlenerek uygulanır. Kesme hızının hesaplanmasında aşağıdaki denklem 2.1 kullanılır. Devir başına ilerleme hesabı için denklem 2.2 ve dakikada ilerleme için ise denklem 2.3 kullanılır



**Şekil 2.12:** Alın frezelemede açılar ve kesme kuvvetleri

**Kaynak:** (Sarı, 2008)

$$V_c = (\pi.d.n)/1000 \quad (2.1)$$

$$F_n = F/n \quad (2.2)$$

$$U = S.n \quad (2.3)$$

*Frezeleme işleminde kesme kuvvetleri;* Talaşlı imalatla frezeleme işlemlerinde, kesme kuvveti, normal kuvvet, radyal kuvvet ve ilerleme kuvvetleri bulunmaktadır. Frezeleme işleminde bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti ( $F_{sz}$ ) denklem 2.4 ile hesaplanabilir.

$$F_{sz} = A_s.k_s \quad (2.4)$$

Ortalama kesme kuvveti ( $F_s$ ) hesaplanırken denklem 2.5 kullanılır.

$$F_s = Z.F_{sz} \quad (2.5)$$

Talaşlı imalat işlemlerinde birim zamanda kaldırılan talaş miktarını ( $M_{RR}$ ) bulmak içinde aşağıdaki denklem 2.6 kullanılır.

$$M_{RR}=a.d.F \quad (2.6)$$

Diş başına ilerleme miktarı aşağıdaki denklem 2.7 ile hesaplanır.

$$F_z = F/(n.Z_c) \quad (2.7)$$

### 2.4.3 Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı

Geleneksel talaşlı imalatla metaller ve alaşımlarının işlenmesi ile kompozit malzemelerin işlenmesi arasında ciddi farklılıklar vardır. Bu farklılıklar kompozit malzemelerin homojen olmayan, anizotropik ve genellikle tabakalı bir şekilde hazırlanmasından kaynaklanmaktadır. Kompozit malzemelerin içeriğinde yer alan matris, birçok inorganik malzeme ve metaller ile karşılaştırıldığında düşük sıcaklık iletkenliğine sahip olduğundan talaşlı imalat sırasında oluşan ısı sorun yaratır. İşlenen bir kompozit malzemenin genel davranışları matris ve fiberin özelliklerine, fiber ve matrisin bağıl hacmine ve son olarak fiber oryantasyonlarına dayanır. Kompozit malzemelerin talaşlı imaatı sırasında kesme takımı malzemenin sürekli homojen olmayan yapıları ile karşılaşır. İşlem sırasında oluşan talaş, takım geometrisi ve fiber oryantasyonuna bağlı olarak, kaymaya, çatlağa ya da her ikisine

de bağılı olabilir. Kompozit malzemeler içerisinde yer alan aşındırıcı fiber malzemeler takımın kısa sürede aşınmasına sebep olabilir. Kompozit malzemelerin imalatı sırasında takım olarak PCD takımlar tercih edilmelidir. Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı sırasında hasar oluşturan sebepler aşağıdaki gibidir:

- Matris ve fiberin rijitlik derecelerinin farklı olması sebebiyle oluşan delaminasyon (tabakalar arasında oluşan ayrılma).
- Oluşan kesikten çıkışta kompozit malzemenin kırılması ve parçalanması.
- Ayrılmış ya da ezilmiş fiberlerden ortaya çıkan tüylenme.
- Matris yapısının düşük sıcaklık iletkenliğinden dolayı oluşan yanma.

Kompozit malzemelerin içerisindeki aşındırıcı fiber yapı kesici takımların kenarlarını kısa sürede aşındırıp yuvarlaklaştırarak zarar görmesine sebep olabilir. Matris ve fiberin sertlikleri arasındaki fazla fark takım kenarlarının kırılmasına sebep olabilir. Başka bir durum ise eriyen matrisin kesici takımı tıkamasıdır.

*Karbon prepreg malzemelerde frezeleme;* Teknolojide geline son nokta ile metallerin yerini almaya başlayan kompozit malzemelerin kullanım alanına göre üretilip şekil verilmesiyle birlikte bir takım ihtiyaçlar oluşmaya başlamıştır. Bu ihtiyaçlar neticesinde üretilmiş olan kompozit malzemelerin kullanılacak yerine göre yüzey pürüzlülüğünün sağlanıp kullanılacağı yere uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu yapılacak işlemlerde geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinin haricinde çeşitli gereklilikler ortaya çıkmıştır. Bu sorunlar için çözüm arayışına giren üreticiler çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin istenilen ölçü ve yüzey pürüzlülüğü toleranslarına getirilmesi için uygun talaşlı imalat işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinden ilk inceleyeceğimiz frezeleme işlemi düzlemsel parçalar için sıklıkla kullanılıp, istenen tolerans aralığına girebildiğimiz ve doğru ölçü içerisine girdiğimiz son işlemdir. Ancak yapılan frezeleme işlemlerinde kompozit malzeme üzerinde oluşan yüzey hasarları ve pürüzlülük istenmeyen bir durumdur. Ayrıca kompozit malzemeler yapı itibarıyla sert bir yapı olduğundan işlenebilirliği zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerle uygun talaşlı imalat parametrelerini belirlemek yüzey hasarlarını ortadan kaldırmak adına çok önemlidir. Yapacağımız deneysel çalışmada da havacılık alanında en fazla kullanılan karbon prepreg malzemelerin talaşlı imalatı sırasında oluşabilecek sorunların önüne geçmek adına doğru parametreleri seçmek için çalışmalar yapılmıştır.

Karbon prepreg kompozit malzemeler yüksek özgül sertlik, yüksek özgül dayanım ve hafiflik özelliklerinin bileşimine sahiptirler. Bu özellikler genellikle uzay uygulamaları ve havacılık sanayi için bu malzemeyi ilgi çekici kılar. Karbon prepreg malzemeler işlendiğinde son derece serttirler. Bu yüzden frezeleme sürecinde kesici takım ve kesme parametreleri oldukça önemli yer tutar ve işlemin kalitesini belirler.

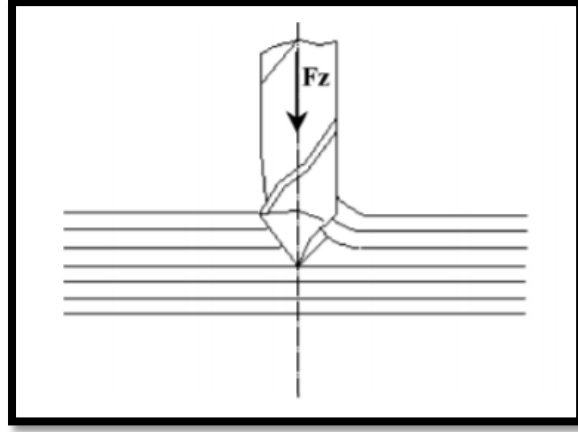
Frezeleme işlemleri kompozit malzemelerin imalatında kalıplama işleminden sonra oldukça fazla kullanılan bir işlemdir. Kalıptan çıkan malzeme olduğu gibi kullanılamaz. Su sebeple daha önceden belirlenmiş bir ölçü toleransı kapsamında fazlalık malzemenin kesilmesi gerekmektedir. Daha çok düzeltici bir işlem olarak kullanılan kompozit malzemelerde talaşlı imalat işlemi, iyi ve yüksek kalitede yüzey sağlanması için çok önemli bir işlemdir.

Yüzey pürüzlülüğü, istenen tolerans aralığında kalma, parçaların mekanik özelliklerini en fazla etkileyen parametrelerdir. Bu sebeplerle iyi bir yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilebilmesi için yapılan araştırmalar ve geliştirmeler frezelemede kullanılacak kesme parametrelerinin optimizasyonu için gerekli zemini hazırlamıştır. Yaptığımız çalışmalarda karbon prepregler kompozit malzemeler için doğru kesme parametrelerini belirlemeye çalıştık. Bu çalışmalar sonucunda ilerleyen bölümlerde çıkan sonuçlar değerlendirmiştir ve sonuçları tartışılmıştır.

*Karbon prepreg malzemelerde delik delme;* Karbon prepreg malzemelerde delik delinmesinde, frezeleme işlemlerinde olduğu gibi kesme parametreleri çok önemlidir. Karbon prepreg malzemelerin sahip oldukları mühendislik özelliklerinden dolayı frezeleme işlemlerinden sonra montaj işlemleri için sorunsuz bir delik delme işlemi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kompozit malzemelerin sahip oldukları yapı itibarıyla uygun ölçü ve tolerans aralığına getirildikten sonra delik delme işlemleri gerçekleştirilir. Yapılan çalışmalar sonucunda yoğun olarak delik delme işlemine daha fazla ihtiyaç duyulmuştur. Delme işleminde delik giriş ve çıkışlarında oluşan yüzey hasarları, kesici takım, kesici takım geometrisi ve kesme parametreleri gibi faktörler dikkate alınarak araştırılmıştır.

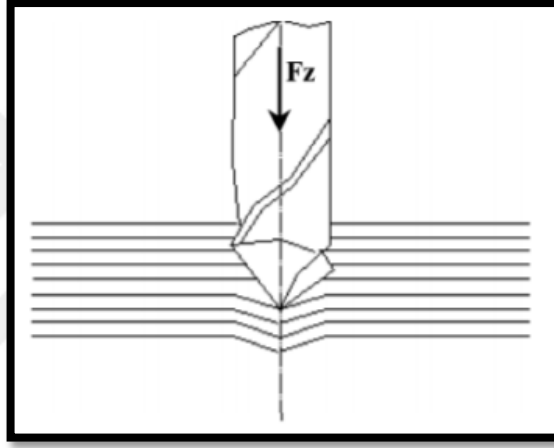
İmalat işlemleri açısından karşılaştırıldığında delik delme işlemi tüm işleme operasyonları açısından işin %40'ını oluşturmaktadır. Bununla birlikte delik delme işleminde delik yüzey hasarı (delaminasyon) ve elyaf kopması gibi bazı sorunlar meydana gelmektedir. Delik giriş ve çıkışında meydana gelen hasar, kompozit





**Şekil 2.14:** Giriş bölgesinde oluşan delaminasyon gösterimi

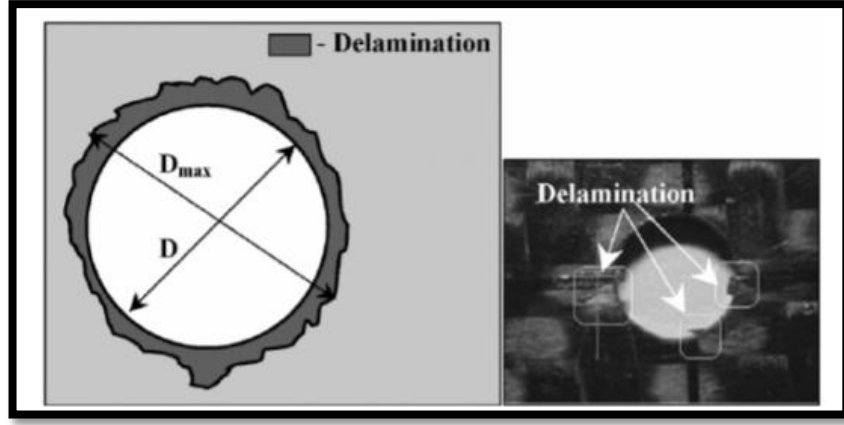
**Kaynak:** (Bayraktar, 2012)



**Şekil 2.15:** Çıkış bölgesinde oluşan delaminasyon gösterimi

**Kaynak:** (Bayraktar, 2012)

Yapılan çalışmalarda kesme parametreleri için delaminasyon faktörü üzerine etkiler araştırılmıştır. Delaminasyon faktörünün kesme hızı, ilerleme oranı ve matkap uç geometrisi gibi delme parametrelerinden etkilendiği ve yapılan çalışmada en düşük delaminasyon faktörünün düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinde oluştuğunu belirlenmiştir (Kılıçkap, 2010). Yapılan bazı çalışmalarda ise takım geometrisinde delaminasyon faktörü için önemli olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin delik delme işlemlerinde devir ve takım uç geometrisindeki açı artışıyla delaminasyon faktörü azalmıştır (Ekici ve Işık, 2009).

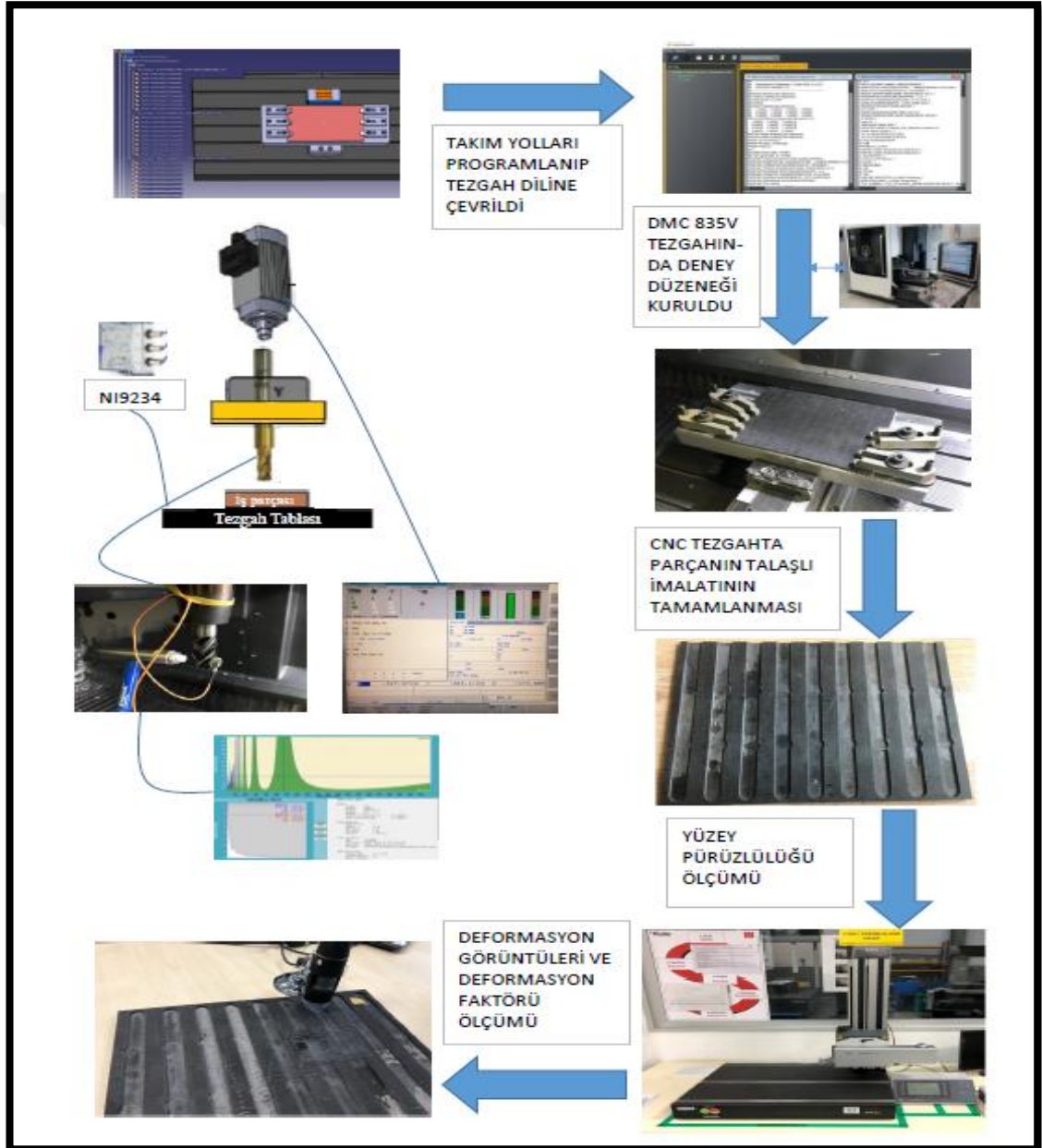


**Şekil 2.16:** Delaminasyon faktörünün gösterimi

**Kaynak:** (Bayraktar, 2012)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Aşağıda Şekil 3.1’de karbon prepreg kompozit malzemenin frezeleme işlemlerinin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1 : Deney düzeneği akış diyagramı

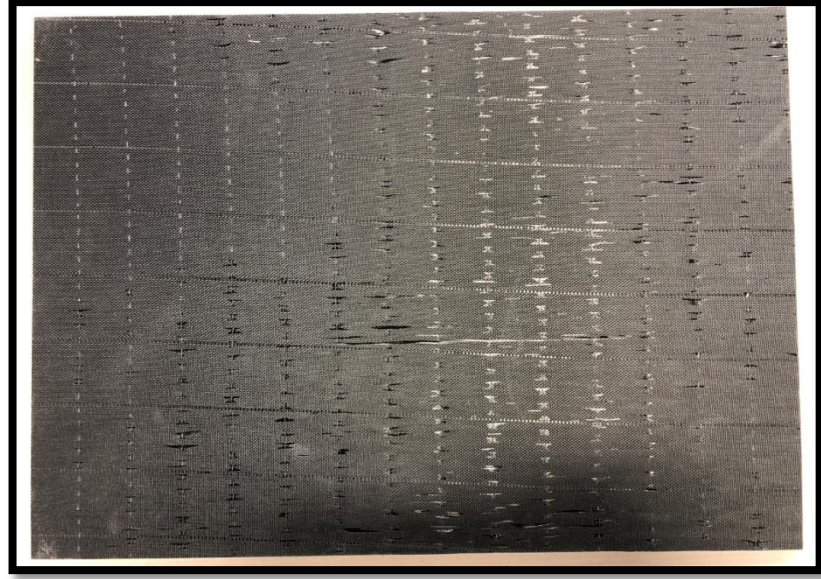
### 3.1 Deneyde Kullanılan Materyaller

#### 3.1.1 Karbon prepreg malzeme

Bu çalışmada havacılık ve uzay sanayisinde çok sık kullanıldığı için frezeleme işlemlerinde karbon prepreg malzemesi tercih edilmiştir. Seçilen karbon prepreg malzemesi için özellikler üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir. Temin edilen malzeme için özellikler üreten firmanın verdiği bilgilere dayanarak belirtilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi ile 10 tabaka olacak şekilde üretilmiştir ve oryantasyon açısı  $0/90^\circ$  'dir. Malzemenin kalınlığı 7 mm' dir. Deneyde kullanılacak olan karbon prepreg malzemenin çekme dayanımı 4220 MPa dir. Şekil 3.2 ve 3.3' de frezeleme işlemlerinde kullanılan karbon prepreg malzemenin görüntüsü verilmiştir. Karbon prepreg malzemedeki frezeleme işlemleri için 3 mm derinliğinde kanallar açılacaktır ve malzeme yüzeyindeki yüzey pürüzlülükleri, deformasyon miktarları hesaplanacaktır. Malzemenin 3 farklı takımla ve takımlarda kullanılan kesme parametreleri sonucunda nasıl tepki verdiği araştırılacaktır.

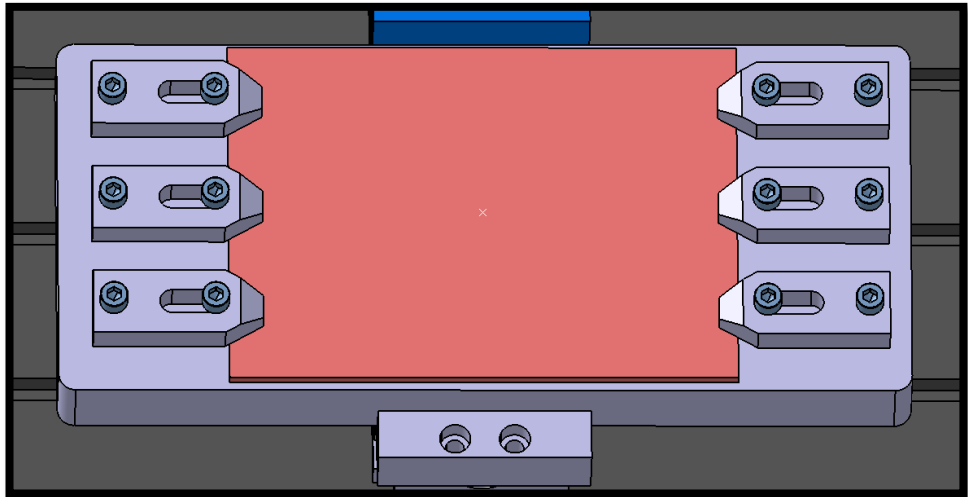


Şekil 3.2 : Karbon prepreg kompozit ön görünüş

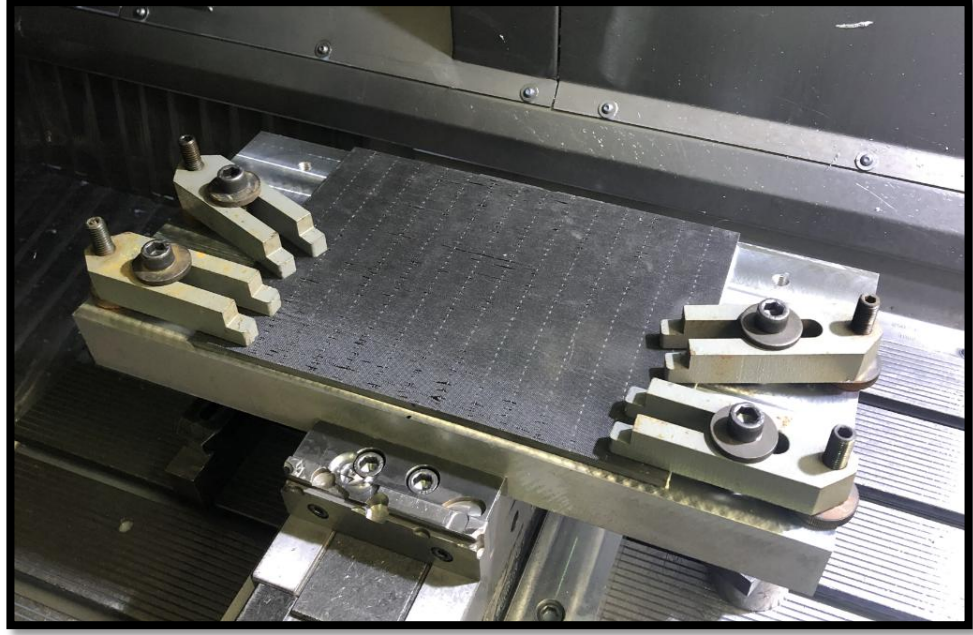


**Şekil 3.3 : Karbon prepreg kompozit arka görünüş**

212 mm genişliğinde ve 298 mm uzunluğunda olan bu karbon prepreg kompozitleri işlemek için 400 mm genişlik ve 500 mm uzunluğunda bir fikstür üzerinde çift taraflı bant yardımıyla bağlanmış ve malzemelerin kaymaması için üzerine Şekil 3.4’de gösterildiği gibi 6 adet pabuç ile basılmıştır. Fakat parça işlerken pabuçları takım yolunda olmasından dolayı değişmeli olarak pabuçların yerleri değiştirilmiştir ve işleme sırasında parka üzerinde toplam 4 adet pabuç bulunmuştur. Malzemenin kesme işlemleri için CATIA programı kullanılmıştır ve cam prosesi programlanmıştır.



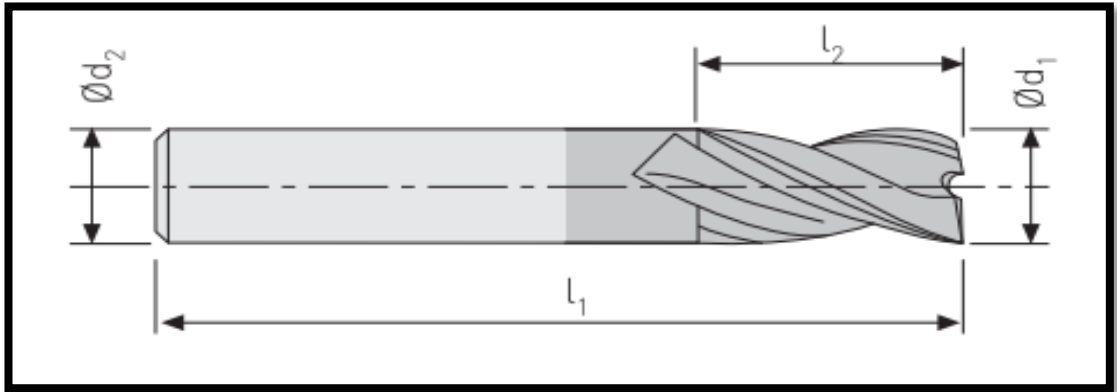
**Şekil 3.4 : CATIA üzerinde karbon prepreg deney düzeneğinin çizimi**



**Şekil 3.5 :** Tezgâh üzerinde bağlanmış karbon prepreg malzeme

### 3.1.2 Deneylerde kullanılan kesici takımlar

Frezeleme işlemleri için çapları 16 mm olan 3 farklı takım kullanılmıştır. Frezelemede kullanılan takımlar 3 ağızlı karbür freze, 4 ağızlı karbür freze ve 7 ağızlı karbür freze takımlarıdır. Kullanılan takımların teknik resimleri Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da, görüntüleri ise Şekil 3.10’da verilmiştir.



**Şekil 3.6 :** Parmak freze teknik resmi

Aşağıdaki şekillerde takımların teknik resime göre teknik verileri verilmiştir;

| Parmak Freze | Ağız Sayısı | Tip          | Ød1 (mm) | Ød2 (mm) | l <sub>1</sub> (mm) | l <sub>2</sub> (mm) |
|--------------|-------------|--------------|----------|----------|---------------------|---------------------|
| Takım 1      | 3           | Karbür Takım | 16       | 15,2     | 75                  | 15                  |

**Şekil 3.7 :** Takım 1 teknik resim verileri

| Parmak Freze | Ağız Sayısı | Tip                        | Ød1 (mm) | Ød2 (mm) | l <sub>1</sub> (mm) | l <sub>2</sub> (mm) |
|--------------|-------------|----------------------------|----------|----------|---------------------|---------------------|
| Takım 2      | 4           | Ti-Al Kaplama Karbür Takım | 16       | 16       | 60                  | 30                  |

**Şekil 3.8 :** Takım 2 Teknik Resim Verileri

| Parmak Freze | Ağız Sayısı | Tip                        | Ød1 (mm) | Ød2 (mm) | l <sub>1</sub> (mm) | l <sub>2</sub> (mm) |
|--------------|-------------|----------------------------|----------|----------|---------------------|---------------------|
| Takım 3      | 7           | Ti-Al Kaplama Karbür Takım | 16       | 16       | 50                  | 48                  |

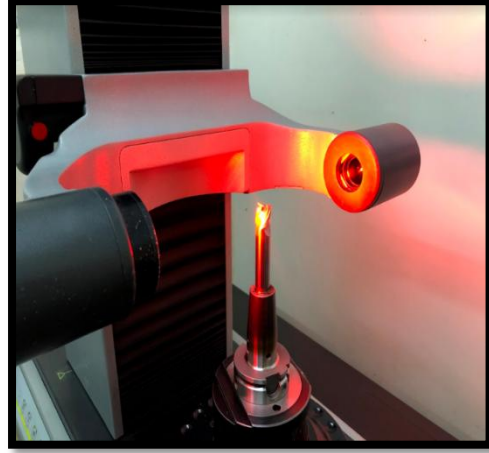
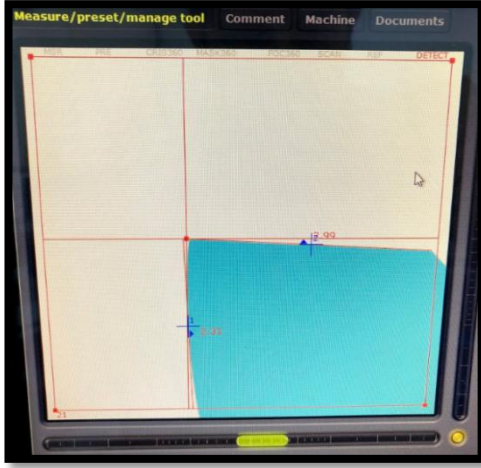
**Şekil 3.9 :** Takım 3 Teknik Resim Verileri



**Şekil 3.10:** 3 ağızlı, 4 ağızlı Ti-Al ve 7 ağızlı Ti-Al karbür freze

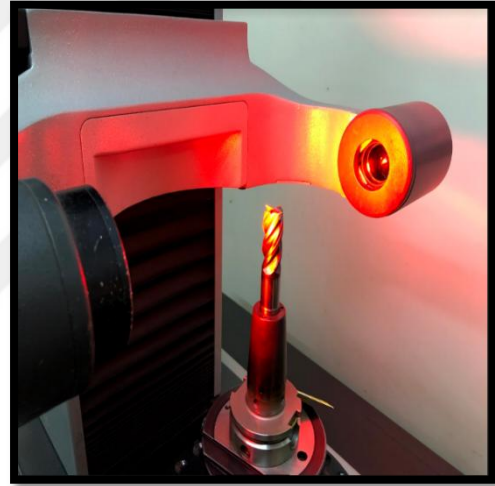
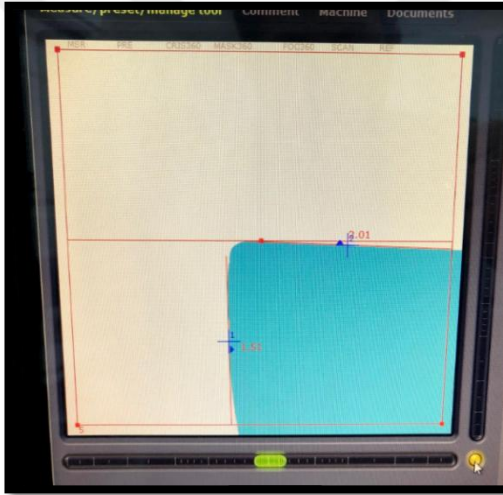
Takımların ölçüm cihazında uç açıları tespit edilmiştir. Aşağıdaki resimlerde yapılan ölçümler ve görüntüleri yer almaktadır.

3 Ağızlı karbür takım için alınan uç açısı 2,99° dir.



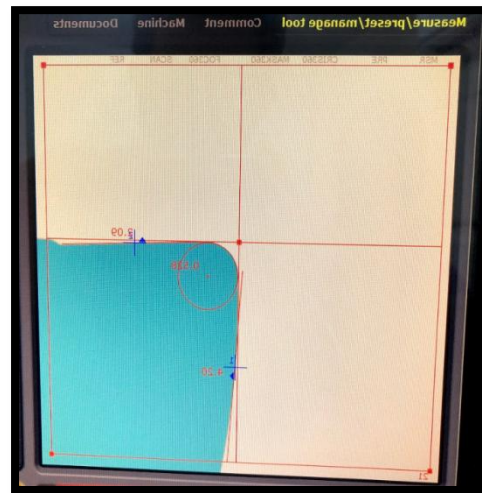
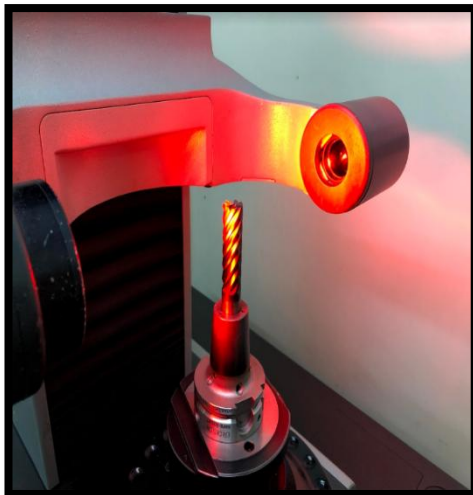
**Şekil 3.11:** 3 Ağızlı karbür takım uç açısı ölçümü

4 Ağızlı Ti-Al karbür takım için alınan uç açısı  $2,01^\circ$  dir.



**Şekil 3.12:** 4 Ağızlı Ti-Al kaplı karbür takım uç açısı ölçümü

4 Ağızlı Ti-Al karbür takım için alınan uç açısı  $2,01^\circ$  dir.



**Şekil 3.13:** 7 Ağızlı Ti-Al kaplı karbür takım uç açısı ölçümü

### 3.1.3 Frezeleme işlemlerinin yapıldığı CNC tezgah

Kompozit malzemenin frezeleme işlemlerinde Kale Havacılık bünyesinde bulunan ve Şekil 3.14’de fotoğrafı verilen (835 x 510) mm2 tabla boyutlarına sahip DMG 835V CNC tezgahı kullanılmıştır. Tezgahın kontrol ünitesi HEIDENHEIN ITCN530 ‘dur.



**Şekil 3.14: DMG DMC 835V Tezgahı**

Tezgahın x-y-z strok boyları 810x510x510 mm’ dir. Tezgah maksimum 18000 devir yapabilmektedir. Magazin sayısı 20’ dir ve tablada slotlar arası mesafe 100 mm ‘dir. Tezgahta pozisyonlama hassasiyeti 0,025 mm dir. Tezgahta içten su verme vardır fakat deneyde karbon prepreg malzeme kesiminde içten su verme kapalı tutulacaktır. Kesme sırasında çıkan talaş ve bununla birlikte takım hareketleride doğru takım değerlendirme açısından önemlidir.

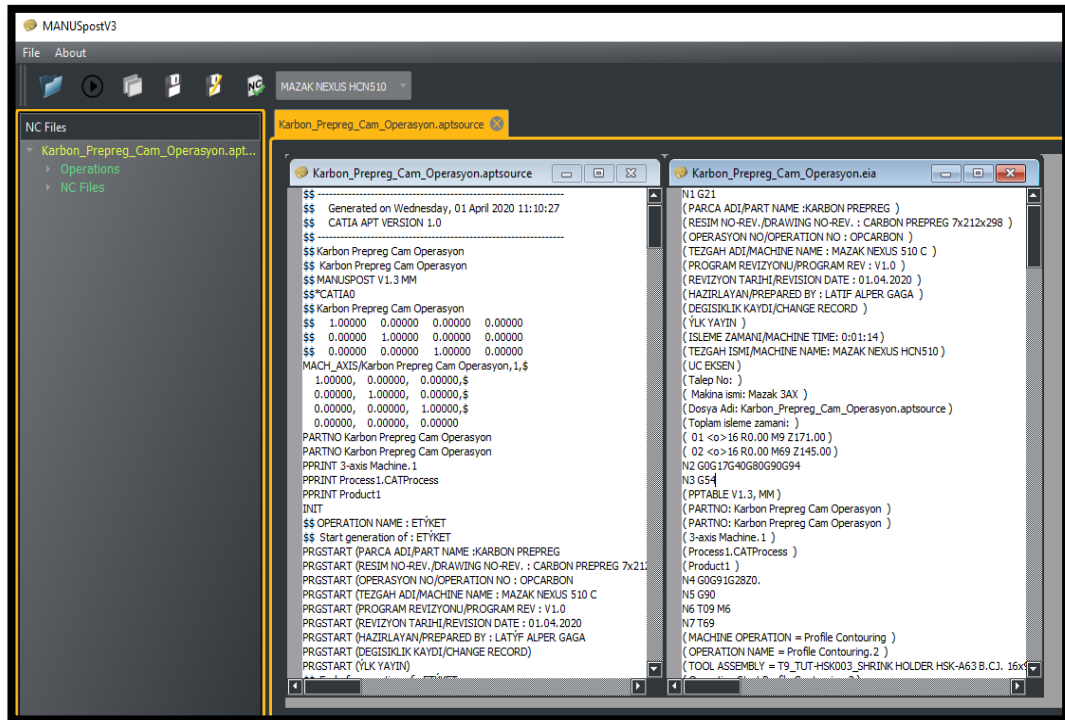
### 3.1.4 Kesme parametrelerinin belirlenmesi

Deneylerde kullanılacak olan takımların kesme parametreleri takım genel geometrileri, kullanılacak CNC tezgah, deney sonuçlarının gözlemlenebilmesi ve ölçülebilmesi için kullanılacak ölçüm aletleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılacak kesme takımları için belirlenen deney parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1: Takım Kesme Parametreleri**

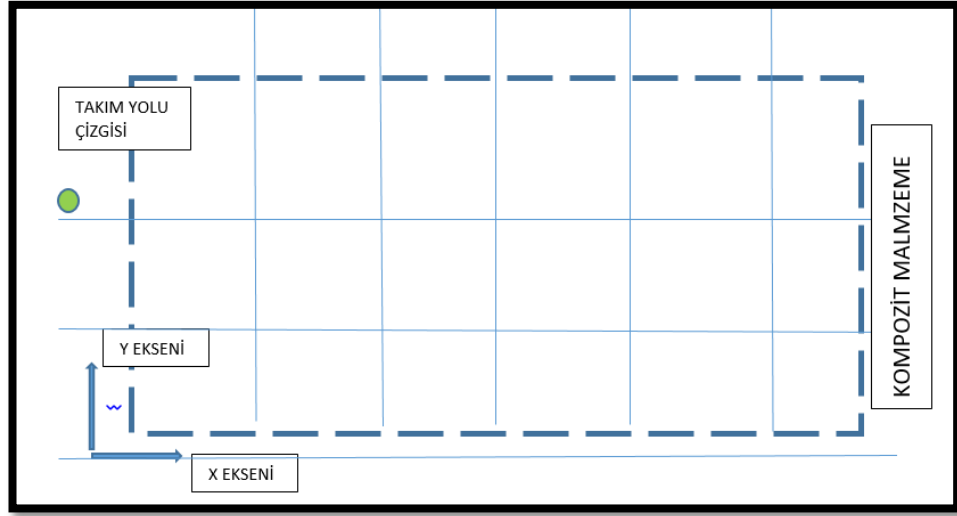
| Deney No | A Talaş Derinliği (mm) | n Dönme devri (dev/dak) | F İlerleme (mm/dk) | s İlerleme (mm7dev) | X Mesafe (mm) | Y Mesafe (mm) |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| 1        | 3                      | 1000                    | 100                | 0,1                 | 0             | 85            |
| 2        | 3                      | 1000                    | 150                | 0,15                | 0             | 85            |
| 3        | 3                      | 1000                    | 200                | 0,20                | 0             | 85            |
| 4        | 3                      | 2000                    | 100                | 0,5                 | 0             | 85            |
| 5        | 3                      | 2000                    | 150                | 0,075               | 0             | 85            |
| 6        | 3                      | 2000                    | 200                | 0,1                 | 0             | 85            |
| 7        | 3                      | 3000                    | 100                | 0,033               | 0             | 85            |
| 8        | 3                      | 3000                    | 150                | 0,05                | 0             | 85            |
| 9        | 3                      | 3000                    | 200                | 0,066               | 0             | 85            |

Programlama için CATIA içinde frezeleme takım yolları için profile contouring takım yolu hazırlanmıştır. Devir, ilerleme, takım kesme derinliği ve takımın izleyeceği yol program içerisinden hazırlanmıştır. CATIA üzerinde takım yollarının hazırlanması sonucunda alınan G kodları Manus Post Processor V3 üzerinde çevrilmiştir. Bu sayede alınan yeni G kodları CNC tezgah tarafından okunabilir hale getirilmiştir. Şekil 3.15’de gösterildiği şekilde program dili dönüştürülmüştür.



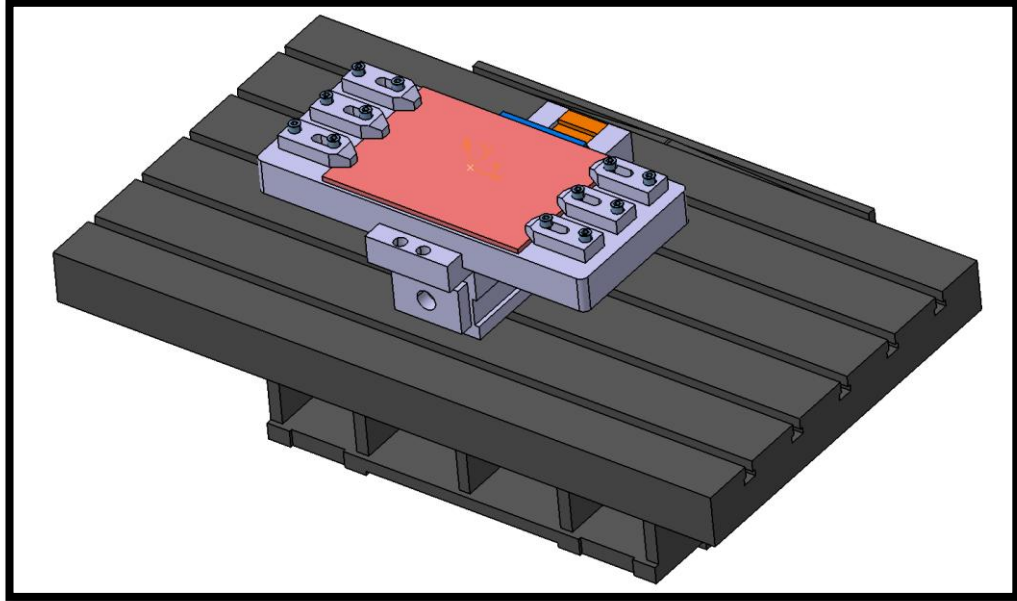
**Şekil 3.15: Manus Post üzerinde NC program görüntüsü**

CNC tezgahı kontrol ünitesi tarafından çalıştırılan G kodlarına göre kesici takımların frezeleme operasyonunda izleyeceği takım yolu Şekil 3.16’da temsili olarak verilmiştir.

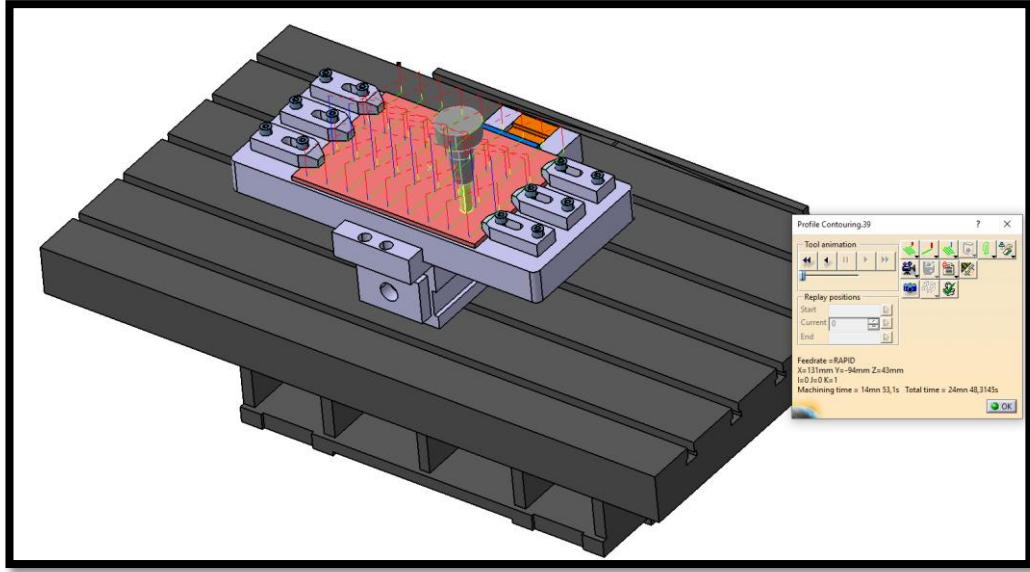


**Şekil 3.16:** Temsili takım yolu gösterimi

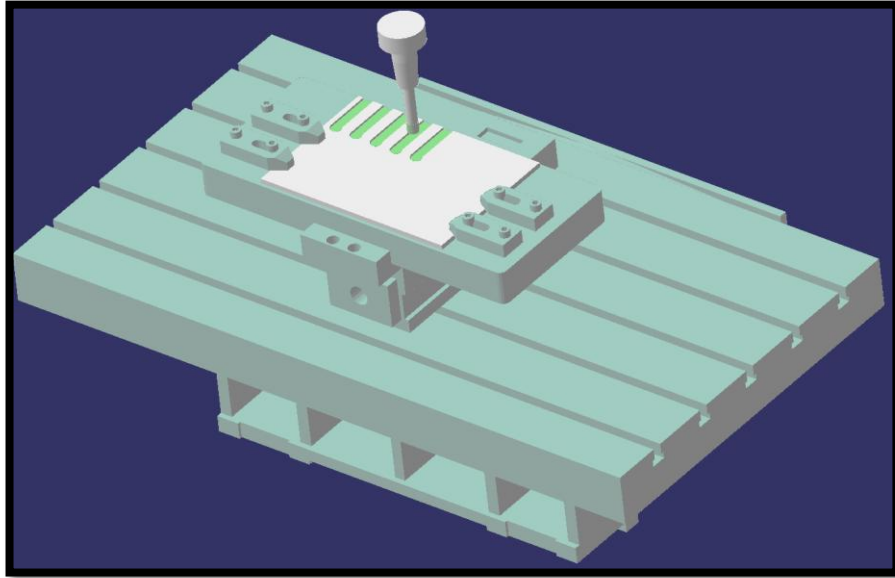
Şematik olarak Şekil 3.13’de gösterilmiş olan takım yollarının CATIA üzerinde görünümü Şekil 3.18’de ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.17:** Fikstürlenmiş malzemenin CATIA üzerinde görünüşü



**Şekil 3.18:** Takım yollarının CATIA üzerinde görünüşü



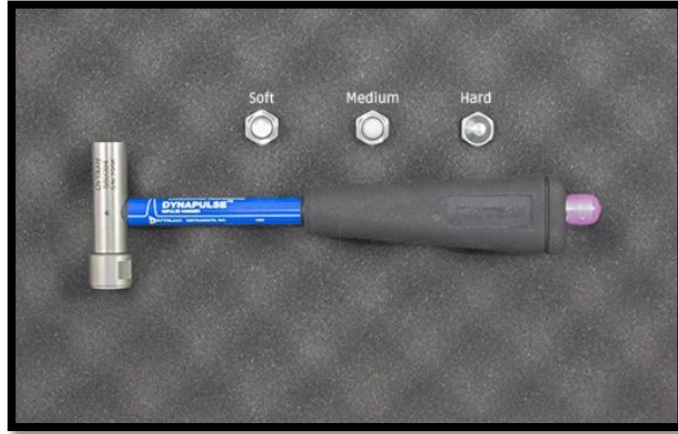
**Şekil 3.19:** İlk takım yolunun CATIA üzerinde çalışması

### 3.1.5 Kesici takım titreşimlerinin ölçümü

Kesme takımlarının frezeleme esnasında üzerinde oluşan titreşimleri ölçmek için Kale Havacılık bünyesinde bulunan Malinc dinamik sinyal toplama modülü kullanılmıştır. Ölçümlerde frekans toplamak için NI9234 modeli kullanılmıştır. Ölçümler, cihazın yazılımı ile bilgisayara gönderilerek elde edilmiş ve grafik şekline getirilmiştir. Şekil 3.20’de NI9234 frekans toplama cihazı, Şekil 3.21’de çekiç testi için kullanılmış olan çekiç ve Şekil 3.22’de takımda oluşan frekansları aktardığı ivme ölçer kablo gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Çekiç testi cihazı frekans algılayıcısı



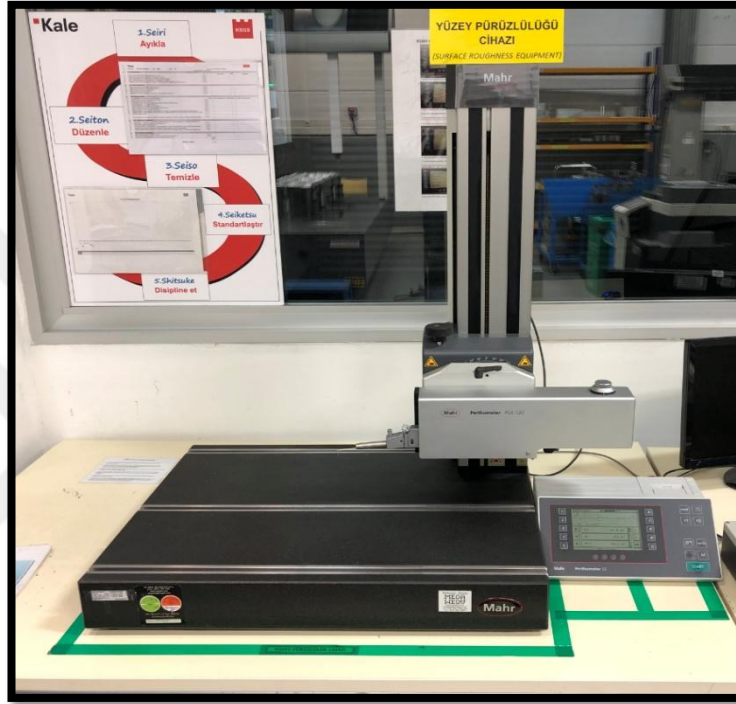
Şekil 3.21: Çekiç testi cihazı çekici



Şekil 3.22: İvme ölçer kablosu

### 3.1.6 Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

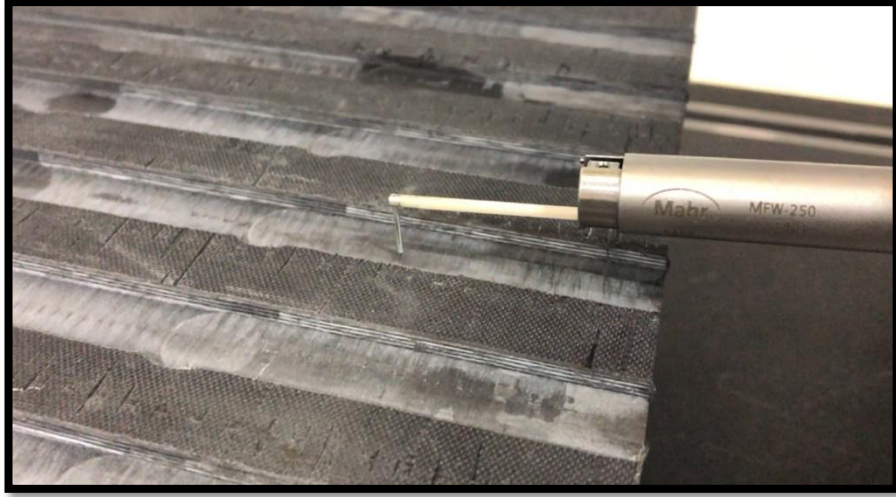
Yapılan frezeleme ve delik delme çalışmaları sonrasında karbon prepreg malzemesi üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler için Kale Havacılık bünyesinde bulunan Mahr Perthometer S2 cihazı kullanılmıştır. Cihaz için uzunluk, genişlik ve yükseklik bilgileri; 330 mm x 60 mm x 120 mm' dir. Cihaz kanal içerisinde 0,250 mm ilerleyerek çalışmıştır.



Şekil 3.23: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı



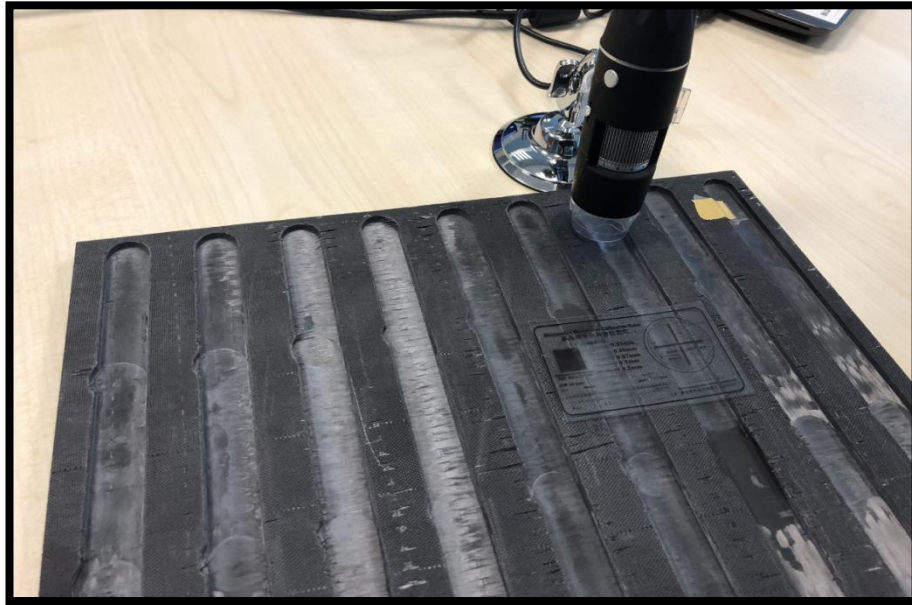
Şekil 3.24: Yüzey pürüzlülüğü cihazı ölçüm bölümü



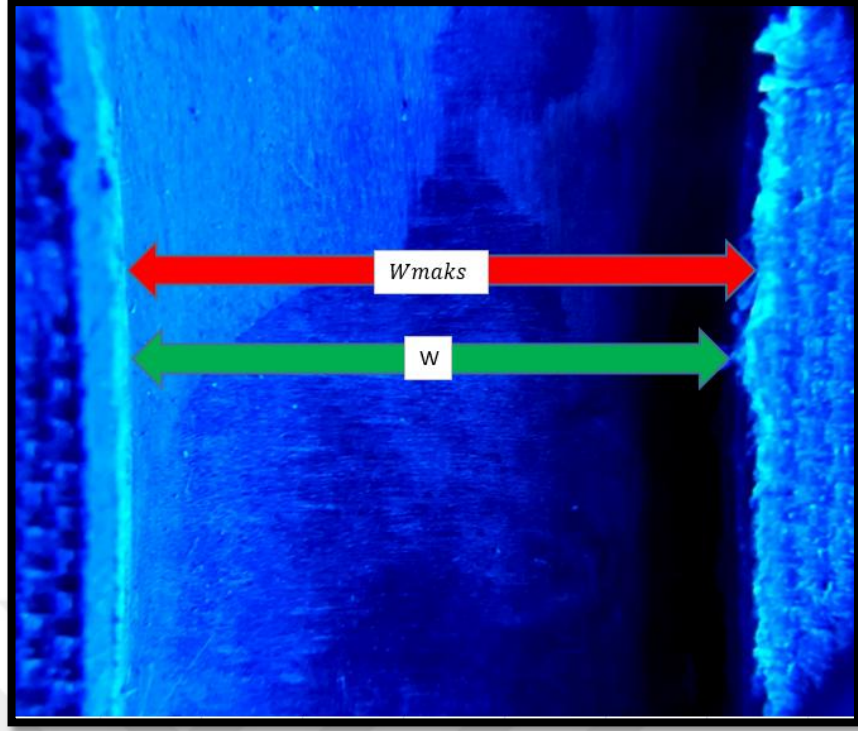
**Şekil 3.25:** Yüzey pürüzlülüğü cihazının parça üzerinde çalışma görüntüsü

### 3.1.7 Deformasyon ölçümü

Frezeleme ve delik delme işlemlerinden sonra kanal etrafında oluşan deformasyon miktarını ölçmek için proment 1000x model bir usb mikroskop kullanılmıştır. Mikroskop ekipmanı olarak kullanılan ölçüm kalibrasyon aparatı ile kanal içerisinde oluşan deformasyonlar ölçümlenmiştir. Karbon prepreg kompozit malzemenin kanal çevresinde meydana gelen deformasyon görüntüsü Şekil 3.27’de verilmiştir.



**Şekil 3.26:** Deformasyon görüntüleme mikroskobu



**Şekil 3.27:** Doformasyon görüntüsü

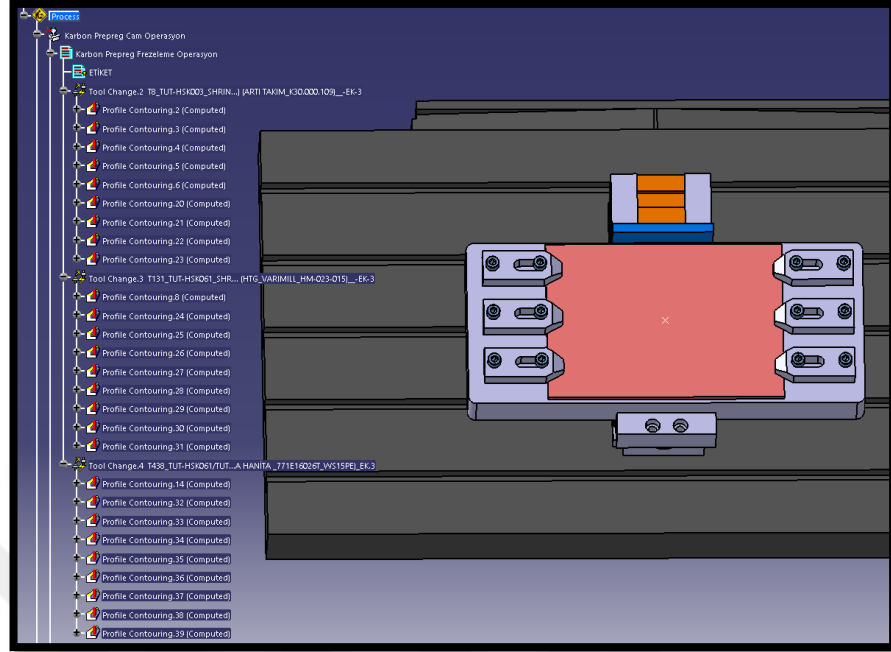
Şekil 3.24’de gösterilen kanal içerisinde deformasyona uğramış maksimum kesit alanı ( $W_{maks}$ ), tüm frezeleme işlemleri için gözlemlendi ve ölçüldü. Her kullanılan parametere için değerlendirildi. Ölçülen deforme olmuş kesit, frezelenmiş kanalın nominal genişliğine ( $W$ ), başka bir ifade ile kesici takım çapına oranlanarak deformasyon faktörü ( $F_d$ ) hesaplanmıştır.

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

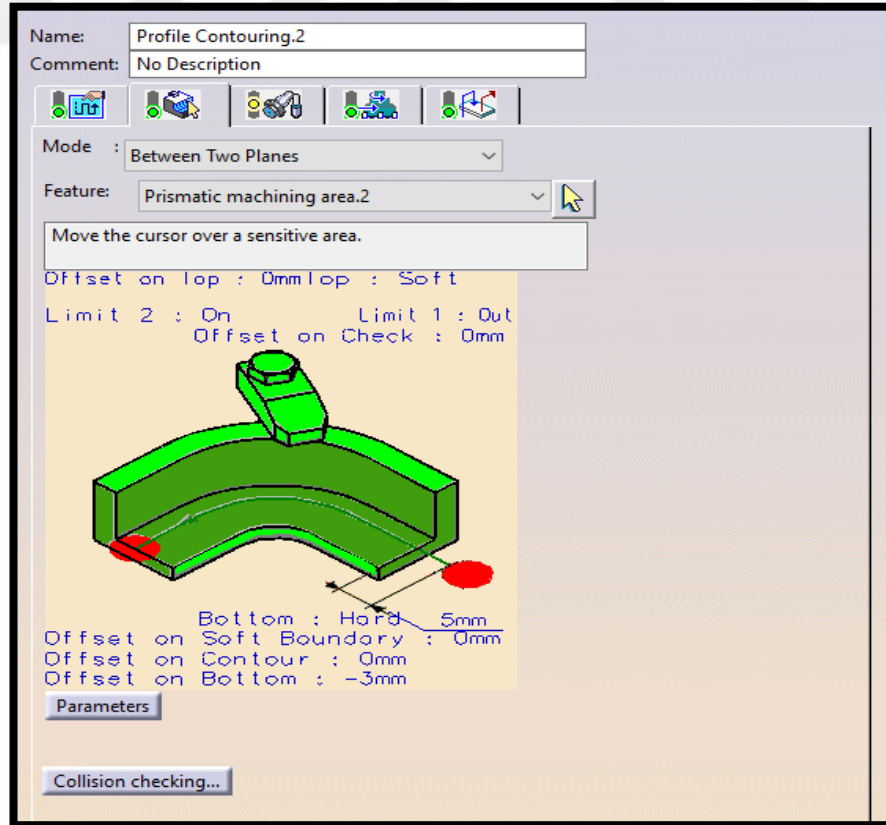
### 3.2 Deneysel Analizler

Karbon prepreg kompozitlerin Ø16 mm çap 3 ağızlı karbür takım, Ø16 mm 4 ağızlı Ti-Al kaplama karbür takım, Ø16 mm 7 ağızlı Ti-Al kaplama karbür takım parmak freze takımları kullanılarak sabit talaş derinliğinde, farklı ilerleme ve dönme devri değerleriyle frezeleme işlemlerinde; talaşlı imalat parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve deformasyon faktörü üzerine etkilerini belirlemek için biz dizi deney işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler için deneyin gerçekleştirildiği CNC tezgahına her bir parametre için farklı şekilde tanımlanan G kodları ile yapılmıştır. G kodlarının oluşturulması için CATIA programı kullanılmıştır. Programlamada CATIA üzerinde profile contouring takım yolu tercih

edilmiştir. 3 eksen tezgah üzerinde yapılan bu işlemlerde kullanılan bu takım yolu verilen değerleri somut bir şekilde takım üzerine yansıtmıştır.



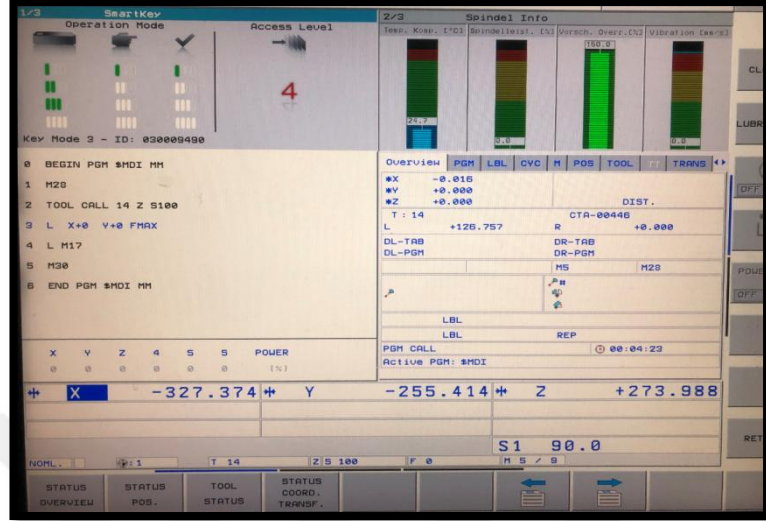
Şekil 3.28: CATIA üzerinde oluşturulan takım yolları ve iş parçası fikstürlü görünümü



Şekil 3.29: Takım yolu parametreleri



Frezeleme işlemlerinde kesme kuvvetleri, CNC tezgahının ana kontrol ünitesi içerisinde alınmıştır. Her bir işlem için kesme kuvvetleri tezgah ana ünitesi tarafından ölçülüp belirlenmiştir.



Şekil 3.32: Tezgâh ünitesi üzerinde kuvvetlerin gösterilmesi

Talaşlı imalat işlemlerinde takımlarda oluşan titreşimlerin ölçümleri, titreşim ölçümleri için kullanılan aparatın parmak freze takımına montajı yapılarak ve bu aparat vasıtası ile alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılmasıyla elde edilmiştir. Takım üzerinden titreşim verilerinin elde edilmesi için bir test düzeneği oluşturulmuş aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



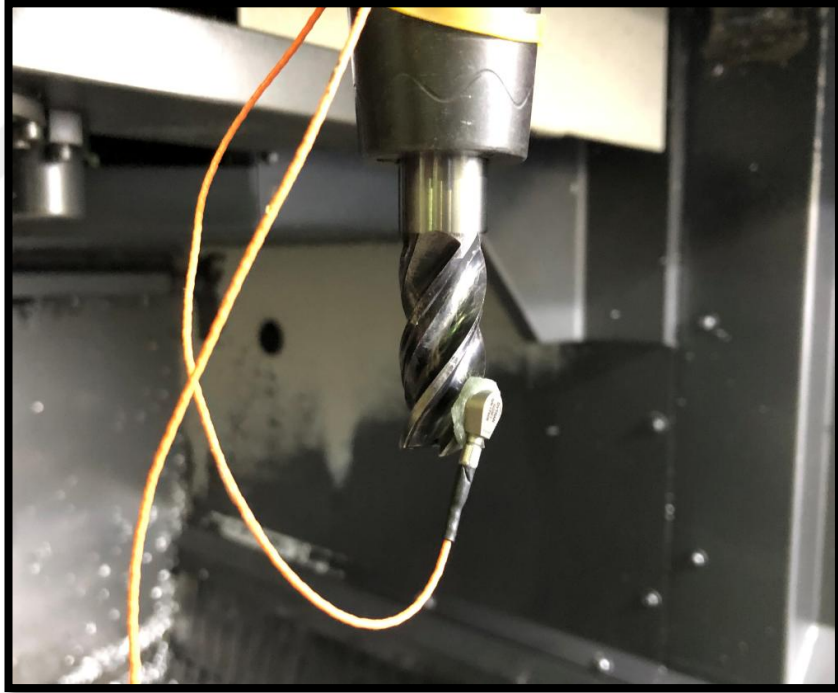
Şekil 3.33: Çekiç testi NI9234 modülü, ivme ve kuvvet ölçme ekipmanları

Şekil 3.34'de ki görüntüde çekiç testi için kullanılan çekiç ve ivme ölçer setup aşamasında gösterilmiştir.



**Şekil 3.34:** İvme ölçer ve çekiç ekipmanları

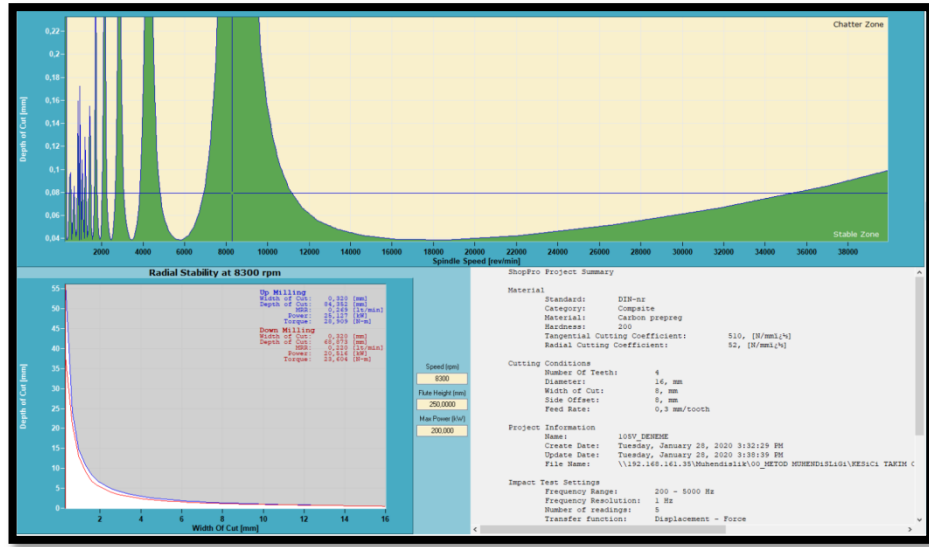
Şekil 3.35’de Ø16 mm karbür takım üzerine bağlanmış ivme ölçer gösterilmiştir. Takım üzerine çekiç ile bir kuvvet uygulanıp oluşan ivmelenme ölçülmüştür.



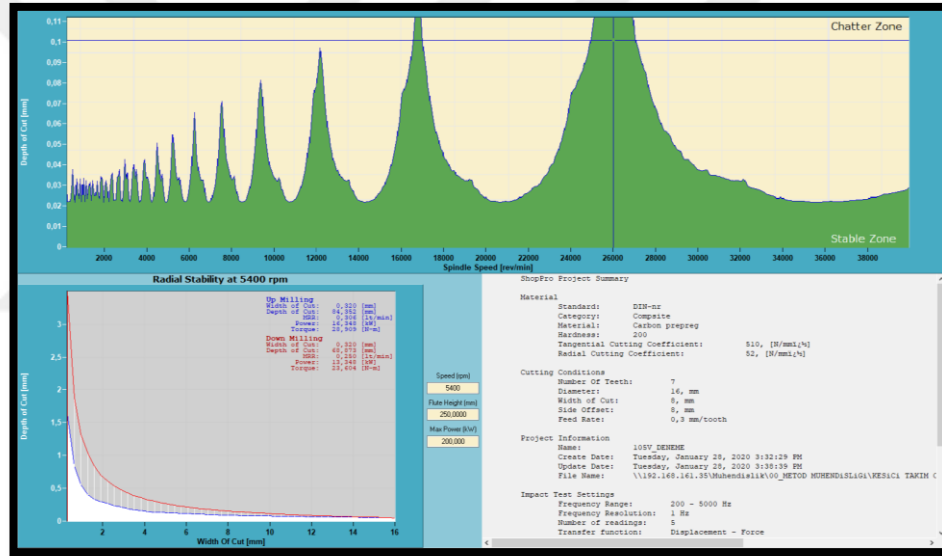
**Şekil 3.35:** Takım üzerine bağlanmış ivme ölçer görünümü

Takım üzerine bağlanmış ivme ölçer ekseninin tam tersi yönünde çekiç ile vurulup takım üzerine uygulanan kuvvet ölçülmüştür.



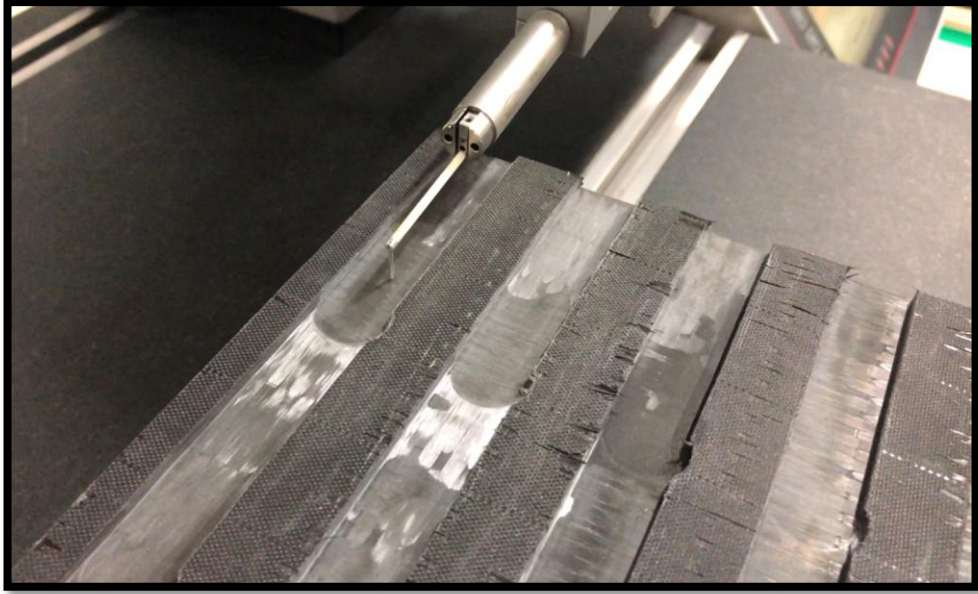


Şekil 3.38: 4 Ağızlı Ti-Al kaplama karbür takım çekiç testi grafiği

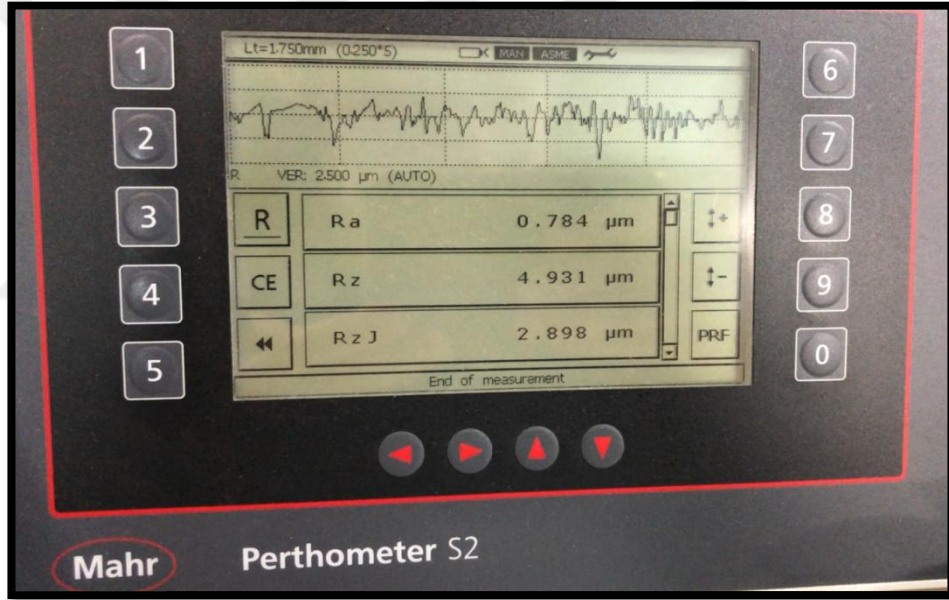


Şekil 3.39: 7 Ağızlı Ti-Al kaplama karbür takım çekiç testi grafiği

Karbon prepreg malzemenin frezeleme işlemlerini tamamladıktan sonra yüzey pürüzlülüğü ölçümlerini yapmak üzere Mahr Perthometer S2 tezgahına getirildi. Malzemenin her kanalı için ölçümler yapıldı ve kayıt edildi. Sonuçlar beklenildiği gibi diş sayısı ve ilerleme değerleri azaldıkça azalan yüzey pürüzlülüğü değeri ile sonuçlandı. Artan devir sayısında yüzey pürüzlülüğünü azaltan bir diğer faktör olmuştur.



**Şekil 3.40:** Parça üzerindeki yüzey pürüzlülüklerinin tespit edilmesi



**Şekil 3.41:** Bir kanal içerisindeki yüzey pürüzlülüğünün okunması

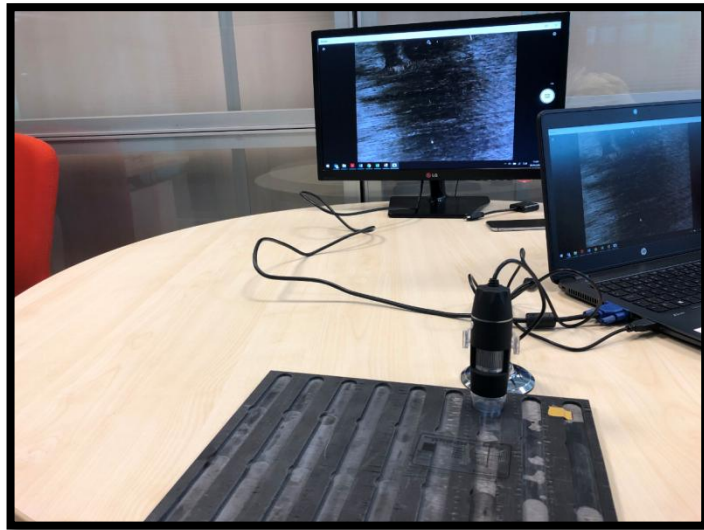
Karbon prepreg malzeme üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri tamamlandıktan sonra frezeleme işlemlerinin yapıldığı kanallar üzerinde deformasyon tespiti yapılmıştır. Malzemede frezenin çalıştığı bölgeler üzerinde mikroskop ile hasar tespitleride yapılmıştır. Yapılan tespitler görüntülenmiştir. Deformasyon faktörü hesaplaması için sonuçlar alınmış ve hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3.42: Parça üzerindeki deformasyonların ölçümünün yapılması



Şekil 3.43: Parça üzerindeki deformasyonların kalibrasyon eki ile tespit edilmesi



Şekil 3.44: Parça üzerindeki deformasyonların görüntülenmesi

Aşağıdaki Çizelge 3.2’de verilen girdi bilgileri ile birlikte yapılan çalışmada birim zamanda kaldırılan talaş miktarı ( $M_{RR}$ ), devir başına ilerleme ( $F_n$ ), diş başı ilerleme değerleri ( $F_z$ ) ve kesme hızı ( $V_c$ ) hesaplanacaktır.

**Çizelge 3.2:** Deney düzeneğinde kullanılan veriler

| Takım                                 | Deney No | Ağız Sayısı $Z_c$ | Takım Çapı (mm) | Kesme Derinliği (mm) | $n$ Dönme devri (dev/dk) | F İlerleme (mm/dk) |
|---------------------------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------|
| 3 Ağızlı Karbür Takım                 | 1        | 3                 | 16              | 3                    | 1000                     | 100                |
|                                       | 2        | 3                 | 16              | 3                    | 1000                     | 150                |
|                                       | 3        | 3                 | 16              | 3                    | 1000                     | 200                |
|                                       | 4        | 3                 | 16              | 3                    | 2000                     | 100                |
|                                       | 5        | 3                 | 16              | 3                    | 2000                     | 150                |
|                                       | 6        | 3                 | 16              | 3                    | 2000                     | 200                |
|                                       | 7        | 3                 | 16              | 3                    | 3000                     | 100                |
|                                       | 8        | 3                 | 16              | 3                    | 3000                     | 150                |
|                                       | 9        | 3                 | 16              | 3                    | 3000                     | 200                |
| 4 Ağızlı Ti-Al Kaplamalı Karbür Takım | 1        | 4                 | 16              | 3                    | 1000                     | 100                |
|                                       | 2        | 4                 | 16              | 3                    | 1000                     | 150                |
|                                       | 3        | 4                 | 16              | 3                    | 1000                     | 200                |
|                                       | 4        | 4                 | 16              | 3                    | 2000                     | 100                |
|                                       | 5        | 4                 | 16              | 3                    | 2000                     | 150                |
|                                       | 6        | 4                 | 16              | 3                    | 2000                     | 200                |
|                                       | 7        | 4                 | 16              | 3                    | 3000                     | 100                |
|                                       | 8        | 4                 | 16              | 3                    | 3000                     | 150                |
|                                       | 9        | 4                 | 16              | 3                    | 3000                     | 200                |
| 7 Ağızlı Ti-Al Kaplamalı Karbür Takım | 1        | 7                 | 16              | 3                    | 1000                     | 100                |
|                                       | 2        | 7                 | 16              | 3                    | 1000                     | 150                |
|                                       | 3        | 7                 | 16              | 3                    | 1000                     | 200                |
|                                       | 4        | 7                 | 16              | 3                    | 2000                     | 100                |
|                                       | 5        | 7                 | 16              | 3                    | 2000                     | 150                |
|                                       | 6        | 7                 | 16              | 3                    | 2000                     | 200                |
|                                       | 7        | 7                 | 16              | 3                    | 3000                     | 100                |
|                                       | 8        | 7                 | 16              | 3                    | 3000                     | 150                |
|                                       | 9        | 7                 | 16              | 3                    | 3000                     | 200                |

Çizelge 3.2’de verilen bilgilere göre hesaplamalar aşağıdaki gibi olmaktadır;

Kesme hızlarının hesaplanması;

$$V_c = (\pi.d.n)/1000 \quad (3.2)$$

Deney no 1 deki verileri kullandığımızda sonuç aşağıdaki gibi hesaplanacaktır;

$$V_c = (3,14.16.1000)/1000 = 50,24 \text{ m/dk}$$

Devir başına ilerlemenin hesaplanması;

$$F_n = F/n \quad (3.3)$$

Deney no 1 deki verileri kullandığımızda sonuç aşağıdaki gibi hesaplanacaktır;

$$F_n = 100/1000 = 0,1 \text{ mm/dev}$$

Diş başına ilerlemenin hesaplanması;

$$F_z = F/(n.Z_c) \quad (3.4)$$

Deney no 1 deki verileri kullandığımızda sonuç aşağıdaki gibi hesaplanacaktır;

$$F_z = 100/(1000.3) = 0,0333 \text{ mm/dev}$$

Birim zamanda kaldırılan talaş miktarının hesaplanması;

$$M_{RR} = a.d.F \quad (3.5)$$

Deney no 1 deki verileri kullandığımızda sonuç aşağıdaki gibi hesaplanacaktır;

$$M_{RR} = 3.16.100 = 4800 \text{ mm}^3/\text{dk}$$

Hesaplanan veriler dahilinde toplu sonuçlar Çizelge 3.3 'deki gibidir;

**Çizelge 3.3:** Deney verileri ile hesaplanan tüm değerler

| Deney No | Material Removal Rate<br>$M_{rr} = w.d.f = \text{mm}^3/\text{dk}$ | Devir Başına İlerleme<br>$F_n = F/n = \text{mm/dev}$ | Diş Başı İlerleme<br>$F_z = F/(n.Z_c) = \text{mm/dev}$ | Kesme Hızı<br>$V_c = (3,14.d.n)/1000 = \text{m/dk}$ |
|----------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1        | 4800                                                              | 0,1000                                               | 0,0333                                                 | 50,24                                               |
| 2        | 7200                                                              | 0,1500                                               | 0,0500                                                 | 50,24                                               |
| 3        | 9600                                                              | 0,2000                                               | 0,0667                                                 | 50,24                                               |
| 4        | 4800                                                              | 0,0500                                               | 0,0167                                                 | 100,48                                              |
| 5        | 7200                                                              | 0,0750                                               | 0,0250                                                 | 100,48                                              |
| 6        | 9600                                                              | 0,1000                                               | 0,0333                                                 | 100,48                                              |
| 7        | 4800                                                              | 0,0333                                               | 0,0111                                                 | 150,72                                              |
| 8        | 7200                                                              | 0,0500                                               | 0,0167                                                 | 150,72                                              |
| 9        | 9600                                                              | 0,0667                                               | 0,0222                                                 | 150,72                                              |
| 1        | 4800                                                              | 0,1000                                               | 0,0250                                                 | 50,24                                               |
| 2        | 7200                                                              | 0,1500                                               | 0,0375                                                 | 50,24                                               |
| 3        | 9600                                                              | 0,2000                                               | 0,0500                                                 | 50,24                                               |
| 4        | 4800                                                              | 0,0500                                               | 0,0125                                                 | 100,48                                              |
| 5        | 7200                                                              | 0,0750                                               | 0,0188                                                 | 100,48                                              |
| 6        | 9600                                                              | 0,1000                                               | 0,0250                                                 | 100,48                                              |
| 7        | 4800                                                              | 0,0333                                               | 0,0083                                                 | 150,72                                              |
| 8        | 7200                                                              | 0,0500                                               | 0,0125                                                 | 150,72                                              |
| 9        | 9600                                                              | 0,0667                                               | 0,0167                                                 | 150,72                                              |

**Çizelge 3.3: Devamı**

| Deney No | Material Removal Rate<br>$Mrr = w.d.f =$<br>mm <sup>3</sup> /dk | Devir Başına İlerleme<br>$F_n = F/n$<br>=mm/dev | Diş Başı İlerleme<br>$F_z = F/(n.Z_c) =$<br>mm/dev | Kesme Hızı<br>$V_c = (3,14.d.n)/1000$<br>= m/dk |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1        | 4800                                                            | 0,1000                                          | 0,0143                                             | 50,24                                           |
| 2        | 7200                                                            | 0,1500                                          | 0,0214                                             | 50,24                                           |
| 3        | 9600                                                            | 0,2000                                          | 0,0286                                             | 50,24                                           |
| 4        | 4800                                                            | 0,0500                                          | 0,0071                                             | 100,48                                          |
| 5        | 7200                                                            | 0,0750                                          | 0,0107                                             | 100,48                                          |
| 6        | 9600                                                            | 0,1000                                          | 0,0143                                             | 100,48                                          |
| 7        | 4800                                                            | 0,0333                                          | 0,0048                                             | 150,72                                          |
| 8        | 7200                                                            | 0,0500                                          | 0,0071                                             | 150,72                                          |
| 9        | 9600                                                            | 0,0667                                          | 0,0095                                             | 150,72                                          |

#### 4. DENEYSEL ANALİZLERİN SONUÇLARI

Talaşlı imalat işlemlerinde, imalat aşamasında kesici takım ile iş parçası arasında gerçekleşen temas bir sürtünme meydana getirmektedir. Bu sürtünme devir, ilerleme, iş parçası ve kesici takım malzemesi gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Seçilen bu parametrelerin yanlış olması takıma binen yüklerin ve titreşimlerin artmasına sebep olur. Bu olumsuz durum iş parçasından beklenen kalitenin düşmesine sebep olur. Karbon prepreg kompozit malzemesinin farklı talaşlı imalat parametreleri ile frezelenmesinin titreşim, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerine etkileri araştırılmış ve sonuçları değerlendirmek üzere Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1:** Karbon prepreg kompozit malzemesinin farklı parametrelerle frezelenmesinden elde edilen sonuçlar

| Takım                                           | Deney No | n<br>Dönme<br>devri<br>(dev/dk) | F<br>İlerleme<br>(mm/dk) | Kesme<br>Kuvveti<br>(N) | Deformasyon<br>Faktörü<br>(Fd) | Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>Ra (µm) |
|-------------------------------------------------|----------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 3 Ağızlı<br>Karbür<br>Takım                     | 1        | 1000                            | 100                      | 66,84                   | 1,0308                         | 1,23                            |
|                                                 | 2        | 1000                            | 150                      | 67,65                   | 1,0331                         | 1,336                           |
|                                                 | 3        | 1000                            | 200                      | 69,58                   | 1,0563                         | 1,772                           |
|                                                 | 4        | 2000                            | 100                      | 63,12                   | 1,0244                         | 1,163                           |
|                                                 | 5        | 2000                            | 150                      | 64,99                   | 1,0338                         | 1,296                           |
|                                                 | 6        | 2000                            | 200                      | 68,73                   | 1,0498                         | 1,513                           |
|                                                 | 7        | 3000                            | 100                      | 55,34                   | 1,0091                         | 0,907                           |
|                                                 | 8        | 3000                            | 150                      | 60,35                   | 1,0144                         | 1,053                           |
|                                                 | 9        | 3000                            | 200                      | 66,23                   | 1,0431                         | 1,431                           |
| 4 Ağızlı<br>Ti-Al<br>Kaplama<br>Karbür<br>Takım | 1        | 1000                            | 100                      | 62,65                   | 1,0300                         | 1,207                           |
|                                                 | 2        | 1000                            | 150                      | 64,27                   | 1,0358                         | 1,325                           |
|                                                 | 3        | 1000                            | 200                      | 65,17                   | 1,0538                         | 1,585                           |
|                                                 | 4        | 2000                            | 100                      | 58,64                   | 1,0213                         | 1,158                           |
|                                                 | 5        | 2000                            | 150                      | 59,52                   | 1,0373                         | 1,253                           |
|                                                 | 6        | 2000                            | 200                      | 59,94                   | 1,0471                         | 1,507                           |
|                                                 | 7        | 3000                            | 100                      | 50,88                   | 1,0094                         | 0,954                           |
|                                                 | 8        | 3000                            | 150                      | 55,23                   | 1,0104                         | 1,045                           |
|                                                 | 9        | 3000                            | 200                      | 61,62                   | 1,0406                         | 1,35                            |

**Çizelge 4.1: Devamı**

| Takım                                           | n                       | F                   | Kesme          | Deformasyon     | Yüzey                  |       |
|-------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------------|-------|
| Deney No                                        | Dönme devri<br>(dev/dk) | İlerleme<br>(mm/dk) | Kuvveti<br>(N) | Faktörü<br>(Fd) | Pürüzlülüğü<br>Ra (μm) |       |
| 7 Ağızlı<br>Ti-Al<br>Kaplama<br>Karbür<br>Takım | 1                       | 1000                | 100            | 56,23           | 1,0263                 | 1,191 |
|                                                 | 2                       | 1000                | 150            | 57,95           | 1,0350                 | 1,315 |
|                                                 | 3                       | 1000                | 200            | 58,22           | 1,0513                 | 1,556 |
|                                                 | 4                       | 2000                | 100            | 52,45           | 1,0175                 | 1,076 |
|                                                 | 5                       | 2000                | 150            | 53,51           | 1,0321                 | 1,245 |
|                                                 | 6                       | 2000                | 200            | 54,56           | 1,0456                 | 1,436 |
|                                                 | 7                       | 3000                | 100            | 48,56           | 1,0088                 | 0,787 |
|                                                 | 8                       | 3000                | 150            | 49,96           | 1,0100                 | 0,972 |
|                                                 | 9                       | 3000                | 200            | 51,33           | 1,0384                 | 1,338 |

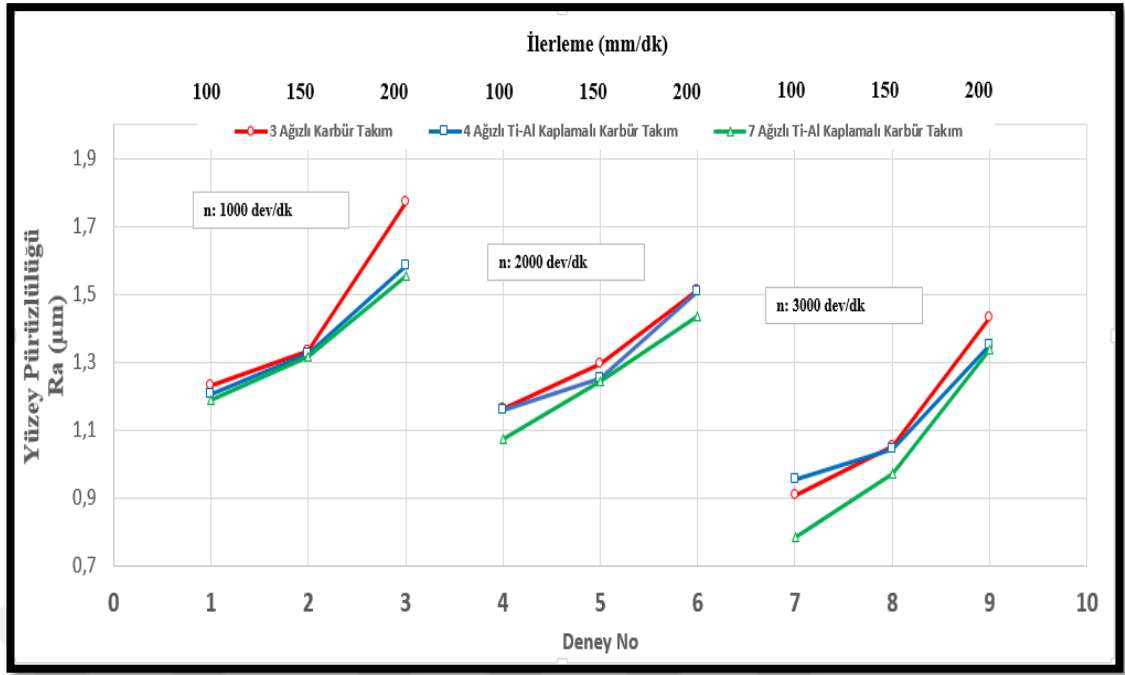
Çizelge 4.1’de verilen kesme kuvveti değerleri tezgahın kontrol ünitesinden alınmıştır.

Alınan veriler ve uygulanan kuvvetler ile birlikte parça üzerinde gerçekleştirilen talaşlı imalatın bazı bilgilerin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır ve sonuçları paylaşılmıştır;

#### 4.1 Frezeleme İşlemlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Talaşlı imalat parametrelerine bağlı iş parçasının kalite özelliklerini belirleyen en önemli unsurlardan biri yüzey pürüzlülüğüdür. İmalatı tamamlanmış bir iş parçasının kalitesi, parçanın performans kalitesi ile belirlenir. Yüzey pürüzlülüğünün istenen değerlerde yakalanamamış olması parçanın mekanik özelliklerindeki negative yönde etkileyebilir ve imal edilmiş olan parçanın kullanım ömrünü azaltabilir. Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı yapılırken yüzey pürüzlülük değerinin belirli bir kalitede olması beklenir. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, talaşlı imalat sırasında kullanılan takımın geometrisi, ilerlemesi, takımın dönme devri ve talaş derinliği gibi işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkileri vardır. Bu parametrelerin birbiri ile uyumlu olması talaşlı imalat işlemlerinin verimli olmasını ve yüzey pürüzlülüğünün talep edilen toleranslar dahilinde gerçekleşmesini sağlar.

Karbon prepreg malzemeler için farklı talaşlı imalat parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülük değeri grafiği karşılaştırması Şekil 4.1’de verilmiştir.

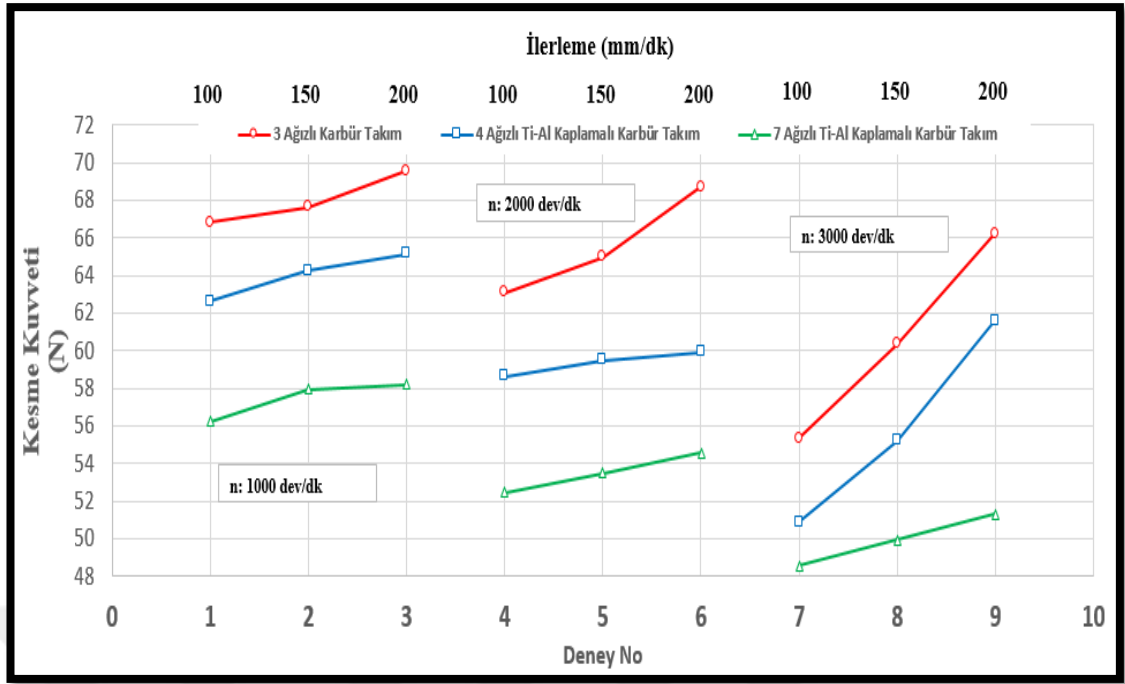


**Şekil 4.1 :** İlerleme, dönme devri ve takım cinsine bağlı yüzey pürüzlülüğünün karşılaştırılması

#### 4.2 Frezeleme İşlemlerinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Talaşlı imalat işlemlerinde iş parçasına şekil verebilmek ve talaş kaldıracabilmek için gerekli olan kuvvete kesme kuvveti denir. Talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetleri malzemeyi oluşturan bileşenlere, mikroyapısına, kullanılan kesici takım malzemesine, sertliğine, takımın uç geometrisine, imalat parametrelerine, tezgahdaki rijitlik ve oluşan ısı gibi imalatı etkileyen parametrelere bağlıdır. Bu durumda kesme kuvvetlerinin ilerleme miktarı, kesici takım devri ve kesme ortamı gibi talaşlı imalat parametrelerinden ne şekilde etkilendiğini bilmek gerekmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda karbon prepreg kompozit malzemelerin frezelenmesinde elde edilen kesme kuvvetleri hesaplanmıştır ve grafikler ile parametrelerin değişimiyle kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Kesme kuvvetleri üzerinde ilerleme, dönme devri ve takım cinsinin oluşturduğu etkinin grafiklerinin karşılaştırması Şekil 4.2’de verilmiştir.



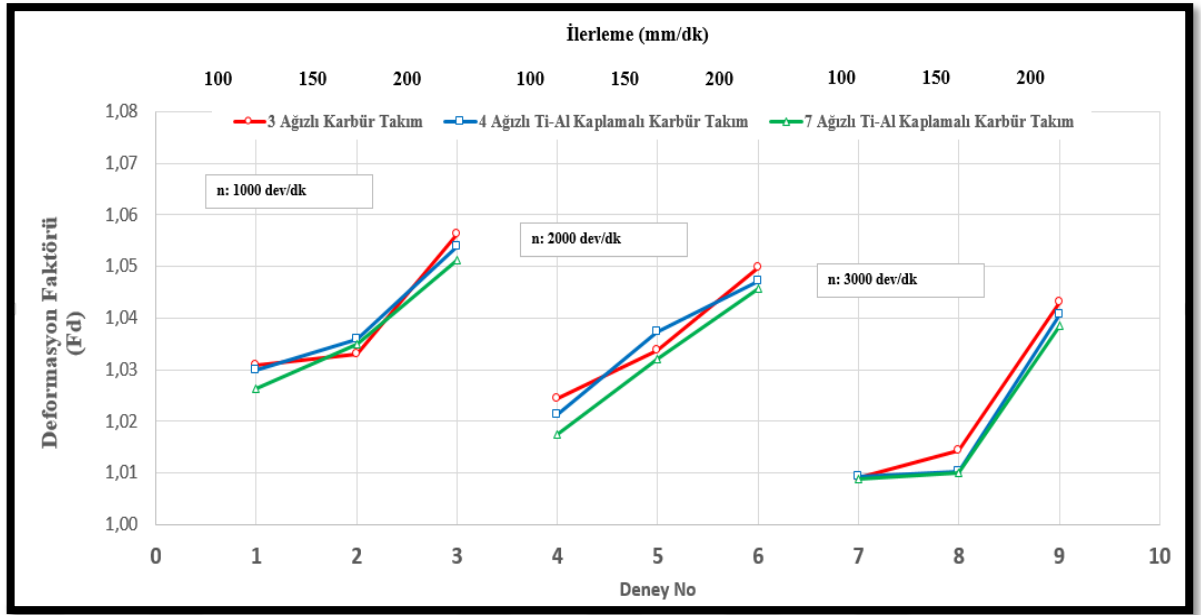
**Şekil 4.2 :** İlerleme, dönme devri ve takım cinsine bağlı kesme kuvveti grafiklerinin karşılaştırılması

#### 4.3 Frezeleme İşlemlerinin Deformasyon Faktörüne Etkisi

Genel olarak kompozit malzemeler metal alaşımlı malzemeler ile kıyaslandığında talaşlı imalat işlemleri yapılırken malzeme üzerinde hasarlar meydana gelmektedir. Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında meydana gelen hasarlar genel olarak deformasyon, fiber/matris yüzey ayrılması ve elyaf kırılmasıdır. Bu hasarlar sebebiyle kompozit malzemenin mekanik özellikleri zayıflamakta ve malzemenin ömrü azalmaktadır. Aynı zamanda bu hasarlar kontrol edilemezse kalitede ciddi olumsuzluklar ortaya çıkacaktır. Bu sebeple kompozit malzemeler işlenirken oluşabilecek hasarları minimuma indirmek gerekmektedir. Minimum hasar oluşması için talaşlı imalat girdilerinin, kesici takım cinsinin, malzemesinin ve takım geometrisinin imalatı yapılacak malzemeye uygun seçilmesi gerekmektedir.

Karbon prepreg malzemelerin talaşlı imalatı sonrasında kanallar arasında oluşan deformasyon miktarları ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda deformasyon faktörü ortaya çıkartılmıştır ve talaşlı imalat sırasında kullanılan dönme devri, ilerleme ve kesici takım cinsine göre grafikleri oluşturulmuştur.

Karbon prepreg malzemelerin ilerleme, dönme devri ve takım cinsine göre grafikleri karşılaştırması Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 : İlerleme, dönme devri ve takım cinsine deformasyon faktörü grafiklerinin karşılaştırılması

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada karbon prepreg kompozitlerin 3 ağızlı karbür takım, 4 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım ve 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım parmak freze takımları ile frezelenmesinde, takım cinsinin, dönme devrinin ve ilerlemenin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerinde nasıl sonuçlar ortaya çıkardığı deneyler ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan veriler aşağıda verilmiştir.

Frezeleme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileri;

- Karbon prepreg malzemenin frezelenmesinde oluşan kesme kuvveti; kesici takım cinsinden, dönme devrinden ve ilerlemeden önemli derecede etkilenmiştir.
- Dönme devrinin artması ile kesme kuvvetleri azalma eğilimi göstermiştir.
- Kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametre olarak ilerleme değişmesi tespit edilmiştir. İlerlemenin yüksek olduğu durumlarda takım kompozit malzeme üzerinde daha az çalışmıştır ve fiberleri kopartmıştır. Dolayısıyla artan ilerleme oranı ile kesme kuvveti artma eğilimi göstermiştir.
- Kesici takımların kesme kuvvetine nasıl etki ettikleri incelendiğinde, kesme kuvveti değişimleri küçükten büyüğe doğru 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım, 4 ağızlı ti-Al kaplamalı karbür takım ve 3 ağızlı karbür takımlarından elde edilmiştir.
- Karbon prepreg kompozitlerin talaşlı imalatı sonrasında 3 ağızlı karbür takım için 55,34 N ile 69,58 N arasında, 4 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım için 50,88 N ile 65,17 N arasında ve 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür takım için ise 48,56 N ile 57,95 N arasında ölçülmüştür. Tespit edilen kesme kuvveti değerleri frezeleme parametrelerine bağlı olarak ciddi derecede etkilenmiştir.

Frezeleme parametrelerinin deformasyon faktörü üzerindeki etkileri;

- İlerlemenin artmasıyla deformasyon faktörü artma eğilimi göstermiştir.
- Dönme devrinin artmasıyla deformasyon faktörü azalma eğilimi göstermiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda en yüksek değerdeki deformasyon faktörü 3 ağızlı karbür parmak freze takımı ile kesilen kanallarda, en az deformasyon faktörü ise 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımı ile kesilen kanallarda oluşmuştur.
- Karbon prepreg malzemenin frezelenmesi sonucunda tüm takımlar için en yüksek deformasyon faktörü değeri; 1000 dev/dk dönme devri ve 200 mm/dk ilerleme değerlerinden, en düşük deformasyon faktörü değeri ise 3000 dev/dk dönme devri ve 100 mm/dk ilerleme değerlerinden okunmuştur.
- Deneyler sonucunda kesici takım cinsinin değişmesine bağlı olarak en yüksek ve en düşük deformasyon faktörü değerleri; 3 ağızlı karbür parmak freze takımı için 1,05625 ve 1,0090625, 4 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımı için 1,05375 ve 1,0094375, 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımı için 1,05125 ve 1,00875' dir.

Frezeleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri;

- Yapılan kesme deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüğü devir ve ilerlemeden doğrudan etkilenmiştir.
- Deneylerde dönme devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğü azalma eğilimi göstermiştir.
- Deneylerde ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğü artma eğilimi göstermiştir.
- Frezeleme deneylerinde ilerlemenin dönme devrine göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi daha çok hissedilmiştir.
- Yapılan deneylerde ilerlemeinin artmasıyla kesici takım kompozit malzemeyi kesmek için daha fazla kuvvet çekmiştir ve malzemeyi kesecek vakit bulamadığından dolayı yüzey pürüzlülüğüde bu oranda artmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde takım cinsine bağlı etkiler karşılaştırıldığında takımların ağız sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğü için en yüksek değer 3 ağızlı karbür parmak freze takımında sonra 4 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımında ve

son olarak 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımında görülmüştür.

- Karbon prepreg malzemenin frezelenmesinde kullanılan üç çeşit kesici takım içinde en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 1000 dev/dk dönme devri ve 200 mm/dk ilerleme değerlerinden, en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise 3000 dev/dk ve 100 mm/dk ilerleme değerlerinden elde edilmiştir.
- Belirlenen kesme parametreleri sonucunda takımlara göre alınan en yüksek ve en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla değer 3 ağızlı karbür parmak freze takımında 1,772  $\mu\text{m}$  ve 0,907  $\mu\text{m}$ , 4 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımında 1,585  $\mu\text{m}$  ve 0,954  $\mu\text{m}$ , 7 ağızlı Ti-Al kaplamalı karbür parmak freze takımında 1,556  $\mu\text{m}$  ve 0,787  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

## 5.2 Öneriler

Havacılık sektöründe en fazla kullanılan kompozit malzeme olan karbon prepreg malzemelerin talaşlı imalatında karşılaşılan sorunların başında yüzey pürüzlülüğünün istenen değerlerde olmaması ve deformasyon faktörünün yüksek olması gelmektedir. Talaşlı imalatı yapılmış malzemenin deneyler sonucunda dönme devri, ilerleme ve takım cinsine bağlı değerlerinin önemli bilgiler verdiği görülsede malzemenin uygun şartlar altında üretilmesi ve talaşlı imalat için uygun bir şekilde iç yapısının oluşmuş olması, imalat sonucunda kaliteyi arttıracak diğer etmenlerdir. Malzeme içerisinde bulunabilecek boşlukların ve çeşitli üretim yöntemi hatalarından kaynaklı oluşabilecek uygunsuzlukların kaliteyi oldukça etkileceği kesindir. Bu sebep ile talaşlı imalat yapılacak malzemenin öncelikli olarak belirli standartlar altında işlemlere tabii tutmak gerekmektedir. Bununla birlikte talaşlı imalatın yapılacağı tezgah ve kullanılacak diğer ekipmanların da talaşlı imalatı yapılacak malzemeye uygun seçilmeside önemlidir. Kullanılacağı alana uygun üretim yöntemleri ile üretilmiş kompozit malzemenin uygun tezgahta uygun kesme parametreleri ile işlenmesinde çok iyi sonuçlar alınabilir. Çeşitli talaşlı imalat işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılabilme olanağı olmasıda kaliteyi arttıracak bir diğer etmendir. Malzeme ve kesici takım arasındaki talaşın dışarıya atılabilmesi hem takım ömrünü uzatacaktır hemde yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörünü iyileştirecektir. Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere takım ağız sayısı arttıkça kompozit malzemenin kalite

değerleri iyileşmiştir. Bu durumda takımlarda yüksek ağız sayısı olması ve kesilecek kompozit malzemenin talaş derinliğine göre ağız geometrilerinin belirlenmeside bir diğer önemli etmen olacaktır. Bu durum şöyle açıklanabilir; takımın girdiği talaş derinliğinin bulunduğu bölgede ağız geometrisinin ters açılı olması malzemenin üst kısmında bulunan fiberleri temizleyeceğinden deformasyon faktörü azaltılabilir.



## KAYNAKLAR

- ALP, M. S.,** (2019). Jüt ve keten fiber takviyeli kompozitlerin frezelenme performansının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, sf. 1-142.
- Bayraktar Ş., Turgut Y.,** (2012). Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Delinmesi Üzerine Bir Araştırma, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ekim.
- Bayraktar Ş., Turgut Y.,** (2013). Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilebildiği, 1. Uluslar Arası Plastik ve Kauçuk Teknolojileri ve Ürün Sergisi, Mayıs.
- Bayraktar, Ş.,** (2011). “Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Frezeleme İşleminde İşlenebilirliğinin Deneysel Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, sf. 67-70
- Canpolat, N.,** (2008). Değişik Takviyeli Kompozit Malzemenin Matkapla Delinebilirliğinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-2.
- Camuşcu, N., Karpat, Y., Kılıç, A., Değer, B., Sonat, F., Bahtiyar, O.,** (2010). “Örgü Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Karbür Takımlarla Delinmesi”, 2.Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, sf. 31-40
- 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, sf. 100 (9-12), 2371-2385.
- 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, sf . 206-211.
- Çakır, M. C.,** (1999), Modern talaşlı imalatın esasları, Vipas Yayınları, Bursa, sf. 1-324.
- 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, sf . 160 (2), 160-167.
- Ekici, E., Işık, B.,** (2009). Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS), 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, sf. 1-6.

- 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*, sf. 29, 1768-1776.
- 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, sf . 99-103.
- Kılıçkap, E.,** (2010). CETP Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, 2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 77, Kasım, 76-84.
- Lin, S. C. and Chen, I. K.,** (1996). Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed, *Wear*, sf . 194, 156-162.
- 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), sf . 2985-3004.
- 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*, sf . 75, 298-307.
- 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), sf . 102-111.
- Neşeli, S.,** (2006). Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, sf . 148.
- 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), sf . 593-598.
- Qu, J.,** (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials, *Mechanics of Materials*, sf. 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*, sf . 1-21.
- Sarı, H.,** (2008). Frezelemede takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, sf . 98.
- 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), sf. 247-252.
- Şahin, Y.,** (2006). Kompozit malzemelere giriş: Kompozit – nanokompozit malzemeler ve istatistiksel modeller oluşturulması, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

- Yan, L., Chouw, N. and Jayaraman, K.,** (2014). Flax fibre and its composites, Composites Part B: Engineering, sf. 56, 296-317.
- Vatangül, E.,** Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ANSYS 10 programı ile ısı gerilme analizi, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 2008
- Vasiliev, V. V. and Morozov, E. V.,** (2001). Mechanics and analysis of composite materials, Elsevier, ISBN:0-08-042702-2.
- Vinayagamoorthy, R., Rajeswari, N. and Karuppiah, B.,** (2014). Optimization studies on thrust force and torque during drilling of natural fiber reinforced sandwich composites, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, sf. 385-392.
- Yıldız R.,** (2019). Karbon prepreg, cam prepreg, basalt elyaf ile üretilmiş hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2019, sf. 18-19-20.

### **İnternet Kaynakları**

- Url-1** <<https://tknika.eus/en/cont/proyectos/composite-materials/>>, alındığı tarih: 08.06.2020.
- Url-2** <<https://www.compositesworld.com/articles/cutting-drilling-trimming-and-finishing-composites>>, alındığı tarih: 08.06.2020.
- Url-3** <<http://k.ogren-sen.com/oyku/4408/index.html>>, alındığı tarih: 08.06.2020.
- Url-4** <<https://www.muhendisbeyinler.net/ucak-yapiminda-kullanilan-malzemeler/>>, alındığı tarih: 08.06.2020.
- Url-5** <<http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>>, alındığı tarih: 08.02.2020.
- Url-6** <<https://www.metalurjik.com/kompozit-malzeme-turleri>>, alındığı tarih: 08.04.2020.
- Url-7** <<http://surfacefinishequipment.com/assets/mahr-s2-rapp.pdf>>, alındığı tarih: 08.04.2020.
- Url-8** <[https://www.fibreglast.com/product/about-prepregs/Learning\\_Center](https://www.fibreglast.com/product/about-prepregs/Learning_Center)>, alındığı tarih: 08.04.2020.
- Url-9** <<https://malzemebilimi.net/prepreg-nedir.html>>, alındığı tarih: 09.04.2020.
- Url-10** <<https://malzemebilimi.net/prepreg-nedir.html>>, alındığı tarih: 09.04.2020.
- Url-11** <<http://www.turkchem.net/prepreg.html>>, alındığı tarih: 09.04.2020.
- Url-12** <<http://www.kompozitsan.com/tr/karbon-fiber-prepreg/569-prepreg-karbon-fiber-420-grm2.html>>, alındığı tarih: 10.04.2020.
- Url-13** <<https://www.mmsonline.com/articles/cutting-drilling-trimming-and-finishing-composites>>, alındığı tarih: 03.06.2020.
- Url-14** <<https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>>, alındığı tarih: 06.06.2020.

## **EKLER**

### **Ek A**

#### **Kompozit malzemenin frezelenmesinde kullanılan G kodları;**

1 BEGIN PGM Karbon\_Pregreg\_Frezeleme\_Operasyon MM  
2 ;PARCA ADI/PART NAME :KARBON PREPREG  
3 ;RESIM NO-REV./DRAWING NO-REV. : CARBON PREPREG 7x212x298  
4 ;OPERASYON NO/OPERATION NO : OPCARBON  
5 ;TEZGAH ADI/MACHINE NAME : DMG 835V  
6 ;PROGRAM REVIZYONU/PROGRAM REV : V1.0  
7 ;REVIZYON TARİHİ/REVISION DATE : 29.04.2020  
8 ;HAZIRLAYAN/PREPARED BY : LATİF ALPER GAGA  
9 ;DEĞİŞİKLİK KAYDI/CHANGE RECORD  
10 ;İLK YAYIN  
11 ;İSLEME ZAMANI/MACHINE TIME: 0:25:47  
12 ;TEZGAH İSMİ/MACHINE NAME: DMC835V  
13 ;Takim Listesi  
14 ;KULLANILAN KESİCİ LİSTESİ:  
15 ;T8 D16 T8\_FRK-S16004\_KA  
16 ;T131 D16 T131\_FJK-M1600  
17 ;T438 D16 T438\_FJK-71600  
18 ;KESİCİ LİSTESİ SONU  
19 CYCL DEF 247 DATUM SETTING~  
20 Q339=1 ;DATUM NUMBER;  
21 ;Workpiece Ref: 0.000000,0.000000,0.000000  
22 ;=====

23 ;İLERLEME DEĞERLERİ  
24 ;=====

25 FN 0 : Q501 = 100.00

26 FN 0 : Q502 = 150.00  
 27 FN 0 : Q503 = 200.00  
 28 ;=====

29 ;PPTABLE V1.3, MM  
 30 ;PARTNO: Karbon Prepreg Frezeleme Operasyon  
 31 ;PARTNO: Karbon Prepreg Cam Operasyon  
 32 ;3-axis Machine.1  
 33 ;Process1.CATProcess  
 34 ;Product1  
 35 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 36 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.2

37 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_

38 \* -TOOL CALL 8  
 39 \* -T8\_FRK-S16004\_KARBUR F  
 40 \* -CTA-00339  
 41 \* -T8\_TUT-HSK003\_SHRINK H  
 42 \* -Profile Contouring.2  
 43 ;-----

44 ;Operation Start: Profile Contouring.2  
 45 M5  
 46 M9  
 47 L Z-0.1 FMAX M91  
 48 L X-0.1 FMAX M91  
 49 TOOL CALL 8 Z S1000  
 50 M13  
 51 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE  
 52 CYCL DEF 32.1 T0.01  
 53 L Y+119. FMAX  
 54 L X-133. FMAX  
 55 L Z+43. FMAX  
 56 L Z+7. FMAX  
 57 L Z-3. FQ501; F100.00  
 58 L Y+106.

59 L Y+36.  
 60 L X-132.652 Y+34.797 Z-2.799  
 61 L X-132.191 Y+34.308 Z-2.533  
 62 L X-131.268 Y+34. Z-2.  
 63 L Z+8.  
 64 L Z+43. FMAX  
 65 ;Operation End Profile Contouring.2  
 66 ;-----  
 67 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 68 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.3  
 69 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 ▣ 16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 70 \* -Profile Contouring.3  
 71 ;-----  
 72 ;Operation Start: Profile Contouring.3  
 73 L Y+119. FMAX  
 74 L X-100. FMAX  
 75 L Z+43. FMAX  
 76 L Z+7. FMAX  
 77 L Z-3. FQ502; F150.00  
 78 L Y+106.  
 79 L Y+36.  
 80 L X-99.652 Y+34.797 Z-2.799  
 81 L X-99.191 Y+34.308 Z-2.533  
 82 L X-98.268 Y+34. Z-2.  
 83 L Z+8.  
 84 L Z+43. FMAX  
 85 ;Operation End Profile Contouring.3  
 86 ;-----  
 87 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 88 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.4  
 89 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 ▣ 16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 90 \* -Profile Contouring.4

91 ;-----  
 92 ;Operation Start: Profile Contouring.4  
 93 L Y+119. FMAX  
 94 L X-67. FMAX  
 95 L Z+43. FMAX  
 96 L Z+7. FMAX  
 97 L Z-3. FQ503; F200.00  
 98 L Y+106.  
 99 L Y+36.  
 100 L X-66.652 Y+34.797 Z-2.799  
 101 L X-66.191 Y+34.308 Z-2.533  
 102 L X-65.268 Y+34. Z-2.  
 103 L Z+8.  
 104 L Z+43. FMAX  
 105 ;Operation End Profile Contouring.4  
 106 ;-----  
 107 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 108 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.5  
 109 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 110 \* -Profile Contouring.5  
 111 ;-----  
 112 ;Operation Start: Profile Contouring.5  
 113 TOOL CALL S2000  
 114 M13  
 115 L Y+119. FMAX  
 116 L X-34. FMAX  
 117 L Z+43. FMAX  
 118 L Z+7. FMAX  
 119 L Z-3. FQ501; F100.00  
 120 L Y+106.  
 121 L Y+36.  
 122 L X-33.652 Y+34.797 Z-2.799  
 123 L X-33.191 Y+34.308 Z-2.533

124 L X-32.268 Y+34. Z-2.  
 125 L Z+8.  
 126 L Z+43. FMAX  
 127 ;Operation End Profile Contouring.5  
 128 ;-----  
 129 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 130 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.6  
 131 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 132 \* -Profile Contouring.6  
 133 ;-----  
 134 ;Operation Start: Profile Contouring.6  
 135 L Y+119. FMAX  
 136 L X-1. FMAX  
 137 L Z+43. FMAX  
 138 L Z+7. FMAX  
 139 L Z-3. FQ502; F150.00  
 140 L Y+106.  
 141 L Y+36.  
 142 L X-0.652 Y+34.797 Z-2.799  
 143 L X-0.191 Y+34.308 Z-2.533  
 144 L X+0.732 Y+34. Z-2.  
 145 L Z+8.  
 146 L Z+43. FMAX  
 147 ;Operation End Profile Contouring.6  
 148 ;-----  
 149 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 150 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.20  
 151 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 152 \* -Profile Contouring.20  
 153 ;-----  
 154 ;Operation Start: Profile Contouring.20  
 155 L Y+119. FMAX

156 L X+32. FMAX  
 157 L Z+43. FMAX  
 158 L Z+7. FMAX  
 159 L Z-3. FQ503; F200.00  
 160 L Y+108.084  
 161 L Y+36.  
 162 L X+32.348 Y+34.797 Z-2.799  
 163 L X+32.809 Y+34.308 Z-2.533  
 164 L X+33.732 Y+34. Z-2.  
 165 L Z+8.  
 166 L Z+43. FMAX  
 167 ;Operation End Profile Contouring.20  
 168 ;-----  
 169 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 170 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.21  
 171 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 172 \* -Profile Contouring.21  
 173 ;-----  
 174 ;Operation Start: Profile Contouring.21  
 175 TOOL CALL S3000  
 176 M13  
 177 L Y+119. FMAX  
 178 L X+65. FMAX  
 179 L Z+43. FMAX  
 180 L Z+7. FMAX  
 181 L Z-3. FQ501; F100.00  
 182 L Y+106.  
 183 L Y+36.  
 184 L X+65.348 Y+34.797 Z-2.799  
 185 L X+65.809 Y+34.308 Z-2.533  
 186 L X+66.732 Y+34. Z-2.  
 187 L Z+8.  
 188 L Z+43. FMAX

189 ;Operation End Profile Contouring.21  
 190 ;-----  
 191 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 192 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.22  
 193 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 194 \* -Profile Contouring.22  
 195 ;-----  
 196 ;Operation Start: Profile Contouring.22  
 197 L Y+119. FMAX  
 198 L X+98. FMAX  
 199 L Z+43. FMAX  
 200 L Z+7. FMAX  
 201 L Z-3. FQ502; F150.00  
 202 L Y+106.  
 203 L Y+36.  
 204 L X+98.348 Y+34.797 Z-2.799  
 205 L X+98.809 Y+34.308 Z-2.533  
 206 L X+99.732 Y+34. Z-2.  
 207 L Z+8.  
 208 L Z+43. FMAX  
 209 ;Operation End Profile Contouring.22  
 210 ;-----  
 211 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 212 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.23  
 213 ;TOOL ASSEMBLY = T8\_TUT-HSK003\_SHRINK HOLDER HSK-A63 B.CJ.  
 □16x95 EROGLU\_2.A63.25.16.95.DB \_\_\_\_  
 214 \* -Profile Contouring.23  
 215 ;-----  
 216 ;Operation Start: Profile Contouring.23  
 217 L Y+119. FMAX  
 218 L X+131. FMAX  
 219 L Z+43. FMAX  
 220 L Z+7. FMAX

221 L Z-3. FQ503; F200.00  
 222 L Y+106.  
 223 L Y+36.  
 224 L X+131.348 Y+34.797 Z-2.799  
 225 L X+131.809 Y+34.308 Z-2.533  
 226 L X+132.732 Y+34. Z-2.  
 227 L Z+8.  
 228 L Z+43. FMAX  
 229 ;Operation End Profile Contouring.23  
 230 ;-----  
 231 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 232 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.8  
 233 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 234 \* -TOOL CALL 131  
 235 \* -T131\_FJK-M16000\_KARBUR  
 236 \* -CTA-00750  
 237 \* -T131\_TUT-HSK061\_SHRINK  
 238 \* -Profile Contouring.8  
 239 ;-----  
 240 ;Operation Start: Profile Contouring.8  
 241 M5  
 242 M9  
 243 L Z-0.1 FMAX M91  
 244 L X-0.1 FMAX M91  
 245 TOOL CALL 131 Z S1000  
 246 M13  
 247 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE  
 248 CYCL DEF 32.1 T0.01  
 249 L Y+44. FMAX  
 250 L X-133. FMAX  
 251 L Z+43. FMAX  
 252 L Z+7. FMAX  
 253 L Z-3. FQ501; F100.00

254 L Y+36.  
 255 L Y-34.  
 256 CR X-131. Y-36. R+2. DR+  
 257 L Z+7.  
 258 L Z+93.  
 259 ;Operation End Profile Contouring.8  
 260 ;-----  
 261 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 262 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.24  
 263 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 264 \* -Profile Contouring.24  
 265 ;-----  
 266 ;Operation Start: Profile Contouring.24  
 267 L Y+44. FMAX  
 268 L X-100. FMAX  
 269 L Z+43. FMAX  
 270 L Z+7. FMAX  
 271 L Z-3. FQ502; F150.00  
 272 L Y+36.  
 273 L Y-34.  
 274 CR X-98. Y-36. R+2. DR+  
 275 L Z+7.  
 276 L Z+93.  
 277 ;Operation End Profile Contouring.24  
 278 ;-----  
 279 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 280 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.25  
 281 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 282 \* -Profile Contouring.25  
 283 ;-----  
 284 ;Operation Start: Profile Contouring.25  
 285 L Y+44. FMAX

286 L X-67. FMAX  
 287 L Z+43. FMAX  
 288 L Z+7. FMAX  
 289 L Z-3. FQ503; F200.00  
 290 L Y+36.  
 291 L Y-34.  
 292 CR X-65. Y-36. R+2. DR+  
 293 L Z+7.  
 294 L Z+93.  
 295 ;Operation End Profile Contouring.25  
 296 ;-----  
 297 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 298 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.26  
 299 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 300 \* -Profile Contouring.26  
 301 ;-----  
 302 ;Operation Start: Profile Contouring.26  
 303 TOOL CALL S2000  
 304 M13  
 305 L Y+44. FMAX  
 306 L X-34. FMAX  
 307 L Z+43. FMAX  
 308 L Z+7. FMAX  
 309 L Z-3. FQ501; F100.00  
 310 L Y+36.  
 311 L Y-34.  
 312 CR X-32. Y-36. R+2. DR+  
 313 L Z+7.  
 314 L Z+93.  
 315 ;Operation End Profile Contouring.26  
 316 ;-----  
 317 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 318 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.27

319 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 320 \* -Profile Contouring.27  
 321 ;-----  
 322 ;Operation Start: Profile Contouring.27  
 323 L Y+44. FMAX  
 324 L X-1. FMAX  
 325 L Z+43. FMAX  
 326 L Z+7. FMAX  
 327 L Z-3. FQ502; F150.00  
 328 L Y+36.  
 329 L Y-34.  
 330 CR X+1. Y-36. R+2. DR+  
 331 L Z+7.  
 332 L Z+93.  
 333 ;Operation End Profile Contouring.27  
 334 ;-----  
 335 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 336 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.28  
 337 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 338 \* -Profile Contouring.28  
 339 ;-----  
 340 ;Operation Start: Profile Contouring.28  
 341 L Y+44. FMAX  
 342 L X+32. FMAX  
 343 L Z+43. FMAX  
 344 L Z+7. FMAX  
 345 L Z-3. FQ503; F200.00  
 346 L Y+36.  
 347 L Y-34.  
 348 CR X+34. Y-36. R+2. DR+  
 349 L Z+7.  
 350 L Z+93.

351 ;Operation End Profile Contouring.28  
 352 ;-----  
 353 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 354 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.29  
 355 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 356 \* -Profile Contouring.29  
 357 ;-----  
 358 ;Operation Start: Profile Contouring.29  
 359 TOOL CALL S3000  
 360 M13  
 361 L Y+44. FMAX  
 362 L X+65. FMAX  
 363 L Z+43. FMAX  
 364 L Z+7. FMAX  
 365 L Z-3. FQ501; F100.00  
 366 L Y+36.  
 367 L Y-34.  
 368 CR X+67. Y-36. R+2. DR+  
 369 L Z+7.  
 370 L Z+93.  
 371 ;Operation End Profile Contouring.29  
 372 ;-----  
 373 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 374 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.30  
 375 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 376 \* -Profile Contouring.30  
 377 ;-----  
 378 ;Operation Start: Profile Contouring.30  
 379 L Y+44. FMAX  
 380 L X+98. FMAX  
 381 L Z+43. FMAX  
 382 L Z+7. FMAX

383 L Z-3. FQ502; F150.00  
 384 L Y+36.  
 385 L Y-34.  
 386 CR X+100. Y-36. R+2. DR+  
 387 L Z+7.  
 388 L Z+93.  
 389 ;Operation End Profile Contouring.30  
 390 ;-----  
 391 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 392 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.31  
 393 ;TOOL ASSEMBLY = T131\_TUT-HSK061\_SHRINK HOLDER HSK-A63  
 ▽ □16x95 HAIMER\_CJ\_A63.140.16.2 \_\_\_\_\_EK-3  
 394 \* -Profile Contouring.31  
 395 ;-----  
 396 ;Operation Start: Profile Contouring.31  
 397 L Y+44. FMAX  
 398 L X+131. FMAX  
 399 L Z+43. FMAX  
 400 L Z+7. FMAX  
 401 L Z-3. FQ503; F200.00  
 402 L Y+36.  
 403 L Y-34.  
 404 CR X+133. Y-36. R+2. DR+  
 405 L Z+7.  
 406 L Z+93.  
 407 ;Operation End Profile Contouring.31  
 408 ;-----  
 409 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 410 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.14  
 411 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 412 \* -TOOL CALL 438  
 413 \* -T438\_FJK-716000\_KARBÜR  
 414 \* -CTA-05088

```

415 * -T438_TUT-HSK061/TUT-HS
416 *   -Profile Contouring.14
417 ;-----
418 ;Operation Start: Profile Contouring.14
419 M5
420 M9
421 L Z-0.1 FMAX M91
422 L X-0.1 FMAX M91
423 TOOL CALL 438 Z S1000
424 M13
425 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
426 CYCL DEF 32.1 T0.01
427 L Y-26. FMAX
428 L X-133. FMAX
429 L Z+43. FMAX
430 L Z+7. FMAX
431 L Z-3. FQ501; F100.00
432 L Y-34.
433 L Y-94.
434 L Z+7.
435 L Z+43. FMAX
436 ;Operation End Profile Contouring.14
437 ;-----
438 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring
439 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.32
440 ;TOOL ASSEMBLY = T438_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-
HSK170_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER_CJ_
441 *   -Profile Contouring.32
442 ;-----
443 ;Operation Start: Profile Contouring.32
444 L Y-26. FMAX
445 L X-100. FMAX
446 L Z+43. FMAX
447 L Z+7. FMAX

```

448 L Z-3. FQ502; F150.00  
 449 L Y-34.  
 450 L Y-94.  
 451 L Z+7.  
 452 L Z+43. FMAX  
 453 ;Operation End Profile Contouring.32  
 454 ;-----  
 455 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 456 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.33  
 457 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 458 \* -Profile Contouring.33  
 459 ;-----  
 460 ;Operation Start: Profile Contouring.33  
 461 L Y-26. FMAX  
 462 L X-67. FMAX  
 463 L Z+43. FMAX  
 464 L Z+7. FMAX  
 465 L Z-3. FQ503; F200.00  
 466 L Y-34.  
 467 L Y-94.  
 468 L Z+7.  
 469 L Z+43. FMAX  
 470 ;Operation End Profile Contouring.33  
 471 ;-----  
 472 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 473 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.34  
 474 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 475 \* -Profile Contouring.34  
 476 ;-----  
 477 ;Operation Start: Profile Contouring.34  
 478 TOOL CALL S2000  
 479 M13

480 L Y-26. FMAX  
 481 L X-34. FMAX  
 482 L Z+43. FMAX  
 483 L Z+7. FMAX  
 484 L Z-3. FQ501; F100.00  
 485 L Y-34.  
 486 L Y-94.  
 487 L Z+7.  
 488 L Z+43. FMAX  
 489 ;Operation End Profile Contouring.34  
 490 ;-----  
 491 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 492 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.35  
 493 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 494 \* -Profile Contouring.35  
 495 ;-----  
 496 ;Operation Start: Profile Contouring.35  
 497 L Y-26. FMAX  
 498 L X-1. FMAX  
 499 L Z+43. FMAX  
 500 L Z+7. FMAX  
 501 L Z-3. FQ502; F150.00  
 502 L Y-34.  
 503 L Y-94.  
 504 L Z+7.  
 505 L Z+43. FMAX  
 506 ;Operation End Profile Contouring.35  
 507 ;-----  
 508 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 509 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.36  
 510 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 511 \* -Profile Contouring.36

512 ;-----  
 513 ;Operation Start: Profile Contouring.36  
 514 L Y-26. FMAX  
 515 L X+32. FMAX  
 516 L Z+43. FMAX  
 517 L Z+7. FMAX  
 518 L Z-3. FQ503; F200.00  
 519 L Y-34.  
 520 L Y-94.  
 521 L Z+7.  
 522 L Z+43. FMAX  
 523 ;Operation End Profile Contouring.36  
 524 ;-----  
 525 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 526 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.37  
 527 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 528 \* -Profile Contouring.37  
 529 ;-----  
 530 ;Operation Start: Profile Contouring.37  
 531 TOOL CALL S3000  
 532 M13  
 533 L Y-26. FMAX  
 534 L X+65. FMAX  
 535 L Z+43. FMAX  
 536 L Z+7. FMAX  
 537 L Z-3. FQ501; F100.00  
 538 L Y-34.  
 539 L Y-94.  
 540 L Z+7.  
 541 L Z+43. FMAX  
 542 ;Operation End Profile Contouring.37  
 543 ;-----  
 544 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring

545 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.38  
 546 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 547 \* -Profile Contouring.38  
 548 ;-----  
 549 ;Operation Start: Profile Contouring.38  
 550 L Y-26. FMAX  
 551 L X+98. FMAX  
 552 L Z+43. FMAX  
 553 L Z+7. FMAX  
 554 L Z-3. FQ502; F150.00  
 555 L Y-34.  
 556 L Y-94.  
 557 L Z+7.  
 558 L Z+43. FMAX  
 559 ;Operation End Profile Contouring.38  
 560 ;-----  
 561 ;MACHINE OPERATION = Profile Contouring  
 562 ;OPERATION NAME = Profile Contouring.39  
 563 ;TOOL ASSEMBLY = T438\_TUT-HSK061 TUT-HSK003 TUT-  
 HSK170\_SHRINK HOLDER HSK-A63 Ø16x95 HAIMER\_CJ\_  
 564 \* -Profile Contouring.39  
 565 ;-----  
 566 ;Operation Start: Profile Contouring.39  
 567 L Y-26. FMAX  
 568 L X+131. FMAX  
 569 L Z+43. FMAX  
 570 L Z+7. FMAX  
 571 L Z-3. FQ503; F200.00  
 572 L Y-34.  
 573 L Y-94.  
 574 L Z+7.  
 575 L Z+43. FMAX  
 576 ;Operation End Profile Contouring.39

577 ;-----

578 M5

579 M9

580 L Z-0.1 FMAX M91

581 L Y-0.1 FMAX M91

582 L X-750.000 FMAX M91

583 M30

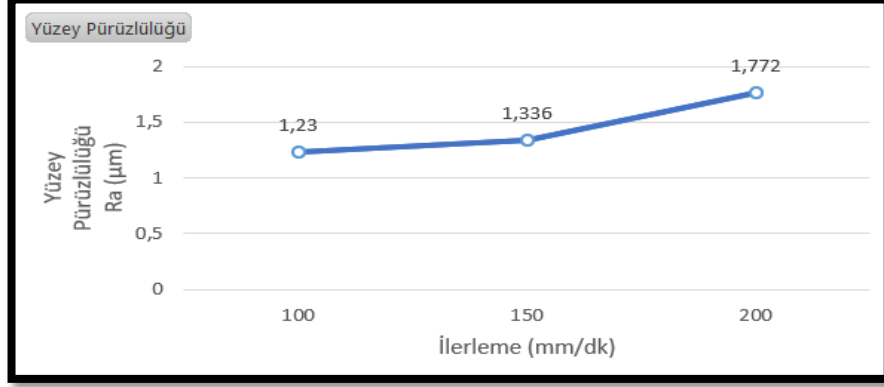
584 END PGM Karbon\_Pregreg\_Frezeleme\_Operasyon MM

**Şekil A.1 :** Karbon pregreg malzemenin talaşlı imalatında kullanılan G kodları

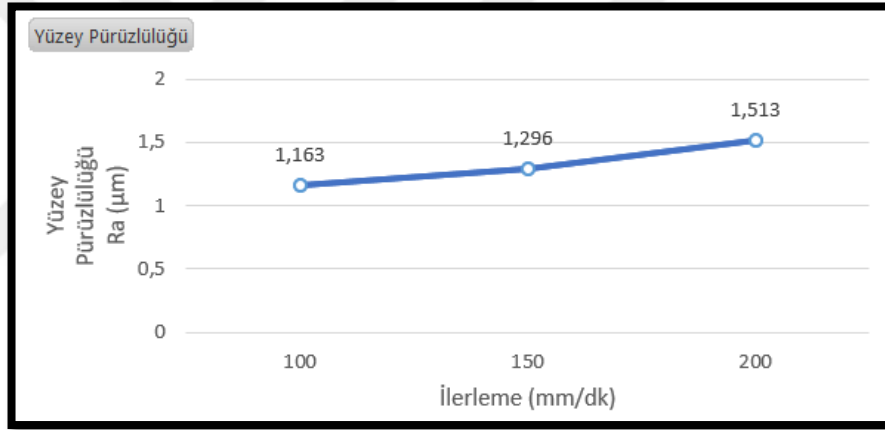


## Ek B

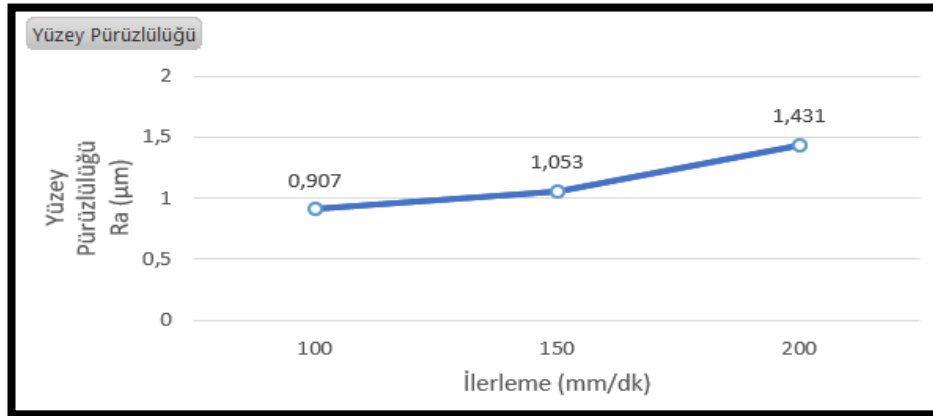
Karbon prepreg malzemenin frezelenmesinden sonra elde edilen yüzey pürüzlülük, kesme kuvvetleri ve deformasyon faktörü grafikleri;



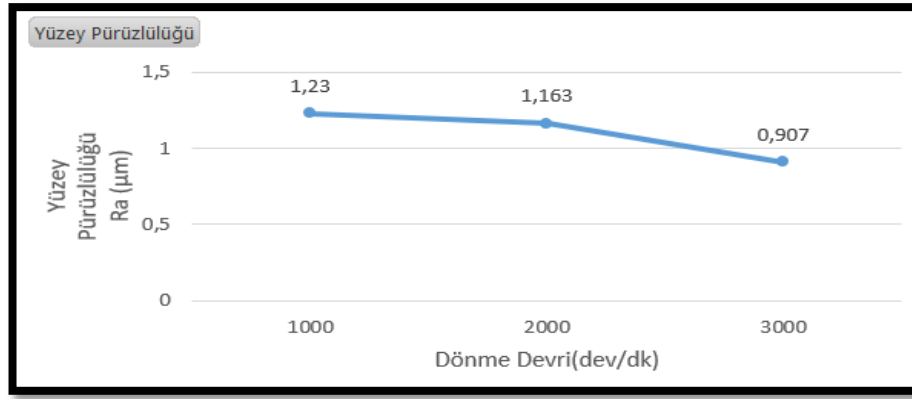
Şekil B.1 : 1000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



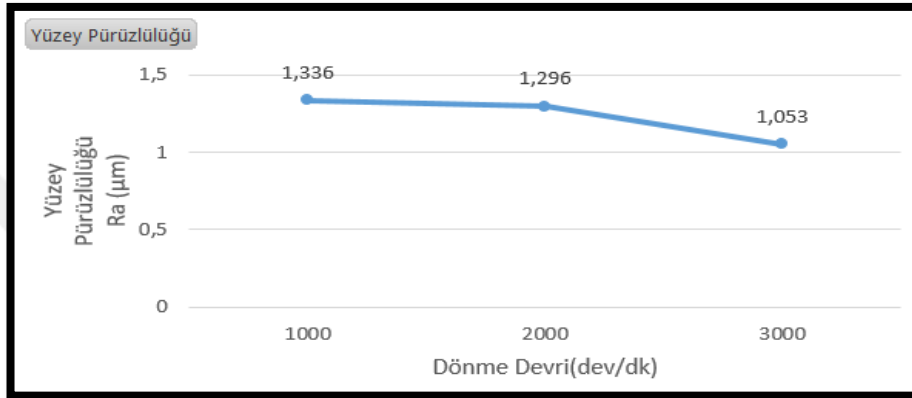
Şekil B.2 : 2000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



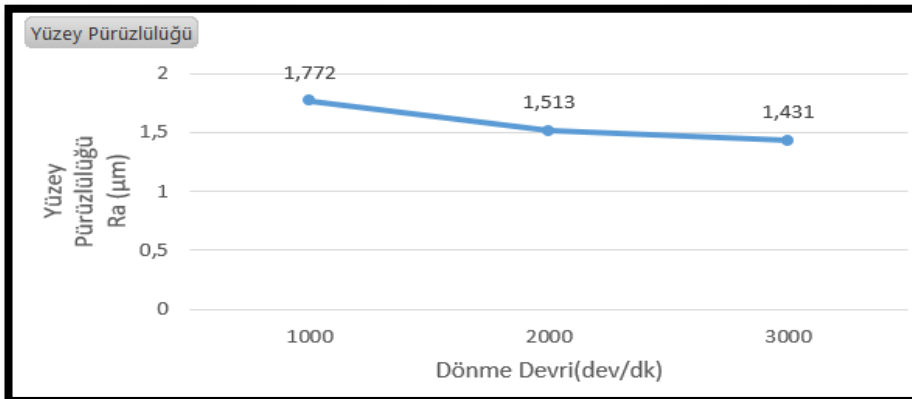
Şekil B.3 : 3000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



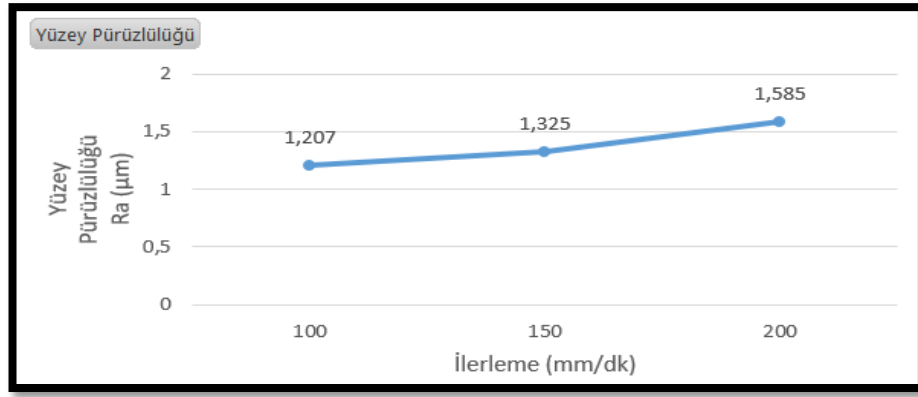
Şekil B.4 : 100 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



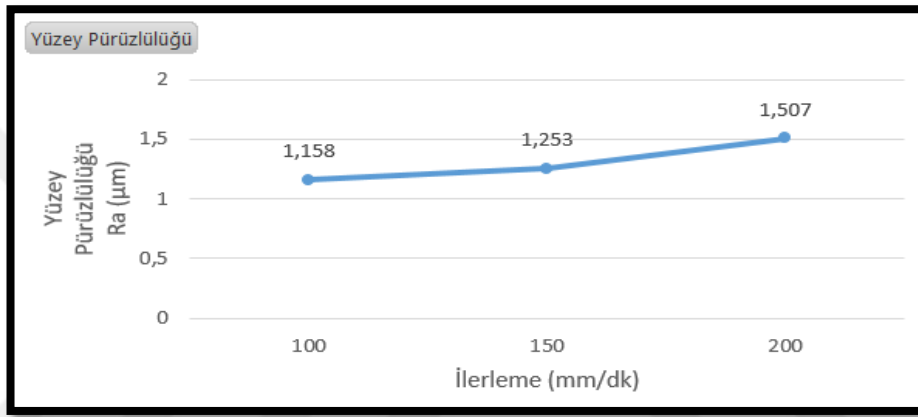
Şekil B.5 : 150 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



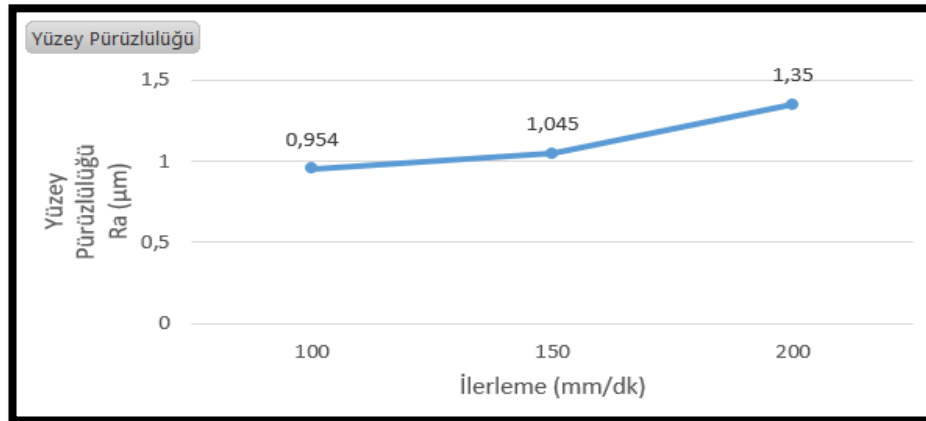
Şekil B.6 : 200 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



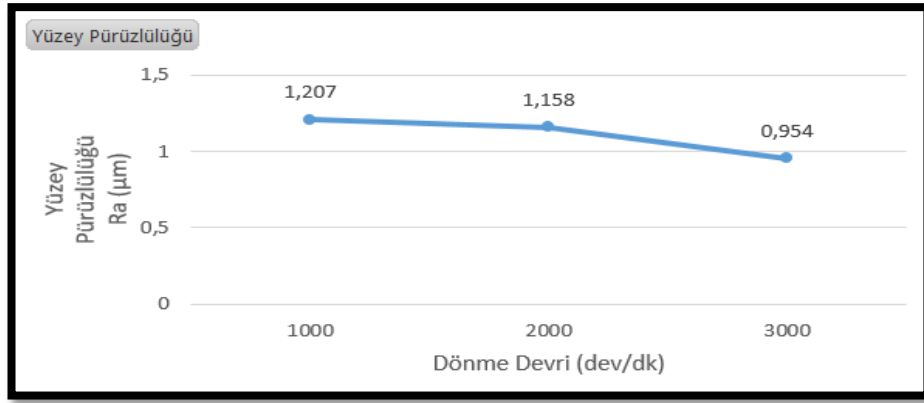
Şekil B.7 : 1000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



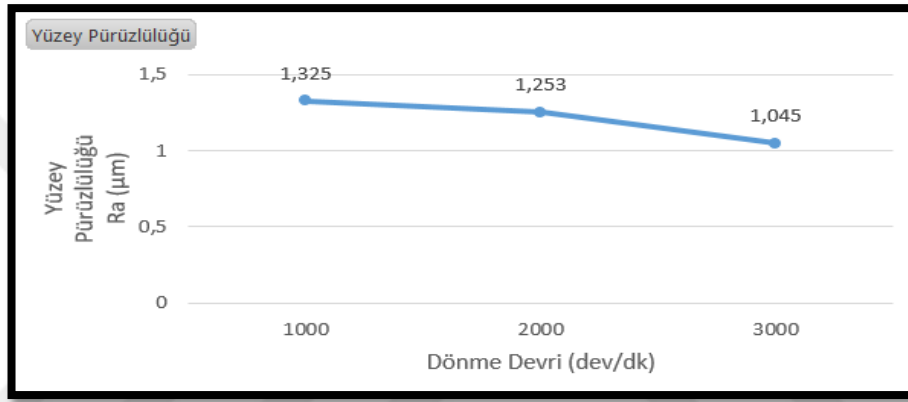
Şekil B.8 : 2000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



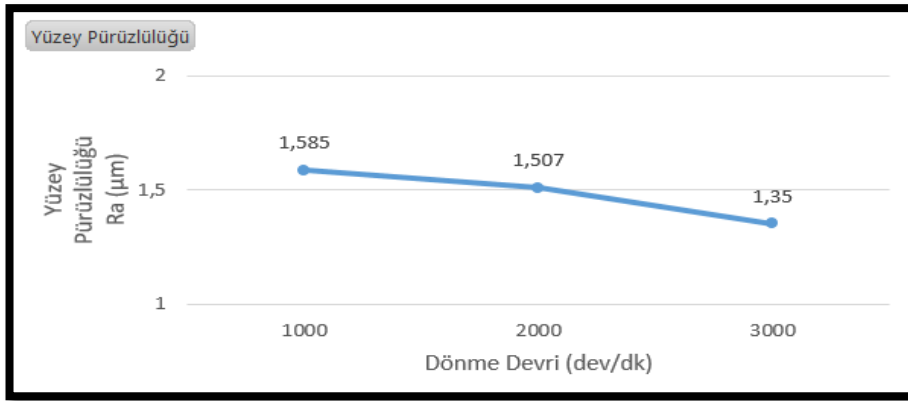
Şekil B.9 : 3000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



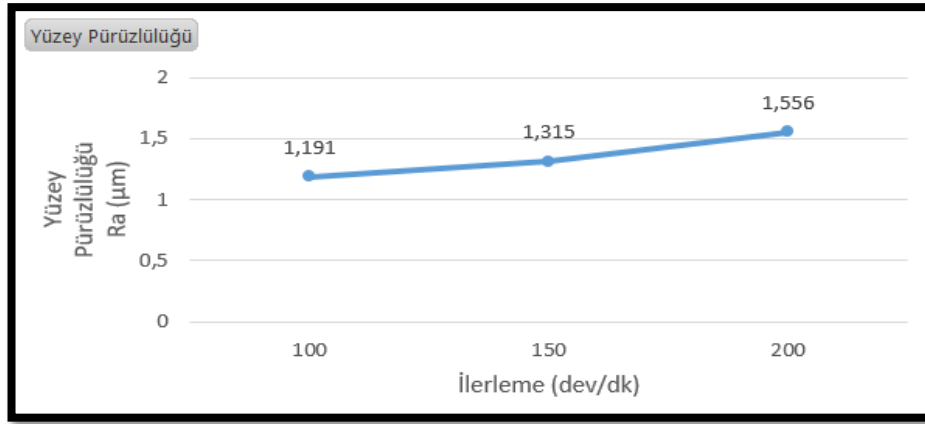
Şekil B.10 : 100 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



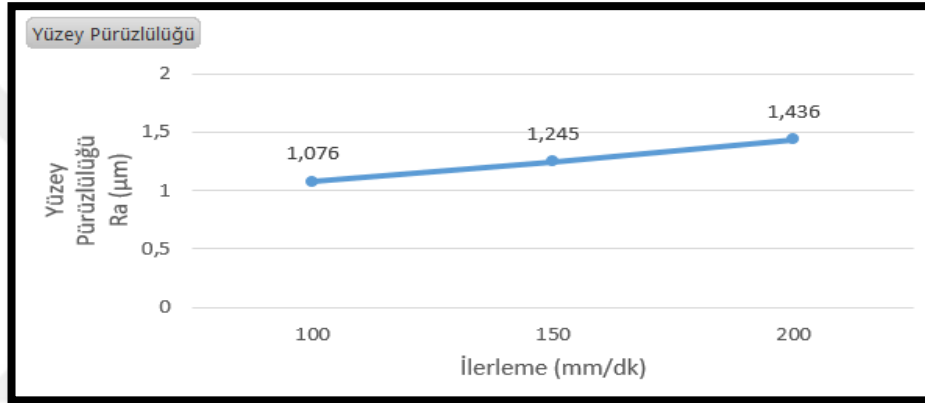
Şekil B.11 : 150 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



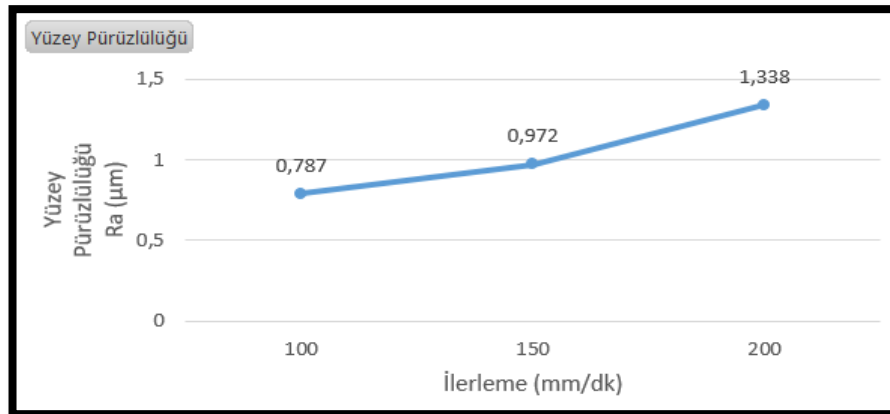
Şekil B.12 : 200 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



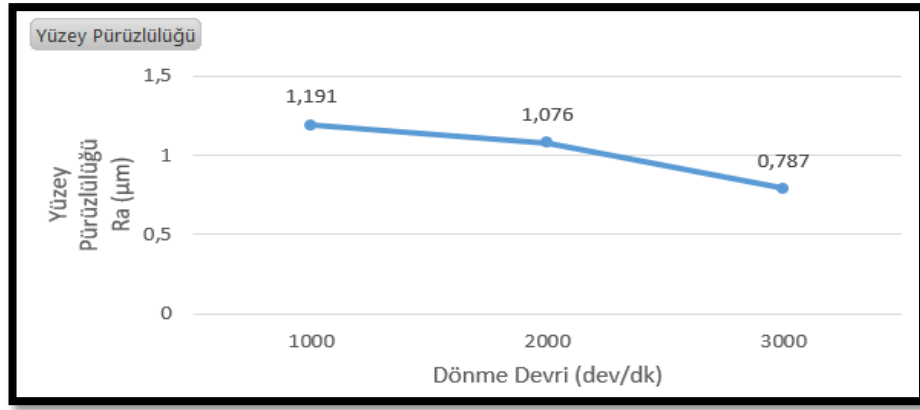
Şekil B.13 : 1000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



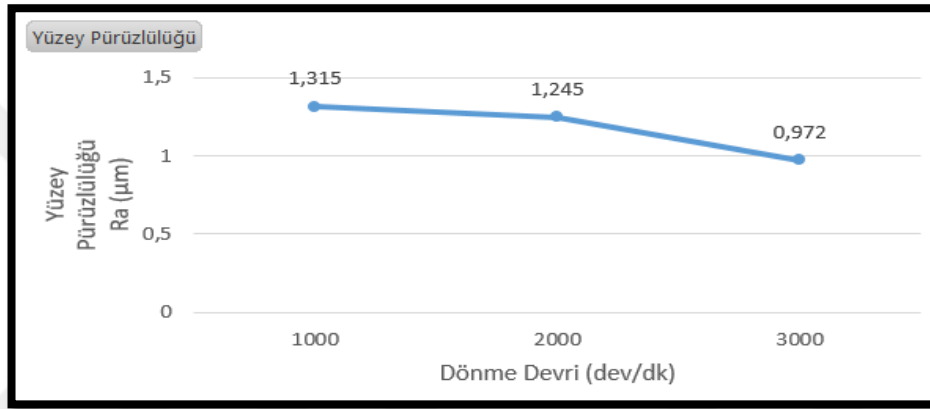
Şekil B.14 : 2000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



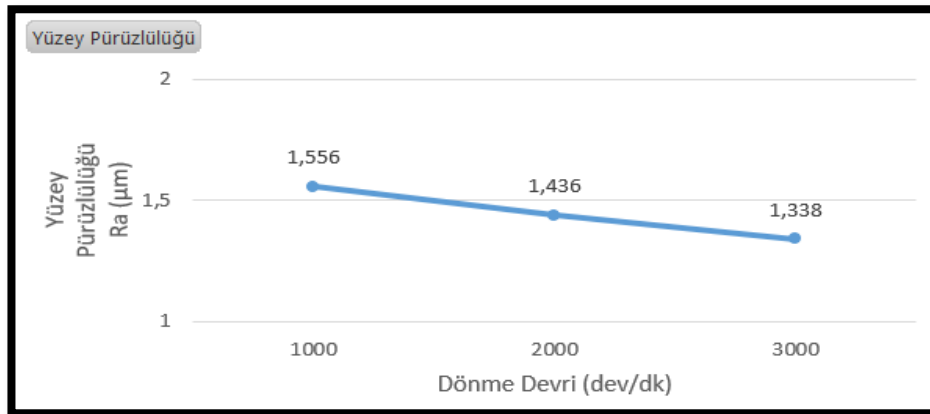
Şekil B.15 : 3000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



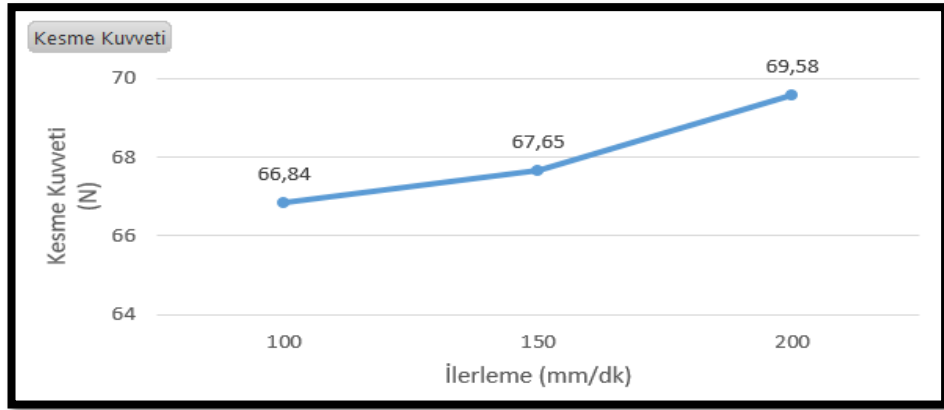
**Şekil B.16 :** 100 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



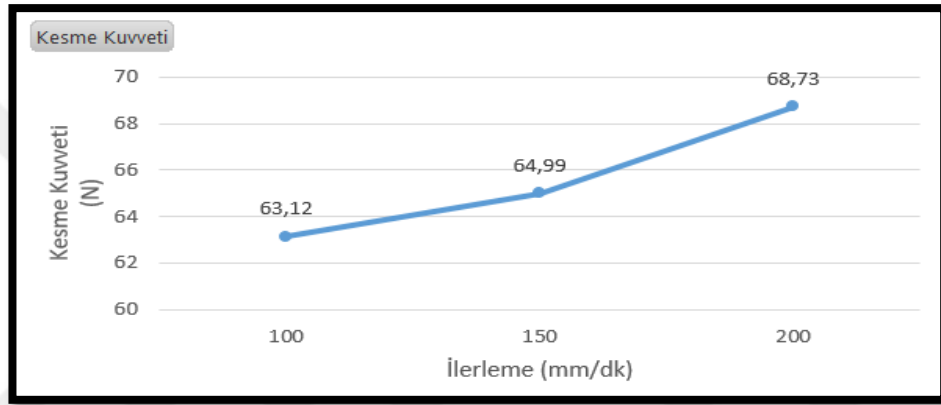
**Şekil B.17 :** 150 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



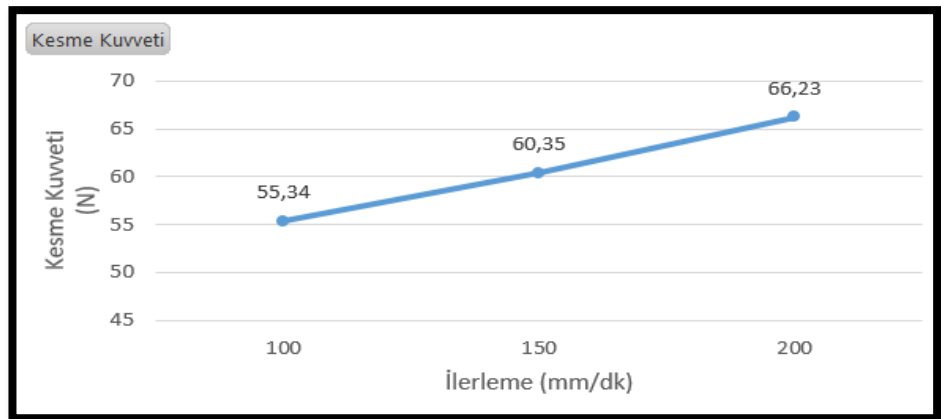
**Şekil B.18 :** 200 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için yüzey pürüzlülük grafiği



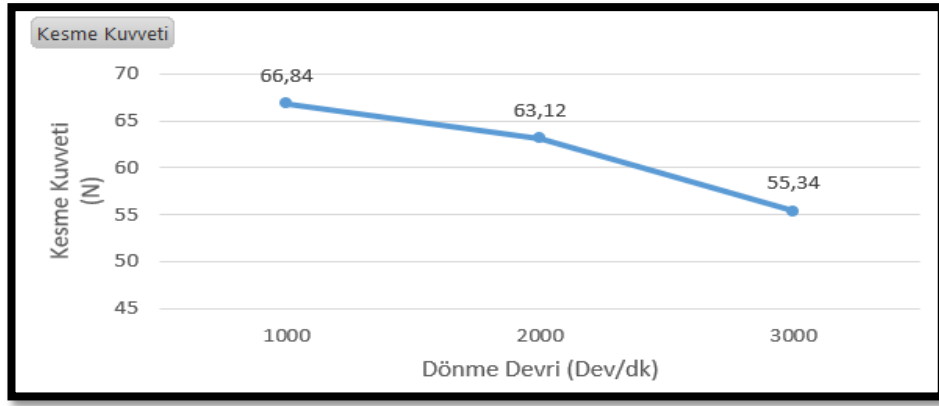
Şekil B.19 : 1000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



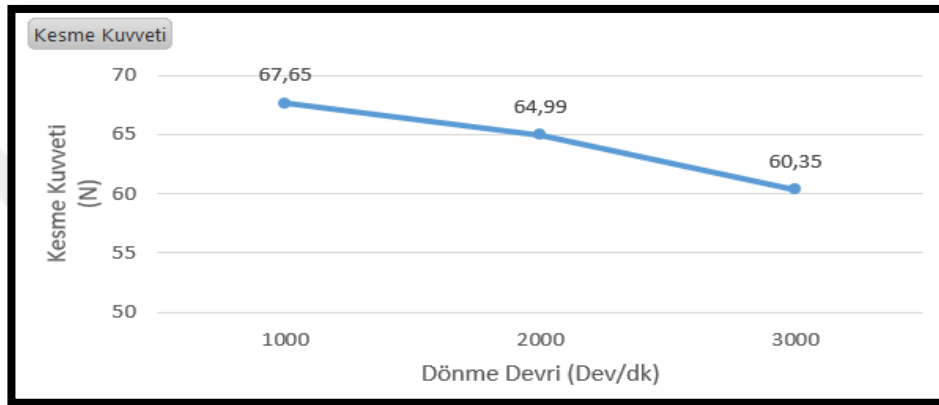
Şekil B.20 : 2000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



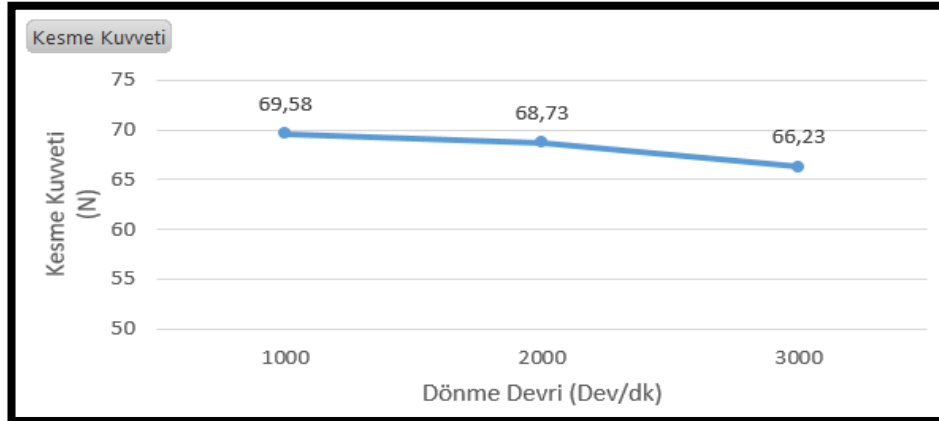
Şekil B.21 : 3000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



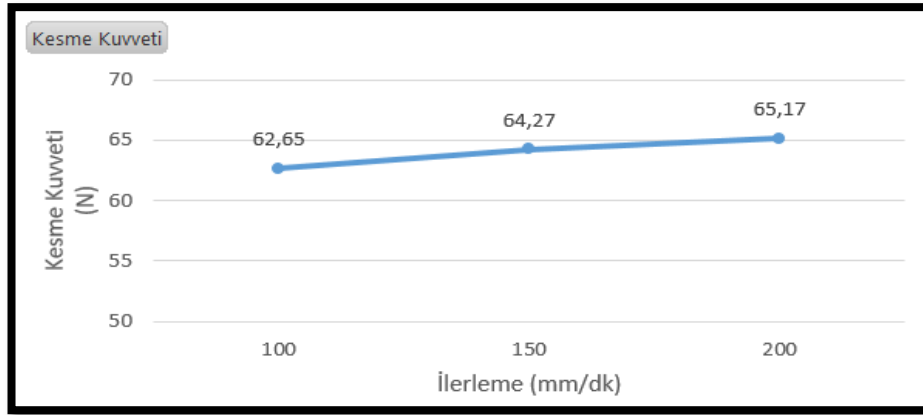
Şekil B.22 : 100 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



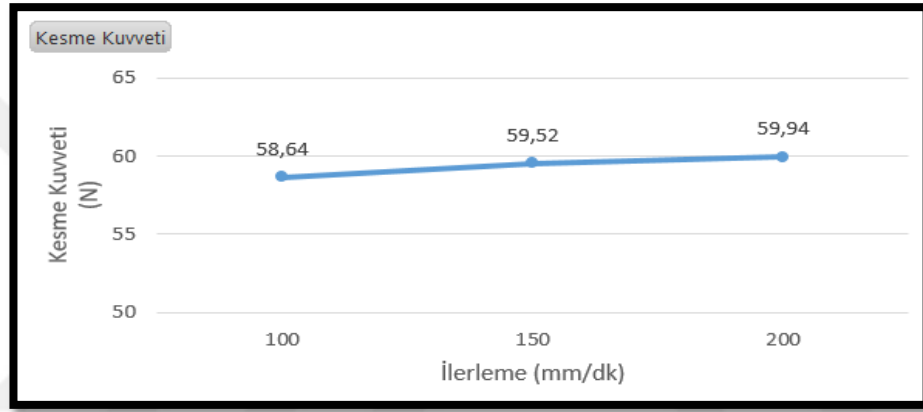
Şekil B.23 : 150 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



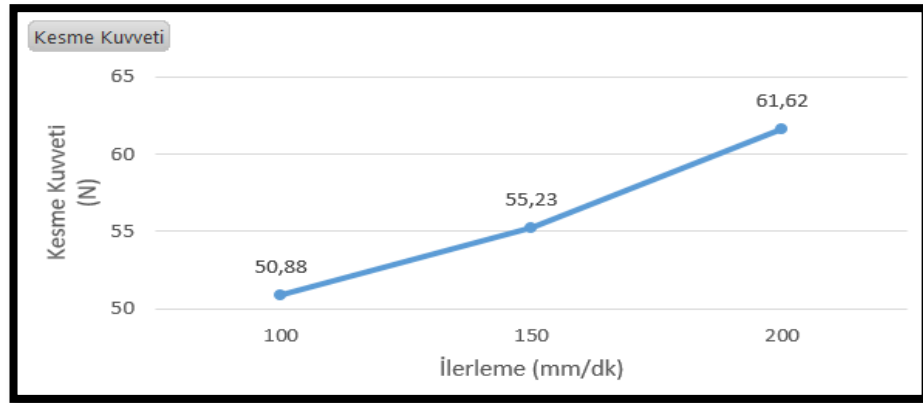
Şekil B.24 : 200 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



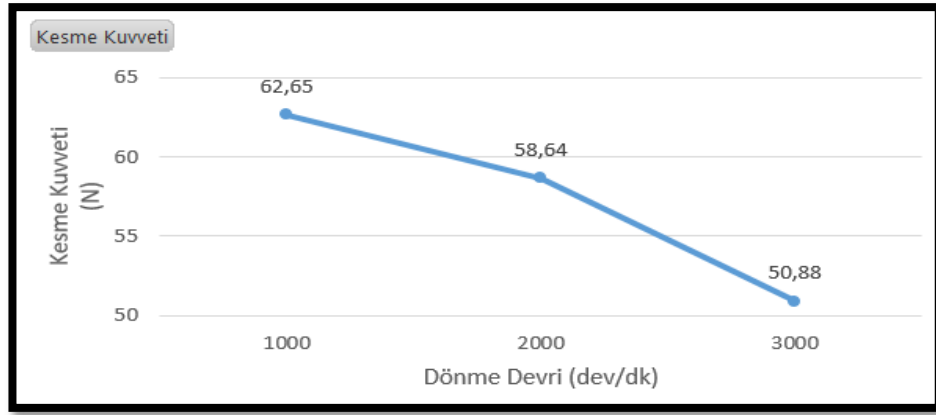
Şekil B.25 : 1000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



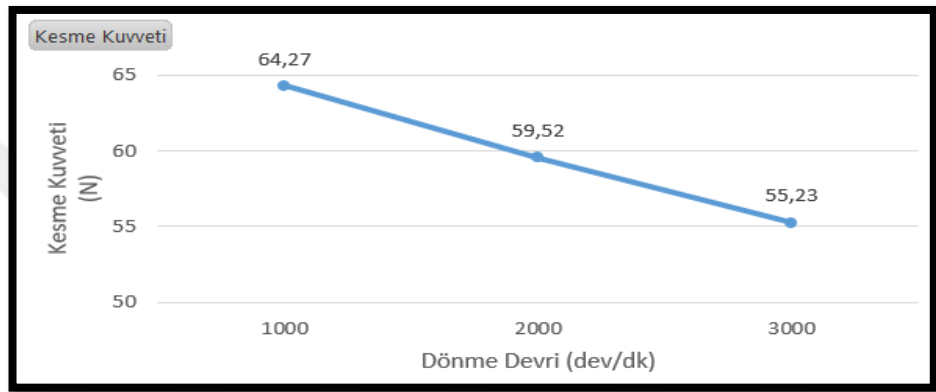
Şekil B.26 : 2000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



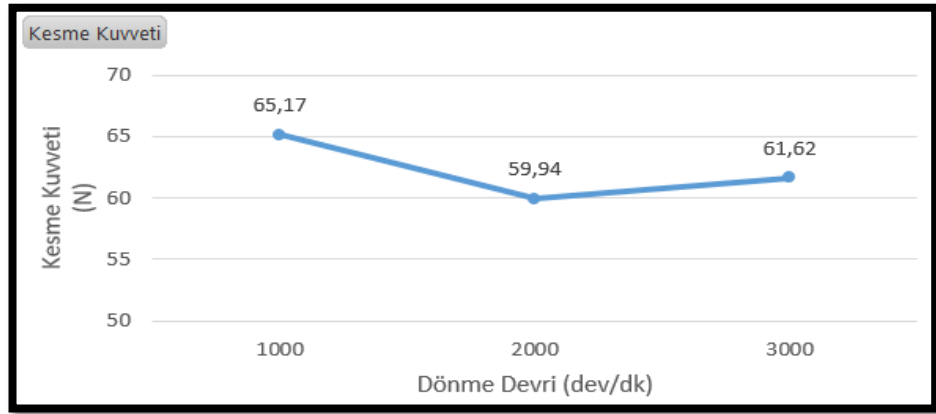
Şekil B.27 : 3000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



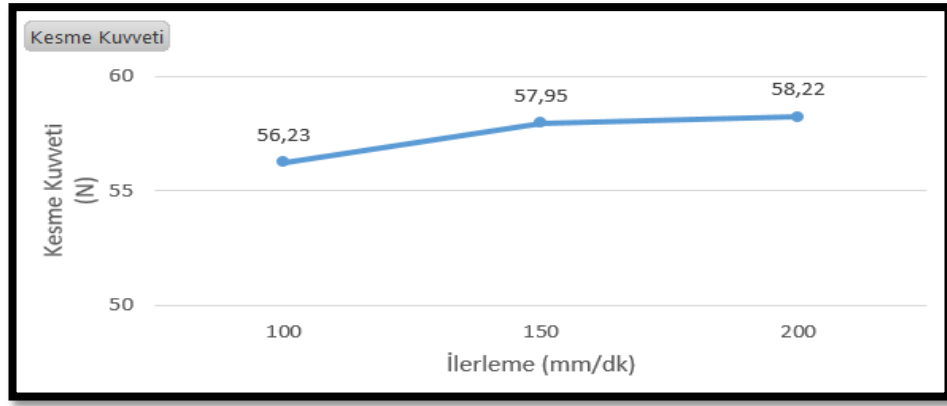
Şekil B.28 : 100 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



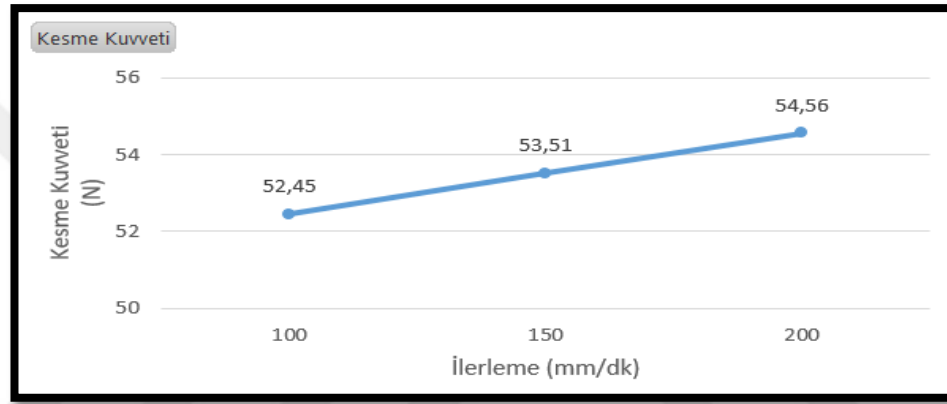
Şekil B.29 : 150 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



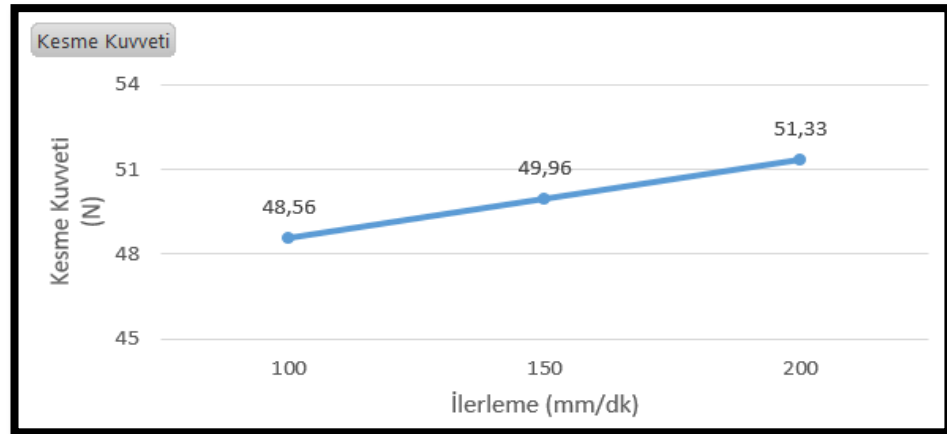
Şekil B.30 : 200 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



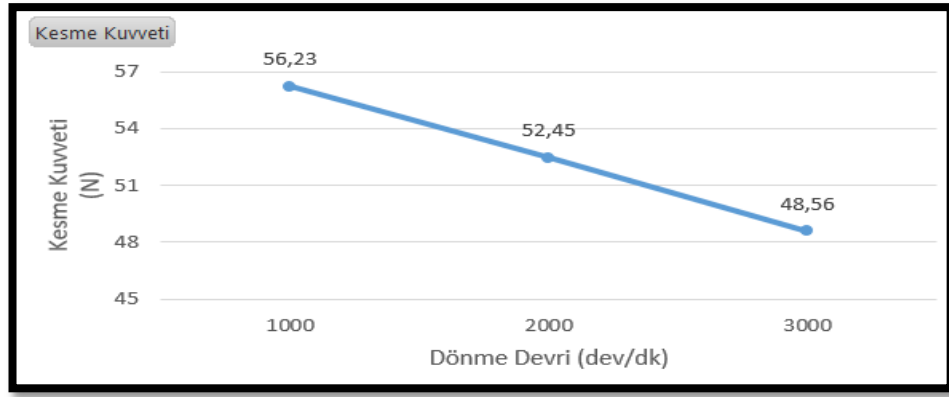
Şekil B.31 : 1000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



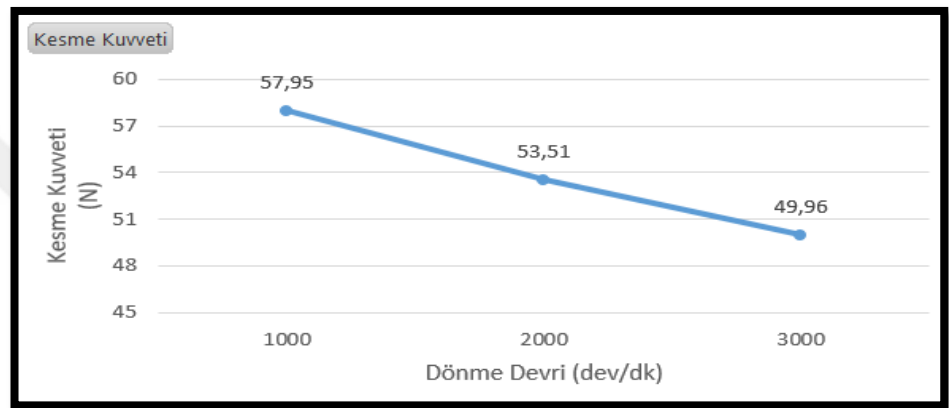
Şekil B.32 : 2000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



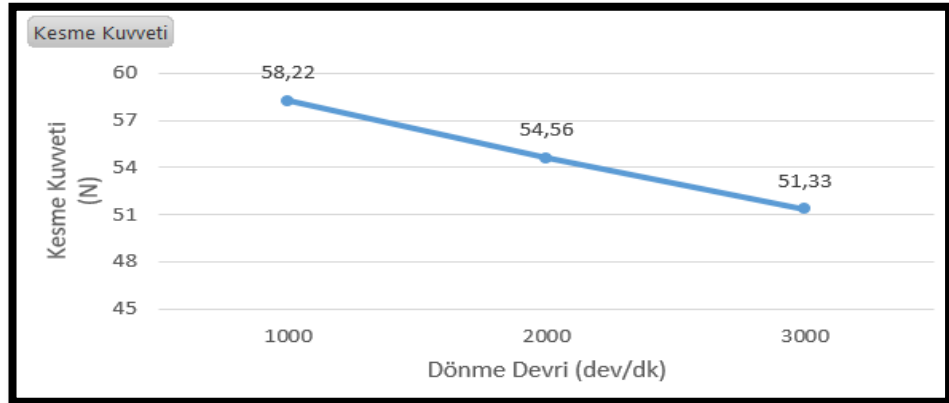
Şekil B.33 : 3000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



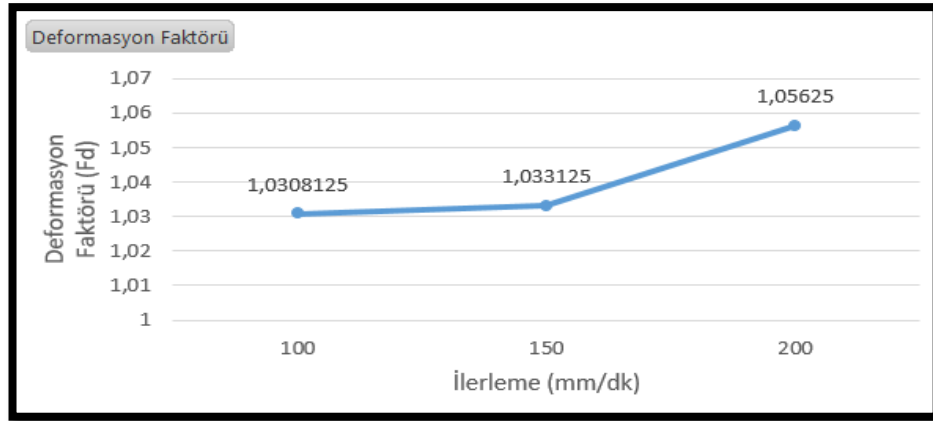
Şekil B.34 : 100 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



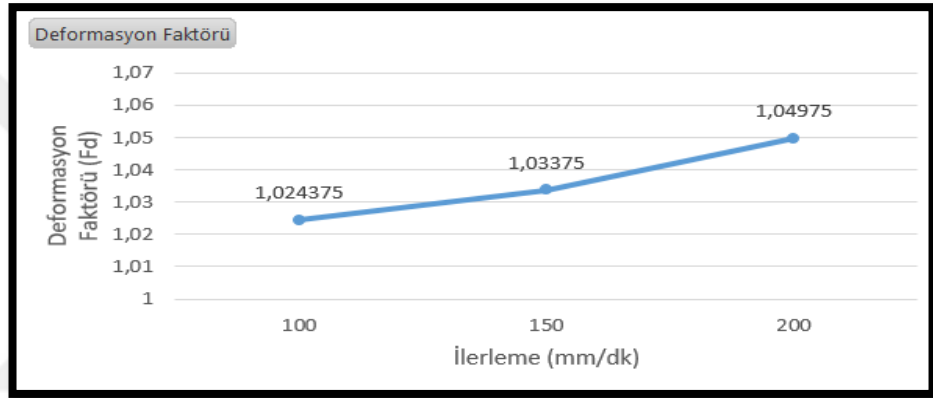
Şekil B.35 : 150 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



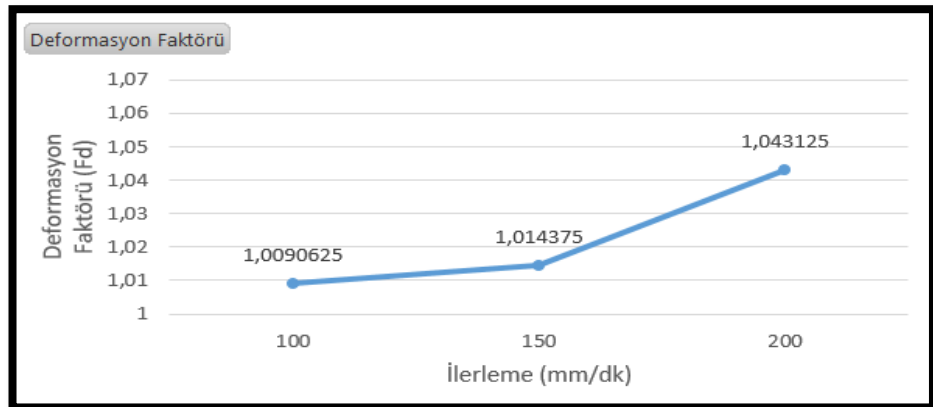
Şekil B.36 : 200 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için kesme kuvveti grafiği



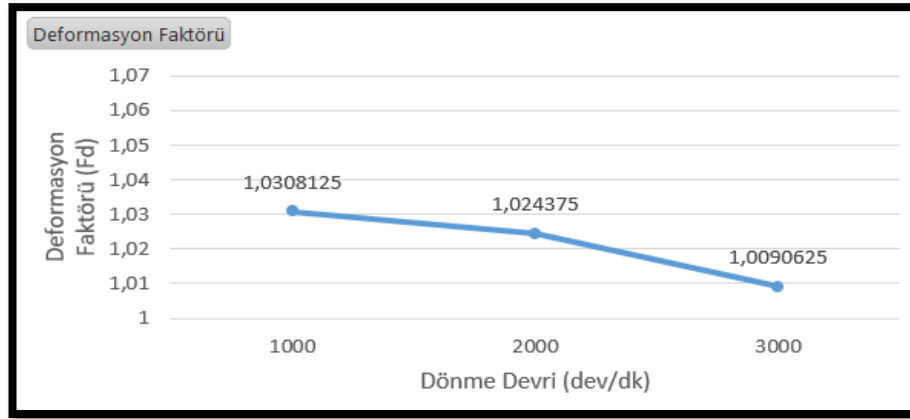
Şekil B.37 : 1000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



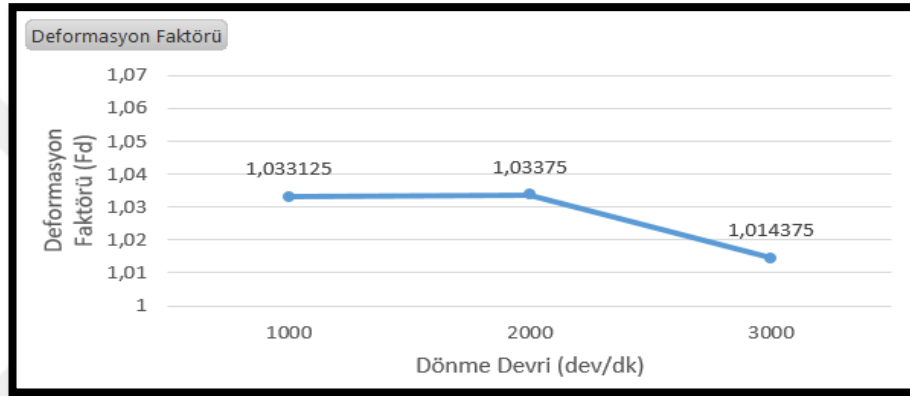
Şekil B.38 : 2000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



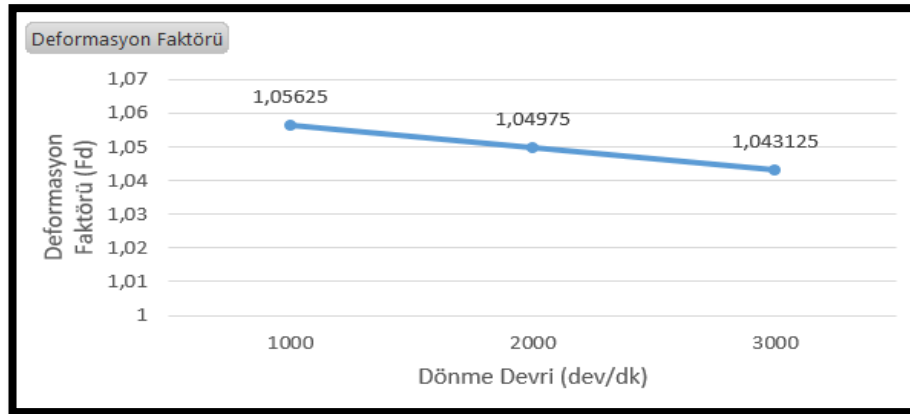
Şekil B.39 : 3000 dev/dk dönme devri ve 3 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



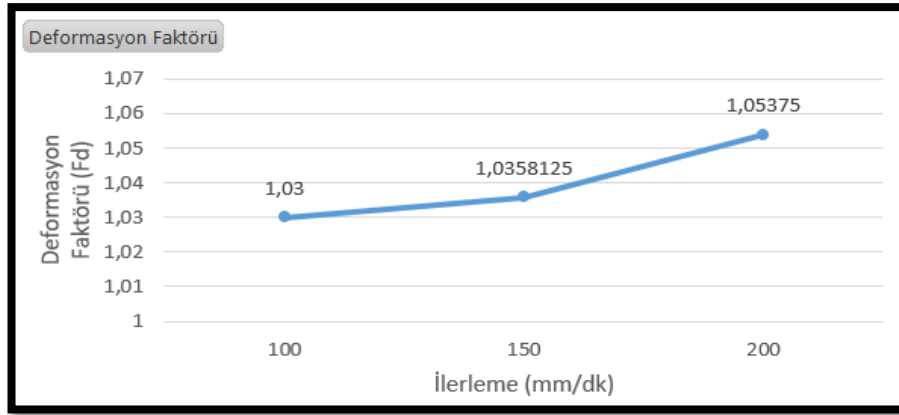
Şekil B.40 : 100 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



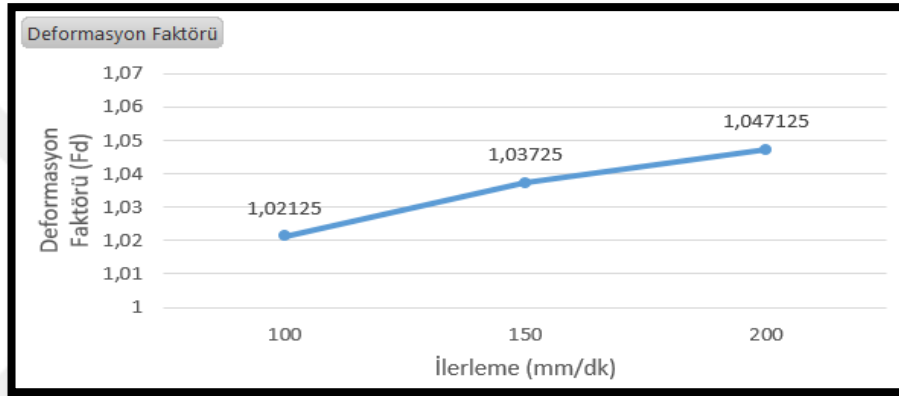
Şekil B.41 : 150 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



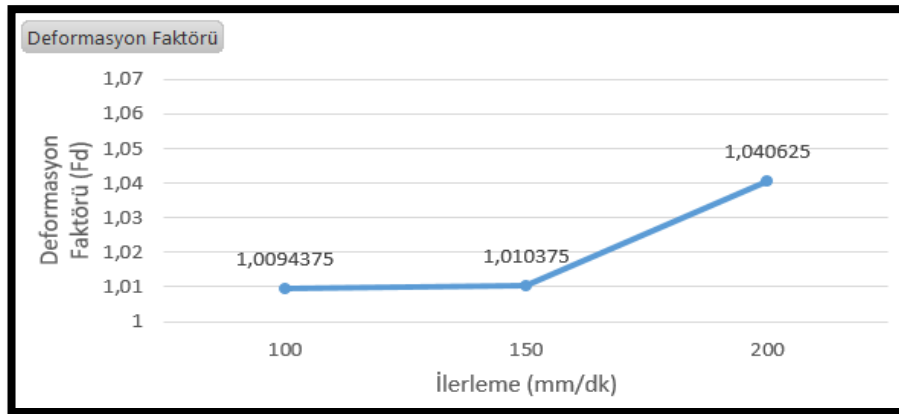
Şekil B.42 : 200 mm/dk ilerleme ve 3 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



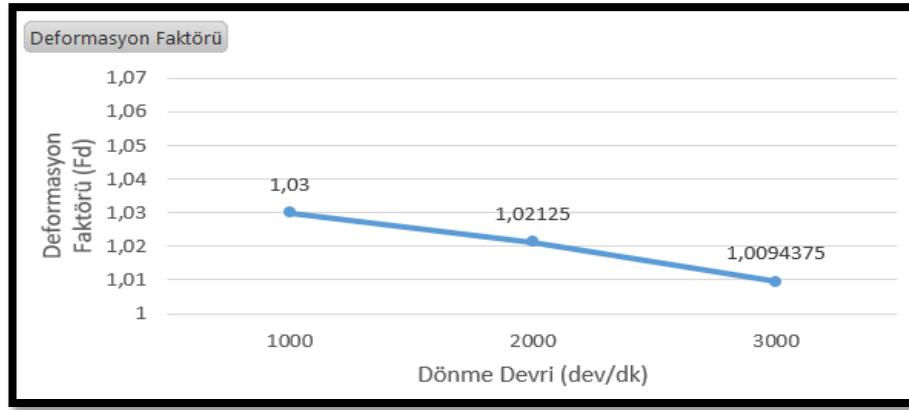
Şekil B.43 : 1000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



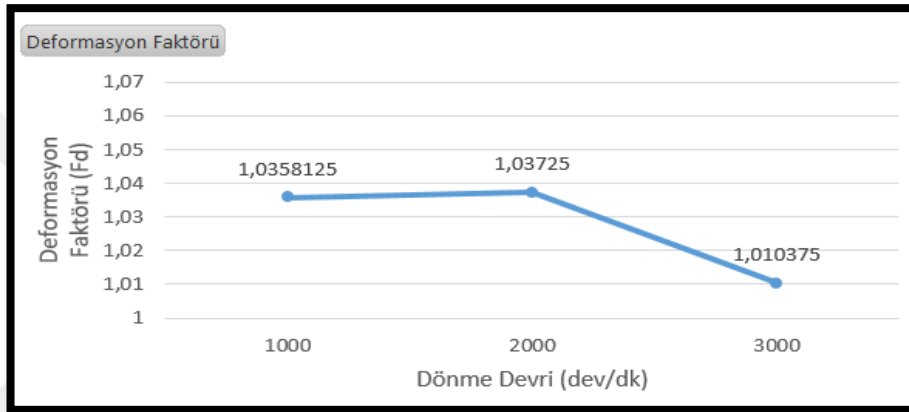
Şekil B.44 : 2000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



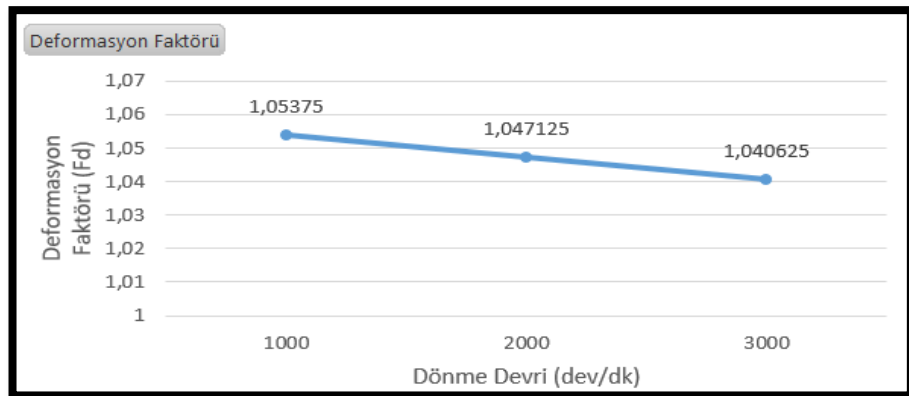
Şekil B.45 : 3000 dev/dk dönme devri ve 4 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



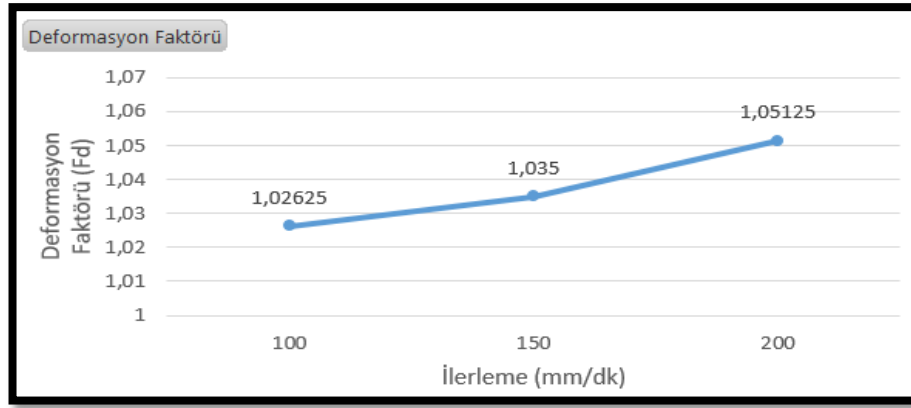
Şekil B.46 : 100 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



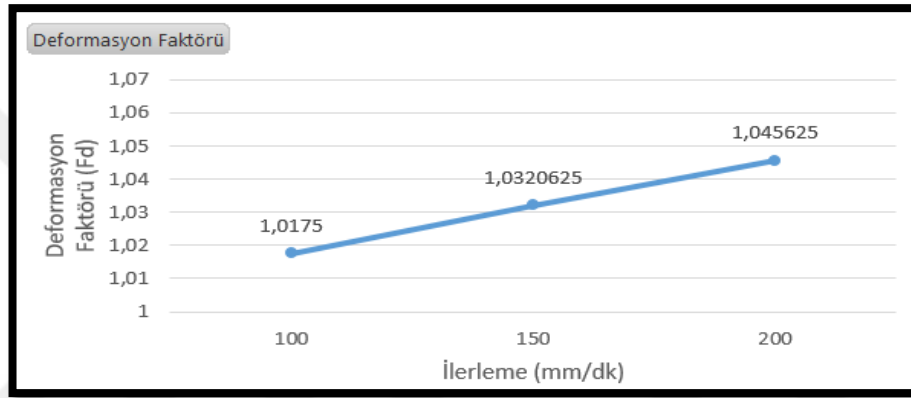
Şekil B.47 : 150 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



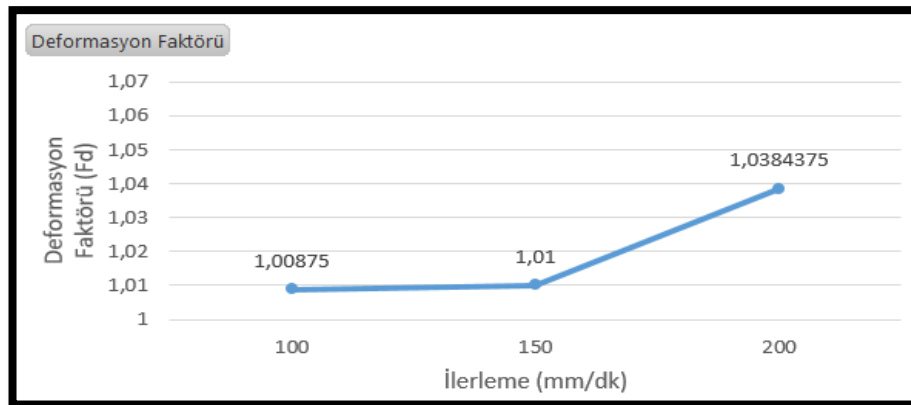
Şekil B.48 : 200 mm/dk ilerleme ve 4 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



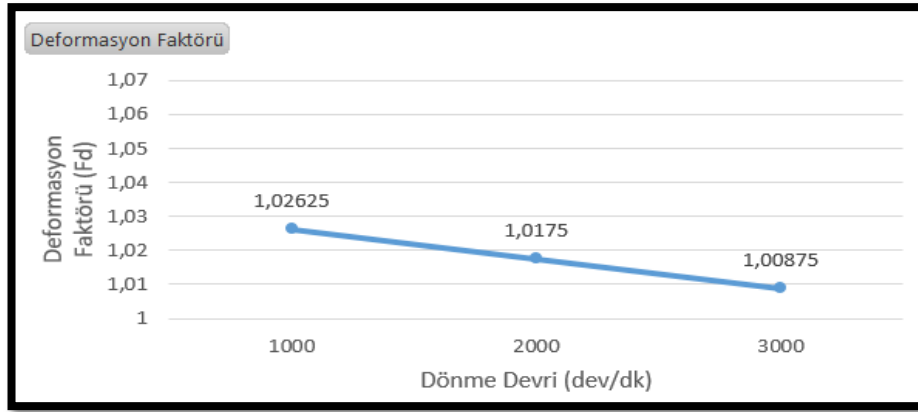
Şekil B.49 : 1000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



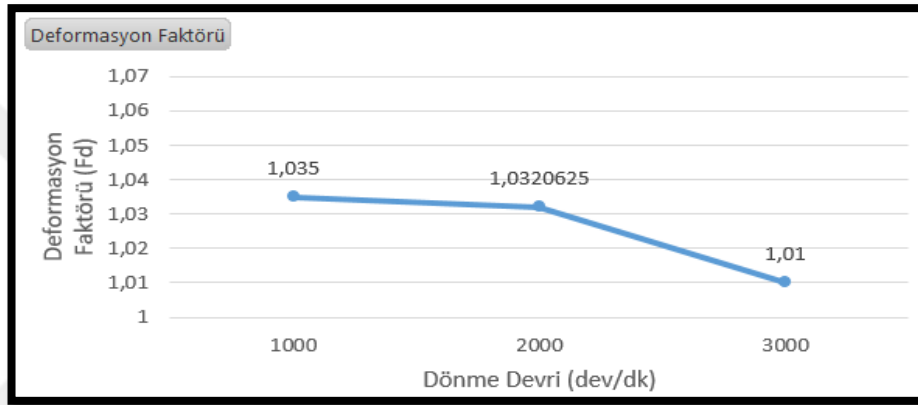
Şekil B.50 : 2000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



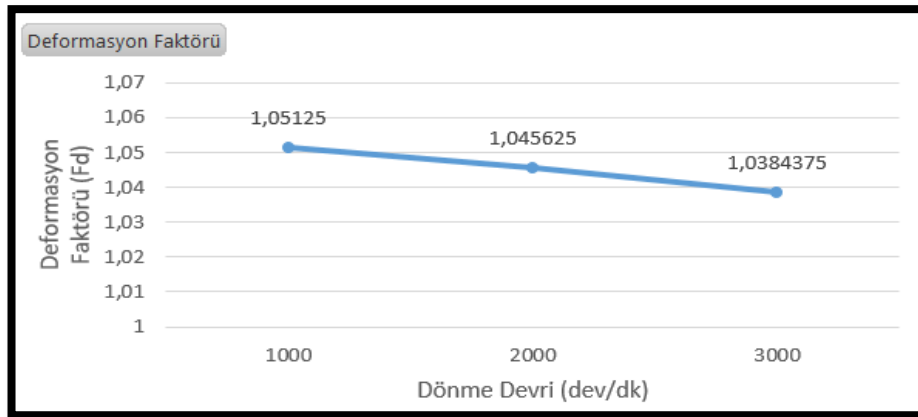
Şekil B.51: 3000 dev/dk dönme devri ve 7 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



Şekil B.52 : 100 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



Şekil B.53 : 150 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği



Şekil B.54 : 200 mm/dk ilerleme ve 7 ağızlı karbür freze için deformasyon faktörü grafiği

## Ek C

Karbon prepreg malzemenin frezelenmesinden sonra oluşan yüzey görüntüleri;



Şekil C.1 : Karbon prepreg malzeme yüzey görüntüsü



Şekil C.2 : Karbon prepreg malzeme yüzey görüntüsü



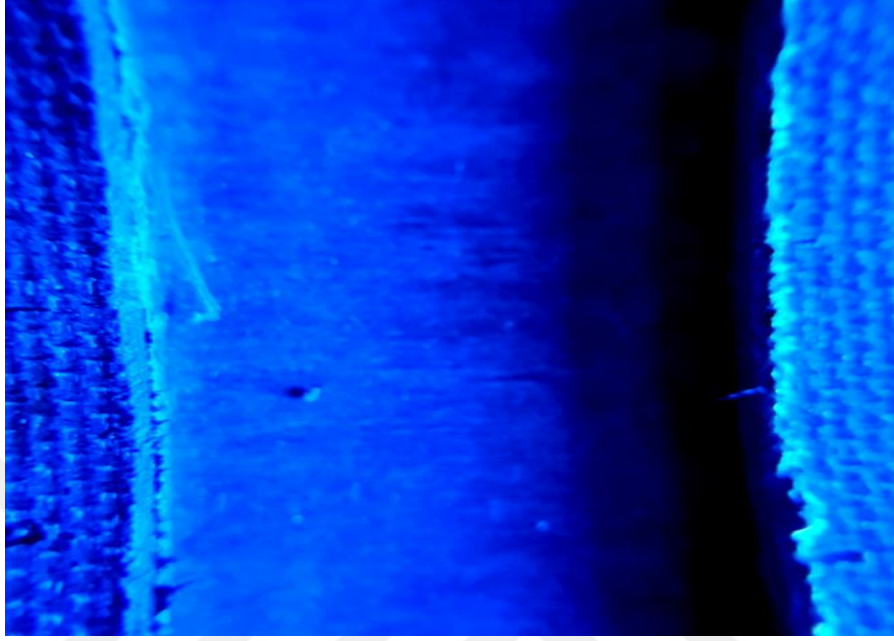
**Şekil C.3 :** Karbon prepreg malzeme yüzey görüntüsü



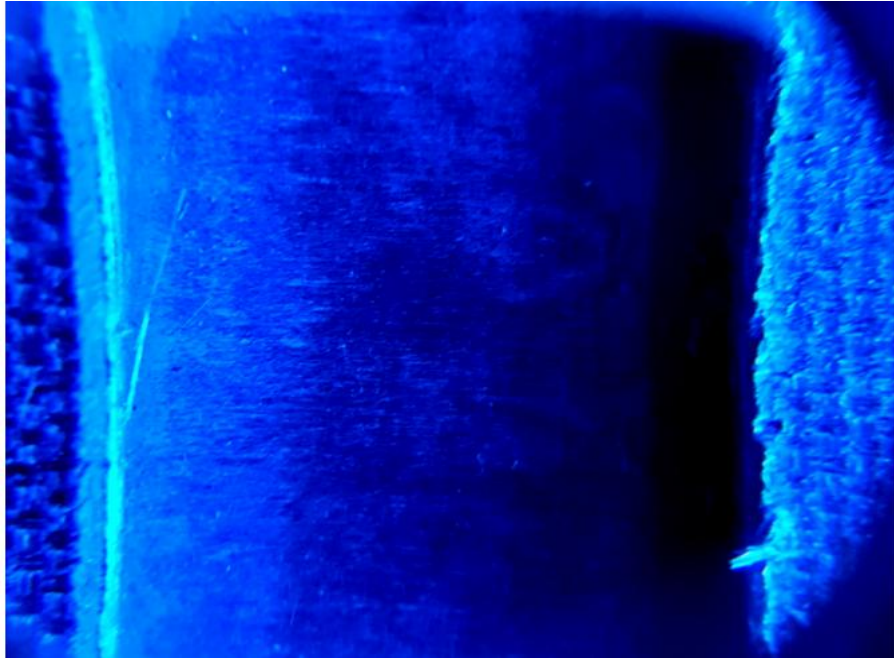
**Şekil C.4 :** Karbon prepreg malzeme yüzey görüntüsü

## Ek D

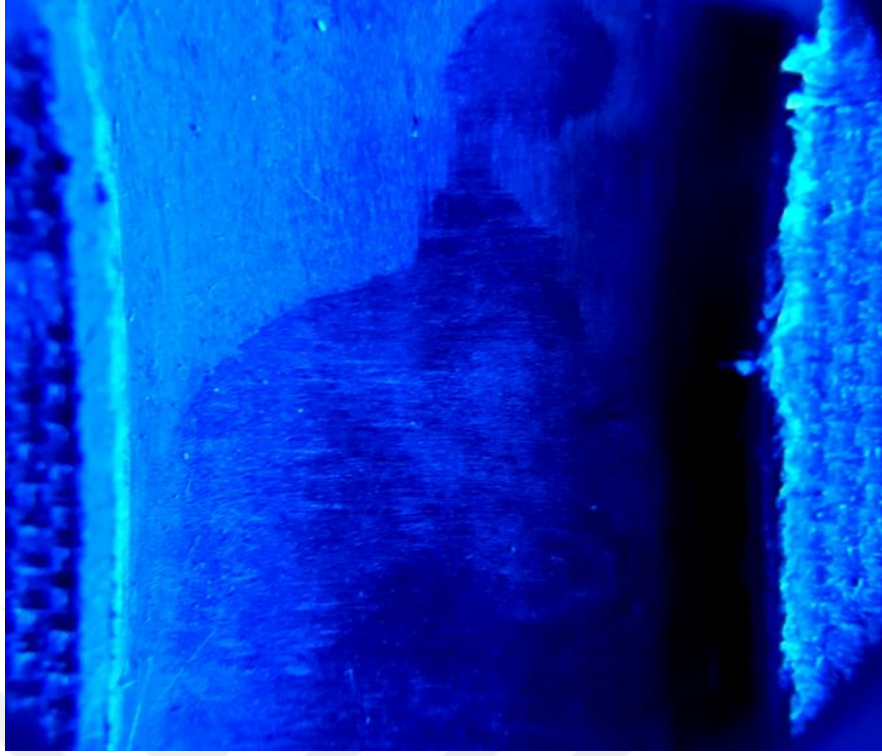
Karbon prepreg malzemenin frezelenmesinden sonra oluşan deformasyon görüntüleri;



Şekil D.1 : Karbon prepreg malzeme deformasyon görüntüsü



Şekil D.2 : Karbon prepreg malzeme deformasyon görüntüsü



**Şekil D.3 :** Karbon prepreg malzeme deformasyon görüntüsü

## Ek E

Karbon prepreg malzemenin 7 ağızlı Ti-Al kesici takım ile 1000 dev/dk ve 100 mm/dk ile yüzey pürüzlülüğü ölçümünde alınan sonuç;



Şekil E.1 : Karbon prepreg malzemenin yüzey pürüzlülük cihazı çıktısı

## ÖZGEÇMİŞ



**Adı Soyadı** : Latif Alper GAGA  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 26.08.1991 – Gelibolu  
**E-posta** : [alpergaga@gmail.com](mailto:alpergaga@gmail.com)

## ÖĞRENİM DURUMU

**Lisans** : 2015, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği  
**Yüksek Lisans** : 2020, İstanbul Gedik Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

## İŞ DENEYİMLERİ

- 2016 – 2018, Kale Havacılık, NC Programlama Mühendisi
- 2018- Devam Ediyor, Kale Havacılık, Proses Mühendisi

## YABANCI DİLLER

İngilizce