

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

**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN FREZELENMESİNDE
İŞLEME KALİTESİ ÜZERİNE SOĞUTMA ŞARTLARININ
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Çiğdem BAYER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DIYARBAKIR

Şubat 2021

TEŞEKKÜR

Tez süreci boyunca değerli yardımları için tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erol KILIÇKAP'a çok teşekkür ederim. Ders aldığım ve bilgilerinden istifade ettiğim hocalarım, başta yine Sayın Prof. Dr. Erol KILIÇKAP olmak üzere diğer hocalarıma bu süreçteki katkıları için ayrıca teşekkür ederim.

Her zaman destekleriyle yanımda olan çocuklarıma ve aileme de teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
EKLER LİSTESİ	X
KISALTMA VE SİMGELER	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Kompozit Malzemeler	9
2.1.1. Kompozit Uygulamaları	10
2.1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırması	12
2.1.3. Kompozitlerde Kullanılan Elyaf lar	13
2.1.3.1. Cam Elyaf lar	13
2.1.3.2. Karbon Elyaf lar	13
2.1.3.3. Aramid (Kevlar) Lifleri	14
2.1.3.4. Seramik Elyaf lar	14
2.1.3.5. Doğal Elyaf lar	14
2.2. Kompozitlerin İşlenmesinde Kullanılan Kesici Takım Malzemeleri	15
2.2.1. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)	15
2.2.2. Sert Karbürler (WC)	15
2.2.3. Kaplamalı Karbürler	16
2.2.4. Seramikler	16
2.2.5. Polikristal Elmas (PCD)	16

2.2.6.	Polikristal Kübik Bor Nitrür (PCBN)	17
2.2.7.	Elmas Kaplamalı Karbürler	17
2.3.	Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü	18
2.4.	Deformasyon	20
2.5.	Kesme Sıvıları	22
2.6.	Talaşlı İşleme Ortamları	26
2.6.1.	Kuru İşleme	26
2.6.2.	Kriyojenik İşleme	27
2.6.3.	Minimum Miktarlı Yağlama (MMY)	28
2.6.4.	Soğutulmuş Basınçlı Hava	30
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1.	Deney Malzemesi ve Numuneleri	31
3.2.	Frezeleme Parametrelerinin Belirlenmesi	31
3.3.	Deneylerde Kullanılan Kesici Takım	32
3.4.	Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvıları	32
3.5.	Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı	35
3.6.	Kesme Kuvveti Ölçümü	36
3.7.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	37
3.8.	Deformasyon Ölçümü	38
3.9.	Deneysel Çalışmaların Yapılışı	39
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	41
4.1.	Frezeleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi	42
4.2.	Frezeleme Parametrelerinin Deformasyon Faktörü Üzerine Etkisi	49
4.3.	Frezeleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	57
5.	SONUÇLAR	63

6. KAYNAKLAR	65
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ	77



ÖZET

ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN FREZELENMESİNDE İŞLEME KALİTESİ ÜZERİNE SOĞUTMA ŞARTLARININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çiğdem BAYER

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT ANA BİLİM DALI

2021

Elyaf takviyeli plastikler gibi hafif ve yüksek mukavemetli kompozitler uzay, havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin montajında çeşitli talaşlı işlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan biri de frezelemedir. Bu malzemeler kuru ortam koşullarında işlenirken deformasyon ve yüksek yüzey pürüzlülüğü gibi düşük yüzey kalitesine neden olmaktadır. Ancak kesme sıvısı kullanılarak işlendiğinde de bu defa sağlık ve çevre sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Son yıllarda, kesme sıvısı kullanımının yerine soğutma ve yağlama görevini yerine getiren minimum miktarlı yağlama (MMY) tercih edilmektedir. Bazen MMY'nin performansını arttırmak için nano düzeyde katkı malzemeleri de ilave edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitlerin farklı iş mili devri, ilerleme oranı ve kesme ortamında kanal frezelemesi araştırılmıştır. Amaç iş mil devri, ilerleme oranı ve kesme ortamı gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmaktır. Deneyler 1000, 2000 ve 3000 dev/dak iş mili devrinde, 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında ve kuru, MMY-KS (Minimum Miktarlı Yağlama-Kesme Sıvısı) ve MMY-KS-Gr (Minimum Miktarlı Yağlama-Kesme Sıvısı-Grafen) kesme ortamında yapıldı. Deneylerde 8 mm çapında TiN kaplı sert karbür (WC) kesici takımlar kullanıldı. İş mili devrinin artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığı, ilerlemenin artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edildi. İş mili devrinin ve ilerlemenin artması ile deformasyonun arttığı görüldü. Yüzey pürüzlülüğü iş mili devrinin artması ile düşerken ilerlemenin artması ile arttı. En iyi sonuçlar MMY-KS-Gr ile yapılan deneylerden elde edilirken en kötü sonuçlar kuru ortamda yapılan deneylerden elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Elyaf Takviyeli Kompozitler, Deformasyon, Frezeleme, Kesme Kuvveti, Minimum Miktarlı Yağlama, Yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COOLING CONDITIONS ON MACHINING QUALITY IN MILLING OF FIBER REINFORCED COMPOSITES

MSc THESIS

Çiğdem BAYER

DİCLE UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL&APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CONSTRUCTION&MANUFACTURING

2021

Lightweight and high strength composites such as fiber reinforced plastics are widely used in the aerospace, aviation and automotive industries. Various machining is required in the assembly of these materials. One of them is milling. When these materials are machined in dry conditions, they cause low surface quality such as deformation and high surface roughness. However, when it is machined using cutting fluid, health and environmental problems are encountered this time. In recent years, minimum quantity lubrication (MQL), which performs cooling and lubrication functions, has been preferred instead of using cutting fluid. Sometimes nano-level additives are added to increase the performance of MQL.

In this thesis study, end milling of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composites in different spindle speed, feed rate and cutting environment was investigated. The aim is to investigate the effects of cutting parameters such as spindle speed, feed rate and cutting environment on cutting force, delamination and surface roughness. End milling experiments were performed at 1000, 2000 and 3000 rpm spindle speed, 0.05, 0.10 and 0.15 mm / rev feed rate and dry, MQL-CF (Minimum Quantity Lubrication-Cutting Fluid) and MQL-CF-Gr (Minimum Quantity Lubrication-Cutting Fluid-Grafen) cutting environment. In the experiments, 8 mm diameter TiN coated hard carbide (WC) cutting tools were used. It was determined that the cutting forces decreased with the increase of the spindle speed and the cutting forces increased with the increase of the feed rate. It was observed that the delamination increased with the increase of spindle speed and feed rate. Surface roughness increased with increasing feed rate while decreasing with increasing spindle speed. The best results were obtained from experiments with MQL-CF-Gr, while the worst results were obtained from experiments in dry environment.

Keywords: Fiber Reinforced Composites, Delamination, Milling, Cutting Force, Minimum Quantity Lubrication, Surface Roughness

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1.	Yağlama tiplerinin sınıflandırılması	30
Çizelge 3.1.	UP GM 201 malzemesinin mekanik özellikleri	31
Çizelge 3.2.	Kesme parametreleri ve değerleri	32
Çizelge 3.3.	TiN kaplı WC parmak kesici takıma ait bazı özellikler	32
Çizelge 3.4.	Werte DKN 25 MMY sisteminin bazı özellikleri	33
Çizelge 3.5.	Kistler 9257B piezo-elektrik dinamometrenin teknik özellikleri	36
Çizelge 3.6.	Frezelemede kullanılan parametreler	39
Çizelge 4.1.	Kuru frezeleme ortamında elde edilen deney sonuçları	41
Çizelge 4.2.	MMY-KS ortamında frezeleme ile elde edilen deney sonuçları	41
Çizelge 4.3.	MMY-KS-Gr ortamında frezeleme ile elde edilen deney sonuçları	42
Çizelge 4.4.	Kuru frezeleme ortamına ait deformasyon görüntüleri	53
Çizelge 4.5.	MMY-KS frezeleme ortamına ait deformasyon görüntüleri	54
Çizelge 4.6.	MMY-KS-Gr frezeleme ortamına ait deformasyon görüntüleri	55

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Boeing 787'de kompozit kullanımı	11
Şekil 2.2.	İşlenmiş bir yüzeyin şematik gösterimi	19
Şekil 2.3.	Tabaka yüzeyi deformasyonu tipleri	21
Şekil 2.4.	Frezelemede deformasyon ölçümü	22
Şekil 2.5.	Kesme sıvılarının sınıflandırılması	23
Şekil 3.1.	Werte DKN 25 MMY sistemine ait görüntü	33
Şekil 3.2.	Kuru ortamda yapılan deney	34
Şekil 3.3.	MMY-kesme sıvısı ortamında yapılan deney	34
Şekil 3.4.	MMY-kesme sıvısı-grafen ortamında yapılan deney	35
Şekil 3.5.	Brother S500X1 CNC dik işleme merkezi	35
Şekil 3.6.	Kistler 9257B dinamometre	36
Şekil 3.7.	Kesme kuvveti ölçümü için kurulan düzenek	37
Şekil 3.8.	Kurulan deney düzeneğinin şematik resmi	37
Şekil 3.9.	Taylor-Hobson Surtronic 3+ pürüzlülük ölçüm cihazı	37
Şekil 3.10.	Malzeme üzerinden pürüzlülük ölçümü	38
Şekil 3.11.	Deformasyon faktörünün belirlenmesi	38
Şekil 4.1.	İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (kuru)	43
Şekil 4.2.	İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS)	43
Şekil 4.3.	İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)	44
Şekil 4.4.	İlerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi (kuru)	44
Şekil 4.5.	İlerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS)	45
Şekil 4.6.	İlerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)	45

Şekil 4.7.	UP GM 201 CETP frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği	46
Şekil 4.8.	UP GM 201 CETP frezelenmesinde kesme parametrelerinin maksimum kesme kuvveti üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği	46
Şekil 4.9.	Frezelemede oluşan kesme kuvvetlerine ait kesme kuvveti-zaman grafiği (3000 dev/dak, 0.10 mm/dev)	47
Şekil 4.10.	İş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine etkisi (kuru)	49
Şekil 4.11.	İş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS)	50
Şekil 4.12.	İş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)	50
Şekil 4.13.	İlerleme oranının deformasyon faktörü üzerine etkisi (kuru)	51
Şekil 4.14.	İlerleme oranının deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS)	51
Şekil 4.15.	İlerleme oranının deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)	52
Şekil 4.16.	UP GM 201 CETP frezelenmesinde kesme parametrelerinin DF üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği	52
Şekil 4.17.	İş mili devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (kuru)	57
Şekil 4.18.	İş mili devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS)	58
Şekil 4.19.	İş mili devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)	58
Şekil 4.20.	İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (kuru)	59
Şekil 4.21.	İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS)	59
Şekil 4.22.	İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)	60
Şekil 4.23.	UP GM 201 CETP'in frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği	60

EKLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (Kuru Frezeleme, Deney no:1, 2 ve 3)	71
Şekil 2.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (Kuru Frezeleme, Deney no:4, 5 ve 6)	71
Şekil 3.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (Kuru Frezeleme, Deney no:7, 8 ve 9)	72
Şekil 4.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS, Deney no:10, 11 ve 12)	72
Şekil 5.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS, Deney no:13, 14 ve 15)	73
Şekil 6.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS, Deney no:16, 17 ve 18)	73
Şekil 7.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS-Gr, Deney no:19, 20 ve 21)	74
Şekil 8.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS-Gr, Deney no:22, 23 ve 24)	74
Şekil 9.	Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS-Gr, Deney no:25, 26 ve 27)	75

KISALTMA VE SİMGELER

CBN	: Kübik Bor Nitrür
CETP	: Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
ETKM	: Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme
f	: İlerleme Oranı (mm/dev)
Fd	: Deformasyon Faktörü
Fmaks	: Maksimum Kesme Kuvveti
FMT	: Fiber Metal Tabakalı Kompozit
Fort	: Ortalama Kesme Kuvveti
FTP	: Fiber Takviyeli Plastik Kompozit
GLARE	: Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum Laminat (Cam/Epoksi/Alüminyum Tabaka)
Gr	: Grafen
HSS	: Yüksek Hız �elięi
KETP	: Karbon Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit
KS	: Kesme Sıvısı
L	: Örnekleme Uzunluğu
MMY	: Minimum Miktarda Yağlama
PAN	: Poliakrilonitril
PCBN	: Polikristal Kübik Bor Nitrür
PCD	: Çok Kristalli Elmas
Ra	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
UAM	: Ultrasonik Destekli İşleme
UD	: Tek Yönlü
W	: Kesme Genişliği (Takım �apı)
WC	: Sert Karbür
Wmax	: Maksimum Hasar Genişliği

1. GİRİŞ

Uzay ve havacılık endüstrisi yapısal bileşenlerinde alüminyum ve çelik gibi geleneksel iş parçası malzemelerinin yerini üstün özelliklerinden dolayı kompozit malzemeler almaktadır. Tasarım gereksinimlerini karşılamak için kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit malzemelerin anizotropik ve homojen olmayan yapısı ve takviye bileşenlerinin yüksek aşındırıcılığı nedeniyle kompozit malzemelerin işlenmesi zordur. Bu, tipik olarak, iş parçasına hasar verilmesi ve kesici takımında çok hızlı aşınma gelişimi ile sonuçlanır. Uygun takım tasarımı ve çalışma koşullarının benimsenmesi koşuluyla, kompozit malzemelere tornalama, delme veya frezeleme gibi geleneksel işleme süreçleri uygulanabilir. Takım ve takım tezgâhı teknolojisindeki önemli gelişmelere ve son on yılda iyileştirilmiş işlem kapasitesine rağmen, endüstri tarafından daha fazla üretkenlik ve iyileştirilmiş yüzey kalitesi/bütünlüğü elde etmek için yenilikler sürekli olarak takip edilmektedir. İşleme parametrelerinin optimizasyonu ile kompozitlerin işlenebilirliği artırılabilir. Özellikle takım/iş parçası ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı kesme sıvısına ihtiyaç duyulmaktadır.

Tarihsel olarak, kesme sıvıları son 200 yıldır talaşlı işlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlangıçta kesme sıvıları, takım tezgâhını yağlamak ve soğutmak için fırçalarla uygulanan basit yağlardan oluşmaktaydı. Talaş kaldırma işlemini kolaylaştırmak ve kesme bölgesini soğutmak için ilk başlarda su ve daha sonra ise domuz yağı, balina yağı gibi hayvansal yağlar eklenmiştir. Kesme işlemlerinin daha kapsamlı ve özellikli bir hale gelmesi ve talaşlı işlemede verimliliğin öne çıkmasıyla zaman içerisinde performansları yüksek kesme sıvılarına ihtiyaç duyulmuştur. Günümüz kesme sıvıları, metal işleme endüstrisinin performans taleplerini karşılamak için formüle edilmiş özel kimyasal katkı maddeleri, yağlayıcılar ve su karışımlarından oluşmaktadır (Giraltoš ve ark. 2007).

Talaşlı işlemede metal işleme sıvılarının kullanılması, faydaları yanı sıra, çevre kirliliği ve sağlık problemleriyle ilişkili bazı olumsuzlukları da beraberinde taşır. Talaşlı işleme operatörlerinin kesme sıvısı sisini solumaya maruz kaldıkları için yaşadıkları tipik sağlık sorunları arasında solunum hastalıkları (astım, kronik bronşit, aşırı duyarlılık pnömonisi), kanser ve cilt hastalıkları yer alır (Schwarz ve ark. 2014).

Kesme sıvılarının kullanımından kaynaklanan olası sağlık ve çevresel konularla ilgili endişeler, imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kesme sıvılarının kullanımının azaltılmasının veya tamamen ortadan kaldırılmasının önemini vurgulamıştır.

Bu nedenle, kesme sıvılarının kullanımının azaltılması önem arz etmektedir. Bunun için minimum miktarda yağlama (MMY) en iyi yöntemlerden biridir. Adından da anlaşılacağı gibi, yağlayıcı miktarı, etkili olması için gereken en az miktara indirgenir.

MMY ile işleme, sürdürülebilir üretim bağlamında daha temiz üretim için pratik yollardan biri olarak kabul edilmiştir. MMY'nın prensibi, işleme eksenini boyunca kesme bölgesine yalnızca bir miktar sıvı içeren hava-sıvı karışımı uygulamasıdır (Zhang ve ark. 2012). MMY'nın en temel faydası; kesme sıvısı tüketiminin azaltılması, maliyet tasarrufu, çevreye etkisinin azaltılması, kesme işleminde genel performansın artması ve yüzey kalitesidir (Fratila 2009).

Bu tezin amacı; cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitlerin frezelenmesinde, kuru, minimum miktarda yağlama ve grafit ilave edilmiş minimum miktarda yağlamanın (MMY-KS-Gr) olduğu kesme ortamında, iş mili devri ve ilerleme oranı gibi işleme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve deformasyon faktörü üzerinde etkilerinin araştırılmasıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kapsamlı, iyi yapılmış araştırma çalışmalarına rağmen, lifli kompozitlerin ve ilgili plakalarının MMY işlemesi ile ilgili şimdiye kadar çok sınırlı çalışma bildirilmiştir (Xu ve ark. 2020).

İşleme uygulamaları için soğutma sıvısı sektöre hâkim olmasına rağmen, geleneksel soğutma yöntemlerinin kullanımı yavaş yavaş MMY ve kriyojenik soğutma (LN₂ ve CO₂) gibi daha verimli, ekonomik ve çevre dostu bir soğutma sıvısı ile değiştirilmektedir. MMY ve kriyojenik işleme, özellikle kuruya kıyasla takım aşınmasının azaltılması veya geleneksel soğutmadan elde edilenlere benzer sonuçlar sağlama ve kesme sıcaklığı ile kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltma yetenekleri nedeniyle, metallerde ve kompozit yapılarda işlenmiş parçaların kalitesinin iyileştirilmesine önemli bir katkı sağlamıştır (Giasin 2016).

Helmy ve ark. (2018), farklı kesme koşullarında elmas aşındırıcı takımlar kullanarak çok yönlü KETP (Karbon Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit) laminatlarının ultrasonik destekli işlemesi (UAM) üzerindeki farklı sıvı dağıtım yöntemlerinin (MMY, soğutma sıvısı) etkisini araştırmıştır. İncelenen işlem parametreleri, kesme hızı, ilerleme oranı, radyal kesme derinliği ve soğutma modlarıydı. Her bir faktörün performans özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için istatistiksel analiz yapmışlardır. KETP kompozitlerinin kenar frezelemesi sırasında, soğutma sıvısının MMY'dan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Xu ve ark. (2020), KETP / Ti6Al4V plakalarının MMY ve kuru delme etkileri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır. Hem MMY hem de kuru işlemenin, takım-ış parçası ara yüzünde temas koşullarındaki değişiklikler nedeniyle KETP / Ti6Al4V plakalarını delerken itme kuvvetleri ve deformasyon hasarı üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olduğunu ve ayrıca MMY koşulu altında KETP ve titanyum fazları için KETP talaşlarının tıkanması nedeniyle daha yüksek itme kuvvetleri bildirmişlerdir. Kuru şartlar altında işlemeyi, itme kuvvetlerinin ve deformasyon uzantılarının azaltılması için faydalı olarak tespit etmişlerdir. KETP fazının delinmesinde MMY ortamının çalışma mekanizmaları, metal kesme işlemlerinden tamamen farklı olduğu için bu fazda MMY ortamı, delme kuvvetlerinin azaltılmasında ve kompozit fazın deformasyon hasarında bir etki yapamamıştır. MMY ortamının kullanımı, çok katmanlı

kompozit / titanyum plakalarının delinmesinde kullanılan her iki delici için titanyum yapışma oranlarının azaltılmasına yardımcı olur, ancak geleneksel kuru işleme ile karşılaştırıldığında delici kenar aşınma oranının azaltılması üzerinde net bir etki göstermez. Ayrıca, TiAlN kaplı deliciler, elmas kaplı olanlardan daha düşük itme kuvvetleri ve daha düşük deformasyon faktörleri oluşturur ve yıkıcı kusurlara karşı daha yüksek aşınma direnci gösterir.

Rahman ve ark. (2000), yüksek basınçlı soğutma sıvısının, yığıntı talaşı ortadan kaldırması nedeniyle takım ömrünü ve yüzey kalitesini iyileştirmede etkili olduğunu bulmuşlardır. Kesme sıvılarının talaşları takım-iş parçası ara yüzünden de temizlediğini bildirmişlerdir. Kesme sıvıları olmadan, talaşların takım ve iş parçası ile karışarak işlenmiş yüzeyi bozabileceğini bulmuşlardır. Kesici takım üzerinde katı yağlama, MMY, soğutulmuş hava ile yağlama ve biyo bozunabilir yağlama maddeleri uygulamasının soğutucu sıvılara bağımlılığı azaltmak için alternatif yağlama yöntemleri olduğunu bildirmişlerdir.

Rahman ve ark. (2002), MMY ile düşük hız ve kesme derinliğinde yapılan frezeleme işleminin takım ömrünü ve yüzey kalitesini geliştirmede çok etkili olduğunu bulmuşlardır.

Liao ve ark. (2007), MMY'nın 250 m/dak'ya kadar hem düşük hem de yüksek hızlı frezelemede takım ömrünü ve yüzey kalitesini geliştirdiğini bildirmişlerdir. MMY yüksek hızlı frezelemede kesme sıcaklığını düşürebilir ve düşük hızlı frezelemede yağlama etkisi sağlayabilir. Ayrıca MMY'da kullanılan yağın farklı viskozitesinin farklı takım ömrü ile sonuçlandığını da bulmuşlardır. Düşük hızlı frezelemede (150 m/dk'nın altında), yüksek viskoz yağ, düşük viskoz yağdan daha uzun takım ömrü sağlarken, yüksek hızlı frezelemede ters sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni, düşük viskoziteli yağın daha kolay uçması (düşük molekül ağırlıklı bileşenlerin daha yüksek bir kısmını içermesi nedeniyle) ve dolayısıyla yüksek hızlı işlemede daha iyi soğutma etkisi sağlaması olabilir.

Vorteks soğutmalı havanın akış hızı, KETP kompozitlerinin konvansiyonel oluklu frezelemesi durumunda kesme sıcaklığında etkili bir değişken olarak bulundu (El-Hofy 2017).

MMY, aerosol spreyine benzer şekilde, ~ 100 ml/saat düşük akış hızlarında atomize edilmiş ince damlacıklar iletmek anlamına gelir. Kuruya yakın işleme / MMY'nın üretim maliyetini düşürdüğü ve havacılık kompozitlerinin kesme hızını arttırdığı bildirilmektedir (Weinert ve ark.2004).

Pereira ve ark. (2015), “Tak ve Çalıştır” felsefesini izleyen ve daha önce geliştirilen önerilerden daha az ilk yatırımla herhangi bir MMY sistemine kolayca uyarlanabilecek bir nozul geliştirmişlerdir. Bu nozulu geliştirmenin amacı, daha üretken ve aynı zamanda daha çevre dostu bir talaşlı işleme endüstrisine doğru ilerlemektir. Simülasyonlar, daha yüksek bir hızın daha iyi yağlama-soğutma gerektirmediğini göstermiştir, çünkü üretilen sprey tamamen kesme bölgesine püskürtülmemektedir. Hedeflenen amaç ekolojik bir işlemi daha karlı hale getirmek için mineral yağ emülsiyonlarını en aza indirmek veya ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle, MMY + CO₂ işleme, ıslak işleme ile karşılaştırıldığında %90'ın üzerinde değerlere ulaşan ve daha çevre dostu olarak en iyi sonuçları sunan alternatif bir işlemdir.

Sreejith ve ark. (2000), alüminyum gibi demir dışı metallerin kuru işlenmesinde afinite, yüksek ısıl katsayıları ve ısı yayılmalarına sahip olmadıkları için kaplamalı kesici takımlar ve özel olarak elmas kaplı takımlar kullanılmasını önermişlerdir. Ayrıca, kuru işleme performansının iyileştirilmesi, soğutucu kullanmak yerine birikmiş talaşların boşaltılmasına yardımcı olmak için yüksek basınçlı sıkıştırılmış hava kullanılarak elde edilebileceğini bildirmişlerdir.

Kuru delme ile metaller ve kompozitler üzerinde yapılan bazı karşılaştırma çalışmaları, takım aşınmasının %50 oranında azaltılabildiğini, kuru koşullarda MMY ve kriyojenik soğutma kullanılarak özellikle uygun soğutma ve yüksek kesme hızlarında talaş temas uzunluğunun ve kalınlığının %20 azaldığını göstermiştir (Ghosh ve Rao 2015).

MMY parametrelerinin işleme performansı üzerindeki etkisi KETP laminatlarının frezelenmesinde incelenmiştir. Yanal aşınma basınçlı hava ile karşılaştırıldığında %30, kuru ve geleneksel soğutma sıvısına göre %22 azalmıştır. Yüksek hava debisi ve düşük yağ debisi, en uzun takım ömrü sağlamış ve en düşük işleme kusuru oluşturmuştur. MMY ile frezeleme sırasında, özellikle daha küçük damlacık boyutu, daha yüksek damlacık hızı ve daha düşük girdaptan dolayı maksimum

hava akış hızı ve minimum yağ akış hızı kombinasyonunda elde edildi (Iskandar ve ark. 2014).

Yuan ve ark. (2011), Ti-6Al-4V alaşımının kaplanmamış sementte karbür kesici uçlarla frezelenme işleminde, soğutma havası ile MMY, kuru, ıslak ve MMY gibi farklı soğutucu stratejilerinin etkisine ilişkin araştırmalar sunmuştur. Dört farklı soğutma havası sıcaklığının etkilerini karşılaştırmak için kesme kuvveti, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisi deneysel olarak incelenmiştir. Yazarlar, bulgulara göre şu sonucu çıkarır: (1) Soğutucu hava koşullarına sahip MMY; kuru, ıslak ve MMY koşullarında yapılan testlerden daha düşük kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Bu, kriyojenik soğutmanın ve yağlama kabiliyetinin yararlı etkisinden dolayı olabilir. (2) Kuru, ıslak ve MMY işlemleri sırasında yüzeylerde 0°C’de soğutucu hava işlemesi ile yan yüzeylerde ciddi pullanma ve çentik aşınması tespit edilmiştir. Aksine, -15°C, -30°C ve -45°C soğutma havası koşullarına sahip MMY ile aşınmada belirgin bir azalma olmuştur. (3) MMY’lı soğutucu hava koşullarında kısa talaşlar üretilmiş, ancak talaş kıvrılması büyük oranda desteklenememiştir. (4) Diğer sıcaklıklarla karşılaştırıldığında -15°C soğutucu hava koşullarına sahip MMY, işleme performansını bir dereceye kadar arttırmıştır.

Cong ve ark. (2011), döner ultrasonik işlemede KETP üzerinde soğutucu olarak kesme sıvısı ve soğuk hava kullanımını karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmalı çalışmada iki soğutma yöntemi kullanılırken kesme kuvveti seviyeleri, tork, yüzey pürüzlülüğü, işlenmiş yüzeyin yanması ve takım aşınması gözlemlenmiştir. Bir sıvının kullanılmasının her zaman yararlı olmadığı sonucuna vardılar. Çünkü bazı durumlarda kesme kuvvetleri ve tork değerleri soğutucu ortamdan bağımsız yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte, bir kesme sıvısı kullanmak çoğunlukla yüzey pürüzlülüğünde iyileştirme, takım aşınması ve işlenmiş yüzey yanmasının ortadan kaldırılmasının yanı sıra tork ve kesme kuvvetlerini azaltmıştır.

Senthilkumar ve ark. (2018), MMY koşulları altında KETP / Ti6Al4V plakalarının delinmesinde delik kalitesi sorunlarını inceleyen ilk kişiler arasındadır ve bu çalışmalarında değişen akış hızlarında bir dizi delme testi gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçları, düşük bir akış hızının plaka deliği kalitesinin iyileştirilmesinde faydalı olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, yazarlar MMY koşullarının kompozit / titanyum plakaları için geleneksel kuru işlemeden daha üstün veya daha düşük olduğunu

doğrulamamıştır. Buna ek olarak, MMY'nın çalışma mekanizması takım talaş arayüzündeki sürtünme katsayısını azaltmak olsa da, kompozitlerin kesilmiş yüzeyleri çok pürüzlüdür, bu da takım talaş temas yüzeyinde etkili bir yağ filmi oluşturmayı oldukça zorlaştırır. Bu nedenle, MMY koşullarının kullanımının KETP / titanyum plakalarının delme işlenebilirliğini geliştirip geliştiremeyeceği bilinmemektedir.

Park ve ark. (2011), MMY ile bilyalı freze testlerini gerçekleştirmişler ve MMY yönteminde nano grafenle güçlendirilmiş bitkisel kesme sıvısı kullanmışlardır. MMY yönteminde nano grafen kullanılarak aşınmayı azaltmada dikkate değer bir performans artışı sağlandığını bildirmişlerdir.

Su ve ark. (2007), soğutulmuş MMY'nın soğutulmuş havadan daha uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi oluşturduğunu ve bu yağlama tekniklerinin kuru işlemekten daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Brinksmeier ve Janssen (2002), alüminyum alaşımları, KETP ve titanyum alaşımlarından yapılmış çok katmanlı plakaların kesme kuvvetleri, takım aşınması, delik kalitesi ve talaş oluşumu açısından işlenmesi üzerine bir ön araştırma yapmışlardır. Yazarlar, çok katmanlı malzemeleri delerken MMY'nın içten bir kaynakla kullanılmasını önermişlerdir.

Meshreki ve ark. (2016), KETP / Al plakalarını delerken MMY etkilerini daha derinlemesine incelemiş ve MMY'nın işlemede de bazı dezavantajlara neden olabileceğini ortaya koymuşlardır. Örneğin, MMY, Al fazındaki kuvvetleri azaltabilmesine rağmen, KETP fazı için bir kuvvet yükselmesi bulunmuştur. Ek olarak, MMY koşullarının çok katmanlı plakanın her iki fazı için yüzey pürüzlülüğünü arttırdığını bulmuşlardır. KETP / Ti6Al4V plakalarının delinmesi, KETP / Al plakalarıyla karşılaştırıldığında, çok miktarda kesme ısısına ve hızlı takım aşınmasına yol açan daha zor bir iştir.

Kim ve ark. (2019), yeni bir nano-katı yağlama tekniği ile mikro delme kullanarak tek yönlü karbon fiber takviyeli plastik (UD-KETP) kompozitin deneysel karakterizasyonunu araştırmışlardır. Delik kalitesini ve takım aşınmasını iyileştirmek için, yeni nano-katı hava spreyli yağlama tekniğini önermişler ve UD-KETP'nin mikro delinmesine uygulamışlardır. Grafen nanoplateletler ve çok duvarlı karbon nanotüpler nano-katı yağlayıcılar olarak seçilmiştir. Deney sonucunu değerlendirmek için iki çeşit

nanopartikül göz önünde bulundurularak kuru ve hava spreyi koşulları karşılaştırılarak bir dizi deney yapılmıştır. Yeni yağlama sprey tekniğini doğrulamak için, deformasyon faktörü, kesilmemiş lif alanı, iç yüzey kalitesi ve takım aşınması analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlara dayanarak, nano-katı yağlama, UD-KETP delinirken işlenebilirliği arttırmıştır. Grafen nanoplateletler, delme performansı için çok duvarlı karbon nanotüplerden daha avantajlıdır. Her iki nano ölçekli parçacık ile nano-katı yağlama kullanılırken delinme faktörü, kesilmemiş elyaf ve delinmiş deliklerin iç yüzey pürüzlülüğü azaltılmıştır. Mikro matkap ucunun takım aşınmasıyla ilgili olarak, nano-katı yağlamanın kuru durumla karşılaştırıldığında takım aşınmasını büyük ölçüde azaltmak için etkili olduğu da doğrulanmıştır.

Chen ve ark. (2018), çalışmalarında karbür iki kenarlı freze takımının eğik yüzünde farklı geometrik özelliklere sahip yüzey dokuları oluşturmuşlardır. Bu dokulu takımlar ve geleneksel bir takım ile farklı elyaf açıları (0° , 45° , 90° ve 135°) olan tek yönlü lamine KETP üzerinde kuru kesme testleri yapılmıştır. İşlenmiş iş parçalarının yüzey kalitesi, yüzey pürüzlülüğü, çapak, yırtılma olayı ve lif kırılma şekli açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, mikro yapılı freze takımları tarafından işlenen KETP'nin yüzey kalitesinin geleneksel olandan daha iyi olduğunu göstermiştir. Bu arada, yüzey yapısı ve elyaf dökme tipleri işlenmiş parçanın yüzey kalitesi üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Ana kesme kenarına paralel olan doğrusal oluklar çapak uzunluğunu azaltmada, elyaf talaşlar bükülme deformasyonunda ve işlenmiş yüzeyin yırtılma olgusunda daha etkili olmuştur.

Giasin (2016), çalışmasında GLARE'in (cam elyaf takviyeli alüminyum laminat) delme işlemi sırasında soğutucu varlığının delik kalitesini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir. Kriyojenik sıvı azot kullanımının, delik yüzeyinde atık oluşumunu ve delik çıkışında çapak oluşumunu engellediği bulunmuştur. MMY soğutucusu kullanıldığında, oda sıcaklığındaki kuru delmeye kıyasla çalışma sıcaklığını düşürdüğü bulunmuştur. Her iki soğutma suyu da kuru delme ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır, ancak özellikle kriyojenik sıvı azot kullanıldığında kesme kuvvetlerini arttırmıştır. Kesme parametreleri, üstün delik kalitesi sonuçları için 300 mm / dk maksimum besleme oranının ve 6000 dev / dak maksimum iş mili hızının önerildiğini göstermiştir. Ayrıca, bu kesme parametreleri seviyelerinde veya altında delme, çalışmada kullanılan daha yüksek kesme parametreleriyle karşılaştırıldığında

laminatta ciddi deformasyona veya elyaf çekmelerine neden olmamıştır. Ayrıca, elyaf oryantasyonu ve iş parçası kalınlığının yüzey pürüzlülüğü ve delik boyutu üzerinde önemli bir rol oynadığı, ancak laminattaki küçük cam elyaf katmanlarının kalınlığı nedeniyle kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur. Yapışma ve birleşme kenarı, monolitik alüminyum alaşımı delinirken ana aşınma mekanizması olarak bulunup, matkabin birincil ve ikincil yüzeylerinin yapışması ve aşınması, GLARE laminatlarının delinmesinde meydana gelen ana aşınma işlemi olarak belirlenmiştir.

Talaşlı işlemekten sonra su elyafa zarar vermeden kolayca buharlaşamazsa, her zaman nem emme riski, mukavemet özelliklerinde azalma ve elyaf matrisinin arayüzey yapışmasının bozulma riski vardır; bu da kompozit yapının uzun vadeli dayanıklılığını tehlikeye atabilir. Bu nedenle, birçok araştırmacı kompozit işleme deneylerini herhangi bir soğutucu kullanmadan gerçekleştirmiştir (Giasin 2016).

Fernández-Pérez ve ark. (2019), çalışmalarında Minimum Miktarlı Yağlamanın, Ti / karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) / Ti plakalarını delerken elmas kaplı karbür takımların performansı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Gözlemlenen ana aşınma mekanizması, elmas kaplama izolasyon işleminin ardından ana kesici kenarda kırılğan çatlamlar oluşmasıdır. Daha düşük yağlama seviyeleri ile yapılan testlerde, kesme bölgesinde daha yüksek sıcaklıklar ve iş parçası üzerinde ısıl yumuşatıcı etki üreten, takım ile iş parçası arasında önemli bir titanyum adezyonu ile daha yüksek bir sürtünme olmuştur. Bu fenomenler, titanyum katmanındaki takım aşınması ile kesme gücü tüketiminin gelişimini etkiler. Test örneğinin kalitesiyle ilgili olarak, test edilen yağlama seviyeleri arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemedan yapılır ve herhangi bir tek bileşen tarafından ulaşılamayan özellikler sunar. Kompozitte, bir malzeme matris görevi görürken, en az bir malzeme de takviye rolü görür. Kompozit malzemenin özellikleri takviye ve matris malzemelerinin türü, takviye malzemesi geometrisi (kısa elyaflar, uzun elyaflar, kumaş), takviye yüzdesi ve matris malzemeleri ile belirlenir. Matris malzeme tipi, kompozitlerin üç ana sınıfa ayrılmasını sağlar: plastik matris kompozitler, metal matris kompozitler ve seramik matris kompozitler. Endüstriyel

uygulamalar için en yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler plastik matris kompozitlerdir. Fiber takviyeli plastik kompozitler, metal malzemelerle karşılaştırıldığında daha yüksek mukavemet-ağırlık ve modül-ağırlık oranları ile yenilikçi tasarım için üstün özellikler ve fırsatlar sunar (Caggiano 2018).

Fiber takviyeli plastik (FTP) kompozitler yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci, yüksek sertlik gibi özellikleri nedeniyle yapısal bileşenlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Endüstride yaygın olarak kullanılan FTP kompozitlerde en yaygın olarak karbon elyaf takviyeli plastik (KETP), cam elyaf takviyeli plastik (CETP) ve fiber metal tabakalı (FMT) kompozitler kullanılır. KETP ve CETP kompozitler yüksek mekanik özellikleri açısından hibrid kompozit plaka konfigürasyonunda açık arayla en çok kullanılan bileşenlerdir. FTP fazındaki birincil bileşenler takviye edici elyaflar (örneğin, karbon ve cam) ve plastik matrisleridir (örneğin, termoplastik reçine ve ısıyla sertleşen reçine). Lifler, malzeme sisteminin geliştirilmiş mekanik ve tribolojik özelliklerine katkıda bulunurken hafif, sert ve güçlü yapı ile karakterize edilirken, polimer matris ise lifleri birbirine bağlar, yük transferi ve yapısal bütünlük sağlar. FTP laminatlarının mekanik özellikleri, kritik olarak epoksi matrisi boyunca fiber yerleşimine bağlıdır. Modern havacılık endüstrisinde, imalat sektörleri yeni nesil yapıların özelliklerini geliştirmek ve enerji tasarrufunu destekleyen mekanik montajların geliştirilmesini sürekli motive etmek için hibrid kompozit kullanımını araştırmaktadır (El Mansori 2016).

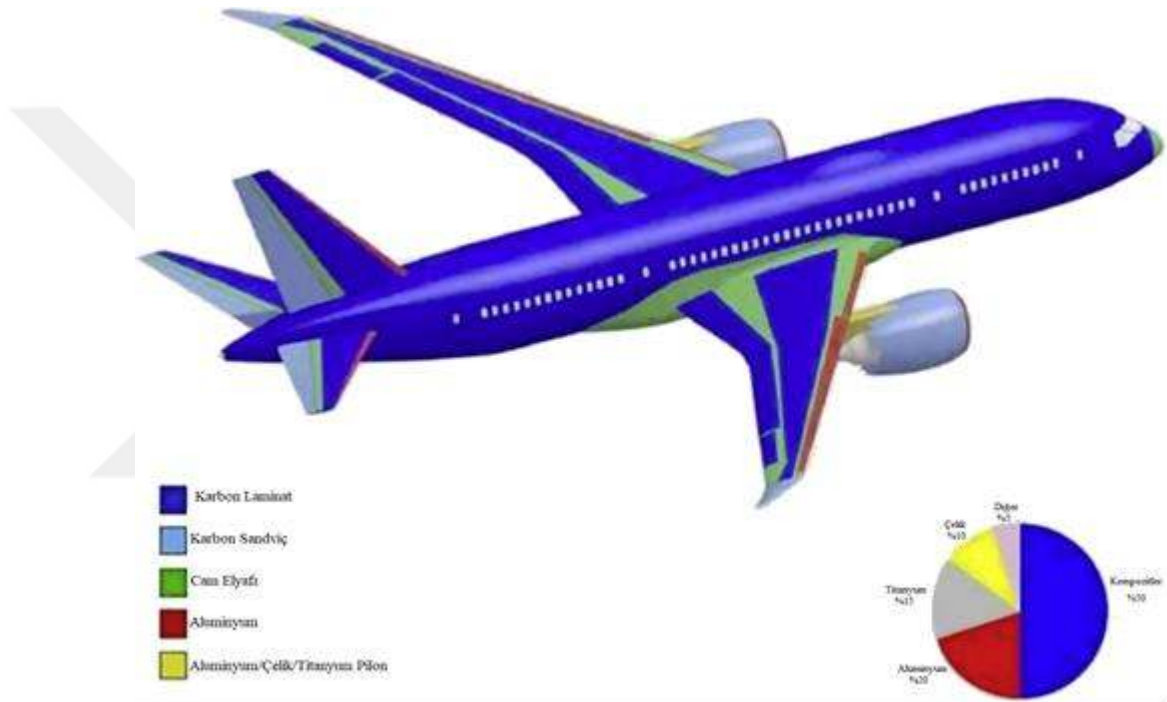
2.1.1.Kompozit Uygulamaları

Kompozitlerin uygulama alanları oldukça geniştir ve genişlemeye devam etmektedir. Kompozitler uzay, havacılık, otomotiv, denizcilik, enerji, altyapı, savunma, biyomedikal ve spor uygulamalarını içeren bir çok endüstride kullanılmaktadır (Ishai ve Daniel 2006).

Yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve düşük yoğunluklu özellikler, kompozitleri hem askeri hem de sivil uçakların birincil ve ikincil yapılarında oldukça arzu edilir kılmaktadır (Rana ve Figueiro 2016).

Örneğin Boeing 777, kaplamalarda, döşeme kirişlerinde, kanat arka kenar yüzeylerinde kompozitler kullanır. Sivil havacılıkta kompozitlerin kabulünün en güçlü işareti, Boeing 787 “Dreamliner” ve dünyanın en büyük uçağı Airbus A380’de

kullanılmasıdır. Karbon/epoksi ve grafit/titanyum gibi kompozit malzemeler, gövde ve kanatların çoğu dahil olmak üzere Boeing 787'nin ağırlığının yaklaşık %50'sini oluşturur (Şekil 2.1). Airbus A380 ayrıca, metallerin ve kompozitlerin avantajlarını birleştiren ve dezavantajlarını azaltan hibrit cam/epoksi/alüminyum tabakalar (GLARE) dahil olmak üzere önemli miktarda kompozit kullanılır. Karbon/epoksi kompozitler üstün özellikleri nedeniyle askeri uçaklarda da oldukça tercih edilir. Küçük insansız hava araçları da neredeyse tamamen kompozitlerden üretilmektedir (Rana ve Fanguero 2016).



Şekil 2.1. Boeing 787'de kompozit kullanımı (Rana ve Fanguero 2016)

Kompozitler otomotiv parçaları ve otomobil, kamyon ve vagon çerçeveleri dahil olmak üzere ulaşım endüstrisinde çeşitli şekillerde kullanılır (Ishai ve Daniel 2006).

Gemi yapıları çeşitli formlarda kompozitler, kalın kesitli cam ve karbon fiber kompozitler ve sandviç yapı içerir. İkincisi, daha kalın ve hafif bir çekirdeğe bağlı ince kompozit yüzey tabakalarından oluşur (Ishai ve Daniel 2006).

Enerji üretimi alanında, rüzgâr türbini jeneratörlerinin kanatlarında, güç çıkışını azaltılmış bir maliyetle önemli ölçüde artıran karbon fiber kompozitler kullanılmıştır. 2001 yılında açık deniz petrol sondaj tesislerinde kullanılan kompozitler, sahaya monte edilerek sondaj yükselticilerinde kullanılır (Ishai ve Daniel 2006).

Biyomedikal uygulamalar arasında protez cihazlar ve yapay uzuv parçaları bulunur. Hobi ürünleri arasında tenis raketleri, golf kulüpleri, balıkçılık direkleri, kayaklar ve bisikletler bulunmaktadır (Ishai ve Daniel 2006).

2.1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırması

Kompozit malzemelerin oluşturma seçeneklerine göre sınıflandırılması zordur ve değişik açılardan sınıflandırma yapılabilir. Kompozit malzemede matris, kuvvetleri takviyeye iletmek, lifleri ortamın etkisinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemelerin tokluğunu arttırmak gibi görevleri üstlenir. Matris malzemesine göre kompozit malzeme dört ana sınıflandırmada incelenebilir (Jones 1987). Bunlar;

- Plastik matrisli malzemeler,
- Metal matrisli malzemeler,
- Seramik matrisli malzemeler,
- Karbon/grafit matrisli malzemelerdir.

*Sınıflandırma takviye elemanına göre yapıldığında, bunlar;

- Fiber takviyeli (elyafı) kompozit malzemeler,
- Parçacıklı kompozit malzemeler,
- Dağınımla (dispersiyonla) mukavemetlendirilmiş,
- Partikül takviyeli kompozit malzemeler,
- Tabakalı kompozit malzemelerdir.

*Takviyelerin yapılışı bakımından sınıflandırmada,

- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler (ETKM): Burada matris kuvvetleri elyafa iletir. Kuvvet tümüyle elyaf tarafından taşınır ve özellikler anizotropiktir.

- Küçük parçalarla dayanımı artırılmış malzemeler: Kuvvetler matris tarafından taşınır. Küçük parçacıklar (0.01-0.1µm) metal malzemede dislokasyonların hareketini engelleyerek dayanımı artırır. Özellikleri izotropiktir. Örneğin, çökme sertleşmesi uygulanmış alüminyum alaşımlar.

- İri parçacık takviyeli kompozit malzemeler: Yükü matris ve takviye birlikte taşır.

2.1.3. Kompozitlerde Kullanılan Elyaflar

2.1.3.1. Cam Elyaflar

Yüksek gerilme mukavemetleri ve düşük maliyetleri nedeniyle düşük ila orta performanslı kompozitlerde en yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek performanslı kompozit uygulamalarda, nispeten düşük sertlikleri, düşük yorulma dayanımları ve şiddetli higrotermal koşullara maruz kaldığında hızlı özellik bozulması nedeniyle sınırlıdırlar. Cam elyaflar, erimiş bir silika (SiO) ve diğer oksit karışımının bir platin alaşımı burcunun küçük deliklerinin ekstrüzyonuyla üretilir. Kompozit uygulamalar için elyaf çapları 10-20 μm 'dir. Cam elyafları amorfudur; bu nedenle izotrop olarak kabul edilirler (Ishai ve Daniel 2006).

2.1.3.2. Karbon Elyaflar

Gelişmiş kompozitler için en yaygın olarak kullanılanlardır ve üretim sürecine bağlı olarak çeşitli sertlik ve mukavemetlerle birçok forma ulaşır. Karbon elyafları suni ipek veya poliakrilonitril (PAN) gibi öncü organik elyaflardan veya petrol ziftinden üretilir. İlk süreçte (PAN), erimiş termoplastik reçine tekstil üretim ekipmanında ince filamentlere dönüştürülür. Öncü elyaflar başlangıçta 200°C ve 315°C arasındaki sıcaklıklarda havadaki gerilim altında çekilir ve oksitlenir. Daha sonra, bir azot atmosferinde 800°C üzerindeki bir sıcaklıkta piroliz ile karbonize edilirler. Bu aşamada çoğu lif kompozit üretiminde kullanım için yüzey işlemine ve boyutlandırmaya tabi tutulur. Karbon elyafların bir alt kümesi olan grafit elyaflar, 2000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar işlenerek üretilir. Grafitleşme adı verilen bu işlem, gelişmiş kristalinite ile sonuçlanır ve 410 GPa üzerinde modülleri ve eksenel yönde arttırılmış termal iletkenliğe sahip ultra yüksek sertlikli grafit lifleri üretir. Karbon elyaflar, üretim sürecinin doğası gereği mekanik ve termal olarak anizotropiktir. Radyal yönde sertlik çok daha düşüktür ve termal genleşme katsayısı eksenel yönden çok daha yüksektir (Ishai ve Daniel 2006).

2.1.3.3. Aramid (Kevlar) Lifleri

Polimerin (aromatik poliamid) sülfürik asit içinde çözülmesi ve dönen bir cihazda küçük deliklerden ekstrüde edilmesi suretiyle üretilen organik liflerdir. Elyaf çapı tipik olarak 12 µm'dir. Kevlar elyaflar cam elyaflardan daha yüksek sertliğe sahiptir. Kevlar 49 ve 149'a yüksek ve ultra yüksek modül dereceleri denir. Birincisi en çok kompozitler için kullanılır. Kevlar elyafı düşük yoğunluğa, camın yaklaşık yarısına, yüksek gerilme mukavemetine ve mükemmel tokluğa ve darbe direncine sahiptir. Bununla birlikte, Kevlar kompozitleri çok düşük boyuna basınç ve enine çekme mukavemetine sahiptir ve nem emilimine karşı hassastır. Yüksek moleküler oryantasyonları nedeniyle mekanik ve termal olarak tam anizotropiktirler (Ishai ve Daniel 2006).

2.1.3.4. Seramik Elyaflar

Bor ve silisyum karbür (SiC) ve alümina (Al₂O₃) gibi diğer seramik elyaflar, yüksek sertlik, yüksek kullanım sıcaklığı ve makul derecede yüksek mukavemet ile karakterize edilir. Genellikle polimerik matrislerle değil, yüksek sıcaklık uygulamaları için metal veya seramik matrislerle kullanılırlar (Ishai ve Daniel 2006).

2.1.3.5. Doğal Elyaflar

İlk çağlardan beri, insanlar dayanımı düşük malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için bu malzemelerin içerisine doğada bulunan bitki ve/veya hayvan liflerini katarak dayanımlarını arttırmaya çalışmışlardır. Bunun en iyi örneği kerpiçlerdir. Günümüzde kullanılan liflerin %65'i bitkisel ve hayvansa %34'ü ise kimyasal kökenlidir (MEB, 2007).

Doğal lifler son zamanlarda fiber takviyeli polimer (FTP) kompozitler için alternatif bir takviye olarak araştırmacılar, mühendisler ve bilim insanları tarafından çekici hale gelmiştir. Düşük maliyetlerinden dolayı oldukça iyi mekanik özelliklere, yüksek özgül mukavemet, aşındırıcı olmayan çevre dostu ve biyobozunurluk özellikleri sayesinde cam, aramid ve karbon gibi geleneksel fiberlerin yerine kullanılmaya başlanmıştır (Ku ve ark., 2011).

2.2. Kompozitlerin İşlenmesinde Kullanılan Kesici Takım Malzemeleri

Talaşlı işleme uygulamaları için çok çeşitli kesici takım malzemeleri mevcuttur. Bu malzemeler genellikle sertlik, mukavemet ve tokluklarına göre üç ana gruba ayrılır. Bu üç grup, yüksek hız çelikleri (HSS), sement karbürler ve seramik/süper sert malzemelerdir. Her grubun kendi karakteristik mekanik ve termal özellikleri vardır, bu da uygulamasını belirli işleme operasyonları için daha uygun hale getirir. Çok sert olan malzemeler çok zayıf tokluğa sahip olma eğilimindedir ve bunun tersi de geçerlidir. Aşağıdaki bölümde, farklı takım grupları hakkında bilgilendirme ve elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesine uygunluğu açıklanmaktadır.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin frezeleme işlemleri genellikle düzeltici bir son işleme operasyonu olarak ayırt edilir. Uygun takım ve işleme parametrelerinin seçimi, fiber tipi, takviye yapısı ve matris hacim fraksiyonu gibi çeşitli faktörlere tabidir. Sinterlenmiş karbürler (WC), kübik bor nitrür (CBN) ve çok kristalli elmas (PCD) kesici takım malzemeleri, yüksek sertlik ve yüksek termal iletkenliğe sahip oldukları için elyaf takviyeli kompozitlerin frezelemesi için en yaygın takım malzemeleridir (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.1. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)

Bu grup, ısıl işleme verilen yüksek tokluğa, mukavemete ve sertliğe sahiptir. Bu özellikler nedeniyle, bu gruptaki takımlar, karmaşık boyutlara ve çeşitli boyutlarda ve şekillerde sarmal parmak frezelerde olduğu gibi çok keskin kenarlara kolayca uygulanabilir. Pratik olarak elyaf takviyeli plastikler ve partikül takviyeli polimerler, alüminyum-silisyum alaşımları ve dökme demir gibi aşındırıcı malzemeleri işlemek veya kaba talaşlar için kullanılamazlar (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.2. Sert Karbürler (WC)

Sert karbürler, metalik bir bağlayıcı ile birbirine bağlanmış sert karbür parçacıklarından oluşan bir dizi kompozit malzemedir. Bağlayıcı fazın oranı ağırlıkça %70 ila %97 arasında değişir. Karbür tane büyüklüğü 0.4 ila 10 µm arasında değişir. Geniş mikro yapı kombinasyonları, çok çeşitli uygulamalar için farklı özelliklere sahip farklı karbür kaliteleri sunar. Kompozit malzemelerin homojen olmayan doğası nedeniyle, kesme kuvvetleri çok fazla dalgalanma gösterir, bu da kesici takımın talaş

kaldırmada başarısız olmasına neden olur. Ayrıca, iyi yüzey kalitesi elde etmek için kesici takımın keskin bir kenarı olmalıdır. Yüksek sertlik ve tokluk kombinasyonu, sementte tungsten karbürleri, kompozitlerin işlenmesi için uygun hale getirir (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.3. Kaplamalı Karbürler

Birkaç mikrometre kalınlığındaki sert seramik kaplamalar, aşınma direncini, özellikle eğik yüzde krater oluşumu gibi, termal olarak kısıktırılan aşınmayı arttırmak için sementte karbürlerin üzerine çökeler. Kaplamalar yüksek sıcaklıklarda kimyasal buhar biriktirme ile oluşturulur. TiC, TiN, TiCN ve Al₂O₃'ün tek katmanlı ve çok katmanlı kaplamaları uygulanır. İşleme kompozitlerindeki kesme sıcaklıkları nispeten düşük olduğundan ve kesme kenarları metal kesme için olanlardan daha keskin olduğu için, kaplamalı karbürler metal işlemede görülen faydaların aynısını sağlayamamıştır. Kaplamalı karbürlerle kompozitler işlenirken, aşınma direnci ve takım ömründe daha marjinal iyileşmeler gerçekleşmiştir. Kenar talaşlanması ve kaplama deformasyonu bu koşullar altında en yaygın aşınma biçimleridir (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.4. Seramikler

Seramik takımlar genellikle yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda sinterlenmiş alüminaya (Al₂O₃) dayanır. Seramikler, takım malzemeleri arasında en yüksek termal stabiliteye sahiptir ve kesme sıcaklıklarının son derece yüksek olduğu yüksek hızlı işlemede mükemmel performans gösterir. Öte yandan, toklukları zayıftır ve ağır kesimlerde veya kesintili yüklerde kullanıldığında talaşlanma nedeniyle başarısızlığa uğrarlar (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.5. Polikristal Elmas (PCD)

Elmas insanoğlunun bildiği en zor malzemedir ve tek kristal elmas uzun süre kesici takım olarak kullanılmıştır. Elmas ayrıca iyi bir ısı iletkenliği, düşük sürtünme katsayısı sağlar. Bu nitelikler bir kesici takım malzemesi için oldukça tercih edilir. Polikristalin elmas (PCD), polikristalin elmasların ve kobalt gibi az miktarda metalik bağlayıcının yüksek sıcaklık ve basınç altında sıkıştırılmasıyla yapılır. PCD'nin tek kristal elmaslara göre avantajları, elmas kristallerinin rastgele yönlendirilmesi, daha yüksek şok direnci ve daha büyük takım boyutu nedeniyle düzgün mekanik

özellikleridir. Sinterlenmiş PCD takımlarının en büyük dezavantajı maliyetidir. Elmas kesici takımlarının bir başka dezavantajı, yüksek sıcaklıklarda demir içeren metallerle reaksiyona girme eğilimidir.

PCD takımlarının performansı elmas kristallerinin boyutuna bağlıdır. Bu takımlar, 2 ila 30µm arasında değişen farklı boyutlarda elmas tane ile üretilmektedir. Kırılma tokluğu ve sertliği tane boyutundaki artışla artar. İnce boyutlular (2–5µm) iyi aşınma direnci, mükemmel yüzey kalitesi, çok iyi parlatma ve kenar keskinliği sağlarlar. Orta derecede aşındırıcı malzemeler, ahşap kompozitler, alüminyum ve plastikler için kullanılırlar. Orta dereceli (10µm) en iyi “genel amaçlı” sınıf olarak kabul edilirler, çünkü orta derecede yüzey kalitesi sağlarken mükemmel aşınma direnci sağlarlar. Çok aşındırıcı malzemeler, parke, laminatlar, seramikler, orta silikonlu alüminyum, cam elyafı, kauçuk, bakır ve karbon için kullanılırlar (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.6. Polikristal Kübik Bor Nitrür (PCBN)

Polikristal kübik bor nitrür (PCBN) takımları, CBN kristallerinin ve TiC ve TiN gibi metalik veya seramik bağlayıcıların bir karışımından elmas takımlarına benzer bir teknoloji kullanılarak sinterlenirler. CBN doğada meydana gelmez ve sentetik elmas üretmek için kullanılabilecek bir işlemde yüksek sıcaklık-yüksek basınç sentezi ile üretilir. Demirli metallerle karşı elmastan daha karardır. Süper alaşımların, sertleştirilmiş çeliklerin ve sert dökme demirin kesilmesinde kullanılır. Zayıf tokluklarından ötürü PCBN takımları, negatif eğim açısı ile kesici kenarlar halinde oluşturulur. Baskın aşınma şekli mikro talaşlanmadır. Bu nedenle, bu takımlar homojen olmayan malzemelerin kesilmesi veya aralıklı kesimler için uygun değildirler (Sheikh-Ahmad 2009).

2.2.7. Elmas Kaplamalı Karbürler

CVD (kimyasal buhar biriktirme) ile düşük basınçlı elmas sentezi, elmasın bir takım kaplama olarak işlenmesine izin verir. Elmas kristalleri ısıtılmış bir karbür substrat üzerinde karbon bakımından zengin bir gazdan, çoğunlukla CH₄'ten, birkaç µm kalınlığında bir film haline getirilir. Film saf PCD'den oluşur ve bu nedenle prensipte, sinterlenmiş elmastan daha iyi sertlik ve tokluk özellikleri sağlar. Elmas kaplamaların PCD'ye göre avantajları büyük ölçekli üretim, düşük üretim maliyeti ve deliciler ve

parmak frezeler gibi karmaşık şekilli takımlardır. Elmas kaplamaların işlemede yaygın olarak uygulanmasındaki en büyük engel, elmas filmin alt tabakaya zayıf yapışmasıdır. Grafit, ahşap bazlı kompozitler ve elyaf takviyeli plastikler gibi yüksek düzeyde aşındırıcı malzemelerin işlenmesinde bazı gelişmeler rapor edilmiş ve önemli takım ömrü iyileştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Elmas kaplı karbürlerin başarısızlık modu, elmas filmin düzgün aşınması ve filmin deformasyonu ile olur (Sheikh-Ahmad 2009).

2.3.Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü

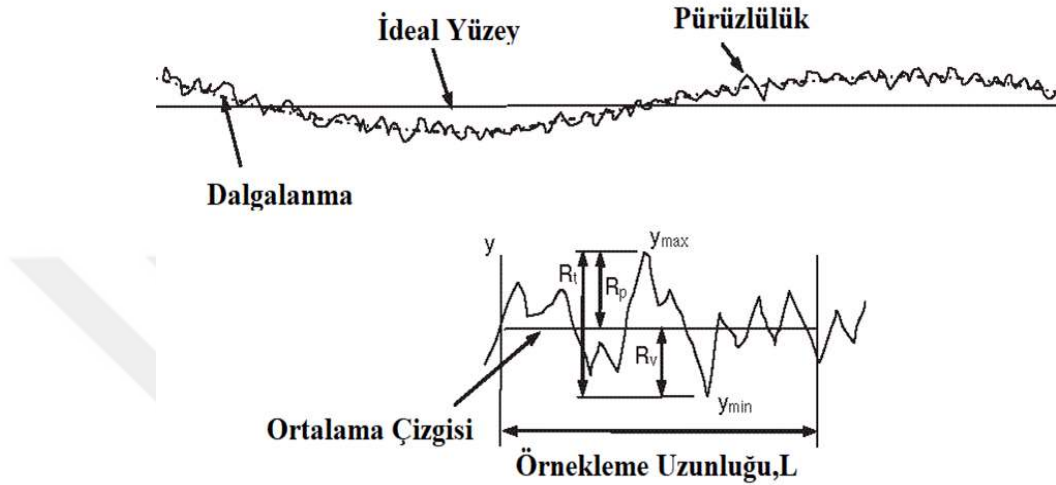
İşlenmiş yüzeyin kalitesi, tasarımcının belirttiği boyutlara göre üretiminin doğruluğu ile karakterize edilir. Her talaşlı operasyon, işlenmiş yüzey üzerinde karakteristik kanıtlar bırakır. Bu kanıt kesici takım tarafından bırakılan ince aralıklı mikro düzensizlikler şeklindedir. Her kesici takım tipi tanımlanabilen kendi desenini bırakır. Bu desen yüzey pürüzlülüğü olarak bilinir. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey pürüzlülüğü birçok faktöre bağlıdır ve aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Talaşlı imalat işleminin tipi, kesme geometrisi ve ilerleme olan geometrik faktörler.
- Talaş yığılması etkisini içeren çalışma malzemesi faktörleri, talaşın kıvrılması nedeniyle yüzeye zarar vermesi, sünek malzemeleri işlerken talaş oluşumu sırasında çalışma yüzeyinin yırtılması, takım ile yeni oluşturulan çalışma yüzeyi arasındaki sürtünme vb.
- Tezgah, takım ve işlemede kurulum ile ilgili titreşim ve takım faktörleri (Okokpujie Imhade ve ark. 2015).

İyi bir yüzey kalitesi elde etmek her mühendislik bileşeni tasarımında veya imalatında çok önemlidir. İyi yüzey kalitesi, yorulma davranışı, aşınma, korozyon, yağlama ve elektrik iletkenliği gibi mekanik özellikleri etkiler. Dolayısıyla yüzey kalitesinin ölçülmesi ve karakterizasyonu da bir işleme performansının öngörülmesinde önemli bir rol oynar. İşlenmiş bir malzemenin kaliteli olup olmadığını kontrol etmenin bir yolu, yüzey pürüzlülüğünün ölçümüdür.

Bir talaşlı işlemede, öngörülen takım tezgahı kinematığının bir sonucu olarak belirli bir yüzey geometrisi üretilir. Bu yüzey geometrisine, tekrarlanan bir deseni takip eden ideal veya teorik yüzey geometrisi denir. Bununla birlikte, gerçek hayatta, gerçek işlenmiş yüzey, takım aşınması, makine titreşimleri, malzeme homojenliği ve takım

tezgahı kinematığı ile ilgili olmayan diğer faktörler nedeniyle ideal yüzeyden sapar. Gerçek işlenmiş yüzeyin düzenli bir geometrisi olmayabilir. Bu etkiler doğal yüzey kalitesi ile sonuçlanır. Şekil 2.2., işlenmiş yüzey geometrik özelliklerini tanımlamak için kullanılan farklı tanımları göstermektedir. Yüzey profili tipik olarak düzlüğü, dalgalanması ve pürüzlülüğü ile tanımlanır (Sheikh-Ahmad 2009).



Şekil 2.2. İşlenmiş bir yüzeyin şematik gösterimi (Sheikh-Ahmad 2009)

Yüzey pürüzlülüğü genellikle işlenmiş yüzeyleri karakterize etmek için kullanılır. Genellikle aritmetik ortalama R_a değeri, maksimum tepe ile vadi yüksekliği R_t , maksimum tepe ile ortalama yükseklik R_p , ortalama vadi yüksekliği R_v ve on nokta ortalama yükseklik R_z gibi istatistiksel parametrelerle ölçülür. İşlenmiş yüzey profili en yaygın olarak bir stylus (prob ucu) yüzey profilometresi ile ölçülür. Modern profilometreler, işlenmiş yüzeyi belirlenen bir örnekleme mesafesi boyunca izler ve kullanıcı için istatistiksel parametreleri hesaplar. İstatistiksel parametreleri göstermek amacıyla temsili bir yüzey profili Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Bir örnekleme uzunluğu (L) için, yüzey varyasyonları $x, y = f(x)$ mesafesinin bir fonksiyonu olarak tarif edilir. Bu segment için profilin ortalama çizgisi şu şekilde belirlenir:

$$\bar{y} = \frac{1}{L} \int_0^L y dx \quad (2.1)$$

Örnekleme uzunluğu içindeki maksimum tepe-vadi yüksekliği şu şekilde belirlenir:

$$R_t = y_{max} - y_{min} \quad (2.2)$$

Maksimum tepe-ortalama yükseklik ve vadi-ortalama yükseklik sırasıyla

$$R_p = y_{max} - \bar{y} \quad (2.3)$$

ve

$$R_v = \bar{y} - y_{min} \quad (2.4)$$

Numune uzunluğu içindeki yüzeyin ortalama çizgisinden sayısal sapmaların ortalaması, R_a ,

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y - \bar{y}| dx \quad (2.5)$$

Ayrıca,

$$R_a = (0,2 \dots \dots \dots 0,25) \times R_p \quad (2.6)$$

$$R_p = 0,6 \times R_t \quad (2.7)$$

alınabilir.

2.4. Deformasyon

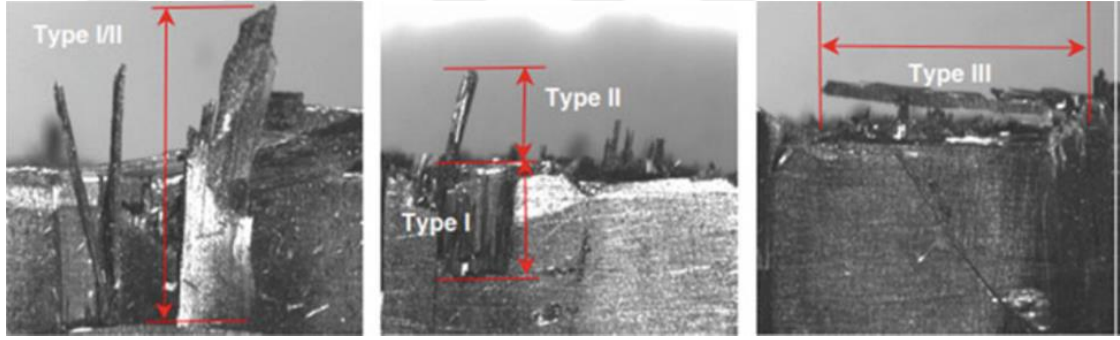
Kanal frezeleme ve frezeleme gibi geleneksel işlemler için meydana gelen kusurlar, serbest kenar boyunca meydana gelen kusurlar ve işlenmiş yüzeyde meydana gelen kusurlar olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir.

Serbest kenar deformasyonunda meydana gelen kusurlar; art arda katlar arasındaki arayüzün bir kusuru tipik olarak elyaf takviyeli plastik laminatlarının üst veya alt katında gözlenir. Çünkü bunlar aşırı işleme kuvvetlerini geçmek için bir

tarafından desteklenmezler. Kompozit laminat katmanları, kesici takım tarafından eksenel yönde kesme kuvvetlerin etkisi altında deformasyon nedeniyle hasar görür. Sonuç olarak, deformasyon kesik kenarlarda lif çıkıntısı ve lif kopması şeklinde gerçekleşir (Nguyen-Dinh ve ark. 2018).

Colligan ve Ramulu (1991), deformasyonu üç kategoriye ayırmışlardır. Tip I deformasyon, liflerin kırılması ve kesilen kenardan içeri doğru ayrılmasıdır. Tip II deformasyon, kesme kenarından dışarı doğru çıkıntı yapan kesilmemiş liflerden kaynaklanmaktadır. Tip III deformasyon, kesme kenarına kısmen sabitlenmiş lifleri kaybetmekten kaynaklanır (Şekil 2.3). Tip I ve II kombinasyonu sıklıkla gözlenir. Deformasyon oluşumu lif yönünden büyük ölçüde etkilenir.

Deformasyonun boyutu takım geometrisine, kesme kuvvetlerine, fiber yönüne ve takım aşınmasına bağlıdır.



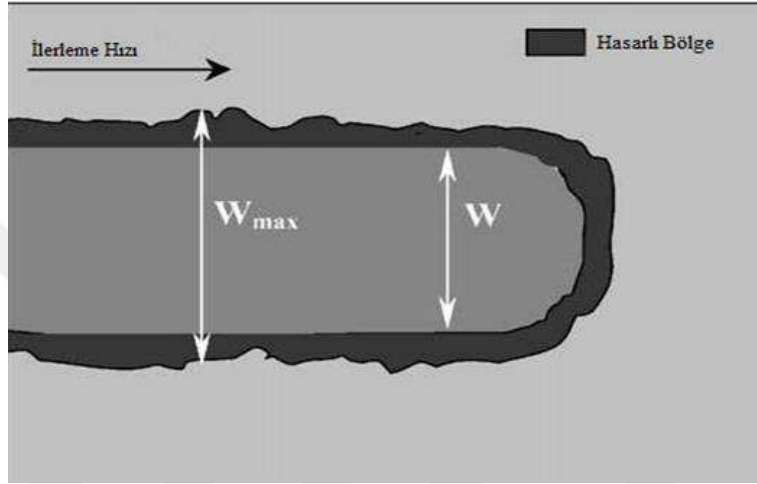
Şekil 2.3. Tabaka yüzeyi deformasyonu tipleri (Janardhan ve ark. 2006)

Deformasyon derecesi, kusurun uzunluğu cinsinden ifade edilir. Ortalama deformasyon uzunluğunun gelişimi, kesme koşullarına ve işleme uzunluğuna bağlı olarak değişir. Kesme mesafesinin artması, ilerleme oranının artması ve iş mili devrinin azalması, ortalama deformasyon uzunluğunda artışa neden olur. Ayrıca, deformasyon uzunluğu teorik talaş kalınlığı ve takım aşınması arttıkça artar ve her iki faktör deformasyonu kolaylaştıran kesme kuvvetlerini arttırmak için bağlanabilir.

İşlenmiş yüzey kalınlığı boyunca meydana gelen kusurlar; elyaf takviyeli plastiklerin kesici takımlarla frezeleme işlemi, işlenmiş yüzey kalınlığı boyunca gözlemlenen çeşitli kusurlar üretir. Bu kusurların meydana gelmesi, kesme ve elyaf yönü (θ), kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği), takım aşınması, takım geometrisi (eğim açısı) ve kesme yapılandırması (aşağı veya yukarı frezeleme) arasındaki göreceli açığa bağlıdır. Bu kusurları en aza indirmek için, kesme

mekanizmasının anlaşılması çok önemlidir. Elyaf oryantasyonunun işleme kusuru üzerindeki etkisi birincil faktör olarak bulunmuştur (Nguyen-Dinh ve ark. 2018).

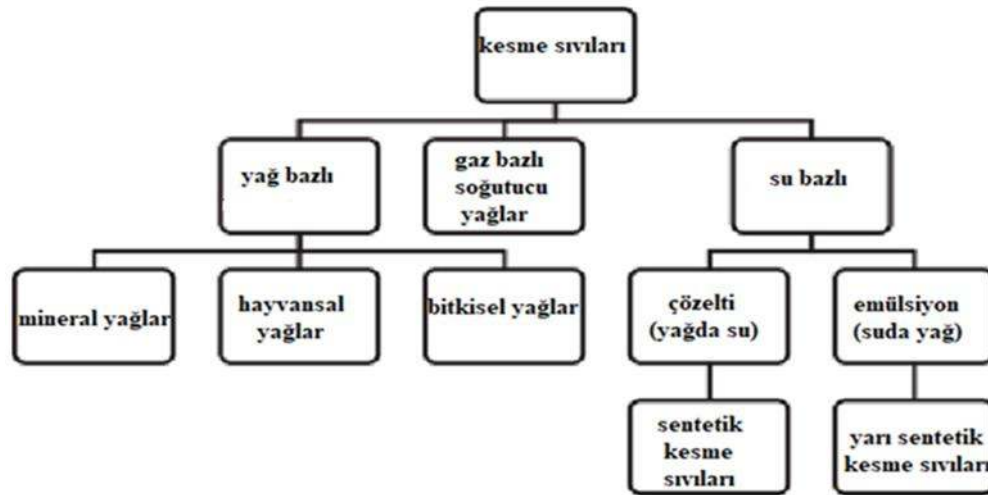
Deformasyon, elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesi sırasındaki en önemli dezavantajdır. İşlenen kenarın etrafındaki deformasyon faktörünü belirlemek için, deformasyon bölgesindeki maksimum hasar W_{max} ölçülmüştür (Şekil 2.4). Deformasyon faktörünün (F_d) değeri maksimum hasarın genişliğinin (W_{max}) kesme genişliğine (W) oranı şeklinde hesaplanır (Davim ve Reis 2005).



Şekil 2.4. Frezelemede deformasyon ölçümü (Davim ve Reis 2005)

2.5. Kesme Sıvıları

Kesme sıvıları başlangıçta, makinenin yağlanması ve soğutulması için fırçalarla uygulanan basit yağ olarak kabul edilmiştir. Kesme işlemleri daha ciddi hale geldikçe, kesme sıvılarının formülasyonları daha karmaşık hale gelmiştir. Kesme sıvılarını geniş değişkenliklerinden dolayı kategorize etmek için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Genel olarak, kesme sıvıları, yağ bazlı, su bazlı ve gaz bazlı olarak 3 ana sınıfa ayrılabilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Kesme sıvılarının sınıflandırılması (Debnath ve ark.2014)

Yağ bazlı kesme sıvıları, iyi yağlama özelliği gerektiren işlemlerde su bazlı kesme sıvıları ise soğutma ve yağlama özelliklerinin gerekli olduğu yerlerde tercih edilir. Su bazlı kesme sıvısı ayrıca emülsiyonlar ve çözeltiler formu olarak ayrılabilir. Gaz bazlı soğutucu yağlama maddeleri çevre dostu kesme sıvıları olarak kabul edilir. Yağ bazlı bir yağlayıcı (susuz yağlar olarak da bilinir) mineral, hayvansal, bitkisel ve sentetik yağlardan elde edilir. Mineral yağlar (petrol bazlı), arzu edilen yağlama özelliklerinden dolayı ana tiptir. Bu kesme sıvıları, uygulamalarını arttırmak için genellikle bazı katkı maddeleri içerir (Debnath ve ark.2014).

Su bazlı ürünler kullanımdan önce istenen konsantrasyonda suyla karıştırılması gereken konsantre bir formda hazırlanır. Bu su bazlı ürün su ile karıştırıldığında, "çözünür" tip bir solüsyon oluştururken, "emülsifiye edilebilir" bir emülsiyon oluşturur (Smith 2008).

Soğutucu buhar uygulamaları çoğunlukla su bazlı kesme sıvıları için kullanılır. Kesme sıvıları basınçlı hava akımı tarafından yüksek hızda bir buharla uygulanır. Havada asılı olan sıvı damlacıklarının buharlaşması etkili soğutma sağlar (Schey 2000). Ulaşılamayan alanlara sıvı sağlar ve işlenmekte olan iş parçasının soğutma sıvısına kıyasla daha iyi görünmesini sağlar (Kalpakjian ve Schmid 2010). Su bazlı sıvıyı uygulamak için etkili hava basıncı değerleri 70 ila 600 kPa'dır. Sis veya buhar toksik olduğundan, operatörün doğrudan havadaki sıvı parçacıklarını solumasını önlemek için havalandırma gereklidir. Bakım yapılmazsa, sis teması tahrişe ve ciddi solunum problemlerine neden olabilir (Thepsonthi ve ark. 2009).

Yüksek basınçlı sistem uygulaması, hız ve güç artışıyla birlikte ısı oluşumunun önemli bir faktör haline geldiği kesme bölgesinden ısının uzaklaştırılma oranını artırmak için kullanılır. Kesme sıvısı, bölgeye güçlü bir sıvı jeti amaçlı özel olarak tasarlanmış nozullar vasıtasıyla iletilir. Yüksek sıvı basıncı, soğutucunun takım iş parçasına ve takım talaş temas alanına daha iyi nüfuz etmesini sağlar, böylece üretim verimliliği artar. Bu uygulama sadece takım aşınmasını iyileştirmek ve daha iyi soğutma etkisi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda soğutucu akışkan basıncı, talaş takım eğik yüzeyinden uzaklaştırdığından temas uzunluğunu azaltır (Sharma ve ark. 2009).

Gaz bazlı soğutucu yağlayıcılar genel olarak oda sıcaklığında gaz halinde olan ve çevre dostu kesme sıvıları olarak kabul edilen maddelere atıfta bulunur. Bununla birlikte, talaşlı imalat uygulamalarında ya gaz ya da soğutulmuş basınçlı sıvı olabilirler. Gaz bazlı soğutucu yağlayıcılar hava, azot, argon, helyum veya karbondioksittir. Gaz bazlı soğutucu yağlayıcıları inert (ölü) gaz olarak kabul edildiğinden, kesici takımın ve işlenmiş yüzeyin yüksek kesme sıcaklıklarında oksidasyona uğramasını önleyen yüksek korozyon direncine sahiptir. Ayrıca, yağlama kabiliyetlerini arttırmak için sis veya damlacıklar şeklindeki geleneksel kesme sıvıları ile birlikte uygulanabilirler. Gaz bazlı soğutucu yağlayıcılar, sıvı kesme sıvıları uygulanamadığında öncesinde uygulanır. Sıkıştırılmış gaz bazlı soğutucular-yağlayıcılar, geleneksel soğutma tekniklerinin talaş takım arayüzüne nüfuz edemediği ağır kesme koşullarında tercih edilir (Debnath ve ark.2014).

Talaşlı imalatta kesme sıvıları, bileşimlerine göre, talaş, takım ve iş parçası arasında yaygın kullanılan bir yağlayıcı olarak yağ bazlı kesme sıvıları veya genellikle soğutma ve ısı ekstraksiyonu için veya sıvı işleme fazlarında kriyojenik gazlar için kullanılan ve esas olarak işlenmiş iş parçasının boyutsal değişikliklerinin azaltılması ve ısı ekstraksiyonu için kullanılan su bazlı sıvılardır (Smith 2008). Kesme sıvılarının işlevsel yüzdesinin %70'i talaş kaldırma için kullanılırken, sırasıyla %20 ve %10'u soğutma ve yağlamada kullanılır (Tschätsch 2010). Talaşlı işlemede yapılan işlerin çoğu ısıya dönüştürüldüğü için, takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan ısının azaltılması, takım ömrünü artırabilir, daha iyi işlenmiş yüzey kalitesi üretebilir ve oluşturulan talaşları temizleyebilir. Ayrıca, daha yüksek kesme hızlarının kullanılmasına izin verir. Soğutma sıvısı, sanayide en sık kullanılan soğutma yöntemidir (Rahman ve ark. 2003). Avrupa Birliği tarafından yıllık tüketilen kesme sıvısı miktarı

yaklaşık 320000 tondur (Lawal ve ark. 2012). Otomotiv endüstrisinde kesme sıvıları kullanılması, toplam üretim maliyetleri üzerinde %17'lik bir etki öngörmektedir (Klocke ve Eisenblätter 1997). Ayrıca, kullanım ömrü dolduktan sonraki işleme alış fiyatının 2 ila 4 katı arasındadır (Shokrani ve ark.2012).

İşleme sıvıları en az son 120 yıldır sadece işleme verimliliğini arttırmak için değil, aynı zamanda işlem sonrası yüzey bütünlüğünü korumak (hatta iyileştirmek) için de kullanılmıştır. Artması gereken çevre bilinci nedeniyle, yeni alternatif soğutma-yağlama sistemlerini daha verimli, ucuz, güvenilir ve çevresel olarak sürdürülebilir olarak dikkate almak gereklidir (Pereira ve ark. 2014). Kesme sıvılarının %30'unun devrelerdeki sızıntı yoluyla ya da parçaların temizleme vb işleminde kaybolduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, kesme sıvılarının uzaklaştırılma ve işleme süreçleri yetersizdir ve bu kirlilik nehirlerin de kirlenmesi ile beslenme zincirinin içinde sona ermektedir (Byrne ve ark.2003). Dünyada NIOSH'a (Ulusal Mesleki, Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü, ABD) göre kesme sıvılarının zararlı etkilerine maruz kalan 1,2 milyon işçi bulunmaktadır. Bu zararlı etkiler arasında cilt iritasyonu, akne, solunum fonksiyonlarının kaybı, zatürree ve hatta cilt veya akciğer kanseri vardır (Park ve ark.2010),(Çetin ve ark.2011).

Kesme sıvıları veya yağlayıcılar, karmaşık bir kimyasal karışımdan oluşur. Bu karışımdaki kimyasal türler, üretici ve ayrıca talaşlı işlemenin soğutma ve yağlama gereksinimini içeren çeşitli faktörlere bağlıdır. Kesici takım ile çalışma yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltır, aşınmayı azaltır, yüzey özelliklerini korur, yüzey yapışmasını azaltır, oluşan ısıyı uzaklaştırır, talaş ve kalıntıları temizler. Kesme sıvıları, tornalama, taşlama, kılavuz çekme, diş açma, dişli şekillendirme, raybalama, frezeleme, delme, delik açma gibi çeşitli talaşlı işlemlerde kullanım için tasarlanmıştır. Kesme sıvıları, akışkan formda takımın ve işin kesme bölgesine manuel olarak uygulanabilir veya yüksek hızlı hava akımında sis olarak iletilebilir. Düşük basınçlı bir pompa ile iletilen kesme sıvısı akışı, nozuldan takımın kesici kenarına, takım boyunca veya iş üzerinde talaşları uzaklaştırmak için kesintisiz bir şekilde yönlendirilebilir. Gereken uygulamaya bağlı olarak çeşitli sıvı nozul tasarımları mevcuttur. Kesme sıvısı akış hacmini ve akış basıncını kontrol etmek için bir dağıtım sistemi kullanılabilir (Shokrani ve ark. 2012).

Genel olarak, kesme sıvılarının özellikleri esas olarak talaşlı işlemin tipine ve işlenmiş malzemeye bağlıdır. Bir işleme prosesinde kesme sıvısını vermek için iki yaygın yöntem vardır: İlk yöntem, soğutucu maddeyi harici olarak kesme bölgesindeki iş parçasında / kesici takımda hedeflenen bir nozul aracılığıyla iletir. İkinci yöntem soğutma sıvısını içerden iletir ve frezeleme ve delme işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Yöntem, kesici takımda, soğutma sıvısının delici uç başlığının merkezine yakın bir yere ulaştırıldığı, delme işlemlerinde olduğu gibi delikler oluşturarak, soğutma sıvısını daha verimli bir şekilde sunmak için tasarlanmıştır. İkinci yöntem, soğutucu maddeyi kesici takımda oluşturulan küçük deliklerden iletir (Yıldız ve Nalbant 2008).

Kesme sıvıları, öncelikle kesme alanındaki sıcaklığı azaltmak ve yüksek hızlarda işleme esnasında kesme arayüzünü yağlamak için kullanılır (Kim ve ark. 2001). Düşük hızlı işlemede kesme sıvısı öncelikle yağlayıcı olarak işlev görür. Bu nedenle, düşük hızlı işlemede normalde yüksek yağlama kabiliyetine sahip kesme sıvıları kullanılırken, yüksek hızlı işlemede yüksek soğutma kabiliyetine sahip kesme sıvıları kullanılır (Liao ve Lin 2007),(Liew ve Ding 2008).

Geleneksel soğutucu sıvıların kullanımını azaltmak, geleneksel kesme sıvısı uygulamasından kaynaklanan problemlerin üstesinden gelmek, takım ömrünü artırmak ve iş yüzeyinin kalitesini iyileştirmek için alternatif kesme sıvıları ve yağlama yöntemlerinin oluşumunun gerekliliği ortaya çıkmıştır. Kesme sıvıları olmadan, talaşlar takım ve iş parçası ile karışarak işlenmiş yüzeyi bozabilir. Kesici takım üzerinde katı yağlama, MMY, basınçlı ve soğutulmuş hava ile yağlama ve biyo bozunabilir yağlama maddelerinin uygulanması, soğutucu sıvılara bağımlılığı azaltmak için alternatif yağlama yöntemleridir. Kesme sıvıları kullanımında çevresel sorunları en aza indirmenin bir başka etkili yolu, bitkisel bazlı kesme sıvıları kombinasyonu ile miktarı minimize etmektir. Çalışmalara göre, kuru kesme uygulanmadığında ve soğutma sıvısı istenmediğinde MMY tercih edilir (Debnath ve ark.2014).

2.6. Talaşlı İşleme Ortamları

2.6.1. Kuru İşleme

Kuru işleme, işleme sürecinde hiçbir kesme sıvısı kullanılmadığı anlamına gelir. Bu yöntem, kirlenme, imha ve tehlikeli bileşenler gibi kesme sıvıları sorunlarından kaçınmak için uygulanır. Kuru işleme, hava veya su kaynaklarının kirlenmesine neden

olmaz ve kesme sıvılarının imha edilme maliyeti azalır. Kuru işlemede kullanım için bazı karbür dereceleri ve kaplamalı karbür kesici takımlar geliştirilmiştir. Takım işleme ömrünü uzatmak için daha düşük kesme hızlarında çalışmak ve düşük üretim oranı oluşturmak için kuru işleme tercih edilir. Soğutucu kullanımı uygun olmadığında veya önerilmediğinde kuru işleme kullanılır (Groover 2002).

Kuru işleme, takımın aşırı ısınması gibi sorunlara yol açar. Kuru kesme koşullarında takım ile iş parçası arasındaki yüksek sürtünme, yüksek aşınma, difüzyon ve oksidasyon seviyesine yol açan sıcaklığı önemli ölçüde artırır. İş parçası aynı zamanda büyük miktarda ısıya maruz kalır ve sonuç olarak yakın toleransların elde edilmesini engeller ve üst katmanda metalurjik hasar oluşur (Diniz ve Micaroni 2002). Kuru işlemede, işlenmiş yüzeyde bozulmaya neden olabilecek talaş oluşumu yıkanıp temizlenememektedir. Bu nedenle, bazı işlemlerde kesme sıvısını ortadan kaldırmak mümkün değildir (Salete ve Oliveira 2008). Kuru işleme, çelikler, çelik alaşımlar ve alüminyum alaşımlar dışındaki dökme demirlerde ve tornalama, frezeleme ve dişli kesimi için geçerlidir (Kalpakjian ve Schmid 2010).

2.6.2. Kriyojenik İşleme

Kriyojenik işlemede, soğutulup sıkıştırılmış gaz, işleminin çok düşük sıcaklıklarda, tipik olarak 120 K'den daha düşük sıcaklıklarda yapılmasını sağlamak için kesme bölgesine püskürtülür. Takım ömrünü artırmak için başka bir alternatif yöntemdir. Soğutma etkisi, yüksek kesme sıcaklığı nedeniyle aşırı takım aşınmasına neden olabilecek nikel bazlı alaşımlar gibi düşük ısı iletkenliği olan malzemelerin işlenmesinde özellikle yararlıdır. Yağlama eksikliğini gidermek için, soğuk gaz akımına çok az miktarda kesme yağı eklenebilir. Sıvılaştırılmış azot, karbondioksit ve helyum, bu yağlama tekniğinde kullanılan tipik kriyojenik soğutuculardır. Kriyojenik soğutucu, sıcak talaş-takım arayüzünü ve dolayısıyla da talaş ve takım arasındaki kimyasal reaksiyonu önemli ölçüde azaltabilir. Bu, işlemin termal kaynaklı aşınma konusunda çok az endişe ile daha yüksek hızlarda gerçekleştirilmesine izin verir (Hong ve Ding 2001),(Birmingham ve ark. 2011).

Kriyojenik işleme, işleme malzemelerinin davranışını çok düşük sıcaklıklarda ve talaşlı işlemede kriyojeniklerin kullanımını inceleyen bilimdir. Kriyojenikler işleme sürecinde soğutma maddesi olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır, çünkü takım-

talaş arayüzü ve takım ile iş parçası arasındaki sürekli sürtünme nedeniyle oluşan yüksek sıcaklıkları önemli ölçüde azaltabilirler. Pusavec ve ark.(2009) tarafından özetlenen kriyojenik işlemenin geleneksel yöntemlere göre avantajları; daha temiz, daha güvenli, çevre dostu (çevresel tehlikesiz) olması, maliyet tasarrufu, malzeme kaldırma oranındaki artış (daha yüksek kesme hızları) miktarı, daha iyi yüzey kalitesi, takım ömrünü artırma, sürtünmeyi ve güç tüketimini azaltma, üretkenliği arttırmadır.

Talaşlı uygulamalarda kullanılan kriyojenik soğutucu sıvılardan biri olan nitrojen- LN₂ (sıvı azot) yanıcı değildir, çevre dostu bir gazdır, toksik değildir ve kullanıldıktan sonra herhangi bir etki bırakmaz. Üstelik, -196 ° C dereceden düşük sıcaklığı, işleme prosesi ile ilişkili kesme sıcaklıklarını büyük ölçüde azaltır. Uygulamanın çoğunda, sıvı azot gaz halinde kullanılır, ancak daha kolay ve daha ucuz bir dağıtım ve tedarik yöntemi sağladığından, genellikle büyük tanklarda sıvı fazda depolanır (Yıldız ve Nalbant 2008).

Kriyojenikler, farklı talaşlı uygulamalarda, metaller ve kompozitler dahil olmak üzere birçok malzeme türünde, malzeme işleme veya soğutma amaçlı bir yöntem olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kriyojenik işleme, özellikle imalat, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde bazı parçalarda sertlik ve kuvvet gibi yüksek malzeme özelliklerinin istendiği, daha uzun servis ömrü ve performanslarını artırmak için veya termal ve elektrik iletkenliğini geliştirmek için daha uyumlu yapı istendiği durumlarda kullanılan ilk yöntemlerden biridir. Kriyojenik iyileştirme genellikle üç aşamada gerçekleştirilir: yavaş soğutma aşaması, ıslatma aşaması ve tavlayarak ısıtma aşaması. Bu aşamalar, işlemten sonra istenen malzeme özelliklerine, zamana ve maliyete bağlı olarak değiştirilebilir, işlem, parçanın bir süre sıvı azot banyosuna batırılmasını içerir. Malzeme özellikleri, düşük sıcaklıklara maruz kaldıklarında mikro yapılarında değişikliklere yol açarak değişir (Hocheng 2012).

2.6.3. Minimum Miktarlı Yağlama (MMY)

Minimum miktarda yağlama, kuru işlemeye yakın veya basitçe MMY, soğutmanın gerekli olduğu hedeflenen kesme bölgesine belli miktarda kesme sıvısı dağıtılan en son teknolojilerden biridir. Buradaki fikir, hava ile karıştırılmış en az miktarda kesme sıvısı veya yağlayıcı kullanmaktır, tipik olarak 50 ila 500 mL/saat akış hızı kullanılır (Ghughe ve ark. 2009), (Dhar ve ark. 2010). Bu teknik, takımın üzerine

biyobozunur yağ mikro partiküllerinden oluşan bir aerosolün püskürtülmesinden oluşur. Bazı işlemlerde yağ tüketimi 1000 kat bile azalır (Oliveira ve ark.2012). Kullanılan yağlama maddesi miktarı, yüzey kaplamasını ve takım ömrünü önemli ölçüde artırarak kesme işleminde önemli bir fark yaratabilir. MMY'nın avantajları, daha kuru iş parçası üretmesi ve yüksek basınçlı soğutucu kullanılmadığı durumlarda yağlama sağlayabilmesidir. Ayrıca, yüksek basınçlı soğutucularda kullanılan benzer kesme sıvılarının kullanımı ve atık bertarafı ile ilişkili maliyetleri de azaltabilir (Tschätsch 2010). Ayrıca, takımın ve iş parçasının termal şokunu azaltabilir. MMY'nın dezavantajları, talaşları ve talaşı kesme bölgesinden temizleyememesi ve işlenmiş yüzeyi soğutmak için sınırlı yeteneği olmasıdır. MMY'da kullanılan katkı maddeleri, işlenmiş parçalar üzerinde çıkarılmadan bırakılırsa korozyona ve operatörler için bazen kayma kazalarına neden olabilir. MMY sadece kesilmiş talaşlardan üretilen ısıyı azaltabilir, ancak takım ve iş parçası tarafından üretilen ısıyı azaltamaz, bu nedenle yüksek üretim ortamında kullanım veya yüksek kesme hızları gerektiren uygulamalar için ideal değildir. MMY hava ile sıkıştırılır ve genellikle kesme bölgesine yakın bir mesafeden püskürtülür (Davim 2013).

Püskürtme modelinin yanı sıra nozulların sayısı, konumları ve oryantasyonları da işleme performansında önemli bir rol oynar. Sis basıncı ve yağlayıcı akış hızı, kesme bölgesinden nozul mesafesi ve damlacık miktarı, MMY yağlama yöntemi (dıştan veya içten) gibi birçok parametre MMY verimliliğini etkiler. Kullanılan ortak akışkanlar su, yağ veya basınçlı hava ile karıştırılmış bir su ve yağ karışımıdır. İçten MMY soğutması, delme veya frezeleme işlemleri gibi kesici takımla oluşturulmuş deliklerden sağlanır. Aslında, dıştan MMY'nın verimliliği kesme bölgesine ulaştığı alan ile sınırlıdır. MMY soğutucunun dıştan beslemesi yalnızca $l / D < 3$ uzunluk / çap oranlarına kadar pratiktir, daha büyük oranlar için soğutma etkisi daha az etkili olur ve talaşlı işleme süresini uzatarak birkaç kez yeniden ıslatılması gerekebilir. MMY, kesme bölgesinin yakınında takılı olan nozullar vasıtasıyla veya kesici takımın içindeki takım mili ve iç soğutma kanalları aracılığıyla temin edilebilir. Dıştan MMY sistemi tüm talaşlı uygulamalarında kullanılırken, içten MMY sistemi daha iyi soğutma sıvısı etkisi ve penetrasyonu için frezeleme ve delme işlemleri için geliştirilmiştir (Klocke ve Kuchle 2011).

MMY'nın prensibi, işleme eksenini boyuncaya kesme bölgesine yalnızca bir miktar sıvı içeren hava-sıvı karışımını uygulamasıdır. MMY uygulamasında kullanılan nozul

çapı yaklaşık 1 mm, uygulanan basınç yaklaşık 600 kPA civarında ve akış oranları 50 ml/s - 2 l/s arasında olup (Çizelge 2.1.), ıslak soğutmada kullanılanın on binde biri kadardır (Kalpakjian ve Schmid 2010).

Çizelge 2.1. Yağlama tiplerinin sınıflandırılması (Tschätsch ve Reichelt 2009)

Yağlama tipi	İçerik	Kullanılan hacim
Islak işleme (soğutucu kullanarak)	Islak işleme kaynağı, tam jet yağlama	10 ila 100 l/dak
Azaltılmış yağlama	Minimum miktarlı yağlama (MMY)	50 ml / sa, 1-2 l/saate kadar
	Minimum miktar soğutma yağlaması	<50 ml / saat
Yağlama olmadan	Kuru işleme	olmadan

MMY'da kullanılan kesme sıvıları, biyolojik olarak çözünebilir olmalı ve yağ tüketimi çok az olduğu için daha uzun bir süre boyunca stabil kalmalıdır (Dixit ve ark. 2012). MMY'da yüksek basınçta üstün yağlamalarından dolayı az miktarda bitkisel yağ, ester yağı veya eşdeğer sentetik sıvı tercih edilir (Sharma ve ark. 2009).

2.6.4. Soğutulmuş Basınçlı Hava

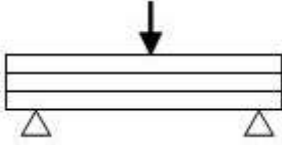
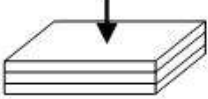
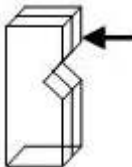
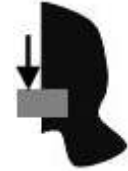
En temiz ve en çevre dostu soğutma yöntemlerinden biri olan bu teknikte talaş-takım arayüzünü soğutmak için basınçlı ve soğutulmuş hava kullanılır. Gazın talaş-takım arayüzüne nüfuz etme yeteneği yüksektir. Ancak, onlar zayıf soğutuculardır ve bu nedenle yüksek kesme hızlarında oluşan ısıyı dağıtamazlar. Bu eksiklik, gaza buhar ekleyerek giderilebilir. Kesme bölgesine püskürtülmüş soğutulup sıkıştırılmış gaz ve soğutulmuş hava, önemli ölçüde takım aşınmasının azalmasına ve kesme sıcaklığının düşmesine neden olur. Genel olarak, aşırı ısının olduğu yüksek hızlarda işleme esnasında bu yağlama teknikleri, diğer yağlama yöntemlerinden daha etkilidir. Soğutulmuş havanın yağlama etkisi az miktarda yağ eklenmesi ile iyileştirilebilir. Soğutulmuş hava ve MMY daha iyi işleme sonuçları elde etmek için entegre edilebilir (Hsien 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Malzemesi ve Numuneleri

Kanal frezeleme işleminin yapıldığı bu tez çalışmasında, deney malzemesi olarak cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozit seçildi. CETP kompozitlerin frezelemesinde, iş mili devri, ilerleme oranı ve soğutma şartlarının kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deney malzemesi olarak vakum infüzyon yöntemiyle İzoreel firması tarafından üretilen UP GM 201 cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzeme seçilmiştir. 8 mm kalınlığında olan deney malzemesi 30 mm genişliğinde ve 400 mm boyunda kesildi. UP GM 201 CETP kompozitin TS-EN 60893 standartlarına uygun mekanik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. UP GM 201 malzemesinin mekanik özellikleri (İzoreel, 2020)

UP GM 201 CETP Kompozitin Mekanik Özellikler(TS-EN60893)					
<i>Eğilme Mukavemeti</i>	<i>Elastisite Modülü</i>	<i>Basma Mukavemeti</i>	<i>İzod Darbe Mukavemeti</i>	<i>Kesme Mukavemeti</i>	<i>Çekme Mukavemeti</i>
<i>Oda Sıcaklığında</i>					
<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>	<i>kJ/m²</i>	<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>
180	11.000	320	50	25	80
					

3.2. Frezeleme Parametrelerinin Belirlenmesi

Malzemelerin talaşlı işlenmesinde, iş mili devri ve ilerleme oranı gibi kesme parametrelerinin seçimi, işlenmiş yüzeyin kesme performansının belirlenmesinde önemli bir faktördür. UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinin yapılacağı deneylerde kesme parametreleri daha önce yapılan çalışmaların ön deney gözlemleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Davim ve ark.(2007), cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin 50~200 m/dak kesme hızlarında işlenmesinin uygun olacağını belirtmişlerdir. Deneyler 8 mm çapında TiN kaplı sert karbür (WC) kesici takımlar kullanılarak üç farklı iş mili devrinde (1000, 2000 ve 3000 dev/dak), üç farklı ilerleme

oranında (0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev) ve farklı kesme ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2’de deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kesme parametreleri ve değerleri

Kesme Parametreleri	Değeri	Sembol
İş mili devri (dev/dak)	1000, 2000 ve 3000	n
İlerleme oranı (mm/dev)	0.05, 0.10 ve 0.15	f

3.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım

Cam fiberler yüksek dayanım, yüksek sıcaklık direnci, sert, aşındırıcı ve düşük termal iletkenlik katsayısı gibi özelliklere sahip oldukları için yüksek hız çeliği (HSS) takımlarla işlendiğinde hızlı takım aşınması ile karşılaşmaktadır. Takım aşınmasını minimum seviyede tutmak için TiN kaplı sert karbür (WC) takımlar kesici takım olarak seçildi. Deneylerde, Micro Solid marka 8mm çapında, 30° helis açısına sahip, 4 ağızlı TiN kaplı WC parmak frezeler kullanılmıştır. Kesici takıma ait bazı özellikler Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3.TiN kaplı WC parmak kesici takıma ait bazı özellikler

Parmak Freze	Ağız Sayısı	Kesme Boyu (mm)	Toplam Boy (mm)
		19	63

3.4. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvıları

Malzemelerin talaşlı işlenmesinde, işlenen parça ile kesici takım arasındaki sürtünmeden ve birinci deformasyon bölgesindeki plastik deformasyondan kaynaklanan ısı oluşumu en önemli problemlerden biridir. Oluşan ısı iş parçasına ve kesici takıma zarar vermektedir. Takım/iş parçası arasındaki ısının düşürülmesi önem arz etmektedir. Bu amaç için uzun yıllardan beri değişik çalışmalar yapılmıştır ve devam etmektedir. İlk başlarda bir fırça yardımı ile takımı soğutmak ve yağlamak için basit yağlar ve su kullanılırdı. Daha sonraki yıllarda takımı soğutmak ve yağlamak için kesme sıvıları geliştirilmiştir. Kesme sıvılarının fazla kullanımından yüksek maliyet ve çevre kirliliği ortaya çıkmaktadır. Bu olumsuzluklardan uzaklaşmak, kesici takımın ömrünü uzatmak ve işlenmiş parça kalitesini arttırmak için kuruya yakın işleme yapılmalıdır. Soğutucu akışkan kullanımı minimum miktarda tutulmalıdır. Bunu en iyi sağlayan yöntem MMY’dır.

Bu çalışmada kullanılan MMY dağıtım sistemi, Werte marka DKN 25 model dijital zaman kontrollü pulverize yağlama sistemi SBH Makine'den ticari olarak temin edilmiştir. Bu cihaz, Brother marka S500X1 model CNC işleme merkezine bağlanmıştır. Kullanılan MMY sisteminin bir fotoğrafı Şekil 3.1'de ve bazı özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Werte DKN 25 MMY sistemine ait görüntü

Çizelge 3.4. Werte DKN 25 MMY sisteminin bazı özellikleri

Özellik	Değeri
Çalışma Voltajı	24V AC/DC
Çalışma Basıncı	4 - 6 Bar
Yağ Miktarı Min.	0.0012 ml
Yağ Miktarı Max	0,028 ml
Yağlama Aralığı	0,1sn - 90saat
Viskozite Aralığı	2 - 30cst
Rezervuar	2,5lt

Bu çalışmada, CETP kompozit malzemelerin frezelemesi kuru, MMY-kesme sıvısı (MMY-KS) ve MMY-kesme sıvısı-grafen (MMY-KS-Gr) olmak üzere üç farklı kesme ortamı ile kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri de araştırılarak yapılmıştır. Deneylerde kesme sıvısı olarak ENI aquamet 104 seçilmiştir. Bu kesme sıvısı sentetik bazlı olup EP (klor) katkılı çok amaçlı kesme sıvısıdır. Bu kesme sıvısı, malzemelerin kesme ve taşlama işlemlerinde su ile karıştırılarak kullanılan çok maksatlı işleme yağıdır. Kesme sıvısı % 95 su ile % 5 kesme yağı olacak şekilde hazırlanarak MMY-kesme sıvısı oluşturuldu. Ayrıca iyi bir

3.MATERYAL VE YÖNTEM

yağlayıcı özelliği olan 5–8 μm kalınlığında, 5 μm çapında ve 120-150 m^2/g yüzey alanına sahip genel amaçlı nano grafen ticari olarak temin edilmiş ve % 0.2 oranında kesme sıvısına eklenmiştir. Kuru, MMY-kesme sıvısı ve MMY-kesme sıvısı-grafen ile yapılan deneylere ait resimler Şekil 3.2-3.4'te sırası ile verilmiştir.



Şekil 3.2. Kuru ortamda yapılan deney



Şekil 3.3. MMY-kesme sıvısı ortamında yapılan deney



Şekil 3.4.MMY-kesme sıvısı-grafen ortamında yapılan deney

3.5. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

UP GM 201 CETP kompozitin frezelemesinde Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan Brother marka S500X1 model CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır (Şekil 3.5). Bu tezgâh, 500mmx400mm işleme kapasitesine sahip olup tezgâhın ulaşabileceği maksimum devir 10000 dev/dak ve gücü de 9.5kVA'dır.



Şekil 3.5.Brother S500X1 CNC dik işleme merkezi

3.6. Kesme Kuvveti Ölçümü

UP GM 201 CETP kompozitin frezelemesinde, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan –5 ile 10 KN ölçme kapasitesine sahip Kistler marka 9257B model üç bileşenli kuvvet ölçme cihazı (Dinamometre) kullanılmıştır (Şekil 3.6). Dinamometreye ait teknik özellikler Çizelge 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.6.Kistler 9257B dinamometre

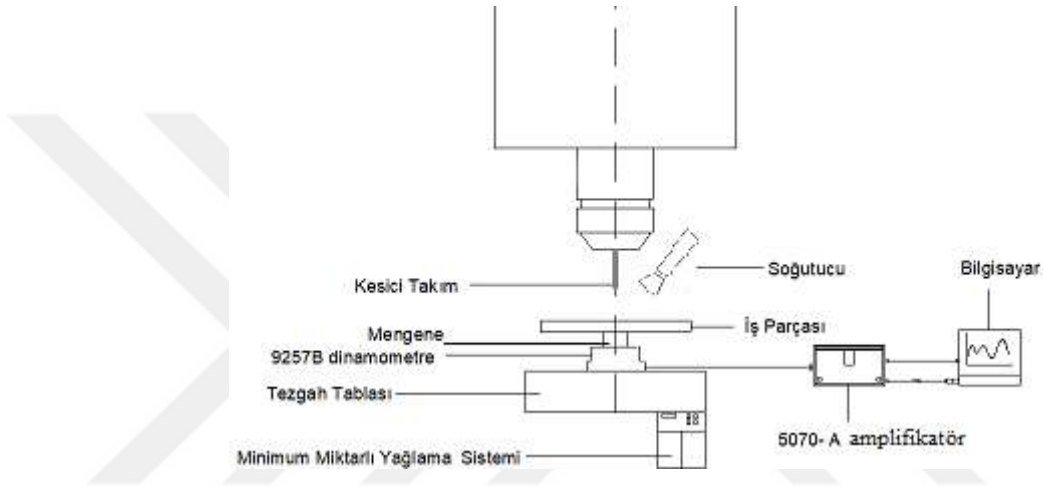
Çizelge 3.5.Kistler 9257B piezo-elektrik dinamometrenin teknik özellikleri

Özellikler	Ölçüm Birimi	Type 9257B
Ölçüm Aralığı(Fx)	kN	-5.00, 10.0
Ölçüm Aralığı(Fy)	kN	-5.00, 10.0
Ölçüm Aralığı(Fz)	kN	-5.00, 10.0
Eksen Sayısı	-	3
Ölçüm Modu	-	Direkt
İşlem Sıcaklık Aralığı	°C	0...70
Uzunluk	mm	170
Genişlik	mm	100

Dinamometreden alınan sinyaller Kistler 5070-A çok kanallı amplifikatör kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Daha sonra verilerin değerlendirilmesi ve gerekli grafiklerin elde edilmesi için Windows işletim sistemi ile uyumlu Kistler Dynoware 2825A yazılımından yararlanılmıştır. Frezeleme sırasında oluşan kuvvetlerin ölçümünün yapıldığı görsel Şekil 3.7’de, şematik olarak deney kurulumu Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kesme kuvveti ölçümü için kurulan düzenek



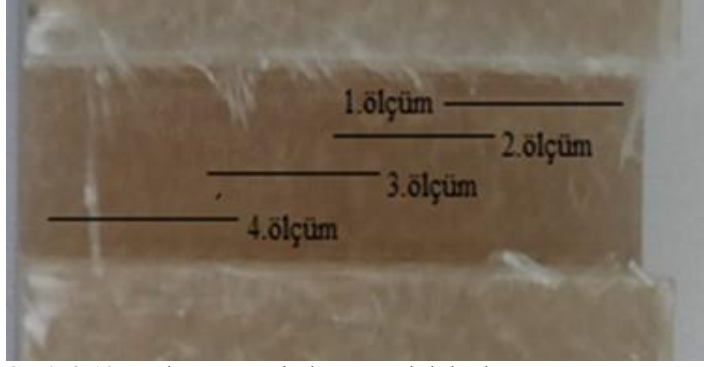
Şekil 3.8. Kurulan deney düzeneğinin şematik resmi

3.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

İşlenen yüzeylerin pürüzlülüğü, Taylor-Hobson Surtronic 3+ tip bir yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.9). Örnekleme uzunluğu 0.80 mm olarak alınmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a , kanal boyunca takımın ilerlemesi yönünde farklı bölgelerden ölçülmüş olup 4 ölçümün ortalaması alınarak bulunmuştur. Pürüzlülük ölçümünün işlenmiş kanal üzerinden nerelerden alındığı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Taylor-Hobson Surtronic 3+ pürüzlülük ölçüm cihazı



Şekil 3.10. Malzeme üzerinden pürüzlülük ölçümü

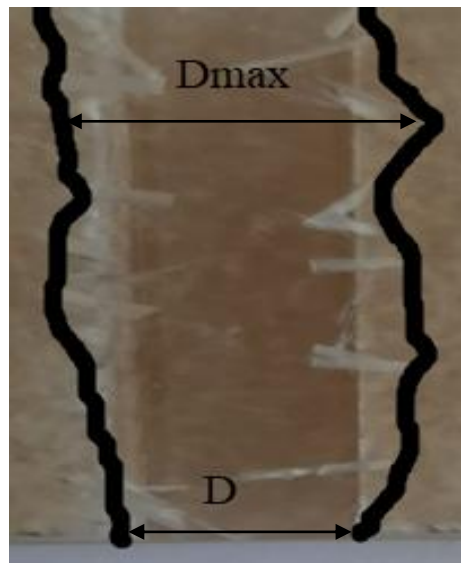
3.8. Deformasyon Ölçümü

CETP kompozit malzemelerin parmak freze ile frezelenmesinde, kanal kenarlarında oluşan deformasyonu belirlemek için Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Nikon Epiphot 200 model optik mikroskop kullanılmıştır.

İşlenen kenarın etrafındaki deformasyon faktörünü belirlemek için, deformasyon bölgesindeki maksimum hasar D_{max} ölçülmüştür (Şekil 3.11). Deformasyon faktörünün DF değeri şu şekilde belirlenmiştir:

$$DF = \frac{D_{maks}}{D} \quad (3.1)$$

Bu formülde, D_{maks} maksimum hasarın genişliği (μm) ve D ise takım çapını(μm) ifade etmektedir (Davim ve Reis 2005).



Şekil 3.11. Deformasyon faktörünün belirlenmesi

3.9. Deneysel Çalışmaların Yapılışı

CETP (UP GM 201) kompozit malzemelerin frezelemesinde, kuru (kesme sıvısı kullanılmadan), MMY-kesme sıvısı (MMY-KS) ve MMY-kesme sıvısı-grafen (MMY-KS-Gr) gibi farklı kesme ortamlarının, iş mili dönme devrinin ve ilerleme oranının; kesme kuvveti, deformasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Çizelge 3.6’da verilen sıra izlenerek yapılmıştır.

Çizelge 3.6. Frezelemede kullanılan parametreler

Deney No.	İş Mili Devri, n (dev/dak)	İlerleme Oranı, f (mm/dev)	Frezeleme Ortamı
1	1000	0.05	Kuru
2	1000	0.10	Kuru
3	1000	0.15	Kuru
4	2000	0.05	Kuru
5	2000	0.10	Kuru
6	2000	0.15	Kuru
7	3000	0.05	Kuru
8	3000	0.10	Kuru
9	3000	0.15	Kuru
10	1000	0.05	MMY-KS
11	1000	0.10	MMY-KS
12	1000	0.15	MMY-KS
13	2000	0.05	MMY-KS
14	2000	0.10	MMY-KS
15	2000	0.15	MMY-KS
16	3000	0.05	MMY-KS
17	3000	0.10	MMY-KS
18	3000	0.15	MMY-KS
19	1000	0.05	MMY-KS-Gr
20	1000	0.10	MMY-KS-Gr
21	1000	0.15	MMY-KS-Gr
22	2000	0.05	MMY-KS-Gr
23	2000	0.10	MMY-KS-Gr
24	2000	0.15	MMY-KS-Gr
25	3000	0.05	MMY-KS-Gr
26	3000	0.10	MMY-KS-Gr
27	3000	0.15	MMY-KS-Gr



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Cam elyaf takviyeli UP GM 201 kompozit malzemelerinin frezelenmesi sırasında iş mili devri (n) ve ilerleme oranı (f) ile kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamlarının kesme kuvveti (N), deformasyon faktörü (DF) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 4.1-4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kuru frezeleme ortamında elde edilen deney sonuçları

Deney No.	İş Mili Devri, n (dev/dak)	İlerleme Oranı, f (mm/dev)	Kesme Kuvveti (N)		Deformasyon Faktörü, (DF)	Ort.Yüzey pürüzlülüğü, (Ra) (µm)
			Fort	Fmaks		
1	1000	0.05	37	88	1.08	3.34
2	1000	0.10	60	121	1.14	3.43
3	1000	0.15	79	153	1.18	3.98
4	2000	0.05	29	61	1.14	3.12
5	2000	0.10	58	96	1.19	3.36
6	2000	0.15	73	135	1.25	3.50
7	3000	0.05	26	53	1.15	2.94
8	3000	0.10	53	84	1.23	3.12
9	3000	0.15	70	113	1.29	3.41

Çizelge 4.2. MMY-KS ortamında frezeleme ile elde edilen deney sonuçları

Deney No.	İş Mili Devri, n (dev/dak)	İlerleme Oranı, f (mm/dev)	Kesme Kuvveti (N)		Deformasyon Faktörü, (DF)	Ort.Yüzey pürüzlülüğü, (Ra) (µm)
			Fort	Fmaks		
1	1000	0.05	31	62	1.04	3.14
2	1000	0.10	51	97	1.12	3.30
3	1000	0.15	73	130	1.16	3.52
4	2000	0.05	27	51	1.10	3.04
5	2000	0.10	49	87	1.16	3.15
6	2000	0.15	70	119	1.23	3.34
7	3000	0.05	24	50	1.12	2.85
8	3000	0.10	48	82	1.18	2.94
9	3000	0.15	67	107	1.26	3.06

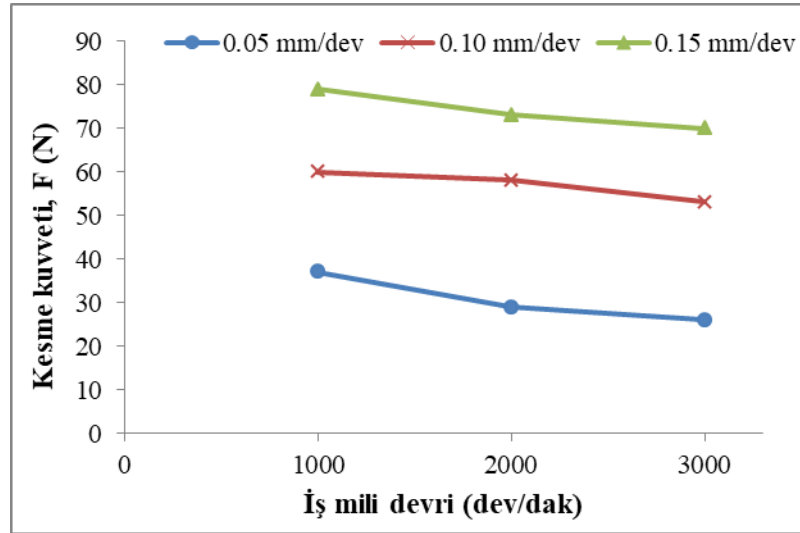
Çizelge 4.3. MMY-KS-Gr ortamında frezeleme ile elde edilen deney sonuçları

Deney No.	İş Mili Devri, n (dev/dak)	İlerleme Oranı, f (mm/dev)	Kesme Kuvveti (N)		Deformasyon Faktörü, (DF)	Ort.Yüzey pürüzlülüğü, (Ra) (µm)
			Fort	Fmaks		
1	1000	0.05	23	58	1.02	3.02
2	1000	0.10	44	87	1.07	3.18
3	1000	0.15	63	109	1.11	3.30
4	2000	0.05	21	49	1.04	2.86
5	2000	0.10	39	82	1.08	2.78
6	2000	0.15	56	105	1.17	2.94
7	3000	0.05	18	40	1.09	2.64
8	3000	0.10	36	78	1.12	2.70
9	3000	0.15	49	96	1.20	2.90

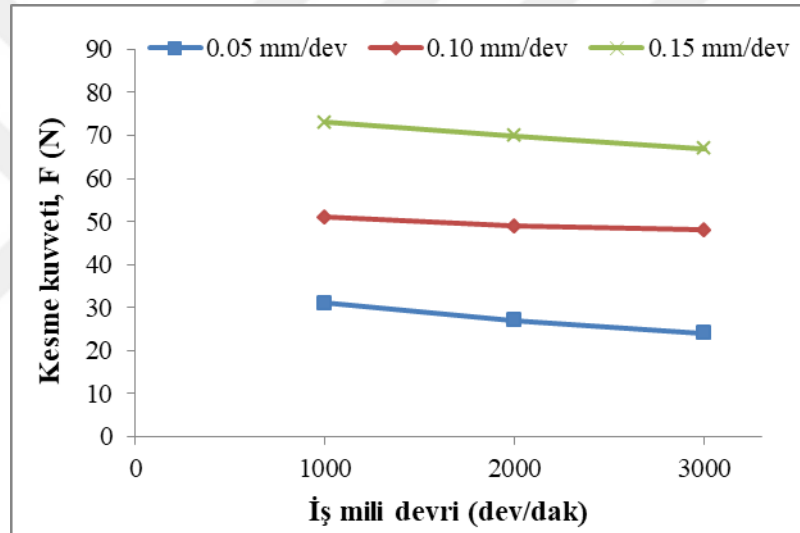
4.1. Frezeleme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi

Elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde oluşan kesme kuvvetleri; iş mili devri, ilerleme oranı, kesme derinliği, kesme ortamı ve kesici kenar geometrisi gibi işleme parametreleri ile değişmektedir. Cam elyaf takviyeli kompozitlerin anizotropik doğası nedeniyle, takımın hareketine göre çeşitli fiber yönlerinde işleme yapılırken belirgin şekilde farklı kesme mekanizmaları gözlemlenebilir (Puw ve Hocheng 1993), (Sakuma ve Seto 1981). Bu durum kesme kuvvetlerinde değişikliklere yol açar. Frezeleme işlemlerindeki kesme kuvvetleri elyaf oryantasyonuna ve talaş kalınlığına da bağlıdır (Sheikh-Ahmad 2009). Yüksek kesme performansı elde etmek için kesme ortamının ve işleme parametrelerinin uygun seçimi esastır. İşleme gücü ve kesme bilgisi; yüzey işleme, boyutsal doğruluk, takım ömrü, kesme sıcaklığı, titreşim gibi kesme performansı ile güçlü bir ilişki içinde olduklarından çok önemlidir (Lalwani ve ark. 2008). Li ve ark. (2012), kesme kuvvetlerinin artan kesme hızı ile azaldığını bulmuşlardır. Kuvvetlerin, ilerleme oranı ve kesme derinliğinin artması ile arttığını belirlemişlerdir.

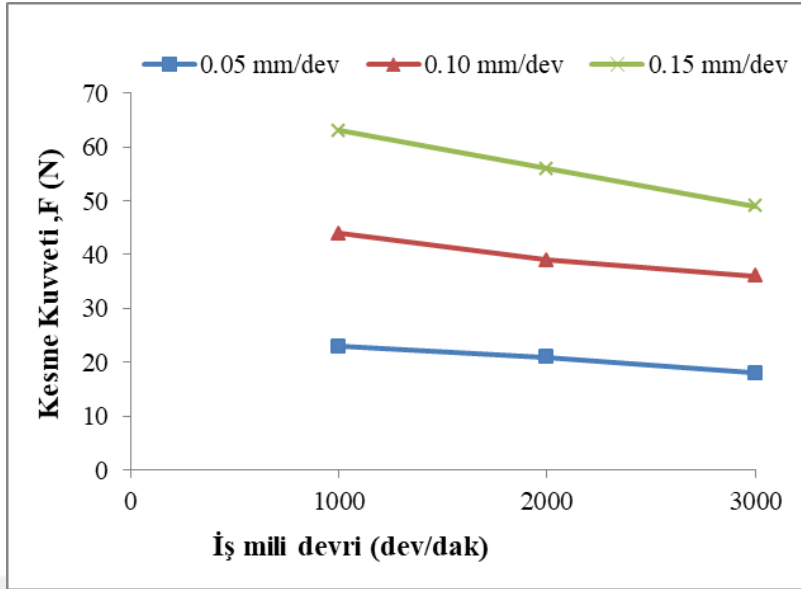
CETP kompozitlerin kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamlarında frezelenmesi sonucu elde edilen kesme kuvveti üzerine iş mili devrinin etkileri Şekil 4.1-4.3'te, ilerleme oranlarının kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.4-4.6'da, kesme ortamının kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.7'de ve tüm frezeleme parametrelerinin maksimum kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.8'de sırasıyla verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.9'da dinamometreden alınan kuvvet sinyallerine ait bir grafik verilmiştir. Tüm deneylere ait kuvvet-zaman grafikleri Ek-1'de topluca verilmiştir.



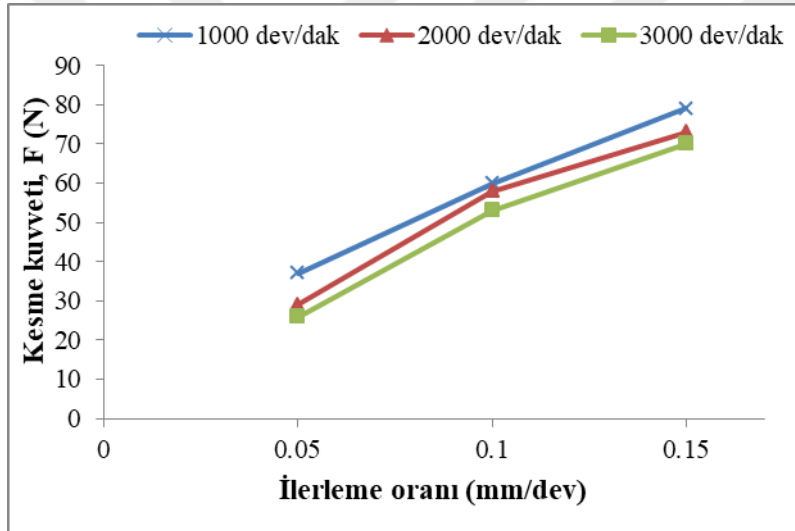
Şekil 4.1. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (kuru)



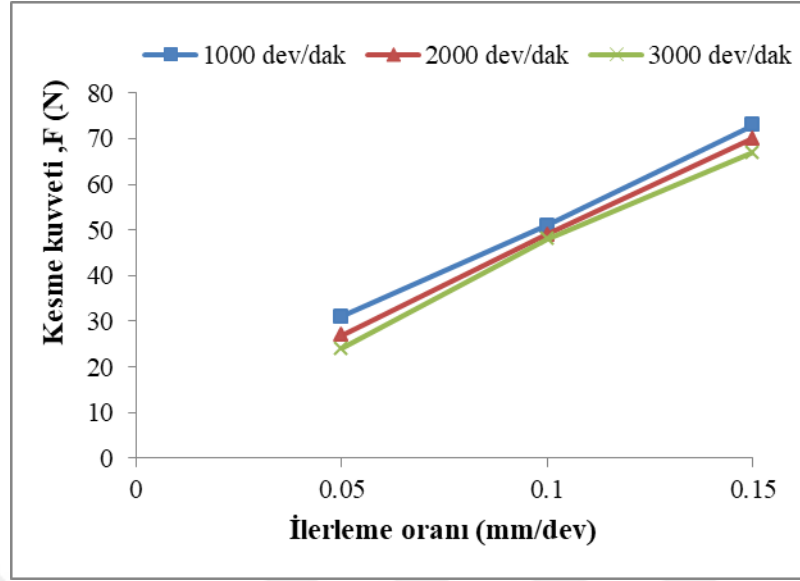
Şekil 4.2. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS)



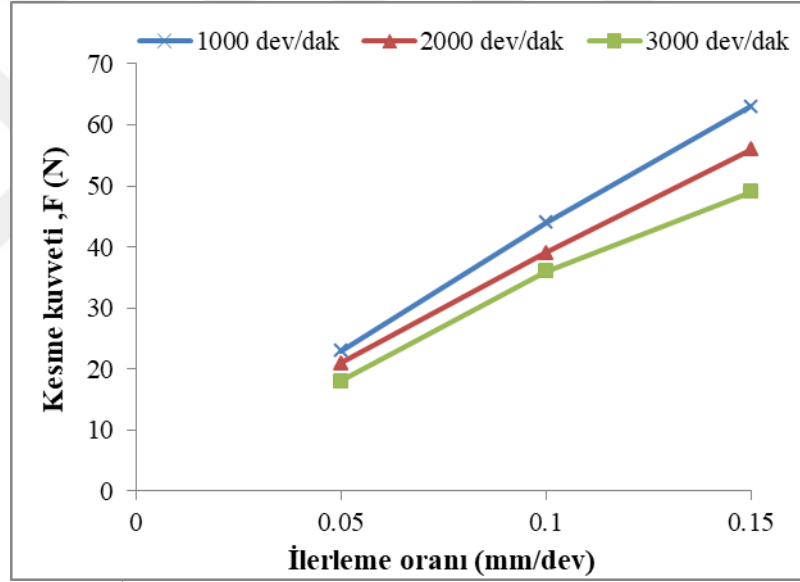
Şekil 4.3. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)



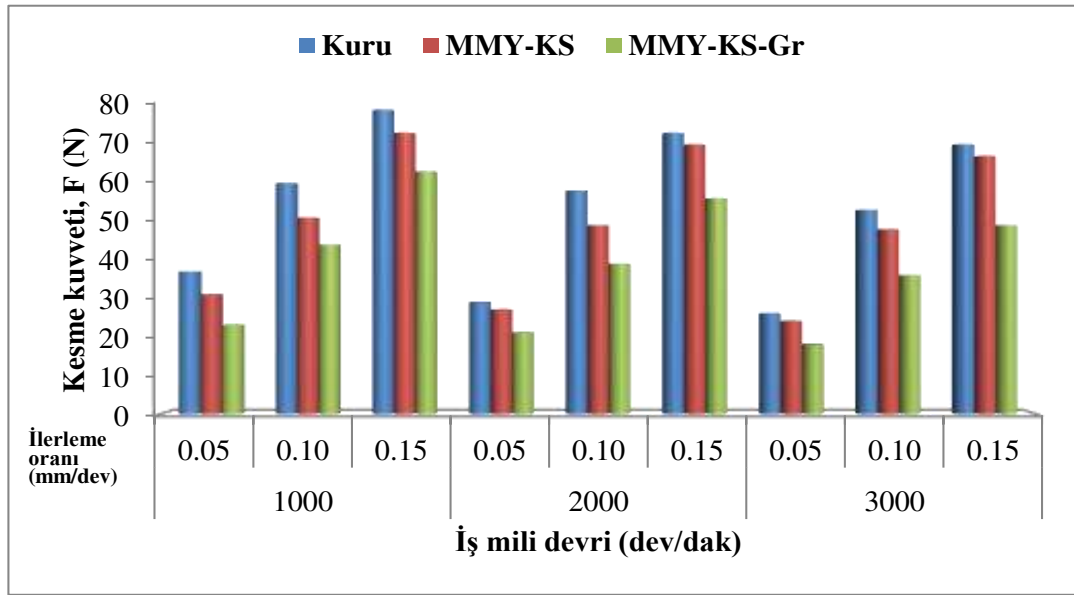
Şekil 4.4. İlerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi (kuru)



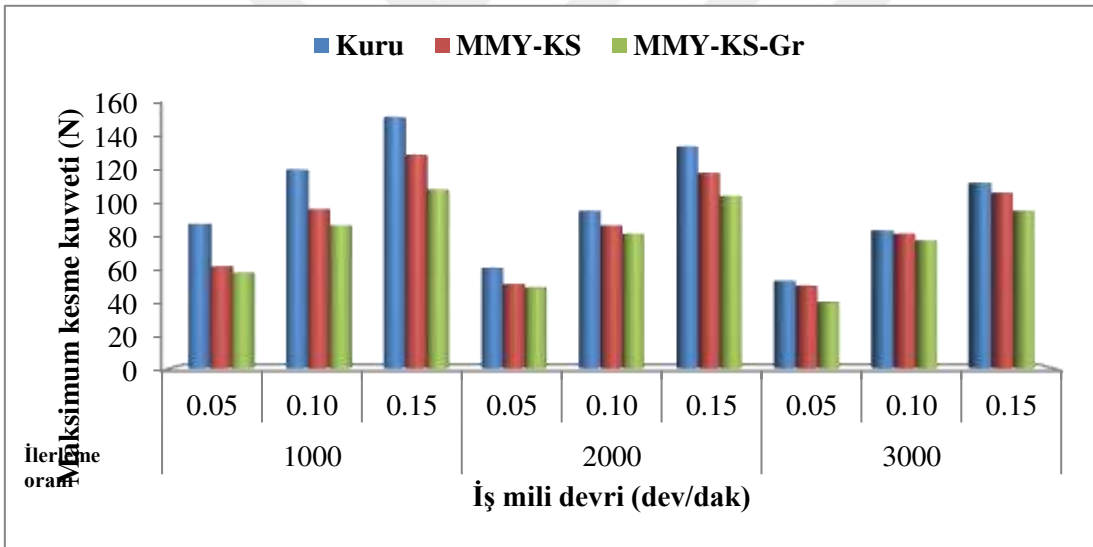
Şekil 4.5. İlerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS)



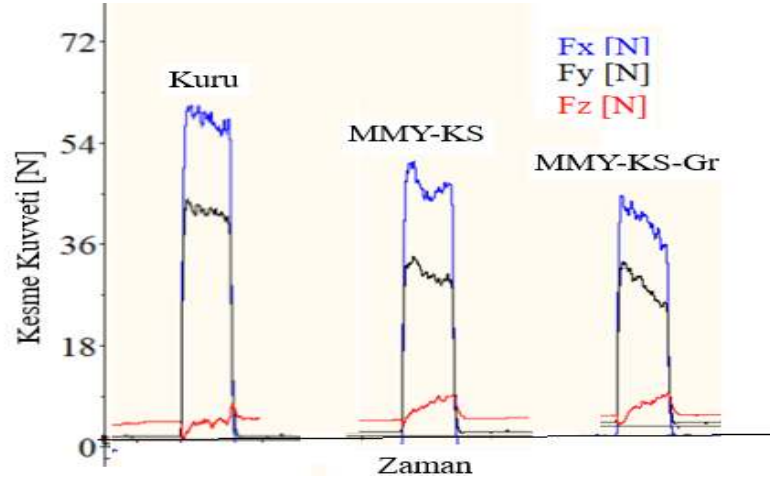
Şekil 4.6. İlerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)



Şekil 4.7. UP GM 201 CETP frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği



Şekil 4.8. UP GM 201 CETP frezelenmesinde kesme parametrelerinin maksimum kesme kuvveti üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği



Şekil 4.9. Frezelemede oluşan kesme kuvvetlerine ait kesme kuvveti-zaman grafiği (3000 dev/dak, 0.10 mm/dev)

UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinde iş mili devrinin artması ile kesme kuvvetlerinde bir azalma olmuştur. Kuru frezeleme ortamında ilerleme oranı 0.05 mm/dev olarak sabit tutulduğunda iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında kesme kuvvetleri 37 N, 29 N ve 26 N olarak sırasıyla elde edilmiştir. MMY-KS ortamında yapılan frezeleme deneylerinde ilerleme oranı 0.10 mm/dev olarak sabit tutulduğunda, iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında kesme kuvvetleri 51 N, 49 N ve 48 N olarak sırasıyla elde edilmiştir. MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde ilerleme oranı 0.15 mm/dev olarak sabit tutulduğunda, iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında kesme kuvvetleri 63 N, 56 N ve 49 N olarak sırasıyla ölçülmüştür.

İş mili devrinin aksine, ilerleme oranının artması ile kesme kuvvetlerinde artma olmuştur. İş mili devri 1000 dev/dak'da sabit tutulduğunda ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak arttırıldığında kesme kuvvetleri kuru frezelemede sırasıyla 37, 60 ve 79 N olarak ölçülmüştür. 1000 dev/dak iş mili devrinde ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak değiştirilmesinde kesme kuvvetleri MMY-KS ortamında yapılan frezelemede kesme kuvvetleri 31, 51 ve 73 N olarak elde edilirken MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde kesme kuvvetleri sırasıyla 23, 44 ve 63 N olarak elde edilmiştir.

Kuru frezelemede en düşük kesme kuvveti 3000 dev/dak iş mili devrinde 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan frezeleme deneylerinden 26 N olarak elde edilirken en yüksek kesme kuvveti 1000 dev/dak iş mili devrinde 0.15 mm/dev ilerleme oranında

yapılan deneylerinden 79 N elde edilmiştir. MMY-KS ortamında yapılan frezelemede en düşük kesme kuvveti 3000 dev/dak iş mili devrinde 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan frezeleme deneylerinden 24 N olarak elde edilirken en yüksek kesme kuvveti 1000 dev/dak iş mili devrinde 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan deneylerden 73 N olarak elde edilmiştir. MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezelemede en düşük kesme kuvveti 18 N olarak 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında elde edildi. En yüksek kesme kuvveti 63 N olarak 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan deneylerden elde edilmiştir.

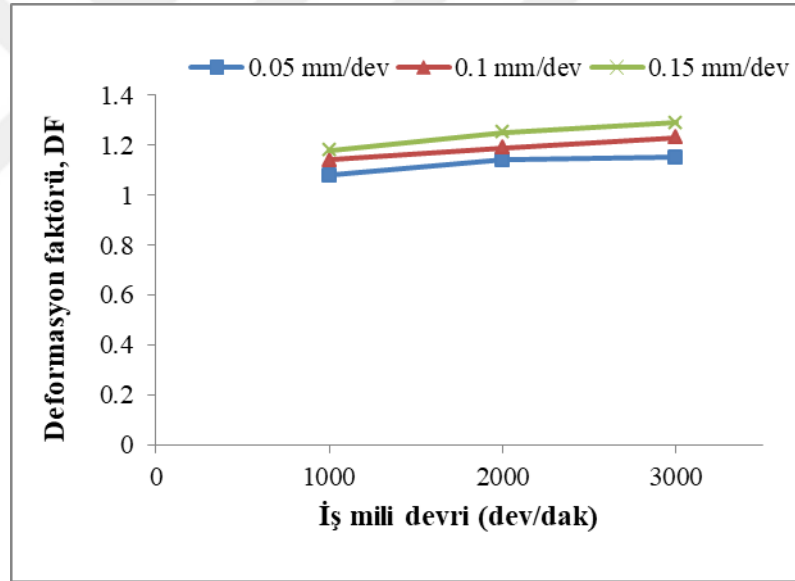
İlerleme oranındaki artışla birlikte birim zamanda kaldırılan talaş hacmi de artmaktadır. Bu durum kesme kuvvetlerinde dinamik bir etki oluşturmaktadır. Yüksek ilerleme oranının sebep olduğu dinamik etkiden dolayı kesme kuvveti yüksek olarak elde edilmektedir (Suresh ve ark. 2012), (Hocheng ve ark. 1993), (Denkena ve ark. 2008). Birim zamanda iş parçası/takım ara yüzey temasının artmasından dolayı kesme kuvvetlerinde artış olmaktadır (Çakır 1999), (Chinchanikar ve Choudhury 2013), (Haşimi 2018), (Ucar ve Wang 2005). Kesme bölgesinde bir kesme sıvısı kullanıldığında, takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi ve sıcaklığı düşürmektedir. Bu da kesme kuvvetlerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada da MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde elde edilen kesme kuvvetleri, kuru frezelemede oluşan kesme kuvvetlerinden daha düşük elde edilmiştir. Grafen ilave edilmiş MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerde tüm kesme parametrelerinden en düşük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Soğutucu/yağlayıcı ortamda yapılan deneylerde kesme kuvvetlerinin minimum olmasının nedeni, iş parçası ile kesici takım ara yüzeyinde daha düşük bir sürtünme kuvveti üretilmesidir (Sreejith 2008).

Kuru frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetleri MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetlerinden yüksek çıkmıştır. MMY-KS ortamında yapılan deneylerde kesme kuvvetinin düşük çıkması kullanılan kesme sıvısının yağlayıcı özelliğinin olmasındandır. Mükemmel soğutma ve yağlama özelliklerine sahip iki boyutlu bir malzeme olan grafen ilaveli MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde ise düşük kesme kuvveti elde edilmesinin nedeni takım-iş parçası ara yüzündeki sürtünmenin oluşan yağ filmi ile düşük olmasındandır.

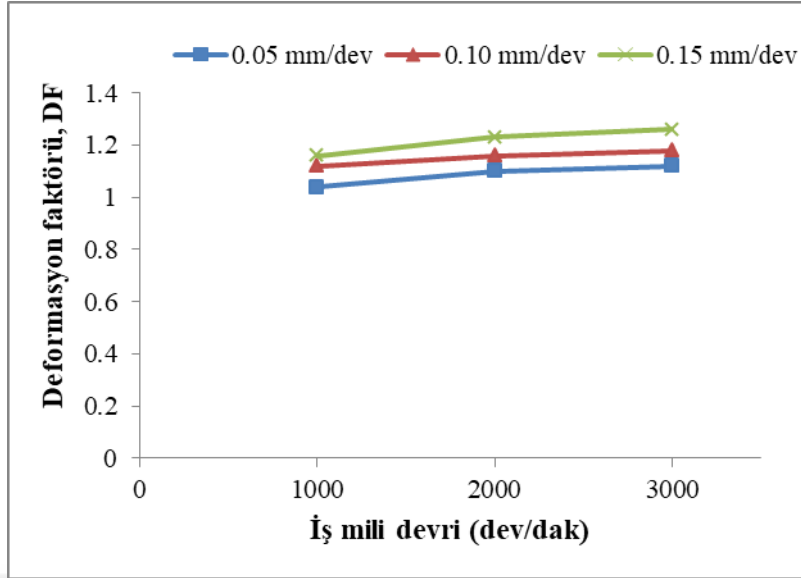
Maksimum kesme kuvvetinin işleme parametrelerine göre değişimi ortalama kesme kuvvetindeki değişim ile benzerlik göstermektedir. Yüksek iş mili devrinde, düşük ilerleme oranında ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde düşük maksimum kesme kuvveti elde edilmiştir.

4.2. Frezeleme Parametrelerinin Deformasyon Faktörü Üzerine Etkisi

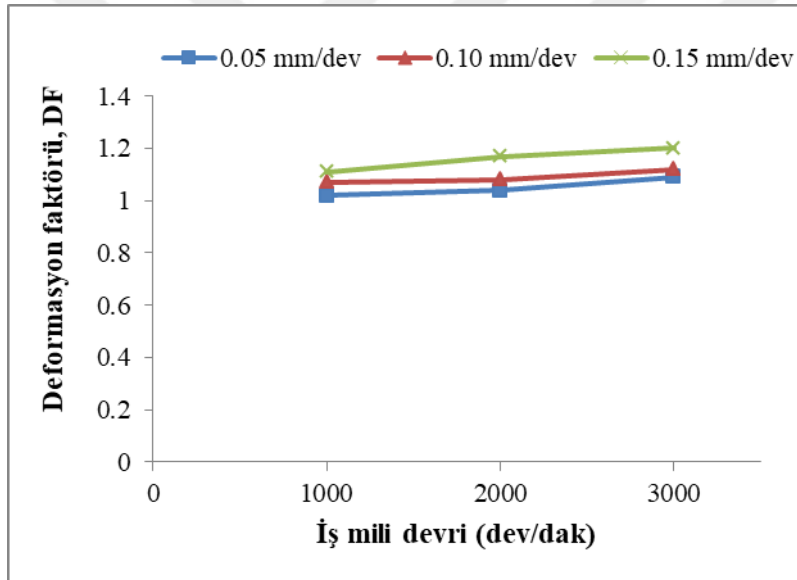
UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamlarında frezelenmesi esnasında kanal kenarlarında oluşan ve eşitlik (3.1) ile hesaplanan maksimum deformasyon faktörü (D_{maks}) üzerine iş mili devrinin etkileri Şekil 4.10-4.12’de, ilerleme oranlarının deformasyon faktörü üzerine etkileri Şekil 4.13-4.15’te ve kesme ortamının deformasyon faktörü üzerine etkileri Şekil 4.16’da sırasıyla verilmiştir. CETP malzemenin kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında frezelemesi ile oluşan kanallara ait görüntüler sırası ile Çizelge 4.4-4.6’da verilmiştir.



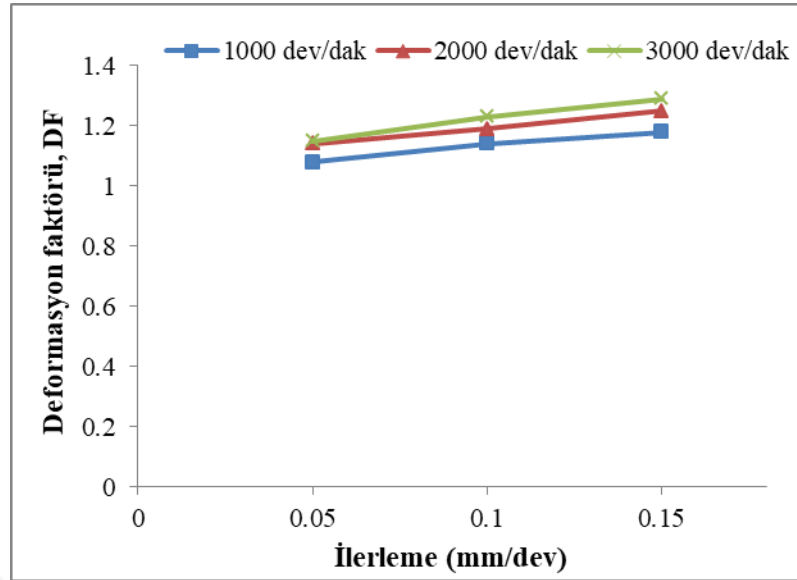
Şekil 4.10. İş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine etkisi (kuru)



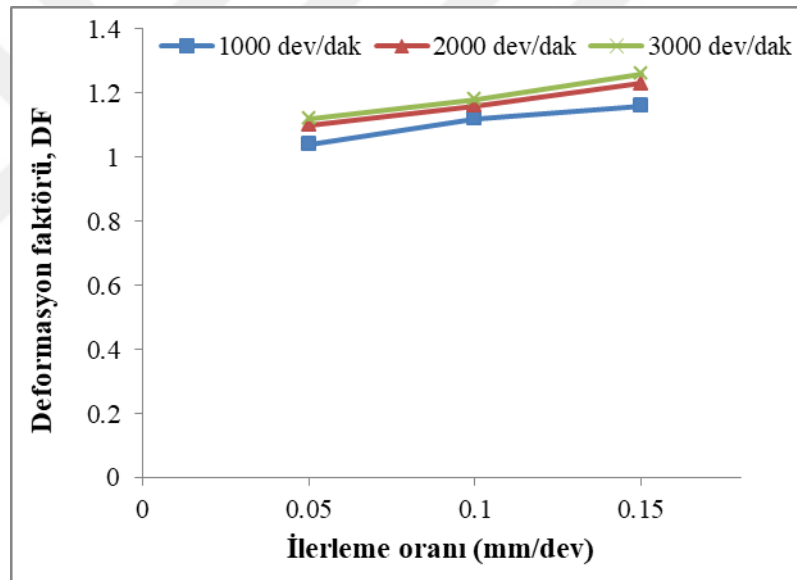
Şekil 4.11. İş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS)



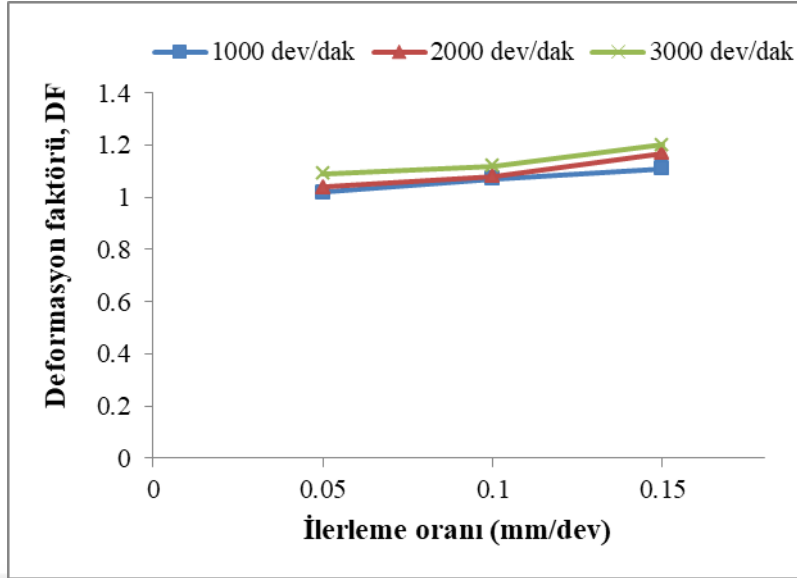
Şekil 4.12. İş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)



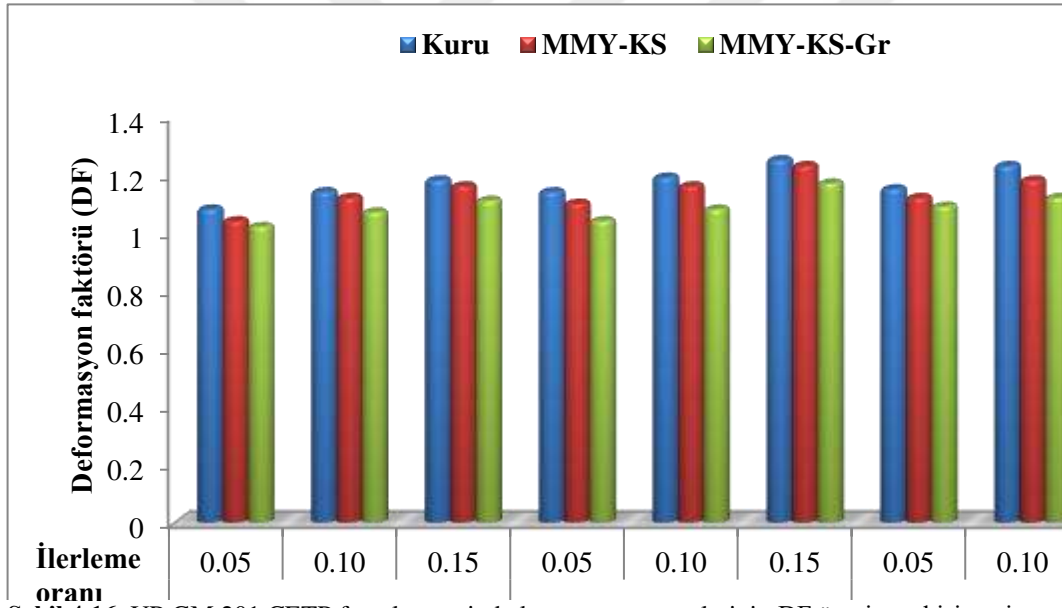
Şekil 4.13. İlerleme oranının deformasyon faktörü üzerine etkisi (kuru)



Şekil 4.14. İlerleme oranının deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS)



Şekil 4.15. İlerleme oranının deformasyon faktörü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)



Şekil 4.16. UP GM 201 CETP frezelenmesinde kesme parametrelerinin DF üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği

Çizelge 4.4. Kuru frezeleme ortamına ait deformasyon görüntüleri

		İlerleme oranı (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
İş mili devri (dev/dak)	1000			
	2000			
	3000			

Çizelge 4.5. MMY-KS frezeleme ortamına ait deformasyon görüntüleri

		İlerleme oranı (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
İş mili devri (dev/dak)	1000			
	2000			
	3000			

Çizelge 4.6. MMY-KS-Gr frezeleme ortamına ait deformasyon görüntüleri

		İlerleme oranı (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
İş mili devri (dev/dak)	1000			
	2000			
	3000			

UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinde iş mili devrinin artması ile deformasyon faktöründe bir artma olmuştur. Kuru frezeleme ortamında ilerleme oranı 0.15 mm/dev olarak sabit tutulduğunda iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında deformasyon faktörleri sırasıyla 1.18, 1.25 ve 1.29 olarak hesaplanmıştır. MMY-KS ortamında yapılan frezelemede deneylerinde ilerleme oranı 0.10 mm/dev olarak sabit tutulduğunda, iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında deformasyon faktörleri sırasıyla 1.12, 1.16 ve 1.18 olarak elde edilmiştir. MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezelemede deneylerinde ilerleme oranı 0.05 mm/dev olarak sabit tutulduğunda, iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında deformasyon faktörü sırasıyla 1.02, 1.04 ve 1.09 olarak hesaplanmıştır.

İş mili devrinin artışına benzer olarak, ilerleme oranının artması ile de deformasyon faktörleri artmıştır. İş mili devri 1000 dev/dak'da sabit tutulduğunda ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak arttırıldığında deformasyon faktörleri kuru frezelemede sırasıyla 1.08, 1.14 ve 1.18 olarak ölçülmüştür. 2000 dev/dak iş mili devrinde ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak değiştirildiğinde MMY-KS ortamında yapılan frezeleme deneylerinde deformasyon faktörleri sırasıyla 1.10, 1.16 ve 1.23 olarak elde edilirken MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde ise deformasyon faktörleri sırasıyla 1.04, 1.08 ve 1.17 olarak elde edilmiştir.

Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan kanal frezeleme deneylerinde en düşük deformasyon faktörü MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilmiştir. Frezeleme ortamına bağlı olarak en düşük deformasyon faktörleri 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan frezeleme deneylerinden elde edilirken en yüksek deformasyon faktörleri 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan deneylerden elde edilmiştir. Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilen en düşük deformasyon faktörleri sırasıyla 1.08, 1.04 ve 1.02 olarak tespit edilmiştir. Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilen en büyük deformasyon faktörleri 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında oluşmuştur. Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilen en büyük deformasyon faktörleri sırasıyla 1.29, 1.26 ve 1.20 olarak hesaplanmıştır.

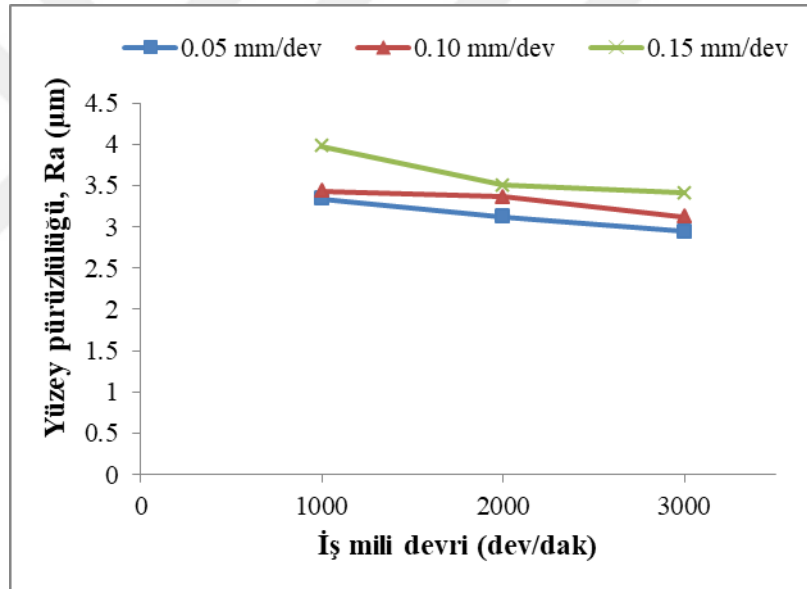
Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr gibi kesme ortamında, 1000, 2000 ve 3000 dev/dak iş mili ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında yapılan deneylerde en düşük deformasyon faktörü MMY-KS-Gr ortamında, 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan deneylerden elde edilmiştir.

Turki ve ark. (2014), deformasyon faktörünün, ilerleme ile önemli ölçüde arttığını ve deformasyon faktörü üzerine ilerlemenin iş mili devrinden daha büyük etkisinin olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir ve düşük ilerlemenin tercih edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Daha önce yapılan deneylerde yüksek ilerleme oranının kesme kuvvetleri ve deformasyon faktörü üzerine etkisinin iş mili devrinden daha

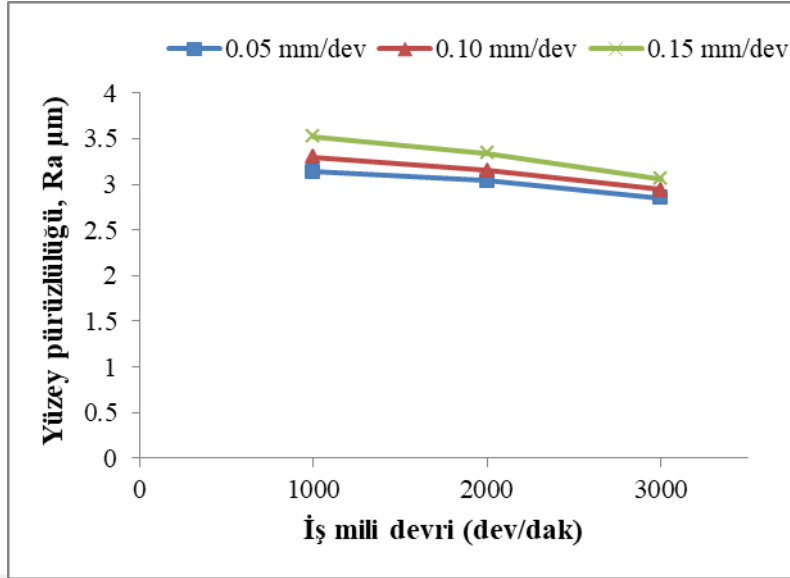
büyük olduğunu belirtmişlerdir (Chen 1997),(Marques ve ark. 2009),(Zitoune ve ark. 2012).

4.3. Frezeleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

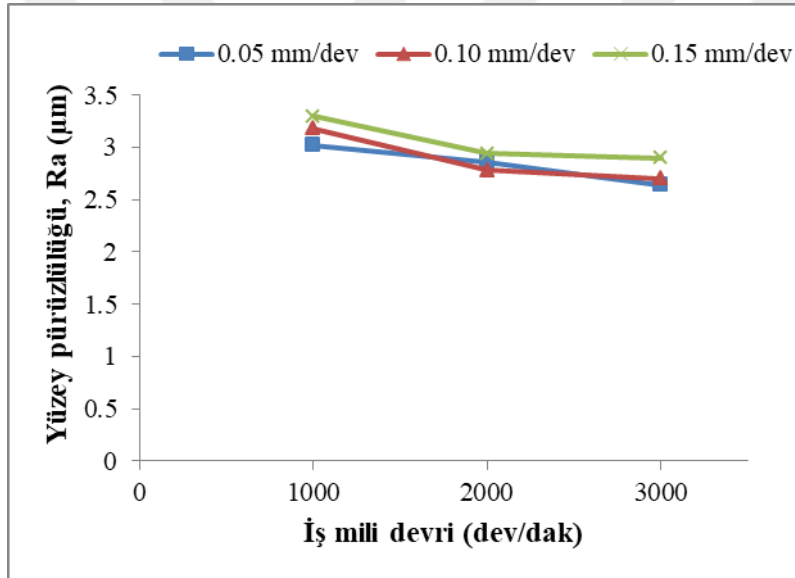
UP GM 201 CETP kompozit malzemenin frezelenmesinde kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr kesme ortamlarının, iş mili devrinin ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi deneysel olarak belirlenmiştir. UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamlarında frezelenmesi esnasında işlenmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğü üzerine iş mili devrinin etkileri Şekil 4.17-4.19’da, ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri Şekil 4.20-4.22’de ve kesme ortamının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri toplu olarak Şekil 4.23’te sırasıyla verilmiştir.



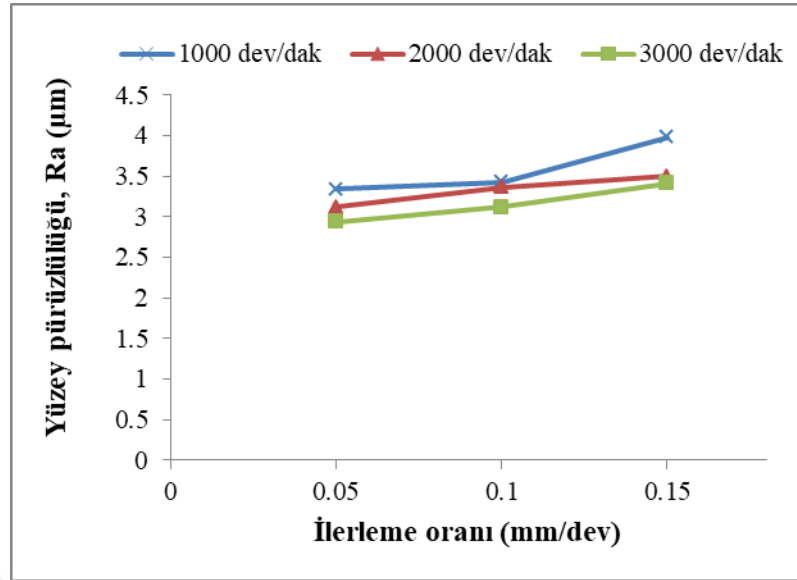
Şekil 4.17. İş mili devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (kuru)



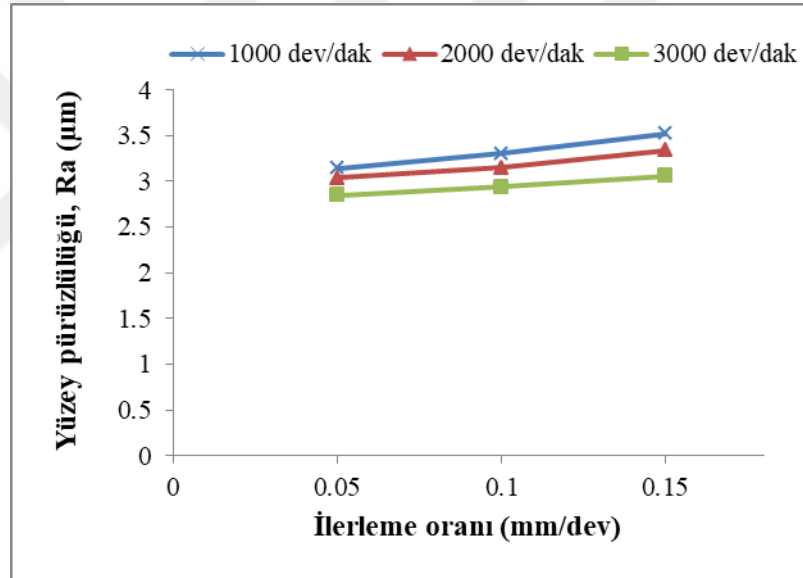
Şekil 4.18. İş mili devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS)



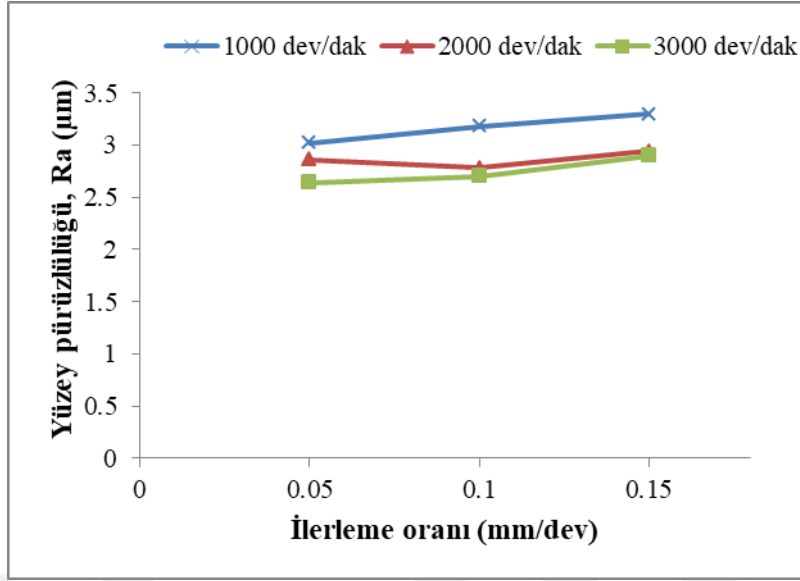
Şekil 4.19. İş mili devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)



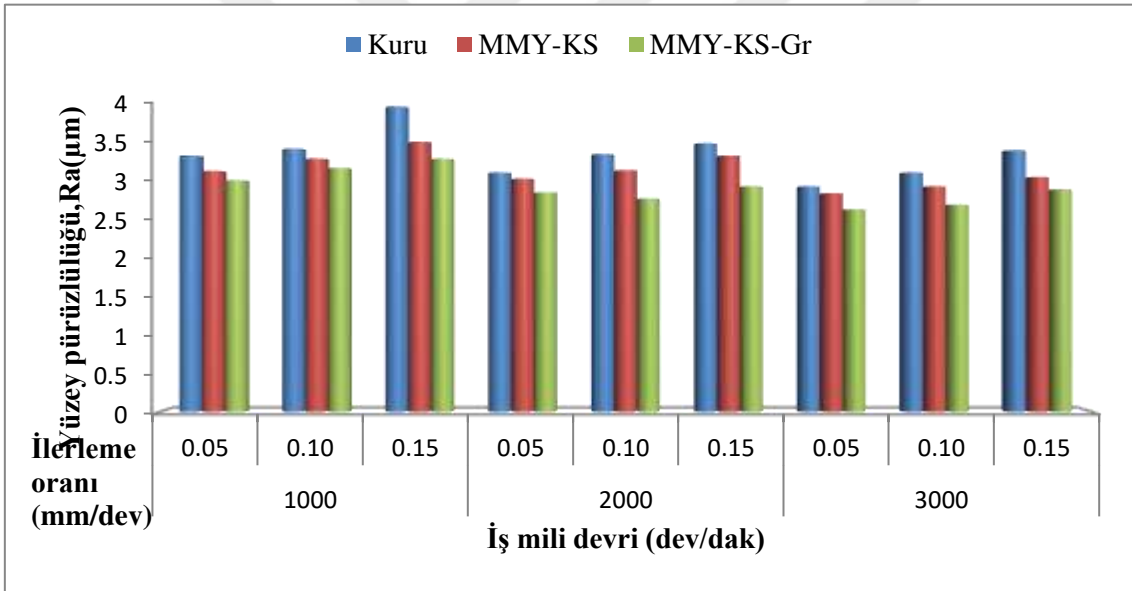
Şekil 4.20. İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (kuru)



Şekil 4.21. İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS)



Şekil 4.22. İlerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi (MMY-KS-Gr)



Şekil 4.23. UP GM 201 CETP'in frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisine ait toplu sonuçların grafiği

Farklı frezeleme ortamında UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinde, iş mili devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Kuru frezeleme ortamında ilerleme oranı 0.10 mm/dev olarak sabit tutulduğunda iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 3.43, 3.36 ve 3.12 µm olarak ölçüldü. MMY-KS ortamında yapılan frezeleme deneylerinde 0.05 mm/dev ilerleme oranında, iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 3.14, 3.04 ve 2.85 µm olarak belirlendi.

MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde 0.15 mm/dev sabit ilerleme oranında, iş mili devri 1000, 2000 ve 3000 dev/dak olarak arttırıldığında yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 3.30, 2.94 ve 2.90 μm olarak bulundu.

İş mili devrinin aksine, ilerleme oranının artması ile de yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. İş mili devri 1000 dev/dak'da sabit tutulduğunda ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak arttırıldığında yüzey pürüzlülüğü kuru frezelemede sırasıyla 3.34, 3.43 ve 3.98 μm olarak ölçülmüştür. 2000 dev/dak iş mili devrinde, ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak değiştirildiğinde MMY-KS ortamında yapılan frezeleme deneylerinde yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 3.04, 3.15 ve 3.34 μm olarak elde edildi. MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde ise 3000 dev/dak iş mili devrinde, ilerleme oranının 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev olarak arttırılması halinde yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 2.64, 2.70 ve 2.90 μm olarak ölçüldü.

Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan kanal frezeleme deneylerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilmiştir. Frezeleme ortamına bağlı olarak en düşük yüzey pürüzlülüğü 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında yapılan frezeleme deneylerinden elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülüğü 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan deneylerden elde edilmiştir. Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 2.94, 2.85 ve 2.64 μm olarak tespit edilmiştir. Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilen en büyük yüzey pürüzlülüğü 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında oluşmuştur. Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneylerden elde edilen en büyük yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 3.98, 3.52 ve 3.30 μm ölçülmüştür.

CETP kompozitin frezelenmesinde, 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında iş mili devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, en düşük yüzey pürüzlülüğü 0.05 mm/dev ilerleme oranında ve 3000 dev/dak iş mili devrinde elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülüğü 0.15 mm/dev ilerleme oranında ve 1000 dev/dak iş mili devrinde elde edilmiştir.

Talaşlı imalatla yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli işleme parametresinin ilerleme olduğu bilinmektedir. Fakat frezeleme durumu geleneksel duruma göre çok

daha karmaşıktır. Takımın uzun olması tırlama titreşimi oluşumunu arttırmaktadır. Ayrıca yüksek devirlerde titreşime sebep olabilir (Wang ve ark. 2005). İlerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün artmasının nedeni yüksek ilerlemelerde her bir dişten geri kalan işaretlerin daha büyük olması ile açıklanmıştır.

Azmi ve ark.(2013), kesme parametrelerinin cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesinin farklı işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve yüzey pürüzlülüğünü etkilemede ilerleme oranının en baskın role sahip olduğunu bulmuşlardır. Brinksmeier ve Janssen(2002), minimum miktarlı soğutma ile kuru kesme koşulunda, minimum miktarlı soğutmanın yüzeydeki talaş yapışmasını önemli ölçüde azalttığını ve daha iyi delik kalitesi sağladığını bildirmişlerdir. Ghafarizadeh ve ark.(2016), yüzey pürüzlülüğünün ilerleme oranının artışı ile arttığını, kesme hızına bağımlılığının daha karmaşık olduğunu, düşük kesme hızları için (100 ve 175 m / dak), kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını bildirmişlerdir. Minimum yüzey pürüzlülüğü değerlerine düşük ilerleme oranı (0,063 mm / dev) ve daha yüksek kesme hızı (250-500 m/dak) ile ulaşılmıştır. Takmaz ve ark.(2016), çalışmalarında kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 11,25 etki oranına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Wang ve ark.(2016), iyi yüzey kalitesi ve yüksek talaş kaldırma oranı elde etmek için düşük kesme hızı, minimum ilerleme oranı ve maksimum radyal kesme derinliği tercih edilir şeklinde bildirimde bulunmuşlardır. Li ve ark.(2019), kuru, gaz, MMY, grafen nanoakışkanlı MMY koşullarında soğutma-yağlama yapılırken en az yüzey pürüzlülüğünü grafen katkılı MMY koşulu ile elde etmişlerdir. Grafen katkısı ile MMY, sürtünmeyi ve kesme sıcaklığını azaltarak yağlama performansını arttırmıştır.

5. SONUÇLAR

Cam elyaf takviyeli UP GM 201 kompozit malzemelerinin frezelenmesi sırasında iş mili devri (n) ve ilerleme oranı (f) ile kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamlarının kesme kuvveti (N), deformasyon faktörü (DF) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinde iş mili devrinin artması ile kesme kuvvetlerinde bir azalma olmuştur.

- İlerleme oranının artması ile kesme kuvvetlerinde artma olmuştur.

- En yüksek kesme kuvveti 1000 dev/dak iş mili devrinde 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan kuru frezeleme deneyinde 79 N olarak elde edilirken en düşük kesme kuvveti 18 N olarak 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezelemede elde edildi.

- Kuru frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetleri MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetlerinden yüksek çıkmıştır. MMY-KS ortamında yapılan deneylerde kesme kuvvetinin düşük çıkması kullanılan kesme sıvısının yağlayıcı özelliğinin olmasındandır. Mükemmel soğutma ve yağlama özelliklerine sahip iki boyutlu bir malzeme olan grafen ilaveli MMY-KS-Gr ortamında yapılan frezeleme deneylerinde ise düşük kesme kuvveti elde edilmesinin nedeni takım-iş parçası ara yüzündeki sürtünmenin oluşan yağ filmi ile düşük olmasındandır.

- UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinde iş mili devri ve ilerleme oranlarının artışı ile deformasyon faktörleri artmıştır.

- Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr gibi kesme ortamında, 1000, 2000 ve 3000 dev/dak iş mili ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında yapılan deneylerde en düşük deformasyon faktörü MMY-KS-Gr ortamında, 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında 1.02 olarak elde edilmiştir. En yüksek deformasyon faktörü 1.29 değerinde 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında yapılan kuru frezeleme deneyi ile elde edilmiştir.

- Farklı frezeleme ortamlarında UP GM 201 CETP kompozit malzemesinin frezelemesinde, iş mili devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.

- İlerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülüğü artmıştır.

- Kuru, MMY-KS ve MMY-KS-Gr ortamında yapılan kanal frezeleme deneylerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme oranında 2.64 μ m değerinde MMY-KS-Gr ortamında yapılan deneyle elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü ise kuru frezeleme ile 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerleme oranında 3.98 μ m değerinde elde edilmiştir.



6. KAYNAKLAR

- Azmi, A.I., Lin, R.J.T., Bhattacharyya, D. 2013. Machinability study of glass fibre-reinforced polymer composites during end milling. *Int J Adv Manuf Technol.*, 64 (1–4): 247–261.
- Birmingham, M., Kirsch, J., Sun, S., Palanisamy, S., Dargusch, M.S. 2011. New observations on tool life, cutting forces and chip morphology in cryogenic machining Ti-6Al-4V. *Int J Mach Tools Manuf*, 51 (6): 500–511.
- Byrne, G., Dornfeld, D., Denkena, B. 2003. Advancing cutting technology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52 (2003): 483–507.
- Brinksmeier, E., Janssen, R. 2002. Drilling of multi-layer composite materials consisting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP), titanium and aluminum alloys. *CIRP Ann - Manuf Technol*, 51 (1): 87–90.
- Caggiano, A. 2018. Machining of Fibre Reinforced Plastic Composite Materials. *Materials*, 11 (3): 442.
- Chen, W.C. 1997. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 37 (8): 1097–1108.
- Chen, Y., Guo, X., Zhang, K., Guo, D., Zhou, C., Gai, L. 2018. Study on the surface quality of CFRP machined by micro textured milling tools. *Journal of Manufacturing Processes*, 37 (2019): 114–123.
- Chinchani, S., Choudhury, S.K. 2013. Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach. *Measurement*, 46 (4): 1572–1584.
- Colligan, K., Ramulu, M. 1991. Delamination in surface plies of graphite/epoxy caused by the edge trimming process. *Process Manuf Compos Mater*, 27 (1991): 113–125.
- Cong, W. L., Feng, Q., Pei, Z. J., Deines, T. W. and Treadwell, C. 2011. Rotary ultrasonic machining of carbon fiber reinforced plastic composites: using cutting fluid vs. cold air as coolant. *J. Compos. Mater*, 46 (14): 1745–1753.
- Çakır, C.M. 1999. Modern Talaşlı İmalatın Esasları. Ceylan Matbaacılık, 268, Bursa, Türkiye.
- Çetin, M.H., Özcelik, B., Kuram, E., Demirbas, E. 2011. Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by taguchi method. *Journal of Cleaner Production*, 19 (2011): 2049–2056.
- Davim, J.P., Reis, P. 2005. Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 160 (2): 160–167.
- Davim, J.P., Rubio, J.C., Abrao, A.M. 2007. A Novel Approach Based on Digital Image Analysis to Evaluate the Delamination Factor After Drilling Composite Laminates. *Composite Science and Technology*, 67 (9): 1939–1945.
- Davim, J. P. 2013. Sustainable Manufacturing. Wiley, 246, USA.
- Debnath, S. Reddy, M.M., Yi, Q.S. 2014. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of Cleaner Production*, 83 (2014): 33–47.
- Denkena, B., Boehnke, D., Dege, J.H. 2008. Helical milling of CFRP –titanium layer compounds. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 1 (2): 64–69.

- Dhar, N.R., Islam, S., Kamruzzaman, M. 2010. Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4340 steel. *Gazi University Journal of Science*, 20 (2): 23–32.
- Diniz, A.E., Micaroni, R. 2002. Cutting conditions for finish turning process aiming:the use of dry cutting. *Int. J. Mach. Tool Manu*, 42 (8): 899-904.
- Dixit, U.S. , Sarma, D.K., Davim. J.P. 2012. Environmentally friendly machining. *Springer Science & Business Media*, 100, New York.
- El-Hofy, M., Soo,S., Aspinwall, D., Sim,W., Pearson,D., M'Saoubi, R., Harden, P. 2017. Tool temperature in slotting of CFRP composites. *Procedia Manufacturing*, 10 (2017): 371-381.
- El Mansori, M. 2016. Numerical and experimental study of machining titanium-composite stacks. Ph.D., Laboratory of Mechanics, Surfaces and Materials Processing (MSMP – EA 7350) of Arts et Métiers Paris Tech, Paris, 255.
- Fernández-Pérez, J. , Cantero, J. L., Díaz-Álvarez, J. and Miguélez, M. H. 2019. Hybrid Composite-Metal Stack Drilling with Different Minimum Quantity Lubrication Levels. *Materials*, 12 (3): 1-13.
- Fratila,D. 2009. Evaluation of near-dry machining effects on gear milling process efficiency. J. Clean. *Prod.*, 17 (9): 839-845.
- Ghafari-zadeh, S., Chatelain, J.F. and Lebrun, G. 2016. Effect of cutting tool lead angle on machining forces and surface finish of CFRP laminates. *Sci Eng Compos Mater*, 23 (5): 543–550.
- Ghosh, C.S. , Rao,P.V. 2015. Environment Friendly Machining of Ni-Cr-Co Based Super Alloy using Different Sustainable Techniques. *Materials and Manufacturing Processes*, 31 (7): 852-859.
- Ghughe, N.C., Dhatrak, V.K., Mahalle,A. 2009. Minimum Quantity Lubrication. National Symposium on engineering and Research, *Nagpur*, 2 (1): 55-60.
- Giasin, K. 2016. Machining Fibre Metal Laminates and Al2024-T3 aluminium alloy. Doctor of Philosophy, the university of sheffield, UK, 309.
- Giraltoš, P., Maga, D., Klekovkin, V.2020. Ecological Aspects of Cutting Fluids &Minimization of the Ecological Impacts of Cutting Fluids.www.cybletter.com, 20.10.2020.
- Groover, M.P. 2002. Fundamentals of Modern Manufacturing, second ed. John Wiley & Sons, 1008, NJ, United State.
- Haşimi, A. 2018. Cam Elyaf Takviyeli Plastik (CETP) Kompozitlerin Delinmesinde İşleme Kalitesi Üzerine Soğutma Şartlarının Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 65.
- Helmy, M.O., El-Hofy, M. H., El-Hofy, H. 2018. Effect of cutting fluid delivery method on ultrasonic assisted edge trimming of multidirectional CFRP composites at different machining conditions. *Procedia CIRP*, 68 (2018): 450-455.
- Hocheng, H., Puw, H.Y., Huang, Y. 1993. Preliminary study on milling of unidirectional carbon fibre-reinforced plastics. *Composites Manufacturing*, 4 (2): 103–108.
- Hocheng, H. 2012. Machining technology for composite materials : principles and practice. Woodhead Pub, 461, Cambridge, UK; Philadelphia, PA.
- Hong, S.Y., Ding Y. 2001. Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V. *Int J Mach Tools Manuf*, 41 (10): 1417–1437.
- Hsien, W.L.Y. 2015. Towards Green Lubrication in Machining. Springer, 53, Singapore.

- Ishai, O., Daniel, I.M. 2006. Engineering Mechanics Of Composite Materials. Oxford University Press, 463, New York.
- Iskandar, Y., Tendolkar, A., Attia, M.H., Hendrick, P. 2014. Flow visualization and characterization for optimized MQL machining of composites. *CIRP Ann.*, 63 (1): 77–80.
- Janardhan, P., Sheikh-Ahmad, J., Cheraghi, H. 2006. Edge trimming of CFRP with diamond interlocking tools. In: Aerospace manufacturing and automated fastening conference and exhibition.
- Jones, M. J. 1987. Mechanics of Composite Materials. Scripta Book Company, Washington D.C., McGraw-Hill Book Company, 270, New York.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R. 2010. Manufacturing Engineering and Technology, sixth ed. Prentice Hall, 1163, California, United States of America.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R. 2010. Manufacturing Engineering and Technology, sixth ed. Prentice Hall, 1244, California, United States of America.
- Kim, S.W., Lee, D.W., Kang, M.C., Kim, J.S. 2001. Evaluation of machinability by cutting environments in high-speed milling of difficult-to-cut materials. *J Mater Process Technol*, 111 (1-3): 256–260.
- Kim, J. W., Nam, J. , Lee, S. W. 2019. Experimental study on micro-drilling of unidirectional carbon fiber reinforced plastic (UD-CFRP) composite using nano-solid lubrication. *Journal of Manufacturing Processes*, 43(B): 46-53.
- Klocke, F., Eisenblätter, G. 1997. Dry cutting. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46 (2): 519-526.
- Klocke, F., Kuchle, A. 2011. Manufacturing Processes 1: Cutting. Springer, 467, Heidelberg, Berlin.
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakop, N., Trada, M. 2011. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites: Part B*, 42 (4): 856-873.
- Lalwani, D.I., Mehta, N.K. and Jain, P.K. 2008. Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel. *J. Mater. Process. Technol.*, 206 (1): 167–179
- Lawal, S., Choudhury, I., Nukman, Y. 2012. Application of vegetable oil-based metal working fluids in machining ferrous metals- A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 52 (1) : 1-12.
- Li, Z., Wang, X. and Zhao, B. 2012. An experiment study on milling forces in the ultrasonic milling of CFRP. *Advanced Materials Research*, 472-475 (2012): 1028-1031.
- Li, M., Yu, T., Li, H., Yang, L., Shi, J., Wang, W. 2019. Research on surface integrity in graphene nanofluid MQL milling of TC21 alloy. *Int. J. Abrasive Technology*, 9 (1): 49-59.
- Liao, Y.S., Lin, H.M. 2007. Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel. *Int J Mach Tools Manuf*, 47 (11): 1660–1666.
- Liao, Y.S., Lin, H.M., Chen, Y.C. 2007. Feasibility study of the minimum quantity lubrication in high-speed end milling of NAK80 hardened steel by coated carbide tool. *Int J Mach Tools Manuf*, 47 (11): 1667–1676.
- Liew, W.Y.H., Ding, X. 2008. Wear progression of carbide tool in low-speed end milling of stainless steel. *Wear*, 265 (1-2): 155–166.

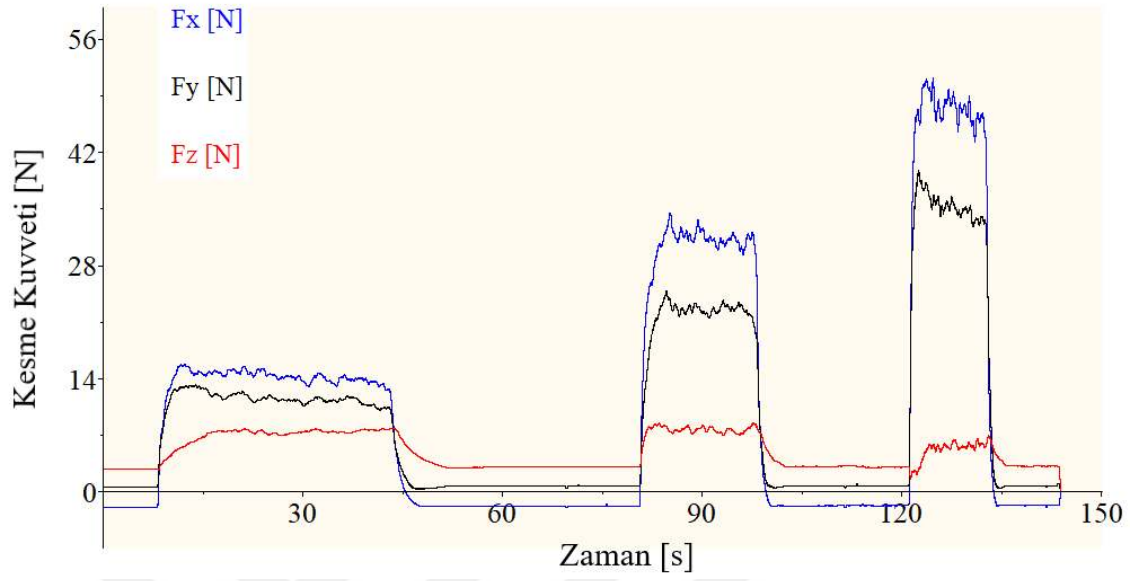
- Marques, A.T., Duraõ, L.M., Magalhaes, A.G., Silva, J.F., Tavares, J.M.R.S. 2009. Delamination analysis of carbon fibre reinforced laminates: Evaluation of a special step drill. *Composites Science and Technology*, 69 (14): 2376–2382.
- Meshreki, M., Damir, A., Sadek, A., Attia, M. 2016. Investigation of drilling of CFRP-aluminum stacks under different cooling modes. In: ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, USA, p. V002T02A11-VT02A11.
- Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi, (MEB), 2007. Tekstil yüzeyleri.http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Tekstil%20Lifler.pdf, 18.10.2020.
- Nguyen-Dinh, N., Hejjaji, A., Zitoune, R.,Bouvet, C. and Crouzeix, L. 2018. Futuristic Composites. Springer 2018, 344, Toulouse, France.
- Okokpujie Imhade, P. , Ugochukwu Okonkwo, C., Jude Sinebe, C. E. and Chinedu Ezugwu, A.K. 2015. Comparative analysis of aluminium surface roughness in end-milling under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions. Department of Mechanical Engineering, Nnamdi Azikiwe and Landmark University, Nigeria.
- Oliveira, D.J., Guermendi, L.G., Bianchi, E.C., Diniz, A.E., Aguiar, P.R., Canarim, R.C. 2012. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air Wheel cleaning. *Journal of Materials Processing Technology*, 212 (12): 2559-2568.
- Park, K.H., Olortegui-Yume, J.,Yoon, M.C.I, Kwon, P. 2010. A study on droplets and their distribution for minimum quantity lubrication (MQL). *International Journal of Machine Tools and manufacture*, 50 (9): 824-833.
- Park, K.H., Ewald, B. and Kwon, P.Y. 2011. Effect of nano-enhanced lubricant in minimum quantity lubrication balling milling. *Journal of Tribology*, 133 (3): 1-8.
- Pereira, O., Rodríguez, A. Urbikaín, G., Fernandez, A. , Calleja, A. 2014. Tecnologías emergentes en fabricación, *IMHE*, 410 (2014): 22-28.
- Pereira, O., Català, P., Rodríguez, A., Ostra, T. , Vivancos, A., , Rivero, J., López de-Lacalle, L. N.2015. The use of hybrid CO2+MQL in machining operations. *Procedia Engineering*, 132 (2015): 492 – 499.
- Puw, H.Y., Hocheng, H. 1993. Machinability test of carbon fiber reinforced plastics in milling. *Materials and Manufacturing Processes*, 8 (6): 717-729.
- Rahman M., Kumar, A.S., Choudhury, M.R. 2000. Identification of effective zones for high pressure coolant in milling. *CIRP Annals-Manufact Technol*, 49(1):47–52.
- Rahman, M., Kumar, A.S., Salam, M.U. 2002. Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling. *Int J Mach Tools Manuf.*, 42 (5): 539–547.
- Rahman, M. Kumar, A.S. and Ling, M.S. 2003. Effect of chilled air on machining performance in end milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21 (10-11): 787– 795.
- Rana, S., Figueiro, R. 2016. Advanced composite materials for aerospace engineering. Woodhead Publishing, 457, USA.
- Sakuma, K., Seto, M. 1981. Tool wear in cutting glass-fiber-reinforced-plastics (The relation between cutting temperature and tool wear). *Bulletin of JSME*, 24 (190): 748-755.
- Salete, M.A., Oliveira, J.F.G.D. 2008. Vegetable based cutting fluid-an environmental alternative to grinding process. In: 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Sydney, N.S.W, 664-668.

- Schey, J.A. 2000. Introduction to Manufacturing Processes, third ed. McGraw-Hill, 984, Singapore.
- Schwarz, M., Dado, M., Hnilica, R., Veverková, D. 2015. Environmental and Health Aspects of Metalworking Fluid Use. *Pol. J. Environ. Stud.*, 24(1): 37–45.
- Senthilkumar, M., Prabukarthi, A., Krishnaraj, V. 2018. Machining of CFRP/Ti6Al4V stacks under minimal quantity lubricating condition. *J Mech Sci Technol*, 32 (8): 3787-3796.
- Sharma, V.S., Manu,D., Suri, N.M. 2009. Cooling techniques for improved productivity in turning. *Int. J. Mach. Tool. Manu.*, 49 (6): 435-453.
- Sheikh-Ahmad, J.Y. 2009. Machining of Polymer Composites. Springer Science & Business Media, 315, Abu Dabi.
- Shokrani, A., Dhokia, V., Newman, S.T. 2012. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. *International Journal of machine Tools and Manufacture*, 57 (2012) : 83-101.
- Smith, G. T. 2008. Cutting tool technology: industrial handbook. Springer Science & Business Media, 548, U.K.
- Sreejith, P.S., Ngoi, B.K.A. 2000. Dry machining: Machining of the future. *Journal of Materials Processing Technology*, 101 (1-3): 287–291.
- Sreejith, P.S. 2008. Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions. *Mater. Lett.*, 62 (2): 276–278.
- Su, Y., He, N., Li, L., Iqbal, A., Xiao, M.H., Xu, S., Qiu, B.G. 2007. Refrigerated cooling air cutting of difficult-to-cut materials. *Int J Mach Tools Manuf*, 47 (6): 927–933.
- Suresh, R., Basavarajappa, S., Samuel, G.L., Gaitonde, V. 2012. Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 33 (2012): 75-86.
- Takmaz, A., Erkan, Ö., Yücel, E. 2016. Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit Malzemenin Kenar Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2): 567-573.
- Thepsonthi, T., Hamdi, M., Mitsui, K. 2009. Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills. *Int. J. Mach. Tool Manu.*, 49 (2): 156-162.
- Tschätsch, H., Reichelt, A. 2009. Cutting Fluids (Coolants and Lubricants). In: Applied Machining Technology. Springer, 372, Heidelberg, Berlin.
- Tschätsch, H. 2010. Applied machining technology. Springer Science & Business Media, 372, New York.
- Turki, Y., Habak, M., Velasco, R., Aboura, Z., Khellil, K., Vantomme, P. 2014. Experimental investigation of drilling damage and stitching effects on the mechanical behavior of carbon/epoxy composites. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 87 (2014): 61-72.
- Ucar, M., Wang, Y. 2005. End-milling machinability of a carbon fiber reinforced laminated composite. *Journal of Advanced Materials*, 37 (4): 46–52.
- Weinert, K. , Inasaki, I. , Sutherland, J., Wakabayashi, T. 2004. Dry machining and minimum quantity lubrication. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 53 (2): 511-537.

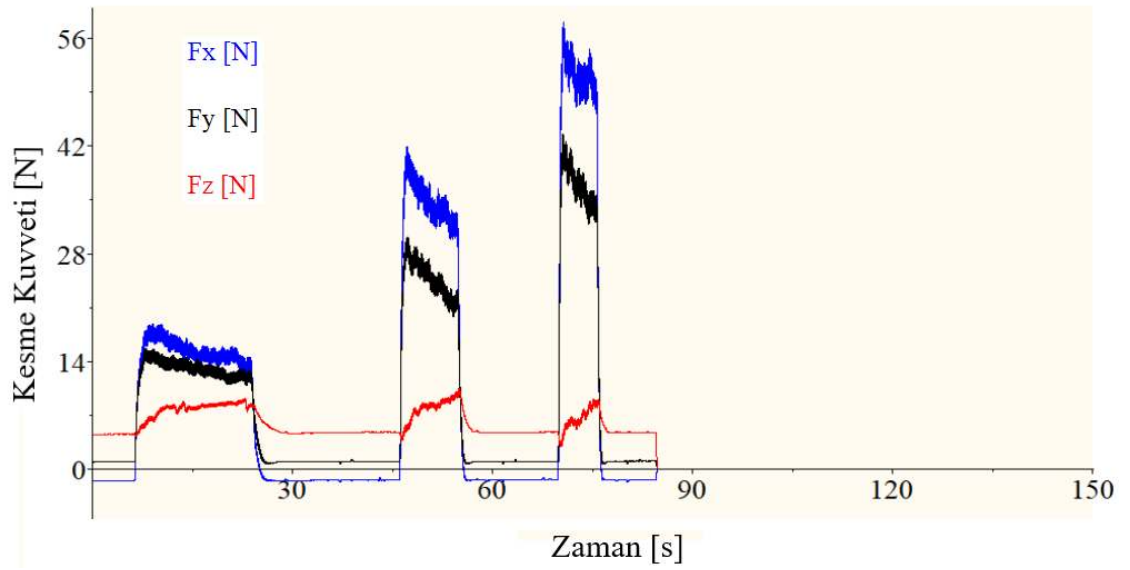
- Wang, W., Kweon, S.H., Yang, S.H. 2005. A study on roughness of the micro-end-milled surface produced by a miniaturized machine tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 162 (163): 702-708.
- Wang, H., Sun, J., Li, J., Lu, L., Li, N. 2016. Evaluation of cutting force and cutting temperature in milling carbon fiber-reinforced polymer composites. *Int J Adv Manuf Technol*, 82 (9-12): 1517-1525.
- Xu, J., Ji, M., Davim, J.P., Chen, M., El Mansori, M., Krishnaraj, V. 2020. Comparative study of minimum quantity lubrication and dry drilling of CFRP/titanium stacks using TiAlN and diamond coated drills. *Composite Structures*, 234 (2020): 11-28.
- Yıldız, Y., Nalbant, M. 2008. A review of cryogenic cooling in machining processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48 (9): 947–964.
- Yuan, S.M., Yan, L.T., Liu, W.D., Liu, Q. 2011. Effects of cooling air temperature on cryogenic machining of Ti-6Al-4V alloy. *J. Mater. Process Tech.*, 211(3):356-362.
- Zhang, S., Li, J.F., Wang, Y.W. 2012. Tool life and cutting forces in end milling inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *J. Clean. Prod.*, 32 (2012): 81-87.
- Zitoune, R., Krishnaraj, V., Almabouacif, B.S., Collombet, F., Sima, M., Jolin, A. 2012. Influence of machining parameters and new nano-coated tool on drilling performance of CFRP/Aluminium sandwich. *Composites: Part B* 43 (3): 1480–1488.

EKLER

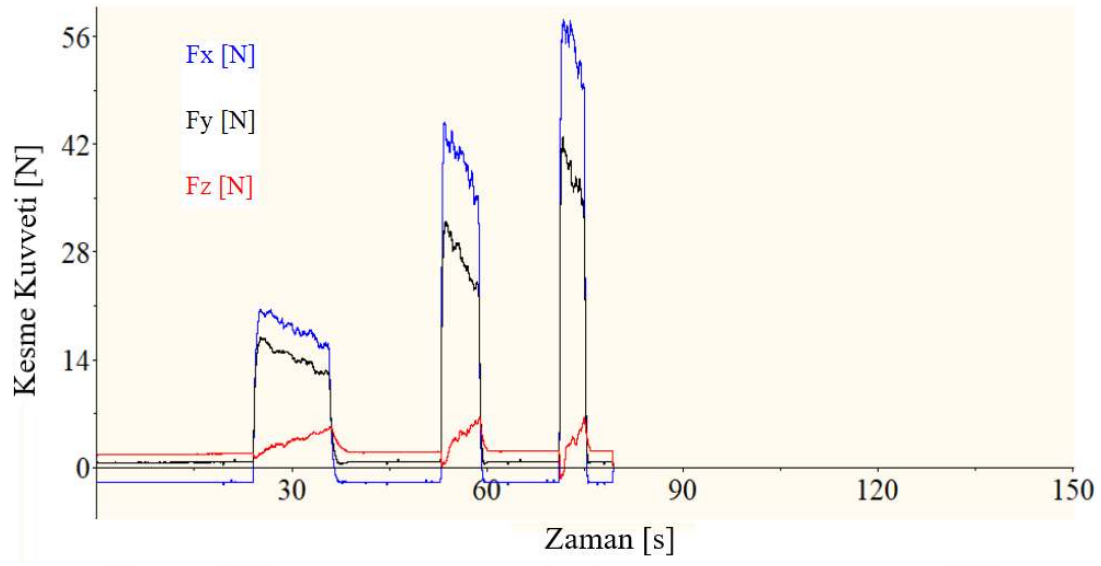
Ek-1



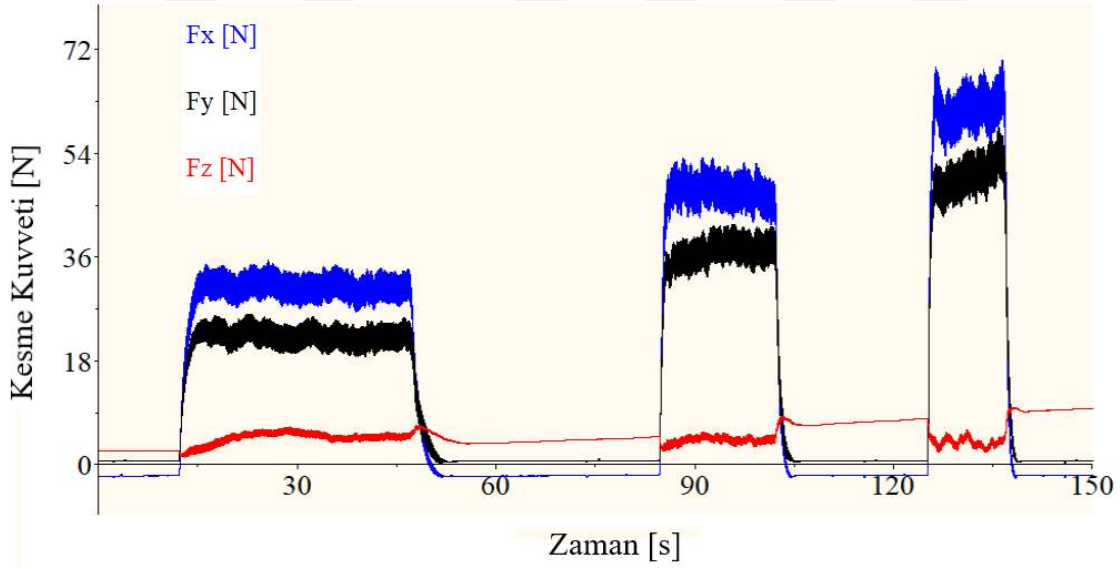
Şekil 1. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (Kuru Frezeleme, Deney no:1, 2 ve 3)



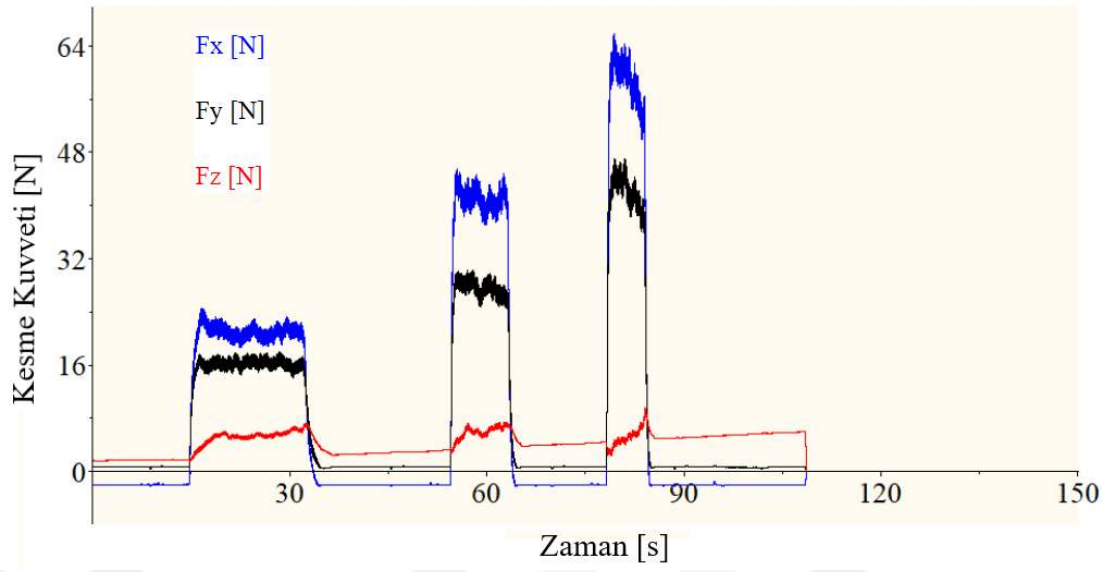
Şekil 2. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (Kuru Frezeleme, Deney no:4, 5 ve 6)



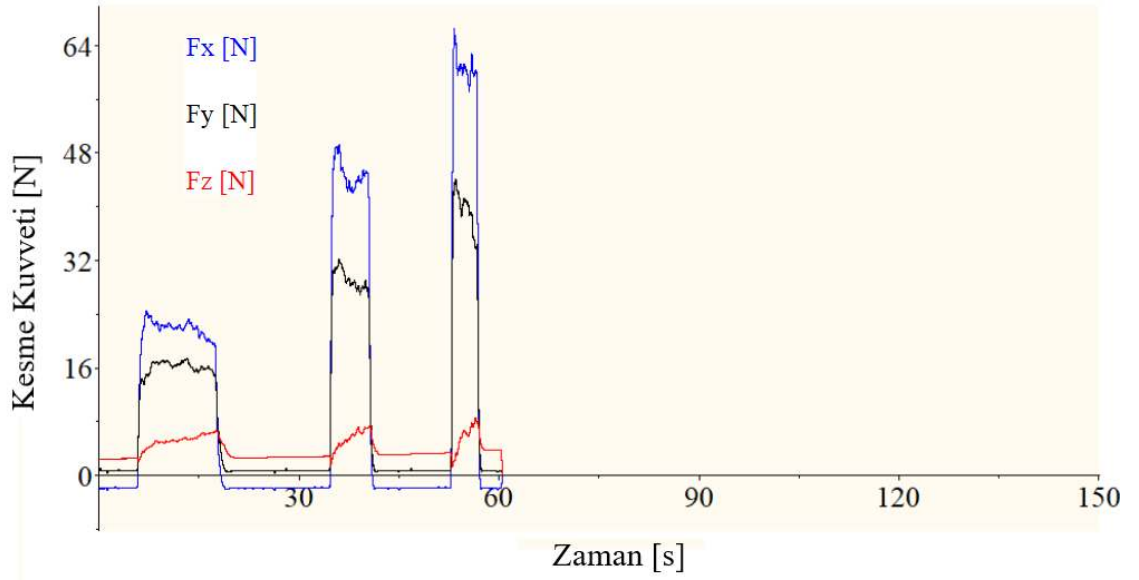
Şekil 3. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (Kuru Frezeleme, Deney no:7, 8 ve 9)



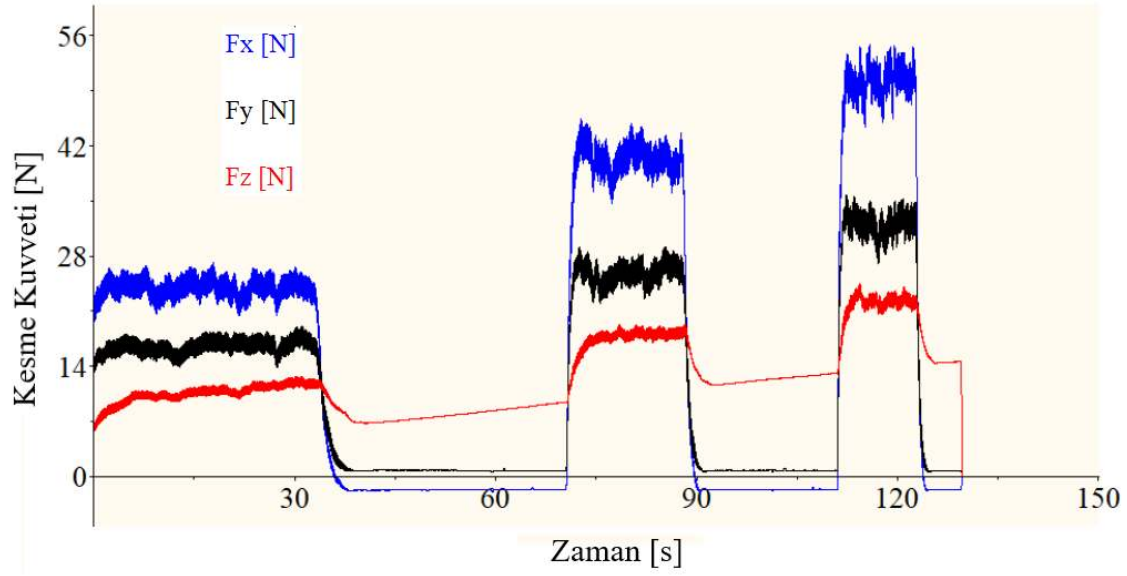
Şekil 4. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS, Deney no:10, 11 ve 12)



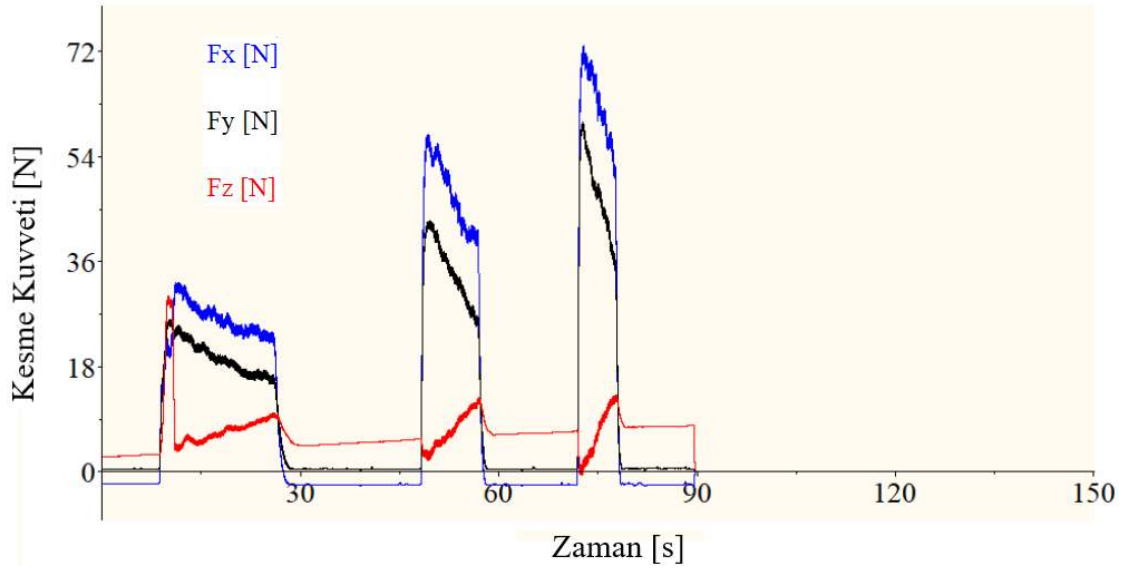
Şekil 5. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS, Deney no:13, 14 ve 15)



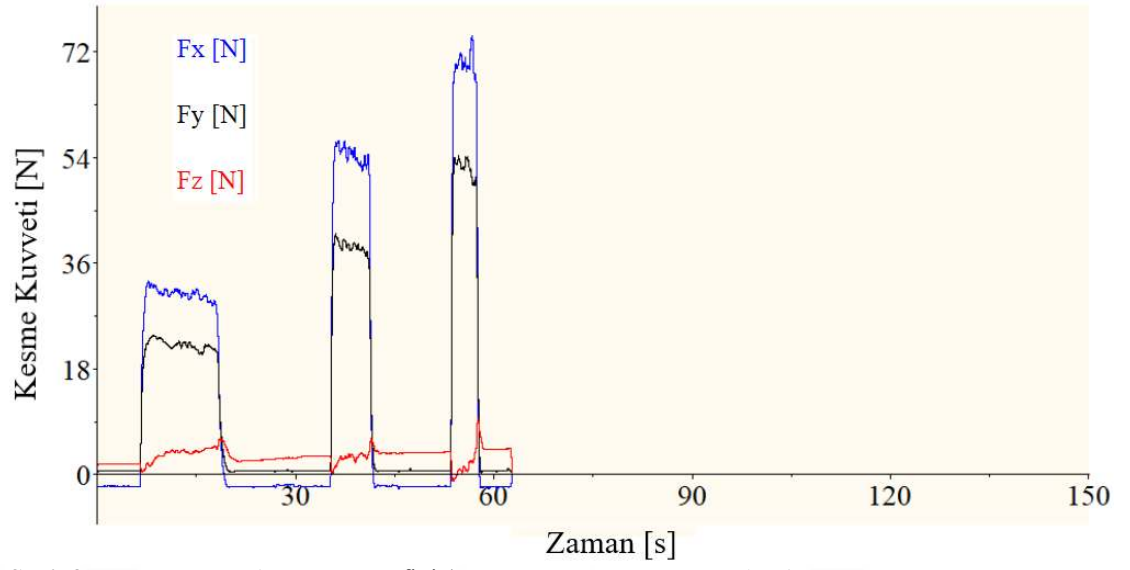
Şekil 6. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS, Deney no:16, 17 ve 18)



Şekil 7. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS-Gr, Deney no:19, 20 ve 21)



Şekil 8. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS-Gr, Deney no:22, 23 ve 24)



Şekil 9. Kesme Kuvveti- Zaman Grafiği (MMY-KS-Gr, Deney no:25, 26 ve 27)

