

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**UZUN NAMLULU TAKTİK SAVUNMA SİLAHLARININ METAL EL
KUNDAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN İKAME ÜRETİMİ İÇİN
TALAŞLI İŞLEME KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU**

İbrahim YILDIRIM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**UZUN NAMLULU TAKTİK SAVUNMA SİLAHLARININ METAL EL
KUNDAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN İKAME ÜRETİMİ İÇİN
TALAŞLI İŞLEME KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU**

İbrahim YILDIRIM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

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

**UZUN NAMLULU TAKTİK SAVUNMA SİLAHLARININ METAL EL
KUNDAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN İKAME ÜRETİMİ İÇİN
TALAŞLI İŞLEME KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU**

**İbrahim YILDIRIM
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZİRAN 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZUN NAMLULU TAKTİK SAVUNMA SİLAHLARININ METAL EL
KUNDAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN İKAME ÜRETİMİ İÇİN
TALAŞLI İŞLEME KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

İbrahim YILDIRIM
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 22/07/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Eyüp Sabri TOPAL (Danışman)

Prof.Dr.Volkan KOVAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HAMAMCI



ÖZET

UZUN NAMLULU TAKTİK SAVUNMA SİLAHLARININ METAL EL KUNDAĞININ KOMPOZİT MALZEMEDEN İKAME ÜRETİMİ İÇİN TALAŞLI İŞLEME KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

İbrahim YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Eyüp Sabri TOPAL

Haziran 2019; 59 sayfa

Uzun namlulu piyade tüfekleri bir askerin operasyonel sahada en aktif kullandığı ekipmandır. Taşıma kolaylığı açısından hafif olması istenen bir ekipmandır. El kundakları da silahın ağırlık olarak önemli bir parçasıdır. Bu parçanın metal malzeme yerine elyaf takviyeli kompozit malzemeden üretilmesi parça ağırlığının ciddi biçimde azalmasını, ayrıca namlu etrafında oluşan ısının metal malzemeye göre kullanıcıya daha az iletimini sağlayacaktır.

Çalışmada genel kullanıma uygun geometrilik bir el kundağı modeli tasarlanmış, bu tasarıma göre kompozit malzeme üretim yöntemlerinden faydalanılarak yarı mamul malzeme üretilmiştir. Ayrıca işleme koşullarının optimizasyonunu yapmak amacı ile numune plakalar hazırlanarak karbon ve cam elyaf takviyeli malzemelerin frezelenmesi ile ilgili deneysel planlama yapılmıştır.

Optimizasyon işleminde varyans analizi yöntemi kullanılmış deney parametreleri olarak iş mili devir sayısı ve ilerleme değeri nihai hedef olan ürünün yüzey pürüzlülüğü açısından optimize edilmiştir. Deneysel çalışmada kompozit malzeme işleme için geliştirilmiş 6mm çapında iki ağızlı 15° helis açılı Titanyum Nitrür (TiN) kaplamalı karbür parmak freze kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak farklı devir sayısı ve ilerleme değerleri belirlenmiştir. Bu değerlere göre numunelere tek pasoda alın ve yanal frezeleme işlemi uygulanmıştır. İşlenen yüzeyler yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler istatistiksel yöntemler ile değerlendirilerek optimize edilmiş optimizasyon için varyans analizi metodu kullanılmış, alın ve yanal işleme için optimum devir sayısı ve ilerleme değerleri belirlenmiştir.

Optimizasyon sonuçlarına göre en uygun işleme koşulları karbon fiber takviyeli ve cam fiber takviyeli kompozitler için yüksek devir ve düşük ilerleme olarak belirlenmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü sonucunun karbon elyaf takviyeli kompozit malzemede $s=12000$ dev/dak devir ve $f=100$ mm/dak ilerleme değeri, cam elyaf takviyeli malzemede $s=9500$ dev/dak devir ve $f=500$ mm/dak ilerleme değeri ile elde edildiği gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Piyade tüfeği el kundağı, Elyaf takviyeli kompozit, yüzey pürüzlülüğü, karbon takviyeli kompozit işleme.

JÜRİ: Prof. Dr. Eyüp Sabri TOPAL

Prof. Dr. Volkan KOVAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa HAMAMCI

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF MACHINING CONDITIONS LONG-BARRELED TACTICAL DEFENSE WEAPONS METAL HANDGUARD FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS

Ibrahim YILDIRIM

MSc Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Eyup Sabri TOPAL

June 2019; 59 pages

Long-barreled infantry rifles are the most active operational equipment of a soldier in the operational field. It is a lightweight equipment for ease of transportation. Handguards are also an important part of the weapon weight. The production of this part from the fiber-reinforced composite material instead of the metal material will significantly reduce the weight of the component, and will also allow the user to transmit less heat around the barrel than the metal material.

In this study, a handguard model with suitable geometry for general use is designed and semi-finished material is produced by using composite material production methods according to this design. In addition, in order to optimize the machining conditions, sample plates were prepared and experimental planning was done for milling carbon and glass fiber reinforced materials.

In the optimization process, analysis of variance are used, speed and feed are determined as input parameters. The output parameter was determined as surface roughness. In the experimental study, 15° helix TiN coated carbide end mills with two rims of 6 mm diameter were used for composite material machining. Different speed and feed are determined as cutting parameters. According to these values, samples were taken to a single pass face and lateral milling was performed. The treated surfaces were measured by surface roughness measurement device. The obtained data was optimized by statistical methods and the optimum speed and progress values were determined for face and lateral milling.

According to the optimization results, the most suitable machining conditions for carbon fiber reinforced and glass fiber reinforced composites are high speed and low feed. The best results for carbon reinforced composites were obtained with $s = 12000$ rpm and $f = 100$ mm / min, for glass reinforced composites were obtained with $s = 9500$ rpm and $f = 500$ mm / min.

KEYWORDS: Infantry Rifle Handguard, Fiber Reinforced Composite, Surface Roughness, Carbon Reinforced Composite Machining.

COMMITTEE: Prof. Dr. Eyup Sabri TOPAL

Prof. Dr.Volkan KOVAN

Asst. Prof. Dr. Mustafa HAMAMCI

ÖNSÖZ

Savunma sanayi sektörü ülkemizde uzun yıllar atıl kalmış, ülkemizin son yıllarda yaptığı kalkınma atağı ile birlikte hızla gelişme göstermiş savunma sanayi alanında ciddi atılımlar yapılmıştır. Ülkemiz günümüzde kendi insansız hava aracını ve piyade tüfeğini üretir hale gelmiştir. Savunma sanayi ülkemizde geleceğin en aktif ve başarılı sektörü olmaya adaydır.

Piyade tüfekleri savunma sanayi sektöründe çok önemli bir kara savunma unsurudur. Ülkeler kendi ordularının kullandığı bu tip uzun namlulu taktik savunma tüfeklerinde ne denli üstünlük elde ederse sahada düşman kara unsurlarına karşı o oranda avantaj sağlamaktadır. Uzun namlulu taktik savunma tüfeklerinde en önemli özelliklerden biri hafifliktir. Silahın hafif olması onu taşıyan personele harcadığı enerji yönünden ciddi avantaj sağlamaktadır.

Bu tip silahların en ağır parçalarında biri de halen yaygın olarak metal alaşımlarından üretilen el kundaklarıdır. Bu el kundaklarının metal alaşımlı malzeme yerine kompozit malzemeden üretilmesi bu tür silahların hafifletilmesi konusuna çok önemli bir katkı sağlayacaktır. Bir askeri donanımda özellikle de bir silahta sağlanacak 100 gr kadar bir hafifletme bile onu taşıyan personele uzun mesafeli intikal ve mevzilenme konusunda büyük bir üstünlük sağlayacaktır.

Ülkemizde kompozit malzemeler, işlenmesi ve savunma sektöründe etkin kullanılması konusunda henüz yeterli seviyeye gelinememiştir. Yapılan bu tez çalışması ile bu konuda ülke literatürüne ve sanayisine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması sırasında çalışmalarım boyunca kıymetli yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof.Dr. Eyüp Sabri TOPAL'a, Prof.Dr. Volkan KOVAN'a, Arş.Gör. Tuğçe TEZEL'e işleme kalıplama ve CNC tezgah desteği aldığım UTAŞ Savunma A.Ş. Ailesine, tüm hayatım boyunca hayır dualarını benden esirgemeyen annem Meral YILDIRIM'a isteği arzusu ve vasiyeti ile akademik hayata yönelmemi sağlayan elim bir kanser hastalığı neticesinde darı bekaya irtihal eden kıymetli ve muhterem ağabeyim merhum Abdurrahman YILDIRIM'a tez çalışmam boyunca onlarla geçirmem gereken kıymetli vakitlerden çaldığım hayat arkadaşım Fatma YILDIRIM'a, sultanlar sultanı kızım Elif Sare YILDIRIM'a aslan parçası oğlum Abdurrahman Taha YILDIRIM'a teşekkür ve minneti bir borç bilirim.

“Minareler süngü, kubbeler miğfer,

Camiler kışlamız, müminler asker,

Bu ilahi ordu dinimi bekler,

Allah-u Ekber Allah-u Ekber.”

Eşref Ziya.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Uzun Namlulu Tüfekler.....	3
2.1.1. Uzun namlulu tüfekler hakkında genel bilgi	3
2.1.2. El kundağı tipleri	3
2.2. Kompozit malzemeler	4
2.2.1.Elyaf (Fiber) takviyeli kompozit malzemeler.....	4
2.2.1.1 Karbon elyaf.....	6
2.2.1.2 Cam elyaf	6
2.3. Frezeleme, İşlenebilirlik ve Yüzey Pürüzlülüğü	7
2.3.1. Frezeleme.....	7
2.3.1.1. Frezelemede oluşan kesme kuvvetleri	9
2.3.2 İşlenebilirlik.....	10
2.3.2.1.Elyaf takviyeli kompozitlerin (ETK) işlenebilirliği	11
2.3.3 İşleme Kalitesi ve Yüzey pürüzlülüğü.....	13
2.3.3.1 Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler.....	14
2.3.3.2 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodları	15
2.4. Literatür İncelemesi.....	16
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Tasarım.....	20
3.2. Malzeme	20
3.3. Kesici Takım	23
3.4. Deney Parametreleri	24
3.5. Donanım	25

3.5.1. CNC tezgah.....	25
3.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	26
4. BULGULAR.....	27
4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri.....	27
4.1.1 Karbon elyaf takviyeli kompozit numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	27
4.1.1.1 Bir numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	27
4.1.1.2 İki numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	28
4.1.1.3 Üç numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	29
4.1.1.4 Dört numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	30
4.1.1.5 Beş numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	31
4.1.1.6 Altı numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	33
4.1.1.7 Yedi numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	34
4.1.2 Cam elyaf takviyeli kompozit numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	35
4.1.2.1 Bir numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	35
4.1.2.2 İki numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	36
4.1.2.3 Üç numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	37
4.1.2.4 Dört numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	38
4.1.2.5 Beş numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	39
4.1.2.6 Altı numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri.....	41
4.1.2.7 Yedi numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri	42
4.1.3 İstatistiksel Analiz	43
4.1.3.1 Karbon elyaf takviyeli alın frezeleme numune analizi	43
4.1.3.2 Karbon elyaf takviyeli yanal frezeleme numune analizi.....	45
4.1.3.3 Cam elyaf takviyeli alın frezeleme numune analizi.....	46
4.1.3.4 Cam elyaf takviyeli yanal frezeleme numune analizi	48
5. TARTIŞMA	50
6. SONUÇLAR	54
7. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Uzun Namlulu Taktik Savunma Silahlarının Metal El Kundağının Kompozit Malzemeden İkame Üretimi İçin Talaşlı İşleme Koşullarının Optimizasyonu” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

Tarih 22/07/2019

İbrahim YILDIRIM

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

z	İlerleme kuvvet faktörü
F_{cz}	Frezelemede tek kesici ağıza karşılık gelen ortalama kesme kuvveti (N)
F_{zz}	Frezelemede tek kesici ağıza karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti (N)
F_{rz}	Frezelemede tek kesici ağıza karşılık gelen ortalama radyal kuvvet (N)
F_{fz}	Frezelemede tek kesici ağıza karşılık gelen ortalama ilerleme kuvveti (N)
z_e	Frezelemede aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı
F_a	Eksenel kuvvet (N)
b	Kesme genişliği (mm)
h_m	Ortalama talaş kalınlığı (mm)
k_s	Özgül kesme kuvveti (N)
F_n	Normal kuvvet (N)
k_v	Kesme hızı faktörü
k_γ	Talaş açısı faktörü
k_u	Takım aşınma faktörü
k_o	Takım malzemesi faktörü
F_c	Frezelemede kesme kuvveti (N)
F_r	Frezelemede radyal kuvvet (N)
F_t	Frezelemede teğetsel kuvvet (N)
α	Arka talaş açısı ($^\circ$)
v	Kesme hızı (m/dak)
v_c	Talaş kayma hızı (m/dak)
Φ	Kayma açısı ($^\circ$)
γ	Talaş açısı ($^\circ$)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
f	İlerleme hızı (mm/dak,)
f_z	İlerleme hızı (mm/diş)
s	Kesme hızı (dev/dak)
λ	Kesme Açısı ($^\circ$)
A_s	Talaş Kesiti

Kısaltmalar

B ₄ C	Bor Karbür
C	Karbon
CFRP Kompozit)	Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
PAN	Polyakrilonitril
PCD	Poly Crystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)
TiN	Titanyum Nitrür
TS	Türk Standartları
WC	Tungsten Karbür
ETK	Elyaf Takviyeli Kompozit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Standart uzun namlulu bir tüfek ve aksamı	3
Şekil 2.2. Farklı el kundağı tipleri	4
Şekil 2.3. Doğrusal yönlü elyafların farklı şekillerde takviye edilmesi.....	5
Şekil 2.4. a) Karbon elyaf takviyeli malzeme b) Başlıca elyaf dokuma türleri c) 8mm freze takımı ile frezeleme işlemi uygulanmış karbon ETK malzeme.	6
Şekil 2.5. Hasır biçiminde örülmüş cam elyaf tabakası.....	7
Şekil 2.6. (a) Çevresel frezeleme (b) Alın frezeleme	8
Şekil 2.7. (a) Eş yönlü frezeleme (b) Zıt yönlü frezeleme	8
Şekil 2.8. Alın frezelemede oluşan kuvvetler	10
Şekil 2.9. ETK malzemelerin keskin kenarla işlenmesindeki kesme mekanizmaları. Çok yönlü deformasyonu	13
Şekil 2.10. Yüzey profiline etki eden unsurlar.....	14
Şekil 2.11. İzleyici uç yöntemi	15
Şekil 3.1. Üç boyutlu el kundağı modeli ve ekipman bağlama kanalı.....	20
Şekil 3.2. Karbon elyaf kumaş örnekleri	20
Şekil 3.3. Kalıpların imalattan önce birleştirilmiş hali	21
Şekil 3.4. Üzeri vakum filmi kaplanıp kurumaya bırakılan kalıp.....	21
Şekil 3.5. İlk kat epoksi uygulama işlemi	21
Şekil 3.6. Kalıplara karbon elyaf ve ayırıcı yerleşim işlemi.....	22
Şekil 3.7. Vakum uygulama işlemi	22
Şekil 3.8. Yarı mamül karbon elyaf el kundağı	22
Şekil 3.9. Kesici Takım.....	23
Şekil 3.10. Frezeleme işleminde kullanılan tutucu(a) ve pens(b) sistemi.....	23
Şekil 3.11. CNC işleme merkezi ve bağlama sistemi	25
Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı(a), kontrol mastarı(b)	26
Şekil 3.13. Numune-dedektör yerleşimi ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	26
Şekil 4.1. Bir Numaralı karbon elyaf numune	28

Şekil 4.2. Bir numaralı karbon elyaf takviyeli numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişim..	28
Şekil 4.3. İki Numaralı karbon elyaf numune.....	29
Şekil 4. 4. İki numaralı karbon elyak takviyeli numunenin 8500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişim..	29
Şekil 4.5. Üç numaralı karbon elyaf numune	30
Şekil 4.6. Üç numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 900mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi.....	30
Şekil 4.7. Dört numaralı karbon elyaf numune.....	31
Şekil 4.8. Dört numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 700mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi.....	31
Şekil 4.9. Beş numaralı karbon elyaf numune	32
Şekil 4. 10. Beş numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük ilerleme hızına bağlı değişimi	32
Şekil 4. 11. Beş numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek ilerleme hızına bağlı değişimi	33
Şekil 4.12. Altı numaralı karbon elyaf numune.....	33
Şekil 4.13. Altı numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi.....	34
Şekil 4.14. Yedi numaralı karbon elyaf numune	34
Şekil 4.15. Yedi numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 900 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi	35
Şekil 4.16. Bir numaralı cam elyaf numune	35
Şekil 4.17. Bir numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi	36
Şekil 4.18. İki numaralı cam elyaf numune	37

Şekil 4.19. İki numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 8500 dev/dak iş mili hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi	37
Şekil 4.20. Üç numaralı cam elyaf numune	38
Şekil 4.21. Üç numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 900 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin iş mili hızına bağlı değişimi	38
Şekil 4.22. Dört numaralı cam elyaf numune	39
Şekil 4.23. Dört numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 700 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi	39
Şekil 4.24. Cam elyaf takviyeli beş numaralı numune	40
Şekil 4.25. Beş numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük ilerleme hızına bağlı değişimi	40
Şekil 4.26. Beş numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek ilerleme hızına bağlı değişimi	41
Şekil 4.27. Altı numaralı cam elyaf takviyeli numune	41
Şekil 4.28. Altı numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi	42
Şekil 4.29. Yedi numaralı cam elyaf takviyeli numune	43
Şekil 4.30 Yedi numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 900 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi	43
Şekil 4.31. Karbon eylaf takviyeli alın frezeleme numuneleri kontur analizi.	44
Şekil 4.32. Karbon eylaf takviyeli alın frezeleme numuneleri yanıt analizi.....	45
Şekil 4.33. Karbon eylaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri kontur analizi.....	46
Şekil 4.34. Karbon eylaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri yanıt analizi.	47
Şekil 4.35. Cam eylaf takviyeli alın frezeleme numuneleri kontur analizi.....	48
Şekil 4.36. Cam eylaf takviyeli alın frezeleme numuneleri yanıt analizi	49
Şekil 4.37. Cam eylaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri kontur analizi	50

Şekil 4.38. Cam elyaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri yanıt analizi	51
Şekil 5.1. Karbon elyaf takviyeli bir numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi	52
Şekil 5.2. Cam elyaf takviyeli bir numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi	53
Şekil 5.3. Karbon elyaf takviyeli beş numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi ...	53
Şekil 5.4. Cam elyaf takviyeli beş numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	54
Şekil 5.5. Karbon elyaf takviyeli dört numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi .	54
Şekil 5.6. Cam elyaf takviyeli dört numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kesici takım kesme katalog değerleri.....	23
Çizelge 3.2. Deney numuneleri işleme parametreleri.....	25
Çizelge 4.1. Bir numaralı karbon elyaf numune değerleri.....	27
Çizelge 4.2.İki numaralı karbon elyaf numune değerleri	28
Çizelge 4.3. Üç numaralı karbon elyaf numune değerleri	30
Çizelge 4.4. Dört numaralı karbon elyaf numune değerleri.....	31
Çizelge 4.5. Beş numaralı karbon elyaf numune değerleri.....	32
Çizelge 4.6. Altı numaralı karbon elyaf numune değerleri.....	33
Çizelge 4.7. Yedi numaralı karbon elyaf numune değerleri	34
Çizelge 4.8. Bir numaralı cam elyaf numune değerleri	35
Çizelge 4.9. İki numaralı cam elyaf numune değerleri.....	36
Çizelge 4.10. Üç numaralı cam elyaf numune değerleri.....	37
Çizelge 4.11. Dört numaralı cam elyaf numune değerleri	39
Çizelge 4.12. Beş numaralı cam elyaf numune değerleri	40
Çizelge 4.13. Altı numaralı cam elyaf numune değerleri	41
Çizelge 4.14. Yedi numaralı cam elyaf numune değerleri.....	42

1. GİRİŞ

Malzemeler, kendilerinden kullanılabilir ürünler yapmak amacıyla doğal veya yapay olarak üretilmiş maddelerdir. İnsanlığın başlangıcından bu yana malzemeler insanın yaşam standardını yükseltmek amacıyla kullanılmıştır. Ürünler malzemelerden yapıldığından dolayı malzeme bütün çevremizdedir.

Mühendislik malzemeleri üç ana sınıfa ayrılmıştır: metal malzemeler, polimer malzemeler ve seramik malzemeler. Son yıllarda mühendislikte kaydedilen büyük gelişmeler sonrasında bu üç ana malzeme grubuna dördüncü bir malzeme daha eklenmiştir: kompozit malzemeler.

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin karışımıdır. Kompozit malzemeler, arzu edilen mühendislik özelliklerini elde etmeye uygun güçlendirme malzemeleri ile bağlayıcıdan oluşmaktadır. Mühendislikte kullanılan polimer asıllı iki modern kompozit malzeme türü bulunmaktadır; polyester veya epoksi ana faz içinde güçlendirici cam liflerinden imal edilen kompozitler ve epoksi ana faz içinde güçlendirici karbon liflerinden imal edilen kompozitler.

Kompozitlerin başarılı bir şekilde kullanıldığı sektörlerden biri de savunma sanayidir. Savunma sanayii teknolojileri son yıllarda çok önemli gelişme göstermiştir. Özellikle ülkemizde bu ilerleme ve yarışta büyük bir atak yapılmış ve savunma sanayii konusunda hem elektronik hem de mekanik teknolojiler konusunda ciddi mesafeler alınmıştır. Hızla küreselleşen dünyada ülkeler savunma sanayi konusunda yapılan araştırmalara ciddi kaynaklar ayırmakta, özellikle kolluk kuvvetlerinin kullandığı uzun namlulu silahlar üzerinde ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Ülkemiz de bu doğrultuda kendi milli tüfeğini geliştirmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu grup silahlarda aranan önemli özellikler dayanımın yanında hafifliktir. Malzeme bilimi konusunda gelişen teknolojiler hem hafif hem de dayanıklı malzemelerin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu doğrultuda kompozitler ve özellikle ve epoksi ana faz içinde güçlendirici karbon liflerinden imal edilen kompozitler kendine özgü nitelikleri nedeniyle savunma sanayii Ar-Ge çalışmalarının gündemine girmiş bulunmaktadır.

Uzun namlulu taktik savunma silahlarının ağırlık ve hacim bakımından belirleyici parçalarından biri el kundağıdır. Bu çalışmada halen Alüminyumdan üretilen el kundağının, yarı mamul formda epoksi/karbon kompozit malzemedan talaşlı imalat yöntemi ile üretilmesi amaçlanmaktadır. Alüminyum üründe elde edilen yüzey kalitesi ve görsel ergonomi talaşlı imalat yöntemleri ve CAD/CAM yazılım desteği kullanılarak geliştirilecek kompozit üründe de elde edilecektir Bu suretle Alüminyum kadar dayanıklı fakat daha hafif ve ekonomik bir ürün yapısı oluşturulmaya çalışılacaktır.

Literatür araştırmalarında çeşitli formlarda karbon takviyeli epoksi kompozit malzemelerin ve cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin takım tezgâhları ile işlenmesiyle ilgili çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalar çoğunlukla numune geometrileriyle sınırlı işleme koşullarına ilişkin çalışmalardır. Hem bu tür genel çalışmalar, hem de karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin metal ürünlerin yerine kullanılması yönündeki çalışmalar henüz yeterli seviyeye gelmiş değildir. Savunma sanayine yönelik çalışmaların ise oldukça yetersiz olduğu gözlenmekte olup, silah parçalarının kompozit malzemedan talaşlı imalat ile üretimi ile ilgili çalışmaların yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, günümüz silah endüstrisinde kompozit malzemelerin önemi üzerine bir giriş niteliğindedir. İkinci bölüm, silahlarda kullanılan kompozit parçalar ve epoksi ana faz içinde güçlendirici karbon liflerinden imal edilen kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi, kesme kuvvetleri, talaş oluşum mekanizmaları, takım aşınması ve elde edilen yüzey kalitesi hakkında temel bilgiler ve literatür incelemesini içermektedir. Üçüncü bölümde, hem kompozit numunelerin üretiminin hem de frezeleme işleminin deneysel yöntemlerinden, hangi işlem koşullarında yapıldığından ve deneyler sonrası ölçüm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, deneysel çalışmaların sonuçları, grafikleri, resimleri verilmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün her işleme koşulunda değerlendirilebilmesi için grafikler çizilmiş ve yorumları yapılmıştır. Beşinci bölümde ise deneysel çalışma sonuçlarının genel değerlendirilmesi yapılmış ve bu çalışmada ele alınan kompozit için en uygun işleme değişkenleri belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılacak gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Uzun Namlulu Tüfekler

2.1.1. Uzun namlulu tüfekler hakkında genel bilgi

Uzun namlulu tüfekler tabancaların aksine mermiye daha fazla enerji kazandırmak amacı ile namlu boyu daha uzun olan silahlardır. Şekil 2.1’de standart bir uzun namlulu tüfek ve genel kısımları bulunmaktadır. Bu tip silahların alt-üst gövdesi ve el kundağı alüminyum alaşımdan içerisinde bulunan mekanizma grubu ve namlu, ıslahlı AISI 4140 çeliğinden, dipçik ise enjeksiyon kalıpcılığı yöntemi ile plastik malzemeden yapılmaktadır. Uzun namlulu tüfeklerin namlu boyları 152mm ile 457mm arasında belirli ölçülerde olabilmektedir.

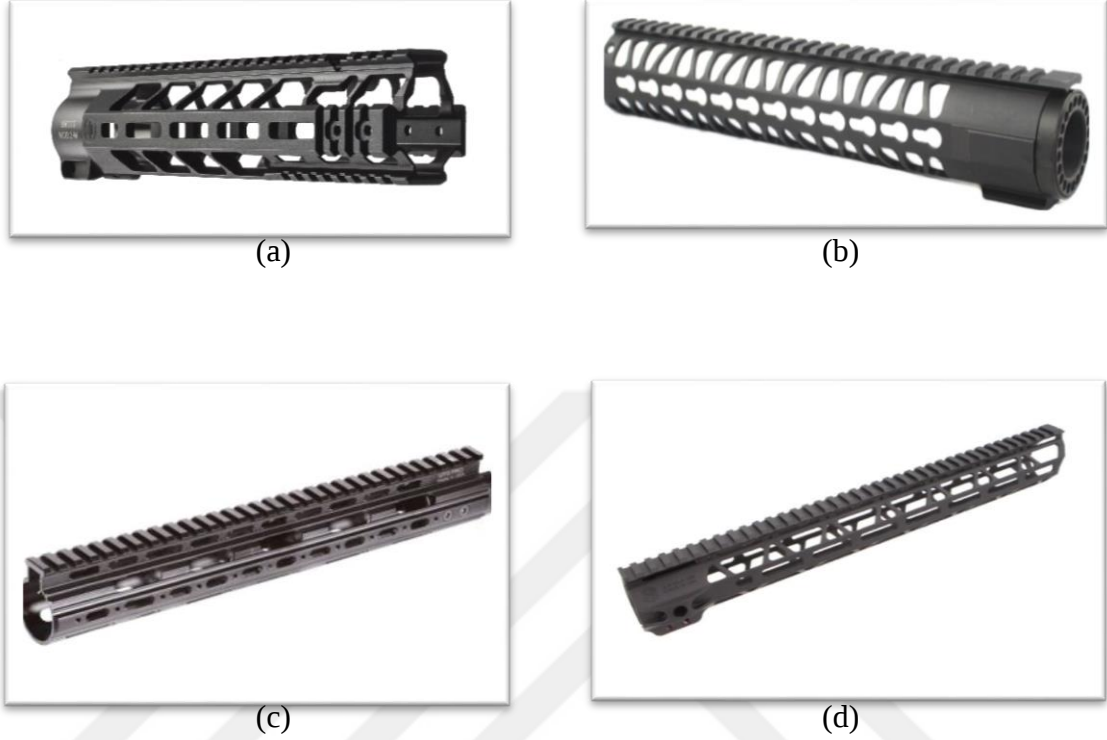


Şekil 2.1. Standart uzun namlulu bir tüfek ve aksamı (UTAŞ XTR-12)

2.1.2. El kundağı tipleri

Uzun namlulu tüfeklerde el kundaklarının görsellik haricinde işlevsel bir özelliği vardır. Atış sırasında tüfeklerdeki namlu sıcaklıkları 350°-400° C'ye kadar ulaşabilmektedir. Kullanıcının tüfeği sabit tutup isabetli atışlar gerçekleştirebilmesi için namlu bölgesinden de tetiği tutmayan eli ile kavrayıp desteklemesi gerekir. El kundakları yüksek sıcaklıktaki namlu bölgesinin etrafında bir koruyucu çeper görevi görür. Kullanıcının elinin yüksek sıcaklıktan korunmasını sağlar. Daha önceden ahşap olarak üretilen el kundakları gelişen teknoloji ve malzeme bilimi sayesinde Alüminyum alaşımlarından imal edilmeye başlanmıştır. Alüminyum her ne kadar hafif bir malzeme olsa da silahlarda en büyük boyutlu parçalardan biri el kundakları olduğu için toplam ağırlıkta ciddi bir orana sahiptir. Alüminyum yerine daha hafif malzemelerin bu bölgede kullanılması silahın hafiflemesine büyük katkıda bulunacaktır. Şekil 2.2

a,b,c,d'de tüfeklerde kullanılan değişik tipteki el kundaklarından bazı örnekler görülmektedir.



Şekil 2.2. Farklı el kundağı tipleri (a) (Anonymous1), (b) (Anonymous2) (c) (Anonymous3) (d) (Anonymous4)

2.2. Kompozit malzemeler

Kompozit malzemeler, bir veya birkaç özelliği elde etmek için birbiri içerisinde çözünmeyen, iki ya da daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir.

Kompozit malzemeler ana(matris) faz ve takviye elemanı olmak üzere iki bölümden oluşur. Genellikle kompozit malzemeler için matris hafif, sünek ve düşük mukavemette, takviye elemanı ise yüksek mukavemet, rijit ve sertliğe sahip olmaktadır. Matris malzemesi olarak metal, polimer ve seramik takviye elemanı olarak cam, karbon, grafit, aramid, ve seramik elyaf partikülleri kullanılmaktadır (Ersoy 2001).

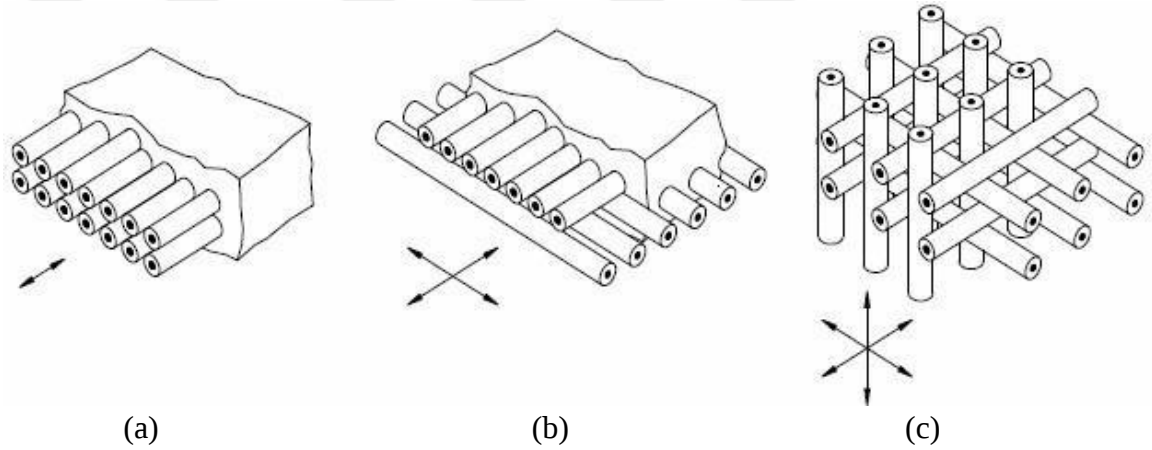
Geleneksel malzemelerin mevcut teknoloji ile bazı gereksinimlere yanıt veremez hale gelmesi ile çok farklı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemelerin üretimi, fiziksel yapıları ve mekanik özellikleri üzerine yapılan araştırmalar artarak devam etmektedir. (Parlak 2006).

2.2.1.Elyaf (Fiber) takviyeli kompozit malzemeler

Uygun basma dayanımına nispetle eğilme, çekme ve darbe dayanımları daha düşük düzeyde kalan malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve malzemenin zayıf

olan yönlerinin güçlendirilmesi amacı ile bunları sağlayabilecek tipte elyaf malzeme ile donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir (Ersoy 2001)(Saçak 2002).

Elyaf takviyeli kompozit malzemenin dayanımını etkileyen en önemli unsurlardan biri de elyafların kompozit malzeme içindeki yerleşim düzenidir. Matris içinde uzun elyafların birbirine paralel şekilde yerleşmesi ile elyaf dizilimi doğrultusunda mukavemet yükselmektedir, elyafların doğrultusuna dik yönde düşük mukavemet sağlanmaktadır. İki yönlü yerleştirilmiş elyaf takviyeler sayesinde her iki doğrultuda da eşit mukavemet, matris yapısında eşit dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Kompozit malzemenin farklı yönlerdeki yüklemelere farklı cevaplar vermesinin (anizotropi) engellenmesi için elyaflar kompozit içerisine belirli geometrilerle yerleştirilir. Isıl genleşme ve iletkenlik ile darbe dayanımı, elyafların yönlenme eksenleriyle açışal olarak ilişkilidir. Elyaflarla yapılan takviye, elyaf yönlenmesi belirlenerek sözü edilen özelliklerin yöne bağlı kontrolüne imkan sağlar. Farklı elyaf yönlenmelerine göre kompozitler Şekil 2.3’de gösterilmiştir (Saçak 2002).



Şekil 2.3. Doğrusal yönlü elyafların farklı şekillerde takviye edilmesi; a) Tek eksen yönlü elyaflar, b) İki eksen yönlü elyaflar, c) Üç eksen yönlü ya da karmaşık yönlü elyaflar (Sur 2002).

Genel olarak, elyaf oranı yükseldikçe kompozitlerin mekanik mukavemeti belli bir değere kadar artar bu değere geldikten sonra mukavemeti düşmeye başlar. Bunun nedeni elyaf artışından dolayı kompozit yapı bünyesindeki polimer miktarının azalması ve bağlayıcılık özelliğinin zayıflamasıdır. Özetle, elyaf takviyeli polimerik kompozitler hazırlanırken, elyaflar açısından aşağıdaki ana noktalara dikkat edilmesi gerekir:

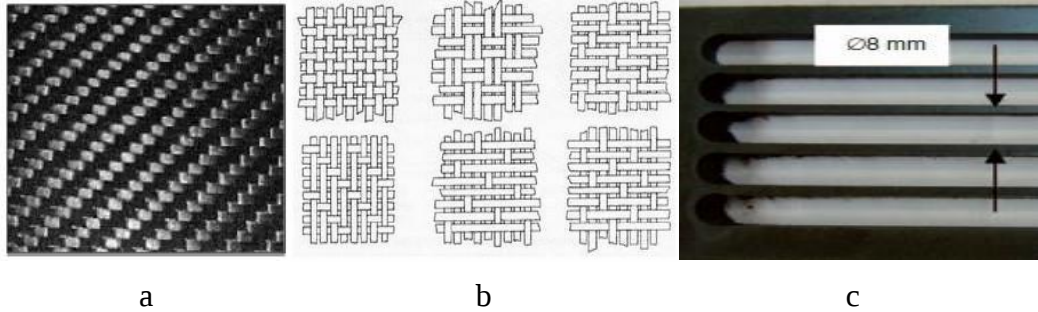
- Elyafın mekanik özellikleri,
- Elyaf hacim oranı,
- Elyafın yönlenme biçimi,
- Fiber kalınlığı.

Kompozit malzemelerin takviye edilmesinde en yaygın olarak kullanılan elyaf türleri;

- Karbon elyaflar,
- Cam elyaflar,
- Aramid elyaflar,
- Silisyum karbür elyaflar,
- Alümina elyaflar,
- Bor elyaflar olarak sıralanabilir (Saçak 2002).

2.2.1.1 Karbon elyaf

Fiber üretiminde, destek için eklenen karbon (C) elyaflar grafit kristal olarak hegzagonal yapı ile bulunur. 2.268 g/cm^3 yoğunluğu ile karbon (C) elementi oldukça hafif bir malzemedir. Karbon elyaf çapı $7-8 \text{ }\mu\text{m}$, sürekli veya kısa parça olacak şekilde imal edilir. Bu elyaflar petrol veya kömürden üretilirler. En önemli karbon elyafları, poliakrilonitril (PAN) elyaflarıdır (Sabancı 2005)(Budinski 1996). Şekil 2.4 a'da karbon elyaf takviyeli malzeme ve Şekil 2.4b'de başlıca karbon elyaf dokuma türü, Şekil 2.4 c'de 8mm parmak freze ile frezeleme işlemi uygulanmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. a) Karbon elyaf takviyeli malzeme (Davim 2004). b) Başlıca elyaf dokuma türleri(Anonim 1). c) 8mm freze takımı ile frezeleme işlemi yapılmış karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme (De Lacalle 2009).

Yüksek sıcaklık dayanımı iyi olan karbon elyaf düşük yoğunluk ve yüksek elastiklik modülüne sahiptir. Eski üretim tekniklerinde kılcal kristal olarak üretilebilen karbon elyaflar geliştirilen teknoloji sayesinde sürekli lifler olarak imal edilebilmektedir. Belirtilen imalat yöntemlerinde yüksek miktarda karbon elementi içeren bir ön malzeme kullanılır.(örnek olarak rayon ve poliakrilonitril-PAN). Karbon dışı elementlerin tasviyesi ısı ve mekanik yöntemlerle sağlanırken elyaf eksenine güçlü karbon karbon bağları getirilmeye gayret gösterilir. (Erbay 2009),(Potyrala 2011).

2.2.1.2 Cam elyaf

Tarihte cam elyaf, cam çubukların ısıtılıp akıtılması şeklinde Fenike ve Mısır'lı sanatçılar tarafından kullanılmıştır. O dönemde kullanılan cam elyaf da çanak çömlek

benzeri malzemelerin sağlamlaştırılması için takviye malzemesi olarak kullanılıyordu. Günümüzde kullanılan cam elyafının geliştirilmesi 1940'lı yılların başlarında yapılabilmektedir (Demircioğlu 2006),(Lubin 1969).

Cam elyaf üretimi sırasında hammaddesi 1500-1700 °C' arasında ısıtılarak ergitilir. Ergimiş haldeki cam, ince nozullar vasıtası ile basılır. Basım sonucu oluşan filamanlar soğutulur cam elyaf filamanları elde edilir(Okutan 2009),(Saçak 2005).

Elyaf malzemeler içerisinde en uygunu olması sebebi ile cam elyafın kullanımı daha yaygındır. Havacılık, uzay sanayi ve askeri alanda ayrıca günlük eşyaların yapımının çoğunda cam elyaf kompozit kullanılmaktadır. Karbon ve aramid elyaf cam elyafa göre çok daha fazla dayanıma sahip olmasına rağmen maliyetleri cam elyafından daha yüksek olduğu için cam elyaf kullanımı kompozitlerde daha yaygındır. (Saçak 2005). Şekil 2.5'te hasır biçiminde örülmüş cam elyaf tabakası gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Hasır biçiminde örülmüş cam elyaf tabakası (Ekici 2009).

2.3. Frezeleme, İşlenebilirlik ve Yüzey Pürüzlülüğü

2.3.1. Frezeleme

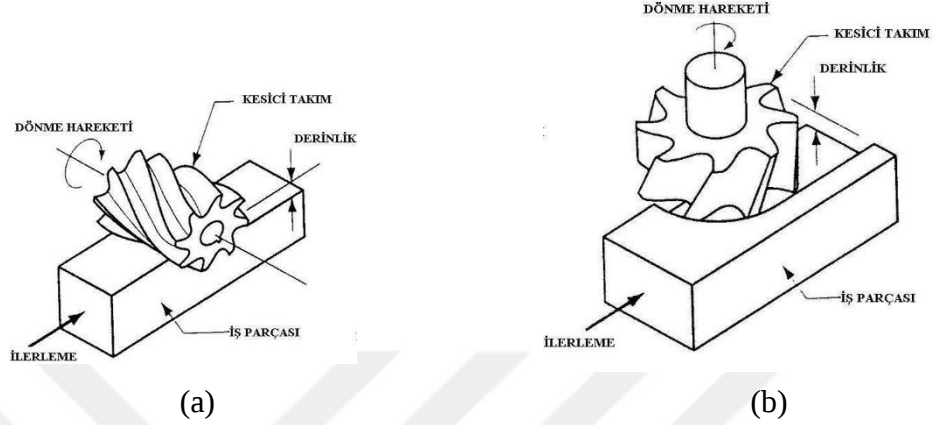
Frezeleme dönel bir kesici takımının iş parçası üzerinde ilerlemesi sonucunda meydana gelen bir talaş kaldırma işlemidir. Frezeleme iyi yüzey kalitesinin yanı sıra yüksek işleme verimliliğine imkan sağlayan özelliklere sahiptir. Genellikle birbirine dik açığa sahip yüzeylerin işlenmesi sırasında tercih edilen bir yöntemdir. (Akçay 2008).

Frezeleme çevresel ve yüzey frezeleme olarak ya da bu iki işlemin bir birleşimi olan operasyonlardan oluşur. Alın olarak tabir edilen düz yüzeylerin imalatı için yüzey frezeleme kullanılır. Çevresel frezeleme ise kesici takım yanıl kısmı kullanılarak profillerin çevresinden talaş kaldırmaya elverişli bir operasyondur(Bayraktar 2011).

Frezelemede tezgah, takım, ve iş parçası açısından bakıldığında işlem tipleri çeşitlilik gösterebilir. Ayrıca işleme veriminin yüksek olması, iyi yüzey kalitesi alınması, hassasiyet gibi avantajları yüzünden tercih edilen bir işleme türüdür (Turgut 2007).

Çevresel frezelemede eksen yatay durumda olan silindirik bir frezenin çevresindeki dişlerle talaş kaldırılır. Dişler belirli bir eksen etrafında dönerken iş parçası kesici takıma doğru ilerleme hareketi yapar. Bu işlem esnasında kaldırılan talaşın kesit alanı sürekli değişim gösterir. Bu açıdan bakıldığında tornalama işlemine göre daha kompleks bir operasyona sahiptir(Şekil 2.6.a).

Alın frezelemede ise kesme işlemi kesici takımın üst yüzeyindeki alın kenarları ile gerçekleşir. Kesici takımın dönme eksenini kesme yüzeyine diktir. Kesici takımın boyu alın frezeleme işleminde önemli bir faktördür. Frezelemenin simetrik ya da asimetrik olarak yapılması kesici takım genişliği ile işlenen yüzey genişliğine bağlı olarak değişim gösterir(Şekil 2.6.b) (Özkan 2000).



Şekil 2.6. (a) Çevresel frezeleme

(b) Alın frezeleme (Groover 1996).



Şekil 2.7. (a) Eş yönlü frezeleme

(b) Zıt yönlü frezeleme (Groover 1996).

Zıt yönlü frezelemede takımın dönüş yönü ile ilerleme yönü zıt yönlüdür. Kesme işlemi aşağıdan yukarı doğru yapılır. Bu esnada meydana gelen talaş kalınlığı ise sıfırdan başlayarak artarak devam eder. Kesme kuvvetinin buna bağlı olarak sıfırdan başlayıp artarak gitmesi her ne kadar avantajlı bir durum olsa da iş parçasını bağlı olduğu tabladan kaldırma ihtimali vardır.

Aynı yönlü frezeleme de ise takımın dönüş yönü ile ilerleme yönü aynı yönlüdür. Bu esnada meydana gelen talaş kalınlığı ise maksimumdan başlayıp sıfıra doğru inerek devam eder. Aynı zamanda talaş kalınlığı da maksimumdan sıfıra doğru değişir(Taylan 2006). Bu işleme yöntemi iş parçasını tablaya bastırıldığı için bir avantajdır. Bu baskılama işlemi sırasında iş parçası ile bağlama aparatı arasındaki boşluklar azaldığı için titreşim de azalır. Bu sayede bu işleme türünde daha iyi bir sonuç elde edilir(Özcan 2001).

2.3.1.1. Frezelemede oluşan kesme kuvvetleri

Talaşlı imalatla kesme sırasında oluşan kesme kuvvetleri takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve boyutsal kalite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri, takım tezgahlarının ve kesici takımların tasarımında da önemli bir etkidir. (Sarı 2008).

Talaş kaldırma sırasında oluşan kuvvetler değişken olduğu için hesapları kolaylaştırmak adına ortalama kesme kuvvetleri esas alınarak hesaplama yapılır. Frezelemede birden fazla kesici ağız aynı anda talaş kaldırdığı için kuvvetler, tek kesici ağıza karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti (F_{zz}) ve onun bileşenleri; ortalama kesme kuvveti (F_{cz}), ortalama radyal kuvvet (F_{rz}) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_{fz}) olarak ifade edilirler (Sert 2008).

Aynı anda parçadan talaş kaldıran kesici uç sayısı;

$$z_e = z \cdot \frac{\varphi_s}{360} \quad (2.1)$$

Tüm frezeğe (kesici takıma) ait ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = z_e \cdot F_{cz} \quad (2.2)$$

$$F_f = z_e \cdot F_{fz} \quad (2.3)$$

$$F_r = z_e \cdot F_{rz} \quad (2.4)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

Helisel silindirik frezelemede F_c , F_r , F_f kuvvetlerine ek olarak eksenel kuvvet (F_a) meydana gelir. Eksenel kuvvet;

$$F_a = F_c \cdot \tan \lambda \quad (2.5)$$

ile ifade edilir. Düz silindirik frezelerde sadece radyal kuvvet oluşur.

Alın frezelemede oluşan kesme kuvvetlerinin bileşenler Şekil 2.8’de görülmektedir. Kesici uca dik olarak alınan N-N kesitindeki ortalama talaş kaldırma kuvvetinin (F_z) bileşenleri, ortalama kesme kuvveti (F_c) ve normal kuvvettir (F_n). F_n normal kuvvetin bileşenleri ise ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvettir (F_r). Burada bir kesici uca karşılık gelen ortalama kesme kuvveti (F_{cz});

$$F_{cz} = A_s \cdot k_s = b \cdot h_m \cdot k_s, \quad (2.6)$$

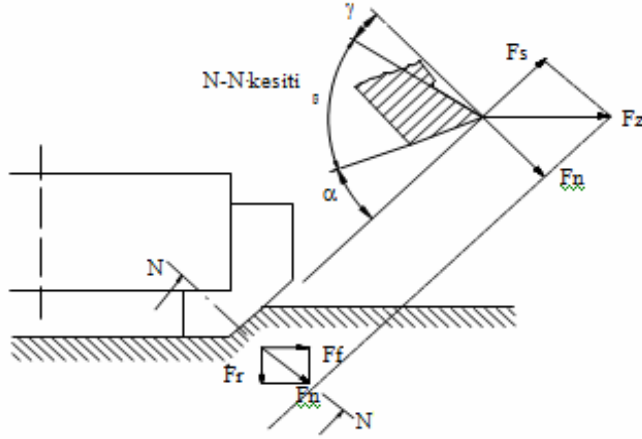
ve kesici takıma karşılık gelen toplam ortalama kesme kuvveti (F_s);

$$F_c = z_e \cdot F_{cz} = z_e \cdot b \cdot h_m \cdot k_s \quad (2.7)$$

bağıntıları ile bulunur. Burada;

z_e : Aynı anda talaş kaldıran kesici uç sayısı,

- b : Kesme genişliği,
 A_s :Talaş kesiti,
 h_m : Ortalama talaş kalınlığı,
 k_s : Özgül kesme kuvveti'dir



Şekil 2.8. Alın frezelemede oluşan kuvvetler (Akkurt 1996).

Teorik hesaplamalarda, ortalama radyal kuvvet (F_r) ve ortalama ilerleme kuvveti (F_f) deneylere dayanan aşağıdaki bağıntılara göre bulunabilir; (Akkurt 1996)

Simetrik frezelemede;

$$F_f = (0,3 \dots 0,4) F_c \quad (2.8)$$

$$F_r = (0,85 \dots 0,95) F_c \quad (2.9)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (2.10)$$

Zıt yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f = (0,6 \dots 0,9) F_c \quad (2.11)$$

$$F_r = (0,45 \dots 0,7) F_c \quad (2.12)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (2.13)$$

Aynı yönlü asimetrik frezelemede;

$$F_f = (0,15 \dots 0,3) F_c \quad (2.14)$$

$$F_r = (0,9 \dots 1) F_c \quad (2.15)$$

$$F_a = (0,5 \dots 0,55) F_c \quad (2.16)$$

2.3.2 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik genellikle iş parçasının işlenebilme yeteneği, başka bir deyişle iş parçasının kesici bir takım ile şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğudur (Çakır 2006). Bir başka tanımda ise işlenebilirlik, eldeki bir iş parçasından, istenen yüzey ve

ölçüyü elde etmek koşuluyla minimum zaman ve maliyette, kesici takım yenilemeksizin en fazla miktarda talaş kaldırılması olarak tanımlanmaktadır (Kopaci vd. 1999).

Uygun bir iş parçası için gerçekleştirilen işlenebilirlik testleri sonucunda bazı işlenebilirlik verileri belirlenebilir. Ancak bir grup işlem için iyi olarak kabul edilen işlenebilirlik değerleri başka gruplar için uygun olmayabilir. İşlenebilirlikte iş parçasının sertlik ve mukavemeti tek belirleyici olmayabilir. Yapı içerisindeki yabancı maddeler, işlemeyi kolaylaştıran katkı maddeleri, mikro yapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, talaşın kopmama eğilimi gibi diğer değişkenler de işlenebilirliğe etki eder (Aztekin 2010)(Çakır 1999).

İşlenebilirlik terimi çoğunlukla derecelendirme veya kıyaslama maksadıyla kullanılır. İşlenebilirlik testler ile belirlenir fakat her test şartlarının durumuna bağlı olarak farklı sonuç verdiği için tek bir tanımı yoktur. İşlenebilirliğin belirlenmesinde kullanılan ana kriterler şu şekilde sıralanabilir (Kuzu 2011).

- Takım ömrü ve/veya takım aşınma hızı
- Kesme kuvvetleri veya güç gereksinimi
- Talaş formu
- Yüzey pürüzlülüğü
- Tolerans
- Yüzey kalitesi
- Kesme sıcaklığı
- Mekanik özellikler

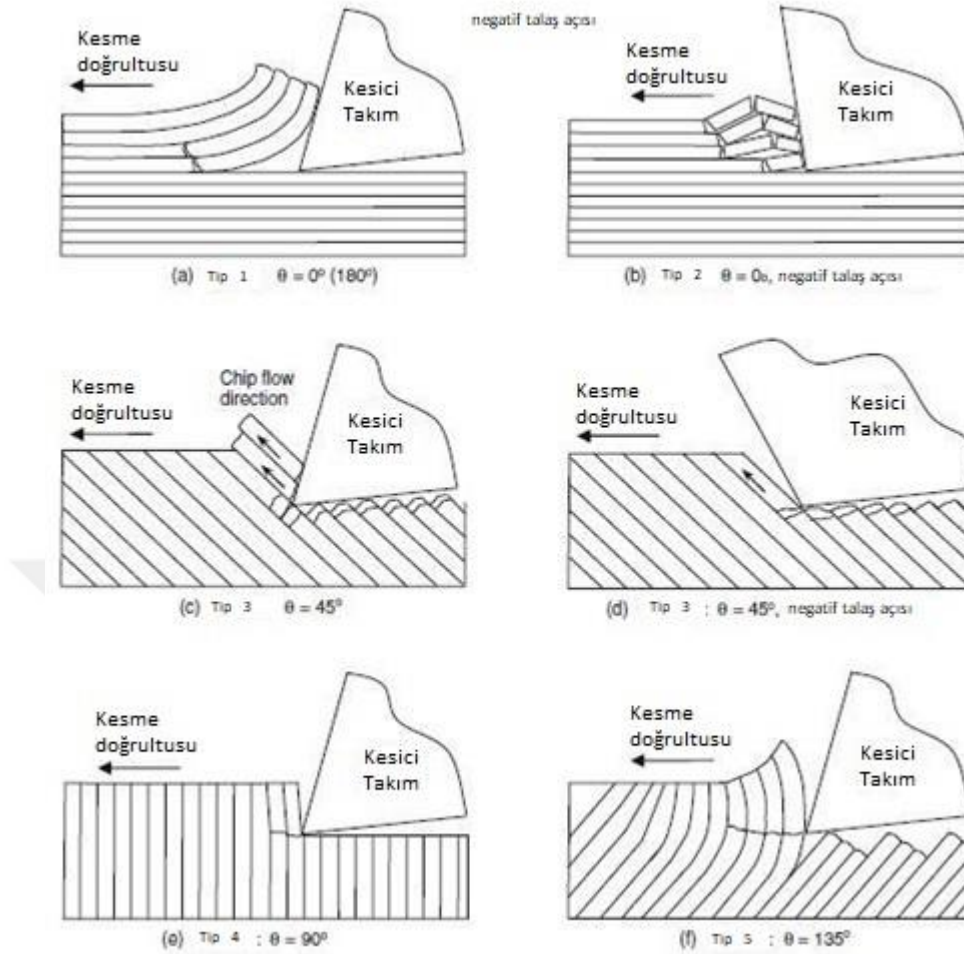
2.3.2.1.Elyaf takviyeli kompozitlerin (ETK) işlenebilirliği

Kompozit malzemelerin işlenebilirliği, talaş oluşumu, kesici takım gereksinimleri ve işleme parametreleri bakımından geleneksel malzemelerden ve alaşımlarından farklılık gösterir (Koenig vd. 1985)(Mkaddem vd. 2008). Bunun nedeni öncelikle kompozit malzemelerin homojen olmaması ve anizotropik yapıyla beraber matris ve takviye malzemesinin mekanik ve termal özelliklerinin farklı olmasıdır(Rao vd.2007). Örneğin ETK malzemelerdeki matris ve takviye malzemesinin farklı ısıl genleşme katsayısına sahip olması parçalarda termal gerilmelerle hasara yol açabilir. Tabakalar arası mukavemetin düşük olması ve yüksek kesme hızları da tabakalar arası ayrılmalara (delaminasyon) neden olabilir (König vd. 1989). Böyle zararlı etkiler ancak uygun kesici takım malzemesi, kesici takım geometrisi seçimi ve uygun kesme koşullarının sağlanması ile azaltılabilir (Velayudham vd. 2007).

ETK malzemeler genellikle nihai şekillerine yakın olarak kalıplansalar da parça kalite / boyutsal gereksinimleri ve montaj ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile çevre frezeleme, kanal açma, delme ve kesme gibi operasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır (Ferreira 1999). ETK malzemelerin geleneksel yöntemlerle işlenmesinde aşındırıcı fiberlerin etkili bir şekilde kesilebilmesi, daha düşük kesme kuvvetleri ve uygun yüzey kalitesinin elde edilebilmesi ve kesme sıcaklıklarının sınırlandırılabilmesi için keskin kenara sahip kesici takım kullanılması gerekmektedir (Sheikh 2009). ETK malzemeler kesilirken işleme performansları

kompozitin içerdiği elyaf ve matrisin özelliklerine, elyaf yönelimine ve kürleme koşullarına göre ve ek olarak kesme parametrelerine, kesici takım malzemesi ve geometrisine göre değişiklik gösterir (Koenig vd. 1985),(Ferreira vd. 1999),(Wang vd. 2003).

ETK malzemelerin işlenmesinde en önemli faktörün elyaf yönelimi olduğu ve önemli ölçüde kesme kuvvetleri, moment, yüzey kalitesi ve talaş oluşumunu etkilediği bilinmektedir. Metalik parçalardan farklı olarak ETK malzemelerden talaş kaldırılması malzemenin gevrek olmasından dolayı küçük parçalar kırarak gerçekleşmektedir. (Wang ve Zhang 2003), ETK malzemeleri işlerken talaş oluşumunda rol oynayan kesme mekanizmalarını gözlemişler, başlıca etki eden faktörlerin iş parçasının elyaf oryantasyonu ile kesme yönü ve talaş açısı olduğunu belirtmişler ve beş grupta sınıflandırmışlardır. Bunlar delaminasyon (Tip 1), elyaf burkulması (Tip 2), elyaf kesilmesi (Tip 3), deformasyon (Tip4) ve kesme (Tip 5) olarak belirtilmiştir. Tip 1'in pozitif talaş açısı ile elyaf yönüne ($\theta = 0^\circ$) paralel kesme yaptığı Şekil 2.9' da gösterilmiştir. Takımın ucunda çatlak oluşmaya başlamasını takiben hasar elyaf/matris ara yüzeyi boyunca ilerler. Takım iş parçası içinde ilerlerken kalkan tabaka takım talaş yüzeyi üzerinde kayar ve dirseğe benzer bir şekilde eğilmesine neden olur. Bükülmeden dolayı kesme kenarı önünde elyaf doğrultusuna dik olarak kırıklar meydana gelir. Küçük, süreksiz ve düzensiz talaşlar genellikle bu şekilde oluşmaktadır. Ayrıca, kesme kuvvetleri genellikle sıyrılma, elyaf eğilmesi ve kırılma döngülerinin tekrarlanması ile dalgalanmaktadır. Elyaf burkulması (Tip 2) ancak sıfır veya negatif talaş açılı takımlar elyaf yönü boyunca kesme yaptığı zaman yaygın olarak meydana gelir. Kesici takım ilerlemesi elyaf/matris ara yüzeyinde çatlaklara neden olur ve sonunda yoğun burkulmada elyaflar eksenlerine dik olarak kırılırlar. Bu durum ayrıca düzensiz talaş çıkmasına ve kesme kuvvetlerinde dalgalanmalara neden olur. Elyaf kesilmesi veya Tip 3 mekanizması θ açısı 0° ile 90° arasında iken oluşur ve talaş açısına bağlı değildir. Burada, talaş oluşumu elyaf eksenini üstündeki basma kaynaklı kayma ve buna ek olarak elyaf doğrultusu boyunca elyaf/matris ara yüzey kayması kombinasyonlarına bağlıdır. Basma esnasında, kesme yüzeyinin üstünde ve altında kalan işlenmiş yüzeyler içerisinde kalan elyaflarda çatlaklar oluşur. (Şekil 2.9. (c) ve (d)'de gösterilmiştir.) Bu şartlar altında, talaş oluşumu aralıklı veya aralıksız olabilir. Elyaf doğrultusuna dik işlenirken ($\theta=90^\circ$), fiber/matris ara yüzeyi boyunca artan basma kuvvetiyle talaşın parçadan kırılmasına neden olur ((Tip 4). Şekil 2.9. (e)'de gösterilmiştir.) Tip 5 (kayma) çoğunlukla 105° ile 150° arasındaki fiber oryantasyonun da meydana gelir ve genellikle büyük kırıklar hâkimdir. (Şekil 2.9. (f)'de gösterilmiştir.) Kesme işleminin ilerlemesi ile elyaf/matris ara yüzeyi boyunca aşırı ara katman kayması sonucu şiddetli fiber deformasyonu meydana gelir. Hem elyaf hem de matris yapısında çatlaklara neden olan geniş elastik bükülmeyle daha sonra talaş oluşumu elde edilir. Burada işlenmiş yüzey düzensizdir ve elyaf uçları farklı uzunluklara sahiptir. Çünkü kırık işleme süresince farklı noktalarda meydana gelir (Koenig vd. 1985),(Ferreira vd.1999),(Arola vd. 1996),(Nayak vd.2005),(Hocheng vd.1992).



Şekil 2.9. ETK malzemelerin keskin kenarla işlenmesindeki kesme mekanizmaları ve çok yönlü deformasyon

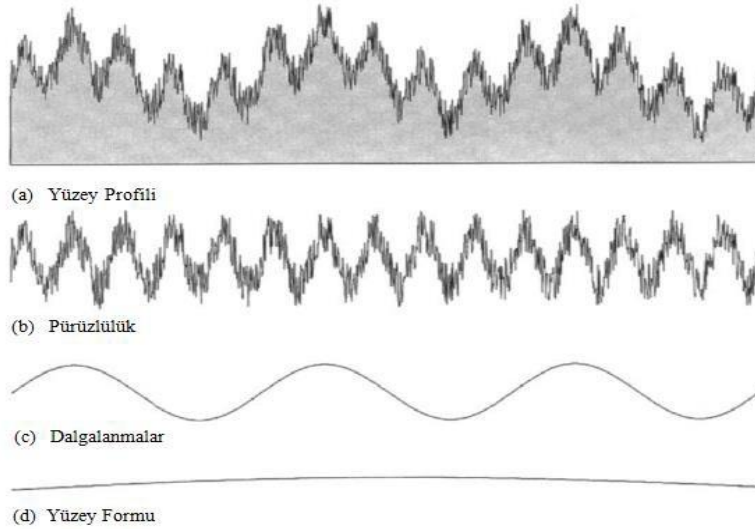
ETK malzemelerin işlenmesinde takım malzemesi ve geometrisi, işlenmiş yüzey kalitesi ve takım ömrü açısından önemli bir rol oynamaktadır. ETK malzemelerin işlenmesinde genellikle Poly Crystalline Diamond (PCD) ve Tungsten Karbür (WC) takımlar kullanılması seramik takımlara göre daha düşük yüzey pürüzlülük değeri elde edilmesini sağlar. Pozitif talaş açılı takım ile düşük ilerleme miktarında işleme yapmak yüzey pürüzlülük değerini azaltır. Ayrıca keskin kenarlı takım kullanılması da ETK malzemelerin işlenmesinde önemlidir. Çünkü keskin kenarlı takımlarla işleme yaparken elyaf koparılmaya çalışılmayacak kolayca kesilecektir. Fakat karbonun aşındırıcı etkisinden dolayı kesici kenarda taşlama yapılmış etkisi olacak ve hızlı bir şekilde aşınacaktır (Rahman vd. 1999)

2.3.3 İşleme Kalitesi ve Yüzey pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta parçada arzu edilmeyen izler meydana gelir. Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; kesici takımın cinsine, belirlenen kesme yöntemine ve işleme şartlarına bağlı kimyasal, fiziksel, ısı faktörlerin ve kesici takım ile iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi yüzünden iş parçası yüzeyinde istenmeyen işleme izleri oluşmaktadır. Normal yüzey çizgisinin altında ve üstündeki düzensiz izleri oluşturan bu duruma yüzey pürüzlülüğü denilmektedir (Turan 2014).

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara şekil vermek ile beraber bunları boyut, geometri ve yüzey bakımından parça teknik resminde gösterilen belirli bir tolerans değerine göre imal etmektir. Bu durum işleme kalitesi olarak adlandırılır ve yüzey kalitesi, boyut kalitesi ve geometri kalitesi şeklinde üç temel bileşenden oluşur. Yüzey kalitesi iş parçasının boyut geometri ve yüzey doğruluğunu gösteren günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir. Boyut kalitesi, parçanın istenen boyutları ile işlenen boyutları arasındaki yakınlıktır. İzin verilen sapmalar boyut toleransları ile ifade edilir. Boyut toleransları talep edilen imalat kalitesine ve boyutun büyüklüğüne göre tayin edilirler. Geometri kalitesi, müsaade edilen konum ve şekil hata paylarını içerir. Bunlar ideal silindirik şekle göre hatalar, ideal yüzeye göre hatalar ve eksensel hatalar olmak üzere üç gruba ayrılır (Korucu 1996). Yüzey yapısında yorulma ömrü ve aşınma önemli faktörlerdir. Yüzeylerde işleme sırasında pürüzlülük ve dalgalılık olarak iki farklı yüzey parametresi oluşur. Dalgalılık yüzeyde geometrik durumu pürüzlülük ise yüzey kalitesini belirler. Yüzey pürüzlülüğü standarda göre belirlenen bir numune boyunca yüzeye dik olan kesitte, belirlenen referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenir. Çoğunlukla referans profil olarak geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, profil çizgisinin altında ve üstünde eşit uzaklık olacak şekilde tanımlanır. (Çelik 2010). Şekil 2.10'da yüzey profiline etkisi olan oluşumlara bakıldığında 3 ana etkenden meydana geldiği görülmüştür (Griffiths 2001),(Taylor 2003):

- Pürüzlülük: Kesici takımın kesme hareketiyle oluşan, genellikle düzensiz ve kısa dalga boylu yüzey yapısıdır.
- Dalgalanma : Takımın geometrik hatası, bağlama rijitliğinde yetersizlik ve ısı farklarından kaynaklanan orta dalga boyuna sahip yüzey hata yapısıdır.
- Yüzey formu : Kızak hatası, takım ve parça sistemindeki konumlama hatası gibi olumsuzluklardan kaynaklanan yüzey yapısıdır.



Şekil 2.10. Yüzey profiline etki eden unsurlar (Taylor 2003).

2.3.3.1 Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Kesici ve parça yüzeyinin ağır şartlar altında temas etmesi, bu parçaların aşınma performansı ve yüzey pürüzlülüğünde önemli rol oynar. İş parçası üzerinde meydana

gelen bu düzensizliklerin, yüksekliği, şekli, sürekliliği ve yönü gibi faktörlerle yüzey kalitesine olumsuz etki etmektedir. Bu düzensizliklere sebep olabilecek durumlar şu şekildedir. (Khandey 2009):

A) Talaş kaldırma parametreleri

- Kesme hızı
- İlerleme oranı
- Kesme derinliği

B) Kesici takım geometrisi

Yüzeyi etkileyebilen bazı geometrik faktörler şunlardır:

- Kesici uç yuvarlatma yarıçapı
- Yan yüzey açısı
- Kesici kenar açısı
- Kesici kenar uzunluğu

C) İş parçası ve kesici takım, malzeme kombinasyonu ve mekanik özellikleri

D) Kullanılan kesici takımın kalitesi ve cinsi

E) Yardımcı takımlar ve kullanılan kesme sıvısı

F) İş parçası ve kesici takım arasındaki titreşimler.

İşleme kalitesini etkileyen diğer faktörler ise üç grupta incelenir (Işık vd. 2001):

- Takım tezgahından kaynaklanan hatalar; tezgahın ana mil ve kızak eksenlerinin paralel olmamasından, kızaklardaki boşluklardan, gövdenin yeterince sabitlenmemesinden ve kinematik mekanizmasındaki sapmalardan dolayı kaynaklanır.
- Kesici takımdan kaynaklanan hatalar; takımın gereksiz uzun bağlanmasından, kesme esnasında parçanın kesme kuvveti yüzünden esnemesinden ve takım aşınmasından kaynaklanır.
- Ortamın şartlarından oluşan hatalar; etrafta bulunan diğer tezgahlardan gelen titreşimler ve ortam sıcaklığı yüzünden oluşan şekil değişimleri.

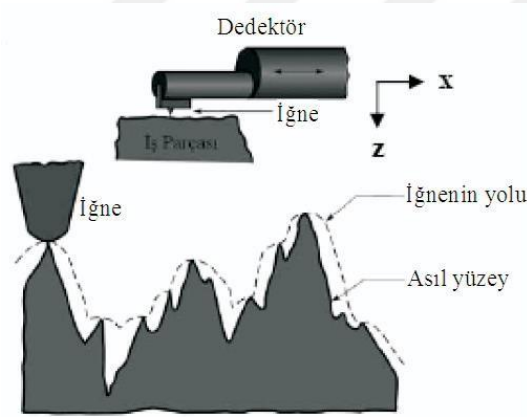
2.3.3.2 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodları

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için birçok metot olmasına rağmen izleyici uç (stylus) ve optik ölçme metodları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların haricinde kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçme metodları şunlardır;

- Hidrolik metot,
- Pnömatik metot,

- Yüzey dinamometresi metodu,
- Kapasitans metodu
- X Işını metodu
- Elektron mikroskobu metodu
- Kesit alma metodu
- Karşılaştırma mikroskobu metodu
- Optik yansıtma metodu
- İnterferometri metotları
- Optik parazit aletleri metotları
- Replika metodu
- Elektro-Fiber optik sistem metodu olarak sayılabilir.

Bu alanda kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazlarında ağırlıklı olarak izleyici uç metodu kullanılmaktadır. Bu yöntemde izleyici ucu taşıyan dedektör, sürücü ünitesine bağlıdır, bir motor vasıtasıyla yatay olarak iş parçası üzerinde ileri geri hareket yapar. Ölçüm dedektörün iş parçası üzerindeki yatay hareketi esnasında yüzey üzerindeki pürüzlülüklere değen detektöre bağlı elmas iğne ucunun dikey hareketinin oluşturduğu mekanik sapmaların sürücü ünitesi tarafından elektrik sinyallerine çevrilip yükseltilmesi; verilere göre filtrelenmesi, yüzey pürüzlülük parametrelerinin hesaplanmasına, ekranda gösterilmesine ve çıktısının alınmasına dayanır. İzleyici uç yöntemiyle yüzey pürüzlülüğü ölçümü Şekil 2.11’de gösterilmiştir (Demircioğlu 2011).



Şekil 2.11. İzleyici uç yöntemi (Demircioğlu 2011)

2.4. Literatür İncelemesi

Kompozitlerin talaşlı işleme ile şekillendirilmesi konusunda geniş bir literatür birikimi mevcuttur. Bu konudaki ilk çalışmalar genellikle cam elyaf türü kompozitlerin frezelenmesi amacıyla yönelik olarak işlenmesi şeklinde başlamıştır. Sonraki yıllarda çalışmalar karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesine doğru yönelmiştir. Son yıllarda aramid türü kompozitlerle ilgili çalışmalar ağırlık kazanmıştır.

Elyaf Takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde genel olarak kaplanmış yekpare parmak freze tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalarda yüzey hasarı üzerinde en etkili

parametrenin belirlenmesi için varyans analizinin, optimum parametreleri belirlemek içinde Taguchi metodunun kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Davim (2004) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında meydana gelen yüzey hasarını ve yüzey pürüzlülüğünü deneysel olarak araştırmıştır. Çalışma sonucunda, yükselen ilerleme değerleri ile yüzey pürüzlülüğünde artış olduğunu belirtmiştir

Berger (2008) elyaf takviyeli kompozit malzemenin en uygun frezelenebilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, yüzey hasarını azaltmak için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerlerinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir

Erkan vd. (2009) cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesinde, deneysel olarak, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İlerleme değerlerinin artması ile yüzey pürüzlülüğünde yükselme olduğu ve en iyi yüzey kalitesinin, düşük ilerleme değeri ve yüksek kesme hızında meydana geldiği gözlenmiştir.

Bayraktar (2011) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin frezelenmesi ile ilgili, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün etkisini deneysel olarak incelemiştir. Taguchi metodu ile optimum parametreleri belirleyerek, en uygun parametreyi varyans analizi ile değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, en etkili parametrenin ilerleme değeri olduğunu ve ilerleme değerinin artması ile yüzey pürüzlülüğünde artış olduğunu gözlemiştir.

Babu vd. (2013) elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin frezelenmesinde, işleme parametrelerinin etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, ilerleme ve kesme hızı değerlerinin, yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve minimum yüzey pürüzlülüğü için ve düşük ilerleme yüksek kesme hızı değerlerinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Khairusshima vd. (2012) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin frezelenmesi esnasındaki takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü deneysel olarak araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, düşük ilerleme değerleri ve yüksek kesme hızında daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği ve bu şartlar altında daha az takım aşınmasının olduğu belirtilmiştir

Santhanakrishnan(1988) karbon, cam ve kevlar elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesi üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada karbür ve yüksek hız çeliği malzemeden yapılan kesici takımlar kullanmışlardır. Yapılan deneylerde işleme performansı olarak karbür takım ile daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük değerleri karbon elyaf takviyeli kompozitte elde edilirken en kötü yüzey pürüzlülük değerleri kevlar elyaf takviyeli kompozitte elde edilmiştir.

Kalla vd. (2010) karbon elyaf takviyeli kompozitlerin yapay sinir ağları kullanarak helisel olarak işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini tespit etmek üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kesme sırasına 2000 dev/dak kesme hızı, 406 mm/dak ilerleme hızı, 0,5mm kesme derinliği kullanmışlardır. Kesici takım olarak 9,5 mm

çapında 2 ağızlı 30° helis açısı, 16° talaş açısına sahip takım kullanılmıştır. 0° elyaf açılı malzemede 0°-60° dalma açısı ile 180°-240° dalma açıları kullanıldığında kesme kuvvetlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Aynı dalma açıları ile 60° derece elyaf açılı malzeme kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışma sonucu ile yapay sinir ağları ile hesaplanan değerlerin birbiri ile örtüştüğü ortaya konulmuştur.

Rusinek vd. (2010) yaptığı çalışmada kesme hızı ve ilerleme hızındaki artışın kesme kuvvetlerine olan ilişkisini araştırmıştır. Çalışmada 12mm çapında karbür parmak freze kullanmıştır. Çalışma sonucunda titreşim grafikleri incelendiğinde kesme hızı arttığında kesme kuvvetinde bir azalma, ilerleme hızı arttığında ise kesme kuvvetinde bir artma olduğu ortaya konulmuştur.

Wang vd. (2016) kevlar elyaf takviyeli kompozitin kriyojenik durumlarda frezelemesini incelemişlerdir. Soğuk frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetinin kuru frezeleme sırasında oluşa kesme kuvvetinden daha az olduğu ortaya konulmuştur. Kriyojenik frezeleme de kuru frezelemeden daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği ortaya belirtilmiştir.

Sorrentino vd. (2011) yaptıkları çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozitlerin frezelemesi sonucu oluşan kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülük değerlerini varyans analizi yöntemi ile incelemişlerdir. Analiz sonucunda ilerleme miktarı ve yana kayma miktarındaki artış ile kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür. Her bir frezeleme yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş olup ilerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün düştüğü gözlemlenmiştir.

Haddad vd.(2014) yaptıkları çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin parmak freze ile kenar kesme işleminde kesici takım ve kesme şartlarının yüzey kusurları ve talaş oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kesici takım olarak 6mm çapında karbür freze kullanılmıştır. Standart ilerleme hızı ile elde edilen yüzeylerin yüksek hızlı ilerleme ile elde edilen yüzeylere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Chatelain vd. (2012) yaptıkları çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozitin işlenmesinde ki kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kesici takım olarak 10 mm çapında, 2 ağızlı takım kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülük değerinin ilerleme hızı artıkça arttığını iyi bir yüzey kalitesi için yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme hızı kullanılması gerektiği belirtmişlerdir. (Chatelain 2012)

Hosokawa vd. (2014) karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çevre işlenmesinde meydana gelen kesme kuvvetlerini araştırmışlardır. Çalışmada 8 katmandan oluşturulmuş levhalar kullanılmıştır. Çalışmada kesici takım geometrisinin kesme kuvvetleri üzerinde ciddi bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Jenarthanan vd. (2013) yaptıkları çalışmada KFTK malzemenin parmak freze ile işlenmesinde kesme parametrelerinin delaminasyona etkilerini incelemişlerdir. Deney malzeme olarak 12 kat elyaftan üretilmiş 3 mm kalınlığında KFTK malzeme kullanmışlardır. Kesici takım olarak 3 mm çapında karbür parmak freze kullanmışlardır.

Verilen grafiklerde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğindeki artışların delaminasyonu da arttırdığı belirtilmiştir (Jenaarathanan 2013)

Azmi vd. (2013) yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin parmak freze ile işlenmesinde ki kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, kesme kuvvetleri üzerine etkilerini varyans analizi yaparak incelemişlerdir. Deney malzemesi olarak 16 kat elyafli cam elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Kesici takım olarak 12 mm çapında 30° helis açılı kaplamasız tungsten karbür takım kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak, 500; 750; 100 mm/dak ilerleme, 3000; 4000; 5000 dev/dak devir ve 1; 1,5; 2 mm kesme derinliği kullanmışlardır. Elde edilen grafikler incelendiğinde ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme hızının artmasıyla da yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek takım ömrünün düşük kesme hızı ve ilerlemede olduğu gözlemlenmiştir. Kesme derinliği ve ilerlemenin artmasıyla da oluşan kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kılıçkap vd. (2013) yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesinde kesme hızı, ilerleme ve kesici takım malzemesine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Deney malzemesi olarak elle yatırma yöntemiyle üretilmiş, 90° elyaf oryantasyonuna sahip, cam elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Kesme derinliği 2mm' de sabit tutulmuştur. Kesme hızlarındaki artış sonucunda yüzey pürüzlülük değerinde bir azalma olduğu, ilerleme değerindeki artış yüzey pürüzlülük değerinin artmasına neden olduğu ve takım malzemesinin sertliğinin yüzey kalitesini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Cam elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesinde iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için kesme hızının yüksek ilerleme değerinin düşük seçilmesi ve sert takımların kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

İncelenen çalışmalarda Elyaf takviyeli kompozitlerin frezelenmesi ile ilgili çalışmaların yüzey hasarı, kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri ile alakalı olduğu saptanmıştır. Çalışmalarda iyi yüzey kalitesi elde etmek için düşük ilerleme hızları ve yüksek kesme hızı kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tasarım

İkame üretimi yapılan el kundağı için silahta önceden kullanılan metal el kundağı tasarımı yerine kompozit malzeme üretim metodları ve kullanım kolaylığı baz alınarak yeni bir tasarım yapılmıştır. Bu tasarım yapılırken elyaf takviyeli kompozite kolay kalıplama sağlanacak şekilde bir geometri verilmiştir. Solidworks adlı tasarım modelleme programı kullanılarak üç boyutlu hale getirilmiştir. Şekil 3.1’de tasarımın talaşlı imalat sonrası üç boyutlu modeli görülmektedir. Tasarım yapılırken hem hazırda bulunan silaha kolay monte edilecek hem de kullanıcının eli ile rahat kavrayacağı şekilde geometri ve form verilmiştir. İkame üretimde en önemli hususlardan biri olarak el kundağına sonradan üzerine eklenen bir metal ekipman bağlama kanalı yerine yekpare ve komple elyaf malzemeden olan ekipman bağlama kanalı tasarlanmıştır. Ekipman bağlama kanalı silahlarda nişanlama ve isabet performansını artırmak üzere dürbün, lazer gibi aksesuarların monte edilebilmesi için kullanılan standart bir kanal geometrisidir.



Şekil 3.1. Üç boyutlu el kundağı modeli ve ekipman bağlama kanalı

3.2. Malzeme

El kundağını elde etmek üzere kullanılan karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme Şekil 3.2 a ve b’de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.2. Karbon elyaf kumaş örnekleri (a,b)

Malzemenin üretimi için infiltrasyon metodu kullanıldı. Yarı mamul malzeme iki ayrı yarım kalıpta imal edilip daha sonra ara elyaf dokular ile birbirine birleştirildi.

Kalıpların imalattan önceki birleştirilmiş hali, (Şekil 3.3) ortaya çıkan malzeme formunu da göstermektedir. Kalıp malzemesi olarak 7075 T6 alüminyum alaşım kullanıldı. Kalıplar talaşlı imalat yöntemi ile imal edildi.



Şekil 3.3. Kalıpların imalattan önce birleştirilmiş hali

Kuru haldeki kumaşlara reçinenin emdirilmesi amacıyla kalıplar hazırlandı. Üzeri ince bir vakum filmi ile kaplanan kalıp vakum filminin kuruması için $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bir ortama yerleştirildi. Kalıplama sonrası yüzeyin mat değilde parlak çıkması için vakum filminin iyice kuruması amacı ile bir saat bu ortamda tutuldu. (Şekil 3.4). Yarı mamul parçaların bu metodla hazırlanmasında aşağıdaki işlem adımları izlendi.



Şekil 3.4. Üzeri vakum filmi kaplanıp kurumaya bırakılan kalıp

Reçine epoksi ve sertleştirici ayrı bir kapta 4 birim epoksi 1 birim sertleştirici oranı korunarak karıştırıldı. Karıştırılan epoksi önce bir kat kalıp üzerine sürüldü(Şekil 3.5).



Şekil 3.5. İlk kat epoksi uygulama işlemi

Karbon elyaf bu sürülen yüzey üzerine serilerek epoksinin iyice yedirilmesi sağlandı. Ayrıca elyaf malzeme kalıp üzerine serilerek yüzeylerin boşlukları alındı.

Elyaf serimi tamamlandıktan sonra ayırıcı katman da eklendi (Şekil 3.6). Hazırlanan düzenek vakum torbası içine alınarak yaklaşık 7 bar vakum altında reçine elyaf içerisine yedirildi. Bu yüksek vakum çok iyi bir emilme sağladığı için infiltrasyon yöntemi havacılık sanayinde yoğun olarak kompozit kanat üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Kalıplara karbon elyaf ve ayırıcı yerleşim işlemi

Uygulanan vakum ve sıcaklık yükselemesine bağlı olarak reçinenin yumuşaması yayılımı artırmaktadır. Vakum yaklaşık bir saat boyunca uygulanmıştır. Daha sonra vakum kesilerek reçinenin kuruması için sistem atmosferik ortamda parça geometrisi ve reçine miktarına göre 24 saat bekletilerek kuruma sağlanmıştır (Şekil3.7).



Şekil 3.7. Vakum uygulama işlemi

İşlemler sonunda iki parça olarak ortaya çıkan elyaf malzeme birleştirilerek işleme öncesi yarı mamül elde edilmiştir (Şekil3.8).



Şekil 3.8. Yarı mamül karbon elyaf el kundağı

3.3. Kesici Takım

Bu çalışmada standart metal işlemede kullanılan parmak frezeler yerine elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesi için Emuge Franken firması tarafından özel olarak üretilmiş 2749F model parmak freze kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin yapılacağı bölümlerin işleneceği parmak freze iki ağızlı 15° helis açısına sahip 45×0.1 mm köşe radyüsü bulunan 6 mm çapında TiN kaplı bir takımdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kesici takım

Ayrıca yüzey parametrelerini etkileyen en önemli unsurlardan biri de tutucu kaynaklı titreşimlerdir. Bunu engellemek için titreşime ve balanssızlığa karşı özel olarak imal edilmiş emuge-franken marka SK-40 tipi power-grip tutucu ve pens sistemi kullanılmıştır. (Şekil 3.10 a ve b)



(a)

(b)

Şekil 3.10. Frezeleme işleminde kullanılan tutucu ve pens sistemi (a,b)

Kullanılacak bu takıma göre gerekli olan ilerleme hızı f (mm/dak) ve kesme hızı s (dev/dak) değerleri takımın katalog değerlerinde verilen (Çizelge 3.1) v_c [m/dak] ve f_z [mm] değerleri ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. Kesici takım kesme katalog değerleri

V_c (m/dak)	f_z (mm)
180	$0,008 \times d_1$

3.4. Deney Parametreleri

Gerekli kesme hızı (s) :

$$s=[(v_c \times 1000)/(\pi \times d)]$$

d: Kullanılan Takımın çapı($\phi 6\text{mm}$)

v_c : 180 m/dak

$$s=[(180 \times 1000)/(\pi \times 6)]$$

$$s= 9550\text{dev/dak}$$

Gerekli ilerleme hızı (f) :

$$f=[(s \times z \times f_z)]$$

z : Kullanılan takımın kesici ağız sayısı iki olarak alınmıştır.

$$f_z=0,008 \times d$$

$$f_z=0,008 \times 6$$

$$f_z=0,048 \text{ mm}$$

Değerler yerine konduğunda:

$$f=(9550 \times 2 \times 0,048)$$

$$f=916,8 \text{ mm/dak}$$

Elde edilen bu kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri alt ve üst değerleri ile kombine edilerek deney parametreleri oluşturulmuştur. Kombine edilen bu değerler 7 adet karbon elyaf ve 7 adet cam elyaf numune hazırlanmıştır. Frezeleme işlemi yapılacak 7 adet numune için kullanılan değerler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2.Deney numuneleri işleme parametreleri

Numune 1 alın işleme		Numune 2 alın işleme		Numune 3 alın işleme		Numune 4 alın işleme	
s(dev/dak)	f(mm/dak)	s(dev/dak)	f(mm/dak)	s(dev/dak)	f(mm/dak)	s(dev/dak)	f(mm/dak)
9500	500	8500	500	6500	900	6500	700
9500	700	8500	700	7500	900	7500	700
9500	900	8500	900	8500	900	9500	700
9500	1100	8500	1100	10500	900	10500	700
9500	1300	8500	1300	11500	900	11500	700
Numune 5 alın işleme		Numune 6 yanal işleme		Numune 7 yanal işleme			
s(dev/dak)	f(mm/dak)	s(dev/dak)	f(mm/dak)	s(dev/dak)	f(mm/dak)		
12000	100	9500	500	6500	900		
12000	200	9500	700	7500	900		
12000	300	9500	900	8500	900		
12000	400	9500	1100	10500	900		
12000	2000	9500	1300	11500	900		
12000	3000						
12000	4000						
12000	5000						

3.5. Donanım

3.5.1. CNC tezgah

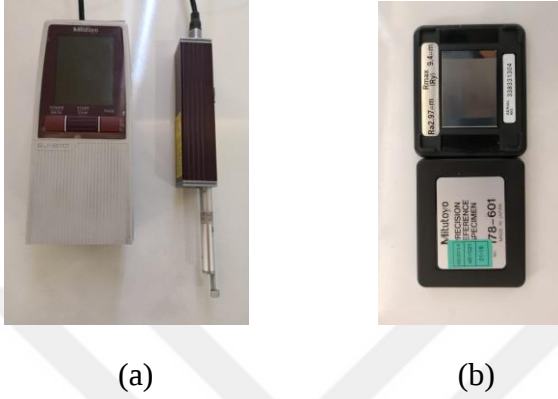
Hazırlanan numunelerin işlenmesinde dört eksenli DMG MORI marka X,Y,Z ve A eksenine sahip, tablası üzerinde simultane hareket kabiliyetine sahip divizör bulunan Utaş Savunma A.Ş firmasına ait bir CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır.

Tezgah iş mili maksimum kesme hızı kapasitesi 12000 dev/dak boşta eksen ilerleme hızları 20000 mm/dak'dır. Kesimi yapılacak numuneler metal bir kaide üzerine yapıştırılıp bu metal kaide Lang marka 3mm'den yakalama özelliği olan hassas mengene ile sıkılarak sabitlenmiştir (Şekil 3.11).

**Şekil 3.11.**CNC dik İşleme merkezi ve bağlama sistemi

3.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Yüzey frezeleme işlemleri tamamlanan numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri MITUTOYO marka SJ-210 model (Şekil 3.12.a) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden önce cihazla birlikte gelen ve her yıl kalibre edilen referans mastarı (Şekil 3.12.b) ile cihaz kalibre edilmiş ve kalibrasyondan sonra ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.12. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı(a), kontrol mastarı(b)

Ölçümler alınırken ölçme probu-dedektörü ile numune yüzeyinin aynı paralellikte olmasını sağlamak amacıyla bir düzeneğe kullanılmıştır. Böylelikle ölçümlerin daha doğru olması sağlanmıştır. Daha sonra Yüzey pürüzlülük değerleri kayıt altına alınmıştır. Yüzey ölçümlerinde Ra ortalama yüzey pürüzlülük değeri kullanılmıştır. Ölçümler kesme yönünde paralel olarak yapılmıştır. Her kesim için 3 adet ölçüm yapılmış ortalaması alınarak ölçüm değerleri oluşturulmuştur. (Şekil 3.13)



Şekil 3.13. Numune-dedektör yerleşimi ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü.

4. BULGULAR

4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Belirlenen iş mili kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine göre frezeleme işlemine tabi tutulan numunelerin işlenen yüzeyleri pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçülen numunelerde kullanılan karbon elyaf $1,59 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Elastiklik modülü 204 GPa 'dır. Çekme mukavemeti 3800 MPa 'dır. Kullanılan cam elyaf $1,99 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Elastiklik modülü 69 GPa 'dır. Çekme mukavemeti 333 MPa 'dır. Yapılan ölçümler farklı devir ve ilerleme değerlerine bağlı en iyi yüzey kalitesini sağlayan kesme hızı ve ilerleme hızı değerinin belirlenmesi amacı ile yapılacak olan optimizasyon çalışması için veri tabanı oluşturmıştır.

Karbon elyaf takviyeli kompozit yüzey pürüzlülük ölçümleri için yedi adet numune kullanılmıştır. Bu numunelerin beş adetinde alın frezeleme yapılmış iki adetinde ise yanal frezeleme yapılmıştır. Cam elyaf takviyeli kompozit ölçümleri için yedi adet numune kullanılmıştır. Bu numunelerin beş adetinde alın frezeleme yapılmış iki adetinde ise yanal frezeleme yapılmıştır. Frezeleme işlemlerinde zıt yönlü frezeleme yöntemi kullanılmıştır. Alın frezeleme numuneleri 0.5mm derinlikte tek paso ile işlenmiştir. Yanal frezeleme numuneleri 0.2mm derinlikte tek paso ile işlenmiştir. Ölçümleri yapılan karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme ve cam elyaf takviyeli iki ayrı kompozit malzeme türünde aynı kesici takım kullanılmıştır. İlk olarak karbon elyaf takviyeli kompozit numuneler işlenmiş daha sonrada cam elyaf takviyeli kompozit numunelerin işlenmesine devam edilmiştir.

4.1.1 Karbon elyaf takviyeli kompozit numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

4.1.1.1 Bir numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği bir numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.1). İşlenen bir numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

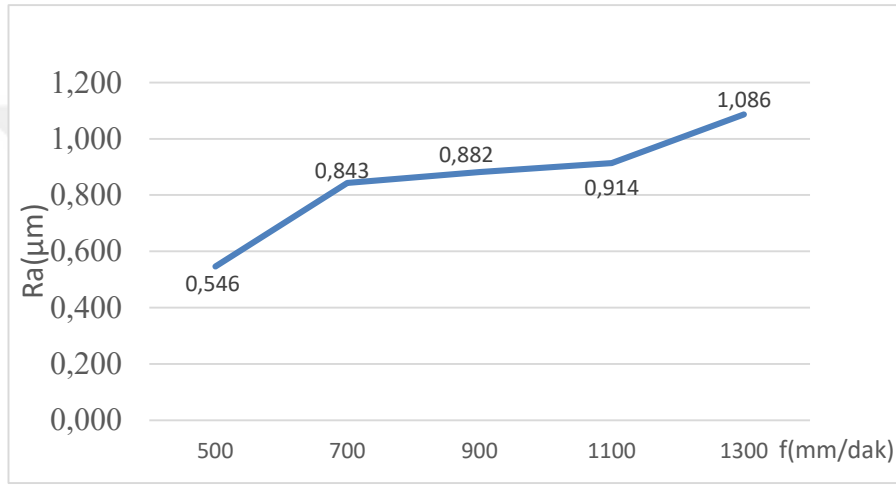
Çizelge 4.1. Bir numaralı karbon elyaf numune değerleri

KARBON ELYAF TAKVİYELİ 1 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	9500	500	0,546
2	9500	700	0,843
3	9500	900	0,882
4	9500	1100	0,914
5	9500	1300	1,086



Şekil 4.1. Bir karbon elyaf Numaralı Numune

Elde edilen bu yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde bir numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Bir numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.1.2 İki numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği iki numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.3). İşlenen iki numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

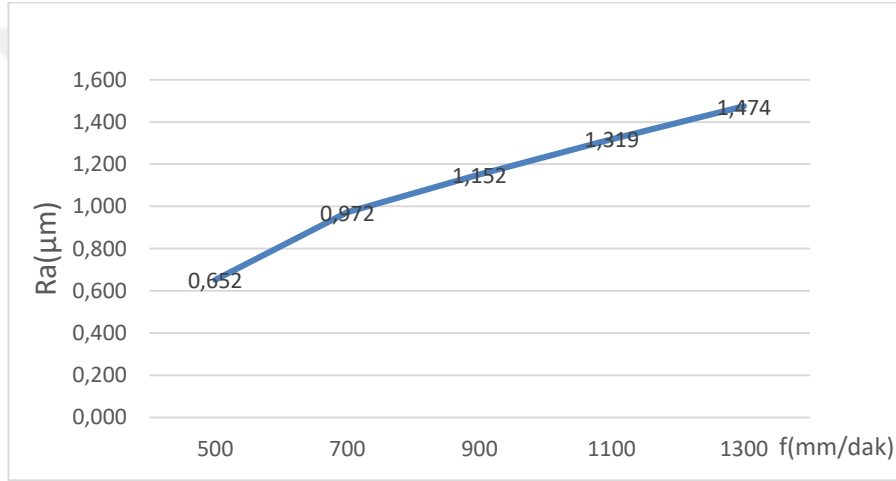
Çizelge 4.2.İki numaralı karbon elyaf numune değerleri

KARBON ELYAF TAKVİYELİ 2 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(µm)
1	8500	500	0,652
2	8500	700	0,972
3	8500	900	1,152
4	8500	1100	1,319
5	8500	1300	1,474



Şekil 4.3. İki Numaralı karbon elyaf Numune

Elde edilen bu yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafikler de iki numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. İki numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 8500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.1.3 Üç numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

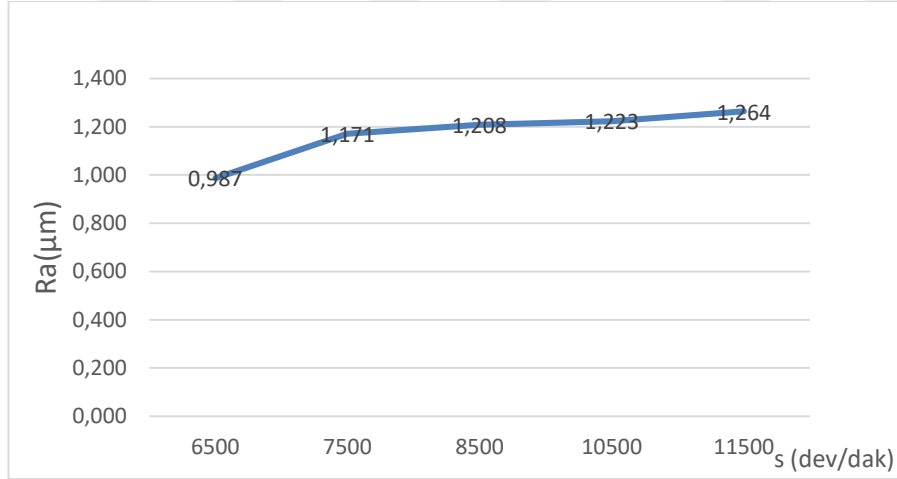
Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği üç numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir. (Şekil 4.5). İşlenen üç numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Üç numaralı karbon elyaf numune değerleri

KARBON ELYAF TAKVİYELİ 3 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	6500	900	0,987
2	7500	900	1,171
3	8500	900	1,208
4	10500	900	1,223
5	11500	900	1,264

**Şekil 4.5.** Üç numaralı karbon elyaf numune

Elde edilen bu yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde üç numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

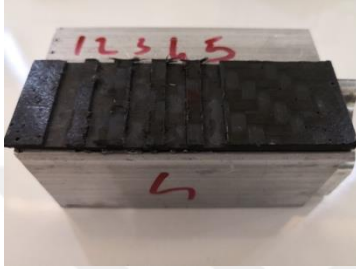
**Şekil 4.6.** Üç numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 900mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi

4.1.1.4 Dört numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

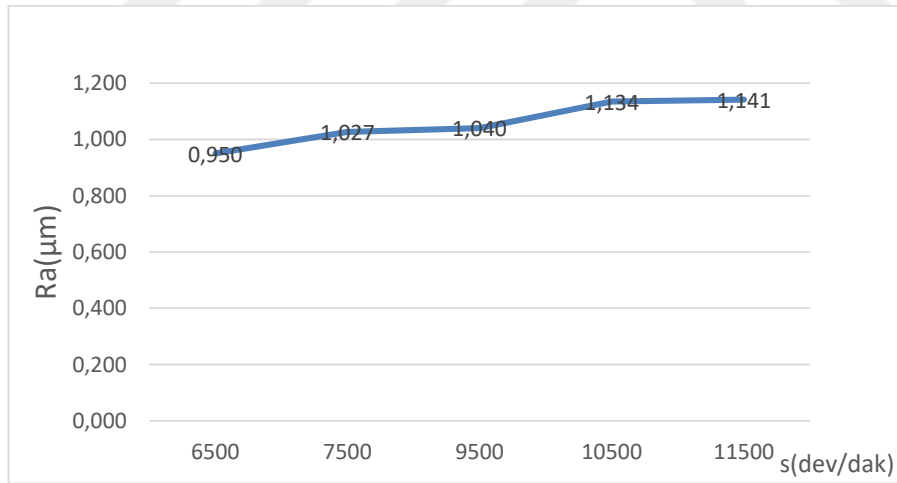
Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği dört numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.7). İşlenen dört numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Dört numaralı karbon elyaf numune değerleri

KARBON ELYAF TAKVİYELİ 4 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	6500	700	0,950
2	7500	700	1,027
3	9500	700	1,040
4	10500	700	1,134
5	11500	700	1,141

**Şekil 4.7.** Dört numaralı karbon elyaf numune

Elde edilen bu yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde dört numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.8’te gösterilmiştir.

**Şekil 4.8.** Dört numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 700mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi

4.1.1.5 Beş numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği beş numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir. (Şekil 4.9) İşlenen beş numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.5’te gösterilmiştir.

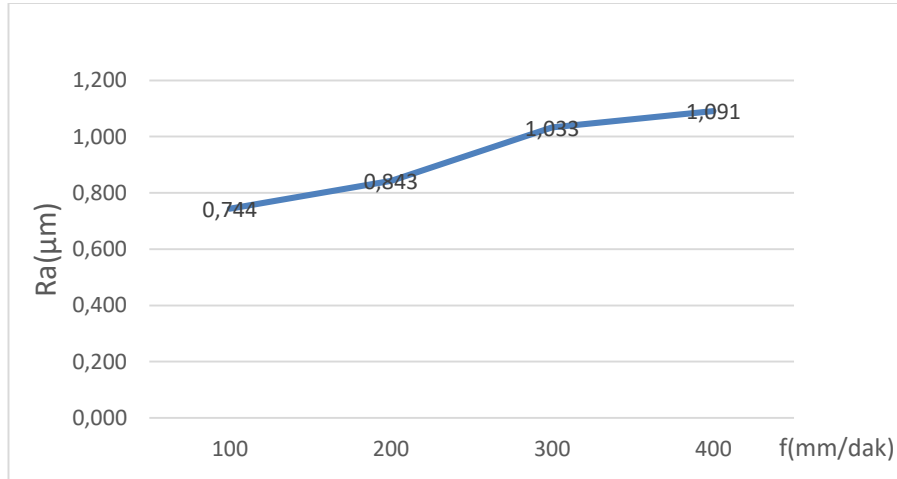
Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde beş numaralı alın frezeleme numunesi için Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Beş numaralı karbon elyaf numune değerleri

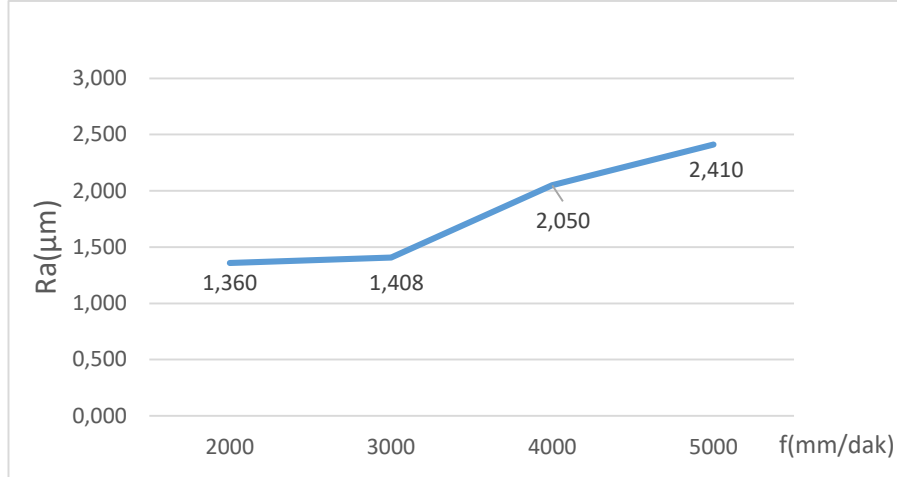
KARBON ELYAF TAKVİYELİ 5 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	12000	100	0,744
2	12000	200	0,843
3	12000	300	1,033
4	12000	400	1,091
5	12000	2000	1,360
6	12000	3000	1,408
7	12000	4000	2,050
8	12000	5000	2,410



Şekil 4.9. Beş numaralı karbon elyaf numune



Şekil 4.10. Beş numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük ilerleme hızına bağlı değişimi



Şekil 4.11. Beş numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.1.6 Altı numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği altı numaralı yanal frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.12). İşlenen altı numaralı yanal frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan devir ve ilerleme değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

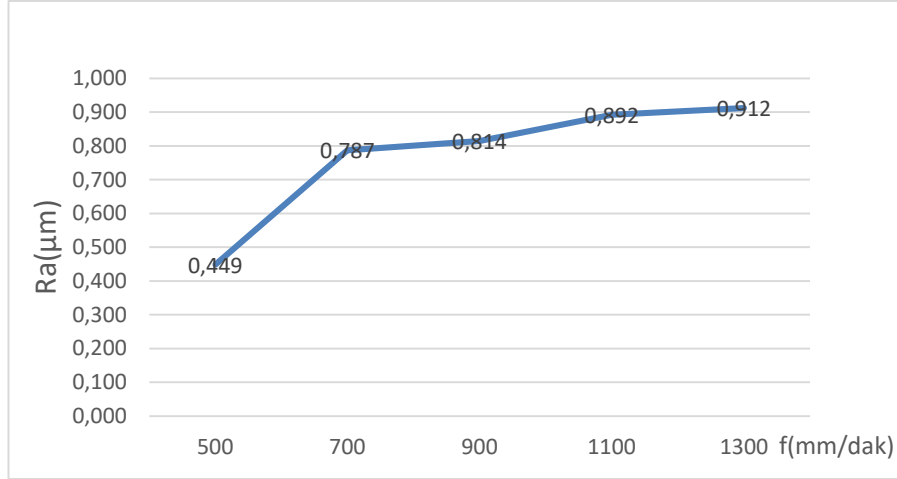
Çizelge 4. 6. Altı numaralı karbon elyaf numune değerleri

KARBON ELYAF TAKVİYELİ 6 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	9500	500	0,449
2	9500	700	0,787
3	9500	900	0,814
4	9500	1100	0,892
5	9500	1300	0,912



Şekil 4. 12. Altı numaralı karbon elyaf numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde altı numaralı yanal frezeleme numunesi için Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Altı numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.1.7 Yedi numaralı karbon ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği yedi numaralı yanıl frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.14). İşlenen yedi numaralı yanıl frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.7’te gösterilmiştir.

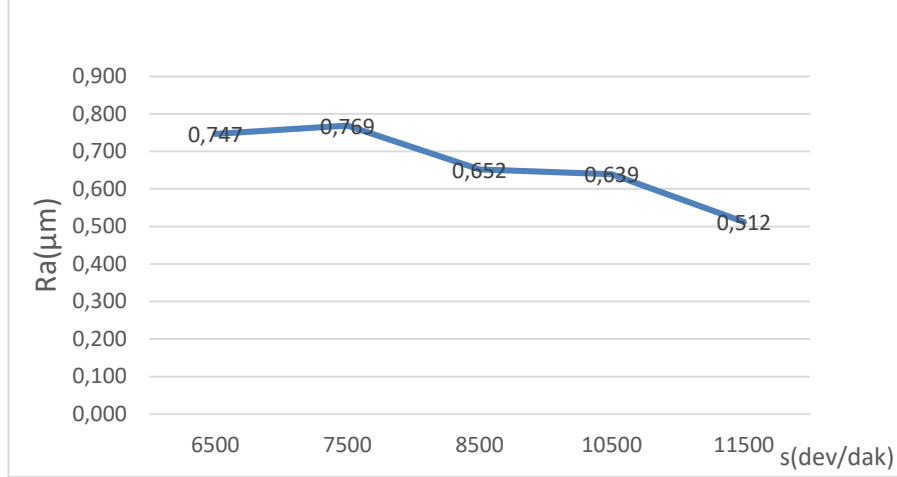
Çizelge 4.7. Yedi numaralı karbon elyaf numune değerleri

KARBON ELYAF TAKVİYELİ 7 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(µm)
1	6500	900	0,747
2	7500	900	0,769
3	8500	900	0,652
4	10500	900	0,639
5	11500	900	0,512



Şekil 4.14. Yedi numaralı karbon elyaf numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde yedi numaralı yanıl frezeleme numunesi için Şekil 4.15 te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Yedi numaralı karbon elyaf takviyeli kompozit numunenin 900 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi

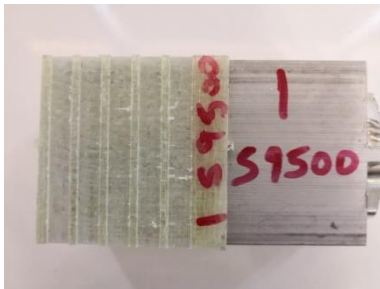
4.1.2 Cam elyaf takviyeli kompozit numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

4.1.2.1 Bir numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği bir numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.16). İşlenen bir numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

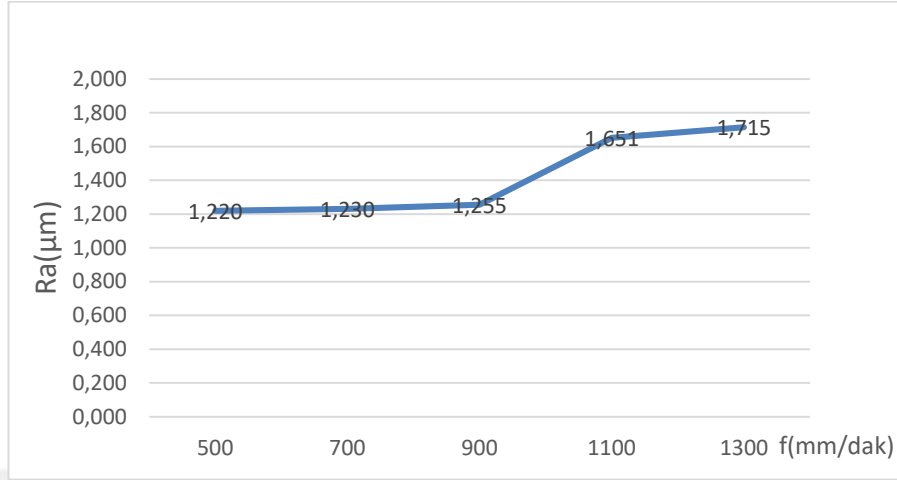
Çizelge 4.8. Bir numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM ELYAF TAKVİYELİ 1 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(µm)
1	9500	500	1,220
2	9500	700	1,230
3	9500	900	1,255
4	9500	1100	1,651
5	9500	1300	1,715



Şekil 4.16. Bir numaralı cam elyaf numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde bir numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.17’te gösterilmiştir.



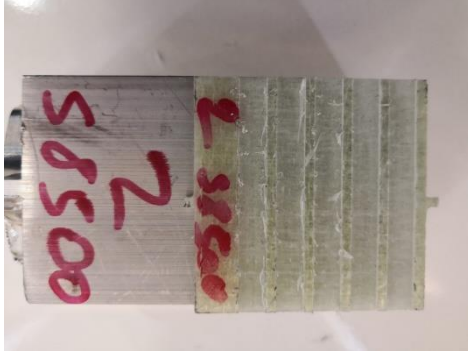
Şekil 4.17. Bir numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.2.2 İki numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği iki numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.18). İşlenen bir numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

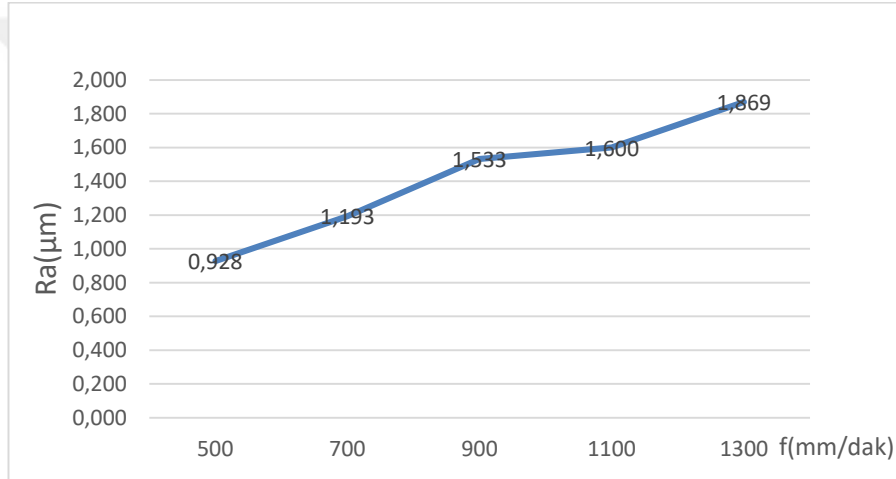
Çizelge 4.9. İki numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM ELYAF TAKVİYELİ 2 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(µm)
1	8500	500	0,928
2	8500	700	1,193
3	8500	900	1,533
4	8500	1100	1,600
5	8500	1300	1,869



Şekil 4.18. İki numaralı cam elyaf numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde iki numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. İki numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 8500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.2.3 Üç numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

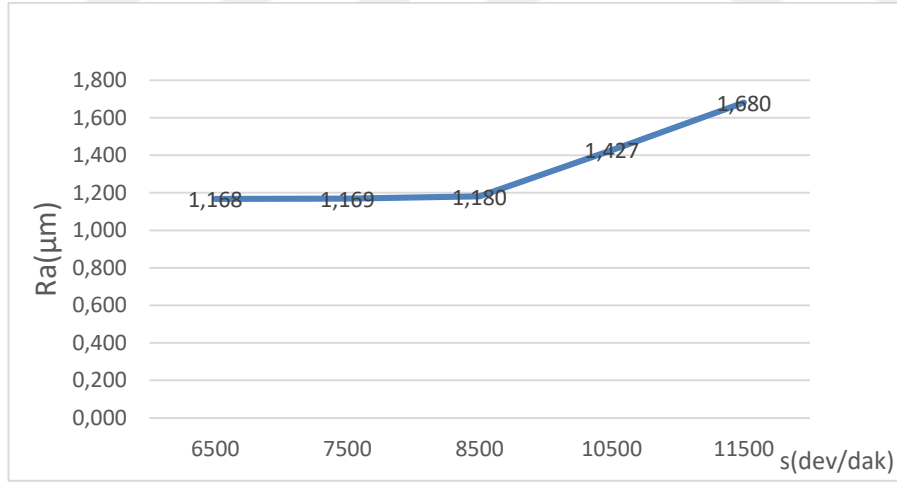
Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği üç numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.20). İşlenen üç numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Üç numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM ELYAF TAKVİYELİ 3 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	6500	900	1,168
2	7500	900	1,169
3	8500	900	1,180
4	10500	900	1,427
5	11500	900	1,680

**Şekil 4.20.** Üç numaralı cam elyaf numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde üç numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

**Şekil 4.21.** Üç numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 900 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi

4.1.2.4 Dört numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

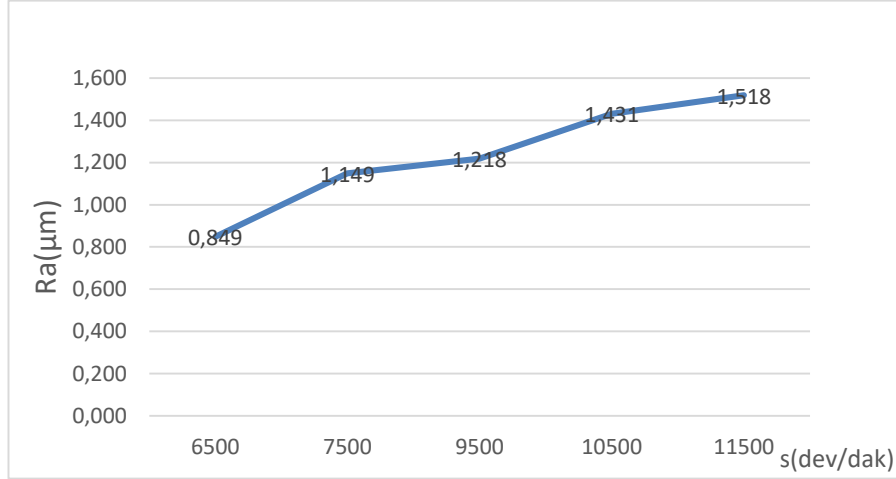
Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği dört numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.22). İşlenen dört numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Dört numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM ELYAF TAKVİYELİ 4 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	6500	700	0,849
2	7500	700	1,149
3	9500	700	1,218
4	10500	700	1,431
5	11500	700	1,518

**Şekil 4.22.** Dört numaralı cam elyaf numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde dört numaralı frezeleme numunesi için Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

**Şekil 4.23.** Dört numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 700 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi

4.1.2.5 Beş numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

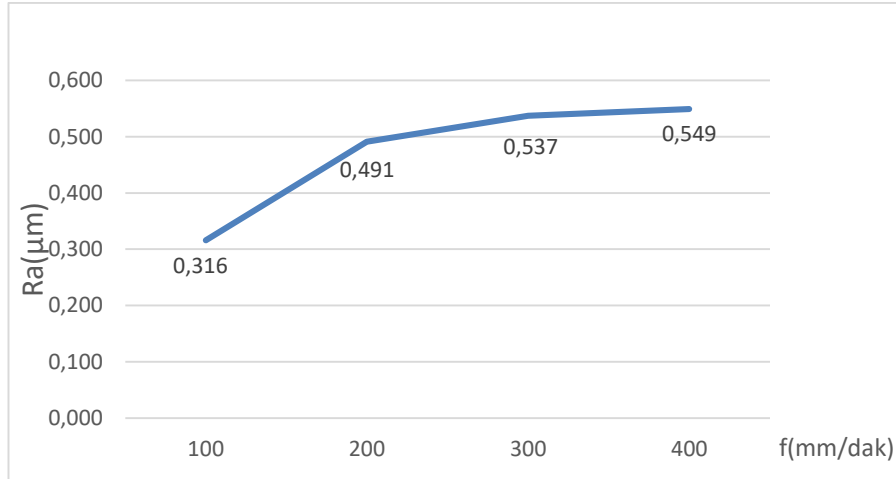
Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği beş numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.24). İşlenen beş numaralı alın frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

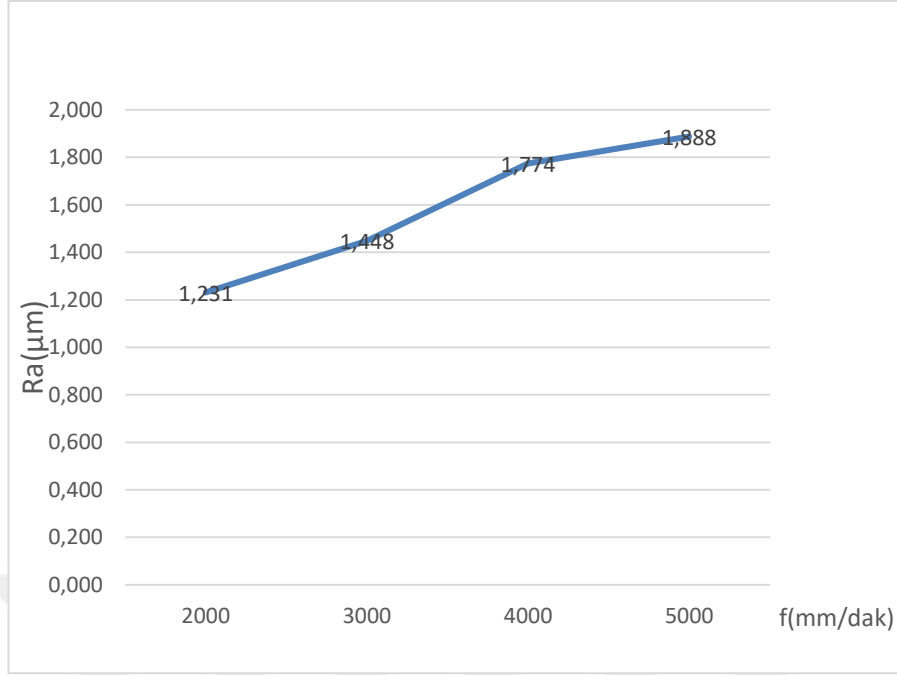
Çizelge 4.12. Beş numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM ELYAF TAKVİYELİ 5 NUMARALI NUMUNELER			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(μm)
1	12000	100	0,316
2	12000	200	0,491
3	12000	300	0,537
4	12000	400	0,549
5	12000	2000	1,231
6	12000	3000	1,448
7	12000	4000	1,774
8	12000	5000	1,888

**Şekil 4.24.** Cam elyaf takviyeli beş numaralı numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan beş numaralı frezeleme numune için Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

**Şekil 4.25.** Beş numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük ilerleme hızına bağlı değişimi



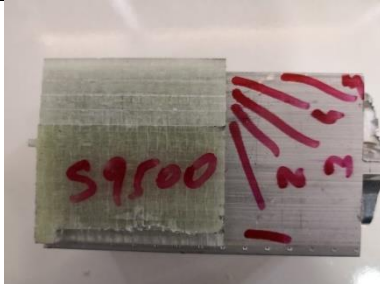
Şekil 4.26. Beş numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 12000 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.2.6 Altı numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği altı numaralı yanal frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.26). İşlenen altı numaralı yanal frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

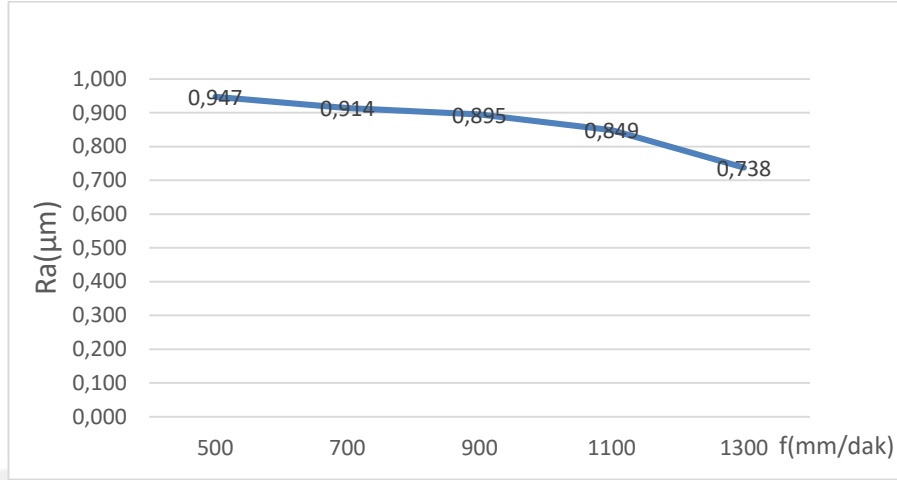
Çizelge 4.13. Altı numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM ELYAF TAKVİYELİ 6 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(µm)
1	9500	500	0,947
2	9500	700	0,914
3	9500	900	0,895
4	9500	1100	0,849
5	9500	1300	0,738



Şekil 4.27. Altı numaralı cam elyaf takviyeli numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde altı numaralı yanal frezeleme numunesi için Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Altı numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 9500 dev/dak kesme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızına bağlı değişimi

4.1.2.7 Yedi numaralı cam ETK numune yüzey pürüzlülük ölçümleri

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlendiği yedi numaralı yanal frezeleme numunesinin işlenmiş hali aşağıdaki gibidir (Şekil 4.28). İşlenen yedi numaralı yanal frezeleme numunesinin işlenmesinde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızı değerleri Çizelge 4.14’te gösterilmiştir.

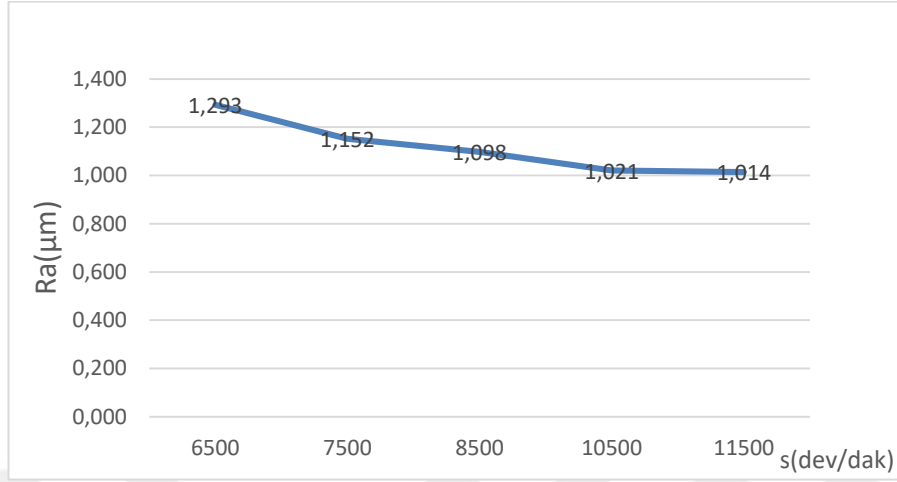
Çizelge 4.14. Yedi numaralı cam elyaf numune değerleri

CAM FİBER YANAL 7 NUMARALI NUMUNE			
NO	s (dev/dak)	f (mm/dak)	Ra(µm)
1	6500	900	1,293
2	7500	900	1,152
3	8500	900	1,098
4	10500	900	1,021
5	11500	900	1,014



Şekil 4.29. Yedi numaralı cam elyaf takviyeli numune

Elde edilen bu yüzey değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafiklerde yedi numaralı yanal frezeleme numunesi için Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Yedi numaralı cam elyaf takviyeli kompozit numunenin 900 mm/dak ilerleme hızı ile işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına bağlı değişimi

4.1.3 İstatistiksel Analiz

Karbon elyaf takviyeli kompozit ve cam elyaf takviyeli kompozit numunelerinin ölçümü sonucunda elde edilen veriler istatistiki olarak incelenmiş, elde var olan kesme hızı ve ilerleme hızı bilgileri ile MINITAB 18 adlı istatistik paket programı sayesinde istatistiksel analizler yapılmıştır.

4.1.3.1 Karbon elyaf takviyeli alın frezeleme numune analizi

Varyans analizi

Kaynak	sd	Adj KT	Adj KO	F-Değeri	P-Değeri
Model	131	339,875	2,59446	155,02	0,000*
Linear	20	143,269	7,16344	428,02	0,000*
Devir	6	59,699	9,94987	594,50	0,000*
İlerleme	12	83,559	6,96329	416,06	0,000*
Karesel	2	0,068	0,03416	2,04	0,130
İnteraksiyon	109	196,538	1,80310	107,73	0,000*
Devir*İlerleme	72	196,198	2,72498	162,82	0,000*
Hata	1051	17,590	0,01674		

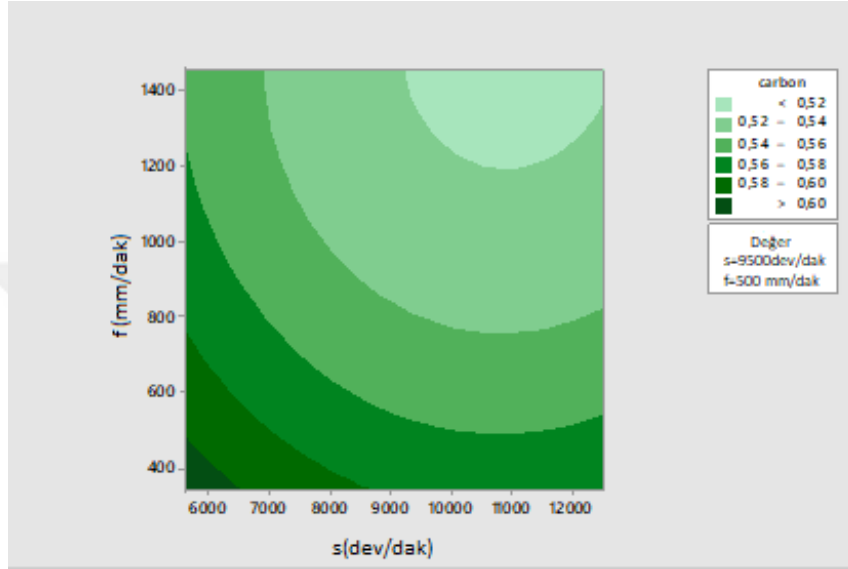
*: 0,001 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

Model Özeti

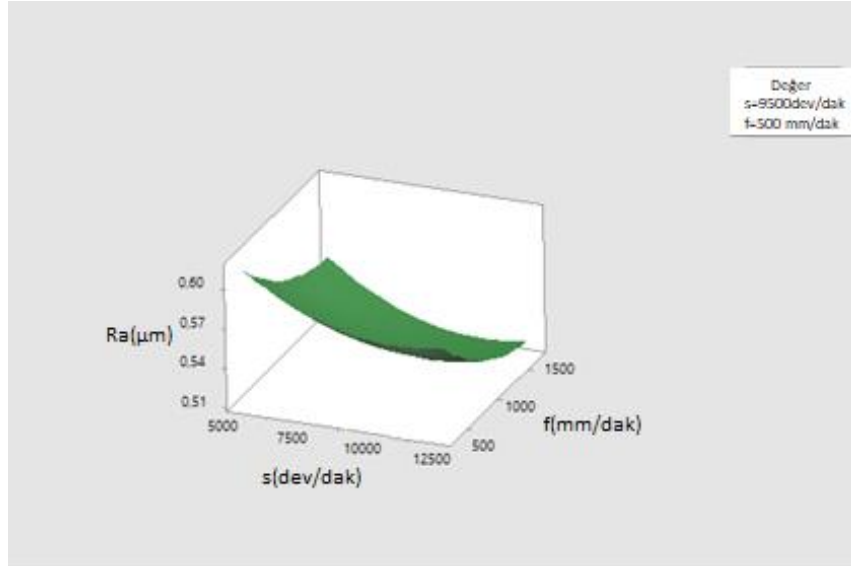
S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
0,129369	%95,08	%94,47	%93,89

Varyans analizi sonuç tablosu incelendiğinde, lineer regresyon denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Devir, ilerleme ve devir* ilerleme interaksyonunun yüzeyi etkileyen faktörler olduğu görülmektedir. ($p < 0,001$).

Ayrıca burada R^2 (Düzeltilmiş) = %93,89 olması regresyon denkleminin %93,89 oranında değişkenleri açıkladığını göstermektedir. Bu durumda amacımız doğrultusunda “en küçük en iyidir” modeli benimsenerek kontur(Şekil 4.30) ve yanıt(Şekil 4.31) grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.31. Karbon elyaf takviyeli alın frezeleme numuneleri kontur analizi



Şekil 4.32. Karbon elyaf takviyeli alın frezeleme numuneleri yanıt analizi

Bu grafiklere göre, en küçük en iyidir modeli seçildiğinde devir 9500, ilerleme 500 olarak seçildiğinde hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinin 0,51-0,60 olacağını göstermektedir.

4.1.3.2 Karbon elyaf takviyeli yanal frezeleme numune analizi

Varyans analizi

Kaynak	sd	Adj KT	Adj KO	F-Değeri	P-Değeri
Model	52	45,0959	0,86723	382,36	0,000*
Linear	11	40,5955	3,69050	1627,13	0,000*
Devir	5	21,4068	4,28136	1887,64	0,000*
İlerleme	4	19,1887	4,79717	2115,06	0,000*
Karesel	2	0,0034	0,00171	0,75	0,472
İnteraksiyon	39	4,4970	0,11531	50,84	0,000*
İlerleme*Devir	20	4,4970	0,22485	99,13	0,000*
Hata	337	0,7644	0,00227		
Toplam	389	45,8602			

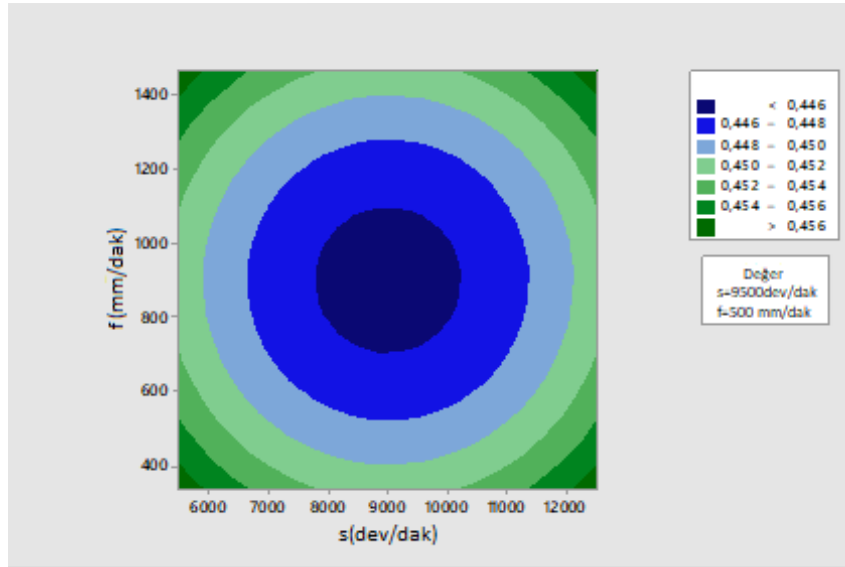
*: 0,001 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır.

Model Özeti

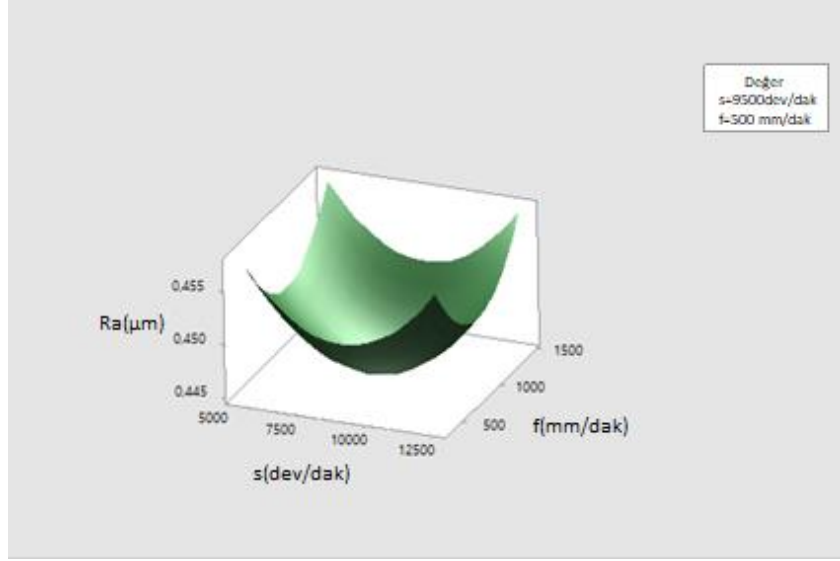
S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
0,0476246	%98,33	%98,08	%98,00

Varyans analizi sonuç tablosu incelendiğinde, lineer regresyon denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Devir, ilerleme ve devir* ilerleme interaksiyonunun yüzeyi etkileyen faktörler olduğu görülmektedir ($p < 0,001$).

Ayrıca burada R^2 (Düzeltilmiş) = %98,08 olması regresyon denkleminin %98,08 oranında değişkenleri açıkladığını göstermektedir. Bu durumda amacımız doğrultusunda “en küçük en iyidir” modeli benimsenerek kontur (Şekil 4.32) ve yanıt(Şekil 4.33) grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.33. Karbon elyaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri kontur analizi



Şekil 4.34. Karbon elyaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri yanıt analizi

Bu grafiklere göre, en küçük en iyidir modeli seçildiğinde devir 9500, ilerleme 500 olarak seçildiğinde hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinin 0,446-0,456 arasında olacağını göstermektedir.

4.1.3.3 Cam elyaf takviyeli alın frezeleme numune analizi

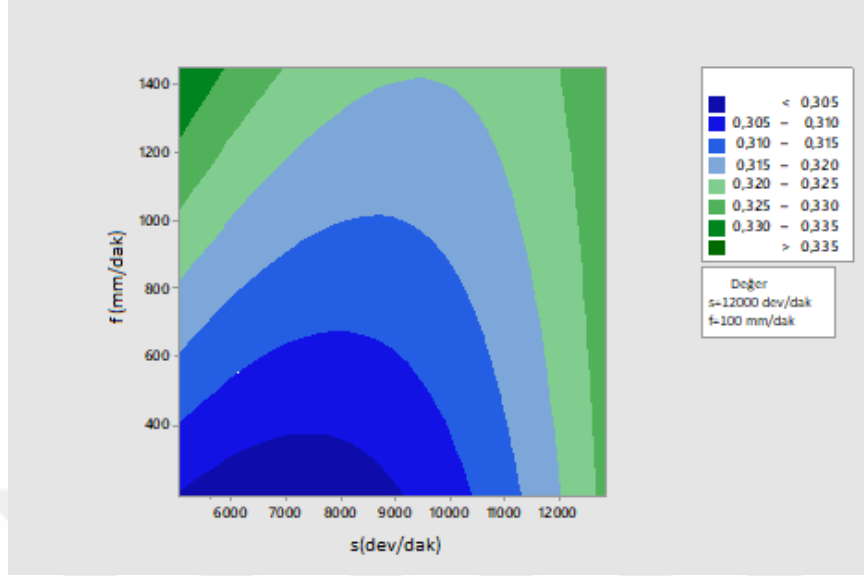
Varyans analizi

Kaynak	sd	Adj KT	Adj KO	F-Değeri	P-Değeri
Model	131	425,451	3,2477	304,01	0,000*
Lineer	20	182,307	9,1153	853,25	0,000*
Devir	6	39,499	6,5832	616,23	0,000*
İlerleme	12	142,778	11,8982	1113,74	0,000*
Karesel	2	0,021	0,0103	0,97	0,381
İnteraksiyon	109	243,124	2,2305	208,79	0,000*
Devir*İlerleme	72	242,790	3,3721	315,65	0,000*
Hata	1051	11,228	0,0107		
Toplam	1182	436,679			
Model Özeti					
S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)		
0,103359	%97,43	%97,11	%96,80		

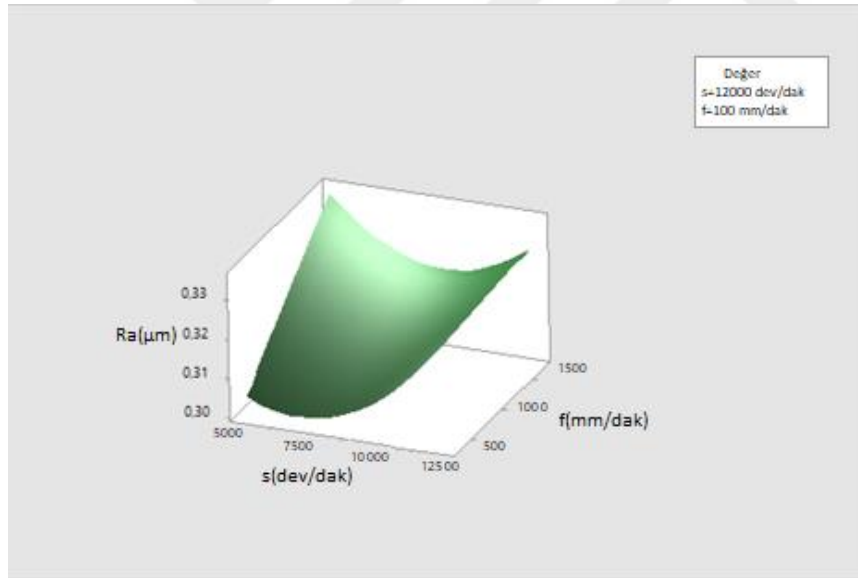
Varyans analizi sonuç tablosu incelendiğinde, lineer regresyon denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Devir, ilerleme ve devir* ilerleme interaksiyonunun yüzeyi etkileyen faktörler olduğu görülmektedir ($p < 0,001$).

Ayrıca burada R^2 (Düzeltilmiş) = %96,80 olması regresyon denkleminin %96,80 oranında değişkenleri açıkladığını göstermektedir. Bu durumda amacımız

doğrultusunda “en küçük en iyidir” modeli benimsenerek kontur(Şekil4.34) ve yanıt(Şekil 4.35) grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.35. Cam elyaf takviyeli alın frezeleme numuneleri kontur analizi



Şekil 4.36. Cam elyaf takviyeli alın frezeleme numuneleri yanıt analizi.

Bu grafiklere göre, en küçük en iyidir modeli seçildiğinde devir 12000, ilerleme 100 olarak seçildiğinde hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinin 0,305-0,335 arasında olacağını göstermektedir.

4.1.3.4 Cam elyaf takviyeli yanal frezeleme numune analizi

Varyans analizi

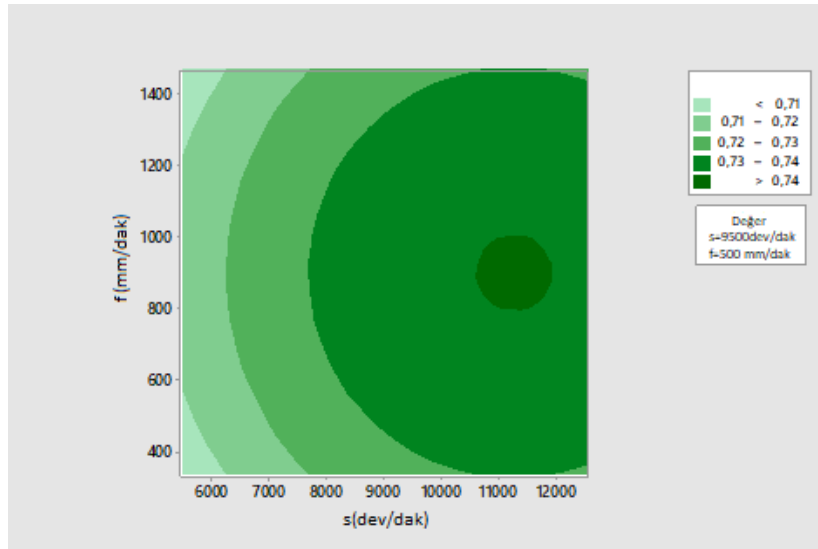
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	52	72,5511	1,39521	119,72	0,000*
Linear	11	42,8305	3,89368	334,11	0,000*
Devir	5	16,1148	3,22295	276,55	0,000*
İlerleme	4	26,6956	6,67391	572,67	0,000*
Karesel	2	0,0094	0,00471	0,40	0,668
İnteraksiyon	39	29,7111	0,76182	65,37	0,000*
Devir*İlerleme	20	29,5303	1,47652	126,70	0,000*
Hata	337	3,9274	0,01165		
Toplam	389	76,4784			

Model özeti

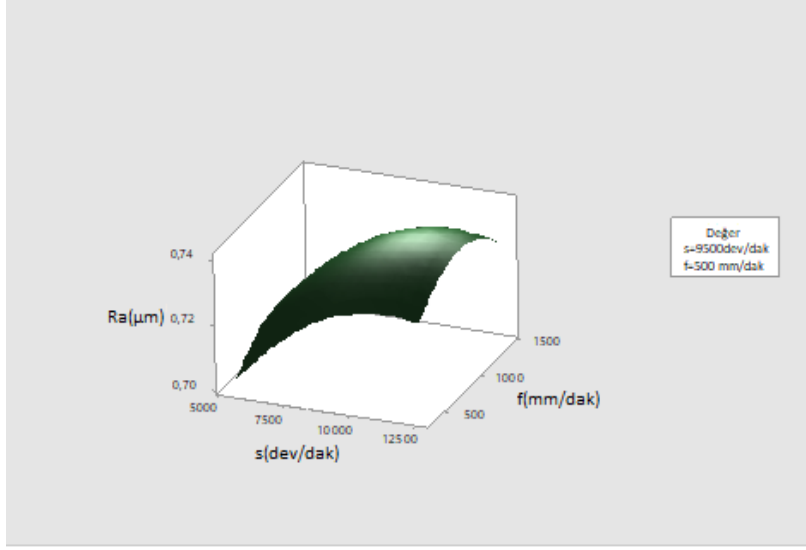
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,107954	94,86%	94,07%	93,30%

Varyans analizi sonuç tablosu incelendiğinde, lineer regresyon denkleminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ifade edilmektedir. Devir, ilerleme ve devir* ilerleme interaksiyonunun yüzeyi etkileyen faktörler olduğu görülmektedir ($p < 0,001$).

Ayrıca burada R^2 (Düzeltilmiş) = %93,30 olması regresyon denkleminin %93,30 oranında değişkenleri açıkladığını göstermektedir. Bu durumda amacımız doğrultusunda “en küçük en iyidir” modeli benimsenerek kontur(Şekil 4.36) ve yanıt(Şekil 4.37) grafikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.37. Cam elyaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri kontur analizi



Şekil 4.38. Cam elyaf takviyeli yanal frezeleme numuneleri yanıt analizi.

Bu grafiklere göre, en küçük en iyidir modeli seçildiğinde devir 9500, ilerleme 500 olarak seçildiğinde hedeflenen yüzey pürüzlülük değerinin 0,71-0,74 arasında olacağını göstermektedir.

5. TARTIŞMA

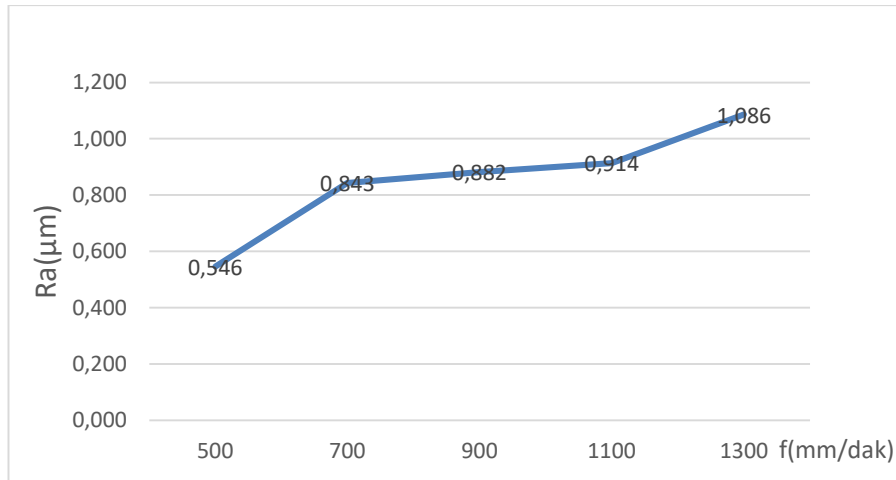
Bulgular kısmında çalışmanın genel prensipleri çerçevesinde belirlenen iş mili kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerine göre işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve gerekli grafikler oluşturularak istatistiksel analiz yapılmıştır.

Deneyssel planlama da bazı deneylerde devir sayısı sabit tutularak ilerleme hızı artırılmış bazı deneylerde ise ilerleme hızı sabit tutularak devir sayısı artırılmıştır. Bu şekilde gerek karbon elyaf destekli kompozit numunenin, gerek cam elyaf destekli kompozit numunenin işlenmesinde kullanılan devir sayısı ve ilerleme hızı parametreleri ile elde edilen yüzey kalitesi belirlenmiştir.

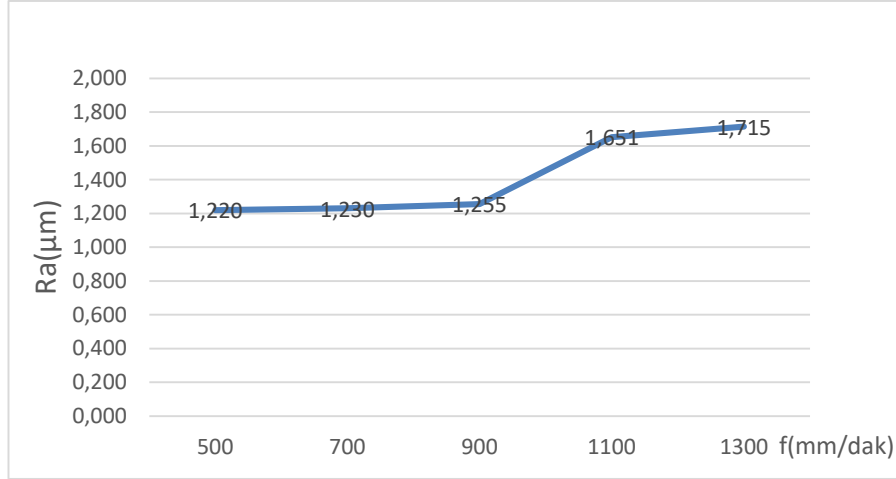
Yüzey kalitesi üzerinde kesici takımın kesme bölgesi de önemli bir rol oynadığı için aynı şekilde devir ve ilerleme varyasyonlarının etkisi kesici takımın hem alın hem de yanal yüzeyleri ile yapılan frezeleme işlemleri ile incelenmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde her iki kompozitte de devir sayısı-ilerleme hızı arasında yakın bir ilişki olduğu görülmektedir. Devir sayısı sabit iken ilerleme hızı değiştirilerek yapılan işlemlerde ilerleme hızı attırıldıkça hem alın hem de yanal işleme numunelerinde yüzey kalitesinin bozulduğu her iki malzeme tipinde de açıkça görülmektedir.

Literatürde bu durum Berger(2008), Erkan (2009) ve Babu (2013) tarafından yapılan çalışmalarla paralellik göstermekte onlar tarafından elde edilen veriler ile desteklenmektedir. (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Her iki malzeme tipi için alın işleme numunelerinin grafiklerinde bu etki daha belirgindir.

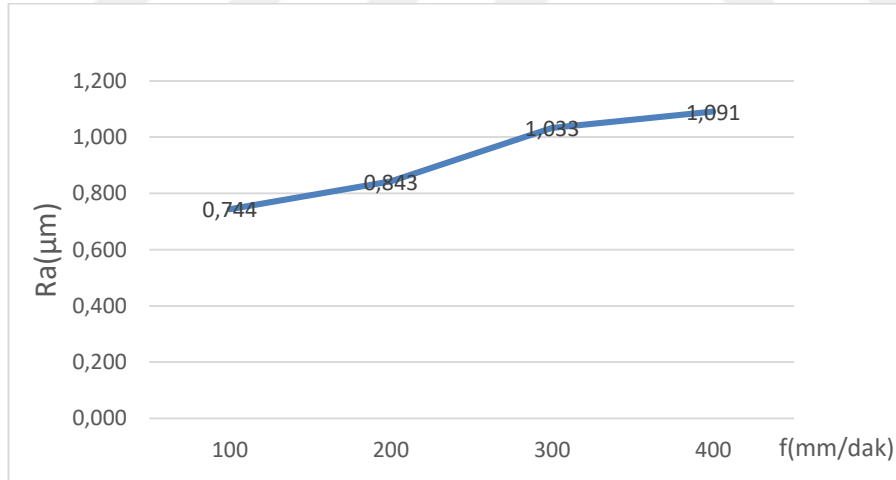


Şekil 5.1. Karbon elyaf takviyeli bir numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi

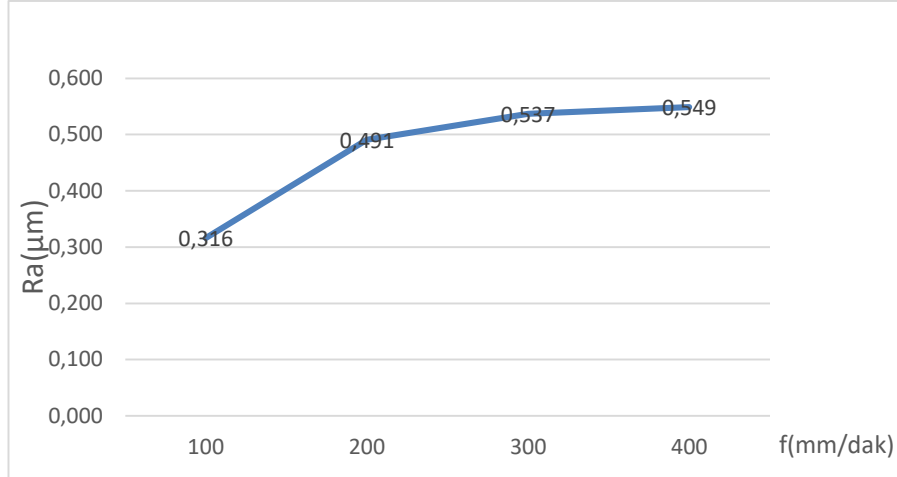


Şekil 5.2. Cam elyaf takviyeli bir numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi

Nispeten yüksek devirlerle yapılan işlemlerde her iki malzemenin verdiği yüzey kalitesi ele alındığında yukarıda açıklanan sonuçları destekler niteliktedir. CNC tezgahın en yüksek kesme hızı olan 12000 dev/dak'da yapılan işlemlerde her iki malzemede ilerleme hızı arttıkça Ra değeri yükselmekte yüzey kalitesi bozulmaktadır. Bu da literatürde daha önce yapılan çalışmalar ile paralellik göstermektedir. (Kalla 2010)(Babu 2013)(Bayraktar 2011).Yüksek devirle işlenen karbon fiber eylaf takviyeli kompozit yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 5.3'te cam elyaf takviyeli kompozit yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 5.4'da görülmektedir.

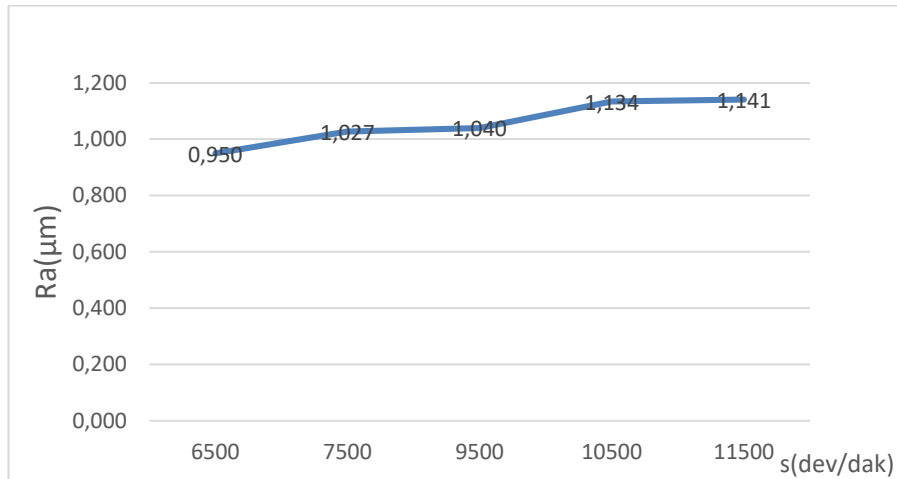


Şekil 5.3. Karbon elyaf takviyeli beş numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi

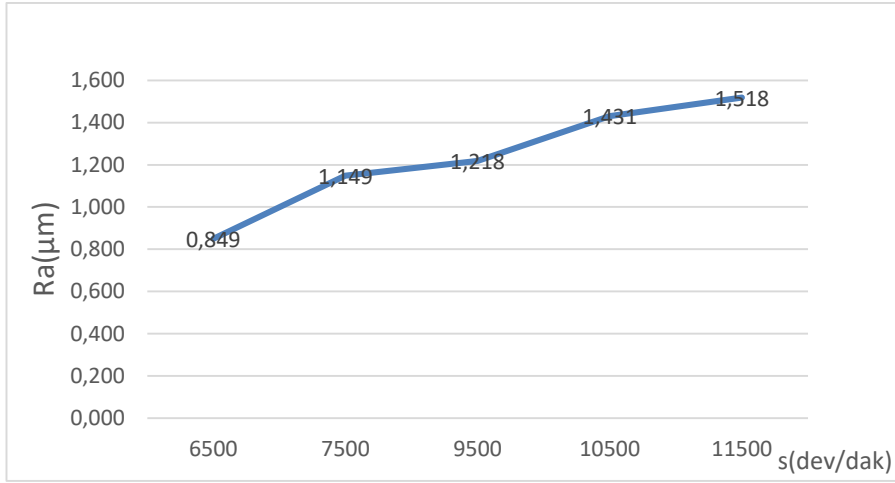


Şekil 5.4. Cam elyaf takviyeli beş numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi

DeneySEL sonuçlar kesme hızı yönünden ele alındığında ise ilerleme hızı değeri sabit tutulup kesme hızı artırılarak yapılan yanal frezeleme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum tezin literatür araştırması kısmında bahsi geçen çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Alın frezeleme işlemlerinde ise yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı arttıkça yükseldiği gözlemlenmiştir. Literatürde bu durum Palanikumar (2006) tarafından yapılan çalışmalarla paralellik göstermekte onlar tarafından elde edilen veriler ile desteklenmektedir. İş parçası ile takım arasındaki sürtünme devir artırıldıkça artmakta bu durum ısınmaya bağlı olarak matris malzemesinin yumuşayarak deformasyonun artmasına sebep olmaktadır. Gerek karbon fiber elyaf takviyeli kompozitin yüzey değerlerinin gösterildiği Şekil 5.5, gerek cam fiber elyaf takviyeli kompozitin değerlerini gösterildiği Şekil 5.6'da ölçülen Ra değerleri ilerleme sabit iken devrin artmasına bağlı olarak sürekli olarak artmış ve yüzey pürüzlülüğünde artış görülmüştür.



Şekil 5.5. Karbon elyaf takviyeli dört numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi



şekil 5.6. Cam elyaf takviyeli dört numaralı numune yüzey pürüzlülüğü değişimi

6. SONUÇLAR

Aynı yöntemler kullanılarak üretilen ve farklı parametrelerle frezelenen kompozit numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri sonucunda karbon elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyeli kompozitler ile ilgili yüzey pürüzlülük bulgularına ulaşılmıştır. Deneysel ve istatistiksel analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Karbon fiber elyaf takviyeli kompozit alın frezeleme işlemi için $s=9500$ dev/dak ve $f=500$ mm/dak ilerleme değeri ile $Ra=0,546$ μm yüzey kalitesi değeri elde edilmiştir.
- Karbon fiber elyaf takviyeli kompozit yanal frezeleme işlemi için $s=9500$ dev/dak ve $f=500$ mm/dak ilerleme değeri ile $Ra=0,449$ μm yüzey kalitesi değeri elde edilmiştir.
- Cam fiber elyaf takviyeli kompozit alın frezeleme işlemi için $s=12000$ dev/dak ve $f=100$ mm/dak ilerleme değeri ile $Ra=0,316$ μm yüzey kalitesi değeri elde edilmiştir.
- Cam fiber elyaf takviyeli kompozit yanal frezeleme işlemi için $s=9500$ dev/dak ve $f=500$ mm/dak ilerleme değeri ile $Ra=0,730$ μm yüzey kalitesi değeri elde edilmiştir.

Elde edilen bu Ra yüzey pürüzlülük değerleri imalat yöntemleri ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre ince talaş tornalama ve frezeleme yüzey pürüzlülük değerlerinin altında bir pürüzlülük değerine sahiptir. Sonuç olarak bu çalışma sonucunda elde edilen değerler ile işlenen kompozit malzemeler metal el kundakları ile rekabet edebilecek seviyededir. Optimize edilmiş koşullarda talaşlı işlenmiş kompozit el kundağı silahın görseelliğine katkı sağlamış ayrıca personelin silah kavrama ve kontrol etme yeteneğini de arttırmıştır.

Optimum işleme koşullarında belirtilen f değerleri alüminyum işlemede kullanılan f ilerleme değerlerinden düşük kalmakta bu durum işleme sürelerinin uzamasına sebep olmaktadır. Ancak alüminyum bir el kundağı yerine kompozit malzemeden olanı kullanılarak ağırlıktan yaklaşık %30 oranında kazanç sağlanacaktır. Böylece silahın toplam ağırlığında sağlanan azalma işleme sürelerinin uzamasından kaynaklanan kayıpları fazlası ile telafi edecektir. Öte yandan savunma sektörü maliyetin çok ötesinde kendine özgü önceliklere sahiptir.

Savunma sanayi konusunda ülkelerin birbiri ile girdiği yarış göz önüne alındığında piyade tüfeklerinde yapılacak her türlü iyileşme ciddi bir avantaja dönüşecektir. Silah aksamlarında $2,7$ g/cm³ yoğunluğa sahip alüminyum malzeme yerine $1,8$ g/cm³ yoğunluğa sahip karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanıldığında çalışmamızın piyade tüfeklerinin hafiflemesi konusunda sağladığı avantaj ve fayda açık bir şekilde ortaya konulmuştur.

7. KAYNAKLAR

- Akçay, C.E., 2008. “Alümina Takviyeli Alüminyum Takviyeli Kompozitlerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin İşleme Performansına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 94-96.
- Akkurt, M., 1996. “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, Birsan Yayınevi, İstanbul, 214-221.
- Arola, D., Ramulu, M., & Wang, D. H. 1996. Chip formation in orthogonal trimming of graphite/epoxy composite. *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 27(2), 121-133.
- Azmi, A. I., Lin, R. J. T., & Bhattacharyya, D. 2013. Machinability study of glass fibre-reinforced polymer composites during end milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(1-4), 247-261.
- Aztekin, K. 2010. Termoset polyester matrisli kompozitlerin işlenebilirliğinin AISI 1050 ile karşılaştırmalı olarak araştırılması, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 57-58.
- Babu, G.D., Babu, K.S., Gowd., B.U.M., 2013. “Effect of Machining Parameters on Milled Natural Fiber-Reinforced Plastic Composites”, *Journal of Advanced Mechanical Engineering*, Volume 1, p.1-12
- Bayraktar, Ş. 2011 Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Frezeleme İşleminde İşlenebilirliğinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Berger, D., Bleicher, F., Dorn, C., Puschitz, F., 2008. “Optimised Machining of Fibre Reinforced Material”, *Daam International Scientific Book*, Vienna, Austria, Volume 3, p.27-34
- Budinski K.G., 2001. “Engineering Materials Properties and Selection”, Prentice Hall,
- Çakır, C. 2006. Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Basımevi, 215
- Çakır, M. C. 1999. İşlenebilirlik, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın no:140, Bursa, 205-250.
- Çelik, L. 2010. Taşlama işleminde titreşimin izlenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün regrasyonla belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 50-66.
- Chatelain, J. F., Zaghbani, I., Monier, J. 2012. Effect of Ply Orientation on Roughness for the Trimming Process of CFRP Laminates. *C. World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 1204-1210.
- Davim, J.P., Reis, P., 2004 “Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics Manufactured by Autoclave-Experimental and Statistical Study”, *Materials and Design* , 24:315-324.
- De Lacalle, L.N.L., Lamıkız, A., Campa, F.J., Valdivielso, A.F., 2009. “Design and Test of a Multitooth Tool for CFRP Milling”, *Journal of Composite Material*, 43:3275.
- Demircioğlu, G., 2006. “Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, Ankara, 19.

- Demircioğlu, P. 2011. Talaşlı imalat yöntemleriyle imal edilen iş parçalarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek hassasiyette iğne uçlu ve 3D optik ölçüm sistemleriyle değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine* 613, 81-91.
- Ekici, E., 2009 "Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi", *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS)*, Karabük, 1-6.
- Erbay, K., 2009 "Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*, 1.
- Erkan, Ö., Işık, B., 2009. "Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin İşlenmesi Esnasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi", *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS 09)*, Karabük, p.1-6
- Ersoy, H., 2001. "Kompozit Malzemeler", *Literatür Yayıncılık, İstanbul*, 1-15
- Ferreira, J. R., Coppini, N. L., & Miranda, G. W. A. 1999. Machining optimisation in carbon fibre reinforced composite materials. *Journal of materials processing technology*, 92, 135-140.
- Griffiths, B. 2001. *Manufacturing Surface Technology. Surface Integrity and Functional Performance*, Penton Press, London.
- Groover, M.P., 1996. "Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems", *Prentice-Hall Inc., New Jersey* 220-639.
- Groover, M.P., 1996. "Fundamentals of Modern Manufacturing", *Prentice Hall, New Jersey*, 611-613 .
- Haddad, M., Zitoune, R., Eyma, F., Castanie, B. 2014. Study of the surface defects and dust generated during trimming of CFRP: influence of tool geometry, machining parameters and cutting speed range. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 66, 142-154.
- Hocheng, H., & Puw, H. Y. 1992. On drilling characteristics of fiber-reinforced thermoset and thermoplastics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32(4), 583-592.
- Hosokawa, A., Hirose, N., Ueda, T., Furumoto, T. 2014. High-quality machining of CFRP with high helix end mill. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63(1), 89-92.
- Işık, Y., Çakır, M. C. 2001. Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknoloji dergisi, Karabük*, (1), 2, 111-118
- Jenarthanan, M. P., Jeyapaul. R. 2013. Machinability study of carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites using design of experiment technique, *Pigment & Resin Technology*, 35-44.
- Khairusshima, N.M.K., Hassan, C.C.H., Jaharah, A.G., Amin, N.A.K.M., 2012. " Tool Wear and Surface Roughness on Milling Carbon Fiber-Reinforced Plastic Using Chilled Air", *Journal of Asian Scientific Research*, Volume 2, Number 11, p.593-598

- Khandey, U. 2009. Optimization of surface roughness, material removal rate and cutting tool flank wear in turning using extended taguchi approach (Doctoral dissertation).
- Kılıçkap, E., Çelik, Y. H., 2012. Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 99-103.
- Koenig, W., Wulf, C., Grass, P., & Willerscheid, H. 1985. Machining of fibre reinforced plastics. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 34(2), 537-548.
- Kopaci J and Bahor M. 1999 Interaction Of The Technological History Of A Workpiece Material And The Machining Parameters On The Desired Quality Of The Surface Roughness Of A Product, Journal of Materials Processing Technology, 92: 381-387.
- Korucu, S. 1996. Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı İle Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- König, W., & Grass, P. 1989. Quality definition and assessment in drilling of fibre reinforced thermosets. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 38(1), 119-124.
- Kuzu, A. T. 2011. Tekstil takviyeli polimer matrisli kompozitlerin işlenebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9-11.
- Lubin, G., 1969. "Handbook of Fiberglass and Advanced Plastic Composites", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 143-181, 46-84.
- Mkaddem, A., Demirci, I., & El Mansori, M. 2008. A micro-macro combined approach using FEM for modelling of machining of FRP composites: Cutting forces analysis. Composites science and technology, 68(15), 3123-3127.
- Nayak, D., Bhatnagar, N., & Mahajan, P. 2005. Machining studies of uni-directional glass fiber reinforced plastic (UD-GFRP) composites part 1: effect of geometrical and process parameters. Machining Science and Technology, 9(4), 481-501. New Jersey, USA, 119-145.
- Okutan, E., 2009. "Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin ve Oluşan Mekanizmalarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1.
- Özcan, E., 2001. "CNC Tezgahlarda Kullanılan Kesici Takımlarda Takım Aşınmasının Kesme Performansına Dinamik Etkileri", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 168.
- Özkan, S.S., 2000. "CNC Tezgahlarında Kesme Şartları ve İşleme Kalitesi Arasındaki İlişkinin Analizi", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 228.
- Palanikumar K., Karunamoorthy L., Karthikeyan R., 2006. Assessment of Factors Influencing Surface Roughness on the Machining of Glass Fiber-Reinforced Polymers Composites, Materials and Design, 27(10), 862-871.
- Parlak, Ş., 2006. "Çelik Talaşları ile Takviyeli Dökme Demir Kompozitlerinin

- İşlenebilirliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 6-7.
- Potyrala, P.B., 2011 “Use of Fibre Reinforced Polymer Composites in Bridge Construction”, Catalunya Politechnic University (UPC), Barcelona, 9.
- Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J. R. S., & Tan, D. C. G. 1999. Machinability study of carbon fiber reinforced composite. Journal of materials processing technology, 89, 292-297.
- Rusinek R., 2010. “Cutting Process of Composite Materials: An Experimental Study”, International Journal of Non-Linear Mechanics, 45:458-462 .
- Rao, G. V. G., Mahajan, P., & Bhatnagar, N. 2007. Micro-mechanical modeling of machining of FRP composites–cutting force analysis. Composites science and technology, 67(3), 579-593.
- Sabancı, Ş., 2005. “Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemiyle Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8 .
- Santhanakrisnan, G., Krishnamurty, R., Malhotra, S.K, 1988. “Machinability Characteristics of Fibre Reinforced Plastics Composites”, Journal of Mechanical Working Technology, 17:195-204.
- Sorrentino, L., Turchetta, S. 2011. Milling of Carbon Fiber-Reinforced Plastics: Analysis of Cutting Forces and Surface Roughness, 18th International Conference On Composite Materials, Korea.
- Saçak, M. 2002. Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara, 85-89, 221-224, 275-297,393-397.
- Sarı, H., 2008. “Frezelemede Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 23.
- Sert, A., 2008. “Farklı Takım Tutuculara Bağlanan Parmak Frezenin Düzlem Yüzey Frezelemedeki Performansının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 18.
- Sheikh-Ahmed, J. Y. 2009. Machining of polymer composites, New York: Springer, ISBN: 9780387355399.
- Sur, G. 2002. Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1–40.
- Taylan, F., 2006. “Alın Frezelemede Deney Şartları ve Takım Aşınması Ölçüm Metodları, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 96 .
- Taylor, E. S. 2003. A fundamental guide to the measurement of surface finish. Taylor Hobson Limited, England.
- Turan, A. 2014. AISI 1040 Çeliğin Tornalanmasında Kesme Kuvvetlerinin Ve Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Turgut, Y., 2007. “Bağlama Kalıplarında Bağlama Kuvvetlerinin Hesaplanmasında

Kullanılan Emniyet Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 17.

Velayudham, A., & Krishnamurthy, R. 2007. Effect of point geometry and their influence on thrust and delamination in drilling of polymeric composites. Journal of materials processing technology, 185(1), 204-209.

Wang, X. M., & Zhang, L. C. 2003. An experimental investigation into the orthogonal cutting of unidirectional fibre reinforced plastics. International journal of machine tools and manufacture, 43(10), 1015-1022.

Kalla, D., Sheik-Ahmad, J., Twomey, J., 2010. “Prediction of Cutting Forces in Helicel End Milling Fiber Reinforced Polymers”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50:882-891.

Wang, F., Wang, Y., Hou, B., Zhang, J., & Li, Y. 2016, “Effect of cryogenic conditions on the milling performance of aramid fiber”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 83(1-4), 429-439.

Anonim: <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index2.html> [Son erişim tarihi: 23.01.2019]

Anonymous 1: Handguard image file online: <https://www.primaryweapons.com/parts/handguards/?mode=list> [Son erişim tarihi: 23.01.2019]

Anonymous 2: Handguard image file online: <https://www.smithbuiltmanufacturing.com/Zero-Round-KeyMod-Handguard-12-Inch-p/rlk-12b.htm> [Son erişim tarihi: 23.01.2019]

Anonymous 3: Handguard image file online: <https://www.opticsplanet.com/leapers-utg-pro-ar-rifle-length-free-float-handguard.html> [Son erişim tarihi: 23.01.2019]

Anonymous 4: Handguard image file online: <https://www.rainierarms.com/jl-billet-ar15-angled-m-lok-free-float-handguard/> [Son erişim tarihi: 23.01.2019]

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim YILDIRIM

ibrahimyildirim@savhatek.com.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2015-2019	Fen bilimleri Enstitüsü Antalya
Lisans	Erciyes Üniversitesi
2005-2010	Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Kurucu Ortak	Savunma ve Harp Teknolojileri A.Ş.
2019-	Antalya
Proje Sorumlusu	Antalya Teknokent Yürütücü ve İşletici A.Ş.
2018-	Antalya
Teknik Müdür	UTAŞ Savunma A.Ş.
2015-2018	Antalya
Teknik Müdür Yardımcısı	Yol Makina
2014-2015	Antalya
Firma Ortağı	Uzmanlar Makina
2012-2014	Antalya
Proje Mühendisi	AGT Ağaç San A.Ş.
2011-2012	Antalya
Cad-Cam laboratuvar sorumlusu	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
2009-2010	Kayseri