



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KARBON FİBER TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN NİCE FİLM

KAPLAMALI KARBÜR TAKIMLARLA İLENEBİLİRLİĞİNİN

ARAŞTIRILMASI

HAZIRLAYAN

DERVİŞ ÖZKAN

DANIŞMAN

DOÇ.DR. MUSTAFA SABRİ GÖK

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI

**KARBON FİBER TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN NİCE FİLM
KAPLAMALI KARBÜR TAKIMLAR İLE LİNEERLENDİRİLENİNİN
ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN

DERVİŞ ÖZKAN

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Muammer NALBANT - Gazi Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA - Karabük Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Etimad EYVAZOV - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Dervi ÖZKAN tarafından hazırlanan “KARBON FİBER TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİNİN FİLM KAPLAMALI KARBÜR TAKIMLARLA LENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışmada, 02.06.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarıyla bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Muammer NALBANT

Üye : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA

Üye : Doç. Dr. Etimad EYVAZOV

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20...tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKÇAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK danışmanlığında hazırladığım “KARBON FİBER TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİNİN FİLM KAPLAMALI KARBÜR TAKIMLARLA İLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik de-erlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışması olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

02.06.2017

Dervi ÖZKAN

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu doktora tezinde, karbon fiber takviyeli kompozit malzemesinin farklı kaplamalı kesici takımlar ile kullanılabilirliğinin araştırılması gerçekleştirilmiş ve deneyleri yapılmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan danışman hocam, Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı Başkanı ve Dekan yardımcısı Sayın Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK'e, Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Öğretim Üyesi ve Güzel Sanatlar Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA'ya ve ikinci danışmanım Bartın Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Bölümü Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI'ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Çalışmamın her aşamasında beni yalnız bırakmayan, sabırla bekleyen ve her türlü anlayışı esirgemeyen değerli aileme sonsuz sevgi, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Özellikle bu tezin meydana gelmesinde maddi imkân sağlayan Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve çalışanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Dervi ÖZKAN

ÖZET

Doktora Tezi

KARBON FİBER TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN NEMLEŞTİRİLMİŞ KAPLAMALI KARBÜR TAKIMLARLA İZLENİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Dervi ÖZKAN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK

İkinci Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI

Bartın-2017, sayfa: XXII+180

Karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) kompozitler sahip oldukları yüksek taşıma kapasitesi, yüksek mukavemet, yüksek rijitlik, düşük yoğunluk ve hafiflik gibi üstün özelliklerinden dolayı, uzay, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde sıklıkla kullanım alanı bulmaktadır. CFRP kompozitlerin aşındırıcı yapısından dolayı frezeleme işlemlerinde kullanılan kesici takımlar; kısa süreli çevrim süreçlerinde aşınma hasarları sonucunda ekonomik ömürlerini tamamlamaktadır. Takım aşınması ile birlikte CFRP kompozit malzemelerde delaminasyon, fiber kırılması, kesilmemiş fiber ve yüzey pürüzlülüğü gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Yüzey kalitesinin parça özelliklerini birincil derecede etkilediği bilindiğinden havacılık endüstrisi ve diğer ilgili sektörlerde optimum niteliklerin sağlanması büyük önem arz etmektedir.

Gerçekleştirilen tez çalışmasının amacını, CFRP kompozitlerin çevresel (kenar) frezelenmesinde karbür kesici takımların yüzeylerinin PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) yöntemi kullanılarak farklı nitrür esaslı bileşiklerle kaplanarak aşınma dayanımlarının ve kesme performanslarının artırılması olmaktadır. Ayrıca yüzeyi PVD yöntemi ile farklı

nitrid esaslı bileşiklerle kaplanan kesici takımların, CFRP kompozitlerin işlenmesinde yüzey hassasiyeti ve ölçü tutumları üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada, kaplamasız karbür kesici takımlar, PVD kaplamalı nanotabakalı AlTiN/TiN, çok tabakalı nanokompozit TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, tek tabakalı TiAlN ve TiN kesici takımlar kesme parametresi olarak 100, 200 ve 300 m/dak kesme hızları, 0,05-0,15 ve 0,25 mm/di ilerleme oranları ve 1 mm sabit kesme genişlikleri kullanılarak test edilmiştir. Frezeleme deneylerinde elde edilen bileşik kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve delaminasyon miktarları değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, tala kaldırma işleminden sonra kesici takımlar taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı spektrometre (EDS) ve elementel haritalama (mapping) görüntüleri alınarak kesici takım yüzeyindeki kaplamaların mikro yapısal incelemeleri ve ayrıntılı analizleri yapılmıştır. Elde edilen kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması sonuçlarına göre kesici takımlara uygulanan kaplama işlemlerinin kesici takımların işlenebilirlik performansını arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Karbon fiber takviyeli plastik (CFRP), çevresel frezeleme, delaminasyon, kesme kuvveti, ortalama yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması.

Bilim Kodu

625.02.04

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF CARBON FIBER REINFORCED PLASTIC COMPOSITES USING THIN FILM COATED CARBIDE TOOLS

Dervi ÖZKAN

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Mustafa Sabri GÖK

Second Advisor: Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAO LANLI

Bartın-2017, pp: XXII+180

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites have been used in a wide range of applications including space, aviation and automotive industries owing to their superior characteristics such as high bearing capacity, strength, rigidity, low density and their lightness. Due to the abrasive structure of CFRP composites, cutting tools used in the milling of these materials complete their economic lives in shorter periods as a result of short cyclic processes. Resulting tool wear induce structural failures such as delamination, fiber breakage, uncut fibers and surface roughness. Provision of optimum surface characteristics holds particular importance in fields such as aviation industry where surface quality has a substantial effect on quality of components.

The aim of this thesis study was to increase the wear resistance and cutting performance of cutting tools, used in the contour milling of CFRP composites, by deposition of different type of nitride based compounds on carbide cutting tools with PVD (physical vapor deposition) method. The effect of use of cutting tools, PVD-coated with different nitride-based compounds, on the surface quality and dimensional accuracy of CFRP composite materials was also investigated.

In the present research, uncoated carbide cutting tools, PVD coated nano-layer AlTiN/TiN, multilayer nano-composite TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, single layer TiAlN and TiN cutting tools were tested with 100, 200 and 300 m/min cutting speeds, 0,05-0,15 and 0,25 mm feed per tooth feed-rate, and 1 mm cutting width. The resultant cutting force, average surface roughness, tool wear and delamination rates, resulting from milling experiments, were evaluated. In addition, following the machining process, cutting tools were subjected to scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), and elemental mapping analyses to make an in-depth analysis of the coated cutting tools' surface microstructure. According to the obtained cutting force, average surface roughness and tool wear test results, the applied coating processes increased the machinability performance of cutting tools.

Key Words

Carbon fiber reinforced plastic, CFRP, peripheral milling, delamination, cutting force, mean surface roughness, tool wear.

Science Code

625.02.04

Ç NDEK LER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
Ç NDEK LER.....	ix
EK LLER D Z N	xiii
TABLolar D Z N	xix
S MGELER VE KISALTMALAR D Z N	xx
BÖLÜM 1 G R	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL TEMELLER	5
2.1 Kompozit Malzemeler.....	5
2.2 Karbon Fiber Takviyeli Plastik (CFRP) Kompozitler	6
2.2.1 CFRP Kompozit Malzeme Üretimi.....	8
2.2.2 CFRP Kompozit Malzeme Kullanım Alanları	11
BÖLÜM 3 L TERATÜR ARA TIRMASI	14
3.1 CFRP Kompozit Malzeme Üzerine Uygulanan Tala lı malat ile lgili Çalı malar	14
3.2 CFRP Kompozit Malzemelerin lenmesi ile lgili Yapılan Çalı malar.....	34
3.3 Literatür Ara tırmasının Genel De erlendirilmesi.....	49
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOD	60
4.1 Deney Numunesi	60
4.2 Kesici Takımlar	62
4.3 Takım Tutucu	63
4.4 Frezeleme lemi	64

4.5	Kesme Kuvveti Ölçümü	64
4.6	Yüzey Pürüzlülü ü Ölçümü	65
4.7	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	66
4.8	Enerji Da ılımlı Spektrometre (EDS)	67
4.9	Kaplama Cihazı	68
4.10	Ön Deneylerin Yapılması ve Elde Edilen Bulgular	68
4.10.1	Kaplamasız Karbür Kesici Takım Ön Deneyleri	69
4.10.2	leme Parametrelerinin Belirlenmesi	73
BÖLÜM 5 DENEY/ANAL Z SONUÇLARI VE TARTI MA.....		75
5.1	Farklı Kesme Hızlarında Elde Edilen Ortalama Yüzey Pürüzlülü ü De erlerindeki De i im	76
5.1.1	$V_c = 100$ m/dak Kesme Hızında Farklı lerleme Oranlarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im	76
5.1.2	$V_c = 200$ m/dak Kesme Hızında Farklı lerleme Oranlarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im	80
5.1.3	$V_c = 300$ m/dak Kesme Hızında Farklı lerleme Oranlarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im	83
5.2	Farklı Kesme Hızlarında Elde Edilen Tala Hacmi - Ortalama Yüzey Pürüzlülü ü li kisi	86
5.2.1	$V_c = 100$ m/dak Kesme Hızında, Farklı lerleme Oranlarında ve Kaldırılan Tala Hacmi Miktarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im.....	87
5.2.2	$V_c = 200$ m/dak Kesme Hızında, Farklı lerleme Oranlarında ve Kaldırılan Tala Hacmi Miktarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im.....	90
5.2.3	$V_c = 300$ m/dak Kesme Hızında, Farklı lerleme Oranlarında ve Kaldırılan Tala Hacmi Miktarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im.....	93
5.2.4	CFRP Kompozit Malzemedeki Yüzey Pürüzlülü ü De erlerinin Genel De erlendirilmesi	95
5.3	Farklı Kesme Hızlarında Elde Edilen Kesme Kuvveti De erlerindeki De i im ..	95
5.3.1	$V_c = 100$ m/dak Kesme Hızında Farklı lerleme Oranlarına Ba lı Olarak Kesme Kuvvetlerindeki De i im	96
5.3.2	$V_c = 200$ m/dak Kesme Hızında Farklı lerleme Oranlarına Ba lı Olarak Kesme Kuvvetlerindeki De i im	100

5.3.3	$V_c = 300$ m/dak Kesme Hızında Farklı İlerleme Oranlarına Ba lı Olarak Kesme Kuvvetlerindeki De ğerimleri	103
5.3.4	Kesme Kuvvetlerinin Genel De ğerlendirilmesi	105
5.4	Kesici Takım A ınması	106
5.4.1	Dü ğük İlerleme Ko ullarındaki Kesici Takım A ınması ($V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di ve $a_e = 1$ mm)	109
5.4.2	Yüksek İlerleme Ko ullarındaki Kesici Takım A ınması ($V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di ve $a_e = 1$ mm)	115
5.4.3	Farklı Kesme Hızlarındaki Kaplamalı ve Kaplamasız Kesici Takımların İlerleme Oranlarına Ba lı Olarak Takım A ınma Üzerindeki De ğerimleri Grafikleri	121
5.5	İlerleme Parametrelerine Ba lı Olarak Elde Edilen Delaminasyon Derinliği De ğerimlerindeki De ğerimleri	125
5.5.1	$V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	126
5.5.2	$V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	129
5.5.3	$V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	132
5.5.4	$V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	135
5.5.5	$V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	138
5.5.6	$V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	141
5.5.7	$V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de ğerimleri	143

5.5.8	$V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im	145
5.5.9	$V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im	148
5.5.10	CFRP kompozit Malzemede Delaminasyon Derinli i Bulgularının Genel De erlendirilmesi	151
5.6	CFRP Kompozit Malzemede Fiber Oryantasyon Aç ıları Bulguları	153
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNER LER		156
KAYNAKLAR.....		162
ÖZGEÇM		179

EK LLER D Z N

ekil	Sayfa
No	No
1. Kompozit malzeme yapısının ematik gösterimi.....	5
2. a) CFRP kompozit malzeme ve içyapısının gösterimi, b) CFRP kompozit malzemesinin yüzey görünümü	7
3. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin fiber oryantasyon açılarının (foa) gösterimi.....	8
4. Tek yönlü ve çift yönlü fiber sarma gösterimi	9
5. Kuma dokuma tiplerinin gösterimi; a) Düz doku, b) Saten doku, c) Twil doku	10
6. PAN ve PITCH bazlı karbon fiberin üretim masası.....	10
7. Askeri uçak (hayalet uçak) görüntüsü.....	12
8. Türk insansız hava aracının (ANKA) görüntüsü	13
9. Formula 1 yarış arabasındaki karbon fiber takviyeli süspansiyon ve vites kutusu görünümü.....	13
10. Foa'larının ematik görüntüsü	16
11. Kesici takımın farklı noktalarındaki fiber kesme açılarının ematik görüntüsü	16
12. a) Eccr aralı ındaki ortalama delaminasyon, b) Kanal frezeleme sırasındaki delaminasyon faktörünün ematik gösterimi	17
13. Delaminasyon hasarının (maksimum hasar-Wmax ile nominal genişlik-W) ematik görüntüsü	18
14. Yukarı yönlü freze uygulamasında kompozit malzemenin yüzeyinde oluşan delaminasyon hasarlarının gösterimi	20
15. Kesici takım aşınmasının (kesme hızı 179 m/dak, ilerleme oranı 0,05 mm/di); a) Mikroskoptaki ve b) SEM'deki görünümü	26
16. A ırılı kesme koşullarında ilerleme yüzeylerin görünümü	27
17. A ırılı kesme koşullarındaki delaminasyon gösterimi	28
18. Yanak aşınması; a) ve b) 0,025 m/di ve 160 m/dak'daki aşınma, ilerleme oranı 0,025 m/di c) 160 m/dak, d) 200 m/dak	30
19. Karbür helisel freze takımı görünümü	31
20. a) E (10°/7°) takımla ilerleme yüzey, b) C (0°/14°) takımla ilerleme yüzey, c) I (10°/21°) takımla ilerleme yüzey	37
21. d) 30° fiber açılı, e) 90° fiber açılı, f) 90° fiber açılı ve E takımı ile ilerleme içyapı kesiti	38

22.	a) 0° ve 150° foa'daki delaminasyon, b) 150°, N takımı ile i lenmi , c) 0°, E takımı ile i lenmi	39
23.	Çevresel frezeleme deneylerinde kullanılan CFRP kompozit malzemenin görüntüsü.....	61
24.	Kesici takımların görüntüsü.....	62
25.	Deneyleerde kullanılan takımı tutucu.....	63
26.	Deneyleerde kullanılan CNC dik i leme merkezi ve deney düzene inin genel görüntüsü.....	64
27.	Dinamometre ve veri aktarma elemanlarının görüntüsü.....	65
28.	CFRP kompozit malzemenin be noktasından alınan uçlu tip yüzey pürüzlülük cihazının ölçüm görüntüsü.....	66
29.	TESCAN-MIAI3 model taramalı elektron mikroskop cihazının görüntüsü.....	67
30.	Kesici takımın SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	67
31.	Au/Pd kaplamasında kullanılan Q15OT-ES modelindeki kaplama cihazının görünümü.....	68
32.	Çevresel frezeleme i leminde ön kesme deneyi.....	69
33.	CFRP kompozit malzeme SEM görüntüleri; a) Twill dokuma yapısı, b) Foa'ları, c) Fiberlerin yapısı.....	69
34.	Deny düzene inin genel görünümü ve veri elde etme görüntüsü.....	71
35.	$V_c = 100$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kaplamasız kesici takımlardaki yanak a ınmanın SEM görüntüsü.....	72
36.	$V_c = 300$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kaplamasız kesici takımlardaki yanak a ınmanın SEM görüntüsü.....	73
37.	Deny/analiz sonuçları ve tartı ma bölümü akı eması.....	75
38.	$V_c = 100$ m/dak ve farklı ilerleme oranlarındaki R_a 'nın gösterimi: a) lk paso, b) Onuncu paso ve c) Yirminci paso.....	79
39.	$V_c = 200$ m/dak ve farklı ilerleme oranlarındaki R_a 'nın gösterimi: a) lk paso, b) Onuncu paso ve c) Yirminci paso.....	82
40.	$V_c = 300$ m/dak ve farklı ilerleme oranlarındaki R_a 'nın gösterimi: a) lk paso, b) Onuncu paso ve c) Yirminci paso.....	85
41.	Deneyleerde i lenen CFRP plaka gösterimi.....	86
42.	$V_c = 100$ m/dak kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında ve kaldırılan tala hacmi miktarına ba lı olarak elde edilen R_a de erlerinin de i im grafikleri.....	89

43.	$V_c = 200$ m/dak kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında ve kaldırılan tala hacmi miktarına ba lı olarak elde edilen R_a de erlerinin de i im grafikleri.....	92
44.	$V_c = 300$ m/dak kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında ve kaldırılan tala hacmi miktarına ba lı olarak elde edilen R_a de erlerinin de i im grafikleri.....	94
45.	$V_c = 100$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarına ba lı olarak F_R 'lerin de i im grafikleri, a) lk paso, b) Onuncu paso, c) Yirminci paso.	99
46.	$V_c = 200$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarına ba lı olarak F_R 'lerin de i im grafikleri, a) lk paso, b) Onuncu paso, c) Yirminci paso.	102
47.	$V_c = 300$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarına ba lı olarak F_R 'lerin de i im grafikleri, a) lk paso, b) Onuncu paso, c) Yirminci paso.	104
48.	CFRP kompozit malzeme çevresel frezeleme kesme i lemi görüntüsü.....	107
49.	Kesici takım uç bölgesinin görüntüsü.....	107
50.	Kesici takım arka bölgesinin görüntüsü.....	108
51.	$V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu ve yirminci pasosundaki SEM görüntüleri.....	109
52.	$V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	111
53.	$V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM ve elementel haritalama görüntüsü.....	112
54.	$V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	113
55.	$V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM ve elementel haritalama görüntüsü.....	114
56.	$V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu ve yirminci pasosundaki SEM görüntüleri.....	115
57.	$V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl- AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.....	117

58. $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-
AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM ve elementel
haritalama görüntüsü..... 118
59. $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-
AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM görüntüsü ve
EDS analizi..... 119
60. $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-
AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM ve elementel
haritalama görüntüsü..... 120
61. $V_c = 100$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarında kesici
takımların a) Onuncu ve b) Yirminci pasolarından elde edilen yanak a ınma
de i im grafi i. 123
62. $V_c = 200$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarında kesici
takımların a) Onuncu ve b) Yirminci pasolarından elde edilen yanak a ınma
de i im grafi i. 124
63. $V_c = 300$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarında kesici
takımların a) Onuncu ve b) Yirminci pasolarından elde edilen yanak a ınma
de i im grafi i. 125
64. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme
uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D
de i im grafi i. 127
65. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme
uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM
görüntüleri..... 128
66. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme
uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D
de i im grafi i. 130
67. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme
uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM
görüntüleri..... 131
68. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme
uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D
de i im grafi i. 133

69. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri..... 134
70. $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i. 136
71. $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri..... 137
72. $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i. 139
73. $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri..... 140
74. $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i. 141
75. $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri..... 142
76. $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i. 143
77. $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri..... 144
78. $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i. 146
79. $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri..... 147

80. $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i. 149
81. $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri. 150
82. $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di ve $a_e = 1$ mm'deki SEM görüntüleri. 152
83. $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di , $a_e = 1$ mm'deki SEM görüntüleri. 152
84. CFRP kompozit malzemede foa'larının gösterimi. 154
85. CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi esnasında olu an hasarların gösterimi; a) 90° foa'da, b) $\pm 45^\circ$ foa'da, c) 0° foa'da ve d) 0° - 90° foa'larında. 155

TABLolar D Z N

Tablo	Sayfa
No	No
1. ncelenen makalelerle ilgili literatür özet tablosu	52
2. CFRP kompozit malzeme özellikleri.....	61
3. Frezeleme i leminde kullanılan kesici takımlar ve özellikleri	62
4. leme parametreleri ve seviyeleri	70
5. Çevresel frezeleme deneylerinde kullanılan deneysel parametrelere ait veriler	73
6. Paso sayısına ba lı olarak kaldırılan tala hacmi de erleri	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

μm	: Mikron metre
Mpa	: Mega Paskal
W	: Nominal genişlik
W_{max}	: Maksimum hasar
$^{\circ}\text{C}$: Derece santigrat

KISALTMALAR

a_p	: Kesme derinliği, mm
a_e	: Kesme genişliği, mm
ACF	: Aktifleştirilmiş karbon fiber
ANN	: Yapay sınırları
ANOVA	: Varyans analizi yöntemi (Analysis of variance)
Al_2O_3	: Alüminyum oksit
AlTiN	: Alüminyum titanyum nitrid
BUE	: Yığıntılı tala (Built up edge)
CBN	: Kübik bor nitrid
CFRP	: Karbon fiber takviyeli plastik
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
CNC	: Bilgisayarlı nümerik kontrol
D_D	: Delaminasyon derinliği, mm
DLC	: Elmas benzeri karbon (Diamond-like Carbon)
DoE	: Deney tasarımı (Design of experiment)
EDS	: Enerji dağılımlı spektrometre (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)
Eccr	: Etkili kritik kesme aralığı
f_z	: Kesici hız ilerleme oranı, mm/di
F_R	: Bileşik kesme kuvveti, N
F_d	: Delaminasyon faktörü
F_r	: Radyal kesme kuvveti bileşeni, N
F_t	: Teğetsel kesme kuvveti bileşeni, N
foa	: Fiber oryantasyon açısı
fho	: Fiber hacim oranı

FEM	: Sonlu elemanlar metodu
GFRP	: Cam fiber takviyeli plastik
HSC	: Yüksek hızda kesme
HSS	: Yüksek hız çeli i
ISO	: Uluslararası standart (International organization of standardization)
KFRP	: Kevlar fiber takviyeli plastik
N	: Newton
nl	: Nanotabakalı (nanolayer)
nc	: Nanokompozit (nanocomposite)
PAN	: Poliakrilonitril
PITCH	: Ticari karbon fiber zift
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
PCD	: Çok kristalli elmas
RTM	: Reçine transfer kalıplama
R _a	: Ortalama yüzey pürüzlülü ü, µm
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
SiAlON	: Silisyum alüminyum nitrür
TAI	: Türk havacılık ve uzay sanayii a. .
Ti	: Titanyum
T HA	: Türk insansız hava aracı
TiN	: Titanyum nitrür
TiAlN	: Titanyum alüminyum nitrür
TiCN	: Titanyum karbon nitrür
TiAlSiN	: Titanyum alüminyum silisyum nitrür
V _c	: Kesme hızı, m/dak
V _B	: Serbest yüzey a ınması derinli i, mm
WC-Co	: Volfram karbür-kobalt esaslı karbür

BÖLÜM 1

G R

Do ada saf halde var olan ve üretilen birçok malzeme/malzeme grubu bulunmaktadır. Ya am standartlarımızı geli tirmek için mevcut malzemeler yapı ve sınıflarına göre ayrılmakta ve kullanım yerine göre tercih edilmektedir. Bu nedenle mühendisler, ürünlerin tasarımında ve üretiminde 50,000'den fazla malzeme arasından uygun malzemeyi seçme zorlu uyla kar ı kar ıya kalmaktadırlar (Mazumdar, 2002; Ashby ve Jones, 2005). Kullanımda olan malzeme grupları; geleneksel malzemeler (metaller, seramikler, plastikler vd.) olabilece i gibi, birden fazla malzemenin farklı özellik ve kombinasyonlarından yararlanılan ve yenilikçi tekniklerle bir araya getirildi i “ileri malzemeler” olarak adlandırılan malzemelerden de meydana gelebilirler.

Malzemeler genel olarak karakteristik özelliklerine göre (sertlik, dayanım, yo unluk ve erime sıcaklı ı gibi); metaller, plastikler, seramikler ve kompozit malzemeler olmak üzere ba lıca dört bölüme ayrılırlar. Bu malzemelerin her biri farklı özelliklere, yapıları ve uygulama alanlarına sahip olmakla birlikte, kompozit malzemeler olarak adlandırılan malzeme sınıfı son yıllarda farklı birçok uygulama için yaygın ve kullanı lı mühendislik malzemeleri haline gelmi tir (Askeland vd., 1996; Kalpakjian ve Schmid, 2000; Mazumdar, 2002; Rusinek, 2010; Karpat vd., 2012; Koboevi vd., 2012; Phadnis vd., 2013). Üstün özelliklerinden dolayı kompozit malzemelerin bilim ve mühendisli in de i ik alanlarındaki kullanımları her geçen gün artmaktadır (Chen, 1996). Kompozit malzemeler iyi bir ekilde tasarlandıkları takdirde; a ırlık, a ınma direnci, yorulma ömrü, korozyon direnci, rijitlik, mukavemet ve ısı yalıtımı gibi özelliklerde çok üstün nitelikler göstermektedir (Jones, 1999; Grzesik, 2008). Kompozit malzemelerin yapısının heterojen olması, yapısı homojen olan geleneksel malzemelere göre fiziksel ve kimyasal de i iklikler göstermektedir. Olu an yapısal farklılıkların metalik malzemeler ile kompozit malzemelerin tala lı imalat ile i lenmesinde kayda de er bir de i ime yol açmı tir (Komanduri, 1997). Kompozit malzemelerin kullanıldı ı alanları uzay, havacılık ve savunma endüstrileri ba ta olmak üzere otomotiv, in aat, denizcilik endüstrileri olu turmaktadır (Dandekar ve Shin, 2012). Matris ve takviye fazı olarak iki bile enden olu an kompozit malzemelerde matris fazı olarak metal, seramik, plastik malzemeler

kullanılırken takviye malzemesi olarak ise karbon, cam ve kevlerden üretilmiş fiberler, parçacık, partikül, kılcal kristal ve yassı plakalar kullanılmaktadır. Takviye fazı olarak fiber malzemelerin kullanıldığı karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) malzemeler, havacılık endüstrisinde üstün mekanik özellikleri nedeniyle en çok tercih edilen ileri kompozit malzeme sınıfına girmektedir. Otomotiv endüstrisinde ise, otomobillerin görünüm ve performans özelliklerini iyileştirmek ve yakıt tüketimini azaltmak için CFRP kompozit malzemeler güncel olarak kullanım bulmaktadır (Mazumdar, 2002). CFRP kompozit malzemelere nihai şekillerini verebilmek için delme, frezeleme ve tornalama gibi talaşlı imalat işlemlerinden yararlanılmaktadır (Kim vd., 1992; Slamani vd., 2015; Hejjaji vd., 2016; Maegawa vd., 2016). CFRP kompozit malzemenin anizotropik, homojen olmayan (Bhatnagar vd., 1995; Guu vd., 2001; Marques vd., 2009; Shyha vd., 2009; Iliescu vd., 2010; Wang vd., 2013) ve aşındırıcı (abrasif) yapısı (Komanduri, 1997; Teti, 2002; Iliescu vd., 2010; Li vd., 2010; Khairussihma vd., 2011; Karpas vd., 2012; Makhdom vd., 2012; Zitoune vd., 2012; Karpas ve Polat, 2013), sebebiyle işlenmesi sırasında kesici takımında meydana gelen deformasyon ve deformasyonlara bağlı olarak malzeme yapısında hasarlar oluşmakta ve yüzey kalitesi kötüleşmektedir (Kople vd., 1983; Mizutani vd., 2000; Dold vd., 2012; SenthilKumar vd., 2013). Kesme işlemi esnasında oluşan olumsuzluklar, çatlamalara ve fiberlerin ayrılmalarına sebep olabilmektedir (Bhatnagar vd., 1995). Prosesin verimli bir şekilde yürütülmesi ve düzgün yüzeyli bir parçası elde edebilmek için, doğru bir talaşlı imalat işlemi ile boyutsal kararlılığın ve arayüzey kalitesinin sağlanması gerekmektedir (Rahman vd., 1999).

CFRP kompozit malzemelerinin boyutlandırılmasında frezeleme yöntemi sıklıkla kullanılan bir prosestir. Frezeleme işleminde yüzey kalitesi, üretilen parçaların montajdaki durumlarını etkilemektedir. Yüzey kalitesi kesme parametrelerine, takım geometrisine ve kesme kuvvetlerine bağlı olarak değişim göstermektedir (Davim ve Reis, 2003). CFRP kompozit malzemelerin frezeleme işlemi esnasında meydana gelen takım aşınması kesme kuvvetlerini artırmakta ve tabaka içi veya katmanlar arası delaminasyona neden olmaktadır (Karpas vd., 2012). Bu nedenle, CFRP kompozit malzemenin frezeleme işleminde kullanılan takımların aşınma dayanımı yüzey kalitesi ile doğrudan ilişkilidir (Karpas ve Polat, 2013). Bunun yanında kullanım esnasındaki hızlı takım aşınması ve sık sık takım değişimli üretilimin aksamasına sebebiyet vermektedir (Marques vd., 2009). Kompozit malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan delaminasyonun önüne geçebilmek için kesme kuvvetlerinin azaltılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Kople vd., 1983; Ho-Cheng ve

Dharan, 1990; Morandau vd., 2011; Sorrentino ve Turchetta, 2011; Sorrentino ve Turchetta, 2014). İleri üretim teknolojilerinden biri olan yüksek hızda kesme (HSC) uygulaması üretim maliyetlerini azaltmak ve üretim miktarını artırmakla birlikte, kesme kuvvetlerinin de azalmasına yardımcı olmaktadır (Karnik vd., 2008). CFRP kompozit malzemesinin delme işleminde yüksek hız çeliği ve karbür takımlar kararlaştırıldı mı, daha düşük aşınma oranından dolayı karbür takımlar ile daha düşük kesme kuvvetlerinin elde edilmesi mümkün olmaktadır (Shyha vd., 2009). Bunun yanı sıra, nanokompozit kaplamalı kesici takımlar ile yapılan delme işlemlerinde kesme kuvvetlerinde azalma gözlemlenmiştir (Zitoune vd., 2012). Yüksek hız ve düşük ilerleme oranı, CFRP kompozit malzemelerin işlenmesi için istenilen parametrelerdendir (Ramulu vd., 2001).

CFRP kompozit malzemesinin işlenmesinde karbür takımlar sıklıkla kullanılmaktadır (Teti, 2002). Karbür takımların, fiberlerin oryantasyonuna karşı duyarlılığı bulunmaktadır (Kolar vd., 2014). İşlenmeleri sırasında gözlenen erken takım aşınması nedeniyle, takım ömrünü artırmak ve üretilen parçaların yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla karbür takımlar üzerine CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) ve PVD yöntemleri gibi yöntemler kullanılarak ince film kaplama üretimi gerçekleştirilmektedir.

Üretilen kaplamalar ince film kaplamalar ile soğutma sıvısının fonksiyonları karılanmakta ve böylece kesici takımın temas karakteristikleri ve aşınma davranışları geliştirilebilmektedir. Talaşlı imalatta farklı birçok tip kaplamalı karbür takımlar bulunmaktadır. Karbür takımların aşınma direncini artırmak için TiN, TiAlN, TiCN, DLC (Elmas benzeri karbon kaplama) vb. gibi tek tabakalı kaplamalar ve/veya sıralı kombinasyonlarından oluşan çok tabakalı kaplamaların kullanımı sayesinde, kesici takım ömrü geliştirilebilmektedir (Hosokawa vd., 2014; Kusuyama vd., 2014; Qin vd., 2014; Konneh vd., 2015). Birden fazla dişe sahip TiAlN kaplamalı kesici takımların CFRP kompozit malzemenin son işlemleri için çok kristalli elmas (PCD) takımlardan daha üstün özelliklere sahip olduğu, TiAlN/TiN gibi çok katmanlı kombinasyonlarının işleme uygulamasında kesme hızının ve ilerleme oranının artmasıyla birlikte kesme momentinin, itme kuvvetinin artması ve yanak aşınmasının olduğu literatürde rapor edilmiştir (Lacalle vd., 2009; Chatelain ve Zaghbani, 2012; Isbilir ve Ghassemieh, 2012).

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, havacılık endüstrisinde yoğun olarak kullanılan ileri kompozit malzeme sınıfından olan CFRP kompozit malzemenin kaplamasız, PVD prosesi

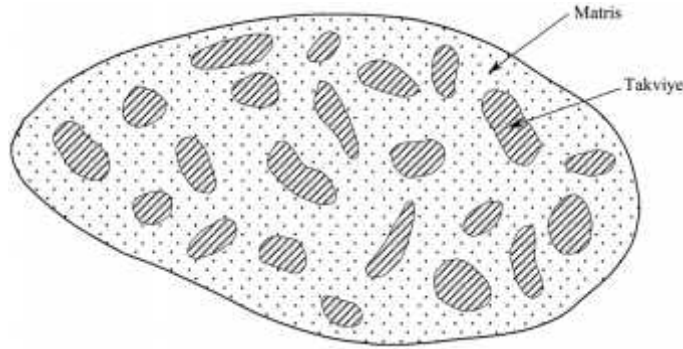
kullanılarak üretilmi tek tabakalı TiAlN ve TiN, nanotabakalı (nl) AlTiN/TiN ve çok tabakalı nanokompozit (nc) TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile i lenebilirli i ara tırılmı tır. CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde, kesme hızı, ilerleme oranı, kesme kuvveti ve ortalama yüzey pürüzlülü ü (R_a) gibi i leme ve yüzey parametrelerinin; kesici takımların a ınması üzerindeki etkileri ara tırılarak optimum de erlerinin tespit edilmesi ve i parçası üzerindeki hasar mekanizmalarının ayrıntılı olarak incelenmesi amaçlanmı tır.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin istenen özelliklerini bir araya getirmek amacıyla, bu malzemelerin makro yapıda birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Jones, 1999; Kalpakjian ve Schmid, 2000; Miracle ve Donaldson, 2001; Mitchell, 2004). Bu yeni malzemeler tarihte ilk olarak kabuk ve saman karışımı olarak inaatlarda yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda polimer esaslı kompozit malzemelerin geliştirilmesiyle birlikte üreticilerin ilgisini çekmiş ve böylelikle mühendislik malzemeleri olarak kullanılmaya başlanmıştır (Mazumdar, 2002). Günümüzde ise yüksek mukavemet ve hafiflik istenen uygulamalarda metal malzemelere kıyasla daha fazla tercih edilmektedirler. Kompozit malzemeden imal edilen parçalar tasarlanırken, malzemenin kullanılacağı alana yönelik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Matris ve takviye fazı olarak iki bileşenden oluşan kompozit malzemelerde matris fazı (metal, seramik, plastik, vb.) ve takviye fazı (karbon, seramik, kevlar, vb.) olarak farklı malzemeler kullanılabilir (Şekil 1).



Şekil 1: Kompozit malzeme yapısınınematik gösterimi (Berthelot, 1999).

Genel özellikleri bakımından kompozit malzemeler:

- Mikroskobik olarak heterojendir,
- Bileşen malzemelerin mekanik özelliklerinde büyük farklılıklar mevcuttur,
- Bileşen malzemelerin hacimsel oranı % 10'dan büyüktür ve

- Elde edilen kompozit malzeme, performansta iyile me sa lamalıdır (Wang vd., 2011).

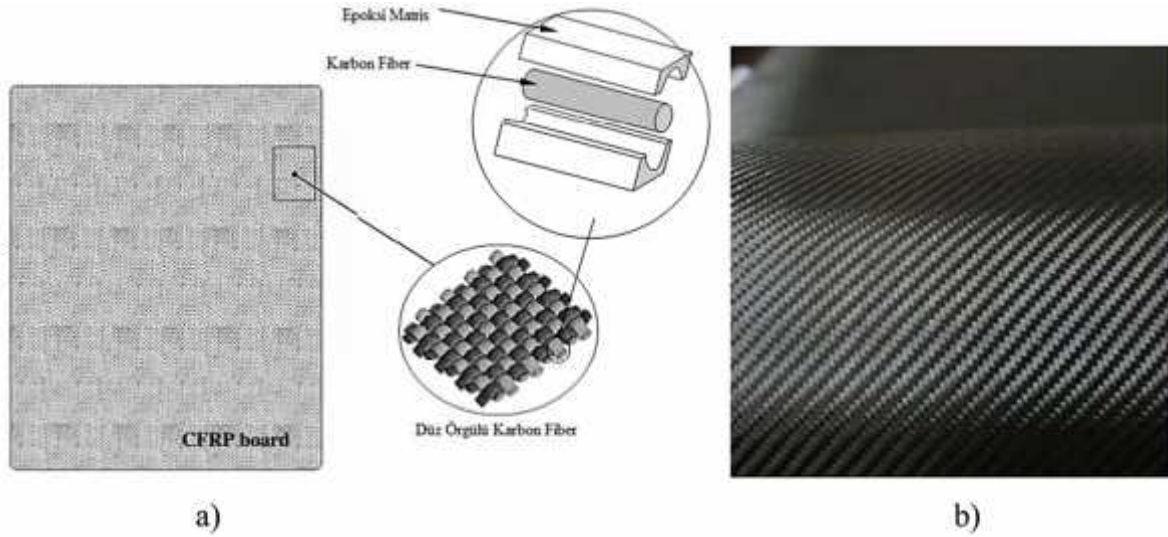
Kompozit malzemelerin bilim ve mühendisli in de i ik alanlarındaki kullanımları gün geçtikçe artmaktadır (Chen, 1996). Di er metalik malzemelere göre, belirgin anizotropik, heterojen yapıları ve plastik deformasyona u ramayan özellikleri kompozit malzemeleri ön plana çıkarmaktadır (Arul vd., 2006; Gaitonde vd., 2008). Kompozit malzemeyi olu turan bile enlerin oranının ya da kompozit yapısının iyi bir ekilde tasarlanması durumunda daha iyi özelliklerin elde edilmesi, kompozit malzemelerin önemli üstünlüklerindedir. Kompozit malzemeler di er konvansiyonel malzemeler ile kıyaslandı ında da bu malzemelerin özellikle elastisite/yo unluk ve dayanım/yo unluk oranlarında üstün oldukları görülmektedir. Ayrıca; a ırlık, a ınma direnci, yorulma ömrü, korozyon direnci, rijitlik, mukavemet, ısı yalıtımı gibi özellikler kompozit malzeme yapısı ile geli tirilebilmektedir (Jones, 1999; Staab, 1999; Grzesik, 2008). Uzay ve havacılık endüstrisindeki sistemlerin performanslarındaki iyile meler, malzeme ve tasarım yakla ımlarındaki yeniklerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Romano vd., 2009).

2.2 Karbon Fiber Takviyeli Plastik (CFRP) Kompozitler

Bilim açısından bilinen en önemli kimyasal elementlerden birisi karbondur. Karbonu ya am için bir art haline getiren, bu molekülün yeryüzündeki hemen hemen her eyin (arabamızın lastiklerinden bilgisayarımıza, kullandı ımız do al gazdan selüloza kadar) temelini te kil eden bir element olmasıdır. Karbon, yakla ık olarak 1,7 milyon kadar bile ik yapabilmektedir. Karbonun en önemli özelliklerinden birisi, birbiri ardınca dizilerek çok kolay zincir olu turabilmesidir. Bu nedenle karbon fiberler, yakın zamandan toplum için gerekli ve geni bir kullanımı olan kömür, petrol ve elmaslarla birlikte yüksek performanslı uygulamalar için elveri li bir malzeme haline gelmektedir ve organik fiberlerin termal dönü ümü ile ya da polimerik ön malzemelerden elde edilmektedirler (Buckley ve Edie, 1993; Berthelot, 1999; Ferreira vd., 2001; Morgan, 2005; Asker vd., 2014).

Dü ük yo unlu a, yüksek mukavemete ve sertli e sahip, cam fiberlerden daha pahalı olan grafit fiberlere **Karbon Fiber Takviyeli Plastik (CFRP)** malzeme denilmektedir (ekil 2) (Kalpakjian ve Schmid, 2000). CFRP kompozit malzemelerin, son derece yüksek çekme

dayanımı/a ırlık oranları, çekme modülü/a ırlık oranları, dü ük termal uzama katsayısı, yüksek yorulma dayanımları ve termal iletkenlikleri önemli avantajlarındandır. Yüksek elektrik iletkenli i ve yüksek maliyetli ile birlikte dü ük kopma uzaması ve darbe dirençleri ise dezavantajlarından sayılmaktadır (Mallick, 2008).



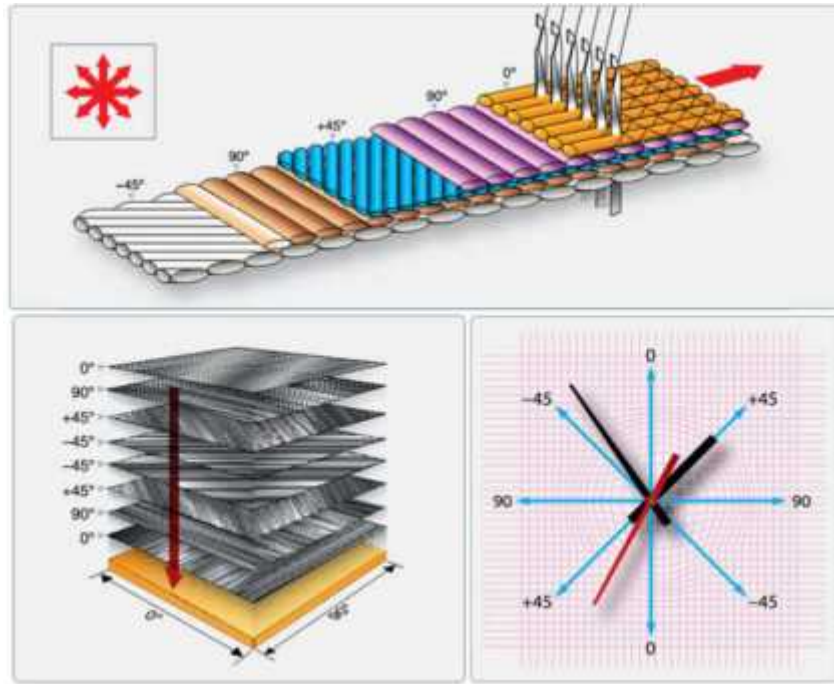
ekil 2: a) CFRP kompozit malzeme ve içyapısının gösterimi (Karnik vd., 2008), b) CFRP kompozit malzemesinin yüzey görünümü (ólkiewski, 2011).

Karbon fiberler genellikle % 80 ile 95 oranında karbon içeren, kısa ya da sürekli olabilen, çok iyi mekaniksel özelliklere, 2000 kg/m^3 'den daha az yoğunluğa ve aynı zamanda, hafif olmalarının yanında $2,268 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğuna sahip olan malzemelerdir. Teorik olarak sıfır ısı genleşme katsayısı, uygun sönümlenme özelliği ile birlikte yüksek rijitlik ve 4500 MPa 'a kadar yüksek özgül mukavemet özelliklerinden dolayı tercih edilmekte ve karbon fiberlerin yapısal bütünlüğü bozulmadan $3000 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar dayanabilmektedirler. Bu malzemeler düşük yoğunluğuna sahip olmasına rağmen diğer geleneksel malzemelere göre en fazla yük taşıyan malzeme olup, mükemmel ısı (bakırdan bile daha yüksek) ve elektriksel iletkenlik ile $145000\text{-}220000 \text{ MPa}$ derinde yüksek elastite modülüne, $800\text{-}1200 \text{ MPa}$ çekme mukavemetine sahip ileri kompozit malzemeler sınıfındadır. Ayrıca oda sıcaklığında nemden veya asit ve solventlerden etkilenmezler. $5\text{-}8 \text{ }\mu\text{m}$ çapında küçük 'turbostratik' grafit kristallerinden ve allotropik biçimde olmaktadır. Eksenel yönde yüksek mukavemet ve modül elde etmek için taban düzleminin eksene paralel olması gerekmektedir. Karbon fiberden yapılmış kompozitler 1020 çelik sınıfı yapısal parçalardan 5 kat daha kuvvetli ve beşte biri ($1/5$) ağırlığında olmaktadır. 6061 alüminyum ile karşılaştırıldığında ise 7 kat daha kuvvetli ve 2 kat daha rijit iken 1,5 kat daha hafiftir ve

metal parçaların yerini almasıyla beraber ticari/endüstriyel kullanım alanlarında ve uygulamalarında hızlı bir artış sağlamaktadırlar (Figueiredo vd., 1989; Hull ve Clyne, 1996; Berthelot, 1999; Kalpakjian ve Schmid, 2000; Miracle ve Donaldson, 2001; Teti, 2002; Morgan, 2005; Asthana vd., 2005; Soutis, 2005; Mallick, 2008, Serp ve Figueiredo 2009; Shyha vd., 2009; Callister ve Rethwisch, 2009; Chawla, 2012, Pekat vd., 2012).

2.2.1 CFRP Kompozit Malzeme Üretimi

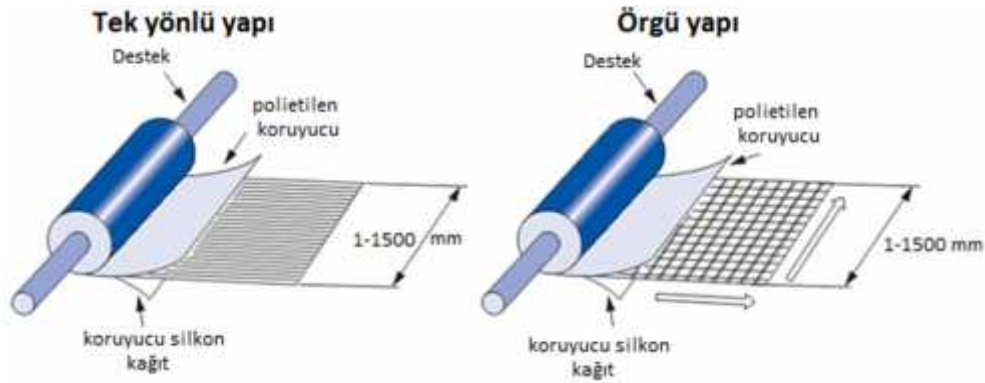
Fiber takviyesi kompozit bir yapı içerisinde yerle tirilme yönüne (oryantasyon) fazlasıyla bağımlı olmaktadır (ekil 3). Çünkü fiber oryantasyonu optimum mekanik özellikleri üretmekte ve yapının mukavemeti ile sertliğini artırmaktadır (Wang vd., 2016).



ekil 3: Fiber takviyeli kompozit malzemelerin fiber oryantasyon açılarının (foa) gösterimi (AMT-Airframe).

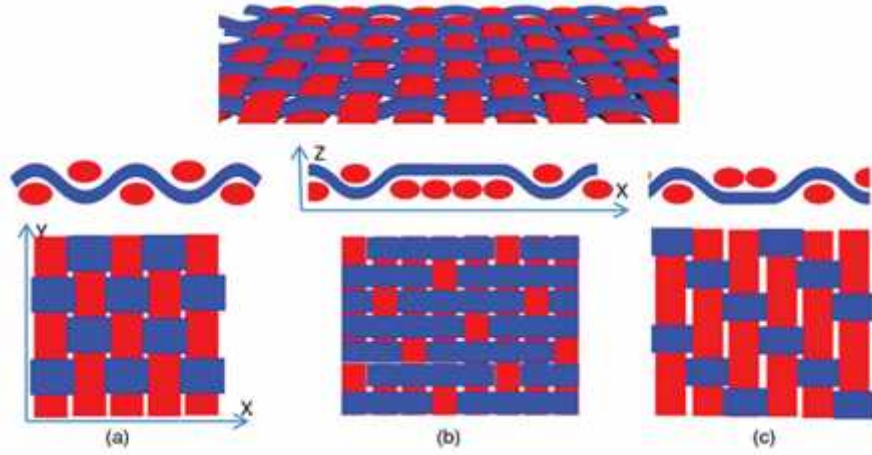
CFRP kompozit malzemelerin tabaka yöneliminin uygun bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu yüzden 0° oryantasyonu aksenal yükleri, $\pm 45^\circ$ oryantasyonu kayma (shear) yükleri ve 90° oryantasyonu yanal yükleri ifade etmektedir (ekil 3). 0° foa çekme mukavemetinin en yüksek olduğu, çelik kadar sağlam ve bükülmesi zor, $\pm 45^\circ$ foa bükülebilir ve 90° foa çekme mukavemetinin olmadığından kopan foa ifade etmektedir (AMT-Airframe). Önemli fiber takviyelerinden olan karbon fiberler; iplik, tek

yönlü dokuma ya da farklı örgü türlerinde üretilmektedir. Karbon fiberlerin tek halleri ipçik (filament) olarak adlandırılmakta ve 3K, 6K, 12K veya 24K olarak sembolize edilmektedir (K=1000 adet ipçik) (Morgan, 2005). Bu malzemelerin filament ekinde olmasından dolayı elastik modüllerini ve mukavemetlerini arttırmaktadır (Yazıcıo lu vd., 2014). Tüm filamentler aynı yönde ve bükülmeden küçük demetler (roving) halinde sarılırlar. Bu kuru fiberler sarımdan önce reçineye emdirilerek (prepreg) muhafaza edilip kullanıma hazır hale getirilmektedir. Prepregler son derece sa lam ve hafif bile enlerinin olu turulması için ısı ve basınç altında sertle en fiber takviyeli reçinelerdir. Ayrıca prepreg malzeme de bir matris ve fiber takviyesi kombinasyonundan olu maktadır. Böylece nihai ürüne mukavemet sa lamak için uygulanmaktadırlar. Birçok uygulamada mandreller kullanılarak ya tek yönlü (tape) ya da çift yönlü (fabric) biçiminde fiber sarma uygulanmakta ve daha sonra 180 °C’de sertle tirme i lemi (cure) gerçekte tirilmektedir (ekil 4) (Hexcel, 2016).



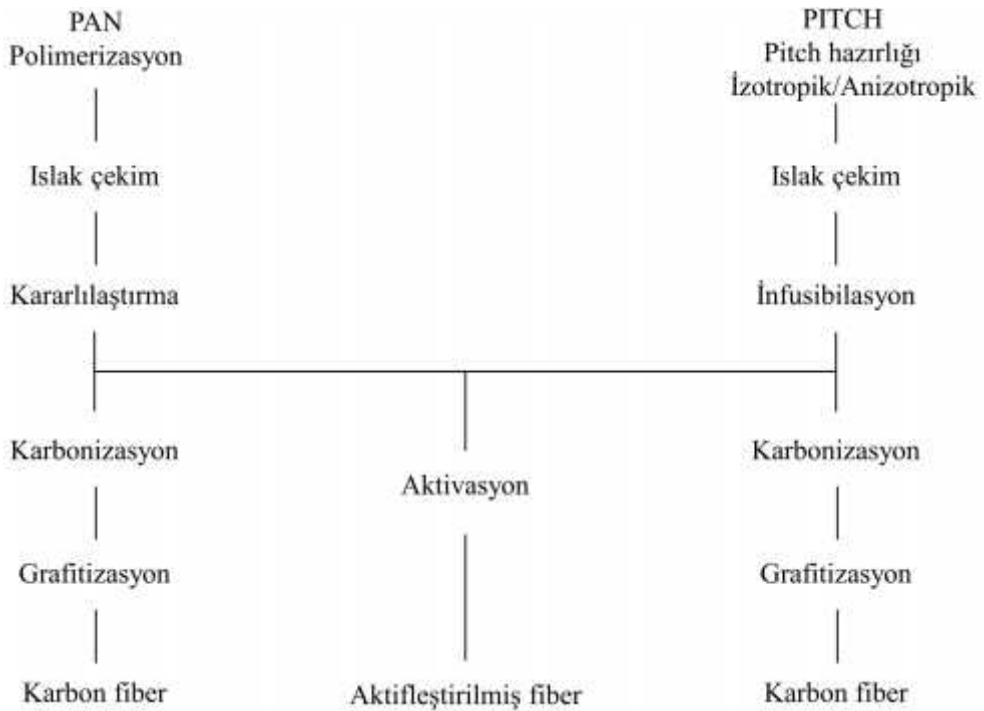
ekil 4: Tek yönlü ve çift yönlü fiber sarma gösterimi (Hexcel, 2016).

Genellikle fiberlerin aynı a ırlık/boyuna ve enine yönlerinde verim elde etmek için yapısal uygulamalarında kuma lar (fabric) tercih edilir. Bu nedenle, havacılık ve uzay yapılarının imalat sürecinde a ırlıktan tasarruf etmek için sıkı dokulu kuma lar, en az reçine boyutu ile birlikte uyumlu olan foa tercih edilmektedir. En çok kullanılan kuma yapıları düz (plain), twil ve saten (satin) kuma lardan olu maktadır (ekil 5) (Elmarakbi, 2013).



ekil 5: Kuma dokuma tiplerinin gösterimi; a) Düz doku, b) Saten doku, c) Twil doku (Elmarakbi, 2013).

Ticari olarak elde edilen karbon fiberler üç kategoriye ayrılmaktadır, bunlar sırasıyla; genel amaçlı (GP), yüksek performanslı (HP) ve aktifle tirilmi (ACF) karbon fiberlerdir. Ticari karbon fiberler zift (pitch) ya da poliakrilonitril (PAN) ham maddelerinden imal edilmektedirler (ekil 6) (Chung, 1994; Burchell, 1999).



ekil 6: PAN ve PITCH bazlı karbon fiberin üretim eması (Chung, 1994).

Burada ıslak çekim (wet spinning) yöntemiyle PAN i lemi uygulanırken, eriyikten çekim (melt spinning) yöntemiyle de PITCH i lemi uygulanmaktadır. PAN bazlı karbon

fiberlerin daha iyi mekanik özellik göstermesinden dolayı, PITCH i lemne göre daha çok tercih edilmektedir. Karbon fiberin, karbonizasyon sıcaklığı 700 °C'den 2500 °C'ye çıktıkça elastik modül de eri artarken çekme dayanımı da azalmaktadır. Karbon fiberler yüksek çekme mukavemeti, elastik modülü, düşük yoğunluk, kimyasal ve ısıl kararlılık, düşük ısı genleşme katsayısı gibi özelliklerinden dolayı birçok alanda tercih edilen ileri kompozit malzemelerdir (Chung, 1994; Burchell, 1999; Morgan, 2005; Mallick, 2008; Suresha vd., 2010).

2.2.2 CFRP Kompozit Malzeme Kullanım Alanları

Cam, karbon, boron ve kevlar gibi fiber kompozit malzemeleri endüstri kullanımları için tasarlanmakta ve uygulamaları yaygınla maktadır. İleri kompozit malzeme sınıfından olan CFRP kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesi, düşük yoğunluğa sahip olması, titanyuma göre daha sert, yüksek tokluk de eri, uygun fiyatları kullanıldığı takdirde düşük hasar toleransı, yüksek dayanım, yüksek sertlik, hafiflik, düşük sürtünme katsayısı, iyi a rınma direnci, kimyasal ve boyutsal kararlılık, korozyon direnci, düşük elektrik direnci ve titre im sönümlenme özellikleri kullanımını çekici hale getirmektedir. CFRP kompozit malzemenin döngüsel yükler altındaki kapasitesinden ötürü, çevre dayanıklılığı etkin olan yapı elemanlarının performansını arttırmak için de kullanılmaktadır. Bunun yanında yakıt tüketiminin de azalmasına önemli oranda yardımcı olmaktadır. Bu nitelikler di er malzemelerden üstün olduğunu ve gelecek vaat etti ini göstermekte ve endüstriyel uygulamalara alternatif olmaktadır. CFRP kompozit malzemelerin uygulama alanları en çok uzay ve havacılık endüstrisinde görülmektedir (Hull ve Clyne, 1996; Staab, 1999; Kalpakjian ve Schmid, 2000; Brinksmeier ve Janssen, 2002; Davim ve Reis, 2003; Linbo vd., 2003; Davim ve Reis, 2005; Denkena vd., 2008; Karnik vd., 2008; Chung, 2010; Iliescu vd., 2010; Durão vd., 2010; Khairusshima vd., 2011; Isbilir ve Ghassemieh, 2012; Karpas vd., 2012; SenthilKumar vd., 2013).

Uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan parçaların yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek mukavemet, yüksek sertlik, düşük a rlık ile birlikte sağlamlık ve korozyon direncine sahip olan CFRP kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Askeri alanda ise fiber takviyeli kompozitlerin büyük yapısal uygulamaları, a rlı mın azaltılması, yüksek hızlara çıkılması ile beraber yük taşıma kapasitesini arttırmak için kullanılmaktadır. Askeri uçak (hayalet uçak) B-2'nin di

yüzeyinin neredeyse tamamı CFRP kompozit malzemeden imal edilmiştir (ekil 7). Bu uçaklar radar yansımalarını, ısı da ılımını, görünmezlik özelliklerini karbon fiberler sayesinde artırmak için tasarlanmıştır (Mallick, 2008, Slamani vd., 2015).



ekil 7: Askeri uçak (hayalet uçak) görüntüsü (Mallick, 2008).

CFRP kompozit malzemeler ısı ile yumuşadıkları ve erimedikleri için yüksek sıcaklıklara maruz kalan roketlerde ve uçak frenlerinde kullanılmaktadır. A ırılı ın azaltılması havacılık alanlarında kullanılan ürünlerin tasarımının temel amaçlarından biri olmaktadır. Bu nedenle metal malzemelerin yerine yavaş yavaş CFRP kompozit malzemelerin kullanılmasına olanak sağlamakta ve ticari uçakların yaklaşık % 50 oranında temel yapı parçaları epoksi esaslı malzeme olan fiber takviyeli kompozit malzemelerden üretilmektedir. Böylece iyi mekanik performans, yüksek modül ve mukavemet ile birlikte düşük yoğunluklu birleştirilmesi sağlanmaktadır. CFRP kompozit malzemenin mükemmel mekanik özellikleri sebebiyle Airbus A350 uçağının % 52'si, Boeing 787 uçağının % 50'si, Bombardier C serisinin % 46'sı CFRP kompozit malzemeden oluşmaktadır. Kanat kutularında, gövdede, kanatçıklarda, kanatlarda, spoilerde, dikey stabilizatörde ve uçak motor kapaklarında da kullanılmaktadır. Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TAI)'nin ürettiği Türk insansız Hava Aracı (THA) ANKA'nın ise büyük çoğunluğu CFRP kompozit malzemeden imal edilmektedir (ekil 8) (Miracle ve Donaldson, 2001; Daniel ve Ishai, 2006; Sheikh-Ahmad, 2009; Terenzi vd., 2017).



ekil 8: Türk insansız hava aracının (ANKA) görüntüsü (URL-1).

Malzeme giderlerinin zaman içinde azaltılmasıyla beraber otomotiv ve imalat takım endüstrisindeki uygulama alanları CFRP kompozit malzemesinin kullanımını yaygınla tırmaktadır. Otomotiv endüstrisinde elektrikli araçlarda hafiflik konusunda özellikle yakıt tüketiminin en aza dü ürlmesi ile ilgili giri imlerde bulunularak verimlili in iyile tirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemelerden karbon fiberin yaygın bir ekilde kullanılması otomotiv üreticilerinin tercihi olmaktadır. Günümüzün Formula-1 yarış arabalarının tüm ana gövdesi, asesi, iç ve süspansiyon parçalarında CFRP kompozit malzeme kullanılmaktadır (ekil 9). Formula-1 arabalarında CFRP kompozit malzemenin önemli bir uygulaması da bir kaza sırasında sürücüyü koruyan ya am hücresi diye isimlendirilen parça olmakta ve ya am hücresinin önünde yer alan burun konisi de CFRP kompozit malzemedan imal edilmektedir (Mallick, 2008; Dold vd., 2012; Mucha vd., 2013; Klotz vd., 2014).



ekil 9: Formula 1 yarış arabasındaki karbon fiber takviyeli süspansiyon ve vites kutusu görünümü (Mallick, 2008).

BÖLÜM 3

L TERATÜR ARA TIRMASI

Yüksek dayanım, rijitlik, mükemmel a ınma direnci, iyi korozyon direnci ve dü ük a ırlık özelliklerinden dolayı kompozit malzemelerin kullanımı günümüzde giderek artmaktadır. leri kompozit malzemeler sınıfından olan CFRP kompozit malzemeler, sahip oldukları yük ta ıma kapasitesi, dü ük yo unluk, yüksek mukavemet, yüksek rijitlik ve hafifliklerinden dolayı, uzay, havacılık ve otomotiv endüstrisinde uçak kanatları, gövdeleri, fren ekipmanları, roket nozulları ile otomobil tavanları, kaputları gibi yerlerde kullanılmaktadır. Ancak, CFRP kompozit malzemelerin a ındırıcı yapısından dolayı, tala lı imalatlarında kullanılan kesici takım ömründe büyük oranda azalma meydana gelmekte ve üretimlerinden kaynaklı delaminasyon, fiber kırılması, kesilmemi fiber ve yüzey pürüzlülü ü gibi hasarlar ortaya çıkmaktadır. Tala lı imalat sırasında ortaya çıkan hasarların önüne geçebilmek amacıyla, PCD takımlar ve elmas kaplamalı karbür takımlar kullanılmakta ve ba arılı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak, PCD ve elmas kaplamalı takımların maliyetlerinin yüksek olması, CFRP kompozit malzemelerin üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, PCD ve elmas kaplamalı takımların yerine ince film kaplamalı karbür takımların kullanılması son yıllarda yaygınla maktadır. Bu bölümde, CFRP kompozit malzemelerin tala lı imalatta i lenebilirlikleri üzerine yapılan çalı malar ara tırılmı tır.

3.1 CFRP Kompozit Malzeme Üzerine Uygulanan Tala lı malat ile lgili Çalı malar

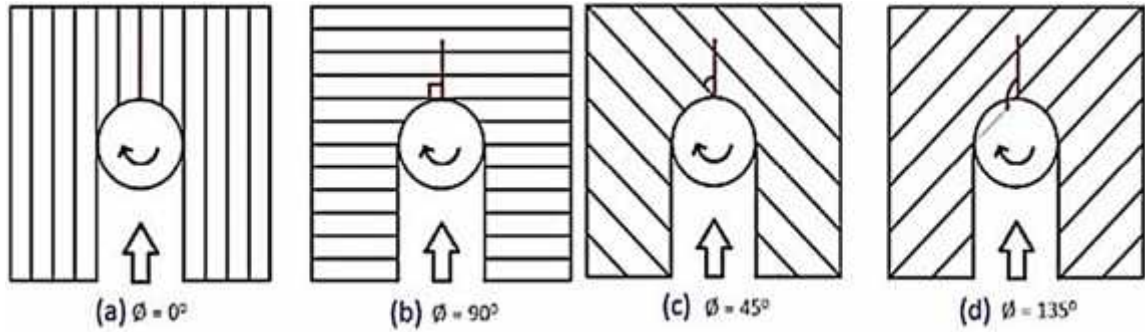
Ghafarizadeh vd. (2016), 6,3 mm kalınlı ında CFRP kompozit malzemeyi belirlenen i leme parametreleri altında üç eksenli CNC i leme merkezinde yüzey frezeleme i lemine tabi tutmu lardır. Kesme kuvvetlerini ve i leme hasarını belirlemek için yapmı oldukları deneysel çalı ma sonucu ile sonlu elemanlar analiz sonuçlarını kar ıla tırmı lardır. CFRP kompozit malzemenin i lenmesi sırasında olu an kesme kuvvetleri, foa'dan önemli bir ekilde etkilendi ini ve bu durumun CFRP kompozit malzemenin anizotropik karakterinden kaynaklandı ı sonucuna varmı lardır. Seçmi oldukları i leme parametrelerinde (kesme hızı; 250 m/dak, ilerleme oranı; 0,063 mm/dev, kesme derinli i; 0,5 mm) iyi yüzey kalitesi elde etmi lerdir. Ara tırmacılar, CFRP kompozit malzeme

yüzey frezeleme i lemindeki modellemelerinde kesme kuvvetleri ve i leme hasarlarının tahmin edilebilece i tezini yapmı oldukları deneylerle de ispatlayarak kesme kuvvetlerinin büyük ölçüde foa'larına ba lı oldu u sonucunu varmı lardır (Ghafarizadeh vd., 2016).

Wang vd. (2016), helisel frezeleme i leminde CFRP/Ti malzemesinin delik kalitesi, kesme kuvveti ve takım a ınması ile ilgili temel sorunları ara tırmı lardır. Deneylerinde, 10 mm kalınlı ında % 65 fiber hacim oranına (fho) sahip 0° foa'daki 250×120×10 mm boyutlarındaki CFRP kompozit malzemeyi i lemi lerdir. 10 mm kalınlı ındaki Ti ala ımını (toplam kalınlık 20 mm) 7 mm çapında dört a ızlı TiAlN kaplamalı karbür takımlar ile 10 mm çapında delik delme i lemine tabi tutmu lardır. leme parametreleri için ilerleme oranı 0,04 mm/s, aksenal ilerleme 0,1 mm/dev ve i mili hızlarını 4000 ile 6000 dev/dak olarak belirleyerek kuru olarak i lemi lerdir. Kesme kuvveti analizlerinde aksenal kuvvetlerin (F_z) radyal kuvvetlerden (F_r) daha büyük oldu unu gözlemlemi lerdir. Titanyum ala ımının i lenmesinde F_z ve F_r kuvvetlerin çok az de i im göstermesine ra men aksenal kuvvetin ilk de erini CFRP kompozit malzeme i lemesinde 150 N ve radyal kuvvetlerde ise 60 N olarak tespit etmi ler. Bu durumun delik sayısının artmasıyla artı mı bildirmi lerdir. CFRP kompozit malzeme i lemesinde artan kesme kuvvetlerinden dolayı takım a ınma etkisinin daha belirgin oldu unu tespit etmi lerdir. Helisel frezeleme i leminde CFRP kompozit malzeme ve titanyum ala ımı arasındaki takım a ınma modelinin farklı oldu unu belirterek titanyum ala ımı i lenmesinde kırılma veya adhesiv a ınmanın sık sık meydana geldi ini, CFRP kompozit malzemelerin i lenmesinde abrasiv a ınmanın olu tu unu belirtmi lerdir. Helisel frezelemede CFRP kompozit malzeme giri inde herhangi bir hasar görülmedi ini çıkı ta ise delaminasyon hasarının görüldü ünü belirtmi lerdir. Yapmı oldukları çalı maların sonucunda delik sayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttı mı ve takım a ınmasının olu tu u, CFRP kompozit malzeme i lemesinde olu an abrasiv a ınmanın kesme kuvvetini arttı rdı ı, titanyum ala ımında delik kalitesinin iyi oldu u fakat frezelemede freze çakısının CFRP kompozit malzeme giri inde delaminasyona sebep oldu u sonuçlarına varmı lardır (Wang vd., 2016).

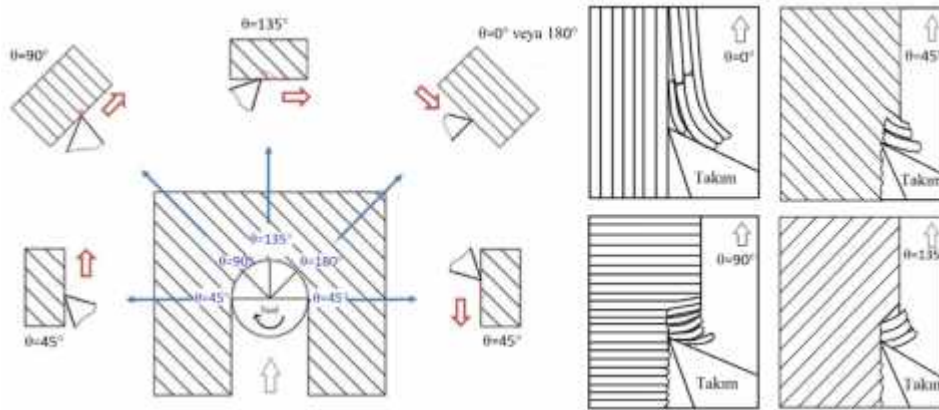
Oryantasyona dayalı hasar mekanizmalarını inceleyen Islam vd. (2015), CFRP kompozit malzemenin frezeleme i lemi sırasında kanal (slot) kenarları üzerinde meydana gelen delaminasyonu ve etkili kritik kesme aralı mını (eccr) ara tırmı lardır. Kesme hızını 2000 dev/dak, ilerleme oranını 40 mm/dak belirleyerek 5 mm çapında iki oluklu HSS kanal freze

takımı (slot end mill) kullanılmı lardır. Foa'sını; ilerleme yönü ile kompozit tabakanın fiber yönü arasındaki açı (saat yönünün tersine olan) olarak tanımlanı lardır (ekil 10).



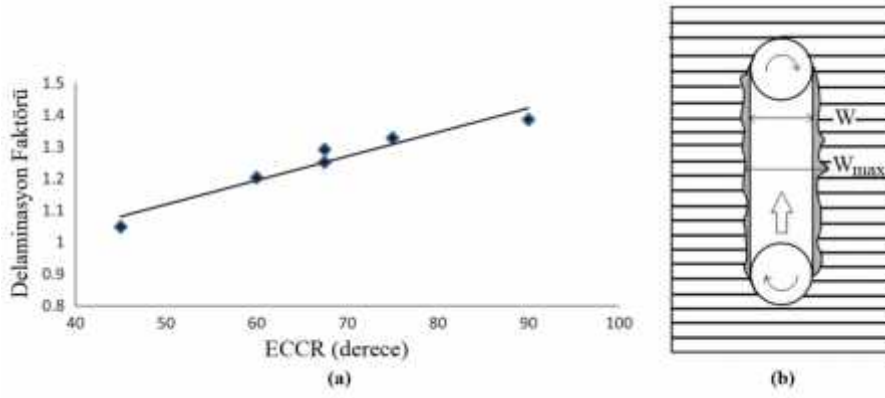
ekil 10: Foa'larının ematik görüntüsü (Islam vd., 2016).

Fiber kesme açısını ise takımdaki bir di in kesme yönü ile temas noktasındaki fiber hizalama yönü arasındaki anlık açı olarak tanımlanı lardır (ekil 11).



ekil 11: Kesici takımın farklı noktalarındaki fiber kesme açılarının ematik görüntüsü (Islam vd., 2016).

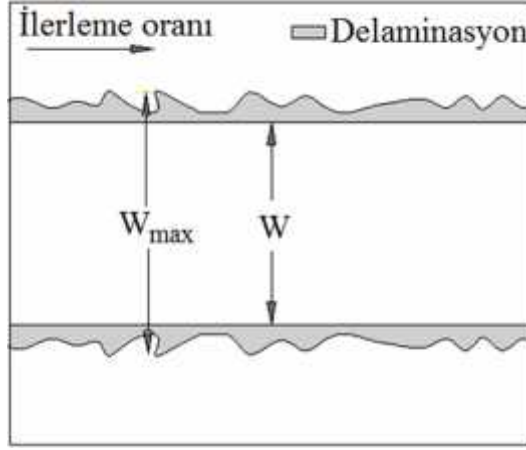
Kompozit malzemede hasarının meydana gelmesini fiber kesme açlarına ve mekanizma altında kaldırılan malzemeye ba lı oldu unu ve kritik kesme açısı bölgesinin 45° ile 135° foa'da oldu unu belirtmi lerdir.



ekil 12: a) Eccr aralı ındaki ortalama delaminasyon, b) Kanal frezeleme sırasındaki delaminasyon faktörünün ematik gösterimi (Islam vd., 2016).

Eccr'nin artmasıyla delaminasyonun arttığını (ekil 12a) maksimum hasarın 90° ve minimum hasarın ise 45° eccr'de tespit etmişlerdir. Zıt ve aynı yönlü frezelemede delaminasyonun, kritik kesme bölgesi içindeki fiber kesme açısı aralığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ara tırnacıklar, i mili hızının ve ilerleme oranının kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük ilerleme oranları ve yüksek i mili hızları kesme kuvvetlerini minimize ederek delaminasyon faktörünü azalttı ve sonucuna varmışlardır (Islam vd., 2016).

Ahmed vd. (2015), kanal frezeleme (end milling) yöntemini 0° - 90° açıdaki ve $330 \times 170 \times 8$ mm boyutlarındaki CFRP kompozit malzemeyi soğutma sıvısı kullanmadan işlemişlerdir. Deneylerinde, 6 mm çapında ve 4 oluklu iki farklı freze takımını; üç farklı i mili hızı, üç farklı ilerleme oranı ve 0,2 mm sabit kesme genişliğinde uygulamışlardır. Kesici takım olarak HSS ve sementit karbür takımlarını belirlemişlerdir. Deneylerinde düşük kesme hızlarında gerçekleştirdikleri frezeleme işleminde karbür takımda iyi performans gözlemlenmiştir. HSS freze ile gerçekleştirdikleri işlem sonucu epoksi reçinesinin kesici takıma yapışmasını gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek kesme kuvvetlerinin karışılması kesici takımdaki düşük kesme hızlarından ve kesici takımın termal özelliklerinin bir parçası ile ilgili olmasından kaynaklanmış olduğunu belirtmişlerdir.



ekil 13: Delaminasyon hasarının (maksimum hasar- W_{max} ile nominal genişlik- W)ematik görüntüsü (Ahmed vd., 2015).

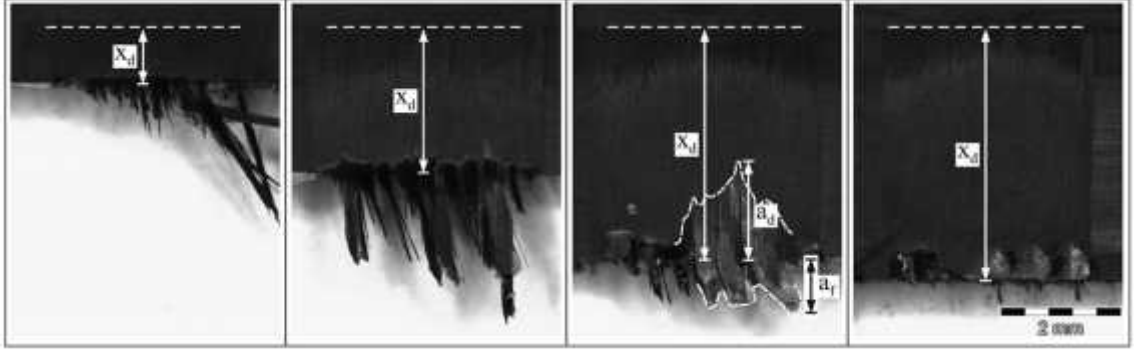
Ara tırmacılar, delaminasyon faktörünü frezelenmiş delinin maksimum genişliğinin teorik delinin genişliğine oranı olarak tanımlamışlardır (ekil 13). CFRP kompozit malzemenin kesme genişliği sabit tutulduğunda, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörü üzerine etkili parametrenin ilerleme oranı olduğunu sonucuna varmışlardır. Ayrıca karbür takım ile CFRP kompozit malzemenin işlenmesinin HSS takımlara göre daha uygun olduğunu belirterek iş mili hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de erinin iyileştirmesi fakat bunun sonucunda takım aşınmasına neden olduğunu sonucuna varmışlardır (Ahmed vd., 2015).

Wang vd. (2015), CFRP kompozit malzemenin frezeleme işleminde freze kuvveti, freze sıcaklığı ve kesme parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Tepki yüzey yöntemi (RSM) ve ilgili matematiksel modelleri kesme parametrelerini optimize etmek için kullanmışlardır. Deneylerinde 3,1 mm kalınlığında ve 16 tabakadan oluşan $[(0/90)_{2S}]_i$ parçasını kullanmışlardır. 6 mm çapında ve kesme kenarlarında birçok kesme ünitesinden bulunan takımla kuru şartlarda işlemi lerdir. Yapmış oldukları deney sonrasındaki sıcaklıkları takım-i parçası termokuplu kullanarak ölçmüşlerdir. Kauçuksu durum ile camsı durum arasındaki cam geçi sıcaklığını $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de elde etmişlerdir. Cam geçi sıcaklığı arttıkça zaman reçinede bozulma meydana geldiğini vurgulamışlardır. İlerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetleri artmış ve kesme sıcaklığı çok az değişim göstermiştir. Farklı kesme kuvvetlerinde ve düşük sıcaklıklarda işlemi 0° foa'ında önemli bir farklılık gözlemlenmemişlerdir. 90° foa'ında ise kesme kuvvetinin artmasıyla fiberlerde kırılma oluşmuştur. Farklı kesme kuvvetlerinde ve yüksek sıcaklıklarda işlemi 0° foa'ında reçine yumuşamış ve fiberler yüzeye çıkmıştır. CFRP kompozit malzemenin frezeleme işleminde

yüksek kesme hızlarının tercih edildiğini, ilerleme oranının kesme kuvvetinden etkilendiğini belirtmektedir (Wang vd., 2015).

Kılıçkap vd. (2015), CFRP kompozit malzeme frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve delaminasyon faktörü etkisini araştırmışlardır. 0°-90° yönlü CFRP kompozit malzemenin işlenmesinde 30° helis açılı, 10 mm çapında ve üç ve dört kesici ağızlı sinterlenmiş karbür parmak freze takımını soğutma sıvısı kullanmadan işlemiştir. Kesme parametrelerini kesme hızı (31,4-62,8 ve 94,2 m/dak), ilerleme oranı (100, 150 ve 200 mm/dak) ve 1,5 mm sabit kesme genişliği olarak belirlemiştir. İlerleme oranının artmasıyla delaminasyon faktörünün ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmiştir. CFRP kompozit malzemede oluşan hasarın kesme parametreleri ve takım geometrisi tarafından etkilendiğini belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızının artmasıyla azaldığını ayrıca ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını sonuçlarına varmışlardır. Deneylerde en iyi sonucu dört ağızlı kesici takım tarafından elde etmiştir (Kılıçkap vd., 2015).

Hintze vd. (2015), frezeleme işlemlerinde CFRP kompozit malzeme dokuma yapısından kaynaklanan fiber dalgalanması (weave induced fiber undulation) ile delaminasyon bağlantısı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Dalgalanma etkisini analiz etmek için, 1×1 düz bir dokuma yapısına sahip, 12K iplik (filament) sayısı, 0°-90° yönlülerinde ve % 40 iplik oranı olan bir parçasını kullanmışlardır. Deneylerinde kesme hızı 400 m/dak, ilerleme oranı 0,08 mm/di belirleyerek iki di sayısıya sahip farklı çaplardaki PCD freze takımları ile gözden geçirmiştir. 90° yönünün önemli derecede delaminasyon hasarına neden olduğunu belirtmiştir. 0° yönünde herhangi bir delaminasyon hasarı olmadığı için deneylerini 90° yönünde devam ettirmiştir. Deneylerinde Colligan and Ramulu'nun 1991 yılında yaptıkları çalışmadaki delaminasyon modelini örnek almışlardır.



ekil 14: Yukarı yönlü freze uygulamasında kompozit malzemenin yüzeyinde olu an delaminasyon hasarlarının gösterimi (Hintze vd., 2015).

Ara tırmacılar, delaminasyon modelini üç tipte incelemi lerdir. Bunlardan ilki olan tip I: i lenen kenarda üst tabaka boyunca uzanan ve fiber demetlerinin ayrıldı ı yüzeydir. Tip II: yüzey üzerine algılanabilir hasar vermeden kırılmı kenarın ötesindeki fiberler tarafından yapılması, tip III ise tip I ile tip II'nin birle iminden olu maktadır. ekil 14'de 90° foa'lı 8 mm çapındaki kesici takım ile i lenmesi sonucunda meydana gelen delaminasyon hasarı görülmektedir. ncelenmi olan delaminasyon tiplerinden tip I delaminasyonun X_d uzunlu un artmasıyla arttı ını, tip II delaminasyonun ise azaldı ını belirtmi lerdir. Sonuç olarak takım geometrisinin dalgalanmadan daha az etkili oldu unu vurgulamı lardır (Hintze vd., 2015).

Ghafarizadeh vd. (2015), CFRP kompozit malzemenin yukarı frezeleme (up-milling) i leminde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülü ü üzerine etki eden farklı kesme ko ullarını ara tırmı lardır. Deneplerinde % 60 fho'na sahip 0°/45°/90°/135° foa'larındaki malzemeyi 10 mm çapında, CVD elmas kaplamalı, iki oluklu ve 30° helis açılı karbür parmak freze takımıyla (solid carbide ball end mill) i lemlerdir. leme esnasında sıcaklı ı ölçmek için iki adet K tipi ısıölçer kullanmı lardır. Frezeleme deneylerini 200 ile 375 m/dak kesme hızlarında, 0,063 mm/dev ilerleme oranında ve 0,5 mm kesme geni li inde so utma sıvısı kullanmadan gerçekle tirmi lerdir. Çalı malarında kuru frezeleme i leminin sıcaklı ı yükseltmesiyle birlikte i lenmi yüzeyde termal hasar meydana geldi ini tespit etmi lerdir. Farklı foa'larında sıcaklı ın kesme hızıyla birlikte lineer olarak arttı ını belirtmi lerdir. Bu durumun takım/i parçası temasından (sürtünmeden) kaynaklandı ını bildirmi lerdir. Kesme sıcaklı ının kesme hızı ile lineer bir ekilde arttı ını, maksimum bile ke kesme kuvvetinin kesme hızından etkilendi ini, foa'nın kesme sıcaklı ına ve

kuvveti üzerinde önemli etkisi oldu unu tespit etmi lerdir. Minimum ve maksimum yüzey pürüzlülü ü de erlerini 45° ve 135° foa'larında belirlemi lerdir (Ghafarizadeh vd., 2016).

Slamani vd. (2015), CFRP kompozit malzemeyi i lenebilirlik açısından de erlendirmi tir. Deneylerinde % 65 fho'na sahip, 24 katmanlı ve farklı boyutlardaki i parçasını, 3/8 inç çapındaki 6 düz olu a sahip CVD elmas kaplamalı karbür freze takımını kullanarak farklı i leme parametrelerinde i lemi lerdir. En yüksek, orta ve en dü ük de erlerdeki i leme parametrelerini takım ömrü testlerinde gerçekle tirmi lerdir. Çalı malarını takım a ınması kriterine (0,3 mm) ula ana kadar tekrarlamı lardır. Üç farklı i leme ko ullarında kesme kuvveti ve takım a ınmasının aynı davranı ı gösterdi ini belirtmi lerdir. Kesme uzunlu unun artmasıyla takım a ınmalarının ve kesme kuvvetlerinin katlanarak arttı nı belirlemi lerdir. Bu durum, a ınmı kesici takımla i lenen malzemenin yerinden koparılabilmesi için daha büyük kesme kuvvetlerine ihtiyacından kaynaklanmı tır. Ayrıca dü ük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızında takım ömrünün daha iyi oldu unu tespit etmi lerdir. Tam tersi durumun yani yüksek ilerleme oranı ve dü ük kesme hızında takım ömrü süresinin azaldı nı tespit etmi lerdir. 400 m/dak kesme hızında, 1.525 mm/dak ilerleme oranındaki i leme parametreleriyle 27 m sonra i lenmi kesici takımın kesici yüzeylerinin hepsinde meydana gelen yanak a ınması kabul edilebilir limitte oldu unu belirtmi lerdir (Slamani vd., 2015).

CFRP kompozit malzemedede delaminasyon üzerindeki i leme parametrelerinin (ilerleme oranı, kesme geni li i, i mili hızı) etkilerini analiz etmek için Konneh vd. (2015), so utma sıvısı kullanmadan 4 mm çapındaki iki oluklu TiAlN kaplamalı kesici takımını kullanarak i lemi lerdir. 50×50×3 mm boyutlarındaki i parçasını frezelemi lerdir. Deneylerini üç seviyede (ilerleme oranı, kesme geni li i, i mili hızı) uygulayarak etki eden faktörlerin belirlenmesi için de ANOVA analizinden yararlanmı lardır. Çalı malarında yüksek kesme geni li inde delaminasyonun azaldı nı, dü ük kesme geni li inde ise tam tersi durumun meydana geldi ini tespit etmi lerdir. Ayrıca, yüksek i mili hızı ve dü ük ilerleme oranı kombinasyonunda delaminasyon hasarının minimum seviyede olaca nı belirtmi lerdir. Sonuçta i mili hızının ve kesme geni li inin delaminasyon üzerinde önemli oldu unu vurgulamalarına ra men ilerleme oranının daha az etkilendi i sonucuna varmı lardır (Konneh vd., 2015).

Hosokawa vd. (2014), çevresel frezeleme işlemlerinde 0°/-45°/90°/45° foya'lı CFRP kompozit malzemeyi kuru işleme lerdir. Deneylelerini 4 mm çapında, 2 aızlı ve (30° ve 60°) farklı helis açılara sahip DLC kaplamalı karbür kesici takım kullanarak gerçekte tirmilerdir. Çalı malarında takım geometrisinin DLC kaplamadan daha iyi etkisi oldu unu belirtmişlerdir. Takım aınması önemli ölçüde foya'dan etkilenmiştir. 60° helis açısına sahip kesici takımda daha az yanak aınması gözlemlenmiştir. Büyük yanak aınmasını 90°-45° foya'larında tespit etmişlerdir. Sonuçta, kullandıkları 60° helis açılı takım sayesinde CFRP kompozit malzemede pürüzsüz bir yüzey elde etmişler ve herhangi bir delaminasyona veya fiber hasarına rastlamamışlardır (Hosokawa vd., 2014).

Kusuyama vd. (2014), yüzey frezeleme (face milling) işlemlerini 0°-90° ve 45°-135° foya'lı CFRP kompozit malzemeyi so utma sıvısı kullanmadan işleme lerdir. Kesici takım olarak gövde çapı 10 mm olan ve 12,45 mm çapında PCD kaplamalı özel yapım takımla işleme lerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, delaminasyon hasarının foya'na ba lı oldu unu belirtmişlerdir. Kesme hızı ve CFRP kompozit malzemesinin do al yapısından dolayı kesme kuvvetlerinin etkilendi i gözlemlenmiştir. Artan kesme geni li ine ve kesme hızına ba lı olarak yüzey pürüzlülü ünün istenilen seviyede oldu unu ve havacılık parçaları içinde uygun oldu unu açıklamışlardır (Kusuyama vd., 2014).

Sorrentino ve Turchetta (2014), yüzey frezeleme çalı malarında CFRP kompozit malzemenin yüzey kalitesi ve kesme kuvveti arasındaki ili kiyi ara tırmışlardır. Deneylelerini 40 mm çapındaki freze takımıyla (insert APMT1135PDERH1 UTi20T of MITSUBISHI), % 50 fho'na sahip, 0°-90° foya'lı ve 13 mm kalınlı ında CFRP kompozit malzemesini so utma sıvısı kullanmadan işleme lerdir. leme parametreleri olarak üç farklı kesme hızı, dört farklı aksenal kesme derinli i ve iki farklı ilerleme oranlarını belirlemiştir. Deneylerde aynı kesme hızında yapılan uygulamada; kesme geni li i ve temas açısıyla (0°-90°) birlikte, te etsel kesme kuvveti (F_T) bile eninin ve radyal kesme kuvveti (F_R) bile eninin artı ını gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvvetinin azalma göstermesine ra men, radyal kuvvetin bu durumdan etkilenmedi i tespit etmişlerdir. Temas açısının artmasıyla F_z kuvvetinin hızlı bir eilde arttı ı gözlemlenmiştir. Yaptıkları deneyin yüzey analizlerinde ise 0,022 mm ilerleme oranında aksenal kesme derinli in artmasıyla yüzey pürüzlülü ü de erinin arttı ını tespit etmişlerdir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülü ü de erinin azaldı ını gözlemlenmiştir. Ara tırmacıların yapmış oldukları deneysel çalı ma sonucunda yüzey

pürüzlülü ü de erinin kesme geni li i ve yüksek kesme hızıyla birlikte uygulanması gerektirdi ini bildirmi lerdir (Sorrentino ve Turchetta, 2014).

Ishida vd. (2014), helisel frezeleme i lemini CFRP kompozit malzemede takım a ınmasını, itme kuvvetini ve i leme hassasiyetini incelemi lerdir. Yaptıkları çalı mayı be farklı kesme i lemine tabii tutmu lardır. Bunlar sırasıyla, klasik helisel frezeleme, ultrasonik vibrasyon destekli helisel frezeleme, kriyojenik takım so utularak helisel frezeleme, ultrasonik titre im destekli ve kriyojenik takım so utularak helisel frezeleme ve son olarak da kuru helisel frezeleme uygulamalarıdır. Deneyler için delik derinli i 3,5 mm olan küresel parmak freze (Carbide ball endmill) takımını ve kesme sıvısı olarak da çözünebilir kesme ya ı, sıvı azot (soluble cutting oil, Liquid nitrogen) kullanmı lardır. Eksenel ultrasonik titre imi kullanarak kesici takım ile i parçası arasındaki sürtünmeden kaynaklı itme kuvvetini azaldı nı tespit etmi lerdir. Böylece takım ömrünü uzatmayı amaçlamı lardır. Helisel frezeleme i leminde itme kuvvetini azaltarak yüzey kalitesini geli tirmeyi hedeflemi lerdir. CFRP kompozit malzeme i lenmesi sırasında, meydana gelen takım a ınmasının önemli ölçüde karbon fiberlerin sertli inden kaynaklandı nı belirterek takım a ınmasında be farklı kesme i lemi sırasında takım a ınması meydana geldi ini tespit etmi lerdir. Çalı malarında, i lenen deliklerin sayısı arttırdıkça takım a ınması sürecine göre itme kuvvetinin artı nı gözlemlemi lerdir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla ultrasonik vibrasyonun uygulayarak itme kuvvetini azaltmı lardır. Delaminasyondaki en yüksek de erin kuru i lemede oldu unu gözlemleyerek kriyojenik takım so utma ile delaminasyonu azaltabilmi lerdir. Ultrasonik vibrasyonu ve takım so utma metodunun birlikte kullanılmasıyla itme kuvvetinin azalması sayesinde delik hassasiyetini iyile tirilebilece ini belirtmi lerdir. Sonuçta giri te delaminasyon meydana gelmesine ra men kullanılan yöntemler sayesinde çıkı taki delaminasyonun azaldı nı belirtmi lerdir (Ishida vd., 2014).

Yüzey pürüzlülü ü üzerindeki i leme parametrelerinin etkisini ara tırmak için Konneh vd. (2014), varyans analizi yöntemini (ANOVA) kullanarak ara tırmı lardır. Ara tırmacılar, çalı malarını toplam on yedi denemede uygulayarak 50×50×3 mm ölçülerine sahip on katmanlı CFRP kompozit malzemeyi farklı ilerleme oranlarında ve kesme geni li inde 4 mm çapında ve iki oluklu TiAlN kaplamalı karbür parmak freze takımını kullanarak i lemi lerdir. Varyans analiz yönteminde istenmeyen de erlerin bulunmasının yanında istedikleri de eri elde ederek i leme parametrelerinin (i mili hızının, ilerleme oranının ve

kesme geni li inin) ayrı ayrı etkileri gözlemlenmektedir. Dönüş hızının ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki belirgin etkisinin görülmesine rağmen kesme geni li inin neredeyse bağımsız değişken (response variable) üzerinde hiçbir etkiye sahip olmadığını tespit etmiştir. Düşük bir bitirme işlemi elde etmek için (attain low finish) yüksek dönüş hızının gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarında, yüksek ilmi hızı ve ilerleme oranı arasındaki etkileşimde yüksek ilerlemelerin olumsuzluğu ve ilerleme sırasında kesme geni li inin bu etilimi yapması olabileceğini düştürmüştür. İlerleme parametreleri yüzey pürüzlülüğü de ilerlerini tahmin etmek için matematiksel bir model kullanarak en az yüzey pürüzlülüğünü de erini elde edebilmek için yüksek ilmi hızının 3500 dev/sn, yüksek ilerleme oranınının 15 mm/dak ve kesme geni li inin 100 µm olduğunu tespit etmiştir. ilmi hızının ve ilerleme oranının ilerleme parametrelerine etkisinde baskın bir faktör olduğunu gözlemlenmelerine rağmen kesme geni li i etkisinin neredeyse yok denecek kadar az olduğunu bulmuşlardır (Konneh vd., 2014).

parçasındaki yüzey morfolojisi, kesme kuvveti ve takım geometrisi arasındaki ilişkileri bulmayı amaçlayan Chen vd. (2013), CFRP kompozit malzemeyi aşağıya yönlü (down milling) frezelemiştir. Deneylerinde 10 mm çaplarındaki; CVD elmas kaplamalı çift helis takımı ve çok kenarlı freze takımı kullanmışlardır. parçası olarak % 65 fho'na sahip, 48 katmanlı, [(45°/0°/-45°/90°)₆]_s foa'larında ve 200×150×9 mm boyutlarındaki malzemeyi işlemiştir. Her iki takım ile frezeleme sırasında F_y ve F_z kesme kuvvetlerinde benzerlik olduğunu gözlemlenmiştir. Herhangi bir kesme ve ilerleme oranında, F_x kuvvetinin elde edilen ortalama kesme derisi çift helis takımına göre çok kenarlı takımda daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Yüzey morfolojisinin foa ile ilgili de i ikliklerde 45° foa'da ciddi hasarlar tespit etmiştir. 0° foa'da daha az hasar tespit ederek fiber ayrılmasını (fiber pull out) 90° ve -45° foa'da gözlemlenmiştir. Takım geometrisinin yüzey morfolojisinde önemli bir faktör olduğunu, çift helis takımıyla işlemi yüzeyin çok kenarlı takıma göre daha düzgün olduğunu tespit etmiştir. Bu durumu çift helis takımının devamlı kesme kenarlarının i parçası ve takımın yanak yüzeyi arasındaki ciddi sürtünmeden dolayı kaynaklanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de erlendirmelerinde çift helis takımda istenilen de erlere ulaşmalarına rağmen havacılık uygulamaları için öngörülen $R_a = 3,2$ µm çok kenarlı takımda daha yüksek bulmuşlardır. Böylece yüzey kalitesi geliimi için ilerleme oranının azaltılması gerektiğini belirtmiştir. Sonuçta araştırmacılar kesme parametrelerinde yüzey morfolojisinin de i etceğini, çift helisli takımda daha iyi yüzey elde edildiği ve yüzey pürüzlülüğünün

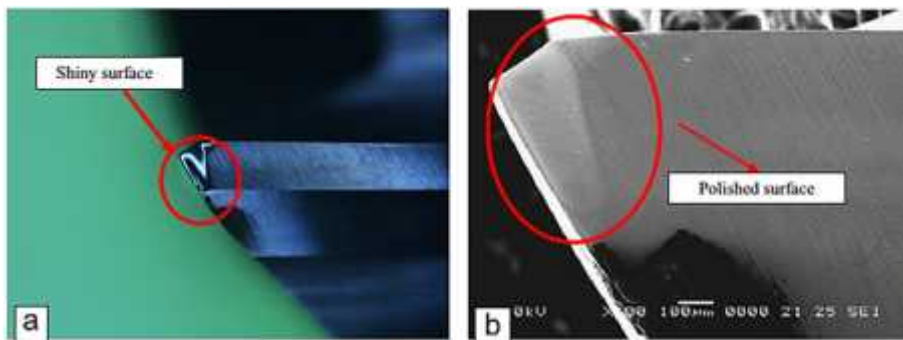
ilerleme oranıyla artacağını, kesme hızıyla da azalacağını sonuçlarına varmışlardır (Chen vd., 2013).

Karpat ve Polat (2013), çevresel frezeleme işlemleri için iki farklı çift helis (elmas kaplamalı karbür) takımlarını kullanarak CFRP kompozit malzemesini işlemiştir. Deneylerinde iki farklı tipteki foya'larına ve farklı tabaka kalınlığına sahip iş parçasını kullanmışlardır. İlerleme oranlarını 0,015-0,02 ve 0,025 mm/di, kesme hızını 3500 dev/dak ve kesme genişliğini 3 mm seçerek uygulamışlardır. Her bir foya'ındaki freze kuvvet ölçümlerinde z-yönündeki F_z kuvvetinin çok küçük olduğunu gözlemlemiştir. Bu durum parmak frezedeki helis açısının küçük olduğundan kaynaklanmıştır. Radyal kuvvetlerin teetsel kuvvetlerden önemli ölçüde daha büyük olduğunu gözlemleyerek, bunun fiberler ve takım kenar radyüsü ile yanak yüzey arasındaki temastan kaynaklandığını bildirmiştir. Bu durum işleme kuvvetleri üzerindeki takım kenar yarıçapının önemini göstermektedir. Elmas kaplamalı takımın kaplama kalınlığının 10 μm olduğunu belirterek takımını aşınmadan koruduğunu ancak kenar yarıçapını (edge radius) arttırdığını aynı zamanda işleme kuvvetlerini arttırdığını belirtmiştir. Freze kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülüğü de işimlerdeki 17 geçişten sonra (1 geçiş 900 mm) freze kuvvetlerinin şiddetinin ikiye katlandığını tespit ederek yüzey pürüzlülüğü de erinin ilk geçişten 17. geçişe kadar 2 μm 'den 12 μm 'ye arttığını gözlemlemiştir. Böylelikle karbon fiberlerin aşındırıcı yapısı nedeniyle, kenar yuvarlama ve kırılmanın elmas kaplamada freze kuvvetlerini etkilediği sonucuna varmışlardır (Karpat ve Polat, 2013).

Hagino ve Inoue (2013), farklı foya'larındaki CFRP kompozit malzemeyi kenar frezelemiştir. Çalışmalarında üç farklı (0-30-45°) helis açısına sahip parmak freze takımlarını kullanmışlardır. 0° helis açısında herhangi bir tüy ya da kabarıklık (fluffing) belirtisine rastlamamışlardır. Bu durum takımın kesici kenarının dönme işleminde kesme kenarına dikey yönde olmasını istedikleri yüzey bitirme formunu elde etmelerinden kaynaklandığını belirtmiştir. 30° helis açılı takımda iş parçasındaki hataları gözlemlemiştir. 45° helis açılı takımla gerçekleştirilen işlemlerde hatalar daha belirgin bir şekilde tespit etmiştir. Böylece meydana gelen kusurların foya'na bağlı olduğunu belirtmiştir. 90° foya'ında en az pürüzlülük de erini elde etmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü de erini $\pm 45^\circ$ foya'ında tespit etmiştir. Helis açısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de erinin artması sonucuna varmışlardır. Takımlarda yanak aşınmasının çok küçük olduğunu gözlemlemiştir. Tüm takımların yanak yüzeylerinde çizikler

bulmu lardır. Helis açısının artmasıyla yanak a ınmasının azaldı ını tespit etmi lerdir. ilerleme (F_x) ve itme (F_y) kuvvetlerinin foa'larından önemli ölçüde etkilendiklerini belirtmi lerdir. 0° helis açısına sahip takımın en dü ük kesme kuvvetine sahip oldu unu ve CFRP kompozit malzemesi i lenmesinde etkili bir takım oldu unu belirterek bütün takımlarda yanak a ınmasının küçük oldu unu sonucuna varmı lardır (Hagino ve Inoue, 2013).

CFRP kompozit malzemeyi oda sıcaklı ında so utulmu hava (chilled air) uygulayarak inceleyen Khairusshima vd. (2013), kesme parametrelerini, malzeme yüzey etkilerini ve kaplamasız karbür kesici takımın performanslarını kar ıla tırmı lardır. Yaptıkları çalı mada $205 \times 300 \times 3$ mm boyutlarında 0° - 45° foa'lı malzemeyi 8 mm çapında iki oluklu kaplamasız karbür kesici takımı ile i lemi lerdir. Farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında 15 deneysel çalı mada, -10°C sıcaklı ında 4,10 m/s akı hızındaki vorteks tüpü uygulamasında gerçekte tirmi lerdir. Takım a ınmasının i leme sırasında önemli bir kriter oldu unu belirterek hem oda sıcaklı ında hem de so uk hava ile uygulamasında a ınmanın arttı ını gözlemlemi lerdir. Sabit ilerleme oranıyla oda sıcaklı ında ve so uk hava ile yapılan i lemede fark görmemelerine ra men oda sıcaklı ında yapılan i lemede takım a ınmasının yüksek kesme hızından dolayı önemli oldu unu tespit etmi lerdir. Sabit kesme hızında yapılan uygulamada ise dü ük ilerleme oranında bir fark olmadı ını, ilerleme oranının artmasıyla takım a ınmasının artı ını tespit etmi lerdir. Böylelikle CFRP kompozit malzemesinin i lenmesi esnasında kesme sıcaklı ının so uk hava uygulamasıyla azaltılabilece ini ve takımın ömrünü uzatabilece ini açıklamı lardır.

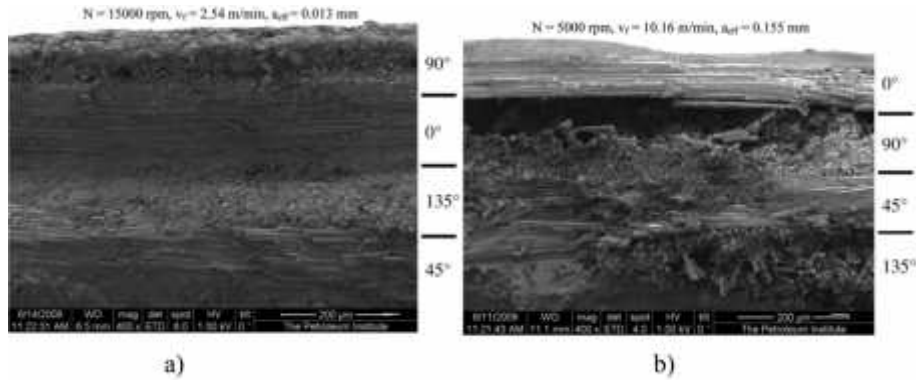


ekil 15: Kesici takım a ınmasının (kesme hızı 179 m/dak, ilerleme oranı 0,05 mm/di); a) Mikroskoptaki ve b) SEM'deki görünümü (Khairusshima vd., 2013).

So uk hava uygulanmı takımın karbon fiberin a ındırıcı yapısından kaynaklı a ınma alanında pürüzsüz ve parlak görünüme sahip oldu unu tespit etmi lerdir (ekil 15). So uk

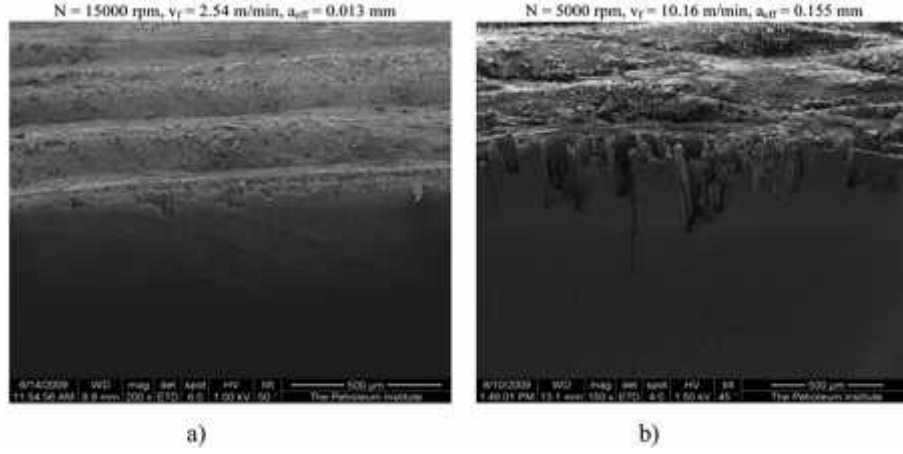
hava uygulanması takımın kullanılmasıyla sıcaklık oluşumunu azalttı. Aynı takımın keskin kesici kenarının ilerleyen malzemeyi uzun zamanda ve mesafede kesmesine yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Her iki koşulda da yüzey pürüzlülüğünde ve delaminasyon hasarında CFRP kompozit malzemesinin soğuk hava ile uygulamasında daha iyi olduğu belirtilmiştir (Khairusshima vd., 2013).

CFRP kompozit malzemenin yukarı frezelenmesinde Sheikh-Ahmad vd. (2012), delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü etkilerini araştırmışlardır. Deneylerinde 610 mm uzunluğunda ve 2,5 mm genişliğindeki CFRP kompoziti kullanmışlardır. 6,3 mm çapında piramit görünümlü kesici takımını, 1,6 mm kesme genişliğinde farklı ilerleme oranlarında ilerletmişlerdir. Çalışmalarında Colligan'ın tanımladığı dört tip delaminasyonu tipini örnek almışlardır. İlerleme kalitesinin ilerleme oranına ve kesme hızına bağlı olduğunu savunarak deneylerini iki ayrı koşulda uygulamışlardır (ekil 16).



ekil 16: Ayrı kesme koşullarında ilerletilmiş yüzeylerin görünümü (Sheikh-Ahmad vd., 2012).

ekil 16'da ilerletilmiş yüzeylerin sadece kesme koşullarına bağlı olmadıklarını aynı zamanda ilerleme oranına da bağlı olduklarını belirterek yüzey pürüzlülüğünün yüksek ilerleme hızında ve düşük ilerleme oranında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



ekil 17: A ırı kesme ko ullarındaki delaminasyon gösterimi (Sheikh-Ahmad vd., 2012).

Delaminasyonun i parçası yüzey katlarında daha belirgin oldu unu tespit etmi lerdir. Çünkü bu katlar herhangi bir tabaka tarafından desteklenmemektedir. ekil 17’de a ırı ko ullarda uygulanan i lenmi kenarın delaminasyonu görülmektedir. Küçük tala kalınlı ının (chip thickness) etkisi ile yapılan i lemde delaminasyon görülmemesine ra men büyük tala kalınlı ı ile uygulanan kesimde malzeme yüzeyinde yo un delaminasyon oldu u ekil 17b’de görülmektedir. Ara tırmacılar endüstride kabul edilir delaminasyon derinli inin 1,5 mm oldu unu, sonrasının reddedildi ini belirtmi lerdir. ilerleme oranının delaminasyon derinli inde en yüksek etkiye sahip oldu unu tespit etmi lerdir. Böylece yüzey pürüzlü ü ve delaminasyon bakımından en iyi i lenmi yüzey kalitesinin dü ük ilerleme oranında, yüksek kesme hızında oldu u sonucuna varmı lardır (Sheikh-Ahmad vd., 2012).

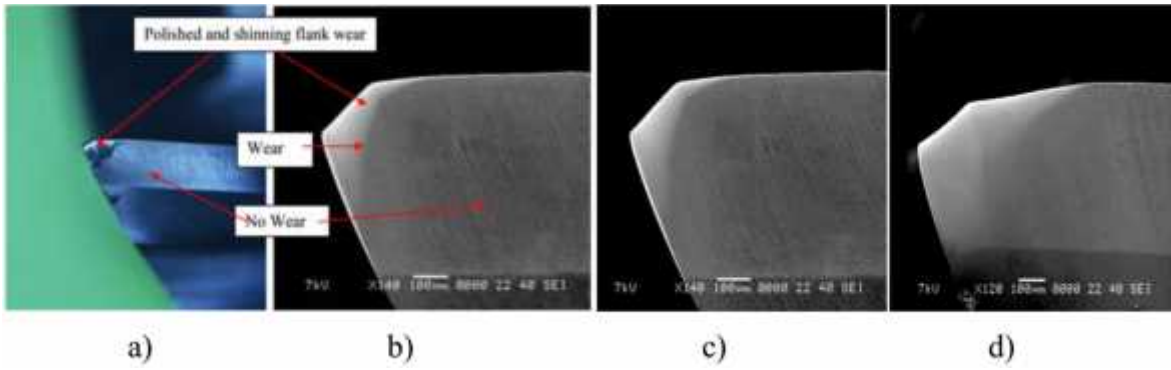
CFRP kompozit malzemenin helisel frezeleme i leminde kesme kuvvetleri etkisini de erlendirmek amacıyla Haiyan vd. (2012), takım a ınmasının kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini analiz etmi lerdir. Delik kalitesi ve kesme kuvveti arasındaki ili kiyi ara tırmı lardır. Deneplerinde % 65 fho’na sahip, 250×120×100 mm ölçülerindeki i parçasını kullanmı lardır. leme parametrelerini farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında toplam dört seviyede belirlemi lerdir. Çalı malarında 10 mm olan delik çapı açmak için 6 mm çapında, 55 mm uzunlu unda, dört oluklu ve TiAlN kaplamalı özel takımlarla kuru i lemi lerdir. Di ba ına dü en ilerleme oranın kesme kuvvetleri üzerine etkisinde; i mili hızını 4000 dev/dak, aksenal ilerleme oranını 0,1 mm ve di ba ına ilerleme oranını 0,3’den 0,06 mm de i tirmeleriyle, kesme kuvvetlerinin lineere yakın bir biçimde artı ını tespit etmi lerdir. ilerleme oranın artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttı ını

gözlemlemi lerdir. Eksenel ilerleme oranının artmasıyla eksenel ve te etsel kesme kuvvetlerinin arttı nı gözlemlemi lerdir. Delik sayısının artmasıyla takım a nmasının daha kötüye gitti ini tespit etmi lerdir. A nmanın tüm kesici kenar boyunca sadece abrasiv a nma ile düzgün ve e it olarak da ıldı nı tespit etmi lerdir. Foa'nın yüzey kalitesine önemli bir etkisinin oldu unu belirtmi lerdir. Delaminasyon faktörünün te etsel kesme kuvvetinin artmasıyla artı gösterdi ini gözlemlemi lerdir. Eksenel kesme kuvvetinin artmasıyla delaminasyon faktörünün sabit kaldı nı belirtmi lerdir (Haiyan vd., 2012).

CFRP kompozit malzemenin i lenmesi için tasarlanmı iki standart dı ı özellikleri olan takımların etkilerini inceleyen Chatelain ve Zaghbani (2012), çalı malarını çapraz kesim (cross-cut) takımlarından pozitif negatif helis açılı (positive negative helix angle) ve oluklu di lere (grooved-teeth) sahip olanları karbür standart takım (carbide standard cutter) ile kar ıla tırmı lardır. leme testlerini havacılıkta kullanılan % 64 fho'na sahip kare biçimindeki (square-shaped) CFRP kompozit malzemeyi kuru i lemi lerdir. Deneylerde her bir takım geometrisinin kesme kuvvetlerindeki büyüklüklerinde dalgalanma gözlemlemi lerdir. Tala kalınlı nın sinüs e risi ekinde de i iminden kaynaklandı nı belirterek, 3 takım geometrisinin X ilerleme yönündeki kesme kuvvetlerinde yüksek büyüklük kaydetti ini gözlemlemi lerdir. Kesme bölgesindeki kesici di lerin yüksek temas yüzeyinin azalmasından kaynaklanabilece ini belirtmi lerdir. Oluklu geometride Y yönünde yüksek büyüklükler kaydetmi lerdir. Bunun da kesici takım ile i lenmi yüzey arasındaki a nmanın artmasından kaynaklandı nı belirtmi lerdir. Çapraz geometri takımı dalgalanmanın giderilmesi için katkıda bulundu unu tespit etmi lerdir. Yüksek dalgalanmaları standart takımlarla bulmu lardır. Kesme kuvvetlerinin kesici performanslarında iyi bir gösterge sa ladı nı, çapraz kesim geometrisinin standart ve oluklu geometrilere göre istikrarsızlı a (instability) daha duyarlı oldu unu belirtmi lerdir. Özel olukların eksenel kuvveti azalttı nı ve ilerleme ile kesme kuvvetlerinin önemli bir ekinde dalgalanmayı dü ürdü ünü bildirmi lerdir (Chatelain ve Zaghbani, 2012).

CFRP kompozit malzemede karbür takımın performansını, yüzey pürüzlülü ünü, delaminasyon etkilerini ara tırmayı amaçlayan Khairusshima vd. (2012), 0° - 45° foa'larındaki, $300 \times 250 \times 3$ mm boyutlarındaki malzemeyi i lemi lerdir. 8 mm çapında, 2 oluklu, 30° helis açılı ve 60 mm uzunlu undaki kaplamasız karbür parmak freze (solid uncoated carbide end mill) takımını frezeleme i lemlerinde kullanmı lardır. Kesme

geni li i (0,05 mm), farklı kesme hızları (160, 180, 200, 220 ve 240 m/dak) ve ilerleme oranları (0,0125 ve 0,025 mm/di) seçerek ilerleme parametrelerini belirlemi lerdir. Her iki ilerleme oranlarında kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığını gözlemlemi lerdir. Özellikle, kesme hızının 200 m/dak ve 220 m/dak için ilerleme oranı ise sırasıyla 0,0125 mm/di ve 0,025 mm/di oldu unda aşınmanın hızlı bir şekilde yaklaşık 500 mm mesafede arttığını tespit etmi lerdir. Bu noktada takım aşınmasının kritik bir noktaya eriştiğini ve kesme hızının daha önemli olduğunu vurgulamı lardır. Aşınmanın düşük ilerleme oranıyla ve yüksek ilerleme oranıyla karşılaştırıldığında düşük ilerlemede daha iyi olduğunu gözlemlemi lerdir. Kesme hızının artmasıyla aşınmanın belirgin hale geldiğini tespit etmi lerdir.



ekil 18: Yanak aşınması; a) ve b) 0,025 m/di ve 160 m/dak'daki aşınma, ilerleme oranı 0,025 m/di c) 160 m/dak, d) 200 m/dak (Khairusshima vd., 2012).

ilerleme oranının 0,025 m/di ve kesme hızının 160 m/dak olduğu durumda yanak aşınmasının 0,3 mm'ye ulaştığını gözlemlemi lerdir (ekil 18a ve ekil 18b). Bu durumun kenar kesme yüzeyinin aşınmasından ve karbon ile kesici takımın temasından kaynaklanmaktadır. Kesme hızının 160'dan 200 m/dak'ya artmasıyla, yanak aşınmasının arttığını tespit etmi lerdir (ekil 18c ve ekil 18d). Buna fiberin kırılma özelliğinin ve matris malzemesi sertliği nedeniyle sebep olmaktadır. Daha yüksek kesme hızı kompozit fiberin yüksek deformasyon oranına yol açmakta ve sonradan aşınma takım aşınmasına sebep olmaktadır. Düşük ilerleme oranında daha iyi takım ömrü elde etmi lerdir. Düşük ilerleme oranında yüzey pürüzlülüğü daha iyi ölçümlenmiştir. Delaminasyon faktörünün kesme hızı ve ilerleme oranının artmasıyla yükseldiğini belirtmi lerdir. Bu duruma ilerleme sırasındaki yüksek kesme kuvvetlerinin neden olduğunu belirtmi lerdir (Khairusshima vd., 2012).

Karpat vd. (2012) ilk çalı malarında, % 59 fho'na sahip 30 tabakadan olu an 10 mm kalınlı ında farklı foa'da CFRP kompozit malzemeyi ıslak i lemi lerdir. 0° helisli 2 di li PCD takımla birlikte 0° tala açılı 10 mm çapında 20° bo luk açılı PCD takımlarını kullanarak kanal frezeleme (slot milling) i lemini sabit kesme hızında uygulamı lardır. Dikey (F_z) yöndeki kuvvetler tüm frezeleme i leminde oldukça küçük oldu unu gözlemlemi lerdir. Dikey kuvvetlerin küçük tutulmasının delaminasyon sorunundan dolayı önemli bir husus oldu unu belirtmi lerdir. Takımın dönme açısına göre te etsel ve radyal yönlerde freze kuvvetlerinde; radyal yöndeki kuvvet ölçümlerinin (F_r) te etsel kuvvet ölçümlerinden (F_t) daha yüksek tespit etmi lerdir. Yapımı oldukları ikinci çalı malarında ise 9,575 mm çapında, kesici kenar uzunlu u 19,05 mm ve 3 di e sahip farklı helis açılı (0° , $+5^\circ$ ve 5°) olan PCD kesici takımı kullanarak kenar frezelemi lerdir. 0° - 45° - 90° - 135° foa'daki CFRP kompozit malzemesin kullanımı lardır. Bu freze takım geometrisini tabaka üzerinde freze kuvvetlerinin yönünü de i tirerek i leme sırasında delaminasyonu azaltmak için tasarladıklarını belirtmelerine ra men yüzey frezeleme için uygun olmadı nı belirtmi lerdir. Yapımı oldukları (pocket milling test) frezeleme testlerini yeni takımla gerçekle tirmiler ve frezeleme i leminden sonra takım kesici kenarında herhangi bir a ınmaya rastlamı lardır. CFRP kompozit malzeme i lenmesi sırasında takım a ınmasının önemli bir husus oldu unu belirterek takım a ınmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin de arttı nı tespit etmi lerdir (Karpat vd., 2012).

Kalla vd. (2010), CFRP kompozit malzemenin helisel frezeleme i lenmesinde olu an kesme kuvvetlerini yapay sınır a ları (artificial neural networks) ANN modelini kullanarak ara tırmı lardır. Helisel frezeleme i lemi için 2000 devir, ilerleme oranı için 0,406 m/dak ve kesme geni li i için de 0,5 mm olan kesme parametrelerini seçerek ekil 19'da görülen 9,5 mm çapında 2 a ızlı, 30° helis açısı ve 16° tala açısına sahip karbür helisel parmak freze takımını kullanımı lardır.



ekil 19: Karbür helisel freze takımı görünümü (Kalla vd., 2010).

Deneylerini, % 60 fho'na sahip, 0°-60° foa'lı ve 60°-0°-120° foa'lı CFRP kompozit malzemeler kullanarak kuru olarak i lemi lerdir. Yaptıkları çalı mada 0° foa'lı CFRP kompozit malzemede, 0°-60° ve 180°-240° dalma açıları aralı ı kullanıldı ında kesme kuvvetlerinde artı oldu u ve aynı artlarda 60° foa'lı CFRP kompozit malzemede ise kesme kuvvetlerinin 0° foa'lı malzemeye göre daha yüksek oldu u gözlemleni lerdir. 60°-0°-120° foa'lı malzemede ise 0°-120° ve 180°-270° dalma açıları aralı ında kesme kuvvetlerinde artı oldu u, ancak yakla ık olarak 93° ve 220° dalma açılarında kesme kuvvetlerinde dü ü oldu unu gözlemleni lerdir. Ayrıca deneyler sonucunda elde ettikleri veriler ile ANN modeli de erlerinin hemen hemen aynı oldu unu da çalı malarında bildirmi lerdir (Kalla vd., 2010).

Çok di li freze takımlarını optimize etmek için Lacalle vd. (2009), kanal açma (slotting) i lemlerini uygulayarak, farklı kalınlıklardaki farklı kompozit malzemeyi (carbon fibers=kompozit 1, carbon+kevlar fibers=kompozit 2) i lemi lerdir. Deneylerini be kategoride farklı kesici takımlarla (helisel parmak freze, nanoyapılı TiAlN-CSi kaplamalı ve PCD) gerçekle tirmi lerdir.Yapmı oldukları deneyler sırasıyla;

T0: Elmas kaplamalı helisel parmak freze takımını kullanarak farklı fiber kompozitlerini kar ıla tırmak için spesifik kesme kuvvetlerini tanımlamak,

T1: Nanoyapılı TiAlN-CSi kaplamalı çok di li geometrisi olan takımla birlikte takım altlı ı için en uygun karbür derecesini tanımlamak,

T2: T1 testinin sonucuna göre en iyi kaplamaları tanımlamak,

T3: Farklı sayıdaki sa ve sol oluklara sahip piramit ekinde kenar geometrisi olan takımı tanımlamak.

İlk dört çalı malarını endüstri uygulamalarında tercih edilen silindirik takım tutucu ile uygulamı lardır.

T4: CFRP kompozit malzemesini PCD kesici takımları için en iyi verimlilik kesme ko ullarını tanımlamı lardır.

Kesme kuvveti sonuçlarına göre, kompozit 2 malzemesinde yüksek kesme kuvveti gerekti ini bunu da malzemenin yüksek dayanımından kaynaklandı ını bildirmi lerdir. Helisel parmak freze takımının (T0 deneyi) performansının yeterince iyi oldu unu fakat Z eksenindeki kuvvetin esnek kısımlardan dolayı iyi olmadı ını gözlemleni lerdir. Yüksek kesme kuvvetlerinde takım a ınmasının sebep olmadı ını belirterek kesici kenarlar tarafından yüksek a ınmaya maruz kaldı ını tespit etmi lerdir. NaCO takımının ilgi çekici bir özelli i olmadı ını yani iyi bir performans göstermedi ini tespit etmi lerdir. Çünkü çok

daha uzun takım ömrü elde edilmedi ini yaptıkları çalı mada tespit ederek takımın tüm di lerinde küçük kırılmalar tespit etmi lerdir. Bu nedenle tek katlı (monolayer) AlTiN veya AlCrN kaplamaların daha iyi bir seçenek oldu unu belirtmi lerdir. Kaplama testleri için (T2 deneyi), AlTiN veya AlCrN kaplamalarını 8 mm çapında takımlar ile gerçekte tirmi lerdir. Yaptıkları bu testin sonuçlarını gözlemleyerek i leme durumundaki kuvvetin ilerlemeye ba lı oldu unu vurgulamı larıdır. Yukarı i leme operasyonunun a a ıya i leme operasyonundan daha iyi bir bitirme i lemi oldu unu gözlemleyerek bazı delaminasyonlar tespit etmi ler. PCD kesici takımların istenilen yüksek verimlilik derecesini elde etmedi ini tespit etmi lerdir. Bu durumun farklı CFRP kompozit malzemesinden kaynaklandı nı vurgulamı larıdır. Ara tırmacılar yapımı oldukları toplam be deney sonucunda, TiAlN kaplamalı çok di li takımın en iyi takım ömrü oldu unu, nanoyapılı (TiAlN+SiC) kaplamalı takımdan istenilen sonuçları elde edemediklerini vurgulamı larıdır. Bu durumun karbür altı nın yapı ma eksili inden kaynaklanmı olabilece ini dü ünü mü lerdir. Piramit kenarlı kesici takımın veya çok di li takımların Z yönündeki kuvvetlerinin etkisinin az oldu unu tespit ederek uzun (slender) i parçalarını bükerek (bending) kesme kuvvetinin etkisini engelledi ini tespit etmi lerdir. Karbon+kevlar takviyeli kompozit malzemesinin di er malzemeye göre daha zor i lendi ini, PCD takımların yeterli ko ullara (ekonomik açıdan) ula amadı nı tespit etmi lerdir. Ancak çok di li freze takımının CFRP kompozit malzemesi için uygun oldu unu ve tavsiye edilebilece ini önermi lerdir (Lacalle vd., 2009).

Davim ve Reis (2005), CFRP kompozit malzemenin frezeleme i leminde, kesme parametreleri (kesme hızı- V ve ilerleme oranı- f), yüzey pürüzlülü ü (R_a), delaminasyon faktörü (F_d) ve uluslararası boyutsal hassaslık (IT) etkilerini ara tırmı larıdır. Bu faktörlerin belirlenmesi için ANOVA analizini kullanmı larıdır. Deneylerinde 4 mm kalınlı ndaki % 55 fho'na sahip 0° - 90° foa'daki CFRP kompozit malzemeyi, 6 mm çaplarındaki 2-6 oluklu sementit karbür (K10) parmak freze takımlarını kullanarak, 2 mm kesme geni li inde i lemi lerdir. Yüzey pürüzlülü ünün ilerleme oranı ile farklı kesme hızları de erlendirildi inde; ilerleme oranının artmasıyla ve kesme hızlarının azalmasıyla pürüzlülü ün artı nı gözlemlemi lerdir. Daha yüksek kesme hızı ve dü ük ilerleme oranı ile daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmenin mümkün olaca nı belirtmi lerdir. 2 oluklu parmak freze takımının 6 oluklu parmak freze takımından daha iyi yüzey elde etti ini vurgulamı larıdır. CFRP kompozit malzemenin sementit karbür parmak freze takımlarıyla frezeleme i leminde; her iki parmak freze takımı için kesme parametrelerinin bir

fonksiyonu olarak yüzey kalitesi 1 ile 3 μm arasında elde etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün ve uluslararası boyutsal hassaslığının ilerleme oranının artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla artışı, delaminasyon faktörünün ilerleme oranının artmasıyla artışı belirlemiştir. Ancak 6 oluklu freze takımında kesme hızının artmasıyla delaminasyon faktörünün artışı, 2 oluklu takımla yapılan uygulamada CFRP kompozit malzemenin daha az hasar aldığı sonuçlarına varmışlardır (Davim ve Reis, 2005).

Hocheng vd. (1993), CFRP kompozit malzemenin ilerlenebilirliği ile ilgili deneysel bir çalışmaya gerçekleştirmişlerdir. Deneylerinde, 0° - 90° - 45° foa'ları ile % 60 fho'na sahip, $250 \times 50 \times 4$ mm boyutlarındaki bir parçasını 20 mm çapında tek kare karbür kesici takımla (OSG-Walter F2037) kuru olarak işlemişlerdir. Deneylerini 500, 1500 ve 300 dev/dak ileri hızlarında, 31,4-94,2 ve 188,4 m/dak kesme hızlarında ve 1 mm sabit kesme genişliği uygulamışlardır. Kayma yükünün uygulandığı 90° foa'ında, daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğundan dolayı daha düşük yüzey kalitesi meydana geldiğini belirtmişlerdir. 90° foa'ında takım aşınması 0° foa'ına göre daha az meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Artan ilerleme oranı ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artışı ve ilerleme oranlarına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Böylece 188,4 m/dak kesme hızı, 0,017 mm/di ve 1 mm kesme genişliğinde 0° foa'ında takım ömrü 16 dakika iken 90° foa'ında 19 dakika olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçta fiber eksenine paralel kesme yönü frezelemesini tavsiye etmişlerdir (Hocheng vd., 1993).

3.2 CFRP Kompozit Malzemelerin İlerlenmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

CFRP kompozit malzemenin kesme kuvveti model davranışını incelemeyi amaçlayan Maegawa vd. (2016), aşağı frezeleme (down milling) işlemi tungsten karbür (WC-Co) K10 ve PCD takımları kullanarak işlemişlerdir. Kesme hızı 30 m/dak, ilerleme oranı 0,05 mm/dev ve kesme genişliği 2,0 mm olarak belirlemiştir. Deneyleri 0° - 90° foa'daki bir parçasının iki deformasyon bölgesinde (chipping-pressing) incelemiştir. Kesme kuvvetleri de ikinde, ana kuvveti (principal force) F_p ve itme kuvveti (thrust force) F_T tek pasoda ve 0° foa'ında frezelenmesi esnasında F_T kuvveti F_p kuvvetinden daha büyük olarak ölçmüştür. Bu durumu takım aşınmasından dolayı oluşan kesici kenarın körleşmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Kesme yönüne dik olan 90° foa'ında ise F_T

ve F_p kuvvetlerinde kesme mesafesinin artmasına rağmen herhangi bir de i im olu madı mı ve kesme testlerinden sonra kesici takımın körlendi ini tespit etmi lerdir. PCD takımın WC-Co takımdan daha uzun takım ömrü oldu unu ve takım a ınması bakımından daha üstün oldu unu tespit edilmi tir. WC-Co takımın sürtünme katsayısıyla ($\mu=0,3$), PCD takımın katsayısının ($\mu=0,26$) yakın oldu unu tespit etmi lerdir. Tüm kesme ko ullarındaki kesici takımların kenar (edge) profillerinde büyük yuvarlaklık gözlemi lerdir. Böylece P kuvveti etkisinin azaltılması gerekti i sonucuna varmı lardır. Ayrıca, i lenebilirli in ve takım a ınması süreçlerinin foa'lara ba lı oldu unu sonucuna varmı lardır (Maegawa vd., 2016).

Jia vd. (2016), CFRP kompozit malzemesini yukarı yönlü (zıt) frezelemi lerdir. Çalı malarında kriyojenik nitrojen gazını ve so utma sıvısı olmadan i lemi lerdir. Dene ylerinde % 65 fho olan, $[0/0/0/(135/0/45/90)_2]_S$ foa'da, $30 \times 20 \times 3$ mm ölçülerindeki i parçasını, 10° tala açılı 20° bo luk açılı PCD takımla uygulamı lardır. Kesme hızı 314 m/dak, ilerleme oranı 50 mm/dak ve kesme geni li i 0,3 mm belirlemi lerdir. CFRP kompozit malzemenin ısıl iletkenli inin metal malzemedan daha dü ük oldu unu belirtmi lerdir. Kuru i leme i leminde maksimum sıcaklı a ula mı lardır. Sıcaklıklar ile kesme kuvveti de i iminin do rusal olmadı mı tespit etmi lerdir. CFRP kompozit malzemenin mekanik özellikleri de i imi -25°C altında i lenen frezelemenin bile ke kuvvetinin çok fazla artmasına yol açtı mı belirtmi lerdir. -25°C kesme alanı sıcaklı ı altında so utma uygulanmasıyla R_a 'nın $1,6 \mu\text{m}$ oldu unu tespit etmi lerdir. Kriyojenik sıcaklık altında yüzey pürüzlülü ü de erinin azaldı mı tespit ederek kaliteli yüzey elde etmi lerdir. Farklı mesafelerde kriyojenik nitrojen gaz püskürtmenin CFRP kompozit malzemelerin parmak freze i leminde kesim alan sıcaklı mı kontrol etmek için etkili bir yol oldu unu belirtmi lerdir. CFRP kompozit malzeme frezeleme analizlerinde -10°C ile 25°C arasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülü ün nispeten küçük kaldı mı belirtmi lerdir. yi yüzey bütünlü ü ve çok az alt yüzey hasarı elde etmi lerdir (Jia vd., 2016).

Zenia vd. (2015), kesme kuvveti ve yüzey altı hasar üzerindeki etkileri ara tırmı lardır. Dikey kesme i lemlerinde DoE'de (Design of Experiments) birbirinden ba ımsız (fiber oryantasyon, takım tala açısı, takım kenar radyüsü ve kesme geni li i) dört parametreleri seçerek uygulamı lardır. CFRP kompozit tabakasını, 60 m/dak kesme hızında belirlemi lerdir. Takımı katı cisim (rigid body) olarak modelleyerek, fiber yönünde plastik

akı olmadı mı ve fiberin davranı mı gerilim veya sıkı tırma altında elastik kırılğan oldu unu varsaymı lardır. Foa'nın kesme kuvveti üzerine önemli bir etkisi oldu unu vurgulamı lardır. Minimum kesme kuvveti de erini 0° ve 45° foa'da gözlemlerken maksimum de erin 90° foa'da artı mı gözlemleni ledir. Farklı foa'larında yapmı oldukları FE modellemenin deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde oldu unu bildirmi lerdir. CFRP kompozit malzemesinin tala olu um i leminin metallerden farklı oldu unu belirterek bu durumun tamamen kompozit malzemenin heterojen ve anizotropi özelliklerinden kaynaklandı mı açıklamı lardır. Kesme kuvveti ve hasar olu umunda CFRP kompozit malzemesinde dikey (orthogonal) kesme i leminde yüksek oranda foa'na ba lı oldu u sonucunu varmı lardır (Zenia vd., 2015).

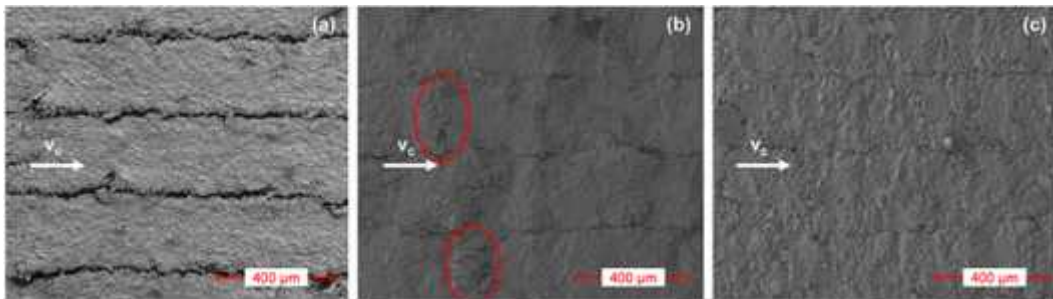
Wang vd. (2015), $\pm 45^\circ$ foa'lı, 8 tabakadan olu an 3 mm kalınlı ındaki CFRP kompozit malzemenin frezeleme i leminde yüzey pürüzlülü ü ve i leme parametreleri arasındaki ili kiyi RSM yöntemini kullanarak modellemi lerdir. Deneyslerini 6 mm çapında, özel tasarlanmı PCD takımlarla so utma sıvısı kullanmadan uygulamı lardır. Deneyslerde ilerleme oranındaki artı la beraber yüzey pürüzlülü ü de erinin artı mı gözlemleni lerdir.

mili hızının artmasıyla yüzey kalitesinin kötüle ti ini belirtmi lerdir. Sonuçta, ilerleme oranı kompozitlerin i lenmesinde yüzey pürüzlülü ü de erlerini etkileyen baskın bir faktör oldu unu açıklamı lardır. ANOVA kullanarak, elde ettikleri matematiksel modelin yeterli oldu u savunmu lardır (Wang vd., 2015).

Çelik vd. (2015), CFRP kompozit malzemenin delme i leminde, mikroyapı özellikleri de i en SiAlON seramik takımların a ınma davranı mı incelemi lerdir. WC-Co takımla kar ıla tırmı lardır. Deneyslerini % 59 fho, 0°/90°/45°/-45° foa'ları ve 10 mm kalınlı ındaki CFRP kompozit malzemeyi i lemi lerdir. lemlerini 6,4 mm çapındaki takım ile 0,05 mm/dev ilerleme oranında kuru olarak i lemi lerdir. Çalı malarında 15 delme i leminden sonra, takımların kesme kenarlarının körlendi i tespit etmi lerdir. Karbon fiberler tarafından sert a ınmaya maruz kalmı ve kesme kenarları keskinli ini kaybetmi tir. Bu durum i parçası ile takım arasındaki sürtünmeyi arttırmı ve kesme kenarındaki sıcaklı ı yükseltmi tir. 15 ile 35 delme arasında karbon fiberlere uygulanan a ınmanın etkisinin azalmı tir. Daha fazla delme i lemlerinde çiziklerin önemli biçimde elimine edilmesi parlak bir yüzeyin meydana gelmesine neden olmu tur. SiAlON delme takımlarındaki a ınma WC-Co takımından 2 veya 3 kat daha fazla tespit edilmi tir. Çünkü SiAlON takımların benzer sertlikte olmalarına ra men WC-Co önemli ölçüde daha az a ınma

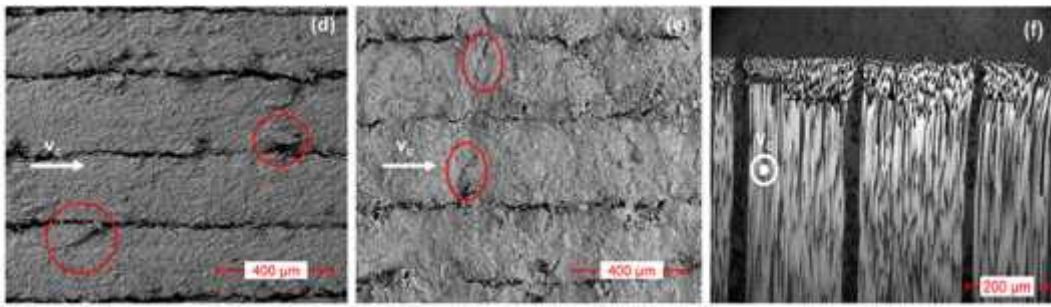
davranı ı göstermektedir. Bu durum WC parçacıklarının ince taneleri ve Co fazının nispeten dü ük miktarlarda olması nedeniyle WC-Co takımın iyi bir sertlik ve kırılma tokluğu kombinasyonuna sahip olmasından kaynaklanmaktadır. WC-Co a ınma direnci SiAlON delme takımlarından daha yüksek ölçülmü tür. Ara tırmacılar, karbon fiberler ve kesici takımlar arasındaki etkile im farklılıklarında WC-Co takımın SiAlON takımlarından daha iyi bir a ınma direnci olduğunu tespit etmişlerdir. 5. delme i leminden sonra SiAlON takımlarda delaminasyon faktörünün artması ve kesme kenarı keskinliğini kaybetmiştir. Yüksek a ınma direncine sahip olmasından dolayı WC-Co takımında delaminasyon oranı dü mü tür (Çelik vd., 2015).

CFRP kompozit malzemesi tornalanmasında kullanılan takım geometrileri etkilerini inceleyen Henerichs vd. (2015), kuvvetler sürecini (process-forces), takım a ınmasını (abrasive tool-wear), i parçası hasarlarını (workpiece damages) ve delaminasyon mekanizmalarını farklı takım geometrilerine ve foa ba lı kalarak ara tırmışlardır. Deneylerde % 59 fho'na sahip, farklı foa'daki yarı boru (half pipe) biçimindeki 1 m uzunlu unda, 5 mm geni li inde ve toplam 200 mm çapında olan CFRP boru malzemesini 55 mm geni li inde ve 120° parçalara su jeti (water jet cutting) ile keserek kullanmışlardır. Kesme testlerini 20 ile 500 m/dak kesme hızlarında kesintisiz (non-interrupted cut) bir ekillde i lemişlerdir. Kuvvet sürecin tanımlarını X eksenli olan pasif kuvveti (passive force), Y eksenli olan ilerleme kuvveti (feed force) ve Z eksenli olan kesme kuvveti (cutting force) olarak tanımlamalarına rağmen, deneylerde dik kesme i leminden dolayı pasif kuvvetini kullanmamışlardır. Deneylerinde 150° foa'ında en dü ük ilerleme kuvvetini gözlemişlerdir. Çünkü ilerleme kuvvetlerinin daha çok tala açısı (rake angle) tarafından etkilendiğini tespit etmişlerdir. Takım analizlerinde 30° ve 60° foa'larında takımlarda yanak yüzeyi a ınması (flank face wear) tespit etmişlerdir.



ekil 20: a) E (10°/7°) takımla i lenmiş yüzey, b) C (0°/14°) takımla i lenmiş yüzey, c) I (10°/21°) takımla i lenmiş yüzey (Henerichs vd., 2015).

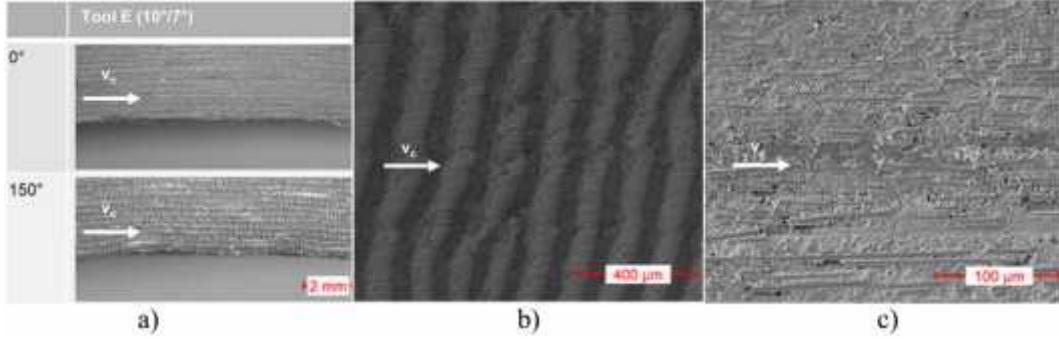
ekil 20'de dört katmanlı CFRP kompozit malzemesinin 60° foa'ında, farklı takımlarla i lenmi yüzeyleri verilmi tir. En dü ük bo luk açısına sahip olan E ($=7^\circ$) kesici takımının matris malzemesini yo un bir ekilde kaldırılmasını gözlemlemi lerdir. Bu takım dü ük bo luk açısından dolayı malzemeyi a a ıya do ru sıkı tırmı tır. Kesici takımın matris malzemesini ezdi ini bu durumun ise fiberleri geri yaylanmasından (spring-back phenomenon) kaynaklandı nı bildirmi lerdir. Büyük bo luk açılı C kesici takımında ise malzeme bükülmesinin daha küçük oldu unu gözlemlemi lerdir. ekildeki yuvarlak kısımlar malzeme içinde ilerleyen çatlakları ifade etmektedir. I takımı ile i lenen yüzeyin di er i lenmi yüzeylere göre en zayıf yüzeylerden biri oldu unu belirtmi lerdir.



ekil 21: d) 30° fiber açılı, e) 90° fiber açılı, f) 90° fiber açılı ve E takımı ile i lenmi içyapı kesiti (Henerichs vd., 2015).

ekil 21d'de 60° foa'ındaki gibi malzemenin ezildi ini ve e rilmi gibi uzadı nı gözlemlemi lerdir. Yuvarlak daireler fiber katmanlarının içten kesilmi oldu unu göstermektedir. Matris arasındaki ba lantıyla fiberlerin kısmen parçalanmı olduklarını gözlemleyerek 60° foa'ındaki gibi bükülmenin daha yo un oldu unu gözlemlemi lerdir.

ekil 21e'de matris katmanının daha küçük bir oranda kaldırıldı ı, çatlakların yuvarlak dairelerde görüldü ü izlenmektedir. ekil 21f'de ise sadece fiberlerin çok azının kusursuz oldu unu tespit etmi lerdir.



ekil 22: a) 0° ve 150° foa'daki delaminasyon, b) 150°, N takımı ile i lenmi , c) 0°, E takımı ile i lenmi (Henerichs vd., 2015).

Ara tırmacılar incelemelerinde, 0° ve 150° fiber açılarında E takımıyla yapılan i lemde delaminasyona rastlamamalarına rağmen, 150° foa'ında testere di i görüntüsü gözlemlenmektedir. ekil 22b'de ekil geometrisine bakılmaksızın testere görünümünde bir yüzey elde etmelerinin nedenini tala açısından kaynaklandığını belirtmektedir. 150° foa'lı bütün yüzeylerde pürüzlülük de erlerinin arttığını tespit etmektedir. 22c'de E takımının düz yüzey göstermesine rağmen yüzeydeki fiberlerin bir kısmının kırıldığını gözlemlenmektedir. Ayrıca, matris iç tabakasının sağlam olduğunu belirterek bunun düşük i lem kuvvetlerinden kaynaklandığını belirlemektedir. Delaminasyondan kaçınmak için kesici takımlar tasarlanırken büyük bo luk açalarına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamırlardır. Tungsten karbür takımlarından imal edilmiş takımın takım a nmasının önlenemeyeceğini vurgulamırlardır. yi bir a nma direnci elde etmek için büyük bo luk açılarının gerekli olduğu sonucuna vararak, delaminasyonun büyük bo luk açılarla azalabileceğini, yüzey pürüzlülü ü de erinin bo luk açısı ile arttığını tespit etmektedir (Henerichs vd., 2015).

Gaiyun vd. (2015), iki farklı i leme kategorisini CFRP/Ti-6Al-4V malzemesinde uygulayarak helisel frezeleme yöntemiyle i lemektedir. Bunlardan ilk olan helisel frezeleme kategorisi I'de her iki malzemede özde i leme parametreleri ile i lenmesi, di er helisel frezeleme kategorisi II'de ise her iki malzemede iki farklı takım i leme parametrelerini kullanarak incelemektedir. leme parametrelerini de i kenli ve de i kensiz uygulayarak helisel frezeleme performanslarında takım ömrü, kesme kuvvetleri ve delik kalitesini ara tırmırlardır. Deneylerinde 10 mm kalınlı ında % 60 ile % 65 fho'na sahip ve 0°/45°/90°/-45° foa'lı CFRP kompozit malzemesini kullanırlardır. 4 a ızlı, 30° helis açılı ve 6 mm çapında freze takımını kullanarak kuru i lemektedir.

Kategori I'in i lenmesi sonucu iddetli abrasiv a nması tespit etmi lerdir. Kategori II ile yapılan deneyde takım ömrü % 12,5 arttı nı bulmu lardır. Kesme kuvvetlerinden aksel itme kuvveti (F_z) ve radyal kesme kuvveti (F_r) kategori II ile i lenmi CFRP kompoziti, kategori I ile i lenmi olandan daha küçük bulmu lardır. Ti-6Al-4V i lemede kesme kuvvetleri açısından kategori I'in kesme kuvvetleri kategori II'ye göre daha yüksek oldu unu gözlemleni lerdir. ki farklı i leme kategorilerinin iki malzemedeki yüzey pürüzlülü ü, Ti-6Al-4V malzemesinin i lenmesinde CFRP kompozite göre daha iyi elde etmi lerdir. CFRP kompozit malzemenin do al a ndırıcı yapısı ve fiber ayrılması gibi hasarlar yüzey pürüzlülü ünü etkileyerek, CFRP kompoziti i leme Ti-6Al-4V malzemesi ile kar ıla tırıldı nda daha zayıf yüzey bitirme i lemi elde etmi lerdir. Ti-6Al-4V malzemesinin delik giri ve çıkı nda herhangi bir hasar formuna rastlamamı lardır. Fakat CFRP kompozit malzemesinin her iki giri ve çıkı deliklerindeki delik kalitesi hasarını tespit etmi lerdir. Bu durum kategori II yönteminin yüksek kesme hızında i lenmesinden dolayı istenilen delik kalitesini elde etmi lerdir (Gaiyun vd., 2015).

CFRP kompozit malzemesinin i lenmesi sırasında kesme ve itme kuvvetlerini belirlemek amacıyla Qi vd. (2015), üç deformasyon (slipping-kayma, peeling-kenar kopma, bounding-ba layıcı) alanındaki kuvvetleri ara tırmı lardır. Çalı malarında % 65 fho'na sahip tek yönlü CFRP kompozit malzemenin analizi üzerine odaklanarak 0° + 90° açılarında uygulamı lardır. Deneylerinde farklı foa'larını (0° - 30° - 45° - 60° - 90°), tala açısını (10° - 20°) ve kesme geni li ini (0,1 ve 0,2 mm) belirleyerek sementit karbür kesici takımlarla i lemi lerdir. Her bir deneyi özel bir parametre ile birlikte üç defa tekrarlayarak tüm deneylerinde kesme hızını 1 m/dak olarak seçmi lerdir. Deneysel kesme kuvvetlerini 45° foa'sında, 10° tala açısında ve 0,1 mm kesme geni li inde seçmi lerdir. Tekrarlanan deneysel veri de erini 491,1 N hesaplayarak deneysel ve teorik sonuçlarının kar ıla tırmasını yapmı lardır. Ara tırmacılar, foa'nın kuvvetler üzerinde önemli bir etkisinin oldu unu gözlemleni lerdir. Kesme geni li i ile birlikte foa'nın küçük de erlerinde itme kuvvetlerinin artı nı belirlemi lerdir. Bu duruma kesme kuvvetinin neden oldu unu belirtmi lerdir. Yapmı oldukları deneyde CFRP kompozit malzemesi i lenmesinde (delme-frezeleme-tornalama) kuvvetlerin tahmin edilebilece i sonucuna, ayrıca kesme ve itme kuvvetleri üzerinde foa'nın, kesme geni li inin ve tala açısının önemli bir etkisinin oldu u sonucuna varmı lardır (Qi vd., 2015).

Frezelemede uygun kesme ko ullarını de erlendirmek amacıyla Schorník vd. (2015), farklı ilerleme hızlarında ve sabit kesme hızında 8 mm çapındaki freze takımıyla CFRP kompozit malzemesinden yapılmı 104/90 mm boyutlarındaki boruya altı farklı kesme ko ullarında kanal açarak i lemi lerdir. Deneylerinde yatay frezeleme ve geleneksel frezeleme yöntemlerini kar ıla tırmı lardır. En dü ük yüzey pürüzlülü ü de erini 200 mm/dak ki yatay frezelemede (climb milling) oldu unu tespit etmi lerdir. 200 mm/dak yatay ve geleneksel frezelemeden sonra olu an i parçası yüzeylerini gözlemleyerek, yatay frezeleme i leminden sonra meydana gelen bölgesel delaminasyon olu masına ra men daha iyi bir yüzey kalitesi elde edebilmi lerdir. Geleneksel frezeleme ile i lenmi yüzeyde genellikle temiz bir yüzey gözlemlemi lerdir. Ara tırmacılar, istedikleri iyi yüzey kalitesini elde ederek ilerleme oranının ve kesme hızının daha iyi bir kombinasyonları oldu unu vurgulamı lar, lakin ana problemin sabit kesme hızı oldu unu fakat kaba bir taslak için yeterli oldu u kanısına varmı lardır (Schorník vd., 2015).

SiAlON takımların performansını kar ıla tırmak amacıyla Çelik vd. (2015), CFRP kompozit malzemenin delme i lemini gözden geçirmi lerdir. Deneylerinde 150×150×10 mm ölçülerinde, % 59 fho'na sahip ve 0°/90°/+45°/-45° foa'larında olan malzemeyi, 6,4 mm çaplarında farklı bo luk açılarında ve aynı helis açılarındaki seramik, helisel matkap ve PCD kaplamalı takımları ile farklı ilerleme oranlarında i lemi lerdir. ilerleme oranının artmasıyla itme kuvvetinin ve torkun arttı nı tespit etmi lerdir. mili hızının bu iki faktöre bir etkisi olmadı nı gözlemlemi lerdir. Bu nedenle deforme olmamı tala kalınlı nın kesit alanı arttırdı nı gözlemleyerek bu durumun uygun oldu u kanısına varmı lardır. Takım a nması incelemelerinde, ba langıçta ilk delme i lemi gerçekleş ti i andan itibaren itme kuvveti 105 N olarak ölmü lerdir. 3. delme i lemi sonucunda 180 N'a yakla tı nı tespit ederek bu durumun kesici kenar a nmasından kaynaklandı ı belirtmi lerdir. A ındırıcı karbon fiber malzeme ile teması halinde yeterli olmayan dayanımından dolayı hızlı bir takım a nmasına neden oldu unu 3. delmede tespit etmi lerdir. Delik kalitesi incelemelerinde, matkap giri bölgesindeki delaminasyonun, takım geometrisi ve kesme ko ullarının etkili oldu unu belirlemi lerdir. Deneyler sırasında giri teki delaminasyonun uygun oldu unu belirterek, delik kalitesi bakımından en iyi delaminasyon oranının dü ük ilerleme oranında tespit etmi lerdir. Ara tırmacılar yaptıkları testler sonucunda, itme kuvvetinin delme i lemi sırasında artı sergilemesiyle SiAlON delme takımlarında kesici kenarlarında abrasiv (abrasive) a nma meydana geldi ini tespit etmi lerdir (Çelik vd., 2015).

CFRP/AL malzemesinin delik kalitesini helisel frezeleme tekni ini kullanarak yüzey pürüzlülü ü açısından iyile tirmeyi amaçlayan Rahim vd. (2014), deneylerini üç kesme hızı seviyesinde uygulamı lardır. 6 mm çapında dört oluklu WC-Co takımını dört tip takım tasarımı (iki düz kesici kenarlı-iki radyus kesici kenarlı) ile farklı kesme hızlarında, ilerleme oranlarında ve delik çapını 8 mm belirleyerek kuru i lemi lerdir. CFRP/AL malzemesi 300 mm uzunlu unda ve 100 mm geni li inde olup CFRP kompozit malzemenin 0°/90°/45°/-45° foa'larında ve kalınlı ı 7,6 mm iken alüminyum malzemesinin kalınlı ını 3 mm belirlemi lerdir. Ara tırmacılar, itme kuvvetinin etkisini, i leme parametrelerinde ve takım geometrisinde inceleyerek ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvvetinin arttı ını tespit etmi lerdir. Alüminyum plakasında itme kuvvetinin a ırı bir biçimde yükseli ini gözlemleni lerdir. Kesme hızının artmasıyla itme kuvvetinin azaldı ını böylece yüksek i mili hızının takım ve tala arasındaki arayüzey temasını azaltmasıyla sürtünme katsayısının dü mesine neden oldu unu belirtmi lerdir. Kesme derinli inin artırılmasıyla itme kuvveti de erinin azaldı ını ve bu de erin alüminyum plakasına nüfuz etti i zaman yükseldi ini tespit etmi lerdir. Yüksek ilerleme oranlarında özellikle Al malzemesinde yüksek de erde yüzey pürüzlülü ü tespit etmi lerdir. Yüksek ilerleme ve kesme derinli inin yüksek itme kuvveti de erini gösterdi ini ve CFRP/AL malzemesinin yüzey pürüzlülü ü de erlerinin havacılık sanayinde kabul edilebilir aralıklarda oldu u sonucuna varmı lardır (Rahim vd., 2014).

CFRP kompozit malzemenin i lenebilirli ini incelemek için bir freze takımı geli tiren Kitajima vd. (2014), geli tirilmi takımın kesme performanslarını ara tırmı lardır. Deneylerinde 5 mm kalınlı ındaki üç CFRP kompozit malzemeyi 28 mm çapında 20 kesici kenara sahip olan PCD takımla yüzey (face milling) frezelemi lerdir. Yaptıkları çalı mada farklı ilerleme oranlarını ve farklı kesme derinliklerini belirleyerek toplam dört deneyde gerçekte tirmi lerdir. Havacılık endüstrisinde yüzey pürüzlülü ü toleransını referans alarak yüzey pürüzlülü ü ve kesme geni li i arasındaki ili kisini 1,0 μm ve daha az oldu unu tespit etmi lerdir. Bu nedenle elde edilen bu de erlerin artan kesme geni li ine ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü de erinin istenilen seviyede ve havacılık parçaları içinde uygun oldu unu belirtmi lerdir. Dü ük kesme geni li inde yüzey pürüzlülü ü de erini arttı ını tespit etmi lerdir. Bu durumun takımın büyük salgı yapmasından (the large run-out of the tool) ($\sim 30 \mu\text{m}$) ya da CFRP kompozit malzemesindeki matris malzemesinden kaynaklandı ını dü ünmi lerdir. Ara tırmacılar deneylerin kesme ko ullarını daha da

ilerlettiklerinde takımın inceli inden dolayı takım da kırılma gözlemlemi lerdir. Bu sebepten dolayı deneylerini daha fazla ilerletmemi lerdir (Kitajima vd., 2014).

Haddad vd. (2014), yatay frezeleme sırasında olu an yüzey kusurları ve kesme ko ulları arasındaki ili kiyi ara tırmı lardır. Deneylerinde % 59 fho olan, [90/90/45/0/45/90/45/90/45/90]s foa'larına sahip, 20 tabakadan olu an ve 5,2 mm kalınlı ındaki CFRP kompozit malzemesini 6 mm çaplarındaki 4 oluklu parmak freze takımını, elmas kaplamalı çapak takımını ve kaplamasız tungsten çapak takımını kullanarak standart kesme ko ullarında ve yüksek hızda i lemi lerdir. Her iki ko ulda radyal kesme geni li ini 2 mm belirlemi lerdir. Standart kesme ko ullarının yüzey kusurları incelemesinde üç takım geometrisi için kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülü ü ba lantısında (takım geometrisine bakmaksızın) kesme hızının (V_c) yüzey pürüzlülü üne etkisini gözlemlemi lerdir. Fakat kaplamalı veya kaplamasız takımlarında ilerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülü ü de erlerinin arttı mı belirtmi lerdir. Kaplamalı takımda daha iyi oldu unu tespit etmi lerdir. Dört oluklu parmak freze takımında ilerleme oranının artması sonucu yüzey pürüzlülü ü de erinin azaldı mı bildirmi lerdir. Kaplamalı ve kaplamasız takımlarında ilerleme oranının artması ve kesme hızının azalmasıyla tüm i leme sıcaklı ının arttı mı ancak, dört oluklu parmak freze takımında ilerleme oranının artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla sıcaklı ın azaldı mı gözlemlemi lerdir. Böylece i leme kusurlarının her eyden önce mekanik hasar oldu unu kabul etmi lerdir. Kaplamasız takım ve 4 oluklu parmak freze uygulamasının -45° foa'da en kötü yüzey kusurları olu turdu unu gözlemlemi lerdir. Ayrıca takımlarında ilerleme oranının artmasıyla daha fazla hasar olu tu unu tespit etmi lerdir. Yüksek hızda frezelemede i lenmi yüzeyin yüzey pürüzlülü ü üzerine kesme parametreleri etkisinin geleneksel i lemeye göre çok yüksek oldu unu vurgulayarak, bunun gerekçesini takım a ınması etkisine (kesme kenar radyüsü) ba lamı lardır. Kaplamalı takımların kaplamasız olanlardan daha büyük bir kesme kenar radyusunun oldu unu ve bunun kaplama tabakasından kaynaklandı mı belirtmi leridir (Haddad vd., 2014).

Qin vd. (2014), ANN kullanarak CFRP kompozit malzemede delaminasyon ve i leme parametreleri arasındaki ili kiyi ara tırmı lardır. Deneylerde % 60 fho'na sahip, 10 mm kalınlı ında malzemeyi, 6 mm çapında ve 55 mm uzunlu unda TiAlN kaplamalı takım kullanarak kuru i lemi lerdir. Di adımlındaki artı la delaminasyon faktörünün arttı ı ve helisel frezelemedeki ilerleme oranıyla do rusal bir ili kisi oldu unu gözlemlemi lerdir.

Yüksek di adımlı malzeme üzerinde koparma etkisi uygulayarak itme kuvvetinin delaminasyonda önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Delaminasyon faktörünü artıran başka bir etken ise yüksek ilerleme oranı olduğunu belirlemişlerdir. Bunun sonucunda takım aşınması meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Qin vd., 2014).

Lissek vd. (2014), sabit olmayan CFRP kompozit malzemede deneysel ve istatistiksel çalışmaları yapmışlardır. Frezeleme deneylerini soğutma sıvısı kullanmadan 8 mm çapındaki iki farklı karbür freze takımını kullanmışlardır. Bunlardan ilki helis açısı $+5^\circ$ ile -5° arasında değişen 3 çift ağızlı kesiciler ve diğeri ise 30° sağ ve sol spiral olan çok diğli freze takımlarıdır. Kesme hızları her ikisinde 88 m/dak iken ilerleme oranı çok diğlide 0,04 mm/dev çift ağızlıda 0,07 mm/dev olarak uygulamışlardır. Yaptıkları frezeleme uygulamasında delaminasyonunun ana hasar olmadığını gözlemlemişlerdir. CFRP kompozit malzemenin işlenmesinden sonra meydana gelen yüzey tabakası hasarlarında iş parçası üzerinde kesici kenarlarda yıpranmanın etkisini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, takım geometrisinin bu hasarlara etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Çift ağızlı takım yerine çok diğli kesici takımın kullanılmasıyla yıpranmanın belirli ölçüde azaltacağını gözlemleyerek çok diğli kesici takımın iş parçası kalitesine olumlu etki sağlayacağını bildirmişlerdir (Lissek vd., 2014).

Kolar vd. (2014), kenar işleme operasyonlarını PCD ve karbür kesici takımlarını kullanarak işlemişlerdir. Yaptıkları deneylerde kullandıkları beş farklı tipteki kesici takımlarla birlikte takım geometrilerinin, diş sayılarının, malzemelerinin ve kaplamalarının her birinde farklı olduğunu belirtmişlerdir. İlk dört takım, PCD ve sementit karbürler, üretim teknolojisine göre üretilen prototiplerdir. Sonuncusu olan standart takım ticari olarak hazır bulunan ve karırla tırmalar için referans seçilen kesici takımdır. Yaptıkları ilk test çapak oluşumu ile ilgili olup en iyi sonucu demo2 isimli 12 mm çapında olan CVD elmas kaplamalı takımda gözlemlemişlerdir. Ancak, demo3 ve demo4 takımlarından en kötü sonuçları elde ederek bu sonuçlandırmeyi düşük tala açısına ve helis açısına dayandırmışlardır. Böylece malzeme kesmede yeterli hassasiyeti gösteremediklerini gözlemlemişlerdir. Takım ömrü testinde PCD takımların daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Demo1 ve demo2 isimli takımlarda yanak aşınmasının en az olduğunu tespit etmişlerdir. Standart takım ile yapılan uygulamada istenilenin elde edemediğini belirtmişlerdir. Ayrıca meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün ve çapak oluşumunun yanak aşınmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. En sonunda demo1 takım ile yapılan testte en iyi performansı elde

ederek bunu yüksek di sayısına dayandırmı lardır. Di er yaptıkları testte 0°/45°/-45°/90° foa'larına sahip malzemeyi demo1 ve demo2 ile kar ıla tırmı lardır. Çünkü bunlar yüksek di sayısı oldu u için yüksek verimlilik potansiyeline sahiptir. Deney sonucunda demo1 takımın kaplamalı karbür takım ile kar ıla tı ında daha dü ük yanak a ınması oldu unu gözlemlerlerdir. Tüm deneyler sonucunda, a ındırıcı bir malzeme olan fiber malzemelerde PCD takımların daha uygun oldu unu bildirmi lerdir. Elmas kaplamalı karbür takımların parça ve dü ük seri üretim için ekonomik alternatif oldu unu fakat çift helis karbür takımların iyi bir çözüm olaca ını belirtmi lerdir. Ayrıca, karbür takımların fiber yapılarına daha duyarlı oldu unu öne sürmü lerdir (Kolar vd., 2014).

Delik yüzey kalitesini ve hasarını CFRP kompozit malzemede incelemeyi amaçlayan Eneyew ve Ramulu (2014), kesme parametrelerinin etkisini, yüzey pürüzlülü ü de erini, delaminasyonu ve bölgelerde olu an fiber hasarlarını ara tırmı lardır. Deneylerinde % 60 fho'na sahip 125×175×6,35 mm boyutlarındaki malzemeyi, farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında belirlemi lerdir. 6,35 mm çapındaki PCD takımını so utma sıvısı olmadan ve i leme performanslarını analiz etmek için de ANOVA testinden yararlanarak gerçekle tirmi lerdir. Yapmı oldukları çalı mada kesme hızı ve ilerleme oranlarına bakılmaksızın çıkı taki delaminasyon faktörünün her zaman giri tekinden daha fazla oldu unu tespit etmi lerdir. Bu durumun bekledikleri gibi oldu unu fiberlerin çıkı ta daha fazla koparak çıkmasını gözlemlerlerdir. Malzemenin dirençli olmasından dolayı kesme kuvvetlerinin foa'ındaki ve kesme do rultusundaki ba ıl açıyla de i ebilece ini ve böylece itme kuvvetindeki bu de i imin deli in etrafında meydana gelen kesme hareketini temsil etti ini belirtmi lerdir. Daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için dü ük ilerleme oranlarını ve yüksek kesme hızları kombinasyonunun güçlü bir göstergesi oldu unu açıklamı lardır (Eneyew ve Ramulu, 2014).

Zhang vd. (2013), regresyon analiz tahmini metodunu kullanarak CFRP kompozit malzemede yüzey pürüzlülü ü ve i leme parametreleri (kesme hızı, kesme derinli i, kesme geni li i ve ilerleme oranı) arasındaki ili kiyi ara tırmı lardır. Deneylerinde 119×40×27 mm ölçülerine sahip malzemeyi, 10 mm çapında ve iki olu a sahip PCD kesici takımını kullanarak i lemi lerdir. Regresyon analizi için dört faktör ve üç seviyede belirleyerek deneylerini gerçekle tirmi lerdir. Kesme parametresinin bir fonksiyonu olarak PCD takım için yüzey pürüzlülü ü de erini 1 ile 2 µm arasında elde etmi lerdir. Yüzey pürüzlülü ünün artması kesme derinli ine, kesme geni li ine, ilerleme oranına ba lı iken

azalmasını ise kesme hızına ba lı oldu unu tespit etmi lerdir. Deney ko ulları altında kesme parametresi olan kesme geni li inin yüzey pürüzlülü ü de erine yüksek bir etkisi oldu unu tespit etmi lerdir. Daha sonra kesme hızı oldu unu belirtmi lerdir. En az etki eden parametrenin ilerleme oranı oldu unu yaptıkları deney ko ullarından anlamı lardır (Zhang vd., 2013).

CFRP kompozit malzemesinin frezeleme yöntemiyle i lenmesi sırasında kesme parametrelerinin etkisini de erlendirmek için Cieciel g ve Zaleski (2013), AlSi21CuNi ala ımını Al7075 malzemesi ile kar ıla tırmı lardır. Yaptıkları çalı mada, 0°-90° foa'lı 200×200×10 mm boyutlarındaki malzemeyi PCD kesici takım ile farklı kesme ve ilerleme oranıyla birlikte sabit kesme geni li i 1 mm seçerek ölçümlerini altı kez tekrarlayarak gerçekle tirmi lerdir. Bütün kuvvetlerin ilerleme oranının artmasıyla arttı ı ancak duralümin (7075) malzemesinde kuvvetlerin azaldı ını belirtmi lerdir. Silümin (AlSi21CuNi) ve CFRP kompozit malzemelerde kuvvetlerde kayda de er bir de i iklik olmadı ını tespit etmi lerdir. ilerleme oranının artmasıyla birlikte kesme torunun özellikle CFRP kompozit malzemedede en yüksek de ere vardı ını gözlemlemi lerdir. Kesme hızının artmasıyla birlikte duralümin ve silümin malzemelerinde abartılı bir ekilde azalma oldu unu tespit etmi lerdir. Kesme hızının artmasıyla özellikle duralüminin pasif kuvvetlerinde ve iddetlerinde azalma oldu unu belirterek maksimum kesme torkunun artı mın bütün malzemelerde artmasını gözlemlemi lerdir. Fakat kesme hızının artması alüminyum ala ımında maksimum torku azalttı ını di er taraftan kompozit malzeme i lendi i sırada kesme torkunun arttı ını tespit etmi lerdir. Bu durum kesici kenarın incelenen kompozit malzeme gibi kompleks bir malzeme üzerinde farklı bir etkiye sahip olmasından kaynaklandı ını belirtmi lerdir (Cieciel g ve Zaleski, 2013).

Gong vd. (2013), CFRP kompozit malzeme bütünlü ü ve yüzey pürüzlülü ü üzerinde farklı kesme parametreleri etkisini incelemi lerdir. Deneylerde % 65 fho'na sahip, 45°/0°/-45°/90° foa'lı, 200×150×9 mm boyutlarında malzemeyi kesme kuvvetlerini en aza indirmek için çok kenarlı freze takımını, toplam 16 testte iki farklı faktör kullanarak (kesme hızı, ilerleme oranı) dört seviyede uygulamı lardır. Yaptıkları testlerin sonucunda, kesme hızının artmasıyla malzeme yüzeyinde de i imler meydana geldi ini gözlemlemi lerdir. Bunlar, malzemedede ciddi yumu ama, bozulma ve yanma olu umuna sebep olmu tur. ilerleme hızının artmasıyla malzemenin yüzey biçimi az etkiledi ini belirtmi lerdir. Böylece, foa'ının malzemenin yüzey biçimi ile do rudan ilgili oldu unu

tespit etmi lerdir. 45° foa'da ciddi hasarın meydana geldi ini, fakat 0° foa'da ise daha az hasar olu tu unu gözlemlemi lerdir. Sonuçta yüzey pürüzlülü ü de erinin ilerleme oranı ile artı nını kesme hızıyla azaldı nını belirterek, yaptıkları testlerde bu de erin 3,2 µm fazla oldu unu ve havacılık uygulamaları için uygun olmadı nını belirtmi lerdir (Gong vd., 2013).

CFRP kompozit malzemenin yukarı frezeleme i leminde Pecat vd. (2012), kesme parametreleri ve i parçasının yüzey bütünlü ü arasındaki ili kiyi ara tırmı lardır. Deneylelerini 0,1 mm ilerleme oranı, 0,6 mm kesme geni li i ve farklı kesme hızlarında belirlemi lerdir. 160 mm çapında disk freze çakısıyla karbür kesici takımlarını kullanarak i lemi lerdir. % 50 fho'na sahip 10×10×50 mm ölçülerinde kompozit malzemeyi kuru i leme ko ullarıyla maksimum çalı ma sıcaklı ında toplam on sekiz farklı kesme denemelerinde gerçekle tirmi lerdir. Yaptıkları ilk dört deneyde +45° ve -45° foa'nın etkilerinin oldukça yüksek oldu unu ve kesme kuvvetlerinde meydana gelen farkın ise 300 N'dan 60 N'a azalma göstermesi sonucunda % 80 oranında bir dü ü oldu unu gözlemlemi lerdir. Saf matris malzemesinin i lenmesinde olu an kesme kuvveti ölçülmesinde -45° foa'da yüksek oldu unu tespit ederek en kötü sonucu bu foa'ında bulmu lardır. Kesme hızları 20 ve 200 m/dak, i parçası sıcaklı ı 20 ile 80 °C ve sadece 90° foa'nı kullanarak yaptıkları 5, 6, 9 ve 17 deneylerde dü ük kesme hızında dü ük sıcaklıkta fiber e ilmesi meydana gelmemi tir. Yüksek kesme hızında yüzeye çok yakın kısımda görülebilir bir fiber e ilmesi meydana geldi ini tespit etmi lerdir. En yüksek kesme kuvveti (310 N) ölçümünde kesme hızı 20 m/dak iken i parçası sıcaklı ı -40 °C gelmekte ve kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin azaldı nını tespit etmi lerdir. Ayrıca -40 °C i parçası sıcaklı ında kesme hızının ve kesme kuvvetinin etkileri de fark edilebilir bir ekilde görülebildi i sonucuna vararak 0° ve +45° foa'da pürüzsüz bir yüzey elde edilirken -45° ve 90° foa'da hasarlar yani çatlaklar ve parçalara ayrılma (segmentations) olu tu unu belirtmi lerdir. Her bir foa'da farklı kesme mekanizmasını gözlemleyerek yüksek kesme hızlarında i lenmi yüzeye yakın kesme yönünde fiber bükülmesine neden oldu u bulmu lardır (Pecat vd., 2012).

CFRP kompozit malzemenin ortogonal kesme i leminde nümerik analizini incelemeyi amaçlayan ve foa'larına ba lı olarak kompozit malzemelerin matris yapısında olu an hasar hakkında de erlendirmeler yapan Santiuste vd. (2010), havacılık sanayinde kullanılan uzun fiber yapısındaki kompozit malzemeleri sonlu elemanlar (FEM) yöntemini kullanarak

incelemi lerdir. Deneylerinde farklı foa'larındaki (0°-15°-30°-45°-60°-75°-90°) cam fiber takviyeli kompozit (GFRP) ve CFRP kompozit malzemeyi 0,5 mm radius, 5° tala ve 6° bo luk açısına sahip kesici takımla i lemi lerdir. CFRP kompozit malzemedede foa'sının artmasıyla matris malzemesinde ezilmelerin ve kırılmaların azaldı nı gözlemlemi lerdir. 45° foa'da GFRP ve CFRP kompozit malzeme arasında kar ıla tırma yapıldı nda CFRP kompozit malzemenin matris yapısında ezilmeyi ve kırılmayı daha az tespit etmi lerdir. Foa'sının artmasına ba lı olarak deneysel ve sayısal analizler sonucunda elde edilen verilerde kesme kuvvetlerinde artı oldu unu belirtmi lerdir. Sonuç olarak uygulanan nümerik analizinde GFRP ve CFRP kompozit malzemelerin matris yapısındaki deformasyon ve tala olu umunun foa'larına ba lı oldu unu açıklanı larıdır. Böylece CFRP kompozit malzemenin havacılık (aeronautical) uygulamalarında daha uygun oldu una karar vermi lerdir (Santiuste vd., 2010).

Rahman vd. (1999), CFRP kompozit malzemenin farklı kesici takımlarla ve farklı i leme parametreleriyle i lenebilirli ini ara tırımı larıdır. Yapımı oldukları çalı mada kısa ve uzun fiber yapısındaki CFRP kompozit malzemeyi kübik bor nitrür (CBN), seramik ve tungsten karbür kesici takımlarını kullanarak farklı kesme hızlarında, kesme derinliklerinde ve ilerleme oranlarında i lemi lerdir. Tungsten karbür kesici takımıyla yapılan uygulamalarda kesme hızının artmasıyla takım a nınmasının arttı nı gözlemleyerek en az takım a nınmasının CBN takımlara 150 m/dak kesme hızında uzun fiber yapısındaki CFRP kompozit malzemenin i lenmesi sırasında meydana geldi ini tespit etmi lerdir. Seramik kesici takımların darbelere kar ı hassas olması ile mekanik ve termal gerilimlere kar ı e ilimli olmasından dolayı kompozit malzeme i lenmesi için uygun olmadı nı tavsiye etmi lerdir. Kesme geni li inin artmasıyla uzun fiber yapısındaki CFRP kompozit malzemenin i lenmesinde en iyi yüzey kalitesini ve ayrıca CFRP kompozit malzemelerin i lenmesinde takım ömrü açısından en uygun takımın CBN kesici takım oldu u sonucuna varmı larıdır. Bunun haricinde uzun ve kısa fiber yapısındaki CFRP kompozit malzemedede toz ekinde tala mın olu tu u ve bu toz tala lardan dolayı kesici takım ucunda krater a nınmasının olu tu unu yapımı oldukları deneyde tespit etmi lerdir (Rahman vd., 1999).

3.3 Literatür Ara tırmasının Genel De erlendirilmesi

Teknolojik uygulamaların gittikçe arttı ı günümüzde; metaller, ametaller, kimyasallar, organikler, inorganikler ve polimer malzemeler kullanılarak geli tirilen özel ürünler üretilmektedir. Bu özel ürünler içerisinde yer alan kompozit malzemeler geni çaptaki avantajlarından dolayı önem kazanmı olup bu malzemeler ile ilgili yapılan çalı malar hala ilerlemektedir. Aynı ekilde seramiklerin, plastiklerin ve metallerin geli mesiyle birlikte kompozit malzemelerin geli imleri daha da artmaktadır. Kompozit malzemelerin son yıllarda oldukça yaygın kullanılan mühendislik malzemeleri olmasından dolayı üretim miktarları çelik üretimini a maktadır. Özellikle ileri kompozit malzeme sınıfından olan CFRP kompozit malzeme yüksek yük ta ıma kapasitesi ve dü ük yo unluk de erleri nedeniyle hafif yapıların tasarımı ve imalatında tercih edilmektedir.

CFRP kompozit malzemelerle ilgili çalı malar incelendi inde, CFRP kompozit malzemelere son eklini vermek için tala lı imalat yöntemlerinden freze, torna, delme gibi i lemler kullanılmaktadır. Fakat geleneksel imalat yöntemlerinden olan tala kaldırma i lemi sonucunda hatasız ve istenilen yüzey kalitesi elde etmek mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı, uygulamalarda kullanılacak malzemelerin hatasız olabilmesi için gerekli çalı maların önceden yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, istenmeyen bu özelliklerin önüne geçilebilmesi için birçok ara tırma, uygulama ve çalı ma yapılmaktadır. Ara tırmalar, hasarların; kesme parametreleri, yüzey pürüzlülü ü, kesme kuvveti ve delaminasyon gibi istenmeyen hasar mekanizmalardan kaynaklandı ını bildirmektedir. CFRP kompozit malzemeler iyi bir ekilde tasarlandıklarında bile enlerinde ve yapılarında en iyi özelliklerini gösterecek olup iyi bir tasarım sonucunda di er malzemelerden önemli derecede üstünlük sa layacaktır. Ayrıca; ileri kompozit malzeme elde edilmesiyle; a ırlık, a ınma direnci, yorulma ömrü, korozyon direnci, mukavemet, ısı yalıtımı gibi özelliklerde geli tirilecektir.

CFRP kompozit malzemenin delme performanslarında; kesici takımlar delaminasyona neden olmaktadır. Bunun yanında CFRP kompozit malzemelerin yapısından kaynaklı takımların kesici kenar keskinli ini kaybetmesine neden oldu u görülmü tür. WC-Co takım yüksek a ınma direncine sahip olmasına ra men, itme kuvveti de erleri seramik takımlara göre daha dü ük oldu u belirtilmi tir. Seramik takımların, dü ük kesme hızlarında giri te delaminasyon dü ük iken çıkı ta bu oranın arttı ı tespit edilmi tir.

Delaminasyonun itme kuvveti, yüksek ilerleme oranı, yüksek kesme hızından önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Kesme hızı ve ilerleme oranlarına bakılmaksızın çıkı takı delaminasyon faktörü her zaman giri tekinden daha fazla elde edilmiştir. PCD takım performansında delaminasyon aynı özelliği göstermiştir. TiAlN kaplamalı karbür kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı ile leme parametreleri delaminasyon üzerinde önemli etkiler göstermiştir. Daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için düşük ilerleme oranları ve yüksek kesme hızları kombinasyonu kullanılmıştır. Yüksek helis açılı takım, pürüzsüz bir yüzey elde edilmesine imkân sağlamıştır. Yüksek helis açılı takımın delaminasyon/fiber ayrılmasını, kesme kuvvetlerini ve takım aşınmasını düşürdüğü tespit edilmiştir.

CFRP kompozit malzemenin tornalama performanslarında; kaplamasız karbür takımın ilerleme kuvvetleri, daha çok tala açısından etkilenmiştir. Bo luk açısında, ilerleme kuvvetinin hiçbir etkisi görülmemiştir. Kesme kuvveti kama açısından etkilenerek ilerleme kuvvetinin düşmesine neden olmuştur. Bo luk açıları büyük olan takımlarda aşınma miktarı azalırken yüzey pürüzlülüğü de erleri artmış oldu u tespit edilmiştir. Tungsten karbür takımlarda takım aşınması önlenememiştir. İyi bir aşınma direnci elde edilmesi için büyük bo luk açıları gerekli olmuştur. Kesilmemiş fiberlerden dolayı matris malzemesinin ezilmesi tespit edilmiştir. Büyük bo luk açılarının delaminasyonu azalttığı belirtilmiştir. Kesici takımlar tasarlanırken, delaminasyondan kaçınmak için büyük bo luk açalarına dikkat edilmelidir. Takım ömrü, takımın karakteristikleriyle ilişkili olup, delaminasyon hasar mekanizmasının fotoğraflarında belirgin şekilde farklı etkiler olmuştur u belirtilmiştir.

CFRP kompozit malzemenin frezeleme performanslarında; genellikle çok diğli freze ve piramit kenarlı kesici takımlarıyla ilerlenmesi esnasında olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

ilerleme durumundaki kesme kuvveti ilerleme oranına bağımlı olmakta ve bu takımlarda herhangi bir belirgin aşınma görülmemektedir. Malzemenin ilerlenmesi esnasında kesici kenarın daha az malzemeye temas etmesinden dolayı çok diğli freze takımın ömrünü koruduğu ve yüzey pürüzlülüğü de erlerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Farklı kesici takımlar ile ilerlenen CFRP kompozit malzemede en iyi takım ömrü TiAlN kaplamalı çok diğli takımlarda görülmüştür. CFRP kompozit malzemenin farklı malzemeler ile karşılaştırılmasında farklı kesme ve ilerleme oranıyla birlikte sabit kesme genliğinde kullanılan PCD takımda bütün kesme kuvvetleri ilerleme oranının artmasıyla artış sergilemiş ve takımın aşınması belirtilmiştir. Böylece aşınmış kesici takımla CFRP kompozit malzeme ilerlenmesi büyük kesme kuvvetlerine neden olmakta ve ilerlenen

malzemede istenmeyen hasar mekanizmaları görülmesine sebebiyet vermektedir. CFRP kompozit malzemenin TiAlN kaplamalı kesici takım ile işlenmesinde, işleme parametrelerinin olumsuz delaminasyon üzerinde önemli bir etkisi olmaktadır. Kesme genişliği düşük olduğu anda delaminasyonun oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir. Yüksek kesme hızının işlenmiş malzeme yüzeyindeki delaminasyon hatalarını azalttığı belirtilmiştir. İşleme oranının delaminasyon üzerine daha az etkisi tespit edilmiştir. Ancak TiAlN kaplamalı kesici takımın işlenmesi esnasında kesme kuvvetlerinin artmasından dolayı abrasiv aşınma tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ise kesme hızının ve işleme oranının baskın bir faktör olmasına rağmen kesme genişliği etkisi neredeyse yok denecek kadar az olduğu vurgulanmıştır. Tek katlı AlTiN veya AlCrN kaplamaların daha iyi bir seçenek olduğu belirtilmiştir. Buna karşılık nanoyapılı kaplamalı takımdan istenilen performans elde edilememesi ve küçük kırılmaların oluştuğu belirtilmiştir. Farklı helis açılarındaki tungsten karbür takımın yüzey pürüzlülüğü değerleri sadece foa'larına bağlı olmadığı kesme kuvvetlerinden de etkilendiği tespit edilmiştir. Helis açısının artmasıyla işlenen malzemede hasar meydana geldiği ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmüştür. Yanak aşınması tespit edilmiş ve çizikler biçiminde oluşmuştur.

Dünyada, CFRP kompozit malzemeler birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Metal malzemelerden farklı bir yapıya sahip olmaları, birden fazla foa'larının bulunması, farklı kuma yapıları vd. gibi özelliklerinden dolayı işlenmesi zor ve sert bir malzeme olmaktadır. Bu yüzden, bu malzemenin işlenmesinde kullanılan takım aşınması miktarının azaltılması veya takım ömrünün artırılması, çözümleri araştırmacı tarafından hedeflenen konular arasındadır. CFRP kompozit malzemelerin üretim maliyetlerini azaltılmasına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Ancak, elde edilen sonuçlar, daha yüksek aşınma dayanımına sahip kaplama malzemelerinin kullanımını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada, CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde PVD kaplamalı AlTiN/TiN, çok tabakalı nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, konvansiyonel tek tabakalı TiAlN ve TiN kaplamalı karbür kesici takımlarla birlikte kaplamasız karbür kesici takımların işlenebilirliğinin araştırılmasına karar verilmiştir.

Yapılan literatür taramasında incelenen bilimsel makaleler ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: ncelenen makalelerle ilgili literatür özet tablosu

Yazarlar	Yıl	Makale smi	lem Türü	lenen Numune	Uygulanan Takımlar	Kesme sıvısı	Sonuçlar
Ghafarizadeh vd.	2016	Finite element analysis of surface milling of carbon fiber-reinforced composites	Frezeleme	CFRP	PCD düz parmak freze takımı	Kuru i leme	Tek yönlü CFRP kompozit malzeme yüzey frezeleme i lemindeki modellemede kesme kuvvetleri ve i leme hasarları tahmin edilmi . Deneylerde uyum sa layarak kesme kuvveti profilleri büyük ölçüde foa'larına ba lı olmu .
Wang vd.	2016	A comparative study on helical milling of CFRP/Ti stacks and its individual layers	Frezeleme	CFRP/Ti	TiAlN kaplamalı karbür takım	Kuru i leme	Kesme kuvvetlerinin artmasıyla takım a nması olu mu . CFRP kompozit malzeme i lemesinde olu an abrasiv a nma kesme kuvvetini arttırmı . Titanyum ala ımında delik kalitesi iyi ama CFRP kompozit malzemede giri te delaminasyona sebep olmu .
Islam vd.	2015	A simplified damage prediction framework for milling of unidirectional carbon fiber reinforced plastics	Frezeleme	CFRP	HSS kanal freze takımı	Kuru i leme	Delaminasyon ve normal kesme kuvvetleri eccr aralı ina ba lı olmu . Kesme kuvveti beklenen hasar i leme parametreleri etkisini belirlemek için iyi bir yakla ım olarak kullanıldı . Dü ük ilerleme oranları ve yüksek kesme hızları kesme kuvvetlerini minimize ederek delaminasyon faktörünü azalttı .
Ahmed vd.	2015	Experimental Investigation of Surface Integrity of End milled CFRP Composites	Frezeleme	CFRP	HSS ve sementit karbür takım	Kuru i leme	CFRP kompozit malzemenin kesme geni li i sabit tutuldu unda, ortalama yüzey pürüzlülü ü ve delaminasyon faktörü üzerine en etkili parametre ilerleme oranı olmu . Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlü ü iyile mi fakat bunun sonucunda takım a nması ve takımın ömrünü kısalmı .
Wang vd.	2015	Evaluation of cutting force and cutting temperature in milling carbon fiber-reinforced polymer composites	Frezeleme	CFRP	Birçok kesme ünitesinden olu an takım	Kuru i leme	CFRP kompozit malzeme frezeleme i leminde yüksek kesme hızları tercih edilmi , ilerleme oranı kesme kuvvetinden etkilenmi , yüksek i leme verimini elde etmek için yüksek de erdeki kesme geni li i seçilmi . Dü ük kesme hızı, en az ilerleme oranı ve maksimum radyal kesme geni li i belirlenerek optimum kesme parametreleri ve optimum kesme kuvveti ile optimum kesme sıcaklı ı bulunmu .
Kiliçkap vd.	2015	Investigation of experimental study of end milling of CFRP composite	Frezeleme	CFRP	Sinterlenmi karbür freze takımı	Kuru i leme	CFRP kompozit malzemedeki hasar kesme parametreleri ve takım geometrisi tarafından etkilenmi . lerleme oranının artmasıyla delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülü ü ve kesme kuvveti arttı .
Hintze vd.	2015	Influence of weave structure on delamination when milling CFRP	Frezeleme	CFRP	PCD freze takımı	Kuru i leme	Takım geometrisi etkisi daha az olmu . 90° foa önemli derecede delaminasyon problemine neden olmu .

Tablo 1: (devam ediyor)

Ghafari-zadeh vd.	2015	Experimental investigation of the cutting temperature and surface quality during milling of unidirectional carbon fiber reinforced plastic	Frezeleme	CFRP	CVD elmas kaplamalı karbür parmak freze takımı	Kuru i leme	Kuru frezeleme i leminde kesici kenarda sıcaklık yükselmiş . Kesme sıcaklığının artmasıyla kesme hızı artmış ve bu da kesme kuvvetini etkileyerek polimerlerin mekanik özellikleri üzerindeki sıcaklığı etkilemiş . Kesme sıcaklığı kesme hızı ile lineer bir şekilde artmış , maksimum kesme kuvveti kesme hızından etkilenmiş , ortalama kesme sıcaklığı ve kuvveti üzerinde önemli etkisi olmuş .
Slamani vd.	2015	Comparison of two models for predicting tool wear and cutting force components during high speed trimming of CFRP	Frezeleme	CFRP	CVD elmas kaplamalı karbür freze takımı	Kuru i leme	Kesme uzunluğunun artmasıyla birlikte; takım aşınmaları ve kesme kuvvetleri her ikisinde katlanarak artmış böylece aşınmış kesici takımla işlenen malzemenin çıkarılması için daha büyük kuvvetlere ihtiyaç duyulmuş . Düşük kesme oranlarında ve yüksek kesme hızlarında optimum kesme koşulları, yüksek takım aşınması, yüksek ilerleme oranı etkili olmuş .
Konneh vd.	2015	Milling damage on carbon fibre reinforced polymer using TiAlN coated End mills	Frezeleme	CFRP	TiAlN kaplamalı kesici takım	Kuru i leme	Kesme genliği ve hızı delaminasyon üzerine önemli bir etkisi olmuş fakat ilerleme oranından çok az etkilenmiş . Yüksek kesme hızı işlenen malzeme yüzeyindeki delaminasyon kusurlarını azaltmamış . Kesme genliği düşük olduğu anda delaminasyon oldukça yüksek olmuş .
Hosokawa vd.	2014	High-quality machining of CFRP with high helix end mill	Frezeleme	CFRP	DLC kaplamalı karbür kesici takım	Kuru i leme	Takım aşınması önemli ölçüde fiber kesme açısına bağlı olmuş . Kaplamanın dikkate alınması bir etkisi olmasının yanında takım geometrisi etkisinin daha az olduğu belirtilmiş .
Kusuyama vd.	2014	Face Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastic Using Polycrystalline Diamond Tool	Frezeleme	CFRP	PCD kaplamalı özel yapım takım	Kuru i leme	Delaminasyon önlenmesine bağlı olmuş . Kesme kuvveti CFRP kompozit malzemenin mekanik özelliklerini etkilemiş . Yüzey pürüzlülüğü her durumda 3.2 µm'den küçük olmuş ve havacılık parçaları için kabul edilebilir seviyede ölçülmüş .
Sorrentino ve Turchetta	2014	Cutting Forces in Milling of Carbon Fibre Reinforced Plastics	Frezeleme	CFRP	Yekpare kesici takım	Kuru i leme	Kesme hızının artmasıyla pürüzlülük azalmış . Yüksek ilerleme oranında pürüzlülük artmış . Kuvvet bileşenleri kesme parametrelerinden etkilenmiş . Yüzey pürüzlülüğü; düşük aksel kesme genliği ve yüksek kesme hızıyla birlikte daha iyi olmuş .
Ishida vd.	2014	Helical Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastics Using Ultrasonic Vibration and Liquid Nitrogen	Frezeleme	CFRP	Küresel parmak freze takımı	Kriyojenik soğutma sıvısı, çözünabilir kesme yağı, sıvı azot	Delaminasyondaki en yüksek değer kuru i lemede olmuş . Kriyojenik takım soğutma ile delaminasyon azaltılmış . Ultrasonik vibrasyon ve takım soğutma metodu ve itme kuvvetinin azalmasıyla delik hassasiyeti iyileştirilmiş . Giriş delaminasyon meydana gelmesine rağmen kullanılan yöntemler sayesinde çıkıştaki delaminasyon

Tablo 1: (devam ediyor)

Konneh vd.	2014	Surface Roughness Study of Milled Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composite Using 4 mm 2-Flute Titanium Aluminum Nitride (TiAlN) Coated Carbide End Mills	Frezeleme	CFRP	TiAlN kaplamalı karbür parmak freze takım	Kuru i leme	mili hızının ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülü ü üzerinde etkisi görülmü . Kesme geni li i üzerine görülmemi . En az yüzey pürüzlülü ü de erini elde edebilmek için, yüksek kesme hızı 3500 dev/sn, yüksek ilerleme oranı 15 mm/dak ve kesme geni li i 100 µm oldu u tespit edilmi . Kesme hızı ve ilerleme oranı i leme parametrelerinde baskın bir faktör olmu .
Chen vd.	2013	Influence of Mill Geometry on Cutting Force and Surface Morphology of Multidirectional Cfrp	Frezeleme	CFRP	CVD elmas kaplamalı çift helis ve çok kenarlı freze takımı	Kuru i leme	Yüzey pürüzlülü ü çift helis takımında istenilen de erlere ula lmasına ra men havacılık uygulamaları için öngörülen 3.2 µm çok kenarlı takımında daha yüksek elde edilmi . Yüzey kalitesi geli imi için ilerleme oranının azaltılması gerekti i bildirilmi . Kesme parametrelerinde yüzey morfolojisinin de i ece i, çift helisli takımında daha iyi yüzey elde edildi i ve yüzey pürüzlülü ünün ilerleme oranıyla artaca ı, kesme hızıyla da azalaca ı sonuçlarına varılmı .
Karpat ve Polat	2013	Mechanistic force modeling for milling of carbon fiber reinforced polymers with double helix tools	Frezeleme	CFRP	Elmas kaplamalı karbür takımlar	Kuru i leme	Radyal kuvvetler te etsel kuvvetlerden önemli ölçüde daha büyük olmu . Fiberler ve takım kenar radyüsü ile yanak yüzey arasındaki temastan kaynaklanmı . Yüzey kalitesi do rudan takım durumuna ba lı olmu . Karbon fiberlerin a ındırıcı yapısı nedeniyle, kenar yuvarlama ve kırılmanın elmas kaplamada freze kuvvetlerini etkiledi i sonucuna varılmı .
Hagino ve Inoue	2013	Effect of Carbon Fiber Orientation and Helix Angle on CFRP Cutting Characteristics by End-Milling	Frezeleme	CFRP	Farklı helis açılı tungsten karbür takımlar	Kuru i leme	Malzemede, aksenal kuvvetin büyük olmasından kaynaklanan tüylenme meydana gelmi , ancak 0° helis açılı takımında tüylenme ile ilgili herhangi bir kusur görülmemi , 90° fiber açılı malzemede düzgün bir yüzey pürüzlülü ü elde edilmi . lerleme ve itme kuvvetleri foa'ından önemli ölçüde etkilenmi . 0° helis açısına sahip takım en dü ük kesme kuvvetine sahip olmu . Bütün takımlarda yanak a ınması küçük de erler göstermi .
Khairusshima vd.	2013	Effect of chilled air on tool wear and workpiece quality during milling of carbon fibre-reinforced plastic	Frezeleme	CFRP	Kaplamasız karbür kesici takım	-10°C sıcaklıkta 4.10 m/s akı hızında vorteks tüpü uygulaması	CFRP kompozitin i lenmesi sırasında kesme sıcaklığı so uk hava uygulamasıyla azalmı ve takımın ömrü uzamı . Karbon fiberin a ındırıcı yapısından kaynaklı, so uk hava uygulanmı takımın a ınmı alanında pürüzsüz ve parlak bir görünüm elde edilmi . Yüzey pürüzlülü ü ve delaminasyon hasarında CFRP kompozit malzemesinin so uk hava ile uygulanması daha iyi olmu .

Tablo 1: (devam ediyor)

Sheikh-Ahmad vd.	2012	Machining Damage in Edge Trimming of CFRP	Frezeleme	CFRP	Piramit görünümlü kesici takım	Kuru i leme	lenmi yüzeyler sadece kesme ko ullarına ba lı olmamı aynı zamanda foa'nada ba lı olmu . Tüyenme ve fiber ayrılması biçimindeki hasarlar yüzeyde olu mu . Yüzey pürüzlü ü ve delaminasyon bakımından en iyi i lenmi yüzey kalitesinin küçük ilerleme oranında, büyük kesme hızında bulunmu .
Haiyan vd.	2012	Analysis of cutting forces in helical milling of carbon fiber-reinforced plastics	Frezeleme	CFRP	TiAlN kaplamalı kesici takım	Kuru i leme	CFRP kompozit malzemenin performansının hemen hemen her yönden di er malzemelerden farklı oldu u görülmü . Radyal bile ke ve eksenel kesme kuvvetleri, di ba ina ilerleme ile birlikte eksenel ilerleme oranını arttırmı ve kesme hızının artmasıyla da azalmı . Büyük takım a nması büyük kesme kuvvetlerine neden olmu .
Chatelain ve Zaghbani	2012	Effect of Tool Geometry Special Features on Cutting Forces of Multilayered CFRP Laminates	Frezeleme	CFRP	Çapraz kesim ve oluk di li takımlar	Kuru i leme	Kesici takımdaki oluklar eksenel kuvveti azaltmı ve ilerleme ile normal kesme kuvvetlerini dü ürmü . Kesme kuvvetlerinin kesici performanslarında iyi bir gösterge sa lamı .
Khairusshima vd.	2012	The Effect of Milling Parameters on Laminated Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP)	Frezeleme	CFRP	Kaplamasız karbür parmak freze	Kuru i leme	CFRP kompozit malzemenin frezeleme i leminde takım ömrü açısından dü ük kesme hızı ve ilerleme oranında yapılması uygun görülmü . Yüzey pürüzlü ü ve boyutsal hassasiyet açısından yüksek kesme hızı ve dü ük ilerleme oranında daha iyi sonuçlanmı .
Karpat vd.	2012	Mechanistic force modeling for milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates	Frezeleme	CFRP	PCD takımlar	Kuru i leme	lerlemenin artmasıyla te etsel ve radyal yönlerdeki freze kuvvetleri artmı . Maksimum radyal kesme kuvveti katsayısı 140° fiber kesme açısında ve maksimum te etsel kesme kuvveti katsayısı 120° fiber kesme açısında meydana gelmi . Frezeleme sırasında dü ük i leme kuvvetleri 45°/135° foa'ında bulunmu .
Kalla vd.	2010	Prediction of cutting forces in helical end milling fiber reinforced polymers	Frezeleme	CFRP	Karbür helisel freze takımı	Kuru i leme	Kesme kuvvetlerinde tek yönlü tabakalarda meydana gelen kesme i leminde iyi sonuçlar elde edilmi . Çok yönlü tabakalarda ise istenilen sonuçlar elde edilememi .
Lacalle vd.	2009	Design and Test of a Multitooth Tool for CFRP Milling	Frezeleme	CFRP CFRP+Kevlar	Helisel parmak freze, Nanoyapılı TiAlN-CSi kaplama, PCD kesici takım	Kuru i leme	Yüksek kesme kuvvetleri kesici kenarlar tarafından yüksek a nmaya maruz bırakmı . NaCO takımın ilgi çekici bir özelli i olmamı . Tek katlı AlTiN veya AlCrN kaplamaları daha iyi bir seçenek olmu . Takımların sert a nmaya maruz kaldı ı zaman kötü bir kesim olu mu . PCD kesici takımlarda istenilen yüksek verimlilik derecesi elde edilememi . En iyi takım ömrü TiAlN kaplamalı çok di li takımda tespit edilmi . PCD takımların yeterli ko ullara ula amadı ı ancak çok di li freze takımlarının CFRP kompozit malzemesi için uygun oldu u vurgulanmı .

Tablo 1: (devam ediyor)

Davim ve Reis 2005	Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments	Frezeleme	CFRP	Farklı oluklu karbür takımlar	Kuru i leme	Yüzey pürüzlülü ü ilerleme oranının artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttı . Delaminasyon faktörü ilerleme oranının artmasıyla arttı . 6 oluklu freze takımında kesme hızının artmasıyla delaminasyon faktörü arttı . 2 oluklu takımla CFRP kompozit malzeme daha az hasar aldı .
Hocheng vd. 1993	Preliminary study on milling of unidirectional carbon fibre-reinforced plastics	Frezeleme	CFRP	Yekpare kesici takım	Kuru i leme	Dü ük ilerleme oranında ve yüksek kesme hızında yüzey pürüzlülü ü arttı . ilerleme oranlarına ba lı olarak kesme kuvvetlerinde artı olmu . Fiber eksenine paralel kesme yönü frezelemesi tavsiye edilmi .
Maegawa vd. 2016	Mechanism for changes in cutting forces for down-milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates: Modeling and experimentation	Frezeleme	CFRP	Tungsten karbür ve PCD takımlar	Kuru i leme	PCD takım WC-Co takımdan daha uzun takım ömrü ve takım a nması bakımından üstün oldu u vurgulanmı . WC-Co takımın sürtünme katsayısıyla ($\mu=0,3$), PCD takımın katsayısının ($\mu=0,26$) yakın oldu u tespit edilmi . Tüm kesme ko ullarında kesici takımların kenar profillerinde büyük yuvarlaklık bulunmu .
Jia vd. 2016	Temperature Effects in End Milling Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites	Frezeleme	CFRP	PCD takım	Kriyojenik nitrojen gazı ve kuru i leme	Yüzey pürüzlülü ü de erleri sıcaklık ile do rudan orantılı olmu . Fiberler ile reçine matris tala yüzeyi ve freze çıkışı kesici kenarı tarafından baskıya maruz kalmı . Çok yönlü CFRP kompozit malzeme frezeleme iyi yüzey bütünlü ü ve çok az alt yüzey hasarı elde edilmi .
Zenia vd. 2015	Numerical analysis of the interaction between the cutting forces, induced cutting damage, and machining parameters of CFRP composites	FE modelleme	CFRP	-----	-----	Minimum kesme kuvveti de eri 0° ve 45° foa'da maksimum de er 90° foa'da olu mu . Foa'nın artmasıyla hasar olu mu . Kesme kuvveti ve hasar olu umunda tek yönlü CFRP kompozit malzemesinde dikey (orthogonal) kesme i leminde yüksek oranda foa'na ba lı olmu .
Wang vd. 2015	Roughness modelling analysis for milling of carbon fibre reinforced polymer composites	Frezeleme	CFRP	PCD takım	Kuru i leme	ilerleme oranındaki artı la beraber pürüzlülük arttı . mili hızının artmasıyla yüzey kalitesi kötüle mi . ilerleme hızı kompozitlerin i lenmesinde pürüzlülü ü etkileyen baskın bir faktör olmu .
Çelik vd. 2015	Wear on SiAlON ceramic tools in drilling of aerospace grade CFRP composites	Delme	CFRP	SiAlON, WC-Co	Kuru i leme	CFRP kompozitteki hasar kesme parametreleri ve takım geometrisi tarafından olu mu . ilerleme oranının artmasıyla delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülü ü ve kesme kuvveti arttı . WC-Co takımında delaminasyon oranı azalmı , deliklerde olu an delaminasyon oranının tüm delme takımının kesici kenarlarındaki a nma miktarı ile do rudan orantılı olarak arttı ve itme kuvveti bu duruma neden olmu .

Tablo 1: (devam ediyor)

Henerichs vd. 2015	Machining of carbon fiber reinforced plastics: Influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces	Tornalama	CFRP	Kaplamasız karbür kesici takım	Kuru i leme	leme kuvvetleri ve aınma i parçası hasarlarına neden olmu , bo luk açısının artırması ilerleme kuvvetini azalttı , dü ük i leme kuvvetleri abrasiv a ınma miktarını azalttı , küçük kama açılı ve büyük bo luk açılı takımlarla daha dü ük i leme kuvvetleri elde edildi . yi bir a ınma direnci elde etmek için büyük bo luk açılı gerekli olmu , yüzey pürüzlülü ü bo luk açısı ile arttı .
Gaiyun vd. 2015	Helical milling of CFRP/Ti-6Al-4V stacks with varying machining parameters	Frezeleme	CFRP/Ti-6Al-4V	4 a ızlı freze takımı	Kuru i leme	mili hızının artmasıyla kesme kuvvetinin azaldı ı tespit edildi . Yüzey kalitesi açısından Ti-6Al-4V malzemesinin daha kaliteli oldu u CFRP kompozit malzemesinin ise zayıf bir yüzey bitirme i lemi gerçekleşti i belirtilmi .
Qi vd. 2015	Microscopic mechanism based force prediction in orthogonal cutting of unidirectional CFRP	Delme Frezeleme Tornalama	CFRP	Sementit karbür kesici takım	Kuru i leme	Foa'nın kuvvetler üzerinde önemli bir etkisi olmu , foa'nın artmasıyla kesme kuvvetleri arttı . Kesme geni li i ve tala açısının, itme kuvvetlerinde önemli bir etkiye sahip oldu u anlaşılmı .
Schorník vd. 2015	The Influence of the Cutting Conditions on the Machined Surface Quality When the CFRP is Machined	Frezeleme	CFRP	Parmak freze takımı	Kuru i leme	Yüzey kalitesinde ilerleme oranı ve kesme hızı iyi bir kombinasyon olu turmu . Yüksek kesme sıcaklı ı malzemenin mekanik özelliklerini etkilemi ve maksimum sıcaklı ın takımın kesici kenarında olmasına ra men polimer matrisin dü ük sıcaklıkta olması kompozit malzemede dayanımı ve sertli i azalttı .
Çelik vd. 2015	Investigation on the performance of SiAlON ceramic drills on aerospace grade CFRP composites	Delme	CFRP	SiAlON, helisel matkap ve PCD kaplamalı	Kuru i leme	itme kuvveti delme i lemi sırasında arttı , SiAlON takımlarının kesici kenarlarında abrasiv a ınma meydana gelmi , itme kuvveti ve tork kesici kenar geometrik özelliklerine ba lı kalmı , kesici takımın uç açısı ve uç kesici kenarı CFRP kompozitin delme i leminde maksimum itme kuvvetini saptamak için ana parametreleri olu turmu .
Rahim vd. 2014	Performance of Tools Design when Helical Milling on Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP) Aluminum (Al) Stack	Frezeleme	CFRP/Al	Sementit karbür kesici takım	Kuru i leme	ilerleme oranının artmasıyla kesme kuvveti arttı ve alüminyum plakasında itme kuvveti yükselmi . Yüksek i mili hızı takım ve tala arasındaki arayüzey temasını azaltmasıyla sürtünme katsayısını azalttı . Yüksek ilerleme oranları Al malzemede yüksek de erde yüzey pürüzlülü ü üretti . Yüksek kalitede delikler elde edildi ve CFRP/Al malzemenin yüzey pürüzlülük de erleri havacılık sanayinde kabul edilebilir aralıklarda bulunmu .
Kitajima vd. 2014	Development of PCD milling tool for carbon-fiber-reinforced plastics	Frezeleme	CFRP	PCD takım	Kuru i leme	Artan kesme geni li ine ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü istenilen seviyede olu mu . Kesme ko ulları ilerledi inde takımın inceli inden dolayı takımda kırılma olu mu . PCD takımınla gerçekleştirilen CFRP kompozitin i lenmesinin uygun oldu u sonucuna varılmı .

Tablo 1: (devam ediyor)

Haddad vd.	2014	Study of the surface defects and dust generated during trimming of CFRP: Influence of tool geometry, machining parameters and cutting speed range	Frezeleme	CFRP	4 oluklu, elmas kaplamalı ve kaplamasız tungsten freze takımları	Kuru i leme	Yüzey kalitesi takım geometrisine ve kesme parametrelerine ba lı olmu . Kesme hızı ve ilerleme oranının i leme sıcaklıkları üzerine sınırlı bir etkiye sahip oldu u tespit edilmi . Kaplamalı takımların kaplamasız takımlardan daha büyük bir kesme kenar radyüsü olmu ve kaplama tabakasından kaynaklanmı .
Qin vd.	2014	Delamination analysis of the helical milling of carbon fiber-reinforced plastics by using the artificial neural network model	Frezeleme	CFRP	TiAlN kaplamalı tungsten karbür kesici takım	Kuru i leme	leme parametreleri delaminasyon üzerinde önemli etkiler olu turmu . Delaminasyon faktörü; itme kuvvetini, ilerleme oranını, kesme hızını etkilemi . Yüksek kesme hızında en iyi performans ve fiberler daha kolay bir eilde kesilmi . Fakat takım a nması önlenememi .
Lissek vd.	2014	Machining of Cfrp: Drilling and Milling of Unstable Work Pieces	Delme Frezeleme	CFRP	Tungsten karbür freze takımı	Kuru i leme	Delaminasyonun ana hasar olmadığı vurgulanmı . Freze takımlarından çift a ızlı takım yerine çok di li kesici takımın kullanılması tavsiye edilmi .
Kolar vd.	2014	Milling tools for cutting of fiber-reinforced plastic	Frezeleme	FRTC	PCD ve sementit karbür takımlar	Kuru i leme	Herhangi bir delaminasyon problemine rastlanmamı . PCD takımlar daha uygun olmu ve daha uzun takım ömrü elde edilmi . Karbür takımların fiber yapılarına daha duyarlı oldu u belirtilmi .
Eneyew ve Ramulu	2014	Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites	Delme	CFRP	PCD takım	Kuru i leme	ime kuvveti ve tork, tüm kesme hızlarında ve ilerleme oranında artmı . Kesme hızı artı ıyla azalmı . Çıkı taki delaminasyon faktörü her zaman giri tekinden daha fazla olmu . Daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için dü ük ilerleme oranları ve yüksek kesme hızları güçlü bir gösterge olmu .
Zhang vd.	2013	Study of Surface Roughness in Milling Carbon Fiber Reinforced Plastics Using PCD Tool	Frezeleme	CFRP	PCD takım	Kuru i leme	Yüzey pürüzlülü ünün artması; kesme geni li ine ve ilerleme oranına ba lı olurken yüzey pürüzlülü ünün azalması kesme hızına ba lı olmu . Yüzey pürüzlülü üne kesme geni li inin yüksek bir etkisi olurken ilerleme oranı en az etki eden parametre olmu .
Cieciel g ve Zaleski	2013	Comparative Study in The Passive Force and Cutting Torque in The Milling Process of Polymer Matrix Composites and Aluminum Alloys	Frezeleme	CFRP AlSi21CuNi 7075 alüminyum	PCD kesici takım	Kuru i leme	Bütün kuvvetler ilerleme oranının artmasıyla artmı . Düralümin malzemede kuvvetler azalmı , silümin ve CFRP kompozit malzemede bir de i iklik olmamı . ilerleme oranının artmasıyla birlikte kesme torku özellikle CFRP kompozit malzemede en yüksek de ere ula mı .
Gong vd.	2013	Surface Morphology in Milling Multidirectional Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates	Frezeleme	CFRP	Çok kenarlı freze takımı	Kuru i leme	Yüzey pürüzlülü ü de erinin ilerleme oranı ile artı ı kesme hızıyla da azaldı ı tespit edilmi . Bu de erin 3.2 µm fazla oldu u ve havacılık uygulamaları için uygun olmadığı belirtilmi .

Tablo 1: (devam ediyor)

Pecat vd.	2012	Influence of milling process parameters on the surface integrity of CFRP	Frezeleme	CFRP	Disk freze karbür kesici takım	Kuru i leme	Yüksek kesme hızında yüzeye çok yakın kısımda görülebilir bir fiber e ilmesi meydana gelmi . Kesme hızının artmasıyla kesme kuvveti azalmı . 0° ve +45° foa'ında pürüzsüz bir yüzey elde edilmi , -45° ve 90° foa'ında çatlaklar olu mu .
Santiuste vd.	2010	Machining FEM model of long fiber composites for aeronautical components	FE modelleme	GFRP CFRP	-----	-----	Nümerik analizinde GFRP ve CFRP kompozit malzemelerin matris yapısındaki deformasyon ve tala olu umu foa'larına ba lı olmu . CFRP kompozit malzemenin havacılık uygulamalarında daha uygun oldu una karar verilmi .

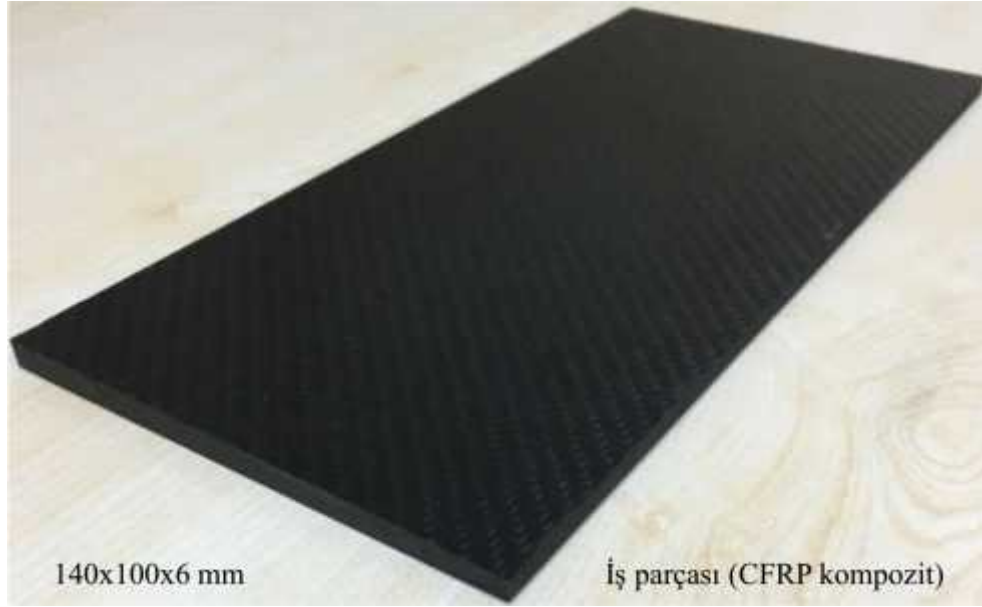
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Bu çalışma, çok yönlü ve ($0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$)s formlarındaki CFRP kompozit malzemenin WC-Co karbür kesici takımlarla işlenebilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi için kaplamasız karbür, PVD yöntemiyle kaplamalı TiN - AlTiN / TiN , TiN - TiAlSiN / TiSiN / TiAlSiN , TiAlN ve TiN kesici takımlar belirlenmiştir. Çevresel frezeleme deneylerinde kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzeme üzerinde farklı kesme parametrelerinde kesme performansı ve aşınma davranışı incelenmiştir. Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, talaş kaldırma işlemi sonrası işlenmiş parçası üzerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Kesici takımlarda meydana gelen aşınmaları gözlemlemek için takımların aşınma görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca SEM, EDS ve elementel haritalama görüntüleri alınarak kesici takım kaplamalarının mikro yapısal incelemeleri ve ayrıntılı analizleri ile işlenmiş parçası incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

4.1 Deney Numunesi

DeneySEL çalışmalarda havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan çok yönlü CFRP kompozit malzeme işlenmiş parçası olarak kullanılmıştır (ekil 23). $140 \times 300 \times 6$ mm ölçülerindeki CFRP kompozit malzeme $140 \times 100 \times 6$ mm ebatlarında CNC işleme merkezinde deney numunesi olarak hazırlanmıştır. Uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan parçaların yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek mukavemet, yüksek sertlik, düşük ağırlık ile birlikte salımlılık ve korozyon direncine sahip olan CFRP kompozit malzemeleri kullanılmaktadır (Slamani vd., 2015).



ekil 23: Çevresel frezeleme deneylerinde kullanılan CFRP kompozit malzemenin görüntüsü.

Çevresel frezeleme deneylerinde kullanılan CFRP kompozit malzemeye ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: CFRP kompozit malzeme özellikleri.

Dokuma tipi	Twill 2×2
Kumaş ağırlığı	200 gr/m ²
Fiber hacim oranı	% 50
Tabaka sayısı	24
Fiber oryantasyon açısı	(0°/45°/90°/-45°) _s
Her bir tabakanın kalınlığı	~ 0,2 mm
Reçine tipi	Epoksi
Karbon fiber tipi	Yüksek sağlamlık (HT)
Demet sayısına göre filamentlerin sayısı	3K
Üretim yöntemi	Vakum torbalama

4.2 Kesici Takımlar

CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi için Sandvik coromant firmasından temin edilen kesme derinli i (a_p) maksimum 10 mm olan kesici takımlar kullanılmı tır. CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi için kullanılan kesici takımların gerçek görüntüleri ekil 24’de verilmi tir. De i tirilebilir kesici takımlar ISO 1832’ye uygun olarak belirlenmi tir.



ekil 24: Kesici takımların görüntüsü.

Çevresel frezeleme i lemlerinde kullanılan kesici takımların listesi Tablo 3’te verilmi tir.

Tablo 3: Frezeleme i leminde kullanılan kesici takımlar ve özellikleri

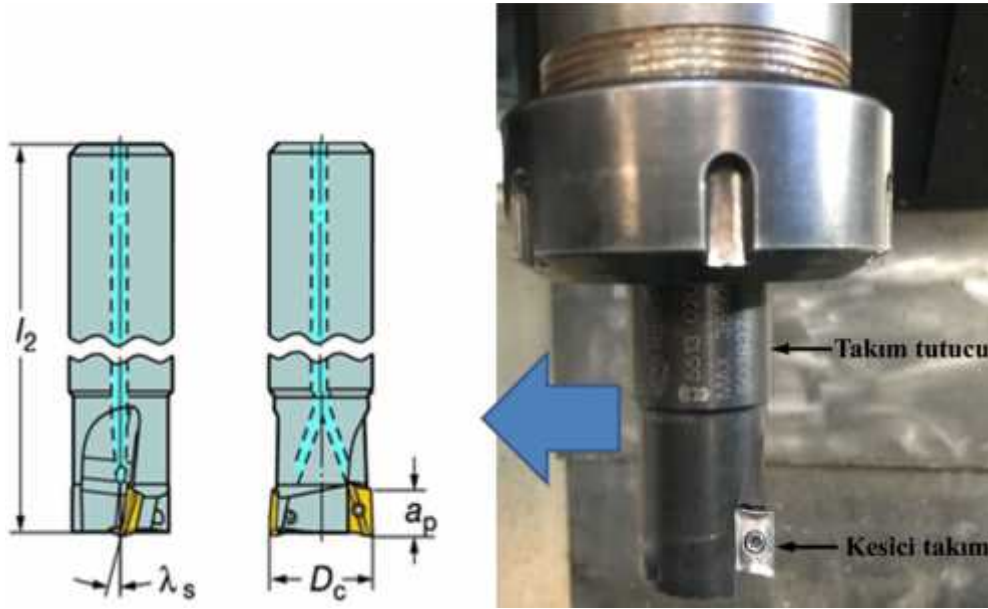
No	Takım Türü	Kodu	Kalitesi	Kaplama türü
1	Sementit karbür (WC-Co)	R390-11 T304E	NL H13A	Kaplamasız
2	PVD kaplamalı WC-Co	R390-11 T304E	NL H13A	nl-AlTiN/TiN
3	PVD kaplamalı WC-Co	R390-11 T304E	NL H13A	nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlSiN
4	PVD kaplamalı WC-Co	R390-11 T304E	NL H13A	TiAlN
5	PVD kaplamalı WC-Co	R390-11 T304E	NL H13A	TiN

TiAlSiN/TiSiN/TiAlN ve AlTiN/TiN kaplamaların sahip oldu u yüksek sertlik, pürüzsüzlük, dü ük artık gerilme ve 1100 °C’ye kadar kimyasal kararlılık, bu kaplamaları yüksek i leme operasyonları için öne çıkarmaktadır. Nanokompozit ve nanotabakalı yapılar, olu an çatlakların enerjisinin da ıtılmasını sa ladı ndan ve çatlak ilerlemesini geciktirdi inden

dolayı, tok bir yapı elde edilmesini ve kaplamanın ömrünün artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, bu kaplamaların sürtünme katsayıları, yüzey pürüzlülükleri volfram karbürler (WC) göre daha düşük olması ve sertliklerinin WC'e göre daha yüksek olmalarından, ayrıca titanyum esaslı bileşenlerin aşınmaya karşı aşınma direncini iyileştirmesinden dolayı bu tez çalışmamızda tercih edilmiştir (Ducros ve Sanchette, 2006; Panjan, 2010; Mkaddem vd., 2013).

4.3 Takım Tutucu

Seçilen kesici takımların freze işlemine bağlanmasında, iki aşamalı Sandvik coromant firması tarafından üretilmiş olan R390-025A25-11L kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Kesme çapı 25 mm olan takım tutucu biçimi ise ISO 5608 referans alınarak seçilmiştir. Sabit kesme hızlarının sağlanabilmesi amacıyla deneyler takım tutucu üzerinde sadece bir kesici takım varken gerçekleştirilmiştir (ekil 25).



ekil 25: Deneylerde kullanılan takım tutucu.

4.4 Frezeleme i lemi

Deney numunelerinin çevresel frezeleme i lemleri 3 eksenli 10 kW gücüne sahip olan Falco VMC 850-B CNC dik i leme tezgâhında gerçekleştirilmiştir (ekil 26).

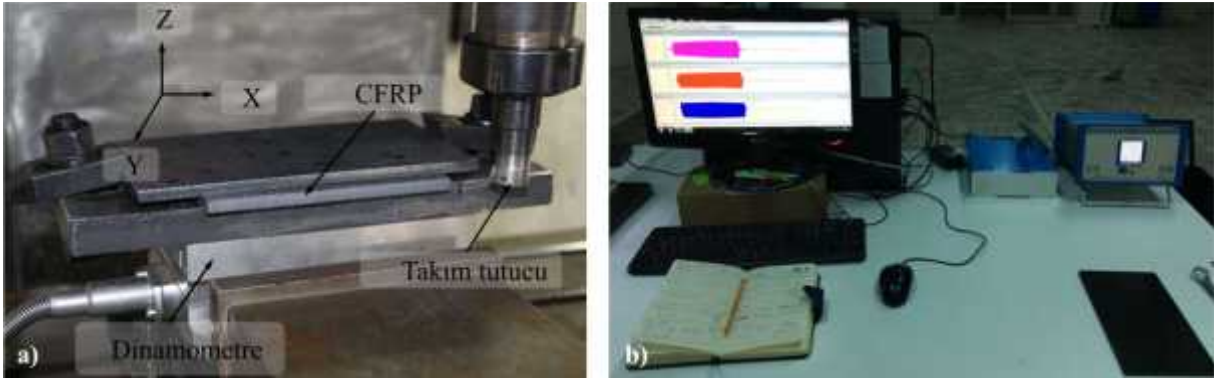


ekil 26: Deneylerde kullanılan CNC dik i leme merkezi ve deney düzene inin genel görüntüsü.

4.5 Kesme Kuvveti Ölçümü

Deney numunesinin çevresel frezelenmesi esnasında olu an kesme kuvvetlerinin ölçümü için dinamometre (Kistler 9257B) ve amplifikatör (Kistler 5070) kullanılmı tır. Tala kaldırma uygulamasında, verilen bir koordinat sisteminde kesme i lemleri esnasında olu an kesme kuvveti elemanları ölçümü dinamometreler ile ölçülmektedir (Youssef ve El-Hofy, 2008). Dinamometre tezgâh üzerine monte edildikten sonra dinamometrenin arasındaki imal edilen

çelik plakaya vidalanarak ba lanmı tır. CFRP kompozit malzemenin dinamometre üzerine monte edilmi hali ve di er veri aktarma elemanlarının görüntüsü ekil 27'de gösterilmi tir. Ayrıca, dinamometrenin ölçüm yaptı ı eksenler ve yönleri ekil 27a'da gösterilmi tir. Kesme i lemi deneyleri esnasında, CFRP kompozit malzeme i parçasının 140 mm kesme uzunlu u boyunca elde edilen kesme kuvvetleri bilgisayara kaydedilmi tir. Deneylerde, dinamometre yardımı ile tezgâhın x, y ve z eksenleri do rultusunda meydana gelen F_x , F_y ve F_z kesme kuvveti bile enleri ölçülmü tür. Elde edilen veriler, Dyno Ware programı ile grafikleri alınmı tır (ekil 27b).



ekil 27: Dinamometre ve veri aktarma elemanlarının görüntüsü.

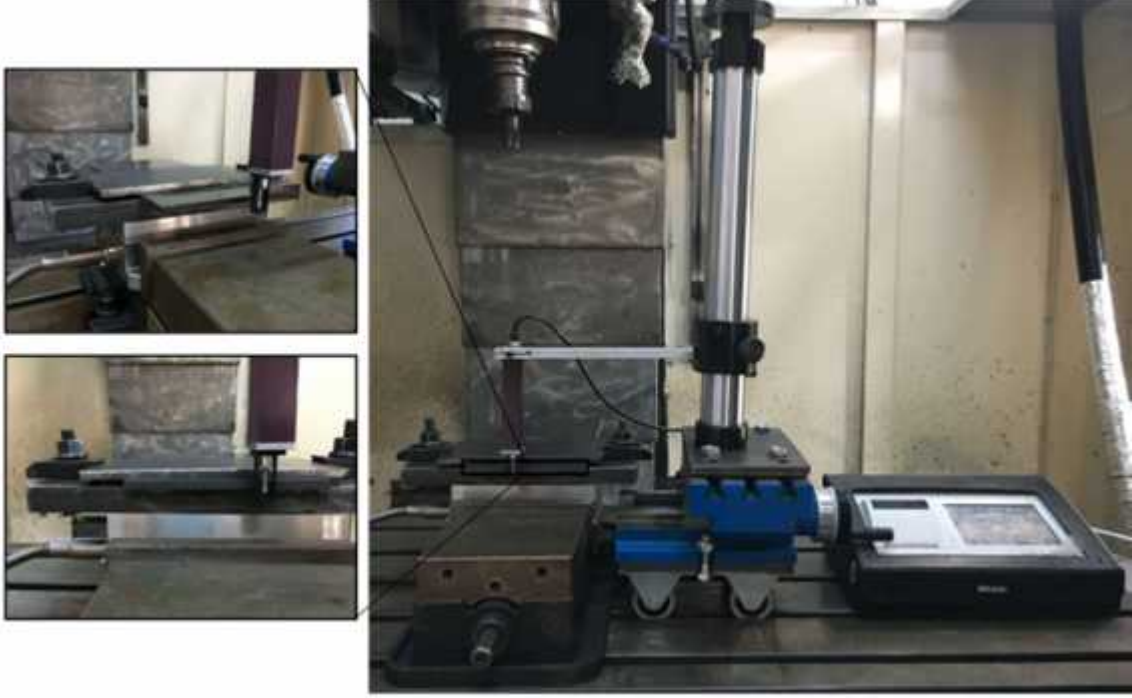
Her bir test için farklı saniyelerde kesme kuvveti sinyali alınmı tır. Bu sinyaller bilgisayara kaydedildikten sonra, amplifikatör sıfırlanmı ve di er kesme i lemine geçilmi tir. Elde edilen kesme kuvveti bile enlerinin ortalaması alınmı ve bile ke kesme kuvvetleri (F_R) hesaplanmı tır (E itlik 1).

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

4.6 Yüzey Pürüzlülü ü Ölçümü

CFRP kompozit deney numunesi frezelandikten sonra yüzey pürüzlülü ünün belirlenmesi için ekil 28'de foto rafı verilen Mitutoyo Surftest SJ-310 uçlu yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmı tır. Tala kaldırma i leminden sonra, CFRP kompozit malzeme kenarının be farklı

yerinden ardı ık olarak ölçümler yapılmı tır. Be farklı de erlerin ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) de erleri belirlenmi tir.



ekil 28: CFRP kompozit malzemenin be noktasından alınan uçlu tip yüzey pürüzlülük cihazının ölçüm görüntüsü.

4.7 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

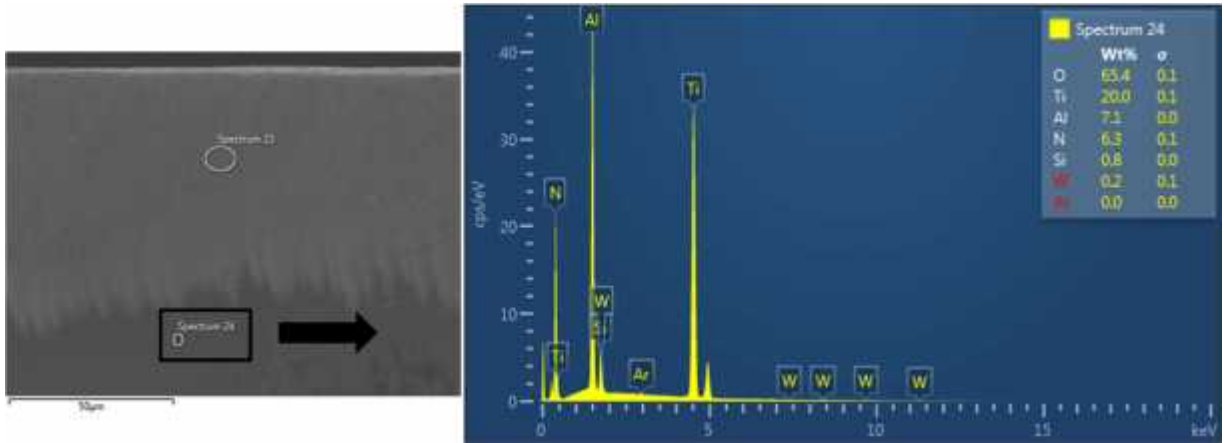
CFRP kompozit malzemedeki hasarların ve delaminasyonların ölçülmesi, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların yüksek büyütme oranlarında a ınma foto raflarının çekilmesi için ekil 29'da görülen TESCAN firması tarafından üretilen MAIA3 model taramalı elektron mikroskobu kullanılmı tır.



ekil 29: TESCAN-MIA13 model taramalı elektron mikroskop cihazının görüntüsü.

4.8 Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS)

Kesici takımlardaki kaplamaların karakterizasyonunda ve aınımı kesici takımların aınma bölgelerinde meydana gelen durumların element analizini yapmak amacıyla taramalı elektron mikroskobu üzerine monte edilmiş olan Oxford Instruments X-Max50 model enerji dağılımlı spektrometre kullanılmıtır (ekil 30).



ekil 30: Kesici takımın SEM görüntüsü ve EDS analizi.

4.9 Kaplama Cihazı

CFRP kompozit malzemenin SEM cihazından görüntüsünün daha kaliteli alınabilmesi (hızlandırılmış elektronların i parçasına gönderilmesinde epoksi reçinenin olumsuz (elektron yüklenmesi) davranışını engellemek) için i parçası üzerine ~10 nm kalınlığında altın/paladyum (Au/Pd (80:20)) karışımı sıçratma yöntemiyle oda sıcaklığında kaplanmıştır. CFRP kompozit malzemenin kaplama işleminde ekil 31'deki Quorum markalı Q150T-ES modelindeki kaplama cihazı kullanılmıştır.



ekil 31: Au/Pd kaplamasında kullanılan Q150T-ES modelindeki kaplama cihazının görünümü.

4.10 Ön Deneylerin Yapılması ve Elde Edilen Bulgular

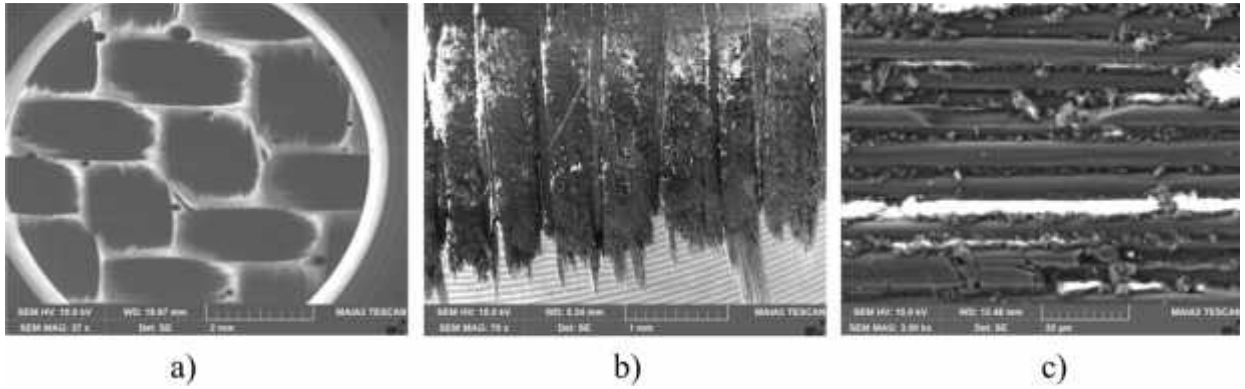
İlmeleme parametreleri, kesici takım üretici firmasının kataloğu (Sandvik coromant) ve CFRP kompozit ile çalışan firmaların önerileri, literatür verileri dikkate alınarak farklı kesme hızları, ilerleme oranları ve sabit kesme genişliği belirlenmiştir. Kesme genişliği tüm kesici takımlar için 1 mm olarak belirlenmiştir. İlerleme oranı tüm takımlar için 0,05-0,15 ve 0,25 mm/di olarak belirlenmiştir. Kesme hızları ise katalog değerlerinden faydalanarak ön deneyler sonucunda belirlenmiştir. Kesme performansları araştırılacak olan karbür kesici takımların hangi ilmeleme parametrelerinde test edileceğinin belirlenmesi ve belirlenecek olan ilmeleme parametrelerinin aşınma davranışına olan etkisini incelemek amacıyla CFRP kompozit malzeme üzerinde ön kesme deneyleri yapılmıştır (ekil 32).



ekil 32: Çevresel frezeleme i leminde ön kesme deneyi.

4.10.1 Kaplamasız Karbür Kesici Takım Ön Deneyleri

Ön frezeleme deneylerinde kullanılan CFRP kompozit malzeme, minimum fho % 50 olan 3K twill dokuma yapısına sahip prepregler kullanılarak üretilmi tir. 140×100×6 mm ölçülerinde, quasi-isotropic yapıda ve (0°/45°/90°/-45°)s foa'larındadır. SEM kullanılarak, kompozit i parçasının yüzey ve kesit görüntüleri elde edilmi tir. SEM görüntülerinde karbon fiber yapısı ve foa'ları daha detaylı incelenerek yapıları hakkında genel bilgi edinilmi tir. CFRP kompozit malzemedeki fiber yapılarının detaylı görüntüsü ekil 33'de verilmi tir.



ekil 33: CFRP kompozit malzeme SEM görüntüleri; a) Twill dokuma yapısı, b) Foa'ları, c) Fiberlerin yapısı.

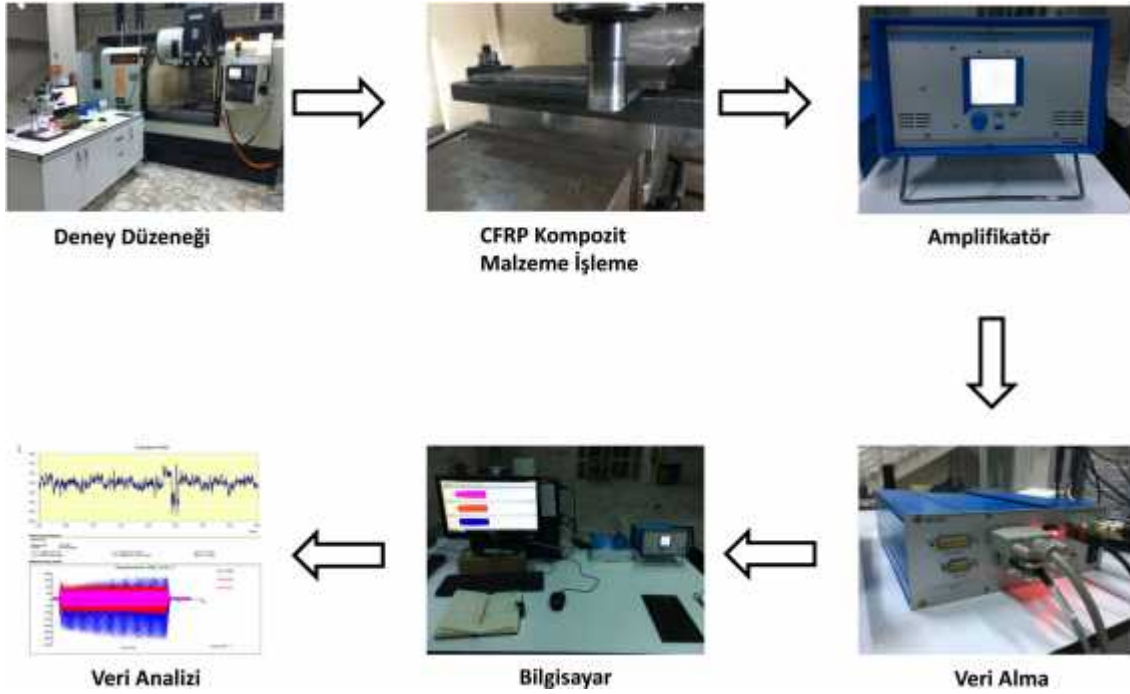
CFRP kompozit i parçası üzerinde, kaplamasız kesici takımlarla ön kesme testleri gerçekleştirilmi tir. Testlerde kullanılan 25 mm kesme çapına sahip olan takım tutucuya tek bir kesici takım monte edilmi tir. Kesme i lemleri farklı kesme testlerinde; be farklı kesme

hızında (50, 100, 200, 300 ve 400 m/dak), üç farklı ilerleme oranında (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve sabit aksenal kesme derinli i ($a_p = 6$ mm) ile radyal kesme geni li inde ($a_e = 1$ mm) uygulanmıştır. Ön deneylerde 50 ve 400 m/dak kesme hızlarında istenilen performans elde edilemedi i için 50 ve 400 m/dak kesme hızları parametreleri sonradan deneylerde kullanılmamıştır. 50 m/dak kesme hızında i parçası yüzeylerinde yıpranma ve tüylenmeler olmuştur. 400 m/dak kesme hızında deney esnasında çok fazla titreşim meydana gelmiştir. Bu titreşime bağlı olarak F_y (radyal kesme kuvveti) de erişir bir artış göstermiştir. Bu kesme parametresi deney dışı bırakılmıştır. Ayrıca, yukarıda belirtildi i gibi konuyla ilgili çalışmaları yapan araştırmacıların literatürleri göz önünde bulundurulmuştur. İlerleme parametreleri etkileyen parametreler; kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme geni li i dir.

Tablo 4: İlerleme parametreleri ve seviyeleri

Parametreler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
(V_c) Kesme hızı (m/dak)	50	100	200	300	400
(f_z) İlerleme oranı (mm/di)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
(a_e) Radyal kesme geni li i (mm)	1	1	1	1	1
(a_p) Aksenal kesme derinli i (mm)	6	6	6	6	6

Kesme kuvveti deneylerinde, CFRP kompozit malzemenin aındırıcı yapısından dolayı, delaminasyon ve takım aınmasına neden olan kesme kuvvetlerinin araştırılması amaçlanarak kesme parametrelerinin bile ke kesme kuvveti (F_R) üzerine etkisi incelenmiştir. Deneyler kuru şartlarda gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri dinamometre (Kistler 9257B) yardımıyla ölçülmü ve dinamometre çıkışına çok kanallı amplifikatör (Kistler 5070) bağlanmıştır ve bir PC ile 1000 Hz'de veriler elde edilmiştir. Daha sonra Dyno Ware yazılımı ile sonuçlar analiz edilmiştir (ekil 34).

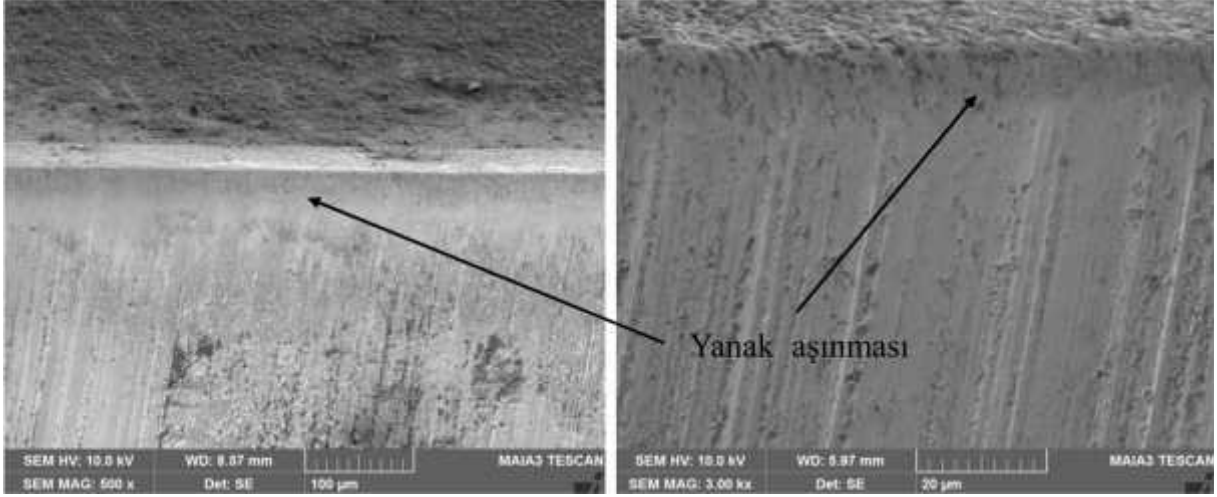


ekil 34: Deney düzeneğinin genel görünümü ve veri elde etme görüntüsü.

Kuvvet ölçümlerinde kesme uzunluğuna $u = 140$ mm olarak belirlenmiştir. Testlerde F_x , F_y ve F_z kesme kuvveti bileşenleri ölçülmüştür. Tabla hızına bağlı olarak kesme kuvveti sinyalleri her bir kesme testi için farklı sürelerde kaydedilmiştir. Her kesme kuvveti bileşeni için, ölçülen maksimum kesme kuvvetlerinin ortalaması kullanılmıştır. Kesme kuvveti bileşenlerinin ölçümünden sonra bileşik kesme kuvveti $F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$ ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır. Kaplamasız kesici takım ile uygulanan ön kesme deneyleri neticesinde, titreşim, ısı oluşumu, işlenecek malzemenin ince olması ve sürtünme katsayısını azaltmak amacıyla geleneksel frezeleme yöntemleri (ağırlıklı yönlü frezeleme) uygulanmıştır (Çakır, 2010; Gavas vd., 2013).

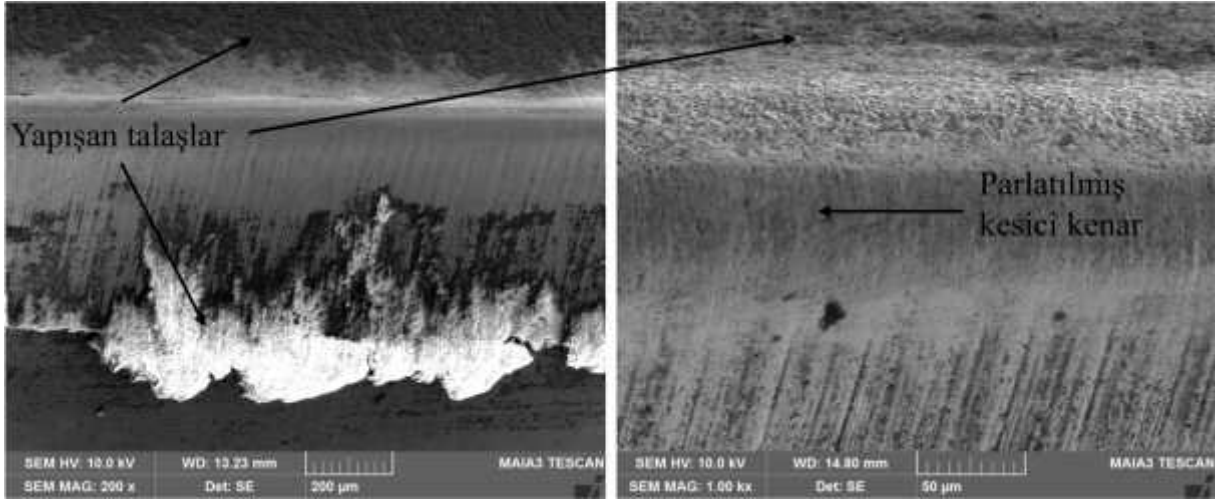
Ön frezeleme deneylerinde düşük ($V_c = 100$ m/dak ve $f_z = 0,05$ mm/di) ve yüksek ($V_c = 300$ m/dak ve $f_z = 0,25$ mm/di) kesme koşulları belirlenmiştir. Bu kesme koşulları altında, kesme süreci boyunca kesme kuvvetlerinin oluşumu kaydedilmiştir. Ağırlıklı yönlü frezeleme yöntemi nedeniyle, kesme kuvvetleri maksimum bir değere ulaşmıştır. Kesici takım/parçası temasının bittiği noktaya doğru ise azalış göstermiştir. Talaş imalat esnasında düşük seviyede ses oluşumu olmuştur. Minimum kesme kuvvetleri bakımından en uygun kesme

parametreleri $V_c = 100$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranı olarak elde edilmiştir. Çevresel frezeleme işleminde kaplamasız kesici takımlar ile $V_c = 100$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında CFRP kompozit malzemenin abrasiv yapısından dolayı yanak aşınması tespit edilmiştir (ekil 35).



ekil 35: $V_c = 100$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kaplamasız kesici takımlardaki yanak aşınmasının SEM görüntüsü.

Yanak aşınması kesme hızının ve ilerleme oranının artmasıyla artmış göstermektedir. Yüksek kesme artlarında ($V_c = 300$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranı) abrasiv aşınmanın artması nedeniyle iş parçasının işlenmiş yüzeyinin yüzey kalitesinin azalmasına neden olmuştur. Kaplamasız kesici takımında kesici kenar yanak aşınmasına bağlı olarak parlak bir görünüme kavmu ve iş parçası malzemesinin kesici takıma yapışması (yığıntı tala (YT), built up edge (BUE)) gözlenmiştir (ekil 36).



ekil 36: $V_c = 300$ m/dak kesme hızı ve $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kaplamasız kesici takımlardaki yanak aınmanın SEM görüntüsü.

4.10.2 İleme Parametrelerinin Belirlenmesi

Yapılan ön frezeleme deneylerinden sonra tüm deneylerde Tablo 5'deki i leme parametrelerine karar verilmi ve üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı ve sabit aksenel kesme derinli i ile radyal kesme geni li i belirlenmi tir.

Tablo 5: Çevresel frezeleme deneylerinde kullanılan deneysel parametrelere ait veriler.

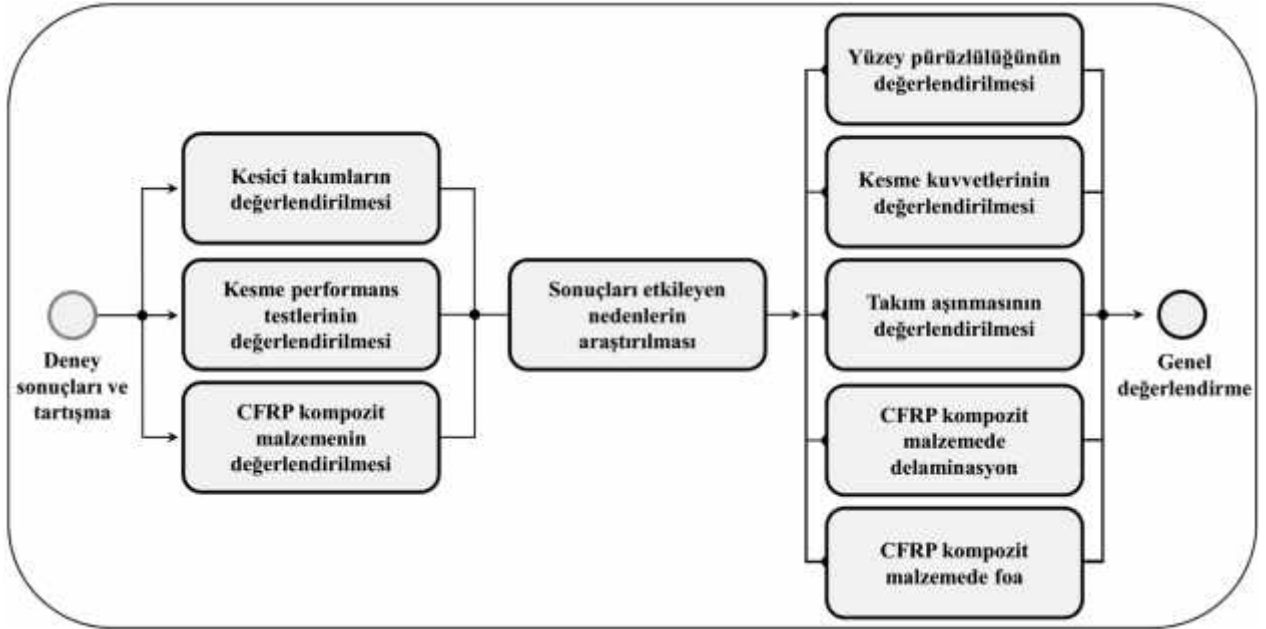
Test No	V_c [m/dak]	f_z [mm/di]	a_e [mm]	a_p [mm]
1	100	0,050	1	6
2	200	0,050	1	6
3	300	0,050	1	6
4	100	0,150	1	6
5	200	0,150	1	6
6	300	0,150	1	6
7	100	0,250	1	6
8	200	0,250	1	6
9	300	0,250	1	6

Tüm takımlar belirlenen kesme hızı ve ilerleme oranlarında aınma testlerine tabi tutulmu tur. Her bir kesici takım ile 9 ayrı test yapılmı tır. Her bir test 20 paso (tekrarlı) yapılarak toplamda 180 paso kaldırılmı tır. Her 10 paso ilerlenmesinden sonra numunelerin SEM görüntüleri alınmı tır. Çevresel frezeleme işleminden sonra 140 mm uzunlu undaki CFRP kompozit malzemenin yüzey pürüzlülü ü de erleri Mitutoyo Surftest SJ-310 uçlu tip yüzey pürüzlülü ü ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmü tür. Frezeleme işlemi sırasında harici vakum toplama makinesi çalıştırılarak çıkan CFRP kompozit malzeme tozları toplanmı tır. Daha sonra CFRP kompozit malzeme üzerindeki tala lar hava tutularak temizlenmi tir. İlenmi malzeme yüzeyinden be farklı noktadan alınan pürüzlülük de erlerinin ortalaması kaydedilmı tir. Pürüzlülük cihazı, üç eksen de (x, y, z) hareket eden sonsuz vidalı aparat üzerine yerleştirildi inden dolayı pürüzlülük verilerinin ölçüm hatası minimum seviyede tutulmu tur. Yüzey pürüzlülü ü de erlendirmelerinde uzay ve havacılık oranı olan R_a de eri temel alınarak (CFRP « 3,2 μm) ölçümler gerçekleştirilmı tir (Richards vd., 2007; Isbilir ve Ghassemieh, 2012; Abdul Rahim vd., 2014; Xu vd., 2014).

BÖLÜM 5

DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

CFRP kompozit malzeme çevresel frezeleme i leminde, ni-AlTiN/TiN, çok tabakalı nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, konvansiyonel tek tabakalı TiAlN ve TiN kaplamalı karbür kesici takımlarla birlikte kaplamasız karbür takımların i lenebilirli inin ara tırıldı ı bu çalı mada, elde edilen veriler analiz edilmi tir. Deney/analiz sonuçları ve tartı ma bölümünün akı ması ekil 37’de verilmi tir. Çevresel frezeleme i lemlerinde kuru kesme i lemi uygulanarak so utma sıvısı ihtiyacı ortadan kaldırılmı , çevreye duyarlı sürdürülebilir kesme i lemleri gerçekte tirilmi tir.



ekil 37: Deney/analiz sonuçları ve tartı ma bölümü akı ması.

Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla, belirlenen i leme parametrelerine ba lı olarak CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi esnasında olu an yüzey pürüzlülü ü, kesme kuvvetleri, kesici takım a ınmaları ve i parçası malzemesi üzerine olu an deformasyonlar de erlendirilmi tir. CFRP kompozit malzemenin kesici takım performansına

etki eden sebeplerin araştırılması amacıyla kesici takımların ve i parçasının mikro yapıları incelenmiştir.

5.1 Farklı Kesme Hızlarında Elde Edilen Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerindeki Değişim

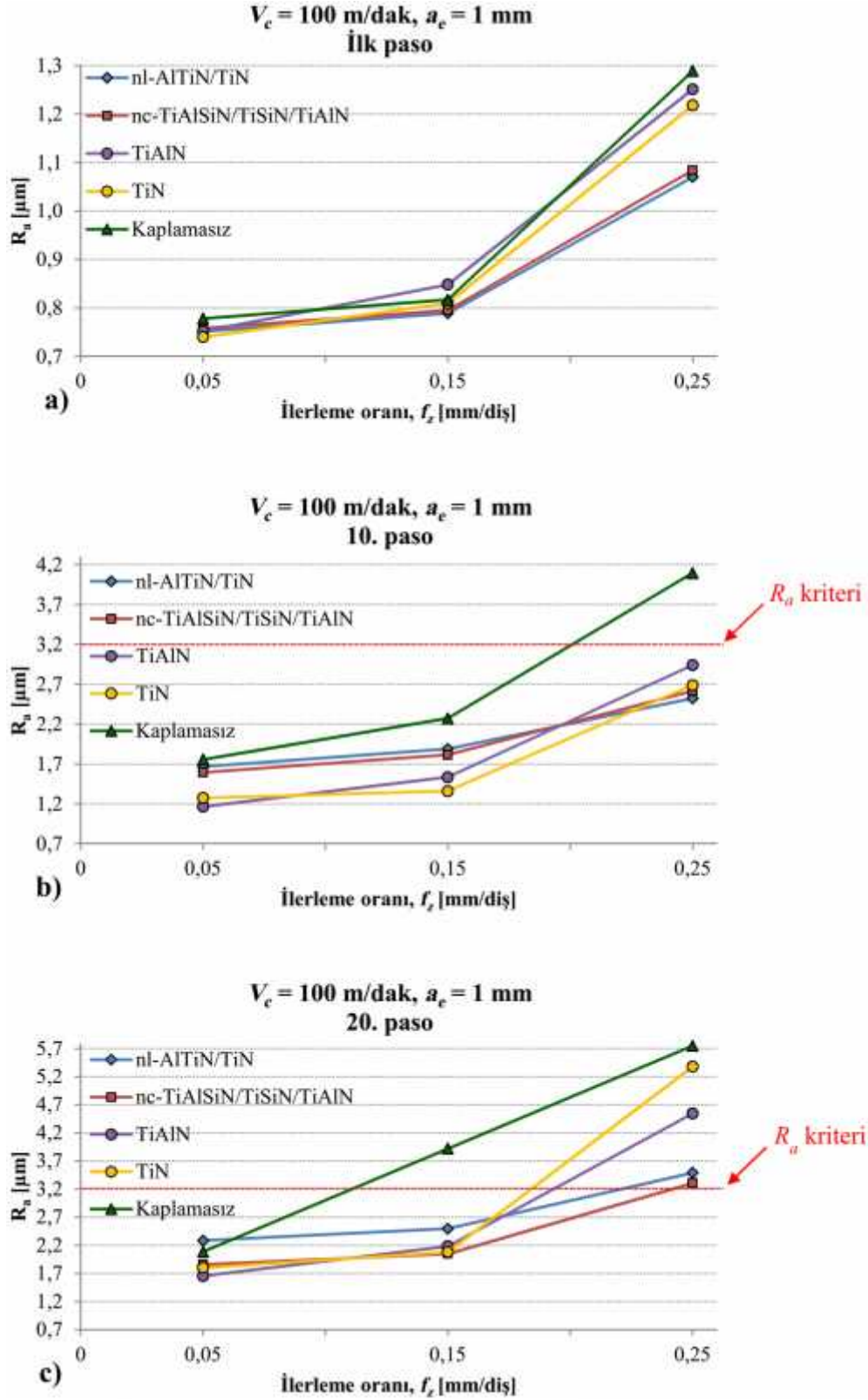
Talaşlı imalatта i leme esnasında yüzeye temas eden kesici takım sürtünmeye, aşınmaya ve ısı iletimine neden olmaktadır. Bu yüzden i lenmiş parçalarda yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi; yüzeyin düzgünlüğü, kalitesi ve ürünlerinin fonksiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu için talaşlı imalat endüstrisinde büyük önem taşımaktadır (Dhanasekar ve Ramamoorthy, 2010). i parçasında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin belirlenmesinde birçok faktör etkilidir (Gökkaya ve Nalbant, 2007; Najem, 2010; Rajasekaran vd., 2010; Raj ve Karunamoorthy, 2017; Sheikh-Ahmad vd., 2017). Bunlar; ilerleme oranı, kesici takım geometrisi, kesme hızı, kesme genişliği, kesici takım radyüsü ve i parçası bala yöntemleridir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, ileri kompozit malzemeler sınıfından olan CFRP kompozit malzemelerin, yüksek kalite ve verimlilikte i lenebilmesi amacıyla, optimum kesme parametrelerinin ve uygun kesici takımların belirlenmesi önem kazanmaktadır. CFRP kompozit malzemelerde geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle i leme, foa, malzemenin homojen olmayan yapısı ve matris içerisindeki sert aşındırıcı fiberin yüksek hacimli olması, farklı fiber ve matris özelliklerinden dolayı oldukça zor olabilmekte ve kompozit malzemede yüzey kalitesine neden olmaktadır. Yüzey kalitesi, CFRP kompozit malzemede foa'na, i leme kuvvetlerine ve hatta kesme yönüne bağlı olmaktadır (Karpas vd., 2012). Bu bölümde, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezeleme i lemi uygulanmış CFRP kompozit malzeme üzerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü grafikleri ekil 38, ekil 39 ve ekil 40'da verilmiştir.

5.1.1 $V_c = 100$ m/dak Kesme Hızında Farklı İlerleme Oranlarına Bağlı Olarak Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di), 1

mm kesme geni li i ve 100 m/dak kesme hızında çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ekil 38’de verilmi tir. 100 m/dak ve üç farklı ilerleme oranında elde edilen yüzey pürüzlülü ü de eri grafikleri birinci, onuncu ve yirminci pasolar için verilmi tir. CFRP kompozit malzeme çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri kesme hızının artı na ba lı olarak dü ü göstermi tir. Kesme hızının artı na ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü de erlerinin azalması beklenen bir durumdur (Çakır, 2006; Sornakumar ve Kumar, 2008; Anan vd., 2017). CFRP kompozit malzemenin 100 m/dak kesme hızı ve farklı ilerleme oranlarında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi esnasında elde edilen ilk paso sonucunda yüzey pürüzlülü ü de erleri ilerleme oranının artı na ba lı olarak artı göstermi tir. ilerleme oranının 0,05 mm/di ’den 0,15 mm/di oranına artırılması sonucu elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ilerleme oranının 0,15 mm/di ’den 0,25 mm/di ’e artırılması sonucu elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erlerinden dü ük de eri elde edilmi tir. ilerleme oranının artı na ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü de erinin artı ı, ilerleme oranının artmasıyla kesici takımında olu an titre im ve kesici takımında olu an a nımaya ba lanabilir (Saxena, 1982; Bouzid Saı vd., 2001; Habalı vd., 2006; Ne eli ve Yaldız, 2007). 100 m/dak kesme hızında ve tüm kesici takımların ilk pasodaki yüzey pürüzlülü ü de erleri 0,05 mm/di ilerleme oranı % 200 arttırıldı ında yüzey pürüzlülü ü de erleri % 7,4 artı göstermi ve 0,15 mm/di ilerleme oranı % 67 arttırıldı ında yüzey pürüzlülü ü de erleri % 56,4 artı göstermi tir. Bu nedenle, CFRP kompozit malzemenin aynı yönlü (down milling) frezeleme i leminde yüzey pürüzlülü ü üzerine en etkili i leme parametresi (f_z) ilerleme oranıdır (Liu vd., 2017). ekil 38, ekil 39 ve ekil 40’da tüm kesici takımlarla i lenen CFRP kompozit malzeme çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ilerleme oranının artmasıyla artı gösterdi i tespit edilmi tir (Sheikh-Ahmad, 2009). Kullanılan tüm kesici takımlara ba lı olarak elde edilen ilk paso sonucu yüzey pürüzlülü ü de erleri de erlendirildi inde; en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,05 mm/di ilerleme oranında TiN kaplamalı takımla, 0,15 mm/di ilerleme oranında nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımla ve 0,25 mm/di ilerleme oranında nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla elde edilmi tir. Kaplamalı kesici takımlar kaplamasız kesici takıma göre daha yüksek performans göstermi tir.

CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi sonucunda kesici takım kaplama yöntemi ve kalınlığına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendi inde; artan paso sayısı ve ilerleme oranı artışıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri artışı göstermiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri TiN kaplamalı kesici takımla ($0,740 \mu\text{m}$), en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri kaplamasız kesici takımla ($5,746 \mu\text{m}$) elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin TiN kaplamalı kesici takımla elde edilmesinin nedeni bu kaplamanın yüksek aşınma direncinin yanı sıra düşük sürtünme katsayısı olabileceği düşünülebilir (Gökkaya vd., 2004). En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kaplamasız kesici takımla elde edilmesinin nedeni ilerleme oranının artması ile artan kesme kuvvetlerinin artabileceği düşünülebilir (Şekil 45c). Kesme kuvvetlerinin artması kesme işlemi zorlaştırmakta ve işleme sırasında kesici takımda meydana gelen titreşimi arttırmaktadır. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla oluşan titreşimlerle birlikte elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmaktadır (Gökkaya, 2006). Tüm kesici takımlarla işlenen CFRP kompozit malzemesinde ilerleme oranına bağlı olarak artışı göstermesinin nedeni yüksek ilerleme oranlarında işleme esnasında yüksek titreşimler nedeniyle yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerinin oluşmasıyla açıklanabilir (Hamedanianpour ve Chatelain, 2013, Gaitonde vd., 2016).



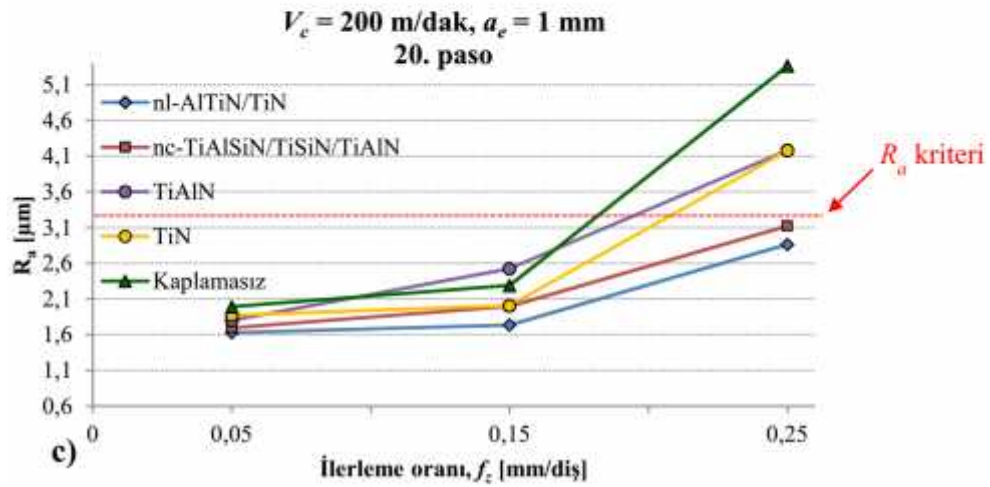
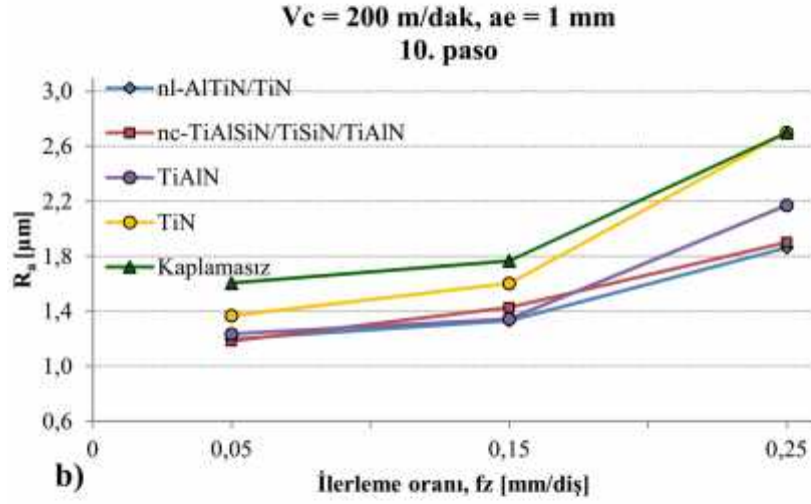
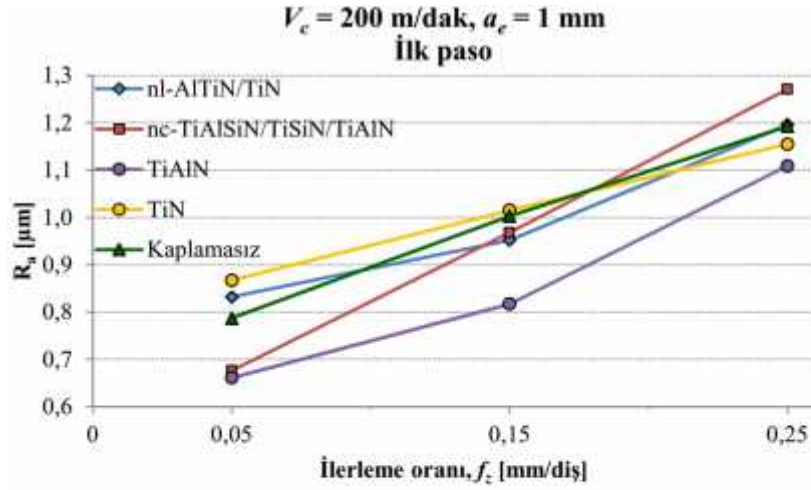
ekil 38: $V_c = 100$ m/dak ve farklı ilerleme oranlarındaki R_a 'nın gösterimi: a) İlk paso, b) Onuncu paso ve c) Yirminci paso.

5.1.2 $V_c = 200$ m/dak Kesme Hızında Farklı İlerleme Oranlarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-ALTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di), 1 mm kesme geni li i ve 200 m/dak kesme hızında çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ekil 39'da verilmi tir. 200 m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranında elde edilen yüzey pürüzlülü ü de eri grafikleri birinci, onuncu ve yirminci pasolar için verilmi tir. 200 m/dak kesme hızı ve ilerleme oranlarına ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü de erleri artı göstermi tir. İlerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülü ü de erinin artı göstermesinin nedeni; ilerleme oranının artmasıyla i parçasından kaldırılan tala miktarının artı ile açıklanabilir (Çakır, 2006, Oyman vd., 2013). İlerleme oranının artması ile kesici takımın olu an titre imler yüzey pürüzlülü ü de erini olumsuz etkilemektedir (Saxena, 1982; Yılmaz vd., 2016). İlerleme oranlarının yüzey pürüzlülü ü de erleri etkisi incelendi inde en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir.

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesici takım türünün yüzey pürüzlülüklerindeki de i im de erlendirildi inde; ilk pasolarda ilerleme oranına ba lı olarak TiAlN kaplamalı kesici takım daha iyi performans göstermi tir. 0,05 mm/di ilerleme oranında ve 200 m/dak kesme hızında tüm kesici takımlar içinde en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,661 μ m ile TiAlN kaplamalı kesici takım ile tespit edilmi tir. Bu durum, TiAlN kaplamalı kesici takımın daha yüksek sıcak sertlik ve a nma direncine sahip olması sayesinde daha az a nması ile açıklanabilir (Özbek vd., 2016). 200 m/dak kesme hızında Schornik vd. (2015) yapmı oldukları CFRP kompozit malzemesinde yatay frezeleme ve geleneksel frezeleme çalı malarında, uygun ilerleme oranlarında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de erini 200 m/dak'ki kesme hızında elde ettiklerini ve bu kesme hızının iyi bir yüzey kalitesi göstermi oldu unu belirtmi lerdir (Schorník vd., 2015). Yirminci pasolarda ilerleme oranına ba lı olarak nl-ALTiN/TiN kaplamalı kesici takım daha iyi performans gösterdi i tespit edilmi tir. Elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri sonuçlarına göre yüksek sertlik ve iyi a nma direncine sahip olmasından dolayı nl-ALTiN/TiN kaplamalı

takım kesme performansını iyile tirerek yüzey pürüzlülü ü de erlerini daha dü ük de erlerde elde edilmesini sa lamı tır (Ducros vd., 2003; Khalid vd., 2016). 200 m/dak kesme hızında kaplamalı kesici takımlar kaplamasız kesici takıma göre daha yüksek performans göstermi tir. ilerleme oranına ba lı olarak kaplamasız kesici takımla yüzey pürüzlülü ü de erleri artmı tır. Yirminci pasoda 0,25 mm/di ilerleme oranında bu de er 5,365 µm olarak ölçülmü tür ve en yüksek yüzey pürüzlülü ü de eri tespit edilmi tir. Bu durum, yüksek ilerleme oranlarında ilerleme esnasında daha büyük titre imler nedeniyle daha yüksek yüzey pürüzlülü ü de erlerinin meydana gelmesiyle açıklanabilir (Lee vd., 2001). Kaplamalı ve kaplamsız kesici takımlarla en dü ük yüzey pürüzlülü ü de erleri 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir.



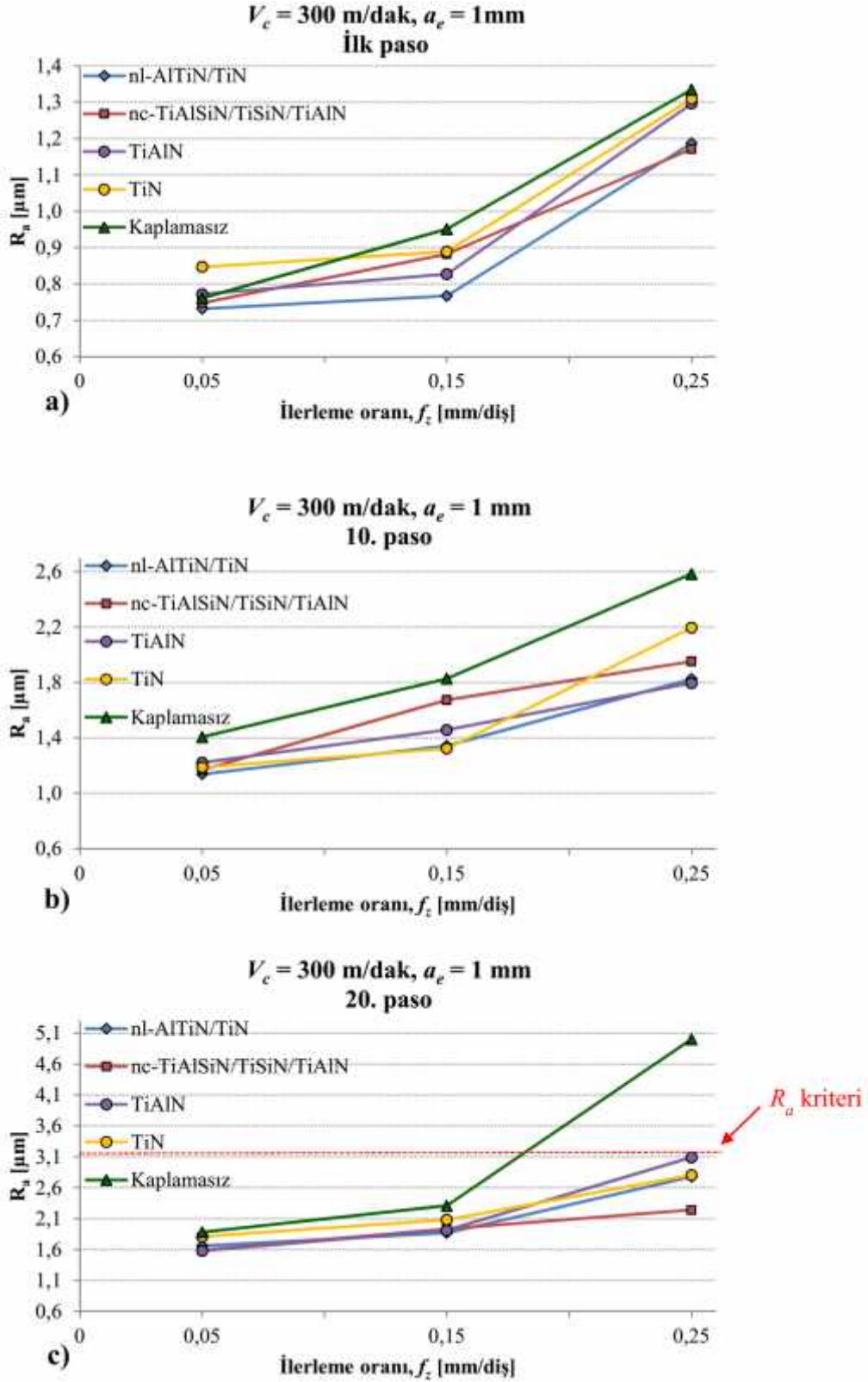
ekil 39: $V_c = 200$ m/dak ve farklı ilerleme oranlarındaki R_a 'nın gösterimi: a) İlk paso, b) Onuncu paso ve c) Yirminci paso.

5.1.3 $V_c = 300$ m/dak Kesme Hızında Farklı İlerleme Oranlarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di), 1 mm kesme geni li i ve 300 m/dak kesme hızında çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ekil 40'da verilmi tir. 300 m/dak kesme hızı ve üç farklı ilerleme oranında elde edilen yüzey pürüzlülü ü de eri grafikleri birinci, onuncu ve yirminci pasolar için verilmi tir. 300 m/dak kesme hızındaki CFRP kompozit malzeme çevresel frezeleme i leminde tüm kesici takımlarla ilerleme oranındaki de i ime ba lı olarak elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri de erlendirildi inde; kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülü ü de erlerinin iyile ti i tespit edilmi tir (Chatelain vd., 2012). Kesme hızının artmasıyla kesici takım/i parçası temas yüzeyinde olu an ısı artmaktadır. Artan kesme hızı tala ı kolay kaldırmakta, titre imleri azalmakta bunlara ba lı olarak da yüzey pürüzlülü ü de erleri dü ü göstermektedir (Gökkaya, 2006; Altınkaya ve Güllü, 2008; Nalbant vd., 2009). Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde kesme hızlarının yüzey pürüzlülü ü de erlere etkisi açısından bakıldı nda en dü ük yüzey pürüzlülü ü de erleri 300 m/dak kesme hızında elde edilmi tir. 300 m/dak kesme hızında ve yirminci pasoda 0,05 mm/di ilerleme oranı % 200 arttırıldı nda yüzey pürüzlülü ü de erleri % 18,6 artı göstermi ve 0,15 mm/di ilerleme oranı % 67 arttırıldı nda yüzey pürüzlülü ü de erleri % 205,2 artı göstermi tir. İlerleme oranlarının yüzey pürüzlülü ü de erleri etkisi incelendi inde en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir.

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla frezelenmesi sonucu kesici takım türünün yüzey pürüzlülü ü etkisine bakıldı nda ilk pasoda 0,05 mm/di ilerleme oranında tüm takımlar arasında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri (0,732 μm) nl-AlTiN/TiN kesici takımda tespit edilmi ve ilerleme oranına ba lı olarak artı gösterdi i görülmü tür. CFRP kompozit malzeme frezeleme i lemlerinde dü ük ilerleme oranları ve yüksek kesme hızları yüzey kalitesini iyile tirdi i bildirilmektedir (Davim ve Reis, 2005; Khairusshima vd., 2012; Chen vd., 2013; Sorrentino ve Turchetta, 2014; Kiliçkap vd., 2015). Kaplamalı kesici

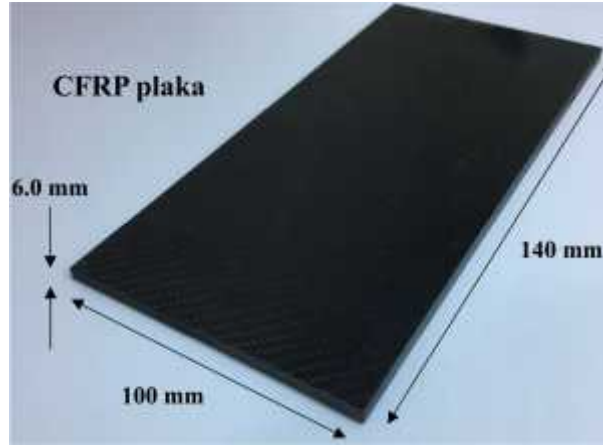
takımlar kaplamasız kesici takıma göre daha yüksek performans göstermiştir. Yirminci pasoda sonucunda 0,05 ve 0,15 mm/dk ilerleme oranlarında kaplamasız kesici takım, kaplamalı kesici takımlarla benzer davranışı göstermektedir. Ancak 0,25 mm/dk ilerleme oranında diğer takımlara oranla kaplamasız kesici takım daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerine (5,003 μm) ulaşmıştır. Bu durum yüksek kesme hızlarında artan ilerlemeye bağlı olarak kesici takım tala yüzeyinde yapı an tala tan ve kesici takım kenarının aşınmaya bağlı olarak kalınlığından artmıştır. Böylece CFRP kompozit malzemenin kesme genişliği sabit tutulduğunda, yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine en etkili ilerleme parametresi ilerleme oranı (f_z) olmaktadır (Kim vd., 1992; Isbilir ve Ghassemieh, 2012; Ahmed vd., 2015; Wang vd., 2015; Zenia vd., 2015; Ghafarizadeh vd., 2016; Nurhaniza vd., 2016; Wang vd., 2016; Khairusshima vd., 2017; Liu vd., 2017).



ekil 40: $V_c = 300$ m/dak ve farklı ilerleme oranlarındaki R_a 'nın gösterimi: a) İlk paso, b) Onuncu paso ve c) Yirminci paso.

5.2 Farklı Kesme Hızlarında Elde Edilen Tala Hacmi - Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, farklı kesme hızlarında çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinde i parçası 140 mm genişliğinde, 6 mm yüksekliğinde ve 1 mm kesme genişliğinde i lenmi tir (ekil 41).



ekil 41: Deneylerde i lenen CFRP plaka gösterimi.

Kaldırılan tala kalınlığının maksimum derinleştirme oranına ve kesme genişliğine bağlı olarak dolayısıyla kesici takımlarla kaldırılan tala hacmi 1 paso için 840 mm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle paso sayısına bağlı olarak kaldırılan tala hacmi değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Paso sayısına bağlı olarak kaldırılan tala hacmi değerleri.

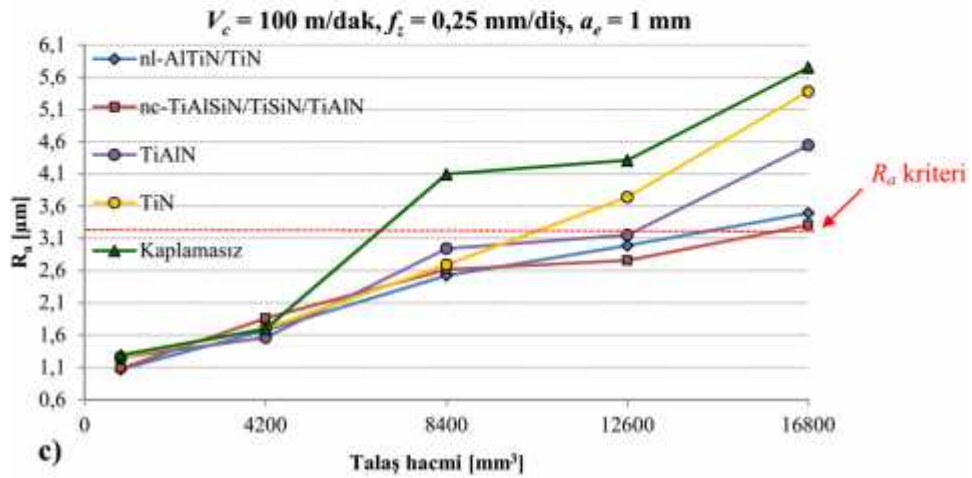
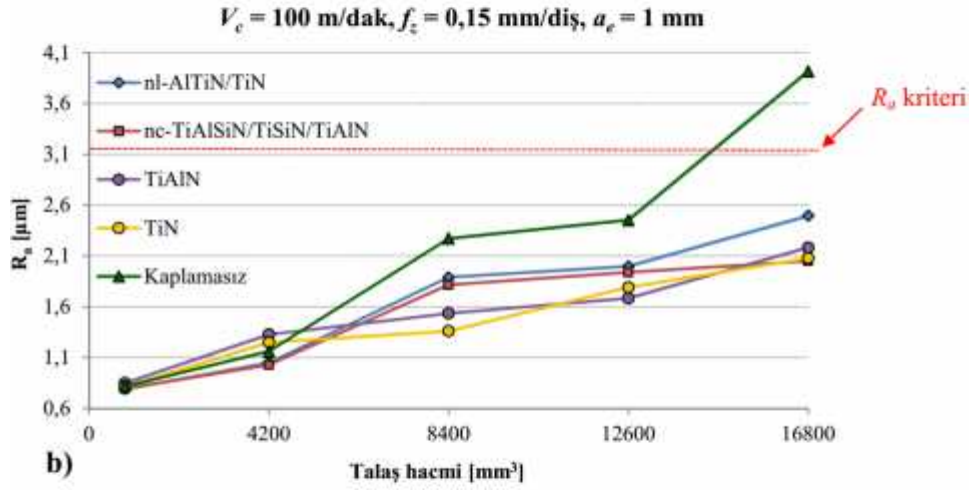
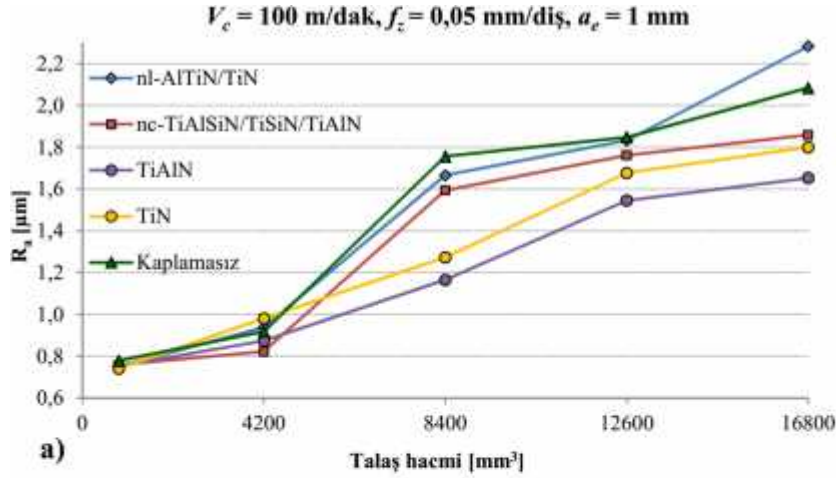
Kaldırılan paso sayısı	Tala hacmi [mm^3]
1	840
5	4200
10	8400
15	12600
20	16800

ekil 42, ekil 43 ve ekil 44'de farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında kaldırılan tala hacmi miktarına ba lı olarak i lenen CFRP kompozit malzemenin yüzey pürüzlülü üdeki de i imi verilmi tir. Her üç grafikte de en dü ük yüzey pürüzlülü ü de erlerinin en dü ük ilerleme oranlarında elde edildi i görölmektedir. Artan paso sayısına ba lı olarak ise yüzey pürüzlülü ü de erleri artı göstermektedir.

5.2.1 $V_c = 100$ m/dak Kesme Hızında, Farklı ilerleme Oranlarında ve Kaldırılan Tala Hacmi Miktarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü üdeki De i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, 100 m/dak kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme geni li inde frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ekil 42'de verilmi tir. 100 m/dak kesme hızı ve üç farklı ilerleme oranında elde edilen yüzey pürüzlülü ü de eri grafikleri CFRP kompozit malzeme frezelenmesinden sonra i lenen yüzeyde kesme uzunlu u boyunca birinci, be inci, onuncu, onbe inci ve yirminci pasolardan alınan verileridir. Kaplamalı ve kaplamsız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi sonucu paso sayısının artı na ba lı olarak elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erlerindeki de i im incelendi inde; paso sayısının artı ıyla yüzey pürüzlülü ü de erlerinin artı gösterdi i belirlenmi tir. CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi esnasında artan kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülü ü de erlerini etkilemektedir (Hocheng vd., 1993; Wang ve Zhang, 2003; Ucar ve Wang, 2005; Han vd., 2014; Sorrentino ve Turchetta, 2014). CFRP kompozit malzeme frezelenmesi esnasında ilerleme oranına ba lı olarak kesme kuvveti de erleri artı göstermi tir. Artan kesme kuvvetleri ilerleme oranına ba lı olarak kesme i lemi esnasında i parçasından kaldırılan tala miktarını ve titre imi artırmı tir. Bu nedenle yüzey pürüzlülü ü de erlerinin ilerleme oranına ba lı olarak artı gösterdi i belirlenmi tir. Bu durum, kesici takımlarla i leme esnasında numuneyi tam kesmedi i ancak kesici takımın i parçasına basınç uygulayarak i lemesiyle açıklanabilir (Kople vd., 1983; Bhatnagar vd., 1995). ilerleme oranlarının yüzey pürüzlülü ü de erlerine etkisi incelendi inde; 100 m/dak kesme hızında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir.

Takım türünün yüzey pürüzlülü ü etkisine bakıldı ında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri (0,740 μm) TiN kaplamalı kesici takımla elde edilmi tir. Kesici takım üzerine uygulanan kaplamaların kesici kenar radyüslerinin iyile tirdi i bilinmektedir (Çakır, 2006; Gökaya ve Nalbant, 2007). Tek kaplamalı kesici takımlar nano yapıllı takımlardan daha iyi performans göstermi tir. Ancak artan ilerleme oranına ba lı olarak nano yapıllı kesici takımlarla daha dü ük yüzey pürüzlülü ü de erlerine ula ılmı tır. Böylece kesici takımlardaki kaplamaların etkisi kaplamasız kesici takımlara göre daha belirgin bir ekilde izlenmektedir. Kaplamasız kesici takımlar ba langıçta dü ük yüzey pürüzlülü ü de erlerine sahipken ilerleme oranına ba lı olarak en yüksek yüzey pürüzlülü ü de erleri elde edilmi tir. Kaplamasız kesici takımların ba langıçta daha dü ük olmasının nedeni, kaplamalı kesici takımların kesici kenar radyüsü kaplamasız kesici takımlara göre kaplama tabakasından dolayı daha büyük olmasıyla açıklanabilir (Haddad vd., 2014). Kesici takımlar arasında artan ilerleme oranına ba lı olarak en iyi performans 0,25 mm/di ilerleme oranında nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN takımla elde edilmi tir.



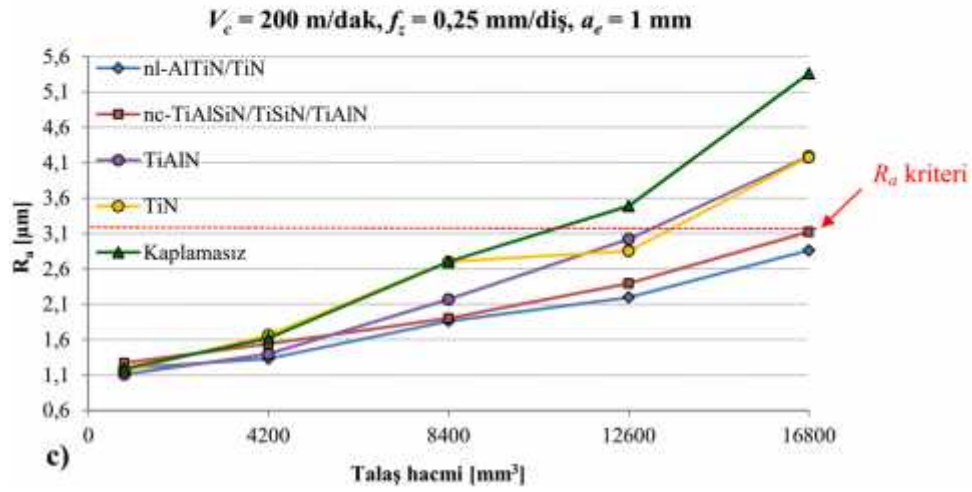
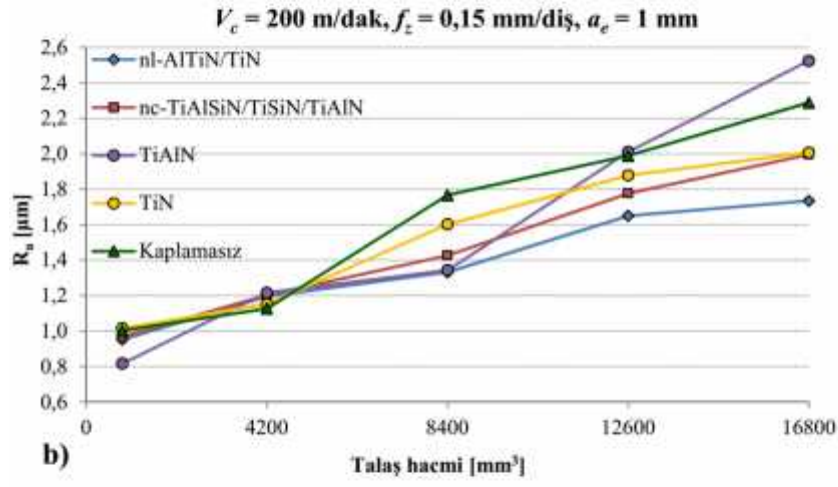
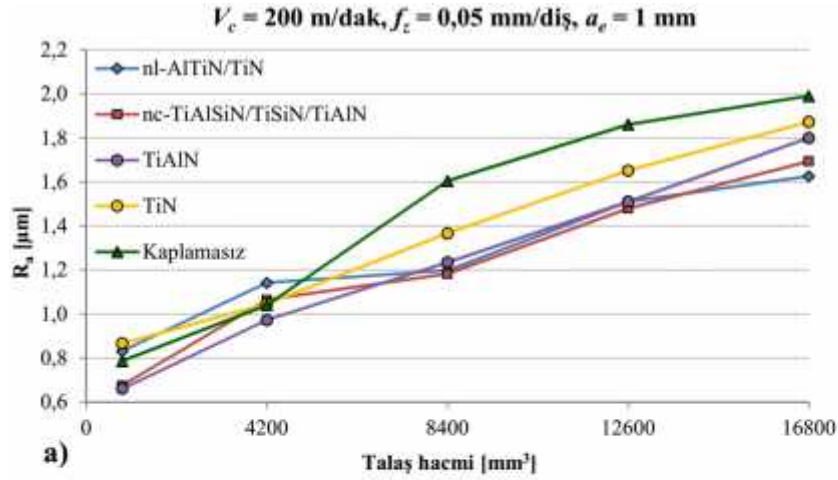
ekil 42: $V_c = 100 \text{ m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında ve kaldırılan talaş hacmi miktarına bağlı olarak elde edilen R_a değerlerinin değişim grafikleri.

5.2.2 $V_c = 200$ m/dak Kesme Hızında, Farklı İlerleme Oranlarında ve Kaldırılan Tala Hacmi Miktarına Bağılı Olarak Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, 200 m/dak kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme genişliğinde çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ekil 43'de verilmiştir. 200 m/dak kesme hızı ve üç farklı ilerleme oranında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri grafikleri CFRP kompozit malzeme frezelenmesinden sonra alınan yüzeyde kesme uzunluğu boyunca birinci, beşinci, onuncu, onbeşinci ve yirminci pasolardan alınan verileridir. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi sonucu tala hacminin artmasına bağılı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişim değerlendirildiğinde; paso sayısının artışıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri artışı göstermiştir (Pramanik vd., 2003). Artan paso sayısına bağılı olarak kesme kuvvetleri ve takım aşınması artışı göstermiştir (ekil 46 ve ekil 62). Bu durum, kesici takımın aşınması durumunda, malzemeyi çıkarmak için daha büyük bir kuvvet gerekmesi ile açıklanabilir (Slamani vd., 2015). CFRP kompozit malzemenin aşındırıcı yapısı ve tala hacmi artışı kesici takımda ısıyı ve takım/parçası arasındaki temastan dolayı sürtünmeyi artırmıştır. Böylece paso sayısının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artışı göstermesinin nedeni; artan kesme uzunluğu kesici takımların kenar yarıçapı radyusunun artırması sonucu meydana gelen yanak aşınmasından kaynaklanmaktadır (Ferreira vd., 1999, Sheikh-Ahmad ve Sridhar, 2002, Pramanik vd., 2003, Janardhan vd., 2006, Haddad vd., 2013, Madhavan vd., 2015, Anan vd., 2017). Elde edilen bu sonuç literatürle örtüşmektedir. Maegawa vd. üç farklı kesici takımlarla (WC-Co, PCD ve PCD/WC-Co takımlar) yapmış oldukları çalışmada sonucunda CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde kesme uzunluğuna bağılı olarak kesici takımların yanak yüzeylerinde abrasiv aşınma tespit etmişlerdir (Maegawa vd., 2015). CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında ilerleme oranlarına bağılı olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri artışı göstermiştir. İlerleme oranının artmasına ve paso sayısına bağılı olarak artan yüzey pürüzlülüğü sonucu literatürle aynı doğrultuda benzerlik göstermektedir. Sheikh-Ahmad vd. yapmış oldukları çalışmada 6,3 mm çapındaki karbür freze (solid carbide router burr tool) takımla CFRP kompozit malzemenin kenar frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün kesme uzunluğuna ve ilerleme oranına bağılı olarak artışı gösterdiğini

açıklamı ladır (Sheikh-Ahmad vd., 2012). İlerleme oranlarının yüzey pürüzlülü ü de erlerine etkisi incelendi inde; 200 m/dak kesme hızında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir.

Takım türünün yüzey pürüzlülü ü etkisine bakıldı nda en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri (0,661 μm) TiAlN kaplamalı kesici takımla elde edilmi tir. 0,15 mm/di ilerleme oranında paso sayısına ba lı olarak en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri TiAlN kaplamalı kesici takımda olmasına ra men a nımadan dolayı artan paso miktarı sonunda en yüksek yüzey pürüzlülü ü de erini elde etmi tir. 0,25 mm/di ilerleme oranında yüzey pürüzlülü ü de erleri artı e ilimleri benzerlik göstermi lerdir. Paso sayısı ba langıcında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri TiAlN kaplamalı kesici takımda ölçülmü tür. Yirminci paso sonunda en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımla elde edilmi tir. 0,25 mm/di ilerleme oranında nano yapılı kesici takımlar hariç di er takımlarla ölçülen yüzey pürüzlülü ü de erleri havacılık sanayii limitinin üstünde elde edilmi tir. Yirminci paso sonucunda nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımla en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri elde edilmesinin nedeni kaplamaya ba lı olarak kesici kenardaki iyile meye ba lanabilir.

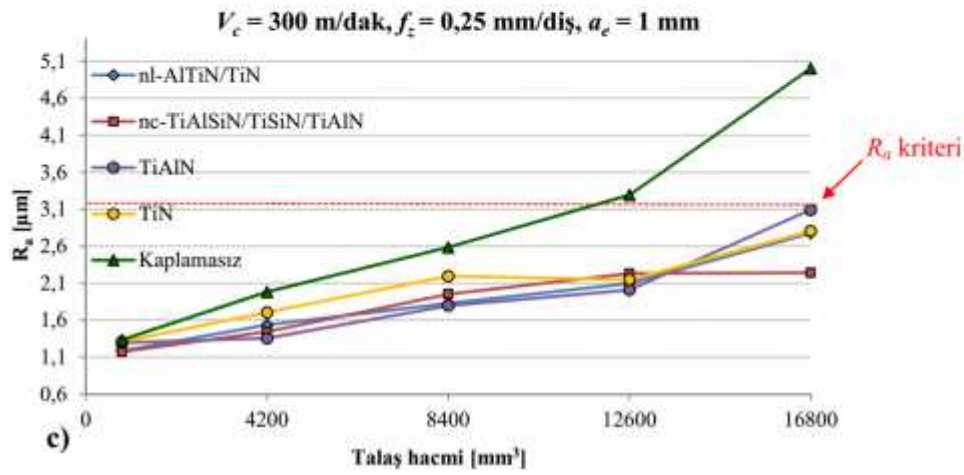
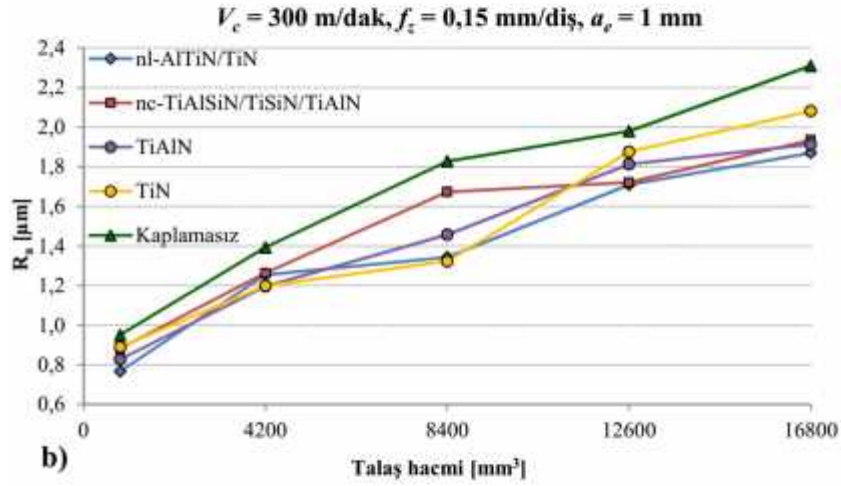
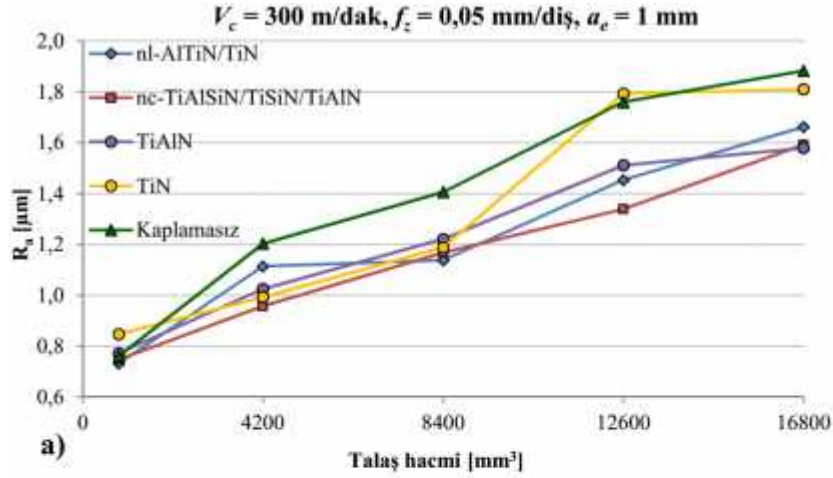


ekil 43: $V_c = 200 \text{ m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında ve kaldırılan tala hacmi miktarına ba lı olarak elde edilen R_a de erlerinin de i im grafikleri.

5.2.3 $V_c = 300$ m/dak Kesme Hızında, Farklı İlerleme Oranlarında ve Kaldırılan Tala Hacmi Miktarına Ba lı Olarak Yüzey Pürüzlülü ündeki De i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN) ve kaplamasız kesici takımlarla, 300 m/dak kesme hızı, üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme geni li inde çevresel frezelenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ekil 44'de verilmi tir. 300 m/dak kesme hızı ve üç farklı ilerleme oranında elde edilen yüzey pürüzlülü ü de eri grafikleri CFRP kompozit malzeme çevresel frezelenmesinden sonra i lenen yüzeyde kesme uzunlu u boyunca birinci, be inci, onuncu, onbe inci ve yirminci pasolardan alınan verileridir. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi sonucu tala hacmi artı na ba lı olarak elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erlerindeki de i im incelendi inde; kesme hızının artı na ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü de erlerinde iyile meler tespit edilmi tir. Bu durum, yüksek kesme hızlarından dolayı fiberlerin daha kolay bir ekilde kesilmesiyle açıklanabilir (Qin vd., 2014). Kesme hızının artmasıyla azalan kesme kuvvetleri sayesinde yüzey pürüzlülü ü de erleri de azalmı tir (ekil 47). Kesme kuvveti de erlerinin azalmasıyla kesici takımlarda olu an titre imlerin azalması yüzey pürüzlülü ü de erlerini olumlu yönde etkilemektedir (Nalbant vd., 2007; Dilipak ve Yılmaz, 2012; Bhogal vd., 2015). Genel itibariyle tüm kesici takımların yüzey pürüzlülü ü de erleri artı göstermi tir. Bu durum, yüksek kesme hızından kaynaklanmaktadır ve kesme hızının takım-tala ara yüzeyinde etkili bir parametre oldu u bildirilmektedir (Gökkaya vd., 2004). Tala hacmine ba lı olarak en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,05 mm/di ilerleme oranında tespit edilmi tir.

Takım türünün yüzey pürüzlülü ü etkisine bakıldı nda en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri (0,732 μ m) nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla elde edilmi tir. Yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme oranlarından dolayı kaplamasız kesici takımlarda yüzey pürüzlülü ü de erleri havacılık uygulamaları için tavsiye edilen de erin üstünde elde edilmi tir. 0,25 mm/di ilerleme oranında en yüksek sertlik de erine sahip olmasından dolayı paso sayısına ba lı olarak en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla tespit edilmi tir.



ekil 44: $V_c = 300 \text{ m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında ve kaldırılan talaş hacmi miktarına bağlı olarak elde edilen R_a değerlerinin değişim grafikleri.

5.2.4 CFRP Kompozit Malzemede Yüzey Pürüzlülü ü De erlerinin Genel De erlendirilmesi

CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde farklı kesme hızları (100, 200 ve 300 m/dak), farklı ilerleme oranları (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm sabit kesme geni li inde elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri de erlendirildi inde; ilerleme oranının ve paso sayısının artı na ba lı olarak artı gösterdi i belirlenmi tir. Kesme hızlarına göre de erlendirildi inde ise kesme hızının artı na ba lı olarak yüzey pürüzlülü ü de erlerinde azalma tespit edilmi tir.

Kesici takımların ilk temaslarından dolayı en dü ük yüzey pürüzlülü ü de erleri 0,05 mm/di ilerleme oranlarında tespit edilmi tir. Artan ilerleme oranına ba lı olarak da yüzey pürüzlülü ü de erleri artı göstermi lerdir. En dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,661 µm ile TiAlN kaplamalı kesici takımın 200 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir. En yüksek yüzey pürüzlülü ü de eri 5,746 µm ile kaplamasız kesici takımın 100 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranında ölçülmü tür. TiAlN kaplamalı kesici takımda ölçülen yüzey pürüzlülü ü de erinin ilerleme oranı % 400 artırıldı nda yüzey pürüzlülü ü de eri kaplamasız kesici takımla % 770 oranında arttı oldu u tespit edilmi tir.

Kesme hızlarının artı na ba lı olarak, en yüksek kesme hızında en dü ük yüzey pürüzlülü ü de eri 0,732 µm ile nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın 0,05 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir. En yüksek yüzey pürüzlülü ü de eri 5,003 µm ile kaplamasız kesici takımın 0,25 mm/di ilerleme oranında ölçülmü tür. nl-AlTiN/TiN kesici takımla elde edilen yüzey pürüzlülü ü de erleri ile kaplamasız kesici takıma göre % 583,5'lik iyile me sa lanmı tir.

5.3 Farklı Kesme Hızlarında Elde Edilen Kesme Kuvveti De erlerindeki De i im

parçasının tala lı imalat yöntemleri ile do ru bir ekilde biçimlendirilmesi, i parçası malzemesinin, i leme yöntemlerinin ve kesici takımların do ru belirlenmesine ba lı olmaktadır. Bu nedenle, imal edilen i parçası kalitesinin artırılması ve maliyetlerin minimum seviyeye indirilmesinde kesme kuvvetleri son derece önem arz etmektedir (Günay, 2003; Ekici

, 2012). Tala kaldırma i lemi yapılırken meydana gelen kesme kuvvetleri; i parçasına, ilerleme oranına, kesme hızına, kesme geni li ine bunlara ba lı olarak kesme uzunlu undan etkilenmektedir. Kesme kuvvetleri, i parçasının i lenmesi sürecinde kesici takımı iten kuvvet olmasının yanında, harcanan gücü belirleyerek i lenebilirlik açısından da önem arz etmektedir (Schneider, 2001). CFRP kompozit malzemelerde kesme kuvveti i leme ko ullarının ve kalitesinin en önemli göstergesidir (Slamani vd., 2015). CFRP kompozit malzemelerde önemli hasar mekanizmalarından bir olan delaminasyon; tek yönlü ve çok yönlü tabakalı kompozitlerin istiflenme düzlemine normal olan kesme kuvveti bile enine ba lı olmaktadır. Delme i leminde, do rudan itme kuvveti bile eniyle alakalı olmasına ra men kenar frezeleme ve helisel takımla frezelemedeki delaminasyon ise, kesme kuvveti bile enlerinin aksenel gerilmesinden kaynaklanmaktadır (Kalla vd., 2010). Bu çalı mada, CFRP kompozit malzemenin çevresel frezeleme i lemi esnasında dinamometre yardımı ile elde edilen kesme kuvveti verileri amplifikatör ve di er veri aktarma elemanları ile bilgisayara kaydedilmi tir. Elde edilen bile ke kesme kuvveti (F_R) de erlerinin ortalaması alınarak yorumlanmı tir.

5.3.1 $V_c = 100$ m/dak Kesme Hızında Farklı ilerleme Oranlarına Ba lı Olarak Kesme Kuvvetlerindeki De i im

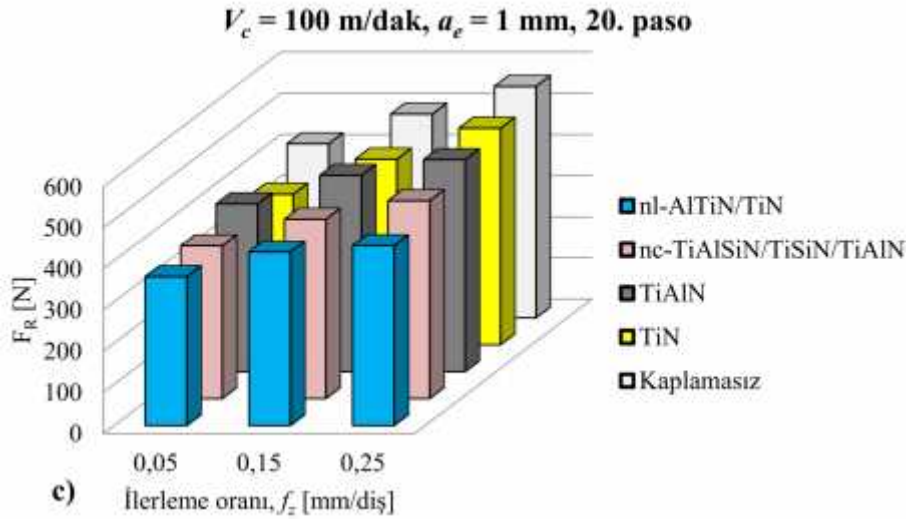
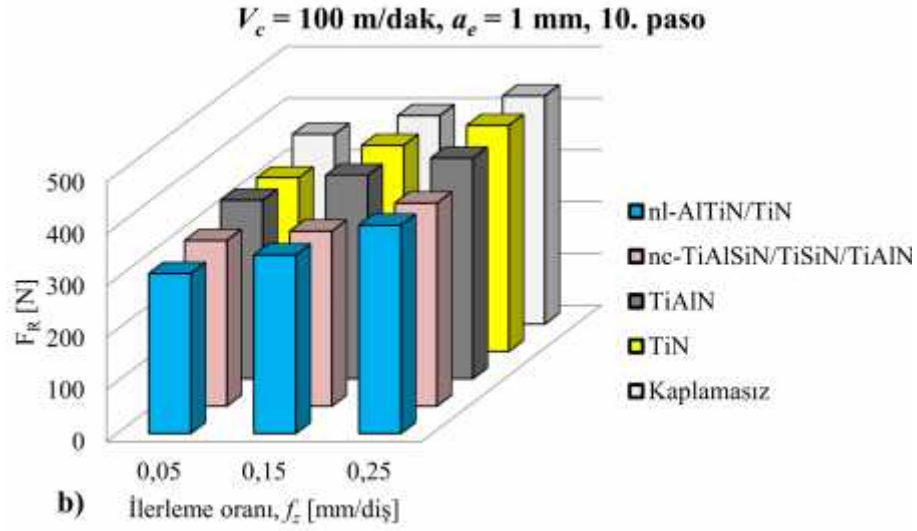
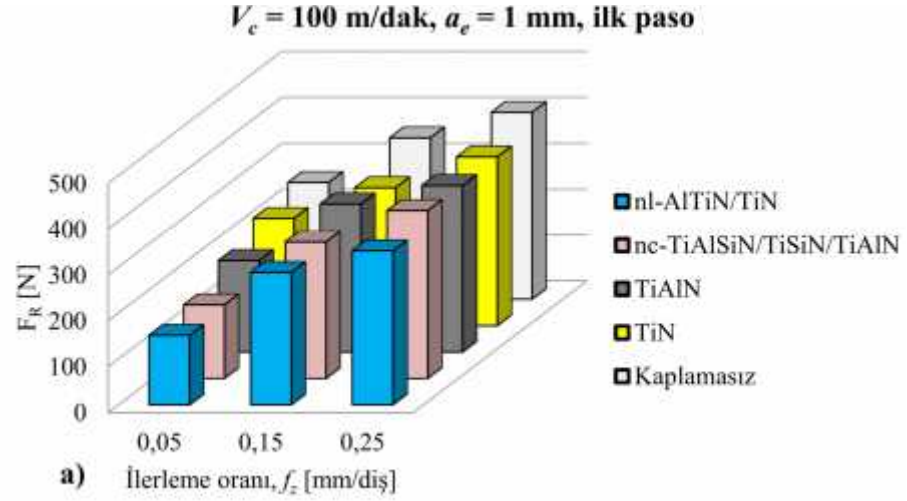
CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla, 100 m/dak kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme geni li inde çevresel frezelenmesi esnasında elde edilen kesme kuvveti de erleri ekil 45'de verilmi tir. Elde edilen kesme kuvvetleri de i im grafikleri birinci, onuncu ve yirminci pasolar verileridir. CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde ölçülen kesme kuvveti de i im grafikleri incelendi inde kesme hızının artı na ba lı olarak kesme kuvveti de erlerinde dü ü görülmektedir (Ucar ve Wang, 2005; Altın, Gökkaya et al. 2006; Rusinek, 2010; Haiyan 2012; Haddad vd., 2013; Kusuyama vd., 2014). İlk pasolar kesici takımların i parçasına ilk temaslarında ilerleme oranlarına ba lı olarak elde edilmi tir (ekil 45a). nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla 100 m/dak kesme hızı 0,05 mm/di ilerleme oranında ölçülen kesme kuvveti de eri 151,240 N iken, aynı ilerleme oranı 300 m/dak kesme hızında 108,434 N olarak ölçülmü tür. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetlerindeki dü ü kesici takım tala yüzeyindeki temas alanının ve akı bölgesindeki sıcaklıkların azalması ile açıklanabilir (Çakır, 2006, Gürbüz

vd., 2011). TiAlN ve TiN kaplamalı kesici takımla 100 m/dak kesme hızı 0,15 mm/di ilerleme oranında ilk pasolarda ölçülen kesme kuvveti de erlerinde TiAlN kaplamalı kesici takımla 323,351 N, TiN kaplamalı kesici takımla 301,143 N olarak ölçülmü tür. 100 m/dak kesme hızı ve aynı ilerleme oranında son paso sonucunda TiN kaplamalı kesici takım TiAlN kaplamalı kesici takıma göre daha dü ük kesme kuvveti de eri (TiAlN = 477,148 N, TiN = 450,922 N) elde edilmi tir. Benzer durum farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında da görülmü tür. PVD kaplamalı TiN ile kaplanmı kesici takımlarda kesici takım tala yüzeyinde i parçası malzemesi daha az yapı ma özelli i göstermektedir. Bu daha az yapı ma özelli i nedeniyle de, kesici takım tala yüzeyinde takım-tala temas uzunlu u kısalmaktadır. Böylece kesme kuvvetlerinde dü ü ler sa lanabilmektedir (Çiftçi, 2005, Chen vd., 2013). Kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde kesme kuvvetlerine etkisi de erlendirildi inde 100 m/dak kesme hızı 0,05 mm/di ilerleme oranında ölçülen kesme kuvveti de eri 255,381 N iken, aynı ilerleme oranı 300 m/dak kesme hızında 163,427 N olarak ölçülmü tür. 300 m/dak kesme hızında bulunan kesme kuvveti de erleri %56,2 daha dü ük elde edilmi tir. A ındırıcı özelli i ile bilinen CFRP kompozit malzemelerin anizotropik ve homojen olmayan yapıları i leme esnasında titre imi artırarak kesme kuvvetlerini yükseltmektedir (Karpat vd., 2012, Kusuyama vd., 2014). Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla elde dilen kesme kuvveti açısından en uygun kesme hızı parametresinin 300 m/dak oldu u tespit edilmi tir.

100 m/dak kesme hızı ve farklı ilerleme oranlarında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla ölçülen kesme kuvveti de erleri ilerleme oranına ba lı olarak artı gösterdi i belirlenmi tir. Kesme kuvveti de erlerinin CFRP kompozit malzemedeki frezelenmesi esnasında kesici takımlara gelen basınçlardan ve sürtünmeden dolayı olu maktadır. ilerleme oranının artmasıyla kesici takımlarla kaldırılan tala miktarı artmaktadır. Artan tala miktarı ile kesici takımlarda olu an basınç, a ınma ve titre im artmaktadır. Bu nedenle, ilerleme oranının artmasıyla CFRP kompozit malzemenin kesme kuvveti de erleri artı göstermektedir (Rusinek 2010, Haiyan, Xuda et al. 2012, Chen, Fu et al. 2013, Ghafarizadeh, Chatelain et al. 2013). nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla 100 m/dak kesme hızı ve 0,05-0,15 ve 0,25 mm/di ilerleme oranlarında bulunan kesme kuvveti de erleri sırasıyla 159,987 N, 297,112 N ve 366, 272 N olarak bulunmu tur. 0,05 mm/di ilerleme oranında bulunan kesme kuvveti

de erleri 0,15 ve 0,25 mm/di ilerleme oranlarında sırasıyla % 14,28 ve % 28,94 daha dü ük elde edilmi tir. CFRP kompozit malzemenin nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımlarla frezelenmesinde, tüm ilerleme parametrelerinde elde edilen kesme kuvveti de erlendirildi inde en dü ük kesme kuvvetlerine 0,05 mm/di ilerleme oranında ula ılmı tir.

100 m/dak kesme hızı ve farklı ilerleme oranlarında kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla ilerleme oranına ba lı olarak artan kesme kuvveti de erleri incelenmesinde i parçası foa'larının etkili oldu u tespit edilmi tir. Kesme kuvveti de erlerinde en çok 0° foa'ının etkili oldu u görülmü tür. 0° foa'ı çevresel frezeleme esnasında kesici takımlara dik do rultuda olması kesici takımdaki titre imi ve a ınmayı artırmı tir. Ayrıca i parçası hasar mekanizmalarına neden olmu tur. 90° foa'sı paralel yönde oldu u için en az kuvvet harcanmı tir. Yekpare karbür takımlarla ilenen CFRP kompozit malzemede elde edilen kesme kuvveti sonuçları literatürdeki çalı malarla da örtü mektedir. Hocheng vd. CFRP kompozit malzeme i parçasını tek kare karbür kesici takım ile ilerleme oranlarına ba lı olarak kesme kuvvetlerinde artı oldu u tespit etmi lerdir. 188,4 m/dak kesme hızı, 0,017 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde 0° foa'ında kesici takım ömrü 16 dakika iken 90° foa'ında kesici takım ömrünü 19 dakika oldu unu belirtmi lerdir. Yapmı oldukları çalı ma sonucunda, fiber eksenine paralel 90° foa'ında frezelemesini 0° foa'ında kesme kuvvetlerinin artı mını açıklamı lardır (Hocheng vd., 1993). 45° foa'ları çapraz yönde istiflendikleri için kesici takımlara ve kesme kuvveti de erlerine 0° foa'dan daha az kuvvet harcanmasına neden oldu u çevresel frezeleme esnasında tespit edilmi tir. Foa'larının farklı yönlerde dizilimi i parçasına mukavemet ve sertlik sa lamı tir. Bu nedenle, CFRP kompozit malzemede foa'ları kesme kuvvetlerinden olumsuz etkilemektedir (Kalla vd., 2010; Pecat vd., 2012; Zenia vd., 2015; Ghafarizadeh vd., 2016a; Ghafarizadeh vd., 2016b). 100 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranında CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde elde edilen sonuçlar kesme kuvvetleri açısından de erlendirildi inde; bu parametrelerde en iyi kesme kuvveti nl-ALTiN/TiN kaplamalı kesici takım ile ula ılmı tir.



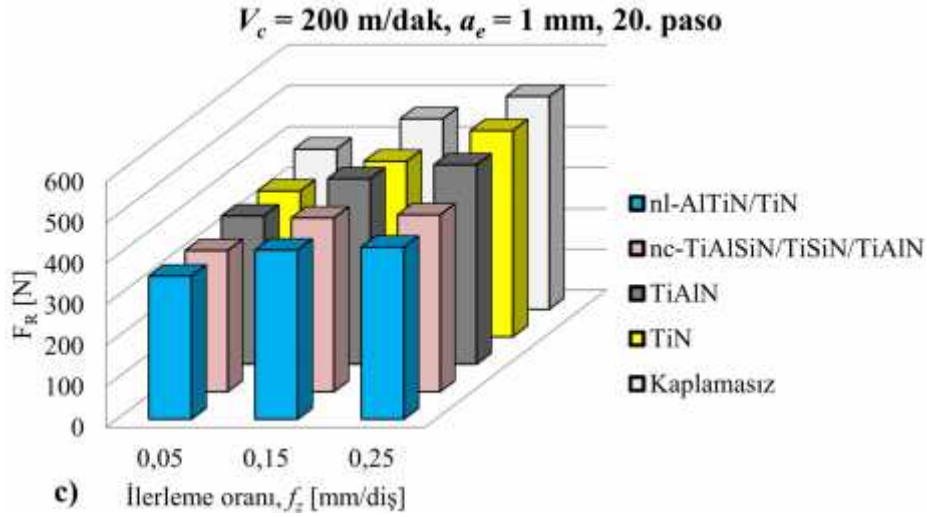
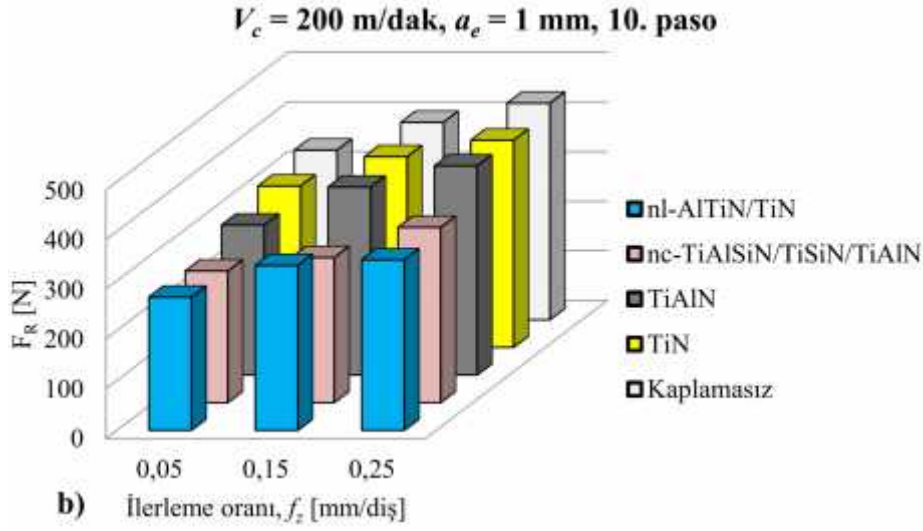
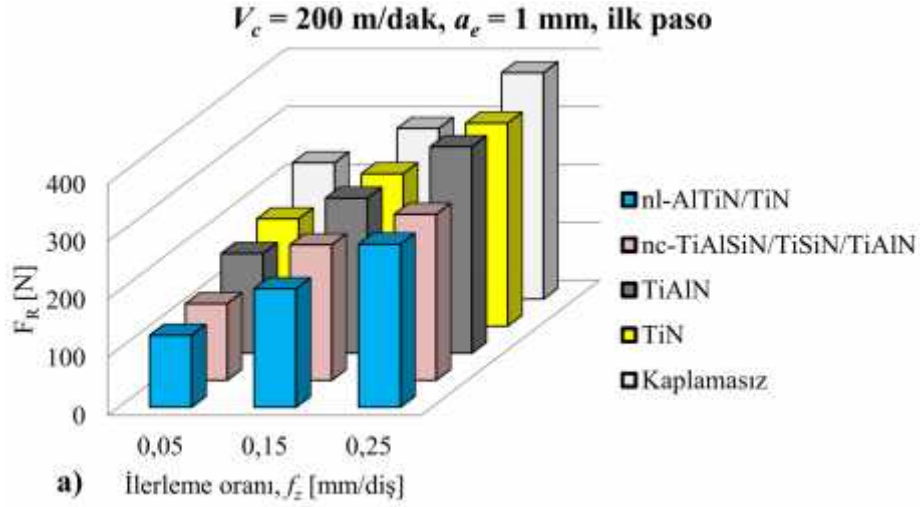
ekil 45: $V_c = 100$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarına ba lı olarak F_R 'lerin de i im grafikleri, a) İlk paso, b) Onuncu paso, c) Yirminci paso.

5.3.2 $V_c = 200$ m/dak Kesme Hızında Farklı İlerleme Oranlarına Bağlı Olarak Kesme Kuvvetlerindeki Değişim

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla, 200 m/dak kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme genişliğinde çevresel frezelenmesi esnasında elde edilen kesme kuvvetleri değerleri Ekil 46'da verilmiştir. Elde edilen kesme kuvvetleri değişim grafikleri birinci, onuncu ve yirminci pasolar verileridir. İlk pasolar kesici takımların i parçasına ilk temaslarında ilerleme oranlarına bağlı olarak elde edilmiştir (Ekil 46a). CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde ölçülen kesme kuvveti değişim grafikleri incelendiğinde; ilerleme oranının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı belirlenmiştir. CFRP kompozit malzeme frezelenmesi esnasında artan ilerleme oranına bağlı olarak kesici takım ve i parçası arasındaki temas alanı artı göstermektedir. Bu nedenle malzeme kaldırma miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin artmaktadır (Chen vd., 2013). CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında meydana gelen tala miktarı ve foya'ları kesme kuvveti değerlerini artırmaktadır (Kalla vd., 2010). İlerleme oranının kesme kuvveti değerlerine etkisi incelendiğinde en düşük kesme kuvveti değeri 0,05 mm/di ilerleme oranında tespit edilmiştir.

Tüm kesici takımlarla çevresel frezelemesi esnasında elde edilen kesme kuvveti değerleri değerlendirildiğinde; onuncu paso sonucunda en düşük kesme kuvveti değeri (263,919 N) nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla, 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranında ulaşılmıştır. Yirminci paso sonucunda en düşük kesme kuvveti değeri (344,281 N) nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla, 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranında ulaşılmıştır. Sert malzemelerin i lenebilirliğinin artırılması, kuru i leme koşulları altında i lenen kesici takımların oda sıcaklığında düşük bir sürtünme katsayısı ve yüksek sertlik sağlaması için nano yapıları kaplamalar iyi performans sergilemektedir (Chen vd., 2002). Nanokompozit kaplamalı karbür takımlarla i lenen CFRP kompozit malzemede elde edilen kesme kuvveti sonuçları literatürdeki çalışmalarla da örtülmektedir. CFRP/Al malzemenin i leminde kaplamasız takımlar ile nanokompozit (yüksek sertlik derecesi gösteren nanometre boyutunda (10 nm) kaplamalı takımlar karşılaştırıldığında, nanotabakalı kaplamaya

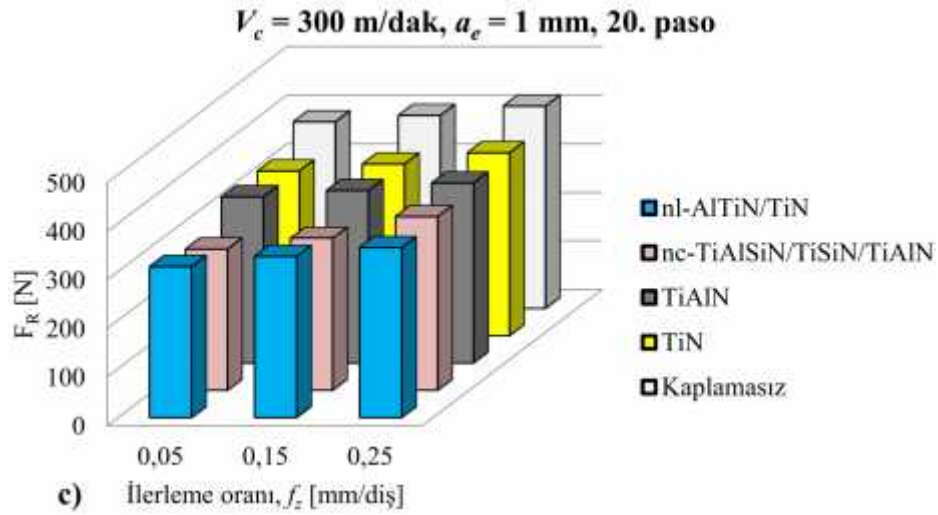
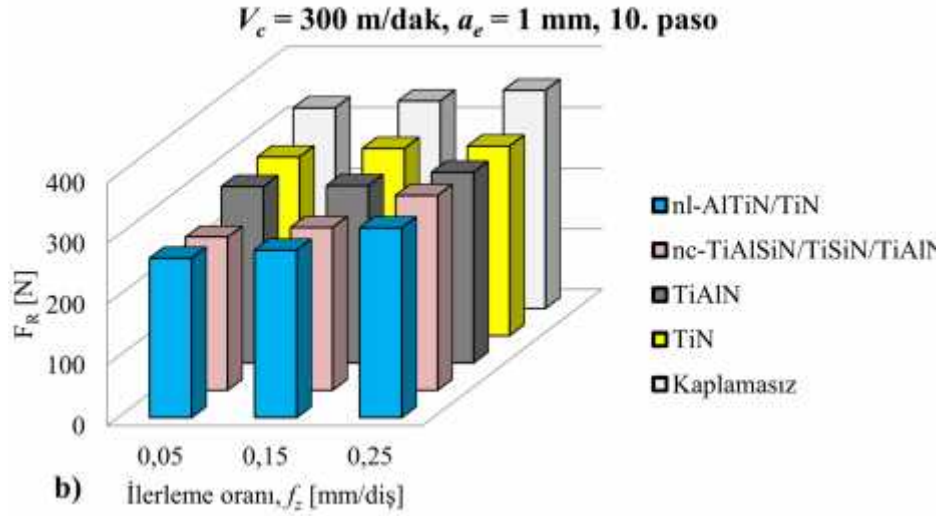
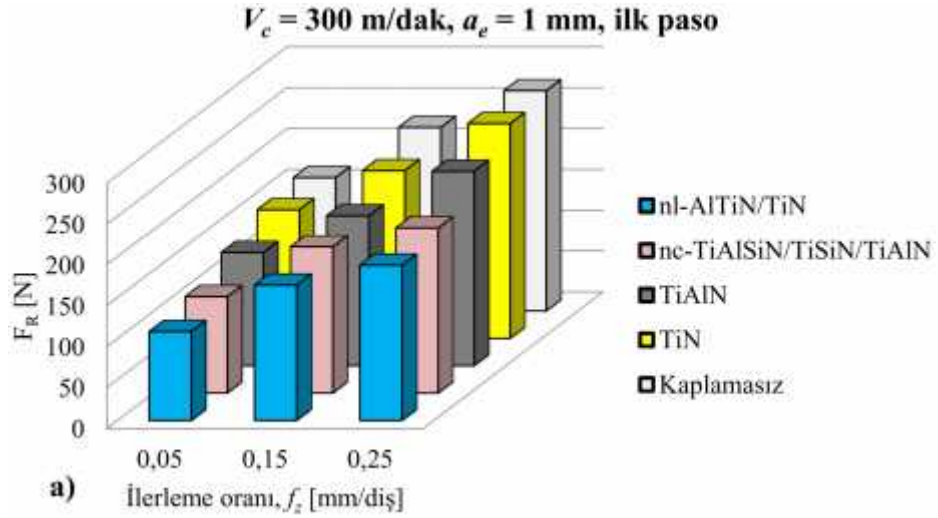
sahip takımların kullanılmalarıyla yüzey pürüzlülü ü de erlerinde ve itme kuvvetlerinde önemli derecede azalma oldu u tespit edilmektedir (Zitoune vd., 2012).



ekil 46: $V_c = 200$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarına ba lı olarak F_R 'lerin de i im grafikleri, a) İlk paso, b) Onuncu paso, c) Yirminci paso.

5.3.3 $V_c = 300$ m/dak Kesme Hızında Farklı İlerleme Oranlarına Ba lı Olarak Kesme Kuvvetlerindeki De i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla, 300 m/dak kesme hızında, farklı ilerleme oranlarında (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme geni li inde çevresel frezelenmesi esnasında elde edilen kesme kuvvetleri de erleri ekil 47’de verilmi tir. Elde edilen kesme kuvvetleri de i im grafikleri birinci, onuncu ve yirminci pasolar verileridir. Tüm kaplamalı kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesine kesme kuvvetlerine etkisi de erlendirildi inde; nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımların olumlu etkisinin oldu u anla ılmaktadır. Kesme kuvvetlerindeki dü ü daha iyi kesme artlarında elde edilmektedir. Özellikle CFRP kompozit malzemelerin a ındırıcı yapısından dolayı, bu malzemelerin i lenmesinde kullanılan kesici takımların ömründe büyük oranda azalma meydana gelmekte ve malzemede hasarlara neden olmaktadır (Teti, 2002). İlk pasoda sonucunda elde edilen veriler de erlendirildi inde en dü ük kesme kuvveti de erini 300 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranında 108,434 N ile nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla elde edilmi tir. Kesem hızının artı na ba lı olarak kesme kuvvetlerinin dü ü göstermesi beklenen bir durumdur (Sornakumar ve Kumar, 2008). Yüksek kesme hızı ve dü ük ilerleme oranlarında i lenen CFRP kompozit malzemede elde edilen kesme kuvveti sonuçları literatürdeki çalı malarla da örtü mektedir. Slamani vd. CFRP kompozit malzeme frezelenmesini üç farklı kesme hızı ve ilerleme oranlarını CVD elmas kaplamalı altı oluklu takımla i lemi lerdir. Yapımı oldukları çalı ma sonucunda kesme kuvvetlerinin kesme uzunlu na ba lı oldu u ve yüksek kesme hızları ile dü ük ilerleme oranlarının optimum kesme parametreleri oldu unu açıklamı lardır (Slamani vd., 2015). En ideal kesme hızı 300 m/dak ve 0,05 mm/di ilerleme oranında nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN kaplamalı kesici takımlarla elde edilen kesme kuvveti de erleri sırasıyla 108,434 N, 117,618 N, 138,139 N ve 157,487 N olarak bulunmu tur. TiN kaplamalı kesici takımla 300 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranı ölçülen kesme kuvveti de erleri nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN ve TiAlN kaplamalı kesici takımlarla elde edilen de erlerden sırasıyla % 45,2, % 33,9 ve % 14 daha dü ük belirlenmi tir. Tüm kesici takımlar içerisinde en dü ük kesme kuvveti de erlerine nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla ula ılmı tır.



ekil 47: $V_c = 300$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarına ba lı olarak F_R 'lerin de i im grafikleri, a) İlk paso, b) Onuncu paso, c) Yirminci paso.

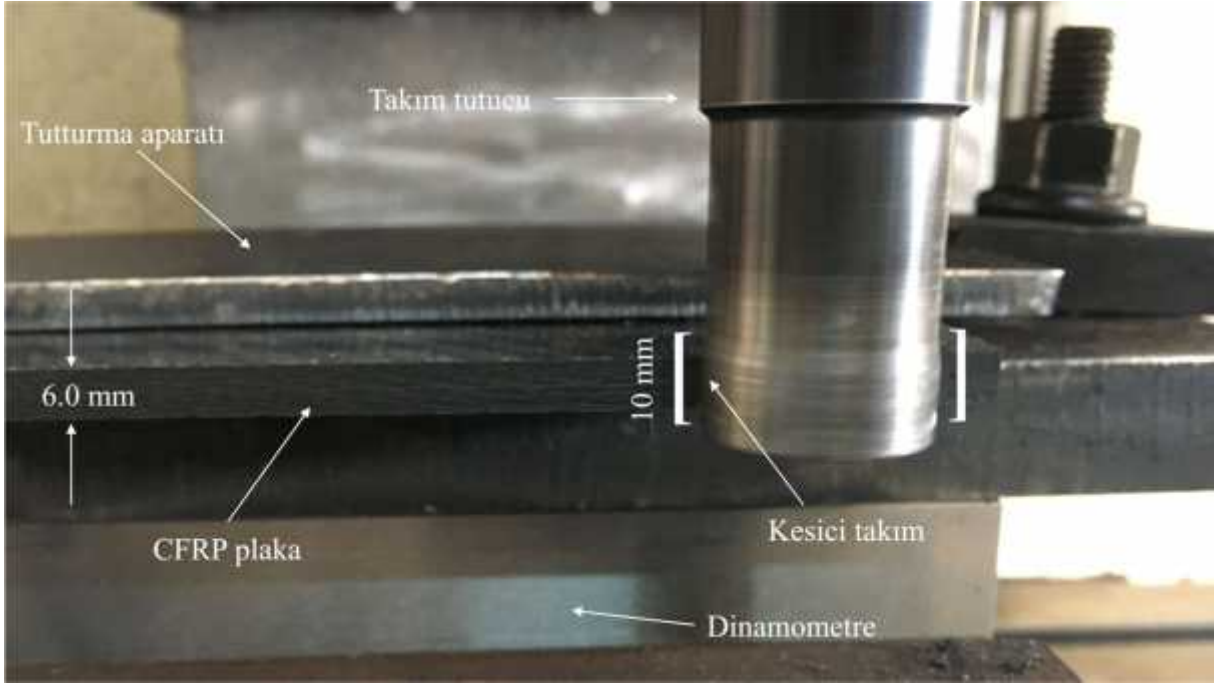
5.3.4 Kesme Kuvvetlerinin Genel De erlendirilmesi

Genel olarak kesme kuvveti de erlendirildi inde kaplamalı kesici takımlarla elde edilen kesme kuvvetlerine PVD kaplamanın olumlu katkı sa ladı ı görülmü tür. En dü ük kesme kuvveti kaplamalı takımlarda nl-AlTiN/TiN kesici takımlarla elde edilmi tir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde dü ü sa lanmı olup, artan ilerleme oranlarıyla kesme kuvvetlerinde artı oldu u tespit edilmi tir. 300 m/dak kesme hızı ve farklı ilerleme oranlarında yapılan çevresel frezeleme i leminde nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN kaplamalı takımlarla elde edilen kesme kuvvetleri farklılık göstermektedir. 100 ve 200 m/dak kesme hızı ve farklı ilerleme oranlarında yapılan çevresel frezeleme i leminde TiAlN ve TiN kaplamalı takımlarla elde edilen kesme kuvvetleri farklılık göstermektedir. 0,05 mm/di ilerleme oranı, 300 m/dak kesme hızı ve ilk paso sonucunda nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN kaplamalı takımlarla elde edilen kesme kuvveti de erleri sırasıyla 108,434 N, 117,618 N, 138,139 N ve 157,487 N olarak bulunmu tur. nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımlarla 300 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranında ölçülen kesme kuvveti de erleri nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN kaplamalı takımlarla elde edilen de erlerden sırasıyla % 8,47, % 27,4 ve % 45,2 daha dü ük belirlenmi tir.

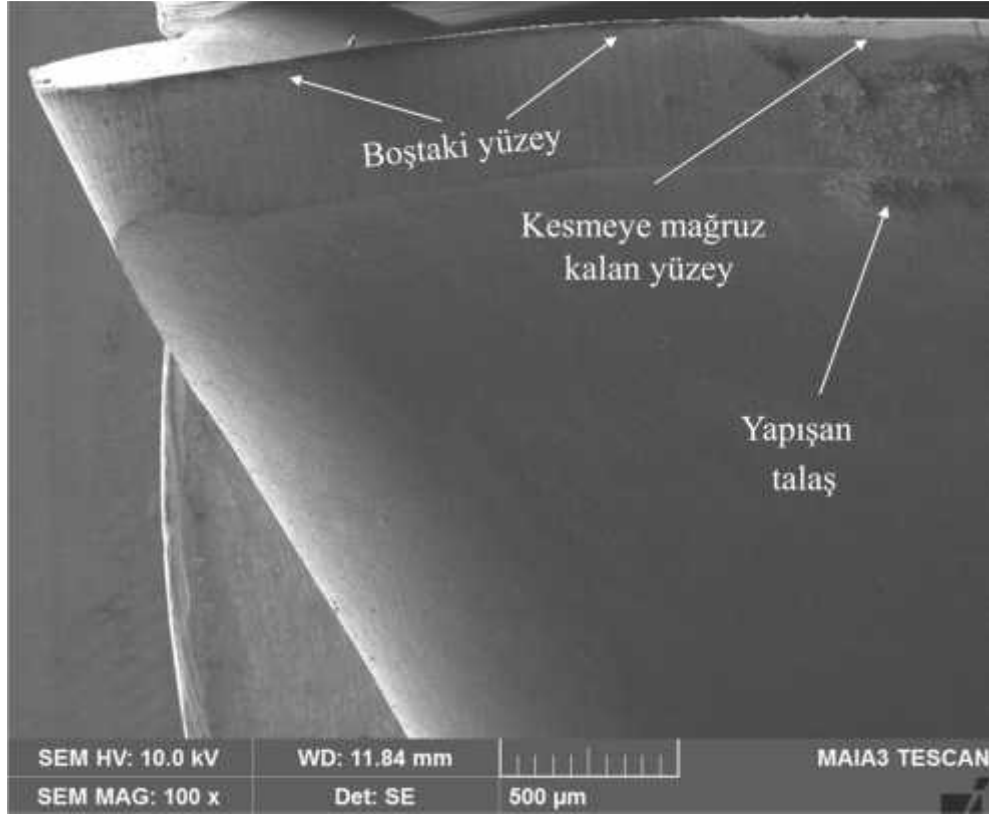
CFRP kompozit malzemenin kaplamasız kesici takımlarla 100, 200 ve 300 m/dak kesme hızları, 0,05-0,15 ve 0,25 mm/di ilerleme oranlarında ve 1 mm kesme geni li inde çevresel frezelenmesi esnasında elde edilen kesme kuvveti de erleri de erlendirildi inde; en dü ük kesme kuvveti de eri (163,427 N) 300 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranı ve ilk paso sonucunda ula ılmı tir. Kaplamasız kesici takımlarla uygulanan çevresel frezeleme i leminde kesme hızının artmasıyla kesme kuvveti de erleri azalmı ve ilerleme oranlarına ba lı olarak kesme kuvveti de erlerinin arttı ı tespit edilmi tir. Tüm kaplamasız kesici takımlar ve tüm kaplamalı kesici takımlar arasında 100 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranı parametrelerinde en yüksek kesme kuvveti de eri 562,590 N olarak elde edilmi tir. Kesme parametreleri içerisinde kesme hızı tala kaldırma i lemlerini etkileyen en önemli parametredir. Ayrıca, ilerleme oranı ve kesme geni li i tala kaldırma i lemlerini önemli derecede etkilemektedir (Aydın vd., 2010).

5.4 Kesici Takım Aınması

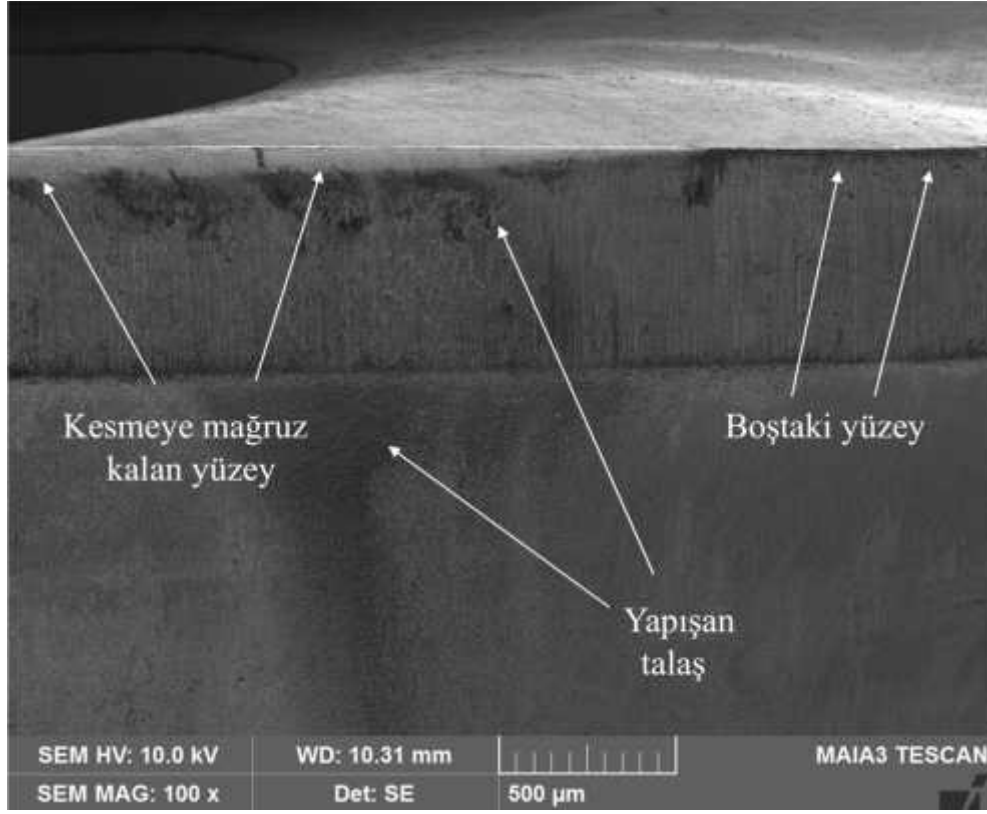
Takım aınması kesici takımların performansının de erlendirilmesinde önemli bir parametre olup do rudan i lenmi parçaların yüzey kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, CFRP kompozit malzemenin frezeleme i leminde kullanılan takımların aınma dayanımı yüzey kalitesi ile do rudan ili kilidir (Karpat ve Polat, 2013). Freze takımları çok çe itli olup, CFRP kompozit malzemenin frezeleme i lemi için kaplamasız karbür takımlar ile birlikte PCD kaplamalı karbür takımlar sıklıkla kullanılmakta ve karbür takımların aınma direnci büyük ölçüde artmaktadır (Teti, 2002; Dold vd., 2012). Bu nedenler ve maliyet açısından dü ünüldü ünde karbür kesici takımların kullanımları hem daha yaygın hem de daha üstündür (Rahman vd., 1999). CFRP kompozit malzemelerin sahip oldu u yüksek sertlik ve dü ük ısıl iletkenlikten dolayı delinmesinde veya frezelenmesinde kullanılan kesici takımların özellikle abraziv aınma sonucu kısa sürede ömürlerini tamamlamaktadır. CFRP kompozit malzemelerde tercih edilen kaplamalı takımların kullanımı kesici takım aınmasını azalmaktadır. malat teknolojisinin geli mesiyle birlikte kaplamalı takımların kullanımları artmakta ve tüm i leme operasyonlarının yaklaşık % 80'i kaplamalı kesici takımlarla gerçekleştirilmektedir (Sarwar ve Haider, 2010). Bu bölümde, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların belirlenen i leme parametrelerine ba lı olarak takım aınmasını ara tırmak için yapılan çevresel frezeleme i leminde elde edilen aınması görüntüleri de erlendirilmi tir. Elde edilen aınma görüntüleri 10 mm uzunlu undaki kesici takımların tam orta bölümünden alınarak incelenmi tir. 6 mm uzunlu undaki CFRP kompozit malzeme kesme i lemi esnasında kesici takımların temas noktaları 2 mm yukarıda ve 2 mm a a ıda olacak biçimde çevresel frezeleme i lemleri uygulanmı tir (ekil 48, ekil 49 ve ekil 50).



ekil 48: CFRP kompozit malzeme çevresel frezeleme kesme i lemi görüntüsü.



ekil 49: Kesici takım uç bölgesinin görüntüsü.

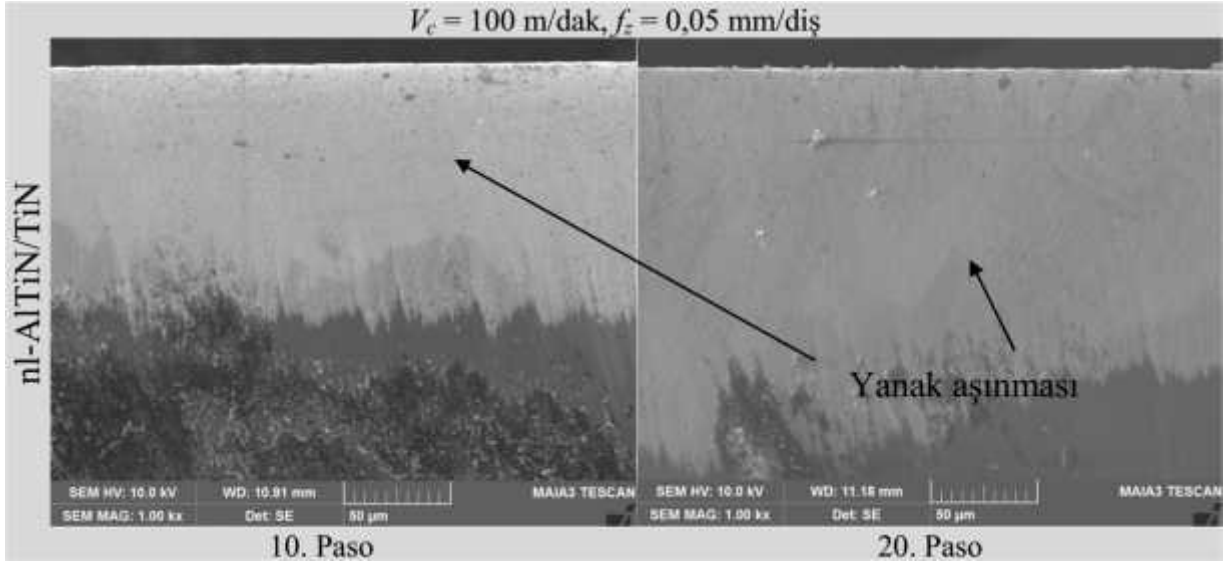


ekil 50: Kesici takım arka bölgesinin görüntüsü.

CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde kesici takım performansı iki farklı parametrede de değerlendirilmiştir. Bunlar; düşük ilerleme hızları; $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di ve $a_e = 1$ mm ilerleme parametreleri ve yüksek ilerleme hızları; $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di ve $a_e = 1$ mm ilerleme parametrelerinde incelenmiştir. Yapılan ön deneyler sonucunda CFRP kompozit malzeme frezelenme ilerleminde kullanılan tüm kesici takımların kesme kenarlarında serbest yüzeye aşınması (yanak aşınması) (V_B) dikkate alınmıştır. Deneylerde tüm kesici takımlar olunan aşınmaların ISO standartları yanak aşınma kriteri $V_B \gg 300$ μm değerini geçmediği görülmüştür (ISO 8688-2). Bu parçası üzerinde belirlenen parametrelerde tala kaldırma ilerlemi bitiminde kesici takımlar üzerine olunan aşınma derinlikleri ekil 61, ekil 62 ve ekil 63’de verilmiştir.

5.4.1 Dük leme Ko ullarındaki Kesici Takım A nması ($V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di ve $a_e = 1$ mm)

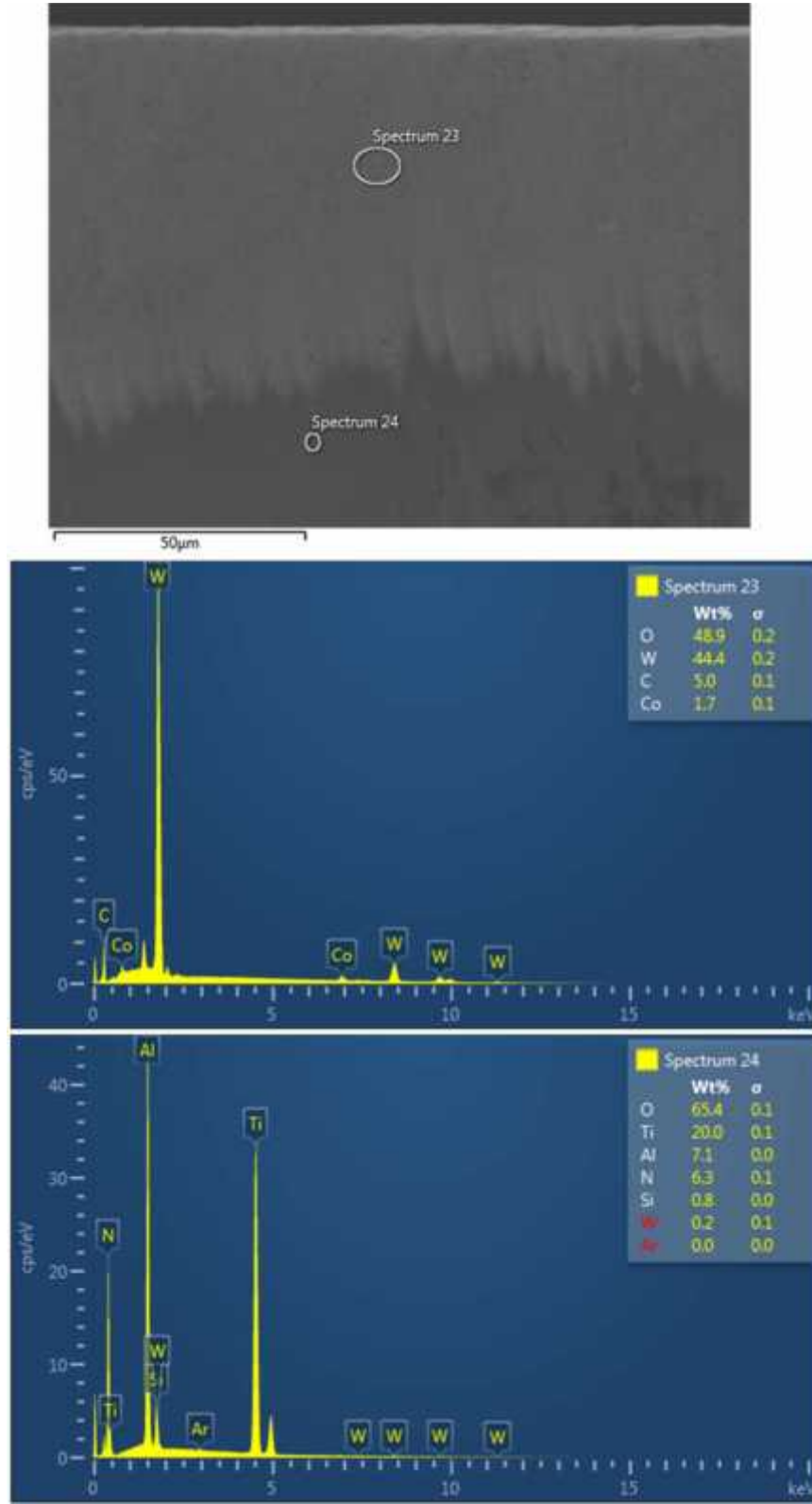
Kesme parametreleri olarak 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li i kullanılarak gerçekte tirilen çevresel frezeleme i leminden sonra onuncu ve yirminci pasolar sonunda nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takım yüzeyinden alınan SEM a nma yüzey foto rafı ekil 51'de verilmi tir. ekil 51'de görüldü ü gibi onuncu paso sonunda (127,9 μ m) kesici kenardan içeriye do ru kaplama tabakasının 100 μ m a ndı ı görülürken yirminci paso sonunda bu de erin 175 μ m'ye çıktı ı görülmü tür. 300 m/dak ve 0,05 mm/di kesme parametrelerinde bu durum 102,2 μ m'den 123,3 μ m'ye ula tı ı görülmü tür. Ancak 100 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/di ilerleme oranında kaldırılan tala süresi 131,9 sn sürerken 300 m/dak ve 0,05 mm/di ilerleme oranında bu durum 44 sn'de gerçekte mi tir. Bundan dolayı dü ük i leme ko ullarında kesici takımın i parçasına temasının fazla olması yanak a nma oranını da arttırmı tır.



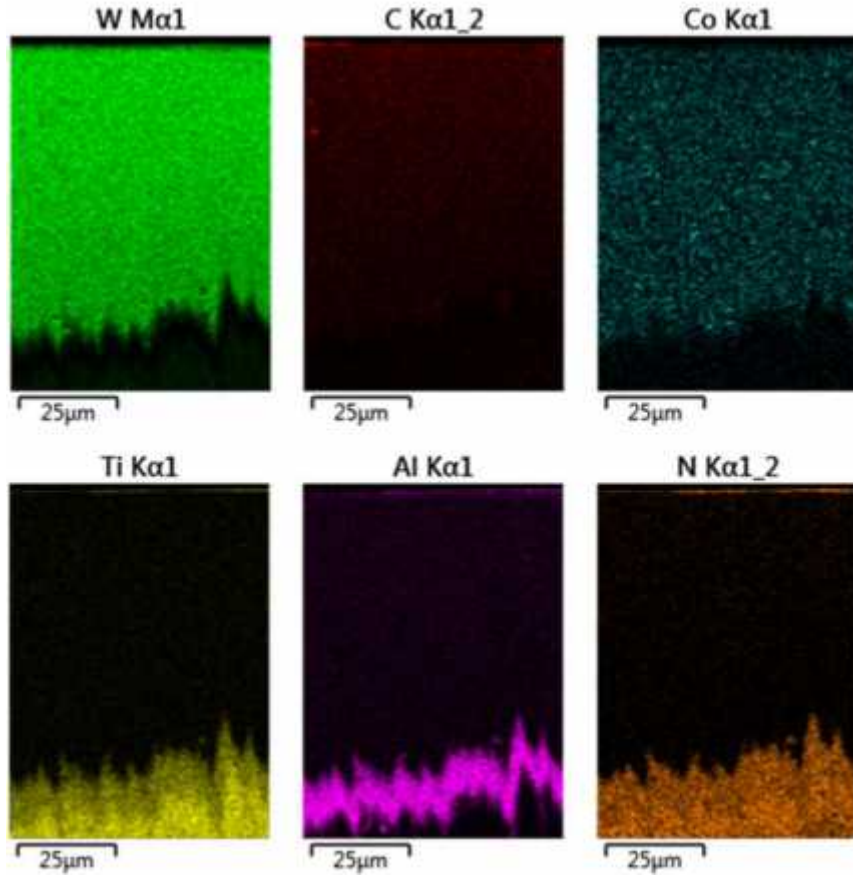
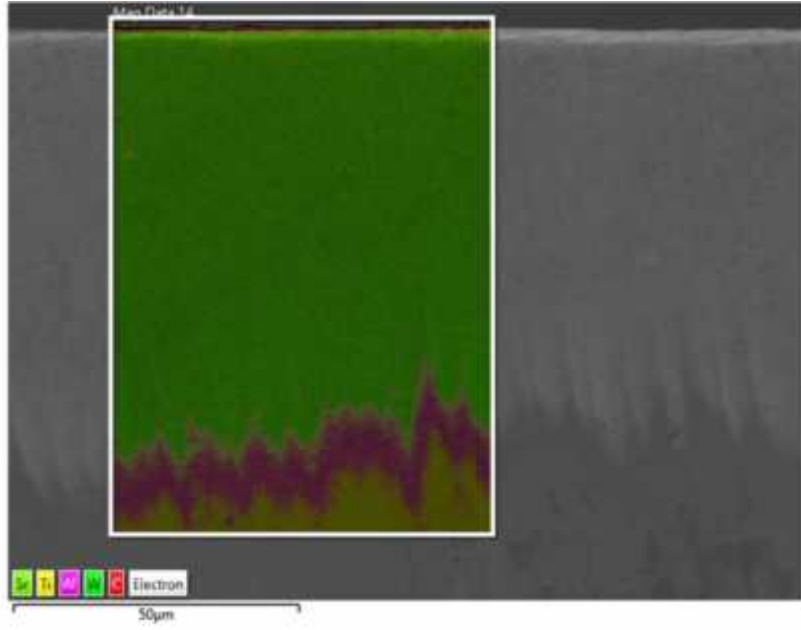
ekil 51: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a nımı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu ve yirminci pasosundaki SEM görüntüleri.

Yanak a nmasının olu umunu tespit edebilmek için nl-AlTiN/TiN kesici takımın 100 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/di ilerleme oranında yapılan çevresel frezeleme i leminden sonra onuncu ve yirminci pasolardan sonra a nımı yüzeylerden alınan EDS ve elementel haritalama

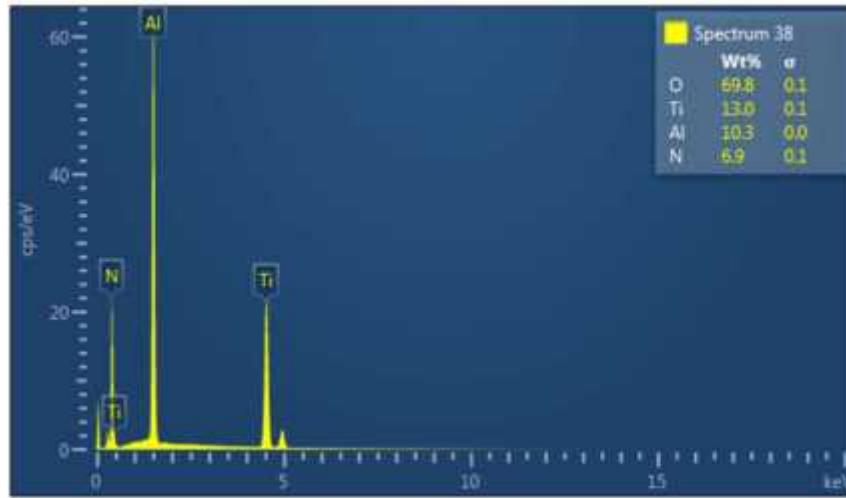
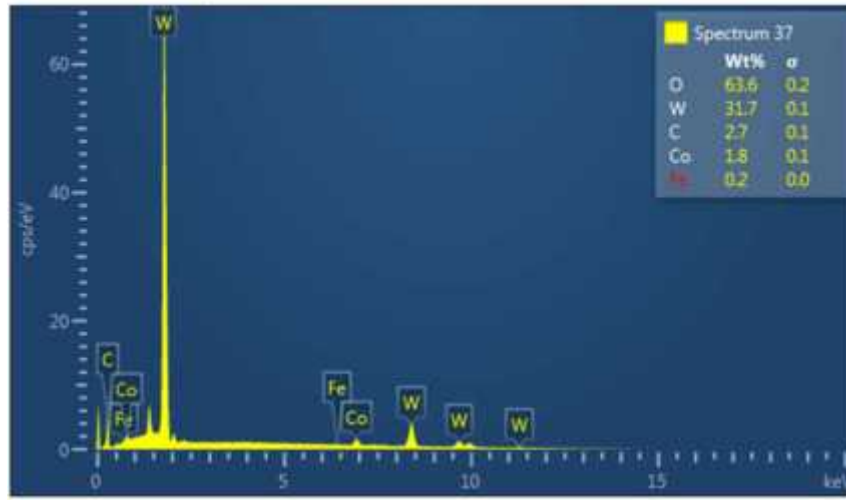
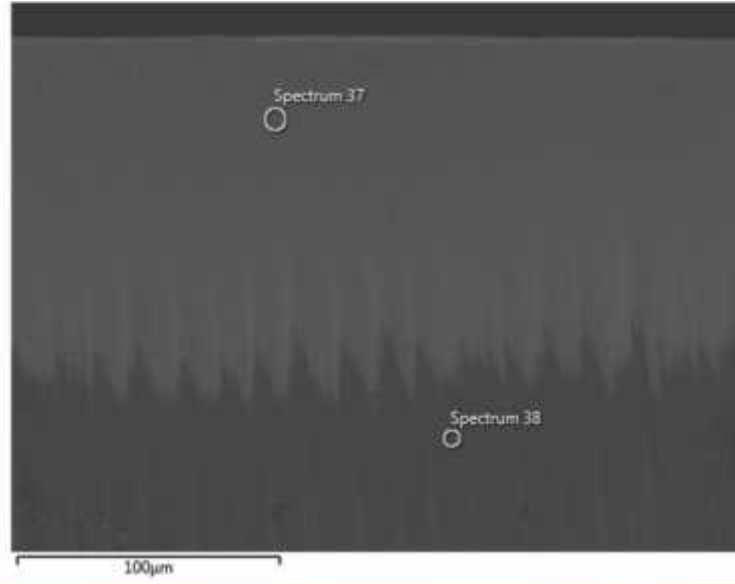
görüntüleri alınmıştır (ekil 52 ve ekil 53). Alınan EDS ve elementel haritalama görüntüleri incelendi inde onuncu paso sonucu yüzey alanın derinliğinin 65-70 μm seviyesinde olduğu yirminci pasodan sonra ise bu alanın daha da genişleyerek 100 μm 'lik bir tabakanın kesici takım ucundan başlayıp içeriye doğru ilerlediği görülmüştür (ekil 54 ve ekil 55).



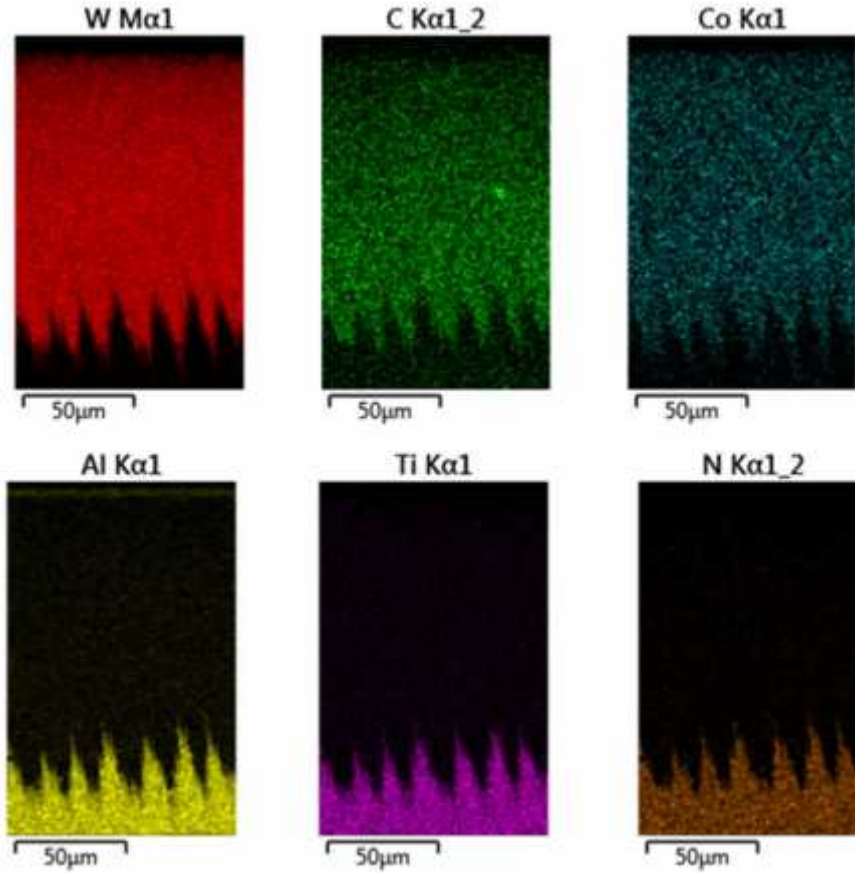
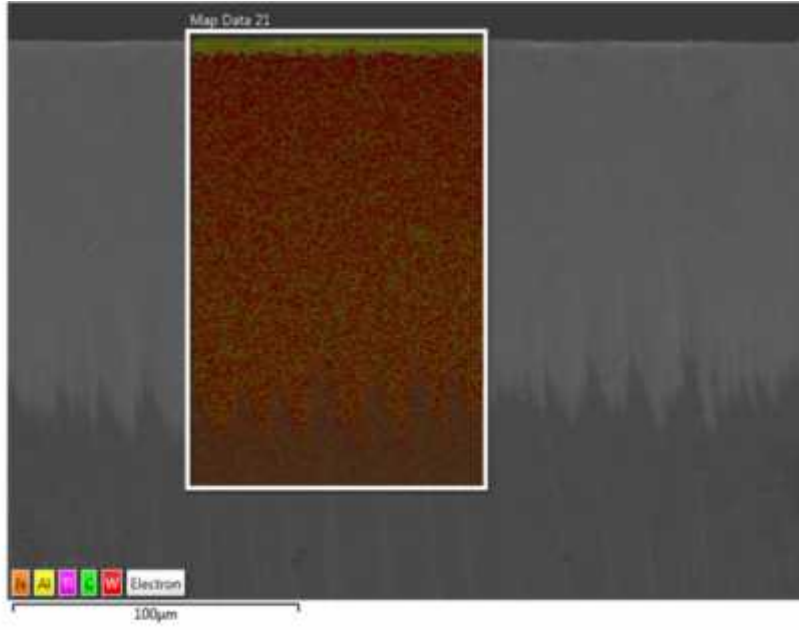
ekil 52: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a mmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.



ekil 53: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM ve elemental haritalama görüntüsü.



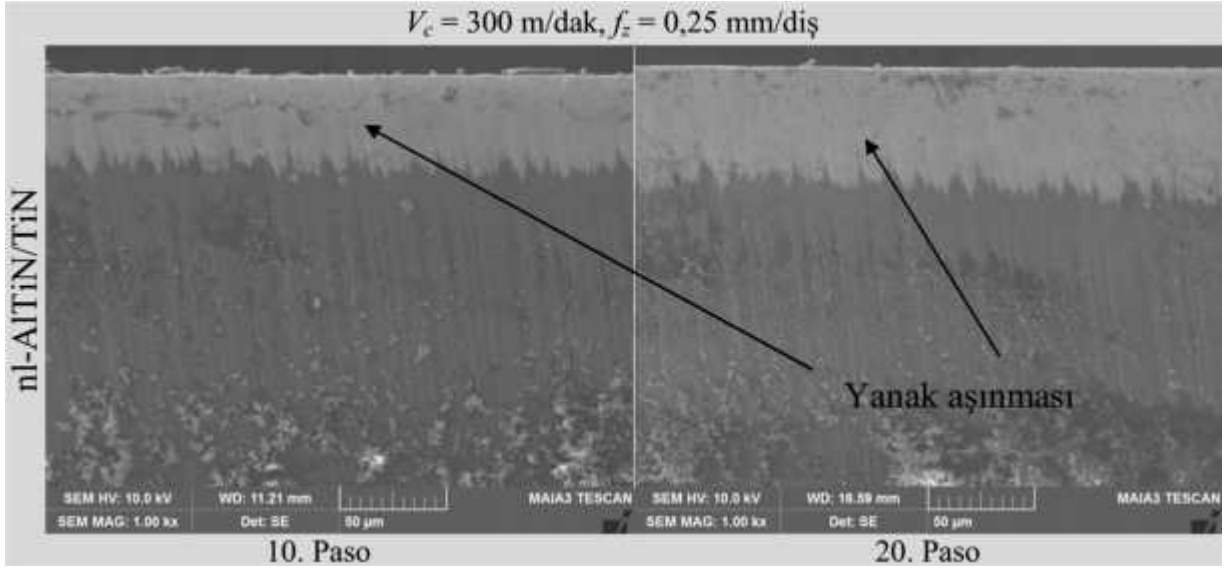
ekil 54: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a mmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.



ekil 55: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM ve elemental haritalama görüntüsü.

5.4.2 Yüksek İlerleme Koşullarındaki Kesici Takım Aınması ($V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di ve $a_e = 1$ mm)

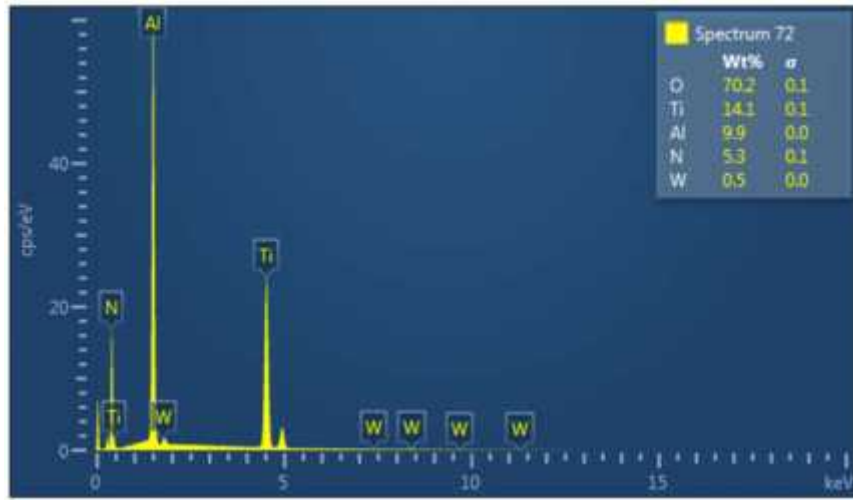
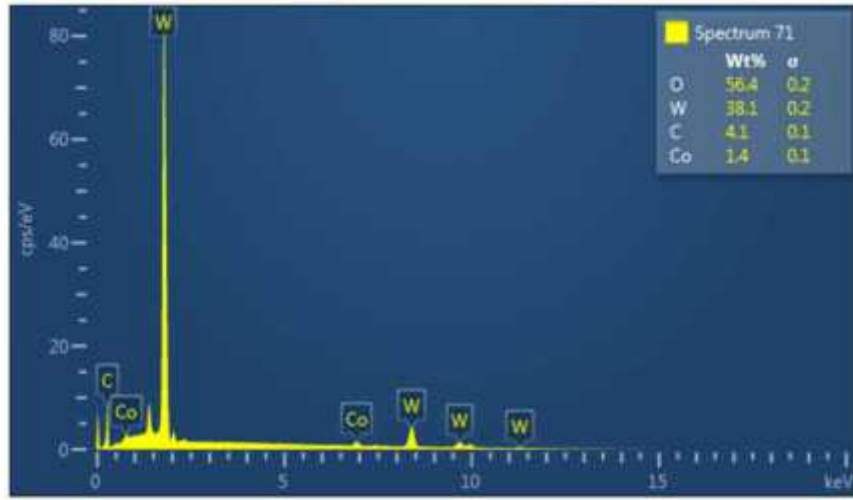
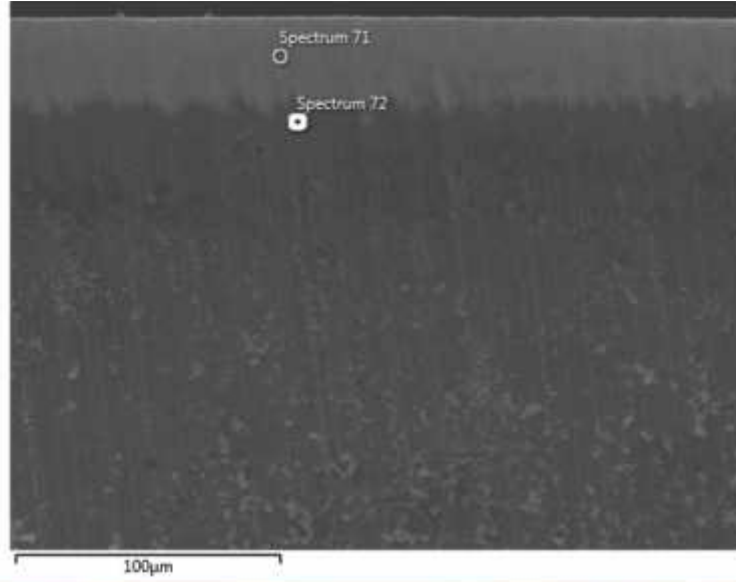
Kesme parametreleri olarak 300 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme genişliği kullanılarak gerçekleştirilen çevresel frezeleme işleminden sonra onuncu ve yirminci pasolar sonunda nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yüzeyinden alınan SEM aınma yüzey foto rafı ekil 56'da verilmiştir. ekil 56'da görüldüğü gibi onuncu paso sonunda kesici kenardan içeriye doğru kaplama tabakasının 45,4 µm aındığı görülürken yirminci paso sonunda bu değer 65,4 µm'ye çıktığı görülmüştür. 100 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/di kesme parametrelerinde bu durum 48,54 µm'den 77,87 µm'ye ulaştığı görülmüştür. Ancak 100 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/di ilerleme oranında kaldırılan tala süresi 26,4 sn sürerken 300 m/dak ve 0,25 mm/di ilerleme oranında bu durum 8,8 sn'de gerçekleşmiştir. Bundan dolayı yüksek ilerleme koşulları kesici takım yanak aınma oranını arttırmıştır.



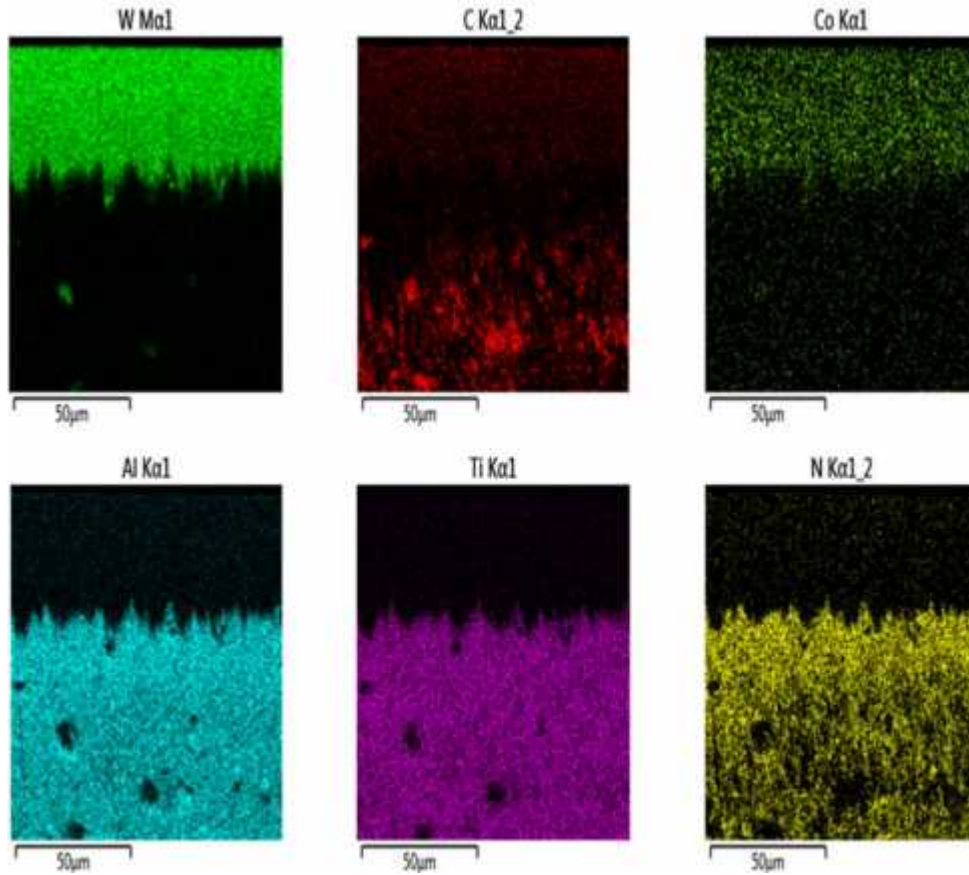
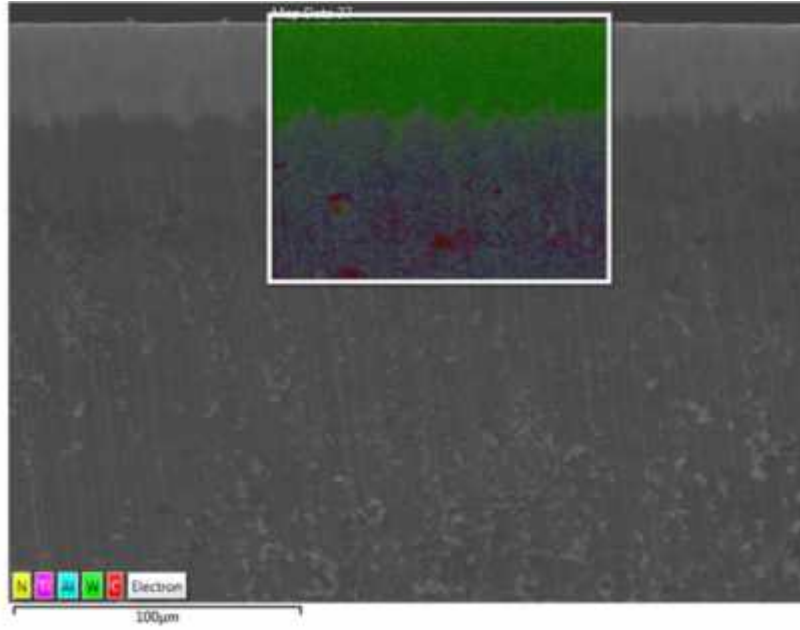
ekil 56: $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde aınmış nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu ve yirminci pasosundaki SEM görüntüleri.

Yanak aınmasının oluşumunu tespit edebilmek için nl-AlTiN/TiN kesici takımın 300 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/di ilerleme oranında yapılan çevresel frezeleme işleminden sonra

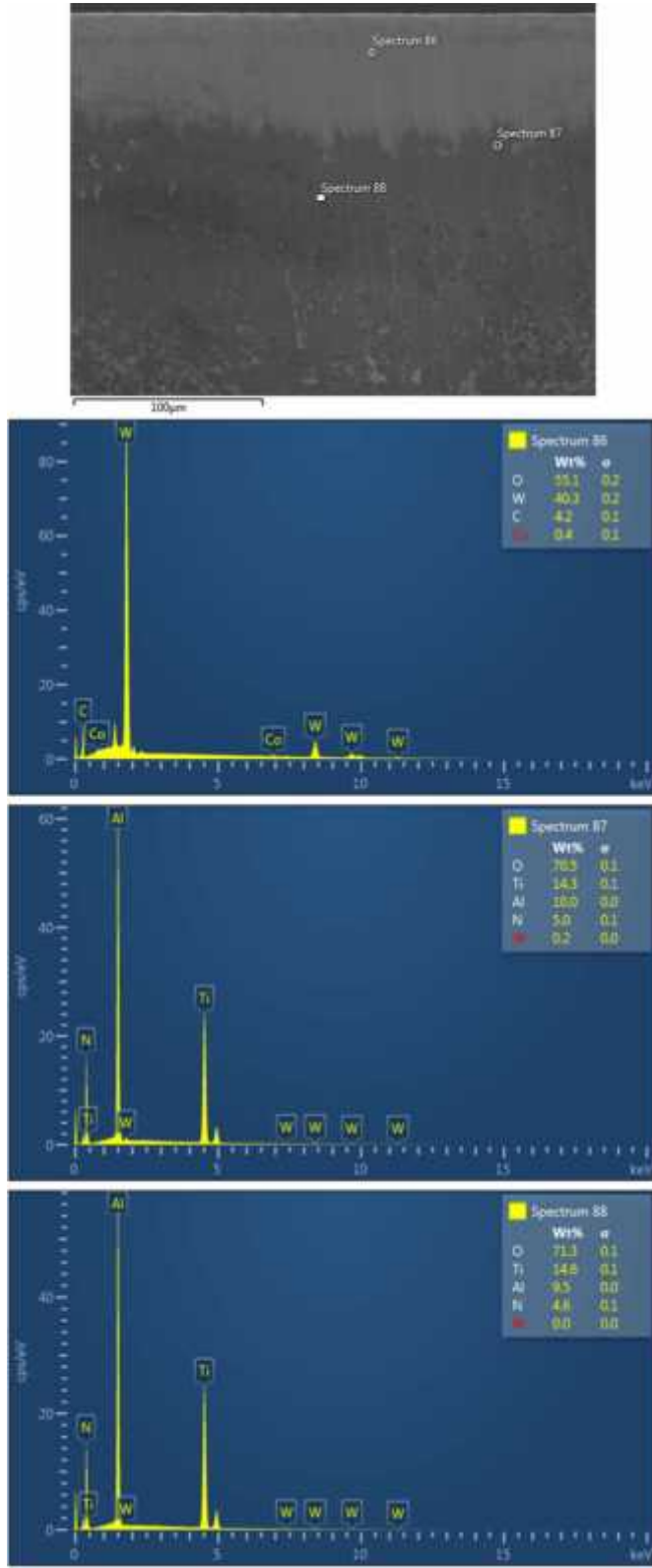
onuncu ve yirminci pasolardan sonra alınmış yüzeylerden alınan EDS ve elementel haritalama görüntüleri alınmıştır (ekil 57, ekil 58, ekil 59 ve ekil 60).



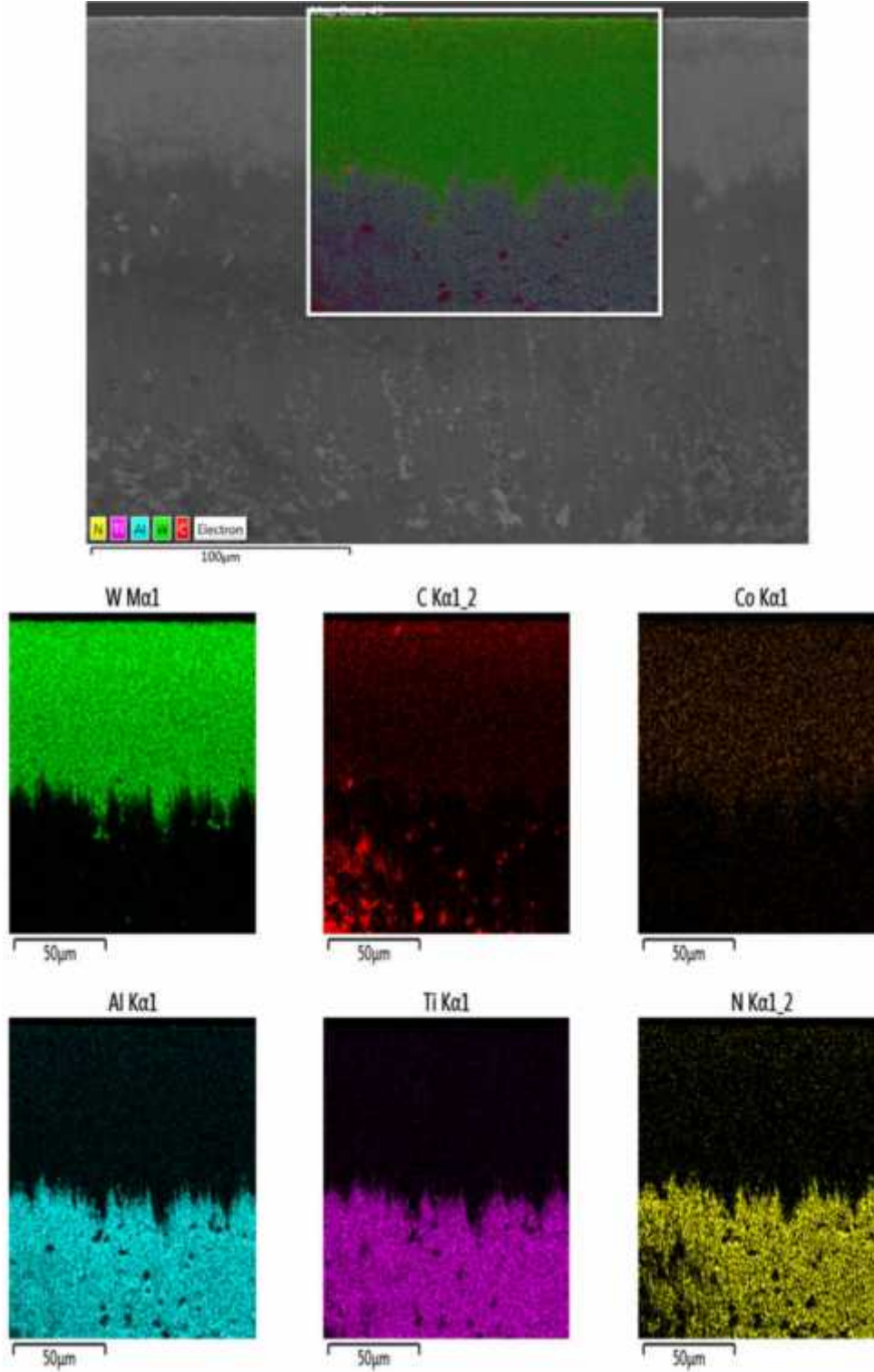
ekil 57: $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde α nmı α nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.



ekil 58: $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın onuncu pasosundaki SEM ve elemental haritalama görüntüsü.



ekil 59: $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a mmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM görüntüsü ve EDS analizi.



ekil 60: $V_c = 300$ m/dak, $f_z = 0,25$ mm/di kesme parametrelerinde a ınmı nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımın yirminci pasosundaki SEM ve elementel haritalama görüntüsü.

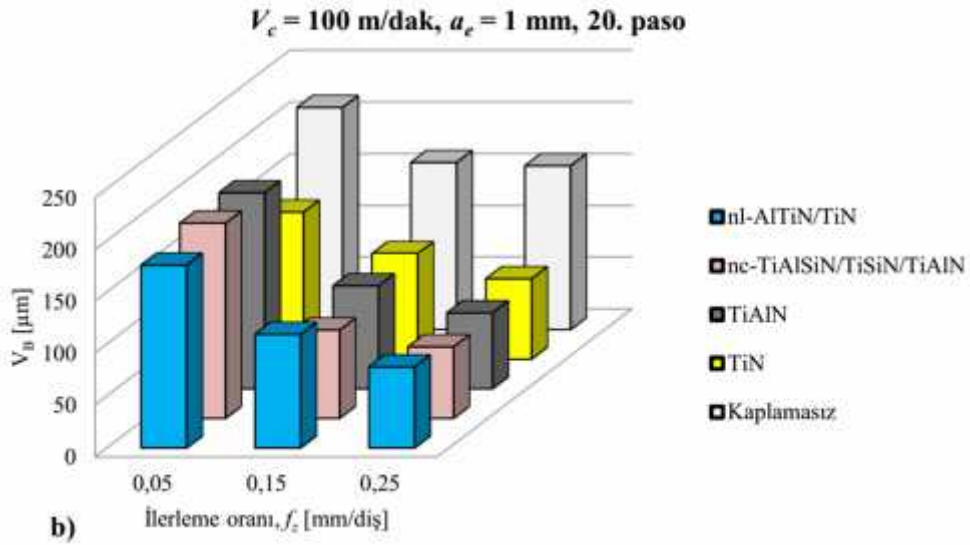
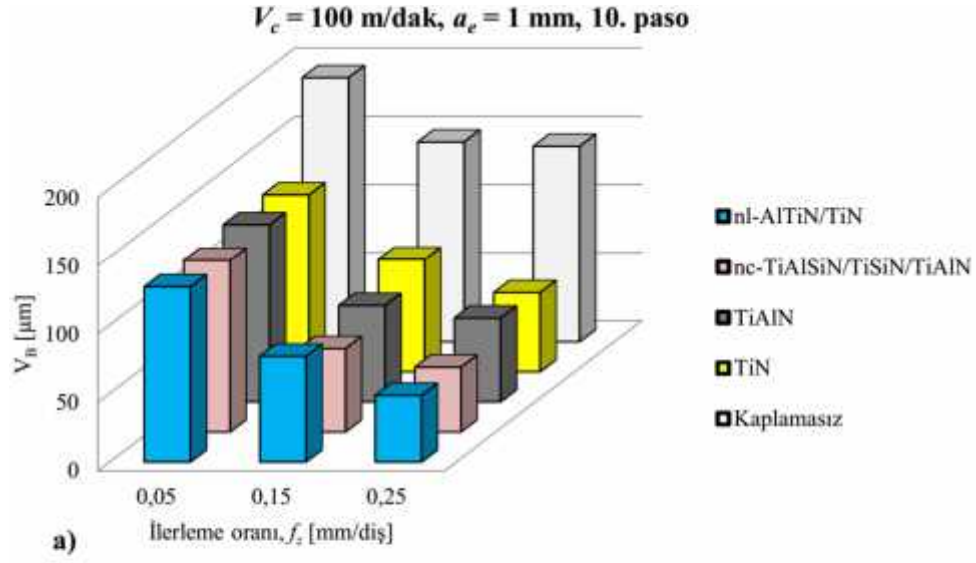
Diğer kaplamalı takımlarda da benzer durum görülmüştür sadece bu kaplama tabakasının aşınma oranında hafif değişimler meydana gelmiştir.

5.4.3 Farklı Kesme Hızlarındaki Kaplamalı ve Kaplamasız Kesici Takımların İlerleme Oranlarına Bağlı Olarak Takım Aşınma Üzerindeki Değişim Grafikleri

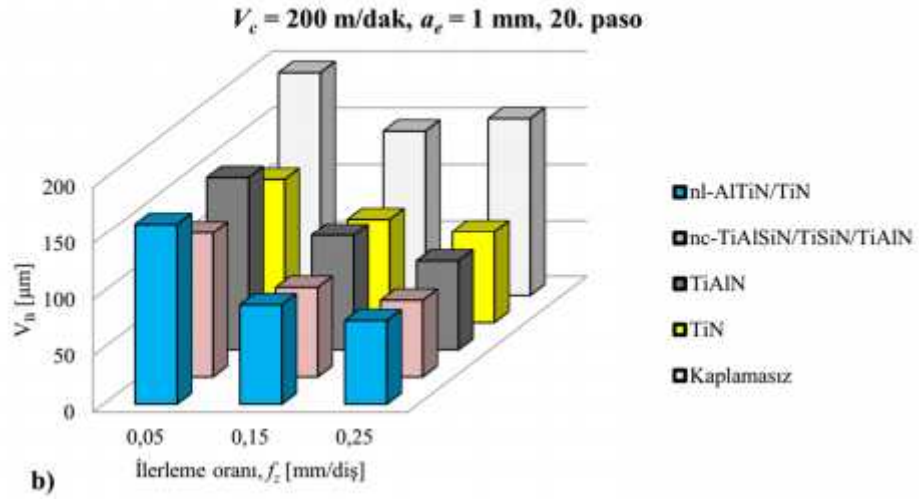
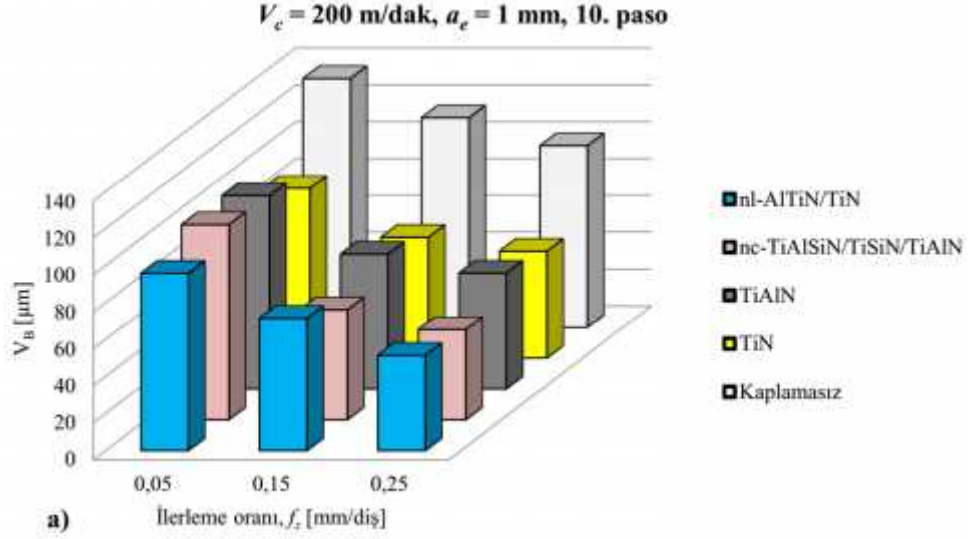
Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında oluşan takım aşınma değişim grafikleri belirlenen ilerleme parametrelerinde ekil 61, ekil 62 ve ekil 63’de verilmiştir. CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla farklı kesme hızı ve farklı ilerleme oranlarında tüm kesici takımlarda yanak aşınması tespit edilmiştir. Elde edilen yanak aşınma değerleri tüm kesici takımların onuncu ve yirminci pasoları sonrası alınan SEM görüntüleri verileridir. Yanak aşınması değişim grafikleri incelendiğinde; artan ilerleme oranına bağlı olarak azalan yanak aşınma değerlerine ulaşılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında 0,05 mm/dk ilerleme oranında en yüksek yanak aşınma değerleri ölçülmüştür. Artan ilerlemeye bağlı olarak özellikle kaplamalı kesici takımlarda yanak aşınma değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu durum, CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında kesici takımlarda oluşan aşınmanın kesme işlemi süresine bağlı olması ile açıklanabilir (Hocheng vd., 1993; Iliescu vd., 2010; Khairusshima vd., 2011; Khairusshima ve Sharifah, 2017; Sheikh-Ahmad vd., 2017). Deneylerde tala kaldırma esnasında en uzun süre 131,9 sn ile 100 m/dak kesme hızı 0,05 mm/dk ilerleme oranında tüm kesici takımlarla gerçekleştirilmiştir. Artan kesme hızı ve ilerleme oranı ilerleme parametrelerine bağlı olarak ilerleme süreleri azalmıştır. En kısa süre 8,8 sn ile 300 m/dak kesme hızı 0,25 mm/dk ilerleme oranı ilerleme parametrelerinde uygulanmıştır.

Karbon fiberlerin sert ve aşındırıcı yapısı kesici takımlarda yanak aşınması oluşmasına neden olmuştur (Madhavan vd., 2015). Yüksek tokluk özelliklerine sahip karbür takımlarda kesici takımın aşınması daha çok aşınma (abrasion) nedeniyle olur ve fiber takviyeli kompozitlerin ilerlenmesinde en iyi performans karbür takımlarla elde edilmektedir (Sheikh-Ahmad, 2009). En yüksek yanak aşınma değerleri farklı kesme hızlarında ve 0,05 mm/dk ilerleme oranlarında tespit edilmiştir. Bu durum kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeden ve abrazyon tip bir

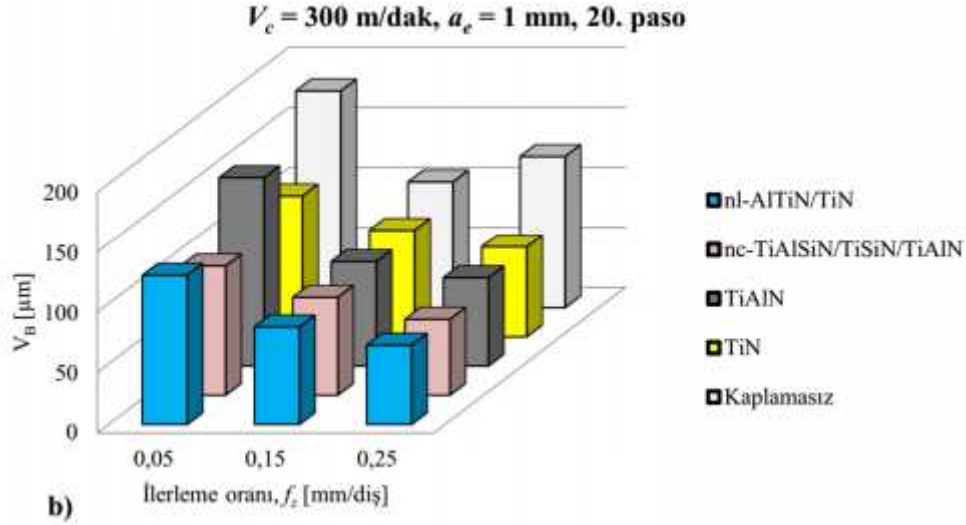
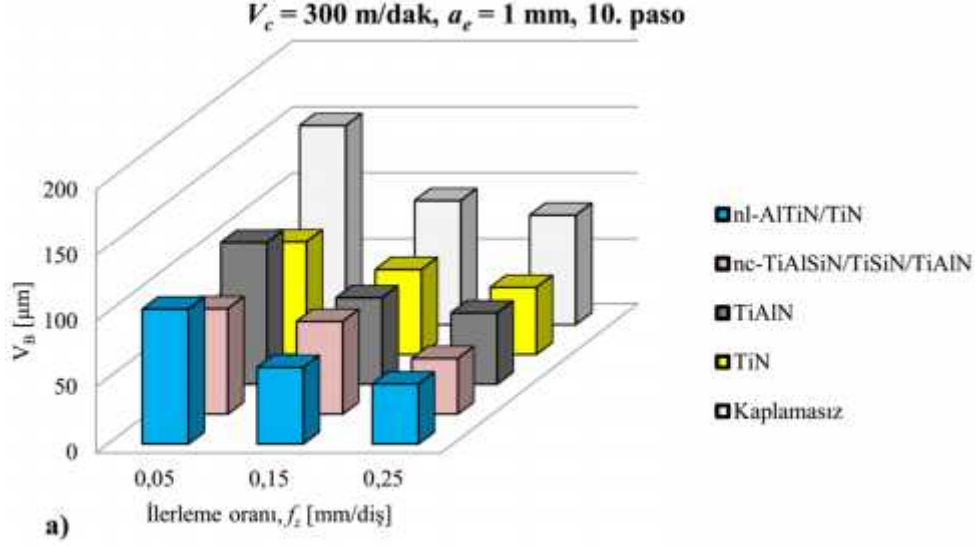
a ınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır (Hocheng vd., 1993; akır, 2006; Khairusshima vd., 2011; Madhavan vd., 2015; Maegawa vd., 2016; Wang vd., 2016; Khairusshima ve Sharifah 2017). Kaplamalı kesici takımlar arasında en dü ük a ınma de eri 42,140 µm ile 300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranı parametrelerinde nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımın onuncu paso sonucunda tespit edilmi tir. En yüksek a ınma de eri 189,300 µm ile 100 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranı parametrelerinde TiAlN kaplamalı kesici takımda bulunmasına ra men *ISO* standartları yanak a ınma kriteri $V_B \gg 300$ µm'yi geçmedi i tespit edilmi tir (*ISO* 8688-2). Kaplamasız kesici takımlarda en iyi a ınma de eri 83,640 µm ile 300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranı parametrelerinde onuncu paso sonucunda tespit edilmi tir. En yüksek a ınma de eri 214,410 µm ile 100 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/di ilerleme oranı parametrelerinde yirminci paso sonucunda elde edilmi tir.



ekil 61: $V_c = 100$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarında kesici takımların a) Onuncu ve b) Yirminci pasolarından elde edilen yanak a ınma de i im grafi i.



ekil 62: $V_c = 200$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarında kesici takımların a) Onuncu ve b) Yirminci pasolarından elde edilen yanak a μ m da i im grafi i.



ekil 63: $V_c = 300$ m/dak kesme hızında ve üç farklı ilerleme oranlarında kesici takımların a) Onuncu ve b) Yirminci pasolarından elde edilen yanak a μ m da i im grafi i.

5.5 İlerleme Parametrelerine Ba lı Olarak Elde Edilen Delaminasyon Derinli i De erlerindeki De i im

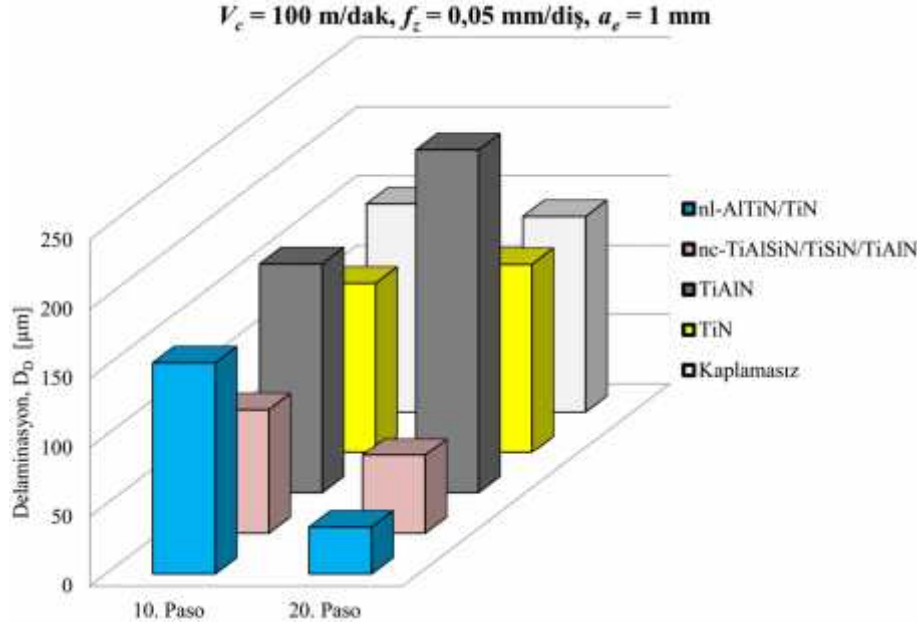
Üretilen parçaların montaj durumlarını etkiledi inden dolayı, CFRP kompozit malzemelerin yüzey kalitesi önemli bir husustur. CFRP kompozit malzemelerin uçak gövdesi montaj için perçin ve cıvata deliklerinde tala lı imalat yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde son montaj sırasında olu an delaminasyon hasarından dolayı parçaların % 60'ı

gibi yüksek bir oranda reddedildi i bildirilmektedir (Wong vd., 1982; Khashaba, 2004; Krishnaraj vd., 2010; Isbilir ve Ghassemieh, 2012). CFRP kompozit malzemeler üzerinde düz yüzeylerin elde edilmesi için frezeleme i lemi kullanılmaktadır. Fakat bu i lemin yapılması sırasında ba ta delaminasyon olmak üzere, fiber kırılması, kesilmemi fiber gibi hasar mekanizmaları meydana gelmektedir. Tabaka içi veya katmanlar arası hata olarak tanımlanan delaminasyon bunlardan en önemlisidir (Teti, 2002; Tsao ve Hocheng, 2008; Krishnamoorthy vd., 2011; Karpat vd., 2012; Chen vd., 2013; Kiliçkap vd., 2015; Epaarachchi ve Kahandawa, 2016; Yao vd., 2016). CFRP kompozit malzemelerde kesme i lemi yerine malzemenin ezerek çıkarılması veya kesici takımın malzemeyi tam kesmemesi durumunda hasar olmaktadır (Bhatnagar vd., 1995; Tamin, 2012). Bu bölümde, çok yönlü CFRP kompozit malzeme çevresel frezelenmesinde ($0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$)s foa'larındaki i parçası, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanılarak delaminasyon derinli i kuru kesme ko ulları altında ara tırılmı tır. Üç farklı kesme hızı (100, 200 ve 300 m/dak), üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm sabit kesme geni li i i leme parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Çevresel frezeleme i leminde her on pasodan sonra i parçasının SEM görüntüleri alınarak değerlendirilmiştir. SEM görüntüleri alınan i parçalarının kesme uzunlu una (140 mm) ba lı olarak her bir ilerleme oranında ve kesme hızında delaminasyon derinli i de i im grafikleri elde edilmiştir. Bu deneylerde ölçülen bütün ölçüm verileri SEM görüntüleri alındı ı sırada onuncu ve yirminci pasolar verileridir. CFRP kompozit malzeme çevresel frezelenmesinde i lenen tüm i parçası kenarlarında delaminasyon olu masına ra men elde edilen de erler $D_D \ll 1500 \mu\text{m}$ delaminasyon derinli ini a madı ı tespit edilmiştir. Bu de eri a an CFRP kompozit malzemelerin delaminasyon derinli i (D_D) de erlerinin havacılık endüstrisinde kabul edilmedi i bildirilmektedir (Janardhan vd., 2006; Sheikh-Ahmad vd., 2012).

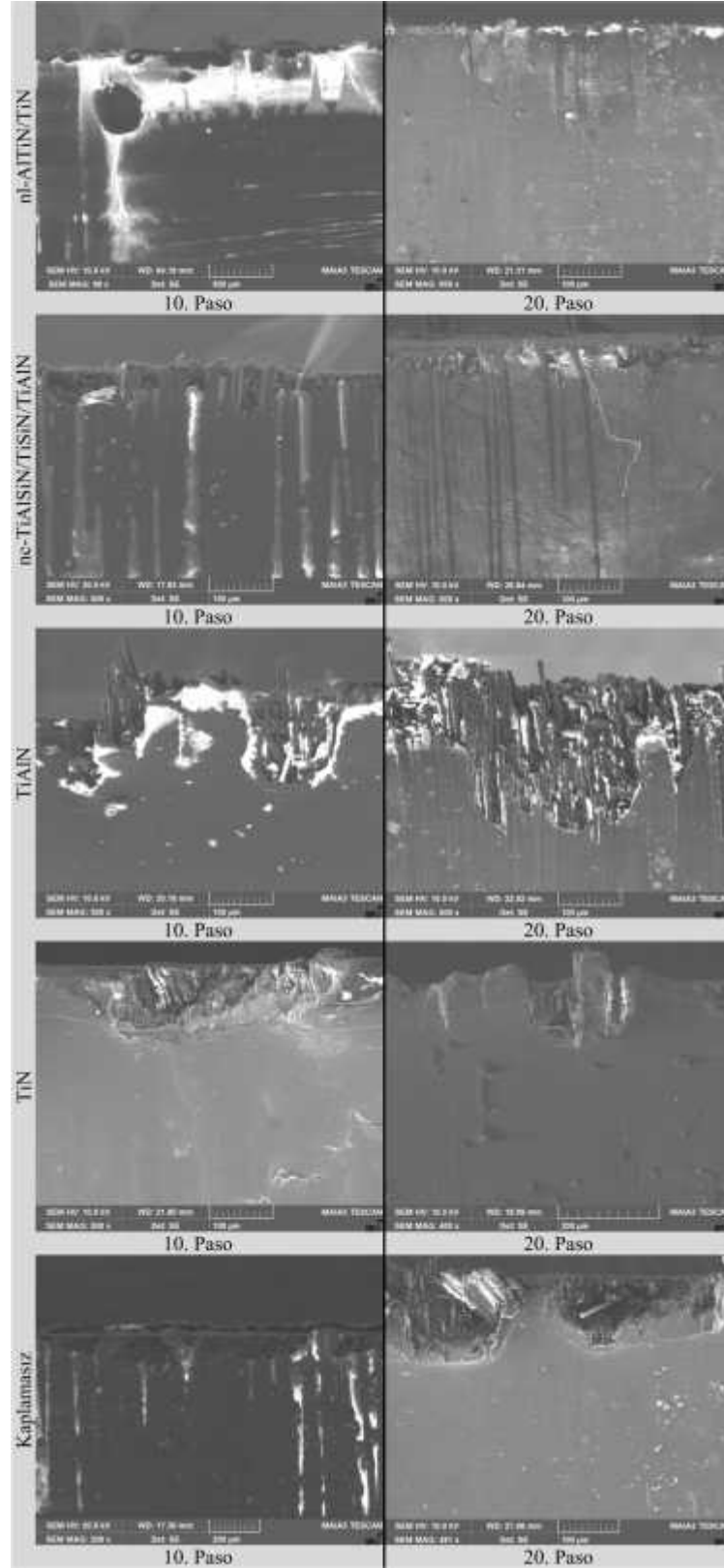
5.5.1 $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 64 ve ekil 65'de verilmiştir. 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme

oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. Kaplamalı ve kaplamasız takımlarla CFRP kompozit malzemenin D_D de erleri artan paso sayısına ba lı olarak dalgalanmalar göstermi tir. CFRP kompozit malzemelerin D_D 'li i bakımından en iyi i lenmi yüzey kalitesi dü ük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızı i leme parametreleri olarak bildirilmektedir (Janardhan vd., 2006; Sheikh-Ahmad, 2009; Sheikh-Ahmad vd., 2012; Slamani vd., 2015). Tüm kesici takımlar arasında 247,680 μm ile en yüksek D_D de eri artan paso sayısına ba lı olarak TiAlN kaplamalı kesici takım ile tespit edilmi tir. Bu durum, CFRP kompozit malzemenin üst tarafında i parçasını destekleyecek herhangi bir tabakanın olmamasıyla açıklanabilir (Sheikh-Ahmad vd., 2012; Liu vd., 2017). parçasının frezelenmesi esnasında kesici takım fiberleri dı arı do ru bükür ve tabaka kısmından uzakla tırmaya çalı ır. Bu tabakalar arası gerilim (stress) olu turur ve tabakaların üst taraftan ayrılmasına neden olur (Hintze ve Hartmann, 2013). CFRP kompozit malzemenin 100 m/dak kesme hızı 0,05 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 35,540 μm ile nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takım ile tespit edilmi tir.



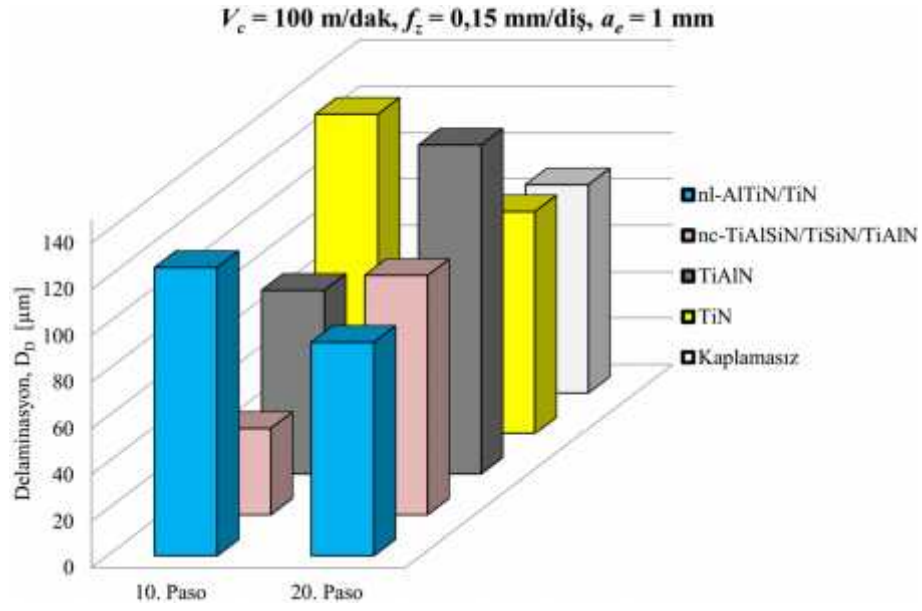
ekil 64: $V_c = 100 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,05 \text{ mm/di}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemedeki meydana gelen D_D de i im grafi i.



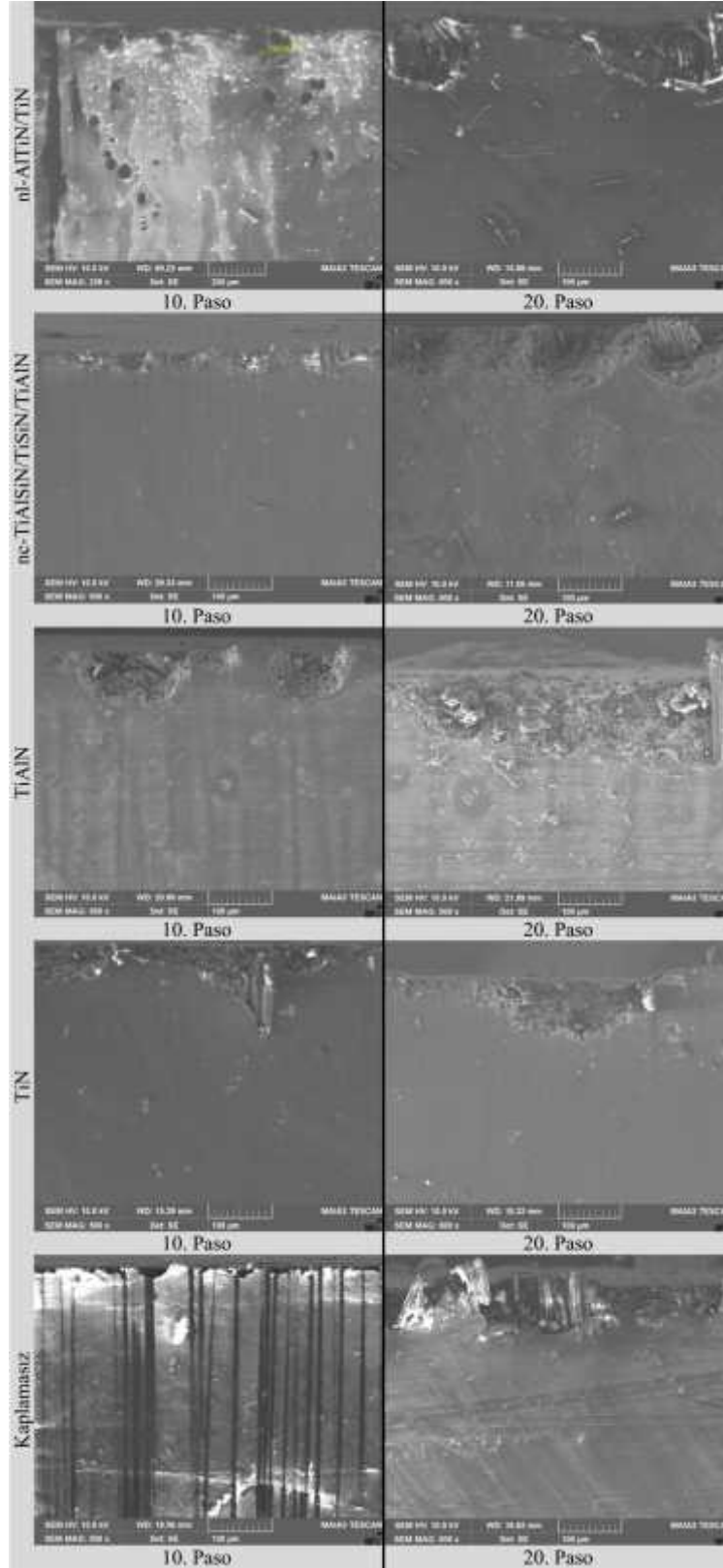
ekil 65: $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.2 $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 66 ve ekil 67'de verilmi tir. 100 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. Kaplamalı ve kaplamasız takımlarla CFRP kompozit malzemenin D_D de erleri artan paso sayısına ba lı olarak dalgalanmalar göstermi tir. ilerleme oranının artmasıyla nl-AlTiN/TiN ve TiN kaplamalı kesici takımlarda delaminasyon de erleri son pasoda (sırasıyla 91,820 μm ve 95,660 μm) azalmı tir. nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı ve TiAlN kaplamalı kesici takımında bu durumun tam aksi meydana gelerek bu de erler 103,310 μm ve 142,070 μm oranlarında ölçülmü tür. Bu artı ın titre imden ve kesici takımların kesme kenarlarının temas yüzeylerinin artan ilerleme oranlarına ba lı olarak a ndırıcı yapıya sahip i parçasına temas etmesinden kaynaklanmaktadır (Khairusshima vd., 2011; Kecik vd., 2012; Nurhaniza vd., 2016). CFRP kompozit malzemede belirlenen i leme parametrelerinin etkisinden dolayı TiAlN kaplamalı kesici takım hariç son pasolarda yakla ık olarak yakın de erler elde edilmi tir. CFRP kompozit malzemenin 100 m/dak kesme hızı 0,15 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 23,260 μm ile kaplamasız kaplamalı kesici takım ile tespit edilmi tir.



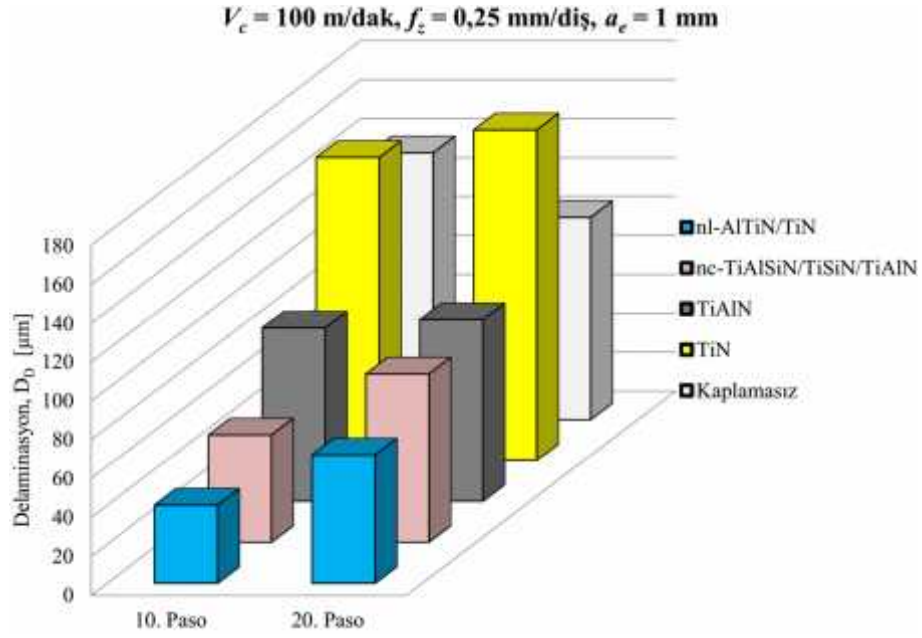
ekil 66: $V_c = 100 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,15 \text{ mm/di}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i.



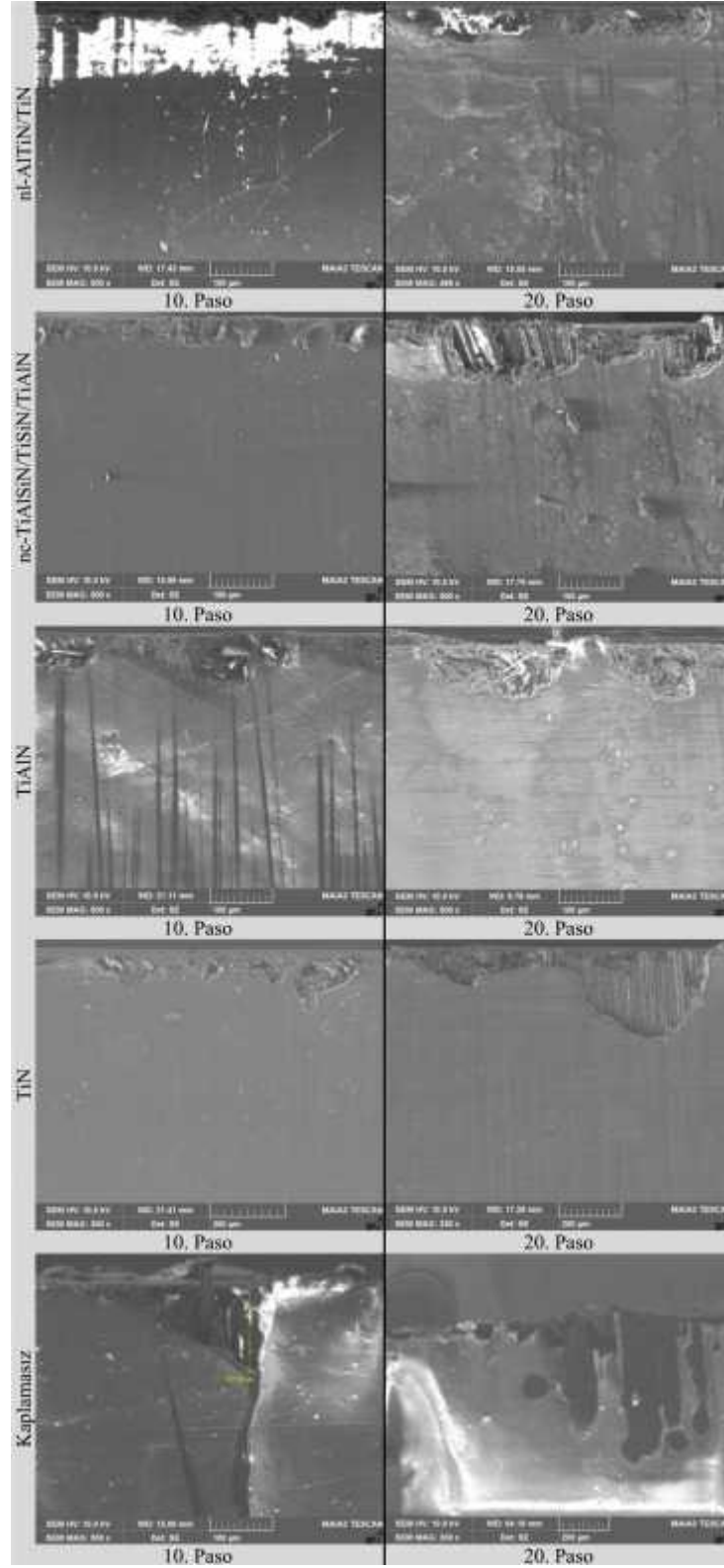
ekil 67: $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.3 $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 68 ve ekil 69'da verilmi tir. 100 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. CFRP kompozit malzeme frezelenmesinde artan ilerleme oranına ba lı olarak D_D de erlerinin artı ı bildirilmektedir (Sheikh-Ahmad vd., 2012; Ghafarizadeh vd., 2016). Kaplamalı kesici takımlar arasında en yüksek kaplama kalınlı na sahip olan TiN kaplamalı kesici takımla i lenen CFRP kompozit malzemenin artan paso sayısına ba lı olarak D_D de erinin artı gösterdi i belirlenmi tir. Kaldırılan tala miktarının artmasıyla TiN kaplamalı kesici takım yüksek ilerleme oranından olumsuz etkilenmi tir. Kaldırılan tala miktarının % 100 artmasıyla D_D de eri % 79,6 oranında artı gösterdi i tespit edilmi tir. CFRP kompozit malzemenin a ndırıcı ve heterojen yapısı kesici takım ve yüzey kalitesi performanslarını etkilemektedir. Bu nedenle, kompozit malzemelerin i leme proseslerinde i leme ko ullarıyla birlikte kesici takımın seçimi önemli rol oynamaktadır (Ferreira vd., 1999). nl-ALTiN/TiN ve nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımlarla onuncu (40,010 μm ve 55,190 μm) ve yirminci (65,900 μm ve 86,510 μm) pasolarla kesme uzunlu una ba lı olarak dü ük D_D de erleri ölçülmü tür. nl-ALTiN/TiN ve nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımlarla artan paso sayısına ba lı olarak artı tespit edilmi tir. CFRP kompozit malzemenin 100 m/dak kesme hızı 0,25 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 40,010 μm ile nl-ALTiN/TiN kaplamalı kesici takımla tespit edilmi tir.



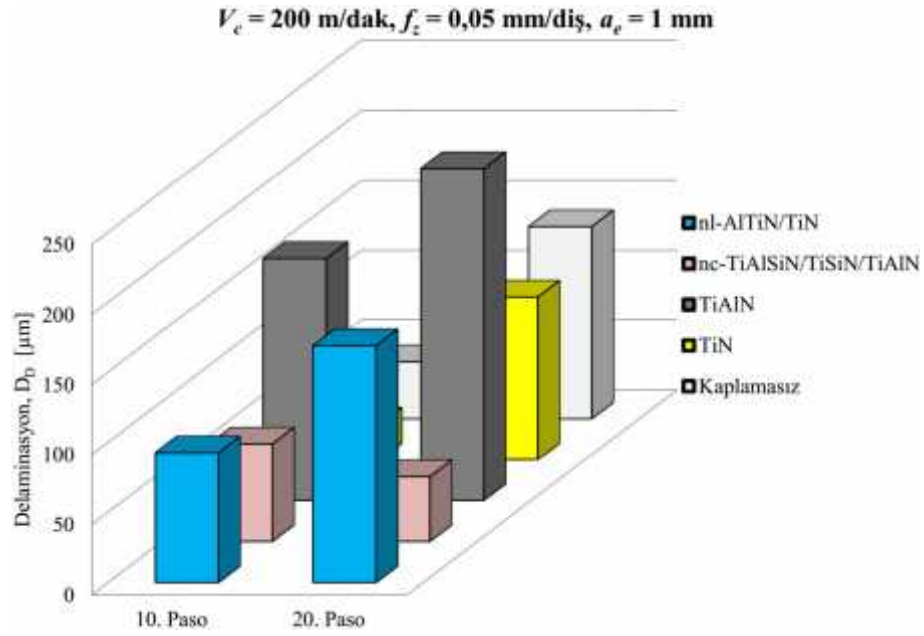
ekil 68: $V_c = 100 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,25 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemed e meydana gelen D_D de i im grafi i.



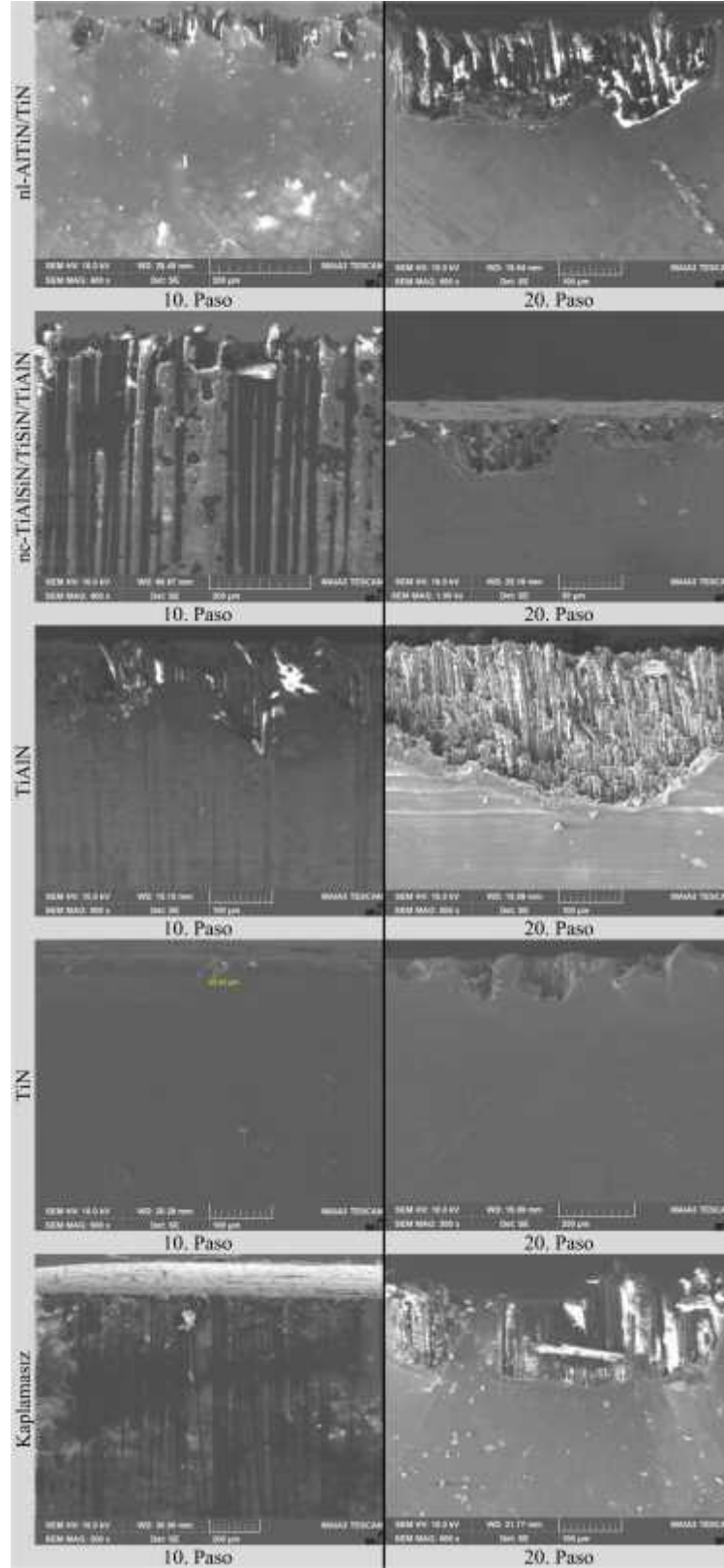
ekil 69: $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.4 $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 70 ve ekil 71'de verilmi tir. 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. TiAlN kaplamalı kesici takımla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi sonucu paso sayısı artı na ba lı olarak elde edilen D_D de eri artı göstermi tir. 100 m/dak kesme hızı 0,05 mm/di ilerleme oranı ile 300 m/dak kesme hızı 0,05 mm/di ilerleme oranı i leme parametrelerinde de TiAlN kaplamalı kesici takımla i lenen CFRP kompozit malzemenin aynı davranı sergiledi i tespit edilmi tir. Bu sonuçlara ba lı olarak TiAlN kaplamalı kesici takım 0,05 mm/di ilerleme oranında D_D de erlerinin olumsuz etkilendi i anla ılmı tir. Tek tabakalı kaplamalardan TiAlN kaplamalı kesici takımın, TiN kaplamalı kesici takıma kıyasla daha üstün oksidasyon direnci ve a nma direncine sahip oldu u bildirilmektedir (Barshilia vd., 2005). CFRP kompozit malzemenin a ndırıcı, heterojen ve plastik deformasyon göstermeyen yapısından dolayı karbür takımlarla frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak D_D 'ni artırmaktadır (Sheikh-Ahmad vd., 2017). Bu durum, D_D 'inin i leme parametrelerinin birbirleriyle etkile im etkisine ba lı olmadı ı esas olarak i leme parametrelerinin ayrı ayrı etkisine ba lı oldu u sonucu çıkarılabilir (Sheikh-Ahmad, 2009). Ayrıca, delaminasyon ölçümlerinin tüm i leme parametrelerine ba lı oldu u ve i leme parametrelerinden en çok ilerleme oranın etkisi oldu u bildirilmektedir (Janardhan vd., 2006). CFRP kompozit malzemenin 200 m/dak kesme hızı 0,05 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 25,420 μm ile TiN kaplamalı kesici takımla tespit edilmi tir.



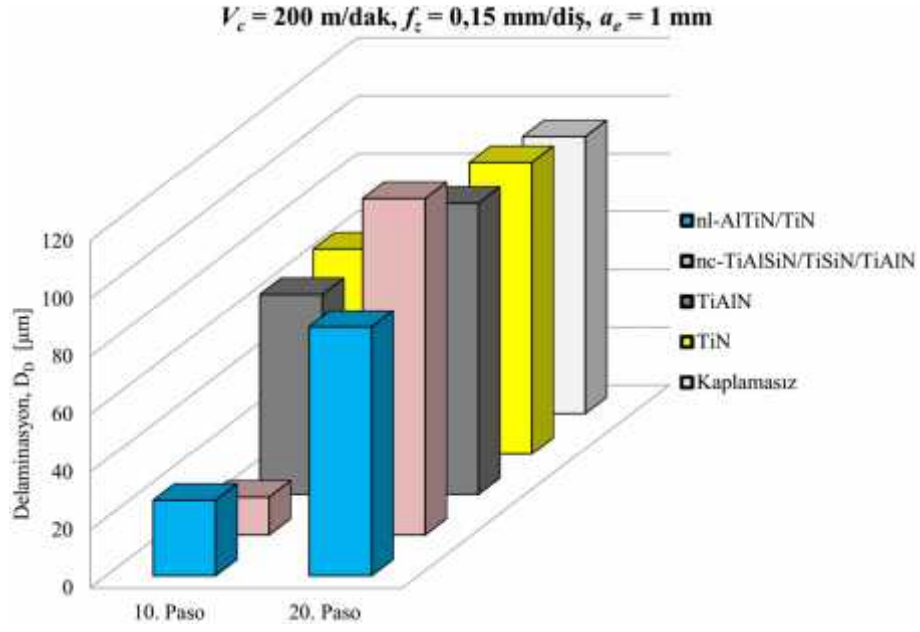
ekil 70: $V_c = 200 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,05 \text{ mm/di}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemedede meydana gelen D_D de i im grafi i.



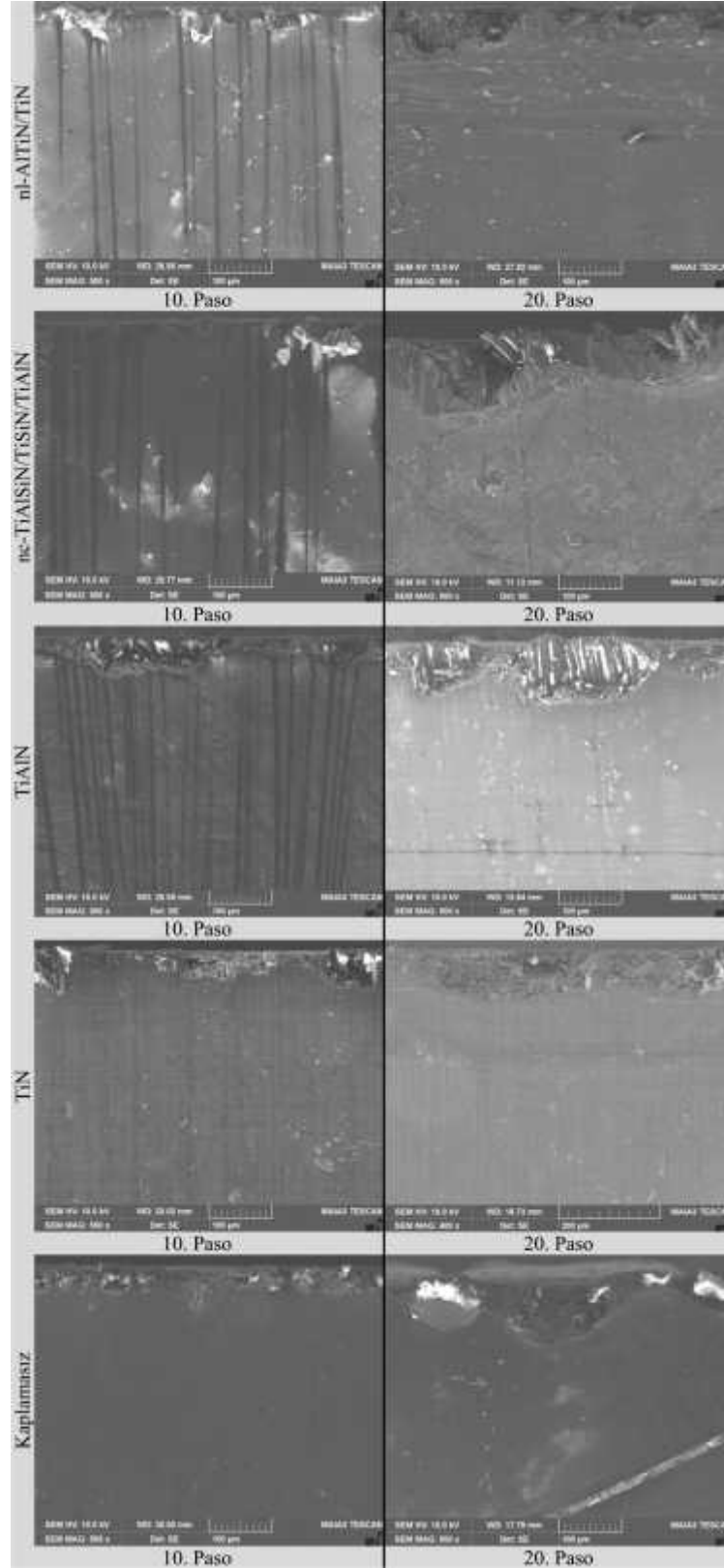
ekil 71: $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.5 $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 72 ve ekil 73'de verilmi tir. 200 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takım ile CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi sonucu paso sayısı artı na ba lı olarak elde edilen D_D de eri artı göstermi tir. 200 m/dak kesme hızı 0,15 mm/di ilerleme oranı i leme parametrelerinde CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi sonucunda elde edilen kesme kuvveti de erleri paso sayısına ba lı olarak onuncu paso sonucu 291,015 N ve yirminci paso sonucu 425,246 N olarak tespit edilmi tir (ekil 46). nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımın kesme kuvvetleri ili kisinin delaminasyon üzerinde etkili oldu u anla ılmaktadır. 200 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/di ilerleme oranında nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takım kesme kuvveti de erleri % 46 oranında artırıldı nda D_D de eri % 794,5 artı gösterdi i belirlenmi tir. CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi ile elde edilen delaminasyon sonuçları literatürdeki çalı malarla da örtü mektedir. Hintze vd. yapımı oldukları çalı mada, PCD takımla delaminasyonun artmasını kesici kenar yarıçapının artı göstermesine ba lamı lardır. Takım kesme kenarı ve fiber arasındaki sürtünmeden dolayı artan kesici kenar yarıçapı delaminasyondan sorumlu olan kesme kuvvetlerini artırdı mı açıklamı lardır (Hintze vd., 2011). Lacalle vd. çalı malarında, CFRP ve KFRP kompozit malzemelerinin frezelenmesinde kullanımı oldukları nanokompozit kaplamalı (naCO TiAlN+SiC) takımların iyi bir performans göstermedi i sonucuna varmı lardır. Bu durumun ana sebebinin karbür altlıklara bu tabakanın yetersiz yapı masından kaynaklandı mı belirtmi lerdir. AlTiN kaplamalı takımlarla daha iyi takım ömrü elde ettiklerini belirtmi lerdir (Lacalle vd., 2009). CFRP kompozit malzemenin 200 m/dak kesme hızı 0,15 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 12,990 μm ile nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takım ile tespit edilmi tir.



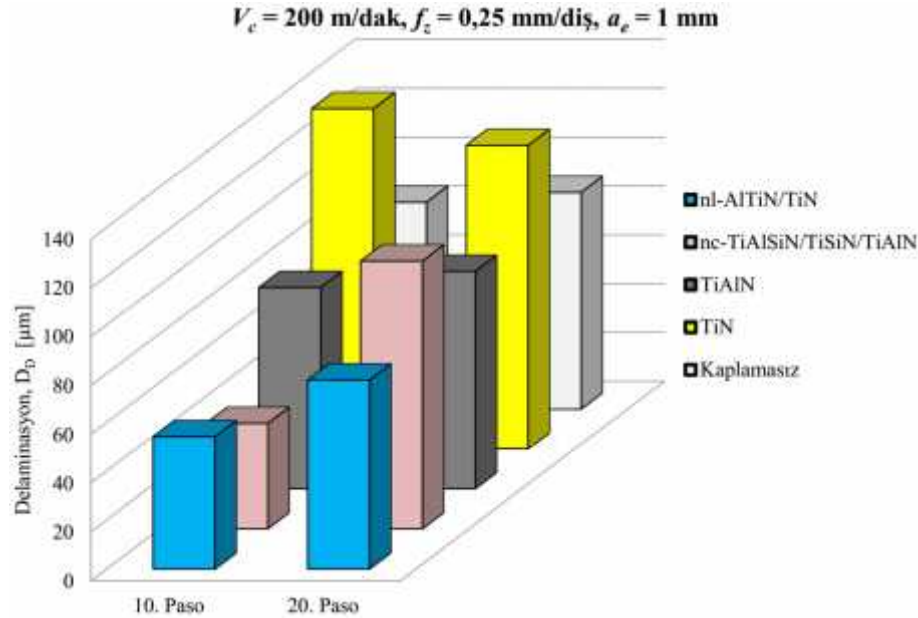
ekil 72: $V_c = 200 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,15 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i.



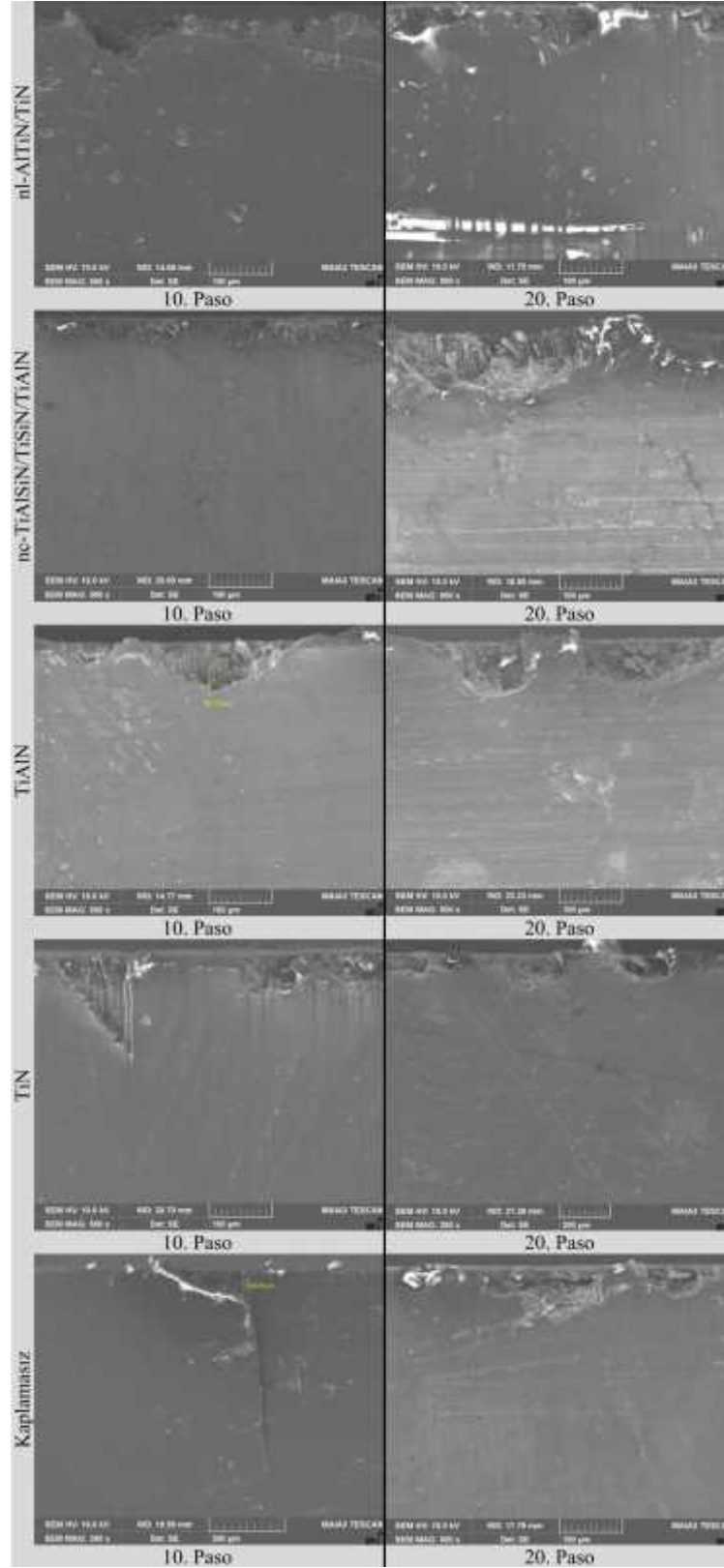
ekil 73: $V_c = 100$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.6 $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 74 ve ekil 75'de verilmi tir. 200 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. TiN kaplamalı kesici takım hariç di er kesici takımlarda artan paso sayısına ba lı olarak D_D de erlerinde artı oldu u gözlenmi tir. CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde D_D de erleri ilerleme oranının artı na ba lı olarak artmakta ve en etkin i leme parametresi olmaktadır (Sheth vd., 2015). TiN kaplamalı kesici takımın artan paso sayısına ba lı olarak azalmasının nedeni, kaldırılan tala miktarına ba lı olarak matris ve fiber malzemenin düzgün bir ekilde kesilmesi için yeterli bir kenar keskinli i seviyesinin gerekli olmasıyla açıklanabilir (Sheikh-Ahmad vd., 2012). CFRP kompozit malzemenin 200 m/dak kesme hızı 0,25 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 43,250 μm ile nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla tespit edilmi tir.



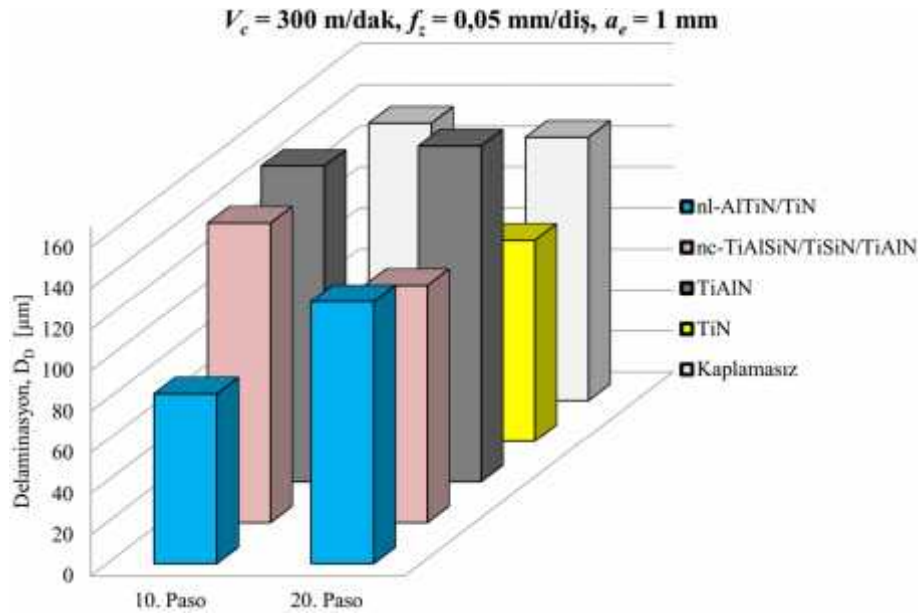
ekil 74: $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i.



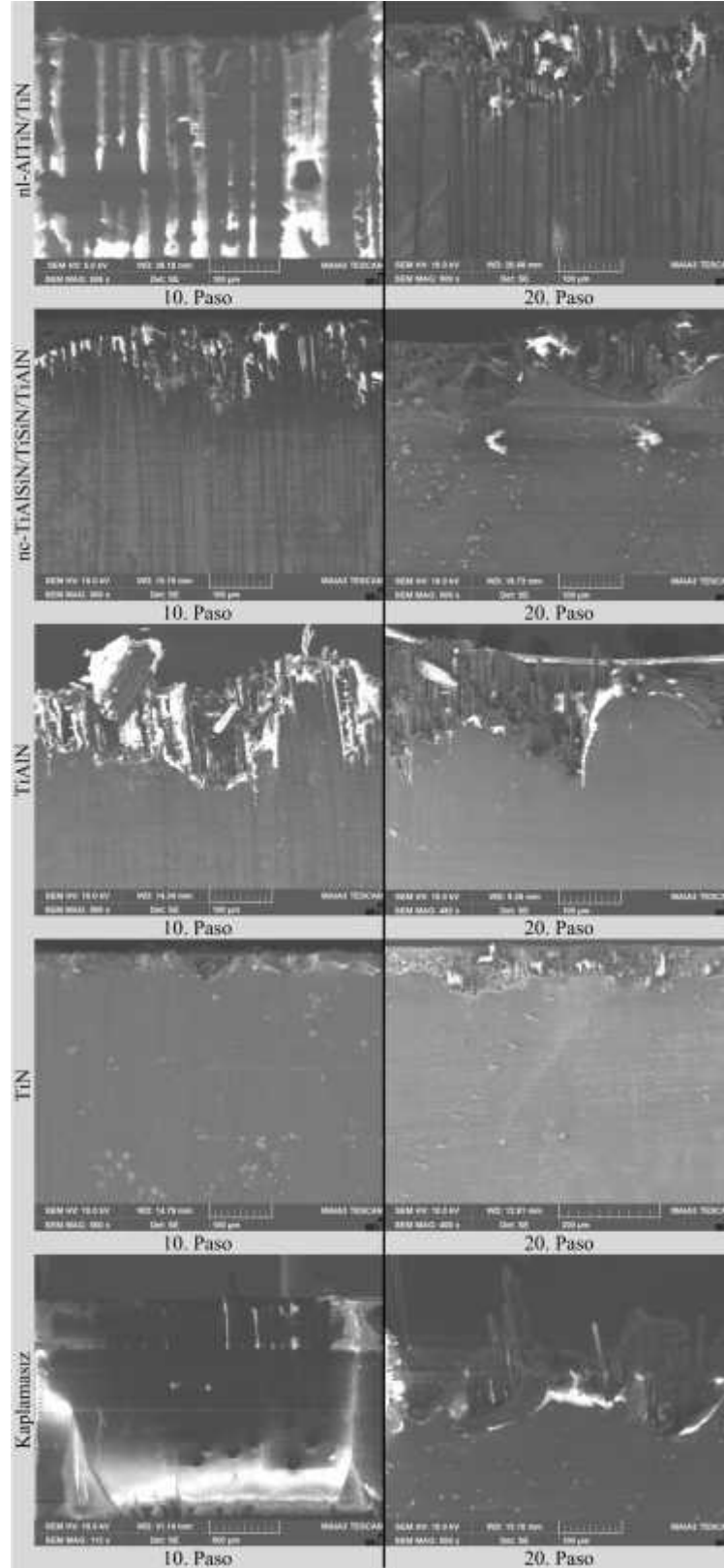
ekil 75: $V_c = 200$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.7 $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 76 ve ekil 77'de verilmi tir. 300 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde artan paso sayısına ba lı olarak tüm kesici takımlarda D_D de erlerinde dalgalanmalar gözlenmektedir. Bu dalgalanmaların olu umunda CFRP kompozit malzemenin a ındırıcı yapısı ve kesme kuvvetlerinden dolayı meydana gelen titre im etkili olmaktadır (Sheikh-Ahmad, 2009). CFRP kompozit malzemenin 300 m/dak kesme hızı 0,05 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 40,550 μm ile TiN kaplamalı kesici takımla tespit edilmi tir.



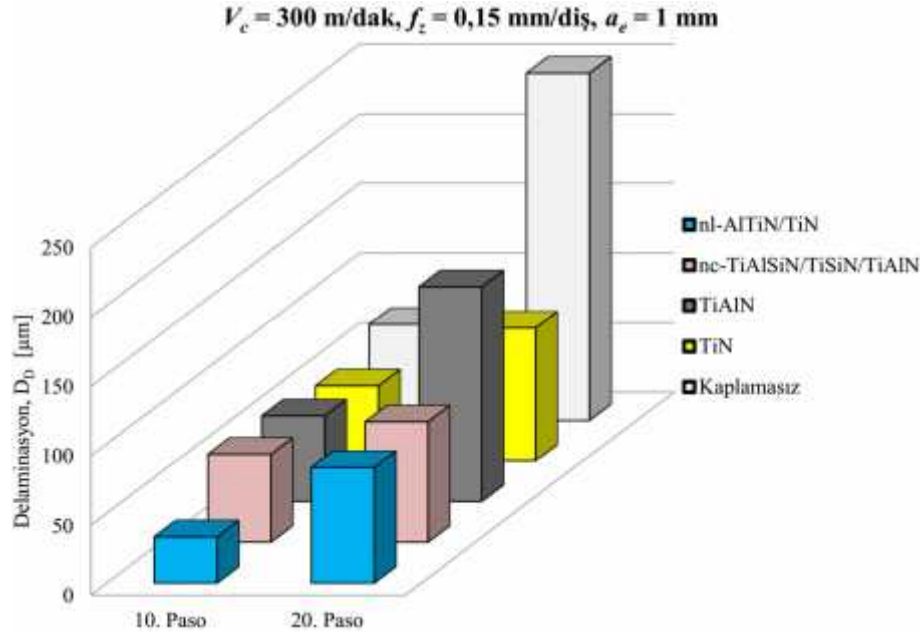
ekil 76: $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i.



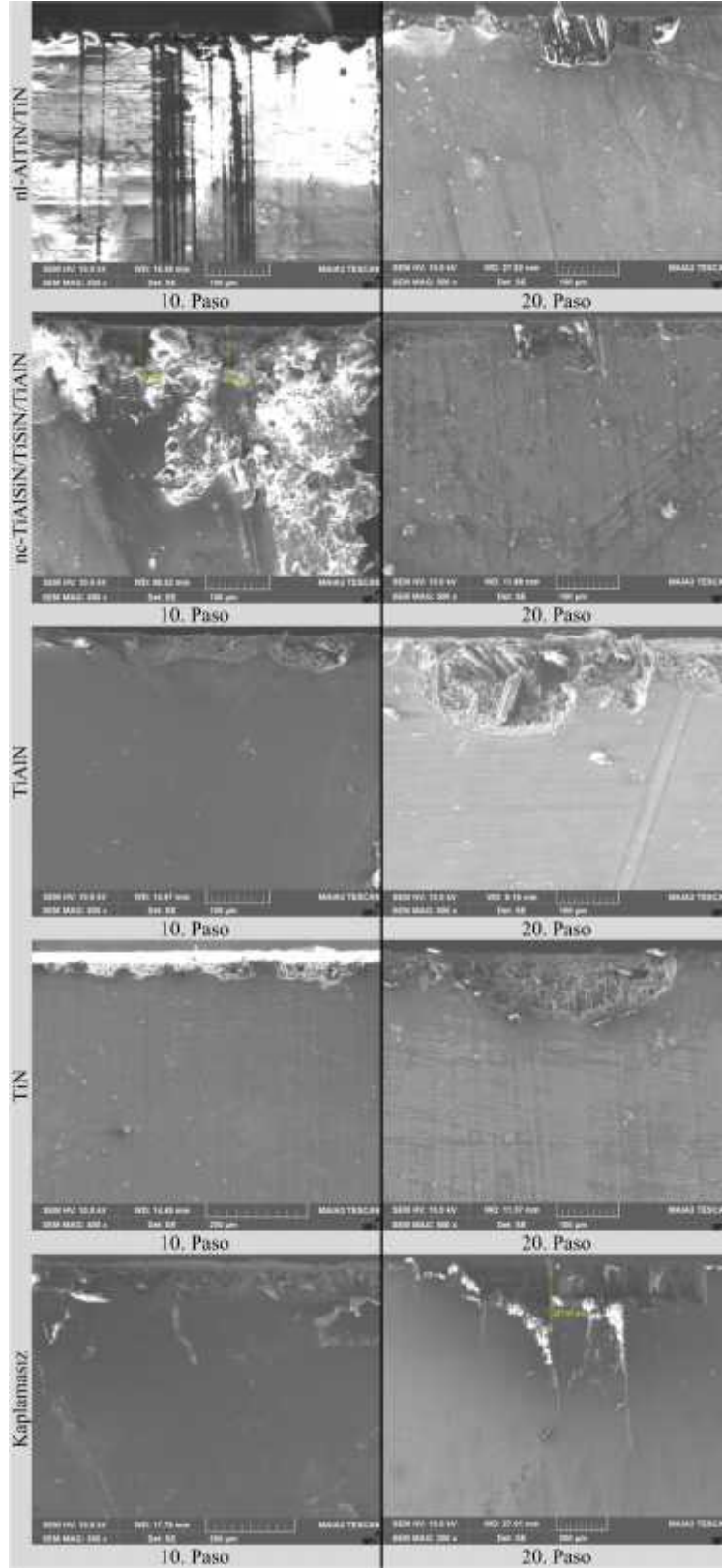
ekil 77: $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,05$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.8 $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 78 ve ekil 79'da verilmi tir. 300 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. Kesme hızının ve ilerleme oranının artmasıyla tüm kaplamalı kesici takımlarla i lenen i parçasındaki D_D de erlerinin hem dü ük olması hem de birbirleriyle benzerlik göstermesi CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde ideal kesme ko ullarının olumlu etkisini belirtmektedir. CFRP kompozit malzemenin yüksek kesme hızlarında i lenmesiyle daha iyi bir performans elde edilmi tir. Kesme hızının yüksek düzeyde tutulmasıyla fiberlerinin daha kolay kesilebilece i anla ılmı tır (Qin vd., 2014; Roy vd., 2014; Wei vd., 2015). CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde artan paso sayısına ba lı olarak kaplamasız kesici takımlarda D_D de erlerinin artı gösterdi i tespit edilmi tir. Kaplamasız kesici takımla onuncu paso sonunda elde edilen D_D de eri 69,210 μm olarak ölçülmü ve artan paso sayısına ba lı olarak yirminci paso sonucu 249,410 μm olarak elde edilmi tir. Kaplamasız kesici takımın paso sayısının % 100 artmasıyla elde edilen D_D de eri % 260,4 seviyesinde yüksek bulunmu tur. Kaplamasız kesici takımla 300 m/dak kesme hızı 0,15 mm/di ilerleme oranında frezelenmesi sonucu kesme kuvveti de erleri paso sayısına ba lı olarak artmı tır (ekil 47). ekil 63'deki takım a nma grafikleri incelendi inde; kaplamalı takımlara göre kaplamasız kesici takımlarla daha yüksek a nma de erleri elde edilmi tir. Delaminasyon, i leme hassasiyeti ve yüzey kalitesi do rudan takım a nmasıyla ilgilidir. Karbon fiberlerin mekanik direnci en çok takım a nmasından sorumlu olmaktadır (Slamani vd., 2015). CFRP kompozit malzemenin 300 m/dak kesme hızı 0,15 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 32,960 μm ile nl-AlTiN/TiN kesici takımla tespit edilmi tir.



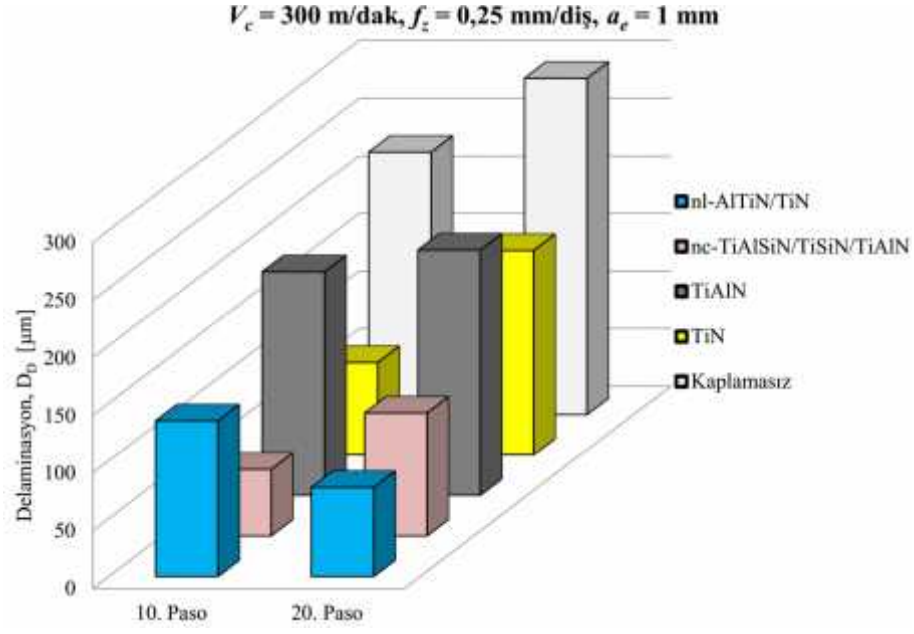
ekil 78: $V_c = 300 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,15 \text{ mm/di}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemedeki meydana gelen D_D de ği ği mi grafi ği .



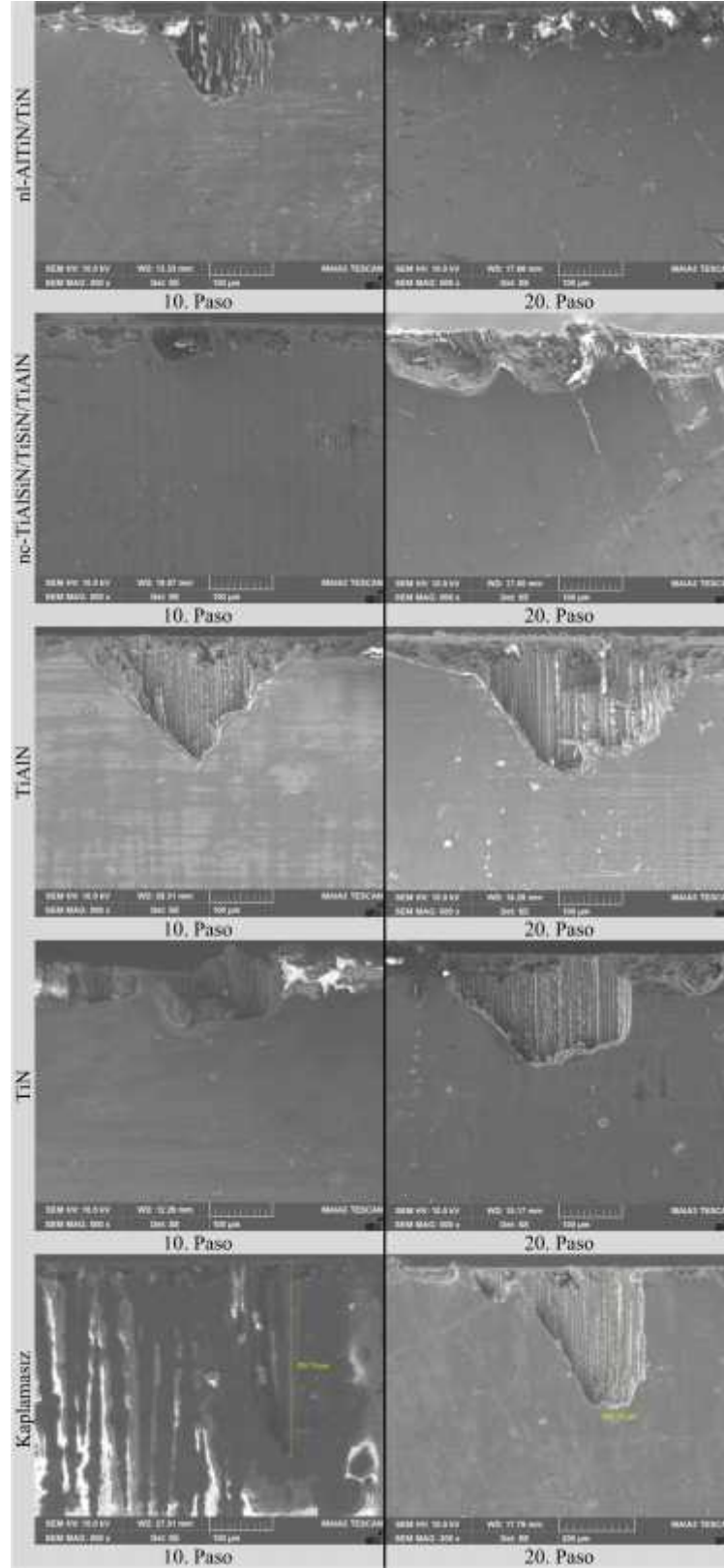
ekil 79: $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,15$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

5.5.9 $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D 'indeki de i im

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi sonucu kesme uzunlu una ba lı olarak elde edilen D_D de erleri de i im grafikleri ve SEM görüntüleri ekil 80 ve ekil 81'de verilmi tir. 300 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/di ilerleme oranı ve 1 mm kesme geni li inde elde edilen D_D de erleri onuncu ve yirminci pasolar verileridir. 300 m/dak kesme hızı 0,25 mm/di ilerleme oranında elde edilen D_D de erlerinde paso sayısına ba lı olarak kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarda artı tespit edilmi tir. nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımla elde edilen D_D de eri yirminci pasoda daha dü ük belirlenmi ve paso sayısına ba lı olarak di er takımlara nazaran D_D de erinde daha iyi performans sergilemi tir. Dayanıklılık ve mükemmel yapı ma mukavemetiyle karakterize edilmi nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımlar i lenmesi zor ve sert malzemeler için uygun olmaktadır (Klocke vd., 2008). Kesme hızının, ilerleme oranının ve titre imin artmasıyla paso sayısına ba lı olarak kaplamasız kesici takımında en yüksek D_D de erleri (227,91 ve 291,74 μm) elde edilmi tir. Yüksek kesme ko ulları kaplamasız kesici takımın keskin kenarında yuvarlatma etkisi olu turarak kesme kenarını parlatmı ve kütle tirmi tir (Khairusshima ve Sharifah, 2017). CFRP kompozit malzemenin 300 m/dak kesme hızı 0,25 ilerleme oranı i leme parametrelerinde elde edilen en dü ük D_D de eri 57,360 μm ile nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla tespit edilmi tir.



ekil 80: $V_c = 300 \text{ m/dak}$ kesme hızı, $f_z = 0,25 \text{ mm/diş}$ ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D de i im grafi i.



ekil 81: $V_c = 300$ m/dak kesme hızı, $f_z = 0,25$ mm/di ilerleme oranında kesme uzunlu una ba lı olarak CFRP kompozit malzemede meydana gelen D_D SEM görüntüleri.

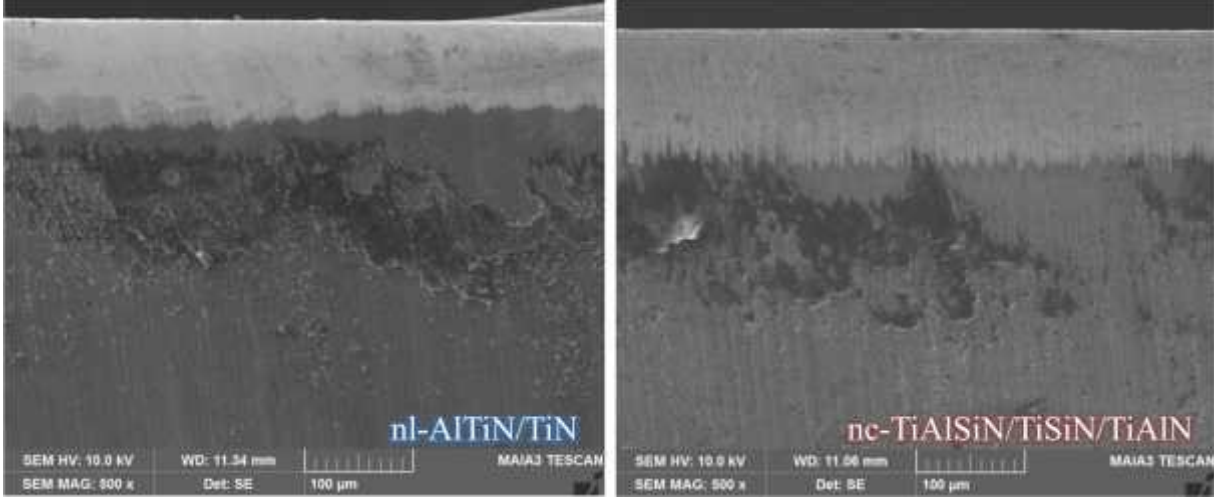
5.5.10 CFRP kompozit Malzemede Delaminasyon Derinli i Bulgularının Genel De erlendirilmesi

CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız takımlarla, üç farklı kesme hızı (100, 200 ve 300 m/dak), üç farklı ilerleme oranı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ve 1 mm kesme geni li inde çevresel frezelenmesi esnasında elde edilen D_D de erleri de erlendirildi inde; en dü ük D_D de eri 12,990 μm ile nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN takımla, 200 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/di ilerleme oranında ula ılmı tır. En yüksek D_D de eri 291,740 μm ile kaplamasız kesici takımla 300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranında elde edilmi tir. Kaplamasız kesici takımla ula ılan en yüksek D_D de erinin elde edilmesine ra men kabul edilebilirlik sınırının altında tespit edilmi tir.

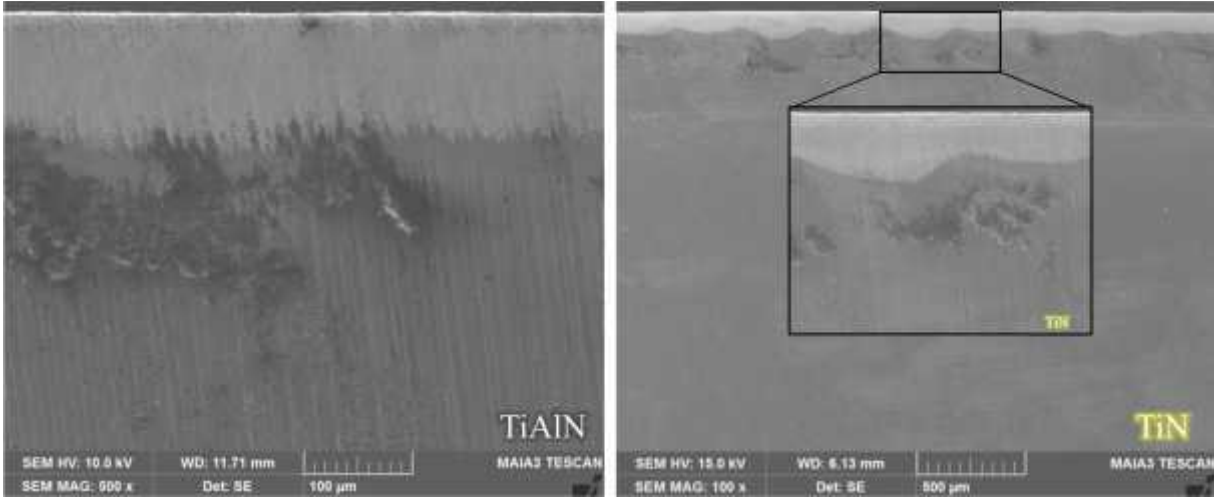
CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız takımlarla elde edilen D_D de eri kesme hızına ba lı olarak de erlendirildi inde; en iyi performanslar 300 m/dak kesme hızında tespit edilmi tir. ilerleme oranına ba lı olarak ise tüm takımlarla 0,15 mm/di ilerleme oranında en dü ük D_D de erlerine ula ılmı tır. Ancak TiAlN kaplamalı kesici takımla 0,25 mm/di ilerleme oranında 0,05 ve 0,15 mm/di ilerleme oranlarından daha iyi sonuçlar tespit edilmi tir. Artan ilerleme oranı yüksek D_D de eri elde edilen TiAlN kaplamalı kesici takımda olumlu sonuçlar elde edilmesine olanak sa lamı tır. Takım a ınması sonuçlarına göre TiAlN kaplamalı kesici takımla 0,25 mm/di ilerleme oranlarında daha dü ük yatak a ınması tespit edilmi tir (ekil 61, ekil 62 ve ekil 63).

CFRP kompozit malzemenin D_D de erlerini daha iyi analiz etmek için nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN ve TiN kaplamalı kesici takımların a ınmı bölge ile kaplama tabakası geçi ara yüzey SEM görüntüleri incelenecek olunursa bu geçi bölgelerinin farklı profillerdeki ekillerde olu tu u tespit edilmi tir (ekil 82 ve ekil 83). TiAlN'de bu bölgede olu an di ekindeki profilin geni li inin 20 ve 25 μm olarak meydana geldi i görülürken nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN'de bu de erin de i im gösterdi i bazı bölgelerde daha da inceldi i ve uç kısımlarının sivrili i görülmü tür. nl-AlTiN/TiN kaplamalı takımda ise çok daha yuvarlak formda bu bölgenin olu tu u görülmektedir. Birçok parametre ile birlikte kesme i leminde etkin bir rol oynayan bu geçi bölgelerinin yüzey pürüzlülü ü üzerinde etkisi oldu u

dü ünülmektedir. TiN kaplamalı kesici takımın arayüzey profilinde di er takımlardan farklı olarak kaplama tabakasındaki a nmanın büyük ve dalgalı bir ekilde oldu u ancak bu bölgedeki girinti tabakalarının çok daha ince oldu u kaplama tabakasının kalınlı ından ve en dü ük adhezyon'a sahip olmasından kaynakladı ı dü ünülmektedir.



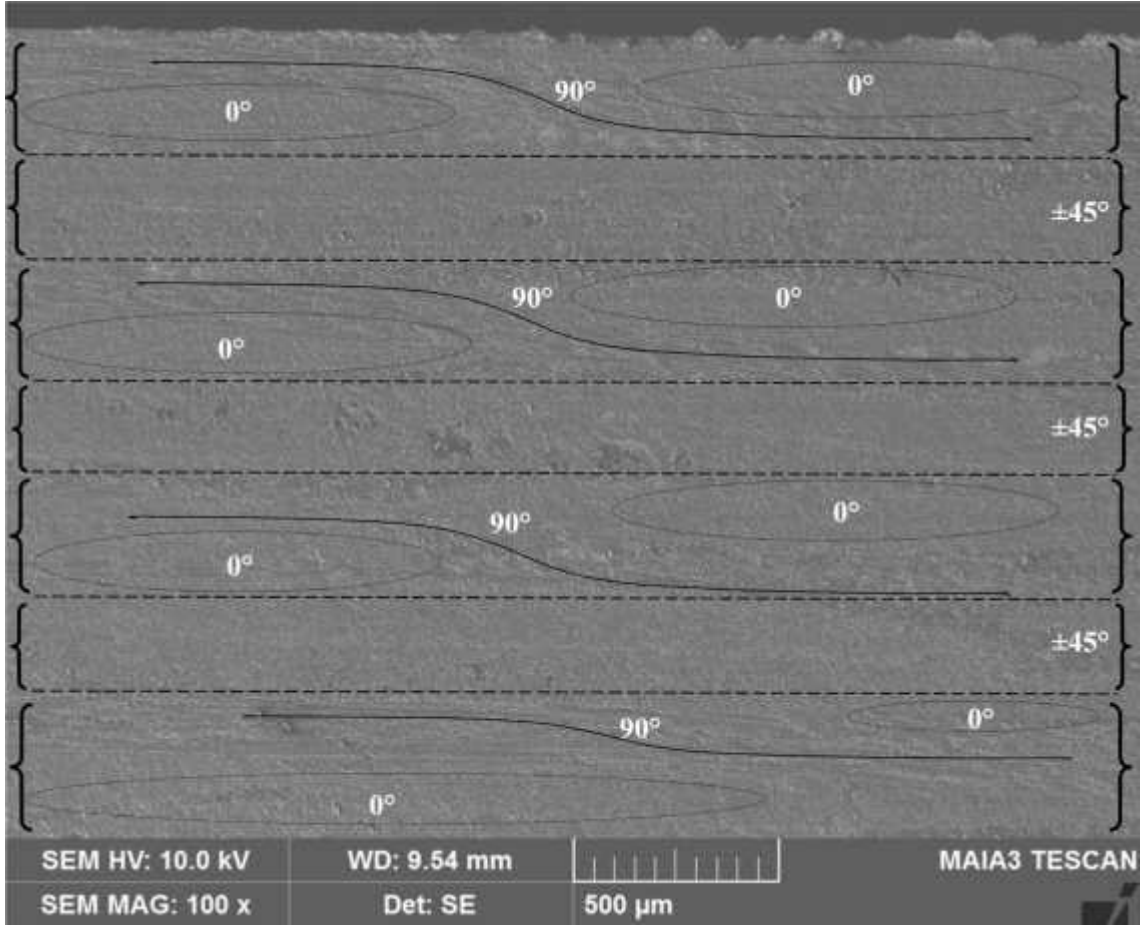
ekil 82: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di ve $a_e = 1$ mm'deki SEM görüntüleri.



ekil 83: $V_c = 100$ m/dak, $f_z = 0,05$ mm/di , $a_e = 1$ mm'deki SEM görüntüleri.

5.6 CFRP Kompozit Malzemede Fiber Oryantasyon Açılı Bulguları

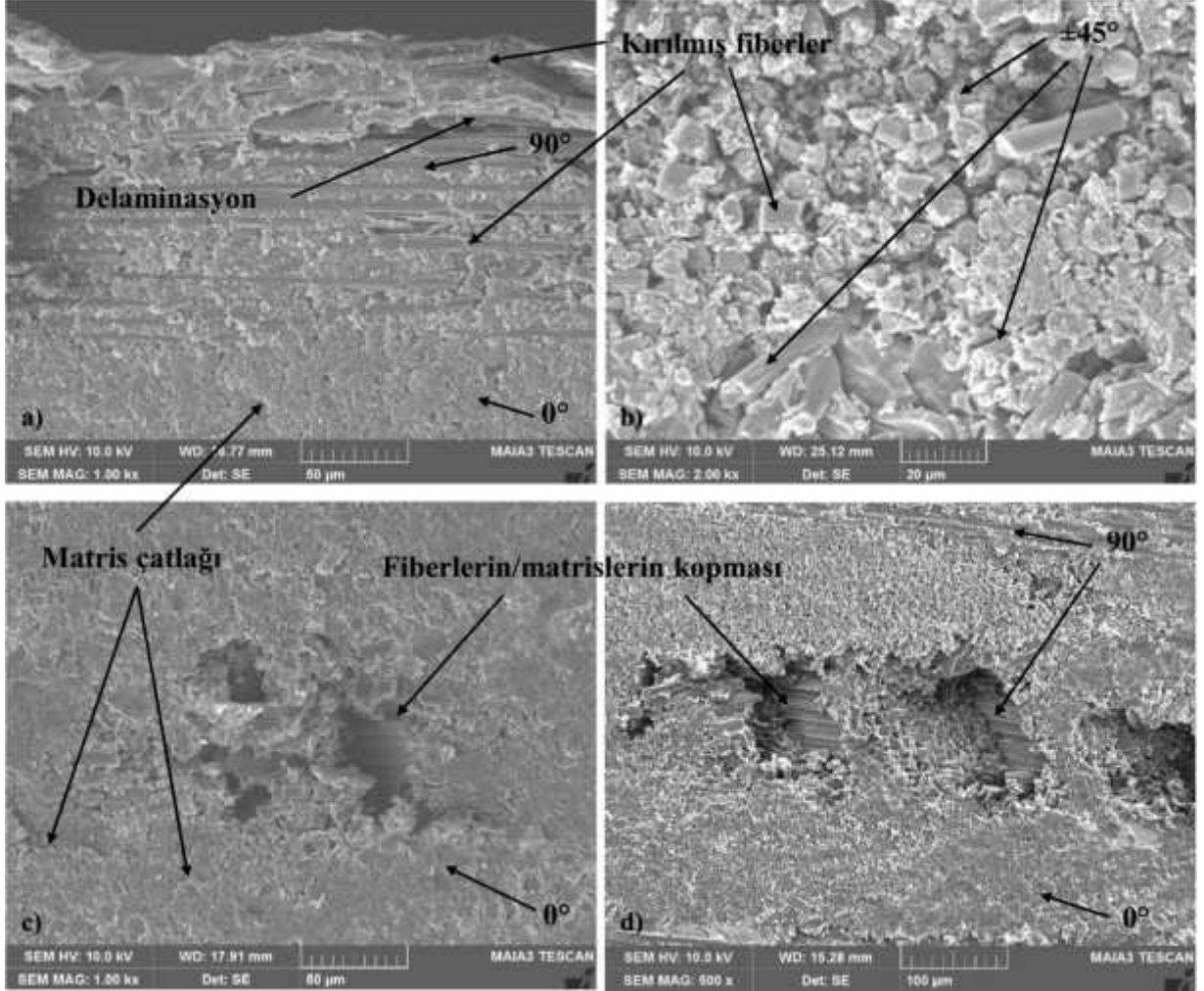
CFRP kompozit malzemelerin aındırıcı özelli i ve dü ük ısı iletim katsayısından dolayı i lenebilirlikleri dü üktür (Karpaz ve Polat, 2013). i leme sırasında delaminasyon, takım a nması, fiber ayrılması, yüksek yüzey pürüzlülü ü, fiber kırılması ve kesilmemi fiberler gibi problemler meydana gelmektedir (Lin ve Chen, 1996; Davim ve Reis, 2003; Wang ve Zhang, 2003; Abrao vd., 2007; Krishnamoorthy vd., 2011; Miškovi ve Koboevi , 2011). Belirtilen i leme problemleri, kesici takım geometrisinin ve malzemesinin uygun seçilmesi ile a labilmektedir. CFRP kompozit malzemelerin keskin bir kesici takımla i lenmesi gerekmekte, aksi takdirde, i leme kalitesini dü ürerek tabakaların ayrılmasına neden olmaktadır. Kesme i lemi yerine malzemeyi tam kesmemesi durumunda, CFRP kompozit malzemede çatlamalara ve fiberlerin ayrılmalarına sebep olabilmektedir (Bhatnagar vd., 1995). Keskin bir kenara sahip takım, do ru bir geometri seçimi ve do ru i leme verilerinin kullanılması ile takımın olu turdu u basınçların azalmasıyla hassas bir i lem gerçekte tirilebilmektedir. Ancak, bu malzemelerin i lenmesinde uygun kesici takımların yanı sıra bu malzemelerin yapı bile enlerinin de iyi bilinmesi gerekmektedir. Matris ve fiber takviyelerinden olu an CFRP kompozit malzemede fiber takviyeleri, son derece sert, güçlü ve hafif olup mükemmel yapı malzemeleri olu turmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu malzemelerin sertli i ve mukavemeti uygun bir ekilde tasarlanan ve optimum mekanik özellikler sa layan fiber oryantasyon açılına ba lı olmaktadır (Liu vd., 2012; Zenia vd., 2015; Maegawa vd., 2016). ekil 84'de CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi esnasında olu an fiber oryantasyon açılı verilmis tir. Havacılık endüstrisinde kullanılan i parçası malzemesi, twill dokuma yapısından dolayı ilk katta 0°-90° ve ikinci katta ±45° fiber oryantasyonları sırasıyla i parçası kalınlı na göre devam etmektedir. Böylece kullanılan i parçasına sertlik ve mukavemet sa layarak kesme i lemlerini yüksek hızlarda daha da kolayla tırması tir. Ancak bu durumun aksine dü ük kesme hızlarında 0° ve ±45° foa'ları malzemenin i lenmesi sırasında hem kesici takımlarda hem de i parçasında hasarlara neden olmu tur (El-Hofy vd., 2011). 90° foa'larında i parçası yüzeyinde daha az hasarsız yüzeyler elde edilerek yüksek ve dü ük kesme hızlarında herhangi bir sorun ile kar ıla lılmamı tir (Kusuyama vd., 2014). Enine ve dikine yerle tirilmi kuma yönleri olmasından dolayı bu foa'larında istenilen yüzey kaliteleri yapılan testlerde elde edilmi tir.



ekil 84: CFRP kompozit malzemede foa'larının gösterimi.

CFRP kompozit malzeme foa'ları incelemelerinin daha iyi gözlenmesi için daha iyi çözünürlüklü SEM görüntüleri ekil 85'de verilmiştir. CFRP kompozit malzemenin anizotropik (anisotropic), homojen olmayan (inhomogeneous) ve plastik deformasyona uğramayan yapılarından dolayı frezeleme işlemi esnasında hasarlarla karşılaşmaktadır (Teti, 2002; Mallick, 2007; Dandekar ve Shin, 2012; Karpuz vd., 2012; Koboevi vd., 2012; Uusitalo, 2013; Kiliçkap vd., 2015). En yaygın olarak görülen ve bilinen; tabaka içi veya katmanlar arası hasar olan delaminasyon ekil 85a'da görülmektedir. Delaminasyonun buradaki oluşması üst taraftaki parçasını destekleyecek herhangi bir tabaka olmamasından ve kesme işlemi sırasında titreşimin meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır (Hintze vd., 2011; Hintze vd., 2015; Wang vd., 2016). Çevresel frezeleme işlemi esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ekil 85b'deki $\pm 45^\circ$ foa'ında kırılmı fiberlere neden olmaktadır (Chen vd., 2013; Hagino ve Inoue, 2013; Haddad vd., 2014;

Wang vd., 2016). Kesme kuvvetleri, i parçası yüzey pürüzlülü ü ve takım a ınması fiber/matris kopmasına neden olmu tur (ekil 85c ve ekil 85d).



ekil 85: CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi esnasında olu an hasarların gösterimi; a) 90° foa'da, b) ±45° foa'da, c) 0° foa'da ve d) 0°-90° foa'larında.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte mükemmel özelliklere sahip ileri kompozit malzemeler sınıfından olan CFRP kompozit malzemelerin kullanım alanları ülkemizde ve dünyada gittikçe yaygınlaşmaktadır. Günümüzde özellikle uzay ve havacılık, otomotiv, denizcilik ve demiryolu taşımacılığı gibi endüstriyel sanayi alanlarının birçoğunda tercih edilmektedir. CFRP kompozit malzeme ile üretilen ürünlerin dayanıklılık ve hafiflik gibi özellikleri avantajlarının yanında kullanımlarında üretim yöntemlerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Yüksek termal iletkenlikleri, aşındırıcı ve aşırı sert yapıları nedeniyle CFRP kompozit malzeme grupları arasında yer almaktadır. Üretilen parçaların yüzey kalitesinin montaj durumlarını etkilemesinden dolayı CFRP kompozit malzemelerin frezeleme işleminde yüzey kalitesi önemli bir husustur. Frezeleme işlemi sırasında meydana gelen hızlı takım aşınması sık sık kesici takım değişimi ihtiyacına sebep olmakta ve üretimin yavaşlamasına ve buna bağlı olarak da maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı, CFRP kompozit malzemelerin işlenmesinde kullanılan takım aşınması miktarının azaltılması ve/veya takım ömrünün artırılması araştırmacılar tarafından güncel olarak üzerinde çalışılan konular arasında yer almaktadır.

Detaylı yapılan araştırmalardaki bulgulardan yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, kaplamasız karbür kesici takım, PVD kaplamalı TiAlN/TiN , $\text{TiAlSiN/TiSiN/TiAlN}$, TiAlN ve TiN kesici takımların, CFRP kompozit malzemenin işlenebilirliğine etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde en ideal kesici takım, kesme hızı ve ilerleme oranı elde edilmeye çalışılmıştır. Çevresel frezeleme işlemleri sonucunda elde edilen iş parçası malzeme yüzeyinde özellikle uzay ve havacılık endüstrisi için önemli bir parametre olan ortalama yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon değerleriyle birlikte kesme kuvvetleri ve takım aşınması miktarları değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

CFRP kompozit malzemenin farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı çevresel frezelenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde ilerleme oranının değişimine göre elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre tüm kesici takımlardaki (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN, TiN ve kaplamasız kesici takım) en düşük yüzey pürüzlülük değerlerine 0,05 mm/di ilerleme oranında ulaşılmıştır.
- Kesme hızının değişimine göre CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde takım türüne göre kesme hızı değerlerinin değişim gösterdiği saptanmıştır. TiN kaplamalı kesici takımlarla en düşük ortalama yüzey pürüzlülüklerine 100 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır. TiAlN kaplamalı kesici takımlarla en düşük yüzey pürüzlülüklerine 200 m/dak kesme hızında ve nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımlarla ise 300 m/dak kesme hızında en düşük yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır.
- Nano yapılı kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde optimum ilerleme parametreleri, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla; 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranında ve nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla 300 m/dak, 0,05 mm/di ilerleme oranı ilerleme parametrelerinde ulaşılmıştır.
- Konvansiyonel kaplamalı kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde optimum ilerleme parametreleri, TiAlN kaplamalı kesici takımla 200 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranında ve TiN kaplamalı kesici takımla 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranı ilerleme parametrelerinde ulaşılmıştır.
- Kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesinde optimum ilerleme parametreleri ise 300 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/di ilerleme oranı parametrelerinde ulaşılmıştır.
- CFRP kompozit malzemenin çevresel frezelenmesi sonucu ilerleme oranına ve paso sayısına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı tüm kesici takımlarla uygulanan deneylerde tespit edilmiştir. Kesme hızının artmasına bağlı

olarak CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü de erlerinde iyileşme sağlanmıştır. CFRP kompozit malzemenin kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla çevresel frezelenmesi esnasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüklerine etki eden en etkili parametre ilerleme oranı olarak belirlenmiştir.

CFRP kompozit malzemenin farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı çevresel frezelenmesinde elde edilen kesme kuvveti sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde ilerleme oranının değişimine göre elde edilen kesme kuvveti sonuçlarına göre tüm kesici takımlardaki (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN, TiN ve kaplamasız kesici takım) en düşük kesme kuvveti değerlerine 0,05 mm/di ilerleme oranında ulaşılmıştır.
- Kesme hızının değişimine göre CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde elde edilen kesme kuvveti değerlendirildiğinde; en düşük kesme kuvveti değerlerine düşük ilerleme süresinden dolayı 300 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır.
- Nano kaplamalı kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde ölçülen kesme kuvvetleri konvansiyonel kaplamalı kesici takımlara göre ölçülen kesme kuvvetlerinden daha düşük değerlere sahiptir.
- Kaplamasız kesici takımlarla CFRP kompozit malzemenin frezelenmesindeki kesme kuvvetlerinin etkisi değerlendirildiğinde; en yüksek kesme kuvveti değeri 562,590 N ile 100 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranı olarak belirlenmiştir.
- CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi esnasında ölçülen kesme kuvvetlerini etkileyen en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu görülmüştür.

CFRP kompozit malzemenin farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı çevresel frezelenmesinde elde edilen takım aşınma sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- Kaplamalı ve kaplamasız kesici takımların aşınma görüntüleri incelendiğinde CFRP kompozit malzemenin aşındırıcı yapısından dolayı frezelenmesinde yanak aşınmasının tüm kesici takımlarda olduğu tespit edilmiştir.

- CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde ilerleme oranının de i imine göre elde edilen takım a ınması sonuçlarına göre tüm kesici takım türlerinde en dü ük takım a ınmalarına 0,25 mm/di ilerleme oranında ula ılmı tır.
- Kesme hızının de i imine göre CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde elde edilen takım a ınma miktarları de erlendirildi inde; 300 m/dak kesme hızlarında en dü ük takım a ınması de erlerinin elde edildi i görülmü tür.
- CFRP kompozit malzemesinin nano yapılı kesici takımlarla frezelenmesinde en dü ük takım a ınma verileri nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN kaplamalı kesici takımla 300 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/di ilerleme oranında 42,140 µm'dir. nl-AlTiN/TiN kaplamalı kesici takımla 300 m/dak kesme hızı, 0,25 mm/di ilerleme oranında 45,430 µm olarak tespit edilmi tir.
- Kesici takımların a ınma görüntüleri incelendi inde 300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/di ilerleme oranı i leme ko ullarında en dü ük takım a ınma de erlerine ula ıldı ı tespit edilmi tir. Kaplamasız kesici takımlarla kaplamasız kesici takımlar kar ıla tırıldı ında çok daha yüksek takım a ınma de erlerinin elde edildi i görülmü tür.

CFRP kompozit malzemenin farklı kesici takım, ilerleme oranı ve kesme hızı çevresel frezelenmesinde elde edilen delaminasyon derinli i sonuçları a a ıda özetlenmi tir;

- CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde elde edilen delaminasyon derinli i görüntüleri de erlendi inde; kesici takımlarla elde edilen delaminasyon de erleri CFRP kompozit malzemenin a ındırıcı yapısından ve/veya heterojen yapıya sahip olmasından ötürü farklı delaminasyon derinli i de erleri elde edilmi tir.
- Delaminasyon derinli inin takım türüne göre de i imleri de erlendirildi inde; TiAlN kesici takımla farklı (100, 200 ve 300 m/dak) kesme hızları ve farklı (0,05-0,15 ve 0,25 mm/di) ilerleme oranlarında CFRP kompozit malzemenin frezelenmesi sonucu elde edilen delaminasyon derinli i de erlerinin paso sayısının artı ına ba lı olarak artı gösterdi i tespit edilmi tir. Tüm kesici takımlar arasında en dü ük delaminasyon derinli i miktarı, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN takımla 200 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/di ilerleme

oranında 12,990 µm olarak tespit edilmiştir. Kaplamasız kesici takım ile elde edilen delaminasyon derinliği değerlerinde; en düşük delaminasyon derinliği 23,260 µm ile 100 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/dak ilerleme oranı parametrelerinde tespit edilmiştir. Tüm kesici takımlar arasında elde edilen en yüksek delaminasyon derinliği ise 300 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm/dak ilerleme oranı ile kaplamasız kesici takımlarla elde edilmiştir.

- CFRP kompozit malzemenin delaminasyon görüntüleri incelendiğinde, i parçasında meydana gelen hasar mekanizmalarında; delaminasyon derinliği ile birlikte kırılmış fiberler, matris çatlakları ve fiber/matris kopmaları gibi olumsuzluklarda frezeleme esnasında tespit edilmiştir. Oluşan hasarlar kesici takımların temas yüzeyine dikey konumda ilerlemelerinden dolayı ve 0° fiber oryantasyon açısında meydana gelmiştir. Bununla birlikte, çapraz konumda istiflendiklerinden dolayı ± 45° fiber oryantasyon açılarında da hasar olumsuzlukları tespit edilmiştir. Paralel yönde istiflenmelerinden dolayı 90° fiber oryantasyon açılarında belirgin bir hasar oluşumları gözlemlenmiştir.

CFRP kompozit malzemenin ilerlenebilirliğinin artırılmasında kullanılan kaplamalı (nl-AlTiN/TiN, nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, TiAlN, TiN) ve kaplamasız kesici takımların, çevresel frezeleme ilerleminde karbür kesici takımların kullanımını artırmayı ve imalat maliyetlerini düşürmeyi hedefleyen gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, deneylerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi amacıyla elde edilen veriler esas alınarak, gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- CFRP kompozit malzemenin frezelenmesinde, kesici takımlara yeni tip kaplamaların uygulanması ve/veya farklı tür ve geometrideki kesici takımların kullanılabilirliğinin artırılması,
- Farklı fiber oryantasyon açılarındaki CFRP kompozit malzemelerin ilerlenebilirliği artırılabilir,
- Vakum torbalama yöntemi ile imal edilen i parçasının otoklav yöntemi kullanılarak imal edilip ilerlenebilirlik açısından değerlendirilmesi gerçekleştirilebilir,

- $n\text{-AlTiN/TiN}$ ve $nc\text{-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN}$ kaplamalı karbür kesici takımlara kriyojenik işlem uygulayarak CFRP kompozit malzemenin kesme ve aşınma performansları incelenebilir,
- Vorteks tüpü uygulaması ile hem karbür takımlar hem de CFRP kompozit malzemelere frezeleme işlemi uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Abdul, R.E., Mohid, Z., Hamzah, M., Yusuf, A. ve Rahman, N. (2014). Performance of tools design when helical milling on carbon fiber reinforced plastics (CFRP) aluminum (Al) stack. *Applied Mechanics and Materials*, 465: 1075-1079.
- Abrao, A.M., Faria, P.E., Rubio, J.C.C., Reis, P. ve Davim, J.P. (2007). Drilling of fiber reinforced plastics: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3): 1-7.
- Ahmed, H., Seetha, R.N.ve Hussain, M.M. (2015). Experimental Investigation of Surface Integrity of End milled CFRP Composites. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 5(1): 141-145.
- Altın, A., Gökkaya, H. ve Nalbant, M. (2006). I leme Parametrelerinden Kesme Hızının Inconel 718 Süper Ala imin I lenebilirli ine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3).
- Altınkaya, E. ve Güllü, A. (2008). AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeli in lenmesinde Tala Kırıcı Formunun Takım A ınmasına ve Yüzey Pürüzlülü üne Etkisi. *Politeknik dergisi*, 11(1).
- Anan, R., Matsuoka, H., Ono H., Ryu, T., Nakae, T., Shuto, S., Watanabe, S. ve Sato, Y. (2017). A study examining the effects of water-miscible cutting fluids for end milling process of carbon fiber reinforced plastic. *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing.
- Aydın, M., Uçar, M. ve Cengiz, A. (2010). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeli in Kuru Tornalanabilmesine Kesme Parametrelerinin Etkisi. *II. Ulusal Tasarım malat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir: 85-94.
- Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S.K. ve Krishnamurthy, R. (2006). The effect of vibratory drilling on hole quality in polymeric composites. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(3-4): 252-259.
- Asthana, R., Kumar, A. ve Dahotre, N.B. (2005). *Materials Processing and Manufacturing Science*, Elsevier Science & Technology Books.
- Ashby, M.F. ve Jones, D.R. (2005). *Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design*.
- Askeland, D.R., Haddleton, F., Green, P. ve Robertson, H. (1996). *The Science and Engineering of Material*.
- Asker, E., Genç, H., Meriç, G., Saraço lu, M., Sürücü, A., Topal, G., Toy, M. ve Yılmaz, H. (2014). *Genel Kimya - 4*, Ankara, Pegem Akademi Yayıncılık.

- Aviation Maintenance Technician Handbook (2012). Airframe, USA.
- Barshilia, H.C., Prakash, M.S., Jain, A. ve Rajam, K.S. (2005). Structure, hardness and thermal stability of TiAlN and nanolayered TiAlN/CrN multilayer films. *Vacuum*, 77(2): 169-179.
- Berthelot, J.M. (1999). *Composite Materials : Mechanical Behavior and Structural Analysis*, New York, Springer.
- Bhogal, S.S., Sindhu, C., Dhama, S.S. ve Pabla, B. (2015). Minimization of surface roughness and tool vibration in CNC milling operation. *Journal of Optimization*.
- Bouzid, S.W., Ben Salah, N.ve Lebrun, J.L. (2001). Influence of machining by finishing milling on surface characteristics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(3): 443-450.
- Brinksmeier, E. ve Janssen, R. (2002). Drilling of multi-layer composite materials consisting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP), titanium and aluminum alloys. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 51(1): 87-90.
- Buckley, J.D. ve Edie, D.D. (1993). *Carbon-Carbon Materials and Composites*. New Jersey, Noyes Publications.
- Burchell, T.D. (1999). *Carbon Materials for Advanced Technologies*, Pergamon.
- Chatelain, J. ve Zaghbani, I. (2012). Effect of tool geometry special features on cutting forces of multilayered CFRP laminates. *International Journal of Mechanics*, 6(1): 52-59.
- Chatelain, J.F., Zaghbani, I. ve Monier, J. (2012). Effect of ply orientation on roughness for the trimming process of CFRP laminates. *Optimization*, 419: 8600.
- Chawla, K.K. (2012). *Composite Materials : Science and Engineering*, London, Springer.
- Chen, W.C. (1996). Some Experimental Investigations in the Drilling of Carbon Fiber-Reinforced Plastic (CFRP) Composite Laminates.
- Chen, Y., Fu, Y., Su, H. ve Han, S. (2013). Influence of Mill Geometry on Cutting Force and Surface Morphology of Multidirectional CFRP.
- Chen, Y.H., Guruz, M., Chung, Y.W. ve Keer, L.M. (2002). Thermal stability of hard TiN/SiNx multilayer coatings with an equiaxed microstructure. *Surface & Coatings Technology*, 154(2-3): 162-166.
- Chinmaya, R.D. ve Shin, Y.C. (2012). Modeling of machining of composite materials : A review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*.
- Chung, D.D. (2010). *Composite materials: science and applications*. USA, Springer Science & Business Media.

- Chung, D.D.L. (1994). *Carbon Fiber Composites*. Washington, Butterworth-Heinemann.
- Cieciel g, K. ve Zaleski, K. (2013). Comparative study in the passive force and cutting torque in the milling process of polymer matrix composites and aluminum alloys. *Advances in Science and Technology Research Journal*,7(18): 6-12.
- Çakır, C. (2010). *Modern Tala lı malat Yöntemleri*. Bursa, Dora Yayıncılık.
- Çakır, M.C. (2006). *Modern Metal Cutting: Modern Tala lı malatın Esasları*. Ankara, Nobel Yayın Da ıtım.
- Çelik, A., Lazoglu, I., Kara A. ve Kara F. (2015). Investigation on the performance of SiAlON ceramic drills on aerospace grade CFRP composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 223: 39-47.
- Çelik, A., Lazoglu, I., Kara, A. ve Kara, F. (2015). Wear on SiAlON ceramic tools in drilling of aerospace grade CFRP composites. *Wear*, 338-339: 11-21.
- Çiftçi, . (2005). Östenitik Paslanmaz Çeliklerin lenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülü üne Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (2).
- Dandekar, C.R. ve Shin, Y.C. (2012). Modeling of machining of composite materials: A review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 57: 102-121.
- Daniel, I.M. ve Ishai, O. (2006). *Engineering mechanics of composite materials*. New York, Oxford University Press.
- Davim, J.P. ve Reis, P. (2003). Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave - experimental and statistical study. *Materials & Design*, 24(5): 315-324.
- Davim, J.P. ve Reis, P. (2003). Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite Structures*, 59(4): 481-487.
- Davim, J.P. ve Reis, P. (2005). Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 160(2): 160-167.
- Denkena, B., Boehnke, D. ve Dege, J.H. (2008). Helical milling of CFRP–titanium layer compounds. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*.
- De Lacalle, L.L., Lamikiz, A., Campa, F., Valdivielso A.F. ve Etxeberria, I. (2009). Desing and test of a multitooth tool for CFRP milling. *Journal of composite materials*.
- Dhanasekar, B. ve Ramamoorthy, B. (2010). Restoration of blurred images for surface roughness evaluation using machine vision. *Tribology International*, 43(1-2): 268-276.

- Dilipak, H. ve Yilmaz, V. (2012). AISI 1050 Çeli inin Karbür Takımlarla Frezelenmesinde Olu An Titre İmlerin İncelenmesi ve İstatistiksel Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (2).
- Dold, C., Henerichs, M., Bochmann, L. ve Wegener, K. (2012). Comparison of ground and laser machined polycrystalline diamond (PCD) tools in cutting carbon fiber reinforced plastics (CFRP) for aircraft structures. *Fifth Cirp Conference on High Performance Cutting*, 2012 1: 178-183.
- Ducros, C., Benevent, V. ve Sanchette, E. (2003). Deposition, characterization and machining performance of multilayer PVD coatings on cemented carbide cutting tools. *Surface & Coatings Technology*, 163: 681-688.
- Ducros, C. ve Sanchette, F. (2006). Multilayered and nanolayered hard nitride thin films deposited by cathodic arc evaporation. Part 2: Mechanical properties and cutting performances. *Surface & Coatings Technology*, 201(3-4): 1045-1052.
- Ekici, E. (2012). Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli ve Grafit Katkılı Kompozitlerin Üretilmesi, Mekanik Özellikleri ve Frezede İlenebilirli İnin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- El-Hofy, M.H., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Sim, W.M., Pearson, D. ve Harden, P. (2011). Factors affecting workpiece surface integrity in slotting of CFRP. *1st Cirp Conference on Surface Integrity*, (Csi) 19: 94-99.
- Elmarakbi, A. (2013). *Advanced composite materials for automotive applications: Structural integrity and crashworthiness*, John Wiley & Sons.
- Eneyew, E.D. ve Ramulu, M. (2014). Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites. *Journal of Materials Research and Technology-Jmr&T*, 3(4): 354-362.
- Epaarachchi, J.A. ve Kahandawa, G.C. (2016). *Structural Health Monitoring Technologies and Next-Generation Smart Composite Structures*, CRC Press.
- Ferreira, J.R., Coppini, N.L.ve Miranda, G.W.A. (1999). Machining optimisation in carbon fibre reinforced composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 93: 135-140.
- Figueiredo, J.L., Bernardo, C.A., Baker, R.T.K. ve Hüttinger, K.J. (1989). Carbon Fibers Filaments and Composites. Portugal, *NATO ASI*.
- Ferreira, J.R., Coppini, N.L. ve Neto, F.L. (2001). Characteristics of carbon-carbon composite turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 109(1-2): 65-71.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Maciel, C.H.A., Rubio, J.C.C. ve Abrao, A.M. (2016). Machinability Evaluation in Hard Milling of AISI D2 Steel. *Materials Research-Ibero-American Journal of Materials*, 19(2): 360-369.

- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M. ve Davim, J.P. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 203(1-3): 431-438.
- Gavas, M., Ya ar, M., Aydın, M. ve Altunpak, Y. (2013). *Üretim Yöntemleri ve malat Teknolojileri*. Ankara, Seçkin yayıncılık.
- Ghafarizadeh, S., Chatelain, J. ve Lebrun, G. (2013). Multi axis machining of high performance CFRP for aerospace industry. *19th International Conference on Composite Materials (ICCM19)*, Montreal.
- Ghafarizadeh, S., Chatelain, J.F. ve Lebrun, G. (2016). Effect of cutting tool lead angle on machining forces and surface finish of CFRP laminates. *Science and Engineering of Composite Materials*, 23(5): 543-550.
- Ghafarizadeh, S., Chatelain, J.F. ve Lebrun, G. (2016). Finite element analysis of surface milling of carbon fiber-reinforced composites. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(1-4): 399-409.
- Ghafarizadeh, S., Lebrun, G. ve Chatelain, J.F. (2016). Experimental investigation of the cutting temperature and surface quality during milling of unidirectional carbon fiber reinforced plastic. *Journal of Composite Materials*, 50(8): 1059-1071.
- Gong, Y.H., Yang, N.H., Han, S., Chen, Y., Fu, Y.C. ve Han, S.C. (2013). Surface Morphology in Milling Multidirectional Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates. *Advanced Materials Research*.
- Gökkaya, H. (2006). AA5052 Ala iminin I lenmesinde I leme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülü üne Etkisinin Deneysel Olarak Incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (3).
- Gökkaya, H., Habalı, K. ve Özçatalba , Y. (2004). Kaplamalı Kesici Takımlarda Kaplama Malzemesinin Takım-Tala Ara Yüzey Sıcaklı ı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak Ara tırılması. *Politeknik Dergisi*, 7 (1).
- Gökkaya, H. ve Nalbant, M. (2007). The effects of cutting tool geometry and processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel. *Materials & Design*, 28 (2): 717-721.
- Grzesik, W. (2008). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials : Theory, Modelling and Applications*.
- Guu, Y.H., Hocheng, H., Tai, N.H. ve Liu, S.Y. (2001). Effect of electrical discharge machining on the characteristics of carbon fiber reinforced carbon composites. *Journal of Materials Science*, 36 (8): 2037-2043.

- Günay, M. (2003). Tala kaldırma i lemlerinde kesici takım tala açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gürbüz, H., Kafkas, F. ve eker, U. (2011). Kesici Takıma Farklı Yöntemle Uygulanmı Kaplamaların Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülü üne Etkisinin Deneysel Olarak Ara tırılması. *nternational Advanced Technologies Symposium*, 6: 27-32.
- Hocheng, H., Puw, H.Y. ve Huang, Y. (1993). Preliminary study on milling of unidirectional carbon fibre-reinforced plastics. *Composites Manufacturing*.
- Habalı, K., Gökkaya, H. ve Hasan, S. (2006). Kesici Takım Kaplama Malzemesi ve Kesme Parametrelerinin AISI 1040 Çeli inin lenmesinde Yüzey Pürüzlülü üne Etkisinin Deneysel Olarak ncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 9(1).
- Haddad, M., Zitoune, R., Eyma, F. ve 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.
- Haddad, M., Zitoune, R., Eyma, F. ve Castanié, B. (2013). Machinability and surface quality during high speed trimming of multi directional CFRP. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 13(2-3): 289-310.
- Hagino, M. ve Inoue, T. (2013). Effect of Carbon Fiber Orientation and Helix Angle on CFRP Cutting Characteristics by End-Milling. *International Journal of Automation Technology*, 7(3): 292-299.
- Haiyan, W., Xuda, Q., Hao, L. ve Chengzu, R. (2012). Analysis of cutting forces in helical milling of carbon fiber-reinforced plastics. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, 227(1): 62-74.
- Hamedanianpour, H. ve Chatelain, J.F. (2013). Effect of tool wear on quality of carbon fiber reinforced polymer laminate during edge trimming, *Trans Tech Publication*.
- Han, S.C., Chen, Y., Xu, J.H. ve Zhou, J.W. (2014). Experimental study of tool wear in milling multidirectional CFRP laminates. Materials Science Forum, *Trans Tech Publication*.
- He, G., Li, H., Jiang, Y., Qin, X., Zhang, X. ve Guan, Y. (2015). Helical milling of CFRP/Ti-6Al-4V stacks with varying machining parameters. *Transactions of Tianjin University*, 21(1): 56-63.
- Hejjaji, A., Singh, D., Kubher, S., Kalyanasundaram, D. ve Gururaja, S. (2016). Machining damage in FRPs: Laser versus conventional drilling. *Composites Part a-Applied Science and Manufacturing*, 82: 42-52.

- Henerichs, M., Voß, R., Kuster, F. ve Wegener, K. (2015). Machining of carbon fiber reinforced plastics: Influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 9: 136-145.
- Hexcel Handbook (2016). Selection Guide industry.
- Hintze, W., Cordes, M. ve Koerkel, G. (2015). Influence of weave structure on delamination when milling CFRP. *Journal of Materials Processing Technology*, 216(0): 199-205.
- Hintze, W. ve Hartmann, D. (2013). Modeling of delamination during milling of unidirectional CFRP. *14th Cirp Conference on Modeling of Machining Operations (Circ Cmmo)*, 8: 444-449.
- Hintze, W., Hartmann, D. ve Schutte, C. (2011). Occurrence and propagation of delamination during the machining of carbon fibre reinforced plastics (CFRPs) - An experimental study. *Composites Science and Technology*, 71(15): 1719-1726.
- Hull, D. ve Clyne, T.W. (1996). *An Introduction to Composite Materials*.
- Ho-Cheng, H. ve Dharan, C. (1990). Delamination during drilling in composite laminates. *Journal of Engineering for Industry (Transactions of the ASME)*, 112(3): 236-239.
- Hosokawa, A., Hirose, N., Ueda, T. ve Furumoto, T. (2014). High-quality machining of CFRP with high helix end mill. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 63(1): 89-92.
- Iliescu, D., Gehin, D., Gutierrez, M.E. ve Girot, F. (2010). Modeling and tool wear in drilling of CFRP. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50(2): 204-213.
- Isbilir, O. ve Ghassemieh, E. (2012). Delamination and wear in drilling of carbon-fiber reinforced plastic composites using multilayer TiAlN/TiN PVD-coated tungsten carbide tools. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(10): 717-727.
- Ishida, T., Noma, K., Kakinuma, Y., Aoyama, T., Hamada, S., Ogawa, H. ve Higaino, T. (2014). Helical Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastics Using Ultrasonic Vibration and Liquid Nitrogen. *Procedia CIRP*, 24(0): 13-18.
- Islam, F., Ramkumar, J. ve Milani, A.S. (2016). A simplified damage prediction framework for milling of unidirectional carbon fiber-reinforced plastics. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*, 1(4): 175-184.
- ISO Standard. (1989). ISO Standard 8688–2 International standard for tool life testing in end milling.
- Janardhan, P., Sheikh-Ahmad, J. ve Cheraghi, H. (2006). Edge trimming of CFRP with diamond interlocking tools, *SAE Technical Paper*.
- Jia, Z., Fu, R., Wang, F., Qian, B. ve He, C. (2016). Temperature effects in end milling carbon fiber reinforced polymer composites. *Polymer Composites*.

- Jones, R.M. (1999). *Mechanics of Composite Materials Philadelphia*, Taylor & Francis.
- Kalpajian, S. ve Schmid, S.R. (2000). *Manufacturing Engineering and Technology* (4th edition), Prentice Hall.
- Kalla, D., Sheikh-Ahmad, J. ve Twomey, J. (2010). Prediction of cutting forces in helical end milling fiber reinforced polymers. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*.
- Karnik, S.R., Gaitonde, V.N., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M. ve Davim, J.P. (2008). Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. *Materials & Design*, 29(9): 1768-1776.
- Karpat, Y., Bahtiyar, O. ve Deger, B. (2012). Mechanistic force modeling for milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 56: 79-93.
- Karpat, Y. ve Polat, N. (2013). Mechanistic force modeling for milling of carbon fiber reinforced polymers with double helix tools. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 62(1): 95-98.
- Kecik, K., Rusinek, R., Warminski, J. ve Weremczuk, A. (2012). Chatter control in the milling process of composite materials. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing.
- Khairusshima, M., Hassan, C.C., Jaharah, A. ve Amin, A. (2012). The effect of milling parameters on laminated carbon fibre reinforced plastic (CFRP). *Jurnal Teknologi*, 59(2).
- Khairusshima, M.K.N., Aqella, A.K.N. ve Sharifah, I.S.S. (2017). Optimization of Milling Carbon Fibre Reinforced Plastic Using RSM. *Procedia Engineering*, 184: 518-528.
- Khairusshima, M.K.N. ve Sharifah, I.S.S. (2017). Study on Tool Wear During Milling CFRP under Dry and Chilled Air Machining. *Procedia Engineering*, 184: 78-89.
- Khalid, H.M., Hasan, S.N. ve Jauhari, I. (2016). Mechanical behaviour of nanolayer hydroxyapatite (HA) coating developed through superplastic embedment of titanium (Ti) alloy (Ti6Al4V). *Materials Chemistry and Physics*, 177: 314-321.
- Khashaba, U.A. (2004). Delamination in drilling GFR-thermoset composites. *Composite Structures*, 63(3-4): 313-327.
- Kiliçkap, E., Yardımeden, A. ve Çelik Y.H. (2015). Investigation of experimental study of end milling of CFRP composite. *Science and Engineering of Composite Materials*. 22: 89.

- Kim, K.S., Lee, D.G., Kwak, Y.K. ve Namgung, S. (1992). Machinability of Carbon-Fiber Epoxy Composite-Materials in Turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 32(3): 553-570.
- Kitajima, T., Kusuyama, J., Yui, A., Fujii, K. ve Itoh, Y. (2014). Development of PCD Milling Tool for Carbon-Fiber-Reinforced Plastics. Advanced Materials Research, *Trans Tech Publication*.
- Koplev, A. Lystrup, Aa. ve Vorm, T. (1983). The cutting process, chips, and cutting forces in machining CFRP.
- Klocke, F., Quito, F., Arntz, K., Souza, A. ve Ader, C. (2008). Investigation of tool geometry, coating and coolant in micro milling of single crystal Nickel-based superalloy René N5. *3rd CIRP International Conference on High Performance Cutting*, Dublin-Ireland.
- Klotz, S., Zanger, F. ve Schulze, V. (2014). Influence of Clamping Systems during Milling of Carbon Fiber Reinforced Composites. *Procedia CIRP*, 24: 38-43.
- Kolar, P., Masek, P. ve Zeman, P. (2014). Milling tools for cutting of fiber-reinforced plastic. *Journal of Machine Engineering*, 14.
- Komanduri, R. (1997). Machining of fiber-reinforced composites. *Machining Science and Technology*, 1(1): 113-152.
- Konneh, M., Izman, S. ve Kassim, A.A.R. (2015). Milling damage on Carbon Fibre Reinforced Polymer using TiAlN coated End mills. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing.
- Konneh, M., Sudin, I., Padil, D., Emmil, M. ve Roszat R., (2014). Surface Roughness Study of Milled Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composite Using 4 mm 2-Flute Titanium Aluminum Nitride (TiAlN) Coated Carbide End Mills. *Advanced Materials Research*.
- Krishnamoorthy, A., Rajendra, B.S. ve Palanikumar, K. (2011). Delamination Prediction In Drilling of Cfrp Composites Using Artificial Neural Network. *Journal of Engineering Science and Technology*.
- Krishnaraj, V., Zitoune, R. ve Collombet, F. (2010). Comprehensive review on drilling of multi material stacks. *Journal of Machining and Forming Technologies*, 2(3-4): 1-32.
- Kusuyama, J., Yui, A., Kitajima, T. ve Itoh, Y. (2014). Face Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastic Using Poly Crystalline Diamond Tool. Advanced Materials Research, *Trans Tech Publication*.
- Lee, K.Y., Kang, M.C., Jeong, Y.H., Lee, D.W. ve Kim, J.S. (2001). Simulation of surface roughness and profile in high-speed end milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3): 410-415.

- Li, Z.L., Zheng, H.Y., Lim, G.C., Chu, P.L. ve Li, L. (2010). Study on UV laser machining quality of carbon fibre reinforced composites. *Composites Part a-Applied Science and Manufacturing*, 41(10): 1403-1408.
- Lin, S.C. ve Chen, I.K. (1996). Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed. *Wear*, 194(1-2): 156-162.
- Lissek, F.M.K. ve Bergmann, J.P. (2014). Machining of Cfrp: Drilling and Milling of Unstable Work Pieces.
- Liu, D.F.Y.J.T. ve Cong, W.L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates. *Composite Structures*, 94(4): 1265-1279.
- Liu, G.J., Chen, H.Y., Huang, Z., Gao, F. ve Chen, T. (2017). Surface Quality of Staggered PCD End Mill in Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastics. *Applied Sciences-Basel*, 7(2): 199.
- Luís M.P.D., Gonçalves, D.J.S., Tavares, J.M.R.S., Vieira, A.A. ve Marques, A.T. (2010). Drilling Tool Geometry Evaluation for Reinforced Composite Laminates. *Composite Structures*.
- Madhavan, V.G.L, Lane, B. ve Whinton, E. (2015). Fiber orientation angle effects in machining of unidirectional CFRP laminated composites. *Journal of Manufacturing Processes*, 20: 431-442.
- Maegawa, S.S.H., Itoigawa, F. ve Nakamura, T. (2015). Development of novel tool for cutting of carbon-fiber-reinforced plastics (Positive use of abrasive wear at tool edge for reduction in cutting force). *Mechanical Engineering Journal*, 2(6): 15-00295-00215-00295.
- Maegawa, S., Morikawa, Y., Hayakawa, S., Itoigawa, F. ve Nakamura, T. (2016). Mechanism for changes in cutting forces for down-milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates: Modeling and experimentation. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 100: 7-13.
- Makhadmeh, F., Jennings, L.T., Roy, A. ve Silberschmidt, V.V. (2012). Cutting forces in ultrasonically assisted drilling of carbon fibre-reinforced plastics. *Modern Practice in Stress and Vibration Analysis*.
- Mallick, P.K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*, CRC press.
- Mallick, P.K. (2008). *Fiber-Reinforced Composites : Materials, Manufacturing, and Design*. Boca Raton, Taylor & Francis.
- Marques, A.T., Durao, L.M., Magalhaes, A.G., Silva, J.F. ve Tavares, J.M.R.S. (2009). Delamination analysis of carbon fibre reinforced laminates: Evaluation of a special step drill. *Composites Science and Technology*, 69(14): 2376-2382.

- Mazumdar, S.K. (2002). *Composites Manufacturing : Materials, Product, and Process Engineering*, CRC Press.
- Miracle, D.B. ve Donaldson, S.L. (2001). ASM Metal Handbook, *Composites*.
- Miškovi , A. ve Koboevi , N. (2011). The Effect of Cutting Tool Geometry on Thrust Force and Delamination When Drilling Carbon Fibre Reinforced Composite Materials. *15th International Research/Expert Conference*. Prague, Czech Republic.
- Mitchell, B.S. (2004). *An introduction to materials engineering and science for chemical and materials engineers*, A John wiley & Sons, Inc., Publication.
- Mizutani, Y., Nagashima, K., Takemoto, M. ve Ono, K. (2000). Fracture mechanism characterization of cross-ply carbon-fiber composites using acoustic emission analysis. *Ndt & E International*, 33(2): 101-110.
- Mkaddem, A., Soussia, A.B. ve Mansori, M.E. (2013). Wear resistance of CVD and PVD multilayer coatings when dry cutting fiber reinforced polymers (FRP). *Wear*, 302(1-2): 946-954.
- Morandeu, A. B., Leroy, J., Bonhoure, R., Chibane, D., ve Bouchou, A. (2011). Carbon Fiber Reinforced Plastics Machining : Surfacing Strategy for Reducing Cutting Forces. *18th International Conference on Composite Materials*. Korea.
- Morgan, P. (2005). *Carbon Fibers and Their Composites*. Boca Raton, Taylor & Francis.
- Mucha, P., Speker, N., Weber, R. ve Graf, T. (2013). Momentum and velocity of the ablated material in laser machining of carbon fiber preforms. *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 113(2): 361-366.
- N. Bhatnagar, Ramakrishnan, N., Naik, N.K. ve Komanduri, R. (1995). On the Machining of Fiber Reinforced Plastic (FRP) Composite Laminates. *International Journal Machine Tools Manufacture*. 35: 701-716.
- Najem, S.H. (2010). Methodology for assessment of factors influencing surface roughness on the drilling of carbon fiber-reinforced composites. *university of Babylon*: 1-12.
- Nalbant, M., Altin, A. ve Gokkaya, H. (2007). The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys. *Materials & Design*, 28(4): 1334-1338.
- Nalbant, M., Gokkaya, H., Toktas, I. ve Sur, G. (2009). The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD- and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(1): 211-223.
- Ne eli, S. ve Yıldız, S. (2007). Tornalamada Yaklaşım Açısı ve Talaş Açısına Bağlı Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri. *Politeknik Dergisi*, 10(4).

- Nikša K., Jurjevi , M. ve Koboevi , Ž. (2012). Influence of Cutting Parameters on Thrust Force, Drilling Torque and Delamination During Drilling of Carbon Fibre Reinforced Composites.
- Nor K.M.K, Che H.C.H, Jaharah A.G. ve AKM, Amin (2011). Tool Wear and Surface Roughness on Milling Carbon Fiber-reinforced Plastic using Chilled Air. *Journal of Asian Scientific Research*.
- Nor K.M.K., Che. H.C.H., Jaharah, A.G., Amin, AKM. ve A.N.M. Idriss (2013). Effect of chilled air on tool wear and workpiece quality during milling of carbon fibre-reinforced plastic. *Wear*, 302(1-2): 1113-1123.
- Nurhaniza, M., Ariffin, M., Mustapha, F. ve Baharudin, B. (2016). Analyzing the effect of machining parameters setting to the surface roughness during end milling of CFRP-Aluminium composite laminates. *International Journal of Manufacturing Engineering*.
- Oyman, E., Aslanta , K. ve Pazarkaya, . (2013). Ortogonal Kesme leminde Tala Morfolojisi ve Kayma Bandını Etkileyen Parametrelerin Ara tırılması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(2): 59-71.
- Özbek, N.A., Çiçek, A., Gülesin, M. ve Özbek, O. (2016). AISI 316 Çeli inin Tornalanmasında Kaplamalı Karbür Takımlara Uygulanan Kriyojenik lemin TAKIM A inması ve Yüzey Pürüzlülü ü Üzerine Etkileri. *7. Uluslararası Tala lı malat Sempozyumu*, stanbul.
- Panjan, M. (2010). Physical and chemical properties of nanolayered metal-nitride coatings prepared by sputtering. Doktora tezi, University of Ljubljana.
- Pecat, O., Rentsch, R. ve Brinksmeier, E. (2012). Influence of milling process parameters on the surface integrity of CFRP. *Fifth Cirp Conference on High Performance Cutting*, 2012 1: 466-470.
- Phadnis, V.A., Makhdam, F., Roy, A. ve Silberschmidt, V.V. (2013). Drilling in carbon/epoxy composites: Experimental investigations and finite element implementation. *Composites Part a-Applied Science and Manufacturing*, 47: 41-51.
- Pramanik, A., Neo, K.S., Rahman, A., Li, X.P., Sawa, M. ve Maeda, Y. (2003). Cutting performance of diamond tools during ultra-precision turning of electroless-nickel plated die materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1): 308-313.
- Qi, Z.C., Zhang, K.F., Cheng, H., Wang, D. ve Meng, Q.X. (2015). Microscopic mechanism based force prediction in orthogonal cutting of unidirectional CFRP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(5-8): 1209-1219.
- Qin, X.D., Wang, B., Wang, G.F., Li, H., Jiang, Y.D. ve Zhang, X.P. (2014). Delamination analysis of the helical milling of carbon fiber-reinforced plastics by using the

- artificial neural network model. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(2): 713-719.
- Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J.R.S. ve Tan, D.C.G. (1999). Machinability study of carbon fiber reinforced composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 90: 292-297.
- Rajasekaran, T., Vinayagam, B.K., Palanikumar, K. ve Prakash, S. (2010). Influence of machining parameters on surface roughness and material removal rate in machining carbon fiber reinforced polymer material. *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering*.
- Ramulu, M., Branson, T. ve Kim, D. (2001). A study on the drilling of composite and titanium stacks. *Composite Structures*, 54(1): 67-77.
- Richards, B., Howard, K. ve Williams, S. (2007). Lug cutting and trimming of the carbon fibre wing panels of the Airbus A400m with portable hand positioned tools, *SAE Technical Paper*.
- Romano, F., Fiori, J. ve Mercurio, U. (2009). Structural design and test capability of a CFRP aileron. *Composite Structures*, 88(3): 333-341.
- Roy, Y.A., Gobivel, K., Sekar, K.V. ve Kumar, S.S. (2014). High Speed Turning of Carbon Fiber-Epoxy Composite Material.
- Rusinek, R. (2010). Cutting process of composite materials : An experimental study. *International Journal of Non-Linear Mechanics*.
- Samuel Raj, D. ve Karunamoorthy, L. (2017). Cutting edge flattening and roughness measurement to monitor blunting and chipping of the drill cutting edge when drilling CFRP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*: 1-16.
- Santiuste, C., Soldani, X. ve Miguelez, M.H. (2010). Machining FEM model of long fiber composites for aeronautical components. *Composite Structures*, 92(3): 691-698.
- Sarwar, M. ve Haider, J. (2010). Development of Advanced Surface Engineering Technologies for the Benefit of Multipoint Cutting Tools. Advanced Materials Research, *Trans Technical Publication*.
- Saxena, J. (1982). Effect of machining conditions on cutting tool vibrations, Advances in Machine Tool Design and Manufacturing Technology. *Proceedings of the 10th All India Machine Tool Design and Research Conference*, Durgapur, India.
- Schneider, G. (2001). *Applied Cutting Tool Engineering: Machinability of Metals*. T & P: Tooling ve production, 66(12): 42-48.

- Schorník, V., Da a, M. ve Zetková, I. (2015). The Influence of the Cutting Conditions on the Machined Surface Quality when the CFRP is Machined. *Procedia Engineering*,100: 1270-1276.
- SenthilKumar, M., Prabukarthi, A. ve Krishnaraj, V. (2013). Study on Tool Wear and Chip Formation during Drilling Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)/ Titanium Alloy (Ti6Al4V) Stacks. *Procedia Engineering*.
- Serp, P. ve Figueiredo, J. L. (2009). *Carbon Materials for Catalysis*. New Jersey, John Wiley & Sons.
- Sheikh-Ahmad, J. ve Sridhar, G. (2002). Edge trimming of CFRP composites with diamond coated tools: edge wear and surface characteristics, *SAE Technical Paper*.
- Sheikh-Ahmad, J., Urban, N. ve Cheraghi, H. (2012). Machining Damage in Edge Trimming of CFRP. *Materials and Manufacturing Processes*, 27(7): 802-808.
- Sheikh-Ahmad, J. Y. (2009). *Machining of polymer composites*, Springer.
- Sheikh-Ahmad, J. Y., Dhuttargaon, M. ve Cheraghi, H. (2017). New tool life criterion for delamination free milling of CFRP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*: 1-13.
- Sheth, V., Mehta, A. ve Gharal, A. (2015). Experimental Investigation and Optimization of Milling Parameters in the Machining of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite Material using PCD Tool.
- Shyha, I. S., Aspinwall, D. K., Soo, S. L. ve Bradley, S. (2009). Drill geometry and operating effects when cutting small diameter holes in CFRP. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49(12-13): 1008-1014.
- Slamani, M., Dagger, J. F. ve Hamedanianpour, H. (2015). Comparison of two models for predicting tool wear and cutting force components during high speed trimming of CFRP. *International Journal of Material Forming*, 8(2): 305-316.
- Slamani, M., Gauthier, S. ve Chatelain, J.F. (2015). A study of the combined effects of machining parameters on cutting force components during high speed robotic trimming of CFRPs. *Measurement*, 59: 268-283.
- Sornakumar, T. ve Kumar, A.S. (2008). Machinability of bronze-alumina composite with tungsten carbide cutting tool insert. *Journal of Materials Processing Technology*, 202(1-3): 402-405.
- Sorrentino, L. ve Turchetta S. (2011). Milling of carbon fiber reinforced plastics: analysis of cutting forces and surface roughness. *18th International Conference of Composite Materials*.

- Sorrentino, L. ve Turchetta S. (2014). Cutting Forces in Milling of Carbon Fibre Reinforced Plastics. *International Journal of Manufacturing Engineering*.
- Soutis, C. (2005). Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 412(1-2): 171-176.
- Staab, G.H. (1999). *Laminar composites*. United States of America, Butterworth-Heinemann.
- Suresha, B., Kumar, K.S., Seetharamu, S. ve Kumaran, P.S. (2010). Friction and dry sliding wear behavior of carbon and glass fabric reinforced vinyl ester composites. *Tribology International*, 43(3): 602-609.
- Tamin, M.N. (2012). *Damage and fracture of composite materials and structures*, Springer.
- Terenzi, A., Natali, M., Petrucci, R., Rallini, M., Peponi, L., Beaumont, M., Eletsii, A., Knizhnik, A., Potapkin, B. ve Kenny, J M. (2017). Analysis and simulation of the electrical properties of CNTs/epoxy nanocomposites for high performance composite matrices. *Polymer Composites*, 38(1): 105-115.
- Teti, R. (2002). Machining of composite materials. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 51(2): 611-634.
- Tsao, C.C. ve Hocheng, H. (2008). Analysis of delamination in drilling composite materials by core-saw drill. *International Journal of Materials & Product Technology*, 32(2-3): 188-201.
- Ucar, M. ve Wang, Y. (2005). End-milling machinability of a carbon fiber reinforced laminated composite. *Journal of Advanced Materials*, 37(4): 46-52.
- URL-1 (2016). <https://www.tai.com.tr/tr/proje/anka>, TAI, 21 A ustos 2016.
- Uusitalo, K. (2013). Designing in Carbon Fibre Composites. Chalmers University of Technology, Doktora Tezi, Gothenburg, Sweden.
- Wang, C., Wen, L., Wang, C., Zhang, H., An, Q. ve Chen, M. (2016). Influence of Fiber Orientation on Machined Surface Quality in Milling of Unidirectional CFRP Laminates. *Advanced Materials Research*, 1136.
- Wang, R.M. Zheng, S.R. ve Zheng, Y.P. (2011). *Polymer Matrix Composites and Technology*. Beijing,China, Woodhead Publishing.
- Wang, H., Sun, J., Li, J. ve Li, W. (2015). Roughness modelling analysis for milling of carbon fibre reinforced polymer composites. *Materials Technology*, 30(A1): A46-A50.
- Wang, H., Sun, J., Li, J., Lu, L. ve Li, N. (2015). Evaluation of cutting force and cutting temperature in milling carbon fiber-reinforced polymer composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*: 1-9.

- Wang, H.Y., Qin, X.D., Li, H. ve Tan, Y.Q. (2016). A comparative study on helical milling of CFRP/Ti stacks and its individual layers. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5-8): 1973-1983.
- Wang, X., Kwona, P.Y., Sturtevant, C., Kim, D. ve Lantrip, J. (2013). Tool wear of coated drills in drilling CFRP. *Journal of Manufacturing Processes*, 15(1): 127-135.
- Wang, X.M. ve Zhang, L.C. (2003). An experimental investigation into the orthogonal cutting of unidirectional fibre reinforced plastics. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43(10): 1015-1022.
- Wei, Y.Y., An, Q.L., Cai, X.J., Chen, M. ve Ming, W.W. (2015). Influence of Fiber Orientation on Single-Point Cutting Fracture Behavior of Carbon-Fiber/Epoxy Prepreg Sheets. *Materials*, 8(10): 6738-6751.
- William D.C. ve Rethwisch, D.G.J. (2009). *Materials Science and Engineering : An Introduction*.
- Wong, T., Wu, S. ve Croy, G. (1982). An analysis of delamination in drilling composite materials. *14th National Sampe Technical Conference*.
- Xu, J. Y., An, Q.L. ve Chen, M. (2014). A comparative evaluation of polycrystalline diamond drills in drilling high-strength T800S/250F CFRP. *Composite Structures*, 117: 71-82.
- Yao, L., Sun, Y., Alderliesten, R. ve Benedictus, R. (2016). Fatigue Delamination Growth Behavior in Composite Materials under Block Loading. *Proceedings of the American Society for Composites: Thirty-First Technical Conference*.
- Yazıcıo lu, O., Borat, O. ve Demetgöl, M. (2014). *malat Yöntemleri*. Ankara, Seçkin yayıncılık.
- Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C.Y. ve Özdemir, M. (2016). Frezeleme i lemlerinde kesme kuvveti, titre im ve yüzey pürüzlülü ü sonuçlarının modellenmesi/The modeling of results of cutting force, vibration and surface roughness in milling operations. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(4).
- Youssef, H.A. ve El-Hofy, H. (2008). *Machining technology: machine tools and operations*, CRC Press.
- Zenia, S., Ayed, L. B., Nouari, M. ve Delameziere, A. (2015). An elastoplastic constitutive damage model to simulate the chip formation process and workpiece subsurface defects when machining CFRP composites. *15th Cirp Conference on Modelling of Machining Operations*, 31: 100-105.
- Zenia, S., Ben A.L., Nouari, M. ve Delameziere, A. (2015). Numerical analysis of the interaction between the cutting forces, induced cutting damage, and machining

parameters of CFRP composites. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(1-4): 465-480.

Zhang L., Lijiang, W. ve Xin, W. (2003). Study on vibration drilling of fiber reinforced plastics with hybrid variation parameters method.

Zhang, Y.D., Xiao, H.H. ve Teng, Y. (2013). Study of Surface Roughness in Milling Carbon Fiber Reinforced Plastics Using PCD Tool. Key Engineering Materials, *Trans Tech Publication*.

Zitoune, R., Krishnaraj, V., Almabouacif, B.S., Collombet, F., Sima, M. ve Jolin, A. (2012). Influence of machining parameters and new nano-coated tool on drilling performance of CFRP/Aluminium sandwich. *Composites Part B-Engineering*, 43(3): 1480-1488.

ólkiewski, S. (2011). Selection and impact of parameters in composite materials designing. *13th World Congress in Mechanism and Machine Science*, Guanajuato, México.

ÖZGEÇM

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Dervi ÖZKAN
Doğum Yeri ve Tarihi : KAYSER / 10.01.1977
E-Posta Adresi : dozkan@kastamonu.edu.tr
dervisozkan@gmail.com



Eğitim Durumu

Ön Lisans : Erciyes Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü (1999-2001)

Lisans : Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği (2003-2007)

Yüksek Lisans : Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği (2008-2010)

Doktora : Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği (2013-devam)

Yabancı Dil : İngilizce, Umist Üniversitesi, ELTC (English Language Teaching Centre) (2001-2002)

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar :1. Şahin, M., Mısırlı, C., Özkan, D., 2011. “Akrilik Plastik Deformasyonun Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı Üzerine Etkisi”, Geleceğin Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul, s. 225-236.
2. Şahin, M., Mısırlı, C., Özkan, D., 2012. “Akrilik Plastik Deformasyonun Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı Üzerine Etkisi”, TMMOB, MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 630, s. 26-33.
3. Can, A., Engin, S., Özkan, D., 2013. “Energy Efficient Heating of Building”, Clhamed 2013, Mediterranean Congress of Climatization-Proceeding Book, s. 250-270,
4. Şahin, M., Mısırlı, C., Özkan, D., 2015. “Characteristic properties of AlTiN and TiN coated HSS materials”, Industrial

Lubrication and Tribology, 67:2.

5. Çalı kan, H., Özkan D., 2016. ‘Analysis of Cutting Forces in Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastic (Cfrp) Composites’, MECHATECH '16 / International Mechanical Engineering and Technologies Conference, 63-67.

Deneyimi

Stajlar : - Nar Can Pres Metal Makine San. ve Tic. Ltd. ti. (stanbul, 1999)
- Özen Di li ve Makina Ltd. ti. (stanbul, 2000)
- Roketsan A. . (Ankara, 2007)

Çalı tı ı Kurumlar : Kastamonu Üniversitesi, Abana Sabahat-Mesut Yılmaz Meslek Yüksekokulu, Ö retim Görevlisi, 2013-Halen

Tarih : 02/06/2017