

**LAMİNE KOMPOZİTLERLE İSTİFLENMİŞ
METAL MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**2017
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Nafiz YAŞAR

**LAMİNE KOMPOZİTLERLE İSTİFLENMİŞ METAL MALZEMELERİN
DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Nafiz YAŞAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ağustos 2017

Nafiz YAŞAR tarafından hazırlanan “LAMİNE KOMPOZİTLERLE İSTİFLENMİŞ METAL MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 14/ 08/ 2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER (GÜ)
Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ (SÜ)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

İmzası


...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.

.....



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Nafiz YAŞAR

ÖZET

Doktora Tezi

LAMİNE KOMPOZİTLERLE İSTİFLENMİŞ METAL MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Nafiz YAŞAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Ağustos 2017, 171 sayfa

Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK)/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde oluşan itme kuvveti, moment, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, delik kalitesi ve kesici takım ömrünün delme parametreleri ile ilişkileri analiz edilmiştir. Üç farklı matkap kalitesi (kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC) ile matkap uç açısı, ilerleme miktarı ve kesme hızının farklı değerleri kullanılarak delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, KFTK ve Ti6Al4V alaşım malzemelerinin her biri için L_{27} deney tasarımına göre yapılan ön deneyler sonucunda itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon faktörü ve moment değerleri tespit edilmiştir. Bu deneyler sonucunda, her iki deney malzemesi için en düşük itme kuvveti (F_z) kaplamasız WC ile ölçülürken, en yüksek F_z değeri ise TiAlN kaplamalı matkap ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara gri ilişki analizi uygulanarak KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde kesici takım

performans deneylerinde kullanılacak parametrelerin optimum değerleri
belirlenmiştir. Optimum kesme parametreleri, her



bir kesici takım kalitesi ve iş parçası malzemesi için en düşük kesme hızı ve ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. Son olarak, optimum delme parametrelerine göre KFTK/Ti6Al4V istifli malzemenin delinmesinde kesici takım performanslarını belirlemek amacıyla takım ömrü deneyleri yapılmıştır. İstifli malzemelerin delinmesinde KFTK için en düşük delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü elmas kaplamalı WC takımla elde edilirken, Ti6Al4V için en düşük yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti kaplamasız WC takım ile ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Karbon fiber takviyeli kompozit, Ti6Al4V, delaminasyon, delik kalitesi, optimizasyon.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF DRILLABILITY OF METAL MATERIALS STACKED WITH LAMINE COMPOSITES

Nafiz YAŞAR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

August 2017, 171 pages

In this study, the relationship between drilling parameters and delamination, surface roughness, hole quality, cutting tool life, thrust force and moment generated in drilling of carbon fiber reinforced composite (CFRP) / Ti6Al4V stacked materials were analyzed. Drilling experiments were carried out using three different drill qualities (uncoated WC, TiAlN and diamond coated WC) using different values of drill point angle, feed rate and cutting speed. In this context, thrust force, surface roughness, delamination factor and moment values were determined for each of CFRP and Ti6Al4V alloy materials as a result of the preliminary tests made according to the L27 test design. As a result of these experiments, the lowest thrust force (F_z) for both test materials was measured by uncoated WC, while the highest F_z value was obtained by TiAlN coated drill. Gray correlation analysis was applied to the obtained results and optimum values of the parameters used in cutting tool

performance tests were determined in drilling of CFRP / Ti6Al4V stacked materials. Optimum cutting



parameters were found as the lowest cutting speed and feed rate for each cutting tool quality and workpiece material. Finally, tool life tests were carried out to determine the cutting tool performance in drilling of CFRP / Ti6Al4V stacking material according to optimum drilling parameters. The lowest surface roughness and thrust force for Ti6Al4V was measured with uncoated WC tool, while the lowest delamination factor and surface roughness for CFRP were obtained with diamond coated WC tool in drilling of the stacked materials.

Key Word : Carbon fibre reinforced composite, Ti6Al4V, delamination, hole quality, optimization.

Science Code : 914.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam ve danışmanım Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Ulvi ŞEKER ve Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR'a, çalışmalarımda emeği geçen Arş. Gör. Dr. Gültekin Uzun, Rüstem BİNALİ ve Mücahit COŞKUN'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca KBÜ-BAP-15/2-DR-022 no'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederim.

Son olarak sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanımda oldukları için tüm kalbimle şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
2.1.2. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırılması.....	4
2.1.3. Takviye Elemanlarına Göre Sınıflandırılması	7
2.1.4. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitler (KFTK)	10
2.1.5. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	9
2.1.6. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitlerin Uygulama Alanları	15
2.2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI	16
2.2.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	17
2.2.2. Titanyum Ve Titanyum Alaşımlarının Uygulama Alanları.....	20
2.3. DELİK DELME	21
2.3.1. Delik Delme İşlemi.....	22
2.3.2. Talaş Oluşumu	23

Sayfa

2.4. KFTK MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ	24
2.5. Ti6Al4V ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİ	26
2.6. KFTK/Ti6Al4V İSTİFLERİNİN DELİNEBİLİRLİĞİ.....	27
2.7. DELME İŞLEMİNDE MEYDANA GELEN KESME KUVVETİ VE GÜÇ	28
2.8. MATKAPLAR VE TAKIM AŞINMASI	30
 BÖLÜM 3	 33
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	33
3.1. KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN (KFTK) İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	33
3.2. TİTANYUM ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	37
3.3. KFTK/Ti6Al4V İSTİFLERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
3.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ	44
 BÖLÜM 4	 46
MALZEME VE YÖNTEM	46
4.1. DENEY MALZEMELERİ.....	46
4.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI	47
4.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ.....	49
4.4. DENEY NUMUNELERİNİN VE BAĞLAMA KALIBININ TASARIMI ..	51
4.5. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ	51
4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ	56
4.7. DELİK ÇAPI, DAİRESELLİK VE SİLİNDİRİKLİK KONTROLÜ.....	57
4.8. DELAMİNASYON FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ	59
4.9. DENEYLERİN UYGULANMASI.....	60
4.9.1. KFTK Ve Ti6Al4V Malzemelerin Delinmesi	60
4.9.2. KFTK/Ti6Al4V İstifli Malzemenin Delinmesi	62
4.10. GRİ İLİŞKİ ANALİZİ	63
4.10.1. Gri Teori	63

BÖLÜM 5	71
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	71
5.1. KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT (KFTK) MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ.....	71
5.1.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi	73
5.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	80
5.1.3. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi.....	85
5.1.4. KFTK Malzemeler İçin Deney Sonuçlarının Analizi.....	90
5.2. TİTANYUM (Ti6Al4V) ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİ.....	98
5.2.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi	98
5.2.2. Momentin Değerlendirilmesi.....	101
5.2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	110
5.2.4. Ti6Al4V Malzemeler İçin Deney Sonuçlarının Analizi.....	116
5.3. KFTK/Ti6Al4V İSTİFLİ MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ	120
5.3.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi	123
5.3.2. Momentin Değerlendirilmesi.....	126
5.3.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	131
5.3.4. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi.....	136
5.3.5. Delik Çapının Değerlendirilmesi.....	144
5.3.6. Takım Performanslarının Değerlendirilmesi	148
 BÖLÜM 6	 156
SONUÇ VE ÖNERİLER	156
KAYNAKLAR	160
 EK AÇIKLAMALAR A. MALZEME SERTİFİKALARI	 172
ÖZGEÇMİŞ	175

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Fiber takviyeli kompozitlerin dizilişleri	7
Şekil 2.2. Elle tabaklama metodu	10
Şekil 2.3. Hazır kalıplama metodu	11
Şekil 2.4. Profil çekme yöntemi	12
Şekil 2.5. Püskürtme yöntemi	12
Şekil 2.6. Matkapta yüzey ve kesici kenarlar	19
Şekil 2.7. Çap uzunluk ilişkisi	20
Şekil 2.8. Talaş oluşumuna etki eden faktörler.....	21
Şekil 2.9. KFTK malzemelerin fiber yönüne göre delinmesi.....	22
Şekil 2.10. KFTP'lerin delinmesini etkileyen faktörlerin kılçık şeması ile gösterilmesi	23
Şekil 2.11. Matkap ile delik delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri.....	25
Şekil 2.12. Aşınma tipleri	27
Şekil 2.13. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınmanın gösterilmesi.....	28
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan KFTK malzeme yapısı	45
Şekil 4.2. Hız kafası.....	46
Şekil 4.3. Kesici takım özellikleri ve boyutları	47
Şekil 4.4. Deney numunelerinin üstten görünümü	50
Şekil 4.5. Bağlama kalıbı ve deney malzemelerinin şematik olarak gösterilmesi	51
Şekil 4.6. İtme kuvveti ve momentin DynoWare program görüntüsü	52
Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan deney düzeneği	53
Şekil 4.8. Dairesellik ölçümleri	56
Şekil 4.9. Delik delme işleminde delaminasyon oluşumu	58
Şekil 4.10. Delaminasyon faktörünün şematik olarak gösterilmesi	59
Şekil 4.11. KFTK ve Ti6Al4V malzemelerin delinmesi	61
Şekil 4.12. KFTK malzemenin değişken ilerleme miktarı ile delinmesi	62
Şekil 4.13. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesi	63
Şekil 4.14. Gri tabanlı Taguchi metodu uygulama	65

Şekil 5.1. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri (Kaplamasız WC).	71
Şekil 5.2. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri (TiAlN kaplamalı WC).	73
Şekil 5.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri (Elmas kaplamalı WC).	75
Şekil 5.4. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri (Kaplamasız WC).	78
Şekil 5.5. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri (TiAlN kaplamalı WC).	80
Şekil 5.6. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri (Elmas kaplamalı WC).	82
Şekil 5.7. Delik çıkış yüzeyinin SEM görüntüsü.....	84
Şekil 5.8. Delik yüzeyinin SEM görüntüsü	85
Şekil 5.9. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fd değişimleri (Kaplamasız WC).	87
Şekil 5.10. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fd değişimleri (TiAlN kaplamalı WC).	88
Şekil 5.11. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fd değişimleri (Elmas kaplamalı WC).	89
Şekil 5.12. Delaminasyon görüntüsü	90
Şekil 5.13. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri (Kaplamasız WC).	96
Şekil 5.14. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri (TiAlN kaplamalı WC).	98
Şekil 5.15. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri (Elmas kaplamalı WC).	99
Şekil 5.16. Kesme parametrelerine bağlı olarak Mz değişimleri (Kaplamasız WC)	103
Şekil 5.17. Kesme parametrelerine bağlı olarak Mz değişimleri (TiAlN kaplamalı WC)	104
Şekil 5.18. Kesme parametrelerine bağlı olarak Mz değişimleri (Elmas kaplamalı WC).	106
Şekil 5.19. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri (Kaplamasız WC).	109
Şekil 5.20. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri (TiAlN kaplamalı WC).	111
Şekil 5.21. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri (Elmas kaplamalı WC).	113

Şekil 5.22. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre F_z değişimleri	120
Şekil 5.23. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre F_z değişimleri	122
Şekil 5.24. Kaplamasız WC kesici takımların delik makro görüntüleri	123
Şekil 5.25. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre M_z değişimleri	125
Şekil 5.26. Kesici takımların 100. delik makro görüntüleri (120°) kaplamalı WC	127
Şekil 5.27. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre M_z değişimleri	128
Şekil 5.28. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre R_a değişimleri	130
Şekil 5.29. 120° uç açılı kaplamasız WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	132
Şekil 5.30. 140° uç açılı kaplamasız WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	132
Şekil 5.31. 140° uç açılı TiAlN kaplamalı WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	133
Şekil 5.32. 130° uç açılı TiAlN kaplamalı WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	133
Şekil 5.33. 140° uç açılı elmas kaplamalı WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	133
Şekil 5.34. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre R_a değişimleri	134
Şekil 5.35. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre giriş F_d değişimleri	136
Şekil 5.36. Delik girişinde en düşük delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	137
Şekil 5.37. Delik girişinde en yüksek delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	138
Şekil 5.38. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre çıkış F_d değişimleri	139
Şekil 5.39. Delik çıkışında en düşük delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	140
Şekil 5.40. Delik çıkışında en yüksek delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X)	141
Şekil 5.41. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre delik çapı değişimleri	143

Sayfa

Şekil 5.42. En yüksek ve düşük çap değerine sahip deliklerin iç yüzey SEM görüntüleri (250X).....	144
Şekil 5.43. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre delik çapı değişimleri	145
Şekil 5.44. Kullanılmamış matkap görüntüleri (140°)	147
Şekil 5.45. Kaplamasız WC matkap görüntüleri (60X), SEM/Dijital	148
Şekil 5.46. TiAlN kaplamalı WC matkap görüntüleri (60X), SEM/Dijital.....	150
Şekil 5.47. Elmas kaplamalı WC matkap görüntüleri (60X), SEM/Dijital	152



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çeşitli KFTK'lerin özellikleri.....	9
Çizelge 2.2. Titanyumun diğer metallerle karşılaştırmalı bazı özellikleri	14
Çizelge 2.3. Titanyum alaşımlarının uygulama alanları	18
Çizelge 2.4. Takım aşınmaları, nedenleri ve çözümleri	28
Çizelge 4.1. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)	45
Çizelge 4.2. Ti-6Al-4V alaşımının fiziksel özellikleri.....	45
Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri	46
Çizelge 4.4. Hız kafasının teknik özellikleri.....	46
Çizelge 4.5. Kesici takım kaplama özellikleri	47
Çizelge 4.6. Taguchi L27 dizinine göre ön deney için kesme parametreleri	49
Çizelge 4.7. KISTLER 9272 tipi dinamometrenin özellikleri.	53
Çizelge 4.8. KISTLER 5070 A tipi ampliflerin özellikleri.....	54
Çizelge 4.9. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.....	55
Çizelge 4.10. Ölçüm tezgahına ait teknik özellikler	57
Çizelge 5.1. Kaplamasız WC kesici takımlar için analiz sonuçları	92
Çizelge 5.2. Kaplamasız WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.....	93
Çizelge 5.3. TiAlN kaplamalı kesici takımlar için GİD tepki tablosu	93
Çizelge 5.4. Elmas kaplamalı kesici takımlar için GİD tepki tablosu	904
Çizelge 5.5. Kaplamasız WC kesici takımlar için analiz sonuçları	116
Çizelge 5.6. Kaplamasız WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.....	117
Çizelge 5.7. TiAlN kaplamalı kesici takımlar için GİD tepki tablosu	117
Çizelge 5.8. Elmas kaplamalı kesici takımlar için GİD tepki tablosu	118

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ti	: Titanyum
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
Al	: Alüminyum
V	: Vanadyum
t	: Talaş Kalınlığı
Fsz	: Kesme Kuvveti
Frz	: Radyal Kuvvet
Fvz	: İlerleme Kuvveti
Fnz	: Bileşke Kuvvet
P	: Matkap Uç Açısı
V	: Kesme Hızı
f	: İlerleme Miktarı
mm	: Milimetre
m	: Metre
µm	: Mikron
N	: Newton
D _{nom}	: Nominal Çap
D _{max}	: Maksimum Çap
Fz	: İtme Kuvveti
Mz	: Moment
Fd	: Delaminasyon Faktörü
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü

KISALTMALAR

KFTK	: Karbon Fiber Takviyeli Kompozit
PVC	: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
PAN	: Polyacrylonitrile (Poliakrilonitril)
PVA	: Polyvinyl Alcohol (Polivinil Alkol)
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HSP	: Hekzoganal Sıkı Paket
DIN	: German Institute for Standardization (Alman Standardizasyon Enstitüsü)
HSS	: High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
SEM	: Scanning Electrone Mikroskope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
MQL	: Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
YSA	: Yapay Sinir Ağı
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayısal Kontrol)
LFVAD	: Low Frequency Vibration Assisted Drilling (Düşük Frekanslı Titreşim Yardımıyla Delme)
WC	: Wolfram Carbide (Tungsten Karbür)
TiAlN	: Titanyum Alüminyum Nitrür
PCD	: Polycrystalline Diamond (Çok Taneli Elmas)
CLSM	: Confocal Laser Scanning Microscopy (Lazer Tarama Odaklı Mikroskop)
CVD	: Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu)
CMM	: Coordinat Measuring Machine (Koordinat Ölçüm Cihazı)
GİA	: Gri İlişki Analizi
GİD	: Gri İlişki Derecesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Karakteristik özellikleri ile diğer malzemelere göre birçok avantajları bulunan kompozit malzemeler uzun ömürleri, hafiflikleri, yüksek kimyasal ve mekanik dayanımları gibi pek çok üstün özelliklerinden dolayı tercih edilirler [1]. Özellikle havacılık endüstrisinde, polimer esaslı kompozit malzemeler, uçak yapısal bileşenlerinin imalatında kullanılan alüminyum ve çelik gibi daha geleneksel konstrüksiyon malzemelerinin yerini almaktadır. Karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemeler, iyi montaj performansı sağlamak için çoğunlukla nihai şekillerine yakın geometrilerde üretilmelerine rağmen, montaj sırasındaki kalite ve boyutsal gereksinimlerin karşılanması için frezeleme, delme vb. gibi talaşlı imalat işlemlerine tabi tutulmaktadır [2]. Son yıllarda, özellikle uzay ve havacılık bileşenlerinin yapımında KFTK, titanyum ve/veya alüminyumdan oluşan metal/kompozit istifli malzemelerin kullanımı artış göstermiştir. İstiflenmiş çoklu malzemelerin entegrasyonu için birkaç delik gerektiği için delik delme kompozitlere uygulanan en yaygın işleme operasyonudur [3,4]. Fiber takviyeli plastikler ve metalik malzemelerin istifli olarak delinmesi, her iki malzemenin farklı karakteristiklerinden dolayı çok zor bir işleme sürecidir [5]. Özellikle, delme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar ve düzensiz talaş tahliyesi izotropik ve homojen olmayan KFTK katmanlarının yüzey bütünlüğünde bozulmaya ve delik yüzeylerinde hasarlara neden olmaktadır [1]. KFTK malzemenin delinmesinde oluşan sıcaklık üzerinde, fiber takviye oranı ve tipi ile kesme hızı, ilerleme miktarı gibi delme parametrelerinin önemli etkisinin olduğu bilinmektedir [6]. Ayrıca, metalik/kompozit istifli yapıyı oluşturan malzemelerin mekanik özelliklerinin farklı olması, polimer esaslı kompozitin anizotropik yapısı ve düşük termal iletkenliğe sahip olmasından dolayı bu malzemelerin delinmesi sırasında, delaminasyon, hızlı takım aşınması, düşük yüzey

bütünlüğü gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu bağlamda, KFTK malzemelerin işlenmesi gündeme geldiğinde, her bir operasyon için kesme parametrelerinin seçiminde daha fazla dikkat edilmesi gerektiği gündeme gelmektedir.

Havacılık sektöründe, yuvarlak ve pürüzsüz delik açma gereksinimi güvenlik açısından önemli bir problemdir. Delikler, bağlantı elemanlarıyla yapılan birleştirmelerin bir parçası olduğundan yapının yorulma dayanımını etkiler [7]. Bu nedenle, özellikle metal/kompozit veya kompozit/metal istifli malzemelerin delinmesi sırasında kesme parametreleri ve kesici takımlar açısından çok seçici olmak gerekmektedir. Bu bağlamda, alışılmış işleme yöntemlerinde kesme şartları optimize edilmeli veya yeni işleme yöntemleri uygulanmalıdır.

Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemelerin Ti6Al4V alaşımı ile istiflenmiş halde delinmesinde yaşanan güçlükleri ve özellikle kompozit laminelerde oluşan katman kalkması (delaminasyon) problemini minimize edebilmek amacıyla kesici takım (matkap) kalitesi, matkap uç açısı, ilerleme miktarı ve kesme hızının farklı değerleri kullanılarak delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, KFTK ve Ti6Al4V alaşım malzemelerinin her biri için ön deneyler sonucunda elde edilen itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyona bağlı olarak kesme şartları optimize edilmiştir. Son olarak, optimizasyon sonucunda elde edilen kesme parametrelerine göre KFTK/Ti6Al4V istifli malzemenin delinmesinde kesici takım performansları belirlemek amacıyla takım ömrü deneyleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin makro seviyede birbirlerinin en iyi özelliklerini alarak birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir [8]. Bir diğer tanımlamada, kompozit malzeme birbirleri arasında çözünme gerçekleştirmeyen ve birbirlerinden farklı olarak şekil ve/veya malzeme karakteristiğine sahip birden fazla malzemenin karışımından meydana gelen malzeme sistemine denilmektedir [9]. Bu malzemeler makro yapıda birleşmesinden dolayı kompozit malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Eğer bu malzemelerin birleşimi mikro yapıda olsaydı kompozit olarak tanımlanmazlardı. Dolayısıyla metal alaşımlarının ve polimerlerin karışımları kompozit malzemeler olarak tanımlanmamaktadır. Buna göre kompozit malzemeleri birbirleri arasında çözünmeyip heterojen yapıda karaktere sahip malzemeler olarak nitelemek mümkündür [10]. Kompozitler, kendini oluşturan malzemenin özelliklerini göstermekle kalmayıp, yüksek mukavemete rağmen hafiflik, tasarımda esneklik, korozyon dayanımı ve titreşimleri absorbe edebilme gibi özelliklere sahiptirler. Bunun yanı sıra ısı dayanımları yüksek ve yüzey uygulamalarında kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca kullanılacak yere ve özelliğine bağlı olarak gerekli değişimler ile geliştirilebilir. Tek bir parça halinde üretilebilme kolaylığı parça sayısında azalma sağlayarak avantaj sunmaktadır. Üretilen kompozit malzemenin kalitesi imalat yönteminin kalitesi ile orantılıdır [11].

Kompozit malzemelerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bunları;

- Üretiminin zor olması
- Maliyetinin yüksek olması
- Tokluklarının düşük olması

- Geri dönüşebilen bir malzeme olmaması
- Gevrek malzeme olmasından dolayı kolay zarar görebilmesi olarak açıklamak mümkündür [12].

2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin yapılarında birden fazla malzeme bulunduğu için sınıflandırılmaları yapılırken belirli bir sınırlama yapılamamaktadır. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması yaygın olarak matris malzemesine göre yapıldığı gibi takviye malzemesine göre de yapılmaktadır [11,13]. Matris malzemelerine göre kompozitler, polimer matrisli, metal matrisli ve seramik matrisli olmak üzere sınıflandırılır. Takviye malzemesine göre ise fiber takviyeli ve partikül takviyeli olarak sınıflandırılmaktadır [13].

2.1.2. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırılması

Kompozitlerde polimer esaslı matrislerin dışında metal malzemeler ve seramik malzemeler de matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Metal ve seramik matrisli malzemeler ile kıyaslandığından kompozit malzemelerin üretiminin yaklaşık %90'ında plastik matrisler kullanılmaktadır. Dolayısıyla kompozit malzemelere diğer bir deyişle takviye edilmiş plastikler de denilebilmektedir. Matris seçimi uygulama alanına göre belirlenmektedir. Metal matrisli kompozitler çalışma alanı fazla olan uygulamalarda tercih edilmemektedirler. Metal matrislerin tercih edilmemesindeki en önemli neden ise pahalı olması ve çalışma şartlarında kullanımının zor olmasıdır. Seramik matrisli kompozitler ise gevrekliklerinin yüksek oluşu ve dayanıklılığının yetersiz olmasından dolayı yalnızca yüksek ısının olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Uçakların fren sistemlerinin yanı sıra yarış arabalarında yaygın olarak kullanılan karbon matrisli kompozit malzemeler üretimlerinin zor ve maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı zorunlu durumlar dışında kullanılmamaktadır [14].

Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metaller, lifler veya tanecikler ile takviye edilerek kompozit malzeme oluşturabilirler. Metal matrisli kompozitlerin hafif metaller, plastik esaslı malzemelere göre daha dayanıklı ve tokluklarının yüksek olduğu bilinmektedir. Ayrıca elastikiyet modülleri daha yüksektir. Metal matris tercih edilen kompozitlerin üretimleri oldukça zordur ve her bir elyaf ile yaptığı ara yüzey bağı yeterince iyi olmamaktadır [15]. Metaller saf hallerinde dayanımları düşük ve yumuşak malzemelerdir. Fakat alaşım yapma, soğuk şekillendirme ve ısıtılma işlemleri ile sertlik ve dayanımları arttırılabilmektedir. Metaller yüksek kuvvetlerde kırılmazlar, yalnızca akması gerçekleşir ve uygulanan kuvvet bütün sisteme dağılır. Metallerin bu özellikleri kullanıldığı yerde güvenilirlik sağlamaktadır. Bunun yanı sıra dökümünün kolay olması ve/veya plastik deformasyona maruz bırakılarak şekillendirilebilmesi karışık montaj işlemlerinin kaynaklı ve vidalı birleştirmeleri için uygundur. Metallerin ağır ve korozyon yapıda olması kullanımlarında zorluk oluşturan özelliklerindendir [11].

Metal matrisli kompozit malzemeler kullanım yerlerine göre değişim göstermektedirler. Bunlardan bazıları şöyledir;

- Alüminyum alaşımları: yoğunlukları düşük olmasına rağmen mukavemetleri yüksektir.
- Titanyum alaşımları: korozyon dirençleri yüksek, yoğunlukları düşüktür. Ayrıca ergime sıcaklıkları yüksektir.
- Magnezyum alaşımları: Kompozit malzeme üretiminde kullanılmasının ana amacı çok hafif olmasıdır.
- Bakır alaşımları: Elektrik iletkenlikleri ve korozyon direnci yüksektir [12].

Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler

Mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda; yüksek sıcaklık direncine, dengeli yüzeylere, boyutsal kararlılığa, aşınmaya ve korozyon direncine sahip olması gereken ileri malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Seramiklerin metallere ve

polimerlere kıyasla yüksek sıcaklık direncine ve yüksek mekanik özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir [16]. Tek parça seramikler (Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC , ZrO_2), ve seramik matris kompozitler, gelişmiş malzemeler olarak sınıflandırılan yüksek sıcaklık seramik malzemelerine bazı örneklerdir. Monolitik seramikler, yüksek mukavemetli, yüksek sıcaklık direnci, kimyasal inertlik, düşük yoğunluk, aşınma ve erozyon direnci gibi istenilen özelliklere sahip olmasına rağmen, herhangi bir plastisite göstermezler. Termal ve mekanik yükleme koşulları altında gevrek davranışlar sergilerler. Bu dezavantajların üstesinden gelebilmek için, seramik malzemelerin tokluğunu arttırmak için elyaf ve partikül şeklinde takviyeler kullanılır. Hasara dayanıklı, yarı sfero kırılma davranışını elde etmek ve yüksek sıcaklık koşullarında monolitik seramiklerin diğer tüm avantajlarını korumak için seramik matris kompozitleri geliştirilmiştir [17].

Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimerler, kovalent bağlı bir veya daha fazla tekrarlayan atom birimi içeren uzun zincirli moleküllerdir. Katı halde bu moleküller, amorf polimerler için rastgele bir biçimde bulunur, yarı-kristal polimerler ise düzenli zincirlerde bulunurlar [18].

Polimerler termoset veya termoplastik olabilir. Termoset polimerler; poliesterler, epoksiler, poliimidler, fenolik bileşiklerdir. Termoplastik polimerler ise polipropilen polivinilklorür (PVC), polietilen, naylon, termoplastik poliesterler (PET, PBT), polikarbonat ve polivinilasetattır [18].

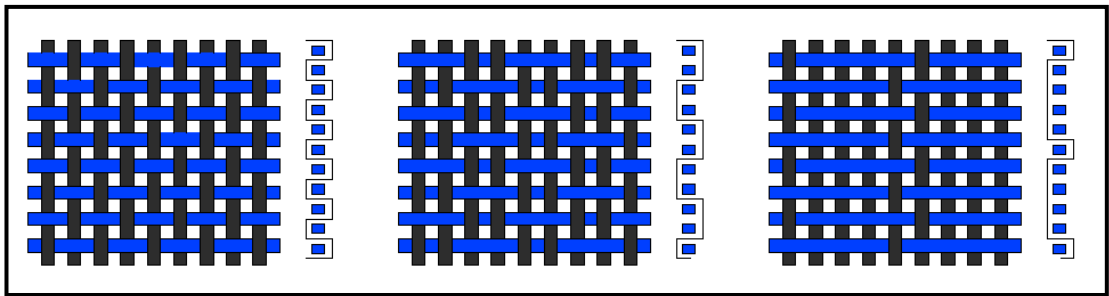
Termoplastik bir polimerde, moleküller kimyasal olarak birbirine bağlanmazlar ve bireyseldirler. Zayıf sekonder bağlar ya da moleküller arası kuvvetler, Van der Waals bağları ve hidrojen bağları gibi bağlar tarafından tutulurlar. Isı uygulandığında, katı bir termoplastik polimerdeki bu ikincil bağlar kopabilir ve moleküllere basınç uygulanırsa birbirlerine göre hareket edebilir veya yeni bir konfigürasyona geçebilir. Soğutma sırasında, moleküller yeni konfigürasyonlarında dondurulabilir ve ikincil bağlar yenilenir, böylece yeni bir katı şekil elde edilir. Bu nedenle, bir termoplastik polimer, arzu edildiği takdirde, ısı ile yumuşatılabilir, eritilebilir ve tekrar şekillendirilebilir [19].

2.1.3. Takviye Elemanlarına Göre Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler takviye elemanlarına göre; fiber takviyeli, parçacık takviyeli ve tabakalı kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu takviye elemanları matrisli kompozit malzemeler içinde bulunabilir. Takviye elemanlı kompozit malzemelerin matrisli kompozitlere göre daha sert olduğunu söylemek mümkündür [9,20].

Fiber takviyeli kompozit malzemeler

Özellikle havacılık sektörü ve uzay sektöründe kullanılmak için geliştirilen fiber takviyeli kompozit malzemelerin ana amacı dış yükün etkisini karşılayarak dayanımı ve rijitliği arttırmaktır. Fiber takviyeli kompozitlerde yükü taşıyan ana eleman fiberdir. Kısım kısım kullanılacak yerlerde fiberler rastgele veya istenilen bir düzende bir matris malzemesi ile birleştirilebilir. Daimî fiberlerde ise genel olarak tek bir yönlü olan şeritler kumaşa ortogonal biçimde örülü veya malafaya sarılmış durumdadırlar. Kompozitlerin, fiber ve matrisin özelliğine bağlı olarak makro seviyede mekanik olarak özellikleri ortaya çıkmaktadır. Fiberler, genel olarak malzemeye yüksek katsayı ve mukavemet sağlayarak malzemenin kırılma dayanımını olumlu olarak etkilemektedir. Reçine ise malzemenin tokluğuna, yoğunluğunun düşük olmasına, mukavemetini düşürmeye, rijitlik kaybına, ısı genleşmenin yükselmesine ve ısı kararlılığının düşmesine katkı sağlamaktadır [21]. Fiber takviyeli kompozitlerin dizilişi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fiber takviyeli kompozitlerin dizilişleri.

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler, matrisin içerisinde bulunan farklı bir malzemenin parçacıklar şeklinde bulunmasıyla elde edilmektedir. Oluşan malzemenin mukavemeti oluşturan parçacık malzemelerinin sertliğine bağlıdır. Parçacık takviyeli kompozitlerin arasında plastik matrisin içerisinde bulunan metal parçacıklar bulunur. Bu metal parçacıklar malzemede elektriksel ve ısı iletkenlik sağlamaktadır. Metal matrislerin içerisinde bulunan seramik parçacıkların sertlik ve sıcaklık dayanımı oldukça yüksektir. Takviye elemanı olarak seramik parçacıklar bulunan metal matrisli kompozitlerde en yaygın olarak kullanılan seramik parçacıkları ise Al_2O_3 ile SiC karışımıyla oluşturulan seramiklerdir.

Bu tarz kompozit yapılar özellik olarak izotropik yapıda olmakla birlikte yükler, elyaflar ve matrisler ile birlikte taşınmaktadır. Bu yöntemle oluşturulan kompozitlerin ana amacı mukavemet arttırmak değil farklı özelliklere sahip malzemeler oluşturmaktır [11].

Tabakalı kompozit malzemeler

Bu tip kompozit malzemeler, farklı yapı ve özelliklere sahip birden fazla malzemenin reçine yardımı ile birleştirilip oluşturulmasıyla üretilmektedir. Tabakalı kompozitlere “Lamine Kompozitler” de denilmektedir. Ayrıca diğer bir tanım olarak tabakalı (Lamine) kompozitler, farklı özellik gösteren tabakaların birleştirilmesi ile elde edilirler. Farklılık olarak aranan faktörler ise, birbirleri arasındaki mukavemeti, ısı iletkenliği, sertlikleri gibi çeşitlilikleridir. Bu kompozitler en az iki farklı tabakadan oluşmaktadır. Ancak tabakalı kompozitlerde aranan en önemli özellik mukavemet faktörüdür. Bu özelliklerin en iyi derecede oluşturulabilmesi, en az iki değil üç veya daha fazla tabakanın oluşturulmasıyla mümkün olmaktadır. Bu tabakaların malzemeleri farklı olmakla birlikte aynı tip malzeme ile de oluşturulabilir [22].

2.1.4. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitler (KFTK)

Havacılık ve uzay mühendisliğinde, fiber takviyeli kompozit malzemeler yüksek mukavemet ve düşük ağırlığın çok önemli olduğu yerlerde 50 yıldan fazladır kullanılmaktadır. Bu malzemelere son yıllarda otomotiv endüstrisinde de talep giderek artmaktadır. Bunun yanı sıra son yıllarda, inşaat mühendisleri, diğer materyallerin yeterli dayanım göstermediği durumlarda yapıları güçlendirmek için fiber takviyeli kompozit malzemeler kullanmaya başlamıştır [23].

Bu tip kompozitler, polimer ve karbon fiber olarak iki farklı malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. İçerisinde buluna karbon elyaflarıyla polimer matrisli malzeme bir ya da birden fazla yönde örgü oluşturarak bulunmaktadır. Karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemeler üretimlerinde kullanılan malzemelere göre üç gruba sınıflanmaktadır. Bunlar; termosetler, reçine ve termoplastiklerdir [24].

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin hafiflik, yüksek mukavemet, yüksek kırılma tokluğu, iyi korozyon direnci, elektriksel iletkenliğinin iyi olması ve yüksek boyutsal kararlılık gibi üstün özellikleri bulunmaktadır [25]. Çeşitli karbon fiber takviyeli kompozitlerin özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir [26].

Çizelge 2.1. Çeşitli KFTK’lerin özellikleri [26].

Tip	Çap (μm)	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme elastisite modülü (GPa)
Genel amaçlı	7-15	700	40
Yüksek performans	9-11	5000	350
Yüksek performanslı poliakrilonitril	4-8	2000	200-800
Etkinleştirilmiş karbon fiberler	7-15	200	1500

2.1.5. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

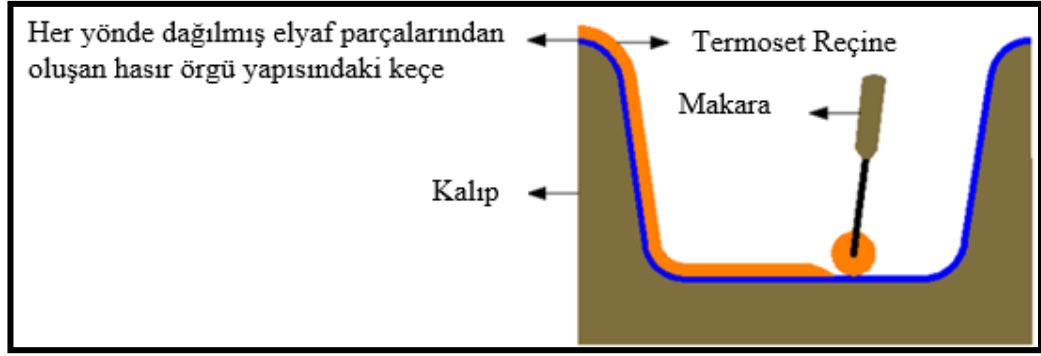
Karbon fiber takviyeli kompozitlerin üretiminin %90'dan fazlası karbondan oluşmaktadır. KFTK malzemelerin üretimi genellikle iki malzemeden elde edilmektedir. Bunlar; Zift ve PAN (poliakrilonitril)'dir. Ayrıca kompozitlerin üretiminde kullanılacak malzemelere göre üretim yöntemi belirlenmektedir. KFTK malzemeler;

- Elle tabakalama
- Hazır kalıp
- Vakum ile kalıplama
- Profil çekme
- Püskürtme

metodu kullanılarak üretilmektedir.

Hazır Kalıp Metodu

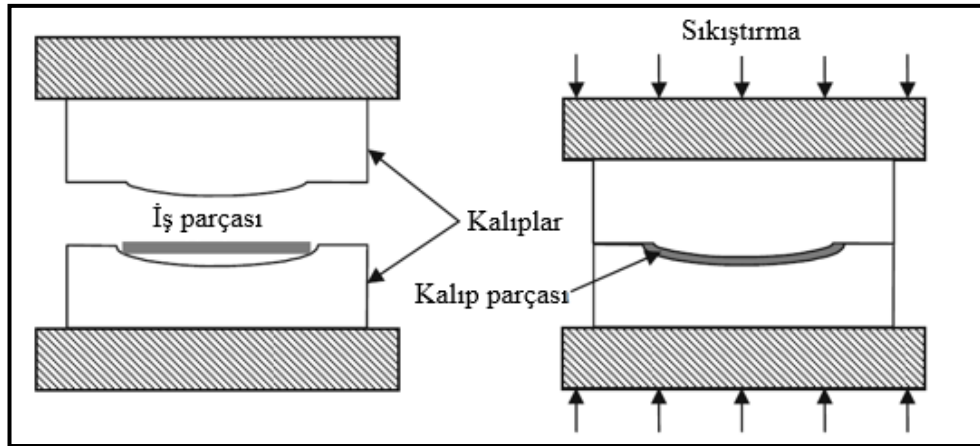
Bu metod ile kompozit üretimi yapabilmek için kalıp gerekmektedir. Bu kalıbın içerisi öncelikle silinerek ilk ayırma malzemesi olan vaksle temizlenir. Ardından ikinci ayırıcı olarak polivinil alkol (PVA) sürülmektedir. Daha sonra viskozitesi yüksek olan bir reçine sürülerek fiber demetleri hazırlanmaktadır. Jelkot üstüne reçine sürme işlemi yapılır ve keçe ya da dokuma biçimindeki takviye elemanı yerleştirilir. Reçinenin emdirilme işlemi fırça darbesiyle yapılmakta olup rulo yardımıyla hava kabarcığının giderilmesi işlemi gerçekleştirilir. Yapılan bu işlemler istenen kalınlık oluşana kadar sürdürülmektedir. Kullanılan reçinenin cinsi genellikle polyester veya epoksidir. Sertleşme sonrasında ürün kalıptan çıkarılarak malzeme üretimi gerçekleştirilir (Şekil 2.2). KFTK malzemelerinin üretiminde kullanılan bu yöntem fazla işçilik işlemleri gerektirdiğinden dolayı üretimin az olduğu durumlarda kullanılması uygundur [27].



Şekil 2.2. Elle tabaklama metodu [28].

Hazır Kalıp Metodu

Üretilecek ürünün ebatlarına göre 3 ile 6 dakika arasında kalıplama süresinin olmasından dolayı seri üretim için uygun bir yöntemdir. Bu yöntem daha önceden hazırlanan hamur kıvamındaki fiber ve polyester dolgu ile ilave malzemelerin karışımının 150 ile 170 °C sıcaklıkta, 50 ile 120 kgf/cm² basınçta çelik kalıplar kullanılarak yapılan şekil verme yöntemidir [11]. Hazır kalıplamanın şematik olarak gösterimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hazır kalıplama metodu [29].

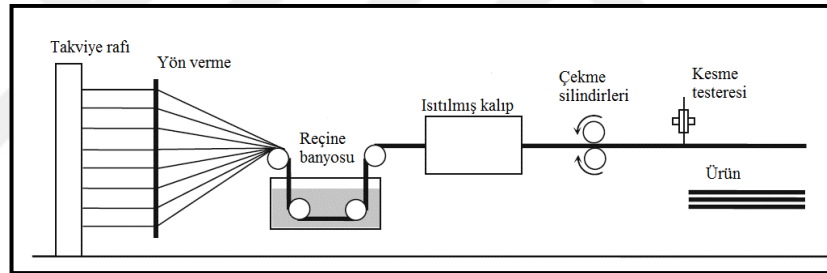
Vakum ile kalıplama metodu

Ürünün vakum tablasının üstüne konularak vakum torbasının tabla üzerine kapatılmasıyla gerçekleştirilen üretim işlemidir. Bu işlem ile torbada bulunan havanın

emilmesini sağlamaktadır. Havanın emilmesiyle beraber vakum torbası üretilecek ürünün üzerine yapışarak ürüne basınç uygulamaktadır. Bu yöntem ile üretilen ürünün kalitesi daha iyi olmaktadır. Vakum torbası olarak naylon ya da selefondur kullanılmaktadır [11].

Profil çekme metodu

Lifler reçine tankından geçirildikten sonra bu liflere reçine uygulanır. Bu yöntem ile genel olarak çubuk ve boru biçiminde ürün üretildiğinden yapılacak karışımın boru veya çubuk biçimini kazanabilmesi için uygun kalıplardan çekilmesi gereklidir. Oluşacak şeklin kalıcı olabilmesi amacıyla fırından geçirilmektedir. Bu yöntem ile kapı ve pencerenin profilleri yapılmaktadır [11]. Profil çekme yönteminin şematik olarak gösterimi verilmiştir (Şekil 2.4).



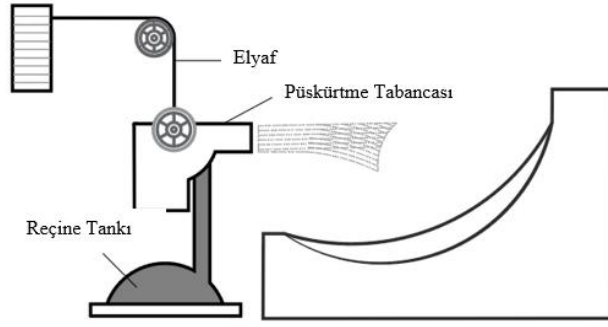
Şekil 2.4. Profil çekme yöntemi [29].

Püskürtme metodu

Elle tabaklama yöntemine benzemekte olan bu metod, üretilcek ürünlerin düşük ve orta hacimdeki tekne, kayık, tank ve duş üniteleri gibi ürünlerin karmaşık geometriye sahip durumlarında tercih edilmektedir. Püskürtme metodunda kullanılan araç-gereçler, fiberleri kırarak kalıp üstüne reçineyi homojen bir şekilde emdirmektedir. Daha sonra boşluklu yapının veya havanın kalmaması ve istenilen kalınlığa ulaşabilmek amacıyla fiber ve reçine ilavesi yapılır. Bu yöntemde katılaşma çoğunlukla oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Katılaşmanın hızlanması istendiğinde ise ısı artışı yapılabilir. Ana eleman püskürtülmeden önce kalıbın içerisine silikon sürülerek yüzeyin daha kaliteli olması sağlanabilir. Polyesterler bu yöntemde de

kullanılan reçinelerdir [11]. Şekil 2.5'te püskürtme yönteminin Şematik gösterimi verilmiştir.





Şekil 2.5. Püskürtme yöntemi [11].

2.1.6. Karbon Fiber Takviyeli Kompozitlerin Uygulama Alanları

Kompozitler yeni gelişen malzemeler olduğu için kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Genellikle havacılık sektörü için kullanılan kompozitler son zamanlarda farklı sektör ve farklı amaçlar için de kullanılmaya başlanmıştır [30].

Karbon fiber takviyeli kompozitlerin kullanım alanları;

- Havacılık
- Denizcilik
- Spor malzemeleri
- Korozyona dayanıklılık olması istenilen yerlerde
- Sağlık
- Otomotiv
- Ulaşım
- Müzik aletleri
- İnşaat sektörü vb.

2.2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

Titanyum ve titanyum alaşımları mukavemetleri yüksek, ağırlıkları düşük ve korozyon dirençleri yüksek olan mühendislik malzemeleridir. Titanyumun yoğunluğu $4,54 \text{ g/cm}^3$ olup hafif bir metal olduğu bilinmektedir. Titanyumun bu yoğunluğu ile alüminyumdan $2,73 \text{ g/cm}^3$ fazla, demirden ise 5.33 g/cm^3 daha azdır. Yani hafif olarak bildiğimiz alüminyumdan sadece yaklaşık olarak 2 kat daha ağırdır [31].

Titanyum oda sıcaklığında hegzagonal sıkı paketindedir. Ayrıca allotropik bir malzemedir. Titanyumun kristal yapısındaki α fazı yaklaşık olarak $885 \text{ }^\circ\text{C}$ de hacim merkez kübik sistemine ve β fazına dönüşmektedir. $885 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığı saf titanyum da β dönüşümünün sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır [32].

Titanyum alaşımlarının genel özellikleri α ile β fazının titanyumun yapısının içerisindeki hacimsel oranına ve dağılışlarına bağlıdır. Hacim merkezli kübik (HMK) yapıdaki β fazının, hegzogonal sıkı paket (HSP) yapıdaki α fazı ile kıyaslanmasında α fazı daha yoğun olarak paketleniği için anizotropik kristal yapıya sahiptir. Bu malzemeler α ve β fazına göre plastik deformasyona daha fazla dayanım göstermektedir ve sünekliliği daha azdır. Titanyumun fiziksel ve mekanik özelliğinin anizotropik olması, difüzyon hızlarında β fazına göre iki kat daha fazla hızlı olmasını ve sürtünme dayanımlarında daha yüksek dayanım göstermesini sağlamaktadır. Ancak, β fazına mukavemet artırıcı mekanizmalardan olan yaşlandırma sertleştirilmesi uygulandığı takdirde sünekliliği α fazına yaklaşmaktadır [33].

Titanyumun çekim gücünün oksijenin çekim gücünden yüksek olmasından dolayı oda sıcaklığında yüzeyinde çok ince bir oksit katmanı oluşmaktadır. Titanyum bazlı malzemelerde yüksek korozyon dayanımlarının nedeni yüzeyinde meydana gelen oksit katmanıdır. α alaşımlarındaki korozyon dayanımı β alaşımlarına göre daha fazladır [34]. Titanyumun diğer metallere göre kıyaslamalı özelliği Çizelge 2.2.'de verilmiştir [35].

Çizelge 2.2. Titanyumun diğer metallerle karşılaştırmalı bazı özellikleri [35].

Özellikler	Ti	Fe	Ni	Al
Ergime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	1670	1538	1455	660
Allotropik dönüşüm sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	882 $\beta \longrightarrow \alpha$	912 $\gamma \longrightarrow \alpha$	-	-
Kaynama noktası	3130	-	-	-
Kristal yapısı	HMK $\longrightarrow$ HSP	YMK $\longrightarrow$ HMK	YMK	YMK
Elastiklik modülü	115	215	200	72
Akma dayanımı (MPa)	1000	1000	1000	500
Yoğunluk (g/cm^3)	4,5	7,9	8,9	2,7
Korozyona direnç	Çok yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Oksijenle reaktifliği	Çok yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek
Fiyat	Çok yüksek	Düşük	Yüksek	Orta

2.2.1. Titanyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Titanyum alaşımlarının genel olarak sınıflandırılması α , β ve $\alpha+\beta$ olarak yapılmaktadır. Sınıflandırma işlemi daha çok irdelendiğinde α fazına yakın ve β fazının yarı kararlı olan alaşımları ile de karşılaşılmaktadır.

Saf titanyum

Saf titanyum minimum %98,5-99,5 arasında değişen oranlarda titanyum içermektedir. Korozyon dirençleri yüksek olmasına rağmen alaşımlı titanyumlara göre mukavemetleri daha düşüktür. Genel olarak soğuk çalışma şartlarında tercih edilmektedir. Saf titanyum, kullanıcılara göre çok değerli bir malzeme olarak görülmemektedir. Tercih edilmesinin nedeni düşük miktarlarda eklenen alaşımlama elemanlarıyla yeni özellikler kazanmasıdır. Ayrıca saf titanyumun tercih edilmesindeki bir diğer neden mükemmel korozyon direncine sahip olmasıdır [36].

α fazı ile alaşımlandırılmış titanyum

α alaşımları içerisinde alüminyum, zirkonyum ve kalay içermesinden dolayı daha fazla sıcaklıklarda ve daha düşük soğukluklara dayanıklılık istenilen durumlarda tercih edilmektedir. α fazındaki alaşımlar β fazındaki alaşımlara göre aşırı sıcaklıkta sürtünmeye karşı gösterdiği direnç daha fazladır [37].

α fazı alaşımları direnci arttırmaktadır. Bu alaşımlar, ısıtılma tepkisizlik nedeniyle iyi kaynak kabiliyeti sergiler ve sfero ile gevrek geçişi olmayan kriyojenik uygulamalar için iyi sonuçlar verir. Ayrıca bu fazın hegzagonal sıkı paket (HSP) olmasından dolayı malzemenin dövme kabiliyeti iyi değildir [38].

β fazı ile alaşımlandırılmış titanyum

Bu alaşımlara oda sıcaklığında su verme işlemi gerçekleştirildiğinde martenzitik dönüşüm gerçekleşmez. Ayrıca β alaşımlarında özellikle yüksek gerilme ve yorulma mukavemeti fazladır ve düşük sıcaklıklarda sürtünme ve oksidasyon direnci iyidir [39].

Bu alaşımda, aşınma direncinin artması üzerine avantaj sağlayan β fazının yüksek hidrojen toleransına sahip olmasıdır ve bazı yönleriyle korozyon direnci α/β alaşımlarına göre daha yüksektir [38].

Bu alaşımlar kararsız alaşım olduğundan α fazının β fazı matrisinde çöktürülmesiyle sertleştirilebilir. Kırılma toklukları yüksek olup, içerisinde molibden içermesi korozyon direncini arttırmaktadır. α/β alaşımlarının işlenebilirliğinden daha iyi olmasının yanı sıra ısıtılma işlemi için daha yatkındır [40].

$\alpha+\beta$ fazı ile alaşımlandırılmış titanyum

Ticari uygulamalar arasında α/β titanyum alaşımları en çok kullanılan titanyum alaşımlarıdır. 1998 yılında ABD'de tüm titanyum kullanımının yarıdan fazlasını oluşturmakta olup toplam kullanımının %56'sı Ti6Al4V alaşımıdır. Oda sıcaklığında

az miktarda β fazı mevcuttur. Bu alaşım, mukavemet, suneelik, yorulma ve kırılma özelliklerini geliştirir. α' dan β' ya dönüşüm sıcaklığı β transüs sıcaklığı olarak bilinir. Mikroyapı, çözeltinin yaşlandırma sıcaklıklarını, zamanlarını ve ayrıca β transüsünün üstündeki soğutma hızlarını değiştirebilmektedir [38].

Güçlendirilmiş $\alpha + \beta$ alaşımlarının elde edilmesi için, uygulanan ısıl işlem, α - β faz alanı içindeki kontrol edilen bir sıcaklıkta su verme işlemi uygulanır ve seçilen bir sıcaklıkta yaşlandırma sertleştirmesi uygulanır. Soğutma ile β -fazı bastırılır, yaşlanmaya devam edilir ve ince α' 'nın çökmesine izin verilir ve daha kuvvetli bir alaşım elde edilir. Genellikle bu iki fazlı alaşımlar α -alaşımlarından daha güçlüdür, fakat suneelikleri azalmaktadır [41].

Ti-6Al-4V alaşımı

Titanyu alaşımları arasında en yaygın olarak kullanılan alaşımlardır. Bu alaşım grubu $\alpha + \beta$ alaşım grubu içerisinde bulunmaktadır. Ti6Al4V alaşımı içerisinde %6 Al kararlaştırıcısı ile α fazı, %4 V kararlaştırıcısı ile de β fazını içermektedir [42]. Bu alaşım daha fazla α kararlaştırıcısı bulundurmasından dolayı faz diyagramında α' 'ya yakın bölgede yer almaktadır. α kararlaştırıcısı olan Al katı çözelti mukavemetleşmesi sağlamaktadır. α_2 fazının oluşumundan kaçınmak amacıyla Al içeriği genellikle %6 civarında tutulur. Bu α_2 fazı, Ti6Al4V alaşımının suneelik, korozyon direncinde ve tokluğunda azalmaya neden olmaktadır [43].

Ti-6Al-4V alaşımının içerisinde bulunan β kararlaştırıcısı olan V, α fazında çözünmez ve dışarı atılmaktadır. Bu nedenle vanadyum, β fazının küçük bölgelerinde birirmektedir. β fazı, α matrisi içerisinde eşit olarak dağılmıştır. α ve β fazlarının içerik olarak birbirlerine göre farklı olması nedeniyle bu iki faz tane büyümesine karşı oldukça kararlıdır. Yani tane büyümesi için daha fazla difüzyona gerek duyulmaktadır. Sonuç olarak, Ti-6Al-4V gibi alaşımlar nispeten ince bir mikroyapıya sahip olup, genellikle dayanımlarını tane sınırı mukavemetleşmesinden sağlamaktadır [44].

2.2.2. Titanyum Ve Titanyum Alaşımlarının Uygulama Alanları

Jet-motor bıçakları ve gaz türbini parçaları gibi dönen bileşenler, yüksek sıcaklıklarda mukavemet verimliliğini ve metalurjik kararlılığı maksimize eden titanyum alaşımları gerektirir. Bu alaşımlar ayrıca düşük sürtünme oranlarına, gerilme kopması ve düşük devirli yorulma ile ilgili öngörülebilir davranış sergilemelidirler. Bu özellikleri tekrarlanabilir bir şekilde sağlamak için, kontrollü, homojen mikroyapıların ve alfa ayrımının, yüksek yoğunluklu veya düşük yoğunluklu tramp inklüzyonlarının ve erimeyen külçe porozitesi veya borunun erime kusurlarına karşı tamamen özgürlüğünün sağlanması için sıkı kullanıcı gereksinimleri belirtilmiştir. Ancak, kontrol ne kadar büyük olursa, maliyet de o kadar yüksek olmaktadır [45].

Havacılıkta kullanılan basınçlı kaplar, düşük sıcaklıklarda da olsa, optimize edilmiş mukavemet etkinliği gerektirir. Gerekli yardımcı özellikler, kriyojenik ve orta derecede yükseltilmiş sıcaklıklarda kaynak kabiliyetini ve öngörülebilir kırılma tokluğunu içerir. Bu özellik kombinasyonunu sağlamak için sıkı kullanıcı özellikleri, kontrollü mikroyapıların ve erime kusurlarının olmamasını gerektirir. Kriyojenik uygulamalar için oksijen, azot ve karbon ara yer elementler sünekliği ve kırılma tokluğunu arttırmak için dikkatle kontrol edilir. Uçak yapısal uygulamaları, yüksek performanslı otomotiv ve deniz uygulamaları ile birlikte, normalde öğütme işleminin sıkı kontrolüyle birleştirilen uygun alaşım seçimi ile elde edilen yüksek mukavemetli verimlilik gerektirir. Bununla birlikte, tasarım, yedekli yapılar içerdiğinde, çalışma ortamları sert olmadığında, spesifik bileşenler için kullanılabilecek üretim yöntemlerinde kısıtlamalar olduğunda veya operasyonel riskler düşük olduğunda, uygun alaşımın ve prosesin seçimi gibi faktörleri hesaba katmak gereklidir [45].

Titanyum ve alaşımlarının havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılmasının ana nedeni, hafif olması, çalışma sıcaklığının iyi olması, hacim kısıtlamasının yanı sıra korozyon direncinin iyi olmasıdır. Bunun yanı sıra yakıt tasarrufunun sağlanması gibi teknolojik gelişmelerin gerçekleştirilmesinde en önemli etken ağırlık olduğunda araçların ağırlıklarının azaltılması ve mukavemetinin artırılması için titanyum ve alaşımlarının kullanımı giderek artmaktadır. Fakat titanyumun otomotiv sanayisinde

kullanılması maliyetleri oldukça arttırdığından yalnızca yarış arabalarında ve Formula 1 araçlarında kullanılmaktadır. Bu malzemelerin yüksek performans sağladığı bilinmektedir. Dolayısıyla kullanım alanı arayışı içerisinde en uygun olarak spor dalları öne çıkmaktadır. Genellikle golf, su altı sporları, tenis, dağcılık, bisiklet, kış sporları ve doğa yürüyüşü malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [32].

Çizelge 2.3. Titanyum alaşımlarının uygulama alanları [42].

Titanyum alaşımlarının uygulama alanları					
Kimya	Denizcilik	Havacılık	Jet Motorlar	Biyomedikal	Otomotiv
Isı değiştiricileri	Denizaltı gövdesi	İniş takımları	Fan diskleri	Kemik implantı	Yay valflerinde
Reaksiyon kazanları	Pervane	Hidrolik tüp	Fan kanatçıkları	Eklem implantı	Piston valflerinde
Tank ve pompalarda	Pompa	Kanatlar	Kompresör diskleri	Kalp kapakları	Kapı mandallarında
Valf ve tüplerde		Cıvata	Motor kapağı	Diş implantı	Roket motor
Mücevherat		Pul	Flanşlar		Yakıt tankı
Anotlarda		Hidrolik boru	Yüzükler		

Titanyum ve alaşımların diğer bir avantajı ise alüminyuma göre üçte bir oranında ve paslanmaz çeliğe göre ise yarısı kadar ısıl genleşmeye sahip olmasıdır. Bu nedenle daha çok miktarda cam veya beton kullanılması gereken yapılarda titanyum ve alaşımlarının kullanılması ön plandadır [46].

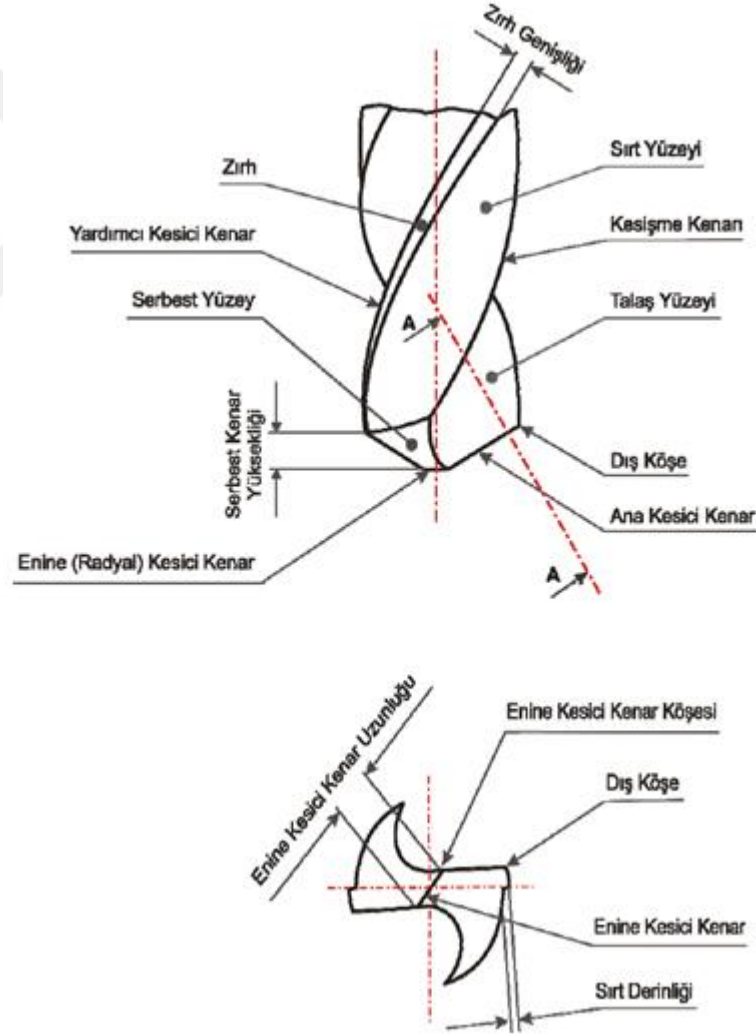
2.3. DELİK DELME

Delik delme işlemleri torna ve freze tezgahında yapılan işlemler gibi algılansa da delik delmede talaşın kırılması ve talaşın iş parçası malzemesinden boşaltılması önemli bir işlemdir. Delik derinliğinin uzunluğu yapılan işlemin kontrolünü ve kaldırılacak talaşın zorluğunu belirlemektedir. Delik delme esnasında işleme

parametreleri, oluşan talaş ve sıcaklık elde edilecek yüzey kalitesi ile ölçü tamlığına etki etmektedir [47].

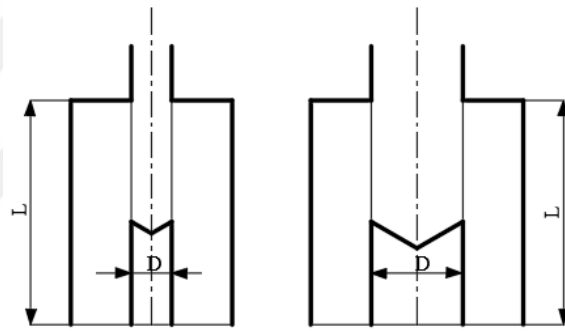
2.3.1. Delik Delme İşlemi

Delik delme ve delik büyütme işlemlerinde matkaplar kullanılmaktadır. Dönel yapıya sahip matkaplar, bir veya birden fazla kesici kenar ağızlı bulundurlar. Talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok türde, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir. Endüstriyel uygulamaların hemen hemen tamamında kullanılan matkaplar, helisel matkaplardır (Şekil 2.6) [48].



Şekil 2.6. Matkapta yüzey ve kesici kenarlar [49].

Delik delme işlemi, kesici takımların iş parçası malzemesinde silindirik delik açma metodlarını içermektedir. Bunlar, deliğin büyütülmesi, kademeli delik açma, raybalama işlemi gibi talaşın kaldırılması işlemleridir. Yapılan işlemlerde ortak nokta ise doğrusal ilerlemeyle beraber ana dönme hareketinin oluşmasıdır. Birbirlerinden farklı olan işlemler ise kısa ve derin delme işlemleridir. Derin delme işleminde çapın 150 katı kadar uzunluk delinebilmektedir. Kısa delme işlemlerinde ise hem delik delme hem de klavuz işlemine gerek duyulmadan tek işlemde yapılmasını sağlamaktadır. Kısa delik delmede oluşacak yüzeyin kalitesi daha iyidir. Genelde yüzey işlemi için ikinci bir işleme gerek duyulmaktadır [50]. Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler uzun delik olarak adlandırılır. Delik boyu çap oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha düşük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Çap uzunluk ilişkisi [51].

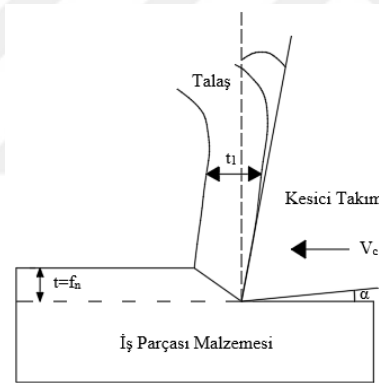
2.3.2. Talaş Oluşumu

Delik delme işlemlerinde kullanılan birçok matkaplarda iki tane talaşın geçmesi için kanal ve iki kesici kenar bulunmaktadır. Talaşın boşaltılması matkapta bulunan helis kanalı ile gerçekleşmektedir. Günümüzde, modern tezgahların oluşumu ile beraberinde yeni yöntemleri de getirmiştir. Kesici takım içerisinde bulunan kanallar ile kesme sıvısı gönderilerek talaş atılmaktadır.

Talaş oluşumunu etkileyen faktörler, işlenecek parça, takım geometrisi, kesme hızı ve kesme sıvısıdır. Genelde ilerleme miktarının artması ve kesme hızının azalmasıyla beraber oluşan talaş kısa olmaktadır. Oluşan talaşın kesiciden sorunsuz bir şekilde

uzaklaştırılması, talaşın uygun görülebilir uzunlukta olduğunu göstermektedir. Talaşın işlem esnasında kesici takım ve iş parçası arasında sıkışması delik kalitesinin düşmesine, kesici takım ömrünün azalmasına ve kesici takımın kırılmasına sebep olmaktadır [52].

İşleme esnasında kesme hızı kesici takımın çevresinden merkeze doğru azalmaktadır. Bu sebeple oluşacak yığma kenar oluşumu riski göze alınmalıdır. Kesici takımın merkezinde oluşan yığma kenar oluşumu belirli miktarı geçmeyecek durumda olduğunda kabul edilebilmektedir. Fakat, bunu önlemek için kesme hızının düşürülmesi gerektiği düşünülse de kesme hızının azaltılması yığma kenarının çevreye yaklaşacağından sakıncalı bir durumdur. Talaşın kaldırılması sırasında talaşta plastik deformasyon meydana gelmektedir. Plastik deformasyon oluşmuş talaş kalınlığı (t) ile teorik talaş kalınlığından (t_1) farklıdır. Şekil 2.8’de gösterilmiştir [53].



Şekil 2.8. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [54].

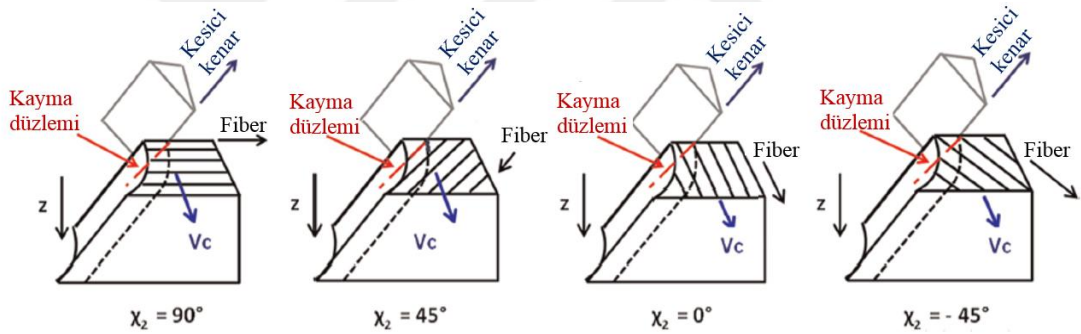
İlerleme miktarının artmasıyla beraber helis açısında artma ve boşluk açısında azalma meydana gelir. Bu oluşan azalma kesici takımın merkezine doğru en yüksek seviyede olur. Bu şekilde yapılmasının amacı iş parçası yüzeylerindeki aşınmayı önlemektir [52].

2.4. KFTK MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ

Kompozit malzeme uygulamalarında mekaniksel birleştirme yönteminin ve bileşen onarımlarının zor olmasından dolayı adhesiv birleştirme yöntemi tercih edilmektedir.

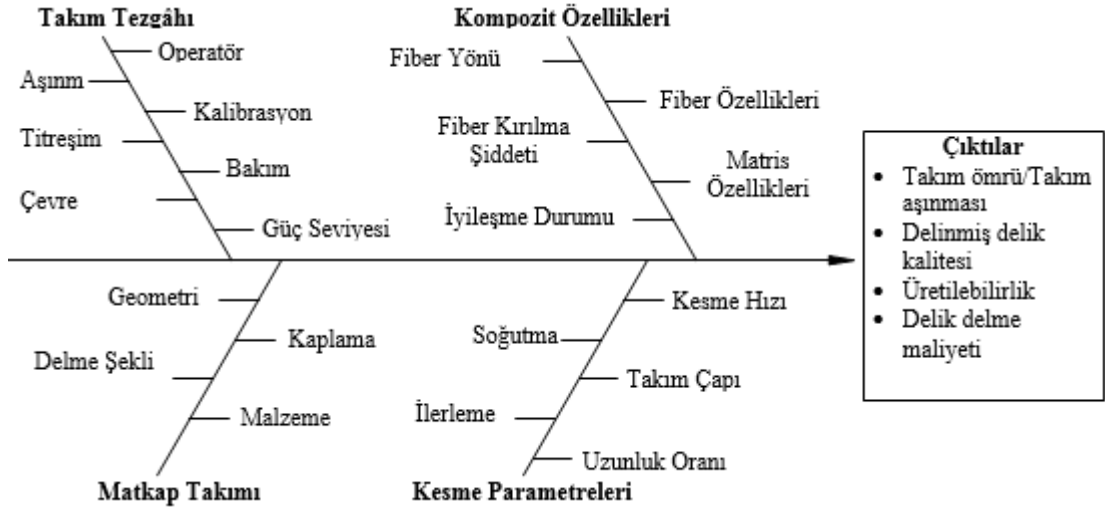
Birleştirme sonrası yüzey bitirme işlemi de gerekebilir [55]. Kompozitlerin kalıplanması sırasında iş parçasına gereken deliklerin eklenilmesi istenirse de birkaç değil binlerce delik gereken durumlarda bu durum söz konusu değildir. Bunun nedeni sertleştirme esnasında meydana gelen büzülme ve işlemenin zorluğudur [56].

Karmaşık geometrili parçalar ve üretilen parçaların katmanlarının kalitesi söz konusu olduğunda delinebilirlikteki zorluklar daha da artmaktadır. Bu durumlar genellikle uzay ve havacılıkta kullanılmak üzere yeni nesil uçak motorlarının emme sistemlerinin akustik yalıtımlarında ortaya çıkmaktadır. Delik üretimi iyi bir iyileştirme işlemi olarak yapılan delikli kompozit üretiminde kilit bir işlem olmaktadır. Kesme işlemi, liflerin yönlenmesine ve dokuma türlerinin çeşitliliğinin farklılaşması gibi faktörlerden kaynaklı olarak etkilenmektedir (Şekil 2.9). KFTK malzemelerin delinmesi elmas takımlarla dahi kolay değildir [57].



Şekil 2.9. KFTK malzemelerin fiber yönüne göre delinmesi [58].

Delinmiş delik kalitesinin düşük olmasından dolayı üretilmiş ürünlerin yaklaşık %60'ı kabul edilmemektedir. Kompozit malzemelerin delinmesini etkileyen bütün faktörlere dikkat edilmelidir [59]. Bu faktörler Şekil 2.10'da kılçık şeması ile gösterilmektedir.



Şekil 2.10. KFTK'lerin delinmesini etkileyen faktörlerin kılçık şeması ile gösterilmesi [60].

2.5. Ti6Al4V ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİ

Günümüzde havacılık ve otomobil endüstrisi titanyum ve alaşımına (Ti6Al4V) odaklanmaktadır. Bir savaş uçağının yapısında ve gaz türbinli motorlarda (bıçaklar, diskler ve rotorlar gibi) kullanımı oldukça yaygındır. Ayrıca uçaklarda zemin destek yapısı, borular ve klipsler gibi elemanların uygulamalarında kullanılmaktadır [61]. Ti6Al4V alaşımının giderek artan popülaritesi için ana sebep, yüksek mukavemet ve ağırlık oranı, yüksek sıkıştırma ve gerilme mukavemeti, düşük yoğunluk, hava ve deniz suyundaki yüksek yorulma direnci ve olağanüstü korozyon direnci gibi üstün özellikleridir. Ti6Al4V alaşımlarının işleme yöntemlerinden biri olan delme, tüm işleme süreçlerinin büyük bir bölümünü oluşturması nedeniyle oldukça önemlidir [61]. Titanyum alaşımlarının delinmesinde elde edilen delikler, delik kalitesi, delik çapı, silindiriklik, yüzey pürüzlülüğü ve çapak açısından değerlendirilir. Titanyum genel olarak aşınmanın güvenilirliği ve dayanımını gerektiren parçalar için kullanılır ve bu nedenle yüksek delik kalitesi korunmalıdır [62].

Titanyumun yüzeyi, işleme operasyonları sırasında ısıdan etkilenen bölgelerde mikroyapı çatlakları ve plastik deformasyon hasarlarına maruz kalmaktadır. Çoğu titanyum alaşımları delme işlemlerinde hem giriş hem de çıkış yüzeylerinde çapak oluşturmaktadır. Çıkış bölgesindeki çapağın boyutu daha büyük olmakla birlikte ana

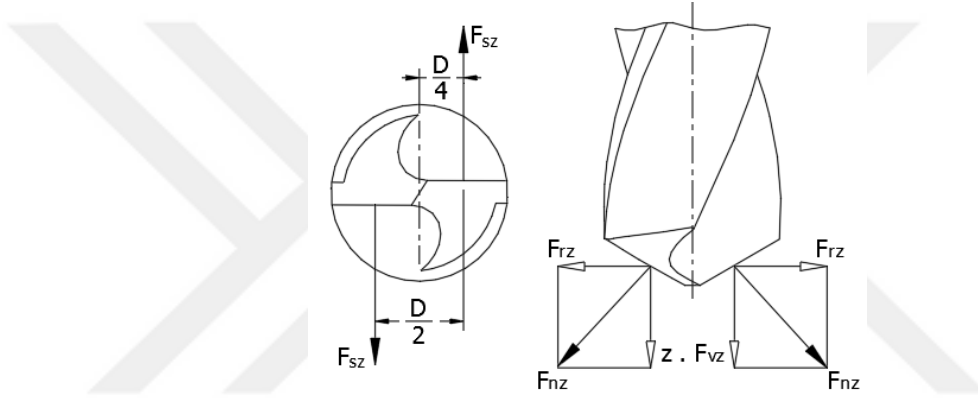
sorun olarak bilinmektedir. Oluşan çapaklar havacılık uygulamalarında önemli sorun teşkil etmektedir. Bazı parçaların maliyetinin %30'u kadarının çapak alma işlemlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Helisel delme ve titreşim yardımcı helisel delme işleminde, titanyum talaşı matkabın iki kanalı çevresinde dolaşabilir ve takım tutucu tarafından bükülebilir. Bu talaşın sorunsuz atılması için zorluk yaratacaktır. Bunun yanı sıra düşük ısı iletkenliği takım/iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklığı arttırarak takım ömrünü etkilemektedir. Bu sorunlar işlenebilirliği etkilemektedir. Delme süreci, toplam malzeme işleme operasyonlarının %40-60'ını oluşturmakta ve havacılık endüstrisinde önemli bir yere sahip olmaktadır [63,64].

2.6. KFTK/Ti6Al4V İSTİFLERİNİN DELİNEBİLİRLİĞİ

Kompozit-metal istifli malzemeler, iyi korozyon direnci, yüksek mukavemet, düşük ağırlık oranı ve iyi sertlik derecesine sahip olduğu için uçak sanayisi ve yüksek teknolojik uygulamaların yapısal bileşenleri için aranan malzemelerdir. Airbus A350 veya Boeing 787 (Dreamliner) gibi modern uçaklar ağırlıkça %50' den fazla KFTK ve hafif metallerle istifini içerir. Bu istifli malzemelerde delme işlemi uygulanarak perçin ve civata bağlantıları kullanılmaktadır. Fiber metal yığınlarının delme işlemi farklı mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı oldukça zor bir işleme operasyonudur. Delme yüzeyinde sıklıkla meydana gelen hasarların yanı sıra birleşim yerinde oluşan yıpranma önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır [5]. Havacılık sektöründeki pazara göre, otomatik imalat için güvenilir delik delme işlemleri önem kazanmaktadır. Deliklerde istenilen tolerans ve yüzey kalitesini işleme parametreleri, kesici takım kalite ve geometrisi etkilemektedir. İşleme parametreleri ana malzeme için uygun olurken değişen kesici takım kalite ve geometrisiyle birlikte yeniden belirlenmeye ihtiyaç duymaktadır. Uygun olmayan işleme parametreleri KFTK/Titanyum istifli malzeme kombinasyonu için aşırı takım aşınmasına neden olur. KFTK malzemenin sert ve kırılgan karbon fiberleri, kesici kenar yuvarlaması şeklinde aşınmaya neden olmaktadır. Bu durum işleme kuvvetleri ve kesme sıcaklıklarının artmasına yol açar. Sonuç olarak, termal olarak aktive edilmiş difüzyon ve kesme kenarındaki titanyum yapışması sırasıyla kenar kırma ve katastrofik takım başarısızlığına neden olur [65].

2.7. DELME İŞLEMİNDE MEYDANA GELEN KESME KUVVETİ VE GÜÇ

Delme işlemi esnasında takımdaki bir kesici ağıza denk gelen talaş kaldırma kuvvetinin bileşenleri kesme kuvveti (F_{sz}), radyal kuvvet (F_{rz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve bileşke kuvvetten (F_{nz}) oluşmaktadır. Bu kuvvetler Şekil 2.11’de şematik olarak gösterilmiştir. Kesici takım ağızlarının konumları bakımından her bir ağızda meydana gelen radyal kuvvetler birbirlerini dengelemektedir. Bu nedenle delme işlemi esnasında yalnızca kesme ve ilerleme kuvveti etki göstermektedir.



Şekil 2.11. Matkap ile delik delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri [66].

Kesici takımın tek bir kesici kenarına gelen kesme kuvveti;

$$F_{sz} = A_{sz} \cdot k_s = \frac{ds_z}{2} \cdot k_s = \frac{ds}{4} \cdot k_s \quad (2.1)$$

Toplam kesme kuvveti;

$$F_s = z \cdot F_{sz} = 2 \cdot F_{sz} = k_s \cdot \frac{ds}{2} \quad (2.2)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Özgül kesme kuvveti ise;

$$k_s = 1,2 \cdot k_{s11} \cdot h^{-z} \quad \text{veya} \quad k_{sh} = k_{s11} \cdot h^{-z} \quad \text{değeri ile} \quad (2.3)$$

$$k_s = 1,2 \cdot k_{sh} \quad (2.4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Eşitlik 2.3 ve 2.4' deki 1,2 değeri matkap ile talaş kaldırma işleminin özelliklerini ifade eden düzeltme faktörüdür.

Kesme kuvvetine bağlı olarak kesici takımın bir ağzına denk gelen kesme momenti;

$$M_{sz} = F_{sz} \cdot d/4 \quad (2.5)$$

Kesici takımın iki ağzında meydana gelen toplam kesme momenti, $F_s = 2F_{sz}$ bağıntısı ile;

$$M_s = z \cdot F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = F_s \cdot \frac{d}{4} \quad (2.6)$$

Devir başına ilerleme miktarı;

$$V_f = f_x \cdot n \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'ye göre;

$$M_s = \frac{d^2 s k_s}{8 \cdot 10^3} [\text{Nm}] \quad (2.8)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Denklem 2.8'deki d (mm), s (mm/dev), k_s (N/mm²) olarak ifade edilir ve M_s (Nm) olarak bulunmaktadır.

İlerleme kuvveti $s = s_z$ bağıntısı ile bulunmaktadır. Toplam ilerleme kuvveti;

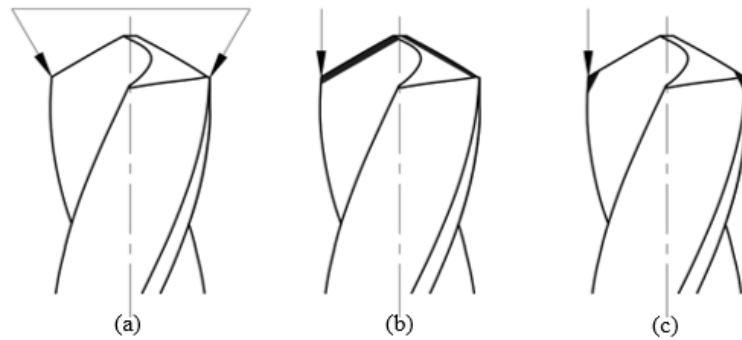
$$F_v = 2 \cdot F_{vz} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \sin x = F_s \cdot \sin x \quad (2.9)$$

İlerleme kuvveti iş parçasına uygulanan eksenel kuvvet olarak tanımlanabilmektedir. Deliğin açılmasında kesici takım ağızlarında oluşan bu kuvvetin yanında radyal kesme ağızında eksenel nitelikte F_z ilerleme kuvveti meydana gelmektedir.

Eksenel kuvvet F_a , ilerlemenin gerçekleşmesini etkileyen elemanları ve özellikle rulmanları zorlamaktadır. Tezgahın mekanik iskeletinin yapımı esnasında bu elemanlar, belirli eksenel kuvvete (F_{amax}) göre hesaplanmaktadır. Çalışma esnasında $F_a > F_{amax}$ olarak ortaya çıkarsa, ilerlemenin gerçekleşmesini sağlayan unsurlar ve özellikle rulmanlar çok daha çabuk bozular. Ayrıca eksenel kuvvet (F_a) kesici takımın burulmasını zorlar. Bu nedenle F_{amax} değeri tezgah kataloğunda verilmektedir [49,66].

2.8. MATKAPLAR VE TAKIM AŞINMASI

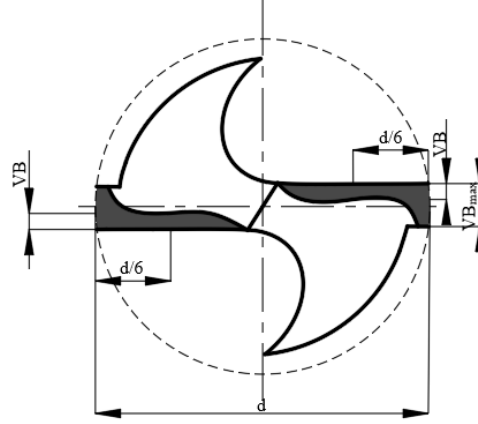
Delik delme işlemlerinde işleme parametrelerinin en iyi koşullarının belirlenmesi oldukça önemlidir. İşleme parametreleri kesici takımın açılarını dolaylı olarak değil de doğrudan etkilemektedir. Örnek olarak, ilerleme miktarının artırılması helis açısını artırarak boşluk açısını azaltmaktadır. Boşluk açısının azalması, kesici takımdaki esas serbest yüzeyin işlenen yüzey ile sürtünmesini arttırarak, serbest yüzey aşınmasının hızlanmasına neden olacaktır [51]. Matkaplarda oluşan aşınma tipleri Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Aşınma tipleri a) Köşelerin yuvarlanması b) Serbest yüzey aşınması c) Zırh aşınması.

Genellikle matkaplarda aşınmalar kesici kenarların zırhlarıyla birleşim noktasında başlayarak kesicinin ağızları ve serbest yüzeylerde devam eder (Şekil 2.13). Kesici

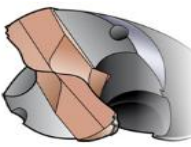
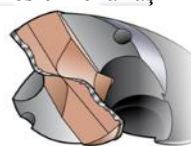
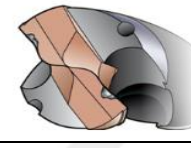
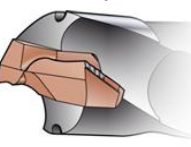
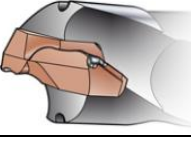
takımın kenarlarında aşınmanın artmasıyla serbest yüzeylerdeki boşluk açısı kayıp konik yüzey oluşturur [67].



Şekil 2.13. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınmanın gösterilmesi [67].

Kesici takımda meydana gelen aşınmanın değeri kabul edilebilir sınıra ulaştığında, delme işlemi sonrasında oluşan dairesellik, boyut toleransı ve işlenmiş yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olur [68]. Kesici takım aşınma türleri, kesici takımda oluşum yerleri, oluşum sebepleri ve çözümleri Çizelge 2.4'te verilmiştir [69].

Çizelge 2.4. Takım aşınmaları, nedenleri ve çözümleri [69].

Aşınma Türü	Muhtemel Sebepler	Çözümler
Yığıntı talaş oluşumu 	• Çok düşük kesme hızı ve kenar sıcaklığı • Kaplama yok • Kesme sıvısında çok düşük yağ yüzdesi	• Kesme hızı artırılmalı veya dış çap kesme sıvısı kullanılmalı • Daha keskin kesme kenarı kullanılmalı • Kenarda kaplama yapılmalı • Kesme sıvısındaki yağ yüzdesi artırılmalı
Kesici kenarın köşesinde ufalanma 	• Stabil olmayan fikstür • Aralıklı kesme • Yetersiz kesme sıvısı • Stabil olmayan takım tutucu	• Fikstür kontrol edilmeli • Radyal sapma kontrol edilmeli • İlerleme düşürülmeli • Kesme sıvısı beslemesi kontrol edilmeli • Takım tutucu kontrol edilmeli
Kesici kenar aşınması 	• Kesme hızı çok yüksek • İlerleme çok düşük • Kalite çok yumuşak • Kesme sıvısı yetersiz	• Kesme hızı azaltılmalı • İlerleme artırılmalı • Daha sert bir kalite kullanılmalı • Kesme sıvısı beslemesinin düzgün olduğu kontrol edilmeli
Kesici kenar ufalanması 	• Stabil olmayan koşullar • İzin verilen maksimum aşınma aşılmış • Kalite çok sert	• Düzenek kontrol edilmeli • Matkap yakında değiştirilmeli • Daha yumuşak bir kalite kullanılmalı
Kesici kenarın dairesel alanında aşınma 	• Kesme sıvısı çok zayıf • Kesme hızı çok yüksek • Abrasif malzeme	• Radyal sapma kontrol edilmeli • Saf yağ ya da daha güçlü emülsiyon kullanılmalı • Kesme hızı azaltılmalı • Daha sert bir kalite kullanılmalı
Plastik Deformasyon 	• Kesme hızı ve/veya ilerleme çok yüksek • Kesme sıvısı beslemesi yeterli değil • Uygun olmayan kalite	• Kesme hızı ve/veya ilerleme azaltılmalı • Kesme sıvısının basıncı artırılmalı • Daha sert bir kalite kullanılmalı

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1. KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN (KFTK) İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Calzada, KFTK malzemelerini 0° , 45° , 90° ve 135° açılarında keserken mikro ölçekte oluşan arıza mekanizmalarını, makro ölçekli bir yaklaşım kullanıldığında elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Mikro mekanik bir sonlu elemanlar modeli oluşturarak ve her bir fiber yönlendirmesi için talaş oluşum süresi boyunca ortaya çıkan başarısızlık mekanizmalarını açıklayabilen başarısızlık teorileri geliştirmiştir. Doğrulama amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda talaş oluşum sürecini doğru bir şekilde temsil ettiğini bulmuştur [70].

Rentsch ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda, dik kesme koşullarında malzeme uzaklaştırma mekanizmalarını elde etmek için bir makroskobik ve mikroskobik KFTK modeli geliştirmiştir. Hesaplanan ana kesme kuvveti ile deney sonuçlarının yakın değerde olduğunu, ancak hesaplanan itme kuvvetinin deneysel sonuçlardan önemli ölçüde daha küçük olduğunu söylemişlerdir. KFTK malzemesinin verimli olarak bir defa basınç yüklerini taşımasına rağmen, sonlu elemanlar analizinde ise bu sonuç oluşmamıştır [71].

Yokozaki ve arkadaşları, çok yönlü ve tek yönlü KFTK malzemesinin doğrusal olmayan mekanik davranışları ve sıkıştırma sırasındaki dayanımını incelemişlerdir. Tek yönlü tabakalı sıkıştırmadaki malzemenin davranışları ve mukavemeti, yarı izotropik tabakalar ile birlikte, T800H/3633 ve T800S/3900-2B kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. 0° 'de gerçekleştirilen deneylerde tabakanın mukavemeti literatürdeki kriterlere uygun olarak oluşmuştur. 45° ve 90° açılarında tabakaların

sıkıştırma mukavemetleri ölçülmesine rağmen fiber açılarında en iyi sonuca yarı izotropik ve 0° açısında yapılan deneylerde elde etmişlerdir [72].

Davim ve arkadaşları, kompozit plakaların delinmesi esnasında oluşan delaminasyonu, sayısal analiz tabanlı bir yaklaşım kullanarak araştırmışlardır. Deneylerde %55 elyaf oranına sahip 0° ve 90° elyaf açılı, 3 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme, 5 mm çapında (DIN 6537) helis açılı karbür matkap ve delikte oluşan hasarın ölçümü için 600 dpi çözünürlüklü tarama cihazı kullanmışlardır. Oluşan hasarlı yüzey çapının kullanılan matkap çapına oranıyla delaminasyon faktörleri hesaplanmıştır. Kesme parametreleri olarak 0,25-0,30-0,35 mm/dev ilerleme miktarı, 50, 60 ve 70 m/dak kesme hızı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda oluşan delaminasyon faktörlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak sayısal analiz yaklaşımı kullanarak karşılaştırılması yapılmıştır. Artan kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak delaminasyon faktöründe artış olduğu belirtilmiştir [73].

Tsao ve Hocheng, kompozit malzemelerin delinmesi esnasında oluşan delaminasyon üzerinde takım aşınmasının etkisini araştırmak için deneysel çalışma yapmışlardır. Deneylerde, 6 mm kalınlığında KFTK malzeme, 6 mm çapında ve 118° uç açısına sahip HSS matkap kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen ilerleme kuvvetinin, teorik olarak hesaplanan ilerleme kuvvetine oranı ilerleme kuvvet faktörü (Z) olarak belirtilmiştir. Buna bağlı olarak takımda oluşan aşınma miktarı arttıkça ilerleme kuvvet faktöründe artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca devir sayısının azalmasıyla ilerleme kuvvet faktörünün azaldığı ve artan ilerleme değerleri ile arttığını tespit etmişlerdir [74].

Merino-Perez ve arkadaşları, KFTK malzemenin kaplamasız kesici takımla delinmesinde ısı dağılımı üzerinde kesme hızı ve malzeme özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Üç farklı yapıdaki KFTK malzeme üzerinde, 6.5 mm çapında kaplamasız karbür matkap ile 50-200 m/dak kesme hızlarında yapılan delme deneyleri sırasında oluşan sıcaklığı ısı-çift ve termal kamera yardımıyla ölçmüşlerdir. KFTK malzemenin delinmesinde oluşan sıcaklık üzerinde, karbon-fiber takviye oranı ve tipinin önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek

takviyeli KFTK malzemede ısı dağılımının daha düşük olduğunu ve bunun nedeni olarak kompozit yapıların farklı termal iletkenliklerinden kaynaklandığını göstermişlerdir. SEM ile yapılan analizlerde, yüksek kesme hızlarında şiddetli matris kırılmaları ile delik giriş ve çıkışlarında parçalanmanın daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu nedenle, işleme zamanı içerisinde oluşan sıcaklığın matris malzemesinin ayrışma sıcaklığının altında kalmasını sağlayacak kesme hızlarının kullanılmasını önermişlerdir [6].

Iskandar ve arkadaşları, KFTK malzemelerin nem alma özelliğinin kayma kırılma tokluğunu olumsuz etkilemesi nedeniyle genellikle kuru kesme şartlarında işlendiğinde bahsetmektedir. Ancak, MQL işleme yönteminin parametreleri (hava akış hızı, yağ akış hızı, nozulun kesme bölgesine uzaklığı) optimize edilirse, takım aşınması ve parça geometrisinin doğruluğu açısından alternatif bir kesme süreci olduğunu vurgulamışlardır. Bu amaçla, 4 ağızlı kaplamasız karbür parmak freze ile KFTK malzemenin işlenmesinde soğutma/yağlama uygulamalarının kesme kuvveti, takım aşınması ve işleme doğruluğu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. MQL uygulanması sonucunda; kesici takımların yan yüzeyinde oluşan aşınma miktarı, soğutma ve kuru kesme şartlarına göre %22, basınçlı hava uygulamasına göre %30 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek hava akış hızı ve düşük yağ akış hızının birleşiminde yapılan frezeleme ile en uzun takım ömrünün elde edildiğini vurgulamışlardır [75].

Karnik ve arkadaşları, yapay sinir ağları (YSA) modeli kullanarak karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin yüksek hızlarda delinmesi esnasında delikte oluşan delaminasyonu incelemişlerdir. Deneylerde; kesici takım olarak 5 mm çapında, 25° helis açılı, 85°-115°- 130° uç açılı karbür matkap, iş parçası olarak ise 0°/90° elyaf açısına sahip elle yatırma yöntemiyle üretilen 2,5 mm kalınlığında karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme kullanılmıştır. Kesme deneyleri, 4000, 8000 ve 40000 devir/dak ve 1000, 3000, 6000 ve 9000 mm/dak ilerleme değerleri kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda, devir sayısının artmasıyla delaminasyonda azalma görüldüğü ve daha büyük uç açısına sahip matkap kullanıldığında delaminasyonda artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yüksek ilerleme

değerlerinde takım kenarında yapışma olduğundan matkabın iyi kesme yapamadığını ve bu durumun delaminasyonun artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir [76].

Wang ve arkadaşları, KFTK malzemenin üç farklı matkap (kaplamasız, elmas kaplamalı ve AlTiN kaplamalı) ile delinebilirliğini incelemişlerdir. KFTK'nın işlenmesinde, birincil aşınma tipi kenar yuvarlatma aşınması veya kenar girinti olarak bilinen körleşme ve düzleşme olduğu belirtilmiştir. KFTK'nın talaş oluşumunda kopmasından (kırılmasından) dolayı normalde metal işlemede kenar aşınmasını önleyen kesme kenarının önündeki durgunluk bölgesinin eksikliği vardır. Elmas kaplamalı takımlarda kenar yuvarlatma aşınması önemli ölçüde azalmıştır. Ancak, yüksek sertliklerine rağmen AlTiN kaplamalı matkaplar kaplamasız karbür matkaplar ile kıyaslandığında gözle görülür bir gelişim göstermemiştir. Kaplamalı ve kaplamasız karbür matkapların aşınma mekanizmaları tartışılmıştır. KFTK'nın delinmesinde gözlemlenen takım aşınması 2 ve 3 parçacıklı abrasiv aşınma ile açıklanamadığı bilinmektedir. Bununla birlikte, sürtünme ölçer testlerinden kaplamalı ve kaplamasız karbürlerin alt katmanlarındaki aşınmanın takım aşınması ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir [77].

Rusinek, yaptığı çalışmada, polimer matrisli karbon elyaf kompozit malzemenin frezelenmesinde devir sayısı ve ilerleme miktarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Deneylerde, 12 mm çapında elmas kaplı parmak freze kesici takım ile beş farklı devir sayısı ve ilerleme değeri kullanılmıştır. Titreşim grafikleri incelendiğinde, devir sayısının artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma olduğu ve ilerleme değerlerinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda iki önemli sonuca vurgu yapılmıştır. Bunlardan birincisi, daha düşük ilerleme değerlerinin takım ömrünü, zaman ve ekonomik olarak olumlu etkilediği, ikincisi ise işleme esnasında titreşimlerin en aza indirilmesi için devir sayısının iyi ayarlanması gerektiğidir [78].

Phapale ve arkadaşları, çalışmalarında karbon fiber takviyeli polimerin aşındırıcı su jetiyle delinmesi sırasında kesme parametrelerinin delaminasyon kapsamına etkisini anlamak için kapsamlı deneysel karakterizasyon üzerine odaklanmışlardır. Ayırma mesafesinde ve su basıncında işleme parametreleri aşındırma akış oranına göre

delaminasyonda baskın bir rol oynadığını bulmuşlardır. Aynı zamanda, su jetiyle delme işleminde, yedekleme plakası, delinmiş delik ve su ile daldırma (su altında) gibi delaminasyonun kontrol edilmesi için farklı teknikler geliştirilmesini açıklamışlardır. Analizleri sonucunda, yedek plakalı zımpara su jetiyle delinmesinin delaminasyonu, delik boyutu değişimi ve delik yüzey pürüzlülüğünü azalttığını göstermiştir [79].

3.2. TİTANYUM ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ensarioğlu ve Çakır, kesici takım ve işleme parametreleri ile soğutma sıvısı ve/veya yağlayıcının kullanılmasının titanyum ve titanyum alaşımlarının işlenebilirliğindeki etkilerini araştırmışlardır. Bunun yanı sıra işleme esnasında oluşan talaş, kesici takımda meydana gelen aşınmalar ve işleme sonrası yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Deneyler sonucunda, verimliliğin ve yüzey kalitesinin arttığını, işleme parametrelerinden kesme hızının kesici takımın ömrüne en çok etki eden parametre olduğunu ifade etmişlerdir. İlerleme miktarının titanyumun işlenmesinde yüzey pürüzlülük değerini arttırdığını ancak verimliliğin artırılması için kesme hızının yerine tercih edilmesini gerektiğini belirtmişlerdir [36].

Ünal ve Karaca, Ti6Al4V alaşımını dik işleme merkezinde farklı işleme koşulları altında işlemişlerdir. Deneylerde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi işleme parametreleri değiştirilerek işlenen yüzeyin mikrosertliğini ve işleme esnasında oluşan talaş tiplerini incelemiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda kesme hızı ve ilerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığını tespit etmişlerdir. Sonuçlarda, işlenen yüzeyin ana malzeme sertliğinden daha yüksek, yüzey altında bulunan bazı bölgelerde aşırı yaşlanma sebebiyle daha yumuşak bölgelerin oluştuğunu belirtmişlerdir. Talaş tipinin ise testere diş kesitli ve sıvımalı talaş tipi olarak oluştuğunu belirlemişlerdir [80].

Wang ve diğerleri, çalışmalarında, yeni bir kesici takım malzemesi olan Binderless Cubic Boron Nitride (BCBN) ile Ti6Al4V alaşım malzemesi üzerinde kanal frezeleme yöntemiyle kesici takımın performansını, kesme kuvvetleri, kesici takım

ömrü ve aşınma mekanizmalarını değerlendirmişlerdir. Kesme derinliğinin sabit tutularak kesme hızındaki artışla takım ömründe azalma oluştuğunu tespit etmişlerdir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarı kombinasyonlarının optimum kesme şartları olduğunu belirtmişlerdir. SEM ve EDX ile yapılan incelemeler sonucunda, Ti6Al4V titanyum alaşımının BCBN kesici takımlar ile yüksek hızda frezelenmesinde adhezyon aşınma mekanizmasının baskın olduğunu tespit etmişlerdir [81].

Akyol çalışmasında, Ti6Al4V alaşımına farklı ısı işlemleri uygulayarak işlenebilirliğini arttırmayı hedeflemiştir. 16 mm çapındaki iş parçası malzemelerine tavlama, su verme ve yaşlandırma olarak üç farklı ısı işlemi uygulayarak üç farklı mikroyapıya sahip Ti6Al4V alaşımı elde etmiştir. Elde edilen üç farklı özellikli malzemenin kuru kesme şartlarında tornalanması sırasında oluşan kesme kuvvetleri, talaş tipi, kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmüştür. Yapılan işlemler sonucunda tavllanmış malzeme ve yaşlandırılmış malzemenin iç yapılarının farklı olmasına rağmen işlenebilirlik kriterlerinin birbirine yakın olduğunu belirtmiştir [82].

Palanisamy ve diğerleri, Ti6Al4V titanyum alaşımını tornalama yöntemi sırasında yüksek basınç ile soğutucu kullanımının talaş şekillerinin etkisini araştırmışlardır. İşleme sırasında soğutucunun kullanılması kesici takım ömrünün artmasına ve işlenen yüzeyde daha iyi bitirme yüzeyi oluşumu sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca basınçlı uygulanan soğutucunun işleme sırasında meydana gelen talaş tipi, kalınlığı ve mikroyapısını değiştirdiğini belirtmişlerdir [83].

Ezugwu ve diğerleri, farklı kaliteye sahip CBN kesici takımların çeşitli soğutma şartlarında Ti6Al4V alaşımının 150, 200 ve 250 m/dak kesme hızlarında tornalama işlemiyle performanslarını araştırmışlardır. CBN kesici takımlarının performanslarını belirlemek için takım aşınması, kesici takım ömrü, kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti ile beraber yüzey pürüzlülüğünü dikkate almışlardır. Bunun yanı sıra, 150 m/dak kesme hızında CBN kesici takımlar ile kaplamasız karbür kesici takımları karşılaştırmışlardır. Kesici takım ömrü açısından, aynı kesme şartlarında kaplamasız karbür kesici takımlar, CBN kesici takımlara göre daha iyi performans sergilediğini

gözlemlemişlerdir. Difüzyon aşınma mekanizması ile ilgili olarak kesici kenarlarda aşırı dökülmeler ve çentiklenmelerin görüldüğünü belirtmişlerdir [84].

Kıvak ve Şeker, Ti6Al4V alaşımının kuru ve ıslak kesme şartlarında delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi (delik çapı, dairesellik ve silindiriklikten sapma) üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca M42 HSS matkaplara derin kriyojenik işlem uygulamışlardır. Delme deneylerinde, işlemsiz (İ), kriyojenik işlem (Kİ), kriyojenik işlem+temper (KİT) ve TiAlN/TiN kaplı HSS matkaplar kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla dört farklı kesme hızı (6, 8, 10, 12 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,04, 0,05 ve 0,06 mm/dev) kullanılarak 15 mm derinliğinde boydan boya delikler delmişlerdir. Delme deneyleri sonucunda, soğutma sıvısı kullanımının delik kalitesini arttırmada önemli etkiye sahip olduğu gözlemlemişlerdir. Dört takım arasında delik kalitesi bakımından en iyi sonuçlar çok katlı TiAlN/TiN kaplı takımlardan alınmış olup, kriyojenik işlemin delik kalitesini arttırmada önemli etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [85].

Xu ve Geng, deneysel çalışmalarını Ti Beta 21S titanyum alaşımını tercih ederek gerçekleştirmişlerdir. Seçtikleri malzemenin sahip olduğu yüksek sertlik, yüksek sıcaklıkta yüksek direnç, takım malzemeleri ile reaksiyona girme eğilimleri ve düşük termal iletkenlikleri gibi özelliklerinden dolayı işlenebilirlikleri zor malzemeler olduğunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada, Ti Beta 21S titanyum alaşımının farklı kesici takımlar kullanarak frezelemesinde kesme kuvvetleri ve takım aşınması incelenerek işleme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak titanyum alaşımlarının işlenmesinde, keskin kenarlı takımların düşük kesme parametrelerinde kullanılması gerektiği ve kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı soğutma sıvısının kullanılması önerilmiştir. Kesici takım malzeme ve geometrisinin, kesme kuvvetleri üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir [86].

Bıçakçı, çalışmasında 8 mm çapında kaplamalı HSS matkap için 3, kaplamalı karbür matkap için 4, kısa HSS matkap için 5 ve uzun HSS matkap için 4 delme operasyonu, en uygun kesme parametrelerini ve delik sayılarını belirleyerek, CNC

takım tezgahında delme işlemi uygulamıştır. Delik çapları ile eş eksenlilikten, diklikten ve dairesellikten sapma değerlerini ölçmüştür. Kesici takımlardaki takım aşınma görüntüleri dijital mikroskop ile elde ederek, elde edilen bu bilgiler ışığında her tip takım için en uygun kesme parametrelerini belirlemiştir. Deneysel sonuçların değerlendirilmesi sonucunda, Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde kaplamalı karbür matkabın en iyi sonuç verdiği sonucuna varmış olup, aynı kesme parametresinde kısa ve uzun HSS matkaplardaki takım aşınması, delik çapı ve geometrik tolerans ölçüm sonuçları ile termal kamera görüntüleri değerlendirildiğinde; takım aşınması ve takım ucunda oluşan sıcaklık değerinin uzun HSS matkapta daha düşük olduğu, delik çapı hassasiyetinin ise kısa matkapta daha iyi olduğunu belirtmiştir [87].

3.3. KFTK/Ti6Al4V İSTİFLERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

İşbilir ve Ghassemieh, AlTiN kaplamalı tungsten karbür matkap ucu kullanarak KFTK, Ti6Al4V ve KFTK/Ti6Al4V istifli iş parçaları üzerinde delme deneyleri yapmıştır. İlerleme kuvveti, tork, çapak, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması çeşitli işleme koşullarında analiz edilmiştir. Ti6Al4V alaşımının delinmesinde, ilerleme miktarının artması ile ilerleme kuvveti, tork, çapak ve ortalama yüzey pürüzlülüğü artarken, kesme hızının artması ile azalmakta olduğunu tespit etmiştir. KFTK malzemenin delinmesinde, delaminasyon ve ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleri ile benzer eğilimde olup ilerleme kuvveti ve tork ise kesme hızının artmasıyla yükselmektedir. Deneysel sonuçlara göre; KFTK/Ti6Al4V istiflerinde 15 delik açıldıktan sonra ilerleme kuvveti KFTK’da %20, Ti6Al4V’de %45 artış göstermiştir [3].

Park ve arkadaşları, çalışmalarında titanyum üzerine istiflenmiş KFTK’nın tungsten karbür (WC) ve polikristalin elmas (PCD) matkaplar ile delinmesinde oluşan aşınma mekanizmalarını saptamayı amaçlamışlardır. Delme deneyleri sırasında, tork ve ilerleme kuvveti KFTK/Ti istifinin altında bir dinamometre kullanarak ölçmüşlerdir. Buna ek olarak takım aşınma mekanizmalarının analizi ve takım yüzeyindeki aşınma ilerlemesinin ölçülmesinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve lazer tarama

odaklı mikroskop (CLSM) kullanmışlardır. Titanyumda, WC matkaplarda aşınma faktörü olarak tüm kesme kenarlarını kapsayan yapışmanın etkin olduğunu belirtmişlerdir. Öte yandan PCD matkaplarda daha az yapışma olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşınmanın titanyumdaki sert kalıntılar ve karbon fiber tarafından gerçekleştiği, titanyumdaki yapışmanın takım aşınma mekanizmalarında baskın olduğunu bulmuşlardır. Yüksek tork ve ilerleme değerleri yüksek devirlerde gözlemlenmiş, özellikle Ti plakalarını delerken daha yüksek sıcaklık oluşmasından dolayı takım aşınmasında önemli bir artışın olduğunu belirlemişlerdir [88].

Pecat ve Brinksmeier, çalışmalarında düşük frekansta titreşim yardımıyla delme işlemini KFTK/Ti6Al4V malzeme istifi için uygulamışlardır. Kesintili kesmeye neden olan aksenal salınımlar (Ti6Al4V) metalik malzeme içinde küçük parçacıklı talaşlara sebep olmuştur. Küçük talaş parçacıklarının çıkmasını iyileştirmesinden dolayı KFTK'larda delik yüzeylerinin belirgin mekanik hasarları önemli ölçüde azalmıştır. Düşük frekanslı titreşim yardımıyla delme (LFVAD) kullanımı geleneksel delme ile karşılaştırıldığında, titanyum alaşımlarının delinmesi işleminde kesme sıcaklığının %40 oranında azaltılabildiği termografik görüntüler ile gösterilmektedir. Sonuç olarak, düşük frekansta titreşim yardımıyla delme işlemi uygulanırken matris malzemede termal hasar bulunamamıştır [1].

Zitoun ve arkadaşları, KFTK/Al istifleri üzerinde çalışma yapılmadığından yola çıkarak farklı (Ø4, 6 ve 8mm) çaplarda karbür (K20) matkaplar kullanarak kuru delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Ölçülen itme kuvveti ve tork değerlendirildiğinde; alüminyumun KFTK'ya göre düşük ilerlemede yaklaşık iki kat, yüksek ilerlemede ise yaklaşık üç kat fazla olduğunu, Ø8 mm matkaba göre düşük çaplarda bu değişimin daha az olduğunu ve bunun daha büyük kesici ağız uzunluğu ve talaşın çapraz kesit alanındaki dik artışlardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. KFTK malzemelerin delinmesinde elde edilen daireselliklerin, yüksek ilerlemelerde 25 µm, düşük ilerlemelerde ise 6 µm'ye yükseldiğini ifade etmişlerdir [89].

Kuo ve arkadaşları, kaplamasız (WC) ve kaplamalı (DLC ve CVD) kesici takımlar kullanarak Ti/KFTK/Al malzeme istifi üzerinde gerçekleştirdikleri delme deneylerinde ilerleme miktarının etkilerini incelemişlerdir. CVD ve DLC matkaplar

tarafından açılan deliklerin $\varnothing$ doğruluğu 70. delikten sonra $\pm 0,4$ mm bulmuşlar ve toleranslar içinde olduğunu belirtmişlerdir. Silindiriklik açısından incelediklerinde ise CVD matkapların DLC matkaplara oranla yaklaşık 2 kat ($65,7 - 140,6 \mu\text{m}$) daha iyi olduğuna vurgu yapmışlardır. DLC matkapta oluşan delik çıkış $\varnothing$ pakların CVD'ye oranla 4 kat daha büyük olduğunu, yüksek ilerleme ($0,8 \text{ mm/rev}$) seviyelerinde yapılan takım analizlerinde ise DLC matkaplarda ileri aşınma, iş parçası yapışması ve takım köşesinde kırılmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Ti plaka üzerinde DLC matkap ile elde edilen deneyler incelendiğinde, ilerlemenin değişmesiyle 70 delikten sonra itme kuvveti ve tork üzerinde %60-160 arasında değişim olduğunu belirtmişlerdir [90].

Shyha ve arkadaşları, Ti/KFTK/Al malzeme istifi üzerinde $\varnothing 6,35$ mm $\varnothing$ pında kaplamalı (CVD, C7 hard metal) ve kaplamasız kesici takım kullanarak performans deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Islak ve spreylü püskürtme kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerde Taguchi L_{18} deney tasarımını kullanmışlardır. Islak kesme şartlarında yapılan delme işlemlerinde; Ti malzemesi üzerinde kısa ve uzun helisel talaşlar oluştuğunu, Al malzemesi üzerinde ise spiral şekilli sürekli talaşın yaygın durumda olduğunu gözlemlemişlerdir. Ti/KFTK/Al şeklinde konumlandırılmış istiflerin işlenmesinde, KFTK delaminasyonun önemli ölçüde azaldığını ancak delik kenarlarında küçük zararlar oluştuğunu ve buna Ti üzerinden çıkan talaşın keskinliğinin neden olduğuna vurgu yapmışlardır [91].

Denkane ve arkadaşları, tek yönlü titanyum tabakalı KFTK malzemede helisel delik büyütülmesi esnasında kesme kuvvetleri ve delik yüzey kalitesi üzerinde eksenel ve teğetsel ilerlemenin etkisini araştırmışlardır. Deneyler, 8 mm $\varnothing$ pında ve 3 ağızlı 450 helis açılı karbür parmak freze ile 40 m/dak kesme hızı, büyütülecek delik $\varnothing$ pı 10 mm, diş başına eksenel ilerleme $2-12 \mu\text{m}$ ve teğetsel ilerleme $40-120 \mu\text{m}$ aralıkları esas alınarak yapılmıştır. Malzeme olarak Henkel Hysol 9396 yapıştırıcı ile birbirine birleştirilmiş, üst tabaka kalınlığı 6 mm KFTK, alt tabaka kalınlığı ise 11 mm olan Ti6AlV4 malzemeden oluşan KFTK-Titanyum kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, titanyum ve kompozit tabakada teğetsel ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı, eksenel ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, titanyum tabakadaki delik $\varnothing$ pının karbon elyaf tabakadaki delik $\varnothing$ pına göre

daha küçük çıktığı ve bu sonucun normal ilerleme kuvvetlerinde aynı olduğu belirtilmiştir [92].

Kumar ve arkadaşları, deneysel çalışmalarını KFTK/Ti6Al4V malzemesini 20° helis ve 118° uç açısı, 30° helis ve 130° uç açısına sahip iki farklı kesici takım kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda Genetik Algoritma tekniği kullanarak optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir. Takım aşınmasını inceledikleri çalışmalarını, her biri 118° ve 130° uç açılı matkap ile 100 deliğin delinmesiyle gerçekleştirmişlerdir. 130° uç açılı matkaplarda, 118° uç açılı matkaplara göre daha az takım aşınması ve daha iyi talaş tahliyesi olduğunu gözlemlemişlerdir [93].

Wang ve arkadaşları, geleneksel soğutma yöntemiyle KFTK, Ti ve KFTK/Ti6Al4V malzemeleri üzerinde ayrı ayrı delik delme deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda kaplamalı (AlTiN ve nanokompozit) takımların kaplamasız takımlara göre yanak aşınmasında iyi, kenar dökülmesinde ise mükemmel direnç gösterdiğini gözlemlemişlerdir [94].

Poutord ve arkadaşları, tungsten karbür (Grade K20) kesici takım (30° helis ve 140° uç açısı) ile yapılan bu çalışmada her bir malzeme için bir kesme kuvveti, devir sayısı ve ilerleme kullanarak kesme kenarı boyunca oluşan bölgesel aşınmanın kesme kuvvetleri üzerindeki değişimlerini değerlendirmişlerdir. 18 delik açılması ile tamamladıkları çalışmalarında 1, 6, 12 ve 18. delikler için takım aşınması ve kuvvet ölçümlerinin analizini gerçekleştirmiş ve Ti6Al4V malzemesinden kaynaklanan aşınmanın sınırlı olduğunu, ancak KFTK'dan kaynaklanan aşınmanın daha büyük olduğunu vurgulamışlardır [95].

Zitoun ve arkadaşları, kaplamasız ve nano kaplamalı WC kesici takımlar ile KFTK/Al malzeme istifinin delinmesinde kesme parametrelerinin takım aşınması, yüzey pürüzlüğü, talaş oluşumu, delik kalitesi ve silindiriklik üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Deneylerde Ø6mm matkap ve 136° uç açısına sahip matkaplar kullanmışlardır. Kaplamalı takımların kaplamasız takımlara göre daha iyi delik kalitesi oluşturduğunu, itme (ilerleme) kuvvetinde ise alüminyum plakalar için %47 KFTK plakalarda %20-25 oranında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir [96].

3.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Literatür araştırmaları incelendiğinde, başta havacılık/uzay olmak üzere endüstride geniş bir kullanım alanına sahip KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinebilirliği üzerine yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bu malzemelerin farklı mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı delinebilirlikleri oldukça zordur. Özellikle KFTK malzemelerdeki delik kalitesinin düşük olmasından dolayı bu malzemedan yapılan ürünlerin %60'ı kabul edilmemektedir. Airbus350 ve Boeing787 uçağının yapısal ağırlığının yaklaşık %60'dan fazlası kompozit ve titanyum olup, uçağın yapısal bileşenlerinin imalatında ortalama 55.000 delik delme operasyonu yapılmaktadır. Diğer yandan, delme işleminin kapalı alanda gerçekleşmesi, talaş tahliyesinin zor olması ve yüzeyden ısı transferinin yetersiz olması gibi olumsuzluklar düşünüldüğünde, delme işlemlerinin diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre daha zor ve karmaşık bir operasyon olduğunu söylemek mümkündür. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda KFTK ve Ti6Al4V malzemelerin delinebilirliği üzerine araştırma yapmanın önemi ortaya çıkmaktadır.

Takım maliyetlerinin toplam üretim maliyeti içinde önemli bir paya sahip olması kesici takımlar açısından seçici olmayı gerektirmektedir. Genellikle yapılan çalışmalarda; fiber takviyeli kompozit ve titanyum alaşımlarının ayrı ayrı delinebilirliği üzerine ilerleme miktarı, kesme hızı, özel matkap geometrileri, kesici takım malzemesi gibi faktörlerin etkisinin incelendiği görülmektedir. Delinebilirlik parametreleri olarak kesme kuvveti, yüzey kalitesi, delaminasyon faktörü, ölçü tamlığı ve takım ömrünün araştırıldığı anlaşılmaktadır. Farklı takım kalitesi-matkap uç açısı etkileşimine göre kesme parametrelerinin değişen değerlerinde metal/kompozit istifli malzemelerin delinmesi üzerine yapılan araştırmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Buna göre, standart matkaplar ile farklı kalite ve uç açısına sahip kesici takımlar kullanılarak istifli malzemeler üzerine delinebilirlik çalışmaları yapılmasının gerekliliği artmaktadır. Ayrıca, KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde kullanılan kesme parametreleri ve standard matkap geometrisine sahip takım kalitelerinin itme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon faktörü ve

delik kalitesi açısından optimize edilmesinin ilgili alanda önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, KFTK ve Ti6Al4V alaşımının delinebilirliği için her iki malzemenin ayrı ayrı delinmesinde elde edilen çıktılarına göre delme parametrelerinin optimizasyonu ve optimum delme parametreleri ile KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin işlenebilirlik deneylerinde takım performanslarının incelenmesinin, ilgili literatürdeki eksikliklerin giderilmesi ve kesici takım performanslarının belirlenmesi anlamında bu malzemeleri kullanan şirketlere teknolojik veri sağlanması açısından önemli katkılar sağlayacağına inanılmaktadır.



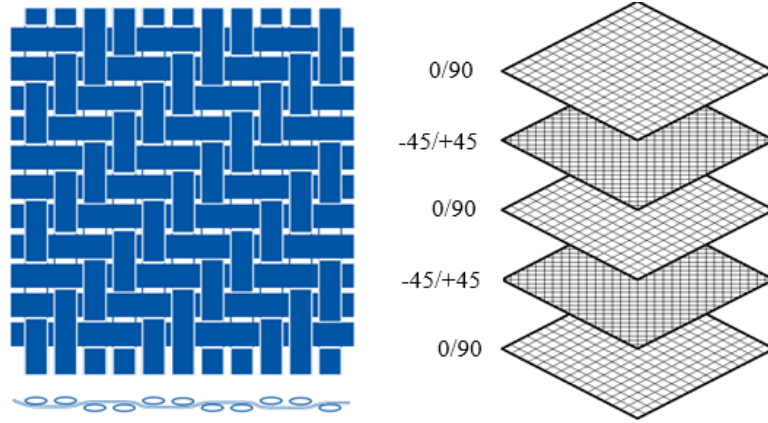
BÖLÜM 4

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kaplamasız tungsten karbür (WC) ve TiAlN ve elmas kaplamalı WC matkaplarla karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) ve Ti-6Al-4V alaşımının ayrı ayrı ve istifli olarak delinmesinde kesme parametrelerinin; itme kuvveti, delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve delik çapı üzerindeki etkileri incelenerek optimum delme seviyelerinin belirlenmesi ve kesici takım performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

4.1. DENEY MALZEMELERİ

Deney numunesi olarak kullanılan KFTK malzemeler; 0° ve 90° yönünde örgü oluşturan twill dokuma tipindeki 245 gr/m² 2x2-3K yapıda karbon fiber ile Huntsman XU3508 reçine barındıran prepreglerin uygun fiber açılarında (0° ve 45°) cam bir yüzeye simetrik olarak serilmesiyle elde edilmiştir (Şekil 4.1). 300x200x10 mm ebatındaki KFTK plakalar için 40 kat takviye malzemesi kullanılmış olup, plaka etrafı vakum ekipmanları ile torbalanarak vakuma alınmıştır. Vakum ile sıkıştırılmış KFTK malzemeler, fırına yerleştirilmiş ve 120°C’de 4 saat bekletilerek üretim işlemi tamamlanmıştır. KFTK plakalar su jeti ile kesilerek bağlama kalıbı için gerekli olan 100x75x10 mm ölçüsüne getirilmiştir. KFTK numunesinin malzeme sertifikası EK AÇIKLAMALAR A’da sunulmuştur.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan KFTK malzeme yapısı.

Deneylerde, ASTM B265 özelliklerine sahip Ti6Al4V alaşımı numuneler kullanılmıştır. Numune ebatları (100x75x10 mm) dinamometre üzerine bağlanacak olan bağlama kalıbı ölçüleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi (Çizelge 4.1) ve fiziksel özellikleri (Çizelge 4.2) aşağıda verilmiştir. Ayrıca, Ti6Al4V alaşımına ait malzeme sertifikası EK AÇIKLAMALAR A’da sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %).

Ti	Al	V	Fe	O	C	N	H
89,721	6,01	3,89	0,2	0,15	0,01	0,018	0,001

Çizelge 4.2. Ti-6Al-4V alaşımının fiziksel özellikleri [97].

Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Sertlik (Rockwell)	Uzama (%)
900 – 1100	830	36	10

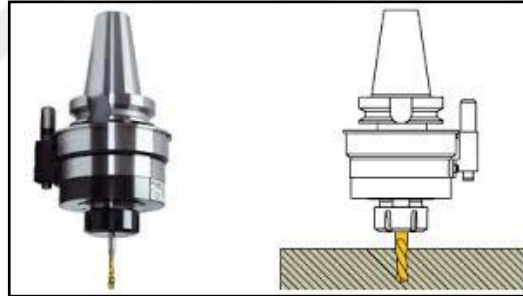
4.2. DENEYLERDE KULLANILAN TAKIM TEZGÂHI

Delme deneyleri, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan CNC dik işleme (Johnford VMC–550) merkezinde yapılmış olup, tezgâha ait teknik özellikler Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri.

Tezgahın Gücü	10 HP (7,5 kW)
En Yüksek Devir Sayısı	6000 dev/dk
Kurs Boyu (x, y, z eksen)	550, 500, 450 mm
Hassasiyeti	0,001 mm
İşletim Sistemi	Fanuc

KFTK malzemesinin delinmesinde optimum delme parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan delme deneylerinde, seçilen matkap çapı ve yüksek kesme hızına bağlı olarak takım tezgâhı maksimum devir sayısının yetersiz kalması nedeniyle, tercih edilen yüksek kesme hızlarına ulaşabilmek için hız kafası kullanılmıştır. Teknik özellikleri Çizelge 4.4’ te verilen hız kafası (Şekil 4.2) tezgah fener miline bağlanarak tezgah fener milinin devir sayısı 4,8 kat artırılmıştır.



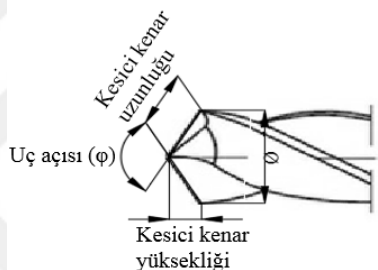
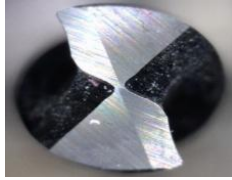
Şekil 4.2. Hız kafası.

Çizelge 4.4. Hız kafasının teknik özellikleri.

Güç (KW)	Eksenel Kuvvet (N)	Çevirme Oranı	Ağırlık (kg)	En Yüksek Devir (dev/dk)
1,7	380	1:4,8	3,8	30 000

4.3. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ

Deneyleerde kullanılan 5 mm çapındaki tungsten karbür (WC) matkap uçları Karcan kesici takım firmasından temin edilmiş olup, kesici takımlara ait özellikler ve boyutlar şekil 4.3'te verilmiştir. Kaplamasız WC takımları kaplamalı takımlarla mukayese yapabilmek amacıyla kesici takımların bir kısmına Karcan kesici takım firması tarafından CVD (Kimyasal Buharlaştırma Metodu) ve PVD (Kimyasal Buharlaştırma Metodu) yöntemleriyle sırasıyla elmas ve TiAlN kaplama yapılmıştır. Kesici takımlara ait kaplama özellikleri izelge 4.5'te verilmiştir.

		WC		
		TiAlN		
		Elmas		
	Uç açısı	120°	130°	140°
	çap	5 mm	5 mm	5 mm
	Helis açısı	30°	30°	30°
	Kesici kenar uzunluğu	2.887 mm	2.759 mm	2.66 mm
	Kesici kenar yüksekliği	1.443 mm	1.166 mm	0.91 mm

şekil 4.3. Kesici takım özellikleri ve boyutları.

Çizelge 4.5. Kesici takım kaplama özellikleri.

Kesici Takım Malzemesi	WC (Kaplamasız)	WC (TiAlN Kaplama)	WC (Elmas Kaplama)
Kaplama kalınlığı (µm)	Yok	2 ±0,5	4
Sertlik (HV)	1600	3300	10000
Kaplama yapısı	Yok	Kristalin	Nanokristalin
Kaplama yöntemi	Yok	PVD-arc	CVD
Katman	Yok	Nano katmanlı	Tek katmanlı
Sürtünme katsayısı	0,45	0,35	0,1 – 0,3
Termal iletkenlik (kW/mK)	0,08	0,05	2

KFTK ve Ti6Al4V malzemelerin ayrı ayrı (ön deneyler) delinmesinde Taguchi L₂₇ dikey dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri değerleri, literatür çalışmaları ve kesici takım katalogları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Deneysel çalışmaların ilk aşaması olan ön deneylerde değişken olarak matkap uç açısı (P), kesme hızı (V) ve ilerleme miktarı (f) seçilmiştir. KFTK malzemelerin delinmesinde karşılaşılan en önemli problem delik çıkışında meydana gelen delaminasyon faktörüdür. Delaminasyon faktörünü etkileyen faktörlerden birisi de ilerleme miktarıdır. Bu bağlamda delme deneyleri, delaminasyon faktörünün azaltılması amacıyla hem sabit ilerleme ve hem de delik çıkışına bir mm kala ilerlemenin %50 düşürülmesi şeklinde (değişken ilerleme) L₂₇ dikey dizinine göre yapılmıştır.

İkinci aşamada, KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde kesici takım performanslarını belirlemek için takım ömrü deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesici takım performans deneylerinde kullanılan kesme parametreleri kesici takım kalitesi ve matkap uç açısı göz önünde bulundurularak ön deney sonuçlarında elde edilen çıktılara Taguchi yöntemi tabanlı gri ilişki analizi (GİA) uygulanarak elde edilmiştir. Optimizasyonda, sabit ilerleme miktarı uygulamasında elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. GİA ile en iyi faktör seviyelerinin belirlenmesinde çoklu yanıt metodu uygulanmıştır. GİA hakkında detaylar Bölüm 4.10’da verilmiştir.

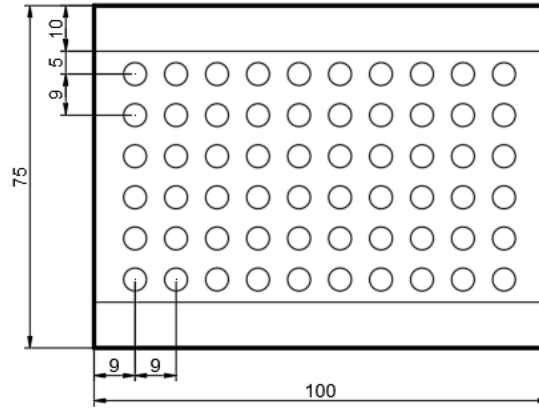
Çizelge 4.6. Taguchi L27 dizinine göre ön deney için kesme parametreleri.

Deney No	P (°)	V (m/dak) (KFTK)	f (mm/dev) (KFTK)	V (m/dak) (Ti6Al4V)	f (mm/dev) (Ti6Al4V)
1	120	60	0,05	15	0,05
2	120	60	0,1	15	0,075
3	120	60	0,15	15	0,1
4	120	100	0,05	25	0,05
5	120	100	0,1	25	0,075
6	120	100	0,15	25	0,1
7	120	140	0,05	35	0,05
8	120	140	0,1	35	0,075
9	120	140	0,15	35	0,1
10	130	60	0,05	15	0,05
11	130	60	0,1	15	0,075
12	130	60	0,15	15	0,1
13	130	100	0,05	25	0,05
14	130	100	0,1	25	0,075
15	130	100	0,15	25	0,1
16	130	140	0,05	35	0,05
17	130	140	0,1	35	0,075
18	130	140	0,15	35	0,1
19	140	60	0,05	15	0,05
20	140	60	0,1	15	0,075
21	140	60	0,15	15	0,1
22	140	100	0,05	25	0,05
23	140	100	0,1	25	0,075
24	140	100	0,15	25	0,1
25	140	140	0,05	35	0,05
26	140	140	0,1	35	0,075
27	140	140	0,15	35	0,1

4.4. DENEY NUMUNELERİNİN VE BAĞLAMA KALIBININ TASARIMI

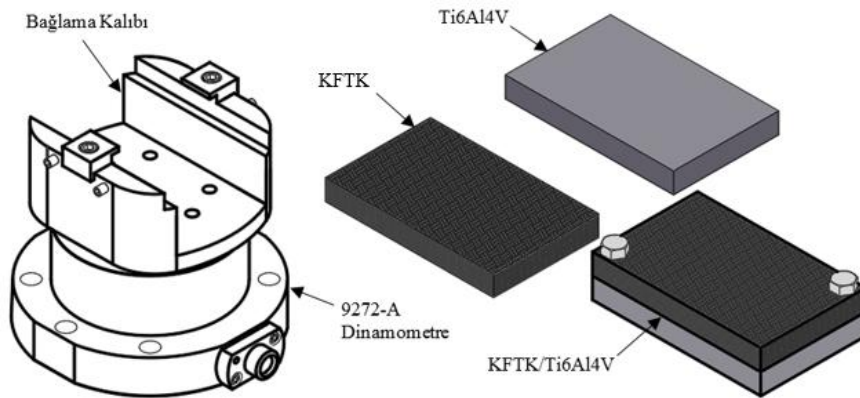
Deney numuneleri, KFTK ve Ti6Al4V alaşım malzemeden su jeti ile 75x100 ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin dinamometreye bağlanabilmesi için bağlama kalıbı tasarlanıp imal edilmiştir. Delme deneyleri her bir plaka üzerine

60 adet delik delinecek şekilde tasarlanmış olup, numunelerin üst yüzeyinden bakıldığındaki görünümü Şekil 4.4'te verilmiştir. Deneylerin yapıldığı bağlama kalıbının dinamometreye montajlı görüntüsü ise Şekil 4.5'te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Deney numunelerinin üstten görünümü.

Delme işleminde optimum sonuçlar elde etmek amacıyla, delme boyu, delik çapının üç katı ya da üç katından daha düşük olması şartına uymak amacı ile 14 mm seçilmiş olup açık delik (boydan boya) uygulaması yapılmıştır. Her deneyde yeni bir kesici takım kullanılmış olup, üç kez deney tekrarı yapılarak alınan verilerin doğruluğu teyit edilmiştir. Deneysel çıktıların (İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon faktörü vb.) değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm değerleri, bu tekrarlardan elde edilen verilerin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

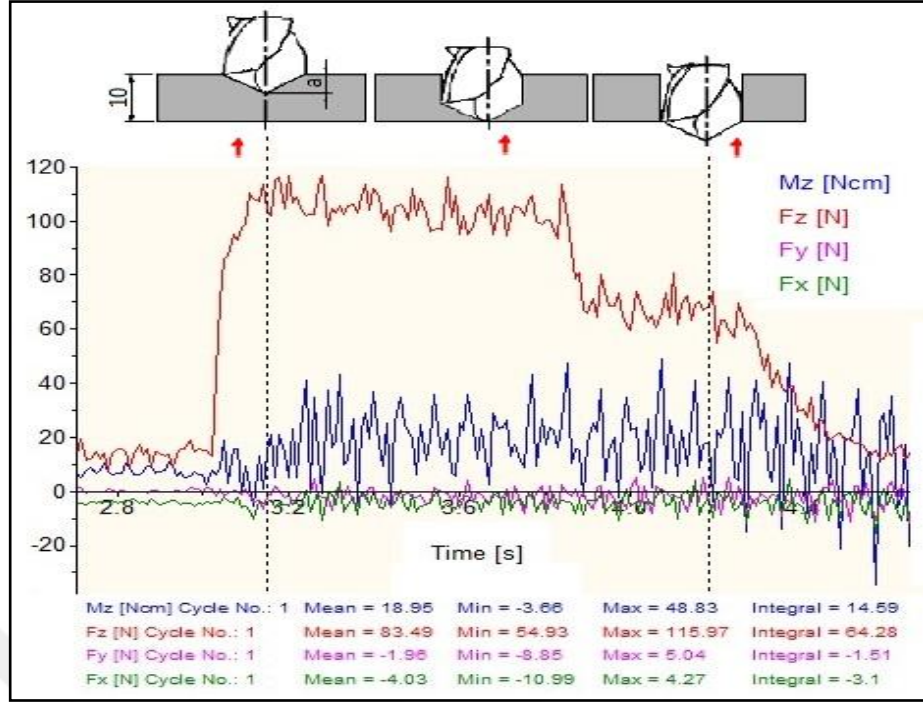


Şekil 4.5. Bağlama kalıbı ve deney malzemelerinin şematik olarak gösterilmesi.

4.5. KESME KUVVETLERİNİN ÖLÇÜMÜ

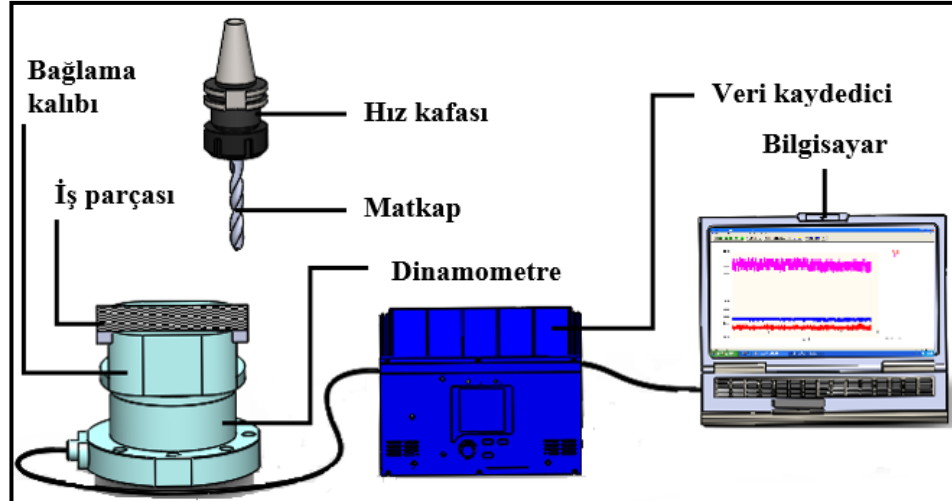
Delik delme sırasında kesici takımda dönme momenti ve eksenel (itme) kuvvet meydana gelmektedir. Delme sırasında oluşan itme kuvveti, yalnızca kesici takım geometrisine ve iş parçası malzemesine bağlı değildir. Aynı zamanda kesici takımın ilerleme miktarı ve kesme hızının kesici takımda oluşturduğu aşınmaya da bağlıdır [98]. Bu nedenle giriş parametrelerine bağlı eksenel kuvvetin doğru olarak elde edilebilmesi işleme performansı açısından büyük önemi bulunmaktadır. Kesici takımın kenarlarında meydana gelen teğetsel kuvvetlerin kesici takımın yarıçapına bağlı olarak oluşturduğu burulma momenti (M_c), delik delme işlemi esnasında ve deliğin büyütülmesi işleminde önemli bir faktördür.

Değerlendirmelerde, delme işleminde oluşan üç kuvvetten (radyal kuvvet, kesme kuvveti ve itme kuvveti) en büyüğü olan itme kuvveti ve itme kuvvetinin meydana getirdiği moment değerleri dikkate alınmıştır. Deneylerde meydana gelen bütün kuvvetler ve bu kuvvetlerin oluşturduğu moment değerlerinin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Fakat yalnızca itme kuvveti ve bu kuvvetin oluşturduğu moment değerleri analiz edilmiştir. İtme kuvveti değerleri iki kesik çizgi arasında kalan düzenli bölümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde ise değişken ilerlemenin başlangıcı referans alınarak öncesi ve sonrası ayrı ayrı değerlendirilerek belirlenmiştir. Değerlerin belirlenmesinde dinamik kararsızlık sergileyen bölgeler dikkate alınmamıştır. Delme deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin doğru mukayese edilebilmesi açısından matkap ucunun takım tutucudan çıkma mesafesi tüm deneylerde eşit (30 mm) olacak şekilde takımlar bağlanmıştır.



Şekil 4.6. İtme kuvveti ve momentin DynoWare program görüntüsü.

Kesme kuvvetleri ve momentlerin ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünün CNC laboratuvarında bulunan dik işleme merkezi tezgahına bağlanan Kistler 9272 tipi dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına aktarılması için KISTLER 5070A tipi çok kanallı amplifier kullanılmış olup, bu değerlerin bilgisayar ortamında analiz edilebilmesi için de KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.7’te deneyler sırasında kullanılan dinamometre ve amplifierin görünümü verilmiştir. Çizelge 4.7’de deneylerde kullanılan KISTLER 9272 tipi dinamometrenin özellikleri, KISTLER 5070A tipi amplifierin özellikleri ise Çizelge 4.8’de verilmiştir. Deneylerde elde edilen itme kuvveti ve moment verileri iş parçası malzemesi ile dinamometre arasında direkt temas sağlanması ile iş parçasının üzerinden alınmıştır.



Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan deney düzeneği.

Çizelge 4.7. KISTLER 9272 tipi dinamometrenin özellikleri.

Ölçme Aralığı	Fx, Fy	$\pm 5 \text{ kN}$
	Fz	$-5 \dots +20 \text{ kN}$
	Mz	$\pm 200 \text{ kN}$
Duyarlılık	Fx, Fy	$\sim 7,8 \text{ pC/N}$
	Fz	$\sim 3,5 \text{ pC/N}$
	Mz	$\sim 160 \text{ pC/N}$
Doğal Frekans	fn (x,y)	$\sim 3,1 \text{ kHz}$
	fn (z)	$\sim 6,3 \text{ kHz}$
	fn (Mz)	$\sim 4,2 \text{ kHz}$
Çap		100 mm
Yükseklik		70 mm
Bağlantı		Fischerflange 9 pole neg.
Çalışma Sıcaklık Aralığı		$0 \dots 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Sızdırmazlık		IP 67
Kütle		4,2 kg

Çizelge 4.8. KISTLER 5070 A tipi amplifierin özellikleri.

Kanal Sayısı	8
Açıklama	19" rack
Bağlantı	Fischer 9 pole neg.
Ölçüm Aralığı	~200.....200000 pC
Frekans Aralığı	~0>45 kHz
Çıktı Sinyali	±10V
Güç	100...240V
Arayüz	RS-232C

4.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜMÜ

Talaşlı üretimde işleme sonrası iş parçası malzemesinden istenilen en önemli faktörlerden bir tanesi yüzey pürüzlülüğüdür. Bu nedenle işlenmiş yüzey kalitesi nihai ürün için son derece önemli bir kriterdir. Talaşlı üretim yöntemlerinin her birinde üretilen iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün ve kalitesinin dereceleri farklıdır. Delme işleminde yüzey pürüzlülüğünün istenilen kalitede olması için endüstride ikinci işlem olan raybalama işlemi uygulanmaktadır. Fakat yapılan ikinci bir işlem üretim zamanının ve maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle doğru tespit edilmiş kesici takım ve işleme parametreleriyle istenilen yüzey pürüzlülük kalitesinin elde edilebilmesi son derece önemlidir.

Bu çalışma amaçlarından birisi, delik delme işleminde kesici takım ve işleme parametrelerinin deliğin yüzey kalitesindeki etkilerinin belirlenmesi ve en uygun işleme koşullarının ortaya konulmasıdır. Delme deneyleri sonucunda, delik yüzeylerinin pürüzlülük değerleri Mahr marka MarSurf M 300 tipi yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri [99].

Ölçme Prensibi	Tarama ucu yöntemi
Girdiler	Endüktif destekli prob
Ölçüm aralığı μm	350-180-90
Temas hızı	0,5 mm/s
Tarama ucu	2 μm
Ölçüm kuvveti	0,7 mN
Kalibrasyon İşlevi	Dinamik
İşletim Sıcaklık Aralığı	+5 $^{\circ}\text{C}$ ± 40 $^{\circ}\text{C}$
Depolama için Sıcaklık Aralığı	-15 $^{\circ}\text{C}$ ± 55 $^{\circ}\text{C}$
mm cinsinden Tahrik ünitesi için (U x G x Y) boyutları.	139 x 26 mm
Ölçüm aleti için mm cinsinden (U x G x Y) boyutları.	190 x 140 x 75 mm
Ağırlık Tahrik ünitesi	yaklaşık 300 g
Ağırlık Ölçüm aleti	yaklaşık 1 kg

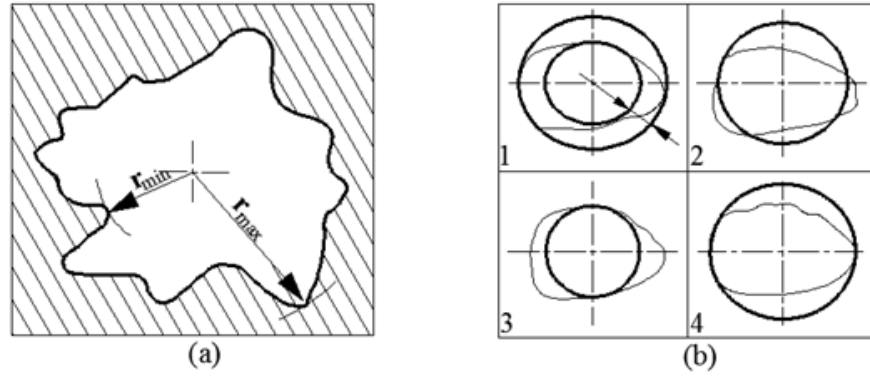
Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin yapılabilmesi için delik çapına uygun prob kullanılmıştır. Ölçümler, delik eksenine paralel olacak şekilde her delik için aynı mesafeden (delik ortası) ve her ölçüm için parça eşit açıda döndürülerek gerçekleştirilmiştir. Ölçüm uzunluğu 1,75 mm alınarak her delik için beş ölçüm yapılmış ve ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

4.7. DELİK ÇAPI, DAİRESELLİK VE SİLİNDİRİKLİK KONTROLÜ

Teknolojinin gelişimiyle birlikte imalatı yapılan ürünlerden yüksek hassasiyet istenmektedir. Delik delme işlemlerinde bu hassasiyetler yüzey pürüzlülüğünden sonra delik çapı, dairesellik ve silindiriklik gibi kriterlere göre kontrol edilir. Delme işlemi sonrası deliklerde bu özelliklerin sağlanabilmesi için delme işlemine ek olarak raybalama işlemi yapılmaktadır. Fakat teknolojinin yardımıyla üretilen modern takım tezgahlarının modern kesici takımlarla birleşimi, istenilen kalitede delik delme işlemi yapılmasını sağlamıştır. Ancak, istenilen sonuçların elde edilmesi kullanılan işleme parametrelerinin doğru olarak seçilmesini gerektirmektedir.

Delğin ovalitesi (dairesellikten sapma) genel olarak işleme esnasında oluşan titreşim ve kesici takımın aşınmasına bağlı olarak değişmektedir. Delikteki silindirikliğin sapması işlenmiş yüzeyde dalgalanmaların oluşmasından kaynaklanmaktadır. Silindiriklikten sapma, delğin merkez noktasına göre en büyük çap değerinden en küçük çap değerinin çıkarılması ile belirlenmektedir [100]. Fakat, delğin merkezinin belirlenebilmesi için birden fazla yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

- En küçük radyal sapmanın olduğu nokta merkez olarak tanımlanabilmektedir. Bu yöntemde minimum radyal sapma (MRS) veya toplam ibre okuma (TIR) denilmektedir.
- En küçük daire merkezi (LSC) yöntemi. Bu yöntemde ise merkez nokta olarak radyal koordinatların karelerinin toplamı en küçük olan dairenin merkezi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.8) [51].



Şekil 4.8. Dairesellik ölçümleri a) Dairesellikten sapma b) Delik merkezinin belirlenmesi [51].

Delme işlemi sonrası elde edilen çap nominal çapa göre daha büyük veya daha küçük çıkıyorsa sebebi kesici takımın merkezden sapması olarak açıklanabilir. Diğer sebepler ise ilerleme miktarının çok yüksek olması, tezgahın fener milinin uygunsuzluğu veya tezgahın rijitsizliği olarak açıklanabilir. Oluşan delğin simetrik olmayışı genellikle tezgah veya bağlama kalıbının rijit olmamasından kaynaklanmaktadır [101].

Bu çalışmada, KFTK ve Ti6Al4V alaşım malzemelerinin delinmesinde en uygun delik kalitesini oluşturmak için optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi temel hedeflerden bir diğeridir. Bu amaçla delme işlemi sonrasında delik çapı, silindiriklik

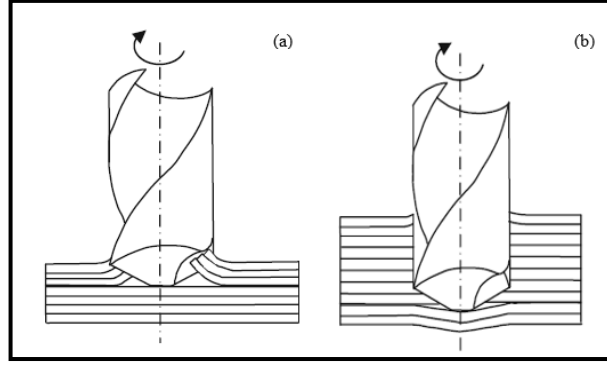
ve dairesellik ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği CMM (Coordinat Measuring Machine) laboratuvarında DEA Global Performance marka üç boyutlu CMM tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deliğin giriş, çıkış ve orta bölgesinden eşit açıda 5 farklı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değer elde edilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı CMM tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Ölçüm tezgahına ait teknik özellikler.

Ölçüm alanı	X=700, Y=1000, Z=660 mm
Hız	516 mm/s
İvme	1700 mm/s ²
Cetvel çözünürlüğü	0,039 µm
Ölçme yazılımı	PC-DMIS CAD++

4.8. DELAMİNASYON FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ

Delme operasyonu birleştirme işlemlerinde bağlantı elemanlarını montaj etmek için yaygın olarak kullanılan işlemlerden birisidir. Delaminasyon faktörü, malzemelerin yapısal bütünlüğünü azaltmanın yanı sıra, fiber takviyeli kompozit (FRP) malzemelerin delinmesi ile ilgili önemli problemdir. Delaminasyon ayrıca montaj toleransının azalmasına neden olarak uzun vadeli çalışma performansı etkilemektedir [76]. Bu sorunun giderilmesi delme işlemi esnasında itme kuvvetinin azaltılması ile sağlanabilir. FRP kompozitlerin delinmesi ile ilgili iki delaminasyon mekanizması vardır. Bunlar kesici takımın iş parçasına girişte oluşturduğu soyma ve kesici takım iş parçasından çıkarken oluşan itme olarak bilinmektedir (Şekil 4.9) [102].



Şekil 4.9. Delik delme işleminde delaminasyon oluşumu; a) Giriş, b) Çıkış.

Delme işleminin delaminasyonla ilişkili olarak, uçak montajı esnasında parçaların reddedilmesinin %60'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle delaminasyona yönelik çeşitli işleme parametrelerinin etkilerini analiz etmek için doğru bir model geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, geliştirilen model delme işlemi sırasında seçilen işleme parametreleri için delaminasyonun yeniden düzenlenmesi için kullanılabilir.

Optik mikroskop ve tarama gibi kompozitlerin delinmesinden sonra delaminasyon faktörünü ölçmek için çeşitli teknikler kullanılmıştır. Genel olarak, hem ana kesme parametrelerinin hem de kesici takım geometrisinin etkisini değerlendirmek için niceliksel bir değerlendirme gereklidir. Delaminasyon faktörü, matkabın girişinde ve çıkışında, delaminasyon bölgesinin maksimum çapının matkap çapına oranı olarak tanımlanan iş parçasındaki hasar seviyesini karakterize etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 4.10). Alternatif olarak, delinmiş alanın delik alanına oranı da kullanılmaktadır [73]. Delaminasyon faktörü iki değer ortalamasının işlem tepkisidir [76].

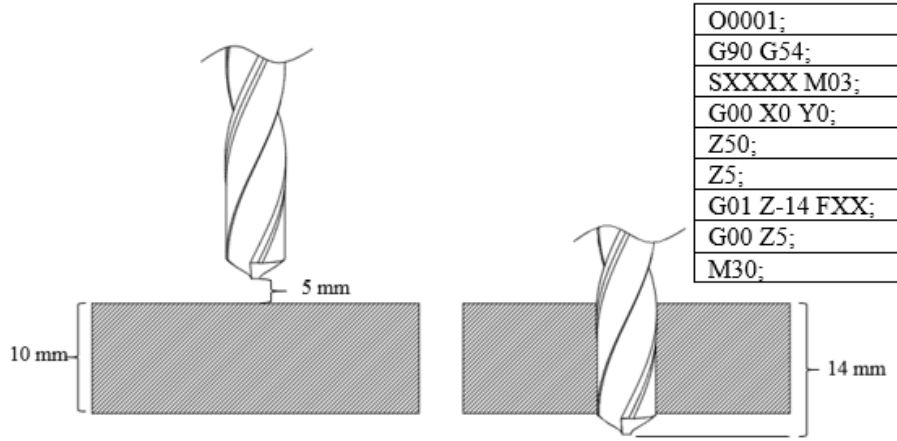
Yukarıda verilen Eşitlik 4.1 ve Eşitlik 4.2’de verilen denklemlerle hesaplanan delaminasyon faktörleri birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Ancak yüzeyde oluşan çatlaklar arttıkça bu iki eşitlik ile elde edilen sonuçlar arasında fark görülmektedir [73]. Bu çalışmada delaminasyon faktörünün belirlenmesinde Eş. 4.1 kullanılmıştır. Delaminasyon faktörünün belirlenmesinden kullanılan D_{nom} ve D_{max} (Şekil 4.10) değerleri delme işlemi tamamlandıktan sonra parça üzerinden alınan makro görüntülerin AutoCad programında açılarak delik üzerinde oluşturulan daireler yardımıyla elde edilmiştir. Nominal çapa (D_{nom}) karşılık gelen daire delik üzerinde çizilen 5 adet teğet yay yardımıyla, D_{max} ise elde edilen bu daire ile eş merkez olacak şekilde maksimum hasar görmüş noktadan geçen yeni bir daire çizilmesiyle oluşturulmuştur.

4.9. DENEYLERİN UYGULANMASI

4.9.1. KFTK Ve Ti6Al4V Malzemelerin Delinmesi

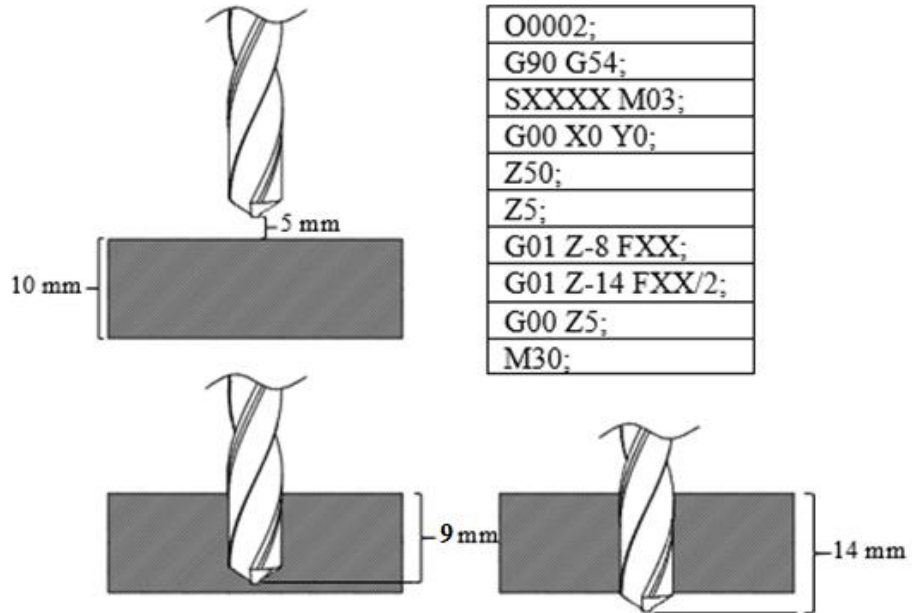
KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin kaplamasız WC, TiAlNi ve elmas kaplamalı matkaplar ile delinmesinde en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi için KFTK ve Ti6Al4V malzemeleri üzerinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takım uç açısının 3’er seviyesi kullanılarak delme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

KFTK ve Ti6Al4V malzemeler sabit ilerleme miktarı kullanılarak boydan boya delik delme işlemi yapılmıştır (Şekil 4.11). 10 mm kalınlığındaki KFTK ve Ti6Al4V malzemeler, grafikte görülen G kodları ile Şekil 4.12’deki işlem basamakları kullanarak gerçekleştirilmiştir. Kesici kenar yüksekliği dikkate alınarak iş parçası tabanından çıkacak şekilde -14 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.11. KFTK ve Ti6Al4V malzemelerin delinmesi.

İkinci aşama olarak, KFTK malzemelerde sık olarak görülen ve katman ayrışması olarak bilinen delaminasyon faktörünün azaltılması amacıyla delik çıkışında ilerleme miktarının %50 oranında azaltılması (değişken ilerleme) yöntemi uygulanmıştır (Şekil 4.12). Değişken ilerleme başlangıç noktası, delik çıkışına 1 mm olacak şekilde belirlenmiş olup, sabit ilerleme uygulamasındaki aynı kesme parametreleri ve seviyeleri kullanılmıştır.

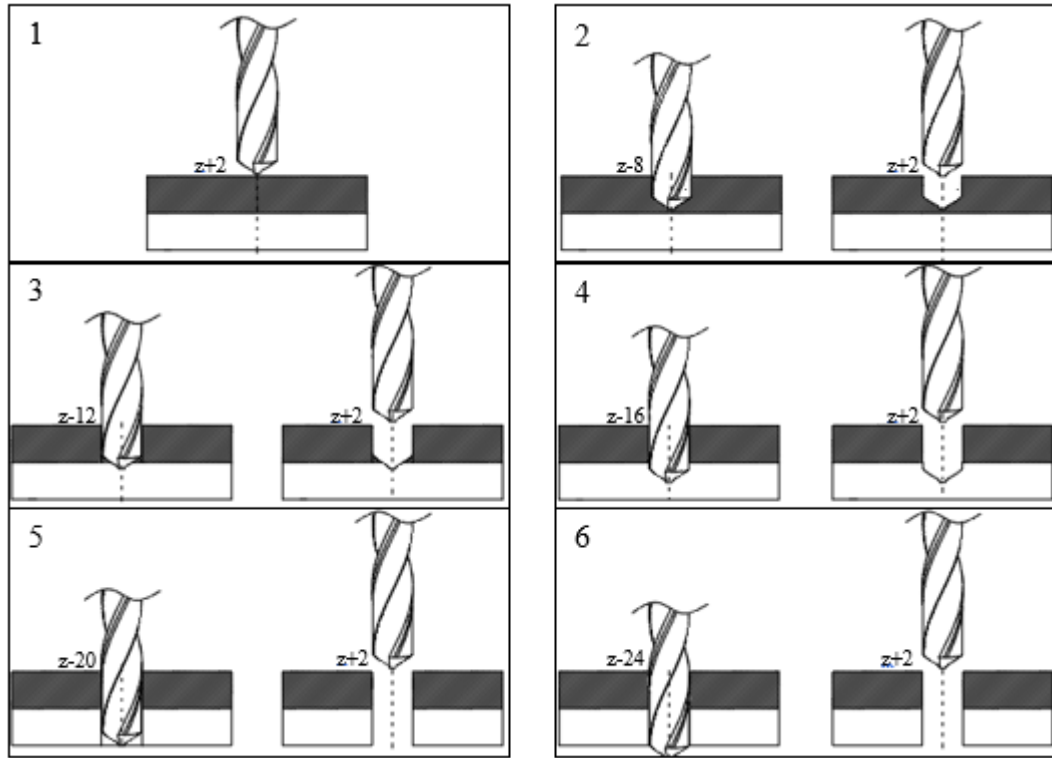


Şekil 4.12. KFTK malzemenin değişken ilerleme miktarı ile delinmesi.

4.9.2. KFTK/Ti6Al4V İstifli Malzemenin Delinmesi

KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Farklı mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine sahip bu malzemelerin delinmesinde çok fazla sorunlarla karşılaşmaktadır. KFTK malzemelerin işlenmesinde düşük sıcaklıklarda matris ayrılması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Ti6Al4V malzemenin düşük ısı iletim katsayısına sahip olması, işleme sırasında yüksek sıcaklıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin işlenebilirliği çok zordur. Endüstride, bu malzemelerin delme işlemleri set (delik büyültme) ve soğutma sistemi kullanılarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada, KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde gagalama yöntemi kullanılarak delinebilirliği analiz edilmiştir. Gagalama yöntemi Şekil 4.13'te görüldüğü gibi altı aşamada yapılmıştır. Ti6Al4V malzemenin delinmesi sırasında yüksek sıcaklıklar oluşmasından dolayı güvenli yaklaşma mesafesine yapılan geri çıkmalarda, takım soğutulması amacıyla 1 dakika havada bekletilmiştir. KFTK malzeme için 60 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, Ti6Al4V malzeme için ise 15 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı kullanılmıştır. Kaplamasız WC, TiAlNi ve elmas kaplamalı matkapların performanslarını belirlemek için yapılan takım ömrü deneylerinde kullanılan bu delme parametreleri, ön deney sonuçlarına yapılan gri ilişki analizi ile belirlenmiştir.



Şekil 4.13. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesi.

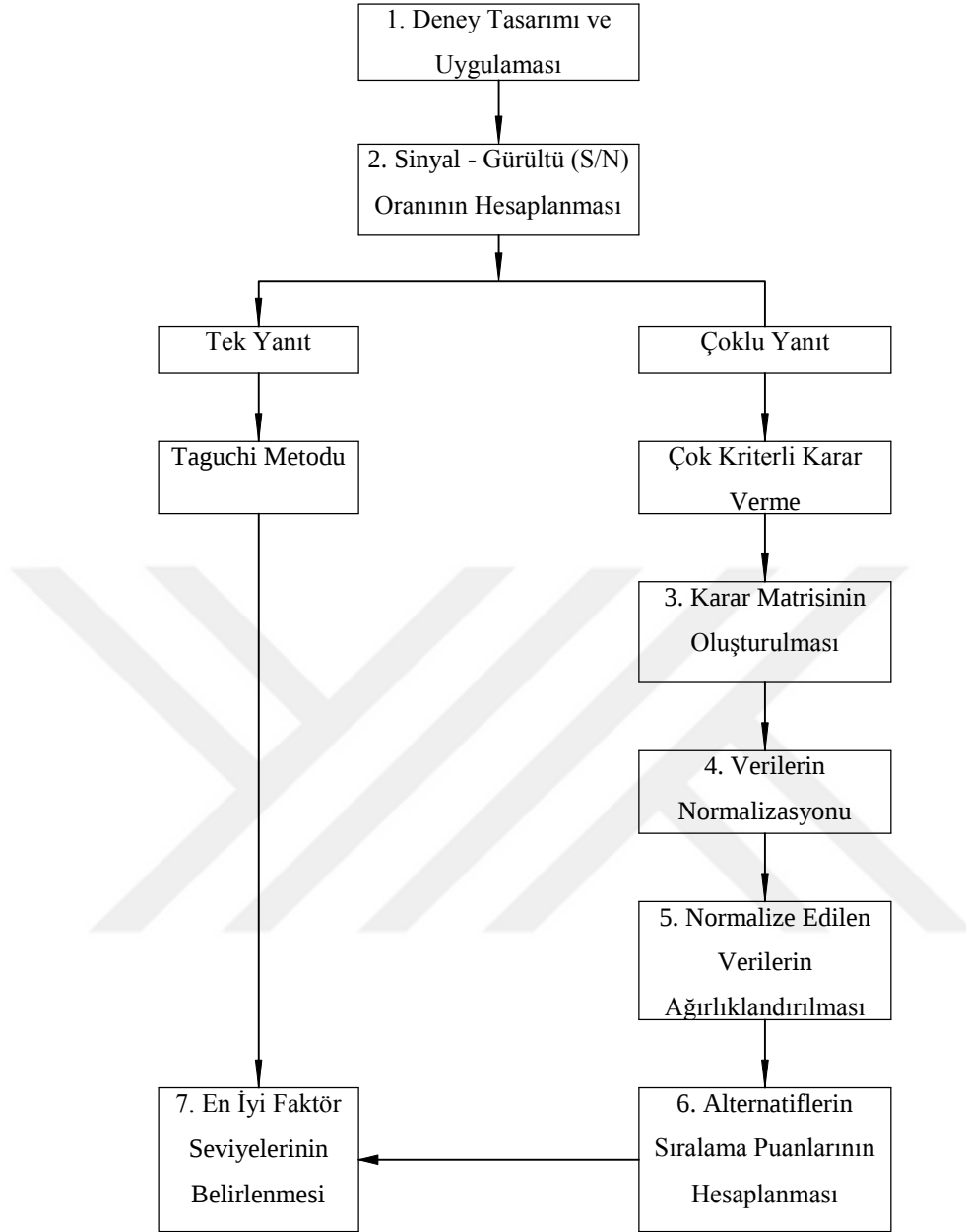
4.10. GRİ İLİŞKİ ANALİZİ

4.10.1. Gri Teori

Gri sistem teorisi, 1982 yılında Profesör Julong Deng tarafından geliştirilmiştir. Deng'in geliştirdiği gri sistem teorisinin temelinde, bilinmeyen ya da tamamlanmamış verilerin “gri eleman” olarak tanımlanması yer almaktadır. Karar göstergelerini belirleyebilmek için gri bölge çözümlemesi kullanılmaktadır. “Gri ilişki” belirli bir sistem içerisinde iki eleman ya da iki alt sistem arasında değişen ilişkinin ölçülmesini ifade etmektedir. Analiz edilen elemanlar arasındaki benzerlikler veya farklılıklar “gri ilişki” olarak isimlendirilmektedir. Sistem geliştirme sürecinde iki eleman arasındaki değişim sürekli olduğunda, eğer gerçekleşen değişimler birbirleri ile uyumlu olarak meydana geliyorsa elemanlar arası daha yüksek aksi durumda ise daha düşük bir ilişki söz konusu olacaktır. Gri ilişki çözümlemesi, sistemi temsil edecek göstergelerin seçiminde ve sıralanmasında kullanılmaktadır [103].

Deng, gri sistemlerin karakteristik özelliklerini oluşturmak için sıkıcı matematiksel hesaplamalar ve istatistiksel varsayımlarla uğraşmak yerine, gri modelleme vasıtasıyla yetersiz/eksik-gri bilgiye sahip sistemleri basit hesaplama yöntemlerinden yararlanarak incelemiştir. İstatistiksel analizlerde farklı veri yapıları farklı rassal özellikler göstermekte ve dolayısıyla farklı rassal yöntemlerle analiz edilmektedir. Gri sistem teorisinde ise tüm farklı rassal prosesler gri kaynaklı olarak kabul edilmektedir. Gri sistem teorisinin bir başka özelliği ise çok az sayıda verinin olması durumunda bile, örneğin 3,4 veya daha fazla, bu tür sistemin gri olarak modellenebilmesidir [104].

Taguchi yöntemi tek başına tek performans yanıtının eniyilemesinde kullanılan bir yöntemdir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, Taguchi yöntemiyle birlikte kullanılarak birden çok performans yanıtı tek bir yanıtı dönüştürülür. Bu şekilde problem tek yanıtı bir eniyileme problemi şekline dönüşmüş olur. Şekil 4.14'te Gri Tabanlı Taguchi Metodu uygulama prosedürü verilmiştir. Bu şekle göre adım 1,2, 7 Taguchi Metodunun genel prosedürünü verirken, adım 3-6 Çok Kriterli Karar Verme Yönteminin genel prosedürünü vermektedir [105].



Şekil 4.14. Gri tabanlı Taguchi metodu uygulama [105].

Gri İlişki Analiz (GİA) metodunun hesaplama aşamaları aşağıdaki gibidir.

1. Aşama: n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) \quad (4.1)$$

2. Aşama: Verilerin normalize edilmesi

Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği ve farklı birimlerde ölçüldüğü düşünüldüğünde “Gri İlişki Analizi” metodunun ilk adımı verilerin aynı birime dönüştürülmesidir. Ayrıca, serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırılarak verilerin dar bir aralığa çekilmesinde fayda vardır. Gri ilişki teorisinde bu normalleştirme projesine “Gri İlişkisel Oluşum (grey relational generating)” adı verilmektedir. Verilerin normalizasyon edilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden birisi lineer veri ön izleme metodudur. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “En düşük-En iyi”, “Nominal-En iyi” ve “En Yüksek-En İyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise lineer normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda “1” e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0” a yakın değerler alacaktır.

“En Yüksek-En İyi” durumunda normalizasyon aşağıdaki gibidir.

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (4.2)$$

$x_i(k)$ normalizasyon sonrası i serisinin k sırasındaki değer, $x_i^0(k)$ i serisinin k sırasındaki orjinal değer, $\min x_i^0(k)$ i serisindeki minimum değer, $\max x_i^0(k)$ i serisindeki maksimum değerdir.

“En düşük-En iyi” için eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (4.3)$$

“Nominal-En iyi” için eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (4.4)$$

Burada x^0 istenilen ideal değeri göstermektedir.

3. Aşama: x^0 serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Eşitlik 4.5'te tanımlanmış olsun.

$$x_i = (x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, 3 \dots m \quad (4.5)$$

4. Aşama: k, n uzunluğundaki serideki k sırasını gösterecek $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k noktasında ki gri ilişkiler katsayı olup Eşitlik 4.6, 4.7, 4.8, 4.9'a göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{max}} \quad (4.6)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (4.7)$$

$$\Delta_{min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (4.8)$$

$$\Delta_{max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (4.9)$$

Ve $\xi \in (0,1)$ arasındaki bir katsayıdır. $j = 1, 2, \dots, m$; $k = 1, 2, \dots, n$ ξ işlevi, Δ_{0i} ile Δ_{max} arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar ξ değerinin gri ilişkiler derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir [104,106,107].

5. Aşama: Gri ilişkiler derece çıktıların performansa etkileri eşit derecede ise Eşitlik 4.10 ile hesaplanır:

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (4.10)$$

Eğer; performansa etkileri farklı derecede (ağırlıklarda) ise hesaplamada bu ağırlıklar da dikkate alınmalıdır. Ağırlıklı Gri İlişki Derece (GİD) hesaplaması için Eşitlik 4.11 kullanılır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n W_k \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (4.12)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k = 1$$

$\gamma(x_0, x_i)$ gri bir sistemdeki x_0 referans serisi ile x_i serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkiler derecesinin büyüklüğü x_0 serisi ile x_i arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirleri ile aynı ise gri ilişkiler derecesi 1 olarak bulunur. Gri ilişkiler derecesi karşılaştırılan serinin referans seriyeye ne kadar benzer olduğunu gösterir [108-112].

6. Aşama: Deney faktörlerinin yeni seviyelerinin belirlenmesi.
7. Aşama: ANOVA testinin yapılması.
8. Aşama: Taguchi Yönteminin Uygulanması. Optimal değerlerde tahmin ve doğrulama deneylerinin yapılması.

Bu aşamada çoklu yanıt optimizasyon yönteminde faktörlerin optimum seviyelerini belirlemek için “En büyük – En iyi” yaklaşımı (Eş. 4.13) uygulanmıştır. GİA tabanlı Taguchi optimizasyonunda GİD değerinin en büyük olduğu durum faktörlerin optimum seviyesini vermektedir. Tez çalışmasında istatistik analizler için Minitab 17® paket programı kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \right] \quad (4.13)$$

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. KARBON FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT (KFTK) MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ

Havacılık/uzay endüstrisinin yanı sıra otomotiv, deniz, spor ve kimya endüstrisindeki ekipmanların imalatında kompozit malzemelere olan talep giderek artmaktadır [113]. Fiber takviyeli polimerler gibi geliştirilmiş kompozit malzemeler, yüksek özgül sertlik, mukavemet ve korozyon direnci içeren cazip özellikleri nedeniyle, yapısal parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon fiber takviyeli polimerler, bünyesindeki karbon fiberlerin sebep olduğu hızlı takım aşınması, toz şeklinde talaş oluşumu, tabakalı yapıda oluşan delaminasyon ve ısıl problemler nedeniyle işlenmesi zor malzemeler arasında yer almaktadır [114].

Airbus350 uçağının yapısal ağırlığının yaklaşık %52'si kompozit malzeme olup, uçağın yapısal bileşenlerinin imalatında ortalama 55.000 delik delme operasyonu yapılmaktadır [115]. Bu nedenle, delme işlemi KFTK malzemelere uygulanan en yaygın süreçlerden birisidir [29]. KFTK malzemelerin işlenmesi gündeme geldiğinde, her bir operasyon için daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle, montajlı parçalarda yüksek dayanım ihtiyacından dolayı, düşük pürüzlülük ve uygun dairesellik toleransında delik delme ihtiyacı havacılık sektöründe önemli bir güvenlik sorunudur [59].

Bu çalışmada, KFTK malzemeler için gerçekleştirilen ön deney delme işlemlerinde itme kuvveti (F_z), yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve delaminasyon faktörü (F_d) sonuçları değerlendirilerek optimum delme parametreleri belirlenmiştir. KFTK malzemelerin işlenmesinde metallere göre farklılıklar görülmektedir. Metallerin işlenmesinde

Merchant teorisine dayalı olarak delme mekaniği analiz edilebilirken, KFTK

-



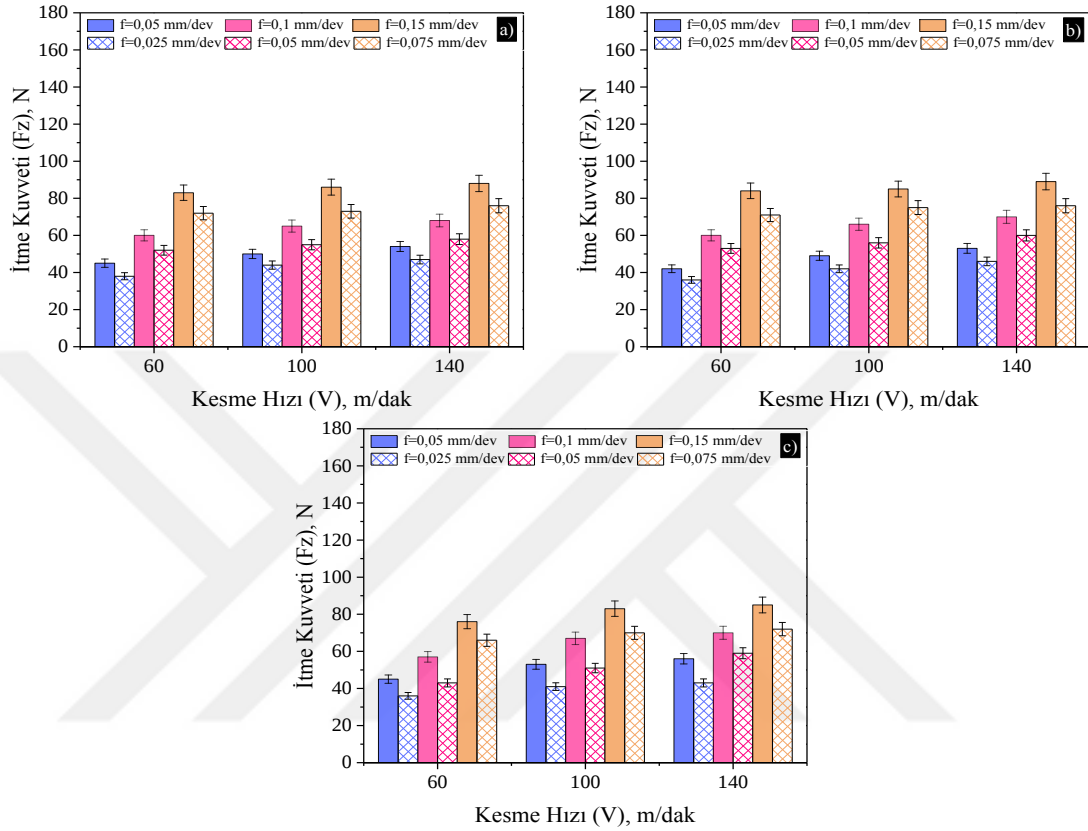
malzemelerde ise fiberlerin kesilme yerine kırılması (parçalanması) gözlemlendiğinden bu teori yetersiz kalmaktadır. Bu durum, delme sırasında kırılan fiberlerin takım malzeme arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kalması, sıcaklığın artması ve talaş tahliyesinin düzensizliğine yol açmaktadır [6]. KFTK malzemelerin delinmesinde oluşan moment ve delik çapları, bu düzensizliklerden olumsuz olarak etkilenmekte olup, yapılacak analizlerden doğru sonuçlar elde etmek için değerlendirilmemiştir.

5.1.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Şekil 5.1 – Şekil 5.3'teki grafikler kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla farklı takım geometrisi ve kesme parametreleri kullanılarak elde edilen itme kuvveti değişimlerini göstermektedir.

İlerleme miktarına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, artan ilerleme miktarlarında değişen kesici takım kalitesi, geometrisi ve kesme hızına bağlı olarak itme kuvvetlerinde artış olduğu belirlenmiştir. İlerleme miktarının artması birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle talaşın koparılmaya karşı gösterdiği direnç artmakta ve itme kuvvetini arttırmaktadır. Ayrıca talaş hacminin artmasıyla talaş tahliyesi zorlaşmaktadır [51,116]. Bu durum, literatürde benzer malzeme üzerine yapılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir [3,117]. Kesme hızının itme kuvveti üzerindeki etkisi ilerleme kuvveti ile benzer eğilim sergilemiştir. Üç farklı takım kalitesi, geometrisi ve ilerleme hızlarında artan kesme hızıyla birlikte itme kuvvetlerinde artış görülmektedir. KFTK malzemelerin işlenebilirliği metal malzemelere göre farklılık göstermektedir. Metal malzemelerin işlenmesinde artan kesme hızıyla birlikte itme kuvvetlerinde düşüş eğilimi görülmektedir. Ancak KFTK malzemelerde artan kesme hızıyla birlikte matris parçalanması ve fiber kopmalarının arttığı bilinmektedir [6]. Fiber parçacıkları takım-iş parçası arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kalacaktır. İtme kuvvetlerindeki artışın sebebi olarak delme sırasında meydana gelen bu oluşumu göstermek mümkündür (Şekil 5.8). Kesici takım geometrisine bağlı olarak grafikler incelendiğinde, genel olarak artan matkap uç açısıyla birlikte itme kuvvetlerinde artış olduğu görülmektedir. Benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında aynı eğilimi görmek mümkündür [29,118]. Ancak bazı parametrelerde artan uç

açısıyla birlikte itme kuvvetlerinde azalma görülmektedir. Bu sonuç, KFTK malzemelerin anizotropik ve homojen olmayan yapıda olmasına bağlı olarak meydana gelen düzensiz talaş oluşumuna atfedilmektedir.

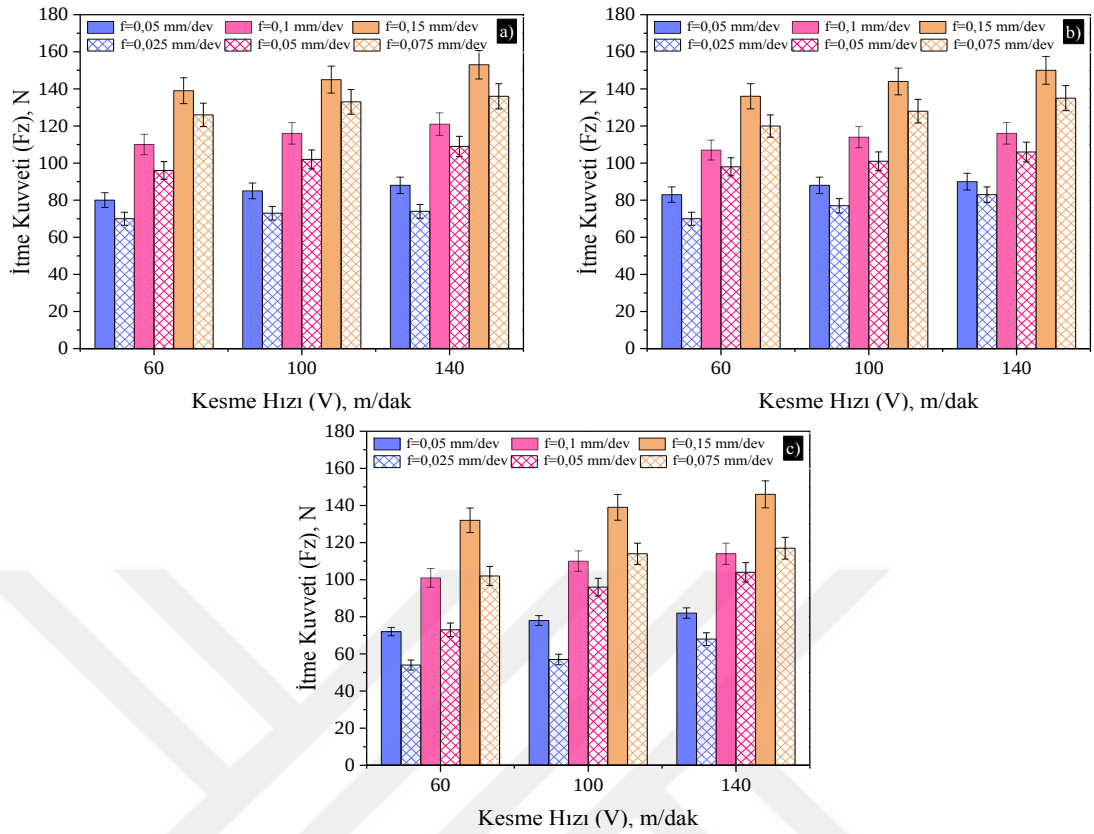


Şekil 5.1. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Kaplamasız WC).

Kesme hızının itme kuvveti üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde; 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için farklı kesici takım uç açısına bağlı olarak kesme hızının artmasıyla Fz değerlerinde %5-19 arasında değişen artışlar meydana gelmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için bu artış %4-17, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ise %2-9 arasında gerçekleşmiştir. 120° uç açısına sahip takımlar için kesme hızının artmasıyla kuvvetlerde meydana gelen artış diğer matkap uç açılarına göre daha fazla olmuştur. Takım uç açısının artmasıyla birlikte azalan takım-talaş temas uzunluğuna bağlı olarak itme kuvvetlerinin azaldığı düşünülmektedir.

Kaplamasız WC matkap için ilerleme miktarına göre değerlendirme yapıldığında, 60 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den %100 oranında artırılmasıyla birlikte Fz değerlerinin ortalama %33, bu oran %200 olduğunda ise %89 oranında arttığı belirlenmiştir. 100 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının %100 oranında artmasıyla itme kuvvetlerinin %28, %200 oranında artışla %64, 140 m/dak kesme hızında ise Fz değerlerinde sırasıyla %27 ve %58 aralığında artışlar meydana gelmiştir. Bu değişimler ilerleme miktarının etkisinin kesme hızına göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Takım geometrisi açısından Fz değerlendirildiğinde, kesici takım uç açısının artmasıyla ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak sırasıyla %1-8 arasında değişen artışa, %1-6 arasında değişen azalmaya sebep olmaktadır. Kaplamasız WC ile yapılan tüm deneyler sonucunda, en düşük itme kuvveti değeri en düşük ilerleme ve kesme hızı parametrelerinde 130° uç açısına sahip kesici takım ile 42 N, en büyük Fz değeri ise en yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızında 130° uç açısına sahip kesici takımla 89 N olarak elde edilmiştir.

KFTK malzemeler için delme deneyleri ilerleme miktarını değiştirmeden (sabit) ve delik çıkışına 1 mm mesafede ilerleme miktarının %50 düşürülmesiyle (değişken) gerçekleştirilmiştir. Tüm Fz değerleri değerlendirildiğinde, çıkış anında ilerleme miktarının %50 oranında düşürülmesiyle elde edilen sonuçlar sabit ilerleme ile yapılan sonuçlara göre %9-24 arasında değişen değerlerde azalma göstermiştir. KFTK malzemelerin delinmesinde delaminasyonun minimum düzeyde oluşması açısından düşük itme kuvveti gerektiği düşünüldüğünde, değişken ilerleme miktarı kullanılarak delik delme işleminin yararlı olduğu görülmektedir. Bu sebeple istenilen delik kalitesinin elde edilmesinde avantaj sağlayacağı elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde; en düşük ve en yüksek itme kuvveti değerleri sabit ilerleme ile yapılan deneyler ile aynı parametrelerde elde edilmiş olup sırasıyla 36 ve 76 N olarak ölçülmüştür.



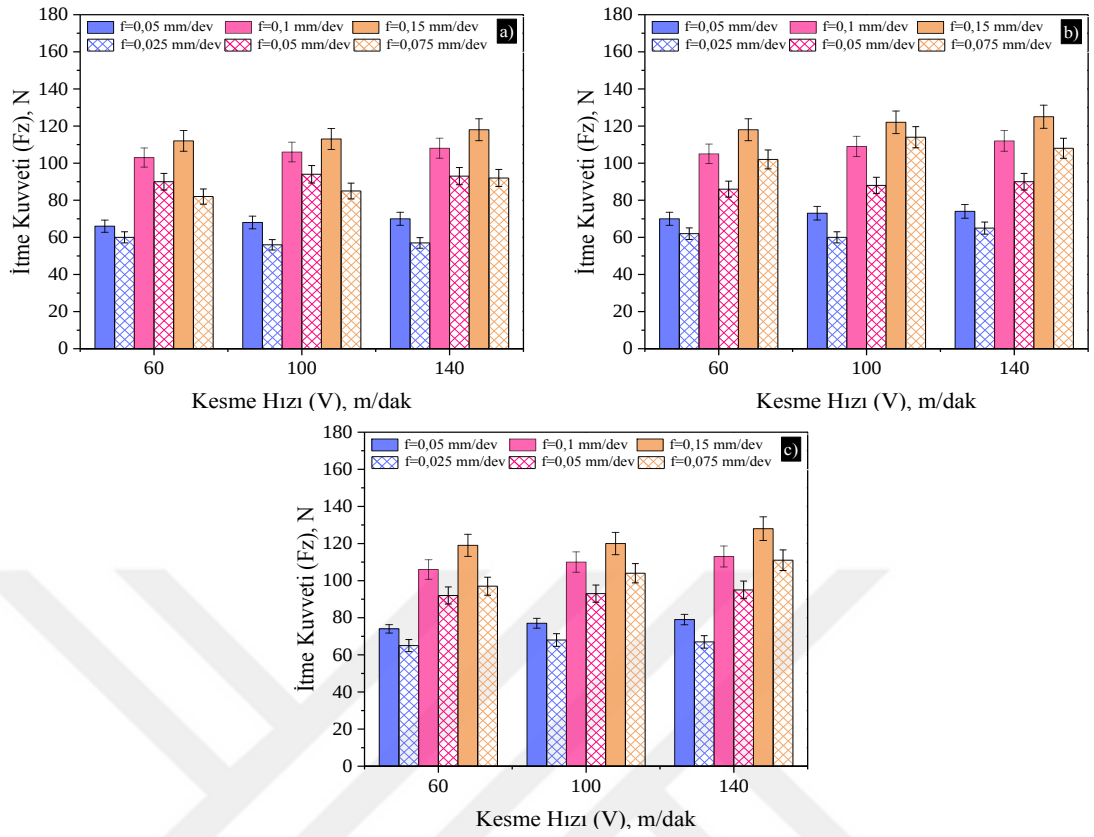
Şekil 5.2. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (TiAlN kaplamalı WC).

TiAlN kaplamalı matkaplar ile gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.2), tüm kesici takım uç açıları için kaplamasız WC takımlara oranla daha yüksek Fz değerlerinin olduğu görülmektedir. Sabit ilerleme uygulamasında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının artmasıyla birlikte Fz değerlerinde %2-8 arasında değişen artışlar olmuştur. 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için bu artışların %2-9, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ise %4-6 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

İlerleme miktarının etkisi değerlendirildiğinde, tüm kesici takımlarda 60 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den %100 oranında artırılmasıyla ortalama %35, ilerleme miktarının %200 oranında artışıyla birlikte ortalama %73 aralığında değişen artışlar görülmüştür. 100 m/dak kesme hızında ise ilerleme miktarı %100 ve %200 oranında artırıldığında, Fz değerlerinde sırasıyla ortalama %35 ve ortalama %70, 140 m/dak kesme hızında ise sırasıyla ortalama %34 ve ortalama %72 arasında değişen değerlerde artış meydana gelmiştir.

Kesici takım uç açısının artışına bağlı olarak incelendiğinde, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için kesici takım uç açısının 120°'den 130°'ye artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinde %2-3 arasında artış meydana gelmiştir. Ancak 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarlarında, kesici takım uç açısının artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinde sırasıyla %2-4 ve %1-4 arasında azalma olduğu belirlenmiştir. Kesici takım uç açısının 130°'den 140°'ye artmasıyla 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarları için kesme hızlarındaki artışa bağlı olarak Fz değerlerinde, sırasıyla %9-11, %2-5 ve %2-3 aralığında bir azalma gerçekleşmiştir. TiAlN kaplamalı matkaplar ile sabit ilerleme uygulamasında elde edilen deneysel sonuçlara göre; en düşük itme kuvveti, en düşük ilerleme ve kesme hızında 140° uç açısına sahip kesici takım ile 72 N, en büyük Fz değeri ise en yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızında 120° uç açısına sahip kesici takımla 153 N olarak belirlenmiştir.

Delik çıkışında ilerleme miktarının %50 oranında düşürülmesiyle (değişken) elde edilen Fz değerleri, sabit ilerleme ile yapılan deneylere göre 120°, 130° ve 140° uç açısına sahip kesici takımlarda sırasıyla %9-16, %7-15 ve %9-28 aralığında değişen değerlerde azalma sergilemiştir. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde; en düşük ve en yüksek itme kuvveti değerleri sabit ilerleme miktarı ile yapılan deneyler ile aynı parametrelerde elde edilmiş olup sırasıyla 54 ve 136 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.3. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Elmas kaplamalı WC).

Elmas kaplamalı matkaplar ile gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.2), tüm kesici takım uç açıları için Fz değerlerinin kaplamasız WC takımlara oranla daha yüksek, TiAlN kaplamalı WC takımlara oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında farklı geometriye sahip her bir kesici takım için kesme hızının artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinde %1-4 arasında artışlar görülmektedir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için bu artış %3-4, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ise %1-6 arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir.

Şekil 5.3 ilerleme miktarı açısından Fz değerlendirildiğinde, elmas kaplamalı tüm kesici takımlarda 60 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den %100 oranında artırılmasıyla ortalama %49, ilerleme miktarının %200 oranında artırılmasıyla birlikte ortalama %65 aralığında değişen değerlerde artışlar belirlenmiştir. 100 m/dak kesme hızında ise ilerleme miktarı %100 ve %200 oranında artırılmasıyla, itme kuvvetlerinde sırasıyla ortalama %48 ve ortalama %61, 140 m/dak kesme

hızında ise sırasıyla ortalama %49 ve ortalama %66 arasında değişen artışlar meydana gelmiştir.

Matkap uç açısına bağlı olarak sonuçlar değerlendirildiğinde, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için artan kesme hızlarında takım uç açısının 120°'den 130°'ye artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinde %5-7 arasında artış olduğu belirlenmiştir. Bu artış 0,1 mm/dev ilerleme miktarında %2-3, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ise %5-8 arasında değişen değerlerde tespit edilmiştir. Kesici takım uç açısının 130°'den 140°'ye artmasıyla birlikte 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için Fz değerlerinde %5-7, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için %1-2, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı için ise %1-3 arasında değişen artışlar meydana gelmiştir. Elmas kaplamalı kesici takımlar ile elde edilen sonuçlara göre; en düşük itme kuvveti en düşük ilerleme miktarı ve kesme hızında 120° uç açısına sahip kesici takım ile 66 N olarak bulunmuştur. En büyük Fz değeri ise en yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızında 140° uç açısına sahip kesici takım ile 128 N olarak elde edilmiştir.

Değişken ilerleme uygulamasıyla elde edilen Fz değerlerinin sabit ilerleme miktarında elde edilen sonuçlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu azalma miktarı, 120° uç açılı kesici takım için %9-28, 130° uç açılı kesici takım için %6-19 ve 140° uç açılı kesici takımda ise %11-18 aralığında değişen değerlerde gerçekleşmiştir. Elmas kaplamalı WC matkapla değişken ilerleme uygulamasında gerçekleştirilen deneylerde; en düşük ve en yüksek itme kuvveti değerleri sırasıyla 56 ve 114 N olarak ölçülmüştür.

Kesici takım kalitesine göre grafikler (Şekil 5.1 – Şekil 5.3) incelendiğinde, en düşük itme kuvveti değerleri kaplamasız WC kesici takım ile, en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile elde edilmiştir. Kaplamalı kesici takımların kaplamasız kesici takımlara göre kesici kenar köşe radyüsü ve batma noktasında kaplama kalınlığından dolayı bir miktar büyüme oluşmaktadır. Bu büyüme kesici takımın iş parçasına batmasını zorlaştıran bir durum olup, itme kuvvetlerinin bu nedenle arttığı düşünülmektedir. TiAlN kaplamalı kesici takımlara göre, kaplamasız WC takımlarda elde edilen Fz değerlerindeki bu azalmalar, 60 m/dak kesme hızında tüm ilerleme değerleri ve kesici takım geometrisi için %38-49, 100 m/dak kesme hızında %32-44,

140 m/dak kesme hızında ise %31-43 aralığında değişmektedir. Elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile kaplamasız WC takımlarda elde edilen Fz değerleri kıyaslandığında, kaplamasız WC takımlarda 60 m/dak kesme hızı için %2-19, 100 m/dak kesme hızında %1-22, 140 m/dak kesme hızında ise %1-23 aralığında bir azalma tespit edilmiştir.

5.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

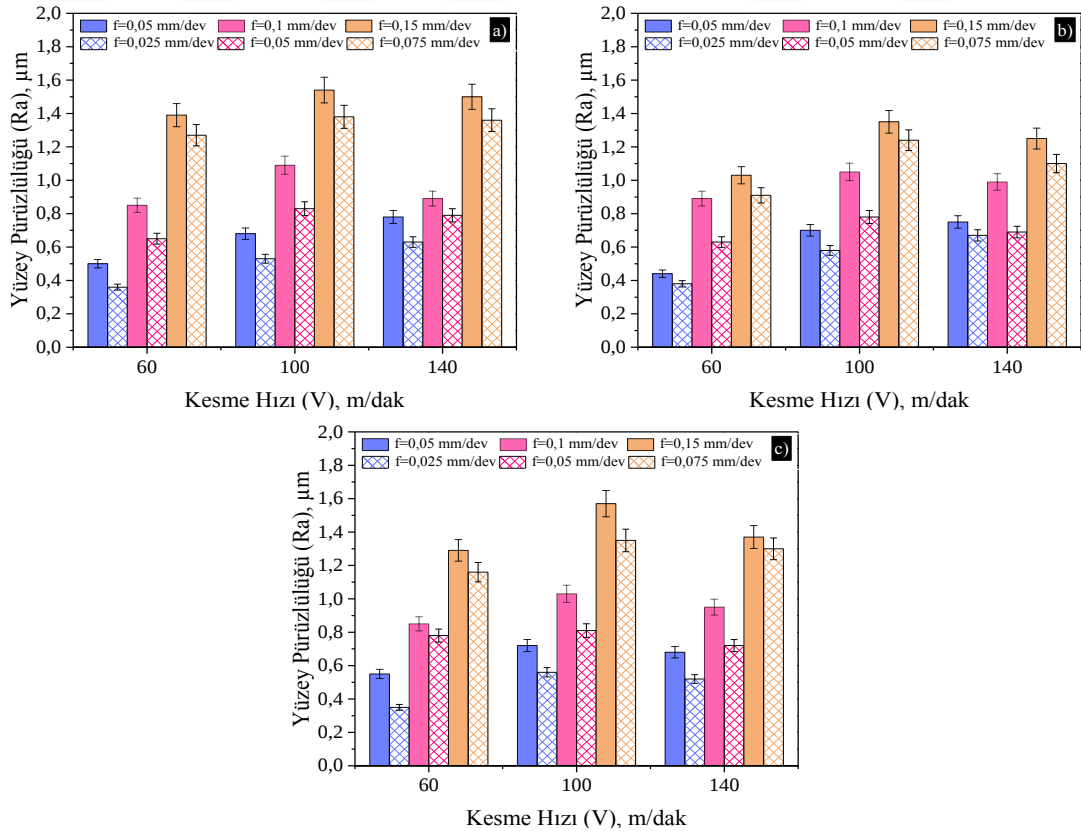
Malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kriterlerden birisi yüzey pürüzlülük değeridir. Nihai üründe yüzey pürüzlülük kalitesi malzemenin yorulma dayanımında, korozyon direncinde ve tribolojik özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır [119]. Yüzey pürüzlülüğünü, işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) dışında iş parçası malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleriyle beraber kesici takımın geometrisi de belirlemektedir [120]. Bu bağlamda, KFTK malzemelerin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi ile optimum işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki grafikler (Şekil 5.4 - Şekil 5.6) kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla farklı takım geometrisi ve kesme parametreleri kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimlerini göstermektedir.

İlerleme miktarına bağlı olarak tüm grafikler incelendiğinde, artan ilerleme miktarlarında değişen kesici takım kalitesi, uç açısı ve kesme hızına bağlı olarak Ra değerlerinde artış olduğu açıkça görülmektedir. İtme kuvvetinde açıklandığı gibi ilerleme miktarının artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinde artış olduğu bilinmektedir [102]. Kuvvetler üzerinde meydana gelen bu artışlar yüzey kalitesinin kötüleşmesine sebep olmaktadır. Artan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin artması beklenen bir durum olup, literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [59,91].

Kesme hızının Ra üzerindeki etkisi, ilerleme miktarının etkisine benzer eğilimdedir. Farklı takım kalitesi, matkap uç açısı ve ilerleme hızında artan kesme hızıyla birlikte Ra değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İtme kuvvetinin değerlendirilmesinde açıklandığı gibi KFTK malzemelerde artan kesme hızıyla birlikte matris

parçalanması, fiber-matris ayrışması artmaktadır [6]. Matris parçacıkları ve kopan fiberlerin takım-iş parçası arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kalmasıyla birlikte talaş oluşumu kararsız bir hal alarak delik yüzeyinde Ra değerinin artmasına neden olmaktadır (Şekil 5.8). Ancak bazı parametrelerde artan kesme hızıyla birlikte Ra değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu sonuç, genelde yüksek ilerleme miktarlarının yüksek kesme hızlarında gerçekleşmektedir. Gözlemlenen bu farklılığı itme kuvvetinin değerlendirilmesinde açıklandığı gibi ilerlemenin artmasıyla delme sırasında talaş tahliyesinin iyileşmesi ile açıklamak mümkündür.

Kesici takım geometrisine bağlı olarak grafikler incelendiğinde, moment ve itme kuvvetinde olduğu gibi artan matkap uç açısıyla birlikte Ra değerlerinde düzensizlik görülmektedir. Zor ve düzensiz işlenebilirliğe sahip KFTK malzemelerin delinmesinde farklılıklar görülebilmektedir. Havacılık sektöründe KFTK malzemelerin delinmesinde beklenen yüzey pürüzlük sınır değeri 3,2 μm olarak kabul edilmektedir [121]. Deneyler sonucunda ölçülen tüm Ra değerleri sektörün kabul sınırları altında elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Kaplamasız WC).

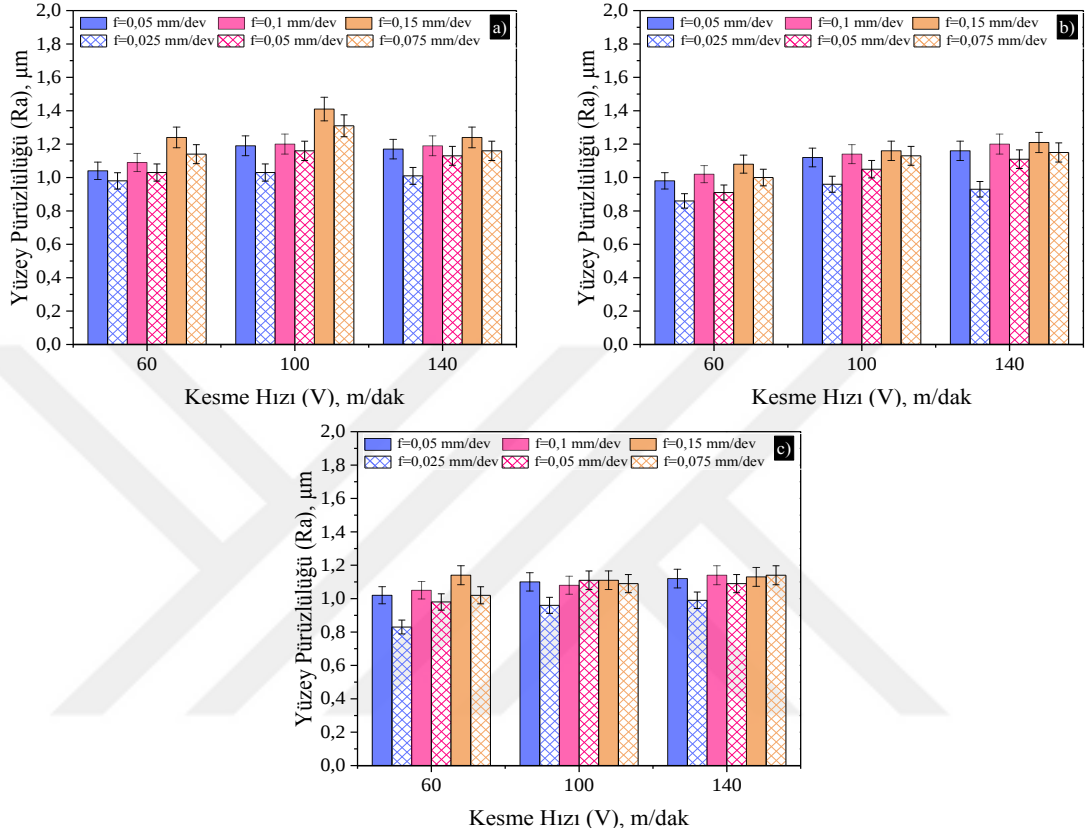
Farklı uç açılara sahip kaplamasız WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelendiğinde, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızı artışlarına bağlı olarak Ra değerlerinin %2-68 arasında arttığı belirlenmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için kesme hızının artmasıyla Ra değerlerinde %2-28 arasında, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı için kesme hızına göre Ra'da meydana gelen değişim %10-31 oranında artış şeklinde gerçekleşmiştir.

İlerleme miktarına göre değerlendirildiğinde, 60 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den %100 oranında artırılarak 0,1 mm/dev'e çıkmasıyla birlikte Ra değerlerinde ortalama %78, %200 oranında artırıldığında ise ortalama %156 aralığında değişen değerlerde artış meydana gelmiştir. 100 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının %100 oranında artışında Ra değerleri ortalama %51, %200 oranında artışında ortalama %104, 140 m/dak kesme hızında ise yüzey pürüzlülük değerlerinde artışların sırasıyla ortalama %26 ve ortalama %84 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında, ilerleme miktarının kesme hızına oranla Ra üzerinde daha etkin bir parametre olduğu görülmektedir.

Takım uç açısı açısından değerlendirildiğinde, kesici takım uç açısı 120°'den 130°'ye arttığında; Ra değerlerinin ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak sırasıyla %4-26 arasında artışa ve %3-6 arasında azalmaya sebep olduğu bulunmuştur. Matkap uç açısı 130°'den 140°'ye arttığında ise Ra değişimi için bu sıralama %2-25 arasında artış ve %2-16 arasında azalma şeklinde olmaktadır. Kaplamasız WC ile yapılan deney sonuçlarına göre; en düşük Ra değeri en düşük ilerleme ve kesme hızında 130° uç açısına sahip kesici takım ile 0,44 µm olarak elde edilmiştir. En büyük değer ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 100 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip kesici takım ile yapılan delme sonucunda 1,57 µm olarak ölçülmüştür.

Delik çıkışında ilerleme miktarının %50 oranında düşürülmesiyle (değişken) elde edilen Ra değerleri, sabit ilerleme ile yapılan deneylere göre 120°, 130° ve 140° uç açısına sahip kesici takımlarda sırasıyla %8-28, %9-30 ve %5-36 aralığında değişen değerlerde azalma sergilemiştir. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde; en

düşük ve en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri sabit ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde olduğu gibi ile aynı parametrelerde elde edilmiş olup sırasıyla 0,35 μm ve 1,38 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.5. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (TiAlN kaplamalı WC).

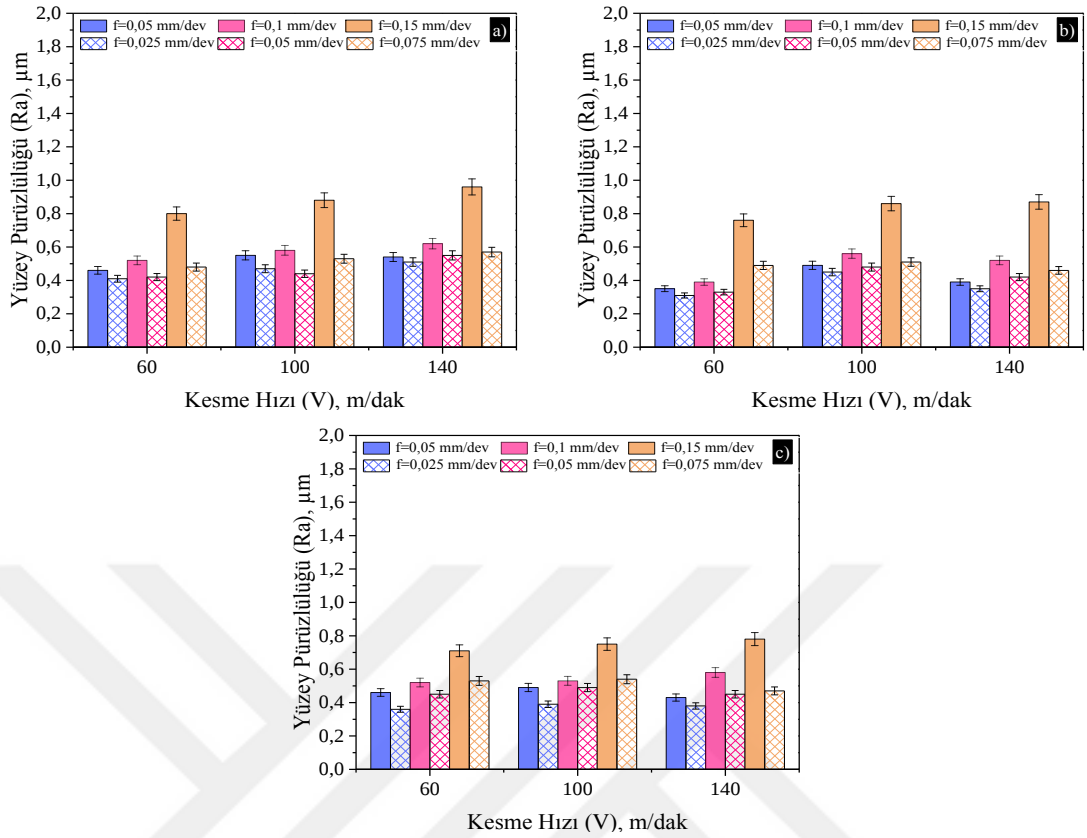
Şekil 5.5'teki grafiklerde, farklı uç açısına sahip TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerden elde edilen Ra değişimleri verilmiştir. 0,05 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının artmasına bağlı olarak Ra değerlerinde %2-14 arasında artış tespit edilmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında Ra değerlerindeki değişimler kesme hızındaki artışa bağlı olarak %3-11 arasında artış şeklindedir. 0,15 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının artmasıyla Ra'da meydana gelen değişimlerin %1-13 arasında artış şeklinde olduğu belirlenmiştir.

İlerleme miktarının oransal artışlarına göre yüzey pürüzlülüğü değerlendirildiğinde, 60 m/dak kesme hızında üç farklı geometriye sahip takımlar için ilerleme miktarının

0,05 mm/dev'den %100 oranında artışıyla birlikte Ra değerleri ortalama %4, %200 oranında yapılan artışlarda ise %10-19 aralığında değişen artış sergilemiştir. 100 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının %100 oranında artışında ortalama %2, %200 oranında artışında ortalama %11, 140 m/dak kesme hızında ise ortalama %2'lik artış meydana gelmiştir. Bu sonuçlardan, ilerleme miktarının Ra üzerindeki etkisinin kaplamasız WC takıma göre daha düşük olduğu açıkça görülmektedir.

TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilen deney sonuçları takım geometrisi açısından değerlendirildiğinde, takım uç açısı 120°'den 130°'ye arttığında ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak Ra değerlerinin sırasıyla %1-3 arasındaki değerlerde artışa ve %1-15 arasındaki değerlerde azalmaya sebep olmaktadır. Matkap uç açısı 130°'den 140°'ye arttığında ise ilerlemeye göre Ra değerleri %3-5 arasında artarken, kesme hızına göre %2-6 arasında değişen değerlerde azalmıştır. TiAlN kaplamalı WC matkap ile en düşük Ra değeri en düşük ilerleme ve kesme hızında 130° uç açısına sahip kesici takım ile 0,98 µm ölçülmüştür. En büyük değer ise en yüksek ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızında 120° uç açısına sahip kesici takım ile 1,41 µm olarak ölçülmüştür.

Değişken ilerleme uygulamasıyla elde edilen Ra değerleri, sabit ilerleme ile yapılan deneylere göre 120°, 130° ve 140° uç açısına sahip kesici takımlarda sırasıyla %4-14, %5-19 ve %2-18 aralığında değişen değerlerde azalma sergilemiştir. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde; en düşük ve en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri sabit ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde olduğu gibi ile aynı parametrelerde elde edilmiş olup sırasıyla 0,83 µm ve 1,31 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.6. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Elmas kaplamalı WC).

Elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde (Şekil 5.9), 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için kesme hızındaki artışlara bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde %6-40 arasında artışlar belirlenmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğündeki artışlar %2-43 aralığında iken, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı için bu artışlar %3-13 arasındaki değerlerde gerçekleştirmiştir.

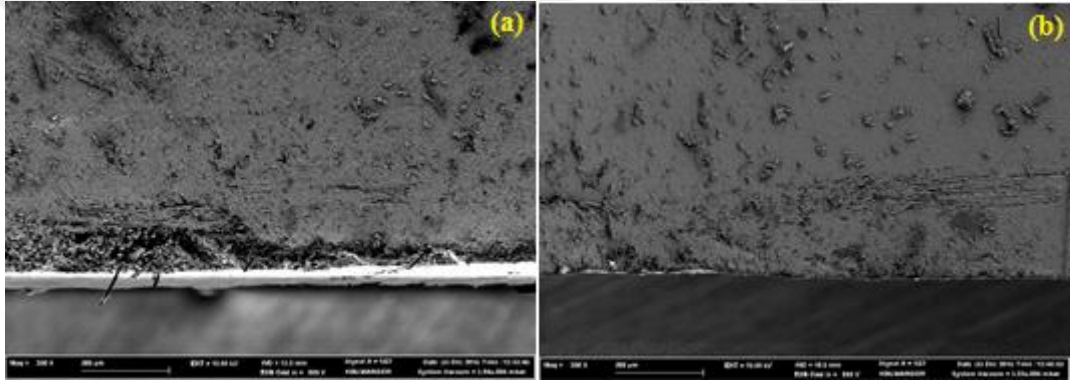
Ra değerleri ilerleme miktarına göre değerlendirildiğinde, 60 m/dak kesme hızında farklı geometriye sahip takımlar için ilerleme miktarının 0,05 mm/dev' den %100 oranında artmasıyla birlikte Ra değerleri ortalama %19, %200 oranındaki artışlarda ise ortalama %85 artış sergilemiştir. 100 m/dak kesme hızında Ra'daki bu artış ortalama %17 iken, 140 m/dak kesme hızında ise ortalama %22'lik bir artış hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre; ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin kaplamasız WC takıma göre daha düşük iken, TiAlNi kaplamalı WC takıma göre daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Elmas kaplamalı WC matkaplar ile elde edilen deney sonuçları uç açısına göre değerlendirildiğinde; kesici takım uç açısının 120° den 130° ye artmasıyla ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak Ra değerlerindeki değişim sırasıyla %1-6 arasında artış ve %2-27 arasında azalma şeklindedir. Matkap uç açısının 130° den 140° ye artmasıyla ise Ra'daki değişimler ilerleme miktarına göre %1-33 arasında artış, kesme hızına göre %5-7 arasında azalma şeklinde belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar göre elmas kaplamalı WC ile en düşük Ra değeri düşük ilerleme miktarı ve kesme hızında 130° uç açısına sahip takım ile $0,35 \mu\text{m}$ ölçülmüştür. En büyük Ra değeri ise en yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızında 120° uç açısına sahip kesici takım ile $0,96 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

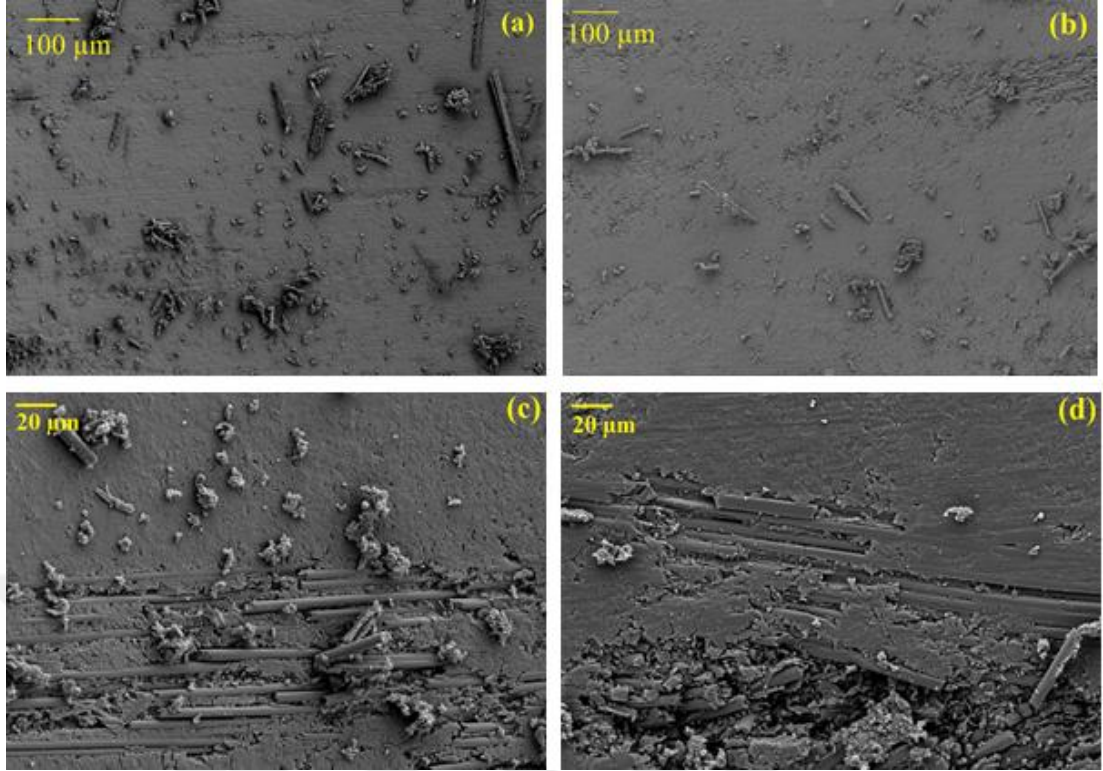
Şekil 5.4 – Şekil 5.6'daki grafikler kesici takım kalitesine göre incelendiğinde, en düşük Ra değerleri elmas kaplamalı WC takım ile, en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı WC takım ile elde edilmiştir. Elmas kaplamalı WC takıma göre kaplamasız WC takımla ölçülen Ra değerleri, 60 m/dak kesme hızında tüm ilerleme değerleri ve kesici takım geometrisi için %20-128, 100 m/dak kesme hızında %47-109 ve 140 m/dak kesme hızında ise %43-98 aralığında değişen değerlerde arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, TiAlN kaplamalı WC takımlarda oluşan bu artışlar, 60, 100 ve 140 m/dak kesme hızları için sırasıyla %42-180, %38-158 ve %30-197 aralığında değişim göstermektedir.

Çıkış anında ilerleme miktarının %50 düşürülmesiyle elde edilen sonuçlar ile sabit ilerleme miktarında elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında; 120° uç açılı kesici takımda tüm kesme parametrelerine göre Ra değerlerinde %2-40 aralığında azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma, 130° uç açılı kesici takım için %5-47, 140° uç açılı kesici takımda ise %1-39 aralığındaki değerlerde gerçekleşmiştir. Ra değerlerindeki azalmalar tüm grafikler için değerlendirildiğinde; en az değişimler TiAlN kaplamalı takımda, en yüksek değişimler ise elmas kaplamalı takım ile elde edilmiştir. Değişken ilerleme uygulamasında en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri, elmas kaplamalı WC matkap ile 60 m/dak kesme hızı ve $0,025 \text{ mm/dev}$ ilerleme miktarında yapılan deneyde $0,31 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Değişken ilerleme ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında bu metodun delik yüzey kalitesi üzerinde olumlu katkı sağladığı görülmektedir (Şekil 5.7). Ayrıca düşük deformasyon hızlarında

matris malzemesinin delik yüzeyine yapışarak yüzey hasarlarını en aza indirdiğini söylemek mümkündür (Şekil 5.8a ve Şekil 5.8b). Yüksek kesme hızlarıyla artan sıcaklıklar nedeniyle oluşan matris parçalanması ve fiberlerin kesilmeden matristen kopması ile oluşan boşluklar daha kötü yüzey pürüzlülüğüne sebep olmaktadır (Şekil 5.8c ve Şekil 5.8d). Bu sonuçlardan yola çıkarak düşük kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey kalitesini arttırdığını söylemek mümkündür. 130° uç açısına sahip elmas kaplamalı WC takımlar ile 60 m/dak kesme hızında 0,05 mm/dev ilerleme miktarında gerçekleştirilen deneylerde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, aynı delme parametreleri için çıkış anında değişken ilerleme uygulamasıyla Ra değerindeki iyileşmenin arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.7. Delik çıkış yüzeyinin SEM görüntüsü a) Sabit ve b) Değişken ilerleme.



Şekil 5.8. Delik yüzeyinin SEM görüntüsü; a) $V=60$ m/dak, $f=0.05$ mm/dev; b) $V=60$ m/min, $f=0.025$ mm/dev; c) $V=100$ m/dak, $f=0.15$ mm/dev; d) $V=140$ m/dak, $f=0.15$ mm/dev.

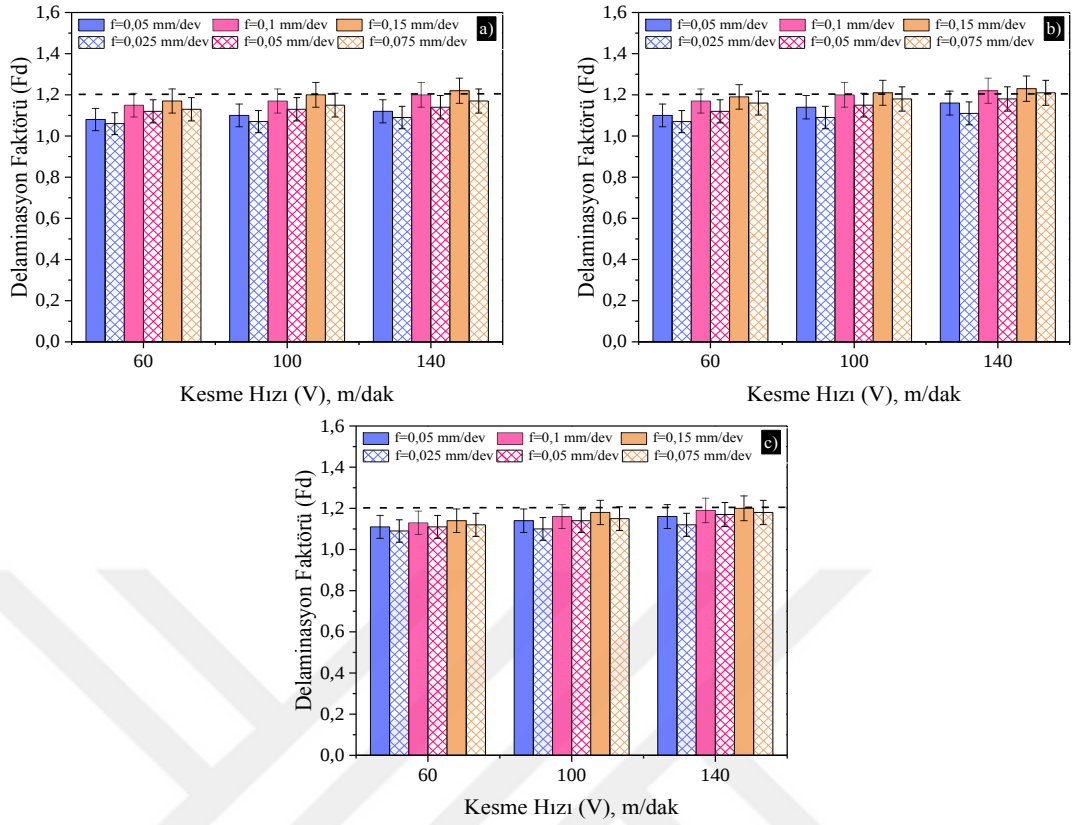
5.1.3. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi

Kompozitlerin delinmesinde en sık karşılaşılan problem delaminasyon faktörü olup, delik giriş ve çıkışında oluşan katman ayrışması olarak tanımlanmaktadır [121]. Delaminasyon faktörü (F_d), kompozit malzemelerin delinmesi işlemlerinde meydana gelen yüzey hasarlarının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir [122]. Delaminasyonun meydana gelmesi kesme parametrelerinin ve kesici takım özelliklerinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir [123].

Şekil 5.9 – Şekil 5.11’deki grafikler kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC kesici takımlar için üç farklı takım uç açısı ve kesme parametreleri kullanılarak elde edilen delaminasyon faktörünün değişimlerini göstermektedir.

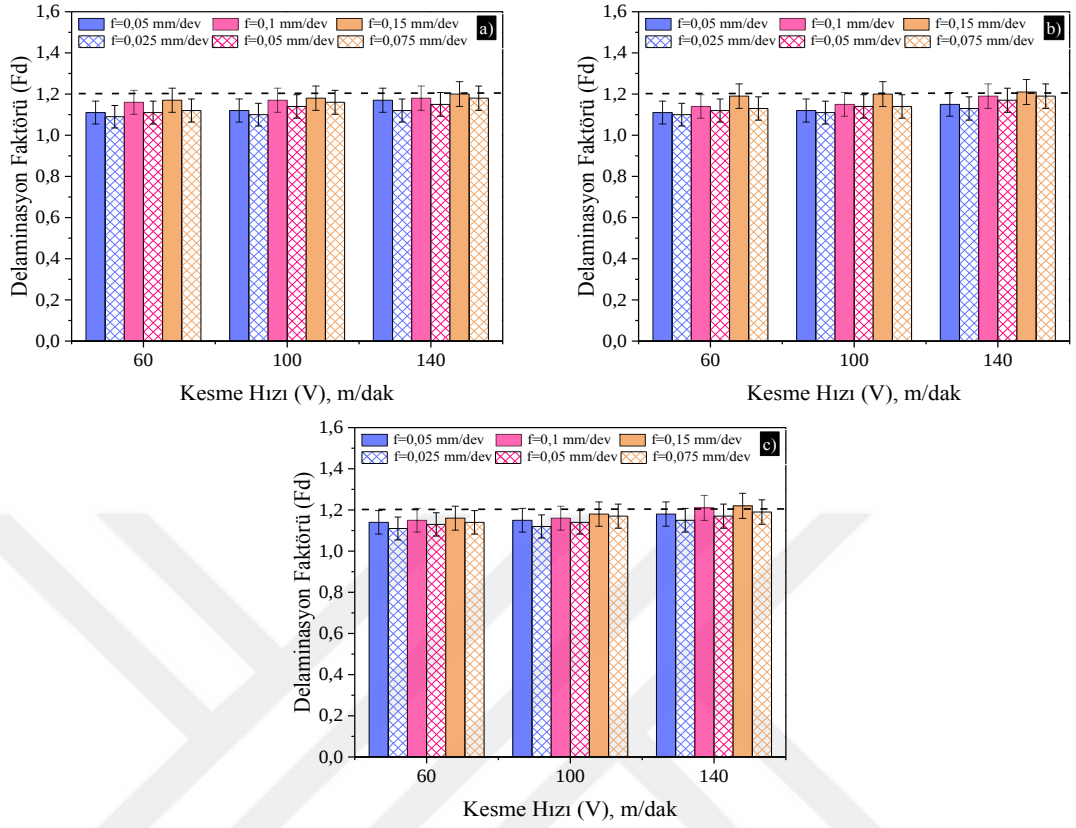
Delaminasyon faktörü ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesici takım uç açısının artan değerlerine bağlı olarak artış eğilimi sergilemektedir. Artan ilerleme miktarıyla

birlikte itme kuvvetlerinin arttığı bilinmektedir. Kuvvetler üzerinde meydana gelen bu artışlar delaminasyon faktörünün artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yüksek ilerleme değerlerinde takım kenarında yapışma olduğundan matkabın iyi kesme yapamadığını ve bu durumun delaminasyonun artmasına neden olduğu belirtilmektedir [73]. Artan ilerleme miktarı ile delaminasyon faktörü değerlerinin artması beklenen bir durum olup, Şekil 5.12-5.14’de verilen Fd değişimlerinin literatürde yapılan çalışmalar [76,124] ile benzerlik sergilediği görülmektedir. KFTK malzemelerin düşük termal iletkenliklerinden dolayı ısı dağılımının düşük olduğu bilinmektedir. Kesme hızının artmasıyla fiber parçalanmasının daha yüksek olduğu, bu nedenle işleme zamanı süresince oluşan sıcaklığın matris malzemesinin ayrışma sıcaklığı altında kalmasını sağlayacak kesme hızlarının kullanılması gerekmektedir [125]. Grafikler kesici takım geometrisine göre değerlendirildiğinde, uç açısının artmasıyla delaminasyon faktörlerinin arttığı görülmektedir. Bu durumu artan uç açısıyla birlikte kesici takımın iş parçasına batmasının zorlaşması ile açıklamak mümkündür. Matkap uç açısının artmasıyla birlikte, takımın boşluk açısı azalarak takım ucunun batması zorlaşmakta ve böylece takım iş parçasından çıkarken katman kalkması oluşumu artmaktadır. Bu nedenle, genel olarak delik çıkışında oluşan delaminasyon delik girişine göre daha yüksek olmaktadır. Bu bağlamda, ön deney sonuçlarının değerlendirilmesinde delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörü dikkate alınmıştır.



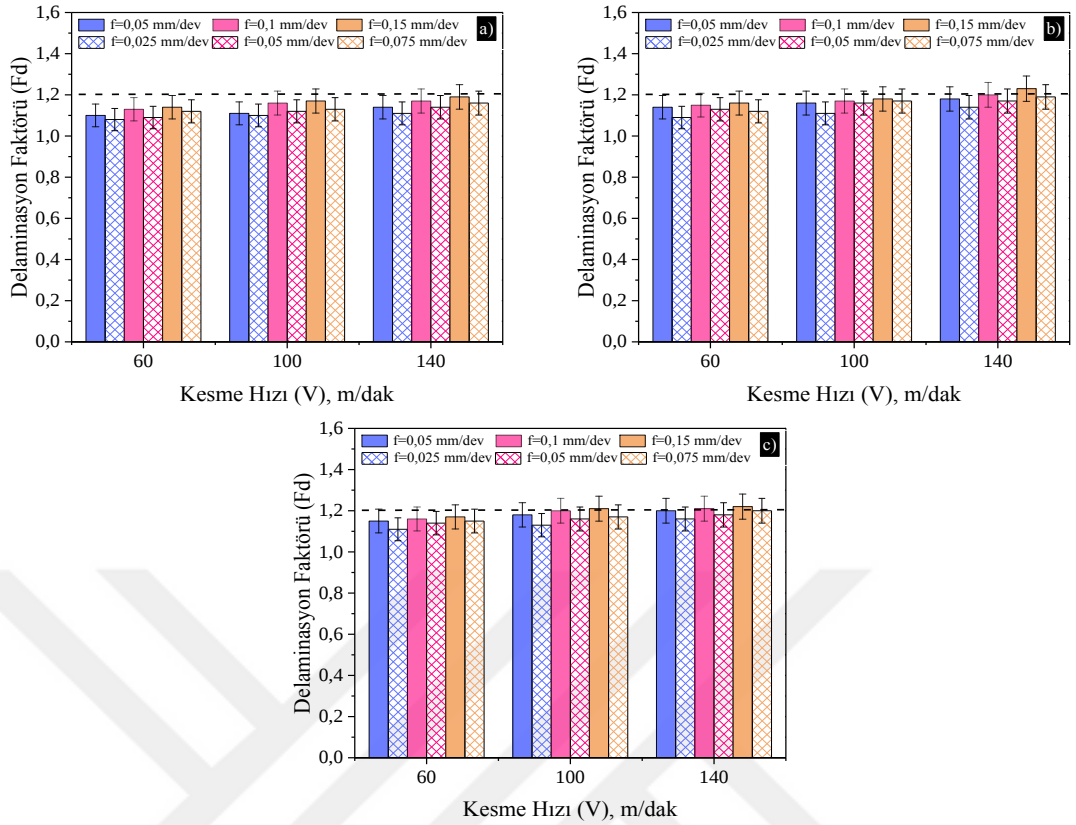
Şekil 5.9. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fd değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Kaplamasız WC).

Şekil 5.9’da kaplamasız WC kesici takımlar için farklı matkap uç açılarında, kesme parametrelerinin artan değerlerinde Fd’nin artış eğiliminde olduğu (Şekil 5. 12) görülmektedir. Ancak, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme miktarlarında, hem kesme hızının artması hem de uç açısının 130°’den 140°’ye artmasıyla Fd değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Bu parametrelerde gerçekleştirilen delme işlemlerinde elde edilen itme kuvvetlerinde benzer şekilde azalma olduğu gözlenmekte olup, bu durumu Fd değerlerindeki azalmanın esas nedeni olarak göstermek mümkündür. En düşük Fd değeri, 120° uç açısına sahip kesici takım ile en düşük ilerleme miktarı ve kesme hızında 1,08 olarak hesaplanmıştır. En yüksek Fd değeri ise 130° uç açısında 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 140 m/dak kesme hızında 1,23 olarak belirlenmiştir. Değişken ilerleme uygulamasında; en düşük ve en yüksek Fd değerleri sırasıyla aynı kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneyler sonucunda 1,06 ve 1,21 olarak bulunmuştur. Değişken ilerleme uygulamasına rağmen, Fd değerlerinin birbirine yakın olması, KFTK malzemelerin izotropik ve homojen yapıda olmamasına atfedilmektedir.



Şekil 5.10. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fd değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (TiAlN kaplamalı WC).

TiAlN kaplamalı WC kesici takım için genel olarak ilerleme miktarı ve kesme hızının artmasıyla Fd değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Ancak, 0,05 ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında kesici takım uç açısının 130°' den 140°' ye artmasıyla birlikte delaminasyon faktöründe azalma gözlenmektedir (Şekil 5.13). En düşük Fd değeri 120° uç açısına sahip kesici takım ile en düşük ilerleme miktarı ve kesme hızında 1,11 olarak elde edilmiştir. En yüksek Fd değeri ise 140° uç açısında en yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızında yapılan deney sonucunda 1,21 olarak belirlenmiştir. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde ise en düşük ve en yüksek Fd değerleri aynı delme parametrelerinde ölçülmüş olup, sırasıyla 1,09 ve 1,19 olarak tespit edilmiştir.

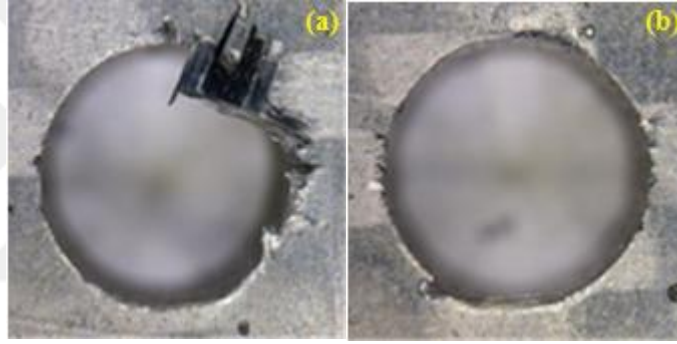


Şekil 5.11. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fd değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Elmas kaplamalı WC).

Delaminasyon faktörü farklı geometriye sahip elmas kaplamalı WC kesici takımlara göre değerlendirildiğinde, kesici takım uç açısı, ilerleme miktarı ve kesme hızının artan değerlerinde Fd'nin artış sergilediği görülmektedir (Şekil 5.14). En düşük Fd değeri, 120° uç açısına sahip kesici takım ile ilerleme miktarı ve kesme hızının en küçük değerinde 1,10 olarak elde edilmiştir. Fd için en yüksek değer ise 140° uç açısında en yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızında yapılan deney sonucunda 1,23 olarak belirlenmiştir. Değişken ilerleme ile gerçekleştirilen deneylerde; en düşük ve en yüksek delaminasyon faktörü değerleri aynı delme parametrelerinde gerçekleştirilen deneylerde sırasıyla 1,09 ve 1,20 olarak belirlenmiştir.

Grafikler incelendiğinde (Şekil 5.9 – Şekil 5.11), delaminasyon faktörünün ilerleme miktarı ve kesme hızının artışıyla birlikte arttığı göze çarpmaktadır. Aynı zamanda, delik çıkışına 1 mm mesafede yarıya düşürülen (değişken) ilerleme miktarı kullanılarak elde edilen Fd değerlerinde kayda değer bir azalma görülmektedir (Şekil 5.12). En düşük Fd değeri, 120° uç açısına sahip kaplamasız WC matkap ile 0.05

mm/dev ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 1,08 olarak ölçülürken, değişken ilerleme uygulamasıyla bu değer 1,06 olarak elde edilmiştir. En yüksek Fd değeri ise 130° uç açısına sahip kesici takım ile 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ve 140 m/dak kesme hızında 1,23, değişken ilerleme uygulamasıyla elde edilen Fd değeri ise 1,21 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre; delik çıkışında ilerleme miktarının azaltılması (değişken) ile delaminasyon faktörünün minimuma düşürülmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Buradan, değişken ilerleme uygulamasının KFTK malzeme üzerinde işleme yapan sektörlerin montajlı parçalardaki yüksek dayanım, kalite ve boyutsal gereksinimlerinin giderilmesi [29,126]. için düşük pürüzlülük ve uygun geometrik toleranslarda delik delinmesi ihtiyacına katkı sağladığını söylemek mümkündür.



Şekil 5.12. Delaminasyon görüntüsü a) Sabit ve b) Değişken ilerleme.

5.1.4. KFTK Malzemeler İçin Deney Sonuçlarının Analizi

Gri ilişki analizi (GİA) yönteminin ilk işlemi olarak deney sonuçlarının normalizasyonu işlemi için “en düşük-en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır (Eş. 4.3). Deney çıktıları olarak analiz edilen itme kuvveti (Fz), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve delaminasyon (Fd) değerlerinin düşük olması amaçlandığı için bu yaklaşım seçilmiştir. Normalizasyon sonucu elde edilen değerler ile “Eş. 4.7” kullanılarak her bir dizi için elde edilen mutlak sapma değerleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Mutlak sapma değerleri kullanılarak gri ilişki katsayıları hesaplanmakta ve bu değerlerin maksimum olması için mutlak sapma değerlerinin minimum olması hedeflenmektedir. Çizelge 5.1 incelendiğinde, Fz, Ra ve Fd için en düşük mutlak sapma değerleri olan “0” değeri 10. deney dizilimi olan 130° uç açısı, 60 m/dak

kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarı şartlarında elde edilmiştir. Deney dizilimleri için normalizasyon değerlerinin tespitinden sonra Eş. 4.6 kullanılarak her bir parametreye ait gri ilişki katsayı değeri tespit edilmiştir. Gri ilişki katsayı değerleri ve toplam gri ilişki derecesi (GİD) ile en iyi deney sıralaması Çizelge 5.1’de görülmektedir. Deney diziliminde faktör olarak kesici takım uç açısı (P), ilerleme miktarı (f) ve kesme hızı (V) parametreleri kullanılmıştır.

Gri ilişki katsayılarının her bir dizininde gri ilişki derecesini belirlemek için “Eş. 4.10” kullanılmıştır. Her bir faktörden gelen gri katsayılarının ortalama değeri o deney dizilimi için gri ilişki derecesini vermektedir. Deney dizilimleri incelendiğinde, en yüksek gri ilişki derecesi 1 ile 10. deney dizilimi, en düşük gri ilişki derecesi ise 0,33812 ile 9. deney diziliminde elde edilmiştir. GİA sonuçları sadece kaplamasız WC kesici takım için verilmiş olup (Çizelge 5.1), TiAlN ve Elmas kaplamalı kesici takımların yalnızca GİD cevapları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kaplamasız WC kesici takımlar için analiz sonuçları.

Den. No	P (°)	f (mm/dev)	V (m/dak)	Deney sonuçları			Normalize Değerler			Mutlak Sapma Değerler			Gri İlişki Katsayısı			GİD	Sıra
				Fz	Ra	Fd	Fz	Ra	Fd	Fz	Ra	Fd	Fz	Ra	Fd		
1	120	0,05	60	45	0,53	1,09	0,934783	0,920354	0,933333	0,065217	0,07965	0,06667	0,884615	0,862595	0,882353	0,876521	2
2	120	0,05	100	50	0,68	1,1	0,826087	0,787611	0,866667	0,173913	0,21239	0,13333	0,741935	0,701863	0,789474	0,744424	4
3	120	0,05	140	54	0,79	1,12	0,73913	0,690265	0,733333	0,260870	0,30973	0,26667	0,657143	0,617486	0,652174	0,642268	6
4	120	0,1	60	60	0,87	1,15	0,608696	0,619469	0,533333	0,391304	0,38053	0,46667	0,560976	0,567839	0,517241	0,548685	11
5	120	0,1	100	65	1,1	1,17	0,5	0,415929	0,4	0,500000	0,58407	0,60000	0,5	0,461224	0,454545	0,471923	14
6	120	0,1	140	68	0,9	1,21	0,434783	0,59292	0,133333	0,565217	0,40708	0,86667	0,469388	0,55122	0,365854	0,462154	15
7	120	0,15	60	83	1,39	1,17	0,108696	0,159292	0,4	0,891304	0,84071	0,60000	0,359375	0,372937	0,454545	0,395619	21
8	120	0,15	100	86	1,54	1,2	0,043478	0,026549	0,2	0,956522	0,97345	0,80000	0,343284	0,339339	0,384615	0,355746	26
9	120	0,15	140	88	1,5	1,23	0	0,061947	0	1,000000	0,93805	1,00000	0,333333	0,347692	0,333333	0,33812	27
10	130	0,05	60	42	0,44	1,08	1	1	1	0,000000	0,00000	0,00000	1	1	1	1	1
11	130	0,05	100	49	0,65	1,14	0,847826	0,814159	0,6	0,152174	0,18584	0,40000	0,766667	0,729032	0,555556	0,683751	5
12	130	0,05	140	53	0,72	1,15	0,76087	0,752212	0,533333	0,239130	0,24779	0,46667	0,676471	0,668639	0,517241	0,620784	8
13	130	0,1	60	60	0,89	1,17	0,608696	0,60177	0,4	0,391304	0,39823	0,60000	0,560976	0,55665	0,454545	0,524057	12
14	130	0,1	100	66	1,01	1,2	0,478261	0,495575	0,2	0,521739	0,50442	0,80000	0,489362	0,497797	0,384615	0,457258	17
15	130	0,1	140	70	0,99	1,21	0,391304	0,513274	0,133333	0,608696	0,48673	0,86667	0,45098	0,506726	0,365854	0,441187	19
16	130	0,15	60	84	1,03	1,19	0,086957	0,477876	0,266667	0,913043	0,52212	0,73333	0,353846	0,489177	0,405405	0,416143	20
17	130	0,15	100	85	1,35	1,21	0,065217	0,19469	0,133333	0,934783	0,80531	0,86667	0,348485	0,383051	0,365854	0,365796	25
18	130	0,15	140	89	1,22	1,22	-0,02174	0,309735	0,066667	1,021739	0,69027	0,93333	0,328571	0,420074	0,348837	0,365828	24
19	140	0,05	60	45	0,55	1,11	0,934783	0,902655	0,8	0,065217	0,09735	0,20000	0,884615	0,837037	0,714286	0,811979	3
20	140	0,05	100	53	0,72	1,14	0,76087	0,752212	0,6	0,239130	0,24779	0,40000	0,676471	0,668639	0,555556	0,633555	7
21	140	0,05	140	56	0,68	1,16	0,695652	0,787611	0,466667	0,304348	0,21239	0,53333	0,621622	0,701863	0,483871	0,602452	9
22	140	0,1	60	57	0,85	1,13	0,673913	0,637168	0,666667	0,326087	0,36283	0,33333	0,605263	0,579487	0,6	0,594917	10
23	140	0,1	100	67	1,03	1,16	0,456522	0,477876	0,466667	0,543478	0,52212	0,53333	0,479167	0,489177	0,483871	0,484072	13
24	140	0,1	140	70	0,95	1,19	0,391304	0,548673	0,266667	0,608696	0,45133	0,73333	0,45098	0,525581	0,405405	0,460656	16
25	140	0,15	60	76	1,29	1,14	0,26087	0,247788	0,6	0,739130	0,75221	0,40000	0,403509	0,399293	0,555556	0,452786	18
26	140	0,15	100	83	1,57	1,18	0,108696	0	0,333333	0,891304	1,00000	0,66667	0,359375	0,333333	0,428571	0,37376	22
27	140	0,15	140	85	1,37	1,2	0,065217	0,176991	0,2	0,934783	0,82301	0,80000	0,348485	0,377926	0,384615	0,370342	23

Taguchi tabanlı gri ilişki analiz ile optimizasyonun son aşamasında GİD değerleri kullanılarak faktörler optimize edilmektedir. Bu aşamada, GİD değerlerine göre optimum faktör seviyelerini belirlemek amacıyla Eş 4.13 kullanılarak GİD tepki değerleri belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda kaplamasız WC kesici takımlar ile elde edilen sonuçlara etki eden her bir parametre için seviye ve tepki değerleri Çizelge 5. 2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kaplamasız WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3	Delta
P	0,5373	0,5416*	0,5316	0,01
f	0,7351*	0,4939	0,3816	0,3535
V	0,6245*	0,5078	0,4782	0,1463
GİD ortalama değeri= 0,4884				

Faktörler için tepki değerlerinin maksimum olduğu seviye değerleri yapılan deneysel tasarım için optimum seviyeyi vermektedir. P, f ve V faktörleri için optimum tepki değerleri sırasıyla, 0,5416, 0,7351 ve 0,6245 olarak P2f1V1 diziliminde elde edilmiştir. Dizilim sonucuna göre, kesici takım uç açısı $P=130^\circ$, ilerleme miktarı $f=0,05$ mm/dev ve kesme hızı $V=60$ m/dak değerlerinin optimum seviyeler olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5. 3’ te TiAlN kaplamalı kesici takım için uygulanan gri ilişki analizi sonucunda elde edilen GİD tablosu verilmiştir. Optimum tepki değerleri, P, f ve V faktörleri için sırasıyla, 0,5824, 0,7278 ve 0,6598 olarak P2f1V1 diziliminde elde edilmiştir. Dizilim sonucuna göre, kesici takım uç açısı 130° , ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve kesme hızı 60 m/dak değerlerinin optimum seviyeler olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3	Delta
P	0,541	0,5824*	0,5813	0,0414
f	0,7278*	0,5426	0,4341	0,2937
V	0,6598*	0,5556	0,4892	0,1706
GİD ortalama değeri= 0,5682				

Elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerlere etki eden her bir parametre için seviye ve tepki miktarları Çizelge 5.4'te verilmiştir. GİD tepki tablosu, faktörler için tepki değerlerinin maksimum olduğu seviye değerleri ile yapılan deneysel tasarım için optimum dizilimi vermektedir. P, f ve V faktörleri için optimum tepki değerleri sırasıyla, 0,5879, 0,7349 ve 0,6171 olarak P1f1V1 diziliminde elde edilmiştir. Dizilim sonucuna göre, optimum seviyeler kesici takım uç açısı 120°, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve kesme hızı 60 m/dak olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.4. Elmas kaplamalı WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3	Delta
P	0,5879*	0,5564	0,5163	0,0716
f	0,7349*	0,5213	0,4044	0,3305
V	0,6171*	0,5339	0,5095	0,1076
GİD ortalama değeri= 0,5682				

Taguchi tabanlı gri ilişki analiz ile optimizasyonun son aşamasında GİD değerleri kullanılarak faktörler optimize edilmektedir. Bu aşamada, GİD değerlerine göre optimum faktör seviyelerini belirlemek amacıyla Eş 4.13 kullanılarak GİD tepki değerleri belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda kaplamasız WC kesici takımlar ile elde edilen sonuçlara etki eden her bir parametre için seviye ve tepki değerleri Çizelge 5. 2'de verilmiştir.

Çizelge 5. 2 - Çizelge 5. 4 incelendiğinde, kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen delme deneyleri sonucunda elde edilen değerlere gri ilişki analizi yöntemi uygulanarak optimum parametreler belirlenmiştir. Tüm kesici takımlar için optimum ilerleme miktarı 0,05 mm/dev, kesme hızı 60 m/dak olarak elde edilmiştir. Optimum kesici takım uç açısı kaplamasız WC ve TiAlN kaplamalı WC kesici takımlarda 130°, elmas kaplamalı WC kesici takımında ise 120° olarak elde edilmiştir.

5.2. TİTANYUM (Ti6Al4V) ALAŞIMININ DELİNEBİLİRLİĞİ

Otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde yüksek mukavemetli hafif malzemelere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Havacılık endüstrisinde, yüksek sıcaklıklarda yüksek direnç ve yüksek mekanik özellik sergileyen titanyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [127]. Titanyum alaşımlarının yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık dayanımı ve güçlü korozyon dirençlerine sahip olmaları gibi özelliklerinin yanında çeliklere kıyasla %60 daha hafif olduğu bilinmektedir [128].

Ti-6Al-4V alaşımı, kimyasal reaktifliğinin ve kesici takıma kaynak olma eğiliminin yüksek olması, ısı iletkenliğinin düşük olması, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması ve sahip olduğu düşük elastikiyet modülü nedeniyle işlenmesi zor malzemeler grubuna girmektedir. Bu malzemelerin üretim maliyetleri yüksek olduğu için işlenmesi esnasında meydana gelen hatalar maliyetlerin daha da artmasına neden olmaktadır [129].

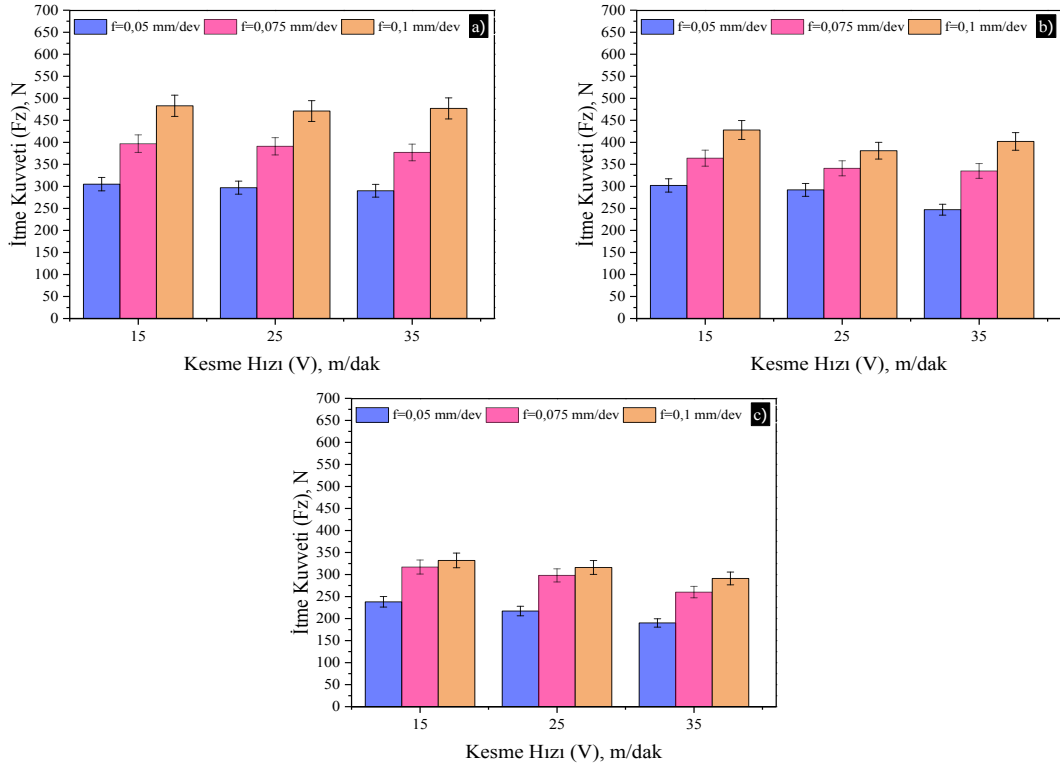
5.2.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Delme işleminde meydana gelen itme kuvveti; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesici takım geometrisi, delik sayısına ve delme şekline bağlıdır [130]. Aşağıda verilen grafikler (Şekil 5. 19, Şekil 5. 20 ve Şekil 5. 21) farklı geometriye sahip kaplamasız ve kaplamalı takımlarla farklı kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen itme kuvveti değişimlerini göstermektedir.

Grafikler incelendiğinde, 0,05 ve 0,075 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının artışıyla her takım için itme kuvveti değerlerinin azaldığı görülmektedir. Benzer eğilim 0,1 mm/dev ilerleme miktarının 15 ve 25 m/dak kesme hızlarında görülmektedir. İtme kuvvetlerinde meydana gelen bu azalma, artan kesme hızıyla kesme bölgesinde oluşan sıcaklık artışının malzeme akma mukavemetini düşürmesine atfedilebilir [131]. Ayrıca kesme hızının artması sonucu takım kayma açısının arttığı, daha ince talaş oluştuğu ve takım-talaş temas uzunluğunu azalttığı için itme kuvvetinde düşüşlere sebep olduğu bilinmektedir [49]. Ancak 25 m/dak kesme hızından sonra gerçekleşen artışlarda, itme kuvvetlerinin takım geometri ve

kaplama farkına göre bazı deneylerde bir miktar artış olduğu gözlenmektedir. Bu durum için, yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıklar ve kesici takım üzerine etki eden yüklerin artması sonucu muhtemel takım aşınmasının bu artışlara sebep olabileceği söylenebilir [51]. Ayrıca, titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta takım malzemeleri ile reaksiyona girme eğiliminden [86] dolayı itme kuvvetinin artışına sebep olabileceğini söylemek mümkündür.

İlerleme miktarına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla her kesici takım kalitesi için itme kuvvetlerinde belirgin bir artış görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla birim zamanda kaldırılan talaş hacmi artmaktadır. Bu nedenle, talaş koparılmaya karşı daha fazla direnç göstererek itme kuvvetinin artmasını sağlamaktadır [132]. Matkap uç açısına bağlı olarak kuvvet değişimleri incelendiğinde, artan takım uç açısıyla birlikte itme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu durumu kesici takım uç açısının artmasıyla birlikte kesici kenar uzunluğunun azalması (Şekil 4.3) sonucu takım-talaş temas alanının azalmasıyla açıklamak mümkündür.

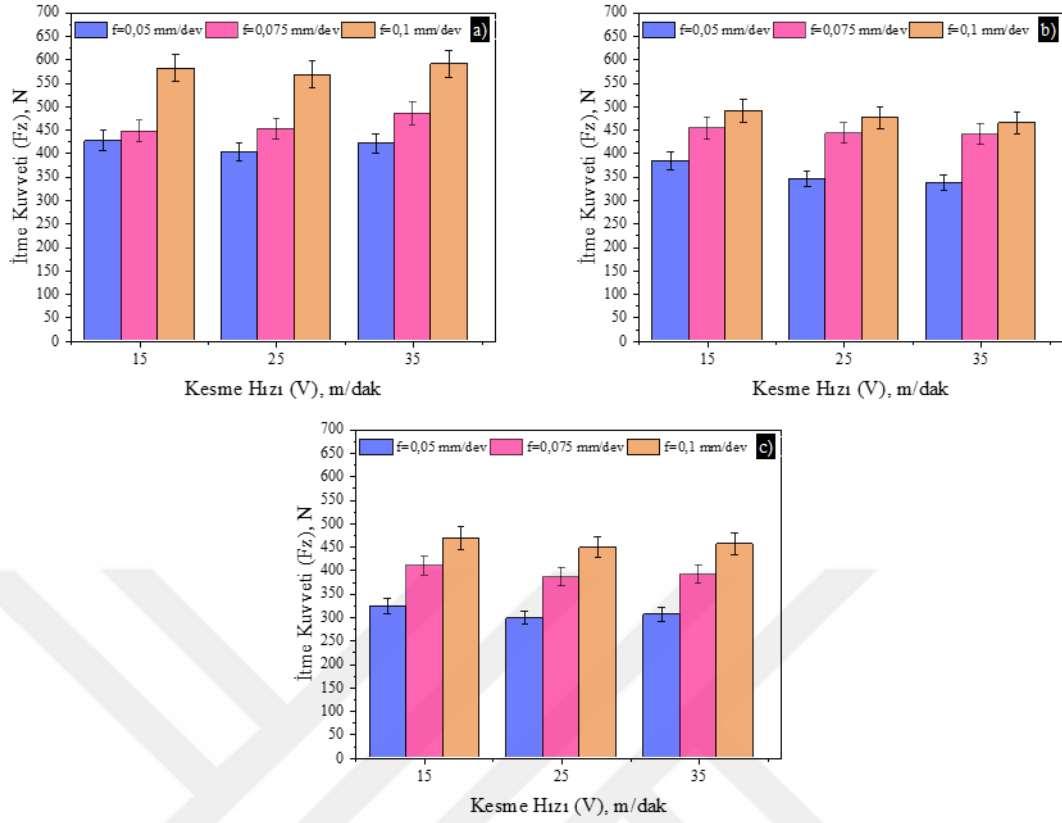


Şekil 5.13. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Kaplamasız WC).

Kaplamsız WC matkapla Ti6Al4V alaşımının delinmesinde, kesme hızının artmasıyla kesici takım uç açısına bağlı olarak itme kuvvetlerinin %1-15 arasında değişen değerlerde azalmasına sebep olmuştur (Şekil 5.13). Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, en düşük ve en yüksek itme kuvvetleri sırasıyla 35 ve 15 m/dak kesme hızlarında 190 ve 483 N olarak elde edilmiştir. Matkap uç açısına göre, en düşük ve en yüksek itme kuvvetleri sırasıyla, 120° uç açısı için 290 ve 483 N, 130° uç açısı için 247 ve 402 N, 140° uç açısı için 190 ve 332 N olarak ölçülmüştür. Tüm takım kalitelerinde en düşük itme kuvvetleri 35 m/dak, en yüksek itme kuvvetleri ise 15 m/dak kesme hızlarında meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, kesme hızının itme kuvveti üzerinde kayda değer bir etkisinin olduğunu bir kez daha göstermektedir. 0,05 mm/dev ilerleme miktarında tüm kesme hızı ve takım geometrilerine bağlı olarak Fz değerleri 190-305 N aralığında elde edilen itme kuvvetleri, ilerleme miktarının 0,075 mm/dev'e artmasıyla %17-37 oranında artarak 260-397 N aralığında, ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'e artmasıyla ise %30-64 oranında artarak 291-483 N aralığında değişen bir artış göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında, Ti6Al4V malzemesinin işlenmesinde ilerleme miktarının kesme hızına göre itme kuvveti üzerinde daha etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Şekil 5.13'teki grafikler matkap uç açısına göre değerlendirildiğinde, kesici takım uç açısının itme kuvveti üzerinde; ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak %1-27 arasında değişen değerlerde azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. En düşük itme kuvveti 140° uç açısına sahip kesici takımlarda, en yüksek Fz değeri ise 120° uç açısına sahip kesici takımlar ile elde edilmiştir.

Şekil 5.14'teki grafikler farklı geometriye sahip TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile ölçülen itme kuvveti değişimlerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, Fz değerlerinin kaplamsız WC takımlar ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ile benzer eğilim sergilediği görülmektedir.



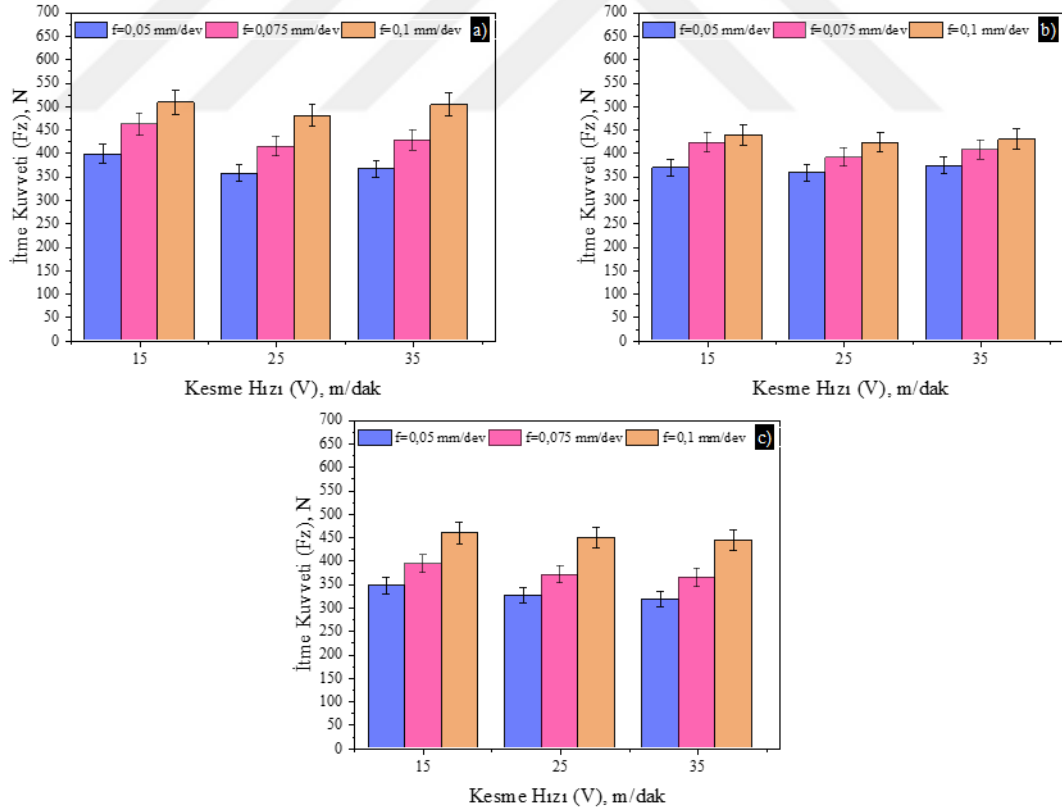
Şekil 5.14. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (TiAlN kaplamalı WC).

İlerleme miktarının her seviyesi için kesme hızının 15 m/dak' dan 25 m/dak kesme hızına artmasıyla itme kuvvetlerinde azalma görülmektedir. Bu durum, farklı uç açısına sahip her bir kesici takım için de benzer eğilimdedir. Kesme hızındaki bu artış, ilerleme miktarı ve kesici takım uç açısına göre Fz değerlerinin %2-10 arasında değişen değerlerde azalmasını sağlamıştır. Benzer durum, 130° uç açısına sahip matkaplar için tüm ilerleme miktarlarında kesme hızının oransal olarak artmasıyla da meydana gelmiştir. Ancak, 120° ve 140° uç açısına sahip matkaplarda kesme hızının artmasıyla Fz değerlerinin tam tersi bir eğilimde olduğu görülmektedir (Şekil 5.14). Bahsedilen uç açılarında, kesme hızının artmasıyla itme kuvvetlerinde %2-10 arasında değişen artışlar meydana gelmiştir.

Üç farklı matkap uç açısına göre tüm kesici takım kaliteleri için artan ilerleme miktarlarıyla itme kuvvetlerinin arttığı net olarak görülmektedir. 0,05, 0,075 ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarlarında, delme parametrelerine bağlı olarak itme kuvvetleri sırasıyla 298-426 N, 385-485N ve 448-590N aralığında artış göstermiştir. 0,05

mm/dev ilerleme miktarının 0,075 mm/dev'e artmasıyla %11-31 aralığında artış meydana gelmiştir. En fazla değişim oranı 130° uç açısına sahip matkap ile %31, en düşük değişim oranı ise %11 ile 120° uç açısına sahip matkapta elde edilmiştir. İlerleme miktarının 0,1 mm/dev'e artmasıyla ise %36-50 aralığında artış tespit edilmiştir. DeneySEL sonuçlara göre, en düşük itme kuvveti değeri 298 N ile 140° uç açısına sahip takım ile 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 25 m/dak kesme hızında, en yüksek değeri ise 590 N ile 120° uç açısına sahip takım ile 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

Ti6Al4V alaşımının elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile delinmesinde, kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen itme kuvveti değişimleri Şekil 5.15'teki grafiklerde gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar, kaplamasız WC ve TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ile benzer eğilimdedir.



Şekil 5.15. Kesme parametrelerine bağlı olarak Fz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Elmas kaplamalı WC).

Şekil 5.15 incelendiğinde, artan kesme hızlarına bağlı olarak itme kuvvetlerinde genel eğilim azalma şeklindedir. Farklı ilerleme miktarlarında (0,05, 0,075 ve 0,1 mm/dev), kesme hızının 25 m/dak'ya kadar olan artışlarında her üç takımda itme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. Ancak, 120 ve 130° uç açısına sahip takımlarda kesme hızının 25 m/dak' dan 35 m/dak' ya artmasıyla itme kuvvetlerinde bir miktar artış olduğu gözlenmektedir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarının sonucunda kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklar ve kesici takım üzerine etki eden ısı ve mekanik yüklerin artması sonucu muhtemel takım aşınmasının bu artışlara sebep olduğu düşünülmektedir. En düşük ve en yüksek itme kuvveti değerleri sırasıyla 318 ve 508 N olarak 140° ve 120° uç açısına sahip kesici takımlar ile elde edilmiştir. En düşük itme kuvveti 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında, en yüksek değer ise 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında ölçülmüştür. Kesme hızının artmasıyla itme kuvvetinde meydana gelen azalma %1-16 aralığında gerçekleşmiştir.

İlerleme miktarının 0,05 mm/dev' den 0,075 ve 0,1 mm/dev'e artırılmasıyla itme kuvvetlerinin de oransal olarak arttığı belirlenmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasıyla açıklanan [133] bu sonuç, delme işlemlerinde itme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu bir kez daha göstermektedir. İlerleme miktarının, 0,075 mm/dev'e artırılmasıyla itme kuvvetinde meydana gelen artış %9-17 arasında, 0,1 mm/dev'e artırılmasıyla elde edilen artış ise %15-37 arasında değişim sergilemektedir.

Takım geometrisi göz önünde bulundurularak kesme hızı ve ilerleme miktarının aynı değerlerinde itme kuvveti değişimleri incelendiğinde, artan takım uç açısıyla birlikte itme kuvvetlerinde azalma olduğu görülmektedir. Her kesici takım uç açısı için kesme hızlarına göre itme kuvvetleri değerlendirildiğinde; 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için 318-398 N, 0,075 mm/dev ilerleme miktarı için 364-461N, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için 422-508 N aralığında değişen itme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme hızı ve ilerleme miktarı sabit tutulduğunda, kesici takım uç açısının artmasıyla Fz değerlerini %1-15 aralığında azaldığı tespit edilmiştir. Ancak en yüksek ilerleme miktarında (0,1 mm/dev) tüm kesme hızlarında, 130°' den 140° uç açısına olan artışlarda itme kuvvetinde %1-4 aralığında artış meydana gelmiştir. Bu

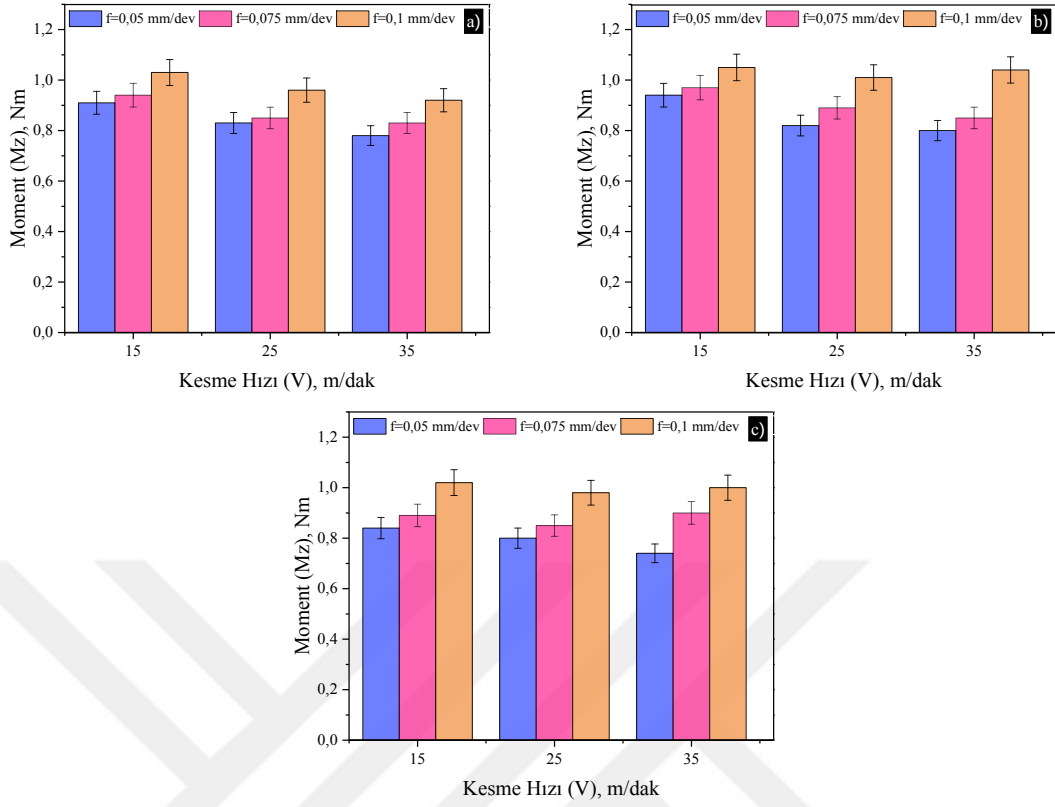
sonucu, ilerlemenin artmasıyla helis açısının artması ve serbest yüzeyde boşluk açısının azalması [51] nedeniyle talaş oluşumunun zorlaşması ile açıklamak mümkündür.

Kaplamalı takımlarda kesici kenar köşe radyüsü ve takım ucunda (yardımcı kesici kenar) kaplama kalınlığından dolayı bir miktar büyüme oluşmaktadır. Kesici takım geometrisindeki bu değişim matkabın malzemeye batmasını zorlaştırmakta ve bu durumun itme kuvvetlerinin artmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Matkap kalitelerine bağlı olarak itme kuvvetleri değerlendirildiğinde, en küçük itme kuvveti değerleri kaplamasız WC, en büyük itme kuvvetleri ise TiAlNi kaplamalı takımlar ile elde edilmiştir. TiAlNi kaplamalı kesici takımlara göre, kaplamasız WC takımlar için gerçekleşen bu azalmalar, 15 m/dak kesme hızında tüm ilerleme değerleri ve kesici takım geometrileri için %12-28, 25 m/dak kesme hızında %15-29, 35 m/dak kesme hızında ise %20-36 aralığında gerçekleşmiştir. Elmas kaplamalı WC kesici takımlar için Fz değerlerinde gerçekleşen bu azalmalar, 15 m/dak kesme hızında tüm ilerleme değerleri için %3-12, 25 m/dak kesme hızında %11-15, 35 m/dak kesme hızında ise %12-14 şeklinde hesaplanmıştır. Ayrıca, elmas kaplamalı WC takımların kaplama kalınlığı, TiAlNi kaplamalı WC takımlara göre daha fazla olmasına rağmen, elmas kaplamalı takımın düşük sürtünme katsayısına sahip olması bu takımlarda Fz değerlerinin daha küçük olmasını sağlamıştır.

5.2.2. Momentin Değerlendirilmesi

Matkap ile delme işleminde meydana gelen moment, iş parçası malzemesinin sertliğine, kesici takımın çapına, ilerleme miktarına, kesici takımın uzunluğuna ve kesme hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca bu parametreler delme anında oluşan her bir kuvvet bileşenini (radyal kuvvet, kesme kuvveti ve itme kuvveti) etkilemektedir. Kesme kuvvetlerinden biri olan itme kuvveti (Fz)'nin, moment değişimini doğrudan etkilediği düşünülürse, itme kuvvetinde meydana gelen değişim ile momentteki değişimin paralellik göstereceği söylenebilir. Bunun yanı sıra iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında oluşan sürtünme kuvvetinin ve diğer kuvvet bileşenlerinin (radyal kuvvet ve kesme kuvveti) moment değişimi üzerindeki etkisini görebilmek için momentin değerlendirilmesi önemlidir.

Farklı kalitedeki WC matkaplar ile gerçekleştirilen delme işlemlerinde, farklı ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak tüm kesici takım uç açıları için moment değerlerinin değişimi Şekil 5.16 – Şekil 5.18’deki grafiklerde verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarında %50 ve %100 oranında artış yapıldığında moment değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İlerleme miktarı, itme kuvveti üzerinde olduğu gibi moment üzerinde de en etkili parametre olarak gözükmemektedir. Birim zamanda kaldırılan talaş miktarının artmasına sebep olan ilerleme miktarının ayrıca daha büyük moment oluşumuna sebep olduğu da bilinmektedir [51]. Literatürde, Titanyum alaşımlarının delinmesi üzerine yapılan benzer çalışmalarda artan ilerleme miktarıyla birlikte moment değerlerinde artışın olduğu ifade edilmektedir [134,135]. Diğer yandan, moment değerleri kesme hızının artan değerleriyle birlikte genel olarak azalmaktadır (Şekil 5.16 – Şekil 5.18). İtme kuvveti ile benzerlik gösteren bu durumu, artan kesme hızı değerleriyle birlikte kesme bölgesinde oluşan sıcaklık artışlarının malzemenin akma mukavemetini düşürmesiyle açıklamak mümkündür [119]. Ancak 0,01 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 25 m/dak’dan 35 m/dak’ya olan artışlarda moment değerleri üzerinde artış gözlenmektedir. İtme kuvvetlerinde de yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde artış görüldüğü, yüksek değerde olan bu parametrelerin kombinasyonlarında kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklara ve kesici takım üzerine etki eden yüklerin artması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, itme kuvvetinde olduğu gibi takım uç açısının artmasıyla moment değerlerinde azalma görülmektedir. Bu azalma, artan uç açısına bağlı olarak kesici kenar uzunluğunun azalması sonucu takım-talaş temas alanının azalmasına bağlı oluşan talaş oluşumuna atfedilmektedir.

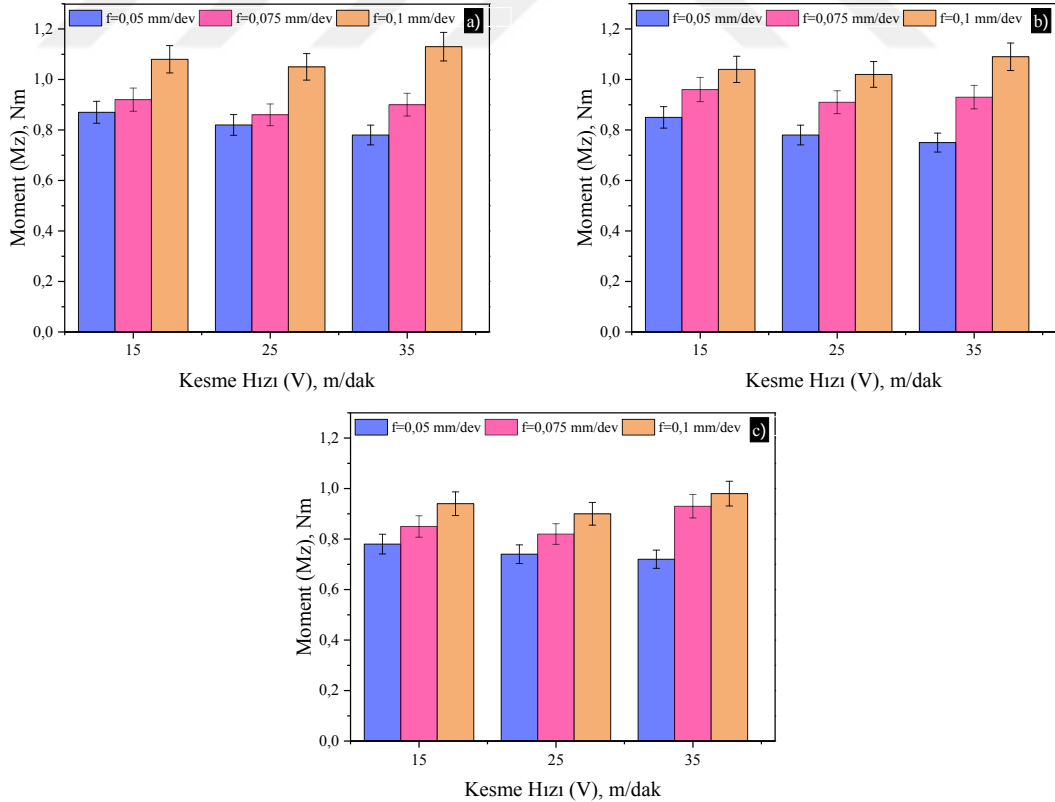


Şekil 5.16. Kesme parametrelerine bağlı olarak Mz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Kaplamasız WC).

Şekil 5.16'daki grafikler incelendiğinde, tüm kesme hızlarında artan ilerleme miktarına bağlı olarak moment değerlerinin arttığı görülmektedir. 0,05 mm/dev ilerleme miktarı 0,075 mm/dev'e arttırıldığında, 15 m/dak kesme hızları için Mz değerlerinde %3-9, 25 m/dak kesme hızları için %2-8 ve 35 m/dak kesme hızları için ise %6-21 aralığında artış meydana gelmiştir. İlerleme miktarı 0,1 mm/dev olduğunda, 15 m/dak kesme hızları için %8-14, 25 m/dak kesme hızları için %13-16 ve 35 m/dak kesme hızları için ise %10-22 aralığında değişen değerlerde artış tespit edilmiştir. Bu değişimler ilerleme miktarının moment üzerindeki etkisinin önemini göstermektedir.

Farklı uç açısına sahip kaplamasız WC kesici takımlar için 0,05 mm/dev ilerleme miktarında artan kesme hızlarıyla birlikte Mz değerlerinin %3-9 aralığında azaldığı belirlenmiştir. 0,075 mm/dev ilerleme miktarı için bu azalma %2-8 aralığında elde edilmiştir. Ancak, aynı ilerleme miktarında 140° uç açılı takım için 35 m/dak kesme hızında %5 oranında artış görülmüştür. Benzer şekilde, 0,1 mm/dev ilerleme

miktarında Mz değerlerinde %2-6 arasında azalma olurken, 130° uç açılı takım için 35 m/dak kesme hızında %12 oranında artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artışları, ilerleme miktarı ve takım uç açısının artmasıyla birlikte oluşan talaş oluşumu ile açıklamak mümkündür. Daha öncede açıklandığı gibi, f ve P değerlerindeki artışlar matkap serbest yüzeyindeki boşluk açısını azaltarak, kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklara ve kesici takım üzerine etki eden yüklerin artmasına neden olarak Mz değerlerini artırmaktadır. Kaplamasız WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerde en yüksek moment değeri 130° lik matkap, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında 1,14 Nm olarak elde edilmiştir. En düşük Mz değeri ise 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 35 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip matkapla 0,74 Nm olarak ölçülmüştür. Kaplamasız WC kesici takımlar için 0,05 mm/dev ilerleme miktarında değişen kesme hızları dikkate alındığında moment değerleri 0,74-0,94 Nm, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında 0,83-0,97 Nm ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise 0,92-1,14 Nm aralığında değişim göstermiştir.

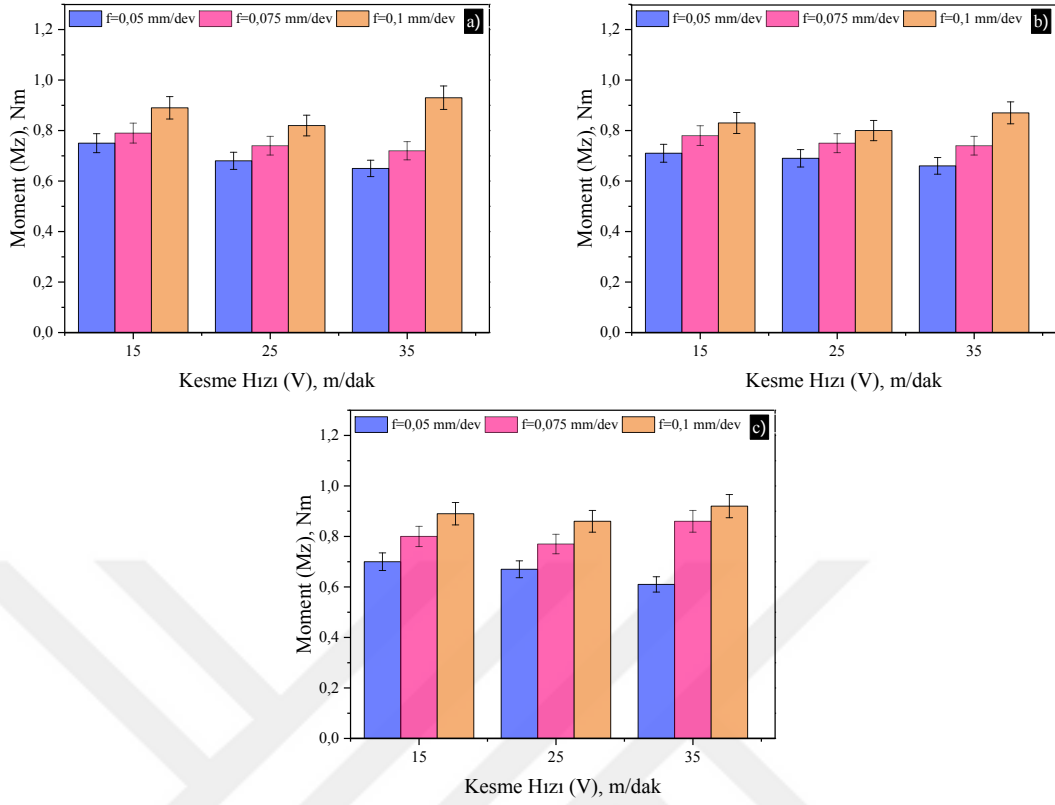


Şekil 5.17. Kesme parametrelerine bağlı olarak Mz değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (TiAlN kaplamalı WC).

Şekil 5.17'deki tüm delme parametreleri göz önünde bulundurulduğunda, artan ilerleme miktarları ile moment değerlerinin arttığı görülmektedir. Matkap uç açılarına bağlı olarak 15 m/dak kesme hızları değerlendirildiğinde, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı 0,075 mm/dev'e artırıldığında moment değerlerinin %5-13, 25 m/dak kesme hızları için %4-11, 35 m/dak kesme hızı için ise %15-26 aralığında arttığı tespit edilmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarına olan artışta ise Mz değerlerindeki değişimler 15 m/dak kesme hızları için %20-24, 25 m/dak kesme hızları için %21-28 ve 35 m/dak kesme hızları için ise %22-45 aralığında artış şeklinde gerçekleşmiştir.

TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar için 0,05 mm/dev ilerleme miktarında artan kesme hızlarıyla birlikte Mz değerlerinin %3-8, 0,075 mm/dev ilerleme miktarı için %3-6 ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarı için %2-4 aralığında azaldığı belirlenmiştir. Ancak, kesme hızı 25 mm/dak' dan 35 m/dak'ya artırıldığında,

TiAlNi kaplamalı WC matkap için en düşük moment değeri 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 35 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip kesici takımda 0,72 Nm değerinde oluşmuştur. En yüksek moment değeri ise 120° uç açısına sahip kesici takım, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında 1,13 Nm olarak meydana gelmiştir. Üç farklı matkap uç açısı için; 0,05 mm/dev ilerleme miktarında artan kesme hızına bağlı olarak moment değerleri 0,72-0,87 Nm, 0,075 ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarlarında ise sırasıyla 0,82-0,96 Nm ve 0,90-1,13 Nm aralığında değişim göstermiştir.



Şekil 5.18. Kesme parametrelerine bağlı olarak M_z değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Elmas kaplamalı WC).

Elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile yapılan deney sonuçları değerlendirildiğinde, tüm parametrelere göre artan ilerleme miktarının moment değerlerinin artmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 5.18). Her üç matkap uç açısı için 15 m/dak kesme hızları değerlendirildiğinde, ilerleme miktarının 0,075 mm/dev'e artmasıyla M_z değerlerinde %5-14, 25 m/dak kesme hızları için %8-15, 35 m/dak kesme hızı için ise %10-40 aralığında artışlar meydana gelmiştir. 0,1 mm/dev ilerleme miktarına olan artışlarda ise M_z 'deki bu artışlar, 15 m/dak kesme hızları için %17-27, 25 m/dak kesme hızları için %16-28 ve 35 m/dak kesme hızları için ise %32-50 aralığında gerçekleşmiştir.

Farklı uç açısına sahip elmas kaplamalı WC matkaplarda, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için kesme hızlarının artmasıyla birlikte moment değerlerinin %3-9, 0,075 mm/dev ilerleme miktarı için %2-6, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı %2-3 aralığında değişen değerlerde azaldığı görülmektedir. Ancak, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızı 25 mm/dak'dan 35 m/dak ya artırıldığında, 130° ve 140° uç açısına sahip

kesici takımlar için moment değerlerinde %7-13 aralığında artış göstermiştir. Elmas kaplamalı WC kesici takım için en düşük moment değeri 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 35 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip takımda 0,61 Nm değerinde ölçülmüştür. En büyük moment değeri ise 120° uç açısına sahip kesici takımla 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında 0,93 Nm olarak meydana gelmiştir. Elmas kaplamalı farklı geometriye sahip kesici takımlar için 0,05 mm/dev ilerleme miktarında değişen kesme hızlarına göre moment değerleri 0,61-0,75 Nm, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında 0,72-0,86 Nm ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 0,80-0,93 Nm aralığında değişim göstermiştir. Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde meydana gelen moment değerleri değerlendirildiğinde (Şekil 5.16 - Şekil 5.18), en düşük momentin elmas kaplamalı WC matkaplar ile elde edildiğini söylemek mümkündür.

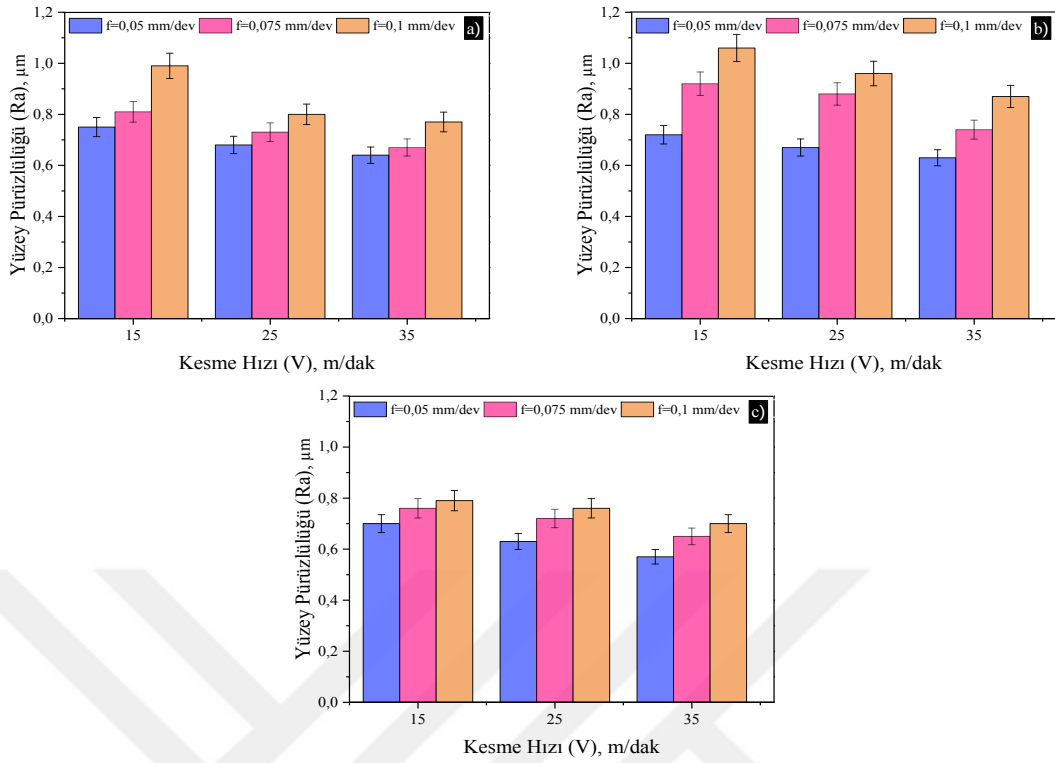
5.2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğü bir malzemenin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kriterlerden birisidir. Bu sebeple talaşlı imalat yöntemlerinde işlenmiş yüzey kalitesi oldukça önemlidir. Kesme parametreleri, kesici takım geometrisi ve iş parçasının fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok parametre olduğu bilinmektedir [120]. İstenilen delik kalitesinin elde edilmesi için optimum işleme şartlarının belirlenmesi gereklidir. Frezeleme ve tornalama işlemlerinde yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla kaba işleme sonrası bitirme işlemi uygulanabilmektedir. Ancak delme işlemlerinde, genellikle istenilen deliğin ölçüleri kesici takım ile aynı çapta olduğundan dolayı bitirme işlemi için gerekli paso miktarı bırakılamamaktadır. Bu nedenle delme işlemi sırasında ortaya çıkacak bitirme yüzeyi kalitesinin tahmin edilmesi oldukça önemlidir [136].

Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde, farklı uç açısına sahip kaplamasız ve kaplamalı WC takımlarla farklı kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerindeki değişimler Şekil 5.19 – Şekil 5.21'deki grafiklerde verilmiştir.

Delme deneylerinde kullanılan tüm değişkenler göz önünde bulundurulduğunda, kesme hızının artmasıyla Ra değerlerinde genel olarak azalma meydana geldiği görülmektedir. Artan kesme hızlarıyla takım-talaş ara yüzeyindeki azalmaya bağlı olarak sürtünmenin azalması ya da sıcaklık artışının malzeme akma mukavemetini düşürmesiyle yüzey kalitesinin iyileştiği bilinmektedir [119]. Ancak ilerleme miktarının ve kesme hızının yüksek olduğu değerlerde elmas kaplamalı WC takımlar için bir miktar artış olduğu gözlenmektedir. Bu durumu, içeriğinde saf karbon bulunan elmas kaplamalı takımların ve titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda takım malzemeleri ile tepkimeye girme eğilimleri ile açıklamak mümkündür [86]. Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde oluşan yüksek sıcaklıklar göz önüne alındığında aşırı sıcaklık artışına sebep olacak kesme parametrelerinin kesici takımın deformasyonunu hızlandıracağı unutulmamalıdır.

İlerleme miktarına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla üç takım kalitesi için de Ra değerlerinde belirgin bir artışın olduğu belirlenmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla birim zamanda kaldırılan talaş hacmi artmakta olup, talaş koparılmaya karşı direnç göstererek itme kuvvetini ve dolaylı olarak kesme sıcaklığını arttırmaktadır [132]. Kesici takım üzerinde artış gösteren mekanik yüklerin yüzey kalitesini olumsuz etkilediği grafiklerden anlaşılmaktadır. Diğer yandan, matkap geometrisine bağlı olarak Ra değişimleri incelendiğinde, genel olarak artan takım uç açısıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğu görülmektedir. Bu sonucun nedeni olarak, takım uç açısının artmasıyla birlikte kesici kenar uzunluğu ve genişliğinin azalmasına bağlı olarak (Şekil 4.3) takım-talaş temas alanının azalması ile gerçekleşen talaş oluşumunu göstermek mümkündür.



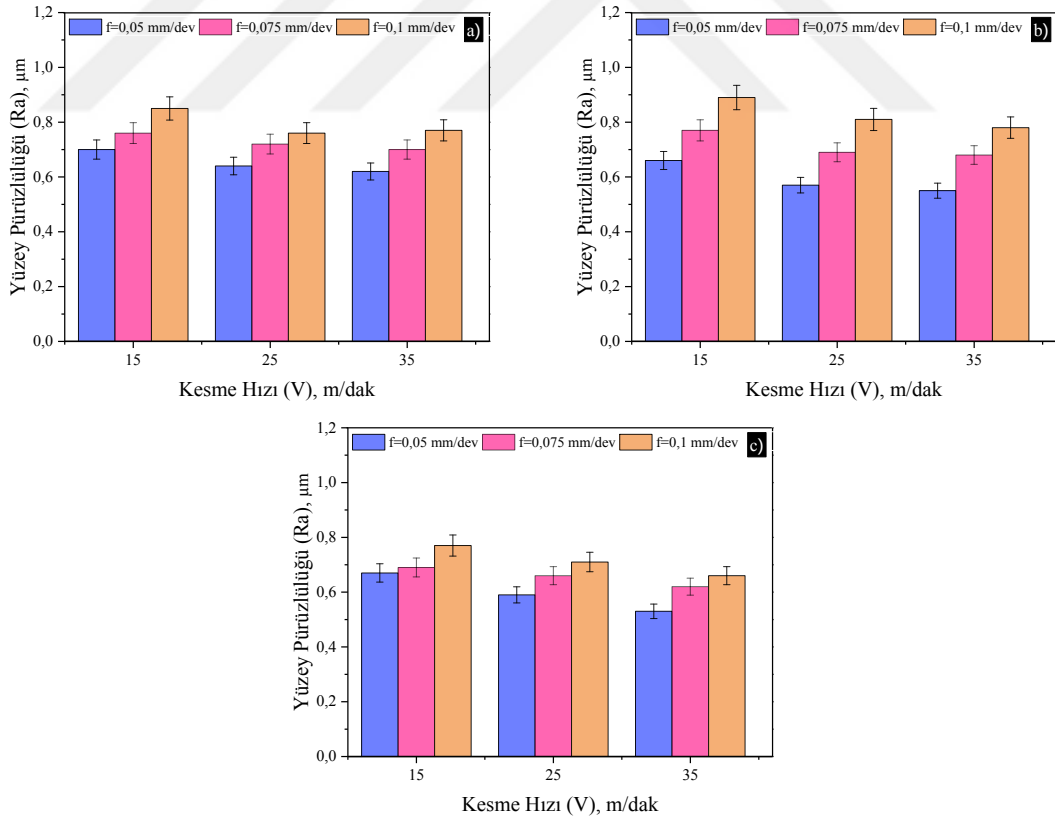
Şekil 5.19. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Kaplamasız WC).

Şekil 5.19 incelendiğinde, farklı geometrideki kaplamasız WC takımlar için artan kesme hızlarıyla birlikte Ra değerleri; 0,05 mm/dev ilerleme miktarında %5-19, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında %4-19, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise %4-10 arasında azalma eğilimi sergilemiştir. En düşük Ra değeri 0,57 μm olarak 140° uç açısına sahip kesici takım ile 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında, en yüksek Ra değeri ise 1,06 μm olarak 130° uç açısına sahip takım ile 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu sonuçlar artan kesme hızının Ra üzerinde iyileştirme sağladığını doğrulamaktadır.

Her üç kesici takım geometrisi için ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den 0,075 mm/dev'e olan artışlarında Ra değerleri %8-27, 25 m/dak kesme hızı için %7-31, 35 m/dak kesme hızı için %4-17 arasında artış göstermiştir. İlerleme miktarının 0,1 mm/dev olmasıyla birlikte Ra değerleri, 15 m/dak kesme hızı için %12-47, 25 m/dak kesme hızı için %17-43, 35 m/dak kesme hızı için %20-38 aralığında artış sergilemiştir. Bu sonuçlar ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde ne kadar etkili olduğunu doğrulamaktadır.

Şekil 5.19'daki grafikler takım geometrisi açısından değerlendirildiğinde, kesici takım uç açısının 120° den 130° ye çıkmasıyla 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için Ra değerlerinde %1-4 arasında azalma meydana gelmiştir. Ancak 0,075 mm/dev ilerleme miktarında Ra değerlerinde %10-20, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise %7-20 arasında değişen artışlar görülmüştür. Kesici takım uç açısının 120° den 140° ye artmasıyla birlikte 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için tüm kesme hızlarına göre Ra değerlerinde %6-11, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında %1-6, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise %5-20 arasında değişen bir azalma tespit edilmiştir.

TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilen Ra değerlerindeki değişimler Şekil 5.20'deki grafiklerde gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde, Ra değerlerinin kaplamasız WC takımlar ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar ile benzer eğilimde olduğu gözlenmiştir.



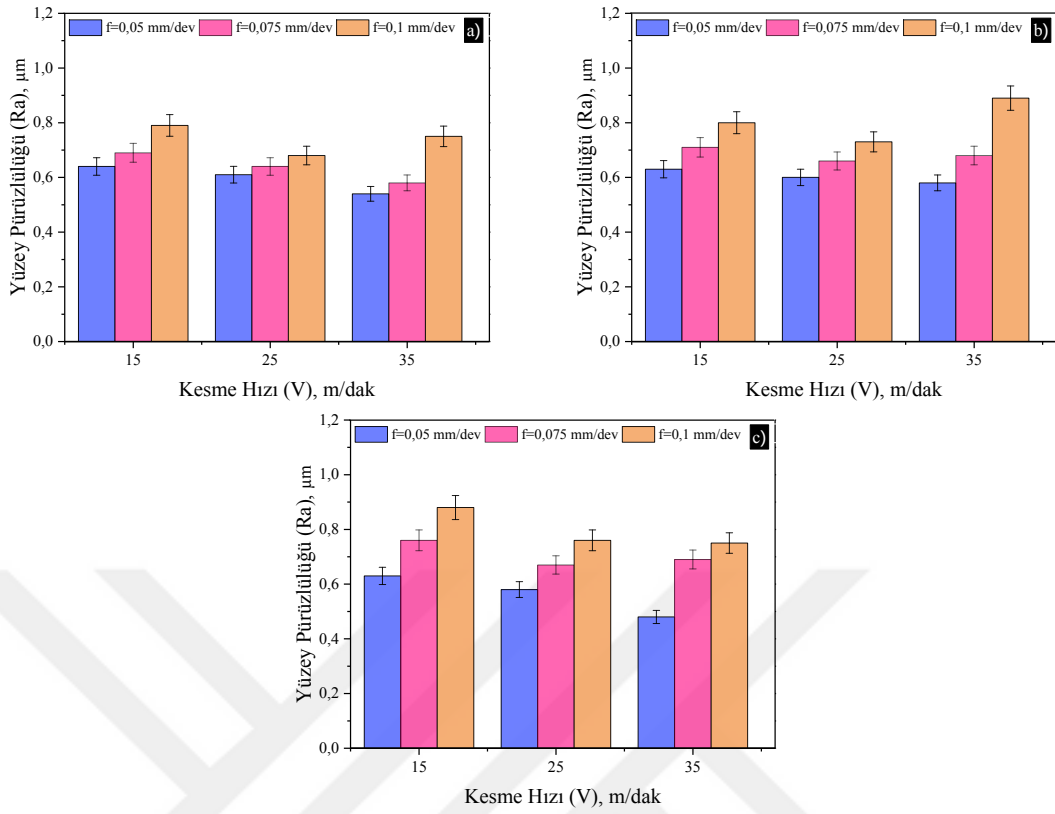
Şekil 5.20. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) 120° , b) 130° , c) 140° (TiAlN kaplamalı WC).

TiAlN kaplamalı WC takımlar için yüzey pürüzlülükleri değerlendirdiğinde, artan kesme hızıyla 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için Ra değerlerinin %3-13, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında %2-10, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise %1-10 arasında değişim göstererek azaldığı belirlenmiştir. En düşük Ra değeri, 140° uç açısına sahip kesici takım ile 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında 0,53 µm, en büyük Ra değeri ise 130° uç açısı, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 15 m/dak kesme hızında 0,89 µm olarak elde edilmiştir. Elde edilen en yüksek ve düşük Ra değerlerinin kaplamasız WC takımlar ile elde edilen sonuçlar ile aynı kesme parametreleri ve takım geometrisinde elde edildiği tespit edilmiştir.

İlerleme miktarı dikkate alındığında, tüm matkap uç açılarına göre ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den 0,075 mm/dev'e artmasıyla birlikte Ra değerleri 15 m/dak kesme hızlarında %3-16, 25 m/dak kesme hızlarında %11-21, 35 m/dak kesme hızlarında %13-23 arasında artış göstermiştir. İlerleme miktarı 0,1 mm/dev seviyesine çıkarıldığında, Ra değerlerinin 15 m/dak kesme hızı için %14-34, 25 m/dak kesme hızı için %18-42, 35 m/dak kesme hızı için %24-41 aralığında değişen değerlerde arttığı belirlenmiştir.

Ra değerleri kesici takım geometrisi açısından değerlendirildiğinde, matkap uç açısının 120°'den 130°'ye çıkması ile 0,05 mm/dev ilerleme miktarı için Ra değerlerinde %5-21, 0,075 mm/dev ilerleme miktarı için %1-4 arasında azalma meydana gelmiştir. Ancak 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise yüzey pürüzlülüğünde %1-6 arasında değişen artışlar görülmüştür. Kesici takım uç açısının 120°'den 140°'ye artmasıyla, tüm kesme hızları için Ra değerlerinde 0,05 mm/dev ilerleme miktarında %4-14, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında %8-11, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise %6-14 arasında değişen azalma olmuştur.

Farklı geometriye sahip elmas kaplamalı WC kesici takımların tüm kesme parametrelerine göre elde edilen Ra değerleri değişimleri Şekil 5.21'deki grafiklerde gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar, kaplamasız WC ve TiAlNi kaplamalı WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar ile benzer eğilimdedir.



Şekil 5.21. Kesme parametrelerine bağlı olarak Ra değişimleri a) 120°, b) 130°, c) 140° (Elmas kaplamalı WC).

Elmas kaplamalı WC takımların farklı geometrilerinde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, artan kesme hızlarıyla beraber Ra değerlerinin 0,05 mm/dev ilerleme miktarında %3-17, 0,075 mm/dev ilerleme miktarında %3-13, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ise %8-13 arasında azaldığı tespit edilmiştir. Ancak 0,1 mm/dev ilerleme miktarlarında kesme hızının 25 m/dak' dan 35 m/dak' ya çıkmasıyla Ra değerlerinde %10-22 arasında artış gözlenmiştir. Bu sonucu daha önce bahsedildiği gibi elmas kaplamalı matkapların içerisinde bulundurduğu saf karbon ve titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda takım malzemeleri ile tepkimeye girme eğilimleri ile açıklamak mümkündür [86]. Bu durum takım üzerinde yapışmaya ve zamana bağlı olarak takım aşınmasının hızlanmasına sebep olmaktadır. En düşük Ra değeri, 140° uç açısına sahip kesici takım ile 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında 0,48 μm , en büyük Ra değeri ise 130° uç açısına sahip takım ile 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 35 m/dak kesme hızında 0,89 μm olarak elde edilmiştir.

0,05 mm/dev'den 0,075 mm/dev ilerleme miktarına olan artışlarda, her üç matkap uç açısı için 15 m/dak kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün %8-20, 25 m/dak kesme hızlarında %5-15, 35 m/dak kesme hızlarında %7-43 arasında artış gösterdiği belirlenmiştir. İlerleme miktarı 0,1 mm/dev seviyesine çıkarıldığında, Ra değerleri 15 m/dak kesme hızında %23-39, 25 m/dak kesme hızında %11-31, 15 m/dak kesme hızında %39-56 aralığında artış göstermiştir. Bu sonuçlar baz alındığında, Ti6Al4V alaşımının delinmesinde yüzey pürüzlülüğü açısından ilerleme miktarının Ra üzerinde en etkili parametre olduğu kanıtlanmıştır.

Elmas kaplamalı WC matkap için Ra değerleri uç açısına göre değerlendirildiğinde, takım uç açısının 120° den 130° ye çıkmasıyla 0,05 ve 0,075 mm/dev ilerleme miktarlarında 15 ve 25 m/dak kesme hızları için Ra değerlerinde %1-3 arasında azalma görülmektedir. Benzer eğilim uç açısının 140° 'ye çıkmasıyla %2-11'lik azalma şeklinde gerçekleşmiştir. Ancak diğer kesme hızı ve ilerleme miktarlarında artan uç açısı ile birlikte Ra değerlerinde artış görülmektedir. Matkap uç açısının 120° den 130° ye artmasıyla tüm delme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü %1-18 arasında, takım uç açısı 140° ye artırıldığında ise %4-19 arasında değişen miktarlarda artış göstermektedir.

Kesici takım kalitesine göre Ra değerleri incelendiğinde, en iyi değerler elmas kaplamalı WC, en kötü değerler ise TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile elde edilmiştir. Ti6Al4V alaşımının sahip olduğu kimyasal reaktivlik işleme esnasında malzemenin kesici takıma sıvanma eğilimine sebep olmaktadır [137]. Kesici takım üzerine yapışan talaş birikintileri kesici takım gibi davranmakta ve yüzey kalitesini düşürmektedir. Elmas kaplamalı WC matkaplarda ise düşük sürtünme katsayısından dolayı daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

5.2.4. Ti6Al4V Malzemeler İçin Deney Sonuçlarının Analizi

Deney sonuçlarının normalizasyonu işlemi için gri ilişki analiz yönteminin ilk işlemi olarak “en düşük-en iyi” yaklaşımı kullanılmıştır (Eş. 4.3). Deney çıktıları olarak analiz edilen itme kuvveti (Fz), ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve moment (Mz) değerlerinin düşük olması amaçlandığı için bu yaklaşım seçilmiştir. Normalizasyon

sonucu elde edilen değerler ile “Eş. 4.7” kullanılarak her bir dizi için elde edilen mutlak sapma değerleri Çizelge 5.5’te verilmiştir. Mutlak sapma değerleri kullanılarak gri ilişki katsayıları hesaplanmakta ve bu değerlerin maksimum olması için mutlak sapma değerlerinin minimum olması hedeflenmektedir. Çizelge 5.5 incelendiğinde, Fz, Ra ve Mz için en düşük mutlak sapma değerleri olan “0” değeri 21. deney dizilimi olan 140° uç açısı, 35 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarında elde edilmiştir. Deney dizilimleri için normalizasyon değerlerinin tespitinden sonra Eş. 4.6 kullanılarak her bir parametreye ait gri ilişki katsayı değeri tespit edilmiştir. Gri ilişki katsayı değerleri ve toplam gri ilişki derecesi ile en iyi deney sıralaması Çizelge 5.5’te görölmektedir. Deney diziliminde faktör olarak kesici takım uç açısı (P), ilerleme miktarı (f) ve kesme hızı (V) parametreleri kullanılmıştır.

Gri ilişki katsayılarının her bir dizisinde gri ilişki derecesini belirlemek için “Eş. 4.10” kullanılmıştır. Her bir faktörden gelen gri katsayılarının ortalama değeri o deney dizilimi için gri ilişki derecesini vermektedir. Deney dizilimleri incelendiğinde, en yüksek gri ilişki derecesi 0,999092 ile 21. deney dizilimi, en düşük gri ilişki derecesi ise 0,349095 ile 16. deney diziliminde elde edilmiştir. GİA sonuçları olarak sadece kaplamasız WC kesici takım için verilmiş olup (Çizelge 5.5) TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımların sadece GİD cevapları verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kaplamasız WC kesici takımlar için analiz sonuçları.

Den. No	P (°)	f (mm/dev)	V (m/dak)	Deney sonuçları			Normalize Değerler			Mutlak Sapma Değerler			Gri İlişki Katsayısı			GİD	Sıra
				Fz	Ra	Mz	Fz	Ra	Mz	Fz	Ra	Mz	Fz	Ra	Mz		
1	120	0,05	15	305,4	0,75	0,91	0,606143	0,632653	0,451613	0,393857	0,36735	0,54839	0,559374	0,576471	0,476923	0,537589	14
2	120	0,05	25	296,7	0,68	0,83	0,635836	0,77551	0,709677	0,364164	0,22449	0,29032	0,578594	0,690141	0,632653	0,633796	8
3	120	0,05	35	290	0,64	0,78	0,658703	0,857143	0,870968	0,341297	0,14286	0,12903	0,59432	0,777778	0,794872	0,722323	4
4	120	0,075	15	396,5	0,81	0,94	0,295222	0,510204	0,354839	0,704778	0,48980	0,64516	0,415014	0,505155	0,43662	0,452263	20
5	120	0,075	25	391	0,73	0,85	0,3	0,673469	0,645161	0,686007	0,32653	0,35484	0,421583	0,604938	0,584906	0,537142	15
6	120	0,075	35	376,5	0,67	0,83	0,363481	0,795918	0,709677	0,636519	0,20408	0,29032	0,43994	0,710145	0,632653	0,594246	9
7	120	0,1	15	483	0,99	1,03	0	0,142857	0,064516	1,000000	0,85714	0,93548	0,333333	0,368421	0,348315	0,350023	26
8	120	0,1	25	471	0,8	0,96	0,040956	0,530612	0,290323	0,959044	0,46939	0,70968	0,34269	0,515789	0,413333	0,423938	22
9	120	0,1	35	476,8	0,77	0,92	0,02116	0,591837	0,419355	0,978840	0,40816	0,58065	0,338103	0,550562	0,462687	0,45045	21
10	130	0,05	15	302	0,72	0,94	0,617747	0,693878	0,354839	0,382253	0,30612	0,64516	0,566731	0,620253	0,43662	0,541201	12
11	130	0,05	25	292,4	0,67	0,82	0,650512	0,795918	0,741935	0,349488	0,20408	0,25806	0,58859	0,710145	0,659574	0,65277	6
12	130	0,05	35	247,1	0,63	0,8	0,805119	0,877551	0,806452	0,194881	0,12245	0,19355	0,719548	0,803279	0,72093	0,747919	3
13	130	0,075	15	364,3	0,92	0,97	0,405119	0,285714	0,258065	0,594881	0,71429	0,74194	0,456671	0,411765	0,402597	0,423678	23
14	130	0,075	25	341,4	0,88	0,89	0,483276	0,367347	0,516129	0,516724	0,63265	0,48387	0,491776	0,441441	0,508197	0,480471	18
15	130	0,075	35	335	0,74	0,85	0,505119	0,653061	0,645161	0,494881	0,34694	0,35484	0,502573	0,590361	0,584906	0,55928	11
16	130	0,1	15	428,4	1,06	1,05	0,186348	0	0	0,813652	1,00000	1,00000	0,380618	0,333333	0,333333	0,349095	27
17	130	0,1	25	380,5	0,96	1,01	0,349829	0,204082	0,129032	0,650171	0,79592	0,87097	0,434718	0,385827	0,364706	0,395084	25
18	130	0,1	35	402,1	0,87	1,04	0,276109	0,387755	0,032258	0,723891	0,61224	0,96774	0,408533	0,449541	0,340659	0,399578	24
19	140	0,05	15	238,4	0,7	0,84	0,834812	0,734694	0,677419	0,165188	0,26531	0,32258	0,751668	0,653333	0,607843	0,670948	5
20	140	0,05	25	217,3	0,63	0,8	0,906826	0,877551	0,806452	0,093174	0,12245	0,19355	0,842923	0,803279	0,72093	0,789044	2
21	140	0,05	35	190,4	0,57	0,74	0,998635	1	1	0,001365	0,00000	0,00000	0,997277	1	1	0,999092	1
22	140	0,075	15	316,9	0,76	0,89	0,566894	0,612245	0,516129	0,433106	0,38776	0,48387	0,535845	0,563218	0,508197	0,535753	16
23	140	0,075	25	297,7	0,72	0,85	0,632423	0,693878	0,645161	0,367577	0,30612	0,35484	0,576318	0,620253	0,584906	0,593826	10
24	140	0,075	35	260,3	0,65	0,9	0,760068	0,836735	0,483871	0,239932	0,16327	0,51613	0,675738	0,753846	0,492063	0,640549	7
25	140	0,1	15	332	0,79	1,02	0,515358	0,55102	0,096774	0,484642	0,44898	0,90323	0,507799	0,526882	0,356322	0,463668	19
26	140	0,1	25	316,1	0,76	0,98	0,569625	0,612245	0,225806	0,430375	0,38776	0,77419	0,537417	0,563218	0,392405	0,49768	17
27	140	0,1	35	291,4	0,7	1	0,653925	0,734694	0,16129	0,346075	0,26531	0,83871	0,590964	0,653333	0,373494	0,539264	13

Ti6Al4V alaşım malzemesinin delinmesinde, delme parametrelerinin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla uygulanan Taguchi tabanlı gri ilişki analiz ile elde edilen GİD değerleri kullanılarak parametreler optimize edilmektedir. Bu bağlamda, deneyler sonucunda kaplamasız WC kesici takımlar ile elde edilen sonuçlara etki eden her bir parametre için seviye ve tepki miktarları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Faktörler için tepki değerlerinin maksimum olduğu seviye değerleri yapılan deneysel tasarım için optimum dizilimi vermektedir. P, f ve V faktörleri için optimum tepki değerleri sırasıyla, 0,6366, 0,6994 ve 0,6281 olarak P3f1V3 diziliminde elde edilmiştir. Dizilim sonucuna göre, kesici takım uç açısı $P=140^\circ$, ilerleme miktarı $f=0,05$ mm/dev ve kesme hızı $V=35$ m/dak değerlerinin optimum seviyeler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.6. Kaplamasız WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3	Delta
P	0,5224	0,5055	0,6366*	0,6171
f	0,6994*	0,5352	0,4299	0,2695
V	0,4805	0,556	0,6281*	0,1476
GİD ortalama değeri= 0,5548				

Çizelge 5.7’de TiAlN kaplamalı WC kesici takım için uygulanan gri ilişki analizi sonucunda elde edilen GİD tablosu verilmiştir. Optimum tepki değerleri, P, f ve V faktörleri için sırasıyla, 0,6505, 0,7418 ve 0,5982 olarak P3f1V3 diziliminde elde edilmiştir. Dizilim sonucuna göre, kesici takım uç açısı 140° , ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve kesme hızı 35 m/dak değerlerinin optimum seviyeler olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.7. TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3	Delta
P	0,4916	0,5505	0,6505*	0,1589
f	0,7418*	0,5291	0,4217	0,3202
V	0,5079	0,5865	0,5982*	0,0903
GİD ortalama değeri= 0,5642				

Elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerlere etki eden her bir parametre için seviye ve tepki miktarları Çizelge 5.8’ de verilmiştir. Faktörler için tepki değerlerinin maksimum olduğu seviye değerleri yapılan deneysel tasarım için optimum dizilimi vermektedir. P, f ve V faktörleri için optimum tepki değerleri sırasıyla, 0,5746, 0,7085 ve 0,5797 olarak P3f1V3 diziliminde elde edilmiştir. Dizilim sonucuna göre, optimum seviyeler kesici takım uç açısı 140°, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve kesme hızı 35 m/dak olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. Elmas kaplamalı WC kesici takımlar için GİD tepki tablosu.

Faktör	Seviye1	Seviye2	Seviye3	Delta
P	0,5227	0,5321	0,5746*	0,0519
f	0,7085*	0,5186	0,4022	0,3063
V	0,4875	0,5621	0,5797*	0,0922
GİD ortalama değeri= 0,5431				

Çizelge 5.6 - Çizelge 5.8’ e göre, kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen delme deneyleri sonucunda elde edilen değerlere GİA yöntemi uygulanarak optimum parametreler belirlenmiştir. Tüm kesici takım kaliteleri için optimum ilerleme miktarı 0,05 mm/dev, kesme hızı 35 m/dak ve kesici takım uç açısı 140° olarak elde edilmiştir. Bu sonuçların deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçlar ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

5.3. KFTK/Ti6Al4V İSTİFLİ MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ

Özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde, Titanyum gibi hafif metaller ve karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemelerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Fiber takviyeli plastikler ve metalik malzemelerin istifli olarak delinebilirliği süreci, farklı mekanik özelliklere sahip malzemelerin aynı anda delinmesi gereğinden dolayı çok zor bir işlemdir. Fiberlerin aşındırıcı ve kırılabilirlik özelliği kesici takımların kesme kenarında aşırı yuvarlatmaya ve hızlı aşınmaya neden olarak kesici takıma ciddi zararlar vermekte olup, işleme sırasında kesme kuvveti ve sıcaklıklarda artışlara sebep olmaktadır [5]. Özellikle yüksek sıcaklıklar ve yetersiz talaş tahliyesi,

izotropik ve homojen olmayan KFTK laminelerin işlenmesinde oluşan yüzeylerin bütünlüğünde hasara ve bozulmalara neden olmaktadır [1].

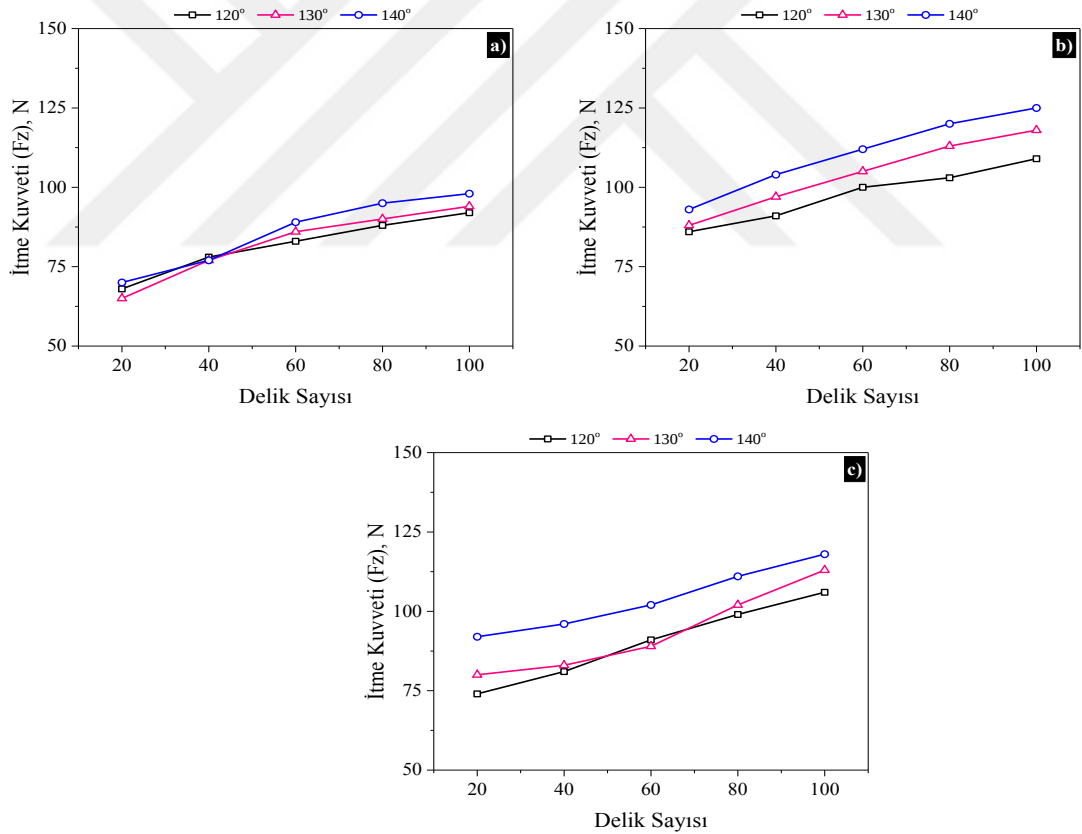
Bağlantı elemanlarıyla yapılan birleştirmelerde delikler, bağlantının vazgeçilmez bir parçası olduğundan yapının yorulma değerlerini etkilemektedir [138]. Dolayısıyla, delik delme işleminde kesici takım ve kesme parametrelerinin seçimi, açılan deliklerde istenilen ölçü ve yüzey kalitelerinin sağlanması ve işleme sırasında talaşların kolay tahliye edilmesi operasyonun verimliliği açısından çok önemlidir. Karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemelerin metaller ile istiflenmiş halde delinmesinde yaşanan güçlükler ve özellikle de katmanlı/laminer yapıdaki KFTK'larda katman kalkması (delaminasyon) problemini bertaraf edebilmek amacıyla teorik ve deneysel birçok araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada standard matkaplar ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen verilerin sektöre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Ön deney sonuçlarına uygulanan gri ilişki analizleri sonucunda elde edilen optimum kesme hızı ve ilerleme miktarı değerleri, KFTK malzeme için 60 m/dak ve 0,05 mm/dev, Ti6Al4V için 35 m/dak ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı matkaplar için performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. İstifli delme işlemi sürecinde, alt katmanda bulunan Ti6Al4V malzemesinin delinmesi sırasında çok fazla ısı oluştuğu [139] ve talaşın tahliyesi sırasında KFTK malzemedeki açılan delik yüzeyinden geçen metal talaşlarının KFTK katmanları ve delik yüzey bütünlüğünde hasara ve bozulmalara neden olduğu görülmüştür. Bu olumsuzların meydana gelmesinde, yüksek kesme hızına bağlı olarak sıcaklığın artması ve Ti6Al4V alaşımının ısı iletim katsayısının düşük olması büyük pay sahibidir [86]. Bu sebeple Ti6Al4V alaşımı için GİA sonucunda elde edilen 35 m/dak kesme hızı değerinin kullanılmasının, KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde istenilen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı açısından mümkün gözükmeyeceği tespit edilmiştir. Bu sebeple, KFTK/Ti6Al4V istifli malzemenin delinmesinde sürecinde Ti6Al4V için kesme hızı olarak 15 m/dak tercih edilmiştir. Kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımların kuru kesme şartlarında performanslarını karşılaştırmak amacıyla her bir deney şartı için açılan 100 delik üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.



5.3.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'teki grafikler KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin kuru işleme şartlarında kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla delik sayısına göre elde edilen itme kuvveti değişimlerini göstermektedir. KFTK ve Ti6Al4V malzemeler için itme kuvveti (F_z) ayrı ayrı değerlendirilmiş olup kesici takım performans deneyleri 100 delik üzerinden gerçekleştirilmiştir. Artan delik sayısı ile birlikte F_z değerlerinde artış eğilimi olduğu görülmektedir. İtme kuvvetlerindeki artış, delik sayısındaki artışa göre oransal olarak muhtemel takım aşınmasının oluşmasıyla kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesi ve kesici takım üzerine gelen yüklerin artmasına atfedilebilir.

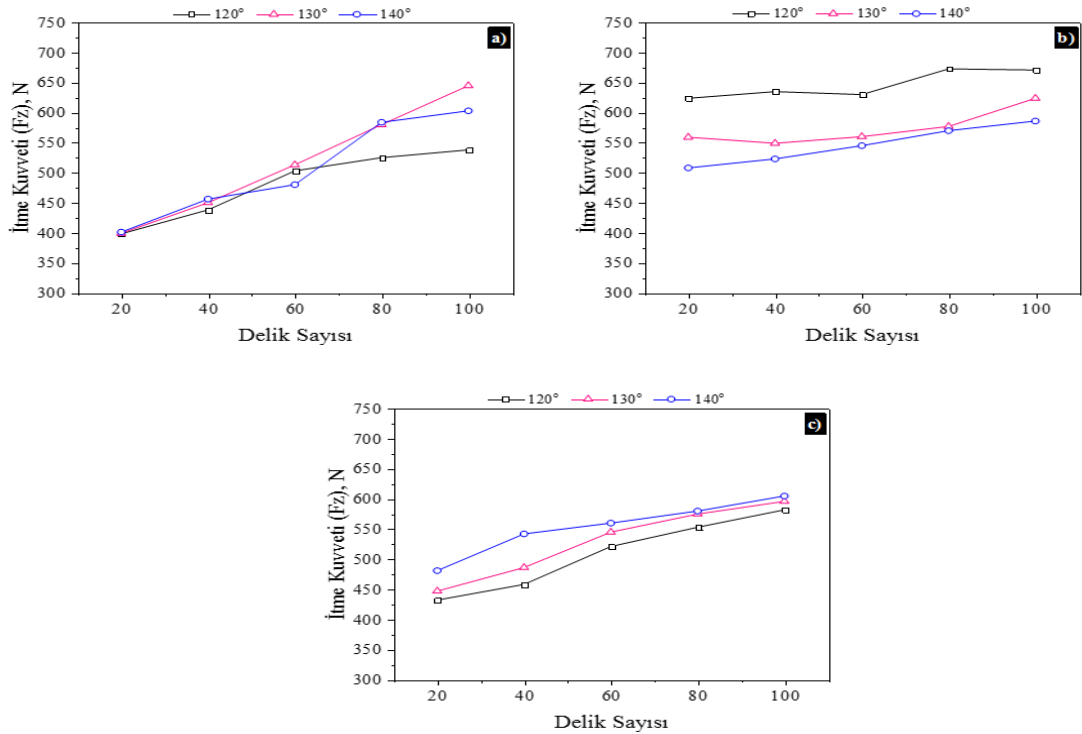


Şekil 5.22. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre F_z değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

KFTK malzemenin kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla delinmesinde oluşan itme kuvveti değişimleri Şekil 5.22'de verilmiştir. İtme

kuvvetleri artan delik sayısı ile birlikte artış göstermiştir. 20. delikler üzerinden Fz değerleri incelendiğinde, TiAlN ve elmas kaplamalı matkaplarda en düşük itme kuvveti 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. Kaplamasız WC kesici takım için en düşük Fz değeri, 130° uç açısına sahip kesici takımda görülmektedir. 100. delik üzerinden itme kuvvetleri değerlendirildiğinde, en düşük itme kuvvetleri 120° , en yüksek itme kuvvetleri ise 140° uç açısına sahip kesici takımlarda elde edildiği tespit edilmiştir.

Kaplamasız WC matkap için itme kuvveti değerlendirildiğinde, delik sayısının 20 den 100'e artmasına bağlı olarak 120° , 130° ve 140° uç açısında, Fz değerlerinde sırasıyla %35, %41 ve %44 oranında artış belirlenmiştir. İtme kuvvetlerindeki bu artışlar, aynı şartlarda TiAlN kaplamalı WC matkap için sırasıyla %26, %33 ve %35 oranında olurken, elmas kaplamalı WC matkapta ise sırasıyla %43, %41 ve %28 oranında hesaplanmıştır. Fz değerlerinde en fazla ortalama artış miktarı kaplamasız WC takımlarda, en az artış miktarı ise TiAlN kaplamalı kesici takımlarda elde edilmiştir.

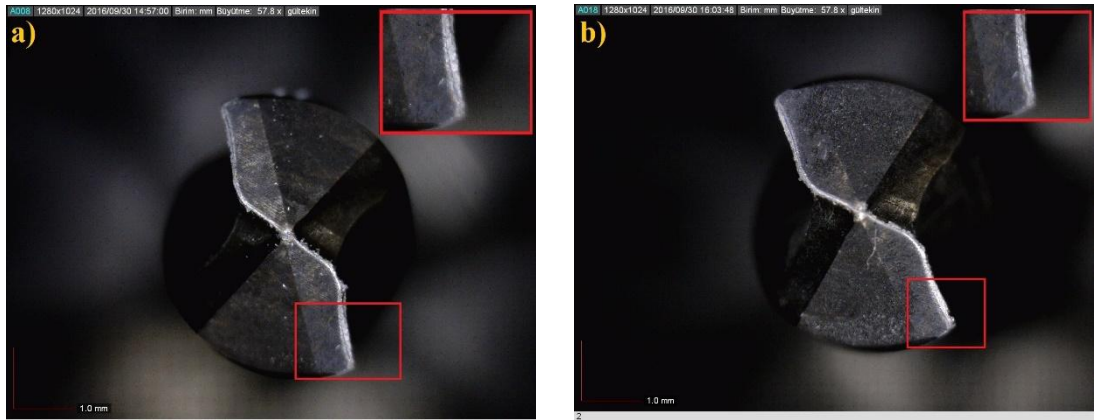


Şekil 5.23. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre Fz değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

Şekil 5.23’da, Ti6Al4V malzemesinin kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC kesici takımlarla delinmesinde oluşan itme kuvveti değişimleri gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde, itme kuvvetlerinin artan delik sayısı ile birlikte arttığı görülmektedir. 20. delikler üzerinden itme kuvvetleri değerlendirildiğinde, kaplamasız WC ve elmas kaplamalı kesici takımlarda en düşük itme kuvveti 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. TiAlN kaplamalı WC kesici takım için en düşük değer 140° uç açısına sahip kesici takımda ölçülmüştür. Bu sonuç, TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen ön deneylerde Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde elde edilen itme kuvvetleri (Şekil 5.20) ile benzer eğilimdedir.

Ti6Al4V malzemesi için 20-100. delik arasındaki itme kuvveti değişimleri matkap kalitesine göre değerlendirildiğinde, kaplamasız WC takımlar için, delik sayısının 20’den 100’e çıkmasıyla birlikte 120° , 130° ve 140° uç açısında Fz değerleri sırasıyla, %34, %61 ve %50 oranında artış göstermiştir. İtme kuvvetlerindeki bu değişimler TiAlN kaplamalı WC takımlar için sırasıyla %8, %12 ve %14 oranında olup elmas kaplamalı WC takımlarda ise Fz’deki artış oranları sırasıyla %34, %32 ve %25 olarak artış sergilemiştir.

140° uç açısına sahip kaplamasız WC kesici takım ile gerçekleştirilen deneylerde delik sayısının 60’ dan 80’ e çıkmasıyla itme kuvvetinde ani bir artış görülmektedir. Şekil 5.24’te verilen 80. delik makro görüntüsünden de anlaşılacağı gibi matkap kesici kenarında oluşan çatlama nedeniyle itme kuvvetinin arttığı belirlenmiştir.



Şekil 5.24. Kaplamasız WC kesici takımların delik makro görüntüleri a) 60, b) 80.

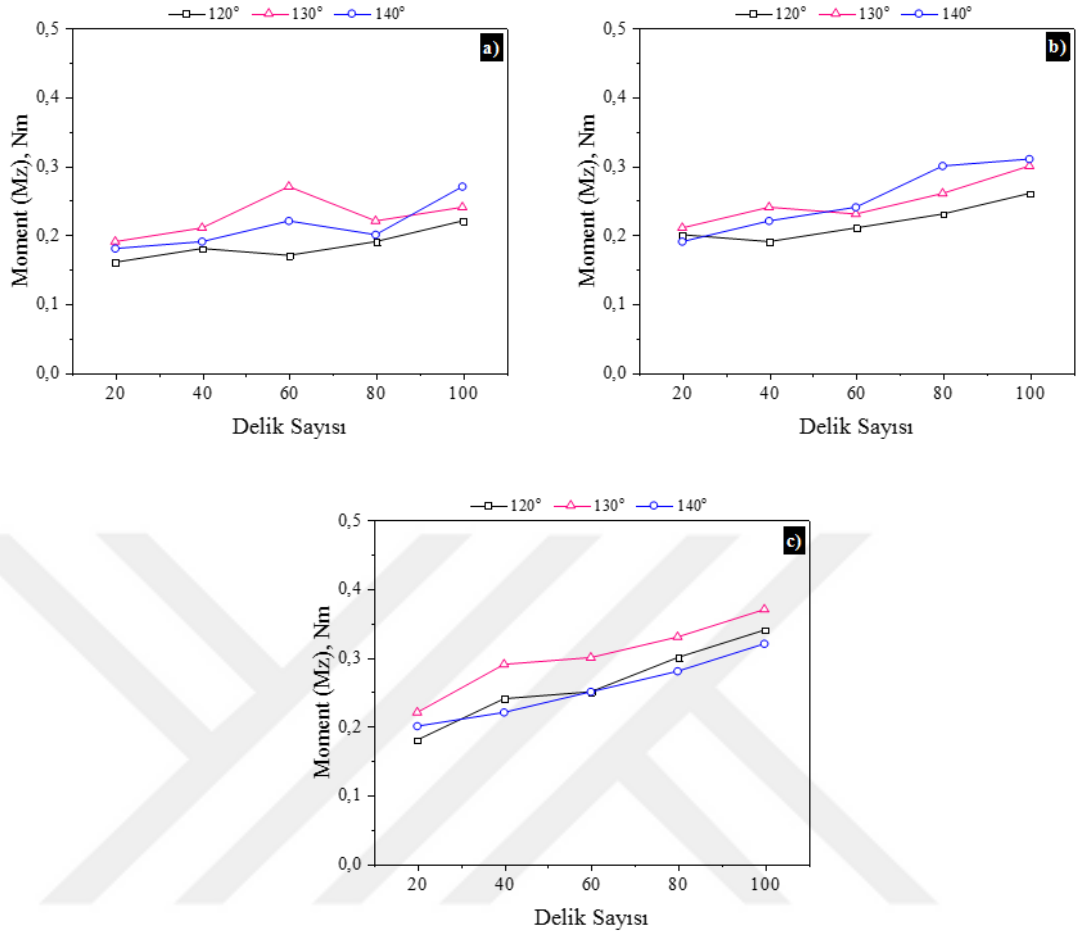
KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde itme kuvvetlerine göre matkap kaliteleri değerlendirildiğinde, delik sayısının artmasıyla itme kuvvetinde artışların en fazla kaplamasız WC matkapta olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, takımlarda oluşan aşınma miktarları ölçülmemesine rağmen en kötü performansın kaplamasız WC takımında olduğu sonucu çıkarılabilir. TiAlN kaplamalı kesici takımlarda, itme kuvvetlerinin delik sayısına göre çok fazla değişim sergilemediği ancak, Fz değerlerinin elmas kaplamalı WC takıma göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonucun esas nedeni olarak, elmas kaplamalı takımın düşük sürtünme katsayısına sahip olması söylenebilir (Çizelge 4.5). Diğer yandan, elmas kaplamalı WC kesici takımlarda TiAlN kaplamalı takımlara göre itme kuvvetlerinde meydana gelen ortalama artış miktarı daha fazladır. Bu durumu titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta takım malzemeleri ile reaksiyona girme eğilimiyle açıklamak mümkündür [86]. Elmas kaplamalı kesici takımlar iyi bir aşınma direncine sahiptir, ancak yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık dayanımı düşük olduğundan yapısında bulunan karbonların çözünerek takıma yapışmasına [140], bu durum takım üzerinde kaplama kalkmasına neden olarak takım aşınmasını hızlandırmaktadır. Bu sebeple, delik sayısının artmasıyla birlikte artan yüksek sıcaklıklar elmas kaplama ile Ti6Al4V malzemenin kimyasal tepkimeye girme [140] sürecini hızlandırmakta ve böylece adhesive aşınma mekanizmasının oluşumuna bağlı olarak itme kuvvetlerinin arttığı düşünülmektedir.

5.3.2. Momentin Değerlendirilmesi

Delme işlemlerinde momentin belirlenmesinde en önemli kuvvetin itme kuvveti (Fz) olduğu düşünülürse, moment değişiminin itme kuvvetine paralel olarak değişeceği açıktır. Bunun yanı sıra (radyal kuvvet ve kesme kuvveti) kuvvetleri ile sürtünme kuvvetinin de etkilerini görebilmek için delme deneylerinde momentin değerlendirilmesi önemlidir [77].

Kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla farklı takım geometrisi kullanılarak delik sayısına göre elde edilen moment değerlerinin değişimleri aşağıdaki grafiklerde (Şekil 5.25 ve Şekil 5.27) gösterilmektedir. Moment değerleri KFTK ve Ti6Al4V malzemeler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

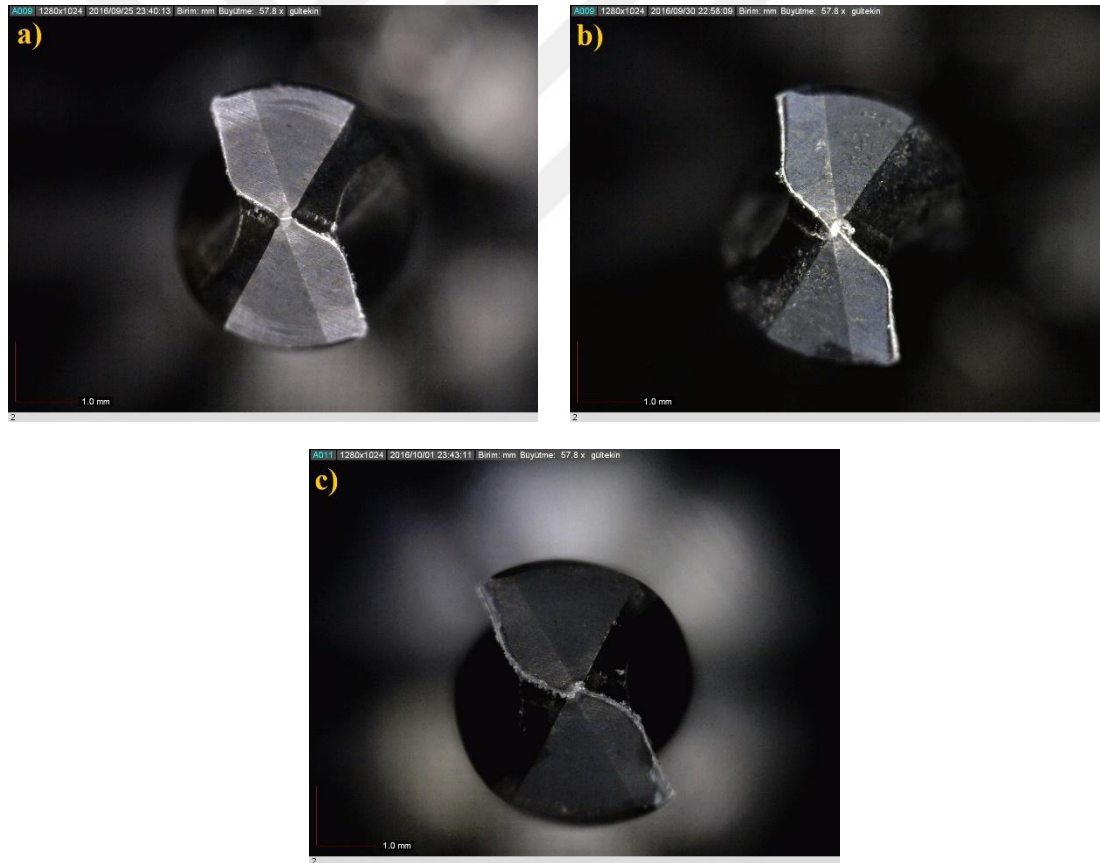
Grafikler incelendiğinde, itme kuvvetlerinde olduğu gibi delik sayısının artmasıyla moment değerlerinde de artış eğilimi olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde bu sonuçlar paralellik göstermektedir [141,142]. Artan delik sayısıyla birlikte kesici takımın aşınma eğilimine girmesiyle birlikte ana kesici kenar radyüsünde artışa neden olmaktadır. Böylece takım-işparçası temas alanı artarak ve talaş oluşumu için gerekli olan moment değeri de artmaktadır [143]. Bazı deneylerde moment değerlerinde azalma görülmekte olup, bu azalmayı talaş oluşum süreci ile açıklamak mümkündür. KFTK'nın işlenmesi sırasında matris parçalanması ve/veya fiber kırılmalarına bağlı olarak talaşın tahliyesinde düzensizlikler olabilmektedir [6]. Moment değerindeki bu azalmalar, homojen plastik deformasyonun olmadığı kompozit malzemenin delinmesinde talaş tahliyesinin daha düzenli olmasına atfedilmektedir. Ti6Al4V malzemenin delinmesinde oluşan momentin delme parametrelerine göre değişimleri benzer eğilimdedir. Genel olarak delik sayısının artmasıyla moment değerlerinde artış olurken, bazı deneylerde Mz değerlerinde küçük miktarlarda azalmalar olduğu görülmektedir. Mz değerlerinde gözlemlenen azalma, büyük oranda talaş tahliyesinin daha kolay olması, kısmen de artan delik sayısıyla birlikte kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık artışına bağlı olarak malzeme akma mukavemetinin düşmesine bağlı talaş oluşumuna atfedilebilir.



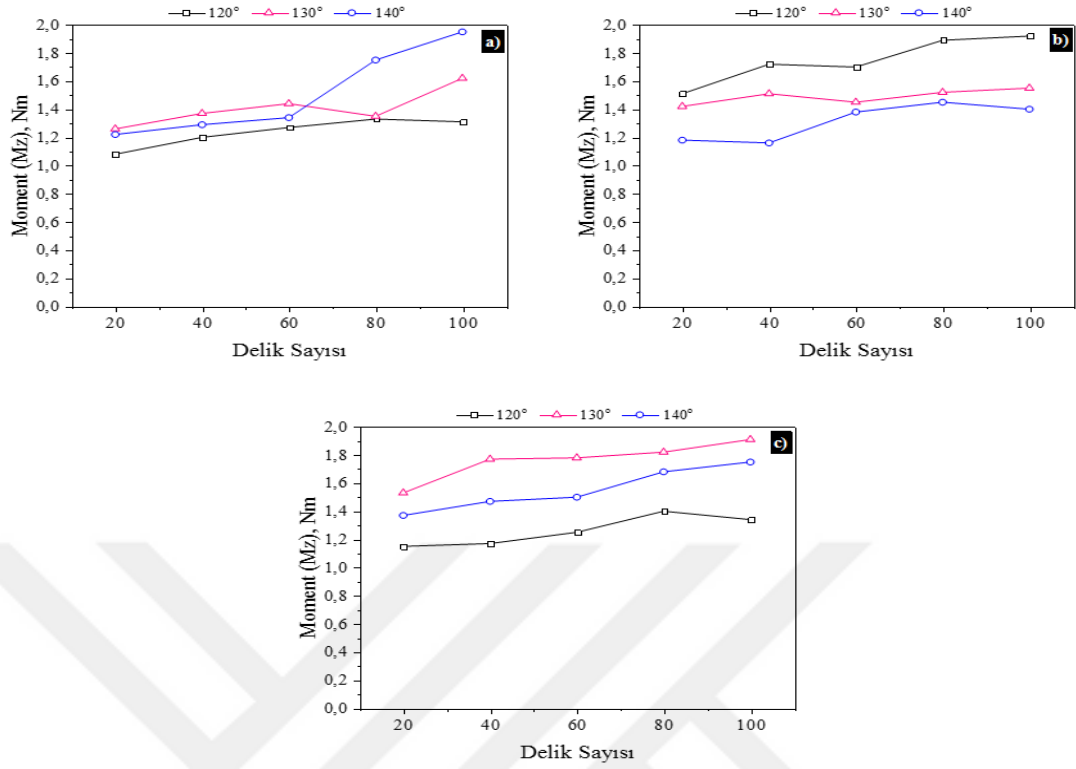
Şekil 5.25. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre M_z değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

Şekil 5.25'te KFTK malzemenin delinmesinde oluşan moment değişim grafikleri verilmiştir. Matkap kalitelerinin hepsinde, delik sayısının artmasıyla birlikte moment değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 20. delikler üzerinden M_z değerlendirildiğinde, kaplamasız WC ve elmas kaplamalı kesici takımlarda en düşük moment değeri 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. TiAlN kaplamalı kesici takım için ise en düşük değer 140° uç açısına sahip kesici takımda görülmektedir. 100. delik üzerinden momentler değerlendirildiğinde, en düşük moment değerleri kaplamasız WC ve TiAlN kaplamalı kesici takımlar için 120° , en yüksek moment değeri ise 140° uç açısına sahip kesici takımlarda elde edilmiştir. Elmas kaplamalı WC takım için en düşük moment değeri 140° , en yüksek değer ise 130° uç açısına sahip matkaplar ile elde edilmiştir.

Kaplamasız WC matkap için moment değişimleri, delik sayının (20'den 100'e) artmasıyla 120°, 130° ve 140° uç açısında sırasıyla, %38, %26 ve %50 oranında artış göstermektedir. Moment değerlerindeki artışlar, TiAlN kaplamalı takımlar için sırasıyla %30, %42 ve %63 oranında olurken elmas kaplamalı takımlarda bu artış oranları sırasıyla %88, %68 ve %60 şeklinde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre, en fazla ortalama artış miktarı elmas kaplamalı matkaplarda, en az artış miktarı ise kaplamasız WC matkaplarda elde edilmiştir. Bu durum, Şekil 5.32' de verilen matkap makro fotoğraflarından görülebileceği gibi, kaplamalı kesici takımlarda kesici kenar radyüsünün büyük olmasına bağlı olarak takımın keskinliğinin azalması ve dolaylı olarak talaş oluşturmak için gerekli güç miktarının artmasıyla açıklanabilir.



Şekil 5.26. Kesici takımların 100. delik makro görüntüleri (120°) a) Kaplamasız, b) TiAlN kaplamalı ve c) Elmas kaplamalı WC.



Şekil 5.27. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre Mz değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

Kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla 100 delik üzerinden gerçekleştirilen delme işlemlerinin moment değişimleri Şekil 5.27’de gösterilmektedir.

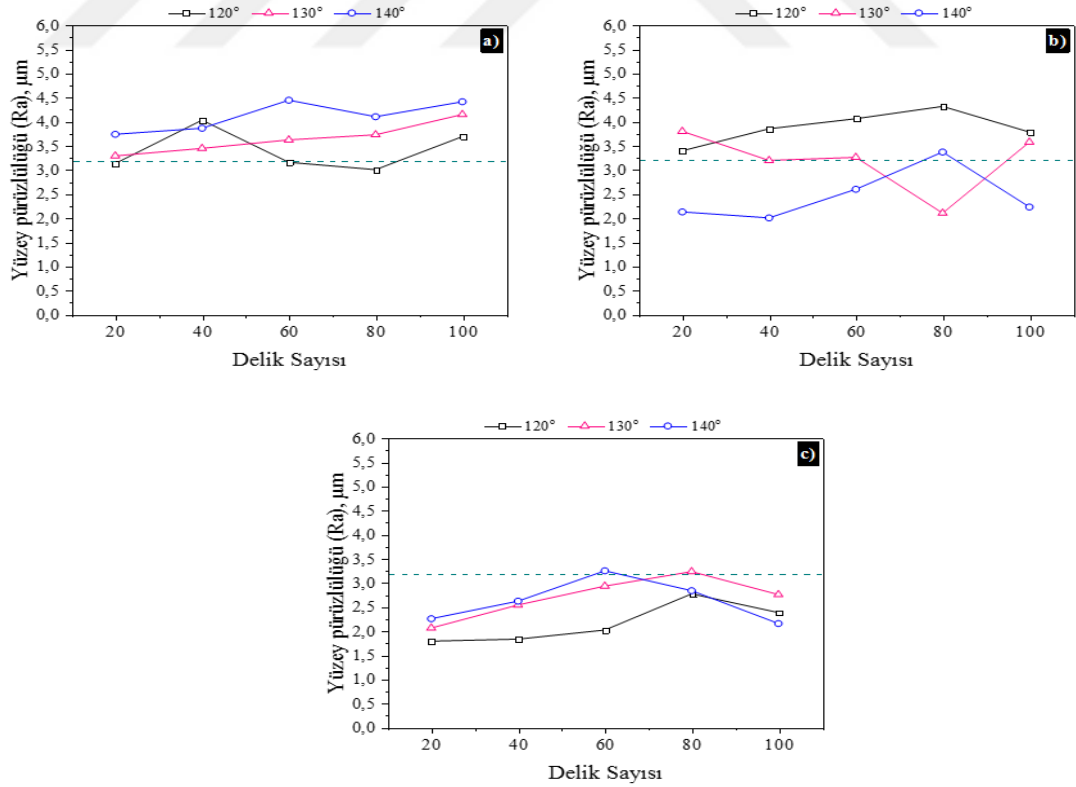
Moment değerleri artan delik sayısı ile birlikte artış eğilimi göstermektedir. 20. delikler üzerinden değerlendirildiğinde kaplamasız WC ve elmas kaplamalı WC kesici takımlarda en düşük itme kuvveti 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. Ancak TiAlN kaplamalı WC kesici takım için en düşük değer 140° uç açısına sahip kesici takımlarda tespit edilmiştir. Bu sonuç, TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen ön deneylerde Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde elde edilen itme kuvvetleri (Şekil 5.14) ile benzer eğilimdedir.

Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde kaplamasız WC takımlar için moment değişimleri; delik sayısının 20’den 100’e artmasına bağlı olarak 120° , 130° ve 140° uç açısı için sırasıyla %21, %28 ve %60 oranında artış göstermektedir. Moment

değerlerindeki bu değişimler, TiAlN kaplamalı takımlar için sırasıyla %27, %10 ve %18, elmas kaplamalı takımlarda ise %16, %24 ve %27 oranındaki artışlar şeklinde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre en fazla artış miktarı kaplamasız WC takımlarda, en az artış miktarı ise TiAlN kaplamalı WC kesici takımlarda elde edilmiştir. 140° uç açısına sahip kaplamasız WC kesici takım ile 60. delikten sonraki delme işlemlerinde moment değerinin daha fazla arttığı görülmektedir. Bu durum, itme kuvvetinin değerlendirilmesinde açıklandığı gibi kesici takım kenarında meydana gelen çatlama aşınması ve buna bağlı oluşan talaş oluşumuna atfedilmektedir (Şekil 5.24).

5.3.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlarla kuru işleme şartlarında delik sayısına göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimleri KFTK ve Ti6Al4V malzemeleri için sırasıyla Şekil 5.28 ve Şekil 5.34'te gösterilmektedir.

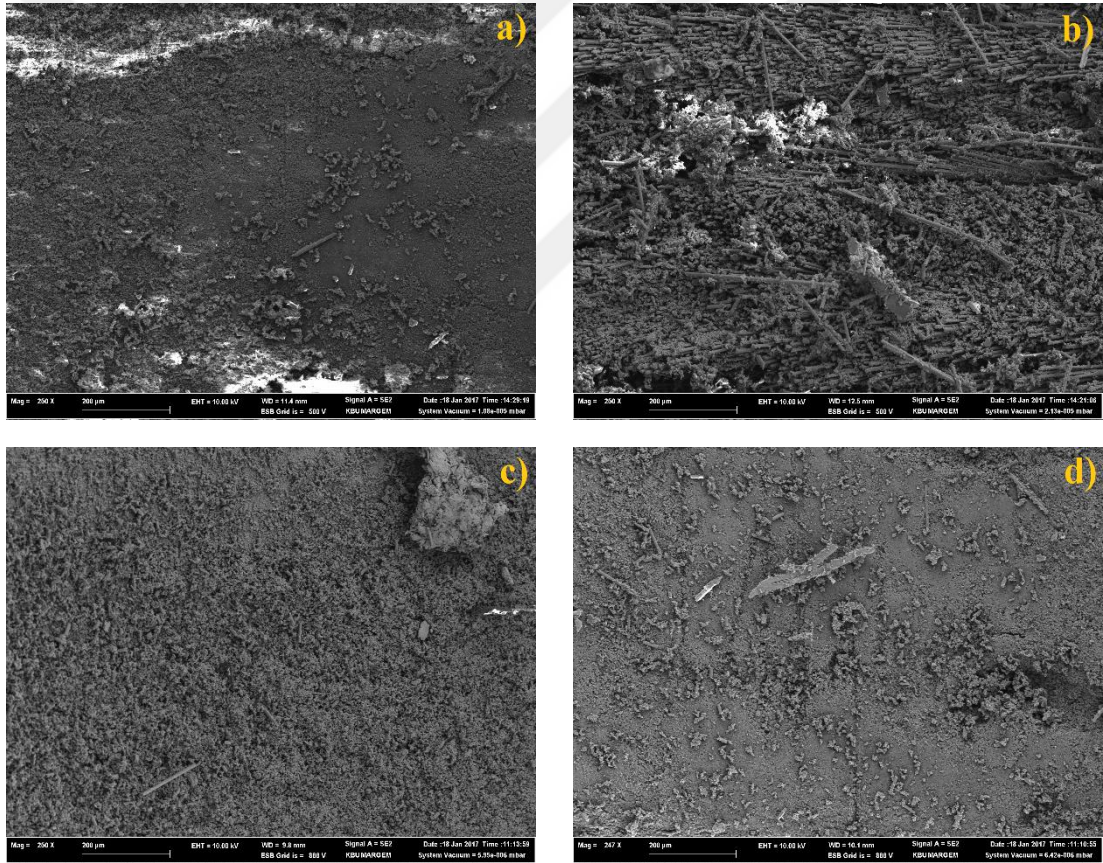


Şekil 5.28. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre Ra değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

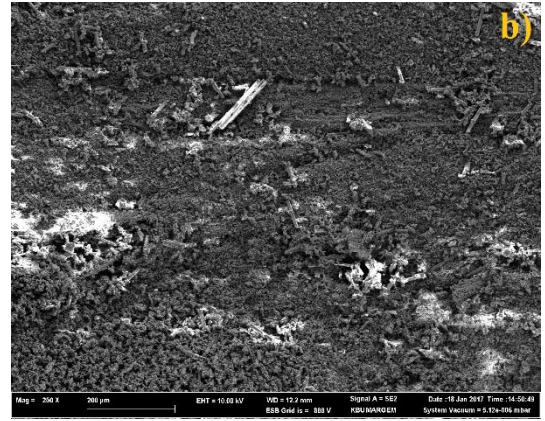
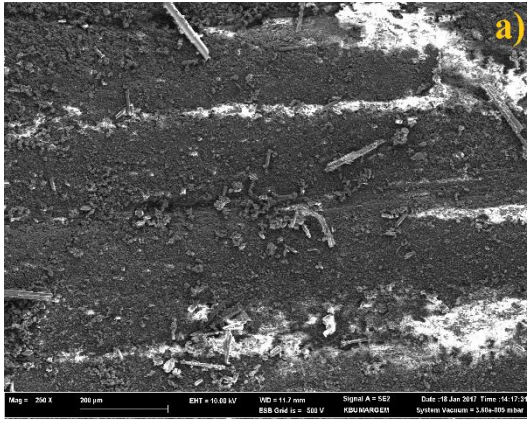
Şekil 5.28’den görülebileceği gibi, kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlar için yüzey pürüzlülüğü değişimleri benzer eğilimde olup, KFTK malzemelerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri oldukça yüksektir. Titanyum ve alaşımlarının ısı iletim katsayısının düşük olması, bu malzemelerin işlenmesi sırasında yüksek ısı ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [135]. Aynı zamanda, yüksek sıcaklıklar izotropik ve homojen olmayan KFTK malzemelerin işlenen yüzeylerinde oluşan hasarların artmasına neden olmaktadır [1]. Bu bağlamda, KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde, gagalama yöntemi kullanılmasına rağmen, titanyum alaşımının delinmesinde oluşan yüksek sıcaklıktaki talaşların tahliyesi sırasında KFTK malzemenin delik yüzeylerinden geçerken fiber kopması, matris parçalanması ve fiber-matris ara yüzeyinde boşluklar oluşturarak kötü yüzey pürüzlülüğüne sebep olduğu düşünülmektedir. Bu olumsuzluklar, delme parametrelerinin seviyelerine göre değişen talaş oluşumuna bağlı olarak değişim göstermiştir. Bu sebeple, Ra değerlerinde düzensizlikler görülmektedir (Şekil 5.28). Diğer yandan, havacılık sektöründe KFTK malzemelerin metal istiflerle delinmesinde beklenen yüzey pürüzlük sınır değeri 3,2 μm olarak kabul edilmektedir [143]. Bu sınır değer göz önüne alındığında, en iyi sonuçlar elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilmiştir. Elmas kaplamalı ve kaplamasız WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerde en düşük Ra değerleri 120° uç açısına sahip kesici takımlarda ölçülmüştür.

Kaplamasız WC kesici takım için 120° uç açısında 40 ve 100. deliklerde Ra değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 5.28a). Ra değerlerinde meydana gelen bu artışlar, delme sırasında oluşan sıcaklık artışıyla birlikte, matris malzemesinin parçalanması, delik yüzeylerine talaş yapışması ve fiber-matris ara yüzey boşluklarının oluşumu ile açıklamak mümkündür (Şekil 5.29). Benzer bir artış eğilimi 140° uç açısına sahip kesici takımda, 40 ve 60. delik sonrası oluşan delik yüzeylerinin pürüzlülük ölçümünde tespit edilmiştir. Bu artışların nedeni olarak, yüksek sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen fiber kopması ve matris parçalanması sonrası talaş tahliyesinin düzensiz olması gösterilebilir. Şekil 5.30’da verilen SEM görüntülerinden anlaşılabileceği gibi, kopan fiber yada matris parçacıkları (kalıntılar) delik yüzeyine yapışarak pürüzlülüğün artmasına neden olmuştur. 140° uç açısına sahip TiAlN kaplamalı WC kesici takımlarda elde edilen 80 ve 100. deliklerde

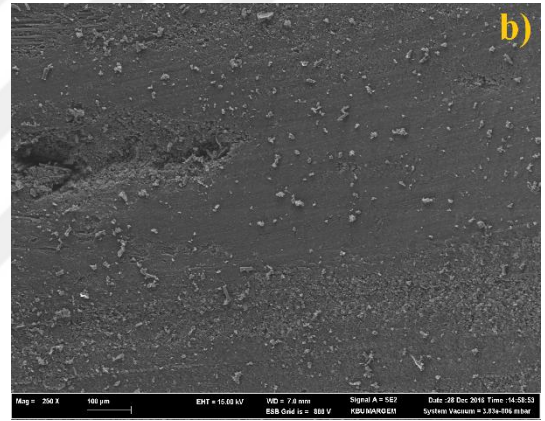
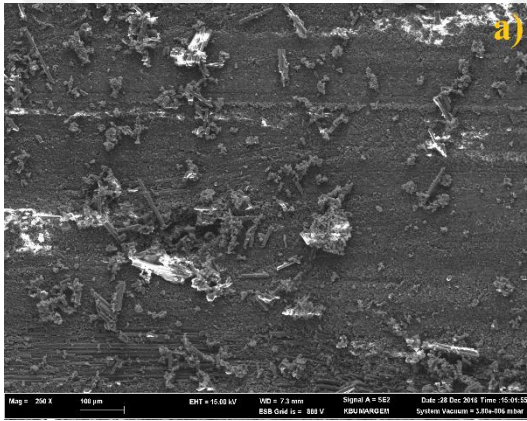
meydana gelen Ra değişimleri Şekil 5.31’de verilen SEM görüntüleri yardımıyla açıklanabilir. 80. delik için Ra değerinin artış nedeni delik yüzeyine yapışan kalıntılar olurken, 100. delikte muhtemelen sıcaklığın çok fazla yükselmesi sonucunda matris malzemesinin eriyerek delik duvarlarına sıvanmasıyla pürüzlülük azalmıştır. Aynı kalitedeki matkap için benzer bir durum 130° uç açısına sahip kesici takım ile elde edilen 80. ve 100. deliklerde meydana gelmiştir (Şekil 5.32). Elmas kaplamalı WC matkap için 140° uç açısına sahip kesici takım ile 60. delik yüzeyinde benzer bir sonuç meydana gelmiş olup, SEM görüntüsünden (Şekil 5.33) anlaşılacağı üzere delik yüzeyine yapışan fiber ve/veya matris kalıntılarının Ra değerini artırdığı düşünülmektedir.



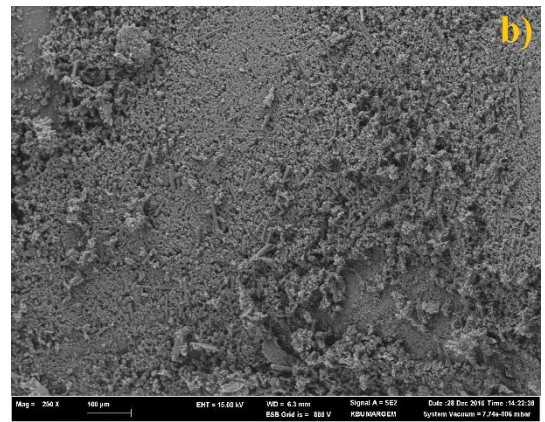
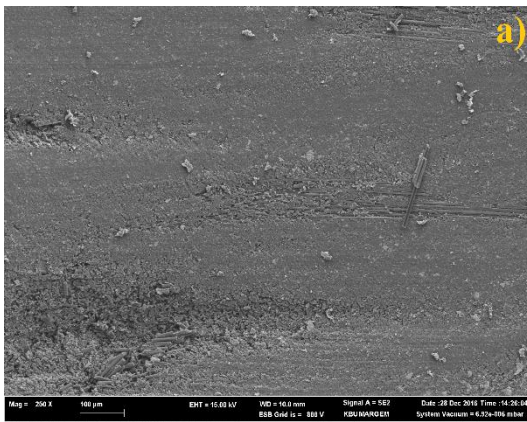
Şekil 5.29. 120° uç açılı kaplamasız WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) 20., b) 40., c) 80., d) 100.



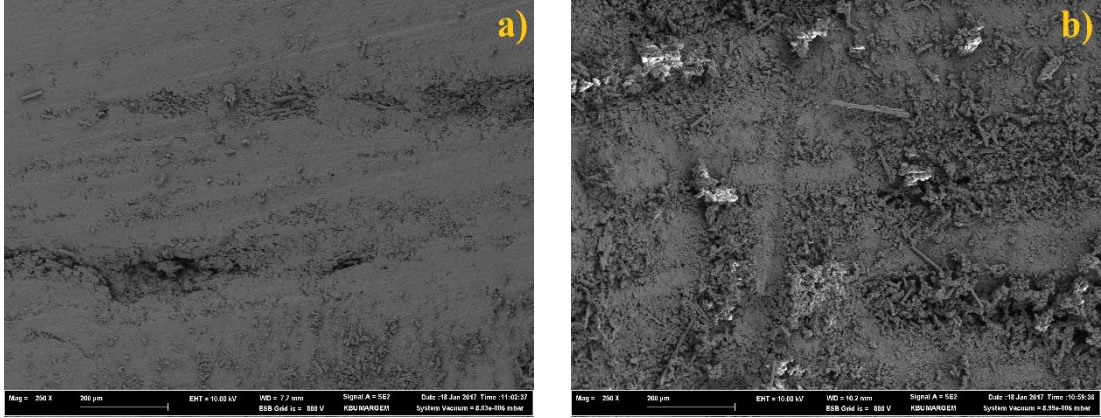
Şekil 5.30. 140° uç açılı kaplamasız WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) 40., b) 60.



Şekil 5.31. 140° uç açılı TiAlN kaplamalı WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) 80., b) 100.

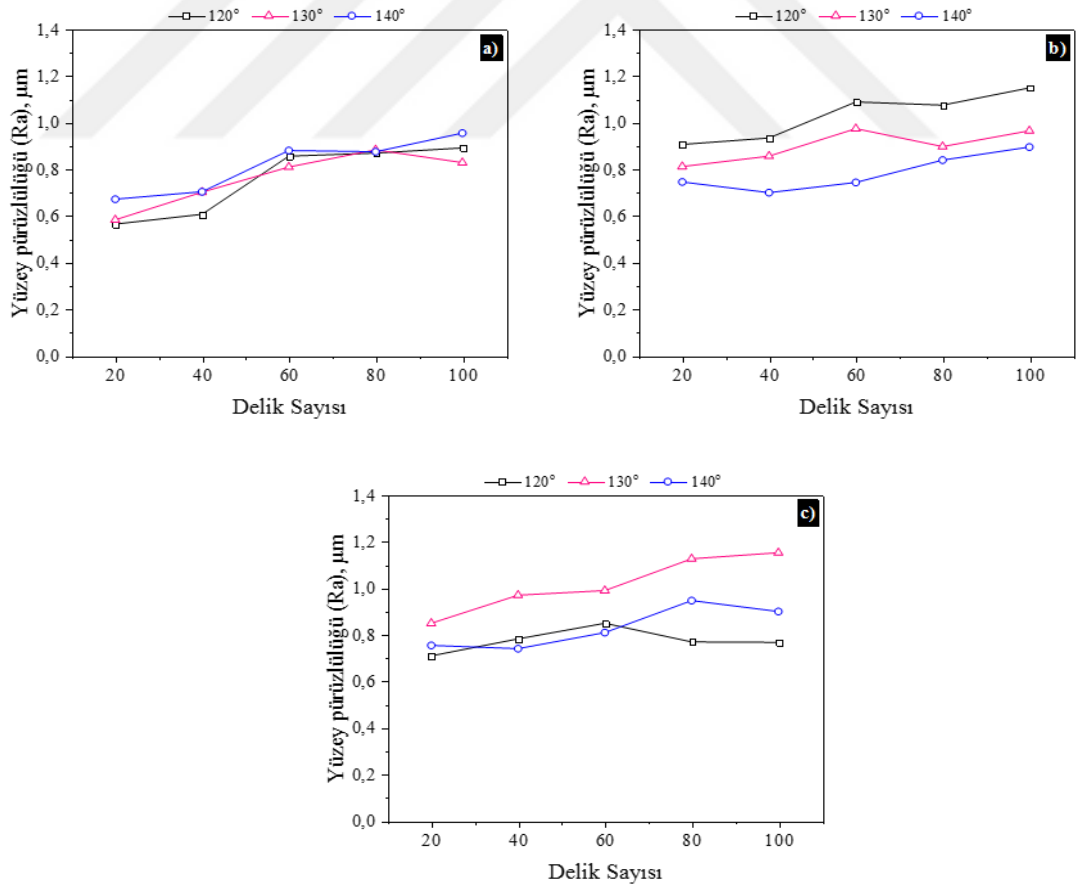


Şekil 5.32. 130° uç açılı TiAlN kaplamalı WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) 80, b) 100.



Şekil 5.33. 140° uç açılı elmas kaplamalı WC matkap için KFTK malzemelerin delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) 40., b) 60.

Kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değişimleri Şekil 5.34'te verilmiştir.



Şekil 5.34. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre Ra değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

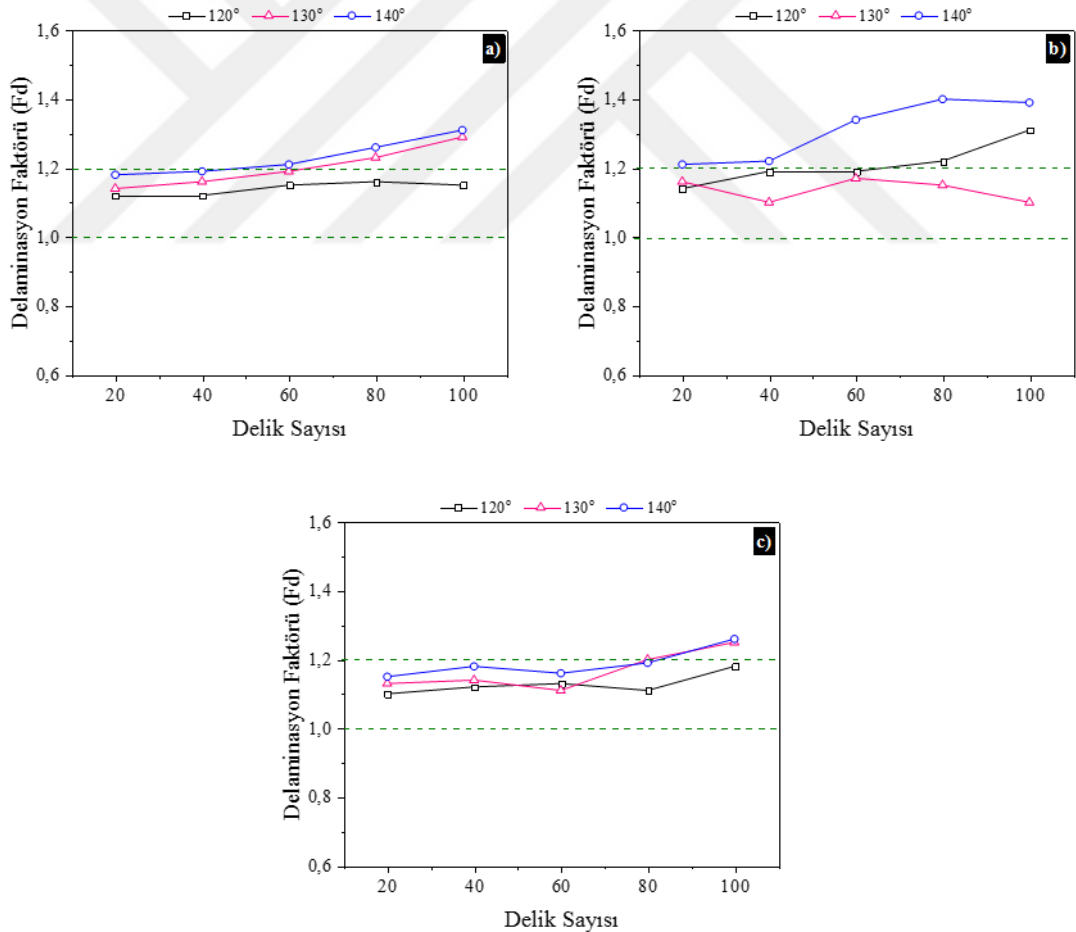
Şekil 5.34'ten görülebileceği gibi, Ra değerleri artan delik sayısı ile birlikte artış eğilimi göstermektedir. 20. delikler üzerinden Ra değerlendirildiğinde, kaplamasız ve elmas kaplamalı WC kesici takımlar için en düşük Ra değerleri 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. Ancak TiAlN kaplamalı WC kesici takım için en düşük Ra değerleri 140° uç açısına sahip kesici takımla elde edilmiştir. KFTK/Ti6Al4V istiflerinin delinmesinde Ti6Al4V için en yüksek Ra değeri 130° uç açısına sahip elmas kaplamalı WC kesici takım ile 100. delikte elde edilmiştir. 100. delik kesici takım görüntüleri incelendiğinde, kesici takımda oluşan dış köşe aşınması ve kaplama kalkması pürüzlülük değerinin artmasının sebebi olarak gösterilebilir. En düşük Ra değeri 120° uç açısına sahip kaplamasız WC kesici takımlar ile 20. delikte yapılan deney sonrasında ölçülmüştür.

Ti6Al4V malzemesinin delinmesinde kaplamasız WC takımlar için yüzey pürüzlülüğü değişimleri; delik sayısının 20'den 100'e artmasıyla, 120° , 130° ve 140° uç açısında sırasıyla, %57, %42 ve %43 oranında artış göstermiştir. Ra değerlerindeki bu değişimler TiAlN kaplamalı WC takımlar için sırasıyla ortalama %26, %18 ve %20, elmas kaplamalı WC takımlarda ise sırasıyla %12, %35 ve %19 oranında artış şeklinde tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; en fazla ortalama artış miktarı kaplamasız WC takımlarda, en az artış miktarı ise TiAlN kaplamalı WC kesici takımlarda elde edilmiştir. Kaplamalı matkaplar ile elde edilen Ra değerlerinin kaplamasız WC matkapla elde edilen değerlere göre düşük olması, kaplamalı takımların düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları ile açıklamak mümkündür [144]. 20 delik üzerinden değerlendirilen yüzey pürüzlülük değerleri için bazı aralıklarda düşüşler görülmektedir. Bu düşüşler, artan sıcaklık değerine bağlı olarak malzemenin akma mukavemetinin düşmesiyle birlikte yüzey kalitesinde iyileştirme sağlamasıyla açıklanabilir [119].

5.3.4. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi

Şekil 5.35 ve Şekil 5.38'deki grafiklerde, kaplamasız, TiAlN ve elmas kaplamalı WC kesici takımlarla kuru işleme şartlarında delik sayısına göre elde edilen delaminasyon faktörü değişimleri gösterilmektedir. Delaminasyon faktörü (F_d), KFTK malzemelerin işlenmesi esnasında meydana gelen en önemli hasardır. Özellikle

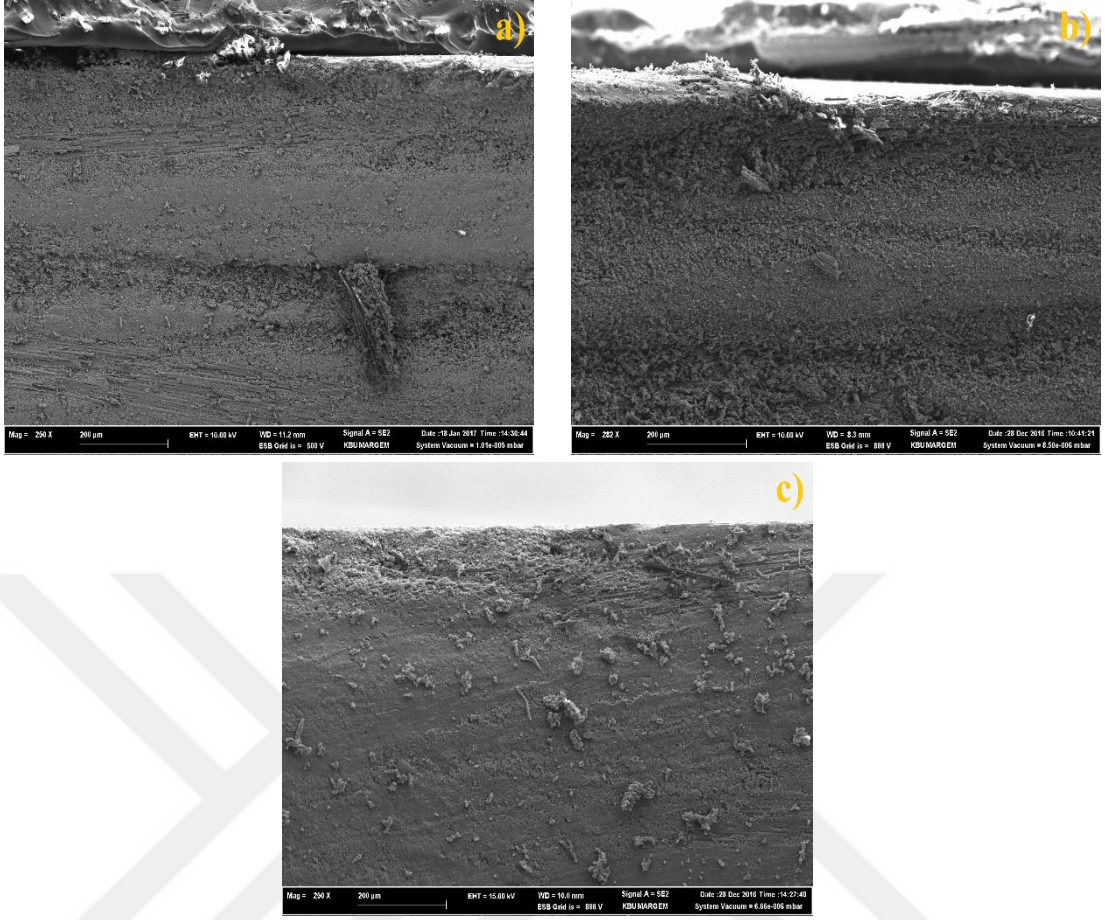
kompozitlerin delinmesi sırasında, iş parçası malzemesi üzerinde oluşturulan deliklerin giriş ve çıkışında sıkça görülebilmektedir [145]. Delaminasyon oluşumu kompozit malzemeden yapılan parçaların yük taşıma kapasitesinde önemli miktarda azalmaya neden olmaktadır [146]. KFTK malzemelerin delinmesinde delaminasyonun azaltılması sektörün en önemli ihtiyaçlarından birisidir. KFTK malzeme üzerinde işleme yapan sektörler delaminasyon faktörü için sınır değer olarak nominal çap değerinin maksimum 1 mm fazlasını kabul etmektedirler [147]. Bu çalışmada gerçekleştirilen delme deneyleri için sınır değer baz alındığında, Eş 4.1'e göre kabul edilebilir delaminasyon faktörünün 1,2 olması gerekmektedir. Bu bağlamda, KFTK/Ti6Al4V istifli delmede KFTK malzemede oluşan delaminasyon faktörü delik girişi ve çıkışı için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



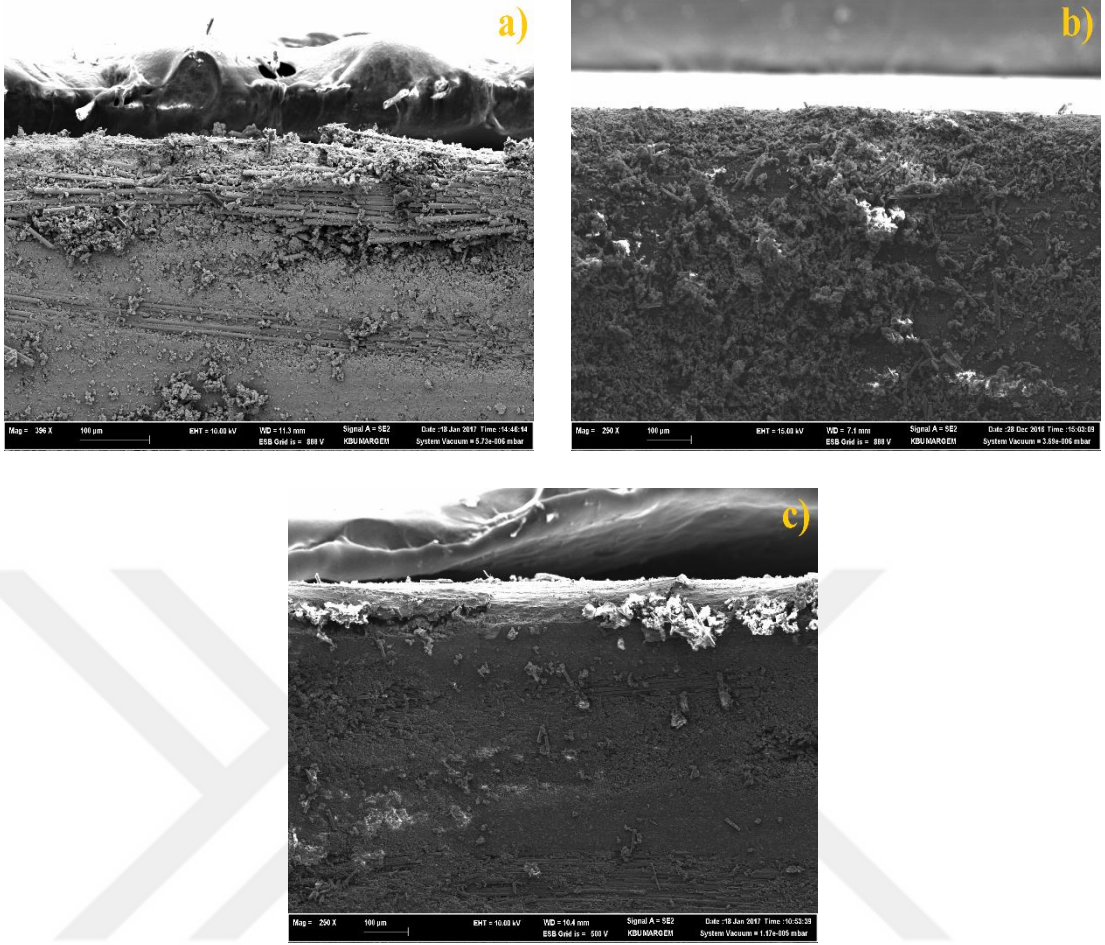
Şekil 5.35. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre giriş Fd değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

KFTK malzemenin delinmesinde, delik girişindeki delaminasyon faktörü değişimleri Şekil 5.35'te grafiklerde verilmiştir. Kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile yapılan performans deneyleri sonucunda, artan delik sayısı ile birlikte genel olarak delaminasyon faktörünün arttığı görülmektedir. Fd değerlerindeki bu artışların esas nedeninin itme kuvvetindeki artış olduğu düşünülmekte olup, bu sonuç literatürle benzerlik göstermektedir [77,148]. Ayrıca, KFTK malzemelerin delinmesinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım geometrisine göre değişen plastik deformasyon sürecinde matris ergimesi ve/veya fiber kopmalarının yoğunluğu katman ayrışmasını artırarak delaminasyon faktörünü artırmıştır. Diğer yandan, kaplamalı matkaplar ile yapılan bazı deneylerde delaminasyon faktörünün azaldığı belirlenmiştir. Düşük delaminasyon değerlerinde, kesici takımın daha homojen bir kesme işlemi yaptığını söylemek mümkündür.

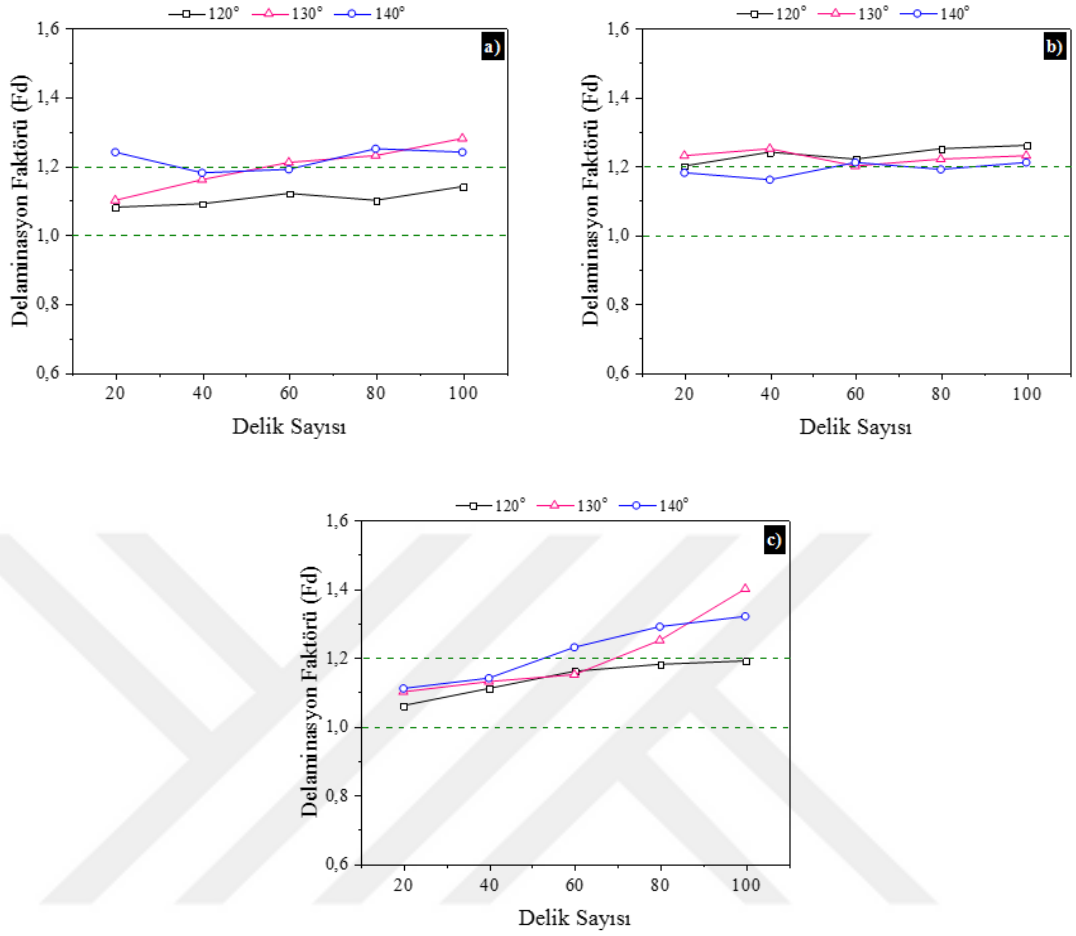
Delaminasyon faktörünü daha iyi analiz etmek amacıyla delikler tam ortasından boyuna kesilerek, delik giriş kenarına yakın bölgenin SEM ile görüntüleri alınmıştır (Şekil 5.36 ve Şekil 5.37). 20. delikler üzerinden Fd değerlendirildiğinde, kaplamasız WC, elmas ve TiAlN kaplamalı WC kesici takımlarda en düşük delaminasyon faktörü 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'den anlaşıldığı gibi en düşük delaminasyon faktörü elmas kaplamalı, en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile elde edilmiştir. Kesici takım kalitesi açısından karşılaştırıldığında, delaminasyon faktörü açısından en iyi sonuçlar elmas kaplamalı WC takımlar ile elde edilmiştir.



Şekil 5.36. Delik girişinde en düşük delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) Kaplamasız, b) TiAlN ve c) Elmas WC.



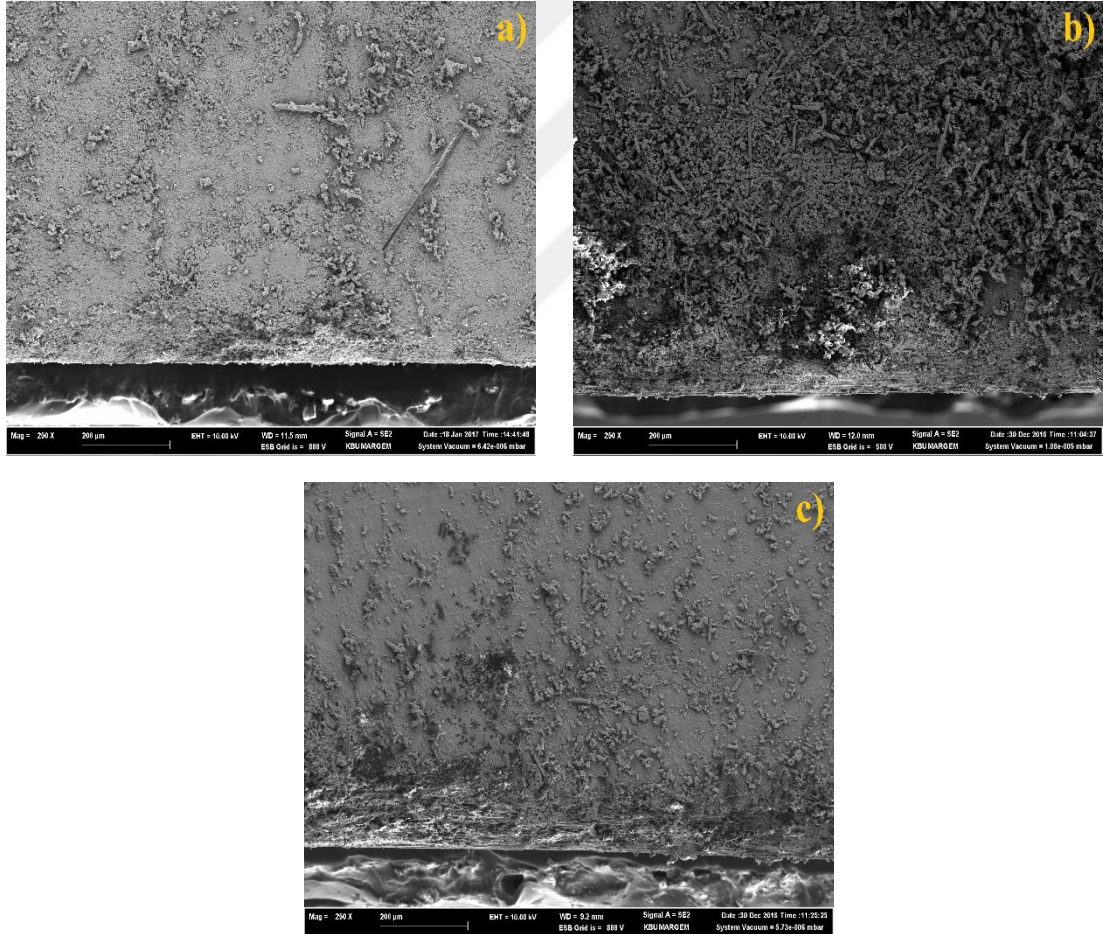
Şekil 5.37. Delik girişinde en yüksek delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) Kaplamasız, b) TiAlN ve c) Elmas WC.



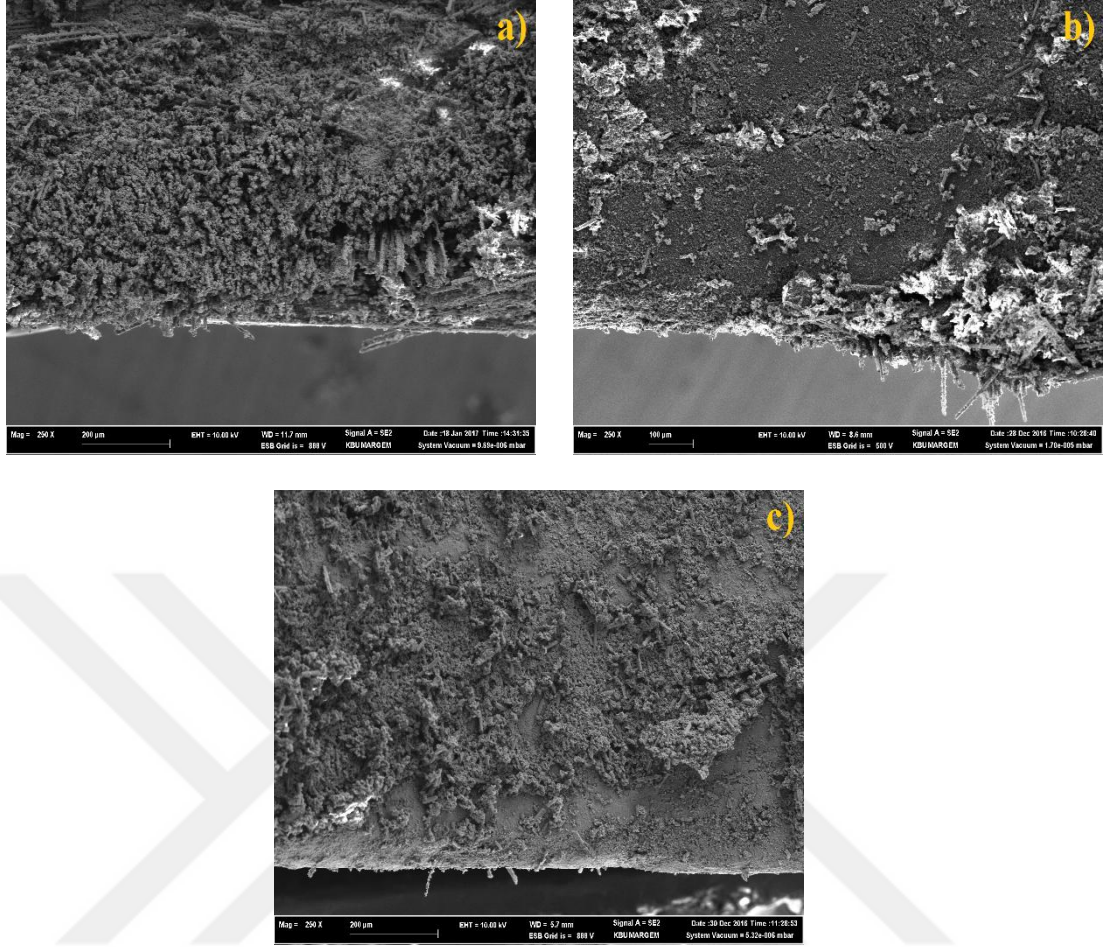
Şekil 5.38. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre giriş Fd değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

Şekil 5.38’de delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörünün değişim grafikleri verilmiştir. Delik girişinde oluşan delaminasyon faktörü sonuçlarına benzer olarak, kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlar için artaFdn delik sayısı ile birlikte delik çıkışı delaminasyon faktöründe artış meydana gelmiştir. Daha önce belirtildiği gibi takım aşınması ve itme kuvvetleri artışının delaminasyon faktörünün artmasına sebep olduğu bilinmektedir. Delaminasyon faktörleri incelendiğinde, matkap uç açısı ve kesici takım kalitesine göre Fd değerleri değişiminin düzgün bir eğilimde olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, izotropik ve homojen olmayan KFTK malzemenin yapısına bağlı olarak delme parametrelerinin değişimine göre değişiklik gösteren talaş oluşumuna atfedilmektedir.

Delik çıkışıındaki delaminasyon faktörü 20. delikler üzerinden değerlendirildiğinde, kaplamasız WC ve elmas kaplamalı kesici takımlarda en düşük Fd değeri 120° uç açısına sahip kesici takımlarla elde edilmiştir. TiAlN kaplamalı WC kesici takımında ise 140° lik matkap ile en düşük Fd ölçülmüştür. En büyük Fd değerleri kaplamasız WC ve elmas kaplamalı kesici takımlar için ise 130° uç açısına sahip takımlar ile elde edilmiştir. TiAlN kaplamalı WC takımlar için en büyük Fd ise 120° uç açısına sahip takım ile ölçülmüştür. Delik çıkışında yüzeylerden alınan SEM görüntüleri bu sonuçları onaylamaktadır (Şekil 5.39 ve Şekil 5.40). Delik girişinde olduğu gibi delik çıkışında delaminasyon faktöründe en iyi sonuçlar elmas kaplamalı WC takım ile sağlanmıştır.



Şekil 5.39. Delik çıkışında en düşük delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) Kaplamasız, b) TiAlN ve c) Elmas WC.



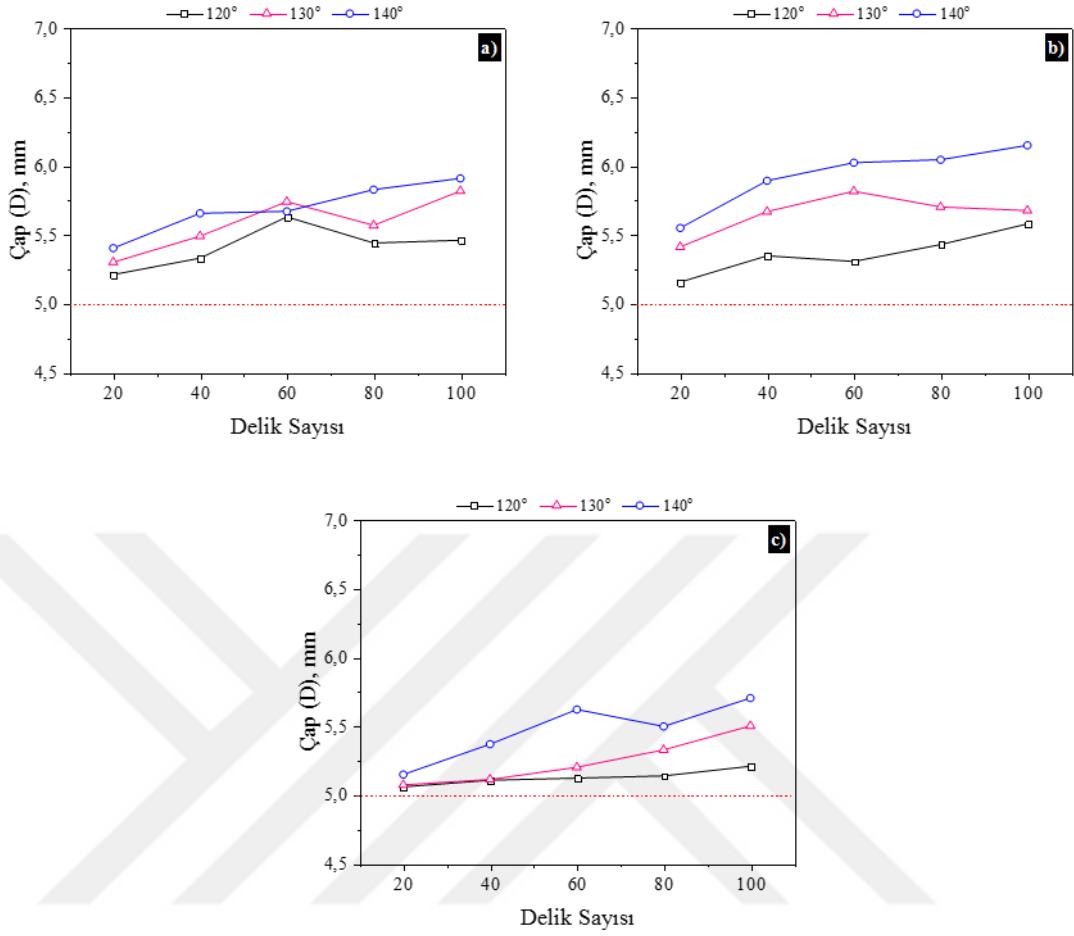
Şekil 5.40. Delik çıkışında en yüksek delaminasyon faktörüne sahip delik yüzeylerinin SEM görüntüleri (250X) a) Kaplamasız, b) TiAlN ve c) Elmas WC.

Genel olarak delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörü delik girişine göre daha büyük olmaktadır [Kaynak]. Ancak, KFTK malzemelerin metal malzemeler ile istifli olarak delinmesinde bu durum aksi bir eğilim göstermektedir [1]. KFTK/Ti6Al4V malzemelerin istifli olarak delinmesinde, delik çıkışında delaminasyon faktörünün azalmasına yardımcı olduğu tespit edilmiştir. Delme işlemi sırasında, alt katmanda bulunan metal malzemenin KFTK malzemeye destek olarak matkabın delik çıkış anında kompozit malzemeyi patlatmasını azalttığı düşünülmektedir. Bu süreçte, matkap ucu kesme işlemine devam ederek lamine kompozit katmanlarının morfolojisini minimum seviyede değiştirmekte ve böylece delaminasyon faktörü azalmaktadır.

5.3.5. Delik apının Değerlendirilmesi

KFTK/Ti6Al4V istifli malzemenin kuru delme şartlarında delinmesinde oluşan delik çapları CMM cihazı ile ölçülmüş olup, kompozit lamine ve Ti alaşımı için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. şekil 5.41 ve şekil 5.43'te kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlar ile sırasıyla KFTK ve Ti6Al4V malzemelerin delinmesinde elde edilen delik çaplarının değişimi gösterilmektedir.

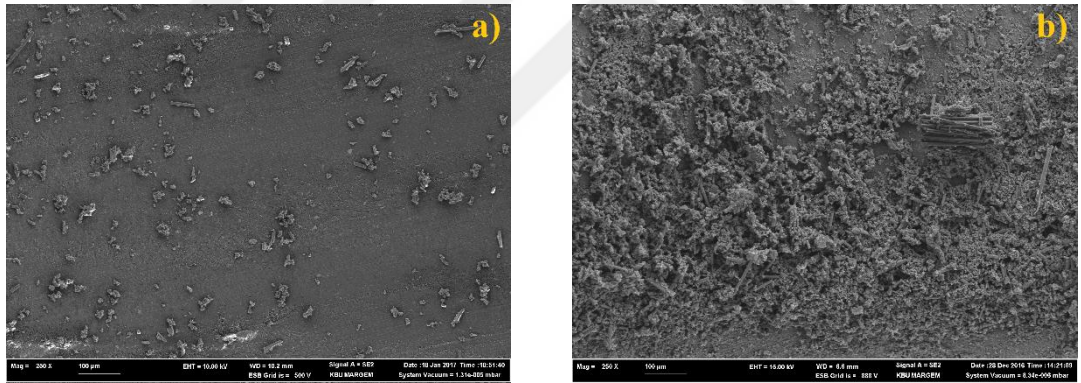
KFTK lamineler, uzay ve havacılık sektöründe yapısal parçaların imalatında metal plakalar ile birlikte st üste bindirilerek oluşturulan ikili veya l katmanlar halinde birleştirilmektedir. Diğer yandan, perçin, civata vb. bağlantı elemanları ile birleştirmelerde, ayrı malzeme tabakalarının montajında delik açılması gereklidir. Delik çaplarında istenilen ölçü tamlığının sağlanabilmesi amacıyla delik delme işlemi sonrası genellikle delik büyütme veya raybalama gibi ikincil işlemler yaygın olarak kullanılmaktadır [145]. Ancak ikincil işlemlerin uygulanması işleme süresi ve maliyet açısından dezavantaj oluşurmaktadır. Bu nedenle, bir defa yapılan delme işlemi sonucunda istenilen delik kalitesi ve ölçü tamlığının sağlanabilmesi oldukça önemlidir [146]. Ayrıca, matkap ile yapılan delme işlemlerinde delik ölçü ve yüzey kalitelerinin sağlanması son derece güç bir işlemdir. Havacılık ve uzay endüstrisinde imalat sürecinde beklenen yüksek hassasiyet göz önüne alınırsa, bu sektörde kullanılan malzemelerin delinmesinde istenilen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığının elde edilmesinin önemi anlaşılmaktadır.



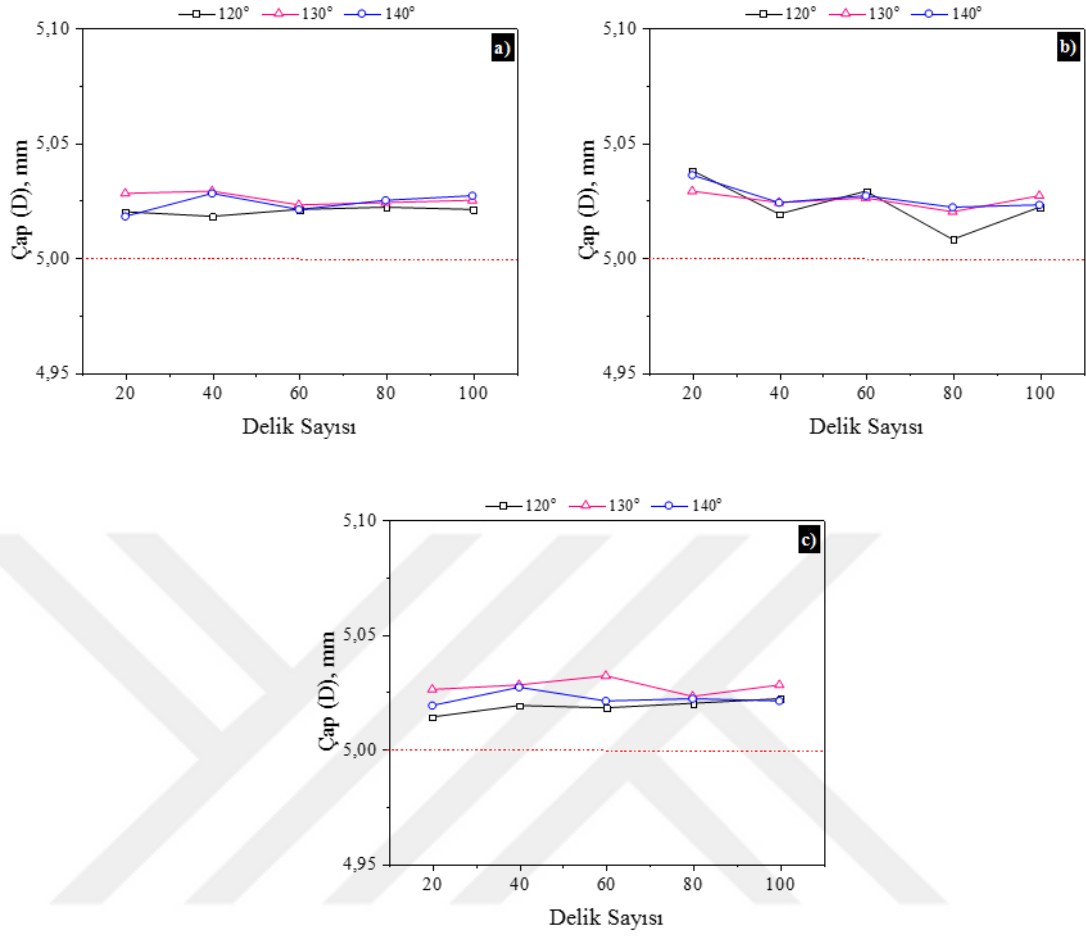
Şekil 5.41. KFTK malzeme için kesme parametrelerine ($V=60$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre delik çapı değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

Şekil 5.41’de verilen grafikler incelendiğinde, tüm kesici takım kaliteleri için KFTK malzemelerde elde edilen delik çaplarının nominal çap değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuçları, büyük oranda titanyum alaşımının delinmesinde oluşan ısının çoğunun takım ve talaş ile uzaklaştırılması ile açıklamak mümkündür. İstifli delmede gagalama yöntemi kullanılmasına rağmen, yüksek sıcaklığa sahip titanyum talaşlarının tahliyesi sırasında KFTK malzemenin delik yüzeylerinden geçen talaş ısısının, matris ergimesi, fiber kopması, matris parçalanmasını [1] artırarak delik çapının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, KFTK malzemenin izotropik yapıda olmaması talaşla birlikte atılan ısının homojen olarak dağılmasını engelleyerek, delik yüzeylerinde oluşan hataların düzensizliğine ve dolayısıyla delik çaplarının artmasına katkı sağlayacağı söylenebilir.

Kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerde en küçük ϕ değerleri 120° uç açısına sahip matkaplarla, en büyük ϕ değerleri ise 140° uç açısına sahip takımlar ile elde edilmiştir. Bu matkaplarda, artan uç açısına ve delik sayısına bağlı olarak delik ϕ larında artış olduğunu söylemek mümkündür. Nominal ϕ değerine en yakın ölçüler elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilmiştir. Bu sonucun nedeni olarak, elmas kaplamalı kesici takımların yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmasına (Çizelge 4.5) bağlı olarak kesme sırasında oluşan ısının kesici takım üzerinden daha hızlı uzaklaştırılması ile açıklanabilir. Delik ϕ apı takım kalitesi açısından değerlendirildiğinde en düşük değerler 120° uç açısına sahip kesici takımlarda, en yüksek değerler ise 140° uç açısına sahip takımlar ile elde edilmiştir. En iyi ve en kötü ϕ değerinin olduğu delik yüzeyleri takım kalitesi farkına bağlı olarak Şekil 5.42’de gösterilmektedir.



Şekil 5.42. En yüksek ve düşük ϕ değerine sahip deliklerin iç yüzey SEM görüntüleri (250X) a) Elmas ve b) TiAlN WC.



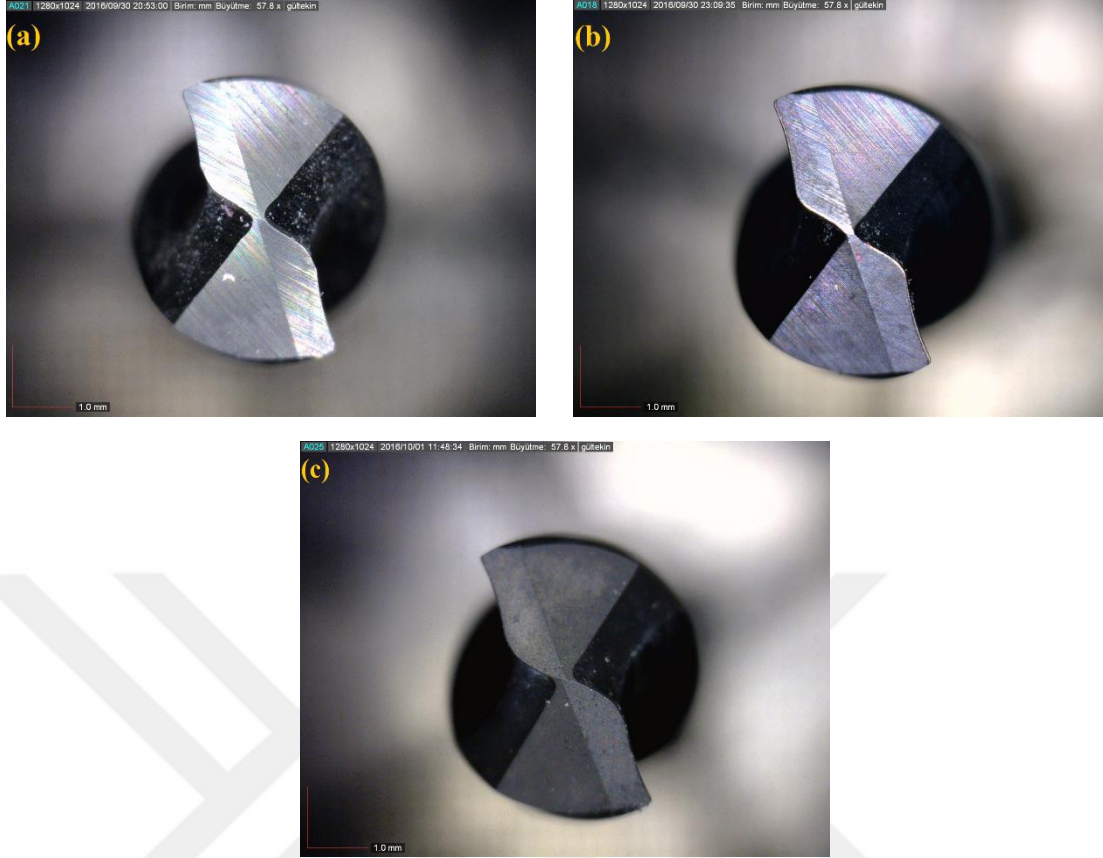
Şekil 5.43. Ti6Al4V malzeme için kesme parametrelerine ($V=15$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev) göre delik çapı değişimleri a) WC, b) TiAlN, c) Elmas.

KFTK/Ti6Al4V istifli malzemenin delinmesi sonucunda, tüm kesici takım kaliteleri için Ti6Al4V malzemede elde edilen delik çaplarındaki değişimler Şekil 5.43'te verilmiştir. Delik sayısına göre delik çapları incelendiğinde, en küçük ve en büyük çap değerleri elmas kaplamalı WC kesici takım ile elde edilmiş olup, sırasıyla 120° ve 140° uç açısına sahip matkaplarda ölçülmüştür. Genel bir değerlendirme yapılırsa, Ti6Al4V alaşımının delinmesinde elde edilen delik çapı değerlerinin KFTK malzemelerde elde edilen sonuçlara benzer eğilimde olduğu söylenebilir. En büyük çap değerlerinin TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, Ti6Al4V malzemedan ölçülen çap değerlerinin nominal çaptan büyük olduğu, ancak nominal çaptan sapmanın en fazla 0,038 mm seviyesinde kaldığı tespit edilmiştir. Tüm kesici takım kaliteleri için delik çaplarının nominal çap değerine çok yakın olması, seçilen kesme hızı ve ilerleme miktarının uygun olduğunu

göstermektedir. Ayrıca, istifli delme işleminde uygulanan gagalama yönteminin delme sırasında ısıya bağlı oluşan delik kusurlarını azaltmak amacıyla kullanılması gerektiğini söylemek mümkündür.

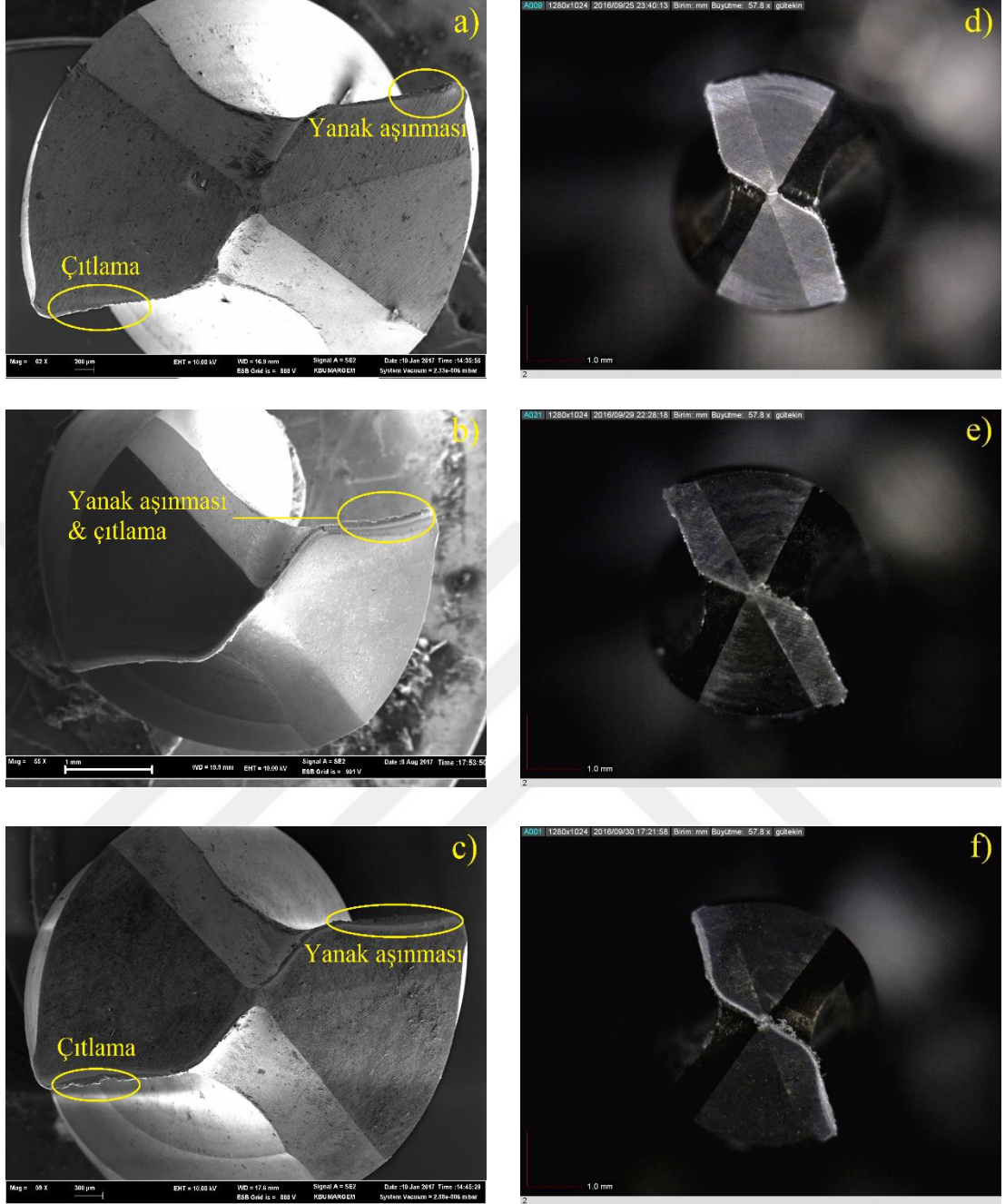
5.3.6. Takım Performanslarının Değerlendirilmesi

KFTK/Ti6Al4V istifli malzemenin delinmesinde, farklı uç açlarına sahip kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC matkapların kuru kesme şartlarında performansını karşılaştırmak amacıyla bir dizi delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Delme deneylerinde gagalama yöntemi kullanılmış olup, her kesme şartı için 100 delik delme açılmıştır (Şekil 4.14). Takım performanslarının değerlendirildiği bu deneylerde, KFTK malzeme için 60 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, Ti6Al4V malzeme için ise 15 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı kullanılarak boydan boya delme işlemi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan matkapların kullanılmadan önce çekilmiş fotoğrafları görüntüsü Şekil 5.44'te verilmiştir. Delme parametreleri ve kesici takımlarda gerçekleştirilen deneylerde her 20 delik sonrası makro fotoğraf görüntüsü alınmış olup, SEM görüntüleri sadece 100. Deliklerden sonra alınmıştır. Matkapların çoğunda kesici kenarlarda oluşan talaş yapışması nedeniyle makro görüntüler üzerinden aşınma miktarları tespit edilememiştir.



Şekil 5.44. Kullanılmamış matkap görüntüleri (140°), a) Kaplamasız, b) TiAlN ve c) Elmas WC.

Üç farklı uç açısına sahip kaplamasız WC kesici takımların 100. delik sonrasında dijital kamera ve SEM cihazı kullanılarak çekilen fotoğrafları Şekil 5.45'te görülmektedir. Bu fotoğraflardaki SEM görüntüleri incelendiğinde, kaplamasız WC matkaplarda meydana gelen aşınma tiplerinin genellikle yanak aşınması ve çıtlama şeklinde olduğu belirlenmiştir.

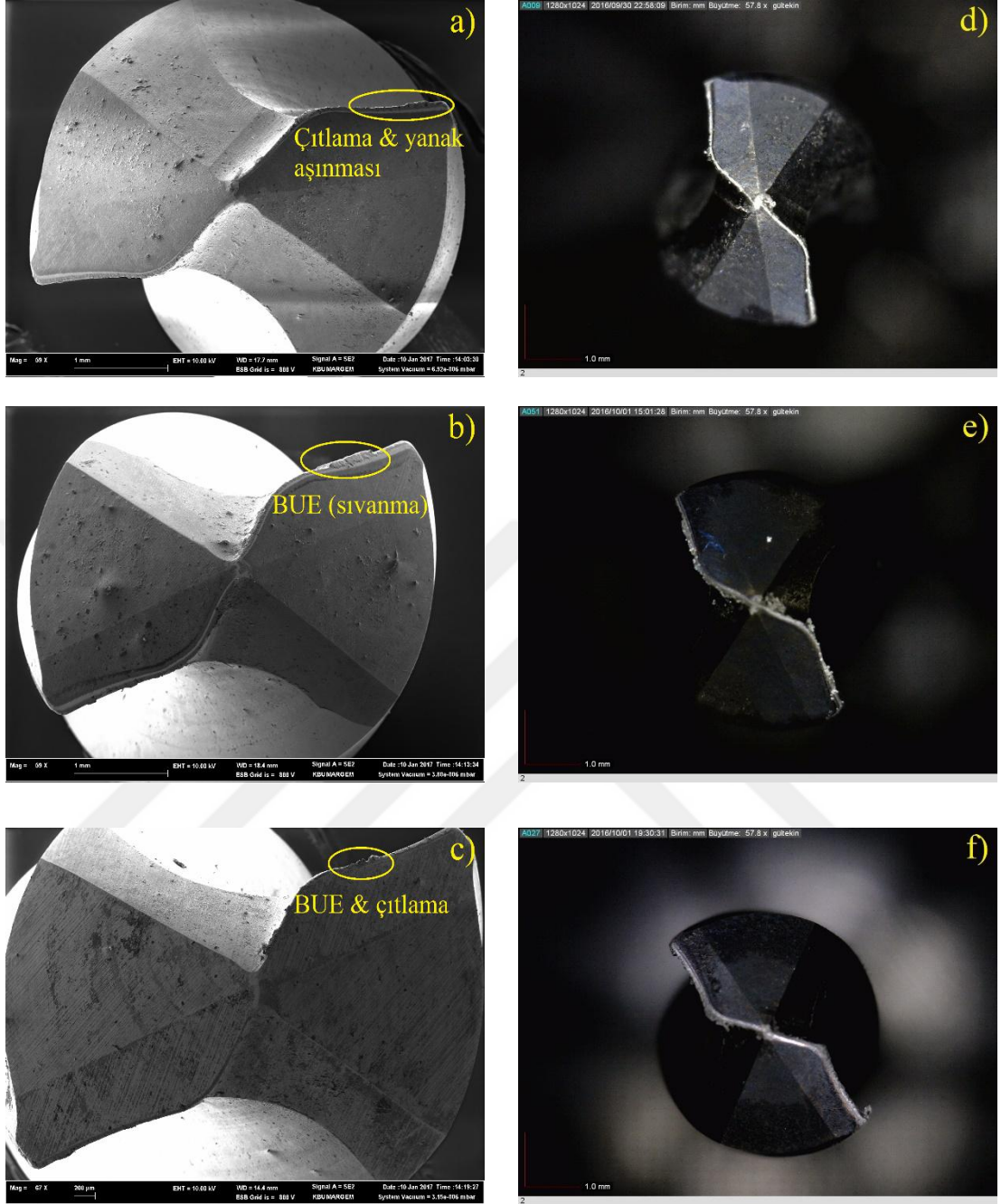


Şekil 5.45. Kaplamasız WC matkap görüntüleri (60X), SEM/Dijital, a) 120°, b) 130°, c) 140° / d) 120°, e) 130°, f) 140°.

Çok yaygın bir aşınma mekanizması olan abrasiv aşınma mekanizması, çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıklarının aşındırıcı etkisiyle oluşmaktadır [149]. Kesici takımlarda görülen yanak aşınması abrasiv aşınma mekanizması sonucunda kesici kenarın yan yüzeylerinde meydana gelmiştir. Tüm matkap görüntüleri (Şekil 5.51 – Şekil 5.53) incelendiğinde, en fazla yanak aşınması kaplamasız WC matkaplarda görülmektedir. Bu sonucu, kaplamasız WC takımların daha düşük

aşınma direncine sahip olması ile açıklamak mümkündür. Yanak aşınmasına, daha çok KFTK malzemelerin yapısında bulunan sert fiberlerin sebep olduğu düşünülmektedir. Diğer aşınma türü olan çıtlamanın ise yorulma mekanizması sonucu oluştuğunu söylemek mümkündür. Genellikle titanyum alaşımlarının işlenmesi sırasında görülen difüzyon, adhezyon ve plastik deformasyon aşınma mekanizmalarının bir sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir [150]. Kesici takım uç açısının artmasıyla kesici kenar uzunluğunun azalmasına bağlı olarak takım-işparçası temas alanı azalmaktadır. Aynı kesme şartları için kaldırılacak talaş hacmi değişmeyeceğinden, artan uç açısıyla birlikte takım-talaş temas yüzeyinde birim alana etki eden kuvvet artacak ve buna bağlı olarak aşınma oluşumunun hızlandığı söylenebilir.

Üç farklı uç açısına sahip TiAlN kaplamalı WC kesici takımların 100. delik sonrasında çekilen fotoğrafları Şekil 5.46’da görülmektedir. Şekil 5.47’deki SEM görüntüleri incelendiğinde, TiAlN kaplamalı matkaplarda oluşan aşınma tiplerinin yanak aşınması, çıtlama ve kesici kenara talaş yapışması (BUE) şeklinde olduğu görülmektedir.

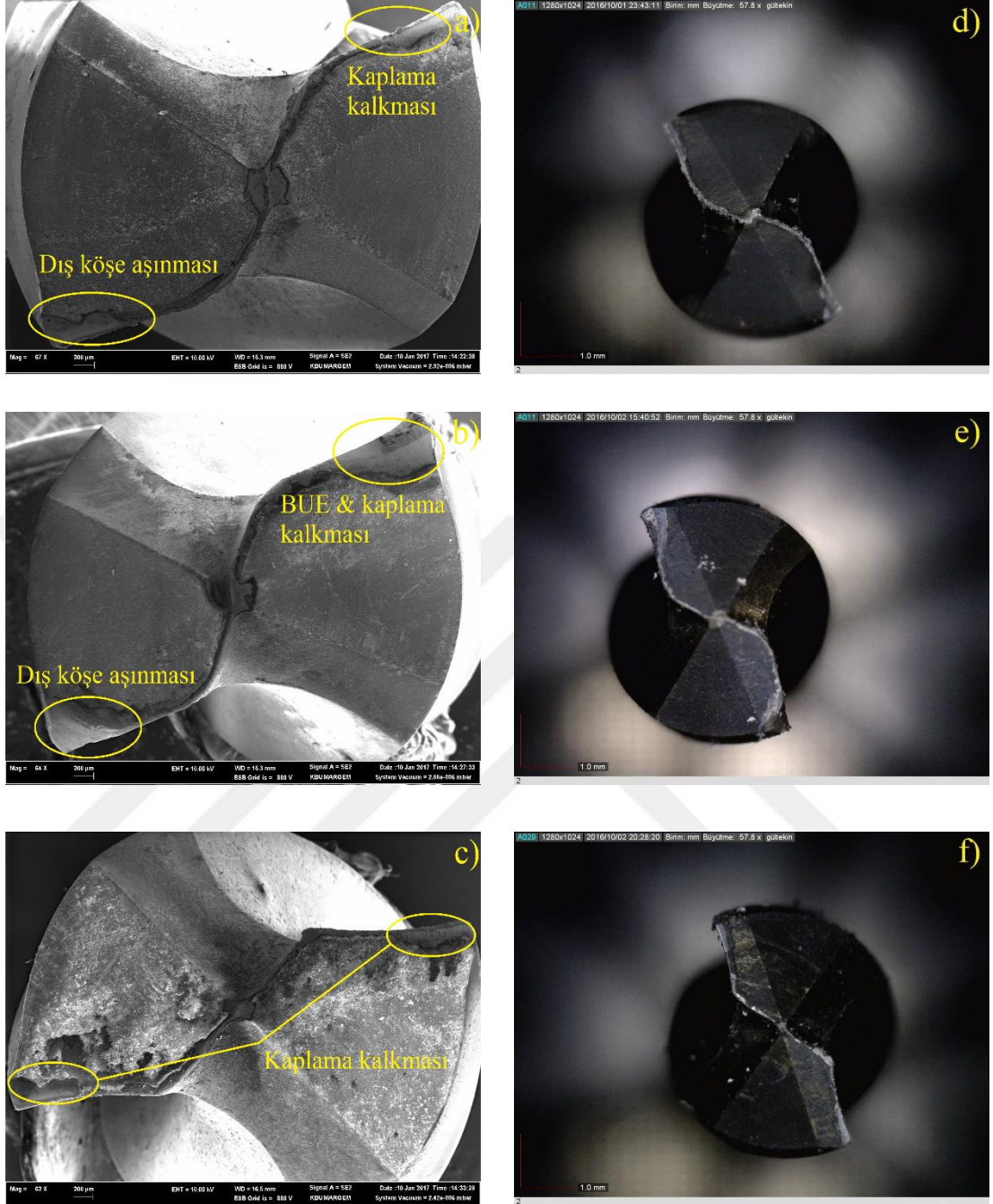


Şekil 5.46. TiAlN kaplamalı WC matkap görüntüleri (60X), SEM/Dijital, a) 120°, b) 130°, c) 140° / d) 120°, e) 130°, f) 140°.

Daha önce açıklandığı gibi abrasiv aşınma mekanizmasının neden olduğu yanak aşınması 120° uç açısına sahip TiAlN kaplamalı WC kesici takımda görülmektedir. Ayrıca, aynı matkapta yorulma mekanizması sonucu oluşan çıtlama şeklinde aşınma gerçekleşmiştir. 130° uç açısına sahip kesici takımda BUE ve 140° uç açısına sahip kesici takımda ise küçük miktarlarda BUE ve çıtlama görülmektedir. TiAlN kaplamalı WC kesici takımlarda genel olarak görülen aşınma tipi BUE ve çıtlama

şeklindedir. Ti6Al4V alaşımının sahip olduğu kimyasal reaktiflik işleme esnasında kesici takıma sıvanma eğilimine sebep olmaktadır [151]. Matkaplarda meydana gelen BUE'nin kesici takım gibi davranarak talaş oluşumunu düzensizleştirdiği ve bunun sonucunda yüzey kalitesinin azaldığı düşünülmektedir. TiAlN kaplamalı WC matkaplar için çekilen SEM görüntüleri Şekil 5.19–Şekil 5.21’de verilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarını doğrular niteliktedir.

Üç farklı geometriye sahip elmas kaplamalı WC kesici takımların 100. delik sonrasında çekilen fotoğrafları Şekil 5.47’de görülmektedir. Elmas kaplamalı WC matkap görüntüleri incelendiğinde, TiAlN kaplamalı WC takımlara benzer olarak BUE'nin yanı sıra kaplama kalkmasının meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.47. Elmas kaplamalı WC matkap görüntüleri (60X), SEM/Dijital, a) 120°, b) 130° c) 140° / d) 120°, e) 130°, f) 140°.

Elmas kaplamalı WC kesici takımlarda genellikle kaplama kalkmasının olduğu belirlenmiştir. Bu oluşumu, içeriğinde karbon bulunan elmas kaplama malzemesinden dolayı kesici takımın titanyum alaşımı ile yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girme eğilimi [86] ile açıklamak mümkündür. Titanyum alaşımlarının düşük ısı iletim katsayısına sahip olmasından dolayı işleme sırasında kesme

bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıklar talaşın takım kesici kenarı üzerine sıvanma (BUE) eğilimini artırmaktadır. Bu yapışan talaşlar zamanla ısıнын etkisiyle kesici takıma kaynaklanmakta ve kesme işlemine devam edildiğinde kaplama malzemesi ile birlikte takımdan koparak kesici takım geometrisinin değişmesine neden olmaktadır. Bu oluşumlar neticesinde, kesici takımlarda kaplama kalkması ve bunun sonucunda dış köşe aşınmalarının meydana geldiği sonucuna varılmıştır.



BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, KFTK lamine ve Ti6Al4V alaşımının ayrı ayrı ve istifli olarak standart geometriye sahip kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC matkaplar ile delinmesinde, matkap uç açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının itme kuvveti, moment, delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. KFTK malzemenin delinebilirlik deneyleri sabit ve değişken ilerleme miktarı uygulamaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Ti6Al4V alaşımı ve KFTK malzeme için yapılan ön delme deneyi sonuçlarına gri ilişki analizi uygulanarak optimum delme parametreleri bulunmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. KFTK malzemelerin delinebilirliği itme kuvveti ve moment açısından değerlendirildiğinde, en düşük değerler kaplamasız WC, en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile elde edilmiştir. Sabit ilerleme ve değişken ilerleme uygulamaları için en düşük F_z değeri en düşük ilerleme miktarı ve kesme hızında 130° uç açısına sahip kesici takım ile ölçülmüştür.
2. Deneyler sonucunda, sabit ve değişken ilerleme uygulamalarında ölçülen tüm R_a değerleri sektörün kabul sınırları içerisinde elde edilmiştir. En düşük R_a değerleri elmas kaplamalı WC matkap, en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı WC matkap ile elde edilmiştir.
3. Delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörüne göre analizler yapılmış olup, tüm matkap kaliteleri için ilerleme miktarı ve kesme hızının artışıyla birlikte F_d değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Ön deneyler sonucunda, en düşük F_d değeri, 120° uç açısına sahip kaplamasız WC matkap ile 0.05 mm/dev ilerleme miktarı ve 60 m/dak kesme hızında 1,06 olarak elde edilmiştir.

4. KFTK malzeme için gri ilişki analizi Fz, Ra ve Fd sonuçlarına uygulanmış olup, elmas kaplamalı WC matkap haricinde optimum parametreler 130° uç açısı, 60 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir.
5. KFTK malzemelerin delinmesinde değişken ilerleme yöntemi kullanılması, itme kuvveti, delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli ölçüde iyileştirme sağlamıştır.
6. Ti6Al4V malzemelerin delinmesinde en düşük itme kuvveti değerleri kaplamasız WC, en yüksek değerler ise TiAlN kaplamalı takımlar ile elde edilmiştir. Elmas kaplamalı WC matkabın kaplama kalınlığı, TiAlN kaplamalı WC matkaba göre daha fazla olmasına rağmen, elmas kaplamalı takımın düşük sürtünme katsayısı Fz değerlerinin daha küçük olmasını sağlamıştır.
7. Matkap uç açısının artmasıyla itme kuvveti ve moment değerlerinin azaldığı belirlenmiş olup, bu azalma artan uç açısına bağlı olarak kesici kenar uzunluğunun azalması sonucu takım-talaş temas alanının azalmasına atfedilmiştir.
8. Ti6Al4V alaşımının delinmesinde, kesme hızının artmasıyla Ra değerleri azalırken, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Matkap kalitesine göre Ra değerleri incelendiğinde, en iyi değerler elmas kaplamalı WC, en kötü değerler ise TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile elde edilmiştir.
9. Ti6Al4V malzeme için gri ilişki analizi Fz, Ra ve Mz sonuçlarına uygulanmış olup, tüm matkap kaliteleri için optimum parametreler 140° uç açısı, 35 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme miktarı olarak elde edilmiştir.
10. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde, kaplamasız, TiAlN ve elmas kaplamalı WC matkapların performansı 20 delik aralıklarla toplam 100 delik üzerinden değerlendirilmiştir. Her iki malzeme için delik sayısı ve matkap uç açısının artmasıyla itme kuvvetlerinin arttığı belirlenmiştir.
11. KFTK malzemelerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde, yüksek sıcaklığa sahip Ti talaşlarının tahliyesi sırasında KFTK malzemenin delik yüzeylerinde oluşturduğu fiber kopması, matris parçalanması vb. hataların yüzey pürüzlülüğünü artırdığı belirlenmiştir. Havacılık sektöründe KFTK malzemelerin metal istiflerle delinmesinde beklenen yüzey pürüzlük sınır değeri 3,2 µm olup, en uygun sonuçlar elmas kaplamalı WC matkap ile elde edilmiştir.

12. Delik girişinde olduğu gibi delik çıkışında delamanın asyasyon faktöründe en iyi sonuçlar elmas kaplamalı WC takım ile sağlanmıştır. Ayrıca, delik çıkışında oluşan delaminasyonun delik girişine göre daha düşük olduğu ve bu durum alt katmanda bulunan metal malzemenin KFTK lamineyi destekleyerek katman ayrışmasını azaltmasına atıf edilmektedir.
13. KFTK malzemelerde elde edilen delik çaplarının nominal çap değerinden fazla olduğu bulunmuştur. Bu sonuç, çoğunlukla yüksek sıcaklıktaki titanyum talaşlarının tahliyesi sırasında KFTK malzemenin delik yüzeylerine teması ve talaşla birlikte atılan ısının anizotropik yapıdan dolayı homojen olarak dağılmamasına bağlı olarak delik yüzeylerinde oluşan hataların artmasına bağlanmıştır.
14. KFTK ve Ti6Al4V malzemeleri için en büyük çap değerleri TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilirken, nominal çap değerine en yakın ölçüler elmas kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilmiştir.
15. Dijital kamera ve SEM cihazı görüntülerine göre kaplamasız WC takımında aşınma tipi olarak yanak aşınması ve çıtlama, TiAlN kaplamalı takımlarda aşınma tipi olarak yanak aşınması, çıtlama ve BUE, elmas kaplamalı takımlarda dış köşe aşınması ve kaplama kalkması meydana gelmiştir.
16. Kesici takım uç açısına göre takım performansı değerlendirildiğinde, en fazla aşınma miktarı 140° uç açısına sahip kesici takımlarda görülmüştür. Kesici takım uç açısının artmasıyla kesici kenar uzunluğunun azalmasına bağlı olarak takım-işparçası temas alanı azalmaktadır. Aynı kesme şartları için kaldırılacak talaş hacmi değişmeyeceğinden, artan uç açısıyla birlikte takım-talaş temas yüzeyinde birim alana etki eden kuvvet artacak ve buna bağlı olarak aşınma oluşumunun hızlandığı söylenebilir.

6.2. ÖNERİLER

1. KFTK malzemelerin delinmesinde düşük kesme hızı ve ilerleme miktarı kullanılması tercih edilmelidir.
2. KFTK malzemelerde çıkış anında değişken ilerleme kullanılarak delik kalitesi ve ölçü tamlığında iyileştirme sağlanacağından, bu uygulamanın standart geometriye sahip matkaplar ile delme işlemlerinde kullanılması elverişli olacaktır.

3. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde yüzey kalitesi açısından elmas kaplamalı takımların kullanılması ancak yüksek sıcaklıklara sebep olacak kesme parametrelerinin kullanılmaması tercih edilmelidir.
4. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde sıvı soğutmaların KFTK malzeme üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı hava soğutma sistemi kullanılarak etkileri araştırılabilir.
5. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde matkaplarda oluşan aşınma miktarları ölçülerek, delme parametrelerinin tahmininde kullanılacak matematiksel model geliştirilebilir.
6. KFTK/Ti6Al4V istifli malzemelerin delinmesinde, KFTK laminede oluşan hasarların temel sebeplerinden birisi olan sıcaklık ölçülerek delme parametreleri ile sıcaklık arasındaki etkileşimi öngörebilecek matematiksel model geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Pekat, O. and Brinksmeier, E. "Low damage drilling of CFRP/Titanium compound materials for fastening" **2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI) Procedia CIRP 13**, 1-7 (2014).
2. Karpat, Y., Değer, B. and Bahtiyar, O., "Drilling thick fabric woven CFRP laminates with double point angle drills" **Journal of Materials Processing Technology**, 212: 2117-2127 (2012).
3. İşbilir, Ö. and Ghassemieh, E., "Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/Titanium stack using coated carbide drill", **Machining Science and Technology: An International Journal**, 3(17): 380-409 (2013).
4. Zitoune, R., Krishnaraj, V., Collombet, F. and Le Roux, S., "Experimental and numerical analysis on drilling of carbon fibre reinforced plastic and aluminium stacks", **Composite Structures**, 146: 148-158 (2016).
5. Pekat, O. and Brinksmeier, E., "Tool wear analyses in low frequency vibration assisted drilling of CFRP/Ti6Al4V stack material", **6th CIRP International Conference on High Performance Cutting** (2014).
6. Merino-Pérez, J., L., Royer, R., Ayyar-Soberanis, S., Merson, E. and Hodzic, A., "On the temperatures developed in CFRP drilling using uncoated WC-Co tools Part I: Workpiece constituents, cutting speed and heat dissipation", **Composite Structures**, 123: 161-168 (2015).
7. Coromant, S., "Kompozit delme işlemlerine yönelik özel çözümler" **Sandvik Coromant** (2012).
8. Demircioğlu, G., "Kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde elyaf boyutunun etkisi", Yüksek lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2006).
9. Demirel, A., "Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007).
10. Demirkesen, E., "Kompozit malzemeler", **İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi**, 1-5 (1991).
11. Şahin, Y., "Kompozit malzemelere giriş", **Gazi Kitabevi**, Ankara (2000).
12. Quian, C., "Environmental effects of some mechanical properties of fibre composites", **National Library of Canada**, 1-11 (2001).
13. Saçak, M., "Polimer Teknolojisi", **Gazi Kitabevi**, Ankara, 275-296 (2005).

14. Eserci, D., "Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları", İstanbul: <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html>, 2004.
15. Eserci, D., "Alümina, zirkonya ve alümina-zirkonya kompozit malzeme üretimi, karakterizasyonu ve etkin difüzyon sabitinin bulunması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007).
16. Chawla, K., K., "Ceramic matrix composites", **Cahpman&Hall** (1993).
17. Chapbell, F., C., "Manufacturing technology for aerospace structural materials", **Elsevier Science** (2006).
18. Özmihçi Ömürlü, F., "Enhancement of thermal electrical and optical properties of zinc oxide filled polymer matrix nano composites", Doctoral Thesis, **Izmir Institute of Technology** (2009).
19. Mallick, P., K., "Fiber reinforced composites materials", **Manufacturing and Design; 3 rd Edition, Taylor and Francis Group: Boca Raton**, 33-38 (2007).
20. Okutan, E., "Polimer kompozitlerin matkapla delinme karakteristiklerinin ve oluşan mekanizmalarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2009).
21. Gordon, S. and Hillery, M., T., "A review of the cutting of composite materials, Department of Manufacturing and Operations Engineering", **University of Limerick** (2003).
22. Ersoy, H., Y., "Kompozit malzeme", **Literatür Yayıncılık**, İstanbul (2001).
23. Wenzl, W., "Carbon fiber reinforcement for concrete engineering, Handed in to the university of natural resources and applied life sciences", **Vienna Institute for Constructional Engineering** (2006).
24. Çavuş, Y., "Karbon fiber takviyeli kompozit (KFTK) malzemelerin alışılmış takımlarla işlenebilirliği", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 28 (2015).
25. Mallick, P., K., "Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing and design", **CRC press**, 6-20 (2007).
26. Chung, D., D., L., "Carbon Fiber Composites", **Butterworth-Heinemann, Newton** (1994).
27. Kılıç, E., "Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 3-15 (2006).
28. Ekşi, O., "Plastik esaslı malzemelerin ısıl şekil verme özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007).

29. Seikh-Ahmad, J., Y., "Machining of Polymer Composites" **Springer**, 22 (2009).
30. Arıcasoy, O., "Kompozit sektörü raporu", **İstanbul Ticaret Odası** (2006).
31. Erdoğan, M., "Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri demir dışı alaşımlar", cilt 2, Ankara: **Nobel** (2001).
32. Leyens, C. and Peters, M., "Titanium and titanium alloys", **Wiley-VCH** (2003).
33. Kubiak, K. and Sieniawski, J., "Development of the microstructure and fatigue strength of two phase titanium alloys in the processes of forging and heat treatment", **Journal of Materials Processing Technology** **78**, 117-121 (1998).
34. Bloyce, A., Qi, P., Y., Dong, H. and Bell, T., "Surface modification of titanium alloys for combined improvements in corrosion and wear resistance", **Surface and Coatings Technology**, 107: 125-132 (1998).
35. Lutjering, G. and Williams, J., C., "Titanium", **Springer-Verlag**, 107: 125-132 (1998).
36. Ensarioğlu, C. ve Çakır, M., C., "Titanium ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 2.Bölüm", **Mühendis ve Makine**, cilt 46 (547) (2005).
37. Lutjering, G. and Williams, J., C., "Titanium, engineering materials and processes", **Springer**, 1-18: 333-481 (2003).
38. Lutjering, G. and Williams, J., C., "Titanium", **Springer-Verlag**, 2 (2007).
39. Boyer, R. and Briggs, R., D., "The use of titanium alloys in the aerospace industry" **Journal of Materials Engineering and Performance**, 681-685 (2005).
40. Ezugwu, E., O. and Wang, Z., M., "Titanium alloys and their machinability", **Journal of Materials Processing Technology**, 68, 262-274 (1997).
41. Livingston, J., J., "The microstructural evaluation and constitutive analysis for a physical simulation of friction stir processing of Ti-6Al-4V", **The Ohio State University** (2011).
42. Joshi, V., A., "Titanium Alloys", **Taylor & Francis**, 5-20 (2006).
43. Grujicic, M. and Narayan, C., P., "A Study of $\beta \rightarrow \alpha$ Martensitic Transformation", **Materials Science and Engineering: A**, 151: 217-226 (1992).
44. Rhodes, C., G. and Paton, N., E., "Formation Characteristics of the α/β Interface Phase in Ti-6Al-4V", **Metallurgical Transactions A**, 10: 209-216 (1979).
45. Donachie, M., J., "Titanium: a technical guide", **Materials Park**, 2: 3 (2000).
46. Gül, O., "Plazma nitrülenmiş Ti-6Al-4V alaşımlarının adhezyon aşınma özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 9 (2013).

47. Coromant, S., "Modern metal cutting", Sweden: **Sandvik** (1994).
48. Tonshoff, H., L., Spintig, W., Konig, W. and Neises, A., "Machining of Holes Developments in Drilling Techonolgy", **Annals of the CIRP**, cilt 2 (43): 551-561 (1994).
49. Çakır, A., "AI 7075 ve AI 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2010).
50. Endo, H., Murahashi, T. and Marui, E., "Accuracy estimation of drilled holes with small diameter and influence of drill parameter on the machining accuracy when drilling in mild steel sheet", **International Journal of Machine Tools&Manufacture**, 47 (2007).
51. Çakır, M., C., "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", Bursa: **Vipaş A.Ş.** (2000).
52. Kıvak, T., "Inconel 718'in delinebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007).
53. Yıldız, H., "Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin delik üzerine ve kesici takıma etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2015).
54. Odelros, S., "Tool wear in titanium machining", **Uppsala Universitet Teknisk-naturveten skaplig fakultet UTH-enheten** (2012).
55. Capello, E., Langella, A., Nele, L., Paoletti, A., Santo, L. and Tagliaferri, V., "Driling polymeric matrix composites in Machining:Fundamentals and recent advances", **Springer**, 167-194 (2008).
56. Bradley, S., "Personal communication", **GKN Aerospace** (2010).
57. Zhang, L., B., Wang, L., J. and Liu, X., Y., "A mechanical model for predicting critical thrust forces in drilling composite laminates", **Proceedings of the Instution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, 2 (215): 135-146 (2001).
58. Bonnet, C., Poulachon, G., Rech, J., Yannick, G. and Costes, J., P., "CFRP drilling:Fundamental study of local feed force and consequences on hole exit damage", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 94: 57-64 (2015).
59. Abrao, A., M., Faria, P., E., Rubio, J., C., Reis, P. and Davim, J., P., "Drilling of fiber reinforced plastics: A review", **Journal of Materials Processing Technology**, 3 (186): 1-7 (2007).
60. Shya, I., S., E., M., "Drilling of carbon fibre reinforced plastic composites", Ph.D. Degree, **The University of Birmingham** (2010).

61. Cotton, J., D., Clark, L., P. and Phelps, H., R., "Titanium alloys on the F-22 fighter airframe", *Advanced Materials and Processes*, 5 (160): 25-28 (2002).
62. Zareena, A., R., Rahman, M. and Wong, Y., S., "High speed machining of aerospace alloy Ti6Al4V", *International SAMPTE Technical Conference*, 33: 739-750 (2001).
63. Machado, A., R. and Wallbank, J. "Machining of titanium and its alloys a review", *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 204: 53-60 (1990).
64. Schroeder, P., T., "Widening interest in twist drill", *Modern Mach. Shop*, cilt 4 (71): 106-113 (1998).
65. Kim, D. and Ramulu, M., "Drilling process optimization for graphite/bismaleimide-titanium alloy stacks", *Composite Structures*, 63: 101-114 (2004).
66. Akkurt, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", *Birsan Yayınevi*, Ankara (1998).
67. Dolinsek, S., Sustarsic, B. and Kopac, J., "Wear mechanisms of cutting tools in high-speed cutting processes", *Wear*, 1-12 (2001).
68. Kıvak, T., "Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6Al-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 32 (2012).
69. Coromant, S., "<http://www.sandvik.coromant.com>", Sandvik Coromant, http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling/wear-and-troubleshooting/wear_types. (2017).
70. Calzada, K., A., "Modeling and interpretation of fiber orientation-based failure mechanisms in machining of carbon fiber-reinforced polymer composites", *Journal of Manufacturing Processes*, cilt 2 (14): 141-149 (2012).
71. Rentsch, R., Pecat, O. and Brinksmeier, E., "Macro and micro process modeling of the cutting of carbon fiber reinforced plastics using FEM", *Procedia Engineering*, 10: 1823-1828 (2011).
72. Yokozeiki, T., Ogasawara, T. and Ishikawa, T., "Nonlinear behavior and compressive strength of unidirectional and multidirectional carbon fiber composite laminates", *Composites: Part A*, 37: 2069-2079 (2006).
73. Davim, J., P., Rubio, J., C. and Abrao, A., M., "A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates", *Composite Science and Technology*, 67: 1939-1945 (2007).
74. Tsao, C., C. and Hocheng, H., "Effect of tool wear on delamination in drilling composite materials", *International Journal of Mechanical Sciences*, 49: 983-988 (2007).

75. Iskandar, Y., Tendolkar, A. and Attia, M., H., "Flow visualization and characterization for optimized MQL machining of composites", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63: 77-80 (2014).
76. Karnik, S., R., Gaitonde, V., N., Rubio, J., C., Correia, A., E., Abrao, A., M. and Davim, J., P., "Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model", *Materials and Design*, 29: 1768-1776 (2008).
77. Wang, X., Kwon, P., Y., Sturtevant, C., Kim, D., W. and Lantrip, J., "Tool wear of coated drills in drilling CFRP", *Journal of Manufacturing Processes*, 15: 135-137 (2013).
78. Rusinek, R., "Cutting process of composite materials, An Experimental Study", *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 45: 458-462 (2010).
79. Phapale, K., Singh, R., Patil, S. and Singh, R., K., P., "Delamination characterization and comparative assessment of delamination control techniques in abrasive water jet drilling of CFRP", *Procedia Manufacturing*, 5: 521-535 (2016).
80. Ünal, Ü. ve Karaca, F., "Ti6Al4V alaşımının dik İşlem merkezli CNC tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması", *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 135-139 (2007).
81. Wang, Z., G., Wong, Y., S. and Rahman, M., "High-speed milling of titanium alloys using binderless CBN tools", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 45: 105-114 (2005).
82. Akyol, S., "Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Isıl İşlem Yardımıyla Arttırılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2007).
83. Palanisamy, S., McDonald, S., D. and Dargusch, M., S., "Effects of coolant pressure on chip formation while turning Ti6Al4V alloy", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 49: 739-743 (2009).
84. Ezugwu, E., O., Da Silva, R., B., Bonney, J. and Machado, A., R., "Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1009-1114 (2005).
85. Kıvak, T. ve Şeker, U., "Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde M42 hss takımlara uygulanan kriyojenik işlemin delik kalitesi üzerindeki etkileri", *7th International Symposium On Machining*, 241-250 (2016).
86. Xu, J., H. and Geng, G., S., "Experimental study on the milling of a Ti Beta 21S", *Journal of Materials Processing Technology*, 129: 190-192 (2002).
87. Bıçakçı, N., "Ti6Al4V titanyum alaşımının delenebilirliğinin araştırılması", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2015).

88. Park, K., H., Beal, A., Kim, D., Kwon, P. and Lantrip, J., "Tool Wear in Drilling of Composite/Titanium Stacks Using Carbide and Polycrystalline Diamond Tools", *Wear*, 271: 2826-2835 (2011).
89. Zitoune, R., Krishnaraj, V. and Collombet, F., "Collombet "Study of drilling of composite material and aluminium stack", *Composite Structures* 92, 1246-1255 (2010).
90. Kuo, C., L., Soo, S., L., Aspinwall, D., K., Bradley, S., Thomas, W., M'Saoubi, R., Person, D. and Leahy, W., "Tool wear and hole quality when single-shot drilling of metallic-composite stacks with elmas-coated tools", *Journal of Mechanical Manufacture*, 1-9 (2014).
91. Shya, I., S., Soo, S., L., Aspinwall, D., K., Bradley, S., Perry, R., Harden, P. and Dawson, S., "Hole quality assessment following drilling of metallic-composite stacks", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 51: 569-578 (2011).
92. Denkana, B., Boehnke, D. and Dege, J., H., "Helical milling of CFRP-Titanium layer compounds", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 64-69 (2008).
93. Kumar, M., S., Prebukarthy, A. and Krishnaraj, V., "Study on tool wear and chip formation during drilling carbon fiber reinforced polymer CFRP/Titanium alloy (Ti6Al4V) stacks", *International Conference On Design And Manufacturing, IConDM, Procedia Engineering*, 64: 582-592 (2013).
94. Wang, X., Kwon, P., Y., Sturtevant, C., Kim, D., W. and Lantrip, J., "Comparative tool wear study based on drilling experiments on CFRP/Ti Stack and its individual layers", *International Journal of Precision Engineering And Manufacturing*, 13 (7): 1073-1076 (2014).
95. Poutord, A., Rossi, F., Poulachon, G. and M'Saoubi, R., "Local approach of wear in drilling Ti6Al4V/CFRP for stack modelling", *14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO) Procedia CIRP* 8, 316-321 (2013).
96. Zitoune, R., Krishnaraj, V., Almabouacif, B., S. and Collombet, F., "Influence of machining parameters and new nano-coated tool on drilling performance of CFRP/Aluminium sandwich", *Composites: Part B*, 1480-1488 (2012).
97. Internet: Timet, "TiMetal", http://www.timet.com/images/document/technical_manuals/TIMETAL_6-4_Properties.pdf. (2017).
98. Davim, J., P., "Machining: Fundamentals and Recent Advances", *Springer*, 167-190 (2008).
99. Internet: Mahr, "Mahr", <https://www.mahr.com/tr/Services/Production-metrology/Products/MarSurf---Mobil-P%C3%BCr%C3%BCzl%C3%BCl%C3%BCk-%C3%96l%C3%A7me-%C3%9Cniteri/MarSurf-M-300-C---Mobil->

P% C3% BCr% C3% BCzl% C3% BCl% C3% BCK-% C3% 96l% C3% A7me-Aleti/. (2017).

100. Siyambaş, Y., "HSLA DIN EN 10149 çeliğin farklı kesme şartlarında delinmesinde delik kalitesinin araştırılması ve sonuçlarının YSA'da modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 44 (2014).
101. Meral, G., "AISI 1050 malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 55-56 (2010).
102. El-Sonbaty, I., Khashaba, U., A. and Machaly, T., "Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites", **Compos Struct**, .27 (63): 313 (2004).
103. Eşme, U., Bayramoğlu, M. ve Aydın, H., "Galetaj işleminin taguchi tabanlı gri ilişki çözümlemesi ile optimizasyonu", **2. Mühendislik Teknoloji Sempozyumu**, 205-207 (2009).
104. Üstünişik, N., Z., "Türkiye'deki iller ve bölgeler bazında sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması: gri ilişkisel analiz yöntemi ve uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2007).
105. Yıldırım, S., "Ürün tasarım geliştirilmesi: taguchi tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, **Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2011).
106. Kuo, Y., Yang, T. and Huang, G., W., "The use of a grey based taguchi method for optimizing multi response simulation problems", **Engineering Optimization**, 40 (6): 517-528 (2008).
107. Wen, K., L., "The grey system analysis and its application in gas breakdown and var compensator finding", **International Journal of Computational Cognition**, 2 (1): 21-44 (2004).
108. Yılmaz, E. ve Güngör, F., «Gri ilişkisel analiz yöntemine göre farklı sertliklerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi», **2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, 1-9 (2010).
109. Mondal, S., Paul, C., P., Kukreja, L., M., Banyopadhyay, A. and Pal, P., K., "Application of taguchi-based gray relational analysis for evaluating the optimal laser cladding parameters for AISI1040 steel plane surface", **Int J Adv Manuf Technol**, 66: 91-96 (2013).
110. Lin, Z., C. and Ho, C., Y., "Analysis and application of grey relation and ANOVA in chemical- mechanical polishing process parameters", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 21: 10-14 (2003).

111. Khan, Z., A., Siddiquee, A., N. and Kamaruddin, S., "Optimization of infeed centreless cylindrical grinding process parameters using grey relational analysis", *Pertanika J. Sei. & Technol.*, 2 (20): 257-268 (2012).
112. Pawade, R., S. and Joshi, S., S., "Multi-objective optimization of surface roughness and cutting forces in high-speed turning of Inconel 718 using taguchi grey relational analysis (TGRA)", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56: 47-62 (2011).
113. İşbilir, Ö., "Numerical investigation of the effects of drill geometry on drilling induced delamination of carbon fiber reinforced composites", *Composite Structures*, 105: 126-133 (2013).
114. Soutis, C., "Fibre reinforced composites in aircraft construction", *Prog Aerosp Sci*, cilt 2 (41): 143-151 (2009).
115. F. D. B. K. W. A., "Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 1185-1196 (2009).
116. Yıldız, Y., Günay, M. ve Şeker, U., "The effect of the cutting fluid on surface roughness in boring of low carbon steel", *Machining Science and Technology*, cilt 4 (11): 553-560 (2007).
117. Ramulu, M., Branson, T. and Kim, D., "A study on the drilling of composite and titanium stacks", *Composite Structures*, cilt 1 (54): 67-77 (2001).
118. Heisel, U. and Pfeifroth, T., "Influence of point angle on drill hole quality and machining forces when drilling CFRP", *Procedia CIRP* 1, 471-476 (2012).
119. Trent, E., M., "Metal cutting", *Butterworths Press*, London (1989).
120. Singh, P., D. and Rao, V., "A surface roughness prediction model for hard turning process", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 32: 1115-1124 (2007).
121. M. S. K. A. R. N. S., "Delamination analysis in drilling process of glassfiber reinforced plastic (GFRP) composite materials", *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 265-271 (2007).
122. Koboevic, N., Jurjevic, M. and Z. Koboevic, Z., "Influence of cutting parameters on thrust force, drilling torque and delamination during drilling of carbon fibre reinforced composites", *Technicki Vjesnik*, 19 (2): 391-398 (2012).
123. Valarmathi, T., N., Palanikumar, K. and Sekar, S., "Parametric analysis on delamination in drilling of wood composite panels", *Indian Journal of Science and Technology*, 6 (4): 4347-4356 (2013).
124. Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Senthil Kumar, M., Zitoune, R. and Davim, J., P., "Optimization of machining

- parameters at high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates", *Composites: Part B*, 43: 1791-1799 (2012).
125. Rawat, S. and Attia, H., "Wear mechanisms and tool life management of WC-Co drills during dry high", *Wear*, 1022-1030 (2009).
 126. Fan, Y. and Zhang, L., "New development of extra large composite aircraft components application technology", *Advanced of Aircraft Manufacture Technology*, 3 (30): 534-543 (2009).
 127. Ginting, A., N., M., "Experimental and numerical studies on the performance of alloyed carbide tool in dry milling of aerospace material", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 758-768 (2006).
 128. Güven, V., "Ti-6Al-4V alaşımlarında çentiklerde süperpozisyon etkisinin incelenmesi", *Proceedings of 8th International Fracture Conference*, 104-114 (2007).
 129. Zeng, L., B., T., "Effects of Working, Heat Treatment, and Aging on Microstructural Evolution and Crystallographic Texture of α' , α'' , α''' and β Phases in Ti-6Al-4V Wire", *Materials Science and Engineering A*, 392: 403-414 (2005).
 130. Kaybal, H., B., "Karbon nanotüp takviyeli karbon elyaf/epoksi nanokompozit malzemelerin üretilmesi ve delme parametrelerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 51 (2015).
 131. Çiftçi, İ., "Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 20 (2): 205-209 (2005).
 132. Fnides, B., Aouici, H. and Yallese, M., A., "Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic", *Mechanika*, 2: 73-78 (2008).
 133. V. N. Gaitonde, V. N. Karnik, S., R., Mata, F. and Davim, J., P., "Study on some aspects of machinability in unreinforced and reinforced polyamides", *Journal of Composite Materials*, 43: 725-739 (2009).
 134. Cantero, J. L. Tardio, M. M. Canteli, J., A., Marcos, M. and Miguélez, M., H., "Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45: 1246-1255 (2005).
 135. Sharif, S. and Rahim, E., A. "Performance of coated and uncoated carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V", *Journal of Materials Processing Technology*, 185: 72-76 (2007).
 136. Kütükde, K., "Seramik takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin delinebilirlik özelliklerinin belirlenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 120 (2014).

137. Pramanik, A., "Problems and solutions in machining of titanium alloys", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 70: 919-928 (2014).
138. Persson, E., Eriksson, I. and Zackrisson, L., "Effects of hole machining defects on strength and fatigue life of composite laminates", *Composites Part A* 28 A, 141-151 (1997).
139. Rui, L. and Albert, J., P., "Spiral point drill temperature and stress in high-throughput drilling of titanium", *International Journal of Machine Tools&Manufacture* 47, 2005-2017 (2007).
140. Yip, W., S. and To, S., "Tool life enhancement in dry diamond turning of titanium alloys using an eddy current damping and a magnetic field for sustainable manufacturing", *Journal of Cleaner Production* 168, 929-939 (2017).
141. Kuo, C., L., Soo, S., L., Aspinwall, D., K., Bradley, S., Thomas, W. and M'Saoubi, R., "Tool wear and hole quality when single-shot drilling of metallic-composite stacks with diamond-coated tools", *Proc. Inst. Mech. Eng. Pt. B J. Eng. Manuf.*, 22: 134-1322 (2014).
142. Lambert, B., K., "Prediction of force, torque and burr length in drilling titanium-composite materials", *SME Technical Paper*, 79-363 (1979).
143. Barry, R., Howard, K. and Stephen, W., "Lug Cutting and Trimming of the Carbon Fibre Wing Panels of the A400m with Portable Hand Positioned Tools", *SAE International*, 1 (2007).
144. Braic, V., Zotia, C., N., Balaceanu, M., Kiss, A., Vladescu, A., Popescu A. and Braic, M., "TiAlN/TiAlZrN multilayered hard coatings for enhanced performance of HSS drilling tools", *Surface&Coatings Technology*, cilt 204: 1925-1928 (2010).
145. Kılıçkap, E., "CETP kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyona delme parametrelerinin etkisinin incelenmesi", *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi* (2010).
146. Hesar, G., G., "Kompozit malzemelerde delaminasyon davranışının ağsız yöntemler ile analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012).
147. Coromant, S., "Machining carbon fibre materials", *Sandvik* (2010).
148. Faraz, A., Biermann, D. and Weinert, K., "Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates" *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 49: 1185-1196 (2009).
149. J. T. Black., R. A. Kohser., "DeGarmo's materials and processes in manufacturing", John Wiley&Sonc, Inc., 569-608 (2013).

150. Rahim, E., A., and S. Sharif, S., "Investigation on tool life and surface integrity when drilling Ti-6Al-4V-Mo/fe", *JSME Inetrnational Journal Series C*, 49: 340-345 (2006).
151. Kikruchi, M., "The use of cutting temperature to evaluate the machinability of titanium alloys", *Acta Biomaterialia*, 5: 770-775 (2009).



EK AÇIKLAMALAR A.
MALZEME SERTİFİKALARI

Deneylerde kullanılan KFTK malzemenin sertifikası



SGL epo GmbH
D-47877 Willich

Druckdatum / date of print: 04.04.2016

Abnahmeprüfzeugnis 3.1 / Inspection Certificate 3.1 (DIN EN 10204)

Nr. / No.: 12454661-1

Kunde / Customer: Odak Composite Technologies Inc. Ankara
Ihre Bestellung / Your order: Mail v. 13.02.2015
Kunden-Mat.-nr. / Customer article-No.:
Spezifikation / Specification:
Material: PR-FB1363 245/1200 E201S-A 45
Menge / Quantity: 354 M2
Bemerkungen / Remarks: Relife for roll 645555 007, 008, 009 and 010. New expiry date 04.07.2016, storage at -18 °C.
Lagerbedingungen / Storage conditions: -18°C, bei Raumtemperatur (20°C) 90 Tage / -18°C, at roomtemperature (20°C) 90 days

Produktionsdatum / Production date:	Mindesthaltbarkeit bei -18°C / best before at -18°C:	Rollennummer / roll no.:
2015-02-09	2016-02-09	6455552002, 6455552007, 6455552008, 6455552009, 6455552010,
2015-02-11	2016-02-11	6455552001,

Rollennummer / roll no.	Prepreg-Flächen-gewicht / Prepreg area weight	Faser-Flächen-gewicht / Fiber area weight (nominell / nominal)	Harzgehalt / Resin content (calculated)	Menge / Quantity	Menge / Quantity	Fehlstellen / Non conform material
	g/sqm	g/sqm	%	lfm/lm	m²/sqm	lfm / lm
6455552001	433	245	43	34	41	0.000
6455552002	441	245	44	61	73	0.000
6455552007	445	245	45	50	60	0.000
6455552008	445	245	45	52	62	0.000
6455552009	450	245	46	50	60	0.000
6455552010	450	245	46	48	58	0.000
Sollw. / nom.	445	245	45			
Tol. / tol.						
Min	433	245	43	34	41	0.000
Max	450	245	46	61	73	0.000

Wir bestätigen hiermit, dass -soweit nicht anders angegeben- die Artikel den Anforderungen der oben genannten Normen/Spezifikationen entsprechen/
 We confirm that -unless otherwise stated- the products supplied are in compliance with the requirements of the above mentioned specifications/norms.

Dieses Dokument ist automatisch erstellt und erfordert daher keine Unterschrift /
 This document was electronically generated and is valid without signature.

牌号 Designation No.		批号 Lot No/ Heat No.	状态 Condition	规格 Size(mm)	数量 Quantity	产品标准 Product Standard	检测依据 Test Method
GR5		YTL2016817	M	Thick: 10*75*100	16PCS	ASTM B265	GB/T3621-2007
Chemical Composition (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Fe	Residual element
Al	/	/	/	/	/	/	Each
/	/	/	/	/	/	/	Total
52-67%	3.5-4.5	/	/	/	/	0.40	≤ 0.10
6.01	3.89	/	/	/	/	0.20	≤ 0.10

批准: Approved by _____

报告日期: 2016.8.16 Report Date _____

Tianjin KURANAKA
Co., Ltd.
No. 102, Jiefang Road, TEDA
Development Zone, Tianjin 300413
China
TEL: +86-22-59808888 FAX: +86-22-59808889
E-MAIL: kuranaka@kuranaka.com.cn

ÖZGEÇMİŞ

Nafiz YAŞAR 1981 yılında Tavşanlı’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Tavşanlı Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümün’den mezun oldu. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde öğrenimine başlayıp 2005 yılında mezun oldu. 2007-2009 yıllarında Kiel Koltuk Sistemleri A.Ş. ve Coşkunöz Holding’de çalıştı. 2008 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2011 yılında tamamladı. 2013 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde Makine Mühendisliğini 2015 yılında tamamladı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Karabük Meslek Yüksekokulu’nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK
Tel : (533) 574 7229
E-posta : nafiz_yasar@hotmail.com