

**CFRP KOMPOZİT MALZEMELERİN
DELİNEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE MİNİMUM MİKTAR
YAĞLAMANIN ETKİSİ**

**2017
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği**

OĞUZ GÜN

**CFRP KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE
MİNİMUM MİKTAR YAĞLAMANIN ETKİSİ**

Oğuz GÜN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ağustos 2017

Oğuz GÜN tarafından hazırlanan “CFRP KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE MİNİMUM MİKTAR YAĞLAMANIN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans 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 Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/08/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Turgay KIVAK (DÜ)

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

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans 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.”

Oğuz GÜN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CFRP KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE MİNİMUM MİKTAR YAĞLAMANIN ETKİSİ

Oğuz GÜN

Karabük Üniversitesi
Fen bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışman:

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Ağustos 2017, 79 sayfa

Bu çalışmada, CFRP kompozitlerin kuru ve minimum miktarda yağlama (MMY) yöntemi uygulanarak, kaplamasız WC, TiAlN ve elmas kaplamalı WC matkaplar ile delinmesinde oluşan itme kuvveti (Fz), yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve delaminasyon faktörü (Fd) üzerinde delme parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Delme deneyleri, üç farklı matkap uç açısı ve kesme hızı ve ilerleme miktarının üçer seviyesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İtme kuvveti ölçümlerinde, Kistler 9272 tipi dinamometre ve ekipmanları kullanılmıştır. MMY yöntemi kullanılarak yapılan delme işlemlerinde elde edilen itme kuvveti ve delaminasyon, kuru kesme şartında elde edilen verilere göre daha düşük olurken, yüzey pürüzlülüğünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Delme parametrelerinin Fz, Ra ve Fd üzerindeki etkileri %95 güven düzeyinde gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiş olup, CFRP kompozit malzemelerin delinebilirliğinde en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: CFRP, Delik delme, Minimum miktarda yağlama, ANOVA

Bilim Kodu: 914.3.028



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION ON DRILLABILITY OF CFRP COMPOSITE MATERIALS

Oğuz GÜN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

August 2017, 79 pages

In this study, the effects of drilling parameters on the thrust force (F_z), surface roughness (R_a) and delamination factor (F_d) were investigated in drilling with uncoated WC, TiAlN and diamond coated WC drills by applying dry minimum quantity lubrication (MQL) and dry method of CFRP composites. Drilling experiments were performed by using three different levels of drill point angle, cutting speed and feed rate. For thrust force measurements, dynamometers and equipments of Kistler 9272 type were used. It has been found that the thrust force and delamination obtained by using MQL method is lower than that obtained under dry cutting conditions. However, surface roughness values were found to be higher in MQL application. The effects of drilling parameters on F_z , R_a and F_d were determined by variance analysis (ANOVA) performed at 95% confidence level and it was determined that the feed rate was the most effective parameter on the drillability of CFRP composites.

Key Words: CFRP, Hole drilling, Minimum quantity lubrication, ANOVA

Science Code: 914.3.028



TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Delme deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Öğr. Gör. Nafiz YAŞAR ve ArŐ. Gör. Gültekin UZUN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, tez çalıŐmasına KBÜ-BAP-15/1-YL-008 kodlu proje ile maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri (KBÜBAP) birimine teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	10
KOMPOZİT MALZEMELER.....	10
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	12
3.1.1. Fiber Takviyeli Polimer (FTP) Kompozitler	14
3.1.1.1 Farklı Liflerin Özellikleri	15
3.1.1.2. FTP Kompozitler İçin Matris Sistemleri	18
3.1.2. CFRP Kompozitler	19
3.1.2.1. CFRP Kompozit Malzeme İmalatı	19
3.1.2.2. CFRP Kompozitin Özellikleri	19
3.2. CFRP Kompozitlerin Uygulama Alanları	20
3.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları Ve Dezavantajları.....	22
BÖLÜM 4	24
DELİK DELME	24
4.1. CFRP Kompozitlerin Delinmesi	24
4.1.1. CFRP kompozitin helisel matkapla delinmesi	24
4.1.1.2. Delik kalitesi	25
4.2. Delik Delmede Oluşan Kesme Kuvvetleri	26

	<u>Sayfa</u>
4.3. Minimum Miktarda Yağlama (MMY) Sistemi	29
4.3.1. Minimum miktarda yağlama dahili sistemi	30
4.3.2. Minimum miktarda yağlama harici sistemi	33
BÖLÜM 5	35
MATERYAL VE YÖNTEM	35
5.1. Deney Malzemesi	35
5.2. Takım Tezgahı ve Kesici Takımlar	35
5.3. İtme Kuvveti Ölçümü	38
5.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	39
5.5. Delaminasyon Faktörünün Belirlenmesi	40
5.6. Deney Tasarımı ve Analizi	42
BÖLÜM 6	44
DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİZİ	44
6.1. Kuru Kesme Şartında Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	44
6.1.1. İtme kuvvetinin değerlendirilmesi	44
6.1.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	49
6.1.3. Delaminasyonun faktörünün değerlendirilmesi	53
6.2. MMY Kesme Şartında Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	57
6.2.1. İtme kuvvetinin değerlendirilmesi	57
6.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	62
6.2.3. Delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi	66
BÖLÜM 7	72
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
7.1. Sonuçlar	72
7.2. Öneriler	73
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Takviye biçimine göre kompozitlerin sınıflandırılması	13
Şekil 3.2. Yaygın olarak kullanılan fabrikasyon tipleri	15
Şekil 3.3. Çok yönlü kompozit laminatlar	15
Şekil 4.1. CFRP'lerin delinmesini etkileyen faktörlerin kılçık şeması ile gösterilmesi	25
Şekil 4.2. Matkap ile delik delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri	27
Şekil 4.3. Minimum miktarda yağlamada dıştan ve içten püskürtme	30
Şekil 4.4. Dahili MMY sistemi	32
Şekil 4.5. Dahili sistemin pnömatik şeması	33
Şekil 4.6. Harici MMY sistemi pnömatik şeması	34
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	36
Şekil 5.2. Hız kafası	37
Şekil 5.3. Delik delme işleminde delaminasyon oluşumu; a) Giriş, b) Çıkış	41
Şekil 5.4. Delaminasyon faktörünün şematik olarak gösterilmesi	42
Şekil 6.1. Kaplamasız WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fz değişimi .45	
Şekil 6.2. TiAlN kaplamalı matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fz değişimi	46
Şekil 6.3. Elmas kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fz değişimi	48
Şekil 6.4. Kaplamasız WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Ra değişimi..49	
Şekil 6.5. TiAlN kaplamalı matkapla kuru kesme şartında elde edilen Ra değişimi	51
Şekil 6.6. Elmas kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Ra değişimi	52

Sayfa

Şekil 6.7. Kaplamasız WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fd değişimi	.54
Şekil 6.8. TiAlN kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fd değişimi55
Şekil 6.9. Elmas kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fd değişimi56
Şekil 6.10. Kaplamasız WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fz değişimi58
Şekil 6.11. TiAlN kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Fz değişimi	59
Şekil 6.12. Elmas kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Fz değişimi	.61
Şekil 6.13. Kaplamasız WC matkapla MMY şartında elde edilen Ra değişimi63
Şekil 6.14. TiAlN kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Ra değişimi64
Şekil 6.15. Elmas kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Ra değişimi	65
Şekil 6.16. Kaplamasız WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fd değişimi67
Şekil 6.17. TiAlN kaplamalı WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fd değişimi68
Şekil 6.18. Elmas kaplamalı WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fd değişimi70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Takviye amacıyla sık kullanılan bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri	12
Çizelge 3.2. Çeşitli karbon fiber tiplerinin özellikleri.....	17
Çizelge 3.3. Çekme mukavemetine ve mukavemet / modül oranına göre sınıflandırılan karbon fiberler.....	17
Çizelge 3.4. Epoksi reçine matrisinin mekanik ve termal özellikleri	19
Çizelge 3.5. Eşdeğer GFTP ve AFTP kompozitlerine karşı en sık kullanılan CFRP kompozitlerin çeşitli mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 4.1. MMY işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri	31
Çizelge 5.1. Deneilerin gerçekleştirildiği tezgahın özellikleri.....	36
Çizelge 5.2. Hız kafasının özellikleri.....	37
Çizelge 5.3. Kesici takımların özellikleri.....	37
Çizelge 5.4. Kesici takım geometrileri.....	38
Çizelge 5.5. Kistler 9272 tipi dinamometrenin özellikleri.....	39
Çizelge 5.6. Kistler 5070A tipi yükseltecin özellikleri	39
Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.....	40
Çizelge 5.8. Delme parametreleri.....	43
Çizelge 5.9. Deney tasarımı	43
Çizelge 6.1. Kaplamasız WC takımla ölçülen Fz için ANOVA sonuçları	46
Çizelge 6.2. TiAlN kaplamalı takımla ölçülen Fz için ANOVA sonuçları	47
Çizelge 6.3. Elmas kaplamalı WC takımla ölçülen Fz için ANOVA sonuçları	48
Çizelge 6.4. Kaplamasız WC takımla elde edilen Ra için ANOVA sonuçları	50
Çizelge 6.5. TiAlN kaplamalı WC takımla elde edilen Ra için ANOVA sonuçları ..	52
Çizelge 6.6. Elmas kaplamalı WC takımla elde edilen Ra için ANOVA sonuçları ..	53
Çizelge 6.7. Kaplamasız WC takımla elde edilen Fd için ANOVA sonuçları	54
Çizelge 6.8. TiAlN kaplamalı WC takımla elde edilen Fd için ANOVA sonuçları ..	56
Çizelge 6.9. Elmas kaplamalı WC takımla elde edilen Fd için ANOVA sonuçları ..	57
Çizelge 6.10. MMY şartında kaplamasız WC takımla Fz için ANOVA sonuçları ...	59

Çizelge 6.11. MMY şartında TiAIN kaplamalı WC takımıla Fz için ANOVA sonuçları	60
Çizelge 6.12. MMY şartında elmas kaplamalı WC takımıla Fz için ANOVA sonuçları	62
Çizelge 6.13. MMY şartında kaplamasız WC takımıla Ra için ANOVA sonuçları...63	
Çizelge 6.14. MMY şartında TiAIN kaplamalı WC takımıla Ra için ANOVA sonuçları	65
Çizelge 6.15. MMY şartında elmas kaplamalı WC takımıla Ra için ANOVA sonuçları	66
Çizelge 6.16. Kaplamasız WC takımıla MMY kesme şartında belirlenen Fd için ANOVA sonuçları.....	68
Çizelge 6.17. TiAIN kaplamalı WC takımıla MMY kesme şartında belirlenen Fd için ANOVA sonuçları.....	69
Çizelge 6.18. Elmas kaplamalı WC takımıla MMY kesme şartında belirlenen Fd için ANOVA sonuçları.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	: Milimetre
m	: Metre
dak	: Dakika
μm	: Mikrometre
MPa	: Mega Pascal
GPa	: Giga Pascal
Al	: Alüminyum
Ti	: Titanyum
Fsz	: Kesme Kuvveti
Frz	: Radyal Kuvvet
Fvz	: İlerleme Kuvveti
Fnz	: Bileşke Kuvvet
k_s	: Özgül Kesme Kuvveti
Msz	: Kesme Momenti
Ra	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
Fd	: Delaminasyon Faktörü
N	: Newton
V	: Kesme Hızı
f	: İlerleme Miktarı
P	: Matkap Uç Açısı

KISALTMALAR

CFRP	: Carbon Fibre Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)
MMY	: Minimum Miktarda Yağlama
LFVAD	: Low Frequency Vibration Assisted Drilling (Düşük Frekanslı Titreşim Yardımıyla Delme)

TiAlN : Titanyum Alüminyum Nitrür
HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
PMK : Polimer Matrisli Kompozit
SMK : Seramik Matrisli Kompozit
MMK : Metal Matrisli Kompozit
CVD : Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buharla Biriktirme)
FTP : Fiber Takviyeli Polimer
E-cam : Elektrik Cam
S-cam : Sert Cam
PAN : Poliakrilonitril
AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayısal Kontrol)
ANOVA: Varyans Analizi
PCR : Percentage Contribution Ratio (Yüzde Katkı Oranı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Havacılık, uzay, otomotiv, denizcilik ve spor endüstrilerinde karbon fiber takviyeli polimer (Carbon fibre reinforced polymer, CFRP) kompozitlerin artan kullanımı nedeniyle bu malzemelerin işlenebilirliği yoğun olarak araştırılmaktadır. Özellikle havacılık endüstrisinde, polimer esaslı kompozit malzemeler, uçak yapısal bileşenlerinin imalatında kullanılan alüminyum ve çelik gibi daha geleneksel konstrüksiyon malzemelerinin yerini almaktadır. CFRP kompozit malzemeler, mükemmel 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 ihtiyaç duyulmaktadır. CFRP kompozit laminelerden yapılan uçak yapısal parçalarının imalatı ve montajında en yaygın işleme süreci olarak delik delme işlemi uygulanmaktadır. Ancak, polimer matrisin düşük ısı iletkenliği ve karbon fiberlerin aşındırıcılık özelliği yüzünden CFRP kompozit malzemeler işlenmesi zor malzemelerdir. Bundan dolayı, CFRP kompozitlerin delinmesinde matkap kalitesi, matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı gibi delme parametreleri açısından seçici olmayı gerektirir.

Son yıllarda, özellikle çalışma esnasında yüksek mekanik yüklere maruz kalan havacılık bileşenlerinin yapımında CFRP kompozit, titanyum ve/veya alüminyumdan oluşan çok katmanlı metalik/kompozit malzemelerin kullanımı artış göstermiştir. Diğer yandan, 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 bazı olumsuzluklara neden olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, CFRP kompozit laminelerin delinmesinde

delik kalitesinin analizi için önemli bir parametre olmakla birlikte, işleme operasyonları ile imal edilen parçalar için yüzey bütünlüğünün değerlendirilmesinde dikkate alınan bir kriterdir. Bu bağlamda, CFRP kompozit malzemelerin delinebilirliği üzerine yapılan çalışmaların çoğunlukla, kesici takım (Takım malzemesi, kaplama tipi, takım geometrisi vb.) ve kesme parametrelerine (ilerleme miktarı ve kesme hızı) bağlı olarak değişen itme kuvveti, delik girişi ve çıkışında oluşan delaminasyon ve yüzey kalitesi hakkında olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda, CFRP kompozit malzemelerin nem alma özelliğinin kayma kırılma tokluğunu olumsuz etkilemesi nedeniyle genellikle kuru kesme şartlarında işlendiğinden bahsedilmektedir. Aynı zamanda, minimum miktarda yağlama (MMY) yöntemi uygulanarak, parametreler (hava akış hızı, yağ akış hızı, nozulun kesme bölgesine uzaklığı vb.) optimize edilirse, takım aşınması ve parça geometrisinin doğruluğu açısından alternatif bir kesme sürecinin sağlandığı vurgulanmaktadır.

CFRP kompozit malzemelerin delinebilirliği üzerine yapılan ve yedi bölümden oluşan bu tez kapsamında, üç farklı matkap kalitesi ve matkap uç açısı kullanılarak kuru ve MMY kesme şartlarında itme kuvveti, delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğünün değişimleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Brinksmeier ve Janssen, çok katmanlı malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada geliştirilmiş geometri ve kaplamalı farklı karbür matkap tasarımlarıyla, kesme kuvvetleri, takım aşınması, delik kalitesi ve talaş oluşumunu karakterize etmişlerdir. İncelemeler sonucunda, titanyum malzeme katmanlarının kuru işlenmesinin alüminyum ve CFRP kompozit katmanlarında takım aşınması, talaş oluşumu problemleri ve yüzey hasarına yol açtığını belirtmişlerdir. Delme deneylerini farklı kesme sıvıları ve besleme stratejileri kullanılarak minimum miktar yağlama (MMY) ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada esas olarak, takım şekli, takım malzemesi ve işleme parametreleri açısından optimum delme koşullarının geliştirilmesine odaklanılmıştır. Ayrıca titanyum işlerken yüksek mekanik ve termal yüklerden dolayı deliğin yüzey kusurlarını ve oluşan çap toleranslarını analiz etmişlerdir. Çok katmanlı malzemelerin delinmesinde içten beslemeli MMY yönteminin kullanılabileceğini önermişlerdir [1].

Rusinek, 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, 2000, 3500, 5000, 6500 ve 8000 devir/dak ve 200, 270, 370, 520 ve 720 mm/dak ilerleme değerleri 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 [2].

Pecat ve Brinksmeier, düşük frekansta titreşim yardımıyla delme işlemini 10'ar mm CFRP kompozit ve Ti6Al4V malzeme istifi için uygulamışlardır. Kesintili kesmeye neden olan aksenal salınımlar metalik malzeme (Ti6Al4V) içinde küçük parçacıklı talaşlara sebep olduğunu belirtmişlerdir. Küçük talaş parçacıklarının çıkmasını iyileştirmesinden dolayı CFRP kompozitlerde delik yüzeylerinin belirgin mekanik hasarları önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Düşük frekanslı titreşim yardımıyla delme (LFVAD) kullanımını geleneksel delme ile karşılaştırıldığında, titanyum alaşımlarının delinmesi işleminde kesme sıcaklığının %40 oranında azaltılabildiği termografik görüntüler ile gösterilmiştir. Sonuç olarak, düşük frekansta titreşim yardımıyla delme işlemi uygulanırken matris malzemesinde termal hasar olmadığı bulunmuştur [3].

Kuzu ve diğerleri, kompakt grafitli demirin MMY sistemiyle delinmesi esnasında iş parçası malzemesindeki sıcaklık dağılımını araştırmışlardır. Çalışmalarında kesme kuvvetini ve torku, kesici takımın radyal çapını ve kesici kenarını küçük elemanlara ayırarak hesaplamışlardır. İş parçası malzemesine geçen ısı miktarının tahminini yapabilmek için adveksiyon ısı transfer mekanizması kullanılarak ısı kaynağının hareketli olduğu tanımlanmıştır. MMY'den kaynaklanan ısı taşınım katsayısı ve kesici takımın zırhındaki ısı akıları tersine ısı transferi yöntemiyle hesaplanmıştır. Geliştirilen ısıl model termal elemanlar yardımıyla doğrulanarak model sonuçlarıyla deneysel verilerin iyi bir korelasyona sahip olduğu belirtilmiştir [4].

Heinemanna ve diğerleri, çalışmalarında derin delik delme işlemi esnasında meydana gelen düşük düzeydeki yağlamanın (MMY) kesici takım ömrüne etkisini incelemişlerdir. Deneyleri için kullanılacak iş parçası malzemesi olarak adi karbonlu çelik seçerek, kesici takım olarak 1,5 mm çaplı helisel iki ağızlı matkap seçmişlerdir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler sonucunda, kesici takımın ucunda yeterli miktarda yağlama yapılmamasından dolayı meydana gelen ısıyla beraber matkabın ucunda ani bozulmaların meydana geldiğinin sonucuna varmışlardır [5].

Meena ve Mansori yaptıkları çalışmada delik delme işleminde oluşan takım aşınmasını azaltarak, takım ömrünü ve işlenebilirliği arttırarak, çevresel ve ekonomik etkenler doğrultusunda, soğutucu akışkanın en aza indirilmesini amaçlamışlardır. Hafif sınıf

otomotiv parçaları ve bağlantı çubuklarının üretiminde kullanılan, yeni sınıf sertleştirilmiş sünek döküm malzemenin, TiAlN kaplamalı tungsten karbür takım ile kuru şartlar ve MMY yöntemi kullanılarak işlenmesi araştırılmıştır. Sonuçlar, MMY ile işleme sonrasında kesici takım aşınmasında, kesme kuvvetlerinde ve yüzey pürüzlülüğünde önemli miktarda azalma olduğunu ve kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklıklarda düşüş olduğunu göstermiştir [6].

Chiffre ve diğerlerinin deneysel çalışmalarında, raybalama işleminde MMY sistemi kullanılmasının, sayısal yaklaşım kullanılarak işleme kabiliyeti araştırılmıştır. Bu işlem ile farklı kesme hızı verileri ve yağlama koşulları kullanılarak östenitik paslanmaz çelik malzemeye, yüksek hız çeliği (HSS) takım kullanılarak raybalama uygulanmıştır. Raybalama işlemleriyle bir kısım değerlendirme parametreleri (delik çapı, yuvarlaklık, silindiriklik ve yüzey pürüzlülüğü) ve oluşan kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. İtme ve döndürme raybalama için kullanılan MMY sistemi, incelenen işlem koşullarında, delik kalitesi, itme ve döndürme kuvveti, geometrik karakteristiği ve yüzey kalitesi açısından kendisini kanıtlamıştır [7].

Perçin ve diğerleri, Ti6Al4V alaşımının mikro delme işlemlerinde, çeşitli işleme koşulları (kuru, sulu, minimum miktar yağlama ve kriyojenik) ve kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme miktarı) yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti, tork, takım aşınması, çapak üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. İş parçası malzemesinde delik delmek için 700 µm'lik çapa sahip bir kaplamasız karbür matkap kullanmışlardır. Hem talaş kaldırma koşulları hem de kesme parametrelerinin itme kuvveti ve torku etkilediğini belirtmişlerdir. Kriyojenik soğutmada tork ve itme kuvvetinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Maksimum ortalama tork değeri, kuru delik delme işleminde elde edilmiştir. Çeşitli soğutucu-yağlama koşullarının çapak yüksekliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, kriyojenik delik delme işleminde çapak yüksekliğinin minimum seviyede olduğu gözlenmiştir. Minimum yüzey pürüzlülüğü, sulu soğutma koşullarında elde edilmiştir. Kuru delik delme işleminde artan kesme hızı, deliğin alt yüzeyinde sertliğin azalmasına neden olduğunu ve bunun delik yüzeyinin ve alt yüzeyinin kuru mikro delme işleminde yumuşamaya maruz kaldıklarını göstermekte olduğunu belirtmişlerdir. Farklı soğutma ve yağlama koşullarında elde edilen deliklerin alt

yüzeyindeki yumuşama, kuru mikro delme işlemine kıyasla çok daha küçük olduğunu deneysel çalışmalarında açıklamışlardır [8].

Babu ve diğerleri, çalışmalarında alüminyum matrisli kompozit malzemenin delinmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde delik delme parametrelerinin etkisini deneysel ve bulanık mantık yöntemi ile incelemiştir. Delme deneyleri, MMY kesme ortamında kaplamasız ve kaplamalı HSS kesici takımlarıyla Al7075/%10-SiCp kompozit üzerinde Taguchi L₂₇ dikey dizine göre gerçekleştirilmiştir. Kullanılan girdi parametreleri kesme ortamı, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesici takım malzemesi ve uç açısıdır. Deneysel malzemesi kompozit, alüminyum matris malzemesi içine 53 µm boyutunda SiC parçacıkları ilave edilerek karıştırma döküm yöntemi ile imal edilmiştir. Deneysel ve bulanık mantık yöntemi ile tahmin edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın olduğunu belirtmişlerdir. Kesme ortamının yüzey pürüzlülüğü üzerinde minimal etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir [9].

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 CFRP kompozit malzeme, 5 mm çapında (DIN 6537) helis açılı karbür matkap ve delikte oluşan hasarın ölçümü için 600 dpi çözünürlüklü tarama cihazı kullanmışlardır. 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, delaminasyon faktörünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak sayısal analiz yaklaşımı kullanarak karşılaştırılması yapılmıştır. Artan kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak delaminasyon faktöründe artış olduğu belirtilmiştir [10].

İşbilir ve Ghassemieh, AlTiN kaplamalı tungsten karbür matkap uçları kullanarak CFRP, Ti6Al4V ve CFRP/Ti6Al4V malzemeleri üzerinde delme deneyleri yapmışlardır. Çeşitli işleme koşullarında, itme kuvveti, tork, çapak, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması analiz edilmiştir. Ti6Al4V'nin delinmesinde, ilerleme miktarının artması ile itme kuvveti, tork, çapak ve ortalama yüzey pürüzlülüğü artarken, kesme hızının artması ile azalmaktadır. CFRP kompozit malzemenin delinmesinde, delaminasyon ve ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme

parametreleri ile benzer eğilimde olup itme kuvveti ve tork ise kesme hızının artmasıyla yükselmektedir. Deneysel sonuçlara göre; CFRP/Ti6Al4V istiflerinde 15 delik açıldıktan sonra itme kuvveti CFRP’de %20, Ti6Al4V’de %45 artış göstermiştir. Takım ömrünün, aşınma mekanizmalarının birleşiminden dolayı istiflerin delinmesinde önemli miktarda azaldığı belirtilmiştir [11].

Wang ve arkadaşları, CFRP kompozit malzemenin üç farklı matkap (kaplamasız, elmas kaplamalı ve AlTiN kaplamalı) ile delinebilirliğini incelemiştir. CFRP kompozitin işlenmesindeki takım aşınması geleneksel metal işlemeden farklı oluşmaktadır. Birincil aşınma tipi kenar yuvarlatma aşınması veya kenar girinti olarak bilinen körleşme ve düzleşme olmuştur. Bu çalışmada, CFRP kompozit işlemede kenar yuvarlatma aşınmasını açıklamak için bir hipotez geliştirilmiştir. CFRP kompozitlerde talaş oluşumunda kopmadan dolayı normalde metal işlemede kenar aşınmasını önleyen kesme kenarının önündeki durgunluk bölgesinin eksikliği vardır. Aşınmalar kesme kenarının hızlı körleşmesini sebep olur. 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. CFRP kompozitin 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 bulunmuştur [12].

Iskandar ve arkadaşları, CRFP kompozit malzemelerin nem alma özelliğinin kayma kırılma tokluğunu olumsuz etkilemesi nedeniyle genellikle kuru kesme şartlarında işlendiğinden bahsetmektedir. Ancak, MMY 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 olabileceğini vurgulamışlardır. Bu amaçla, 4 ağızlı kaplamasız karbür parmak freze ile CFRP kompozit malzemenin işlenmesinde soğutma/yağlama uygulamalarının kesme kuvveti, takım aşınması ve işleme doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. MMY 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 belirtmişlerdir [13].

Merino-Perez ve arkadaşları, CFRP kompozit malzemenin kaplamasız kesici takımla delinmesinde ısı dağılımı üzerinde kesme hızı ve malzeme özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Üç farklı yapıdaki CFRP kompozit malzeme üzerinde, 6.5 mm çapında kaplamasız karbür matkap ile 50-200 m/dak kesme hızlarında yapılan delme deneyleri sırasında oluşan ısıyı ısıl-çift ve termal kamera yardımıyla ölçmüşlerdir. CFRP malzemenin delinmesinde oluşan sıcaklık üzerinde, karbon-fiber takviye oranı ve tipinin önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek takviyeli CFRP kompozit 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 [14].

Yaşar ve arkadaşları, CFRP kompozit laminelerin delinmesinde yüzey pürüzlülüğü ve delik çapı açısından delik kalitesi üzerinde matkap uç açısı ve kesme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Delme deneyleri, üç farklı uç açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarında 5 mm çapında kaplamasız tungsten karbür matkap kullanılarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda, ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artarken, delik çapında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel verilere uygulanan varyans analizine göre %78,02 PCR ile en önemli parametrenin ilerleme miktarı olduğunu tespit etmişlerdir. En düşük delik çapı en büyük uç açısına sahip matkapla elde edilmesine rağmen hem yüzey pürüzlülüğü hem de delik boyutu açısından 130'lik matkabın daha uygun olduğunu vurgulamışlardır [15].

Literatür incelemesi sonucunda, CFRP kompozit malzemelerin işlenmesinde kesme hızı, ilerleme miktarı, kesici takım malzemesi ve geometrisi gibi çeşitli kesme şartlarının genellikle itme kuvveti, yüzey kalitesi, moment, delaminasyon ve takım

ömrü gibi işlenebilirlik kriterleri üzerindeki etkilerinin incelendiği anlaşılmaktadır. Son yıllarda, titreşim yardımıyla kesme ve minimum miktarda yağlama (MMY) yöntemleri ile kompozitlerin işlenmesi üzerine çalışmalar yapıldığı ve bu uygulamaların uygun kesme şartları kullanıldığında, kuru kesmeye alternatif olabileceğinden bahsedilmektedir. Diğer yandan, CFRP kompozit malzemelerin sahip olduğu anizotropik yapı ve düşük ısı iletkenliği nedeniyle, tabakalı yapıda oluşan delaminasyon ve ısıl problemlerin işlenebilirliği kötüleştirdiği bilinmektedir. Aynı zamanda, takım maliyetlerinin toplam imalat maliyeti içinde önemli bir paya sahip olması, bu malzemelerin işlenmesinde kesici takımlar açısından seçici olmayı gerektirmektedir. Bu çalışma kapsamında, CFRP kompozit malzeme üzerinde kuru kesme ve MMY uygulamaları ile delinebilirlik deneyleri yapılacaktır. Deney tasarımı yapılarak gerçekleştirilecek delme işlemlerinde kesme parametrelerinin itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörünün kesici takım (matkap) kalitesi, matkap uç açısı ve kesme parametrelerine göre değişimleri deneysel ve istatistiksel olarak analiz edilecektir.

BÖLÜM 3

KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, esas olarak birbirleri arasında çözünemeyen ve birbirlerinden farklı biçim veya kompozisyona sahip iki ya da daha fazla bileşenin birleşiminden meydana gelen malzemelerdir. Kompozitler, doğrudan kullanılmayan iki farklı malzemedan belirli bir özelliği oluşturmak için uygun şartlarda birleştirilmesiyle oluşturulur. Kompozit malzemeler genel olarak düşük elastikiyet modülü ve dayanımı olan reçineler veya esas fazı metal matris ile içerisinde dağılım gösteren takviye elemanlarından meydana gelmektedir [16].

Kompozit malzemeler, üretildikleri malzemelerin yanı sıra yüksek mukavemet, hafiflik, tasarımda esneklik göstermesi, dielektrik sabitliklerinin yüksek olması, korozyon dirençlerinin yüksekliği ve yüksek ısı dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Aynı yönlü aramid ve karbon fiber takviyeli epoksi kompozit malzemeleri, çelik ve alüminyumdan yaklaşık olarak 4-6 kat daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Aynı yönlü grafit takviyeli epoksi, çelik ve alüminyumdan yaklaşık 3,5-5 kat daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Kullanım yerlerine ve özelliklerine bağlı olarak gerek duyulan özellikler geliştirilerek kontrol edilmektedir. Karmaşık parçaların, tek parça halinde olarak üretilmesinden dolayı parça sayısında azalma sağlanır. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır [17]. Buna karşılık belirgin bazı dezavantajları; hammaddenin pahalı olması, uçaklarda kullanılacak kalitede karbon elyafının bir metre karelik kumaşının maliyeti yaklaşık 50 \$'dır. Ancak bağlantı elemanları sayısında ve ağırlıkta azalma olması dikkate alındığında, toplam maliyette bir azalma söz konusu olmaktadır. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katmanlar arası düşük kesme dayanımı özelliği bulunmaktadır. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlı olup, standart bir kalitesi bulunmamaktadır. Kompozitler gevrek olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görebilir

ve onarılmaları yeni problemler oluşturabilir. Kompozit malzemeler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır [18].

Kompozit malzemelerin içerisinde genel olarak üç ana eleman bulunmaktadır. Bunlardan matris malzemesi, takviye elemanını sararak bir arada tutan, yükleri aktaran, yapıyı dış etmenlerden koruyan sürekli fazı oluşturmaktadır. Matris malzemesi, bu işlevlerin yanı sıra, kompozit bünyesindeki gerilmelerin bir kısmını karşılayarak taşımaya yardımcı olmakta ve liflerde meydana gelen çatlama ve kopmaları tolere ederek kompozitin tokluğunu artırmaktadır. Ancak, yük taşımaya ikinci malzeme olarak katılma durumu basınç halinde değişmekte ve kompozitin basınç mukavemeti büyük ölçüde matrisin mukavemetine bağlı olmaktadır. Bir kompozitin kullanım sıcaklığı matrisin kullanım sıcaklığı ile sınırlıdır. Matrislerin çoğu sıvı halde kullanıldığı için viskozite önemlidir. Erime noktası, kür zamanı, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrislerin diğer önemli noktalarıdır [19].

Kompozitlerin yapısında takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin dayanımını artırmaktır. Takviye elemanı, kompozitin mekanik dayanıklılığından sorumludur ve dayanıklılığı artırıcı etkisi çoğu kez kompozit içerisindeki hacmi %10'unu geçtiğinde gözlenmeye başlar. Bu nedenle takviye amacıyla kullanılan lifin mekanik dayanımı matristen belirgin yüksek olmalıdır. Cam, karbon, aramit, bor, polietilen, poliamit, poliester, doğal lifler veya dokumalar kompozit hazırlamada kullanılan liflere örneklerdir. Çizelge 3.1'de takviye amacıyla sık kullanılan bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülü değerleri verilmiştir. Bu lifler içerisinde genel amaçlı ticari kompozitlerde en fazla cam lifler, ileri kompozitlerde ise aramit ve karbon lifler kullanılmaktadır [19].

Çizelge 3.1. Takviye amacıyla sık kullanılan bazı liflerin ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri [19].

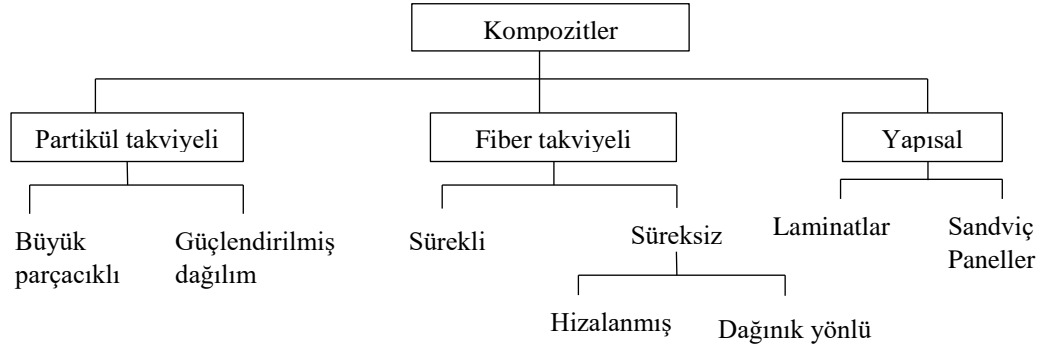
Lif ve metal	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (GPa)
Karbon Lifi	2000-3500	325-440
Aramid Lifi	3100-3600	60
E-cam Lifi	2400	70
S-cam Lifi	3450	85
Alüminyum	130-180	72
Titanyum	250-400	105
Paslanmaz Çelik	206-520	196

Elyafaların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafaların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere bağlıdır.

1. Üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyafalara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastisite modülünün çok yüksek olması. Dolgular, kimyasallar ve diğer katkı matrise niteliklerine göre özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler. Katkı maddelerinin yanma geciktirici, yağlayıcı ve oksit giderici gibi amaçları vardır [19].

3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozitler genel olarak kullanılan matris sistemine göre sınıflandırılır ve geniş olarak metal matris kompozitler (MMK'ler), seramik matris kompozitler (SMK'ler) veya polimer matris kompozitler (PMK'ler) olarak ayrılabilir. Alternatif olarak, genellikle tipik olarak parçacıklar, lifler (sürekli, kesikli, sıralı ve rastgele) ve yapısal düzenlemeleri içeren takviye formatı/düzenlemesine göre kategorize edilebilir (Şekil 3.1) [20].



Şekil 3.1. Takviye biçimine göre kompozitlerin sınıflandırılması [20].

Metal matrisli kompozitler tipik olarak uygun çalışma sıcaklığı uygulamaları için kullanılır [21]. MMK'lerin faydaları yanmazlık ve organik sıvılarla bozulmaya karşı yüksek direnç içerir, ancak genellikle fiber takviyeli polimerlerden daha ağırdır ve fiber/matris arayüzeyi bozulmaya uğramakla birlikte korozyona eğilimli olmaktadır. Seramik matrisli kompozitler, yüksek sıcaklıklarda metallerden daha yüksek spesifik modül ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu özellik, SMK'lerin 2000 °C'ye kadar kullanımına izin verir, ancak uygulama alanları kırılma nedeniyle sınırlıdır [22].

Dağılımla güçlendirilmiş kompozitler, matris malzemesine eklenen küçük parçacıkları içerir. Bu parçacıklar, matrisin deformasyon direncine katkıda bulunur ve daha sert ve daha güçlü bir materyal elde edilmesini sağlar. Büyük parçacık takviyeli kompozitlerle, parçacık çapı tipik olarak birkaç μm düzeyinde olanlar ve yükün büyük bir bölümünü taşır [20]. Otomobil lastiği, bir poli-izobütilen elastomerik polimer matris içine gömülü nispeten büyük karbon parçacıklarına sahip olan bu konfigürasyonun bir örneğidir. Lifler, tipik olarak kimyasal buharla çökeltme (CVD) ile imal edilen anizotropik tek kristallerdir ve çapı tipik olarak 0.1-1 μm arasında olan 10-100'lük uzunluk/çap oranlarına sahiptir. Kompozitlerin izotropik yapısını korumak için rastgele dağıldıkları için parçacıklar ve lifler çoğunlukla MMK ve SMK'ler ile birlikte kullanılır.

Lif takviyeli kompozitler ilk Papirüs bitkisinden yapılmış kağıtlar için antik Mısır'da milattan önce yaklaşık 4000 civarında üretilmiştir [22]. Halen mühendislik uygulamaları için kullanılan lifler nispeten uzun eksenlere sahiptir ve çoğunlukla

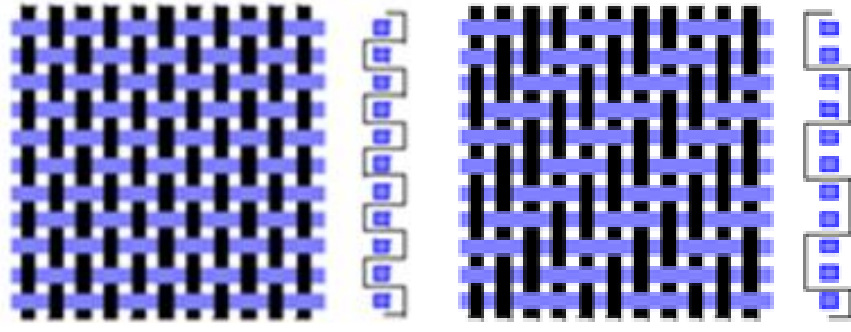
daireseldir ve uzunluk eksenini boyunca daha büyük mekanik özelliklere sahiptir. Lif veya fiber takviyeli kompozitler aşağıdaki bölümde daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Yapısal kompozitler, tipik olarak laminat olarak bilinen homojen bir materyal üretmek için lif takviyeli plastik tabakaların/katların çok katmanlı istiflenmesiyle üretilmektedir. Laminat özellikleri, yapının geometrik tasarımı gibi bireysel katmanlara da bağlıdır. Laminatlar, bazen petek yapıları sandviç paneller oluşturmak için kullanılır [20].

3.1.1. Fiber Takviyeli Polimer Kompozitler

Sünek/yumuşak bir polimer matrisi içerisine kuvvetli/kırılgan lifler eklendiğinde, polimer matrisli kompozitlere sıklıkla fiber takviyeli polimerler denir [21]. Tek yönlü veya örgü biçimindeki sürekli fiberler/elyaflar, FTP kompozitlerin temel elyaf desenleridir. Örgü biçimindeki yapılar dikey olarak kesişen lifleri içerdiği halde, tek yönlü terimi liflerin tek bir yönde düzenlendiği (döşenmeden önce) malzemeye karşılık gelir.

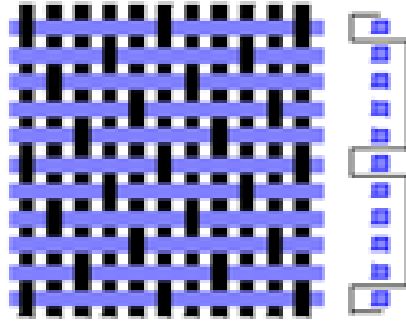
Şekil 3.2’de gösterildiği gibi dokuma kumaşlar düz örgüler (her bir dikey lif ipliğinin üzerine ve altına geçen her bir lif ipliği), dimi örgüler ve saten dokumalar (Beş koşum saten her beşinci dikey lif ipliğinin altından geçen her ipliği ifade eder) [22]. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi hem tek yönlü hem de dokunmuş katlar çok yönlü kompozit laminatlar üretmek üzere hazırlanabilir.

PMK’de kullanılan C, G veya A harflerinin, kısaltma liflerinin doğasını belirtmek için kısaltma FTP’sinden önce yerleştirildiği karbon, cam ve aramid, en yaygın lif türüdür [21]. Örneğin, CFRP, Karbon Fiber Takviyeli Polimer için kısaltma iken GFTP ve AFTP sırasıyla Cam ve Aramid Fiber Takviyeli Plastik kısaltmalarıdır. Bor ve polietilen elyafları, daha az oranda olsa da FTP kompozitleri için de kullanılır [23].



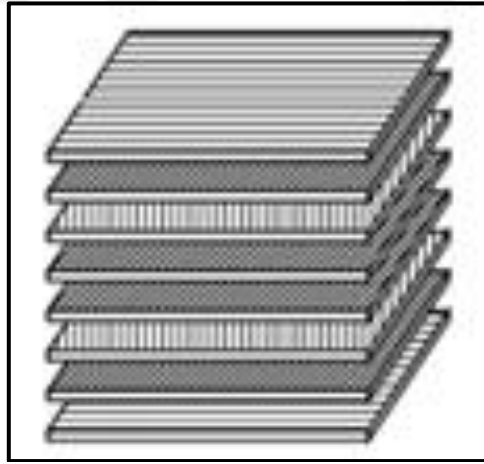
a) Düz örgü

b) Dimi örgü



c) Saten dokuma

Şekil 3.2. Yaygın olarak kullanılan fabrikasyon tipleri [23].



Şekil 3.3. Çok yönlü kompozit laminatlar.

3.1.1.1. Farklı Liflerin Özellikleri

Lifler tipik olarak sıvı madde çekerek veya bir delik vasıtasıyla bir öncüsü (başlangıç/ham lif hali) çekerek üretilir. Endüstride kullanılan üç temel elyaf türü aşağıda tartışılmakta ve cam, kevlar / aramid ve karbon elyafları içermektedir.

Cam, yüksek gerilme mukavemeti (~4600 MPa'ya kadar), düşük yoğunluk (~ 2,5 g/cm³), mükemmel kimyasal, ateş ve ısı direnci ve aynı zamanda diğer elyaflara kıyasla düşük maliyet nedeniyle polimer matrislerini takviye etmek için en sık kullanılan elyaftır. Elektrik camı (E-cam), endüstride en yaygın kullanılan, üstün elektriksel özelliklere ve dayanıklılığa sahiptir ($\sigma_u = 3450$ MPa ve $E = 73$ GPa) [24]. Yüksek mukavemetli ve sertlikli cam elyafı (S-cam), daha fazla alümin içeriği ile karşılaştırıldığında nispeten daha pahalıdır. Cam elyaf kompozitleri, aşınma ve aşınma direncinin yüksek olması nedeniyle kimyasal endüstride ve deniz uygulamaları için borulama için kullanılır. Ne yazık ki, cam elyafları oldukça aşındırıcıdır ve GFTP kompozitlerin işlenebilirliğini olumsuz şekilde etkiler.

Aramid liflerinin ticari adı Kevlar'dır [22]. Yüksek gerilme mukavemeti ve gerilme katsayısı ($\sigma_u = 3720$ MPa ve $E = 63-143$ GPa) ile birlikte düşük yoğunluk (1,44 g/cm³) ile karakterizedirler [25]. Sertlik 125 GPa kadar yüksek olabilir ve gerginlikte çok güçlü olmasına rağmen çok düşük sıkıştırma ve kesme özellikleri vardır. Aramid elyafları üstün etki, sürünme ve yorulma direncine ek olarak, mekanik özelliklerini -200 ile 200 °C arasında muhafaza edebilirler. Kevlar elyafları çoğunlukla basınçlı kaplar, otomobil frenleri, debriyaj balataları ve contalar için kırılman matrislerdeki tokluğu arttırmak için kullanılır [20]. Aramid elyaf kompozitlerinin kesilmesi, işlenmiş yüzeyin bulanıklığına neden olan daha sonraki yay gerilimi ile bükülme sırasında büyük deformasyonu devam ettirebildikleri için takımların yüksek derecede kenar keskinliğine ve küçük bir kesici kenar yarıçapına sahip olmalarını gerektirir [26].

Karbon elyafları ilk olarak 1960'larda tanıtıldı [22]. Düşük bir yoğunluğa (~1,6 g/cm³) sahip olmasının yanı sıra, çeliklerin sertliğinin 3 katına kadar ve inşaat çeliğinin 15 katına kadar güçlü olabilen geniş bir modül ve çekme dayanımı yelpazesine sahiptirler (σ_T 5000 MPa kadar) [27]. Karbon fiberler kristalografik, amorf ya da kristal yapının parçası ile birlikte kısa veya sürekli olabilir. Ticari karbon elyafları, poliakrilonitril (PAN) veya zift içeren öncülerden üretilmektedir [28]. Yukarıda bahsedilen öncüllerden herhangi biriyle karbon fiberlerin üretim prosesi neredeyse aynıdır. Başlangıçta, oksijen, azot ve diğerleri gibi karbon olmayan elementlerin öncü fiberden yakılmasıyla ilgilidir. Daha sonra oksitleyici atmosferde bir fırın içine karbon fiberler (%80-95 karbon) veya daha yüksek sıcaklıkta grafit elyafları (% 99 karbon) üretirler

[22]. Liflerin özellikleri fırında karbon atomlarının yeniden düzenlenişine göre belirlenir. Zift tabanlı karbon elyaflarının daha düşük sıkıştırma mukavemetlerine sahip olması nedeniyle, PAN esaslı elyaf en yaygın kullanılan öncüdür. Karbon elyafları, genel amaçlı, yüksek performanslı ve aktifleştirilmiş karbon elyafları olmak üzere üç kategoriye ayrılır [27].

Genel amaçlı tip, amorf ve izotropik yapı, düşük gerilme mukavemeti, düşük çekme modülü ve maliyet ile karakterizedir. Bunun aksine, yüksek performanslı başka biçim nispeten yüksek mukavemete ve modüle sahiptir fakat oldukça pahalıdır. Aktif karbon elyafları ile, yüzeyde toplanma noktaları olarak işlev görebilen çok sayıda açık mikro gözenek varlığı kullanımını sınırlar. Bununla birlikte, su arıtma üniteleri ve gaz maskeleri gibi çevre koruma ekipmanlarının üretilmesi için kullanılırlar. Çizelge 3.2, farklı karbon elyaf tiplerinin özelliklerini detaylandırırken, Çizelge 3.3, çekme mukavemetine ve mukavemet/modül oranına göre sınıflandırılan karbon fiberlerinin özelliklerini göstermektedir [27].

Çizelge 3.2. Çeşitli karbon fiber tiplerinin özellikleri [27].

Tip	Çap (μm)	Çekme dayanımı (MPa)	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

Çizelge 3.3. Çekme mukavemetine ve mukavemet / modül oranına göre sınıflandırılan karbon fiberler [27].

Tip	Çekme modülü (GPa)	Dayanım modülü oranı (%)
Ultra yüksek modüllü	>500	-
Yüksek modüllü	>300	<1
Orta modüllü	<300	>1
Düşük modüllü	<100	İzotropik yapı
Yüksek dayanımlı	Çekme dayanımı >3 GPa	1,5-2

3.1.1.2. FTP Kompozitler İçin Matris Sistemleri

FTP kompozitlerde, matris malzemesi takviye fazını desteklemek ve bağlamak, harici uygulanan yükleri güçlendiriciye iletmek, dağıtmak, kimyasal ve elektriksel kompozit özelliklerini kontrol etmek ve herhangi bir çatlak yayılımını önlemek için kullanılır [29]. Buna ek olarak, matris normalde yumuşaktır, erir veya elyaflardan daha düşük sıcaklıkta parçalanır, bu kompozit parça için maksimum çalışma sıcaklığını düzenler (Yani PMK'ler, fiziksel özelliklerinin birçoğu aniden değişip düştüğü T_g cam sıcaklığının yakınında veya üstünde kullanılamaz) [22]. Matris fazı özellikleri iyileştirmek (örneğin izin verilen çalışma sıcaklığını arttırmak, sertlik, mukavemet ve darbe/aşınma direnci gibi mekanik özellikleri iyileştirmek) için saf veya diğer malzemelerle (katkı maddeleri) karıştırılabilir. FTP kompozitlerde sıkça kullanılan iki grup matris malzemesi, termoset polimerler (Polyester, epoksi) ve termoplastik (poliamit) dir.

Termosetler ve termoplastikler nispeten daha zayıf olan ikincil bağlara sahipken, birincil kovalent bağlarla bir arada tutulan hidrokarbon atomlarının uzun zincirlerinden oluşur. Termosetler, ısıtıldığında katı halde kalır ve oldukça kuvvetli ve sağlamdır, ancak atom hareketliliği ve rasgele düzenlenmiş moleküller arasında üstün çapraz bağlanma eksikliği nedeniyle zayıf süneklığe sahiptir [21].

Polyester matris, düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak ağırlıklı olarak cam elyaf kompozitlerinde kullanılmaktadır. Karbon fiber esaslı ürünlerle birlikte, epoksiler, genellikle sertleştirme üzerindeki düşük çekme yüzdeleri için seçilir; bu, yüksek imalat hassasiyeti, üstün mekanik özellikler ve iyi çevre direnci sağlar.

Epoksi reçineler, pres kalıplama, vakumlu fırın ve basınçlı kaptaki kütleme işlemi, filament sarım ve reçine transfer kalıplama dahil olmak üzere çeşitli kompozit üretim tekniklerinde kullanılabilir. Epoksiler nispeten pahalı olduğundan ve neme direnç ile üstün mekanik özelliklere sahip olduklarından, öncelikle havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılırlar [26].

Çizelge 3.4, KFTP kompozitlerinde soğuk çekilmiş AISI 1020 çeliği ve Al-7075-T6 alüminyum alaşımı gibi yaygın olarak kullanılan metalik malzemelere karşı kullanılan tipik bir epoksi reçine matrisinin mekanik ve termal özelliklerini detaylı olarak göstermektedir.

Çizelge 3.4. Epoksi reçine matrisinin mekanik ve termal özellikleri.

Malzeme	Epoksi reçine	AISI 1020 çeliği (soğuk çekilmiş)	Alüminyum alaşımı (Al-7075-T6)
ρ (g/cm ³)	1,1-1,3	7,85	2,8
E (GPa)	2,6-3,8	207	71
σ_T (MPa)	60-85	420	572
Süneklik (%)	2-10	15 (minimum)	11
K (W/m ⁰ C)	0,17-0,2	51,9	130
C _p (kJ/kg ⁰ C)	1,05	0,48	0,96
CTE (10 ⁻⁶ m ⁰ C)	45-65	11,7	23,4
T _g (°C)	65-175	-	-

3.1.2. CFRP Kompozitler

3.1.2.1. CFRP Kompozit Malzeme İmalatı

KFTP imalatında, vakum torbası kalıplama (fırında kürlenmiş), otoklav (basıncılı kap) kalıplama, filament sarma, pres kalıplama, basınç torbası kalıplama, termal genleşme kalıplama ve pultrüzyon gibi gelişmiş kompozit bileşenlerin imalatı için çeşitli yöntemler kullanılabilir [26].

3.1.2.2. CFRP Kompozitin Özellikleri

Karbon fiber takviyeli plastik, özellikle elyaf yönü boyunca nispeten düşük termal iletkenliğe sahiptir (fiber yönü boyunca ~80 W/mK'ya karşılık maksimum 1 W/mK'dir) [30]. Tek yönlü tabaka %60 V_f'ye sahipken, değer dokuma verisi için %55'tir. Tek yönlü laminatın dokuma malzemeye kıyasla üstün özelliklere sahip

olduğu açıktır. Çizelge 3.5, eşdeğer GFTP ve AFTP kompozitlerine karşı en sık kullanılan CFRP kompozitlerin çeşitli mekanik özelliklerini detaylandırmaktadır.

Çizelge 3.5. Eşdeğer GFTP ve AFTP kompozitlerine karşı en sık kullanılan CFRP kompozitlerin çeşitli mekanik özellikleri [21].

FTP malzeme	Çekme dayanımı, σ_u (MPa)	Elastik modülü, E (MPa)	Kırılma uzaması, ϵ_u (%)	Yoğunluk, ρ (g/cm ³)
KFTP				
Tek yönlü (V _f =%60) yüksek dayanımlı	1,200	145	0,9	1,6
Tek yönlü (V _f =%60) yüksek modüllü	800	220	0,3	1,6
GFTP				
Tek yönlü (V _f =%60)	1	45	2,3	2,1
AFTP				
Tek yönlü (V _f =%60)	1	75	1,6	1,4

3.2. CFRP KOMPOZİTLERİN UYGULAMA ALANLARI

Kompozit malzemelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Artışla beraber yeni sektörlerinde ilgi odağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uzun süre boyunca kompozit malzemelerin kullanımı genelde uçaklardı. Son zamanlarda ise uçak sanayisinin yanı sıra birden fazla alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Havacılık Sanayi

İleri kompozitler özellikle havacılık sektöründe geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemeler hafif olmalarının yanı sıra üstün mekanik özelliklere sahip olmasıyla uçaklarda ve helikopterlerde yalnızca iç mekan tasarımında değil yapılarının oluşturulduğu parçaların imalatında kullanılmaktadır.

Denizcilik Sanayi

Denizcilik sanayisinde kompozit malzemeler yelkenlerin gövdelerinde, yatların ve teknelerin arka platformlarında kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra merdiven başmaklarında ve yelken direklerinde kullanılmaktadır.

Spor Malzemeleri

Spor malzemelerinde kompozit malzemelere rağbetin artmasının en önemli nedenlerinden biri ağırlıklarının hafif olmasıyla hareket yeteneklerinde artışı sağlaması ve hafif olmalarına karşın dayanıklı olmalarıdır. Spor malzemeleri olarak, Su kayağı, su kaydırakları, kar kayakları, sörf tahtaları, bisikletler, golf sopaları, tenis raketleri ve paletlerde kullanılmaktadır.

Korozyona Dayanıklı Ürünler

Korozyon dayanımına ihtiyaç duyulan ürünlerde kullanılmaktadır. Bunlar; su tankı, mazgal olukları, yeraltındaki borular, çitler, ilan panoları ve açık sahada kullanılan dolaplardır.

Sağlık

Sağlık sektöründe tekerlekli sandalye yapımında cam ve karbon fiber takviyeli polyester kullanılmaktadır. Ayrıca tıbbi tetkik cihazlarının dış korumalarında kullanılmaktadır.

Ulaşım

Traktörlerin kaportalarının yapımında, kabin sistemlerinde, oturma birimlerinde konteynırların tabanlarında, toplu taşıtların havalandırma sistemlerinde, gösterge panelinde vb. kullanılmaktadır.

Otomotiv

Otomotiv firmaları müşterilerinin ihtiyaçlarına karşılık vermek amacıyla çevresel şartların baskısı altında daha hafif otomobiller üretmektedirler. Hafif otomobiller daha çabuk hızlanabilen ve durabilen, ilerlemek için daha küçük bir motora ve daha az benzine ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir. Otomobillerde kullanım alanları; cam silecekleri, filtre kutusu, pedallar, dikiz aynası, far gövdeleri, hava giriş manifoldu, gösterge panelleri, spoiler, yan gövdenin iskeleti ve kaportalardır.

3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Kompozit malzemelerdeki özelliklerin birçoğu metallere göre farklılık gösterdiğinden, metallere göre önem kazanmışlardır. Kompozit malzemelerin özgül ağırlığı düşük olduğundan hafif konstrüksiyonların yapımında büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, fiber takviyeli kompozitlerin korozyon dirençleri, ısı, ses ve elektrik yalıtımı sağlamaları ilgili alanlarda kullanım için avantaj sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin avantajlarına ve dezavantajlarına göre sıralaması aşağıda belirtilmiştir [31].

Yüksek Mukavemet: Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri birçok metalik malzemeye göre çok yüksektir. Bunun yanı sıra kalıplama özelliği sayesinde kompozit malzemelere istenilen yön ve bölgede gereken mukavemet verilebilmektedir. Böylece malzeme tasarrufu yapılarak, ürünlerin hafif olmaları ve daha ucuz maliyetli elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Sekillendirilebilme: Büyük ve karışık geometrili parçalar tek bir işlem ile kaplanabilmektedir. Bu avantajı ile malzeme ve işçilikten tasarruf sağlanmaktadır.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilebilir. Günümüzde büyük enerji nakil hatlarında kompozit malzemeler iyi bir iletken ve gerektiğinde başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilir.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Direnç: Kompozitler, hava şartlarından, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeni ile kompozit malzemeler kimyasal madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı dirençli olması, endüstrinin birçok alanında avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak vermektedir. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kompozit malzemenin, kalıplanması sırasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenilen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmemektedir.

Titreşim Sönümlenme: Kompozit malzemelerde süneklilik nedeni ile doğal bir titreşim sönümlenme ve şok sönümlenme özelliği bulunmaktadır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimuma indirilmiş olmaktadır.

Kompozit malzemelerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerde bulunan hava zerrecikleri malzemenin yorulma dayanımlarını olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler farklı doğrultularda farklı mekaniksel özellik göstermektedirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, eğilme ve kesme mukavemet değerleri farklılıklar göstermektedir.
- Kompozit malzemelerin delinmesinde, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya sebebiyet verdiği için, bu malzemelerde hassas imalat işleminden söz edilememektedir.
- Ham maddenin pahalı olması nedeni ile uçaklarda kullanılabilecek kalitede karbon fiberin bir metrekaresi yaklaşık maliyeti 50 dolardır.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her durumda ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanım özelliği vardır.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlı olmaktadır, standartlaşmış kalitesi bulunmamaktadır.
- Malzemelerin sınırlı raf ömürleri bulunmaktadır. Bu nedenle bazı tür kompozit malzemelerinin soğutulmuş olarak saklanması gerekmektedir.
- Sıcak kurutma işlemi gerekmektedir.

BÖLÜM 4

DELİK DELME

Delik delme işlemi, iş parçası malzemesinin delinmesi istenilen yerinden talaşın boşaltılarak veya talaşın kırılması ile deliğin elde edilmesi işlemidir. Delik derinliği işlem kontrolünü ve kaldırılacak talaş miktarının zorluğunu belirlemektedir. Delme işlemi esnasında meydana gelen talaş, meydana gelen sıcaklığa, iş parçasındaki yüzey kalitesine, ölçü bütünlüğüne ve kesme parametrelerine etki etmektedir [32].

4.1. CFRP KOMPOZİTLERİN DELİNMESİ

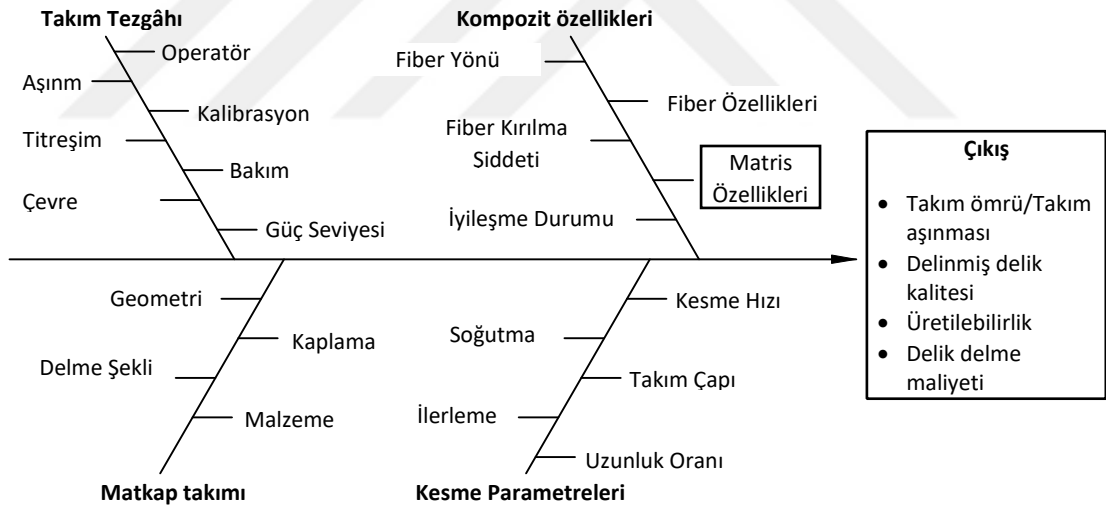
İki ana kesme kenarı ve kanala sahip standart helisel kenarlı matkaplar en yaygın kullanılan aletlerdir ve çok çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır. Diğer matkap biçimleri adım, mum, çekirdek, maça, merkez, düz havşa ve havşa matkaplarını içerir [33]. Matkap ömrü genellikle takım ömrü kriterine ulaşmadan önce üretilen delik sayısı ile ölçülür. Takım aşınmasının artması, delik kalitesi/doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilecek daha yüksek itme kuvveti ve tork değerleri üretir [34].

4.1.1. CFRP Kompozitin Helisel Matkapla Delinmesi

Birçok kompozit malzeme ile ilgili uygulamalarda, mekanik birleştirme yöntemleri, bileşen muayenesi veya onarımı için sökme zorluğu nedeniyle adhesiv birleştirme tercih edilir, ayrıca yüzey işlemi de gerekebilir. Kalıplama aşamasında parçaya delikler eklemek arzu edilse de özellikle binlerce delik söz konusu olduğunda, sertleştirme aşamasında ortaya çıkan büzülme ve işleme zorluğunun bir sonucu olarak genellikle gerçekçi değildir [35].

Karmaşık geometri bileşenleri ve parça boyunca tutarlı laminat kalitesi üretilmesi gerekliliği göz önüne alındığında, zorluklar daha da artmaktadır (Uzay ve havacılıkta

yeni nesil uçak motoru emme sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmekte olanakustik yalıtımlar). Sonuç olarak, delik üretimi, normalde bir iyileştirme işlemi olarak yapılan delikli kompozit imalatında kilit bir işlemdir. Kesim, lif yönlmesi ve dokuma türü dahil faktörler tarafından engellendiği için CFRP kompozitlerin delinmesi gelişmiş elmas takımlarıyla bile kolay değildir [36]. Zayıf delik kalitesi, parça kabul edilmemesinin yaklaşık %60'ını oluşturduğundan kompozit malzemenin delinmesini etkileyen tüm faktörlere dikkat edilmelidir [37]. Şekil 4.1, CFRP kompozitlerini delerken karbon fiber takviye ölçümlerini etkileyen tüm faktörleri tanımlayan kılçık şemasını göstermektedir. Daha fazla geleneksel iş parçası malzemeleri ile karşılaştırıldığında, kısmen olası sertleştirme koşullarının geniş bir aralığı nedeniyle, malzeme yapılarının karmaşıklığı nedeniyle CFRP kompozitini keserken dikkate alınması gereken daha çok faktör dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, kutulardaki faktörler, CFRP kompozitinin küçük delikli delinmesinde yapılacak daha ayrıntılı araştırmalar için vurgulanmıştır.



Şekil 4.1. CFRP'lerin delinmesini etkileyen faktörlerin kılçık şeması ile gösterilmesi [38].

4.1.1.2. Delik kalitesi

Delik kalitesi, delme işleminin performansını değerlendirirken tartışmasız en önemli unsurdur, çünkü montaj sonrasında kompozit parçaların servis ömrünü etkiler. König ve Grass, Fiber takviyeli polimerlerde delinmiş deliklerle bağlantılı olan kusurları

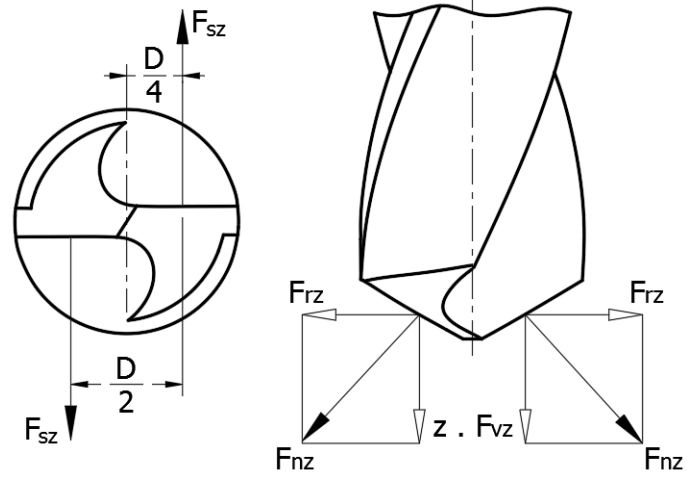
sınıflandırarak delik kalitesini değerlendirmeye yönelik bir metodoloji tanımlamışlardır [39]. Benzer şekilde, Abrao ve ark., yüzey delaminasyonu, lif/reçine çekilmesi ve yetersiz yüzey pürüzlülüğü içeren CFRP kompozitlerin delinirken temel delik kalite kusurlarını gözden geçirmişlerdir. Yüzey katmanlarının hasarlanması, daha fazla bozulma, kenar kırılması, delaminasyon ve bulanıklaşma olarak alt bölümlere ayrıldığını belirtmişlerdir [40].

Ayrıca, CFRP kompozitlerini delerken oluşan kusurlar sadece iş parçasıyla değil, aynı zamanda takıma göre kategorize edilmiştir [41]. Takım aşınması, toz halinde parçacıkların varlığı, iş parçası yüzeyinin delaminasyonu, iç delaminasyon, elyaf/reçine çekilmesi ve azaltılmış eğilme mukavemeti kompozit parça mukavemetini ve yorulma ömrünü önemli ölçüde etkiler. Ancak, Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda birincil delik kusuru olarak parçalanma gözlemlenmiştir, birçok başka yayınlarda CFRP kompozitini delerken yüzey delaminasyonunun baskın hasar kriteri olduğu rapor edilmiştir [42].

Kompozit yapılarında sertleşme/mukavemet azalmasının başlıca nedeni olarak delaminasyonun genel olarak kabul görmesi, bükülme veya kesme yükleme koşullarında laminatın bozulmasına yol açmaktadır [43]. Delaminasyon, delik çıkışında dışarı çıkma ve/veya delik girişinde yukarıya soyulma olmak üzere iki farklı biçimde olabilir.

4.2. DELİK DELMEDE OLUŞAN KESME KUVVETLERİ

Delik delme sırasında matkap ağzının bir tanesine denk gelen kuvvet bileşenleri kesme kuvveti (F_{sz}), radyal kuvvet (F_{rz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve bileşke kuvvette (F_{nz}) meydana gelmektedir. Oluşan bu kuvvetlerin matkap ağzında gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Matkap ağızlarının konumları yönünden her bir ağızda oluşan radyal kuvvetler birbirlerini dengeler. Bu sebeple delik delme işlemi sırasında sadece kesme kuvveti ile ilerleme kuvveti etki göstermektedir [44].



Şekil 4.2. Matkap ile delik delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri [45].

Kesici takımın tek bir kesici kenarına gelen kesme kuvveti;

$$F_{sz} = A_{sz} \quad k_s = \frac{ds_z}{2} k_s = \frac{ds}{4} k_s \quad (4.1)$$

Toplam kesme kuvveti;

$$F_s = z \quad F_{sz} = 2 \quad F_{sz} = ds_z \quad k_s = \frac{ds}{2} k_s \quad (4.2)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Özgül kesme kuvveti ise;

$$k_s = 1,2 k_{s11} h^{-z} \quad \text{veya} \quad k_{sh} = k_{s11} h^{-z} \quad \text{değeri ile} \quad (4.3)$$

$$k_s = 1,2 k_{sh} \quad (4.4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Denklem 4.3 ve Denklem 4.4'teki 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;

$$M_{sz} = F_{sz} d / 4 \quad (4.5)$$

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

$$M_s=zF_{sz} \quad \frac{d}{4}=2F_{sz} \quad \frac{d}{4}=F_s \frac{d}{4} \quad (4.6)$$

Devir başına ilerleme miktarı;

$$V_f=fxn \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'ye göre;

$$M_s=\frac{d^2sk_s}{8.10^3}[\text{Nm}] \quad (4.8)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Denklem 4.8'deki d (mm), s (mm/dev), k_s (N/mm²) olarak ifade edilir ve M_s (Nm) olarak bulunmaktadır.

Bir ağza karşılık gelen ilerleme kuvveti (F_{vz});

$$F_{vz} = F_{sz} \cdot \sin(\psi/2) \quad (4.9)$$

ve toplam ilerleme kuvveti (F_v);

$$F_v = z \cdot F_{sz} \cdot \sin(\psi/2) = 2 \cdot F_{sz} \cdot \sin(\psi/2) = F_s \cdot \sin(\psi/2) \quad (4.10)$$

bağıntılarıyla belirlenmektedir.

İlerleme kuvveti, iş parçasına uygulanan aksenal kuvvet olarak tanımlanabilmektedir. Deliğin açılmasında kesici takım ağzlarında oluşan bu kuvvetin yanında radyal kesme ağzında da aksenal nitelikte ilerleme kuvveti meydana gelmektedir [45].

4.3. MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA SİSTEMİ

Minimum miktarda yağlama (MMY) sistemi, isminden anlaşıldığı üzere çok küçük miktardaki yağ damlalarının havayla karışmasıyla, kesici takımın ve iş parçasının birbirlerinin temas yüzeylerine, genellikle yağ ve hava karışımıyla soğutulması için kullanılan bir sistemdir. Bu sistemin su ve emülsiyon gibi soğutma özelliği bulunan karışımlar ile uygulaması yapılabilmektedir.

MMY sisteminin en iyi sonuçlanabilmesi için kullanılan işleme yöntemleri sırasıyla; kesme işlemi, tornalama işlemi, frezeleme işlemi ve delik delme işlemi olarak sıralanabilir. Aşındırıcı tanecikler ile talaş kaldırma işleminde meydana gelen talaşın toz şeklinde olması ve iş parçasından uzaklaştırılması istense de iş parçasına yapışmasından dolayı MMY sistemi kullanılamaz [46].

MMY sisteminde, sürtünme miktarında azalma ile kesici takımın ve iş parçası malzemesinin arasında oluşan talaştan ısı aktarımı azalmaktadır. MMY sistemi sadece yüksek hızlarda değil talaş oluşumu ve çıkarılması sırasında optimum yağlama sağlayarak yüzey pürüzlülük kalitesinin artırılması sağlanır [47].

MMY sistemi, kesici takım ve iş parçası malzemesinin ara yüzeyine soğutma sıvısı uygulamada kullanılan son tekniktir. Bu teknolojinin doğru seçilmesi ve uygulanan sıvının etkisi, kesici takımının performansında görünür bir fark yaratabilir. Soğutma sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel işlemlerde, soğutma sıvılarının seçimi işleme performansını etkilemesi esasına göre seçilir. Fakat MMY sisteminde önemli olan ikincil özelliklerdir. Bu ikincil özellikler; güvenlik, biyolojik, oksidasyon özellikleri ve depolamanın kararlılığıdır [48].

MMY dağıtım sistemlerinde iki temel tip bulunmaktadır. Bunlar;

Dıştan püskürtme sistemi

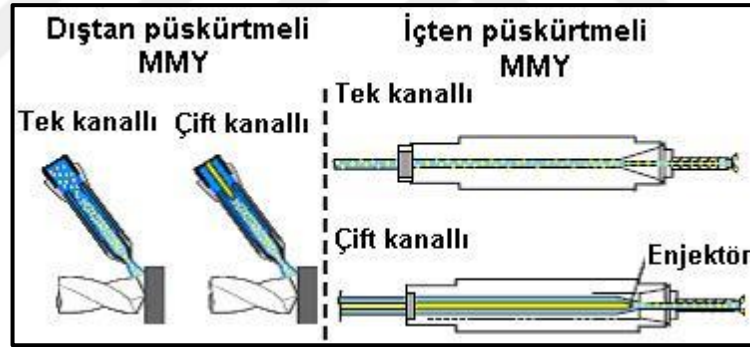
Bir veya birden fazla püskürtme ağzı içeren tüpler ile bağlantılı olarak soğutma sıvısı tankından veya rezervuardan meydana gelmektedir. Bu sistem, tezgah yanında veya tezgah üzerinde montesi yapılarak ayarlarının bağımsız olarak yapılması ile havanın

ve soğutucunun akışı ile sağlanır. Bütün işleme yöntemleri düşünüldüğünde dış püskürtme yöntemi taşınabilir, maliyetinin ucuz olması ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

İçten püskürtme sistemi

Bu sistemde, yağ ile havanın, işleme bölgesine tezgâhta bulunan mevcut kanalların ve mil içerisinde yerleşik bir biçimde bulunan mevcut sistem ile ulaşmaktadır.

Ayrıca bu sistemler kendi içerisinde tek kanallı ve çift kanallı olarak ikiye ayrılmaktadır. Tek kanallı püskürtme sisteminde, yağ ve hava karışımı dışarda hazırlanarak püskürtme işlemi saplanır, çift kanallı sistemlerde ise hava ve yağ farklı nozul içerisinde veya farklı takım içerisine gelerek karışımı sağlanır [49]. Dıştan ve içten püskürtme sistemi Şekil 4.3'te belirtilmiştir. Çizelge 4.1'de MMY işlemlerinde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri verilmiştir [50].



Şekil 4.3. Minimum miktarda yağlamada dıştan ve içten püskürtme [51].

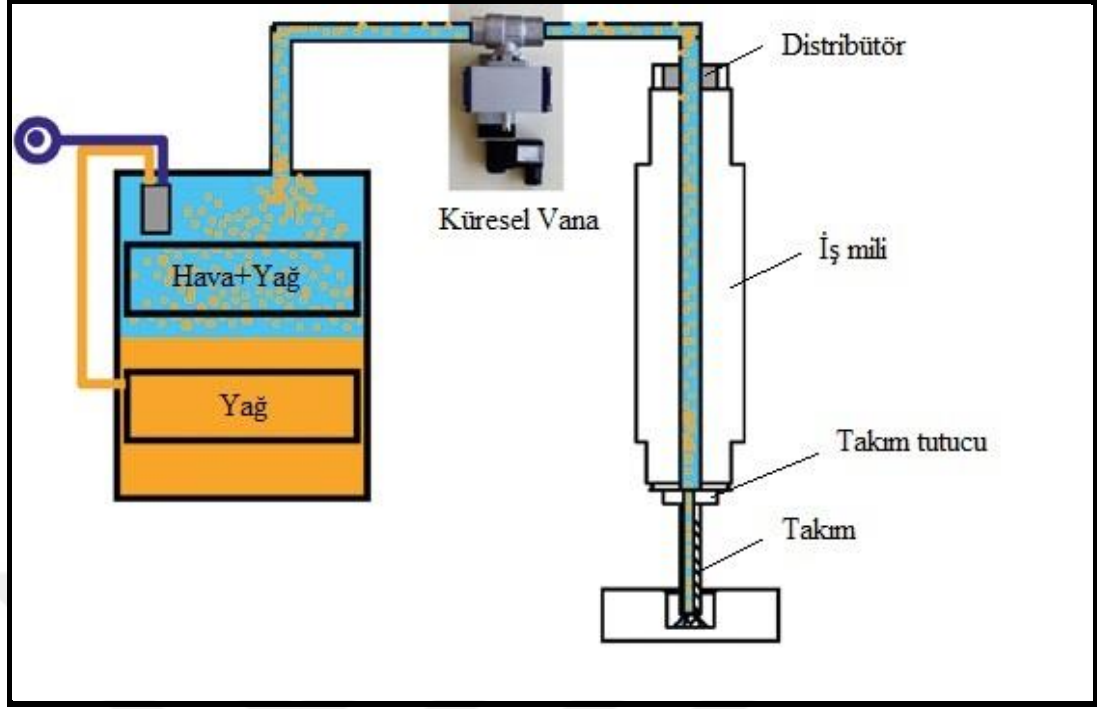
4.3.1. Minimum Miktarla Yağlama Dahili Sistemi

MMY dahili sisteminde besleme cihazları, kesme bölgesinde yağlamaya doğrudan kaynak sağlamaktadır. Kullanılacak olan soğutucu yağ iş mili, takım tabancası veya benzer yollarla ve kesici takımın iç soğutma kanalları yardımıyla taşınmalıdır. Takım tezgahının bileşenlerinin tasarımı, bu sebeple minimum miktarda yağlama sistemi işleyişi üzerinde önemli etkiye sahiptir ve bazı durumlarda genel sistemin optimizasyonunu gerektirmektedir. Yağlama süreci tüm işleme sırasında kritik olan

noktalarda sürekli mevcuttur. Dahili MMY sisteminin şematik olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. MMY işleminde kullanılan kesme sıvılarının özellikleri.

MMY Sıvılarının Karakteristik Özellikleri		MMY Sıvılarının Uygulama Alanları	
Sentetik Esterler	Yağlı Alkoller	Sentetik Esterler	Yağlı Alkoller
Kimyasal bileşenli, bitkisel yağlar	Doğal hammadde veya mineral yağlardan yapılan, uzun zincirli alkoller	İşleme Teknolojileri İçin	
- İyi biyoparçalanabilirlik - Suya zararı azdır - Toksikolojik olarak zararsızdır		-Öncelikli olarak sürtünmeyi azaltmak -Yüksek yüzey kalitesi -Yapışmaya elverişli iş parçası kullanımlarında -Düşük kesme hızı ve yüksek yüklem alanları uygulamalarında -Rayların desteklenmesi ve yağlanması	-Öncelikli olarak ısı transferi uygulamalarında -Gri döküm demir ve alüminyum döküm alaşımlarının, kesme, tornalama ve frezeleme işlemlerinde
-Düşük viskozitede, yüksek parlama ve kaynama noktası -İyi derecede yağlama özelliği -Düşük soğutma özelliği -Artıklar buharlaşır	-Yüksek viskozitede, daha düşük parlama ve kaynama noktası		

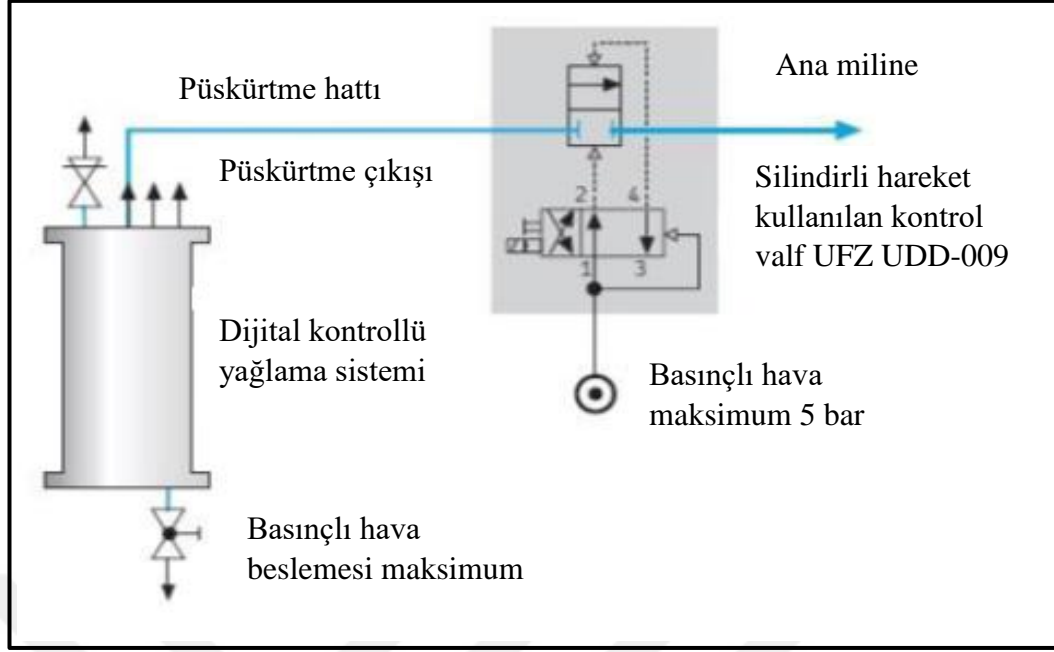


Şekil 4.4. Dahili MMY sistemi [52].

Dahili sistemin avantajları;

- Her talaşlı imalata uygunluk göstermektedir.
- Talaş kaldırılan yüzeyden uygulanabilir.
- Kesici takımın değiştirilmesi sırasında kısa işlem zamanı
- Hareketli kısmı olmadığından aşınma yoktur
- Yüksek kesme hızlarına uyumludur
- Kesici takımlara göre uygun entegrasyon yapılabilir [53].

Şekil 4.5’de dahili sistemin pnömatik şeması verilmiştir. Buradan yola çıkılarak hava ile yağ karışımının iş miline nasıl entegre yapıldığı belirtilmektedir. Bu sistemlerde homojen karışım sağlayan muhafaza sistemine sahiptir, Karışımdaki damla büyüklükleri yaklaşık olarak 0,5 μm olan ve basınçlı hava ve yağ karışımının dışarıya aktarılmasına yardımcı özel nozul sistemi ile imal edilmiştir.



Şekil 4.5. Dahili sistemin pnömatik şeması [47].

4.3.2. Minimum Miktarda Yağlama Harici Sistemi

MMY harici sisteminde besleme cihazları, iş parçasındaki temas noktasının yakınında yağlayıcı ve ayrı bir atomizasyon havası oluşturur. Bu paralel sistemle veya paralel boru paket içerisinde bulunmaktadır. Borunun sonunda, soğutucu yağ, bir püskürtme nozul ile atomize edilerek dışarıdan gelen bir aerosol şeklinde kesme bölgesine uygulanmaktadır.

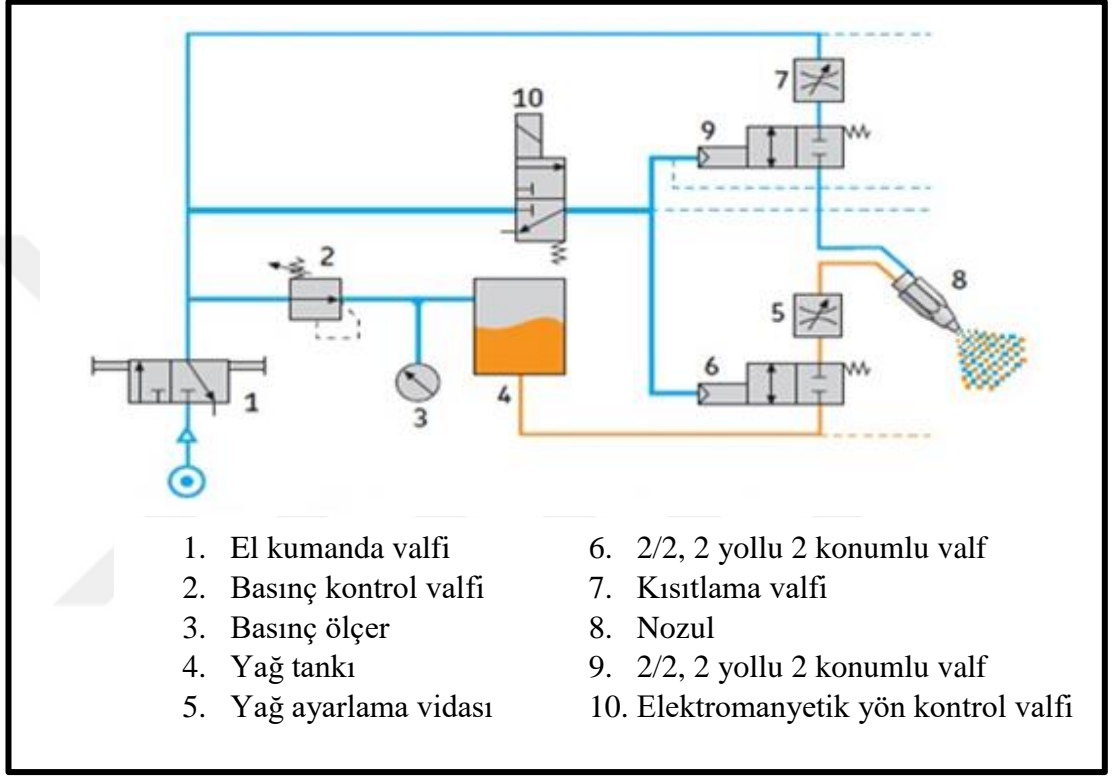
Düşük maliyetli, mevcut sistemlere uydurulması ve mevcut kesici takımlar kullanılması seçeneği bu sistemlerin önemli avantajları arasında bulunmaktadır. Nozullar el ile ayarlanabilir veya yardımcı ekipmanlar ile ek konumlandırma eksenleri ile ayarlanabilir; dağıtım ve uygulama alanı etkileri nedeniyle kayıpları vardır [52].

Harici sistemin avantajları;

- Konvansiyonel makinelere uyumluluğu kolaylıkla sağlar.
- Tepkileri hızlı vermektedir.
- Süreç güvenilirliği yüksektir.
- Sistem kapatıldığında nozulda damlama olmaz.
- 300 mm'ye kadar geniş püskürtme aralığı bulunmaktadır.

- Bitirme yüzeyleri oldukça iyidir.
- İş parçası malzemesi ve talaşın üzerinde yağlayıcı kalmaz [53].

Şekil 4.6’da deneylerin yapımı sırasında kullanılan MMY sisteminin pnömatik şeması verilmektedir.



Şekil 4.6. Harici MMY sistemi pnömatik şeması [47].

BÖLÜM 5

MATERYAL VE YÖNTEM

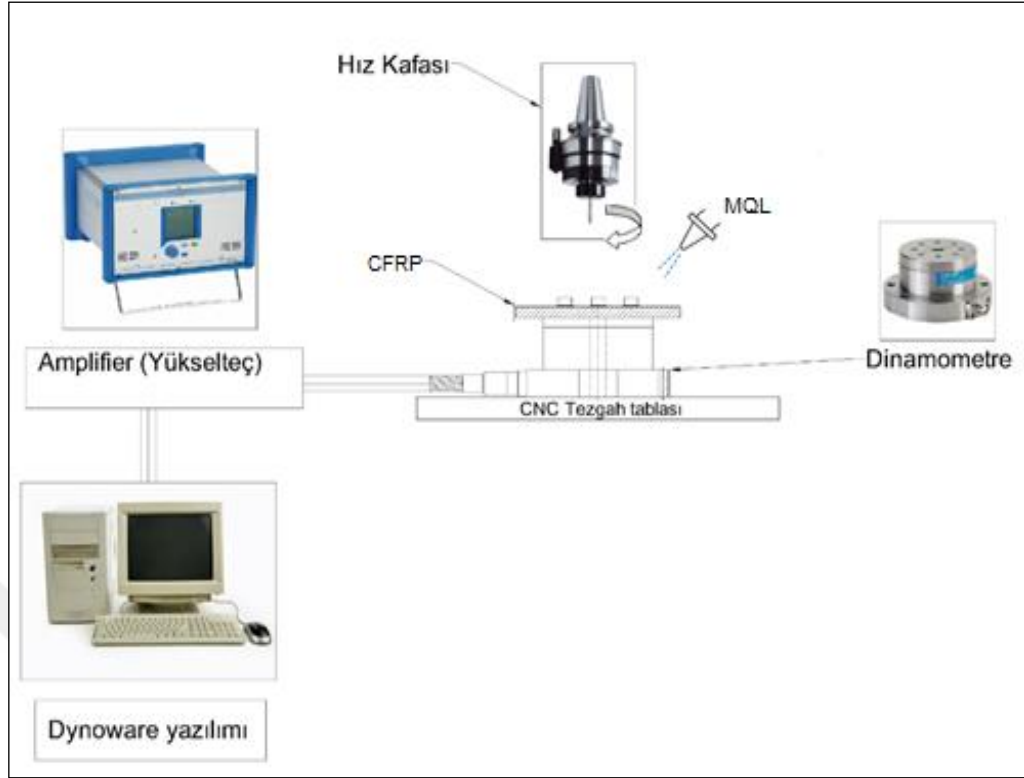
Bu çalışmada, CFRP kompozit malzemenin kuru ve MMY sistemi kullanılarak yapılan delme işleminde, üç farklı matkap kalitesi ve kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap uç açısı) işleme çıktıları (Fz, Ra ve Fd) üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

5.1. DENEY MALZEMESİ

İş parçası malzemesi olarak, 245 gr/m² 2x2-3K yapıda karbon fiber ile Huntsman XU3508 reçine barındıran prepreglerin uygun fiber açılarında cam bir yüzeye simetrik olarak serilmiş; vakum torbalama yöntemi ile imal edilmiş karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) plakalar kullanılmış olup, bu malzemeler Odak Kompozit Teknolojileri A.Ş.'den temin edilmiştir. Twill dokuma tipindeki karbon fiberler 0° ve 90° yönünde örgü oluştururlar. Bu nedenle serim açısı olarak sadece 0° ve 45°'lik açılar halinde üretilmiştir. 10 mm plaka için 40 kat takviye malzemesi kullanılmış olup plaka etrafı vakum ekipmanları ile torbalanarak, vakuma alınmıştır. Vakum ile sıkıştırılmış takviyeler fırına yerleştirilmiş ve sisteme 120 °C'de 4 saat sıcaklık uygulanmıştır.

5.2. TAKIM TEZGAHI VE KESİCİ TAKIMLAR

Bu çalışmada, delme deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarında bulundan CNC freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.1'de verilmiştir. Kullanılan CNC dik işleme merkezinin teknik özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Çizelge 5.1. Deneylerin gerçekleştirildiği tezgahın özellikleri.

Model	Johnford VMC-550
Tezgahın motor gücü	10 HP (~7,5 kW)
En yüksek devir sayısı	6000 dev/dak
Çalışma alanı (x, y, z eksen)	550, 500, 450 mm
Hassasiyeti	0,001 mm
X-Y-Z hızlı ilerleme	15-15-12 m/dak
İşletim sistemi	Fanuc-OM

Deneylerin yapıldığı CNC freze tezgahının en yüksek devir sayısı 6000 dev/dak olması sebebiyle hız kafası kullanılarak kesme hızına göre uygun devir sayıları elde edilmiştir. Kullanılan hız kafası Şekil 5.2’de ve hız kafasının özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Hız kafası.

Çizelge 5.2. Hız kafasının özellikleri.


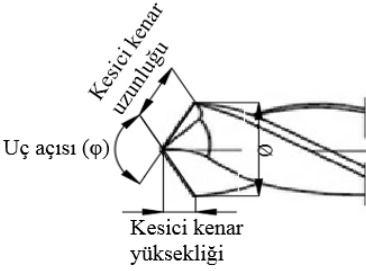


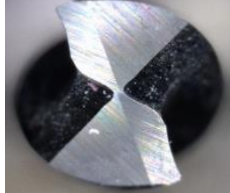
Güç (KW)	İtme Kuvveti (N)	Çevirme Oranı	Ağırlık (kg)	En Yüksek Devir (dev/dak)
1,7	380	1:4,8	3,8	30 000

Deneyleerde, kesici takım olarak farklı kalitede Karcan marka tungsten karbür matkaplar kullanılmıştır. Matkaplar, 5 mm çapında olup, 30° helis açısı ve 2 kesici ağızlı bir geometriye sahiptir. Kullanılan matkapların özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiş olup matkapların geometrik özellikleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kesici takımların 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	CVD
Katman	Yok	Nano katmanlı	Tek katmanlı
Sürtünme katsayısı		0,35	0,1 – 0,3
Termal iletkenlik (kW/mK)	0,08	0,05	2

Çizelge 5.4. Kesici takım geometrileri.

				
				
				
	Uç açısı	120°	130°	140°
	Kesici kenar uzunluğu	2,887 mm	2,759 mm	2,66 mm
	Kesici kenar yüksekliği	1,443 mm	1,166 mm	0,91 mm

5.3. İTME KUVVETİ ÖLÇÜMÜ

Delme işleminde delik kalitesini etkileyen bir diğer işleme çıktısı ise itme kuvvetidir. İtme kuvveti iş parçası malzemesinden talaş kaldırması sırasında iş parçası malzemesinde oluşturulan delik yüzeyi boyunca uygulanan aksenal kuvvettir. Delik delme işlemi sırasında oluşan itme kuvveti, delik çapı, ilerleme hızı ve iş parçası malzemesiyle ilişkilidir. Bu nedenle işleme parametrelerine bağlı olarak itme kuvvetinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

İtme kuvvetlerinin belirlenmesi işlemi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünün CNC laboratuvarında bulunan freze tezgahına bağlanan Kistler 9272 tipi dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.5). Kullanılan dinamometreden verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için Kistler 5070A tipi çok kanallı yükselteç kullanılmıştır. Kullanılan yükseltecin özellikleri ise Çizelge 5.6'da verilmiştir. Deneylerden verimli bir şekilde değerlerin alınabilmesi amacıyla ilerleme kuvveti iş parçası malzemesi ile dinamometrenin birbirlerine temas ettiği alandan alınmıştır.

Çizelge 5.5. Kistler 9272 tipi dinamometrenin özellikleri.

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

Çizelge 5.6. Kistler 5070A tipi yükseltecin 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

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜMÜ

KFTP kompozit malzemenin seçilen işleme parametrelerine göre delinmesi sonucunda oluşan delik kalitesinin belirlenmesi için yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri MarSurf M 300 tipi yüzey pürüzlülük

cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

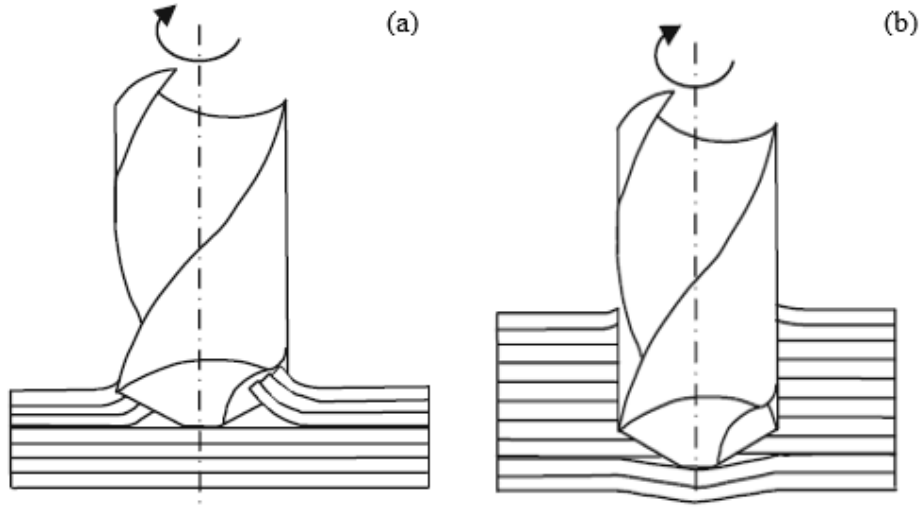
Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülük cihazının özellikleri.

Ölçme Prensipleri	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

KFTP kompozit malzemesin delinmesinde oluşan delik yüzeyinin ekseni boyunca 3 farklı noktadan ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

5.5. DELAMİNASYON FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ

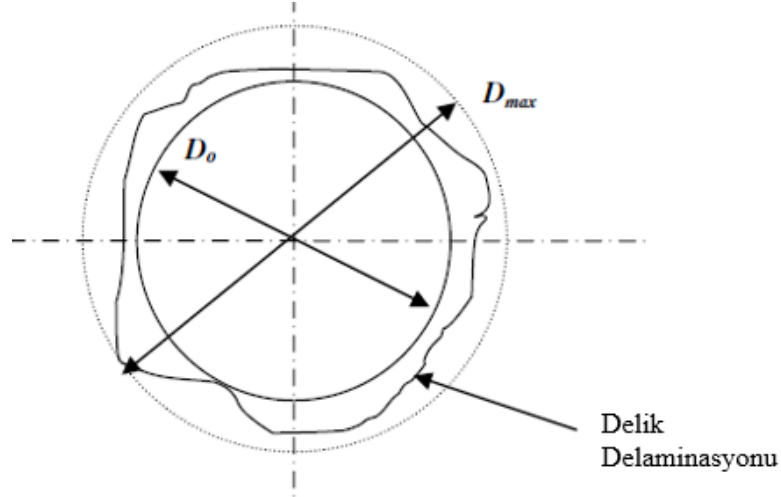
Delme yöntemi, pim, civata, perçin gibi bağlantı elemanları kullanılarak fiber takviyeli polimerlerden (FTP) imal edilen parçaların birleştirme işlemlerinde en fazla kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Delaminasyon, malzemelerin yapısal bütünlüğünü azaltmanın yanı sıra, fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi ile ilgili önemli bir problemdir. Delaminasyon ayrıca montaj toleransının zayıflamasına neden olarak uzun vadeli çalışma performansı etkilemektedir [55]. 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 soyma ve kesici takımın iş parçasından çıkarken oluşan itme olarak bilinmektedir (Şekil 5.3) [56].



Şekil 5.3. Delik delme işleminde delaminasyon oluşumu; a) Giriş, b) Çıkış

Delme işleminin delaminasyonla ilişkili olarak, uçağın son uçak montajı esnasında parçaların reddedilmesinin %60'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle delaminasyona yönelik çeşitli delme 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 delaminasyonu ölçmek için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. 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 materyalindeki hasar seviyesini karakterize etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 5.4). Alternatif olarak, delinmiş alanın delik alanına oranı delaminasyon faktörünün belirlenmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 5.4. Delaminasyon faktörünün şematik olarak gösterilmesi [55].

Bu çalışmada, CFRP kompozit malzeme üzerinde kesme parametreleri ve kesici takımların kuru ve MMY sistemi uygulanarak delme işlemlerinde meydana gelen delaminasyon faktörünün nedenleri incelenerek minimum miktara düşürülmesi amaçlanmıştır. Delaminasyon faktörünün belirlenmesinde aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır.

$$Fd = \frac{D_{max}}{D_{nom}} \quad (5.1)$$

Burada, Fd, delaminasyon faktörü, Dmax, hasar bölgesindeki maksimum delik çapı ve Dnom (Do) matkap çapı olarak tanımlanmıştır.

5.6. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ

Delme deneyleri, kuru ve minimum miktarda yağlama (MMY) işleme şartlarında farklı kesici takım uç açısı (120° , 130° ve 140°) ve kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı) üçer seviyesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Delme parametreleri olarak WC, TiAlN ve elmas kaplamalı matkaplar için üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarı kullanılmıştır. Delme parametrelerinin tayini literatürden araştırılmış olup kesici takım firmasının katalogları incelenerek ön deneyler sonrasında belirlenmiştir. Çizelge 5.8’te delme parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.8. Delme parametreleri.

Faktör	Seviye
Kesme Hızı (m/dak)	60-100-140
İlerleme Hızı (mm/dev)	0,05-0,1-0,15

Taguchi yöntemine göre yapılan deney tasarımında ilerleme miktarı (f , mm/dev), kesme hızı (V , m/dak) ve matkap uç açısı (P , °) olmak üzere üç faktör seçilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise kesici takım firması ve literatürdeki CFRP kompozitlerin delinmesi işlemleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Taguchi L_9 dikey dizini kullanılarak yapılan deney tasarımı Çizelge 5.9’da verilmiştir. Deneysel sonuçlar ışığında, parametrelerin itme kuvveti (F_z), ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve delaminasyon faktörü (F_d) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.9. Deney tasarımı.

Deney No	İlerleme miktarı (f)	Kesme hızı (V)	Matkap uç açısı (P)
1	0,05	60	120
2	0,05	100	130
3	0,05	140	140
4	0,1	60	130
5	0,1	100	140
6	0,1	140	120
7	0,15	60	140
8	0,15	100	120
9	0,15	140	130

Deneysel sonuçlara %95 ($\alpha=0,05$) güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) uygulanarak F_z , R_a ve F_d üzerinde parametrelerin etki seviyeleri belirlenmiştir. İstatistiksel analizler Minitab17 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 6

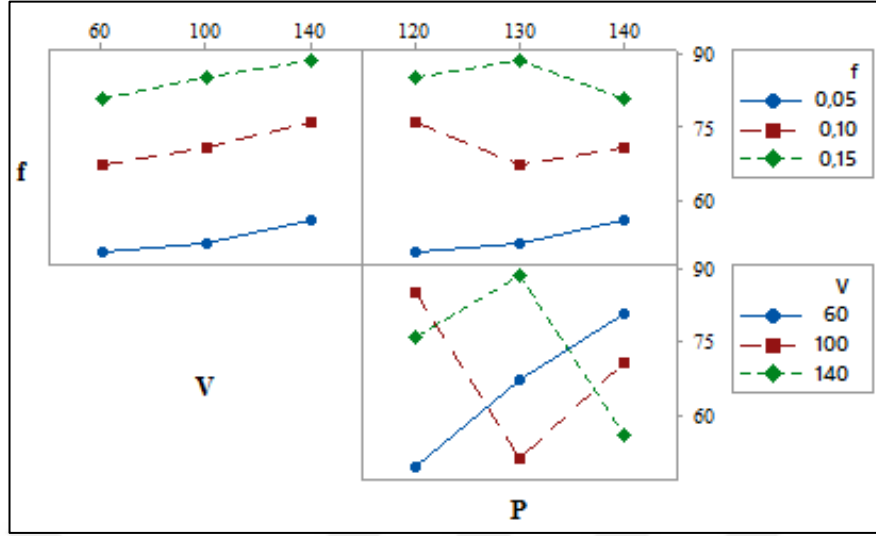
DENEYSEL SONUÇLAR VE ANALİZİ

Yapılan delik delme çalışmasında delme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) kesici takım geometrisi ve matkap kalitesine bağlı olarak oluşan itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörünün değişimi incelenmiştir. CFRP kompozit malzemesi üzerinde yapılan deneysel çalışmalar; kaplamasız WC, TiAlN kaplamalı WC ve elmas kaplamalı WC takımlar ile üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme hızı ve üç farklı matkap uç açısına sahip matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Deneyler kuru ve MMY kesme şartlarında aynı parametreler ile yapılmıştır.

6.1. KURU KESME ŞARTINDA ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

İtme kuvveti delme işlemlerinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takımın geometrisine bağlı değişmektedir. Şekil 6.1’de kaplamasız WC takım ile farklı ilerleme miktarları, farklı kesme hızları ve farklı uç açısına sahip matkaplar ile gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen itme kuvvetleri değişimi gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Kaplamasız WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fz değişimi.

Şekil 6.1’de grafikler incelendiğinde, genel olarak kuru kesme şartında delme işlemi sonucunda itme kuvvetlerinde artış görülmektedir. İlerleme değerinin 0,05 mm/dev olduğu deneylerde, kesme hızı ve matkap uç açısının artmasıyla itme kuvveti değerlerinde artışın olduğu görülmektedir. Diğer ilerleme değerlerinde ise itme kuvvetinin değişimi benzer eğilimde olup, uç açısının 130°’ye çıkmasıyla artarken, açı değeri 140°’ye çıktığında itme kuvveti değerlerinde azalma olmuştur. Bu sonucun nedeni, kesme hızının büyük uç açısında en yüksek değerde olmasına atfedilebilir (Çizelge 5.3). Kesme hızının artmasıyla her ilerleme miktarında itme kuvveti değerleri artış göstermiştir. En küçük itme kuvveti değeri, 0,05 mm/dev ilerleme, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kaplamasız WC kesici takım ile gerçekleştirilen deneyde meydana gelmiştir. En yüksek itme kuvveti ise 0,015 m/dev ilerleme, 140 m/dak kesme hızı ve 130° uç açısına sahip TiAlN kaplamalı WC kesici takım ile yapılan deneyde meydana gelmiştir.

Varyans analizi (ANOVA), deney tasarımında bulunan tüm işleme parametrelerin etkilerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Fz değerleri üzerinde kuru işleme şartlarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap uç açısının etkilerini analiz etmek için %95 güven düzeyinde ANOVA kullanılmıştır (Çizelge 6.1). Burada, serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması, F değerleri ve yüzde

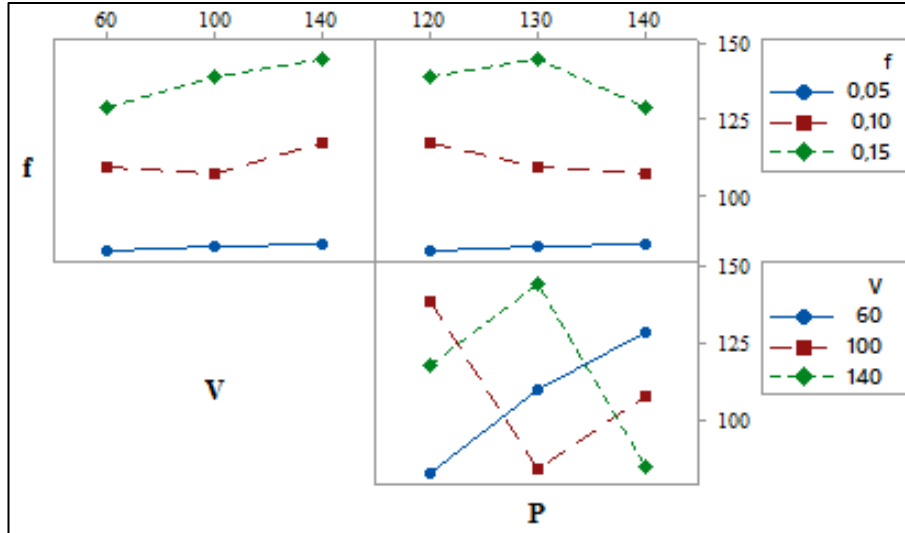
katkı oranları (PCR) görülmektedir. ANOVA tablosuna göre, $P < 0,05$ ise değişkenlerin Fz üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilir.

Çizelge 6.1. Kaplamasız WC takımila ölçülen Fz için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	1643,99	821,996	8573,37	94,82
V	2	86,52	43,261	451,21	4,99
P	2	3,11	1,557	16,24	0,18
Hata	2	0,19	0,096		0,01
Toplam	8	1733,82			100

Çizelge 6.1'e göre itme kuvveti üzerinde en önemli parametre %94,82 PCR ile ilerleme miktarıdır. Faktörlerin etki düzeylerinin belirlenmesinde, yine çizelgede yer alan F değerleri dikkate alınmaktadır. Buna göre; kesme hızı (V) ve kesici takım uç açısı (P) faktörlerinin yüzde katkıları sırasıyla %4,99 ve %0,18 olarak bulunmuştur. Çizelge 6.1 incelendiğinde, hata yüzdesi oldukça düşük olup, %0,01 olarak bulunmuştur.

TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen itme kuvvetlerinin değişimi Şekil 6.2'deki grafiklerde verilmiştir.



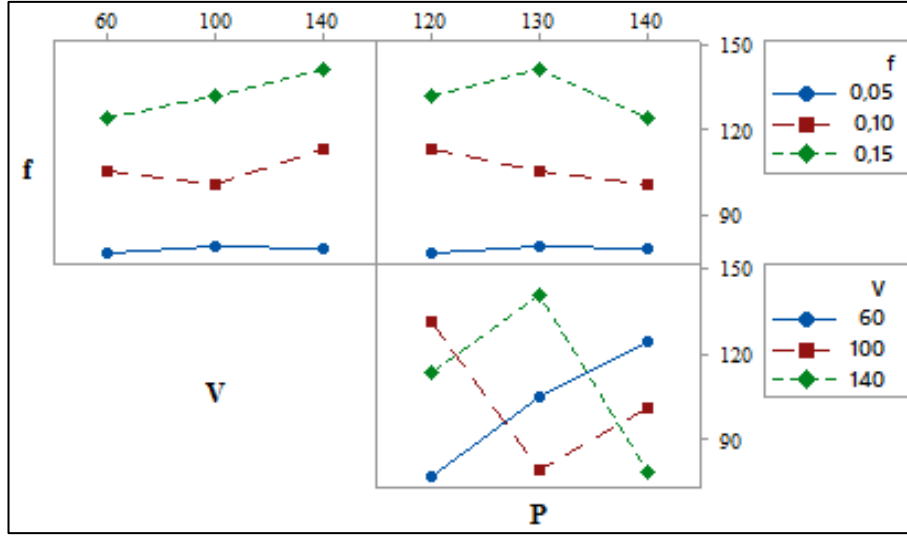
Şekil 6.2. TiAlN kaplamalı matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fz değişimi.

TiAlN kaplamalı WC matkap ile yapılan deneyler sonucunda takım uç açısına ve kesme hızına bağlı olarak itme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Ancak, 140° uç açısına sahip kesici takım ile 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 140 m/dak kesme hızında yapılan deneyde itme kuvvetinde düşüş meydana gelmiştir. Bu durum literatürde bahsedildiği gibi kesme hızının artması ile kuvvetin düşmesine atfedilebilir. Şekil 6.2'deki grafiklerden, en yüksek itme kuvvetinin 130° uç açısına sahip kesici takım, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızında gerçekleştirilen deneyde, en düşük itme kuvvetinin ise 60 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme miktarı ve 120° uç açısına sahip kesici takım ile yapılan deneyde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Çizelge 6.2'de CFRP kompozit malzemenin TiAlN kaplamalı takımla delinmesinde oluşan Fz için varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.2. TiAlN kaplamalı takımla ölçülen Fz için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	4398,05	2199,02	1301,2	95,99
V	2	110,33	55,16	32,64	2,42
P	2	69,63	34,81	20,6	1,52
Hata	2	3,38	1,69		0,07
Toplam	8	4581,38			100

TiAlN kaplamalı WC takımlar ile yapılan deneylerin ANOVA sonuçları incelendiğinde, en önemli parametre olan ilerleme miktarının %95,99 PCR'lik bir etkisinin olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerin Fz üzerindeki katkı oranları incelendiğinde, istatistiksel olarak kesme hızının %2,42 ve kesici takım uç açısının %1,52'lik bir etkiye sahip oldukları anlaşılmaktadır. Bu analiz sonucunda, hata yüzdesi ise %0,07 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.3. Elmas kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fz değişimi.

Elmas kaplamalı kesici takımlar ile gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarındaki artışın itme kuvvetlerinde artışa neden olduğu görülmektedir. En düşük itme kuvveti değerleri 0,05 mm/dev ilerleme miktarında 76,8-78,3 N arasında oluşurken, en yüksek itme kuvveti değerleri 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 124,3-141,1 N aralığında ölçülmüştür. Şekil 6.3'teki grafikler kesme hızına göre incelendiğinde, kesme hızındaki artışın az da olsa itme kuvvetlerini artırdığı görülmekte olup, bu sonuç karbon fiberlerin kesilmeden matris malzemesinden ayrılması ve/veya kesici takıma daha hızlı çarpması neticesinde meydana gelen talaş oluşum sürecine atıf edilmiştir. Kesici takım uç açısına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, Fz değerlerinde düzenli bir eğilim olmadığı görülmekte olup, bunun nedeni olarak deney tasarımını göstermek mümkündür. Çizelge 6.3'de CFRP kompozit malzemenin elmas kaplamalı WC takımla delinmesinde oluşan Fz için varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.3. Elmas kaplamalı WC takımla ölçülen Fz için ANOVA sonuçları.

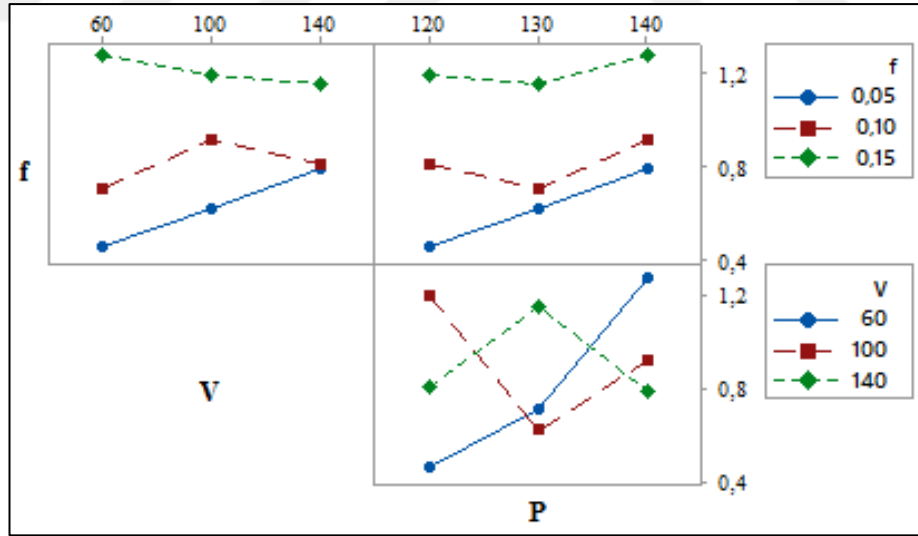
Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	4431,72	2215,86	2583,26	95,12
V	2	130,38	65,19	76,00	2,80
P	2	94,98	47,49	55,36	2,04
Hata	2	1,720	0,86		0,04
Toplam	8	4658,8			100

Elmas kaplamalı WC takımlar ile yapılan deneylerin ANOVA sonuçları incelendiğinde, ilerleme miktarının %95,12 PCR'lik katkı oranıyla en önemli parametre olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerin Fz üzerindeki katkı oranları incelendiğinde, istatistiksel olarak kesme hızı ve takım uç açısının sırasıyla %2,80 ve %2,04'lük bir etkiye sahip oldukları anlaşılmaktadır.

6.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Talaşlı imalatta delme deneylerinin gerçekleştirilmesinde yüzey pürüzlülüğü işlenebilirlik kriterlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. CFRP kompozit malzemenin delinmesi sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve üç farklı matkap uç açısına sahip kesici takım kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 6.4'te kaplamasız WC kesici takımlar ile yapılan deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.4. Kaplamasız WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Ra değişimi.

Kaplamasız WC takımlar ile yapılan deneylerin grafikleri incelendiğinde, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca artan kesme hızı ve matkap uç açısıyla beraber yüzey pürüzlülüğünde de artış olduğu görülmektedir. Bu sonuç metal malzemelerin

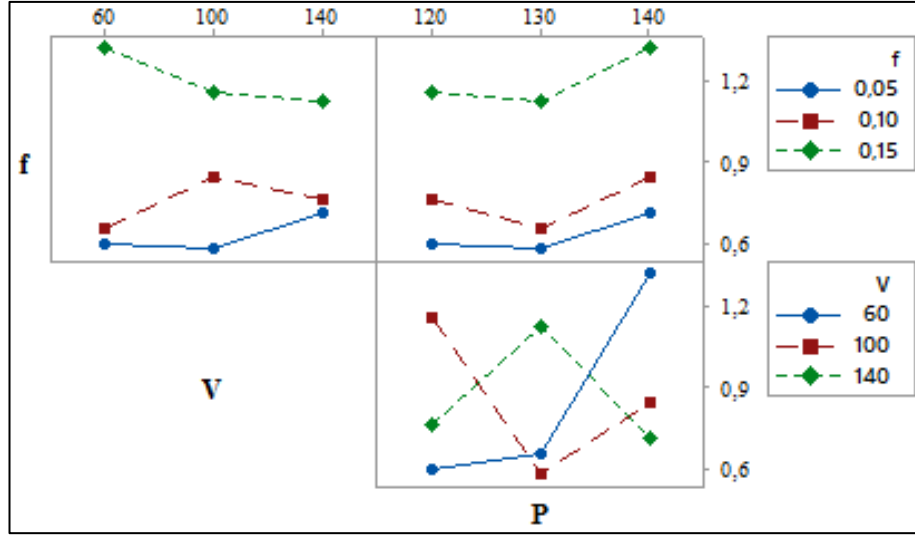
işlenmesinde oluşan Ra eğiliminden farklılık göstermektedir. Metal malzemelerin işlenmesinde artan kesme hızlarıyla birlikte Ra değerlerinde azalma eğilimi görülmektedir. CFRP kompozit malzemelerde ise artan kesme hızlarıyla birlikte fiber kırılmaları artmakta ve kırılan fiberler takım-iş parçası arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kalmaktadır [14]. Bunun sonucunda, yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmektedir. Deneyler sonucunda, en düşük yüzey pürüzlülük değeri (0,46 μm) ilk deney şartı olan 0,05 mm/dev ilerleme miktarında, 60 m/dak kesme hızında ve 120° uç açısına sahip kesici takımda meydana gelirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (1,28 μm) ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarında, 60 m/dak kesme hızında ve 140° uç açısına sahip matkap ile yapılan deneyde meydana gelmiştir.

CFRP kompozit malzemenin delinmesinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülükleri üzerinde faktörlerin etkilerini belirlemek için varyans analizi yapılmıştır. Çizelge 6.4'te kaplamasız WC matkapla elde edilen Ra değerleri için ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.4'ten görülebileceği gibi, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametre %86,63 PCR ile ilerleme miktarıdır. Kesme hızı (V) ve takım uç açısı (P)'nin Ra üzerindeki etkileri sırasıyla %3,20 ve %9,21 PCR şeklinde bulunmuştur.

Çizelge 6.4. Kaplamasız WC takımla elde edilen Ra için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,5442	0,2721	89,7	86,63
V	2	0,020067	0,01003	3,31	3,20
P	2	0,057867	0,02893	9,54	9,21
Hata	2	0,006067	0,00303		0,96
Toplam	8	0,6282			100

Şekil 6.5'deki grafikler kuru kesme şartında delme parametreleri ve uç açısına bağlı olarak TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile CFRP kompozit malzemenin delinmesinde oluşan Ra değerlerinin değişimlerini göstermektedir.



Şekil 6.5. TiAlN kaplamalı matkapla kuru kesme şartında elde edilen Ra değişimi.

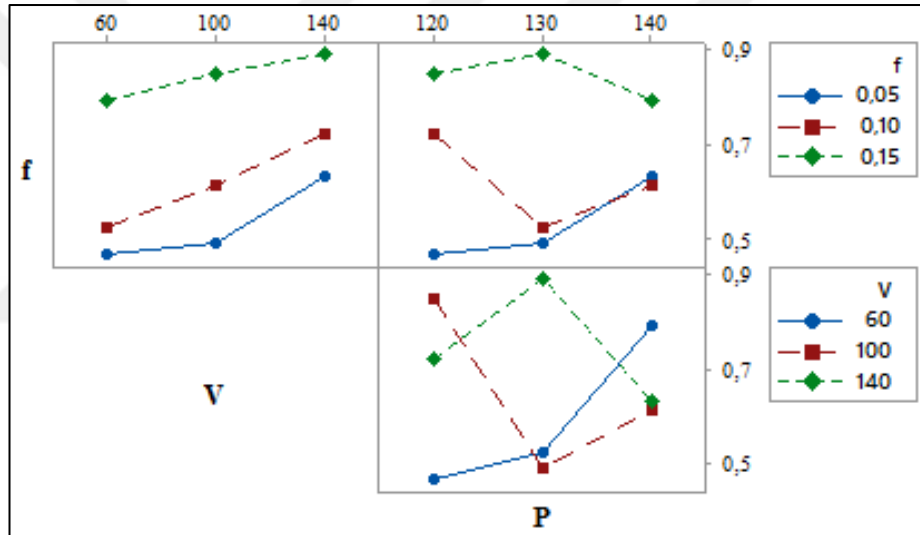
TiAlN kaplamalı WC takımlar ile yapılan deneylerin, kaplamasız WC takımlarla yapılan deneyler ile benzer eğilim gösterdiği görülmektedir. İlerleme miktarının artışıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ilerleme miktarı-kesme hızı ilişkisine bağlı olarak 0,15 mm/dev ilerleme miktarı haricinde kesme hızının artışıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. Deneyler sonucunda, en düşük Ra değeri (0,58 µm) 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 100 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip matkap ile yapılan deneylerde oluşurken, en yüksek Ra değeri (1,32 µm) 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip kesici takım ile yapılan deneylerde elde edilmiştir.

Çizelge 6.5'te CFRP kompozit malzemenin TiAlN kaplamalı WC takımla delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi sonuçları verilmiştir. TiAlN kaplamalı WC takımlar ile yapılan deneylerin ANOVA sonuçları incelendiğinde, ilerleme miktarının %91,45 PCR'lik katkı oranıyla en önemli parametre olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerin Ra üzerindeki PCR değerleri incelendiğinde, istatistiksel olarak kesme hızı ve takım uç açısının sırasıyla %0,03 ve %7,92'lik bir etkiye sahip oldukları anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.5. TiAlN kaplamalı WC takım ile elde edilen Ra için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,546422	0,273211	150,85	91,45
V	2	0,000156	0,000078	0,04	0,03
P	2	0,047289	0,023644	13,06	7,92
Hata	2	0,003622	0,001811		0,60
Toplam	8	0,597489			100

Elmas kaplamalı WC matkaplar ile yapılan deneyler sonucu kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım uç açısına bağlı olarak meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimleri Şekil 6.6'daki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Elmas kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Ra değişimi.

Şekil 6.6'daki grafikler incelendiğinde ilerleme miktarı ve kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İlerleme miktarı-matkap uç açısı ve kesme hızı-matkap uç açısı etkileşimine göre Ra değerlerinde düzenli bir eğilimin olmadığı görülmektedir. Bu sonucun esas nedeni olarak L₉ deney tasarımında matkap uç açısı seviyelerinin karmaşık dizilimini göstermek mümkündür. Diğer yandan, matkap kaliteleri arasında en düşük Ra değerleri elmas kaplamalı WC takımlar ile yapılan delme işlemlerinde elde edilmiştir. En düşük Ra değeri (0,46 µm) 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızında ve 120° uç açısına sahip matkap ile yapılan deneyde oluşurken, en yüksek Ra değeri (0,89 µm) 0,15 mm/dev

ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızı ve 130° uç açısına sahip kesici takım ile elde edilmiştir.

Çizelge 6.6'da CFRP kompozit malzemenin elmas kaplamalı WC matkapla delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.6. Elmas kaplamalı WC takımla elde edilen Ra için ANOVA sonuçları.

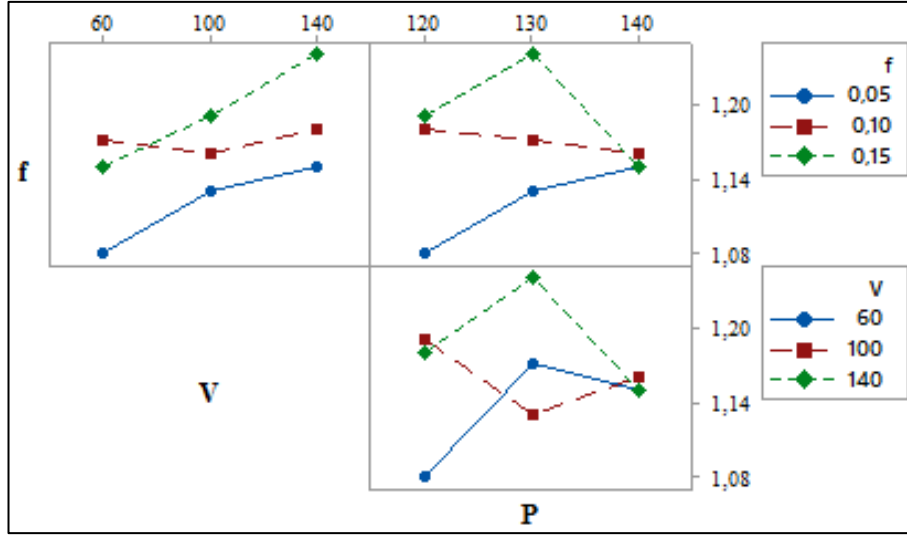
Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,158537	0,079269	644,02	79,52
V	2	0,036334	0,018167	147,60	18,23
P	2	0,004233	0,002116	17,19	2,13
Hata	2	0,000246	0,000123		0,12
Toplam	8	0,199351			100

Elmas kaplamalı WC takımlar ile yapılan deneylerin ANOVA sonuçları incelendiğinde, ilerleme miktarının %79,52 PCR'lik katkı oranıyla en önemli parametre olduğu görülmektedir. Diğer yandan, faktörlerin Ra üzerindeki PCR değerleri incelendiğinde, kesme hızı ve takım uç açısının sırasıyla %18,23 ve %2,13'lük bir etkiye sahip oldukları anlaşılmaktadır. Bu analiz sonucunda, hata yüzdesi ise %0,12 olarak bulunmuştur.

6.1.3. Delaminasyonun Faktörünün Değerlendirilmesi

Delaminasyon faktörü (Fd), CFRP kompozit malzemelerin delinebilirlik deneylerinde oluşan yüzey hasarlarının değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametrelerdendir. Delaminasyon faktörünün değerlendirilmesinde ilk olarak kaplamasız WC takımlar ele alınmış olup, delme parametreleri ve matkap uç açısına göre Fd'nin değişimleri Şekil 6.7'deki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 6.7'deki delaminasyon değerleri incelendiğinde, 0,1 mm/dev ilerleme miktarı haricinde kesme hızının artmasıyla birlikte Fd değerlerinin arttığı görülmektedir.



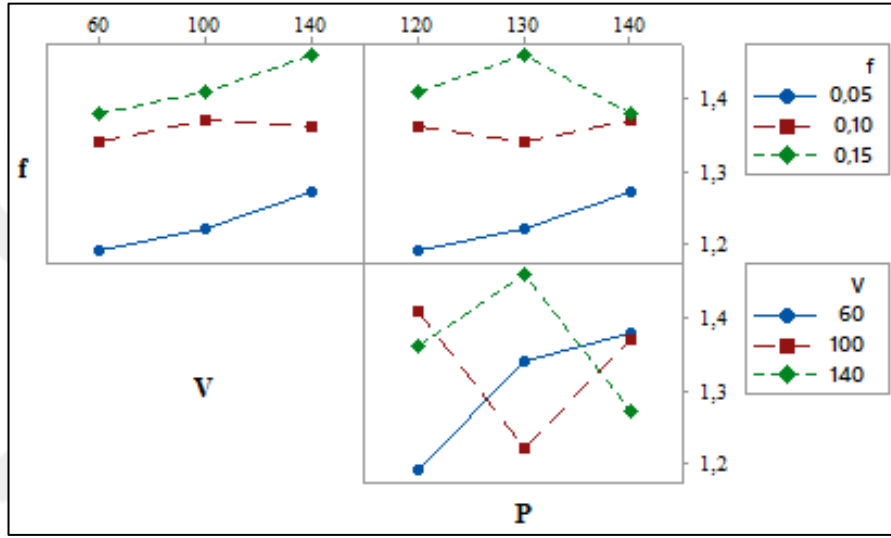
Şekil 6.7. Kaplamasız WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fd değişimi.

Fd değerlerindeki değişimler itme kuvvetlerinde meydana gelen değişimler ile benzer olup, bu sonuç literatürle paralellik göstermektedir. Artan ilerleme miktarıyla birlikte itme kuvvetlerinin arttığı ve bu artışların delaminasyon faktörünün artmasına neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca yüksek ilerleme değerlerinde takım kenarında yapışma olduğundan matkabın iyi kesme yapamadığını ve bu durumun delaminasyonun artmasına neden olduğu belirtilmektedir [48]. En düşük delaminasyon faktörü 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takımda 1,08 olarak hesaplanırken, en yüksek delaminasyon değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip kesici takımda 1,24 olarak bulunmuştur. CFRP kompozit malzemenin kaplamasız WC matkapla delinmesinde oluşan delaminasyon faktörü üzerinde delme parametrelerinin etki düzeylerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Kaplamasız WC takımla elde edilen Fd için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,008422	0,004211	19,95	55,09
V	2	0,004822	0,002411	11,42	31,54
P	2	0,001622	0,000811	3,84	10,61
Hata	2	0,000422	0,000211		2,76
Toplam	8	0,015289			100

Kaplamasız WC takımlar ile yapılan deneylerin ANOVA sonuçlarının incelenmesinde en önemli parametre %55,09 PCR ile ilerleme miktarının olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra kesme hızı da %31,54 PCR ile oldukça önem taşımaktadır. Matkap uç açısı ise %10,61 etkilemektedir. Hata yüzdesi %2,76 olarak bulunmuştur. TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile yapılan deneylerde ilerleme hızı, kesme hızı ve takım uç açısının delaminasyon faktörüne etkisini değerlendirmek için Şekil 6.8'deki grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 6.8. TiAlN kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fd değişimi.

TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilen deneysel sonuçların kaplamasız WC takımlar ile elde edilen sonuçlar ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 6.8 incelendiğinde, ilerleme miktarı ve kesme hızının artışıyla delaminasyon faktörünün arttığı görülmektedir. Bu takımlarda elde edilen Fd değerleri kaplamasız WC matkapla elde edilen sonuçlara göre ortalama %14 daha yüksek olarak bulunmuştur. En düşük delaminasyon faktörü 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takımında 1,19 olarak hesaplanırken, en yüksek delaminasyon değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip kesici takımında 1,46 olarak bulunmuştur.

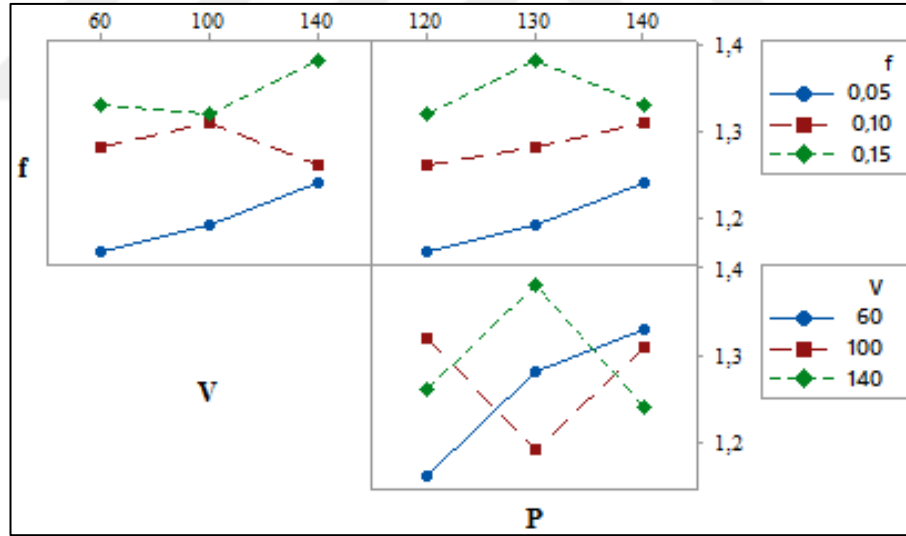
Çizelge 6.8'de, kompozit malzemenin TiAlN kaplamalı matkapla delinmesinde oluşan delaminasyon faktörü üzerinde delme parametrelerinin etki düzeylerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. ANOVA sonuçları

incelendiğinde, Fd üzerinde en önemli parametrenin %88,99 PCR ile ilerleme miktarının olduğu görülmektedir. Kesme hızı ve matkap uç açısının Fd üzerindeki etki seviyeleri sırasıyla %8,50 ve %1,26 PCR şeklinde elde edilmiştir.

Çizelge 6.8. TiAlN kaplamalı WC takımı ile elde edilen Fd için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,0566	0,0283	70,75	88,99
V	2	0,0054	0,0027	6,75	8,50
P	2	0,0008	0,0004	1,00	1,26
Hata	2	0,0008	0,0004		1,25
Toplam	8	0,0636			100

CFRP kompozit malzemenin elmas kaplamalı WC matkaplar ile yapılan deneyler sonucunda, ilerleme miktarı, kesme hızı ve takım uç açısına göre delaminasyon faktörünün değişimleri Şekil 6.9'daki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Elmas kaplamalı WC matkapla kuru kesme şartında elde edilen Fd değişimi.

Elmas kaplamalı WC kesici takımlar için ilerleme miktarı-kesme hızı ve ilerleme miktarı- matkap uç açısı etkileşimlerine göre delme parametrelerindeki oransal artışla birlikte Fd değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 6.9). Kesme hızı-matkap uç açısı etkileşiminde ise Fd değerlerinde düzenli bir artma veya azalma eğilimi olmamıştır. Bu durum, yukarıda belirtildiği gibi L₉ deney tasarımında matkap uç açısı değerlerinin karmaşık diziliminden kaynaklanmaktadır.

Elmas kaplamalı WC matkaplarda elde edilen Fd değerleri kaplamasız WC matkapla elde edilen sonuçlara göre ortalama %10 daha yüksek olarak bulunmuştur. En düşük delaminasyon faktörü 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takımında 1,16 olarak hesaplanırken, en yüksek delaminasyon değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip kesici takımında 1,38 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.9’da, kompozit malzemenin elmas kaplamalı matkapla delinmesinde oluşan delaminasyon faktörü üzerinde delme parametrelerinin etki düzeylerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, Fd üzerinde en önemli parametre %83,17 PCR ile ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. Kesme hızı ve matkap uç açısının delaminasyon faktörü üzerindeki etki seviyeleri sırasıyla %5,16 ve %9,24 PCR şeklinde elde edilmiştir.

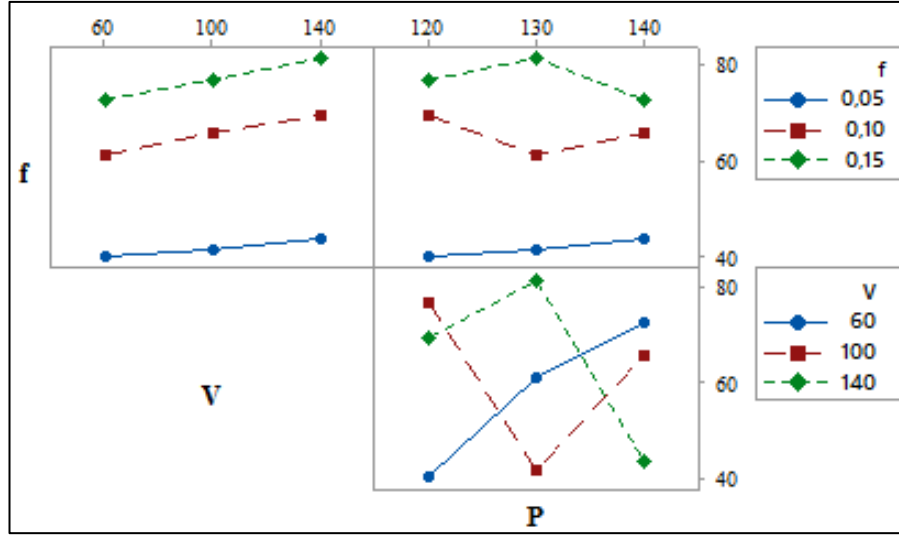
Çizelge 6.9. Elmas kaplamalı WC takımla elde edilen Fd için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,032622	0,016311	34,14	83,17
V	2	0,002022	0,001011	2,12	5,16
P	2	0,003622	0,001811	3,79	9,24
Hata	2	0,000956	0,000478		2,43
Toplam	8	0,03922			100

6.2. MMY KESME ŞARTINDA ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.2.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Minimum miktarda yağlama kesme şartında, kaplamasız WC matkap ile yapılan deneylerde ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısına göre itme kuvvetinin değişimleri Şekil 6.10’daki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Kaplamasız WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fz değişimi.

Şekil 6.10'daki grafiklerin incelenmesinde, MMY delik delme işlemi sonucunda ilerleme miktarı ve kesme hızının artmasıyla itme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Kuru kesme şartında kaplamasız WC kesici takım ile yapılan deneyler ile benzer eğilim göstermektedir. Kuru kesme de olduğu gibi MMY şartında ilerleme değerinin 0,05 mm/dev olduğu deneylerde, kesme hızı ve matkap uç açısının artmasıyla itme kuvveti değerlerinde artışın olduğu görülmektedir. Diğer ilerleme değerlerinde ise itme kuvvetinin değişimi benzer eğilimde olup, uç açısının 130°'ye çıkmasıyla artarken, açı değeri 140°'ye çıktığında itme kuvveti değerlerinde azalma olmuştur. En küçük itme kuvveti değeri (40,2 N), 0,05 mm/dev ilerleme, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına kesici takım ile gerçekleştirilen deneyde meydana gelmiştir.

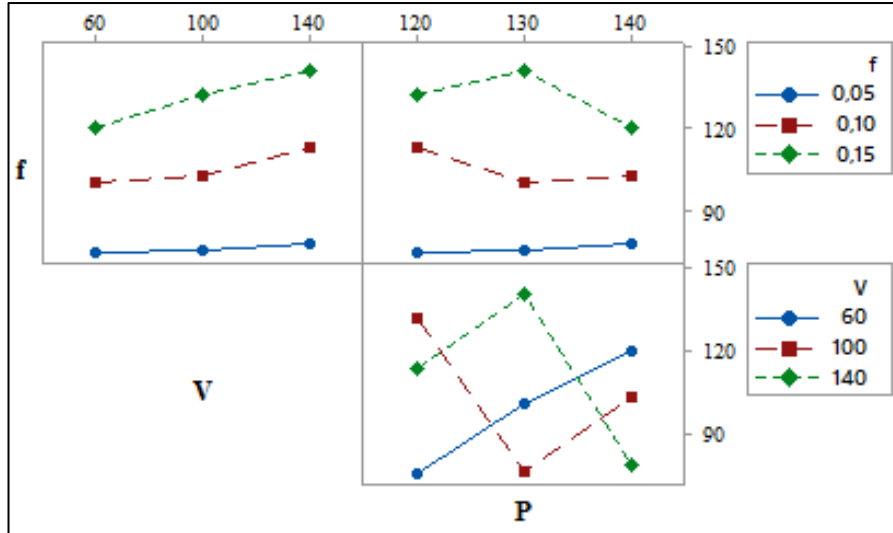
CFRP kompozit malzemenin kaplamasız WC matkapla minimum miktarda yağlama kesme şartında delinmesinde oluşan Fz üzerinde delme parametrelerinin etki düzeylerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10. MMY şartında kaplamasız WC takımla Fz için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	1936,91	968,454	347,39	96,09
V	2	69,36	34,681	12,44	3,44
P	2	3,84	1,921	0,69	0,20
Hata	2	5,58	2,788		0,27
Toplam	8	2015,69			100

ANOVA sonuçlarına göre, itme kuvveti üzerinde etkisi olan en önemli parametre %96,09 PCR ile ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. Kesme hızı ve matkap uç açısının Fz üzerindeki etki seviyeleri sırasıyla %3,44 ve %0,20 PCR şeklinde elde edilmiştir. Buradan, MMY kesme şartında CFRP kompozit malzemenin delinmesi sırasında kaplamasız WC matkap uç açısının itme kuvveti için çok düşük bir etkiye sahip olduğunu söylemek mümkündür. Hata yüzdesi ise %0,27 olarak elde edilmiştir.

MMY kesme şartında, TiAlN kaplamalı WC matkap ile yapılan delme işleminde ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısına göre itme kuvvetinin değişimleri Şekil 6.11'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.11. TiAlN kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Fz değişimi.

Şekil 6.11'deki grafikler incelendiğinde ilerleme miktarı ve kesme hızının artmasıyla itme kuvvetlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar kesici takım uç açısına göre incelendiğinde, ilerleme miktarlarına bağlı olarak kesici takım uç

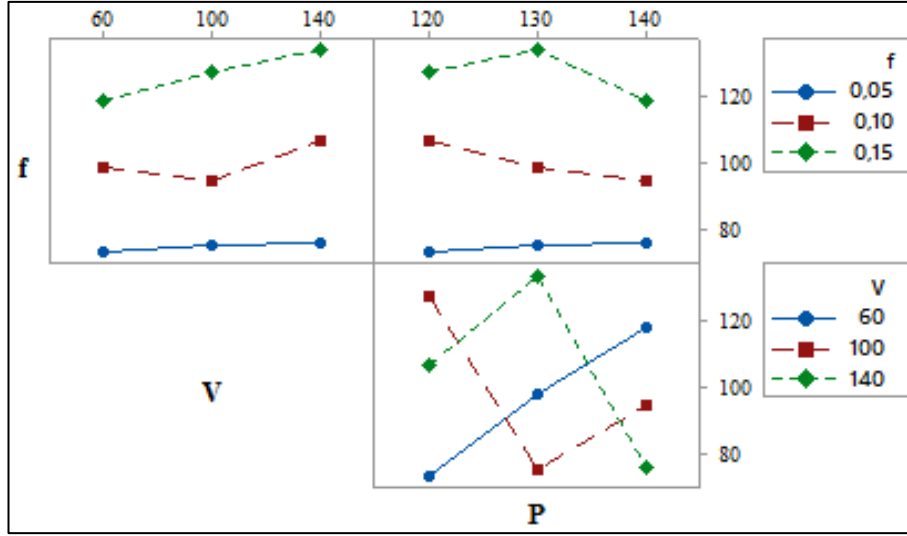
açısının artmasıyla 0,05 m/dev ilerleme miktarı haricinde itme kuvvetlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Kesici uç açısına göre itme kuvvetlerinde düşüş olmasına rağmen sapmalar meydana gelmektedir. TiAlN kaplamalı WC takımlar ile yapılan delme işlemlerinde meydana gelen en düşük itme kuvveti değeri 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızında ve 120° uç açısına sahip kesici takım ile 75,2 N olarak ölçülmüştür. En yüksek itme kuvveti değeri ise 140,7 N olarak 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 100 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takım ile elde edilmiştir.

Çizelge 6.11. MMY şartında TiAlN kaplamalı WC takım ile Fz için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	4457,4	2228,7	262,17	93,46
V	2	227,21	113,6	13,36	4,76
P	2	67,64	33,82	3,98	1,42
Hata	2	17,00	8,5		0,36
Toplam	8	4769,26			100

TiAlN kaplamalı WC takımlar ile gerçekleştirilen deneylerin ANOVA sonuçları incelendiğinde, itme kuvvetine etki eden en önemli parametrenin %93,46 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Kesme hızı ve kesici takım uç açısının itme kuvvetine etkileri sırasıyla %4,76 ve %1,42 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile MMY kesme şartında itme kuvveti üzerinde etkili olan faktörlerin önem sırasının kuru kesme şartındaki ile aynı olduğu görülmektedir.

MMY kesme şartında, elmas kaplamalı WC matkap ile yapılan delme işleminde ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısına göre itme kuvvetinin değişimleri Şekil 6.12'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Elmas kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Fz değişimi.

Elmas kaplamalı kesici takım ile yapılan deneylerin sonucunda, itme kuvveti değerlerinin kaplamasız WC ve TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile yapılan deneylerin sonucu ile benzer eğilimde olduğu görülmektedir. Ancak 0,10 mm/dev ilerleme miktarı 100 m/dak kesme hızında bir önceki kesme hızı parametresine göre artış gözlenmesi gerekirken düşüş meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6.12). Ayrıca, matkap uç açısının artmasıyla da itme kuvvetlerinde artış görülmüştür. En düşük itme kuvveti 73,2 N olarak 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° matkap uç açısında elde edilmiştir. En yüksek itme kuvveti değeri (133,6 N) ise, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızı ve 130° uç açısına sahip kesici takımla yapılan deneyde ölçülmüştür.

Elmas kaplamalı WC takımlar ile elde edilen Fz için ANOVA sonuçları incelendiğinde, itme kuvveti üzerinde etkili olan en önemli parametrenin %95,35 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Kesme hızı ve kesici takım uç açısının itme kuvvetine etkileri sırasıyla %2,85 ve %1,79 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, elmas kaplamalı WC matkaplar ile MMY kesme şartında itme kuvveti üzerinde etkili olan faktörlerin önem sırasının kuru kesme şartındaki ile aynı olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.12. MMY şartında elmas kaplamalı WC takımı için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	4046,89	2023,44	6670,69	95,35
V	2	121,14	60,57	199,68	2,85
P	2	75,73	37,86	124,82	1,79
Hata	2	0,610	0,30		0,01
Toplam	8	4244,36			100

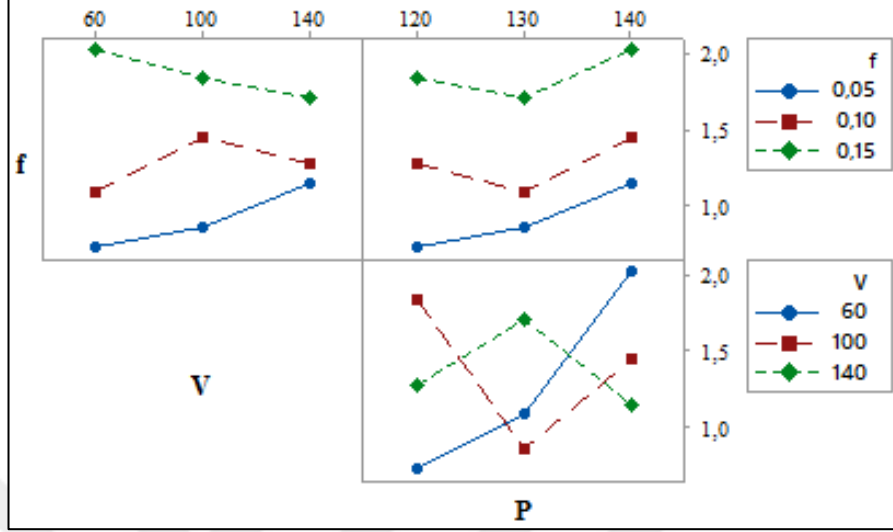
MMY kesme şartında elde edilen Fz değerlerinin tüm matkap kaliteleri için kuru kesme şartında ölçülen itme kuvvetlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Matkap kalitelerine göre itme kuvvetindeki bu azalmalar, kaplamasız WC matkap, TiAlN kaplamalı WC matkap ve elmas kaplamalı WC matkap için ortalama %12, %6 ve %5 şeklinde bulunmuştur. Deneysel ve istatistiksel sonuçlar dikkate alınarak, karbon fiber takviyeli polimer malzemelerin delinmesinde MMY sistemi kullanılmasının kesici takım ömrü açısından yararlı olacağını söylemek mümkündür. Aynı zamanda, itme kuvvetinin delaminasyon faktörünü doğrudan etkilediği düşünülürse, CFRP kompozit malzemelerin delinebilirliğini olumlu etkilemesi açısından MMY sisteminin kullanılması önerilmektedir.

6.2.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

MMY kesme şartında, kaplamasız WC matkap ile yapılan deneylerde ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini değerlendirmek için oluşturulan grafikler Şekil 6.13'te verilmiştir.

Şekil 6.13'teki grafik incelendiğinde, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca artan 0,15 mm/dev ilerleme miktarı hariç, kesme hızı ve matkap uç açısının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu görülmektedir. Ancak, en yüksek ilerleme değerinde artan kesme hızıyla birlikte Ra değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucu, yüksek ilerlemede delme sırasında oluşan talaşların ortamdan daha hızlı uzaklaştırılması ile açıklamak mümkündür. En düşük yüzey pürüzlülüğü (0,73 μm) 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takımında meydana gelirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (2,02 μm) ise 0,15

mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip matkap ile yapılan deneyde meydana gelmiştir.



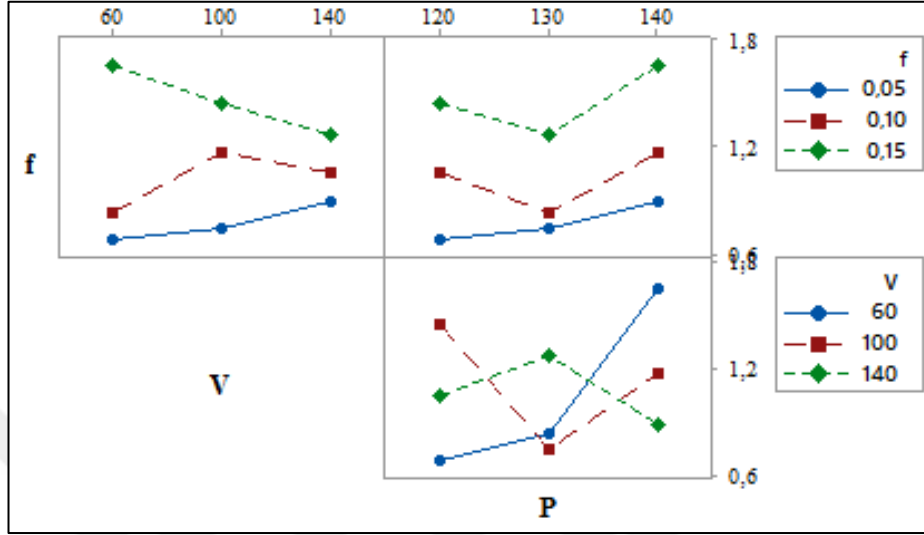
Şekil 6.13. Kaplamasız WC matkapla MMY şartında elde edilen Ra değişimi.

CFRP kompozit malzemenin delinmesinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Çizelge 6.13'te kaplamasız WC matkapla elde edilen Ra değerleri için ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.13'ten görülebileceği gibi, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli parametre %87 PCR ile ilerleme miktarıdır. Kesme hızı ve takım uç açısının Ra üzerindeki etkileri sırasıyla %1,31 ve %10,96 PCR şeklinde bulunmuştur. Bu sonuç, kuru veya MMY kesme şartında CFRP kompozit malzemelerin delinmesinde matkap uç açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde ikinci derecede önemli bir faktör olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 6.13. MMY şartında kaplamasız WC takım ile Ra için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	1,37869	0,689344	118,63	87,00
V	2	0,02069	0,010344	1,78	1,31
P	2	0,17362	0,086811	14,94	10,96
Hata	2	0,01162	0,005811		0,73
Toplam	8	1,58462			100

TiAlN kaplamalı WC matkap ile KFTK malzemenin delinmesinde, ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin değişimini gösteren grafikler Şekil 6.14'te verilmiştir.



Şekil 6.14. TiAlN kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Ra değişimi.

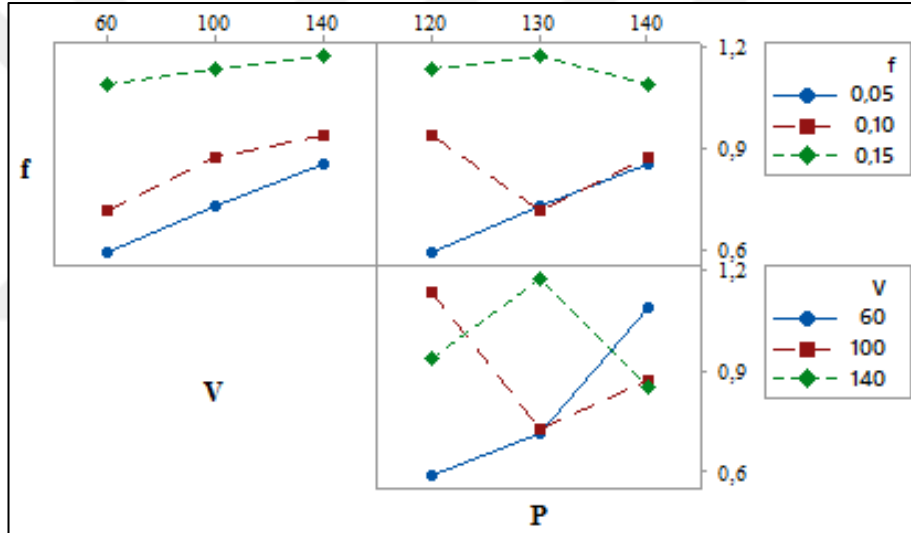
TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile yapılan deneylerin sonucunda, ilerleme miktarı-kesme hızı etkileşimine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin kaplamasız matkapla elde edilen sonuçlara benzer eğilimde olduğu tespit edilmiştir. Matkap uç açısının ilerleme miktarı ve kesme hızı etkileşimlerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir (Şekil 6.14). En düşük yüzey pürüzlülüğü; 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip matkapla 0,68 μm olarak meydana gelirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip matkap ile 1,66 μm olarak ölçülmüştür.

MMY kesme şartında TiAlN kaplamalı WC takımlar ile yapılan deneylerden elde edilen Ra'nın ANOVA sonuçları incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin %82,18 PCR ile ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.14). Kesme hızı ve kesici takım uç açısının Ra üzerindeki etki seviyeleri sırasıyla %0,75 ve %14,71 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile MMY kesme şartında yüzey pürüzlülüğü için matkap uç açısının dikkate alınması gereken bir faktör olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.14. MMY şartında TiAlN kaplamalı WC takımla Ra için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,733489	0,366744	34,78	82,18
V	2	0,006689	0,003344	0,32	0,75
P	2	0,131289	0,065644	6,23	14,71
Hata	2	0,02	0,010544		2,36
Toplam	8	0,892556			100

TiAlN kaplamalı WC matkap ile CFRP kompozit malzemenin delinmesinde, ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin değişimini gösteren grafikler Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. Elmas kaplamalı WC matkapla MMY şartında elde edilen Ra değişimi.

Şekil 6.15'teki grafikler incelendiğinde, ilerleme miktarı-kesme hızı etkileşimine bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin diğer matkap kaliteleri ile elde edilen sonuçlardan farklı bir eğilimde olduğu tespit edilmiştir. Tüm ilerleme miktarları için kesme hızının artmasıyla Ra değerlerinin arttığı görülmektedir. Ra değerlerindeki bu düzenli eğilimin elmas kaplamalı matkap sürtünme katsayısının düşük olmasına atfedilebilir. Aynı zamanda, sürtünme katsayısının düşük olması elmas matkapla elde edilen Ra değerlerinin daha düşük olmasına katkı sağlamıştır. Diğer yandan, matkap uç açısı ile ilerleme miktarı ve kesme hızı etkileşimlerinde yüzey pürüzlülüğünün karmaşık bir eğilimde olduğu görülmektedir (Şekil 6.15).

En düşük yüzey pürüzlülüğü; 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip matkapla 0,58 µm olarak meydana gelirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızı ve 130° uç açısına sahip matkap ile 1,17 µm olarak elde edilmiştir.

MMY kesme şartında elmas kaplamalı WC takım ile elde edilen Ra'nın ANOVA sonuçları incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin benzer şekilde %79,52 PCR ile ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 6.15). Kesme hızı, %18,23 PCR ile yüzey pürüzlülüğü üzerinde ikinci derecede öneme sahip olan faktör olarak tespit edilmiştir. MMY kesme şartında, TiAlN kaplamalı WC matkapların tam tersine elmas kaplamalı matkaplarda, Ra için matkap uç açısının önemi çok düşük kalmıştır.

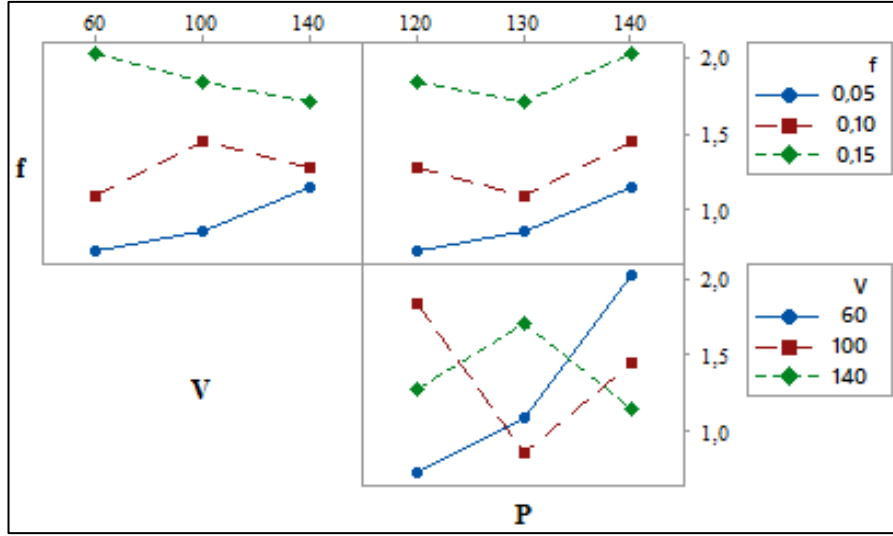
Çizelge 6.15. MMY şartında elmas kaplamalı WC takım ile Ra için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,158537	0,079269	644,02	79,52
V	2	0,036334	0,018167	147,60	18,23
P	2	0,004233	0,002116	17,19	2,13
Hata	2	0,000246	0,000123		0,12
Toplam	8	0,199351			100

MMY kesme şartında elde edilen Ra değerlerinin tüm matkap kaliteleri için kuru kesme şartında ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki artışlar matkap kalitelerine göre kaplamasız WC matkap, TiAlN kaplamalı WC matkap ve elmas kaplamalı WC matkap için ortalama %51, %26 ve %35 şeklinde hesaplanmıştır. Deneysel ve istatistiksel sonuçlar dikkate alındığında, karbon fiber takviyeli polimer malzemelerin delinmesinde MMY uygulamasının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini söylemek mümkündür.

6.2.3. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi

Minimum miktarda yağlama kesme şartında kaplamasız WC matkap ile yapılan deneylerde ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısına göre delaminasyon faktörünün değişimi Şekil 6.16'daki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 6.16. Kaplamasız WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fd değişimi.

Şekil 6.16'daki delaminasyon değerleri incelendiğinde, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı haricinde kesme hızının artmasıyla birlikte Fd değerlerinin arttığı görülmektedir. Matkap uç açısı-ilerleme miktarı etkileşimine bağlı olarak kuru kesme şartlarındaki sonuçlara benzer şekilde ilerlemenin artmasıyla delaminasyon faktörü değerlerinde artış olmuştur. Matkap uç açısının artmasıyla delaminasyon faktörlerindeki artış, kesici takımın iş parçasına batmasının zorlaşması ve dolaylı olarak itme kuvvetlerinin artmasıyla kompozit katmanlarının ayrışma eğilimine girmesinden kaynaklanmaktadır. En düşük delaminasyon faktörü 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takımda 1,04 olarak hesaplanırken, en yüksek delaminasyon değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip kesici takım ile 1,15 olarak bulunmuştur.

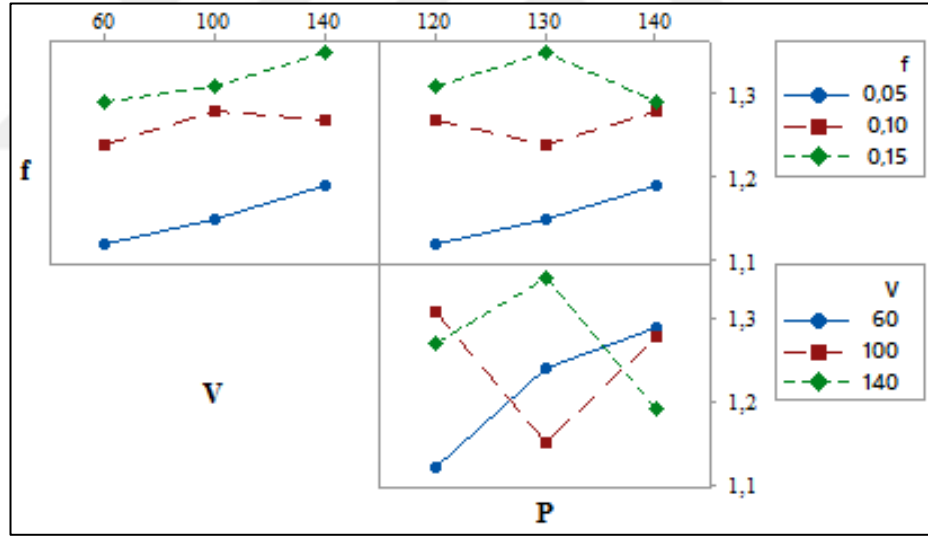
CFRP kompozit malzemenin delinmesinde oluşan delaminasyon faktörü üzerinde delme parametrelerinin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Çizelge 6.16'da kaplamasız WC matkapla elde edilen Fd değerleri için ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.16'dan görülebileceği gibi, delaminasyon faktörü üzerinde en önemli parametre %59,96 PCR ile ilerleme miktarıdır. Kesme hızı ve takım uç açısının Fd üzerindeki etkileri sırasıyla %21,72 ve %14,54 PCR şeklinde elde edilmiştir. Bu sonuç, kuru veya MMY kesme şartında CFRP kompozit malzemelerin delinmesinde kesme hızı ve matkap uç açısının delaminasyon faktörü üzerinde dikkate

alınması gereken diğer önemli faktörler olduğunu bir kez daha göstermiştir. Hata yüzdesi ise %3,78 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.16. MMY şartında kaplamasız WC takımla Fd için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,006689	0,003344	15,84	59,96
V	2	0,002422	0,001211	5,74	21,72
P	2	0,001622	0,000811	3,84	14,54
Hata	2	0,000422	0,000211		3,78
Toplam	8	0,011156			100

MMY kesme şartında, TiAlN kaplamalı WC kesici takımlar ile yapılan deneylerde ilerleme hızı, kesme hızı ve kesici uç açısının delaminasyona etkisinin değişimi Şekil 6.17'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 6.17. TiAlN kaplamalı WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fd değişimi.

Şekil 6.17'deki grafikler incelendiğinde, kuru kesme şartında TiAlN kaplamalı WC matkap ile elde edilen Fd değerlerinin MMY kesme şartında elde edilen sonuçlar ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. İlerleme miktarı ve kesme hızının artmasıyla birlikte delaminasyon faktörü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Tüm ilerleme değerleri için matkap uç açısının artmasıyla Fd değerlerinin arttığı söylenebilir. Bu sonuç, TiAlN kaplamanın etkisiyle matkaplarda kesici kenar köşe radyüsünün

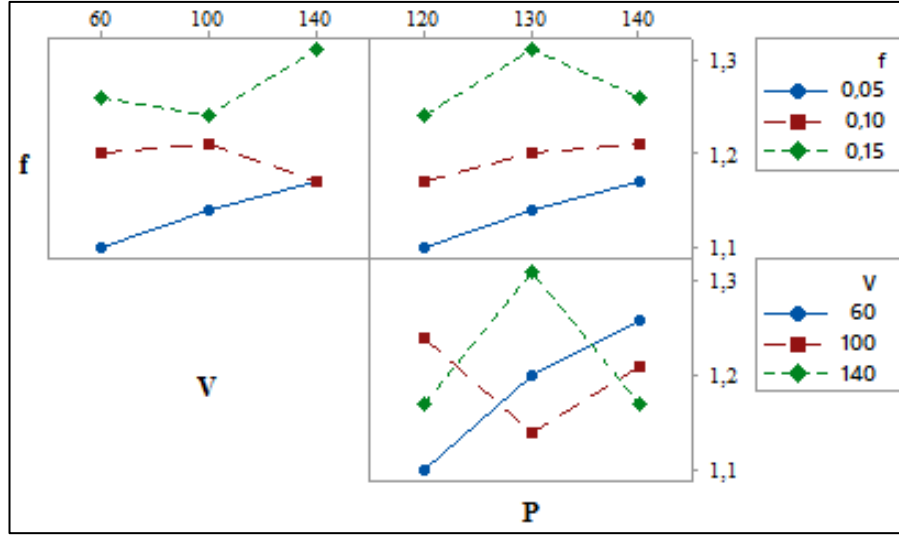
büyümesi ve dolayısıyla matkabın malzemeye batmasının zorlaşması nedeniyle itme kuvvetlerinin artmasına atfedilmektedir. En düşük delaminasyon faktörü 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip matkapla 1,12 olarak hesaplanırken, en yüksek delaminasyon değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip kesici takımla 1,35 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi, TiAlN kaplamalı WC matkaplar ile CFRP kompozit malzemenin delinmesi sırasında oluşan Fd değerleri kaplamasız takımla elde edilen Fd değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 6.17’de MMY kesme şartında TiAlN kaplamalı WC matkapla elde edilen Fd değerleri için ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.16’ya göre, delaminasyon faktörü üzerinde en önemli parametre %88,90 PCR ile ilerleme miktarıdır. Kesme hızı ve takım uç açısının Fd üzerindeki etkileri sırasıyla %9,16 ve %1,33 PCR şeklinde elde edilmiştir. Hata yüzdesi ise %0,61 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.17. MMY şartında TiAlN kaplamalı WC takımla Fd için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,041622	0,020811	144,08	88,90
V	2	0,004289	0,002144	14,85	9,16
P	2	0,000622	0,000311	2,15	1,33
Hata	2	0,000289	0,000144		0,61
Toplam	8	0,046822			100

Minimum miktarda yağlama kesme şartında elmas kaplamalı WC matkap ile yapılan deneylerde ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısına göre delaminasyon faktörünün değişimi Şekil 6.18’deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 6.18. Elmas kaplamalı WC matkapla MMY kesme şartında elde edilen Fd değişimi.

Elmas kaplamalı WC kesici takımlar için ilerleme miktarı-kesme hızı etkileşiminde 0,1 mm/dev ilerleme miktarı haricinde kesme hızının artmasıyla birlikte Fd değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 6.18). İlerleme-matkap uç açısı etkileşimine göre kuru kesme şartında olduğu gibi uç açısının artmasıyla da delaminasyon faktörü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızı-matkap uç açısı etkileşiminde ise Fd değerlerinde düzenli bir artma veya azalma eğilimi olmamıştır. Bu durum, daha önce bahsedildiği gibi L₉ deney tasarımında matkap uç açısı değerlerinin karmaşık diziliminden kaynaklanmaktadır. Elmas kaplamalı WC matkaplar ile elde edilen Fd değerleri kaplamasız WC matkapla elde edilen sonuçlara göre ortalama %10,8 daha yüksek olarak bulunmuştur. En düşük delaminasyon faktörü 0,05 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kesici takımında 1,10 olarak hesaplanırken, en yüksek delaminasyon değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızında ve 130° uç açısına sahip kesici takımında 1,31 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.18'de MMY kesme şartında elmas kaplamalı WC matkapla elde edilen Fd değerleri için ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.18 incelendiğinde, delaminasyon faktörü üzerinde en önemli parametrenin %81,91 PCR ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Kesme hızı ve takım uç açısının delaminasyon faktörü

üzerindeki etkileri sırasıyla %4,27 ve %12,40 PCR şeklinde elde edilmiştir. Hata yüzdesi ise %1,42 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.18. MMY şartında elmas kaplamalı WC takımı için ANOVA sonuçları.

Faktör	SD	KT	KO	F	%PCR
f	2	0,026867	0,013433	57,57	81,91
V	2	0,0014	0,0007	3,00	4,27
P	2	0,004067	0,002033	8,71	12,40
Hata	2	0,000467	0,000233		1,42
Toplam	8	0,0328			100

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuru kesme ve MMY kesme şartlarında Taguchi L₉ deney tasarımına göre yapılan CFRP kompozitlerin delinmesinde matkap uç açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının işleme çıktıları (Fz, Ra ve Fd) üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Genel olarak her iki kesme şartında ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap uç açısının artmasıyla birlikte itme kuvveti, delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.
- Tüm matkap kaliteleri için MMY kesme şartında elde edilen itme kuvveti ve delaminasyon faktörü kuru kesme şartlarında elde edilen değerlere göre küçük olurken, yüzey pürüzlülüğü değerleri MMY kesme şartında daha büyük elde edilmiştir.
- En düşük itme kuvveti değeri 0,05 mm/dev ilerleme miktarı 60 m/dak kesme hızı ve 120° uç açısına sahip kaplamasız WC matkap ile MMY kesme şartında meydana gelirken, en yüksek itme kuvveti değeri ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarı 140 m/dak kesme hızı ve 130° uç açısına sahip TiAlN kaplamalı WC matkap ile kuru kesme şartında elde edilmiştir.
- Delaminasyon faktörünün en düşük değeri 1,04 olarak, ilerleme miktarı, kesme hızı ve takım uç açısının en küçük seviyelerinde MMY kesme şartında elde edilmiştir. En yüksek Fd değeri ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 140 m/dak kesme hızı ve 130° uç açısına sahip TiAlN kaplamalı WC matkap ile kuru kesme şartında 1,46 olarak belirlenmiştir.

- En düşük yüzey pürüzlülük değeri (0,46 μm) ilerleme miktarı, kesme hızı ve takım uç açısının en küçük seviyelerinde kuru kesme şartında elde edilmiştir. En yüksek Ra değeri (2,02 μm) ise 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 60 m/dak kesme hızı ve 140° uç açısına sahip kaplamasız WC matkap ile MMY kesme şartında bulunmuştur.
- ANOVA sonuçlarına göre, MMY ve kuru kesme şartlarında Fz, Fd ve Ra üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir.

7.2. ÖNERİLER

- CFRP kompozitlerin delinmesinde oluşan delaminasyonun minimum düzeyde oluşması açısından, düşük itme kuvveti gerektiği düşünüldüğünde, delme işlemlerinin düşük ilerleme miktarı ve düşük matkap uç açısı kullanılarak yapılması önerilmektedir. Bu bağlamda, delme parametrelerinin optimizasyonun yapılması literatüre ve bu sektörde faaliyet gösteren firmalara önemli faydalar sağlayacaktır.
- CFRP kompozitlerin MMY yöntemi ve değişken ilerleme kullanılarak delinmesi endüstriyel uygulamalarda verimli bir yöntem olarak kullanılabilir.
- CFRP kompozitlerin delinmesinde en önemli işleme çıktıları (İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve delaminasyon) için matematiksel modelleme çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Brinksmeier, E., Janssen, R., “Drilling of Multi-Layer Composite Materials consisting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP), titanium and aluminium alloys”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 51: 87-90 (2002).
2. Rusinek, R., “Cutting Process of Composite Materials: An Experimental Study”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 45: 458-462 (2010).
3. Pecat, O. Brinksmeier, E., “Tool wear analyses in low frequency vibration assisted drilling of CFRP/Ti6Al4V stack material”, *Procedia CIRP*, 14: 142-147 (2014).
4. Kuzu, A. T., Berenji, K. R., Bakkal, M. “Minimum miktarda yağlama ile derin delik delme işleminde iş parçasının sıcaklık modellemesi”, *6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2015)*, İstanbul, (2015).
5. Heinemanna, R., Hinduja, S., Barrowa, G., Petuelli, G., “Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44:1-6 (2006).
6. Meena, A., Mansori, M. E., “Study of dry and minimum quantity lubrication drilling of novel austempered ductile iron (ADI) for automotive applications”, *Wear*, 271: 2412-2416 (2011).
7. Chiffre, L. D., Tosello, G., Piska, M., Müller, P., “Investigation on capability of the reaming process using minimal quantity lubrication”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2: 47-54 (2009).
8. Perçin, M., Aslantaş K., Uçun, İ., Kaynak Y., Çiçek, A., “Micro drilling of Ti-6Al-4V alloy: the effects of cooling/lubricating”, *Precision Engineering*, 45: 450-462 (2016).
9. Babu, K. A., Kumar, G. V., Venkataramaiah, P., “Prediction of Surface Roughness in Drilling of Al 7075/10%-SiCp Composite under MQL Condition using Fuzzy Logic”, *Indian Journal of Science and Technology*, 8 (12):1-10, (2015).
10. Davim, J. P., Rubio, J. C. 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 (9): 1939-1945 (2007).

11. İşbilir, Ö., 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*, 17(3): 380-409 (2013).
12. Wang, X., Kwon, P. Y., Sturtevant, C., Kim, D. W. Lantrip, J., “Tool wear of coated drills in drilling CFRP”, *Journal of Manufacturing Processes*, 15: 127-135 (2013).
13. Iskandar, Y., Tendolkar, A., Attia, M. H., Hendrick, P., Damir, A. Diakodimitris, C., “Flow visualization and characterization for optimized MQL machining of composites”, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63: 77-80 (2014).
14. Merino-Pérez, J. L., Royer, R., Ayvar-Soberanis, S., Merson, E. 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).
15. Yaşar, N., Korkmaz, M. E. Günay, M., “Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite”, *MATEC Web of Conferences*, 112:1-7 (2017).
16. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 1-16, 37-41, 65-68, 79-88 (2000).
17. Ersoy, H. Y., “Kompozit Malzeme”, *Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama, San. ve Tic. Ltd. Sti.*, İstanbul, (2001).
18. İnternet: HHO, “Havacılık Sanayinde Kullanılan Plastik Matrisli Kompozit Malzemeler”, http://www.hho.edu.tr/huten/2003_2004%20SEMINER%20INTERNET/UGUR%20ER/UGUR%20ER%5BWORD%5D.pdf . (2006)
19. Saçak, M., “Polimer Kimyası”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 275-297 (2002).
20. William, D. Callister, J., “Materials Science and Engineering: An Introduction”, *John Wiley & Sons, Inc.*, 580-607 (2007).
21. Teti, R., “Machining of composite materials”, *CIRP Annals*, 51(2): 611-634 (2002).
22. Herakovich, C., “Mechanics of fibrous composites”, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, (1998).
23. İnternet: Umeco, “An introduction to advanced composites and prepreg technology”, <https://www.yumpu.com/en/document/view/9334619/introduction-to-advanced-composites-and-prepreg-technology>, (2012).

24. Reinhart, T. J., "Overview of composite materials, in Handbook of Composites", **Chapman & Hall**, London, (1998).
25. Clements, L., "Organic fibers, in Handbook of Composites", **Chapman & Hall**, London, (1998).
26. Sheikh-Ahmed, J. Y., "Machining of polymer composites", **Springer**, New York, (2009).
27. Chung, D. D. L., "Carbon Fiber Composites", **Butterworth-Heinemann**, Newton, (1994).
28. Lafdi, K. Wright, M., "Carbon fibres, in Handbook of Composites", **Chapman & Hall**, London, (1998).
29. Peters, S. T., "Introduction, composite basic and road map, in Handbook of Composites", **Chapman & Hall**, London, (1998)
30. Shim, H., Seo, M. Park, S., "Thermal conductivity and mechanical properties of various cross-section types carbon fiber-reinforced composites", **Journal of Materials Science**, 37 (9): 1881-1885, (2002).
31. Demirkesen, E., "Kompozit Malzemeler", **İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi**, 1-5 (1991).
32. Coromant, S., "Modern Metal Cutting", Sandvik, Sweden, (1994).
33. Kalpakjian, S. Schmid, S., "Manufacturing Engineering and Technology", **Prentice Hall**, (2006).
34. Youssef, H., El-Hofy, H., "Machining technology: Machine tools and operations 1st ed.", **CRC Press**, New York, (2008).
35. Bradley, S., "Personal communication", **GKN Aerospace**, (2010).
36. Zhang, L. B., Wang, L. J. Liu, X. Y., "A mechanical model for predicting critical thrust forces in drilling composite laminates", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, 2(215): 135-146 (2001).
37. Abrate, S., Walton, D. A., "Machining of composite materials. Part I: Traditional methods", **Composites Manufacturing**, (1992).
38. Shyha, I. S. E. M., "Drilling of carbon fibre reinforced plastics composites", Doctoral Thesis, **School of Mechanical Engineering The University of Birmingham** (2010).

39. Konig, W., Grass, P., “Quality definition and assessment in drilling of fibre reinforced thermosets”, *CIRP Annals*, 1 (38): 119-124, (1989).
40. Abrao, A. M., Faria, P. E., Rubio, J. C. C., Reis, P., Davim, J. P., “Drilling of fiber reinforced plastics: A review”, *Journal of Materials Processing Technology*, 186: 1-7, (2007).
41. Malhotra, S. K., “Some studies on drilling of fibrous composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 24: 291-300, (1990).
42. Zhang, H., Chen, W., Chen, D., Zhang, L., “Assessment of the exit defects in carbon fibre-reinforced plastic plates caused by drilling”, *Key Engineering Materials*, 196: 43-52, (2001).
43. Gilchrist, V. N., Svensson, N., “A fractographic analysis of delamination within multidirectional carbon/epoxy laminates”, *Composites Science and Technology*, 2(55): 195-207, (1995).
44. Çakır, M. C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, *Vipaş A. Ş.*, Bursa, (2000).
45. Çakır, A., “Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2009).
46. Walker, T., “The MQL Handbook”, *Unist In.*, (2013).
47. MQL for dry machining process, *SKF LubriLean Catalogue*, (2014).
48. İnternet: MaClure, T. F., Adams, R., Gugger, M. D., Gressel, M. G., “Comparison of Flood vs. Microlubrication on Machining Performance”, http://www.unist.com/pdfs/articles/AR_flood_v_micro.pdf. (2017).
49. Akben, U., “Minimum miktarda yağlama (MMY) ile kesmenin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 40, (2009).
50. Eisenblätter, G., “Trochsenbohren mit vollhartmetallwerkzeugen”, Ph.D. Thesis, *Aachen University*, (2000).
51. Klocke, F., ve Gerschwiler, K., “Minimalmengenschmierung – Systeme, Medien, Einsatzbeispiele und ökonomische Aspekte der Trockenbearbeitung, Trockenbearbeitung von Metallen”, *Proc. of the VDI-Seminar*, Stuttgart, (2003).
52. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, “Minimum quantity lubrication for machining operations”, *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)*, German, (2010).

53. Akdere, R., “Sertleştirilmiş AISI H10A çeliğinin CBN kesici takımlarla işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü*, 52, (2016).
54. İnternet: Hidropak, Hidropak, SKF,
<http://www.hidropak.com.tr/agent.asp?what=vogel>. (2017).
55. Karnik, S. R., Gaitonde, V. N., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A. M. 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).
56. El-Sonbaty, I., Khashaba, U. A. Machaly, T., “Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites”, *Composite Structures*, 27(63): 313, (2004).



ÖZGEÇMİŞ

Oğuz GÜN 1990 yılında İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2008 yılında Adile Mermerci Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2013 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2014 yılında medikal cihazlar üzerine özel bir firmada çalışmaya başladı. 2014 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2017 yılında tamamladı. 2016-2017 yıllarında dental cihazlar üzerine sektöründe öncü özel bir firmada servis yöneticiliği yaptı. 2017 yılında medikal alanda Ar-Ge faaliyetleri yürüten bir firmada makine mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

Adres : Özgürlük Mh. İstiklal Cad. Çayırova/KOCAELİ

Tel : (542) 432 0600

E-posta : oguzgun34@gmail.com