

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HARP SİLAH VE ARAÇLARI ANA BİLİM DALI
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMER
KOMPOZİT (KFTP) İLE ALÜMİNYUM 7075
ALAŞIMININ İSTİFLENMİŞ HALDE
DELİNEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YUNUS EMRE KARAKOCA
1981027**

**TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYHAN AYTAÇ**

**ANKARA
AĞUSTOS 2021**

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HARP SİLAH VE ARAÇLARI ANA BİLİM DALI
SİLAH SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMER
KOMPOZİT (KFTP) İLE ALÜMİNYUM 7075
ALAŞIMININ İSTİFLENMİŞ HALDE
DELİNEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YUNUS EMRE KARAKOCA
1981027**

**TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYHAN AYTAÇ**

**ANKARA
AĞUSTOS 2021**

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Kuramsel Temeller, ç) Literatür Araştırması ve Değerlendirilmesi, d) Metaryel ve Metot, e) Deneysel Sonuçlar ve Tartışma, f) Sonuç ve Öneriler kısımlarından oluşan toplam ... sayfalık kısmına ilişkin .../.../.....tarihinde şahsım tarafından 'Turnitin' adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %....'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç,
- 2- Alıntılar dahil,
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Yunus Emre KARAKOCA

ETİK BEYANI

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Türk Silahlı Kuvvetleri, Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Alpaslan Savunma Bilimleri Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Yunus Emre KARAKOCA

... /... /2021

Aziz Şehitlerimiz ve Kahraman Gazilerimize...



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Karbon Fiber Takviyeli Polimer kompozit malzeme (KFTP) ile Alüminyum 7075 alaşımının istif halde delik delme işleminin, delaminasyon itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınmasına olan etkileri deneysel yöntemle incelenmiştir.

Bu kapsamda, istif halde bulunan malzemenin delme işlemi içten soğutmalı karbür matkap ile delme yönü ve farklı kesme parametrelerinde yapılmıştır. Malzemeye etki eden itme kuvvetlerini dinamometre ile ölçülmüş, delme yüzeyi giriş ve çıkışlarında delaminasyon ve kesici takım aşınmalarının ölçümü optik mikroskop ile yapılmış ve pürüzlülük değerleri için yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile kesme parametreleri ve delme yönünün malzeme üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Tez çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve görüşleriyle beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Öğ.Alb. Ayhan AYTAÇ'a, tüm tez sürecinde her türlü desteğini sunan, değerli vaktini ayıran saygıdeğer Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmamda kullanılan karbür maktapların teminini ve testlerin yapılması için Ar-Ge test merkezlerinin kullanımını sağlayan Karcan Kesici Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş'ye ve testlerin yapılmasında yardımcı olan mühendis Şerif Ahmet SÖĞÜT ve Hasan KUŞ'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak, çalışmalarımın tamamında yanımda olan, sabır, anlayış ve yardımlarından dolayı kıymetli eşim Bende KARAKOCA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ankara, Ağustos 2021

Yunus Emre KARAKOCA

İÇİNDEKİLER

ÖZGÜNLÜK RAPORU

ETİK BEYANI

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER v

TABLO LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

SEMBOL LİSTESİ ix

KISALTMALAR x

ÖZ xi

İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT) xii

1. GİRİŞ 1

2. KURAMSAL TEMELLER..... 4

2.1. Kompozit Malzemeler 4

2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı 5

2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 6

2.3.1. Matris Elemanına Göre Kompozit Malzemeler 6

2.3.2. Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler 7

2.4. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitler 8

2.4.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitlerin İşlenebilirliği... 10

2.5. Alüminyum Malzeme 12

2.5.1. Al 7075 Alaşımının İşlenebilirliği 14

2.6. KFTP/Al 7075 İstif Yapının Delinebilirliği 15

2.7. Delaminasyon 16

2.8. Takım Aşınması 18

2.9. Delik Delme İşleminde Meydana Gelen Kuvvetler 20

2.10. Yüzey Pürüzlülüğü 22

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ..... 24

3.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitlerin Delinmesi ile İlgili Çalışmalar..... 24

3.2. Alüminyumun Delinmesi ile İlgili Çalışmalar 30

3.3. KFTP/Al İstif Yapının Delinmesi ile İlgili Çalışmalar 33

3.4. Literatür Değerlendirilmesi 37

4. MATERYAL VE METOT 39

4.1. Materyal.....	39
4.1.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (KFTP) Malzeme.....	39
4.1.2. Al 7075 Alaşımı.....	40
4.1.3. Deney Numuneleri.....	41
4.1.4. Kesici Takım.....	43
4.1.5. Takım Tezgahı.....	44
4.2. Metot.....	44
4.2.1. Deney Tasarımı ve Kesme Parametreleri.....	44
4.2.2. Kuvvetlerin Ölçümü.....	46
4.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	48
4.2.4. Delaminasyon Ölçümü.....	49
4.2.5. Takım Aşınması.....	50
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	51
5.1. Deney Sonuçları.....	51
5.2. Delaminasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	52
5.3. İtme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi.....	54
5.5. Takım Aşınması.....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKÇA.....	61
EKLER.....	69
Ek 1: Al 7075 T651 Alaşımına Ait Malzeme Sertifikası.....	69
Ek 2: Deney Sonuçları.....	71
Ek 3: Takım Aşınma Görüntüleri.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	79

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1: Çeşitli Karbon Fiberler Türlerinin Özellikleri.....	9
Tablo 2. 2: Çekme Dayanımı ve Modülüne Göre Karbon Fiberler.	10
Tablo 2. 3: Alüminyum Birliğine Göre Temel İşlenebilir Alüminyum Alaşımları Serisi.	13
Tablo 4. 1: KFTP'nin 12 Tabakalı Dizilimi.....	39
Tablo 4. 2: Al 7075'in Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.	40
Tablo 4. 3: Al 7075 T6'nın Kimyasal Özellikleri.	41
Tablo 4. 4: Dik İşleme Merkezine Ait Teknik Özellikler.	44
Tablo 4. 5: İstif Malzemenin Deney Tasarımı.	46
Tablo 4. 6: Spike_Mobile Dinamometrenin Teknik Özellikleri.	47
Tablo 4. 7: Mitutuyo SJ-410 Portatif Yüzey Pürüzlülüğü Test Cihazı Teknik Özellikleri.	49
Tablo 5. 1: Deney Grubu 1'de Elde Edilen Sonuçlar.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 : Airbus A350'de Kullanılan Ana Malzemelerin Ağırlık Yüzdelerinin Karşılaştırılması.....	4
Şekil 2. 2 : Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması	6
Şekil 2. 3 : (a) Tek Yönlü Kompozit Yapı (Lamina) (b) Çok Yönlü Kompozit Yapı (Laminat).	8
Şekil 2. 4 : a) KFTP Kompozit Malzeme ve İç Yapısının Gosterimi a) KFTP Kompozit Malzeme Örnekleri.	9
Şekil 2. 5 : Fiber Takviyeli Polimerlerin Delinmesi Sırasında Dikkate Alınması Gereken Başlıca Hususlar.....	12
Şekil 2. 6 : Delme Esnasında Malzemedeki Deformasyon.....	17
Şekil 2. 7 : Polimer Matrisli Kompozitlerin Delinmesi Esnasında, Delik Giriş ve Çıkış Bölgesinde Oluşan Delaminasyonun Gösterimi.	17
Şekil 2. 8 : Delaminasyon Faktörünün Gösterimi.	18
Şekil 2. 9 : Kesici Takımın Aşınma Safhaları 1. Başlangıçtaki Aşınma, 2. Zayıf Aşınma, 3. Mutedil Aşınma, 4. Aşırı Aşınma, 5. Kesici Takımın Kırılması	19
Şekil 2. 10: Kesici Takım Aşınma Türleri.....	20
Şekil 2. 11: Kesici Ucu Etkileyen Kuvvetler.....	21
Şekil 2. 12: Yüzey Pürüzlülük Profili.....	23
Şekil 4. 1 : KFTP Kompozit Malzeme Ebatları.....	40
Şekil 4. 2 : 280x140x10 mm Al 7075 Alaşımı.	41
Şekil 4. 3 : Diall Epoksi Metal Yapıştırıcı.....	41
Şekil 4. 4 : KFTP/Al 7075 İstif Yapının Hazırlanması.	42
Şekil 4. 5 : KFTP/Al 7075 İstif Yapıya Cıvata Uygulaması.	42
Şekil 4. 6 : a) İçten Soğutma Kanalları, b) 9 mm Çapında Kaplamasız Karbür Kesici Takım.....	43
Şekil 4. 7 : Karbür Kesici Takım Ölçüleri.....	43
Şekil 4. 8 : Mikron VCP 800 Marka CNC Dik İşleme Merkezi.	44
Şekil 4. 9 : KFTP/Al 7075 İstif Malzemenin Tezgaha Bağlantması.	45
Şekil 4. 10: Spike_Mobile Dinamometre.	47
Şekil 4. 11: Deney Grubu 5'de KFTP Üzerinde Oluşan İtme Kuvvetleri.	48
Şekil 4. 12: Mitutuyo SJ-410 Portatif Yüzey Pürüzlülüğü Test Cihazı.....	48
Şekil 4. 13: Delaminasyon Ölçümü İçin Kullanılan Optik Mikroskop.	49
Şekil 4. 14: Takım Aşınmalarının Ölçümü.....	50
Şekil 5. 1 : Delaminasyon Görüntüleri.	52
Şekil 5. 2 : Delaminasyon Faktörünün Delik Sayısına Göre Değişimi; a) KFTP Giriş Bölgesi, b) KFTP Çıkış Bölgesi.	53
Şekil 5. 3 : İtme Kuvvetlerinin Delik Sayısına Göre Değişimi; a) KFTP Değerleri, b) Al 7075 Değerleri.....	55
Şekil 5. 4 : Her Deney İçin Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri.	56
Şekil 5. 5 : 1 No.lu Kesici Takım Aşınma Miktarları.....	57
Şekil 5. 6 : Deney Gruplarında Kullanılan Takımların Aşınma Miktarı.	58

SEMBOL LİSTESİ

Al	: Alüminyum
Ti	: Titanyum
Fe	: Demir
Cu	: Bakır
Mg	: Magnezyum
Si	: Silisyum
Mn	: Manganaz
Zn	: Çinko
Cr	: Krom
O	: Oksijen
N	: Azot
C	: Karbon
WC-Co	: Tungsten Karbür Kobalt
E	: Elastise Modülü
s	: Gerilme Kuvveti
σ_T	: Çekme Dayanımı
ρ	: Yoğunluk
D_0	: Matkap Çapı
D_{mak}	: Maksimum Delaminasyon Çapı
F_d	: Delaminasyon Faktörü
F_{sz}	: Kesme Kuvveti
F_{rz}	: Radyal Kuvvet
F_{vz}	: İlerleme Kuvveti
F_{nz}	: Bileşke Kuvveti
F_z	: İtme Kuvveti
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü
Pc	: Güç
K_s	: Özgül Kesme Basıncı

KISALTMALAR

ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
BUE	: Built Up Edge (Yığıntı Talaş)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)
CNC	: Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
KFTP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
YT	: Yığıntı Talaş



ÖZ

Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (KFTP) ile Alüminyum 7075 Alaşımının İstiflenmiş Halde Delinebilirliğinin İncelenmesi

Yunus Emre KARAKOCA

Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü

Ankara, Ağustos 2021

Bu çalışmada Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (KFTP) ile Alüminyum 7075 alaşımının istiflenmiş halde delinebilirliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında, istif malzemedede delme işlemi sonunda oluşan delaminasyon kusuru, malzemeye etki eden itme kuvveti, delik iç yüzey pürüzlülükleri ve kesici takım aşınmaları değerlendirilmiştir. Kesme parametreleri olarak 50 ve 200 m/dk kesme hızları, 0.10 ve 0.20 mm/dev ilerleme hızları seçilmiştir. Deneysel işleme yönünün etkisini gözlemlemek amacıyla sırasıyla KFTP/Al 7075 ve Al 7075/KFTP yönlerinde delikler delinmiştir. Delme deneyleri değişken kesme, ilerleme hızları ve sabit kesme, ilerleme hızlarında tamamlanmıştır. Değişken hızlarda deneyler KFTP için 50 m/dk kesme ve 0.10 mm/dev ilerleme hızları, Al 7075 alaşımı için 200 m/dk kesme ve 0.20 mm/dev ilerleme hızları seçilmiştir. Deneysel sonuçlar, kesme ve ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını, kesici takımın KFTP'den çıktığı deneylerde delaminasyonun arttığını, değişken hızlarda delmenin itme kuvvetini arttırdığını ve içten soğutma ile kesici takımın aşınma miktarının oldukça az olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon fiber takviyeli polimer (KFTP), Alüminyum 7075 alaşımı, delik delme, kompozit malzeme, delaminasyon.

Bilim Kodu : 91417

Sayfa Sayısı : 94

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ayhan AYTAÇ

ABSTRACT

Investigation of Drillability of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Composites And Aluminium Alloy (Al 7075) On Stacked Condition

Yunus Emre KARAKOCA

National Defence University, Alparslan Defence Sciences Institute

Ankara, August 2021

In this study, drillability of Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite (KFTP) and Aluminum 7075 alloy on stacked condition was investigated. In the scope of the study, the delamination defect resulting from the drilling process in the stacked material, the thrust force acting on the material, the inner surface roughness of the hole and the wear of the cutting tool were evaluated. Cutting speeds of 50 and 200 m/min, feed rates of 0.10 and 0.20 mm/rev were selected as cutting parameters. In order to observe the effect of machining direction in the experiments, holes were drilled in KFTP/Al 7075 and Al 7075/KFTP directions. Drilling experiments were completed at variable cutting speed, feed rates and constant cutting speed, feed rates. Experiments at variable speeds 50 m/min cutting speed and 0.10 mm/rev feed rates for KFTP, 200 m/min cutting speed and 0.20 mm/rev feed rates for Al 7075 alloy were selected. Uncoated carbide drill with a diameter of 9 mm was used in the experiments. The experimental results showed that the surface roughness increased with the increase in cutting and feed rate, the delamination increased in the experiments where the cutting tool came out of the KFTP, the drilling force at variable speeds increased, and the amount of wear of the cutting tool with internal cooling was very low.

Key Words: Carbon fiber reinforced polymer (KFTP), Aluminum 7075 alloy, drilling, composite material, delamination.

Science Code : 91417

Pages : 94

Supervisor : Asst. Prof. Ayhan AYTAÇ

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler malzeme alanındaki ilerleme ile doğru orantılıdır. Bir sistemin yüklerini ve koşullarını taşıyacak yeterli malzeme yoksa gelişmiş bir tasarıma sahip olması herhangi bir anlam ifade etmemektedir. Malzeme tarihindeki önemli gelişmelerden biri ise; kompozit malzemelerin tasarım ve üretiminin geliştirilmesidir. Ahşap gibi çok fazlı malzemeler, samanla güçlendirilmiş kilden yapılmış tuğlalar, deniz kabukları ve hatta çelik gibi alaşımlar bin yıldan beri bilinmesine rağmen, üretim sırasında farklı malzemeleri birleştirme konusundaki bu yeni yaklaşımın tanınması, kompozitlerin yeni bir ürün olarak tanınmasına yol açmıştır. Havacılık, enerji ve inşaat gibi çeşitli alanlarda daha sert ve daha güçlü ancak daha hafif olan malzemelere yönelik artan bir talep nedeniyle 1960'ların başından itibaren araştırma ve geliştirme çalışmaları başlamıştır (Chawla, 2011; Callister ve Rethwisch, 2014).

Kompozitler, belirli bir uygulamanın gereksinimlerini karşılayacak şekilde özelleştirilebilen, benzeri görülmemiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahip çok işlevli malzemelerdir. Kompozit geliştirmedeki ana fikir, farklı malzemelerin özelliklerini harmanlamaktır. Tek bir malzemede bulunmayan özelliklerin iki veya daha fazla malzeme kullanılarak oluşturulmasıdır. Kompozitler ile hafif, güçlü, sünek, aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler üretilebilir. Kompozitler, günümüzde otomobil, tren, uçak yapıları, frenler, tahrik milleri, volanlar, tanklar ve basınçlı kaplar gibi birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılan önemli malzemelerdir (Askeland, 2011).

Havacılık ve uzay endüstrisinde daha yüksek yakıt verimliliği standartları ve uçaklar için daha uzun ömür sağlanması istenmektedir. Üretim sürecinde yapılan çalışma ve gelişim istenilen standartların sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Yakıt ekonomisi, uçak tasarımında ana ölçüttür. Yakıt verimliliği için yapılan çalışmalar, uçağın ağırlığı ve aerodinamiğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, son yıllarda gelişmiş hafif metalik alaşımlar ve kompozit malzemelere yönelik araştırma ve geliştirmeler artmıştır (Rotella, 2019; Geng ve diğ. 2019; Tamura ve Matsumura 2021).

Karbon fiber takviyeli polimer kompozitler, havacılık yapılarında en yaygın kullanılan kompozit malzemelerdir. Bu kompozitlerin, düşük ağırlıkları, yüksek mukavemetleri ve sertlikleri ve daha iyi korozyon direnci gibi avantajları, onları

havacılık uygulamaları için tercih sebebi haline getirmektedir (Aamir ve diğ. 2019; Çalışlar, 2016). Ancak bu malzemeler, heterojen, anizotropik ve oldukça aşındırıcı olmaları nedeniyle işlenebilirlikleri oldukça zordur (Caggiano, 2018).

Alüminyum alaşımları, hafifliği, sağlamlığı ve üretilebilirliği nedeniyle seri üretilen hava yapı parçaları için en yaygın kullanılan alaşımlardır. Hava araçları için en çok kullanılan iki gelişmiş yüksek mukavemetli alüminyum alaşım serisi vardır. Yüksek mukavemet, gerilme korozyonu, çatlama direnci ve tokluk özelliklerine sahip 7010 ve 7050 alaşımları ve yüksek mukavemete ve mükemmel yorulma direncine sahip 2024 alaşımlarıdır (Santos ve diğ. 2016; Aamir ve diğ. 2020).

Karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) kompozitler ile alüminyum veya titanyum alaşımının (Al veya Ti) çoklu katmanlarından oluşan kompozit/metal istif malzemeleri, havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit/metal bileşenlerin montajı sırasında mekanik cıvatalama veya perçinleme talebini karşılamak için on binlerce delik açılması gerekir. Bunların montaj doğruluğu, uçakların uçuş performansı için hayati önem taşımaktadır. Montaj doğruluğu, büyük ölçüde işlenmiş deliklerin kalitesine bağlıdır. Yüksek kaliteli delikler elde etmek için her malzemeyi ayrı ayrı delmek yerine “tek atış” delme potansiyel bir çözüm olarak önerilmiştir. Ancak kompozit/metal istif delinmesi, kullanılan iki malzemenin aralarındaki farklı işlenebilirlik özellikleri nedeniyle son derece zorlu bir işdir. Montaj doğruluğunu ciddi şekilde etkileyen çeşitli delik kusurları sıklıkla meydana gelmektedir. Kompozit/metal istif malzemelerinin delinmesi sırasında, zayıf çap toleransı, zayıf delik yüzey kalitesi, matris reçine bozulması, fiber çapakları ve delaminasyon gibi delik kalitesi kusurları gözlemlenmektedir (Wang ve diğ. 2015; Zitoune ve diğ. 2016; Zitoune ve diğ. 2012).

KFTP kompozit malzemenin delik delme işlemi ile ilgili birçok araştırma yapıldığı görülmektedir. Ancak, delik delme işleminin tüm talaşlı imalat işlemlerinin %40'ını oluşturması ve bunlarında %60 oranında istenilen toleranslara uygun olmaması nedeniyle reddedilmeleri bu alanda daha çok çalışma yapılması gerekliliğini göstermektedir. Bu çalışmanın amacı; KFTP/Al 7075 istif yapının delik delme sonucunda oluşan delaminasyon, itme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişken kesme ve ilerleme hızlarında, sabit kesme ve ilerleme

hızlarında tespit edilmesidir. Delik delme işleme yönünün değiştirilerek delinebilirliğini incelemek ve uygun delme koşullarını tespit etmek amaçlanmıştır.

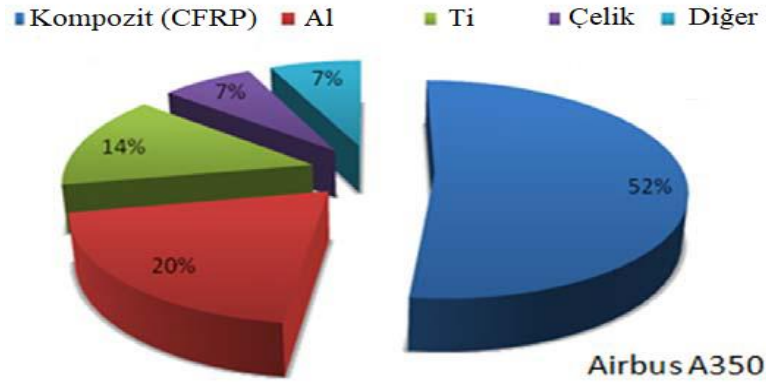


2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, farklı fiziksel özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenin üstün fiziksel özelliklere sahip bir malzeme oluşturulması maksadıyla fiziksel olarak makro yapıda birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemelerdir (Bromley, 2015). Kompozitleri alaşımlardan ayıran en önemli faktör, bileşeni oluşturan malzemelerin kimyasal ve fiziksel olarak farklı olmaları ve makro ölçekte bitmiş yapı içerisinde ayrı kalmalarıdır. Kompozit malzeme üretmenin amacı, homojen muadillerinden daha güçlü, daha hafif veya daha ucuz ürün oluşturabilmektir (Uyar, 2014). Kompozit malzemeler, hafif ve yüksek mukavemetin istendiği uygulamalarda geleneksel malzemelerin yerini başarıyla almıştır. Kompozitlerin bu tür uygulamalar için seçilmesinin nedenleri, temel olarak yüksek mukavemet / ağırlık oranı, yüksek sıcaklıklarda yüksek gerilme mukavemeti, yüksek sürünme direnci ve tokluktur (Satapathy, 2014).

Kompozit malzemeler, yakıt tüketimini azaltmak için uçak, otomobil ve denizcilik endüstrisinde çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Cam elyaf takviyeli kompozitler daha çok otomotiv endüstrisi için kullanılırken karbon elyaf havacılık endüstrisi için ana takviye malzemesidir. Şekil 1.1'de gösterilen Airbus A350'nin gövde, kanat ve stabilizatör parçalarının çoğu kompozitler kullanılarak üretilmiştir (Aydın, 2019).



Şekil 2. 1: Airbus A350'de Kullanılan Ana Malzemelerin Ağırlık Yüzdelerinin Karşılaştırılması.

(Mayuet ve diğ., 2013)

2.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozit malzemeler doğru bir şekilde tasarlanır ve imal edilirse, herhangi bir geleneksel malzemede bulunmayan özellikler elde edilir. Bu malzemeler; matris ve takviye elamanı olarak tanımlanan iki yapıdan oluşmaktadır. Kompozitin mukavemeti veya diğer mekanik özellikleri matris içindeki takviye elemanının miktarına, düzenine ve tipine bağlıdır (Shahrajabian ve diğ., 2012; Satapathy, 2014).

Kompozit malzemelerdeki takviyelerin rolü, matrisin mekanik özelliklerini arttırmaktır. Bu takviyeler; sentetik lifler (cam, karbon, aramid vb.), doğal lifler (sisal, jüt, pamuk vb.) ve tanecikler (kil, mika, titanyum dioksit vb.) olabilir. Tüm bu malzemeler, lifli formun yüksek en / boy oranı (uzunluk/çap oranı) nedeniyle dökme malzemelerden daha güçlüdür. Yüksek en / boy oranı, etkili bir yük transfer sistemi yapımına olanak tanır.

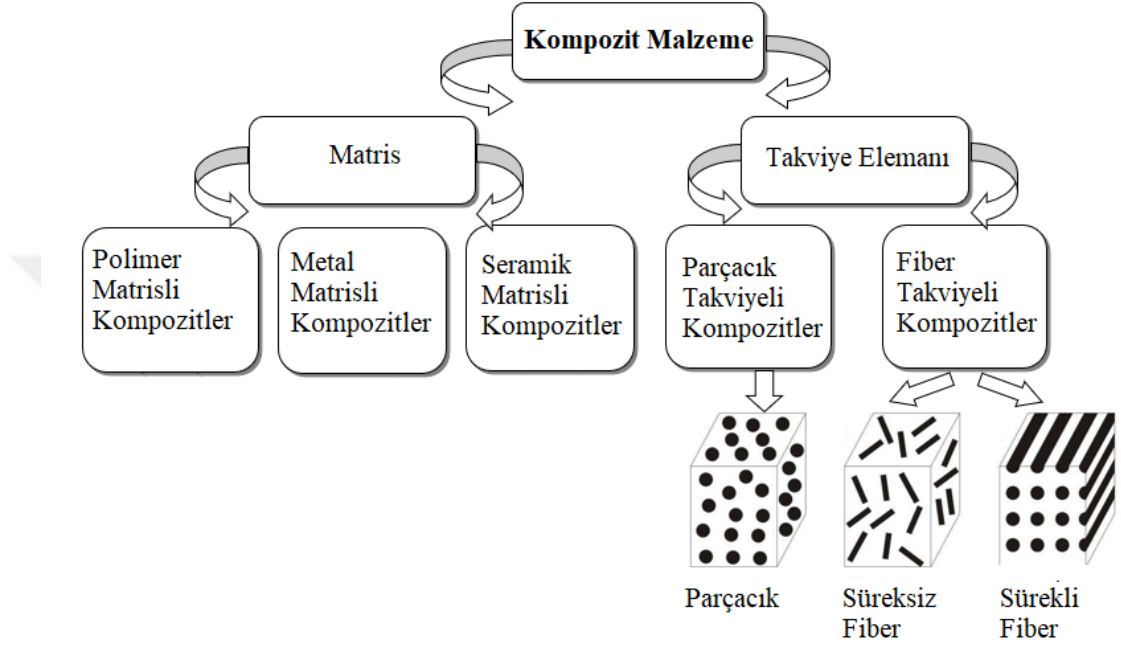
Sentetik lifler endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam elyaflar, maliyeti düşük ve mukavemeti yüksek olan elyaflardır. Aramid lifleri, polimer formuna sahip sentetik liflerdir. Aramid lifleri, cam veya grafit lifler kadar kırılğan değildir ve kayda değer bir çekme mukavemetine sahiptir. Bu liflerin üretimi çok daha az ısı gerektirdiğinden cam veya karbon liflere göre daha ekonomiktir. Bununla birlikte, bu liflerin bazı dezavantajları vardır. Örneğin; Kevlar, anizotropik yapısı nedeniyle zayıf sıkıştırma kararlılığı gösterir.

Tüm takviye lifleri arasında karbon lifleri en yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. Ancak camdan daha kırılğandır ve metallerin yanında kullanıldıklarında galvanik korozyondan etkilenebilirler (Kaçmaz, 2017).

Matrisin amacı, bağlayıcı özellikleri sayesinde takviye elemanlarını birbirine bağlamak, birbirleri arasında yük aktarmak ve takviyeyi korumaktır. Matris ayrıca kompozite, imalat sırasında işlemeye yardımcı olan katı bir form sağlar. Bu, özellikle süreksiz takviyeli kompozitlerde gereklidir çünkü takviyeler, yeterli uzunlukta değildir. Takviyeler genel olarak daha güçlü ve daha rijit olduğundan, yapısal bir perspektiften bakıldığında matris genellikle kompozitteki zayıf elemandır. Bu nedenle matris kompozitin enine özelliklerini, tabakalar arası mukavemetini ve yüksek sıcaklık mukavemetini kontrol eder. Ayrıca, dış kuvvetlerden donatıya etkin yük aktarımı sağlayarak takviyenin mukavemet potansiyelini tam olarak kullanılmasını sağlar (Sharma, 2014).

2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitlerde matriste polimerler, metaller veya seramikler kullanılırken, takviyede matris fazına gömülü fiberler, taneler, parçacıklar ve/veya dolgular kullanılır. Kompozitler yaygın olarak matris/takviye elemanına göre sınıflandırılır ve bu sınıflandırma Şekil 2.2'de gösterilmektedir (Campbell, 2010).



Şekil 2. 2: Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması.

(Çaylan, 2019)

2.3.1. Matris Elemanına Göre Kompozit Malzemeler

2.3.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrislerin termosetler (epoksi, polyester, poliimid) ve termoplastikler (polietilen, polistiren, naylon vb.) olmak üzere iki çeşidi vardır. Bu matrisler orta maliyetli, düşük yoğunluğa ve kolay işlenebilirliğe sahiptir.

Polimer matris malzemeleri fiber takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini değiştirir ayrıca fiziksel özelliklerini (erime sıcaklığı ve viskozite), mekanik özelliklerdeki değişiklik nedeniyle sınırlar. Bundan dolayı hem termoset hem de termoplastikler matris olarak kullanılabilir.

Epoksi reçine ve polyester en yaygın matris malzemeleridir. Ayrıca vinil esterler, poliimidler vb. diğer polimerik matrisler olarak anılabilir (Kaçmaz, 2017).

2.3.1.2. Metal Matrisli Kompozitler

Metaller, yüksek mekanik özelliklere sahiptir ve yüksek sıcaklık dâhil olmak üzere çeşitli zorlu çevre koşullarına karşı yüksek direnç gösterirler. Böylece polimer matrislere karşı avantajlı bir konuma gelirler. Metaller polimer matrislerle karşılaştırıldığında yüksek yoğunluk ve yüksek kimyasal reaksiyona girme potansiyelleri nedeniyle dezavantajları vardır (Macke, 2012).

2.3.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler, metalik matrisli kompozitlerden daha hafiftir ve yüksek sıcaklıklarda daha iyi kimyasal ve fiziksel denge durumunda olmalarının yanında daha yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. Bu nedenle seramik matrisli kompozitler, havacılık ve uzay motor endüstrisinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

Seramikler, üretim süreci sırasında termal şoklara karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, mekanik özelliklerini önemli ölçüde bozan ve beklenmedik kusurların oluşmasını önleyen gözenekli yapıdadırlar. Seramik malzeme, onları kırılğan yapan, nispeten metal matrislere göre düşük sünekliğe sahiptir. Seramik takviyeli kompozit malzemeler, yüksek sıcaklıkta üretilmeleri nedeniyle maliyetli malzemelerdir (An ve diğ., 2020; Zhang, 2019).

2.3.2. Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemeler

2.3.2.1. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

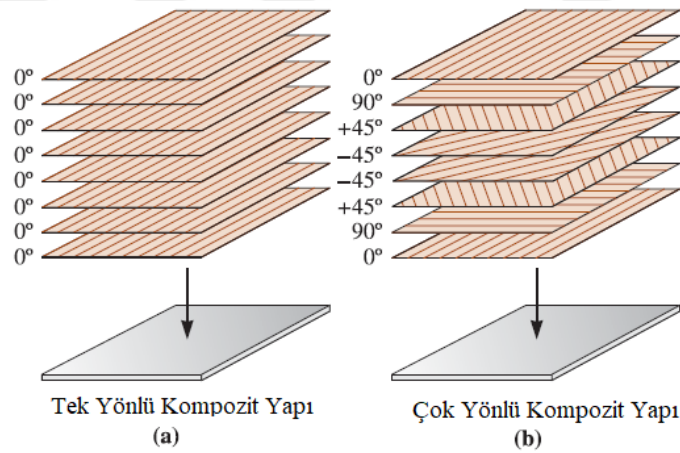
Takviye için kullanılan parçacıklar arasında; seramikler, küçük mineral parçacıklar, alüminyum gibi metal tozları, polimerler ve karbon siyahı dahil amorf malzemeler bulunur. Parçacıklar, modülü artırmak, matrisin sünekliğini azaltmak ve kompozitlerin maliyetini azaltmak için kullanılırlar (Satapathy, 2014).

2.3.2.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Fiber takviyeli kompozit malzemeler, aralarında ayrı arayüzler olan bir matris içinde veya bir matrise bağlanmış yüksek mukavemetli fiberden oluşur. Fiberler, nano ölçekli çapları sayesinde yüksek mukavemete sahip kompozitler oluştururlar. Bununla birlikte dökme hâlde üretilen malzemenin daha az kusur içerirler.

Kompozitlerde yaygın olarak kullanılan lifler (fiber), sürekli veya süreksiz olabilen karbon, cam ve aramiddir (Campbell, 2010; Sharma, 2014).

Sürekli elyaf kompozitler, istenen mukavemet ve sertlik özelliklerini üretmek için katmanların farklı yönlerde istiflenmesiyle üretilir ve bu nedenle kompozit endüstrisinde tercih edilir. Liflerin gecikme olmaksızın oryantasyonu kompozitlerin mekanik özelliklerini etkilediğinden, mümkün olduğu kadar çok katmanı temel yük taşıma yönünde yönlendirmek mantıklı görünmektedir. Çeşitli yönlerde istiflenen lifler laminat, aynı yönelimde istiflenenler ise lamina olarak tanımlanır. Şekil 2.3'de lamina ve laminat gösterilmektedir (Çaylan, 2019). Elyaf dokuma kompozitler tüm polimer laminatların %60'ını, tek yönlü ve kesilmiş elyaflar ise %20'sini kapsamaktadır (Abrao ve diğ., 2007).



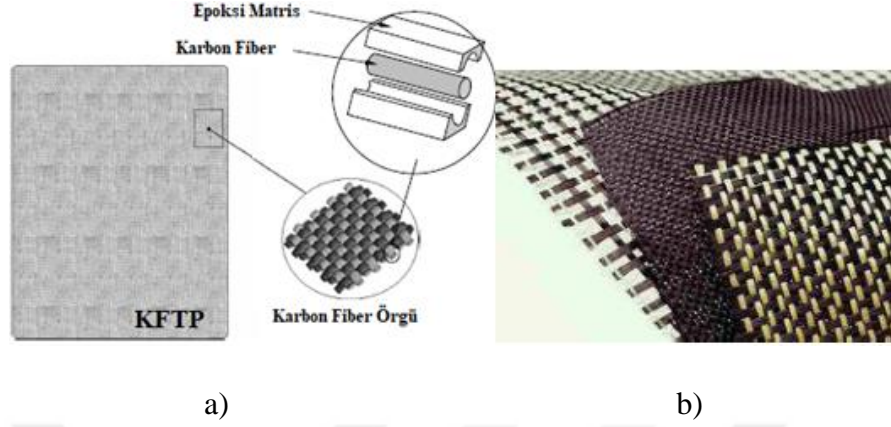
Şekil 2. 3: (a) Tek Yönlü Kompozit Yapı (Lamina) (b) Çok Yönlü Kompozit Yapı (Laminat).

(Askaland, 2009)

2.4. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitler

Karbon fiber takviyeli polimer kompozitler, karbon/grafit liflere dayalı son derece güçlü ve hafif lif takviyeli polimerlerin bir sınıfıdır (Şekil 2.4). Matris malzemesi

genellikle epoksidir, ancak bazen polyester, vinil-ester gibi diğer polimerler de kullanılır. Bazı uygulamalarda karbon fiberlerle birlikte cam fiberler, kevlar ve alüminyum gibi diğer fiberler de kullanılabilir (Karnik, 2008; Vatangül, 2008).



Şekil 2. 4: a) KFTP Kompozit Malzeme ve İç Yapısının Gosterimi b) KFTP Kompozit Malzeme Örnekleri.

(Karnik, 2008; Vatangül, 2008)

KFTP'ler çok yüksek bir mukavemet-ağırlık oranı, yüksek modül-ağırlık oranı (spesifik modül, E/ρ), yüksek sönümleme kapasitesi, iyi boyutsal kararlılık, mükemmel hasar toleransı ve iyi korozyon ve yorulma dirençleri sunar (Che, 2014). Karbon fiberler, çeliğin 3 katına kadar katılık ve imalat çeliklerinin 15 katına kadar mukavemete sahiptir ($\sigma_T \sim 5000$ MPa). Tablo 2.1'de farklı karbon fiberlerin özellikleri, Tablo 2.2'de karbon fiberlerinin çekme mukavemeti ve dayanım / modül oranına göre sınıflandırmaları gösterilmiştir (Chung, 2012).

Tablo 2. 1: Çeşitli Karbon Fiberler Türlerinin Özellikleri.

Tip	Çap (μm)	Çekme dayanımı (Mpa)	Elastise Modülü (Gpa)
Genel Amaçlı	7-15	700	40
Yüksek Performanslı	9-11	5000	350
Yüksek Performanslı Poliakrilonitril	4-8	2000	200-800
Aktif Karbon Fiber	7-15	200	1500

(Chung, 2012)

Tablo 2. 2: Çekme Dayanımı ve Modülüne Göre Karbon Fiberler.

Tip	Çekme modülü (Mpa)	Dayanım modül oranı %
Aşırı yüksek modül	> 500	-
Yüksek modül	> 300	< 1
Orta modül	< 300	> 1
Düşük modül	< 100	İzotropik yapı
Yüksek dayanım	Çekme dayanımı >3 Gpa	1,5 - 2

(Chung, 2012)

Geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip KFTP, uzay ve havacılık endüstrisinde geleneksel malzemelerin yerine yaygın olarak tercih edilmektedir (Souits, 2005). Hava araçlarındaki kanat ve ana gövde gibi büyük parçaların yanı sıra kapı ve klips gibi küçük bileşenleri de kapsayabilir (Karataş ve Gökkaya, 2018).

2.4.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitlerin İşlenebilirliği

KFTP'ler genellikle vakumlu otoklav kalıplama, sıkıştırma kalıplama ve filament sarım kalıplama ile net şekillere yakın olarak üretilir. Tornalama, frezeleme veya delme gibi işleme operasyonu da gereklidir. Bu işleme operasyonları, kompozitin boyutsal toleransını, yüzey kalitesini ve diğer fonksiyonel gereksinimlerinin sağlanması amacıyla yapılmaktadır. Bununla birlikte, KFTP'lerin işlenmesi, geleneksel metallerin ve alaşımlarının işlenmesinden çok daha zordur. Farklı mekanik ve termal özelliklere sahip malzemeler ile iki fazlı bir yapı oluşturulur ve bu yapı işleme sırasında matris ve fiber arasında karmaşık etkileşimlere yol açar, bu da KFTP'nin işlenmesini metallerinkinden oldukça farklı kılar (M.K ve diğ., 2012).

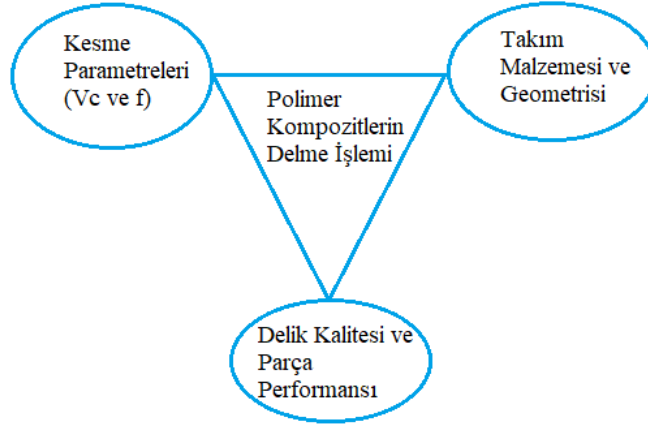
KFTP'nin yapısal özellikleri, üretim yöntemi, reçine/matris yapısı işlenebilirliğini, işleme sürecinin ve kullanılan takımların seçimini etkiler. KFTP'lerin homojen olmaması ve anizotropisinden dolayı, işleme sırasında liflerin çekilmesine ve lif matrisinin ayrılmasına yol açabilir (Grilo ve diğ., 2013). KFTP'lerin yüksek ısı direnci ve aşındırıcı özelliği nedeniyle, kesici takımlarda aşınma meydana gelir. Epoksinin kendine has zayıflığı nedeniyle, iş parçasında kabul edilemez delaminasyon ve matris çatlaması küçük kesme kuvvetlerinin etkisi altında bile meydana gelir. Yüksek kesme hızları ve düşük ısı iletkenliği nedeniyle yüksek sıcaklıklar reçine bozulmasına neden olur. Fiber parçalanması, yüzey pürüzlülüğü,

yanma gibi hasar türleri KFTP'lerin işlenmesinde karşılaşılan diğer kusurlardır (Aamir ve diğ. 2019). KFTP malzemeleri üzerinde çalışan endüstrilerin mevcut amacı, proses kaynaklı bu hasarları önlemek ve kontrol etmektir (Su ve diğ., 2020).

2.4.1.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitlerin Delinebilirliği

Kompozit laminatlar genellikle yapısal malzeme olarak kullanılır ve mekanik bağlantı ile diğer metal veya kompozit yapılarla birleştirilmesi gerekir. Perçinli ve cıvatalı bağlantılar ile kompozit laminatlar diğer bileşenlerle sabitlenir. Bu bağlantılar için delme işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde talaş kaldırma işleminin %40'ı delme işlemi ile yapılmaktadır. Su jeti, lazer ve elektro-erozyon gibi bazı özel geleneksel olmayan delik açma yöntemleri kompozit laminatlar için uygun şekilde kullanılmaktadır ancak geleneksel mekanik delme, kompozit üzerinde delikler açmak için hâlâ ana tekniktir (Geng ve diğ., 2019).

KFTP'nin delinmesi, mekanik zorlamalara maruz kaldığında tabakalara ayrılma eğilimleri nedeniyle kritik bir işlem olarak kabul edilir. Malzemenin işlenmesi ile delaminasyon, fiber / reçine sıyrılması ve delik duvarında yetersiz yüzey pürüzlülüğü gibi malzemenin istenilen kalitede olmasını engelleyen kusurlar meydana gelir. Delme işleminin neden olduğu kusurlar arasında, delaminasyon en kritik olanıdır. Delaminasyon yalnızca yüzey kalitesini ve montaj toleransını doğrudan azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yorulmaya karşı delik mukavemetini de etkiler, bundan dolayı montaj parçalarının çalışma ömrünü azaltır. Bu hasarları engellemek için, çalışılan malzemeye uygun işleme parametrelerinin seçimi önem arz etmektedir. Kesme parametreleri ve takım malzemesi / geometrisi, delme işleminde delik kalitesini ve parça performansını etkileyen en önemli unsurlardır (Şekil 2.4). Bu değişkenlerin malzeme yüzeyinde en iyi delik kalitesini elde edilmesi amacıyla dikkatli seçilmesi gerekmektedir (Abrao ve diğ., 2007; Geng ve diğ., 2019; Tamura ve Matsumura, 2021)



Şekil 2. 5: Fiber Takviyeli Polimerlerin Delinmesi Sırasında Dikkate Alınması Gereken Başlıca Hususlar.

(Abrao ve diğ., 2007)

2.5. Alüminyum Malzeme

Alüminyum (Al), yerkabuğunda en bol bulunan üçüncü metaldir ve doğal haliyle oksijen ve diğer elementlerle birleşir. Yüzey merkezli kübik (YMK) bir yapıya ve yüksek sünekliğe sahip olmasının yanı sıra işlenmesi nispeten kolaydır. Alüminyum, yumuşaklığı, düşük yoğunluğu, özgül sertlik (E/ρ) ve mukavemeti (s/ρ) nedeniyle endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Havacılık ve uzay şirketleri, uçak dış kaplaması, gövde çerçeveleri, spar ağları vb. yapımında uzun süredir alüminyum alaşımları kullanmaktadır (Hamade ve Ismail, 2005).

Alüminyum, üretimden sonra birincil hâlde veya diğer kimyasal elementlerle alaşımlar hâlinde bulunabilir. Birincil alüminyum, alüminyum oksit (alümina) 950 ila 980 °C sıcaklık aralığında (Hall-Héroult işlemi) elektrolizi ile üretilir. Alaşımlar, birincil alüminyuma yeni mekanik özellikler kazandırmak için bakır, çinko, manganez, silikon, magnezyum, demir vb. kimyasal elementlerle reaksiyon yoluyla oluşturulabilir.

Alüminyum alaşımları, sıcak veya soğuk mekanik işlemden geçenler ve parçanın son şeklinin döküm işlemi ile elde edilen döküm alaşımları olarak ikiye ayrılır. Alüminyum Birliği, işlenebilir ve döküm alaşımları sınıflandırmak için, ana alaşım elementini ve sınıf içindeki alaşımın modifikasyonlarını tanımlayan sayısal tanımlamalar kullanır. Tablo 2.3'te, işlenebilir alüminyum alaşımları için benimsenen adlandırma sistemini gösterilmektedir. Dökme alüminyum alaşımları

benzer bir işlemle sınıflandırılır. Demirli alaşımlarla karşılaştırıldığında, alüminyum alaşımlarının genellikle iyi işlenebilirliğe sahip olduğu kabul edilir. Ancak, sünek malzeme olmaları nedeniyle işleme kuvvetleri artar, yüzey kalitesini olumsuz etkiler ve talaş kontrolü zorlaşır. Alüminyum-silikon alaşımlarındaki yüksek silikon içeriği de kesici takımlarda yüksek aşınmaya sebep olur (Santos ve diğ., 2016).

Tablo 2. 3: Alüminyum Birliğine Göre Temel İşlenebilir Alüminyum Alaşımları Serisi.

Seri	Temel Alüminyum Elementi	Uygulamalar
1XXX	Ticari olarak saf alüminyum >%99 saflık (Isıl işlem görmez)	Düşük maliyetli, alaşım elementleri içermez. Kimyasal saldırılara ve korozyona karşı direnci nedeniyle ağırlıklı olarak kimya endüstrisinde kullanılır. Ayrıca üstün iletkenliği nedeniyle elektrikli cihazlarda kullanılır.
2XXX	Bakır (Isıl işlem görebilir)	Diğer alaşımlara kıyasla korozyona duyarlı uçak uygulamalarında kullanılır. Al 2024 gibi alaşımları üstün işlenebilirliğe sahiptir.
3XXX	Manganez (Isıl işlem görmez)	Eloksal ve kaynak uygulamalarında kullanılır.
4XXX	Silikon (Isıl işlem görmez)	Alüminyum birleştirmek için kaynak telleri ve lehim alaşımı için kullanılır, çoğunlukla mimari uygulamalar için kullanılır.
5XXX	Magnezyum (Isıl işlem görmez)	Deniz suyu uygulamalarında iyi kaynak özellikleri ve korozyon direncine sahiptir.
6XXX	Magnezyum ve Silikon (Isıl işlem görebilir)	Eşit miktarda magnezyum ve silikon içeren bu serideki alaşımlar otomotiv ve havacılık uygulamalarında kullanılır, iyi şekillendirilebilirlik, işlenebilirlik ve korozyon direncine sahiptir.
7XXX	Çinko (Isıl işlem görebilir)	Tüm seriler arasında en yüksek mukavemete sahiptir. Ağırlıklı olarak uçak yapılarında ve mobil uygulamalarda kullanılır.
8XXX	Diğer elementler	Al 2xxx ile 7xxx için kullanılan demir, nikel, alüminyum-lityum alaşımı dışındaki alaşım elementleri için ayrılmıştır.

(Santos ve diğ., 2016; Aamir ve diğ., 2020)

Alüminyum alaşımları, özellikle 2xxx, 6xxx ve 7xxx sınıflarındakiler, 1930'dan beri uçak yapımında kullanılmaktadır. Havacılık uygulamaları daha düşük yapısal ağırlık, daha yüksek hasar toleransı ve daha yüksek dayanıklılık ihtiyaçlarını karşılamak için

yüksek kırılma tokluğu, daha yüksek yorulma performansı, yüksek şekillendirilebilirlik ve süper plastisite özelliklerine sahip gelişmiş alüminyum alaşımlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu alaşımlar, yüksek mukavemet / ağırlık oranına ve diğer avantajlarıyla parçaların imalatında çelik ve dökme demir yerine kullanılırlar. Ayrıca, düşük ağırlıkları ile enerji tüketiminin neden olduğu çevresel etkiyi de azaltırlar (Nakai ve Eto, 2000; Troeger ve Starke Jr, 2000).

2.5.1. Al 7075 Alaşımının İşlenebilirliği

Tüm alüminyum alaşımları arasında en yüksek mukavemete sahip olan Al-Zn-Mg-Cu (7xxx serisi) alaşımları, üstün mekanik özellikleri, korozyon ve yorulmaya karşı nispeten iyi dirençleri nedeniyle havacılıkta kullanılmaktadır. (Kao ve diğ., 2019).

Alüminyum 7075 (Al 7075), havacılık ve uzay endüstrisinde yapısal bileşenler olarak kullanılır. Orta sertlik, yüksek tokluk, yüksek çekme mukavemeti ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu, alüminyumun yoğunluğu, 2700 kg/m^3 , paslanmaz çelikten, 7700 kg/m^3 , yaklaşık üç kat daha düşüktür. Bununla birlikte, alüminyum Al 7075'e alaşımlandıktan sonra ki mukavemet ve tokluk özellikleri hemen hemen aynıdır. Ayrıca, bağlantı parçaları, dişliler ve miller gibi hava araçlarının karmaşık parçalarının üretimi amacı ile kullanılır. (Mydin ve diğ., 2020; Kumar ve diğ., 2018).

Alüminyum gibi sünek malzemeler işlendiğinde, yüksek bir talaş-takım temas alanı oluşur. Bu da kesme kuvvetini ve ısı oluşumunu artırır. Talaş-takım temas alanının yüksek olmasına rağmen alüminyum alaşımları hafif metaller ve işlenmesi kolay malzemeler olarak sınıflandırılır. Alüminyum alaşımlarının işlenmesindeki kesme kuvvetleri, çeliklerin işlenmesine göre %70 daha düşüktür. Al 7075 mükemmel işlenebilirliğe sahiptir ve yüzey aşındırıldıktan sonra bile korozyon direnci sunar (Suresh, 2020).

2.5.1.1. Al 7075 Alaşımının Delinebilirliği

Delme, alüminyum alaşımları için gerçekleştirilen yaygın işlemdir. Yüzey kalitesi, çapak oluşumu ve takım aşınması, alüminyum ve alaşımlarının delinmesinde en yaygın problemler olarak bilinmektedir. Bu malzemeler sıvanma özelliğinden dolayı takımlara yapışarak kesici takım geometrisinde deformasyona neden olur. Böylece kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından olumsuz bir davranış sergiler. Temel

kalite kriterlerinden birisi, işlemeden sonra parçanın yüzey yapısıdır. Malzemelerin işlenmesi için uygulanan kesme parametrelerinin yüzey hassasiyeti üzerinde önemli etkileri vardır. Hassas işleme parametreleri ile yüzey kalitesi elde edilebilir.

Kesme kuvveti genellikle işleme operasyonlarında takım-talaş temas uzunluğuna bağlıdır. Takımın uç geometrisi, talaşın kesici takıma yapışma şeklini değiştirir bu da kesici takım üzerinde bir kuvvet değişmesine neden olur. Alüminyum alaşımları sünek bir malzeme olmasına rağmen, talaş kaldırma işlemlerinde takım ömrünü beklenenden daha fazla etkilemektedir (Yaşar, 2019).

Sünek malzemelerde delik açarken, plastik deformasyon sonucu deliğin giriş ve çıkışında çapaklar oluşur (Flachs ve diğ., 2014). Kesici takımın teması ile malzeme plastik akışa maruz kaldığından giriş yüzeyinde bir giriş çapağı oluşur (Kim ve Dornfeld, 2002).

Çıkış çapağı, iş parçasının çıkış yüzeyinden dışarı uzanan malzemedir. Malzeme üzerindeki etkileri önemlidir, çünkü yüzey kalitesinin bozulması, dolayısıyla malzeme dayanıklılığı ve hassasiyetinin azalması, boyutsal bozulma, montaj ve kullanım zorlukları gibi bazı kritik sorunlara neden olabilirler (Kilickap, 2010).

Delik delme işlemi kuru ya da soğutma sıvısı kullanılarak yapılmaktadır. Alüminyumun kuru delinmesinde genel sorun kohezyondur. Van der Waals bağlamalarının neden olduğu kohezyon oluşumu yapışkan alüminyumun birikmesi ve yüzey pürüzlülüğüne neden olur. Delme esnasında kesici takımın kenarlarındaki sıcaklık sebebiyle çapak oluşur. Al 7075'in yumuşak ve sünek özelliklerinden dolayı, kesici takımın kesme kenarlarına talaş kolayca yapışır. Bu, daha yüksek takım aşınmasına ve dolayısıyla daha kısa takım ömrüne yol açan Yığıntı Talaş (Built-Up Edge) (YT) oluşumuna neden olur. Söz konusu oluşum ve hasarları önlemek için soğutma sıvısının kullanımına ihtiyaç duyulur (Mydin ve diğ., 2020; Gökkaya ve Nalbant, 2007; Zitoune ve diğ., 2010; Gündoğdu, 2006).

2.6. KFTP/Al 7075 İstif Yapının Delinebilirliği

Havacılık ve uzay endüstrisinde önemli ölçüde ağırlığın azaltılması ve yük taşıma için sağladığı faydalar nedeniyle istifli yapıların kullanımı tercih edilmektedir. İstif yapı genellikle perçinleme ve diğer mekanik yöntemler ile bağlanır. Montaj için delme en sık kullanılan işlemlerden biridir. Ancak istif yapının işlenebilirliği,

monolitik bir metal levha ile anizotropik elyaf takviyeli bir kompozit arasındaki farklı işleme özelliklerinden etkilenir. Delik kalitesi ve bütünlüğü ile ilgili problemler ortaya çıkartır (Mahdi ve diğ., 2020; Montoya ve diğ., 2013).

Geometrik / boyutsal hatalar, giriş / çıkış delaminasyonu, tabakalar arası delaminasyon, lif kopması, kesilmemiş lifler, parçalanma ve çatlama ve termal hasar gibi çok sayıda kritik kusur istif yapının delinmesiyle oluşabilir. Düşük kaliteli delinmiş delikler, havacılık sektöründe tolerans dışı montaja ve yapısal özelliklerin zayıflamasına neden olur. Geometrik / boyutsal toleranslar ve yüzey bütünlüğü, monte edilmiş bileşenin işlevselliğini için önemli bir gerekliliktir. Kesme parametreleri ve ortaya çıkan işleme yükleri (itme kuvveti ve tork) delik kalitesini doğrudan etkiler (Caggiano ve diğ., 2018). Genellikle düşük ilerleme ve kesme hızları kullanılır ve bu da uzun üretim sürelerine neden olur. Ayrıca, istif yapı delinirken karşılaşılan yüksek takım aşınma oranları, proses verimliliğini etkiler (Shyha ve diğ., 2010).

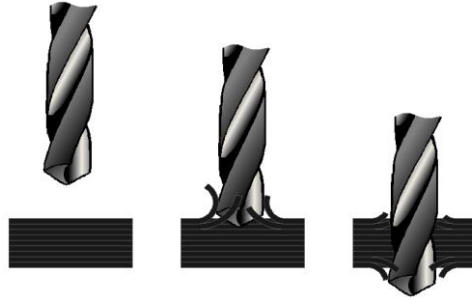
İstif malzemenin delinmesi sırasında, farklı malzeme özellikleri nedeniyle küçük çap toleranslarına sahip deliklerin delinmesi zordur. Malzemelerin elastisite modülü (E), farklı elastik deformasyonlar, dinamik kesme kuvvetlerindeki değişiklik nedeniyle tüm delik boyunca değişen toleranslara neden olur. KFTP talaşları, düşük ilerlemelerde sürekli ve ilerleme arttıkça toz benzeri talaşlar hâline gelir. Yüksek kesme ve düşük ilerleme hızlarında alüminyum talaşları sürekli olur. Kesici takımın birincil kesme kenarlarında alüminyumun birikmesi, delikten taşınan talaşlar ve takım aşınması delik kalitesini etkiler (Zitoune ve diğ., 2010).

KFTP/Al istif yapının otomatik olarak delinmesi sırasında sürekli metalik talaşlar ile kompozit malzemenin yüzeyi arasındaki etkileşimden dolayı kompozit malzemede hasarlar meydana gelir. Bunun yanı sıra, delme sırasında yüksek itme kuvveti, KFTP/Al ara yüzeyinde alüminyum talaşı ve karbon tozu birikmesi sebebiyle KFTP ve alüminyum plakaları birbirinden ayırabilir (Zitoune ve diğ., 2016).

2.7. Delaminasyon

Delme, kompozit malzemelere en geniş şekilde uygulanan işleme sürecidir çünkü kompozit malzemelerden yapılan bileşenler genellikle net şekle yakındır ve bu nedenle montaj entegrasyonu için delikler gerektirir. Delme esnasında kesici takım

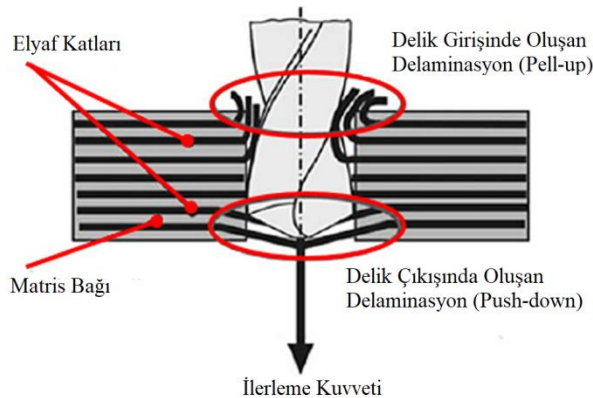
ucunun giriş ve çıkışı sırasında üst katmanlar sırasıyla yukarı ve alt katmanlar aşağı doğru zorlanır (Şekil 2.6) (Sezer, 2011; Rubio ve diğ., 2008).



Şekil 2. 6: Delme Esnasında Malzemedeki Deformasyon.

(Sezer, 2011)

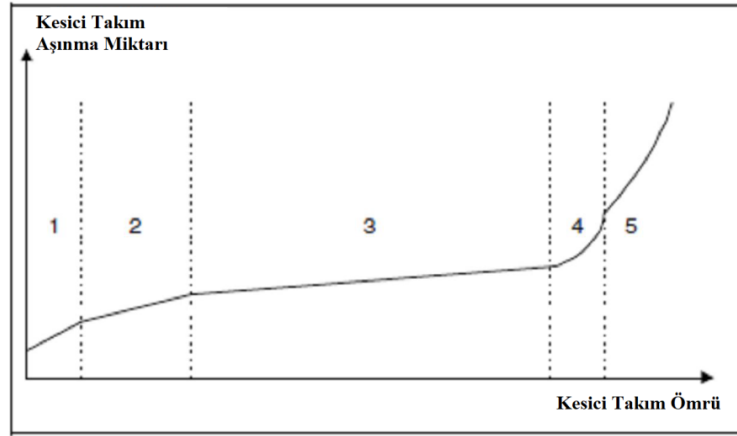
Delaminasyon, fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesiyle ilgili büyük bir sorundur ve malzemenin yapısal bütünlüğünü azaltmanın yanı sıra, zayıf montaj toleranslarına yol açar ve yorulmaya karşı delik mukavemetini de etkiler. Son montaj sırasında delme kaynaklı delaminasyon hasarları nedeniyle parçaların %60 reddedilmektedir. Delaminasyon deliklerin giriş ve çıkışına karşılık gelen deliğin çevresinde meydana gelir (Şekil 2.7). Giriş bölgesi delaminasyonu (Peel-up), matkabın kompozitin yüzeyine yaklaştığı ve kesmeye başladığı anda kompozit tabakaların spiral hâle geldiği bölgedir. Kesici takım iş parçasının sonuna doğru ilerledikçe, iş parçasının kalınlığı azalır ve kesilmemiş katlar, takım itme kuvvetinin neden olduğu deformasyona karşı direncini kaybeder. Takımın malzemedan çıkması sonucunda çıkış bölgesi delaminasyonu oluşur (Aamir ve diğ., 2019; Rubio ve diğ., 2008; Geng ve diğ., 2019).



Şekil 2. 7: Polimer Matrisli Kompozitlerin Delinmesi Esnasında, Delik Giriş ve Çıkış Bölgesinde Oluşan Delaminasyonun Gösterimi.

(Aamir ve diğ., 2019; Liu ve diğ., 2012)

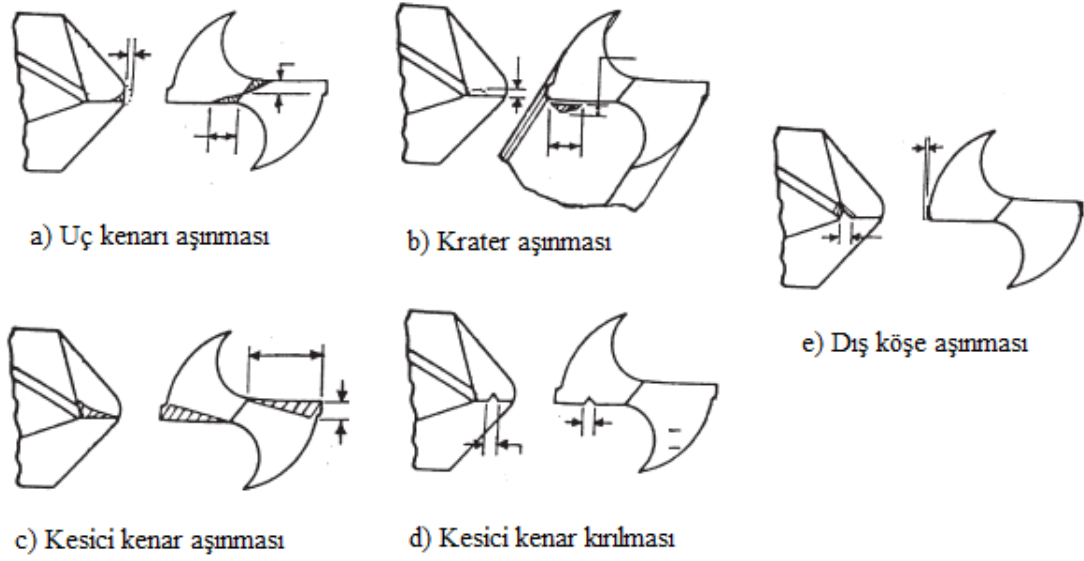
türleri görülmektedir (Şekil 2.9). Metallerin işlenmesinde kenar aşınması, takımın durumunu belirleyen en açıklayıcı aşınma şeklidir. Bu nedenle, fiber takviyeli kompozitleri işlemede takım ömrünü belirtmek için de kenar aşınması yaygın olarak kullanılmaktadır. Kenar aşınması, yan yüzdeki aşınmış alanın ortalama veya maksimum genişliğinin ölçülmesiyle karakterize edilir. İş mili hızı, ilerleme hızı, kesme mesafesi ve kesme derinliği gibi işlem parametrelerinin takım aşınması üzerinde çok büyük etkisi vardır. Ancak takım geometrisi ve malzeme de önemli faktörlerdir (Gaugel ve diğ., 2016; Peker, 2015; Kaplan, 2010).



Şekil 2. 9: Kesici Takımın Aşınma Safhaları 1. Başlangıçtaki Aşınma, 2. Zayıf Aşınma, 3. Mutedil Aşınma, 4. Aşırı Aşınma, 5. Kesici Takımın Kırılması.

(Kaplan, 2010)

Kesici takımın özellikle uç bölgesindeki aşınma başlangıçta yavaş daha sonra ivmelenerek artar. Aşınma, kesici takımın malzemeye temas ettiği anda başlar. Aşınma kesme kuvvetlerinin artırır ve bu da açığa çıkan ısının yükselmesiyle aşınma hızının artmasına neden olur. Şekil 2.10'da takım aşınmasının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir.



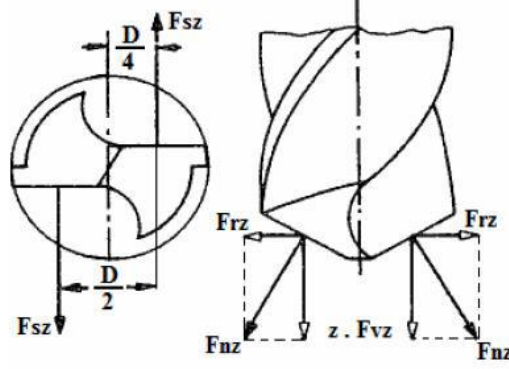
Şekil 2. 10: Kesici Takım Aşınma Türleri.

(Kaplan, 2010)

Takım aşınmasının tespiti için kullanılan tekniklerden biri, kesme kuvvetlerinin ölçümüdür. Kuvvet sinyalleri, işleme sürecinin durumu hakkında oldukça hassas bilgi taşır ve bu nedenle takım aşınmasını izlemede en iyi alternatiflerden biridir (Tsao ve Hocheng, 2007; Pérez ve diğ., 2017).

2.9. Delik Delme İşleminde Meydana Gelen Kuvvetler

Malzemenin işlenebilirliğini gösteren parametrelerden birisi kesme kuvvetidir. Delme işlemi esnasında takımdaki bir kesici ağıza denk gelen talaş kaldırma kuvvetinin bileşenleri kesme kuvveti (F_{sz}), radyal kuvvet (F_{rz}), ilerleme (itme) kuvveti (F_{vz}) ve bileşke kuvvetten (F_{nz}) oluşmaktadır. Bu kuvvetler Şekil 2.11'de şematik olarak gösterilmiştir. Kesici takım ağızlarının konumları bakımından her bir ağızda meydana gelen radyal kuvvetler birbirlerini dengelemektedir. Bu nedenle delme işlemi esnasında yalnızca kesme ve ilerleme kuvveti etki göstermektedir (Bayraktar ve diğ., 2016; Yaşar, 2017).



Şekil 2. 11: Kesici Ucu Etkileyen Kuvvetler.

(Bayraktar ve diğ., 2016; Yaşar, 2017)

Kesici takımın tek bir kesici kenarına gelen kesme kuvveti;

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

Toplam kesme kuvveti;

$$F_s = z \cdot F_{sz} = 2 \cdot F_{sz} = k_s = \frac{ds}{2} \cdot k_s \quad (2.3)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Özgül kesme kuvveti ise;

$$k_s = 1,2 \cdot k_{s11} \cdot h^{-z} \text{ veya } k_{sh} = k_{s11} \cdot h^{-z} \text{ değeri ile} \quad (2.5)$$

$$k_s = 1,2 \cdot k_{sh} \quad (2.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Eşitlik 2.5 ve 2.6'daki 1.2 değeri matkap ile talaş kaldırma işleminin özelliklerini ifade eden düzeltme faktörüdür.

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

$$M_{sz} = F_{sz} \cdot d/4 \quad (2.7)$$

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

$$M_s = z \cdot F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \frac{d}{4} = F_s \cdot \frac{d}{4} \quad (2.8)$$

Devir başına miktarı;

$$V_f = f_x \cdot n \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9'a göre;

$$M_s = \frac{d^2 s k_s}{8 \cdot 10^3} [Nm] \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eşitlik 2.10'daki d (mm), s (mm/dev), k_s (N/mm²) olarak ifade edilir ve M_s (Nm) olarak bulunmaktadır.

İlerleme kuvveti $s = s \cdot s_z$ bağıntısı ile bulunmaktadır. Toplam ilerleme kuvveti (Yaşar, 2017);

$$F_v = 2 \cdot F_{vz} = 2 \cdot F_{sz} \cdot \sin x = F_s \cdot \sin x \quad (2.11)$$

2.10. Yüzey Pürüzlülüğü

Malzemelerin işlenmesindeki amaç sadece parça üzerinden talaş kaldırmak değil, geometri, boyut ve yüzey kalitesi yönünden belirli bir doğruluk derecesine sahip imalat yapmaktır (Şeker, 2010).

Kesici bir takımın, iş parçası yüzeyini işlemesi sırasında yüzey alanı iki uç noktadaki düzensiz dalga boyu uzunluklarına yüzey pürüzlülük adı verilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, kaliteli ürünün önemli bir ölçümü olduğundan, üretim maliyetinin yanı sıra mekanik parçaların performansını da büyük ölçüde etkiler. Korozyon direnci, yorulma davranışı, sürünme ömrü gibi mekanik özellikler üzerinde de etkisi vardır. Ayrıca katı yüzey, parçaların sürtünme, yağlama, aşınma, ısı iletimi, ışık yansımaları, elektrik iletkenliği gibi diğer fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Yüksek maliyetlere neden olan çeşitli hasarlar iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünün sorgulanmasına neden olmuştur (Rasul, 2017; Karakuş, 2020).

İş parçasının yüzey kalitesini, kontrol edilebilen ve edilemeyen parametreler belirler. Kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı parametreleri kontrol edilebilen parametrelerdir. Ancak, takım aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumu veya takım iş parçası malzeme özellikleri gibi faktörler kontrol edilememektedir. Düzensiz talaş oluşumu, titreşim, iş parçasının yapısal hataları yüzey kalitesini olumsuz

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP) Kompozitlerin Delinmesi ile İlgili Çalışmalar

Davim ve Reis (2003) tarafından yapılan çalışmada, karbon fiber takviyeli polimerlerde (KFTP) kesme parametrelerinin (kesme hızı ve ilerleme hızı) güç (P_c), özgül kesme basıncı (K_s) ve delaminasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Taguchi deney tasarımı ile 30, 40, 50 m/dk kesme hızı ve 0.05, 0.1, 0.2 mm/dev ilerleme hızları kullanılarak deney planı oluşturulmuştur. 3 mm çapında Helisel kanallı "Düz Şaftlı" K10 karbür matkabı ve 5 mm çapında "Brad & Spur" K10 karbür matkabı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; ilerleme hızının her iki matkap için de güç, özgül kesme basıncı ve girişteki delaminasyon üzerinde en yüksek etkiye sahip olan kesme parametresi olduğu, her iki matkap için girişteki delaminasyonun çıkıştakine göre daha fazla olduğu, yüksek kesme ve ilerleme hızlarında delaminasyonun arttığı belirlenmiştir.

Shahrajabian ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada, KFTP'de delme işlemi sırasında işleme parametresi ve takım geometrisinin (iş mili hızı, ilerleme hızı ve takım uç açısı) yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvveti üzerindeki etkilerinin araştırılmıştır. Bu amaçla, 1250, 2625, 4000 rpm iş mili hızı, 50, 425, 800 mm/dk ilerleme hızı ve 60°, 100°, 140° takım uç açılı matkaplar ile tam faktöriyel tasarımı ile KFTP üzerinde deneyler yapılmış ve ardından varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; ilerleme arttığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme hızı arttığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme arttıkça itme kuvvetlerinin arttığı ve kesme hızındaki artış itme kuvvetlerinde azalmaya yol açtığı, ilerleme hızı yükseldikçe delaminasyon faktörünün arttığı, iş mili hızı ve takım açısı arttığında delaminasyon faktörünün azaldığı gözlemlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) ile ilerleme hızının itme kuvveti, delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü için en önemli faktör olduğu sonucuna varılmıştır.

Dharan ve Won (1998) tarafından, kompozitlerin işlenmesinde düşük hasar ve yüksek üretkenlik sağlamak amacıyla denetleyici akıllı bir kontrolör tasarlanmıştır. Bir dik işleme merkezi kullanılarak KFTP üzerinde 1000 rpm iş mili hızı ve 100, 200, 300, 400, 500, 700 ve 1000 mm/dk ilerleme hızlarında, 6.35, 7.94, 9.53 mm çaplarında karbür burgulu matkaplar kullanılarak delme deneyleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda; ilerleme hızının artması ile itme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiş ve yüksek hızlı / yüksek doğrulukla denetleyici akıllı kontrolör başarıyla uygulanmıştır.

Miskovic ve Koboevic (2011) tarafından yapılan deneysel çalışmada, karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi sırasında kesici takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme hızı ile delaminasyon arasında korelasyon kurulmuştur. Çalışmada, 4 mm kalınlığında ve ağırlıkça %55 dokuma karbon fiber ile güçlendirilmiş epoksi matristen yapılmış KFTP kullanılmıştır. 6 mm çaplarında HSS-Co, HSS-R, tungsten karbür matkap ile 16, 24, 32 m/dk kesme hızları ve 0.05, 0.10, 0.20 rpm ilerleme hızlarında iki faktör için üç seviyeli ortogonal dizi ile deney tasarımı oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda; itme kuvveti ve delaminasyonunun kesme hızı, ilerleme hızı, takım geometrisi ve takım aşınmasına bağlı olduğu, yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme hızlarında delaminasyonun arttığı, keski kenar uzunluğunun azaltılarak itme kuvvetinin önemli ölçüde azaltılabileceği ve HSS-R matkabının en fazla delaminasyonu oluşturulduğu belirlenmiştir.

Zhang ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada, karbon fiber takviyeli plakalarda delme esnasında delaminasyon mekanizması olan parçalanma ve tüylenme (spalling ve fuzzing) incelenmiş ve delme şartları açısından karakteriz edilmiştir. Ayrıca hasarı belirlemek amacıyla boyutsuz bir formül geliştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak 3000, 6000, 9000, 12000, 18000, 24000 rpm iş mili hızı, 24, 44, 66, 91.2, 120.8 mm/dk ilerleme hızı seçilmiştir. 4 mm kalınlığında çok yönlü KFTP ve 2 mm kalınlığında tek yönlü KFTP iş parçaları üzerinde 4.8, 5.5, 6 mm çaplarında karbür matkap kullanılarak belirtilen kesme parametrelerinde delik delme deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, tek yönlü bir KFTP plakasındaki parçalanma, aynı kesme koşulları altında çok yönlü bir KFTP plakasındakinden daha büyük olduğu, parçalanma (spalling) kusurunun tüylenmeye (fuzzing) göre daha ciddi hasar verdiği, ilerleme hızı, matkap çapının parçalanma (spalling) mekanizmasını daha fazla etkilendiği gözlemlenmiş olup geliştirilen boyutsuz formülün, parçalanma boyutu ve kesme parametreleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir.

Wang ve diğ. (2014) tarafından, delaminasyon sürecini araştırmak için delik delme esnasında farklı derinliklerde deneyler yapılmıştır. Deliğin radyal yönünde, farklı

kesit alanlarında delaminasyon gözlemlenmiştir. Delme derinliğinin değişimi ile delaminasyon analiz yapılmıştır. Gizli delaminasyon bölgesi tespit edilmiştir. Çalışmada, 3.1 mm kalınlığında KFTP sabit 5000 rpm iş mili hızı ve 0.02 mm/dev ilerleme hızında delinmiştir. Delik derinliğinde 2.1 mm ile 5.3 mm arasında delaminasyon oluşumu gözlemlenmiştir. Kritik delaminasyonun teorik pozisyonu ile deneysel sonuçların örtüştüğü ve kritik itme kuvvetinin teorik analizinin doğru olduğu belirtilmiştir.

Faraz ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada, KFTP kompozit laminatların delinmesi sırasında kaplanmamış semente karbür takımların keskinlik/körlük ölçüsü olarak gizli bir aşınma özelliği olan kesici kenar yuvarlanması (cutting edge rounding) incelenmiştir. Bu yeni aşınma özelliğinin belirlemek maksadıyla 4 mm çapında dört farklı tipte matkap (geleneksel bir tip ve üç farklı özel tasarım) kullanılarak 50 m/dk sabit kesme hızı ve 0.1 mm/dev sabit ilerleme hızı test edilmiştir. Mekanik yükler (delme kuvveti ve tork), delik giriş ve çıkış delaminasyonu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, yeni aşınma tipinin seçilen takımlar için neredeyse benzer şekilde geliştiğini ve ilgili geleneksel yan aşınma modellerinden pratik olarak bağımsız olduğunu ortaya konulmuştur.

Kuo ve diğ. (2017) tarafından, yeni geometrik tasarımlara sahip elmas kaplamalı çift noktalı ve çok yüzeyle matkaplar incelenmiştir. Çalışmadaki amaç, iki farklı tasarımın kesme kuvvetlerine maruz kaldıklarında oluşan takım aşınması ve kırılmanın ilişkisini açıklamaktır. Kuru koşullar altında iki kesme hızında (50 ve 75 m/dak) ve üç ilerleme hızında (0.05, 0.1, 0.15 mm/dev) takım aşınması ve kırılma modlarını tanımlamak için 3.5 mm kalınlığında dokuma KFTP laminatlar üzerinde delme deneyleri yapılmıştır. ISO standardına (3685) göre kaplamadaki kenar aşınmasını belirlemek için 140 delik delinmiştir. Çift noktalı matkaplar yorulma kopmaları gösterirken, çok yönlü matkaplar, delme esnasında aşırı titreşim altında ufalanma ve mikro çatlaklar göstermiştir.

Iliescu ve diğ. (2010) tarafından yapılan deneysel çalışmada, karbon kompozit malzemelerin delinmesinde itme kuvvetinin tahminini ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmada, itme kuvveti, delme parametreleri ve takım aşınması arasında bir modelin gelişimi anlatılmıştır. 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/dev ilerleme hızı, 3000, 6000, 9000, 1200 rpm iş mili hızı ve 56.55, 113.10, 169.65, 226.13 m/dk kesme

hızlarında, 6 mm çapında Diager'ın kaplamasız ve elmas kaplamalı burgulu matkapları kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, ilerleme hızı, kesme hızı ve takım aşınmasının, itme kuvvetini etkileyen en önemli faktörler olduğunu göstermiştir.

Feito ve diğ. (2017) tarafından, karbon fiber takviyeli polimer malzemelerin (KFTP) delinmesi esnasında kademeli matkap ucu geometrisinin işleme hasarlarına etkisi incelenmiştir. KFTP'lerin delinmesinde kompozit hasarını önlemek amacıyla tasarlanan kademeli bir matkap ile geleneksel matkap karşılaştırılmıştır. Çalışmada, 2.2 mm kalınlığında dokuma KFTP, 6 mm çapında geleneksel matkap ve 4 mm'den 6 mm'ye kademesi bulunan matkap ile test edilmiştir. Kademeli matkap kullanılırken itme kuvveti ve tork azalmasına rağmen, delaminasyonun yalnızca düşük ilerleme hızlarında azaldığı görülmüştür. Adım geometrisi için geliştirilen sayısal bir model, farklı ilerleme hızı ve kesme hızı değerleri için itme kuvvetini ve delaminasyonu tahmin etme etmiştir. Sayısal modelin sonuçları deneysel verilerle doğrulanmıştır. Ayrıca, delme kaynaklı hasarı en aza indiren optimum değişkenlerin seçiminde yardımcı olmak için bir tepki yüzeyi metodolojisi kullanılarak mekanik bir model ve yüzey diyagramları sunulmuştur.

Merino-Perez ve diğ. (2014), kaplamasız WC-Co (tungsten karbür-kobalt) kesici takımı kullanılarak karbon fiber takviyeli plastik (KFTP) kompozitlerin delinmesinde malzeme özelliklerinin ve kesme hızının ısı dağılımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, 6.35 mm çapında çift açılı WC-Co kaplamasız Sandvik Coromant'ın CoroDrill 856 kesici takımı kullanılarak 10 mm kalınlığında dokuma KFTP kuru delme şartlarında işlenmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, termokupullar ve bir kızıl ötesi kamera kullanılarak delik çevresindeki sıcaklıklar ölçülerek üç farklı KFTP sisteminin delinmesinde ısı yayılımı karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada, kesme hızının delme esnasında oluşan sıcaklıklar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Polimer matrisinin çapraz bağlanma yoğunluğu, kristallik derecesi ve karbon fiberlerin yapısı, toplam sıcaklık ve ısı dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve 150–200 m/dk kesme hızlarının, 50–100 m/dk kesme hızlarına kıyasla daha yüksek ısı konsantrasyonu sağlandığı belirtilmiştir.

Poulachon ve diğ. (2016) tarafından, KFTP delme işlemi sırasındaki delik yüzey kalitesi incelenmiştir. Takım kenarlarındaki ve ana kesme kenarlarındaki hasarlar gözlemlenmiştir. Matkap aşınmasına göre kesilmemiş liflerin miktarı, lifin

oryantasyonu silindirik cihazı ile değerlendirilmiştir. Böylece, deliğin çap toleransına göre, delik sayısını sınırlamak için bir aşınma kriteri tanımlanmıştır. Delme testleri, 35 mm KFTP üzerinde 12 mm çapında kaplamasız karbür matkap ile endüstriyel kesme koşullarına yakın, 100 m/dk kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, ana ve ikincil (kenar boşluğu) kenarların maruz kaldığı şiddetli aşınmayı göstermiştir. Delik çap toleransına göre 22 delik açılacağı belirtilmiştir.

Davim ve diğ.(2007) tarafından yapılan çalışmada, delaminasyon faktörünü (Fda) ölçmek için dijital analiz kullanarak yeni bir teknik sunulmuştur. Farklı kesme koşulları altında fiber takviyeli polimer laminatların delinmesi için deneysel bir tasarım önerilmiştir. Çalışmada, 3 mm kalınlığında KFTP, 5 mm çapında helisel karbür matkap kullanılarak delinmiştir. Kesme parametreleri 50, 60, 70 m/dk kesme hızı ve 0.25, 0.30, 0.35 mm/dev ilerleme hızı seçilmiştir. Delaminasyon faktörünü değerlendirmek için hasarın dijital analizi yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, karbon fiber takviyeli plastiklerin delinmesinden sonra oluşan hasarları tahmin etmek için dijital analiz kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Grilo ve diğ. (2012) tarafından yapılan deneysel çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimerin delik delme esnasında oluşan delaminasyonu incelenmiştir. 5 mm çapında üç farklı matkap geometrisi ve kesme parametresinin (ilerleme hızı ve iş mili hızı) etkisi iki delaminasyon faktörü aracılığıyla değerlendirilmiştir. Deneyler, 3 mm kalınlığında KFTP üzerinde gerçekleştirilmiştir. Delinmiş yüzeylerin işlenmiş görüntü analizlerine dayanan tahribatsız bir yöntem delik alanı ve hasar bölgesinin maksimum çapını ölçmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, en iyi sonuçlar SPUR adı verilen matkap ile elde edilmiştir. 2025 mm/dk ilerleme hızı ve 6750 rpm iş mili hızı ile delaminasyon oluşmadan daha yüksek üretim hızı elde edildiği belirtilmiştir.

Çelik ve diğ. (2015) tarafından, SiAlON çubuğundan dört farklı geometride kesici takım seti üretilerek, havacılık ve uzay sınıfı KFTP kompozitlerin delinmesi incelenmiştir. 6.4 mm çapa sahip SiAlON kesici takımları kullanılarak 10 mm kalınlığında tek yönlü KFTP üzerinde delme deneyi yapılmıştır. Kesme parametresi olarak 8000, 4000 rpm iş mili hızı ve 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mm/dev ilerleme hızları seçilmiştir. Kesme parametrelerinin ve geometrik özelliklerinin kesme kuvvetleri ve

işlenmiş deliklerin sıyrılma delaminasyonu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yeni SiAlON delme takımlarının uç açısı ve keski kenar uzunluğunun delme sırasında maksimum itme kuvvetini ve delaminasyonu etkileyen ana parametreler olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca itme kuvvetinin, SiAlON delme takımlarının kesme kenarlarında bir abrasiv aşınmaya neden olduğu belirtilmiştir.

Ismail ve diğ. (2016) tarafından yapılan çalışmada, delme parametrelerinin (ilerleme hızı, kesme hızı ve itme kuvveti), matkap çaplarının ve talaş oluşumunun kenevir elyaf takviyeli polimer (HFRP) ve karbon elyafın (KFTP) delaminasyonu ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. 5 mm kalınlığında HFRP ve KFTP, kuru işleme koşullarında 5 ve 10 mm çaplarında yüksek hız çeliği (HSS) matkapları kullanılarak delinmiştir. Deney tasarımında kesme parametreleri 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mm/dev ilerleme hızı ve 10, 20, 30, 40 m/dk kesme hızları seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ilerleme hızı ve itme kuvvetindeki artışın kesme hızından farklı olarak her iki numunede delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca artan matkap çapı ve talaş oluşumu türleri, talaş kaldırma oranı arttıkça her iki numunenin hem delaminasyonunda hem de yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olmuştur. Optimal bir delme için iki numunenin minimum yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörü 0.05-0.10 mm/dev ilerleme hızları ve 30 m/dk kesme hızı elde edildiği belirtilmiştir.

Tsao ve Hocheng (2004) tarafından, 3 farklı matkap geometrisi kullanılarak delaminasyon faktörünün tahminini ve değerlendirmesini yapılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin yöntemine ve varyans analizine (ANOVA) dayanmıştır. Karbon fiber takviyeli plastik (KFTP) laminatın delaminasyonunu incelemek için ultrasonik bir C-Scan kullanılmıştır. Kesme koşulları altında delaminasyon faktörünü incelemek için 0.01, 0.02, 0.03 mm/dev ilerleme hızı, 800, 1000, 1200 rpm iş mili hızı ve 6, 8, 10 mm matkap çapları ile deneyler yapılmıştır. KFTP laminatta oluşan delaminasyon ile ilerleme hızı, iş mili hızı ve matkap çapı arasında bir korelasyon kurulmuştur. Deneysel sonuçlar, ilerleme hızının ve matkap çapının genel performansa en önemli katkıyı sağladığını göstermiştir.

Tsao (2008) tarafından yapılan deneysel çalışmada, dokuma KFTP'nin üç kademeli karot matkabı ile delinmesi incelenmiştir. Ortogonal L18 (2x37) dizisine sahip Taguchi yöntemi kullanılarak delme parametrelerinin (çap oranı, ilerleme hızı ve iş

mili hızı) delaminasyon üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, çeşitli kademeli karot matkapların delme kaynaklı delaminasyonu, çap oranı ve mil hızındaki azalma ve ilerleme hızındaki artışla arttığı ve en iyi kombinasyonların 0.74 mm/mm çap oranı, 8 mm/dk ilerleme hızı ve 1200 rpm iş mili hızı olduğu belirlenmiştir.

3.2. Alüminyumun Delinmesi ile İlgili Çalışmalar

Rivero ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada, alüminyum alaşımlarının kuru delinmesinde işlenebilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmada, takım çapları 10 mm çapında kaplamasız ve iki farklı kaplamalı kesici takım kullanılmıştır. Al 7075-T6 malzemesi 150-200-250 m/dk kesme hızı ve 0.2-0.3-0.4-0.5-0.6 mm/dev ilerleme hızları ile 25 mm derinliğinde delinmiştir. Takım aşınması ve çapak boyutu ile kesme parametrelerinin tork, güç, ilerleme kuvveti ve takım sıcaklığı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. . Çalışma sonucunda, en küçük talaş oluşumu 150 m/dk kesme ve 0.4 mm/dev ilerleme hızında elde etmişlerdir. En az ısı değeri 200 m/dk kesme hızında ölçümlenmiştir. Kaplamız karbür takım ile en az itme kuvveti değerlerinin elde edildiği belirtilmiştir.

Bagci ve Ozcelik (2004) tarafından, Al 7075-T651 malzemesinin kuru delme işleminde delme parametrelerinin (delme derinliği, ilerleme hızı ve iş mili hızı) matkap ucu sıcaklığı ve itme kuvveti üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kuru delme deneyleri sırasında matkap ucu sıcaklığı ve itme kuvvetleri ölçülmüştür. Delme parametreleri (1910, 2547, 3184 rpm iş mili hızı, 20, 30, 40 mm delme derinliği ve 0.1, 0.15, 0.20 mm/dev), Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Delme parametrelerinin etkisini analiz etmek için ortogonal bir dizi, sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, delme derinliğinin, matkap ucu sıcaklığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu, ilerleme ve iş mili hızının matkap ucu sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, itme kuvveti değeri üzerinde ilerleme hızının küçük bir etkisinin olduğu ve iş mil hızının itme kuvvetine büyük bir etkisi olduğu belirtilmiştir.

Mydin ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Al 7075'in kuru delme şartlarında takım aşınmasını azaltacak kesme parametrelerinin tespiti incelenmiştir. 4000, 6000, 8000 rpm kesme hızlarında ve 0.01, 0.05, 0.10 mm/dev ilerleme

hızlarında 6.5 mm çapında tungsten karbür matkap kullanılarak delme deneyleri yapılmıştır. Takım aşınması, her 10 delikte bir delme işleminden sonra matkap uçlarının yan tarafı ölçülerek analiz edilmiştir. 4000 dev/dak kesme hızı ve 0,01 mm/dev ilerleme hızı, diğer kesme parametrelerine kıyasla 70 delik delindikten sonra 0.024 mm'lik en az takım aşınmasıyla sonuçlandığından alüminyum 7075'i delmek için optimum parametre bulunmuştur. Bu nedenle, alüminyum 7075'in delinmesi sırasında daha düşük bir kesme hızı ile daha düşük bir ilerleme oranı, karbür kesici takımın ömrünü artırmak için faydalı olduğu belirtilmiştir.

Sreenivasulu ve Rao (2020) tarafından, alüminyum 7075 alaşımının delinmesi sırasında çapak boyutunun optimizasyonu ele alınmıştır. Çalışmada, Grey tabanlı Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. ANOVA ile çıktı yanıtlarını etkileyen en önemli girdi parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra, ANOVA sonuçlarından alınan yanıtlar doğrultusunda en önemli parametreler seçilerek doğrulama testleri yapılmıştır. Delme işlemi 8, 10 ve 12 mm çaplarında HSS-R (DIN 338) burgulu matkaplar ile gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak 465, 695 ve 795 rpm iş mili hızı, 18, 20, 26 mm/dk ilerleme hızları, 100°, 118° takım uç açıları ve 4°, 6° takım boşluk açıları seçilmiştir. Deneyler sonucunda, ilerleme hızının, uç ve boşluk açılarının çapak boyutu üzerinde en etkili faktörler olduğu ve itme kuvvetinin düşük olmasının çapak yüksekliğini azalttığı belirtilmiştir.

Kumar ve diğ. (2018) tarafından yapılan deneysel çalışmada, silisyum karbür takviyesi ile güçlendirilmiş Al 7075'in sertlik, delme davranışı, mikro yapı, uzama, eğilme mukavemeti incelenmiştir. Deney malzemesi ağırlıkça %2, %4, %6 SiC eklenerek hazırlanmıştır. Kesme parametreleri, yüzey kalitesini arttırmak amacıyla Taguchi deney tasarımı ile optimize edilmiştir. Malzemenin delinmesi 8 mm çapında tungsten karbür matkap ile sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, ağırlıkça %6 SiC ile güçlendirilmiş Al 7075'in yüksek yoğunluk, sertlik, eğilme mukavemeti ve uzama gösterdiği, %4 SiC içeren malzemede ise 355 rpm iş mili hızı ve 0.12 mm/diş ilerleme hızında en iyi yüzey değerleri elde edildiği belirtilmiştir.

Kelly ve Cotterell (2001) tarafından, dökme alüminyum alaşımların delme işleminde, değişen kesme hızı ve ilerleme koşulları altında, çeşitli kesme sıvısı uygulama yöntemleri kullanılarak kesme sıcaklıkları ve kesici takımın maruz kaldığı kesme kuvvetleri gibi çeşitli işleme parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney

malzemesi Brinell sertliği 85 olan 30 mm kalınlığında alüminyum alaşımlı levha seçilerek kuru, hava, akışkan ve buhar yöntemleri ile deneyler yapılmıştır. Delme işlemleri 10 mm çapında yüksek hız çeliği burgulu matkaplar kullanılarak sağlanmıştır. Kimyasal bileşim, mikro yapı ve diğer özelliklerin tekdüzeliğini sağlamak için, test programı boyunca aynı partiden bir grup matkap kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, daha düşük kesme hızları ve ilerleme hızları için akışkan, daha yüksek kesme hızları ve ilerleme hızları için buhar yönteminin uygun olduğu görülmüştür. Kuru delme neticesinde en yüksek ilerleme kuvveti oluşmuştur. En düşük tork değeri 105 m/dk kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızında elde edildiği belirlenmiştir.

Yaşar ve diğer. (2017) tarafından, Al 7075'in tungsten karbür matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi araştırılmıştır. İşleme deneyleri, 5 mm çapında tungsten karbür matkap kullanılarak 120°, 130°, 140° takım uç açısı, 60, 100, 140 m/dk kesme hızı ve 0.05, 0.1, 0.15 mm/dev ilerleme hızları ile gerçekleştirilmiştir. Delme parametrelerinin itme kuvveti üzerindeki etkileri ANOVA ile %95 güven aralığında belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre ilerleme hızı Ra üzerinde en önemli faktör olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, ilerleme hızının artmasının Ra'nın artmasına, uç açısının artmasının Ra'nın azalmasına neden olduğu gösterilmiştir. 130° uç açısı, 40 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme hızı ile optimum yüzey pürüzlülüğü elde edilmiş ve böylece optimizasyonun geçerliliği Taguchi yöntemi ile doğrulanmıştır.

Günay ve diğer. (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmada, Al 7075'in tungsten karbür matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin itme kuvveti (Fz) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İşleme deneyleri, 5 mm çapında tungsten karbür matkap kullanılarak 120°, 130°, 140° takım uç açısı, 40, 80, 120 m/dk kesme hızı ve 0.05, 0.1, 0.15 mm/dev ilerleme hızları ile gerçekleştirilmiştir. İlerleme kuvvetlerinin ölçülmesinde Kistler 9272 tipi dinamometre ve ekipmanları kullanılmıştır. Delme parametrelerinin Fz üzerindeki etkileri ANOVA ile %95 güven aralığında belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre ilerleme hızı Fz üzerinde en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ilerleme hızının artmasının Fz'nin artmasına, takım uç açısının artmasının ise Fz'nin azalmasına neden olduğu gösterilmiştir. Taguchi optimizasyon yöntemine göre en yüksek itme kuvveti, en yüksek uç açısı ve en düşük ilerleme hızı ve kesme hızı ile elde edilmiştir.

Reddy ve diğ. (2013) tarafından, alüminyum alaşımların delinmesi esnasında kesme hızı, ilerleme hızı ve takım uç açısının, çap hatası ve itme kuvveti üzerindeki etkisi Taguchi yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Deneyler için iş parçası malzemeleri olarak Al 6061, Al 6351 ve Al 7075 seçilmiştir. Delme parametrelerinin etkisini analiz etmek için varyans analizi ve sinyal-gürültü oranı kullanılmıştır. Deney için, 90, 200, 250, 400 rpm iş mili hızı, 0.15, 0.20, 0.30, 0.36 mm/dk ilerleme hızı ve 90°, 118° takım uç açısı parametreleri seçilmiştir. İstatistiksel analizin sonuçları, ilerleme hızının ve kesme hızının hem delik çapı doğruluğunu hem de itme kuvvetini önemli ölçüde indirdiği, takım uç açısının delik çapı üzerinde en düşük etkiye sahip olduğu, 90 rpm kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme ve 90° takım uç açıcı ile en az çap hatası ve itme kuvvetinin sağlandığı belirtilmiştir.

Nouari ve diğ. (2003) tarafından yapılan deneysel çalışmada, optimize edilmiş takım geometrisi ile alüminyum alaşımlarının yağlama gerektirmeden delinmesi için kesme koşulları geliştirilmiştir. Deney malzemesi olarak Al 2024 T351 alaşımı, WC-Co sinterlenmiş karbür matkaplar ile 500 adet delik açılmıştır. Bunlar ve 205 mm derinliğe ve 6 mm çapa sahiptirler. Kaplama malzemesi olarak elmasın kullanılması takım ömrünün uzamasına olanak sağlamıştır. Optimize edilmiş takım geometrisi ve kesme koşullarının kombinasyonu, yüksek yüzey kalitesi, işlenen malzemenin iyi bir boyutsal doğruluğu ve matkabın uzun ömürlü olmasını sağlamıştır. Ayrıca, kuru delmede takım aşınmasına neden olan ana parametre olan takım-talaş arayüz sıcaklığını tahmin etmek için Third Wave AdvantEdge™ sonlu elemanlar yazılımı ile sayısal bir hesaplama kullanılmıştır. İstatistiksel tasarımın sonuçlarına göre, takım uç açısı ve helis açısı yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre olduğu söylenmiştir. Bu iki parametrenin artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaltılabileceği düşünülmektedir. Kesici takımın helis açısının yükseltilmesi, geniş bir uç açısına sahip olması ve 6° ile 8° arasında bir boşluk açısına sabitlemesiyle optimal bir matkap geometrisi ortaya konmuştur. Yüksek kesme hızı ve düşük bir ilerleme hızı ile iyi bir yüzey kalitesi ve deliklerin boyutsal doğruluğunun elde edilebileceği ve takım ömrünün elmas kaplama ile artırılacağı belirtilmiştir.

3.3. KFTP/Al İstif Yapının Delinmesi ile İlgili Çalışmalar

Meshreki ve diğ. (2016) tarafından, KFTP/Al istif yapının delinmesinde takım malzemesi, geometrisi ve yağlama gibi delme koşullarının delik kalitesi ve takım

aşınması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Her biri 19 mm kalınlığında KFTP ve Al istif yapı deney çalışmalarında kullanılmıştır. Deneyler, 9.52 mm çapında kaplamasız karbür matkap kullanılarak 0.01 mm/dev ilerleme hızı ve 76 m/dk kesme hızı parametreleri ile yapılmıştır. Deneyde, kuru, düşük basınçlı (<1.5 bar) ve yüksek akışlı (400 ml/saat) minimum miktarda yağlama, yüksek basınçlı (4.25 bar) ve düşük akışlı (10 ml/saat) minimum miktarda yağlama olmak üzere dört farklı soğutma modu ile son olarak taşkın soğutması uygulanmıştır. Deliklerin kalitesi delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik, eş merkezlik ve çap hataları açısından karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin, itme kuvvetlerinden çok daha düşük olduğu bulunmuştur. Alüminyumdaki ortalama kuvvetler, KFTP'dekilerin iki katından fazla olduğu ve ihmal edilebilir takım aşınması (60 µm'den az) gözlemlenmiştir. Test edilen tüm koşullarda deliklerin çevresinde herhangi bir termal hasar belirtisi bulunmamıştır. KFTP'nin alüminyum ile desteklenmesi nedeniyle, deliklerin çıkışında çoğunlukla delaminasyon olmadığı gözlemlenmiştir. Kuru ve taşkın soğutma koşulları, giriş delaminasyonu olmayan delikler üretmiştir. Minimum miktarda yağlama ile açılan deliklerde ise delik çapının %24'ünde delaminasyon oluşmuştur. Ayrıca kuru şartlarda delmenin yüksek kuvvet ve sıcaklık farklılıklarına neden olduğu belirtilmiştir.

Brinksmeierl ve Janssen (2002) tarafından yapılan deneysel çalışmada, alüminyum, KFTP ve titanyum alaşımlarından oluşan çok katmanlı malzemenin delinmesi ve iş parçası kalitesi incelenmiştir. Deneyler kapsamında takım geometrisi ve delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İş parçasının her biri 10 mm kalınlıkta ve her biri arasında 1 mm epoksi uygulanmıştır. Parçalar birbirlerine cıvata ile sabitlenmiştir. Deneyler için, 15.4 mm (ön delme) ile 16 mm (son işlem için ikincil adım) çap adımı ile tasarlanmış geleneksel bir matkap (A) ve optimize edilmiş bir kademeli matkap (B) deneyler için seçilmiştir. Takım geometrisi B, kesme kenarlarındaki termal ve mekanik yükleri azaltmak ve tüm delik derinliği boyunca delik doğruluğunu iyileştirmek için tasarlanmıştır. Deneylerin sonucunda, kademeli matkapların kullanılması ile çap toleransının, yüzey kalitesinin ve takım aşınmasının iyileştiği gözlemlenmiştir. Kesici takımında TiB₂ veya elmas kaplamaları kullanıldığında sadece takım aşınmasında iyileşme elde edilmiştir. Çok katmanlı malzemeleri delerken, minimum miktarda yağlama kullanılması ve ön delmenin yapılmasının gerektiği belirtilmiştir.

D'Orazio ve diğ. (2017) tarafından, KFTP/ Al 7075 çok katmanlı yapının delinebilirliği incelenmiştir. Delme deneylerinde, üst ve alt katmanda 2.8 mm kalınlığında iki KFTP ve aralarında Al 7075 T651 alaşımından oluşan toplam 26.1 kalınlığında istif bir yapı kullanılmıştır. KFTP ve alüminyum, yaklaşık 0.25 mm kalınlığında bir epoksi yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. İki farklı türde kaplamalı (DLS ve TiAlN) 6.8 mm çapında matkaplar kullanarak deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. DLC kaplamalı tungsten karbür matkap için 170.8 m/dk kesme hızı, 8000 rpm iş mili hızı ve 0.20 mm/dev ilerleme hızı, TiAlN nanokompozit kaplamalı karbür matkap için 128 m/dk kesme hızı 6000 rpm iş mili hızı ve 0.163 mm/dev ilerleme hızı deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Delme deneyleri, alüminyum alaşımlarının işlenmesi için tasarlanmış bir kesme sıvısı kullanılarak ıslak kesme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Her bir KFTP/Al 7075 istif yapıda 170 adet delik delinmiştir. Deneyler sonucunda, DLC kaplı matkap, TiAlN'den çok daha az aşınmaya maruz kalmıştır. İtme kuvvetleri delik sayısı ile artmıştır. Delaminasyon, KFTP'nin üst tabakasında matkabın sıyırması nedeniyle, alt tabakasında ise Al 7075 in talaş tahliyesi sebebiyle meydana geldiği gözlemlenmiştir. DLC kaplı takım kullanıldığında daha az delaminasyon oluşmuştur. İtme kuvveti ve delaminasyon, takım aşınması ile doğru orantılı ancak delik çapı ile takım aşınması arasında ters bir ilişki tanımlanmıştır.

Hassan ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada, KFTP/Al7075-T6'nın delinmesinde oluşan itme kuvveti göz önüne alınarak tasarlanmış burgulu matkap geometrisinin ve delme parametrelerinin delinebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, 15°, 30° helis açısı, 6°, 8° birincil boşluk açısı, 110°, 130° uç açısı, 30°, 45° uç kenar açısı, 1500, 2600 dev/dk hız ve 0.05, 0.1 mm/dev ilerleme hızları faktöriyel deney tasarım parametreleri olarak belirlenmiştir. ANOVA'ya dayalı olarak, hem KFTP hem de Al7075-T6 için maksimum itme kuvvetinin büyük ölçüde ilerleme hızına bağlı olduğu bulunmuştur. Delik çapı hatası, delik yüzeyi pürüzlülüğü ve talaş oluşumu ile desteklenen maksimum itme kuvvetinin analizi sayesinde, en uygun takım parametreleri 30° helis açısı, 6° birincil boşluk açısı ve 130° uç açısı, 30° uç kenar açısı, 2600 dev/dk hız ve 0.05 mm/dev ilerleme hızı olarak belirlenmiştir.

Mahdi ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada, karbon fiber takviyeli polimer ve Al istif malzemenin delinmesinde delme yönünün delik kalitesi, itme kuvveti ve

yüzey kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler, 4.6 mm kalınlığında KFTP ve 3 mm Al 2198 kullanılarak KFTP/Al, Al/KFTP istif yapıları ve yalnız KFTP üzerinde yapılmıştır. Numuneler kuru şartlarda, 120° uç açısı, 30° helis açısına ve 6.3 mm çapa sahip kaplamasız burgulu matkap ile delinmiştir. Kesme parametreleri, 59.346, 118.692, 178.038 m/dk kesme ve 9, 15, 21 mm/dk ilerleme hızları seçilmiştir. Deneysel sonuçlar, itme kuvvetinin istif yapının konumu ile değişmediği, kesme hızının delaminasyonu en fazla etkilediği, malzeme sırasının değişmesi yüzey kalitesini etkilediğini göstermiştir.

Zitoune ve diğ. (2012) tarafından, KFTP ve alüminyum istif malzemenin üzerinde nano kaplamalı matkaplar kullanarak delinmesinde kesme parametrelerinin itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, deliklerin kalitesi, talaş oluşumu ve takım aşınması üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, biri nano kaplamalı ve diğeri nano kaplamasız olmak üzere 6 mm çapında, 136° uç açısına sahip iki tip tungsten karbür matkap kullanılmıştır. Kesme parametreleri, 1050, 2020, 2750 rpm iş mili hızı, 0.05, 0.1, 0.15 mm/dev ilerleme hızı seçilmiştir. Delme testlerinde, 4.25 mm KFTP ve 3 mm Al 2024 kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, talaşların şeklinin ve boyutunun ilerleme hızından etkilendiğini göstermiştir. Kaplamalı matkaplarla kompozit plakanın delinmesi sırasında üretilen itme kuvveti, kaplamasız matkaplarla delme sırasında oluşturulan itme kuvvetine kıyasla %10-15 daha az olduğu, benzer şekilde, alüminyum alaşımındaki itme kuvveti, kaplamalı matkaplarla %50 daha az olduğu belirtilmiştir. Böylece, nano kaplamalı matkapların kullanılması, kaplamasız takımlara kıyasla yüzey pürüzlülüğünü ve itme kuvvetini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.

Zitoune ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada, KFTP/Al 2024 istif yapı üzerinde farklı çapta matkaplar ile kuru şartlar altında delme deneyleri yapılmıştır. İtme kuvveti, tork ve yüzey kalitesi üzerindeki parametrik etkiler incelenmiştir. Deneylerde, 4.2 mm kalınlığında KFTP ve 3 mm kalınlığında Al 2024 ile 4.6 mm ve 8 mm çaplarında, 118° uç açısına sahip karbür matkap kullanılmıştır. Kesme parametreleri, 1050, 2020 ve 2750 rpm iş mili hızı ve 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/dev ilerleme hızı olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, kesme parametrelerinin doğru seçimi ile deliklerin kalitesinin iyileştirilebileceğini göstermektedir. Bu, itme kuvveti, tork, yüzey kalitesi, dairesellik ve delik çapının incelenmesiyle doğrulanmıştır. KFTP için, dairesellik, düşük ilerleme hızlarında 6 mm civarında

bulunurken, ilerleme arttığında dairesellik 25 lm'ye çıkar. Yapılan aşınma testleri, ilk 30 delik sırasında, KFTP'deki itme kuvvetinin alüminyumun itme kuvvetinden (%6) daha önemli bir artışa (%90) uğradığını göstermektedir. Testler sonucunda, tüm çaplar için ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı ancak iş mili hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin az olduğu ve alüminyumun yüzey pürüzlülüğü ve daireselliğinin KFTP'ye kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Aşınma testleri, 30 ila 60 delik arasında kararlı kesme kuvveti bulunduğunu, bu bölgenin normal aşınma bölgesine atfedilebileceğini göstermiştir. KFTP/Al 2024 istif delinmesinde bu aralık ideal kesme aralığı olarak belirtilmiştir.

Aydın (2019) tarafından, KFTP/Al 7075 istif malzemenin farklı kaplamaya türlerine ve farklı uç açlarına sahip matkaplar ile delinebilirliği çalışılmıştır. Deneylerde, kaplamasız, TiAlN kaplamalı, elmas kaplamalı karbür ve 120°, 130°, 140° uç açısına sahip matkaplar ile 10 mm kalınlığında KFTP ve 10 mm kalınlığında Al 7075 kullanılmıştır. Delme testleri, doğrudan delme, gagalayarak delme ve tam geri çıkmalı delme yöntemi ile kuru delme şartlarında 50 m/dk kesme ve 0.05 m/dk ilerleme hızlarında yapılmıştır. Deneylerde itme kuvveti, moment, delaminasyon değerleri, yüzey pürüzlülükleri, talaş yapıları ve matkap aşınmaları incelenmiştir. Dene sonuçları, kuru şartlarda 130° uç açısına sahip kaplamasız karbür matkapların 50 m/dk kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızlarında en iyi sonuçları verdiği belirtilmiştir.

3.4. Literatür Değerlendirilmesi

Literatür araştırması sonucunda, karbon fiber takviyeli polimer malzeme ve alüminyum istif malzemenin havacılık ve uzay endüstrilerinde hafifliği ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edildiği görülmektedir. KFTP/Alüminyum istif yapısı iki veya daha fazla katmanın birleştirilmesiyle tek bir malzeme şeklinde elde edildiği ve bu malzemenin montajı delik delme işlemi ile perçin veya cıvata gibi bağlantı elemanları kullanılarak yapıldığı anlaşılmıştır. Çok malzemeli bu istif yapıların delik delme esnasında, her malzemenin farklı özellikleri ve farklı katmanlar arasındaki etkileşimleri nedeniyle delaminasyon, elyaf kopması, tabakalar arası çatlama, takım aşınması, zayıf yüzey kalitesi ve delik tolerans gibi kusurların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu tür işleme hatalarının giderilmesi amacıyla birçok araştırmacı, kesme hızı, ilerleme hızı, matkap geometri, malzeme

kalınlıkları, kaplama türleri gibi parametreler üzerinde değişiklik yaparak çalışmalar yrtmştır. Yapılan çalışmalarda, ilerleme artışı ile malzemeye etki eden itme kuvvetinin arttığı buna bağlı olarak malzemede parçalanma, ufanma, delaminasyon gibi kusurların oluşmasına ayrıca ilerleme hızının artışı yüzey pürüzlülüğünü de olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır. Kesme hızının artışı ise yüzey pürüzlülüğünün azalmasına ancak delaminasyon ve itme kuvvetine ilerleme hızı ile aynı etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlüğünün azalmasını sağlayan bir diğer etkenin iste uç açısının artışı olduğu görülmektedir. Takım ömrünün artmasını için en uygun parametrelerin düşük ilerleme ve kesme hızları ile kesici takım kaplaması olduğu önerilmektedir. KFTP için fiber oryantasyonu tek yönlü dizilimin çok ynlye göre delme esnasında daha çok parçalanma ve ufanlanma gibi kusurlara neden olduğu görülmektedir. Delik delme işleminin tüm talaş kaldırma işlemleri arasında en çok kullanılan işlem olduğu ancak belirtilen işleme kusurları ve etki eden parametrelerin fazla olması nedeniyle üzerinde daha çok araştırılma yapılması önem arz etmektedir.

Bu alışmada, KFTP/Al 7075 istif yapıda farklı kesme ve ilerleme hızları ile delik delme yönünün değişiminin malzemede oluşan delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti ve takım aşınması üzerinde ki etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Bunun yanı sıra, literatürde soğutucu akışkan kullanılarak delmenin daha az çalışıldığı görülmüş ve bu nedenle soğutucu akışkan kullanılarak istif yapının delinebilirliği incelenmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, havacılık sektöründe kullanılan KFTP kompozit malzemesi ve Al 7075 alaşımı istif yapı hâline getirilerek delinebilirliği incelenmiştir. Delik delme deneyleri 9 mm çapında kaplamasız karbür matkap vasıtasıyla yapılmıştır. KFTP/Al 7075, Al 7075/KFTP istif yapılarının, sabit ilerleme ve kesme hızları ile değişken ilerleme ve kesme hızlarında CNC dik işleme merkezinde soğutma sıvısı kullanılarak altı farklı deney grubunda delik delme deneyleri tamamlanmıştır. Malzemelere etki eden itme kuvvetleri, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ölçümleri yapılmıştır. Bu parametrelerin gösterdiği veriler doğrultusunda uygun kesme şartları önerilmiştir.

4.1. Materyal

4.1.1. Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (KFTP) Malzeme

Deneyleerde kullanılacak olan karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzeme havacılık endüstrisinde hafiflik ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır. Bu malzeme, 281.26 gr/m² ağırlığında 5'li saten dokuma kumaşlara, % 43 oranında Cycom-985 grafit epoksi reçine emdirilerek hazırlanmıştır. Rulo hâlinde önceden hazırlanmış 496.53 gr/m² ağırlığındaki ve 0° fiber oryantasyona sahip prepreg tabakadan 0/90° ve 45° açılarla kesilerek cam bir yüzeye üst üste serilmiştir. Tablo 4.1'de gösterildiği gibi 4.5 mm kalınlığın KFTP üretmek amacıyla, kür edilmiş 0.35 mm kalınlığında nominal tabaka ile 12 tabakalı dizilim gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. 1: KFTP'nin 12 Tabakalı Dizilimi.

Sıra No	1	2	3	4	5	6
Dizilim	±45°	0/90°	±45°	0/90°	±45°	0/90°
Sıra No	7	8	9	10	11	12
Dizilim	0/90°	±45°±45°	0/90°	±45°	0/90°	±45°

Dizilim işlemi biten prepreg tabakalar daha sonra torbalama ve vakumlama işlemlerine tabi tutulmuş ve otoklavda torba kalıplama yöntemi ile 1770 C'de ve 6

bar basınç altında toplam 120 dk. kür edilmiştir. İşlem sonucunda elde edilen 280x140x4.5 mm ebatlarında KFTP kompozit malzeme Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4. 1: KFTP Kompozit Malzeme Ebatları.

4.1.2. Al 7075 Alaşımı

KFTP/Al 7075 istif yapının oluşturulması amacıyla KFTP ile aynı malzeme ölçülerine sahip 280x140x10 mm Al 7075 T6 alaşımı kullanılmıştır. Al 7075 T6 alaşımının mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 2: Al 7075’in Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.

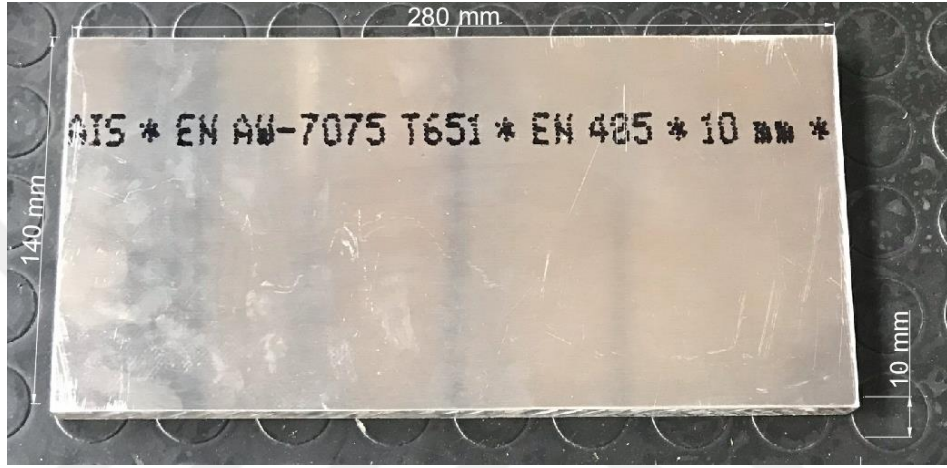
Mekanik Özellikler	Değer	Fiziksel Özellikler	Değer
Çekme Mukavemeti (MPa) min-max	530-570	Yoğunluk	2.81 g/cm ³
Akma Mukavemeti (MPa) min-max	460-490	Elastisite Modülü	71.7 GPa
Uzama %50	5-6 %	Isı İletkenliği	130-160 W/m.K
Sertlik (Brinel) min-max	140-160 HB	Isıl Genleşme Katsayısı	23.4 K ⁻¹ x10 ⁻⁶

Al 7075 T6’nın kimyasal özellikleri ise Tablo 4.3’te verilmiştir. Al 7075 T6S1 alaşımına ait malzeme sertifikası Ek 1’de sunulmuştur.

Tablo 4. 3: Al 7075 T6'nın Kimyasal Özellikleri.

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0.15- 0.16	0.08- 0.10	1.6	0.04- 0.05	2.5	5.7	0.20- 0.21	0.3	Kalan

İstif yapıda kullanılan 280x140x10 mm Al 7075 alaşımı Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 2: 280x140x10 mm Al 7075 Alaşımı.

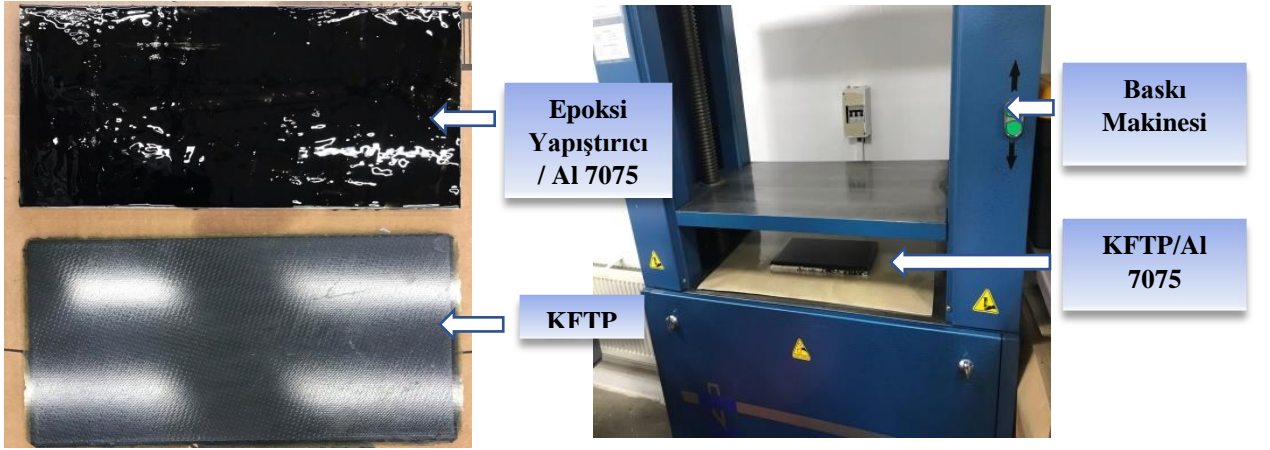
4.1.3. Deney Numuneleri

Delme deneylerinin yapılacağı istif malzemeler 280x140x4.5 mm ebatlarında KFTP ve 280x140x10 mm ebatlarında Al 7075 kullanılarak hazırlanmıştır. KFTP ve Al 7075 katmanları, arasına 0.5 mm Diall marka hızlı sertleşen iki bileşenli epoksi metal yapıştırıcı (Şekil 4.3) uygulanarak birleştirilmiştir.



Şekil 4. 3: Diall Epoksi Metal Yapıştırıcı.

Yapıştırıcı Al 7075'in yüzeyine eşit bir şekilde uygulanmış ve ardından KFTP yapıştırılmıştır. Yapıştırılan numuneler baskı makinesi altında 10 dk. bekletilerek yapışmaları sağlanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4. 4: KFTP/Al 7075 İstif Yapının Hazırlanması.

Yapıştırma işlemi tamamlanan malzemeler delik delme deneyleri için CNC tezgâha bağlanmıştır. Ancak ilk yapılan denemede soğutma sıvı olarak kullanılan bor yağı epoksi yapıştırıcının özelliğini kaybetmesine neden olarak delme esnasında istif yapının birbirinden ayrılmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı, malzemeler yapıştırılıp dört köşesinden M8 cıvata ile sıkılmıştır. Deneylerde toplam üç adet 15 mm kalınlığında Şekil 4.5’de görülen numune kullanılmıştır.



Şekil 4. 5: KFTP/Al 7075 İstif Yapıya Cıvata Uygulaması.

4.1.4. Kesici Takım

Deneyleerde kullanılan kesici takım 9 mm çapında kaplamasız içten soğutmalı karbür takımdır. Kesici takımlar yerli üretim yapmakta olan Karcan Kesici Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş'den deneyleerde kullanılmak maksadıyyla 12 adet temin edilmiştir. Şekil 4.6'da içten soğutma kanalları ve kesici takım gösterilmektedir.



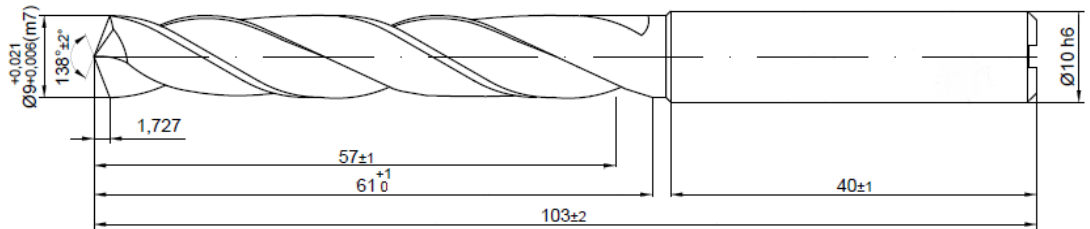
a) İçten Soğutma kanalları



b) 9 mm çapında kaplamasız karbür kesici takım

Şekil 4. 6: A) İçten Soğutma Kanalları, B) 9 mm çapında Kaplamasız Karbür Kesici Takım.

Kesici takım 138° uç açısına sahiptir. Takım ölçüleri Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4. 7: Karbür Kesici Takım Ölçüleri.

4.1.5. Takım Tezgahı

Deneyle Mikron VCP 800 marka CNC dik işleme merkezi ile hyperMILL 2020 CAD/CAM yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8: Mikron VCP 800 Marka CNC Dik İşleme Merkezi.

Dik işleme merkezine ait teknik özellikler Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4. 4: Dik İşleme Merkezine Ait Teknik Özellikler.

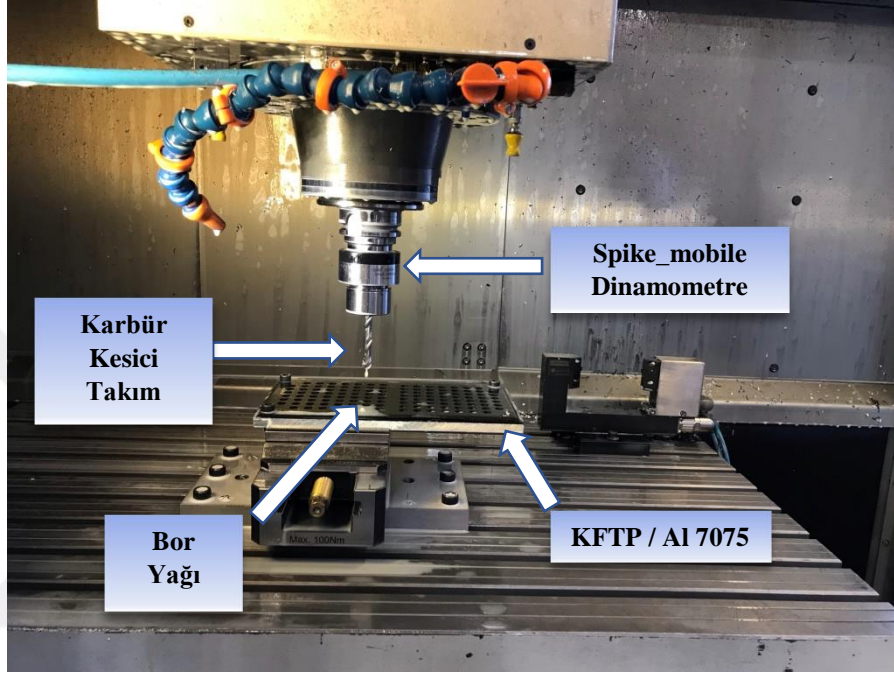
Parametre	Özelliği
Kontrol Ünitesi	Heidenhain TNC 430
Eksen Mesafeleri	X-800 mm Y-450 mm Z-450 mm
Magazin Sayısı	30
Tablo Boyu	1050 x 590 mm
Spindle	HSK A-63
Devir	20000 rpm
Güç	12 Kw

4.2. Metot

4.2.1. Deney Tasarımı ve Kesme Parametreleri

Delik delme işlemi Al 7075'in kesici takıma sıvanması ve malzemede meydana getirdiği kusurları engellemek amacıyla soğutucu akışkan kullanılarak yapılmıştır.

İçten soğutma özelliğine sahip 9 mm çapında karbür takımlar vasıtasıyla 15 mm kalınlığında KFTP/Al 7075 istif malzeme CNC dik işleme merkezine bağlanarak 65 bar basınçta %7 emisyonu sahip bor yağı kullanılarak delinmiştir. Delme esnasında kesici takım itme kuvvetinin ölçümünü sağlaması için Spike_mobile marka dinamometreye bağlanmıştır. Şekil 4.9'da numenin tezgâha bağlanmış şekli görülmektedir.



Şekil 4. 9: KFTP/Al 7075 İstif Malzemenin Tezgaha Bağlanması.

Kesme parametrelerini belirlemek amacıyla literatürde KFTP ve Al 7075 için kullanılan değerler incelenmiştir. İnceleme neticesinde, 50 m/dk kesme ve 0.1 mm/dev ilerleme hızları ile 200 m/dk kesme ve 0.2 mm/dev ilerleme hızları seçilmiştir. İş mili hızı 50 m/dk kesme hızı için 1768 devir, 200 m/dk kesme hızı için 7074 devir hesaplanmıştır. İstif yapının delinmesi KFTP'den giriş, Al 7075'ten çıkış ve tam tersi yönde olmak üzere tekrarlanmıştır. Çalışmada, sabit kesme ve ilerleme hızı, değişken kesme ve ilerleme hızları ve ayrıca giriş yönün değiştirilmesiyle toplam altı deney yapılmıştır. Bir numune üzerinde iki deney gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için takım aşınmasını gözlemlemek amacıyla yeni kesme takımı kullanılmış ve 62 delik delinmiştir. Tablo 4.5'te deney tasarımı gösterilmektedir.

Tablo 4. 5: İstif Malzemenin Deney Tasarımı.

Deney Grubu 1	Giriş		Çıkış	
	KFTP		Al 7075	
Değişken Kesme ve İlerleme Hızı	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)
	50	0.10	200	0.20

Deney Grubu 2	Giriş		Çıkış	
	Al 7075		KFTP	
Değişken Kesme ve İlerleme Hızı	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)
	200	0.20	50	0.10

Deney Grubu 3	Giriş		Çıkış	
	KFTP		Al 7075	
Sabit Kesme ve İlerleme Hızı	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	
	50		0.10	

Deney Grubu 4	Giriş		Çıkış	
	Al 7075		KFTP	
Sabit Kesme ve İlerleme Hızı	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	
	50		0.10	

Deney Grubu 5	Giriş		Çıkış	
	KFTP		Al 7075	
Sabit Kesme ve İlerleme Hızı	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	
	200		0.20	

Deney Grubu 6	Giriş		Çıkış	
	Al 7075		KFTP	
Sabit Kesme ve İlerleme Hızı	Kesme Hızı Vc (m/dk)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	İlerleme Hızı f (mm/dev)	
	200		0.20	

4.2.2. Kuvvetlerin Ölçümü

Delik delme esnasında kesici takımın malzemeye uyguladığı kuvvetleri ölçmek amacıyla Spike_mobile marka dinamometre kullanılmıştır. İtme kuvvetinin

malzemede oluşan delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Spike_Mobile dinamometre kesici takımın bağlandığı bir ölçüm birimi, verilerin aktarıldığı kablosuz ağ bağlantısına sahip alıcı ve Spike_measurement yazılımı ile itme kuvvetini ölçmektedir (Şekil 4.10).



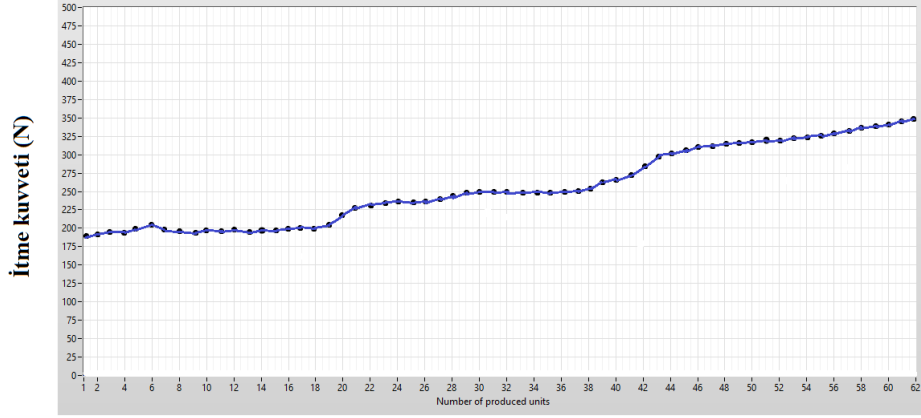
Şekil 4. 10: Spike_Mobile Dinamometre.

Spike_Mobile marka dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4. 6: Spike_Mobile Dinamometrenin Teknik Özellikleri.

Parametre	Özellik
Örnekleme oranı	2.5 kHz
Gecikme (min/mak)	2.8 ms / 35 ms
Veri iletim frekansı	2.45 GHz
Sinyal iletim mesafesi	5 m
Wireless kanal sayısı	4
Batarya ömrü-aktif	16 saat
Batarya ömrü-beklemede	25 gün

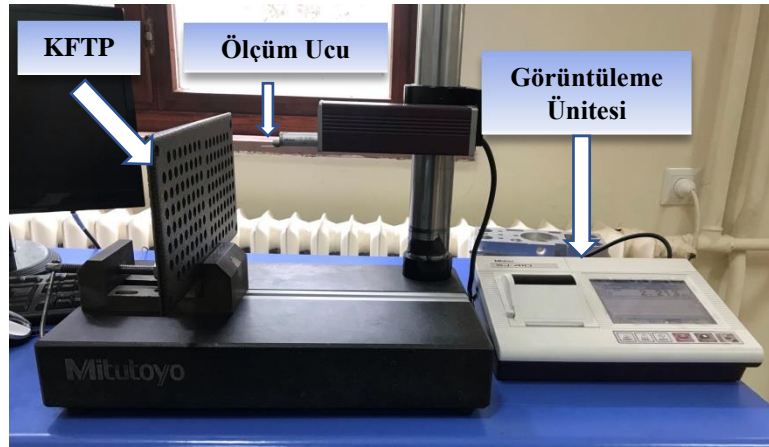
İtme kuvvetinin ölçümleri her bir deney grubunda KFTP ve Al 7075 için ayrı ayrı ölçülmüştür. Şekil 4.11’de bir deney grubu sonucunda oluşan itme kuvvetlerini ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4. 11: Deney Grubu 5’de KFTP Üzerinde Oluşan İtme Kuvvetleri.

4.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Delik delme işlemlerinin tamamlanmasının ardından delik yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçümleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri 6 numunede KFTP ve Al 7075 için ayrı ayrı ölçülmüştür. Ölçüm her numunenin 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 62 numaralı deliklerinden 3 farklı noktasından ölçülmüş ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değeri hesaplanmıştır. Toplamda 288 adet ölçüm yapılmıştır. Deliğin yüzey pürüzlülüğü (Ra), örnekleme uzunluğu 0,8 mm olan yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile ölçülmüştür. KFTP için delikten geçen ölçüm uzunluğu 3.2 mm ($0.8 \times 4 = 3.2$ mm) ve alüminyum için ölçüm uzunluğu 8 mm ($0.8 \times 10 = 8$ mm) dir. Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarında, Şekil 4.12’de gösterilen Mitutoyo marka ve SJ-410 model portatif yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 12: Mitutoyo SJ-410 Portatif Yüzey Pürüzlülüğü Test Cihazı.

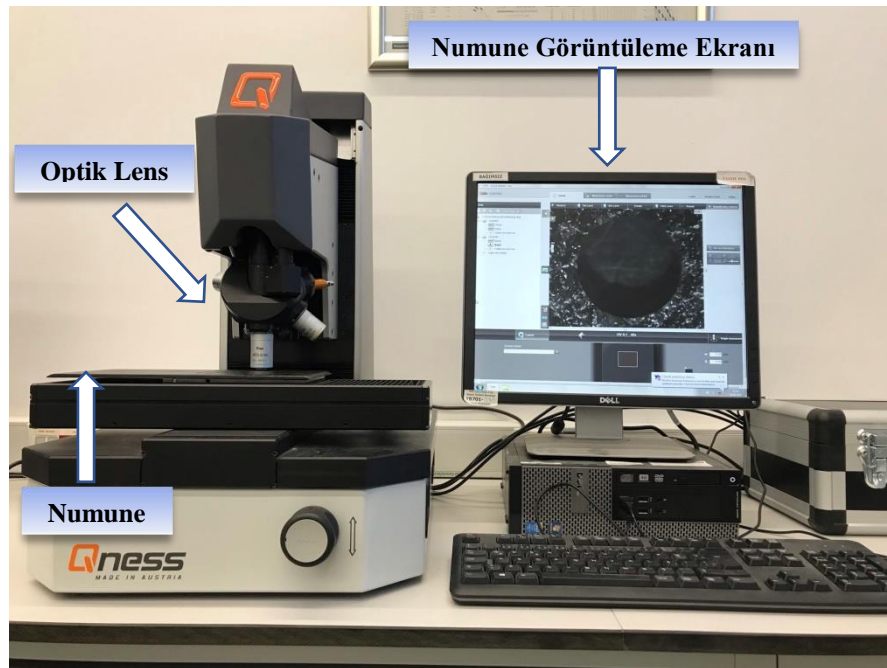
Yüze pürüzlülük test cihazının teknik özellikleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4. 7: Mitutuyo SJ-410 Portatif Yüze Pürüzlülüğü Test Cihazı Teknik Özellikleri.

Model	Perthometer M1 (Mahr)
Ölçme hızı	150 $\mu\text{m}/\text{sn}$
Ölçme kuvveti	0.7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Kesme uzunluğu	0.8 mm

4.2.4. Delaminasyon Ölçümü

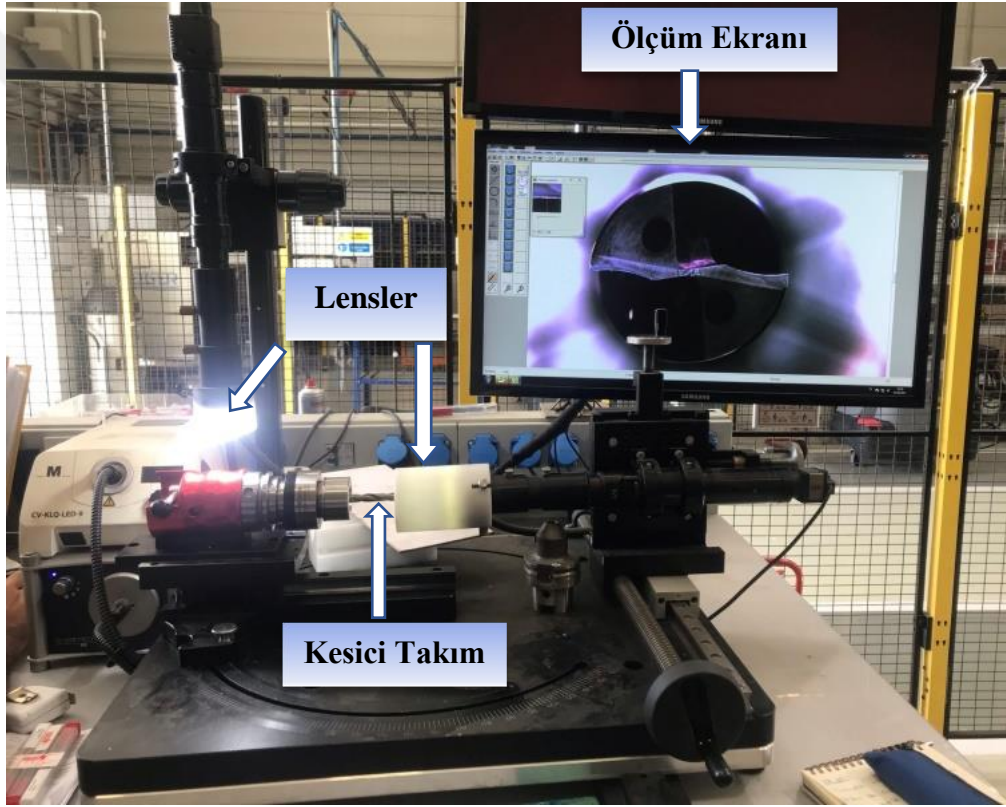
KFTP nin deliklerinde oluşan delaminasyon her numunenin 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 62 numaralı deliklerinin giriş ve çıkışlarından ölçülmüştür. Ölçümler, MSÜ KHO Makine Mühendisliği Laboratuvarında yer alan optik mikroskop ile ölçülmüştür. Optik mikroskop düzeneği; 2X optik büyütmeli numune görüntüsü kamerası, 10 / 40 / 100X optik büyütme sistemi, görüntüleme (görüntü alma ve analiz) ünitesi yazılımı ve bilgisayar komutalı hareketli tabladan oluşmaktadır. Optik mikroskop düzeneği görüntüsü Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Delaminasyon görüntüleri, Qness 10A + cihazı görüntü analiz yazılımından faydalanılarak 2X optik büyütmeli görüntü alma kamerası ile görüntülenmiş 4X yaklaşılan görüntüler kaydedilmiştir.



Şekil 4. 13: Delaminasyon Ölçümü İçin Kullanılan Optik Mikroskop.

4.2.5. Takım Aşınması

Kesici takımların aşınması KFTP’de parçalanma, lif kopması, katmanların ayrılması, itme kuvvetinin artması ve delaminasyona neden olmaktadır. Bu nedenle, takım aşınması işleme sürecinde takip edilmelidir. Bu çalışmada, deney gruplarının tamamında farklı kesici takım kullanılmıştır. Her deneyin 62. deliği delindikten sonra takım aşınma ölçümleri yapılmıştır. Karcan Kesici Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş.’nin Ar-Ge Test merkezinde bulunan her çeşit matkabı, kademeli matkabı hızlı ve kolay bir şekilde ölçmek için oluşturulmuş ölçüm cihazı ile takımlar incelenmiştir. Tezgâhta bulunan iki adet lens ile takım aşınmaları ekrana yansıtılarak ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4. 14: Takım Aşınmalarının Ölçümü.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

KFTP/Al 7075 istif malzeme üzerinde altı grup hâlinde delik delme işlemi yapılmıştır. Değişken kesme ve ilerleme hızları, sabit kesme ve ilerleme hızı ve kesici takımın giriş yönünün değiştirilmesiyle deneyler tamamlanmıştır. Delme deneyleri esnasında KFTP ve Al 7075 alaşımının üzerine etki eden itme kuvvetleri, delme işlemi sonucunda KFTP kompozit malzemenin delik giriş ve çıkış yüzeyinde oluşan delaminasyon, malzemelerin delik içi yüzey pürüzlülük değerleri ve her deney sonunda kesici takımlarda oluşan aşınmalar ölçülerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1. Deney Sonuçları

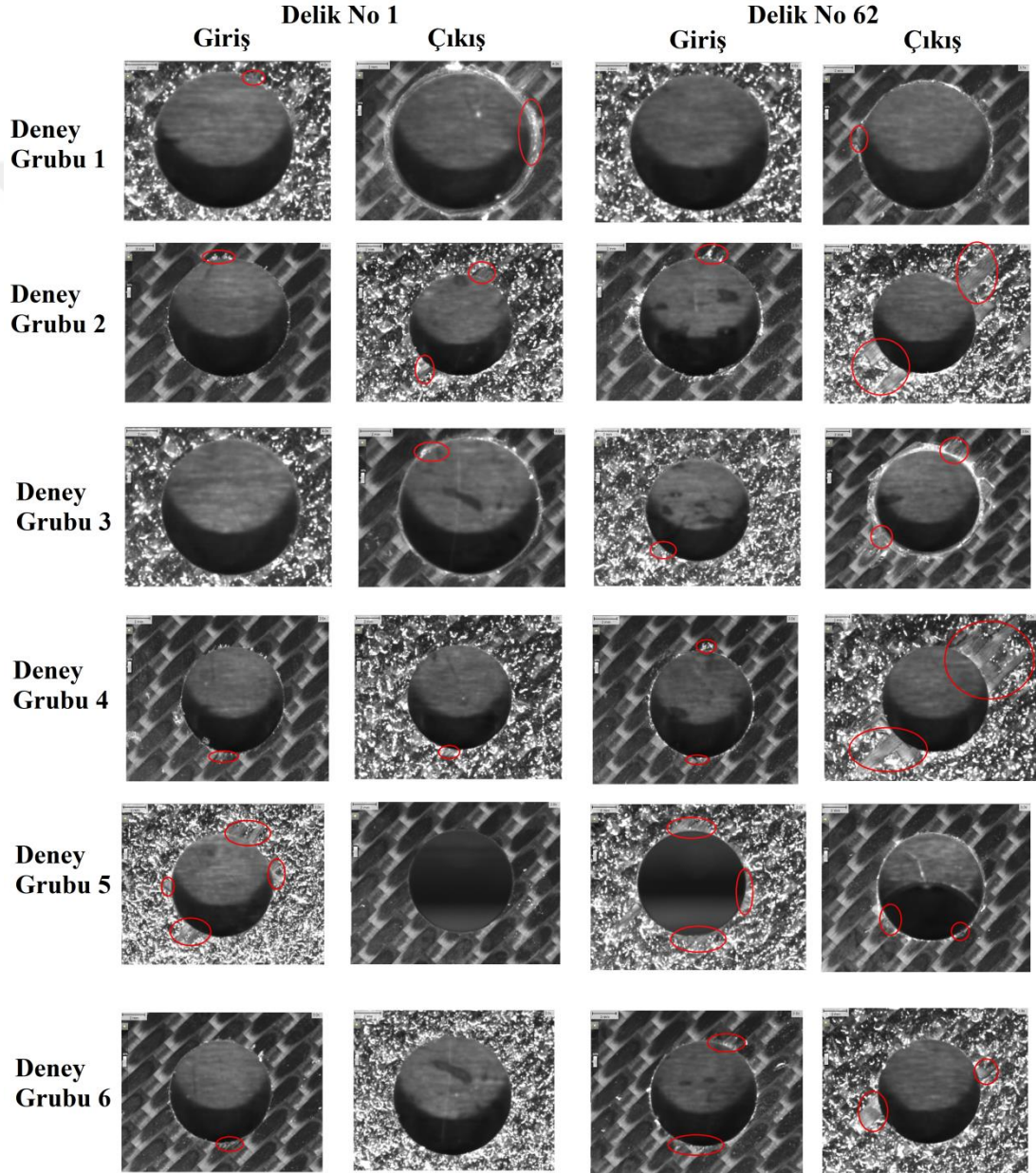
Delme deneylerinin sonucunda elde edilen itme kuvveti, delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü değerleri Deney Grubu 1 için Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Diğer deney guruplarının sonuçları Ek 2’de verilmiştir.

Tablo 5. 1: Deney Grubu 1’de Elde Edilen Sonuçlar.

Delik No	Kesici Takım Girişi				Kesici Takım Çıkışı	
	KFTP				Al 7075	
	Vc:50 m/dk, f:0.10 mm/dev				Vc:200 m/dk, f:0.20 mm/dev	
	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Delaminasyon		İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
Giriş			Çıkış			
1	191	2.991	1.14	1.15	1449	0.675
10	296	2.251	1.21	1.27	1477	0.755
20	322	1.702	1.21	1.23	1548	0.624
30	410	2.321	1.42	1.19	1639	0.484
40	428	2.234	1.43	1.23	1639	0.438
50	477	1.553	1.58	1.20	1712	0.638
60	517	2.123	1.35	1.21	1725	0.493
62	511	2.047	1.22	1.14	1708	0.550

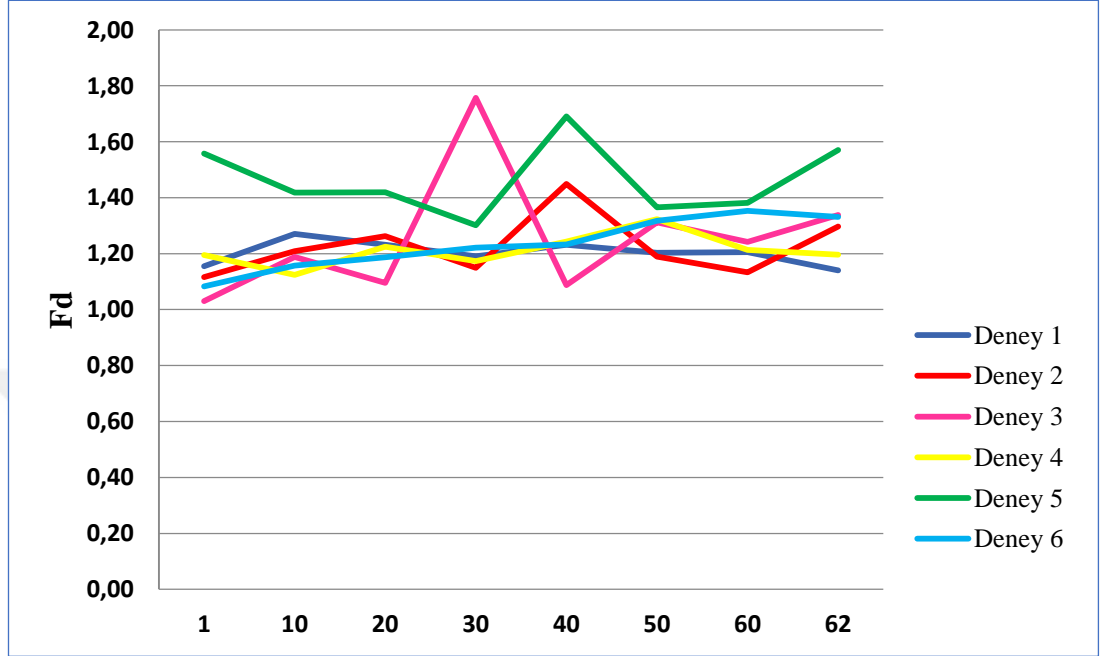
5.2. Delaminasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Delaminasyon fiber takviyeli kompozit malzemelerin işlenmesinde karşılaşılan en büyük problemlerden biridir. İstenilen delik kalitesi ve toleransların sağlanmasında engel teşkil etmektedir. Delme deneylerinin ardından delik görüntüleri incelenerek en büyük çap değerinin takım çapına oranı ile delaminasyon değeri (F_d) hesaplanmıştır. Şekil 5.1’de deney gruplarına ait KFTP kompozit malzemenin delaminasyon görüntüleri gösterilmiştir.

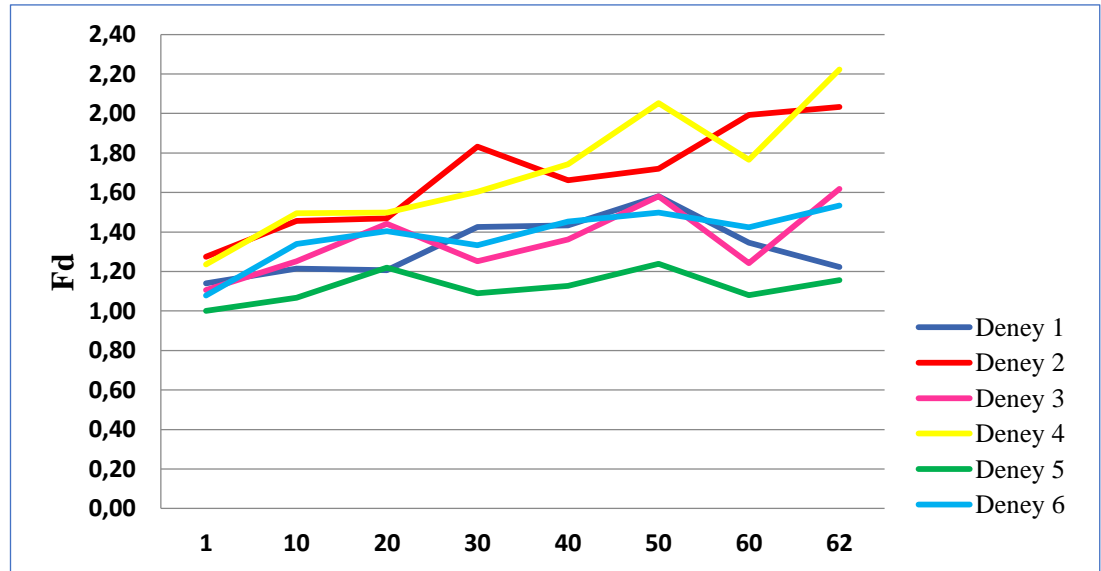


Şekil 5. 1: Delaminasyon Görüntüleri.

Delaminasyon faktörünü hesabı her numune için 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 62 numaralı deliklerin ölçümü ile yapılmıştır. Şekil 5.2’de KFTP kompozit malzemenin altı deney sonucunda giriş ve çıkış bölgelerinde hesaplanan delaminasyon faktörüne ait grafik gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 5. 2: Delaminasyon Faktörünün Delik Sayısına Göre Değişimi;
a) KFTP Giriş Bölgesi, b) KFTP Çıkış Bölgesi.

Şekil 5.2'deki grafik incelendiğinde de, delaminasyon faktörünün artan delik sayısına bağlı olarak attığı gözlemlenmektedir. Deney grupları arasında en az çıkış delaminasyon değerleri kesme hızı 200 m/dk ve ilerleme hızı 0.20 mm/dev olan deney grubu 5'te olduğu görülmektedir. Ancak giriş delaminasyon değerleri diğer deneylere göre daha fazla ölçülmüştür. Bu deneyde kesici takım KFTP kompozit malzemeden giriş yaparak Al 7075'ten çıkış yapmıştır. KFTP'nin en yüksek kesme hız ile delindiği deneydir. Deney sonucu, kesme hızının artması delaminasyonun artışına neden olduğunu göstermektedir.

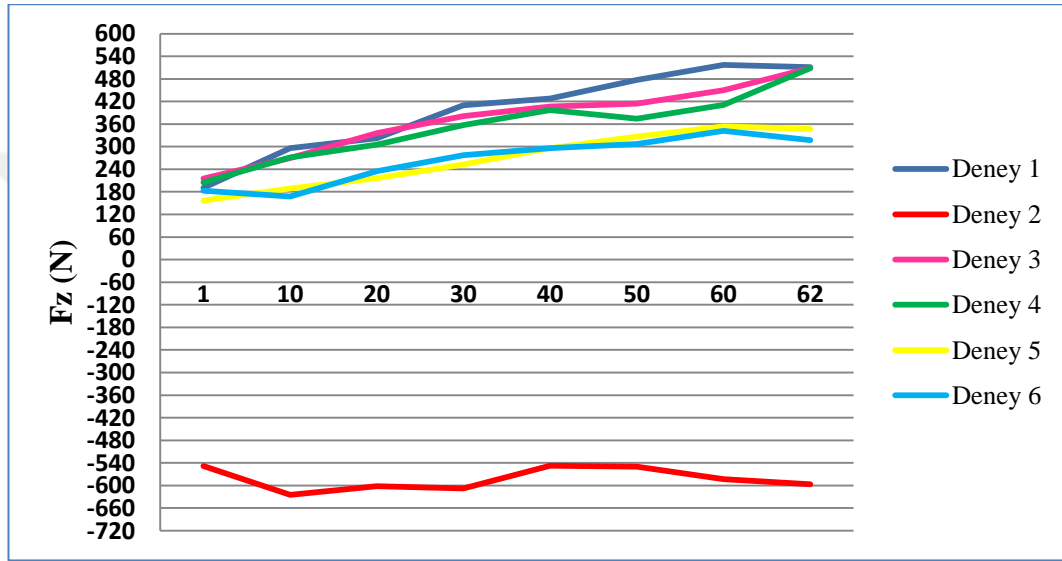
Çıkış bölgesi delaminasyon grafiğinde 2, 4, ve 6 numaralı deney sonuçları diğer deney gruplarından daha yüksek delaminasyon hasarının olduğu anlaşılmaktadır. Bu deneylerde Al 7075/KFTP istif yapısı üzerinde çalışılmıştır. Kesici takımın Al 7075'ten giriş yapması ile takımın ısınması, aşınması ve talaş oluşumundan kaynaklı olarak delaminasyonu attığı düşünülmektedir. Söz konusu deney gruplarında giriş delaminasyonun çıkış değerlerine göre düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bu da, KFTP'nin Al 7075 alaşımı ile desteklenmesinin olumlu yönde etki oluşturduğu söylenebilir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, KFTP/ Al 7075 yönünde delme işlemi için düşük kesme ve ilerleme hızının, Al 7075/KFTP yönünde ise yüksek kesme ve ilerleme hızının giriş ve çıkış bölgesi delaminasyonuna olumlu etkisi olduğu düşünülmektedir.

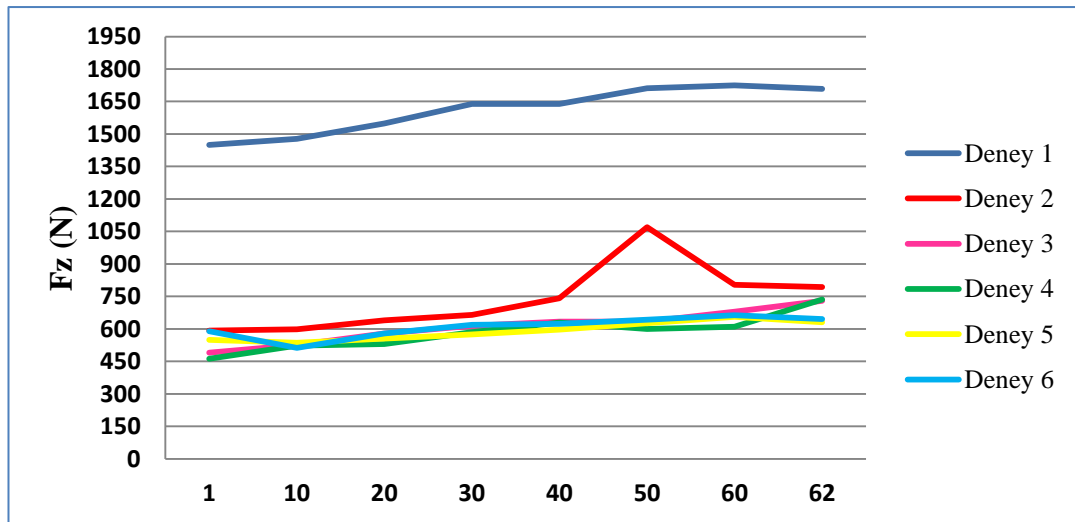
5.3. İtme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Delme işlemleri esnasında Spike_mobile dinamometre aracılığıyla ölçülen itme kuvvetleri KFTP ve Al 7075 için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Delik sayısına bağlı olarak itme kuvvetinde ki değişim Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Şekil 5.3 incelendiğinde, KFTP için en yüksek itme değeri 517 N, Al 7075 için 1725 N itme kuvveti değişken kesme ve ilerleme hızları (deney grubu 1) ile delme deneyinde elde edilmiştir. Delik sayılarındaki artması ile kesme kuvvetlerinde görülen artış beklenen bir durumdur. Deney grubu 2'de KFTP için itme kuvvetleri eksi değer görülmektedir. Delme esnasında Al 7075'ten çıkan kesici takımın KFTP'de tepki kuvvetiyle karşılaşmadan delmesi mümkün olmadığı ve bu nedenle dinamometrenin teknik bir ölçüm hatası yaptığı değerlendirilmektedir. Delme deneylerinde KFTP'ye etki eden itme kuvveti yüksek kesme ve ilerleme hızında azaldığı, düşük hızlarda arttığı görülmektedir.

Al 7075 sabit ilerleme hızlarında yapılan deneylerde yaklaşık olarak aynı değer aralıklarında itme kuvvetine maruz kalmıştır. Kesme yönünün değişimi sabit kesme ve ilerleme hızları ile yapılan deneylerde itme kuvvetine etki etmediği görülmektedir. Deney grubu 1’de Al 7075’e etki eden itme kuvvetleri diğer tüm deneylerden yaklaşık 2.5 kat fazla olduğu görülmektedir. Değişken kesme ve ilerleme hızında KFTP’den çıkan kesici takımın delik içerisinden çıkmadan kesme hızı ve ilerlemesini arttırarak delme işlemine devam etmesi farklı özelliklere sahip Al 7075’in işleminde kuvvet artışına neden olduğu düşünülmektedir.



a)

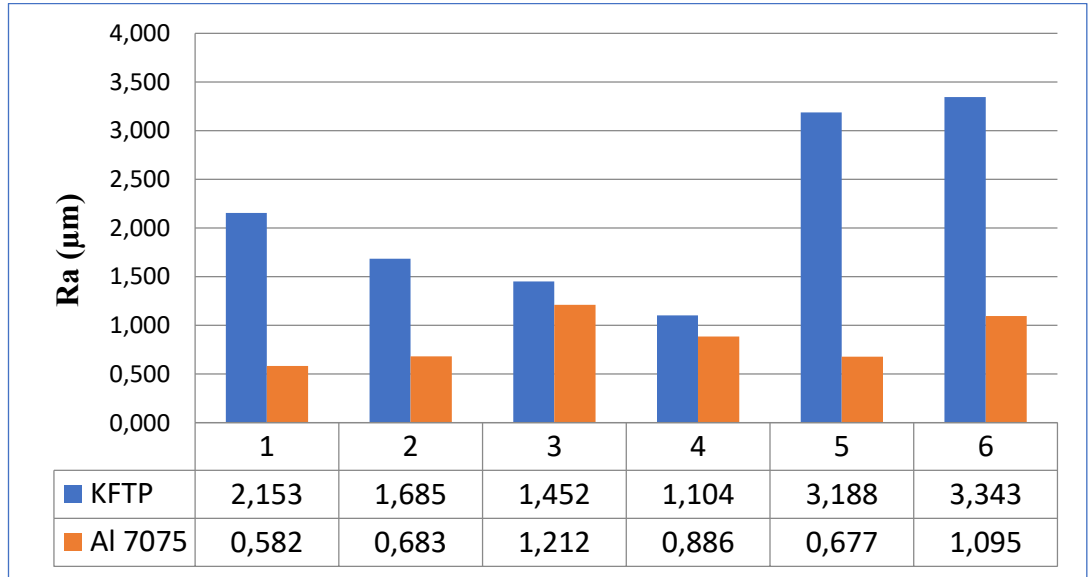


b)

Şekil 5. 3: İtme Kuvvetlerinin Delik Sayısına Göre Değişimi; a) KFTP Değerleri, b) Al 7075 Değerleri.

5.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

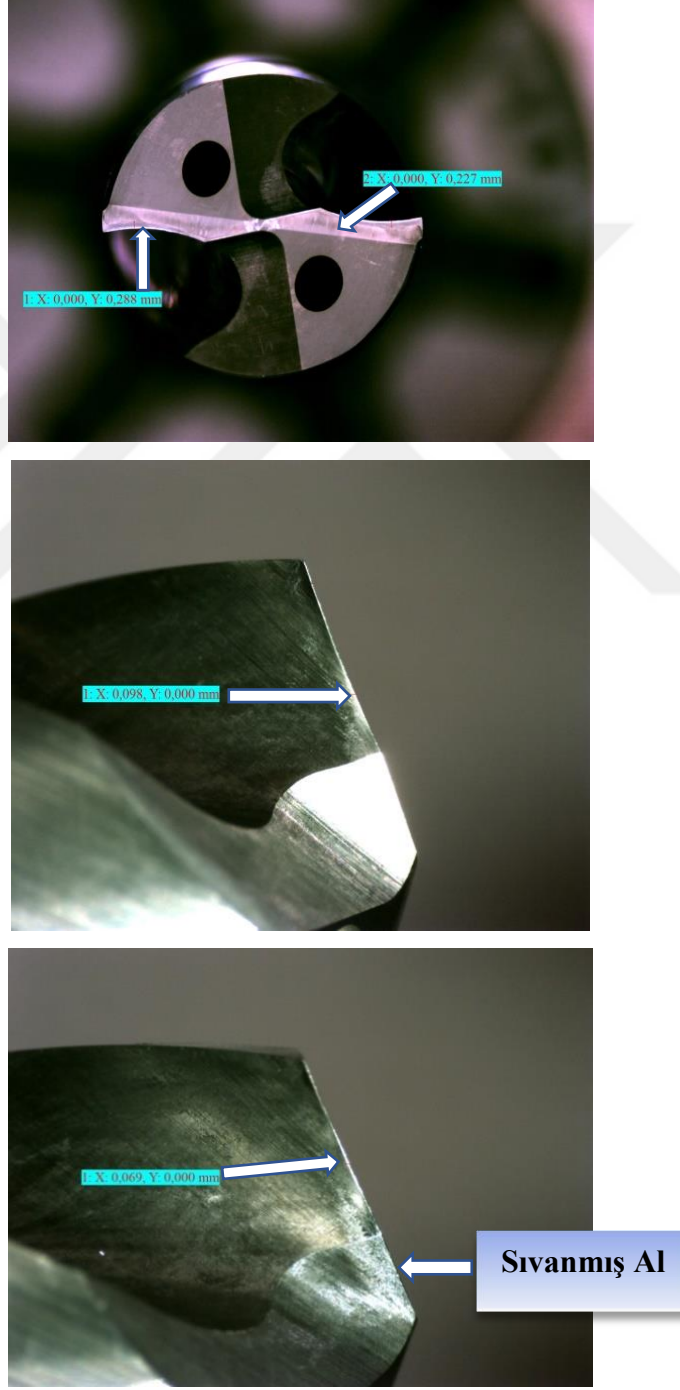
Yüzey pürüzlülük değerleri her deney için 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 62 numaralı deliklerin 3 farklı noktasından alınan değerlerin ortalaması ile ölçülmüştür. Şekil 5.4'te her deney için ortalama yüzey pürüzlülük değeri grafiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin istifli yapılarda KFTP için $Ra < 3.2 \mu m$, Al malzemenin için istenilen pürüzlülük değeri $Ra < 1.6 \mu m$ olarak belirlenmiştir (Aydın, 2019). Şekil 5.4 incelendiğinde, maksimum yüzey pürüzlülük değerleri deney grubu 6'da KFTP için $3.343 \mu m$, Al 7075 alaşımı için deney grubu 3'te $1.212 \mu m$ olarak görülmektedir. Bu sonuç, KFTP için istenilen değerin ($Ra < 3.2 \mu m$) üstünde olduğu nedeniyle 200 m/dk kesme ve 0.20 mm/dev ilerleme hızlarında Al 7075/KFTP yapısında delik delmenin yapılamayacağı anlamına gelmektedir. Yüksek hız ve ilerleme ile takımındaki ısınma, termal genişleme ve hızlı talaş birikmesi nedeniyle malzemede pürüzlülük değerlerinin arttığı söylenebilir. Deney grubu 5'te ise KFTP pürüzlülük değerinin $3,188 \mu m$ 'dur. Bu değer kabul edilebilir sınıra ($Ra < 3.2 \mu m$) eşit olduğu için deneye ait kesme parametrelerinin kullanılmasının uygun olmayacağı düşünülmektedir. KFTP malzemesi için kesme ve ilerleme hızının artışı pürüzlülük değerinde önemli miktarda artışa neden olmuştur. Bu da literatür ile uyumlu bir sonuç olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 5. 4: Her Deney İçin Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değerleri.

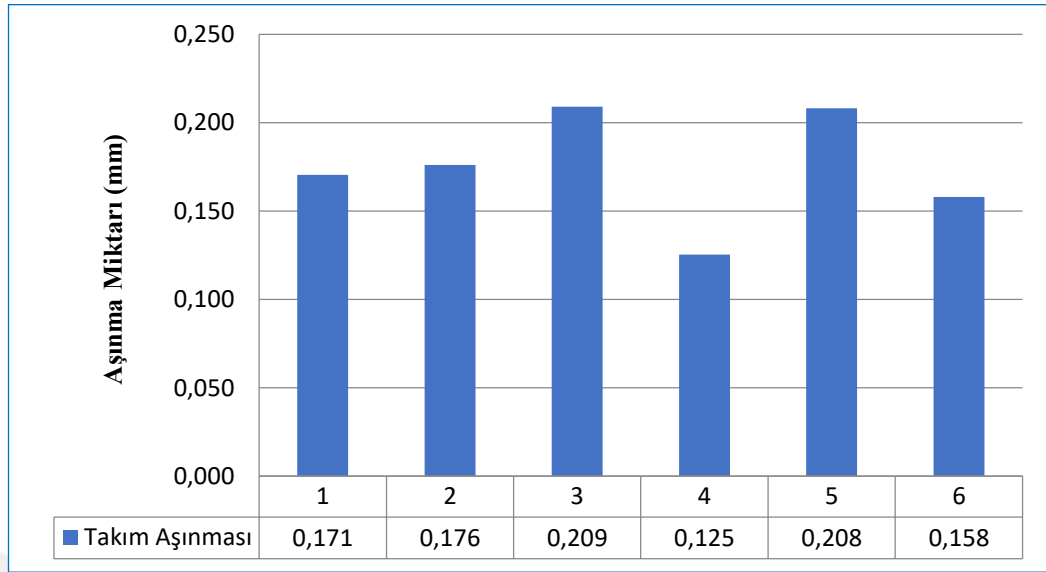
5.5. Takım Aşınması

Deneyleerin her birinde ayrı takım kullanılmıştır. Numune üzerinde bir takım ile 62 delik delinmiştir. Kesici takımın dört ağız için ayrı ayrı aşınma ölçüleri alınmıştır. Aşınma miktarı toplam ölçülen aşınmaların aritmetik ortalaması ile hesaplanmıştır. Şekil 5.5'te 1 no.lu kesici takımdaki aşınma miktarlarının ölçümü gösterilmektedir. Diğer takımlara ait aşınma resimleri Ek 3'te sunulmuştur.



Şekil 5. 5: 1 No.lu Kesici Takım Aşınma Miktarları.

Şekil 5.6’da deneylerde kullanılan takımlara ait aşınma miktarları verilmiştir.



Şekil 5. 6: Deney Gruplarında Kullanılan Takımların Aşınma Miktarı.

Şekil 5.6 incelendiğinde, 5 numaralı deneyde takım aşınmasının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu deneyde kesme ve ilerleme hızının sabit ve en yüksek olduğu deneydir. Sabit hızlarda delme işlemi yapılan 3, 4, 5, 6 numaralı deneylerde giriş yüzeyinin değişimi takım aşınmasına olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Değişken hız deneylerinde ise takım aşınma miktarlarının yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. Tüm takımlar incelendiğinde, Al malzeme talaşlarının sıvandıği görülmüştür ancak yıgıntı talaş (BUE) ve delme esnasında zorlanma eğilimi görülmemiştir. Deneylerde içten soğutma kullanıldığı için kesici takım kanallarında Al malzeme talaşlarının birikmesi ya da karbon tozlarının etkileri görülmemiştir. 62 adet delik delmenin neticesinde seçilen kesme şartlarında takım ömrünü olumsuz etkileyecek bir durum görülmemiştir. Buna en büyük etkenin içten soğutma sıvısı olduğu değerlendirilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzeme ve Al 7075 alaşımının istif yapıda delinebilirliği değişken kesme ve ilerleme hızları ile sabit kesme ve ilerleme hızlarında analiz edilmiştir. Deneylerde delme yönünün etkisini incelemek amacıyla her deney istif yapının delme yönü değiştirilerek tekrar edilmiştir. Deney numunelerine etki eden itme kuvvetleri, KFTP malzemedeki oluşan delaminasyon, her iki malzemenin yüzey pürüzlülükleri ve takım aşınmaları incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur;

- KFTP kompozit malzemenin yüksek kesme ve ilerleme hızlarında delaminasyon değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Ancak istif yapıda kesici takımın giriş yönüne bağlı olarak delik giriş ve çıkışlarında delaminasyon değerleri farklılık göstermektedir. Al 7075 alaşımına bitişik olan bölgede delaminasyon değerlerinin düşük olduğu görülmüştür.

- Al 7075/KFTP istif yapıda (KFTP'den çıkış) yapılan deneylerde çıkış delaminasyon değerlerinin diğer deneylere göre daha yüksek olduğu elde edilmiştir.

- Al 7075/KFTP için yüksek kesme hızı ve ilerleme hızının, KFTP/Al 7075 için ise düşük kesme hızı ve ilerleme hızının delaminasyon değerlerine olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

- İtme kuvveti yüksek kesme ve ilerleme hızlarında KFTP kompozit malzeme de azaldığı, hız değişimlerinin Al 7075'de itme kuvvetine etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

- Delme yönünün sabit kesme ve ilerleme hızlarında her iki malzeme için itme kuvvetine etkisinin olmadığı, delik sayısına bağlı kuvvet artışının aynı yönde seyrettiği tespit edilmiştir.

- Değişken hızlarda (KFTP için $V_c:50$ m/dk ve $f:0.10$ mm/dev, Al 7075 için $V_c:200$ m/dk ve $f:0.20$ mm/dev) KFTP/Al 7075 yönünde yapılan delme sonucunda Al alaşımında diğer deneylere göre 2.5 kat fazla kuvvet etki ettiği neden görülmüştür.

- Kesme ve ilerleme hızı artışının yüzey pürüzlülüğüne önemli derece etki ettiği istenilen standartların dışında KFTP delik iç yüzey pürüzlülüğüne neden olduğu tespit edilmiştir.

- Al 7075 için en düşük yüzey pürüzlülük değerinin KFTP/Al 7075 istif yönünde değişken hızlarda (KFTP için Vc:50 m/dk ve f:0.10 mm/dev, Al 7075 için Vc:200 m/dk ve f:0.20 mm/dev) elde edilmiştir.

- Al 7075 alaşımına en yüksek itme kuvvetinin etki ettiği yerde, en düşük yüzey pürüzlüğünü görülmüştür.

- Kesme ve ilerleme hızının artışı takım aşınmasının artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir.

- Sabit kesme ve ilerleme hızlarında delik delme yönünün değiştirilmesi takım aşınmasını olumlu etkilediği, KFTP kompozit malzemeden çıkış sağlandığında aşınma değerlerinin azaldığı görülmüştür.

- İçten soğutma sıvısının kullanılmasının kesici takım ucunda yığıntı talaş oluşumu, takım kanallarında talaş birikmesi ve takım yüzeyinde karbon tozlarının olumsuz etkileri görülmemiştir.

Deneylemler sonucunda elde edilen verilere göre şu öneriler yapılabilir;

- KFTP kompozit malzemenin delik iç yüzeyinde ve katmanlar arası liflerde oluşan delaminasyonun ölçümü ultrasonik tomografi kullanılarak yapılabilir.

- KFTP/Al 7075 istif yapının işlenmesinde işleme parametreleri farklı kesme ve ilerleme hızları kullanılarak optimize edilebilir.

- İstif yapı üzerinde üzerinde daha fazla delik delinerek takım ömrü hesaplanabilir.

- Kesici takım geometrisi ve kaplamalı takımlar ile çalışma yapılabilir.

- İçten soğutma ve kuru şartlarda aynı değişkenler kullanılarak yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve takım aşınmasına etkisi gözlemlenebilir.

KAYNAKÇA

- Aamir, M., Tolouei-Rad, M., Giasin, K., & Nosrati, A. (2019). Recent advances in drilling of carbon fiber–reinforced polymers for aerospace applications: A review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(5), 2289-2308.
- Aamir, M., Giasin, K., Tolouei-Rad, M., & Vafadar, A. (2020). A review: Drilling performance and hole quality of aluminium alloys for aerospace applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 12484-12500.
- Abrão, A. M., Faria, P. E., Rubio, J. C., Reis, P., & Davim, J. P. (2007). Drilling of fiber reinforced plastics: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 1-7.
- An,Q., Chen, J., Ming, W., Chen, M. (2020). Machining of SiC ceramic matrix composites: a review. *Chinese Journal of Aeronautics*.
- Askeland,D. R. (2011). *Askeland-The Science and Engineering of Materials-6th*. Cengage Learning.
- Askeland, D. R.(2013). *Essentials of materials science and engineering-2th*. Cengage Learning.
- Attanasio, A., Faini, F., Outeiro, J. C. (2017). FEM simulation of tool wear in drilling. *Procedia Cirp*, 58, 440-444.
- Aydın, M. (2019). *Development of fiber reinforced cylindrical composite structures by filament winding technique* (Master's thesis) , Izmir Institute of Technology. İzmir.
- Bagci, E., Ozcelik, B. (2005). Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling conditions based on Taguchi method during dry drilling of Al 7075-T651. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Bakır, B.(2012). *Frezelemede Talaş Oluşumunun ve Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi* (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraktar, Ş., & Turgut, Y. (2012). Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi üzerine bir araştırma. 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 04-05.
- Bayraktar Ş., Sıyambaş Y., Turgut Y. (2017). Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya University Journal of Science*, 21(2), 120-130.
- Brinksmeier, E., Janssen, R. (2002). Drilling of multi-layer composite materials consisting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP), titanium and aluminum alloys. *CIRP Annals*, 51(1), 87-90.

- Bromley, H. (2015). *Investigation of integrally-heated tooling and thermal modeling methodologies for the rapid cure of aerospace composites* (Doctoral dissertation). Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- Caggiano, A. (2018). Machining of fibre reinforced plastic composite materials. *Materials*, 11(3), 442.
- Caggiano, A., Nele, L., Teti, R. (2018). Drilling of Fiber-Reinforced composite materials for aeronautical assembly processes. *In Characterizations of Some Composite Materials. IntechOpen*.
- Callister, W. D., Rethwisch, D. G., Blicblau, A., Bruggeman, K., Cortie, M., Long, J., Orwa, J. (2021). *Materials science and engineering*, Wiley.
- Campbell, F. C. (2010). *Structural composite materials*.(p 630). ASM international.
- Chawla K. K. (2011). *Composite Materials Science and Engineering Third Edition*. Springer.
- Che, D., Saxena, I., Han, P., Guo, P., & Ehmann, K. F. (2014). Machining of carbon fiber reinforced plastics/polymers: a literature review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 136(3).
- Chung, D. D. L. (2012). *Carbon fiber composites*. Elsevier.
- Çaylan, C. (2019). *Interfacial Toughening Of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Matrix Composites Using Graphene Oxide Containing Nanofibers* (Doktora Tezi) Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Çelik, A., Lazoglu, I., Kara, A., Kara, F. (2015). Investigation on the performance of SiAlON ceramic drills on aerospace grade CFRP composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 223, 39-47.
- Davim, J. P., Reis, P. (2003). Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite structures*, 59(4), 481-487.
- Davim, J. P., Reis, P. (2003). *Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave—experimental and statistical study. Materials & design*, 24(5), 315-324.
- Davim, J. P., Rubio, J. C., & Abrao, A. M. (2007). A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates. *Composites Science and Technology*, 67(9), 1939-1945.
- Dharan, C. K. H., Won, M. S. (2000). Machining parameters for an intelligent machining system for composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40(3), 415-426.
- D’Orazio, A., El Mehtedi, M., Forcellese, A., Nardinocchi, A., Simoncini, M. (2017). Tool wear and hole quality in drilling of CFRP/AA7075 stacks with DLC and nanocomposite TiAlN coated tools. *Journal of Manufacturing Processes*, 30, 582-592.

- Faraz, A., Biermann, D., Weinert, K. (2009). Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(15), 1185-1196.
- Feito, N., Díaz-Álvarez, J., Díaz-Álvarez, A., Cantero, J. L., & Miguélez, M. H. (2014). Experimental analysis of the influence of drill point angle and wear on the drilling of woven CFRPs. *Materials*, 7(6), 4258-4271.
- Fernández-Pérez, J., Cantero, J. L., Díaz-Álvarez, J., & Miguélez, M. H. (2017). Influence of cutting parameters on tool wear and hole quality in composite aerospace components drilling. *Composite Structures*, 178, 157-161.
- Flachs, J. R., Salahshoor, M., & Melkote, S. N. (2014). Mechanistic models of thrust force and torque in step-drilling of Al7075-T651. *Production Engineering*, 8(3), 319-333.
- Gaugel, S., Sripathy, P., Haeger, A., Meinhard, D., Bernthaler, T., Lissek, F., & Schneider, G. (2016). A comparative study on tool wear and laminate damage in drilling of carbon-fiber reinforced polymers (CFRP). *Composite Structures*, 155, 173-183.
- Geng, D., Liu, Y., Shao, Z., Lu, Z., Cai, J., Li, X., & Zhang, D. (2019). Delamination formation, evaluation and suppression during drilling of composite laminates: a review. *Composite Structures*, 216, 168-186.
- Gökkaya, H., Nalbant, M. (2007). Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 481-488.
- Gunay, M., Yasar, N., Korkmaz, M. E. (2016, May). Optimization of drilling parameters for thrust force in drilling of AA7075 alloy. *In Proceedings of the International Conference on Engineering and Natural Sciences, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina (pp. 24-28)*.
- Grilo, T. J., Paulo, R. M. F., Silva, C. R. M., Davim, J. P. (2013). Experimental delamination analyses of CFRPs using different drill geometries. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1344-1350.
- Gündoğdu, H. E. (2006). *Kesme sıvılı ve kuru talaşlı işlemenin iş parçası ve kesici takım üzerindeki etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Haghshenas, M. (2016). Metal–matrix composites. *Reference module in materials science and materials engineering*, 35, 03950-3.
- Hamade, R. F., Ismail, F. (2005). A case for aggressive drilling of aluminum. *Journal of materials processing technology*, 166(1), 86-97.
- Hassan, M. H., Abdullah, J., Franz, G., Shen, C. Y., Mahmoodian, R. (2021). Effect of Twist Drill Geometry and Drilling Parameters on Hole Quality in Single-Shot Drilling of CFRP/Al7075-T6 Composite Stack. *Journal of Composites Science*, 5(7), 189.

- Iliescu, D. M. F. D., Gehin, D., Gutierrez, M. E., Giroto, F. (2010). Modeling and tool wear in drilling of CFRP. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(2), 204-213.
- Ismail, S. O., Dhakal, H. N., Popov, I., Beaugrand, J. (2016). Comprehensive study on machinability of sustainable and conventional fibre reinforced polymer composites. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(4), 2043-2052.
- İlhan, M. (2014). *Talaş Kaldırma İşlemlerinde Minimum Miktarda Yağlama Uygulamasının Kesme Hızı ve Yağlama Devisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jin-Yih, K., Chun-Yao, H., Chung-Chen, T. (2019). Experimental study of inverted drilling Al-7075 alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9-12), 3519-3529.
- Kaçmaz, A. D. (2017). *Nanoparticle reinforced hybrid composite material production process optimization* (Master's thesis), Abdullah Gül Üniversitesi. Kayseri.
- Kaplan, Y. (2010). *Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karakuş, R. (2020). *Isıya Dayanıklı Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemelerinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Ve İşleme Gürültüsüne Etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir.
- Karataş, M. A., Gökkaya, H. (2018). A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. *Defence Technology*, 14(4), 318-326.
- Karnik, S. R., Gaitonde, V. N., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrão, A. M., & Davim, J. P. (2008). Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. *Materials & Design*, 29(9), 1768-1776.
- Kelly, J. F., Cotterell, M. G. (2002). Minimal lubrication machining of aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 120(1-3), 327-334.
- Kilickap, E. (2010). Modeling and optimization of burr height in drilling of Al-7075 using Taguchi method and response surface methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9), 911-923.
- Kim, J., Dornfeld, D. A. (2002). Development of an analytical model for drilling burr formation in ductile materials. *J. Eng. Mater. Technol.*, 124(2), 192-198.

- Kumar, P., Kumar, B. V., Joshi, R., Manjunatha, T. H. (2018). Evaluation of Al7075 reinforced with SiC for its mechanical properties & surface roughness by drilling. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 25121-25129.
- Mahdi, A., Turki, Y., Habak, M., Salem, M., Bouaziz, Z. (2020). Experimental study of thrust force and surface quality when drilling hybrid stacks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(9), 3981-3994.
- Marques, A. T., Durão, L. M., Magalhães, A. G., Silva, J. F., Tavares, J. M. R. (2009). Delamination analysis of carbon fibre reinforced laminates: evaluation of a special step drill. *Composites Science and Technology*, 69(14), 2376-2382.
- Mayuet, P., Gallo, A., Portal, A., Arroyo, P., Alvarez, M., Marcos, M. (2013). Damaged area based study of the Break-IN and Break-OUT defects in the dry drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP). *Procedia Engineering*, 63, 743-751.
- Meral, G., SARIKAYA, M., Dilipak, H. (2011). Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4), 332-338.
- Merino-Pérez, J. L., Royer, R., Ayvar-Soberanis, S., Merson, E., Hodzic, A. (2015). 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.
- Meshreki, M., Damir, A., Sadek, A., Attia, M. H. (2016, November). Investigation of drilling of CFRP-aluminum stacks under different cooling modes. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Vol. 50527, p. V002T02A011)*. American Society of Mechanical Engineers.
- Mishra, D. (2014). *A study on thermal and dielectric characteristics of solid glass microsphere filled epoxy composites* (Doctoral dissertation). Associate Professor Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology, Rourkela.
- Miskovic, A., Koboević, N., Carića, Ć. (2011, September). The effect of cutting tool geometry on thrust FORCE and delamination when drilling carbon fibre reinforced composite materials. In *Proceedings of the 15th international research/expert conference on trends in the development of machinery and associated technology (pp. 769-772)*.
- Mk, N. K., Ch, C. H., Jaharah, A. G., AKM, N. A. (2012). Tool wear and surface roughness on milling carbon fiber-reinforced plastic using chilled air. *Journal of Asian Scientific Research*, 2(11), 593.
- Montoya, M., Calamaz, M., Gehin, D., Girot, F. (2013). Evaluation of the performance of coated and uncoated carbide tools in drilling thick CFRP/aluminium alloy stacks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(9-12), 2111-2120.

- Mydin, N. M. B. M., Dahnel, A. N. B., Raof, N. A., MK, N. K., Mokhtar, S. (2020). The Effect of Cutting Parameters on Tool Wear in Drilling Aluminium 7075. *Test Engineering & Management*, 1274 – 128.
- Nakai, M., Eto, T. (2000). New aspect of development of high strength aluminum alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering: A*, 285(1-2), 62-68.
- Nouari, M., List, G., Girot, F., Coupard, D. (2003). Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys. *Wear*, 255(7-12), 1359-1368.
- Peker, Z. (2015). *Experimental determination of tool wear in routing and trimming of CFRP composites* (Master's thesis). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Poulachon, G., Outeiro, J., Ramirez, C., André, V., Abrivard, G. (2016). Hole surface topography and tool wear in CFRP drilling. *Procedia CIRP*, 45, 35-38.
- Ramirez, C., Poulachon, G., Rossi, F., & M'Saoubi, R. (2014). Tool wear monitoring and hole surface quality during CFRP drilling. *Procedia CIRP*, 13, 163-168.
- Rasul, S. Y. (2017). *Investigation of surface roughness and tool wear in milling of aluminum alloy by nano cutting fluid* (Master's thesis). Firat University, Elazığ.
- Rawat, S., & Attia, H. (2009). Wear mechanisms and tool life management of WC–Co drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites. *Wear*, 267(5-8), 1022-1030.
- Reddy, A. S., Kumar, G. V., Thirupathaiyah, C. (2013). Influence of the cutting parameters on the hole diameter accuracy and the thrust force in drilling of aluminium alloys. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol*, 2, 6442-6450.
- Rivero, A., Aramendi, G., Herranz, S., Lacalle, L. L. (2006). An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(1), 1-11.
- Rotella, G. (2019). Effect of surface integrity induced by machining on high cycle fatigue life of 7075-T6 aluminum alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 41, 83-91.
- Rubio, J. C., Abrao, A. M., Faria, P. E., Correia, A. E., Davim, J. P. (2008). Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: evaluation of the delamination factor. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(6), 715-720.
- Santos, M. C., Machado, A. R., Sales, W. F., Barrozo, M. A., Ezugwu, E. O. (2016). Machining of aluminum alloys: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(9), 3067-3080.
- Sezer, İ. (2011). *Determination of Mode II Delamination Resistance of Carbon/epoxy Laminated Composites* (Doctoral dissertation). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Shahrajabian, H., Hadi M., Farahnakian, M. (2012). Experimental investigation of machining parameters on machinability of carbon fiber/epoxy composites. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 3(3), 30-36.
- Sharma, N. (2014). *Study of water absorption behaviour of natural fibre reinforced composites* (Doctoral dissertation). Associate Professor Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology, Rourkela.
- Shyha, I., Soo, S. L., Aspinwall, D. K., Bradley, S., Dawson, S., Pretorius, C. J. (2010). Drilling of titanium/CFRP/aluminium stacks. In *Key Engineering Materials* (Vol. 447, pp. 624-633). Trans Tech Publications Ltd.
- Soutis, C. (2005). Fibre reinforced composites in aircraft construction. *Progress in aerospace sciences*, 41(2), 143-151.
- Sreenivasulu, R., Rao, C. S. (2020). Optimum combination of machining parameters during drilling of Aluminium 7075 alloys using Grey based Taguchi approach. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 4.
- Su, F., Li, C., Li, W., Deng, Z., Sun, F., Wu, Q. (2020). Cutting forces and correlation with the damages during CFRP drill-milling by using novel drill-milling tool. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108(7), 2661-2674.
- Suresh, S., Sudhakara, D., Vinod, B. (2020). Investigation on mechanical, wear, and machining characteristics of Al 7075/MWCNTs using the liquid state method. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3, 243-254.
- Şeker, H. (2010). *Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi* (Yüksek Lisans Tezi).Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Taga, Ö. (2015). *In-Line Cutting Operation Control In Finising By Measuring Surface Roughness* (Doktora Tezi). Dokuz Eylül University, İzmir.
- Tamura, S., Matsumura, T. (2021). Delamination-free drilling of carbon fiber reinforced plastic with variable feed rate. *Precision Engineering*, 70, 70-76.
- Troeger, L. P., & Starke Jr, E. A. (2000). Microstructural and mechanical characterization of a superplastic 6xxx aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 277(1-2), 102-113.
- Tsao, C. C., Hocheng, H. (2004). Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(10), 1085-1090.
- Tsao, C. C., & Hocheng, H. (2007). Effect of tool wear on delamination in drilling composite materials. *International journal of mechanical sciences*, 49(8), 983-988.
- Tsao, C. C. (2008). Investigation into the effects of drilling parameters on delamination by various step-core drills. *Journal of materials processing technology*, 206(1-3), 405-411.

- Uyar, İ. (2014). *Experimental investigation of dynamic delamination in curved composite laminates* (Master's thesis) Middle East Technical University. Ankara.
- Yaşar, N., Boy, M., & Günay, M. (2017). The effect of drilling parameters for surface roughness in drilling of AA7075 alloy. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 112, p. 01018). EDP Sciences.
- Yaşar, N. (2017). *Lamine Kompozitlerle İstiflenmiş Metal Malzemelerin Delinebirliğinin Araştırılması* (Doktora Tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Yaşar, N. (2019). Thrust force modelling and surface roughness optimization in drilling of AA-7075: FEM and GRA. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(10), 4771-4781.
- Zhang, H. J., Chen, W. Y., Chen, D. C., Zhang, L. C. (2001). Assessment of the exit defects in carbon fibre-reinforced plastic plates caused by drilling. In *Key Engineering Materials* (Vol. 196, pp. 43-52). Trans Tech Publications Ltd.
- Zhang, X., Yu, T., Li, M., Wang, Z. (2020). Effect of machining parameters on the milling process of 2.5 DC/SiC ceramic matrix composites. *Machining Science and Technology*, 24(2), 227-244.
- Zitoune, R., Krishnaraj, V., Collombet, F. (2010). Study of drilling of composite material and aluminium stack. *Composite structures*, 92(5), 1246-1255.
- Zitoune, R., Krishnaraj, V., Almabouacif, B. S., Collombet, F., Sima, M., Jolin, A. (2012). Influence of machining parameters and new nano-coated tool on drilling performance of CFRP/Aluminium sandwich. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 1480-1488.
- Zitoune, R., Krishnaraj, V., Collombet, F., Le Roux, S. (2016). Experimental and numerical analysis on drilling of carbon fibre reinforced plastic and aluminium stacks. *Composite Structures*, 146, 148-158.
- Wang, H., Sun, J., Li, J., Li, W. (2014). Investigation on delamination morphology during drilling composite laminates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74(1-4), 257-266.
- Wang, C. Y., Chen, Y. H., An, Q. L., Cai, X. J., Ming, W. W., & Chen, M. (2015). Drilling temperature and hole quality in drilling of CFRP/aluminum stacks using diamond coated drill. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16(8), 1689-1697.

EKLER

Ek 1: Al 7075 T651 Alaşımına Ait Malzeme Sertifikası

CER115660

Certified Inspection Report



Arconic Europe - Flat Rolled Products
PO Box 383, Kims Green Road,
Kims Green, BIRMINGHAM, B33 9QR,
UNITED KINGDOM
Tel: +44 (0)121 252 8000 Fax: +44 (0)121 252 8001

Invoice To Customer
ALTEK METAL SANAYI VE TICARET AS
BUYUKDERE CD NO120 A BLOK K2
ESENYEPE ISTANBUL, 34394, TR

Ship To Customer
ALTEK METAL SANAYI VE TICARET AS
VELINYOY SANAYI BOLGESI
SANAYI MAH.3 CAD NO:2A
CERKEZKOY-TEKIRDAG, 39100, TR

Sales Order Number 1318879		Line No. 1.1	Customer P/O ARC221046 Line NO:1	Cert Number 2443391	Page 1/3
Quantity Shipped		Date Shipped		Cert Creation Date 22-APR-21	Cert Print Date 22-APR-21
Inspection Category MILL CERTS		Item No. A221049120R2S		Item Description BARE, 7075-T651, ROLLED PLATE BARE EDGE STANDARD BI-LAT TOLS, KITTS_GREEN SAWED, MLL FDUSH, NONE 10.0 MMT TK [+ .559- .559] 0.3937 DNH TK 1720.0 MMT WD [+7.938-0] 59.8425 DNH WD 3020.0 MMT LN [+9.325-0] 116.898 DNH LN B 11 83 9% MAX GROSS WEIGHT 1000.0 KGM 2205.0 LB ---SPEC 1: ANSI H35.2(ENGLISH) TOL (AERO),2017 SPEC 2: AMS-QQ-A-250/12 T651.A	
Delivery Number 27418349		Customer Account Number 102878		Header Notes This single document represents the combined Certificate of Conformity (CoC) & Inspection Certificate and complies with EN 10204 type 3.1. The site is approved to BS EN9100:2016 & ISO9001:2015 (FM12976 - BS) and ISO 14001:2015 (US012293 - BV). Please check the notes section on this CoC for the specific customer approvals relevant to this order. Refer to our Sale Conditions as per original order acknowledgement for product liability statement. Material Safety Data Sheets available at www.arconic.com	
Customer Part No					

Legal Statement
We hereby certify that, unless otherwise indicated, the material covered by this report has been manufactured, inspected, and tested in accordance with, and has been found to meet, the applicable requirements described herein, including any specifications forming a part of the description and that samples representative of the material met the composition. Also, note that mercury is not a normal constituent in aluminum alloys and neither it nor any of its compounds are used in the manufacture of our product. This certification is not to be reproduced in partial form without prior written approval of our Quality Assurance Dept.

Signed for and on behalf of Arconic Manufacturing (GB) Limited trading as Arconic Europe Flat Rolled Products

Electronic signature of approver
Rebecca-Louise Mobbs, Signatory Release

Inspection Stamp



Quantities per Lot / Packages

Package Number	Lot/Slab	Mult Number	Number Of Plates	Weight in KGM	
				Gross	Net
B5521-30171	5801201/3V2841C	--	3	--	387
B5521-30171	5801202/3V2841C	--	2	--	258
B5521-30171	5801203/3V2841C	--	2	93.1	259
B5521-30172	5800202/3V2831D	--	1	--	130
B5521-30172	5800203/3V2831D	--	3	--	388
B5521-30172	5801202/3V2841C	--	1	--	130
B5521-30172	5801203/3V2841C	--	1	80.4	129
B5521-30173	5800201/3V2831D	--	4	--	518
B5521-30173	5800202/3V2831D	--	3	--	389
B5521-30173	5800203/3V2831D	--	1	106.4	129

Certified Inspection Report



Arconic Europe - Flat Rolled Products
PO Box 383, Kims Green Road,
Kims Green, BIRMINGHAM, B33 9QR,
UNITED KINGDOM
Tel: +44 (0)121 252 8000 Fax: +44 (0)121 252 8001

Sales Order Number 1318879		Line No. 1.1	Customer P/O ARC221046 Line NO:1	Cert Number 2443391	Page 2/3
Quantity Shipped		Date Shipped		Cert Creation Date 22-APR-21	Cert Print Date 22-APR-21

Quantities per Lot / Packages

Package Number	Lot/Slab	Mult Number	Number Of Plates	Weight in KGM	
				Gross	Net
TOTAL for Packages	--	--	21	2799	2717

Composition Results

Cast Number	Si PCT	Fe PCT	Cu PCT	Mn PCT	Mg PCT	Cr PCT	Zn PCT	Ti PCT
3V2831D	0.10	0.16	1.6	0.05	2.5	0.20	5.7	0.03
3V2841C	0.08	0.15	1.6	0.04	2.5	0.21	5.7	0.03

Composition Results

Cast Number	Others Total PCT
3V2831D	0.03
3V2841C	0.03

Stretching - Test Results

Temper	Lot	Test Dir.	Pos'n	Gauge Length	Stretch %	
					Min	Max
T651	5800201	T651.L.T.A.C.3W	A50	609.6	12.7	14.4
					12.2	12.6
T651	5800202	T651.L.T.A.C.3W	A50	600.7	12.2	12.6
					12.2	12.2
T651	5800203	T651.L.T.A.C.3W	A50	592.9	13.5	14.9
					13.7	13.0
T651	5801201	T651.L.T.A.C.3W	A50	599.3	13.7	13.7
					13.4	13.4
T651	5801202	T651.L.T.A.C.3W	A50	609.5	13.4	13.4
					13.3	13.3
T651	5801203	T651.L.T.A.C.3W	A50	614.0	13.3	13.3
					13.3	13.3

Tensile Properties Test

Test Results

Temper	Lot	Test Dir.	Pos'n	Gauge Length	UTS		Elongation %		0.2% Proof Stress	
					MPA	MPA	PCT	MPA	MPA	MPA
T651	5800201	T651.L.T.A.C.3W	A50	609.6	12.7	14.4	12.2	12.6	12.2	12.6
					12.2	12.2	12.2	12.2		
T651	5800202	T651.L.T.A.C.3W	A50	600.7	12.2	12.6	12.2	12.6	12.2	12.6
					12.2	12.2	12.2	12.2		
T651	5800203	T651.L.T.A.C.3W	A50	592.9	13.5	14.9	13.7	13.0	13.4	13.4
					13.7	13.7	13.4	13.4		
T651	5801201	T651.L.T.A.C.3W	A50	599.3	13.7	13.7	13.7	13.7	13.4	13.4
					13.4	13.4	13.4	13.4		
T651	5801202	T651.L.T.A.C.3W	A50	609.5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
					13.3	13.3	13.3	13.3		
T651	5801203	T651.L.T.A.C.3W	A50	614.0	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
					13.3	13.3	13.3	13.3		

Ek 1-devam

Certified Inspection Report



Arconic Europe - Flat Rolled Products
 PO Box 383, Kim Gowan Road,
 Kim Gowan BIRMINGHAM B33 9QR,
 UNITED KINGDOM
 Tel: +44 (0)121 252 8900 Fax: +44 (0)121 252 8001

Sales Order Number		Customer P/O	Cert Number 2443391	Page 3/3
1318879	Line No. 1.1	ARC221046 Line NO:1	Cert Creation Date 22-APR-21	Cert Print Date 22-APR-21

Certification Notes	
SFR LOT NUMBER : 1741458002 - LOT NUMBER : 5800201 SFR LOT NUMBER : 1741458012 - LOT NUMBER : 5801203 SFR LOT NUMBER : 1741458012 - LOT NUMBER : 5801202 SFR LOT NUMBER : 1741458002 - LOT NUMBER : 5800202 SFR LOT NUMBER : 1741458012 - LOT NUMBER : 5801201 SFR LOT NUMBER : 1741458002 - LOT NUMBER : 5800203 ALUMINIUM ALLOY PLATE Package Number : HTGE Material : AMS-QQ-A-250/12 T651 , Revision A Inspection : ANSI H35.2(ENGLISH) TOL (AERO) , Revision 2017 Heat Treatment : AMS 2772 , Revision G , Heat Treatment of Aluminum Alloy Raw Materials Technical : AMS-QQ-A-250 , Revision B , ALUMINIUM AND ALUMINIUM ALLOY, PLATE A ND SHEET GENERAL SPECIFICATION Test Method : ASTM B 557 , Revision 15 , Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Alumin um and Magnesium Alloy Products	

Ek 2: Deney Sonuçları.

Deney Grubu 2’de elde edilen sonuçlar						
Deli k No	Kesici Takım Girişi		Kesici Takım Çıkışı			
	Al 7075		KFTP			
	Vc:200 m/dk, f:0.20 mm/dev		Vc:50 m/dk, f:0.10 mm/dev			
	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Delaminasyon	
Giriş					Çıkış	
1	592	0.785	-548	2.337	1.12	1.27
10	598	0.591	-625	1.436	1.21	1.46
20	639	0.621	-602	1.333	1.26	1.47
30	664	0.660	-608	1.381	1.15	1.83
40	741	0.631	-547	1.564	1.45	1.66
50	1069	0.704	-550	1.366	1.19	1.72
60	804	0.503	-583	1.805	1.13	1.99
62	793	0.968	-597	2.260	1.30	2.03
Deney Grubu 3’de elde edilen sonuçlar						
Deli k No	Kesici Takım Girişi			Kesici Takım Çıkışı		
	KFTP			Al 7075		
	Vc:50 m/dk, f:0.10 mm/dev			Vc:50 m/dk, f:0.10 mm/dev		
	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Delaminasyon		İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
Giriş			Çıkış			
1	215	2.777	1.03	1.11	491	0.852
10	270	1.687	1.19	1.25	526	0.654
20	336	1.496	1.10	1.44	579	1.549
30	381	1.043	1.76	1.25	615	1.040
40	407	1.138	1.09	1.36	633	1.113
50	414	1.136	1.31	1.58	634	1.785
60	450	1.186	1.24	1.24	680	1.042
62	509	1.150	1.34	1.62	730	1.662

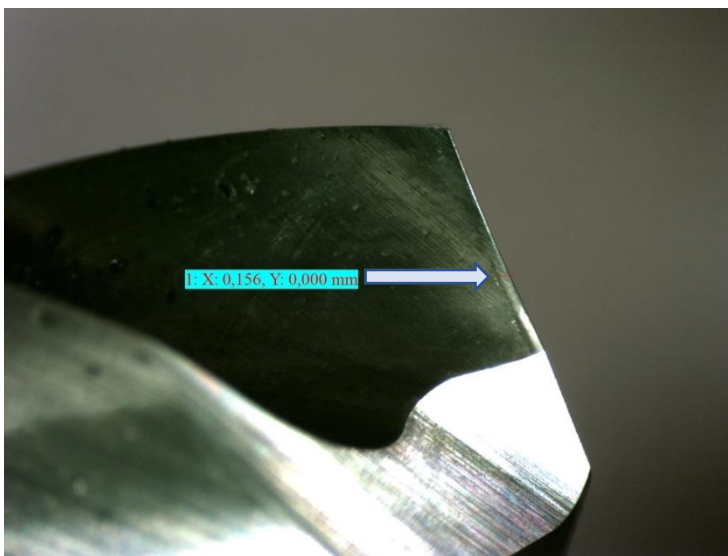
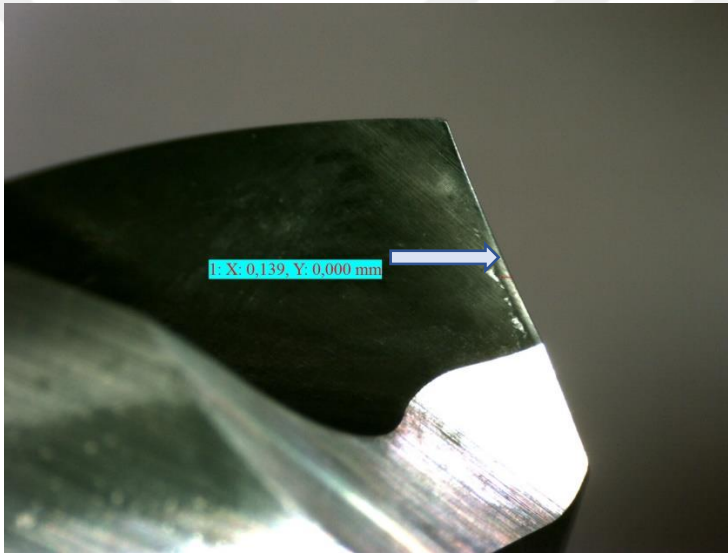
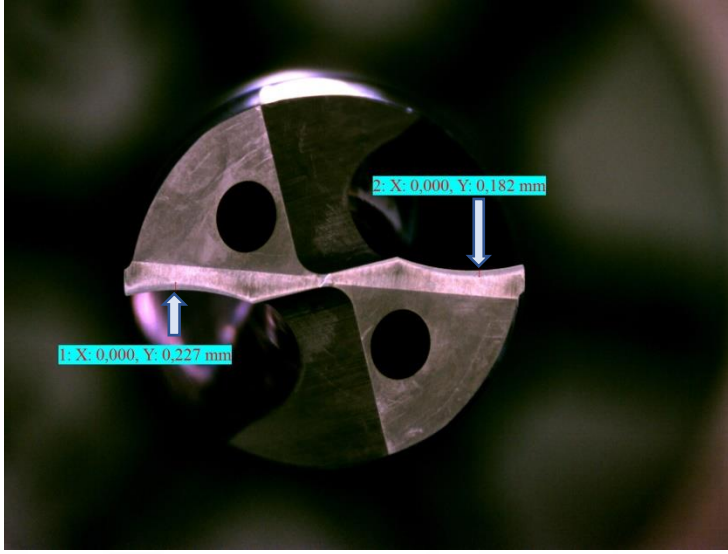
Ek 2-devam

Deney Grubu 4’de elde edilen sonuçlar						
Delik No	Kesici Takım Girişi		Kesici Takım Çıkışı			
	Al 7075		KFTP			
	Vc:50 m/dk, f:0.10 mm/dev		Vc:50 m/dk, f:0.10 mm/dev			
	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Delaminasyon	
Giriş					Çıkış	
1	462	0.772	205	1.852	1.20	1.24
10	523	0.845	271	0.650	1.12	1.50
20	530	0.989	305	0.824	1.22	1.50
30	585	1.146	357	0.814	1.17	1.60
40	629	0.754	397	1.181	1.24	1.74
50	599	0.927	374	1.361	1.32	2.05
60	610	0.884	411	1.007	1.21	1.77
62	735	0.771	509	1.143	1.20	2.22
Deney Grubu 5’de elde edilen sonuçlar						
Delik No	Kesici Takım Girişi			Kesici Takım Çıkışı		
	KFTP			Al 7075		
	Vc:200 m/dk, f:0.20 mm/dev			Vc:200 m/dk, f:0.20 mm/dev		
	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Delaminasyon		İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
Giriş			Çıkış			
1	157	3.424	1.56	1.00	550	0.580
10	189	4.282	1.42	1.07	536	0.638
20	216	3.257	1.42	1.22	556	0.966
30	253	2.726	1.30	1.09	574	0.729
40	296	3.532	1.69	1.13	597	0.616
50	327	2.357	1.37	1.24	626	0.595
60	354	3.066	1.38	1.08	656	0.639
62	347	2.862	1.57	1.16	631	0.653

Ek 2-devam

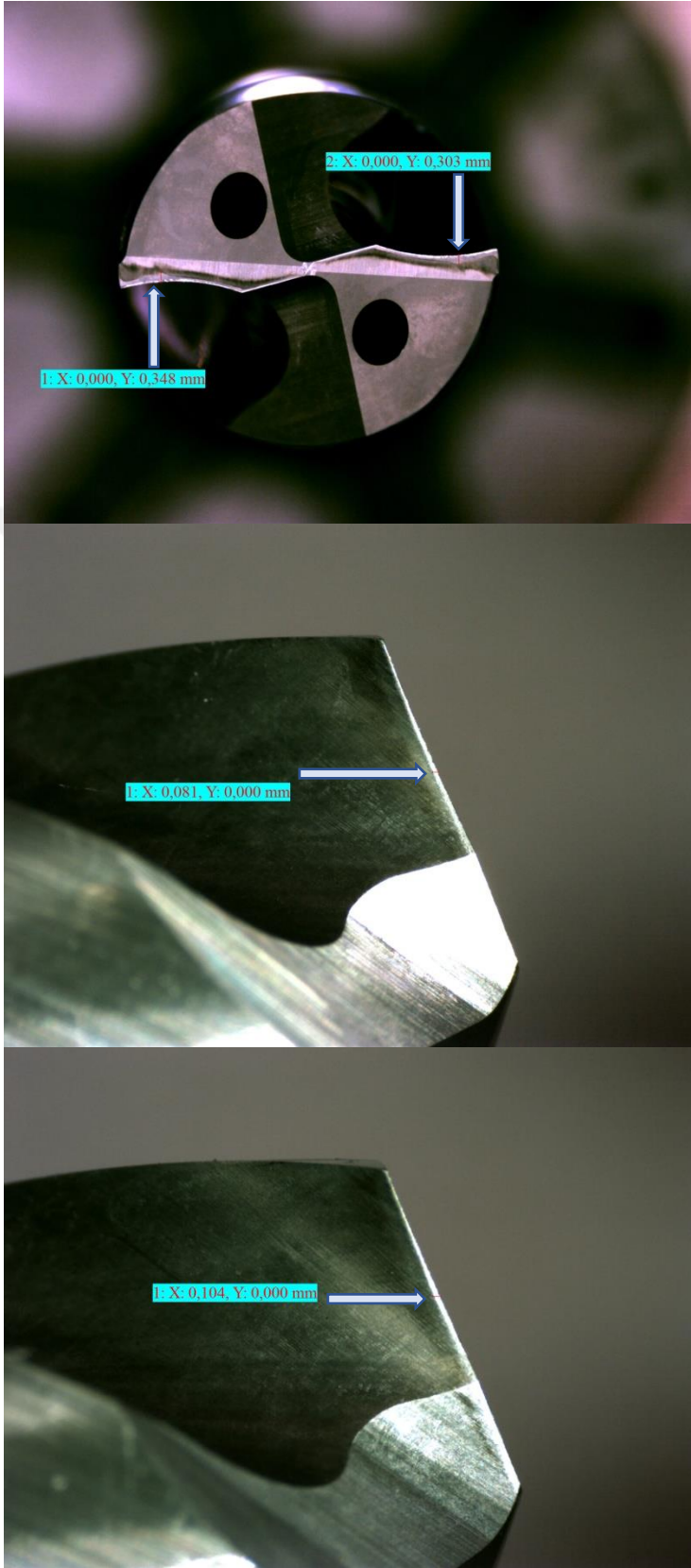
Deney Grubu 6'da elde edilen sonuçlar						
Deli k No	Kesici Takım Girişi		Kesici Takım Çıkışı			
	Al 7075		KFTP			
	Vc:200 m/dk, f:0.20 mm/dev		Vc:200 m/dk, f:0.20 mm/dev			
	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	İtme Kuvveti (N)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Delaminasyon	
Giriş					Çıkış	
1	589	0.698	183	3.672	1.08	1.08
10	513	1.661	168	3.612	1.16	1.34
20	579	1.360	235	3.346	1.19	1.40
30	619	1.231	277	3.374	1.22	1.33
40	624	0.451	296	3.430	1.23	1.45
50	642	1.035	307	3.106	1.32	1.50
60	663	1.118	342	2.585	1.35	1.42
62	645	1.208	317	3.617	1.33	1.53

Ek 3: Takım Aşınma Görüntüleri



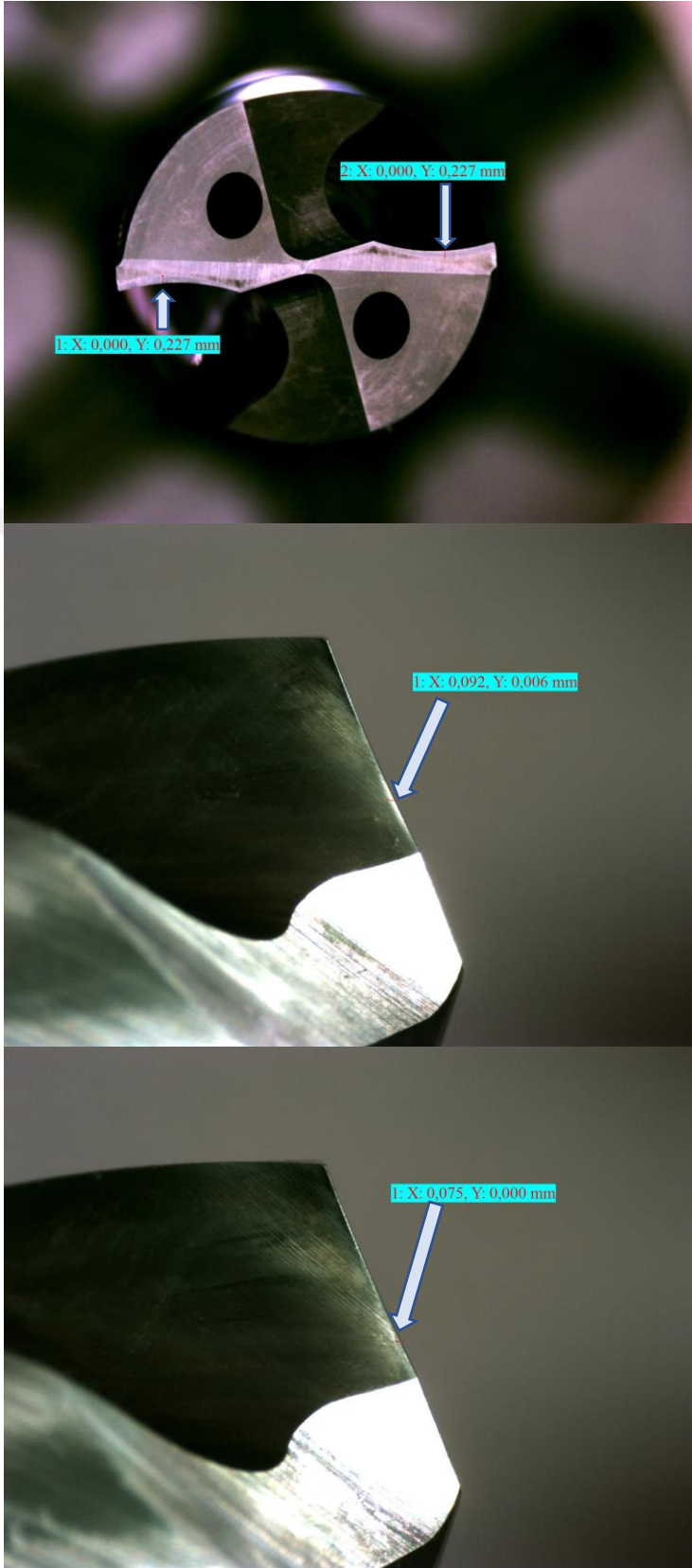
Deney gurubu 2’de kullanılan kesici takımın aşınma görüntüleri.

Ek 3-devam



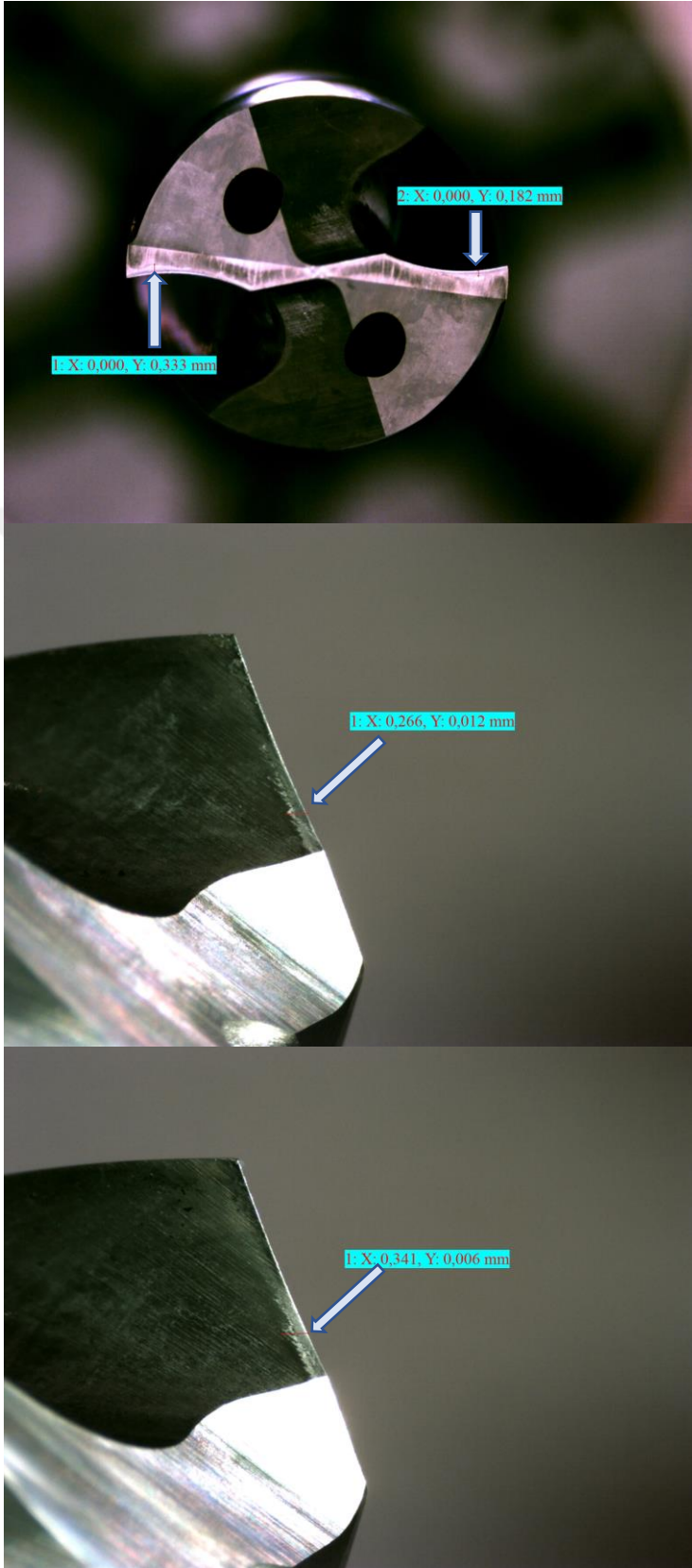
Deney gurubu 3’de kullanılan kesici takımın aşınma görüntüleri.

Ek 3-devam



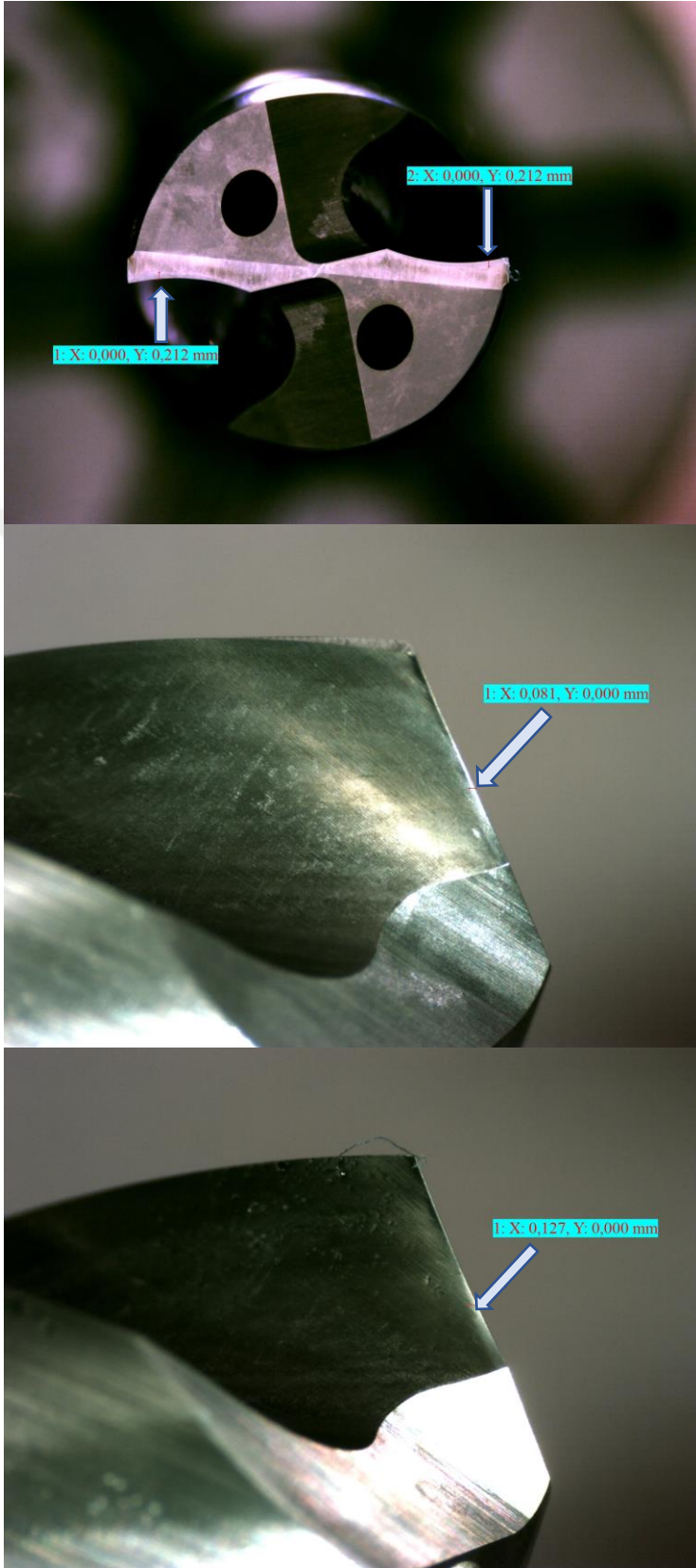
Deney gurubu 4’de kullanılan kesici takımın aşınma görüntüleri.

Ek 3-devam



Deney gurubu 5’de kullanılan kesici takımın aşınma görüntüleri.

Ek 3-devam



Deney gurubu 6'de kullanılan kesici takımın aşınma görüntüleri.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAKOCA, Yunus Emre
Uğruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri :
Telefon :
e-mail :

Eğitim

Derece	Üniversite ve Bölüm	Mezuniyet tarihi
Lisans	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi- Makine Mühendisliği (İngilizce)	23.06.2017

Meslekî Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2017-2018	Yaren Mühendislik	Proje Mühendisi
2019-	Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Ranjbar, M, Arslan, H., Keskin, O., Demirtaş, S., Karakoca, Y.. (2018). Modal Analiz Test Düzenineğinin Tasarımı ve İmalatı - Birinci Bölüm: Harmonik Titreştirici Geliştirilmesi. Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences, (8), 54-62.