



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AI KATMANLAR KULLANILARAK
ÜRETİLMİŞ FİBER METAL TABAKALI
KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Serhat ŞANLITÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**TEMMUZ-2020
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Serhat ŞANLITÜRK tarafından hazırlanan “Al Katmanlar Kullanılarak Üretilmiş Fiber Metal Tabakalı Kompozitlerin Delinmesinin Araştırılması” adlı tez çalışması 07/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

Danışman

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Üye

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Serhat ŞANLITÜRK

Tarih: 07.07.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AI KATMANLAR KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ FİBER METAL TABAKALI KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Serhat ŞANLITÜRK

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

2020, 76 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Doç. Dr. Ahmet YARDİMEDEN

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Havacılık ve uzay endüstrisindeki gelişmeler yeni ve üstün özelliklere sahip malzeme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu malzemelerin en önemlisi fiber metal tabakalı (FMT) kompozitlerdir. FMT kompozitlere olan bu ilgi metal ve kompozit bileşenlerin olağanüstü özelliklerini bir araya getirmesinden kaynaklanmaktadır. FMT kompozitler, hava araçlarının yorulmaya maruz kalan parçalarında kullanılmak üzere geliştirilen ve üzerinde AR&GE çalışmalarının devam ettiği hibrit malzemelerdir. FMT kompozit parçaların birleştirilmeleri ve şekillendirilmeleri için delme, frezeleme, tornalama gibi talaşlı işleme ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu malzemelerin talaşlı işlenmesi hem metalik malzemelerin hem de kompozit malzemelerin işlenmesinden farklıdır. Bunların işlenmesinde boyutsal sapma, deformasyon, kötü bir yüzey kalitesi, çapak gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için uygun işleme parametrelerinde işlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, FMT kompozitlerin delme performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Delme deneyleri için kesici takım olarak yüksek hız çeliği (HSS), TiN kaplı HSS ve sert karbür (SK) kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler; 1000, 2000 ve 3000 dev/dak iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme değerlerinde yapılmıştır. Burada amaç kesici takım malzemesinin, iş mili devrinin ve ilerlemenin kesme kuvveti, maksimum çap, çap sapması ve çapak yüksekliği üzerine etkileri deneysel araştırmaktır. İş mili devrinin artması ile kesme kuvveti ve çapak yüksekliği artarken delik çap sapması azalmıştır. İlerlemenin artması ile kesme kuvveti, çap sapması ve çapak yüksekliği artmıştır. En iyi sonuçlar sert karbür kesici takımın kullanıldığı deneylerden elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Delme, Fiber Metal Tabakalı Kompozitler, GLARE, Kompozit Malzemeler, Kesici Takım Malzemesi

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE DRILLING OF FIBER METAL LAYER COMPOSITES PRODUCED BY USING AI LAYERS

Serhat ŞANLITÜRK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

2020, 76 Pages

Jury

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Assoc. Prof. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

The developments in the aviation and aerospace industry reveal the need for new and superior materials. The most important of these materials are fiber metal layer (FMT) composites. This interest in FMT composites stems from the combination of the excellent properties of metal and composite components. FMT composites are hybrid materials developed to be used in parts of the aircraft subject to fatigue and on which R&D studies continue. For machining and shaping FMT composite parts, machining, such as drilling, milling, turning is needed. However, machining of these materials is different from the machining of both metallic materials and composite materials. In their machining, problems such as dimensional deviation, deformation, poor surface quality and burrs occur. In order to overcome these problems, it must be machined in appropriate processing parameters.

In this study, it was aimed to determine the drilling performance of FMT composites. High speed steel (HSS), TiN coated HSS and hard carbide (WC) cutting tools were used as cutting tools for drilling tests. Experiments were carried out at the spindle speeds of 1000, 2000 and 3000 rpm and the feed rates of 0.05, 0.10 and 0.15 mm/rev. The aim is to experimentally investigate the effects of cutting tool material, the spindle speed and feed on cutting force, maximum diameter, diameter deviation and burr height. With increasing spindle speed, cutting force and burr height increased while hole diameter deviation decreased. Cutting force, hole diameter deviation and burr height have increased with increasing feed. The best results were obtained from experiments using hard carbide cutting tools.

Keywords: Aluminum, Composite Materials, Cutting Tool Material, Drilling, Fiber Metal Layered Composites, GLARE.

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması; Giriş, Kompozit Malzemeler hakkında genel bilgiler, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışma ve Sonuçlar bölümlerinden oluşmaktadır. Tez konusunun önemi ve yapılan literatür çalışmaları giriş bölümünde verilmiştir. Genel Bilgiler bölümünde kompozit malzemelerin tanımı, sınıflandırılması ve özellikleri, fiber metal tabakalı kompozitlerin tanımı, tarihçesi sınıflandırılması ve üretim teknikleri ile ilgili bilgilere değinilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde deney malzemesi olarak kullanılan fiber metal tabakalı kompozit, deneylerde kullanılan makine, teçhizat ve deney parametreleri hakkında bilgi verilmiştir. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde, fiber metal tabakalı kompozitin delinmesi sonucu elde edilen veriler tartışılmıştır. Sonuçlar bölümünde ise en iyi sonuçların hangi numunelerden elde edildiğine ve en iyi delik kalitesi için en uygun işleme parametrelerinin ne olduğuna değinilmiştir.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde çalışmaların tamamlanmasında ve tezin yazılması süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan ve destek veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Erol KILIÇKAP'a, teşekkür ederim. Deneylerimin yapılmasında laboratuvar imkânlarından faydalanmamı sağlayan Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Vedat ORUÇ'a ve Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Hamit ADİN'e, ve eğitim hayatım boyunca bana değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım süresince beni destekleyen ve çalışmamı motive eden sevgili eşim Beyza ŞANLITÜRK'e ve bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Serhat ŞANLITÜRK
BATMAN-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	13
2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	13
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	14
2.2.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma.....	15
2.2.1.1. Metal matrisli kompozit malzemeler	15
2.2.1.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler	15
2.2.1.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler.....	16
2.2.2. Takviye malzemesine göre sınıflandırma	17
2.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler	17
2.2.2.2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler	17
2.2.2.3. Tabakalı kompozit malzemeler.....	18
2.2.2.4. Karma (Hibrit) kompozit malzemeler.....	18
2.3. Fiber Metal Tabakalı Kompozitler	19
2.3.1. FMT kompozitlerin gelişimi	20
2.3.2. FMT kompozitlerin özellikleri.....	21
2.3.3. FMT kompozitlerin çeşitleri	22
2.3.3.1. ARALL FMT kompozitler.....	23
2.3.3.2. CARALL FMT kompozitler.....	24
2.3.3.3. GLARE FMT kompozitler.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	27
3.2. Deney Malzemesinin Üretim Aşamaları.....	30
3.3. Deney Malzemesinin Çekme Dayanımının Belirlenmesi.....	31
3.4. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi ve Kesici Takım Seçimi	32
3.5. Deney Seti ve Delme Deneyi.....	34
3.6. Deneyde Kullanılan Cihaz ve Aletler	35
3.6.1. Kesme kuvveti ve momentinin belirlenmesi	35

3.6.2. Çapak oluşumu	38
3.6.3. Delik çapı ve çap sapması ölçümleri	38
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. GLARE Kompozitin Çekme Deneyi Sonuçları.....	40
4.2. GLARE Kompozitin Delinmesine Ait Deneysel Sonuçlar.....	41
4.3. Delme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi	42
4.4. Delme Parametrelerinin Delik Çapı ve Çap Sapması Üzerine Etkileri	46
4.5. Delme Parametrelerinin Çapak Yüksekliği Üzerine Etkileri.....	51
5. SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR	61
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kompozitlerin sınıflandırılması; (a) Fiber (elyaf) takviyeli, (b) parçacık takviyeli, (c) tabakalı, (d) karma (hibrit)	15
Şekil 2.2. Fiber metal tabakalı Genel görünümü (Giasin, 2017).....	19
Şekil 2.3. ARALL 2 FMT kompozitlerin şematik gösterimi.	23
Şekil 2.4. CARALL FMT'lerin şematik gösterimi	24
Şekil 2.5. GLARE FMT'lerin şematik gösterimi: (a) tek yönlü (0/0) cam elyaf katmanlı GLARE 2 (b)Çapraz katlı (0/90) cam elyaf katmanlı GLARE 3 (Hu ve ark., 2015).....	25
Şekil 3.1. GLARE kompozit yapımında kullanılan Al 7075 levhalar.....	28
Şekil 3.2. GLARE kompozit yapımında kullanılan cam fiber kompozit levhalar	29
Şekil 3.3. 3M marka EC-2216 B/A model epoksi	30
Şekil 3.4. Üretilen GLARE kompozitlerin üstten görünüşü	31
Şekil 3.5. Üretilen GLARE kompozitlerin yandan görünüşü	31
Şekil 3.6. Shimadzu AG-X çekme testi cihazı	31
Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan kesici takımlara ait resimler a) Kaplamasız HSS b) TiN Kaplı HSS c) Sert karbür	33
Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan CNC dik işleme merkezi.....	34
Şekil 3.9. Dinamometre üzerindeki bileşenler	35
Şekil 3.10. 9257B dinamometrenin boyutları	36
Şekil 3.11. Dinamometrenin yükselticiye bağlantısı şeması.....	36
Şekil 3.12. Kesme kuvveti ölçüm deney düzeneği	37
Şekil 3.13. Kesme kuvveti düzeneği ve ekran görüntüsü	37
Şekil 3.14. Delik çapı ölçümünde kullanılan iç çap mikrometresi.....	38
Şekil 3.15. İç çap mikrometresi probunun resmi	39
Şekil 4.1. GLARE hibrit kompozite ait çekme kuvveti-uzama diyagramı.....	40
Şekil 4.2. Deney numunesinin kırılan yüzeyine ait görüntüler	40
Şekil 4.3. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (Kaplamasız HSS).....	42
Şekil 4.4. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (TiN Kaplı HSS)	43

Şekil 4.5. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (Sert Karbür)	43
Şekil 4.6. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (Kaplamasız HSS)	43
Şekil 4.7. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (TiN Kaplı HSS)	44
Şekil 4.8. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (Sert Karbür)	44
Şekil 4.9. Takım malzemesi ve delme parametrelerinin kesme kuvvet üzerine etkisi	45
Şekil 4.10. Delme parametrelerine göre maksimum delik çapı (Kaplamasız HSS).....	47
Şekil 4.11. Frezeleme parametrelerine göre delik çapındaki maks. sapma (Kaplamasız HSS)	47
Şekil 4.12. Frezeleme parametrelerine göre maks. delik çapı (TiN Kaplı HSS).....	48
Şekil 4.13. Frezeleme parametrelerine göre delik çapındaki maks. sapma (TiN Kaplı HSS).....	48
Şekil 4.14. Frezeleme parametrelerine göre Maks. delik çapı (Sert Karbür)	49
Şekil 4.15. Frezeleme parametrelerine göre delik çapındaki maks. sapma (Sert Karbür)	49
Şekil 4.16. Kesici takım ve delme parametrelerinin delik çapındaki sapmaya etkileri	50
Şekil 4.17. Kaplamasız HSS için Delik çıkış yüzeyindeki çapak yüksekliği	51
Şekil 4.18. TiN Kaplı HSS için delik çıkış yüzeyindeki çapak boyu.....	51
Şekil 4.19. Sert Karbür için Delik çıkış yüzeyindeki çapak boyu, μm	52
Şekil 4.20. Farklı matkap uçlarına göre delik çıkış yüzeyindeki çapak boylarının karşılaştırılması	52
Şekil 1. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (1. deney)	67
Şekil 2. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (2. deney)	67
Şekil 3. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (3. deney)	67
Şekil 4. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (4. deney)	68
Şekil 5. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (5. deney)	68
Şekil 6. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (6. deney)	68
Şekil 7. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (7. deney)	69
Şekil 8. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (8. deney)	69
Şekil 9. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (9. deney)	69
Şekil 10. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (10. deney)	70
Şekil 11. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (11. deney)	70
Şekil 12. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (12. deney)	70

Şekil 13. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (13. deney)	71
Şekil 14. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (14. deney)	71
Şekil 15. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (15. deney)	71
Şekil 16. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (16. deney)	72
Şekil 17. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (17. deney)	72
Şekil 18. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (18. deney)	72
Şekil 19. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (19. deney)	73
Şekil 20. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (20. deney)	73
Şekil 21. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (21. deney)	73
Şekil 22. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (22. deney)	74
Şekil 23. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (23. deney)	74
Şekil 24. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (24. deney)	74
Şekil 25. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (25. deney)	75
Şekil 26. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (26. deney)	75
Şekil 27. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (27. deney)	75

TABLolar LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. FML'lerin genel sınıflandırılması (Sinmazcelik ve ark., 2001).....	22
Tablo 2.2. Ticari Olarak Standartlaştırılmış ARALL FMT'ler (Khan ve ark., 2009).....	24
Tablo 2.3. Standartlaştırılmış GLARE Sınıfları (Vlot ve Gunnink, 2001)	26
Tablo 3.1. Al 7075-T6 alüminyum alaşımının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	28
Tablo 3.2. Al 7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%).....	28
Tablo 3.3. E tipi cam fibere ait bazı özellikleri.....	29
Tablo 3.4. E tipi cam fiberin kimyasal bileşimi (%).....	29
Tablo 3.5. 3M marka EC-2216 B/A model epoksinin bazı özellikleri.....	30
Tablo 3.6. Kesme Parametreleri ve Değerleri	32
Tablo 3.7. Delme deneylerinde kullanılan CNC dik işleme tezgâhın özellikleri	34
Tablo 3.8. İç çap mikrometresinin bazı özellikleri	39
Tablo 4.1. Kaplamasız HSS kesici takıma ait deney sonuçları	41
Tablo 4.2. TiN Kaplı HSS kesici takıma ait deney sonuçları	41
Tablo 4.3. Sert karbür kesici takıma ait deney sonuçları	42
Tablo 4.4. Kaplamasız HSS yüzey giriş görüntüleri.....	53
Tablo 4.5. Kaplamasız HSS yüzey çıkış görüntüleri	53
Tablo 4.6. Kaplamasız HSS iç yüzey görüntüleri	54
Tablo 4.7. TiN Kaplı HSS yüzey giriş görüntüleri	54
Tablo 4.8. TiN Kaplı HSS yüzey çıkış görüntüleri	55
Tablo 4.9. TiN Kaplı HSS yüzey görüntüleri	55
Tablo 4.10. Sert Karbür yüzey giriş görüntüleri	56
Tablo 4.11. Sert Karbür yüzey çıkış görüntüleri.....	56
Tablo 4.12. Sert Karbür yüzey görüntüleri	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

f	: İlerleme (mm/dev)
F_x	: x Yönündeki Kesme Kuvveti Bileşeni (N)
F_y	: y Yönündeki Kesme Kuvveti Bileşeni (N)
F_z	: z Yönündeki Kesme Kuvveti Bileşeni (N)
n	: İş mili devir sayısı (dev/dak)
R_a	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
SiC	: Silisyum Karbür
TiN	: Titanyum Nitrür
V_c	: Kesme Hızı, m\dak.
WC	: Tungsten-Karbür

Kısaltmalar

ARALL	: Aramid Reinforced Aluminium Laminates
CARALL	: CARbon Reinforced Aluminium Laminates
CETP	: Cam Elyaf Takviyeli Plastik
CFRP	: Carbon Fiber Rainforced Polimer
CVD	: Chemical Vapor Deposition
ETKM	: Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler
ETPK	: Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit
FML	: Fiber Metal Laminat
FMT	: Fiber Metal Tabakalı
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
GFRP	: Glass Fiber Rainforce Polimer
GLARE	: GLass Aluminium Reinforced Epoxy
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
KETP	: Karbon Elyaf Takviyeli Plastik

1. GİRİŞ

Malzeme araştırmalarındaki ilerlemeler, havacılık, uzay ve yapısal uygulamaları için yeni malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu uygulamaların başarısı, malzeme özelliklerinin bu uygulamalar için gereksinimleri karşılayıp karşılamadığına bağlıdır. Havacılık ve uzay endüstrisinde yapılan ar-ge çalışmalarının temel amacı, hafif, yüksek mukavemetli, uzun yorulma dayanımı, iyi korozyon direnci ve yüksek sıcaklık toleransı gibi özelliklere sahip uçak yapıları için malzemeler üretmektir. İstenilen hafiflik özelliği, hava araçlarının performansını iyileştirip ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı düşük yakıt tüketimi sağlarken, sahip olduğu yüksek mukavemet değeri ise emniyetli ve dayanıklı olmasını sağlar.

Kompozit malzeme üretimindeki yenilikler, yapısal tasarımda önemli bir ağırlık azalmasına izin vermiştir. Ayrıca kompozitler, metalik alaşımlara kıyasla, özellikle de yüksek mukavemet ve sertlik/ağırlık oranı söz konusu olduğunda birçok avantaj sunmaktadırlar. Ek olarak, uygulamalarda mükemmel yorulma ve iyi korozyon direnci sağlarlar. Fiber metal tabakalı kompozitler, yukarıda belirtilen özelliklerin hepsine sahip olması nedeniyle otomotiv, uzay, havacılık, denizcilik, nükleer endüstrisi, robot yapımı ve kimya sanayi gibi pek çok mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Özellikle uçak yapıları için şimdiye kadar üretilmiş en ilgi çekici malzemelerdir.

Fiber metal tabakalı kompozitler basınç altında kalıplama ve vakum altında kalıplama gibi yöntemler kullanılarak üretilmektedirler. Fiber metal tabakalı kompozitler normalde tasarlandığı net şekle yakın üretilirler, yine de kompozitlerin nihai şekle getirilmesinde tornalama, frezeleme, delik delme gibi ikincil işlemlere de sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek olarak uçak bileşenlerinin montajının karmaşıklığı nedeniyle, parçaların cıvata veya perçinlerle birleştirilmesi için binlerce delik delinmesi gerekir. Bu kompozitlerin delinmesi, heterojenlikleri ve anizotropik davranışları nedeniyle metallerinkine göre önemli ölçüde farklılık gösterdiğinden zorlu bir işlemdir (Teti, 2002).

Bu çalışmada, 0°/90° fiber oryantasyon açısına sahip E-cam/epoksi prepregler, alüminyum alaşımlı plakların arasına yerleştirilerek sıcak presleme yöntemiyle GLARE-2-5/4 üretilmiştir. GLARE-2- 5/4 dokuz tabakadan oluşmaktadır. 4 tabaka E-cam/epoksi prepreg, 5 tabaka alüminyum alaşımından oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı; Fiber metal tabakalı kompozitlerin delinmesinde kesme kuvveti, yüzey

pürüzlülüğü ve deformasyon üzerine kesme hızı, ilerleme ve kesici takım cinsinin etkileri incelenerek en uygun işleme parametrelerinin belirlenmesidir.

1.1. Kaynak Araştırması

Günümüzde kompozitler titanyum ve alüminyum alaşımları gibi metallerle belli bir kurala göre dizilerek fiber metal tabakalı (FMT) kompozitler oluşturulmaktadır. Bu kompozitler yapının performansını ve mukavemetini arttırmak ve inşa edilen konstrüksiyonun toplam ağırlığını azaltmak amacıyla bir hibrit yapıdadırlar.

1982 yılında, ALCOA firması aramid elyaf takviyeli prepreg tabakalarından ve alüminyum levhalardan yapılmış ilk ticari katmanlı kompozit ARALL (Aramid Reinforced ALuminium Laminates) piyasaya sürmüştür. Bu malzeme C17 tipi bir uçağın kargo kapısında kullanıldı (Crouch, 2009). ARALL'dan etkilenen araştırmacılar, titanyum alaşımı tabakalarından (TiGr) ve fiber takviyeli kompozitleri tabakalar halinde kullanarak CARALL (CARbon Reinforced ALuminium Laminates) adında ve alüminyum tabakalar ve fiber takviyeli kompozitleri kullanarak da GLARE (GLass ALuminium Reinforced Epoxy) adlı kompozitleri oluşturdular. Bir kilogram GLARE kompozit, uçakta geleneksel olarak kullanılan alüminyum alaşımına kıyasla yaklaşık 5 ila 10 kat daha pahalıdır. Bununla birlikte, 1.96 g/cm^3 yoğunluğa sahip (alüminyumun yoğunluğu 2.77 g/cm^3) olan cam elyaf takviyeli polimer tabakaların uygulanması ile üretilen bu malzemeler, en az % 20 daha hafif bir yapı oluşturmaktadırlar. Airbus A380'de GLARE'den yapılan 27 kompozit panelin kullanılması ile uçağın ağırlığı yaklaşık olarak % 25 daha hafif hale gelmiştir (Alderliesten, 2009).

Bir hibrit malzeme olan GLARE FMT'ler, uçakların üst gövde ve kanat kısımlarında kullanılır. GLARE, konvansiyonel airframe alüminyum ile karşılaştırıldığında % 25 daha güçlü, % 20 daha hafif, daha iyi hasar toleransı, daha az metal yorulma eğilimi, daha iyi korozyon ve darbe dayanımı sağlamaktadır. FMT'ler havacılık endüstrisindeki uygulamaları ile çok yönlü ve yüksek performanslı malzemelerdir. FMT'ler, 1980'lerde Delft Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir (Vlot ve Gunnink, 2001).

FMT'ler, güçlü elyafları sünek alüminyum katmanlarla birleştiren hibrit kompozitlerdir ve hafif olmaları ile olağanüstü özellikler gösterirler (Wu ve Yang, 2005). FMT'ler, önemli ağırlık tasarruflarına ek olarak, yorulma ve hasar direnci gibi üstün özelliklerinden ötürü, birincil uçak yapılarında monolitik metal alaşımları için

çekici bir alternatif sunar (Roebroeks, 1994; Vlot ve ark., 1999; Giasin, 2018). FMT kompozitler matris ve metal alaşımlarının en iyi özelliklerini birleştirirken, iki bileşenin dezavantajlarını bünyelerinde barındırmazlar (Asundi ve Choi, 1997). FMT'ler yüksek dayanım, korozyon direnci ve hafiflik gibi üstün mühendislik özelliklerinden dolayı birçok endüstriyel alanda sıklıkla tercih edilmektedir. Uzun ve havacılık sanayisinde, genellikle karbon ve cam elyaf takviyeli polimer kompozitler kullanılmaktadır (Soutis, 2005).

Monolitik malzemenin çatlak büyüme hızı, çatlak uzunluğunun artmasıyla birlikte hızla artarken, GLARE FMT'ler, neredeyse sabit ve yavaş çatlak büyüme davranışı sergiler. Yükleme koşulları altında, GLARE FMT'ler monolitik alüminyum bileşenlerinden 10 ila 100 kat daha yavaş çatlak büyüme oranları sergilerler (Wu ve Yang, 2005). Dinamik bir darbe hasarı, tek başına monolitik alüminyum veya fiber takviyeli kompozitte ciddi bir hasara neden olurken, FMT'ler monolitik bir metal gibi dinamik darbeye yanıt verme ve enerjiyi inelastik hale dönüştüren çatlak köprülenme özelliği nedeniyle oluşabilecek deformasyon hasarını önlemektedir (Beumler ve ark., 2007).

Yapıları oluşturmak amacıyla malzemelerin montajı için bu kompozit parçaların delinmesi gerekmektedir. Deliğin geometrik farklılıklarının engellenmesi ve bu parçaların montajında iyi eksenleme ve iyi toleranslar elde etmek için bu parçaların hatasız bir şekilde delinmesi gerekmektedir. Hasarsız ve düşük toleranslı delme işlemi montaj hatlarındaki zamanı minimize ederek verimliliği artırır, böylece işleme maliyetlerini düşürür. Yüksek kaliteli delikler elde etmek için delme parametreleri optimize edilmelidir. Karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) ve cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitler yüksek mukavemete sahip olmaları ve talaşlı işlenmeleri metalik malzemelere göre farklı olmasından dolayı, bunların talaşlı işlenmesinde ciddi hatalar oluşabilmektedir. Fiber metal tabakalı kompozitlerin işlenmesi, bu kompozitleri oluşturan kompozit ve metalik malzemenin ayrı ayrı işlenmesinden farklıdır. Bu farklılık bu malzemelerin işleme koşulları ve parametrelerinin dikkatli seçilmesini gerektirir. Fiber takviyeli plastiklerin (FRP) işlenebilirliği, lif ve matrisin fiziksel ve mekanik özelliklerine, lif oryantasyonuna ve lif içeriğine bağlıdır. Örneğin, CETP tercihen düşük ilerleme hızlarında ve yüksek iş mili hızlarında delinirken, titanyum alaşımları yüksek ilerleme hızlarında ve düşük iş mili hızlarında delinir. Bu nedenle, FMT'lerin delinmesindeki delik kalitesi ciddi bir sorun haline gelebilir (Sheikh-Ahmad, 2009; Giasin ve ark., 2015).

İşlenmiş malzemenin özellikleri, delme işlemi sırasında kesme mekanizması ve talaş oluşturma davranışında önemli bir rol oynar. Alüminyum alaşımları demir dışı metaller iken cam elyaf kompozitler bir termoset kompozittir. Delme sırasında, FMT kompozitleri oluşturan kompozit ve metal tabakaların farklı fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı iki farklı tipte talaş üretmektedir. Örneğin, alüminyum levhaların delinmesi, plastik deformasyon ve yüksek kesme sıcaklığı nedeniyle sürekli veya süreksiz kıvrıma talaşlar oluşurken (Stephenson ve Agapiou, 2016), sert ama kırılğan cam elyaf katmanlarının delinmesinde matris ve liflerden oluşan küçük boyutta veya toz şeklinde talaş oluşur (Sheikh-Ahmad, 2009; Hocheng ve ark., 1993).

FMT kompozitlerin delinmesinde delik kalitesinin değerlendirilmesi, hibrit kompoziti oluşturan kompozit-metal yapısından dolayı kompozitler veya metallerden daha karmaşık bir konudur. FMT kompozitlerdeki delme kaynaklı hasarlar hem metalik alüminyum levhalarda hem de cam elyaf kompozit katmanlarda oluşabilmektedir. Delik kalitesi malzeme tipine, delme koşullarına ve her bir endüstride istenen toleranslara bağlı olarak değişebilir.

Özellikle havacılık uygulamalarında KETP ve titanyum gibi hafif metallerden oluşan hibrit malzemelerin kullanımının artması ile tabakalı hibrit kompozitlerin montaj amaçları için bir dizi deliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Isbilir ve Ghassemieh (2013), kaplamalı karbür takım kullanarak KETP/titanyum tabakalı hibrit kompozitlerin delinmesinde takım ömrü ve delik kalitesinin karşılaştırmalı çalışması yapmışlardır. Yaptıkları araştırmada, AlTiN kaplı WC matkap ucunu kullanarak KETP, Ti-6Al-4V ve KETP/Ti-6Al-4V tabakalı iş parçalarında delme denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında delme parametrelerinin ilerleme kuvveti, moment, çapak oluşumu, deformasyon, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkilerini analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, ilerleme kuvveti, moment, çapak oluşumu ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün artan ilerleme hızı ile arttığını ve Ti-6Al-4V delme işlemindeki artan kesme hızıyla azaldığını göstermişlerdir. KETP'lerin delme işleminde, deformasyon ve ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme parametreleriyle benzer eğilime sahip olduğunu, ancak artan kesme hızı ile ilerleme kuvveti ve momentin arttığını belirlemişlerdir.

GLARE hibrit FMT'lerin delme işlemleri, işleme parametrelerinin, alüminyum alaşımı ve cam elyaf takviyeli polimerlerin delinmesinde kullanılanlardan farklı optimizasyon gerektirdiğini Giasin ve ark. (2015) belirtmişlerdir. Onlar tek yönlü GLARE FMT kompozitlerin delinmesi üzerine deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Yüksek kaliteli delikler elde etmek ve işlenmiş bileşenin uzun vadeli yapısal

bütünlüğünü tehlikeye atabilecek kusurları en aza indirmek için delme parametrelerinin seçiminin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, tek yönlü (UD) kompozitler kullanarak üretilen 2B ve 3 GLARE kompozitleri 6 mm çapında TiAlN kaplı WC matkaplarla delme deneylerine tabi tutmuşlardır. Delme parametrelerinin ilerleme kuvveti, moment ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hem ilerleme hem de iş mili devrinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirtmişlerdir.

Havacılık ve uzay endüstrisinde çapak alma işlemlerinin gerçekleştirilmesinin genellikle zor ve çok maliyetli olduğundan işleme sırasında oluşan çapakların incelenmesi önemlidir. Rimpault ve ark. (2017), Fiber takviyeli plastik FTP/titanyum/alüminyum alaşımından oluşan FMT kompozitlerin delinmesinde çapak yüksekliğini incelemiştir. Bu araştırmada, delme işlemleri KETP, titanyum ve alüminyum alaşımlarından oluşan kompozitte gerçekleştirilmiş ve her malzeme üç ilerleme ve üç kesme hızı kullanılarak analiz edilmiştir. Onlar, titanyum ve alüminyum katmanlardaki çapak yüksekliklerini tahmin etmek için bir izleme yöntemi sunmuşlardır. KETP katmanının delinmesi sırasında elde edilen kesme kuvveti sinyalleri düzenli fraktal analizi kullanılarak analiz edilmiştir. Titanyum ve alüminyum alaşımlarının çıkışında ölçülen çapaklar, ilerleme kuvveti, moment, delik çapı ve daireselliği ve takımı aşınması açısından gözlenmiştir.

Zitoun ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada, işleme parametrelerinin ve nano kaplamalı kesici takımın KETP/Alüminyum kompozitin delinmesinde delme performansına etkisini araştırmışlardır. Hibrit kompozit malzemelerin tek adımda delinmesi ve sabitlenmesi, havacılık endüstrisinde montaj süresini azaltır. Bu malzemelerin delinmesinde karşılaşılan en yaygın sorunlardan biri, metalik malzemelerin delinmesinde oluşan sürekli talaşların matkap üzerinde kıvrılmasıdır. Karbon fiber takviyeli plastiğin delinmesi yönetilebilir, ancak alüminyum veya titanyum delindiğinde, işleme sırasında üretilen sıcak ve sürekli talaşlar deliğe önemli ölçüde zarar verir. Bu çalışma, KETP ve alüminyum alaşımından yapılmış çok malzemeli nano kaplı matkaplar kullanarak bu sorunu çözmeyi amaçlamaktadır. Kesme parametrelerinin deliklerin kalitesi, talaş oluşumu ve takım aşınması üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir. Onlar çalışmalarını için biri nano kaplamalı, diğeri kaplamasız olmak üzere iki tip tungsten karbür matkap kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar, talaşların şeklinin ve boyutunun ilerleme hızından önemli bir şekilde etkilendiğini göstermiştir. Kompozit plakanın kaplamalı matkaplarla delinmesi sırasında üretilen ilerleme kuvveti,

kaplanmamış matkapların delinmesi sırasında üretilene göre % 10-15 daha az olmaktadır. Benzer şekilde, alüminyum alaşımındaki ilerleme kuvveti, kaplamalı matkaplar olmadan üretilen ilerleme kuvveti ile karşılaştırıldığında, kaplamalı matkaplarla % 50 daha az olmuştur. Böylece, onlar nano kaplı matkapların kullanılması, kaplamasız takımlara kıyasla yüzey pürüzlülüğünü ve itme kuvvetini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varmışlardır.

Bilge ve Motorcu (2017), yaptıkları çalışmada hibrit kompozit malzemelerin delinmesinde yüksek işleme oranları sergileyen parmak frezeler kullanmışlardır. Aşınmış takımlarla yapılan delme sonucu kötü bir yüzey elde edilmekte ve parçaların montajını zorlaştırmaktadır. Onlar, ön delik delinmiş kompozit plakalar üzerinde aşınmamış ve aşınmış parmak freze takımlarla işleme deneyleri yapmış, takım aşınmasının ve delme parametrelerinin (delme tipi, kesme hızı ve ilerleme miktarı) delik yüzey kalitesi (delik çapı boyutsal tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü) üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışma sonuçlarının istatistiki değerlendirmelerine göre; boyutsal tamlık üzerinde en etkili parametreler sırasıyla kesici takım (yaklaşık %57), kesme hızı (yaklaşık %22) olmuş iken yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler kesici takım (yaklaşık %85) ve delme tipi (yaklaşık % 5) olmuştur. Aşınmamış parmak freze takımlarıyla yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme miktarlarında sürekli delme işlemi yapıldığında nominal ölçüye daha yakın delik çapları elde edilmişken aşınmamış takımlarla düşük kesme hızı ve düşük ilerleme miktarlarında kademeli delik delme işlemi yapıldığında deliklerin yüzey kalitesi iyileşmiştir.

Park ve ark. (2018), hibrit GLARE kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin delik kalitesi ve deformasyon üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sert karbür ve HSS kesici takımların kullanıldığı bu çalışmada, delme parametrelerinin deformasyonu azaltıp yüzey kalitesini arttıracak şekilde delme parametrelerinin seçiminin önemli olduğu belirtilmiştir. Delme parametrelerinin ilerleme kuvveti, moment, yüzey kalitesi ve deformasyon üzerine etkileri deneysel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, deformasyon oluşumunda etkili olan ilerleme kuvvetini tahmin etmek için bir model oluşturmuşlardır. Bu modeli klasik eğilme teorisi ve GLARE kompozitlerin mekaniğine dayanarak oluşturmuşlardır. Analitik bulguların, ultrasonik muayene ile ölçülen deformasyon derecesi ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Sert karbür kesici takımların HSS takımlarla kıyaslandığında daha iyi delik kalitesi ve boyut toleransı ürettiğini belirlemişlerdir. İlerleme hızının malzemenin delinmesinde oluşan deformasyon üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit

etmişlerdir. İlerleme hızının artması ile kesici takımın iş parçasına daha hızlı nüfuz etmesi titreşimleri arttırdığını ve çap sapmalarının ve daha yüksek dairesellik hatalarına neden olduğunu vurgulamışlardır.

Giasin ve ark. (2015), 6 mm çapında TiAlN kaplamalı WC matkaplar kullanarak GLARE 2B ve GLARE 3 kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin ilerleme kuvveti, momenti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Hem ilerleme hızı hem de iş mili hızının kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün, benzer kesme parametreleri için GLARE 2B'ye göre GLARE 3 için daha yüksek olduğu belirtmişlerdir. Yüksek delik kalitesinin elde edilebilmesi için delme parametrelerinin doğru seçilmesinin önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Giasin ve Ayvar-Soberanis (2017), ANOVA yöntemini kullanarak GLARE'nin delinmesinde çapak oluşumu, talaş oluşumu, delik boyutu, dairesellik ve deformasyon boyutunu araştırmışlardır. Kompozitlerin delinmesi konusunda önemli miktarda araştırma yapılmış olmakla birlikte, havacılık yapılarında kullanılan fiber metal tabakalı kompozitlerin işlenebilirliği konusunda sınırlı çalışmalar yapıldığını belirtmişlerdir. FMT'lerin delinmesinde karşılaşılan problemler, ayrı ayrı metallerde ve kompozitlerde karşılaşılan deformasyon, talaş ve çapak oluşumlarıdır. Yapılan bu deneysel çalışmada, iki farklı GLARE (2B & 3) kompozitin delinmesinde; delme parametrelerinin (iş mili hızı ve ilerleme hızı) delik kalitesi üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. Deney sonuçlarını, bilgisayarlı tomografi (BT) taraması kullanılarak mikro düzeyde (fiber matrisin ayrışması, yontma, yapışmalar, çatlaklar) ve SEM kullanarak makro seviyesinde deformasyon büyüklüğü, delik boyutu, dairesellik hatası, giriş ve çıkış çapakların büyüklüğü, talaş oluşumlarını ve hasarın oluşumunu incelemişlerdir. Ayrıca, kesme parametrelerinin incelenen delik kalitesi üzerine hangi oranda ve nasıl etki ettiğini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılarak istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. İş mili hızının artırılması ve ilerleme hızının azaltılması ile çıkışta delik çapındaki sapmada bir azalma görülmüştür. GLARE 3'teki dairesellik hatasının, GLARE 2B'ye göre daha büyük olduğunu ve iş parçası kalınlığı ve ilerleme oranındaki artış ile dairesellik hatasının arttığı belirtilmiştir. Deneylerde ilerleme hızları ve iş mili hızı değişimine bağlı olarak çapak yüksekliği, çapak kalınlığı ve talaş şeklinde değişiklikler olduğu görülmüştür. Kesme parametrelerinin uygun seçimi ile belirtilen olumsuzlukların azaltılabileceğini vurgulamışlardır. Düşük ilerleme ile daha küçük çapak ve deformasyon oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Pawar ve ark. (2015), GLARE kompozitlerin delinmesinde delik kalitesini analiz etmişlerdir. GLARE kompozitler mükemmel yorulma çatlama direncine, yüksek darbe mukavemetine, yüksek mukavemet/ağırlık oranına ve yüksek sertlik/ağırlık oranına sahip olmaları nedeni ile gelişmiş bir uçak malzemesi olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada, GLARE'nin delinmesinde kesme parametrelerinin ve takım geometrisinin; deformasyon ve çapak oluşumu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çapak ve deformasyon oluşumunu analiz etmek için ilerleme kuvveti, tork ve akustik emisyon sinyallerini değerlendirmişlerdir. İlerlemenin deformasyon ve çapak oluşumu üzerine baskın bir role sahip olduğu belirtilmiştir.

Giasin ve ark. (2019), FMT kompozitlerin kuru ortamda delinmesinde işleme parametrelerinin ve takım kaplamasının delik kalitesi üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. TiAlN, AlTiN/TiAlN ve TiN olmak üzere üç tip kesici takım kaplamasının, ticari olarak GLARE olarak bilinen bir FMT kompozitlerde açılan deliklerin yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kesici takım geometrisinin sabit tutulduğu bu çalışmada, iş mili hızı ve ilerleme hızının performans çıktıları üzerine etkilerini de araştırmışlardır. İş mili hızının ve kesici takım kaplama türünün yüzey pürüzlülüğü üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Takım kaplama malzemesinin çapak yüksekliği ve çapak kalınlığı üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu ifade etmişlerdir. TiN kaplamalı matkaplar ile yapılan deneylerde minimum pürüzlülük ve çapak boyutları elde edilmiştir.

Montoya ve ark. (2013), ince KETP/Al tabakalı FMT kompozitlerin delinmesinde kaplamalı ve kaplamasız WC kesici takımların performansını araştırmışlardır. Bu malzemenin kaplamasız WC kesici takımlar ile delinmesinde ilerleme kuvvetinde önemli bir artış olduğunu ve bunun nedeninin de takım aşınması olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kullanılan bu matkap uçlarının deliklerin kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi de tartışılmışlardır.

Devi ve Palanikumar (2017), TiAlN kaplamalı matkaplarla kullanılarak KETP/Al FMT kompozitlerin delinmesinde kesme kuvveti ve moment değerlerinin tahminini ve değerlendirilmesini yapmışlardır. Genel olarak; ilerleme hızı, iş mili hızı ve matkap çapı ile oluşan ilerleme kuvveti ve moment arasında bir korelasyon oluşturmuşlardır. İlerleme hızı ve matkap çapının ilerleme kuvvetini etkileyen en önemli faktörler olduğunu belirtirken, ilerleme hızı ve iş mili hızının yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre olduğunu belirtmişlerdir.

Giasin ve ark. (2016), GLARE FMT kompozitlerin delinmesinde kesme parametrelerinin, fiber oryantasyon açısının ve delme ortamının delme sıcaklığı üzerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Delme işlemi sırasında kesme sıcaklıklarındaki artışın işlenen parçanın kalitesini etkilediğini ve bu sıcaklığın kontrol altına alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu amaç için, farklı kesme parametreleri ile kuru ve minimum miktar yağlama (MQL) koşullarında, işlenen deliklerin alt yüzeylerinde oluşan maksimum sıcaklığı belirlemek için kızılötesi termometre kullanılmışlardır. İş parçası yüzey sıcaklığının ilerleme hızındaki artışla arttığını ve FMT kompozitlerdeki elyaf oryantasyonunun da oluşan sıcaklığı etkilediğini göstermişlerdir.

Zitoune ve ark. (2016), KETP/Al FMT kompozitlerin delinmesini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Bu malzemelerin delinmesi geleneksel mühendislik malzemelerinden farklı mekanik özellikleri nedeniyle imalat mühendisleri için zor bir işlem olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, işleme parametrelerinin ve kesici takım geometrisinin; kesme kuvvetleri, delik kalitesi ve FMT kompozitlerin tabaka ayrılmasına etkisi araştırılmıştır. Çift konik uç geometrisine sahip matkapların standart matkaplara göre daha az bir ilerleme kuvveti oluşturduğu bulunmuştur. KETP lineer kırılma mekaniğine ve alüminyumun izotropik sertleşmeye sahip plastik davranışına dayanan sayısal analizden, FMT kompozitin son tabakasının ve tabakalar arasındaki ara yüz ayrılmasına ilerleme kuvvetinin neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Zhang ve ark. (2015), KETP/Al 7075 FMT kompozitlerin farklı kesici takımlarla delinmesinin performansını incelemişlerdir. Yapılan deneylerde delme parametrelerinin ve kesici takım malzemesinin delik çap sapması, yüzey pürüzlülüğü, çapak yüksekliği ve kesme kuvvetleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. CVD elmas kaplamalı kesici takımların kesme kabiliyetinin, soğutma sıvısı olmadan KETP/Al FMT kompozitlerin delinmesinde standart kesici takımlardan daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. En iyi işlem parametreleri 4000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.04 mm/devir ilerleme hızında elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Giasin ve ark. (2016), FMT kompozitlerin delinmesinde delik kalitesini deneysel ve üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. GLARE FMT kompozitlerin farklı mekanik ve termal özellikleri nedeniyle talaşlı işlenebilirlikleri problemlidir ve bu da yüksek yüzey kalitesi ile hasarsız delikler elde etmeyi zorlaştırmaktadır. İlerleme hızı ve iş mili hızının kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisini analiz etmek için delme denemeleri yapılmıştır. Yapmış oldukları çalışmada; yüzey pürüzlülük cihazı ve optik tarama tekniklerini kullanılarak

yüzey pürüzlülüğü, delik boyutu, dairesellik hatası, çapak oluşumu ve deformasyon gibi delik kalitesini etkileyen hataları belirlemeye çalışmışlardır. GLARE FMT kompozitlerin delinmesi için üç boyutlu bir sonlu eleman modeli de GLARE'nin delme mekanizmasını anlamaya yardımcı olmak için ABAQUS/Explicit kullanılarak geliştirilmiştir.

Nan ve ark. (2015), KETP/Ti FMT kompozitlerin delinmesini araştırmışlardır. FMT kompozitin delinmesinde Ti alaşımından oluşan talaşın kompozitin yüzeyine zarar verdiğini ve çapakların etkisinin minimum olacak şekilde delinebilmesi için delme parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. KETP/Ti FMT kompozitlerin delinmesinde KETP katmanının kalite özelliklerini incelemek için otomatik bir delme prototipi geliştirmişlerdir. Bu prototip KETP ve KETP/Ti FMT kompozitlerin delme deneylerini, çeşitli kesme parametreleriyle yaparak, titanyum talaş oluşumunun KETP tabakasının delme performansı üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu çalışmada ilk önce talaş morfolojisi gözlemlenmiş ve daha sonra tabaka ayrılması, yüzey pürüzlülüğü ve tolerans incelenmiştir. Çalışmalarında, düşük ilerleme hızı ve yüksek kesme hızının, matkap etrafına sarılmış uzun ve katlanmış talaşlar oluşturduğunu ve bunun da KETP'ye güçlü bir şekilde zarar verdiğini belirtmişlerdir. Talaşların matkap üzerine sarılmasını önlemek için, kesme hızı orta bir aralıkta seçilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Thirukumaran ve ark. (2018), farklı dizilime sahip CEPT/Al FMT (3/2 GLARE) kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyonun minimize eden koşulları araştırmışlardır. FMT kompozitlerin yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve dayanıklılığı nedeniyle havacılık sektörüne yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Havacılık yapılarında delme, birden fazla yapısal elemanın kalıcı olarak birleştirilmesini sağlayan birincil işlemlerden biridir ve işleme sırasında bir malzemenin boyutsal kararlılığı, malzeme seçiminde önemli bir faktördür. Onlar çalışmalarında matkap uç geometrisinin ilerleme kuvveti ve deformasyon üzerine etkisini belirlemeye çalışmışlardır.

Giasin ve Ayvar-Soberanis (2017), FMT kompozitlerin delinmesinde oluşan hasarların mikro yapısını incelemişlerdir. Bu malzemelerin Airbus A380 uçağının üst gövdesinde kullanıldığını ve montajı için delme işlemine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. FMT kompozitlerin işlenmesi esnasında, kompozit katmanlarda veya metalik levhalarda delik etrafında çeşitli metal hasarların gözlemlendiği; bu hasarların tümünün, metal/kompozitin yüzey kalitesini bozan delme kaynaklı hasarlar olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışma GLARE FML'lerinin mikroyapısal düzeyde delinmesi

sırasında kesme parametrelerinin delme kaynaklı hasarlar üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Deneyler kriyojenik sıvı azot (LN_2) ve MQL olmak üzere iki modern soğutma teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MQL ve kriyojenik soğutucuların kullanılmasının işleniş delik yüzeyinde hasar oluşumunu engellediğini belirlemişlerdir.

Giasin (2018), FMT kompozitlerin delinmesinde delik kalitesi üzerine delme parametreleri, soğutma teknolojisi ve fiber oryantasyonunun etkilerini araştırmıştır. Oda sıcaklığında yapılan delme işlemi, iş parçası üzerinde artan termal etkiler nedeniyle bazen işlenmiş deliklerin kalitesini etkileyebilir. Kompozitlerin ve FMT'şerin işlenmesinde farklı termal genleşme katsayıları nedeniyle, termal etkiler yapıda ek gerilme oluşturabilir. Talaşlı işleme sırasında üretilen ısının bir kısmı kesici takım-iş parçası etkileşim bölgesine doğrudan veya dolaylı olarak soğutucu akışkan kullanılarak en aza indirilebilir. Ancak geleneksel soğutma sıvılarının kullanımı sonrasında bunların imhası çevresel etkilerden dolayı ekstra maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle, maliyetleri düşürmek ve çevre üzerindeki etkisini azaltmak için çevre dostu soğutma teknolojileri geleneksel soğutma yöntemlerinin yerini almaktadır. Ayrıca, işleme parametrelerinin seçiminin delik kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. Bu makale, GLARE FMT'lerin delinmesinde delik hatası üzerine delme parametrelerinin ve kriyojenik sıvı azot ve minimum miktarda yağlama gibi iki modern soğutma teknolojisinin etkisini araştırmaktadır.

KETP kompozitlerinin delinmesi heterojenlikleri ve anizotropik davranışları nedeniyle metallerinkine önemli ölçüde farklılık gösterdiğinden zorlu bir işlemdir (Teti, 2002).

Kesme parametreleri, FMT kompozitlerin delik giriş ve çıkışında deformasyona, matris fazında ise termal bozulma ve çatlak oluşumunda etkili olurken, izotropik yapıya sahip olan titanyum ve alüminyum gibi metal katmanların delinmesinde adhezyon aşınma mekanizmasına bağlı olarak ana kesme kenarında talaş yapışması üzerinde etkili olmaktadır (Zitoun ve ark., 2016).

FMT kompozitlerde deformasyon en ciddi hasar şekli olarak kabul edilmiştir (Liu ve ark., 2012), ayrıca deformasyon malzemenin yorulma dayanımında belirgin bir azalmaya neden olarak, bileşenin uzun vadeli performansını düşürmektedir (Wang ve ark., 2018).

Piquet ve ark. (2000); Tsao ve Hocheng (2005), yapmış oldukları çalışmalarda; deformasyon hasarının itme kuvvetleriyle yakından ilişkili olduğunu, artan itme kuvvetleri, tabakaların ayrılmasına ve böylece deformasyona yol açtığını belirtmişlerdir.

Durão ve ark. (2010), farklı matkap ucu geometrilerine sahip matkapları inceleyerek, kademeli matkap ucu kullanmanın minimum itme kuvveti ürettiğini ve FMT'ler daha az hasar oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Karpat ve ark. (2012), KEPT kompozitlerin kaplamasız karbür ve elmas kaplı karbür matkaplarla delinmesinde matkap geometrisinin delme performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda KEPT kompozitlerin yüksek ilerleme oranlarıyla delinmesinde, delik çap toleransının delik çıkış deformasyonundan daha kritik olduğunu gözlemlemişlerdir.

Karnik ve ark. (2008), FMT'lerin 5 mm çapında farklı uç açlarına sahip karbür matkaplar ile delinmesinde minimum giriş deformasyonu için yüksek kesme hızı, küçük matkap uç açısı ve düşük ilerleme kombinasyonunun kullanılması gerektiğini önermişlerdir.

Tsao (2008), kademeli matkaplar ile delinen FMT'ler, ilerleme kuvvetinin azalması ile doğru orantılı olarak deformasyonun da azaldığını belirtmiştir.

Singh ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmalar sonucunda ilerleme oranı ve matkap uç açısının ilerleme kuvveti ve tork üzerinde önemli iki etken olduğunu, bunun da matkabin eksantrikliğini olumsuz etkileyerek delik yüzey kalitesini azalttığını belirtmişlerdir. Durão ve ark. (2010), FMT kompozitlerin delinmesinde ilerleme kuvveti ve deformasyonu minimize edilebilmek için farklı matkap uç geometrilerine sahip kesici takımlar kullanmışlardır. Çalışmalarında düşük ilerleme değerinin yanı sıra 30° ve 120° uç açılı kademeli matkapların kullanılması gerektiğini önermişlerdir. Karnik ve ark. (2008), ise düşük ilerleme ve matkap uç açısı ile birlikte yüksek kesme hızı kombinasyonunu önermişlerdir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler nispeten yeni bir alan olup, II. Dünya savaşı esnasında mevcut klasik malzemelerin tek başına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve zamanla bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmiştir. Bu gelişmelerin sebebi malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı elde edilmesidir. Bu nedenle, spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Bu malzemeler belirli uygulama alanları için, üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli spesifik konfigürasyonlarda, değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile üretilen malzemeler oldukları için çok fazlı malzemeler olarak da adlandırılırlar (Şahin, 2000). Uygun takviye ve matris malzemelerinin kullanımı ile kompozitlerin elastik modülü, dayanıklılık ve sertlik gibi değerlerinin geniş aralıklarda yer almasına ve üretici tarafından belirlenebilmesine imkân sağlar. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere oranla, istenilen yönde istenilen özelliklerde tasarlanabilmeleri kompozit kullanımının artmasına bir başka neden olarak gösterilebilir (Schaffer ve ark., 1995).

Kompozit malzemeler; karışmayan iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin mikro veya makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere denir. Karışmaz olmaları nedeniyle malzeme içerisinde fazlar arası büyük miktarda iç yüzey (ara yüzey) oluşur. Kompozitlerde sürekli (kopuşumsuz) faza matris adı verilir. Kesintili (parçalı) veya elyaf (fiber) şeklindeki fazlar ise matrislerden ayrı bölgeler olarak malzeme içerisinde yer alır (Geçkinli,1992). Kompozit malzemeler alışılmışın dışındaki bükülmezlik, mukavemet, ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan kombinasyonları elde etmek için seçilebilmektedir (Erdoğan, 1998).

2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin üretimindeki hedef farklı malzemelerin farklı ve değişken özelliklerinin en uygun değerde kullanılarak üretilen kompozite üstün özellikler kazandırmaktır (Cöcen ve Önel, 1997). Kompozit malzemelere üretim esnasında aşağıdaki özellikler kazandırılabilinmektedir. Kompozit malzemelerden istenen bazı koşullar vardır. Bunlar;

- Doğal bir malzeme olmayıp insan yapısı olmalı,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması (Broutman ve Krock, 1991).

Uygulamada, kompozit malzeme üretilirken genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerden başlıcaları;

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık, Isı iletkenliği ve ısı direnci,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon direnci,
- Elektrik iletkenliği ve elektriksel direnci,
- Ses tutuculuğu veya yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık

olarak sıralanabilir (Jones, 1987).

Kompozit malzemeden istenen özelliğe bağlı olarak, bu malzemelerin üretiminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kompozit üretimindeki temel ilke, bileşenlerinin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha özellikli bir malzeme elde edilmesidir.

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler esas olarak matris ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Takviye elemanı malzemeyi mekanik özellikler bakımından güçlendirirken bağlayıcı eleman ise takviye elemanını çevresel ve kimyasal etkilerden koruyarak, takviye elemanının bütünlüğünü sağlar.

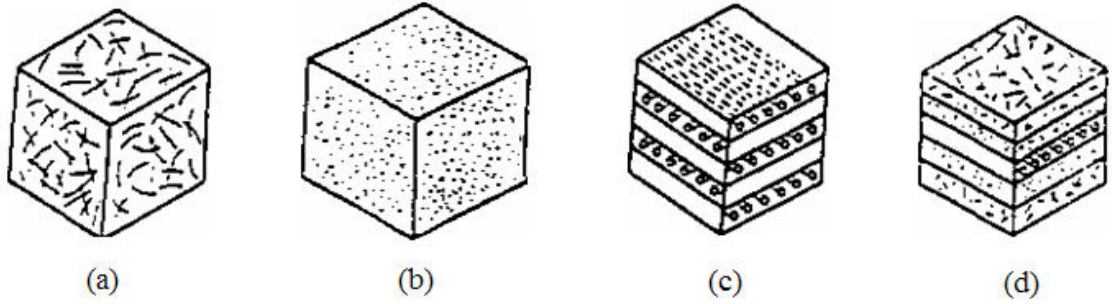
Kompozit malzemeleri sınıflandırılması değişik açılardan yapılabilir. Kompozitler matris malzemesine göre belli bir sınıflandırmaya tabi tutulur.

- a) Metal matrisli kompozit malzemeler
- b) Seramik matrisli kompozit malzemeler
- c) Polimer matrisli kompozit malzemeler

Takviye malzemelerini şekilleri açısından yapılacak sınıflandırmaya göre:

- a) Fiber takviyeli (elyaflı) kompozit malzemeler
- b) Parçacıklı kompozit malzemeler
- c) Tabakalı kompozit malzemeler
- d) Karma (hibrit) kompozitler

Şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Şekil 2.1.) (Erdoğan, 1998).



Şekil 2.1. Kompozitlerin sınıflandırılması;
(a) Fiber (elyaf) takviyeli, (b) parçacık takviyeli, (c) tabakalı, (d) karma (hibrit)

2.2.1. Matris malzemesine göre sınıflandırma

2.2.1.1. Metal matrisli kompozit malzemeler

Metal matrisli kompozitler, ana matris malzemesi metal olan ve takviye elemanı seramik parçacık veya liflerden oluşan kompozitlerdir. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye elemanları matris malzemesine yüksek sertlik ve mukavemet ile birlikte yüksek sıcaklığa dayanım özelliği katar. Metal matrisli kompozitler, daha iyi aşınma ve sünme direnci, boyutsal kararlılık ve yanmazlık gibi avantajlara sahip olup yüksek ağırlık ve üretim maliyetleri gibi dezavantajlara sahiptir.

Metal matrisli kompozitlerde kullanılan ana matris malzemeleri alüminyum, titanyum, magnezyum ve bakırdır. Kullanılan ana takviyeler genellikle silisyum karbür ve alüminadır. Bu kompozitleri elde etmek için kullanılan yaygın imalat işlemleri toz metalurjisi teknikleri, buhar biriktirme, difüzyon bağlanması ve sıvı metalin basınç altında fiber demetleri içine sızmasıdır.

2.2.1.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler

Matris malzemesi olarak seramik malzeme kullanılan, takviye elemanı olarak ise genellikle silisyum karbür, bor nitrit tercih edilen kompozitlerdir. Bu şekilde üretilmiş yüksek sıcaklıklara dayana bilen, aşınma direnci yüksek, seramiklere göre mekanik özellikleri iyileştirilmiş malzemeler; seramik matrisli kompozitler olarak adlandırılırlar.

Seramik malzemelerin diğer malzemelere göre temel avantajları, yüksek sıcaklıklarda oksidasyon ve bozulmaya karşı dayanıklılıkları, yüksek erime noktaları ve yüksek basınç dayanımlarıdır. Ne yazık ki, seramikler kırılgandırlar ve kırılmaya yatkın olduklarından düşük kırılma tokluğu değerlerine sahiptirler. Bir seramiğin kırılma tokluğunu artırmanın bir yöntemi, onu lifler, bıyık veya parçacıklar ile güçlendirmektir. Çatlak ilerlemesi takviye fazının varlığı ile ciddi şekilde engellenir.

2.2.1.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Matris elemanı olarak polimer malzeme kullanılan, takviye elemanı olarak ise genellikle cam, karbon ve aramit elyaflar tercih edilen kompozit malzeme türüdür. İmalat yöntemlerinin diğer kompozitlere göre daha kolay olması ve maliyetlerinin düşük olması ile günümüzde kullanımı en yaygın olan kompozit malzeme çeşididir.

Termoset, termoplastik ve elastomerler olarak üç gruba ayrılan polimer matrisler genelde sürekli fiberlerle kullanılırlar. En çok kullanılan matris malzemesi epoksi reçineler, polyamidler (naylonlar), ve polyesterlerdir. Takviye malzemesi olarak cam, karbon ve organik fiberler tercih edilir, ayrıca polimer matrisli kompozitler havacılık alanında geniş bir kullanıma sahiptirler. F-14 ve F-15 uçaklarında dengeleyici olarak bor-epoksi, F-16 ve F/A-18 uçaklarında kanat yüzeyleri, hız frenleri ve kontrol yüzeylerinde karbon epoksi kompozitler kullanılmaktadır (Demirkesen, 1991).

Polimer matrisli kompozitlerde çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden ikisi sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde, hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir.

Birçok uygulamada tercih edilmelerinin başlıca nedenleri şunlardır:

- Yüksek mukavemet/ağırlık oranı,
- Yüksek modül / ağırlık oranı,
- Düşük özgül ağırlık,
- İyi yorulma dayanımı,
- Yüksek sertlik,
- Yüksek kırılma tokluğu,
- İyi aşınma direnci,
- Düşük maliyet,
- Düşük özgül ağırlık,
- Çeşitli kimyasallarda çözünür olmasına rağmen iyi korozyon direnci,

- İyi elektrik ve ısı yalıtımı,
- Şekillendirme ve ekonomik seri üretim kolaylığı,
- Çekici optik özellikler,
- Özelliklerde önemli anizotropi.

Polimer Matris Kompozitlerinin ana dezavantajları şunlardır:

- Düşük termal direnç,
- Yüksek termal genleşme katsayısı.

2.2.2. Takviye malzemesine göre sınıflandırma

2.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Matris yapı içerisinde ince elyaflara yer verilmesiyle üretilen kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyaflar sürekli (uzun elyaflar) veya süreksiz (kısa elyaflar) şeklinde olabilirler. Kompozit yapının mukavemetini elyafların matris içerisindeki konumu belirler. Bu kompozitler, matris içerisinde birbirlerine paralel yerleştirilen uzun elyaflar kompozit malzemenin elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet, elyaflara dik doğrultuda ise oldukça düşük mukavemet özelliklerine sahip olmasını nedeniyle anizotropiktir. Kompozit yapı içerisindeki matris malzemesi kuvveti elyaflara transfer ederek yumuşaklık, mukavemet ve tokluk özelliği sağlarken, elyaf ise uygulanan yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin genel özelliklerini, elyafların uzunluk/çap oranı, elyaf ve matris arasındaki bağın yapısı, nem absorpsiyonu ve matris yapıdaki boşluklar etkilemektedirler.

2.2.2.2. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Kompozit yapı içerisindeki matris malzemenin içine, istenilen özelliklere sahip başka bir veya birkaç malzeme parçacıklarının eklenmesi ile üretilen kompozitlerdir. İzotrop yapıya sahiptirler. Yapının mukavemetini içine eklenen parçacıklar belirler. Plastik matris içerisinde yer alan metal parçacıklar en yaygın olarak kullanılan parçacık takviyeli kompozitlerdir. Isıl ve elektriksel iletkenliği metal parçacıklar sağlar. Farklı bir tür olarak metal matrisler içerisinde yer alan seramik parçacıklı kompozitler sahip oldukları sertlik ve yüksek sıcaklık dayanım özellikleri ile bilinirler.

Partikül takviyeli kompozitler, esas olarak kompozitin sertliğinde artışa neden olmakla beraber aynı zamanda mukavemet ve toklukta da artışlara neden olur. Partikül

takviyeli kompozitler yüksek sertliğe sahip takviye elemanının varlığından dolayı iyi aşınma direncine sahiptirler.

2.2.2.3. Tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler, çeşitli yönlerden farklılıklar gösteren tabakaların bir araya getirilmesi ile üretilmektedir. Bu farklılık, mukavemet, ısı iletimi, gözeneklilik, ağırlık, yüzey sertliği, suya veya diğer dış etkilere karşı direnç gösterme gibi çok çeşitli yönlerden olabilmektedir (Ersoy, 2001).

Tabakalanmış yapılar, fiberlerle pekiştirilmiş kompozit tabakaları veya pekiştirilmemiş metal tabakaları arasında bir bağ oluşturarak elde edilen malzemelerdir. Farklı özelliklere sahip metal tabakalarının birleştirilmesi ile değişik uygulamalar için önem kazanan özelliklerin kazanılması mümkündür. Bu özellikler (Demirkese, 1991);

- Yüksek sertlik ve aşınma direnci,
- İyi bir korozyon direnci,
- İyi bir darbe dayanımı ve tokluk,
- İyileştirilmiş ısı ve elektriksel özellikler,
- Görünüm,
- Uygun maliyet.

Tabaka yapılı metalik kompozitler endüstride değişik uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin kimya endüstrisinde basınç altında çalışan tanklarda mükemmel bir korozyon ve erozyon direncine sahip olan titanyum kullanılır. Aynı amaçla, çelik üzerine titanyum kaplı malzeme kullanıldığında maliyet düşürülebilir. Reaktiflerde temas eden iç yüzeydeki titanyum tabakası korozyon direncini sağlarken, çelikten yapılan dış tabaka malzemeye gerekli mukavemet kazandırır. Tabaka yapılı metal kompozitlerde diğer bir örnek zırhlı plakalardır. Bu tür malzemelere de çok yüksek sertlikteki bir çelik levha ile bundan daha tok, sünek ve yumuşak çelik arasında metalurjik bir bağ oluşturulmuştur. Zırhın ön yüzeyindeki sert çelik, mermilerin malzemeyi delip geçmesini önlerken arkadaki tok tabaka öndekine destek olur ve merminin çarpması sonucu meydana gelen darbe enerjisini absorbe eder.

2.2.2.4. Karma (Hibrit) kompozit malzemeler

Yeni tip kompozitlerin geliştirilmesi alanında yapılan çalışmalar neticesinde, birden fazla elyafın birlikte kullanılması sonucunda hibrit katmanlı kompozitler geliştirilmiştir. Bu karma (hibrit) kompozitler, yapısındaki birden fazla elyafın

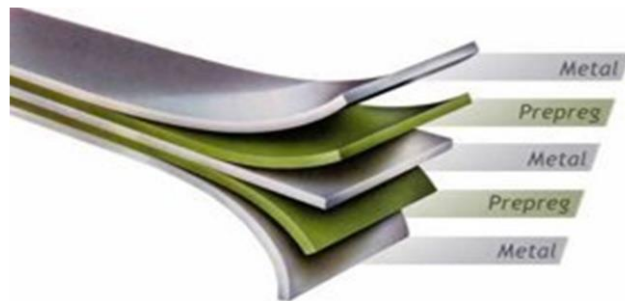
özelliklerini bir arada toplamaktadır. Örneğin, basma mukavemeti düşük, ucuz ve tok bir elyaf olan kevlar ile pahalı, iyi basma mukavemeti ve düşük tokluğa sahip olan grafitin birlikte kullanılması sonucu karma (hibrit) bir kompozit üretmek mümkündür. Üretilen bu hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır. İkinci bir örnekleme yapmak gerekirse; kompozit malzeme imalatında cam, aramid ve karbon elyafın birlikte kullanılması neticesinde, cam elyafın ucuz olma özelliğini, aramid elyafın yüksek darbe dayanımı özelliğini ve karbon elyafın yüksek çekme dayanım özelliğini bir arada toplayacaktır.

Hibrit kompozitlerin diğer kompozitlere göre üstün bazı özellikleri vardır. Bunlar;

- Daha iyi mukavemet ve sertlik değerleri,
- Termal kararlılık,
- Düşük ağırlık,
- Daha iyi bir yorulma direnci,
- Yüksek darbe dayanımıdır.

2.3. Fiber Metal Tabakalı Kompozitler

Fiber metal tabakalı (FMT) kompozitler, elyaf takviyeli yapışkan matrislerle (prepreg) birlikte bağlanmış ince metal tabakalardan oluşan hibrit malzemelerdir. Tabakalı metal kompozitler grubunda yer almaktadırlar. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, hibrit yapıların da epoksi matrisli fiber prepregler ile ince metal folyolar kullanılmaktadır. Fiber metal tabakalı kompozitlerde en yaygın kullanılan metal alüminyum alaşımları iken, en yaygın kullanılan fiberler ise kevlar, karbon ve cam fiberlerdir.



Şekil 2.2. Fiber metal tabakalı Genel görünümü (Giasin, 2017).

Fiber/metal kompozit teknolojisi, metalik malzemelerin ve fiber takviyeli matris sistemlerinin avantajlarını birleştirerek geleneksel alüminyumdan daha yüksek

mukavemet ve düşük yoğunluk ile termoset kompozitlerden daha iyi işlenebilirlik ve darbe direnci gibi birçok avantajı ortaya çıkarır. En göze çarpan özelliği ise prepreg tabakalarındaki liflerin çatlak köprüleme etkisinden kaynaklanan olağanüstü yorulma direncidir. Ayrıca mükemmel korozyon direnci ve doğal olarak yüksek yanma direncinin yanı sıra iyi sönümlenme ve yalıtım özelliklerine sahiptirler. Bununla birlikte fiber metal tabakalı kompozit olarak kabul edilmesine rağmen, kompozitlerden ziyade metal levhalara benzer şekilde tasarlanır, üretilir ve uygulanır (Sinmazçelik ve ark., 2011).

2.3.1. FMT kompozitlerin gelişimi

Fiber metal tabakalı kompozitlerin araştırılması, üretilmesi ve geliştirilmesinin arkasındaki temel motivasyon, özellikle havacılık yapılarında kullanılan geleneksel alüminyum alaşımlarının yerini alabilecek, yorulma direnci yüksek, hafif malzemelerin üretilerek uçak yapılarındaki ağırlığı azaltmaktır.

Optimum yapısal tasarım için, yüksek mukavemetli, düşük yoğunluklu, iyileştirilmiş tokluğa sahip, yüksek elastikiyet modüllü, korozyon direnci yüksek ve iyi bir yorulma direncine sahip olan ve bu özellikleri birleştiren yeni bir malzemeye ihtiyaç vardır. Fiberle güçlendirilmiş kompozit malzemeler, kırılma tokluğu hariç, neredeyse tüm bu talepleri karşılamaktadır.

Hollanda'daki Delft Teknoloji Üniversitesi Havacılık ve Uzay Fakültesi'nde yapılan ilk araştırmalar neticesinde yapıştırılmış alüminyum levhaların eş değer kalınlığa sahip monolitik alüminyumdan daha iyi bir yorulma performansına sahip olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, yorulma dayanımının artırılması için metal tabakalar arasındaki yapışkan tabakalara yüksek mukavemetli bir aramid lif eklenerek ilk alüminyum tabakada oluşan çatlakların diğer alüminyum tabakalara yayılmasını durdurduğu tespit edilmiştir (çatlak köprüleme). Bu çalışmalar sonucunda Delft Teknoloji Üniversitesi Havacılık ve Uzay Fakültesi tarafından 1978 yılında ilk fiber metal tabakalı kompozit olan ARALL tanıtıldı. 1984 yılında alınan iki uluslararası patent sonrasında Alcoa Şirketi tarafından dört farklı standart ARALL tipinde pilot üretim başlatıldı (Asundi ve Choi, 1997; Villanueva ve Cantwell, 2004).

Daha sonra, aramid elyaflar yerine karbon elyaflar kullanılarak üretilen çok daha sert CARALL tabakalar, Delft Teknoloji Üniversitesinde araştırılmış ve üretilmiştir (Schut ve Alderliesten, 2006). Yapılan araştırmalar neticesinde, uçuş simülasyonu yorulma testleri esnasında karbon elyafın yüksek gerilme seviyelerinde bozulmaması

nedeniyle CARALL kompozitlerin, yorulma performansının düşmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nemli ortamda karbon elyafları ile alüminyum levha arasındaki galvanik korozyon sorunu nedeniyle daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç duymuştur.

1990 yılında, ARALL kompozitlerin özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar neticesinde aramid elyaflar yerine yüksek mukavemetli cam elyafı kullanılarak, GLARE olarak adlandırılan yeni bir fiber metal kompozit geliştirilmiştir (Asundi ve Choi, 1997). 1991 yılında AKZO şirketi ile ALCOA şirketi arasında kurulan ortaklık ile GLARE üretilip ve ticarileştirilmiştir (Botelho ve ark., 2006).

Yapılan tüm bu çalışmaların bir sonucu olarak, ARALL fiber metal kompozitler 1990'da Boeing C-17 askeri nakliye uçağında ilk kez uygulanmıştır. 2001 yılında Airbus A380 süper Jumbo uçakları için tercih edilen GLARE kompozitler ise fiber metal kompozitlerin başarısını ve büyük ölçekli uygulamalarda da kullanılabilirliğini göstermiştir. Fiber metal tabakalı kompozitler günümüzde birden fazla uzay ve havacılık endüstrisinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar.

2.3.2. FMT kompozitlerin özellikleri

Sahip oldukları içerikleri nedeniyle, kompozitlerin istenen özellikleri ile metallerin istenen özelliklerini bir araya getirerek yüksek yorulma mukavemeti, yanmaz bir yapı, düşük yoğunluklu, şekillendirilebilir özelliğine sahip ve yüksek darbe direnci gibi mükemmel özellikler taşırlar. Bu ürünler, gelişmiş polimer kompozitler kadar yüksek mukavemet oranları sunmazlar, fakat daha sünektirler ve metalik yapılar için geliştirilmiş imalat tekniklerine uygundur. En ayırt edici özelliği mükemmel yorulma direncidir; bu, geleneksel alüminyum alaşımlarından iki ila üç kat daha fazladır. Ayrıca ağırlık tasarrufu ve korozyon dayanımı da öne çıkan belirgin özelliklerindendir.

En büyük dezavantajları, geleneksel alüminyum alaşımlarına kıyasla yüksek maliyetli olmalarıdır. Yapılarında bulunan prepreg levhaların birim maliyetlerinin yüksek oluşuna ek olarak, tabakaların birleştirilerek kompozit yapıların üretilmesindeki güçlükler ileri teknoloji yöntemlerini ve donanımı gerektirdiğinden, birim maliyetleri oldukça yüksektir. Fakat gelişen teknoloji ve yapılan ar-ge çalışmaları sonucunda daha ekonomik üretim yöntemlerinin geliştirileceği hedeflenmektedir. Ayrıca geri dönüştürülebilirlikleri konusunda da yetersiz bilgi mevcuttur ve çevreci olmadıkları bilinmektedir.

2.3.3. FMT kompozitlerin çeşitleri

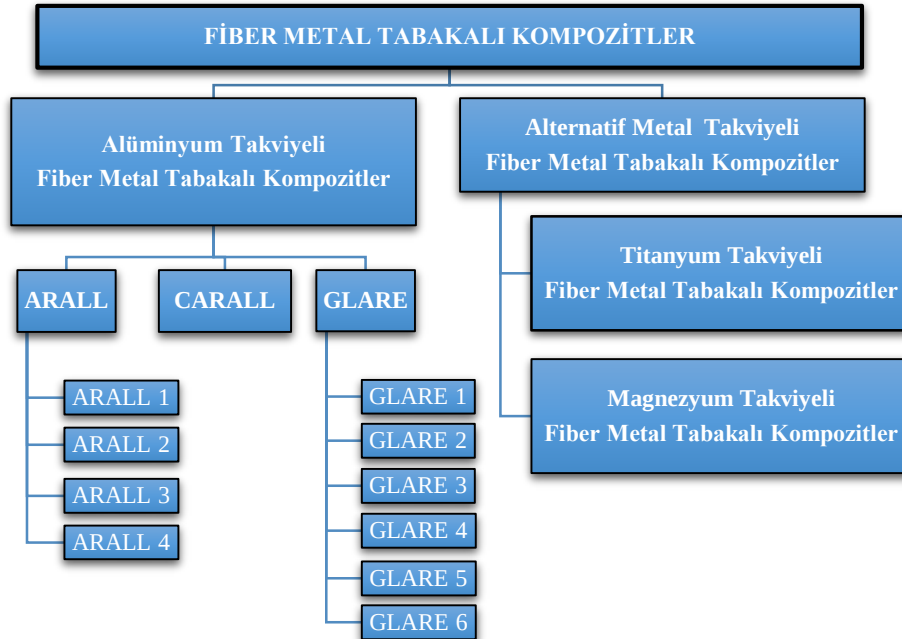
FMT kompozitler, reçine emdirilmiş kompozit malzeme tabakalarıyla bağlanmış, birkaç ince metal tabakadan oluşmaktadır. Bu, malzemenin bir metal yapı gibi davranmasına izin verir. Aynı zamanda metal yorulması, darbe, korozyon direnci, yangına dayanıklılık, ağırlıktan tasarruf ve özel mukavemet özellikleri gibi özelliklerle ilgili önemli avantajlarda sağlar.

FMT kompozitler temel olarak üç önemli yapısal bileşene sahiptir. Bu elemanlar yapının alt ve üst yüzeylerindeki metal levhalar (alüminyum alaşımı, magnezyum alaşımı, vb.) ve bu demir dışı metal levhalar arasında reçine emdirilmiş kumaş (cam, karbon, aramid vb.) ve bağlantıyı sağlayan adhezif yapıştırıcı katmanlardan oluşmaktadır.

Geçtiğimiz on yıllarda, uçak endüstrisinde yüksek performanslı, hafif yapılar için artan talep, FMT için yeni modellerin geliştirilmesine yönelik güçlü bir eğilim yarattı. FMT kompozitler, ince metallerin ve fiber takviyeli yapıştırıcıların birbirine geçen katmanlarından oluşan hibrit kompozit malzemelerdir. En iyi bilinen FMT'ler (Tablo 2.1):

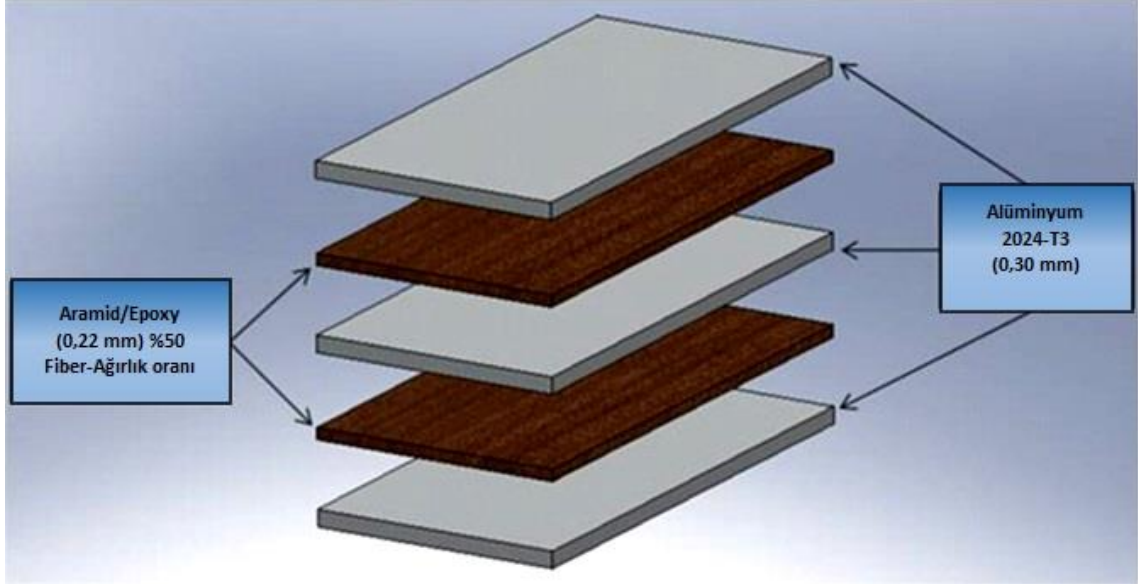
- ARALL (Aramid Reinforced ALuminum Laminate), aramid elyaf bazlı,
- GLARE (GLass Reinforced Aluminum Epoxy), cam elyaf bazlı,
- CARALL (CARbon Reinforced ALuminum Laminate), karbon fiber bazlı.

Tablo 2.1. FML'lerin genel sınıflandırılması (Sinmazcelik ve ark., 2001)



2.3.3.1. ARALL FMT kompozitler

ARALL FMT kompozitler, ince alüminyum alaşımlı levha tabakaları arasına yerleştirilmiş, epoksi yapıştırıcıya gömülmüş yüksek mukavemetli aramid elyaflarının mekanik preslerde veya otoklavda uygun sıcaklıklarda ve uygun sürede kürlenmesi ile üretilir.



Şekil 2.3. ARALL 2 FMT kompozitlerin şematik gösterimi.

Alüminyum tabakalar ve güçlü aramid fiberlerin kombinasyonu ile üstün mekanik özelliklere sahip yeni bir kompozit malzeme oluşturulmuştur. ARALL FMT'ler, yüksek mukavemet ve mükemmel yorulma özellikleri gibi birçok avantajın yanı sıra, alüminyum alaşımlarının süneklik ve diğer avantajlarını da korurlar.

ARALL FMT'lerde genellikle tek yönlü lifler kullanılır. Fiber yönü ana yük yönünde seçilerek, yorulma çatlaklarının lifleri bozamayacağı şekilde tasarlanır. Fiberler, bu malzemenin çatlak ilerlemesi ile ilgili kilit faydası olan yorulma yüküne duyarsızlardır. Prepregler çatlak üzerindeki yükleri transfer edip, çatlak ucundaki gerilme yoğunluğunu azaltarak çatlak büyüme oranını önemli ölçüde düşürürler. Çatlak köprüleme mekanizmasının bir sonucu olarak, FMT'lerin çatlak büyüme ömrü monolitik alüminyuma kıyasla önemli ölçüde artar.

Standardize edilerek ticarileştirilmiş dört adet ARALL FMT kompozitler Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

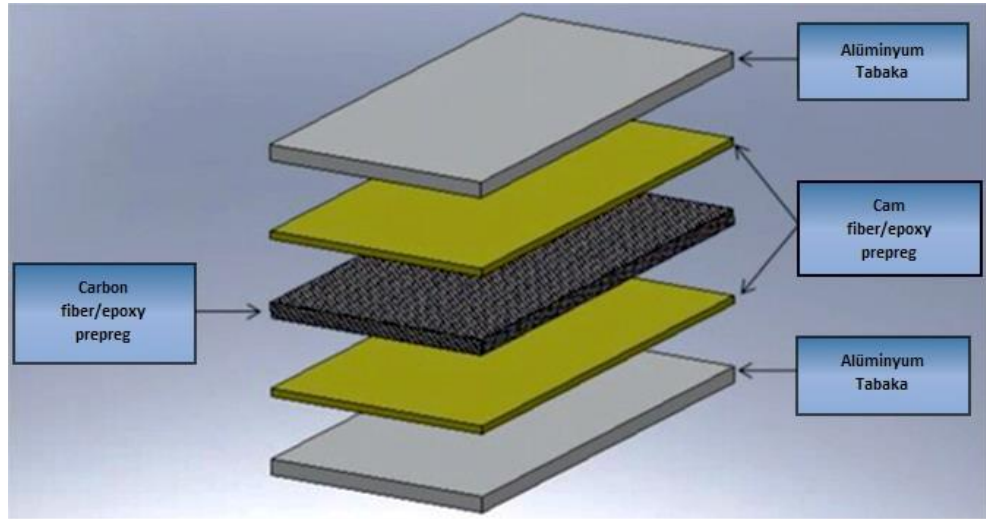
Tablo 2.2. Ticari Olarak Standartlaştırılmış ARALL FMT'ler (Khan ve ark., 2009)

	<i>Metal Cinsi</i>	<i>Metal Kalınlığı (mm)</i>	<i>Fiber Kalınlığı (mm)</i>	<i>Fiber açısı (°)</i>
ARALL 1	7075-T6	0.3	0.22	0/0
ARALL 2	2024-T3	0.3	0.22	0/0
ARALL 3	7475-T76	0.3	0.22	0/0
ARALL 4	2024-T8	0.3	0.22	0/0

Dört standart ARALL ürününün tamamında tek yönlü aramid elyaflar 50:50'lik bir elyaf / reçine ağırlık oranı kullanılarak üretilmektedirler. ARALL FMT'ler kritik uçak bileşenlerinde % 30'a varan ağırlık tasarrufu sağlamaktadırlar (Lee, 1992).

2.3.3.2. CARALL FMT kompozitler

CARALL FMT kompozitler, ARALL FMT kompozitlerin zayıf basınç dayanımının iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. CARALL FMT'ler ince metalik levhalar arasına yerleştirilmiş, aramid/epoksi prepregler yerine farklı miktarlarda karbon/epoksi prepregler içerirler. CARALL FMT'lerin şematik bir sunumu Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

**Şekil 2.4.** CARALL FMT'lerin şematik gösterimi

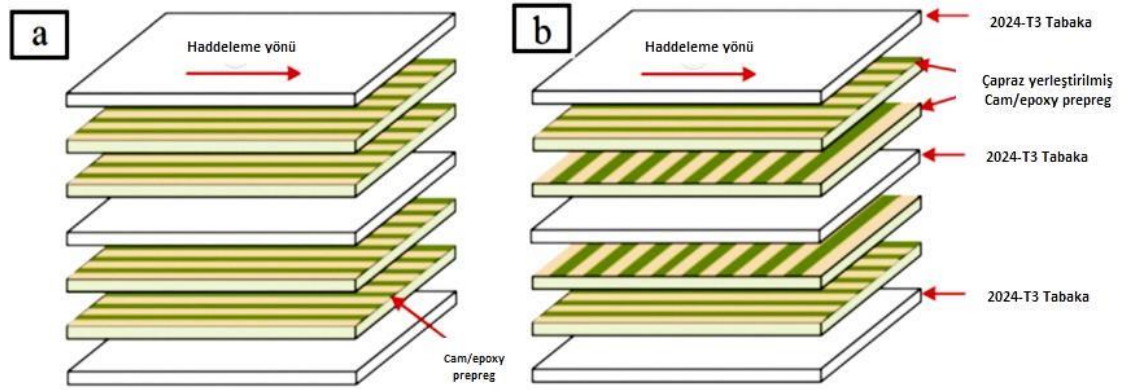
Aramid/epoksi kompozitler ile karşılaştırıldığında, karbon/epoksi kompozitlerin daha yüksek spesifik modülleri vardır, ancak göreceli olarak düşük mukavemet değerleri ve darbe dayanımı konusunda başarısızdırlar. Yorulma dayanımı açısından, aramid elyaf kompozitlerinin düşük devirlerdeki yorulma dayanımlarının daha iyi

olduğu ancak yüksek devirlerdeki yorulma dayanımlarının karbon fiber kompozitlerden daha kötüdür. Ayrıca, karbon elyaflarının yüksek sertliği, çok iyi çatlak ilerlemesini engelleyerek, çok düşük çatlak ilerleme oranları sağlamıştır.

Yüksek sertlik ile iyi darbe mukavemeti özelliklerinin birleşimi, CARALL FMT kompozitlere uzay uygulamaları için büyük avantaj sağlar. Ayrıca CARALL FMT kompozitler havacılık uygulamalarında darbe emici yapı malzemeleri olarak da kullanılmaktadırlar (Lin ve ark., 1991).

2.3.3.3. GLARE FMT kompozitler

İlk GLARE FMT'ler, fiber metal tabakalı kompozit ailesinin ikinci nesil üyesi olarak, tek yönlü cam elyaf takviyeli prepreg'ler ve alüminyum alaşımı gibi hafif demir dışı metalik levhaların belli bir dizilimi ile elde edilmiştir. ARALL FMT'leri geliştirmek için yapılan laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilmiştir ve ARALL FMT'lerden farkı GLARE FMT'lerde aramid lifler yerine cam liflerinin kullanılmış olmasıdır. Bu farklılık GLARE FMT'lere üstün mekanik özellikler kazandırmıştır. GLARE FMT'ler farklı lif yönlerine göre farklı iki şematik sunumu Şekil 2.5'te gösterilmektedir (Hu ve ark., 2015).



Şekil 2.5. GLARE FMT'lerin şematik gösterimi: (a) tek yönlü (0/0) cam elyaf katmanlı GLARE 2
(b)Çapraz katlı (0/90) cam elyaf katmanlı GLARE 3 (Hu ve ark., 2015)

GLARE'de kullanılan cam elyaflar ile reçine arasında daha iyi bir yapışma söz konusudur. Ayrıca cam elyaflar sıkıştırma yüklemesine çok daha iyi direnç gösterirler. Sonuç olarak, cam elyaflarındaki elyaf kusuru, değişken yükler altında nadiren görülür.

GLARE'nin ARALL'a göre diğer avantajları, daha yüksek gerilme ve basma dayanımı, daha iyi darbe davranışı ve kalıntı gerilmelerini daha iyi karşılamasıdır. Ayrıca GLARE FMT'ler çift eksenli gerilmelerin meydana geldiği bazı yapılar içinde

uygundur. Tüm bu özellikleri GLARE'nin daha geniş bir potansiyel uygulama alanına sahip olmasını sağlamaktadır.

Günümüzde, GLARE malzemeleri Tablo 2.3'te gösterildiği gibi altı farklı standart kalitede üretilmektedir. Hepsi, alaşımlı alüminyum metal tabakalar arasına yerleştirilmiş %60 elyaf hacmine sahip, epoksi yapıştırıcıya gömülmüş tek yönlü cam elyaf prepregler ile üretilmiştir. Standart GLARE'deki alüminyum levhalar, GLARE 1 için 7475-T761 alaşımlı alüminyum alaşımı kullanılırken, GLARE 2-6 için 2024-T3 alüminyum alaşımı levhalar kullanılmaktadır (Vlot ve Gunnink, 2001).

Tablo 2.3. Standartlaştırılmış GLARE Sınıfları (Vlot ve Gunnink, 2001)

<i>GLARE Türü</i>	<i>Alt Türü</i>	<i>Metal Cinsi</i>	<i>Metal Kalınlığı (mm)</i>	<i>Fiber Açısı (°)</i>
GLARE 1	-	7475-T761	0.3-0.4	0/0
GLARE 2	GLARE 2A	2024-T3	0.2-0.5	0/0
	GLARE 2B	2024-T3	0.2-0.5	90/90
GLARE 3	-	2024-T3	0.2-0.5	0/90
GLARE 4	GLARE 4A	2024-T3	0.2-0.5	0/90/0
	GLARE 4B	2024-T3	0.2-0.5	90/0/90
GLARE 5	-	2024-T3	0.2-0.5	0/90/90/0
GLARE 6	GLARE 6A	2024-T3	0.2-0.5	+45/-45
	GLARE 6B	2024-T3	0.2-0.5	-45/+45

Farklı uygulamalarda istenilen performansı elde etmek için tasarlanan farklı GLARE tiplerini ve düzenlerini tanımlamak için bir tabakalı kompozit kodlama sistemi kullanılmaktadır. Bu kodlama aşağıda verilen eşitlik (2.1)'de gösterildiği gibidir (Chang ve ark., 2008).

$$GLARE - Nal/Ngl - tal \rightarrow [Al2024/prepreg/Al2024/prepreg/.../Al2024] \quad (2.1)$$

Burada; Nal, alüminyum katman sayısı ve Ngl cam elyaf prepreg katmanlarının sayısı ve tal ise metal malzemenin kalınlığıdır (Giasin, 2017).

GLARE 2B-4/3- 0.4 FMT'lerde, 2B prepregler içindeki liflerin 90°/90° olarak dizildiğini, 4/3 dört alüminyum tabaka ve 3 prepreg tabakadan oluştuğunu ve alüminyum tabaka kalınlıklarının 0.4 mm olduğunu belirtir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm, alüminyum ve cam fiber tabakalar kullanılarak üretilmiş fiber metal tabakalı (FMT) kompozitte (GLARE) kullanılan malzemeler, üretilen GLARE kompozitin çekme dayanımının tespitinde kullanılan cihaz, bu malzemenin farklı işleme parametrelerinde delmesinde kullanılan kesici takım, delme işleminin yapılmasında ve delme performansının değerlendirilmesinde kullanılan makine, cihaz ve donanımların detaylı açıklamasını sunar.

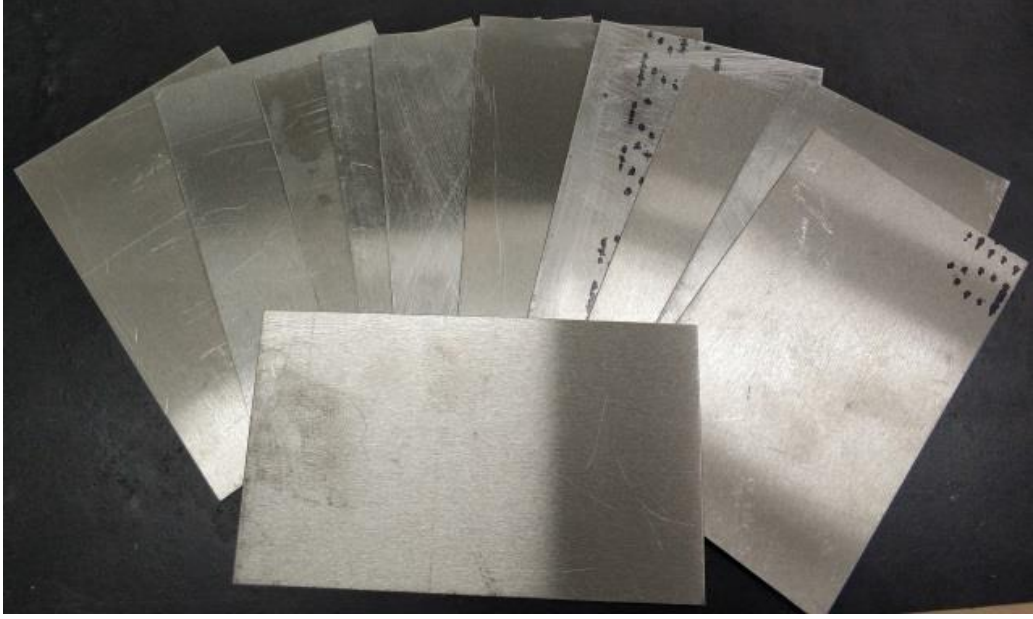
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmamızda kullanılacak olan GLARE kompozit, temel olarak üç farklı malzemeden üretilmiştir. Kompozit malzemenin üretiminde kullandığımız malzemeler aşağıdaki gibidir.

- Al 7075 T6 levhalar
- E tipi cam fiber
- 3M™ Scotch-Weld™ Epoksi yapıştırıcı EC-2216 B/A ve sertleştirici

Alüminyum alaşımı olarak, mükemmel mekanik ve yüksek korozyon direnci özelliklerinden dolayı özellikle savunma, otomotiv ve nükleer uygulamalarında ve kayak direkleri, sonsuz dişliler, miller, anahtarlar, sigorta parçaları, vana parçaları ve zincir dişlileri bileşenlerinde kullanılan Al 7075-T6 (AA7075, ISO AlZn5.5MgCu) tercih edilmiştir.

GLARE kompozit yapımında kullanılan Al 7075 alaşımı 0.5 mm kalınlığında olup 135 mm uzunluğunda ve 65 mm genişliğinde olacak şekilde kesilmiştir. Bu boyutlarda kesilmiş Al 7075 alaşımları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Al 7075 alaşımının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1’de ve kimyasal bileşimi ise Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. GLARE kompozit yapımında kullanılan Al 7075 levhalar

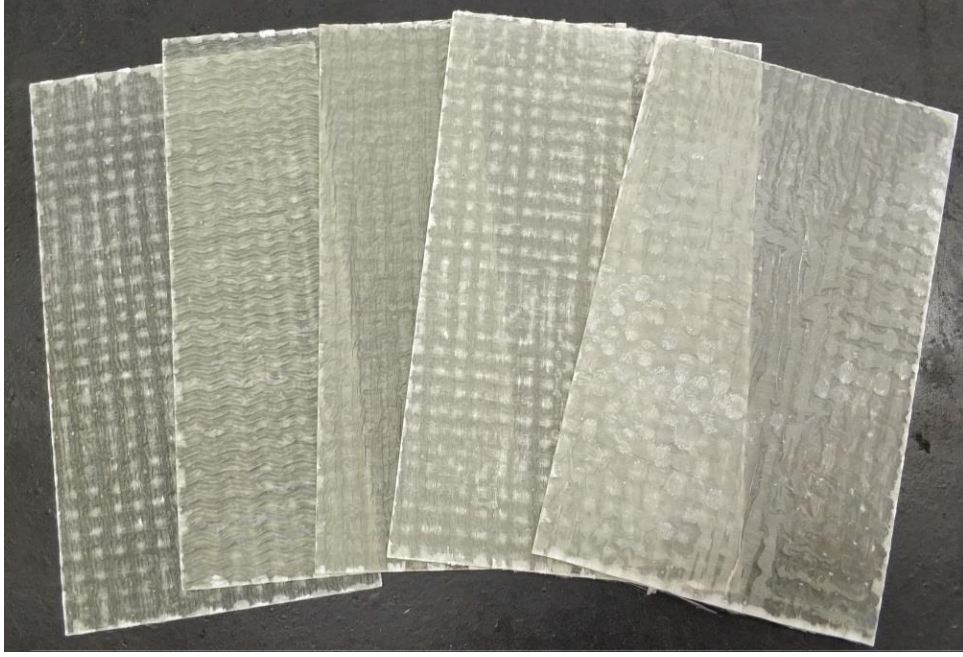
Tablo 3.1. Al 7075-T6 alüminyum alaşımasının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değer
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.81
Akma Dayanımı (Mpa)	460-505
Çekme Mukavemeti (MPa)	530-570
Uzama (%)	10
Sertlik (Brinel) HB	140-160

Tablo 3.2. Al 7075-T6 alüminyum alaşımasının kimyasal bileşimi (%)

Al	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer
Kalan	0.5	0.5	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	5.1-6.1	0.18-0.2	0.25	0.15

GLARE kompozit yapımında alüminyum alaşımı ile birlikte yüksek korozyon direnci ve yüksek mukavemetli 0°/90° yönlendirme açısına sahip E tipi cam fiber takviyeli kompozitler tercih edildi. Cam fiber kompozitlerin boyutları Al 7075 ile aynı boyutta olacak şekilde 135 mm 65 mm boyutlarında kesildi (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. GLARE kompozit yapımında kullanılan cam fiber kompozit levhalar

E tipi cam fiberin bazı özellikleri ve kimyasal kimyasal bileşimi Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te sırası ile verilmiştir.

Tablo 3.3. E tipi cam fibere ait bazı özellikleri

<i>Özellikler</i>	<i>Değer</i>
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.54
Elastik modül (GPa)	72.4
Çekme Mukavemeti (MPa)	3448
Isıl genleşme katsayısı (m/m/°Cx10 ⁶)	5
Yumuşama sıcaklığı (°C)	841

Tablo 3.4. E tipi cam fiberin kimyasal bileşimi (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O, K ₂ O	B ₂ O ₃
52.4	14.4	17.2	4.6	0.8	10.6

GLARE kompozit yapımında alüminyum alaşımı ile cam fiber kompozit levhaları birleştirmek için oda sıcaklığında kürleşme özelliğine sahip güçlü yapışma özelliği olan 3M™ Scotch-Weld™ EC-2216 B/A epoksi tercih edilmiştir (Şekil 3.3). Bu epoksi çevresel yaşlanma sonrası mukavemetini iyi derecede korur. Aşırı şok, titreşim ve esnemeye dirençlidir. Ayrıca, uçak ve havacılık uygulamaları için uygun özelliklere

sahiptir. 3M marka EC-2216 B/A model epoksiye ait bazı özellikler Tablo 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.3. 3M marka EC-2216 B/A model epoksi

Tablo 3.5. 3M marka EC-2216 B/A model epoksinin bazı özellikleri

Ürün Kodu	EC-2216 B/A Gray	
	Epoksi	Hızlandırıcı
Renk	Beyaz	Gri
Karıştırma oranı (Ağırlıkça)	5	7
Karıştırma oranı (Hacimsel)	2	3
Kür Sıcaklığı 75°F (24°C)	7 gün	
Kür Sıcaklığı 150°F (66°C)	120 dk.	
Kür Sıcaklığı 200°F (93°C)	30 dk.	

3.2. Deney Malzemesinin Üretim Aşamaları

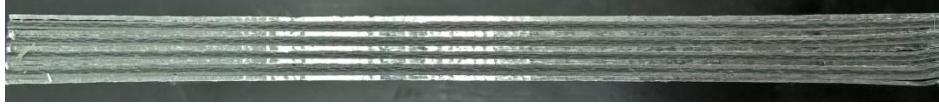
GLARE kompozitlerin üretimi için aşağıdaki adımlar izlendi;

- 0.5 mm kalınlığındaki Al 7075 alaşımı kir, toz ve yağdan arındırılması için Metil Etil Keton ile iyice temizlendi,
- Al 7075 levhalar üzerinde makro pürüzlülüğü oluşturmak için, sırasıyla 400 ve 120 grid silisyum karbür aşındırıcılar kullanılarak çapraz bir şekilde ile el aşındırıldı,
- Al 7075 levhalar üzerindeki talaş ve yabancı cisimler temizlendi,
- 100 gr epoksi ile 140 gr hızlandırıcı bir kap içerisinde homojen bir yapı oluşuncaya kadar karıştırıldı,
- Hazırlanan epoksi karışımı Al 7075 levhaların ve 0.5 mm kalınlığındaki cam elyaf kompozitlerin yüzeyine tamamen ıslatacak şekilde bir fırça yardımı ile uygulandı,
- 5 tabaka Al 7075 ve 4 tabaka cam elyaf kompozit olacak şekilde kompozit birleştirme işlemi yapıldı,

- Epoksi uygulanan Al fiber katmanlı hibrit malzeme k rle meye bırakıldı. Üretilen GLARE kompozitlere ait görüntüler  ekil 3.4. ve  ekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Üretilen GLARE kompozitlerin üstten görünüşü



Şekil 3.5. Üretilen GLARE kompozitlerin yandan görünüşü

3.3. Deney Malzemesinin  ekme Dayanımının Belirlenmesi

Çekme testleri, Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuar'ında bulunan, 250 kN yük kapasiteli sahip Shimadzu marka  niversal çekme test cihazında ( ekil 3.6) gerçekleştirildi. Çekme deneyleri ASTM 3039 standardına göre 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirildi.



Şekil 3.6. Shimadzu AG-X  ekme testi cihazı

3.4. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi ve Kesici Takım Seçimi

İş mili devri ve ilerleme hızı gibi kesme parametrelerinin seçimi, işlenmiş deliklerin kesme performansını için önemli bir faktördür. Kesme parametrelerinin seçimi; GLARE, alüminyum ve cam elyaf fiber takviyeli kompozitlerin delinmesinde önceden kullanılan kesme parametreleri göz önünde bulundurularak yapıldı. Deneyler 8 mm çapında 3 farklı tip kesici takım malzemesi (HSS, TiN kaplı HSS ve Sert Karbür), üç farklı dönme devri (1000, 2000 ve 3000 dev/dak) ve ilerleme hızlarının (0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev) kombinasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir kesici takım için dokuz adet delme işlemi gerçekleştirilmiş olup toplamda 27 farklı delme parametresi derlenmiştir. Tablo 3.6'de deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve değerleri verilmiştir.

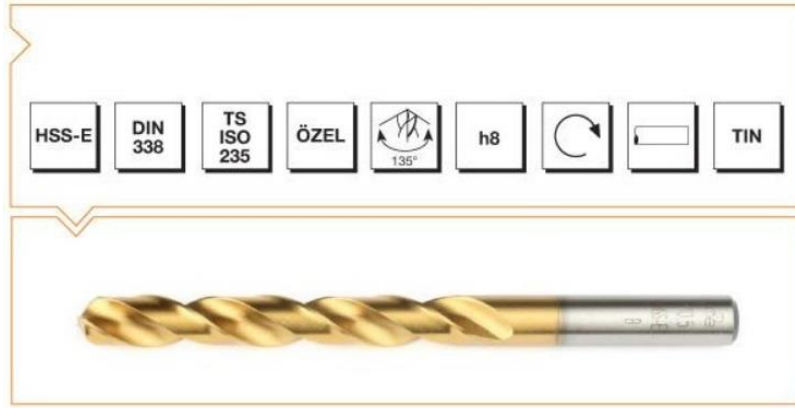
Tablo 3.6. Kesme Parametreleri ve Değerleri

D.No.	Kesici Takım Tipi	Kesme Parametreleri	
		n , (dev/dak)	f , (mm/dev)
1	Kaplamasız HSS	1000	0.05
2			0.10
3			0.15
4		2000	0.05
5			0.10
6			0.15
7		3000	0.05
8			0.10
9			0.15
10	TiN Kaplı HSS	1000	0.05
11			0.10
12			0.15
13		2000	0.05
14			0.10
15			0.15
16		3000	0.05
17			0.10
18			0.15
19	Sert Karbür (SK)	1000	0.05
20			0.10
21			0.15
22		2000	0.05
23			0.10
24			0.15
25		3000	0.05
26			0.10
27			0.15

Deneylerin gerçekleşmesinde kullanılan kesici takımlar (matkap) şekil 3.7’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

şekil 3.7. Deneylerde kullanılan kesici takımlara ait resimler
a) Kaplamasız HSS b) TiN Kaplı HSS c) Sert karbür

3.5. Deney Seti ve Delme Deneyi

GLARE kompozitlerin delme deneyleri, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.8’de gösterilen Brother Speedio S500X1 model CNC dik işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın SO230-2:2006 standartlarına göre hassasiyeti 0.004 mm, gücü 9.5 kW, iş mili maksimum devri 10.000 dev/dak, tabla boyutları 600x400 mm, taret sayısı 14’tür.

Delme testlerini yapmak için kullanılan Brother marka Speedio S500X1 model CNC dik işleme tezgâhının özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan CNC dik işleme merkezi

Tablo 3.7. Delme deneylerinde kullanılan CNC dik işleme tezgâhının özellikleri

<i>X, Y, Z Eksen Hareketi (mm)</i>	500; 400; 300
<i>Tabla Ebadı (mm)</i>	600x400
<i>İş mili Hızı (dev/dak)</i>	10000
<i>X / Y / Z Seri Hareket Hızları (mm/dak.)</i>	50x50x56
<i>Takım Shank Türü</i>	MAS-BT30
<i>Takım Kapasitesi</i>	14
<i>Maks. Takım Boyu (mm)</i>	250
<i>Maks. Takım Çapı (mm)</i>	110
<i>Takım Değiştirme Zamanı (Takımdan Takıma)</i>	0.8 saniye
<i>Takım Değiştirme Zamanı (Talaştan Talaşa)</i>	1.4 saniye
<i>Takım Değiştirme Zamanı (Kesmeden Kesmeye)</i>	1.2 saniye
<i>Güç Kapasitesi (10000 dev./dak.)</i>	9.5 kVA
<i>Makina Yüksekliği (mm)</i>	2497

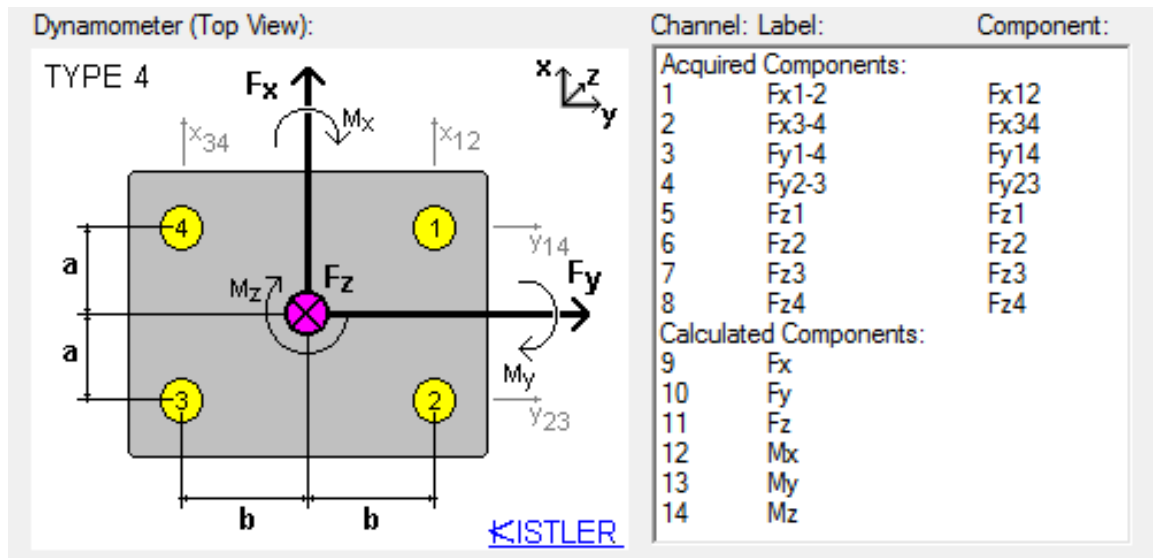
3.6. Deneyde Kullanılan Cihaz ve Aletler

3.6.1. Kesme kuvveti ve momentinin belirlenmesi

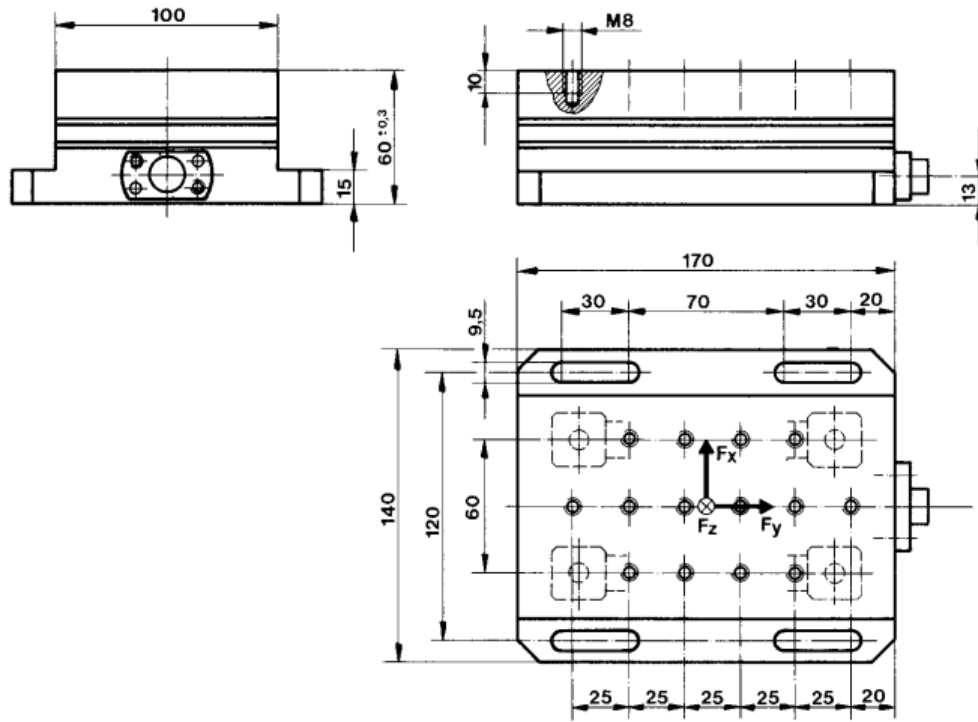
Malzemelerin talaşlı işlenmesinde işleme performansının belirlenmesinde önemli faktörlerden biri kesme kuvvetleri ve momentleridir. GLARE kompozitlerin delinmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan piezoelektrik 3 bileşenli dinamometre kullanılarak ölçüldü. Delme işlemi sırasında bir kuvvetin üç dik bileşenini ölçmek için Kistler 9257B dinamometre kullanıldı. Bu dinamometre büyük bir rijitliğe ve yüksek bir doğal frekansa sahiptir. Bu özellik büyük kuvvetlerdeki en küçük dinamik değişikliklerin ölçülmesini sağlar.

Dinamometre, bir taban plakası ve bir üst plaka arasında yüksek ön yük altında bulunan dört adet üç bileşenli kuvvet sensöründen oluşur. Her sensör, biri z yönündeki basınca duyarlı ve diğer ikisi sırasıyla x ve y yönlerindeki kaymaya tepki veren üç çift kuvars plaka içerir. Kuvvet bileşenleri yer değiştirmeden pratik olarak ölçülür. Dört dahili kuvvet sensörünün çıkışları, çok bileşenli kuvvet ve moment ölçümlerinin gerçekleştirilmesine izin verecek şekilde dinamometrenin içine bağlanır.

9257B dinamometre ölçüm aralığı X, Y ve Z yönlerinde -5 ila 5 kN arasında olup bir kuvvetin üç dik bileşeninin dinamik olarak ölçmek mümkündür. Tornalama, frezeleme, delme, taşlama vs. gibi talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvveti ölçülebilmektedir. Dinamometre üzerinde etkili olan bileşenler Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu dinamometrenin teknik resmi ve boyutları Şekil 3.10'de verilmiştir.

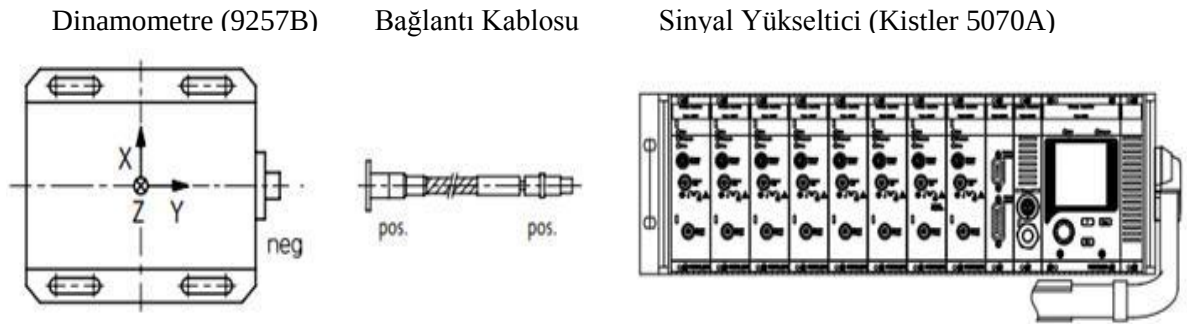


Şekil 3.9. Dinamometre üzerindeki bileşenler

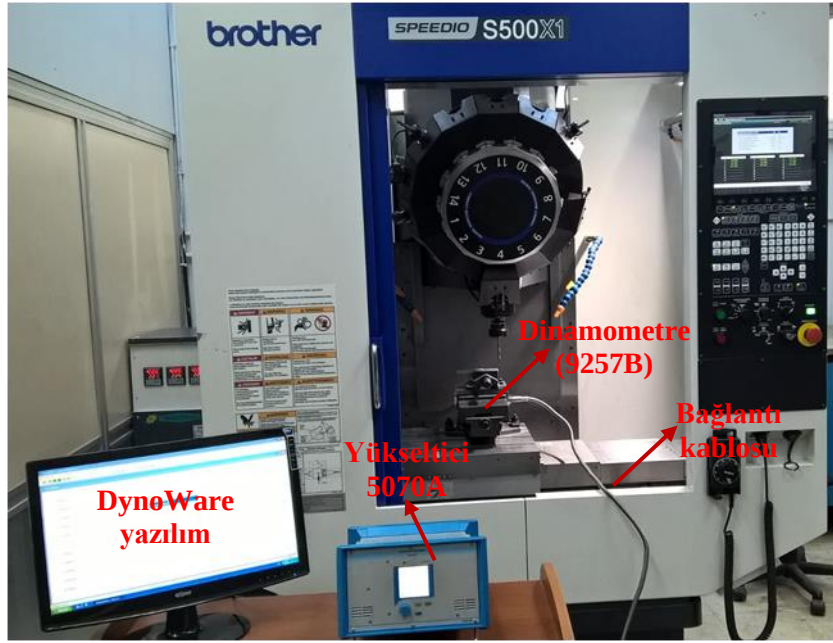


Şekil 3.10. 9257B dinamometrenin boyutları

Tam bir ölçüm sistemi oluşturmak için dinamometreden alınan sinyaller Kistler marka 5070A model yükselticiye aktarılmıştır. Bu yükseltici ölçüm sinyalini elektrik voltajına dönüştürmektedir. Yükselticiden alınan sinyaller bilgisayar ortamında DynoWare yazılımı ile grafik haline getirilmiştir. Dinamometrenin yükselticiye bağlantısı şeması Şekil 3.11 de ve kesme kuvveti ölçüm düzeneği ise Şekil 3.12’te verilmiştir.

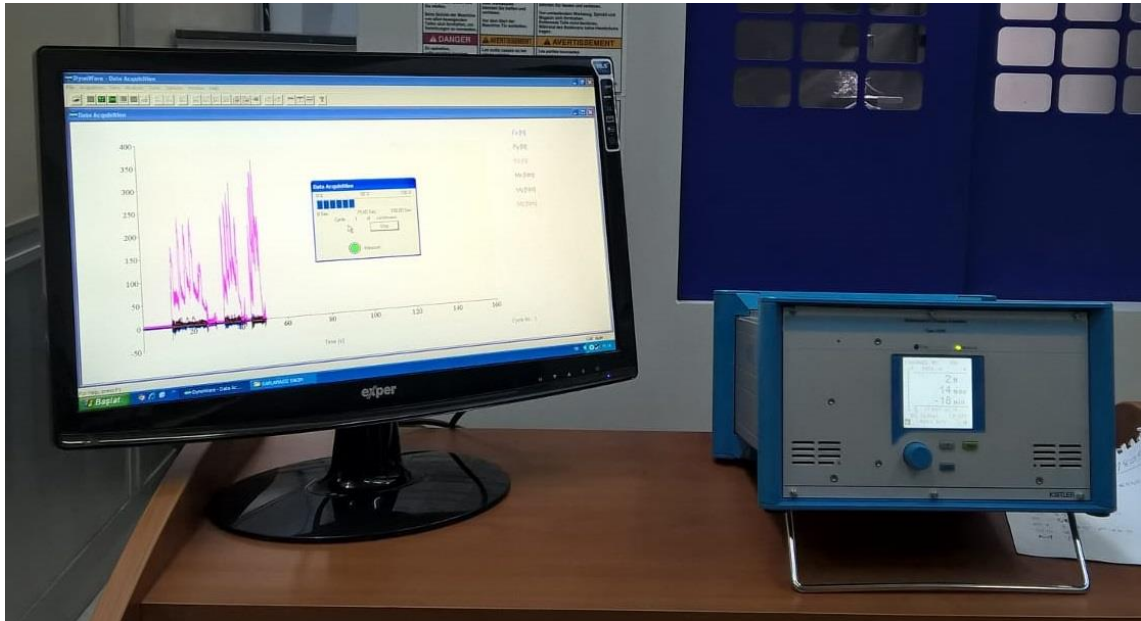


Şekil 3.11. Dinamometrenin yükselticiye bağlantısı şeması



Şekil 3.12. Kesme kuvveti ölçüm deney düzeneği

Dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri bilgisayara aktarılıp DynaWare yazılımı ile grafik haline getirilmiştir. Kesme kuvveti ölçüm düzeneği Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Kesme kuvveti düzeneği ve ekran görüntüsü

3.6.2. Çapak oluşumu

GLARE kompozitlerin delinmesi sırasında delik giriş ve çıkışlarında Al 7075 alaşımının plastik şekil değiştirmesinden dolayı çapaklar oluşmaktadır. Bu çapakların şekli ve büyüklüğü delme performansını önemli derecede etkilemektedir. Delinen malzemenin çıkışındaki en uzun çapak yüksekliğinin belirlenmesi gereklidir. FMT kompozitlerin delinmesi sonucu oluşan çapak yükseklikleri Nikon marka Epiphot 200 model bir optik mikroskop kullanılarak ve dört ölçümün ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

3.6.3. Delik çapı ve çap sapması ölçümleri

Malzemeler delindiğinde, delik çapında ve daireselliğinde sapmalar olmaktadır. Bu sapmaların büyük olması delik toleransını önemli derecede etkilemektedir. GLARE kompozitlerin farklı delme parametrelerinde delinmesinde delik çapı ve dairesellik hatasını belirlemek için Mitutoyo marka dijital 3 noktalı iç çap mikrometresi ile ölçümler yapılmıştır. İç çap mikrometresinin resmi Şekil 3.14'te ve ölçüm ucunun resmi Şekil 3.15'te ve bu mikrometrenin bazı özellikleri Tablo 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Delik çapı ölçümünde kullanılan iç çap mikrometresi



Şekil 3.15. İç çap mikrometresi probunun resmi

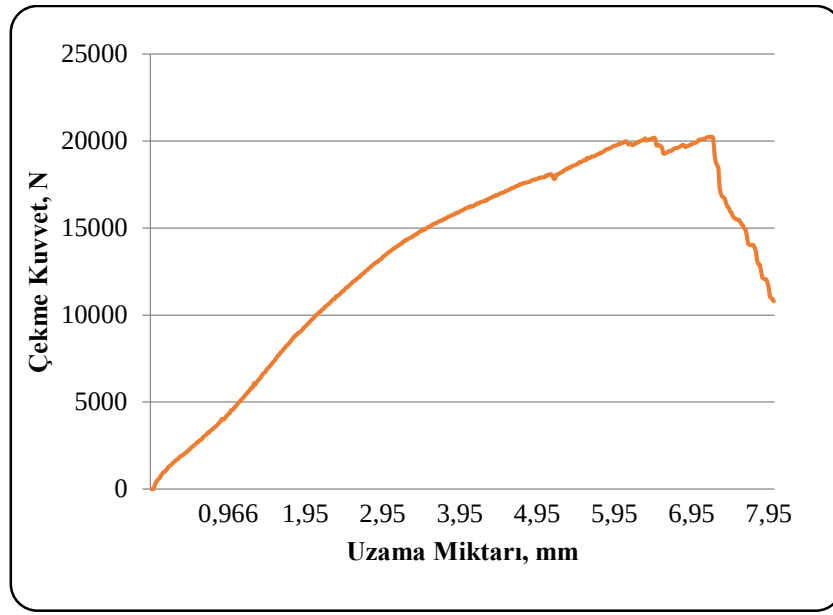
Tablo 3.8. İç çap mikrometresinin bazı özellikleri

<i>Ölçüm aralığı</i>	6 - 12 mm
<i>İçeriği, ölçüm aralıkları</i>	6-8, 8-10, 10-12 mm
<i>İçeriği, ürün kodları</i>	468-161 / 468-162 / 468-163
<i>Dahil olan Ayar Halkaları</i>	ø8 mm (177-125) ø10 mm (177-126)
<i>Ağırlık</i>	1160 g
<i>Cetvel Çözünürlüğü</i>	0.001 mm, 0.001 mm/0.00005" 0.001 mm/0.0001" (5" üzeri modellerde)
<i>Ölçüm pimi</i>	Titanyum kaplı, tungsten karbür (6 - 12 mm)
<i>Dijital/Analog</i>	Dijital
<i>Hata Sınırı</i>	6-20 mm: $\pm 2 \mu\text{m}/0.0001''$
<i>Ölçüm sistemi</i>	Metrik

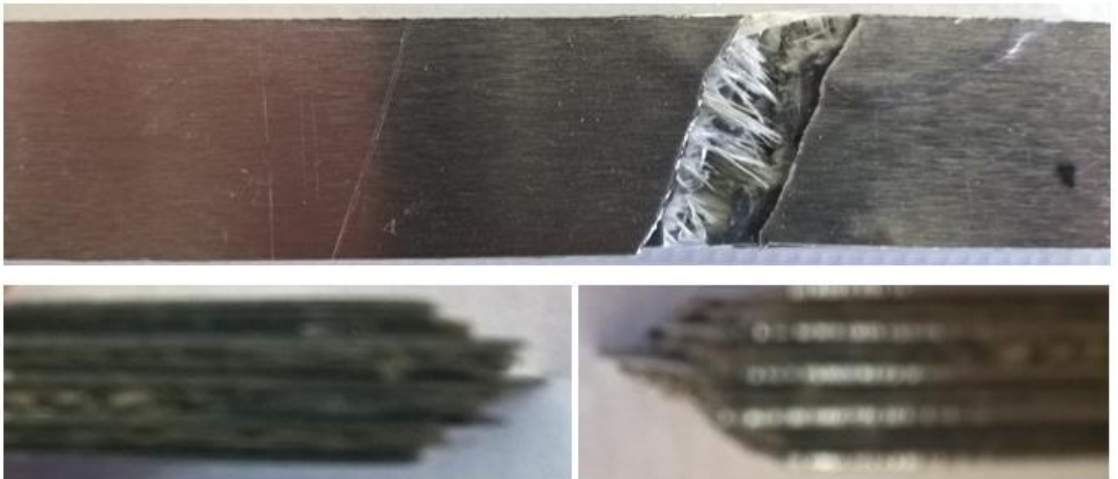
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. GLARE Kompozitin Çekme Deneyi Sonuçları

Üretilen GLARE hibrit kompozitin çekme dayanımının belirlenmesi için, (ASTM D3039) standartlarına uygun olarak hazırlanmış numunelerin çekme deneyi yapılmış olup, bu deneye ait kuvvet-uzama grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Çekme deneyi sonucu deney numunesine önden ve yandan görüntüler Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. GLARE hibrit kompozite ait çekme kuvveti-uzama diyagramı



Şekil 4.2. Deney numunesinin kırılan yüzeyine ait görüntüler

Fiber metal tabakalı kompozitlerde, cam fiber/epoksi levha ile alüminyum levha arasındaki ara yüz bağı, fiber/matris ara yüzünde olduğu gibi kompozitten de

gerilmelerin aktarılmasında önemli bir rol oynar. GLARE hibrit kompozitin çekme testi sonucunda maksimum çekme kuvveti 20.250 N olarak ölçülmüştür. Fiber metal tabakalı kompozitlerde, kompozit tabakadan yüksek sertlik ve mukavemet ile alüminyumdan iyi darbe özelliklerinin bir kombinasyonu vardır, bu da alan uygulamaları için mükemmel bir performans sağlar (Botelho ve ark., 2006).

4.2. GLARE Kompozitin Delinmesine Ait Deneysel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; üretilen FTM kompozitin delinmesinde, dönme devri (n), ilerleme (f) ve farklı kesici takımın (kaplamasız HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür) kesme kuvveti (F), maksimum delik çapı (D_{maks}), çap sapması (D_{sapma}) ve çapak yüksekliği (H) üzerine etkileri araştırılmıştır. Delme deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1.-4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.1. Kaplamasız HSS kesici takıma ait deney sonuçları

Deney No.	n, (dev/dak)	f, (mm/dev)	Kesici Takım: Kaplamasız HSS			
			Kesme Kuvveti F (N)	Maksimum Çap D _{maks} (mm)	Çap Sapması D _{sapma} (μm)	Çapak Yüksekliği H (mm)
1	1000	0.05	99	8.055	55	0.60
2		0.10	140	8.062	62	0.82
3		0.15	168	8.087	87	0.92
4	2000	0.05	101	8.060	60	0.68
5		0.10	146	8.068	68	0.87
6		0.15	175	8.079	79	1.05
7	3000	0.05	110	8.037	37	0.78
8		0.10	154	8.049	49	0.97
9		0.15	190	8.076	76	1.21

Tablo 4.2. TiN Kaplı HSS kesici takıma ait deney sonuçları

Deney No.	n, (dev/dak)	f, (mm/dev)	Kesici Takım: TiN Kaplı HSS			
			Kesme Kuvveti F (N)	Maksimum Çap D _{maks} (mm)	Çap Sapması D _{sapma} (μm)	Çapak Yüksekliği H (mm)
10	1000	0.05	93	8.057	57	0.57
11		0.10	131	8.063	63	0.78
12		0.15	156	8.090	90	0.90
13	2000	0.05	97	8.049	49	0.65
14		0.10	137	8.055	55	0.86
15		0.15	164	8.081	81	1.01
16	3000	0.05	115	8.040	40	0.75
17		0.10	148	8.050	50	0.86
18		0.15	178	8.067	67	1.10

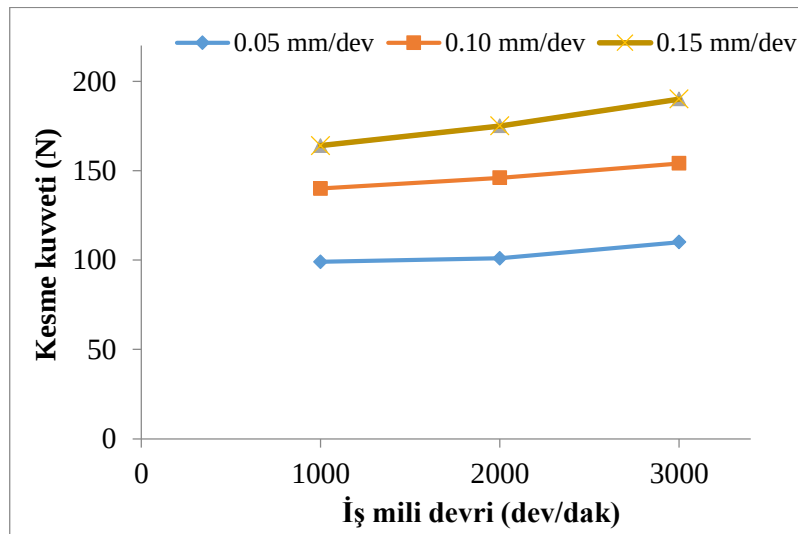
Tablo 4.3. Sert karbür kesici takıma ait deney sonuçları

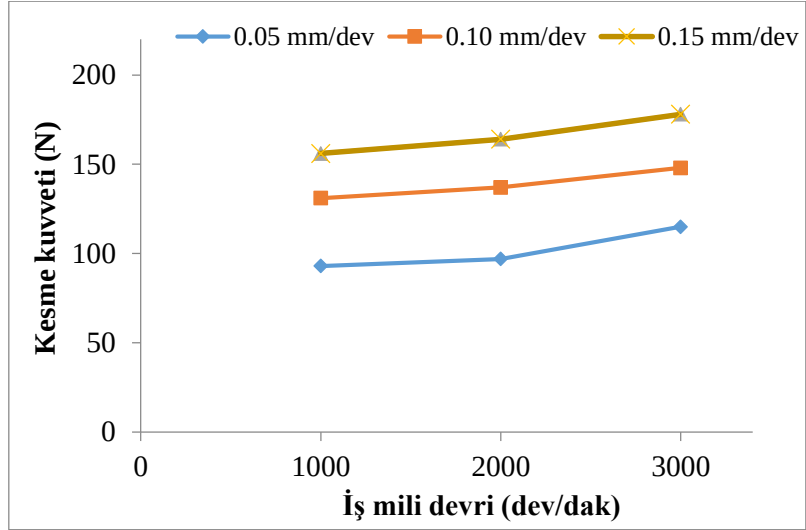
Deney No.	n, (dev/dak)	f, (mm/dev)	Kesici Takım: Sert Karbür			
			Kesme Kuvveti F (N)	Maksimum Çap D _{maks} (mm)	Çap Sapması Dsapma (μm)	Çapak Yüksekliği H (mm)
19	1000	0.05	88	8.044	44	0.52
20		0.10	122	8.050	50	0.65
21		0.15	148	8.057	57	0.78
22	2000	0.05	90	8.035	35	0.62
23		0.10	127	8.040	40	0.79
24		0.15	160	8.048	48	0.86
25	3000	0.05	102	8.027	27	0.68
26		0.10	134	8.035	35	0.77
27		0.15	170	8.040	40	0.95

4.3. Delme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerine Etkisi

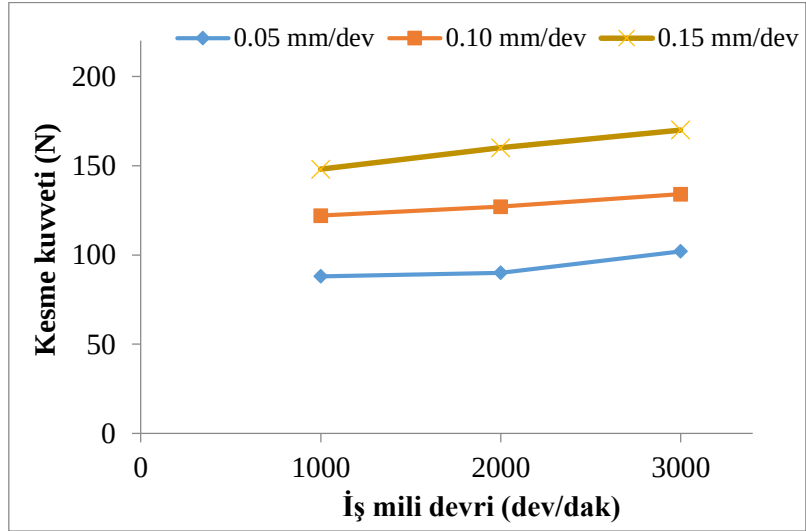
FTM kompozitlerin delinmesinde, kesici takıma etkiyen kuvvetlerin büyüklüğünün bilinmesi oldukça önemlidir. Kesme kuvvetlerinin bilinmesi ile kesme parametrelerinin seçimi doğru bir şekilde yapılabilir. Delme parametrelerinin uygun seçimi ve düşük kesme kuvveti delme performansını arttırmaktadır. FTM kompozitlerin farklı delme parametrelerinde delinmesinde, dinamometreden alınan zamana bağlı kesme kuvvetindeki değişim grafikleri Ek 1’de verilmiştir.

FTM kompozitlerin delinmesinde, kesici takım iş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 4.3-4.5’te, ilerleme oranının kesme kuvveti üzerine etkisi Şekil 4.6-4.8’de ve takım malzemesinin kesme kuvveti üzerine etkisi ise Şekil 4.9’da verilmiştir.

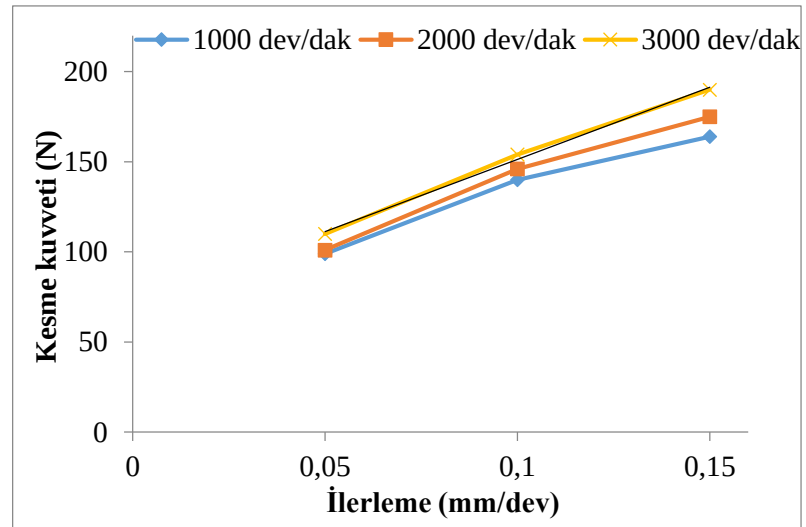
**Şekil 4.3.** İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (Kaplamasız HSS)



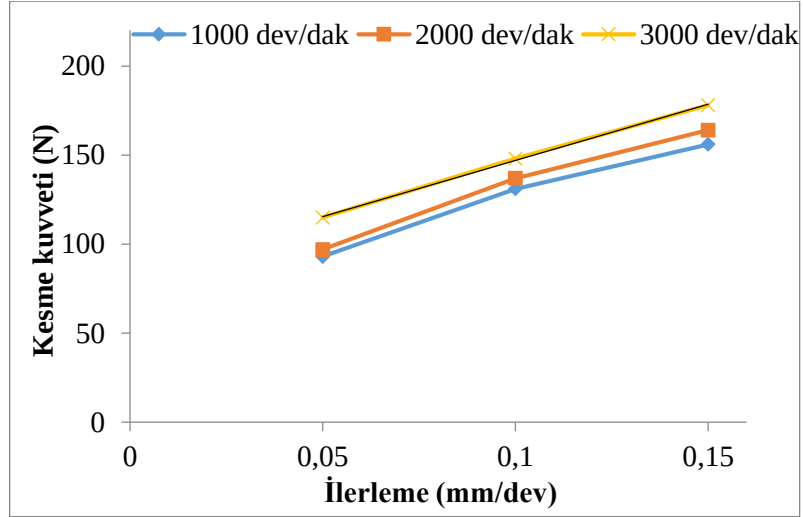
Şekil 4.4. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (TiN Kaplı HSS)



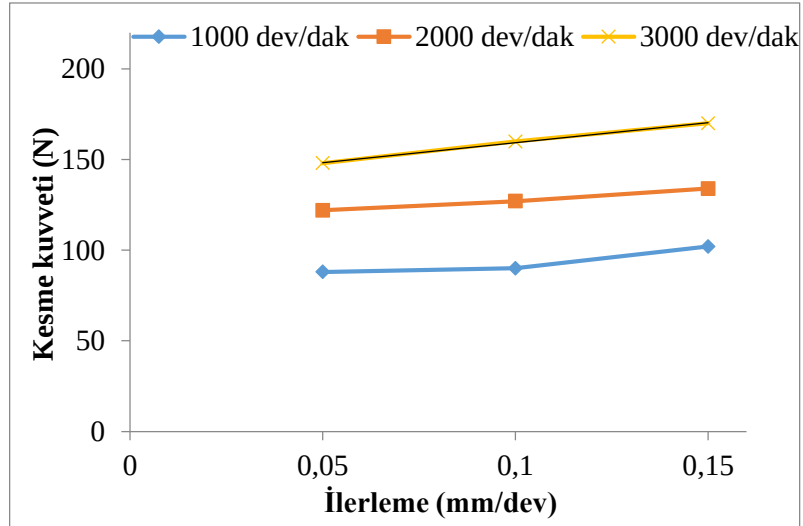
Şekil 4.5. İş mili devrinin kesme kuvveti üzerine etkisi (Sert Karbür)



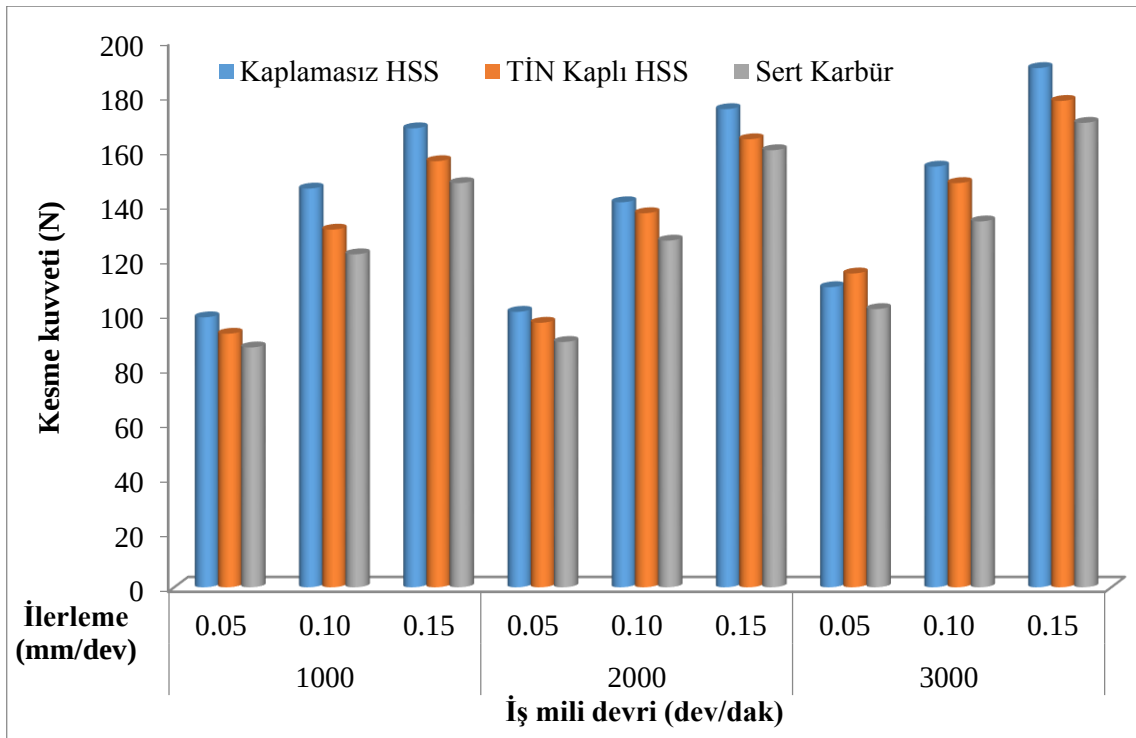
Şekil 4.6. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (Kaplamasız HSS)



Şekil 4.7. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (TiN Kaplı HSS)



Şekil 4.8. İlerlemenin kesme kuvveti üzerine etkisi (Sert Karbür)



Şekil 4.9. Takım malzemesi ve delme parametrelerinin kesme kuvvet üzerine etkisi

Kesme deneylerinden elde edilen kuvvet sonuçlarının gösterildiği grafiklerden (Şekil 4.3-4.5), iş mili devrinin artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek kesme kuvveti 3000 dev/dak iş mili devrinde elde edilirken en düşük kesme kuvveti değerleri ise 1000 dev/dak iş mili devrinde yapılan deneylerden elde edilmiştir. Bu durum iş mili devrindeki artışın takım/iş parçası arasındaki sürtünmeyi arttırması ve bunun da takımın ilerlemesini engellemesi ile açıklanabilir. Benzer şekilde ilerlemenin artması ile de kesme kuvvetlerinde bir artış görülmektedir (Şekil 4.6-4.8). Bu grafiklerde, kesme kuvvetindeki artış eğimine bakıldığında ilerlemenin iş mili devrinden daha fazla kesme kuvvetini etkilediği görülmektedir. Farklı araştırmacılar tarafından fiber takviyeli kompozitlerin işlenmesi ile ilgili yaptıkları araştırmalar incelendiğinde, ilerleme ile kesme kuvveti arasında benzer eğilimler gözlenmiştir (Singh ve ark., 2008; Rahim ve Sharif, 2006; Li ve ark., 2007). Yüksek ilerleme değerlerinde birim zamanda kaldırılan talaş hacmi artmaktadır. Bu durum kesme kuvvetlerinde dinamik etkiye neden olmakta ve kesme kuvveti artmaktadır (Suresh ve ark. 2012). Birim zamanda iş parçası/takım temasının artması kesme kuvvetinde artışlara neden olduğu bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Çakır, 1999; Chinchankar ve Choudhury, 2013; Haşimi, 2018).

Kesici takımın malzemesi de kesme kuvvetini etkilemektedir. FMT kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür kesici takımlar kullanılarak yapılan delme deneylerinde, en düşük kesme kuvveti sert karbür kesici takım ile yapılan deneylerden elde edilirken en yüksek kesme kuvveti HSS kesici takım ile yapılan deneylerden elde edilmiştir. Bu durum, HSS kesici takımların diğer kesici takıma göre hızlı aşınması ile açıklanabilir. Coesel (1994), HSS matkapların, aşırı takım aşınması ve düşük performans nedeniyle FMT kompozitlerin delinmesinde uygun olmadığını ve sert karbürlerin daha iyi bir performans sağladığını belirtmiştir.

En düşük kesme kuvveti 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerleme değerinde sert karbür kesici takım kullanılarak 88 N olarak elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti ise 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerlemede HSS kesici takım kullanılarak 190 N olarak elde edilmiştir. TiN kaplı HSS kesici takımların kullanıldığı delme deneylerinde elde edilen kesme kuvvetleri, HSS ile sert karbür kesici takımlarla yapılan deneylerde elde edilen kesme kuvvetleri arasında bir değerde elde edilmiştir.

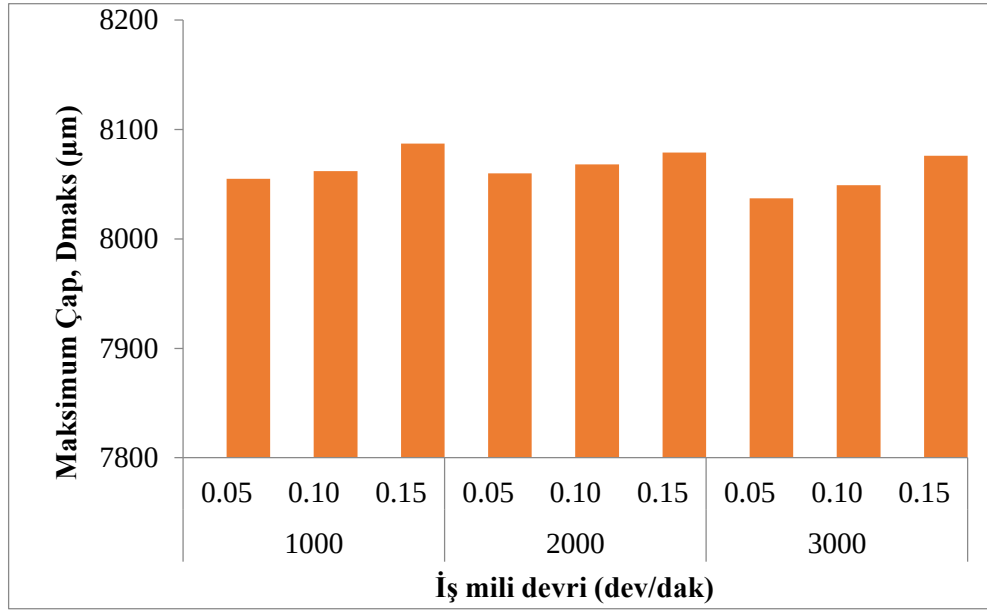
4.4. Delme Parametrelerinin Delik Çapı ve Çap Sapması Üzerine Etkileri

Malzemelerin şekillendirilmesinde boyutsal hatalar ile karşılaşmaktadır. Bu hataların büyük olması makine parçalarının toleransını önemli derecede etkilemektedir. Özellikle yüksek hız ve yüke maruz kalan makine parçalarında bu büyük önem arz etmektedir.

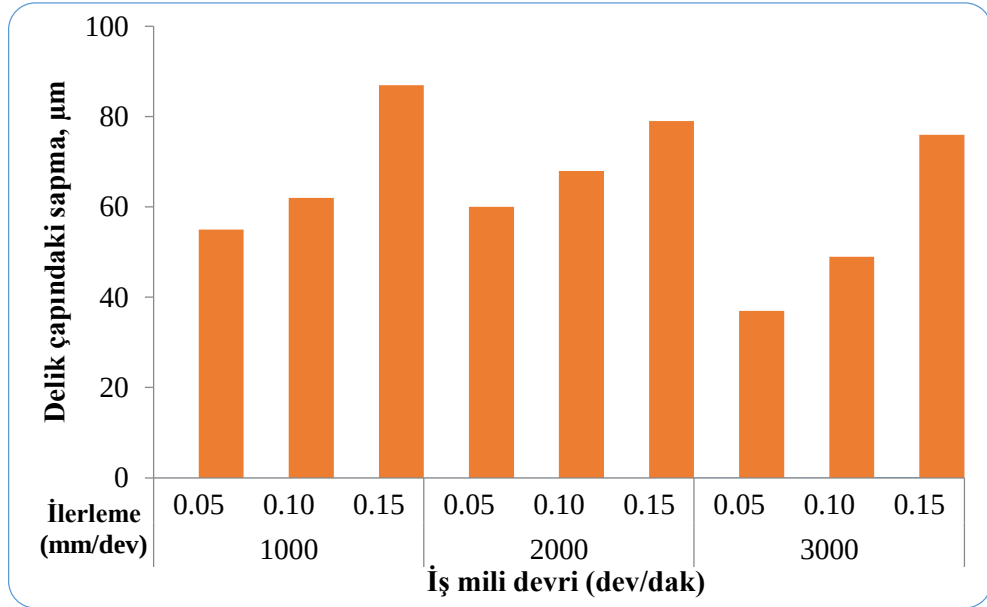
FMT kompozitlerin delinmesinde delik çapında sapmalar olabilmektedir. Bu sapmalar delme parametrelerinden, takım malzemesi ve geometrisinden, iş parçası malzemesi ve yapısından ve tezgâh hassasiyetinden etkilenmektedir. Tezin bu bölümünde iş mili devri, ilerleme ve kesici takım malzemesinin delik çapı ve sapma üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

FTM kompozitlerin delinmesinde, HSS kesici takım ile yapılan deneylerde iş mili devrinin ve ilerlemenin maksimum delik çapı ve delik çapındaki sapma üzerine etkileri Şekil 4.10 ve 4.11’de verilmiştir. Benzer şekilde TiN kaplı HSS kesici takım ile yapılan deneylerde iş mili devrinin ve ilerlemenin maksimum delik çapı ve delik çapındaki sapma üzerine etkileri Şekil 4.12 ve 4.13’te ve sert karbür kesici takım ile yapılan deneylerde iş mili devrinin ve ilerlemenin maksimum delik çapı ve delik çapındaki sapma üzerine etkileri Şekil 4.14 ve 4.15’te sırasıyla verilmiştir. Ayrıca

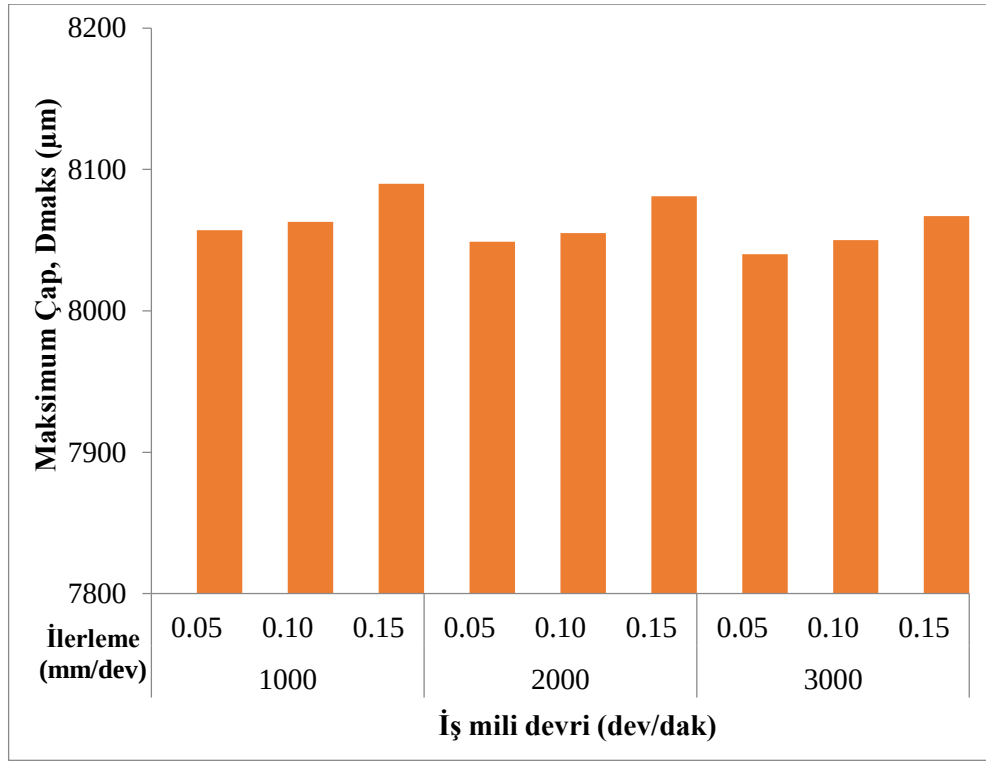
kullanılan tüm kesici takımların tüm delme parametrelerinde maksimum delik çapı ve delik çapındaki sapmaya ait sonuçları topluca Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



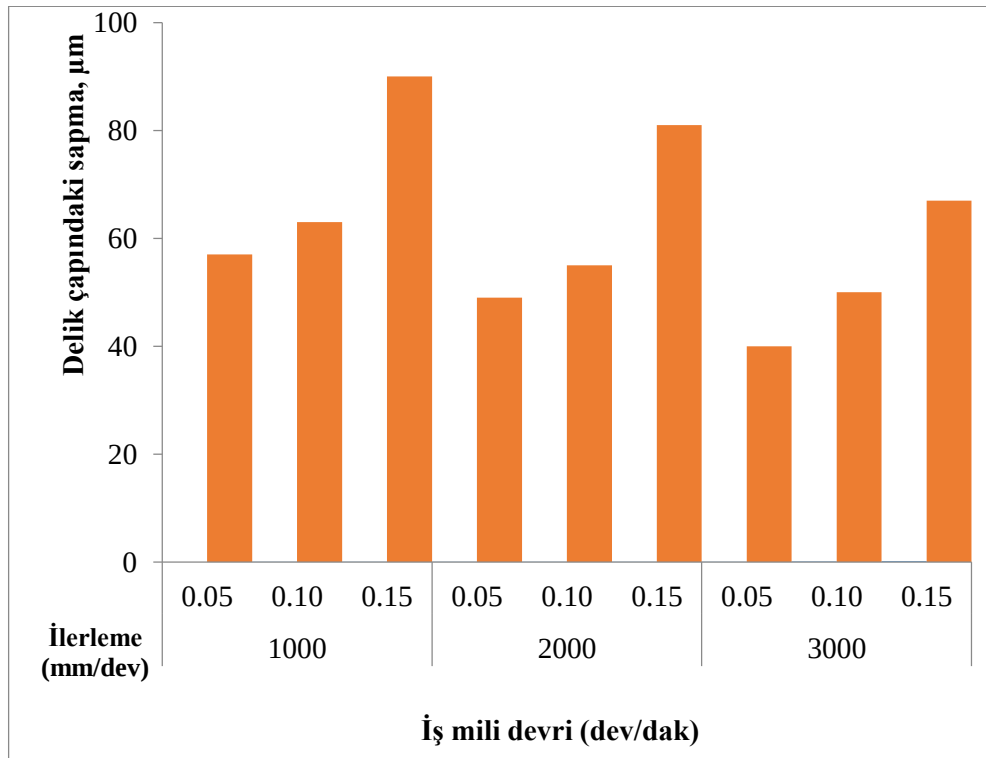
Şekil 4.10. Delme parametrelerine göre maksimum delik çapı (Kaplamasız HSS)



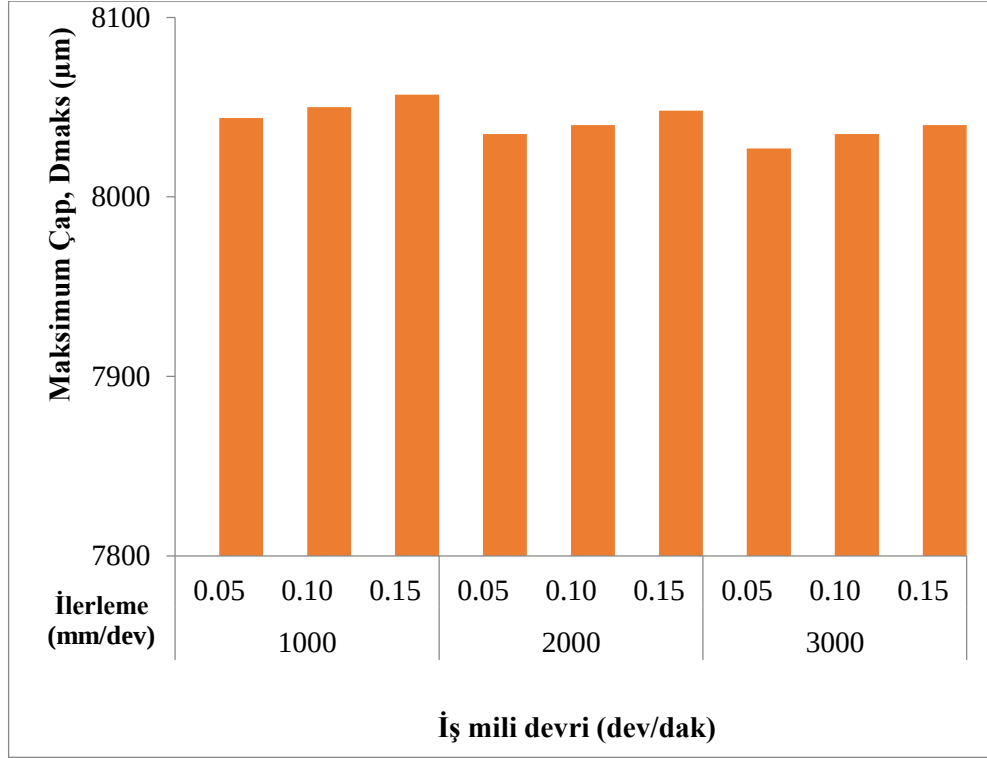
Şekil 4.11. Frezeleme parametrelerine göre delik çapındaki maks. sapma (Kaplamasız HSS)



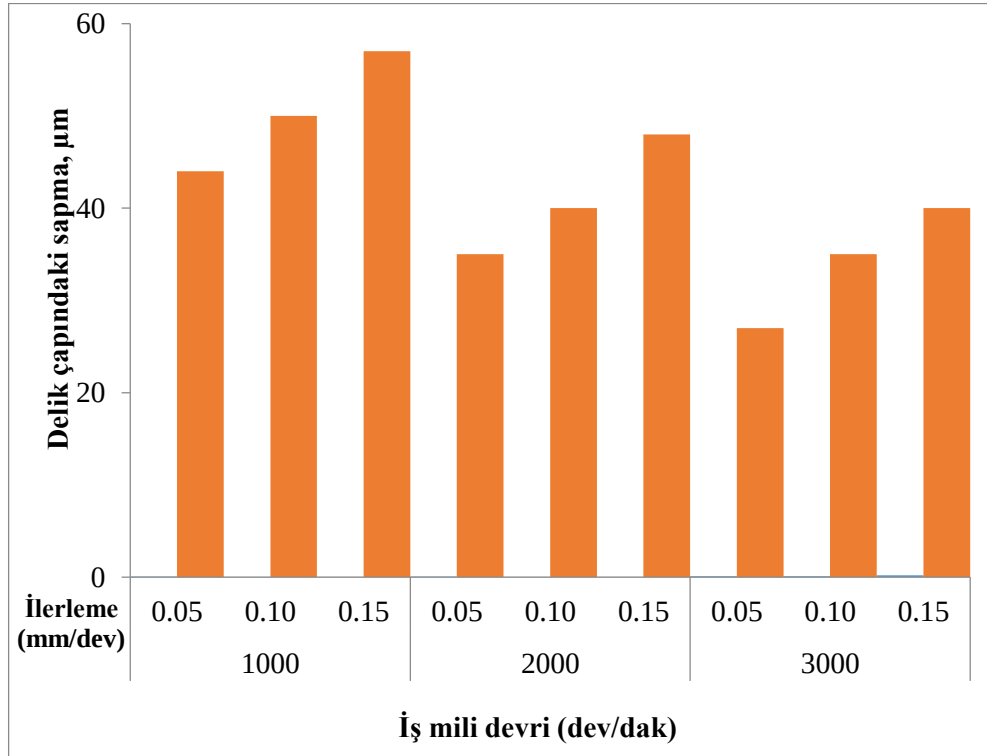
Şekil 4.12. Frezeleme parametrelerine göre maks. delik çapı (TiN Kaplı HSS)



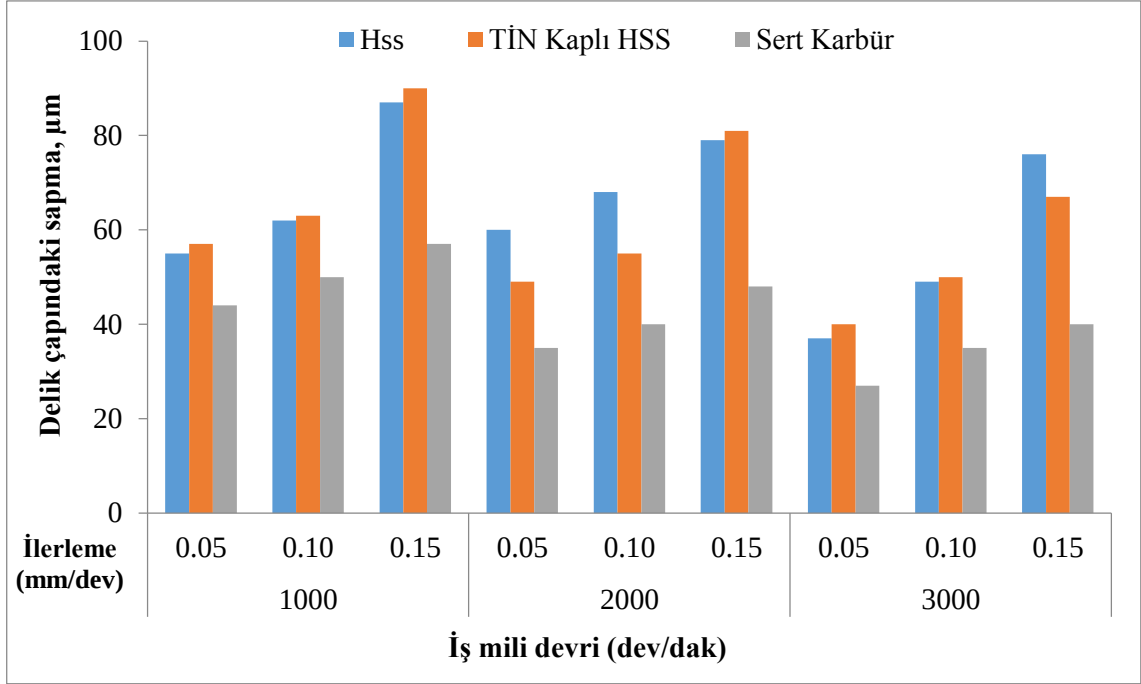
Şekil 4.13. Frezeleme parametrelerine göre delik çapındaki maks. sapma (TiN Kaplı HSS)



Şekil 4.14. Frezeleme parametrelerine göre Maks. delik çapı (Sert Karbür)



Şekil 4.15. Frezeleme parametrelerine göre delik çapındaki maks. sapma (Sert Karbür)



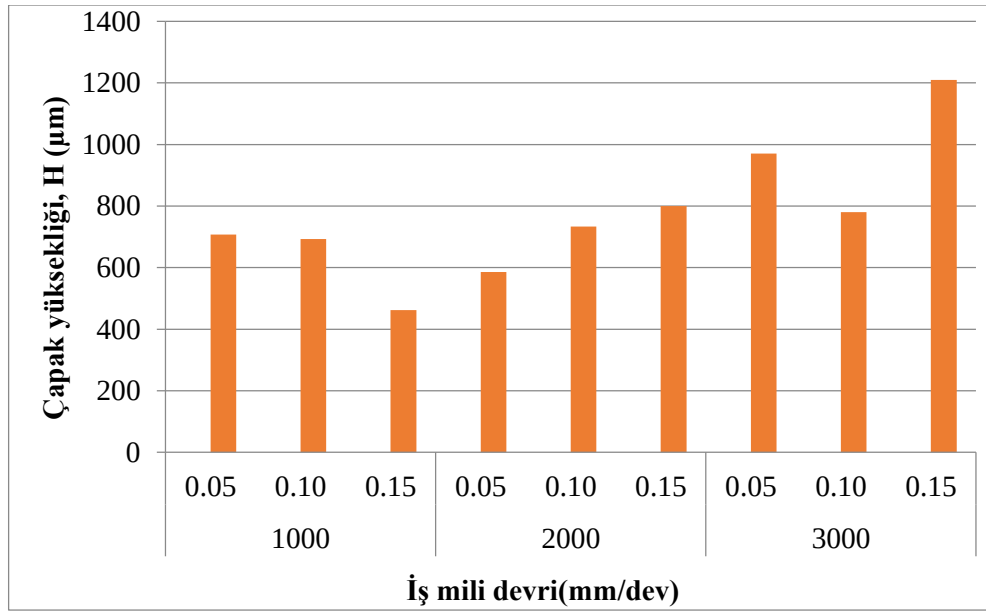
Şekil 4.16. Kesici takım ve delme parametrelerinin delik çapındaki sapmaya etkileri

Şekil 4.10-4.16'dan görüldüğü gibi, iş mili devrinin artması ile delik çapı azalırken ilerlemenin artması ile delik çapında artma olmuştur. En düşük delik çapı 3000 dev/dak iş mili devrinde elde edilirken en yüksek delik çapı ise 1000 dev/dak iş mili devrinde yapılan deneylerden elde edilmiştir. İş mili devrinin artması ile delik çapındaki sapmanın az olmasının nedeni artan hız ile fener milinin merkezlenmesinin sonucu olduğu düşünülmektedir. Yani iş milinin devrinin artması ile kesici takımda daha az bir salınım olmakta ve bu da delik çapındaki sapmanın minimum olmasına neden olmaktadır. İş mili hızının aksine ilerlemenin artması ile delik çapında bir artış görülmektedir. Bunun nedeninin, ilerlemenin artması ile kesme kuvvetleri artmakta ve bunun da delik çapında sapmaya neden olduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçlar Pawar ve ark. (2015) ve Tyczynski ve ark. (2014) tarafından da elde edilmiştir. Delik çap sapması kesici takım malzemesinden de etkilenmektedir.

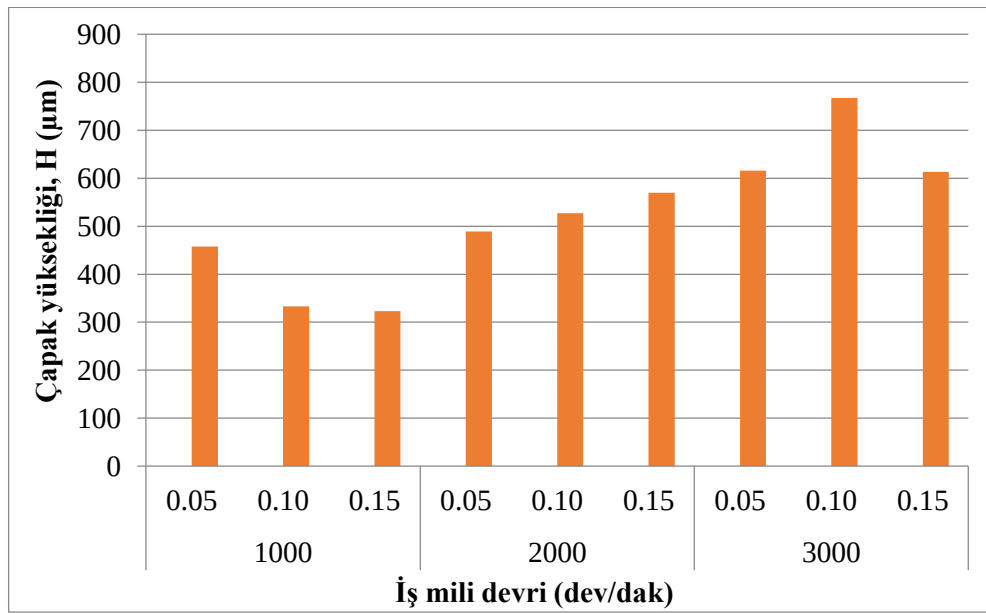
HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür kesici takımlar için maksimum çap sapması, 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerlemede 87, 90 ve 57 µm olarak ölçülmüştür. HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür kesici takımlar için minimum çap sapması, 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerlemede 37, 40 ve 27 µm olarak belirlenmiştir.

4.5. Delme Parametrelerinin Çapak Yüksekliği Üzerine Etkileri

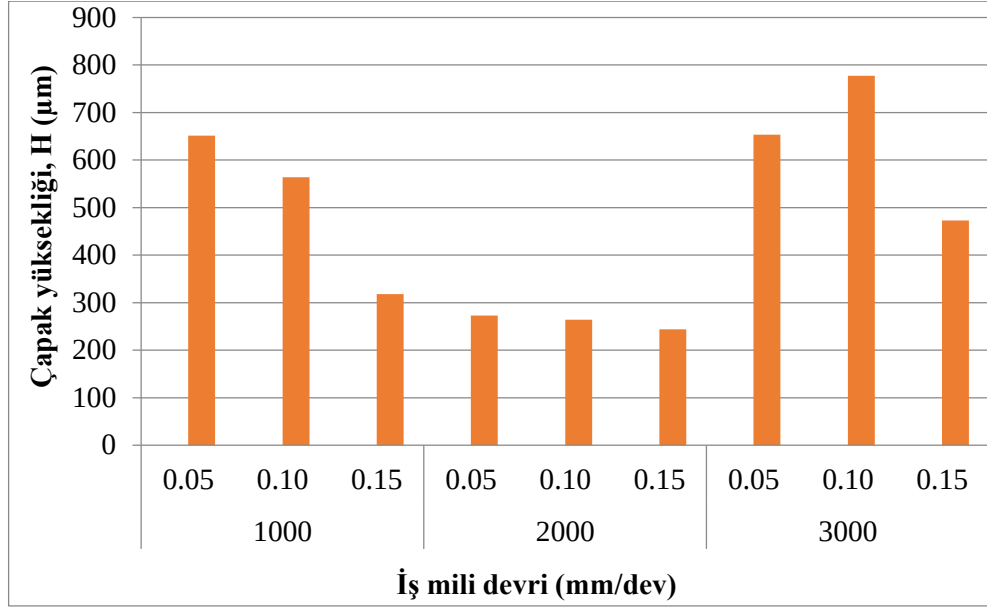
FTM kompozitlerin delinmesinde, bu malzemelerin dış bileşenleri metalik malzeme olduğu için çapak gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu çapaklar iş parçasının hem giriş hem de çıkış kısmında delik etrafında oluşmaktadır. Parça yüzeyinde çapağı minimum düzeyde tutmak için işleme parametrelerinin doğru seçilmesi gerekmektedir. HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür kesici takımlar ile FTM kompozitlerin delinmesinde, iş mili devrinin ve ilerlemenin çapak yüksekliği üzerine etkileri Şekil 4.17-4.20’de verilmiştir.



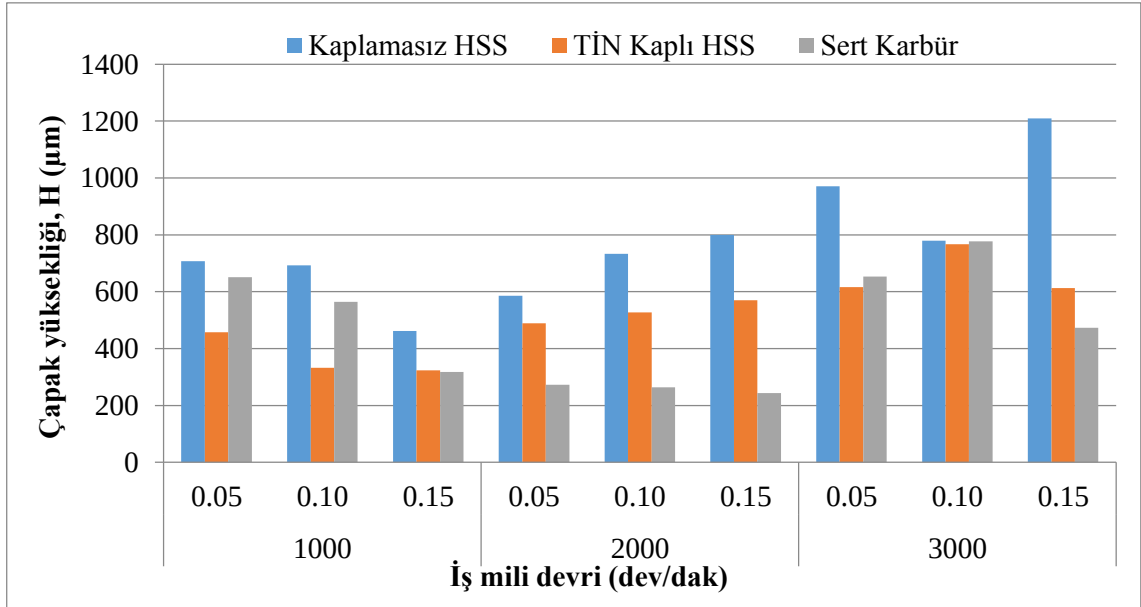
Şekil 4.17. Kaplamasız HSS için Delik çıkış yüzeyindeki çapak yüksekliği



Şekil 4.18. TiN Kaplı HSS için delik çıkış yüzeyindeki çapak boyu



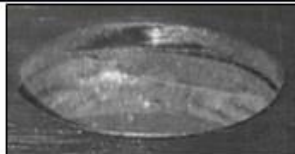
Şekil 4.19. Sert Karbür için Delik çıkış yüzeyindeki çapak boyu, μm



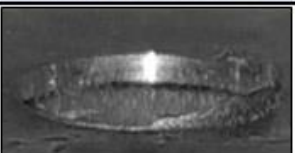
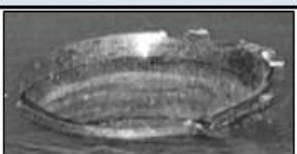
Şekil 4.20. Farklı matkap uçlarına göre delik çıkış yüzeyindeki çapak boylarının karşılaştırılması

FTM kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür kesici takımlar kullanılarak yapılan delme deneylerinde malzemenin giriş ve çıkışında oluşan çapak görüntüleri ile iç yüzeyine ait görüntüler Tablo 4.4-4.12’de verilmiştir.

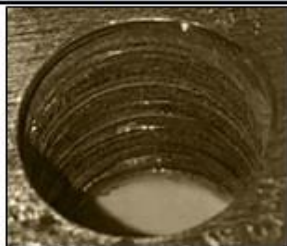
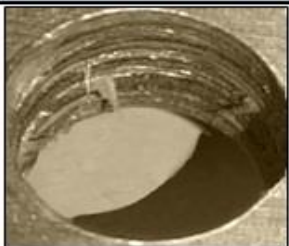
Tablo 4.2. Kaplamasız HSS yüzey giriş görüntüleri

Kaplamasız HSS Giriş Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		Hss Giriş D. No: 1	Hss Giriş D. No: 2	Hss Giriş D. No: 3
	2000			
		Hss Giriş D. No: 4	Hss Giriş D.No: 5	Hss Giriş D.No: 6
	3000			
		Hss Giriş D. No: 7	Hss Giriş D.No: 8	Hss Giriş D.No: 9

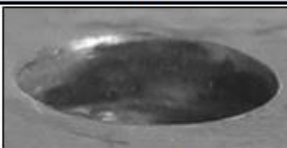
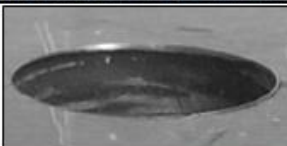
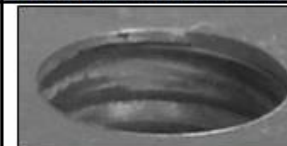
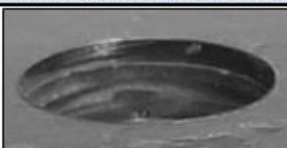
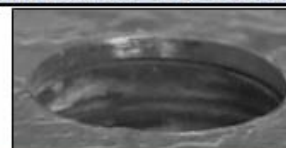
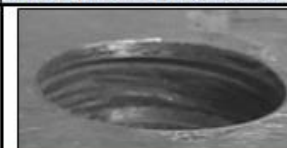
Tablo 4.3. Kaplamasız HSS yüzey çıkış görüntüleri

Kaplamasız HSS Çıkış Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		Hss Çıkış D. No: 1	Hss Çıkış D. No: 2	Hss Çıkış D. No: 3
	2000			
		Hss Çıkış D. No: 4	Hss Çıkış D.No: 5	Hss Çıkış D.No: 6
	3000			
		Hss Çıkış D. No: 7	Hss Çıkış D.No: 8	Hss Çıkış D.No: 9

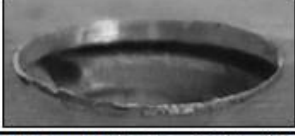
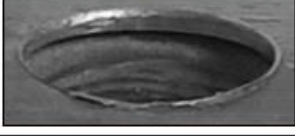
Tablo 4.4. Kaplamasız HSS iç yüzey görüntüleri

Kaplamasız HSS Yüzey Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		Hss Yüzey D. No: 1	Hss Yüzey D. No: 2	Hss Yüzey D. No: 3
	2000			
		Hss Yüzey D. No: 4	Hss Yüzey D.No: 5	Hss Yüzey D.No: 6
	3000			
		Hss Yüzey D. No: 7	Hss Yüzey D.No: 8	Hss Yüzey D.No: 9

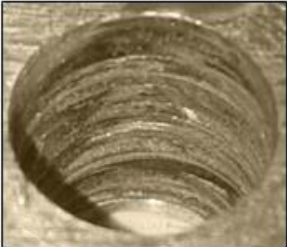
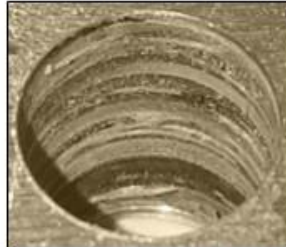
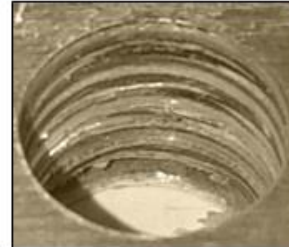
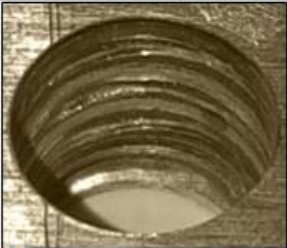
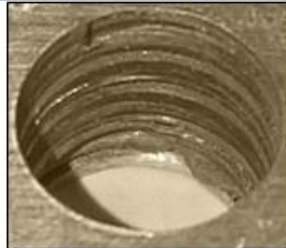
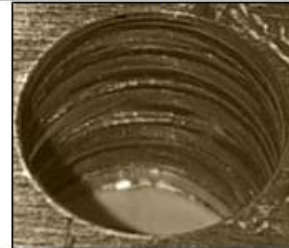
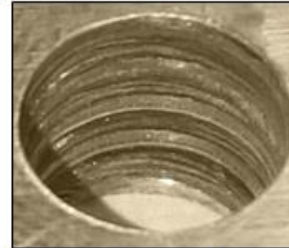
Tablo 4.5. TiN Kaplı HSS yüzey giriş görüntüleri

TiN Kaplı HSS Giriş Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 10	TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 11	TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 12
	2000			
		TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 13	TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 14	TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 15
	3000			
		TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 16	TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 17	TiN Kaplı HSS Giriş D. No: 18

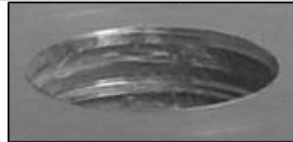
Tablo 4.6. TiN Kaplı HSS yüzey çıkış görüntüleri

TiN Kaplı HSS Çıkış Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 10	TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 11	TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 12
	2000			
		TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 13	TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 14	TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 15
	3000			
		TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 16	TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 17	TiN Kaplı HSS Çıkış D. No: 18

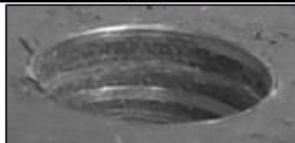
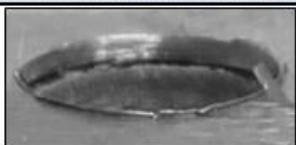
Tablo 4.9. TiN Kaplı HSS yüzey görüntüleri

TiN Kaplı HSS Yüzey Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 10	TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 11	TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 12
	2000			
		TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 13	TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 14	TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 15
	3000			
		TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 16	TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 17	TiN Kaplı HSS Yüzey D.No: 18

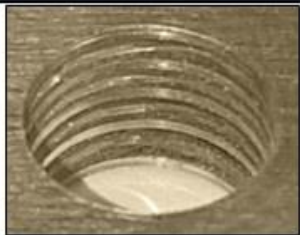
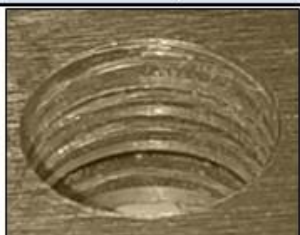
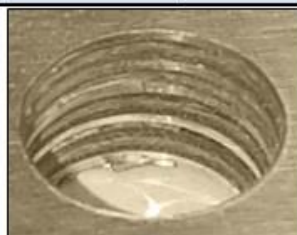
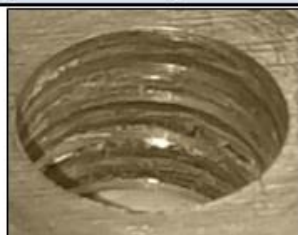
Tablo 4.10. Sert Karbür yüzey giriş görüntüleri

Sert Karbür Giriş Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		Sert Karbür Giriş D. No: 19	Sert Karbür Giriş D. No: 20	Sert Karbür Giriş D. No: 21
	2000			
		Sert Karbür Giriş D. No: 22	Sert Karbür Giriş D. No: 23	Sert Karbür Giriş D. No: 24
	3000			
		Sert Karbür Giriş D. No: 25	Sert Karbür Giriş D. No: 26	Sert Karbür Giriş D. No: 27

Tablo 4.7. Sert Karbür yüzey çıkış görüntüleri

Sert Karbür Çıkış Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n,(dev/dak)	1000			
		Sert Karbür Çıkış D. No: 19	Sert Karbür Çıkış D. No: 20	Sert Karbür Çıkış D. No: 21
	2000			
		Sert Karbür Çıkış D. No: 22	Sert Karbür Çıkış D. No: 23	Sert Karbür Çıkış D. No: 24
	3000			
		Sert Karbür Çıkış D. No: 25	Sert Karbür Çıkış D. No: 26	Sert Karbür Çıkış D. No: 27

Tablo 4.8. Sert Karbür yüzey görüntüleri

Sert Karbür Yüzey Görüntüleri				
		f, (mm/dev)		
		0.05	0.10	0.15
n, (dev/dak)	1000			
		Sert Karbür Yüzey D. No: 19	Sert Karbür Yüzey D. No: 20	Sert Karbür Yüzey D. No: 21
	2000			
		Sert Karbür Yüzey D. No: 22	Sert Karbür Yüzey D. No: 23	Sert Karbür Yüzey D. No: 24
	3000			
		Sert Karbür Yüzey D. No: 25	Sert Karbür Yüzey D. No: 26	Sert Karbür Yüzey D. No: 27

Şekil 4.17-4.20'den, iş mili devrinin artması ile çapak yüksekliğinin arttığı görülmektedir. İlerlemenin artması ile de çapak yüksekliğinde artma görülmüştür. İlerlemenin artması ile ilerleme kuvveti artmaktadır. Bu da matkabı malzemeden çıkışına yakın bölgedeki Al alaşımını kesecek zaman bulamamasından dolayı, o malzemeyi dışarı doğru iterek plastik deformasyon sonucu çapak oluşumuna neden olmaktadır. İşleme parametrelerinin artmasıyla çapak yüksekliğinin artması, plastik deformasyonun artmasından ve yüksek sıcaklık artışından kaynaklanabilir ve bu da daha büyük çapak oluşumuna neden olabilir (Mondal ve ark, 2014). Kesici takım malzemesinin çapak yüksekliğine olan etkisi incelendiğinde, en düşük çapak yüksekliği sert karbür kesici takımlardan elde edilirken en yüksek çapak yükseklikleri HSS kesici takımların kullanıldığı deneylerden elde edilmiştir. Bu durum sert karbür kesici takımları HSS kesici takıma göre aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğundan kaynaklanabilir. TiN kaplı HSS kesici takımlarının kullanıldığı deneylerde oluşan çapak yüksekliği HSS ve sert karbür kesici takımların kullanıldığı deneylerde elde edilen

çapak yüksekliği arasında bir değerde olmuştur. HSS kesici takımların kullanıldığı deneylerde en düşük çapak yüksekliği 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerlemede 0.60 mm olarak elde edilirken, en yüksek çapak yüksekliği ise 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerlemede 1.21 mm olarak elde edilmiştir. TiN kaplı HSS takımlarla yapılan deneylerde, en düşük çapak yüksekliği 0.57 mm (1000 dev/dak iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme) ve en yüksek çapak yüksekliği ise 1.10 mm'dir (3000 dev/dak iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme). Sert karbürlerin oluşturduğu en düşük çapak yüksekliği 0.52 mm (1000 dev/dak iş mili devri ve 0.05 mm/dev ilerleme) ve en yüksek çapak yüksekliği ise 0.95 mm'dir (3000 dev/dak iş mili devri ve 0.15 mm/dev ilerleme).

Tablo 4.4-4.12 incelendiğinde, delik giriş kısmının çapak yüksekliklerinin delik çıkışında oluşan çapak yüksekliklerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Delik çıkış kısmında oluşan çapak yüksekliklerinin yüksek olmasının nedeni, delik çıkış kısmında takımın ileriye doğru hareketi ile kesilmemiş malzemeyi ileriye doğru itmesi olarak düşünülmektedir.

Delik kenarı kalitesi açısından çapak, metallerin delinmesinde kontrol edilmesi gereken önemli bir durumdur. Metalik malzemelerin işlenmesinde, hem giriş hem de çıkış tarafında çapak oluşmaktadır. Delme ve frezeleme gibi talaşlı işleme yöntemlerinin çoğunda çapak oluşumu kaçınılmazdır. Çapak, malzemenin işlenmesi sırasında plastik akış sonucu oluşan çıkıntılara verilen genel bir isimdir. Delme işleminde çapak oluşumu işleme koşulları, malzemenin mekanik özellikleri ve takım geometrisi gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Çapak oluşumu ürünün kalitesi üzerinde önemli bir rol oynadığından, çapak oluşumu üzerine sürekli bir ilgi vardır. Çapaksız bir yüzey elde etmek, ya çapakların temizlenmesi ya da çapağı minimum yapacak kesme parametrelerinde delmek ile mümkündür. Çapağın temizlenmesi toplam maliyetin % 30'una kadar varan ek maliyet ortaya çıkarmakta ve zaman israfına neden olmaktadır (Ko ve ark., 2003; Gillespie, 1994; Dornfeld, 2004). Bu durumda, çapak oluşumu engellenerek veya minimum düzeyde tutulması sağlanarak maliyetleri düşürmek kaçınılmazdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, FMT kompozitlerin HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür kesici takım ile delinmesinde, kesici takım malzemesinin, dönme devrinin ve ilerlemenin kesme kuvveti, delik çapındaki sapma ve çapak oluşumu üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kesme kuvveti üzerine delme parametrelerinin etkisi;

- FMT kompozitlerin delinmesinde iş mili devri, ilerleme ve kesici takım malzemesi kesme kuvvetini önemli derecede etkilemiştir.
- İş mili devrindeki artış kesme kuvvetinde artışa neden olmuştur. En yüksek kesme kuvveti 3000 dev/dak iş mili devrinde ve en düşük kesme kuvveti 1000 dev/dak iş mili devrinde elde edilmiştir.
- İlerlemenin artması kesme kuvvetini arttırmıştır. Düşük ilerleme değerlerinde yapılan deneylerde kesme kuvveti düşük elde edilmiştir.
- Sert karbür kesici takımdan elde edilen kesme kuvveti HSS ve TiN kaplı HSS kesici takımlardan elde edilen kesme kuvvetinden daha düşük çıkmıştır. En yüksek kesme kuvveti HSS kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilmiştir.
- FMT kompozitlerin delinmesinde ölçülen kesme kuvvetleri; HSS kesici takım için 99-190 N arasında, TiN kaplı HSS kesici takım için 93-178 N arasında ve sert karbür kesici takım için 88-170 N arasında ölçülmüştür.
- Kesme kuvvetinin düşük elde edilmesi için, düşük iş mili devri, düşük ilerleme ve sert karbür kesici takımlar tercih edilmelidir.

Delik çapı ve çap sapması üzerine delme parametrelerinin etkisi;

- Delik çapı ve çap sapması üzerine iş mili devrinin ve ilerlemenin önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.
- İş mili devrinin artması ile delik çapındaki sapma azalmıştır.
- İlerlemenin artması ile delik çapında artma olmuştur.

- En düşük ϕ ap sapması 3000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.05 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En yüksek ϕ ap sapması 1000 dev/dak iş mili devrinde ve 0.15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.
- Takım malzemesi de delik ϕ apındaki sapmayı etkilemektedir. Sert karbür kesici takımlarla yapılan deneylerde düşük ϕ ap sapması oluşurken HSS kesici takımlarla yapılan deneylerde yüksek ϕ ap sapması oluşmuştur.
- FMT kompozitlerin delinmesinde ölçülen ϕ ap sapmaları; HSS kesici takım için 37-87 μ m arasında, TiN kaplı HSS kesici takım için 40-90 μ m arasında ve sert karbür kesici takım için 27-57 μ m arasındadır.
- ϕ ap sapmasının az olması için, yüksek iş mili devri, düşük ilerleme ve sert karbür kesici takımlar kullanılması uygun olacaktır.

ϕ apak yüksekliği üzerine delme parametrelerinin etkisi;

- ϕ apak yüksekliği iş mili dönme devrinin artması ile artmıştır.
- İlerleme ϕ apak yüksekliğini önemli derecede etkilemektedir. İlerlemenin artması ile ϕ apak yüksekliğinde artış olmaktadır.
- Kesici takımlarda, en yüksek ϕ apak yüksekliği HSS kesici takımlardan, en az ise sert karbür kesici takımlardan elde edilmiştir.
- Ölçülen ϕ apak yükseklikleri; HSS kesici takım için 0.60-1.21 mm, TiN kaplı HSS kesici takım için 0.57-1.10 mm ve sert karbür kesici takım için 0.52-0.95 mm arasında bulunmuştur.
- Düşük ϕ apak yüksekliği için, düşük iş mili devri, düşük ilerleme ve sert karbür kesici takımlar tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Alderliesten, R. (2009). On the development of hybrid material concepts for aircraft structures. *Recent Patents on Engineering*, 3(1), 25-38.
- Asundi, A., & Choi, A. Y. (1997). Fiber metal laminates: an advanced material for future aircraft. *Journal of Materials processing technology*, 63(1-3), 384-394.
- Beumler, T. (2004). Flying GLARE, a contribution to aircraft certification issues in non-damaged and fatigue damaged GLARE structures (Doctoral dissertation, Doctor's Thesis Delft University of Technology, Delft, the Netherlands).
- Beumler, T., STAIKOV, R., Gennai, A., & Senatorova, O. (2007, September). Controlling the damage with fiber-metal laminate structures. In *Proceedings of the 1 st International Conference on Damage Tolerance of Aircraft Structures*.
- Bilge, T , Motorcu, A . (2017). Kompakt Laminat Kompozitlerin Parmak Freze İle Delinmesinde Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğü Ve Boyutsal Tamlık Üzerine Etkileri. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* , 6 (3) , 180-192
- Botelho, E. C., Silva, R. A., Pardini, L. C., & Rezende, M. C. (2006). A review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures. *Materials Research*, 9(3), 247-256.
- Broutman, L. J. and Krock, R. H., 1991, *Modern Composite Materials*, AddisonWeslwyPublishing Company, Reading, Massachusetts.
- Chang, P. Y., Yeh, P. C., & Yang, J. M. (2008). Fatigue crack initiation in hybrid boron/glass/aluminum fiber metal laminates. *Materials Science and Engineering: A*, 496(1-2), 273-280.
- Chinchanikar, S., & Choudhury, S. K. (2013). Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel: An optimization approach. *Measurement*, 46(4), 1572-1584.
- Coesel JFW. Drilling of fibre-metal laminates [Master Thesis]. Delft University of Technology; 1994.
- Cöcen Ü. ve Önel K., 1997, Metal matrisli kompozitlerde dayanım artımı ve düktilite, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 138-145.
- Crouch, T. P. (2009). Optimal Design of fibre-reinforced metal laminates by numerical modelling. *The UNSW Canberra at ADFA Journal of Undergraduate Engineering Research*, 2(1).
- Çakır, 1999, C.M. Modern Talaşlı İmalatın Esasları Ceylan Matbaacılık, Bursa, Türkiye, 32-36.
- Demirkese, E. (1991). Kompozit malzemeler. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi,

- Devi, G. R., Palanikumar, K. (2017), Evaluation of Thrust force in Drilling Woven roving Glass fibre reinforced Aluminium Sandwich laminates with TiAlN coated drill using Taguchi analysis, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 197 (1).
- Dornfeld, D., Strategies for Preventing and Minimizing Burr Formation, http://repositories.cdlib.org/lma/codef/dornfeld_1_04, 2004: 1-18
- Durão, L. M. P., Gonçalves, D. J., Tavares, J. M. R., de Albuquerque, V. H. C., Vieira, A. A., & Marques, A. T. (2010). Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates. *Composite structures*, 92(7), 1545-1550.
- Durão, L. M., Gonçalves, D. J., Tavares, J. M. R., & Albuquerque, V. H. C. D. (2010). Drilling process of composite Laminates—A tool based Analysis. In 14th European conference on composite materials (pp. 1-10).
- Erdoğan, M. (1998). *Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri*. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Ersoy, H. Y. (2001). *Kompozit malzeme. Literatür Yayınları*.
- Geçkinli, E. (1992). *İleri Teknoloji Malzemeleri* (1. Baskı). İstanbul Teknik Üniversitesi Basımevi, 288s, İstanbul.
- Giasin, K. (2017). *Machining fibre metal laminates and Al2024-T3 aluminium alloy* (Doctoral dissertation, University of Sheffield).
- Giasin, K. (2018). The effect of drilling parameters, cooling technology, and fiber orientation on hole perpendicularity error in fiber metal laminates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(9-12), 4081-4099.
- Giasin, K. and Ayvar-Soberanis, S. (2017), An Investigation of burrs, chip formation, hole size, circularity and delamination during drilling operation of GLARE using ANOVA, *Composite Structures*, 159, 745–760.
- Giasin, K., Ayvar-Soberanis, S., & Hodzic, A. (2015). An experimental study on drilling of unidirectional GLARE fibre metal laminates. *Composite Structures*, 133, 794-808.
- Giasin, K., Ayvar-Soberanis, S., and Hodzic, A., (2016). Evaluation of cryogenic cooling and minimum quantity lubrication effects on machining GLARE laminates using design of experiments, *Journal of Cleaner Production*, 135, 533-548.
- Giasin, K., Gorey, G., Byrne, C., Sinke, J., Brousseau, E. (2019). Effect of machining parameters and cutting tool coating on hole quality in dry drilling of fibre metal laminates, *Composite Structures*, 215, 159-174.

- Gillespie, L. K. (1994). Process control for burrs and deburring (No. KCP-613-5526; CONF-9411147-1). Allied-Signal Aerospace Co., Kansas City, MO (United States). Kansas City Div..
- Haşimi, A. (2018). Cam elyaf takviyeli plastik (CETP) kompozitlerin delinmesinde işleme kalitesi üzerine soğutma şartlarının etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, 2018, Batman
- Hocheng, H., Puw, H. Y., & Huang, Y. (1993). Preliminary study on milling of unidirectional carbon fibre-reinforced plastics. *Composites Manufacturing*, 4(2), 103-108.
- Hu, Y., Zheng, X., Wang, D., Zhang, Z., Xie, Y., & Yao, Z. (2015). Application of laser peen forming to bend fibre metal laminates by high dynamic loading. *Journal of Materials Processing Technology*, 226, 32-39.
- Isbilir, O., & Ghassemieh, E. (2013). Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/titanium stack using coated carbide drill. *Machining Science and Technology*, 17(3), 380-409.
- Jones, M. J., 1987, *Mechanics of Composite Materials*, Scripta Book Company, WashigtonD.C., McGraw-Hill Book Company, New York.
- 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.
- Karpat, Y., Değer, B., & Bahtiyar, O. (2012). Drilling thick fabric woven CFRP laminates with double point angle drills. *Journal of materials processing technology*, 212(10), 2117-2127.
- Khan, S. U., Alderliesten, R. C., & Benedictus, R. (2009). Post-stretching induced stress redistribution in fibre metal laminates for increased fatigue crack growth resistance. *Composites Science and Technology*, 69(3-4), 396-405.
- Ko, S. L., Chang, J. E., & Yang, G. E. (2003). Burr minimizing scheme in drilling. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 237-242.
- Lee, S. M. (Ed.). (1992). *Handbook of composite reinforcements*. John Wiley & Sons. pp. 1–6.
- Li, R., Hegde, P., & Shih, A. J. (2007). High-throughput drilling of titanium alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(1), 63-74.
- Lin, C. T., Kao, P. W., & Yang, F. S. (1991). Fatigue behaviour of carbon fibre-reinforced aluminium laminates. *Composites*, 22(2), 135-141.
- Liu, D., Tang, Y., & Cong, W. L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates. *Composite structures*, 94(4), 1265-1279.

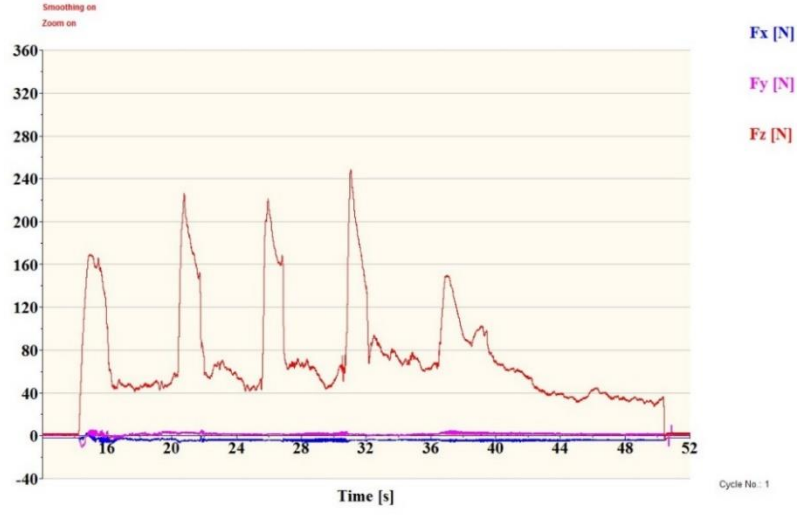
- Mondal, N., Sardar, B. S., Halder, R. N., & Das, S. (2014). Observation of drilling burr and finding out the condition for minimum burr formation. *International Journal of Manufacturing Engineering*, 2014.
- Montoya, M., Calamaz, M., Gehin, D., Girot, F. (2013), Evaluation of the performance of coated and uncoated carbide tools in drilling thick CFRP/aluminium alloy stacks. *Int J Adv Manuf Technol* 68, 2111–2120.
- Nan, C., Wu, d., Gao, Y., Ma, X., Chen, K. (2015), Influence of Metal Chips on Drilling Quality of Carbon Fiber Reinforced Plastic and Titanium Stacks, The 5th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, June 8-12, 2015, Shenyang, China :1204-1209.
- Park SY, Choi WJ, Choi CH, Choi HS, (2018) Effect of drilling parameters on hole quality and delamination of hybrid GLARE laminate. *Composite Structures*. 185, 684-698
- Pawar, O. A., Gaikhe, Y. S., Tewari, A., Sundaram, R., & Joshi, S. S. (2015). Analysis of hole quality in drilling GLARE fiber metal laminates. *Composite Structures*, 123, 350-365.
- Piquet, R., Ferret, B., Lachaud, F., Swider, P. (2000), Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31(10):1107-1115.
- Rahim, E.A.; Sharif, S. (2006) Investigation on tool life and surface integrity when drilling Ti-6Al-4V and Ti-5Al-4V-Mo=Fe. *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, 49: 340–345.
- Rimpault, X., Chatelain, J. F., Klemberg-Sapieha, J. E., & Balazinski, M. (2017). Burr height monitoring while drilling CFRP/titanium/aluminium stacks. *Mechanics & Industry*, 18(1), 114.
- Roebroeks, G. H. J. J. (1994). Fibre-metal laminates: recent developments and applications. *International journal of fatigue*, 16(1), 33-42.
- Schaffer, J. P., Saxena, A., Antolovich, S. D., Sanders, T. H., & Warner, S. B. (1995). *The science and design of engineering materials* (p. 577). Chicago: Irwin.
- Schut, J. E., & Alderliesten, R. C. (2006, September). Delamination growth rate at low and elevated temperatures in GLARE. In *25th international congress of the aeronautical sciences*(pp. 3-8).
- Sheikh-Ahmad, J. Y. (2009). *Machining of polymer composites* (Vol. 387355391). New York: Springer.
- Singh, I., Bhatnagar, N., & Viswanath, P. (2008). Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastics: Experimental and finite element study. *Materials & Design*, 29(2), 546-553.

- Sinmazçelik, T., Avcu, E., Bora, M. Ö., & Çoban, O. (2011). A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods. *Materials & Design*, 32(7), 3671-3685.
- Soutis, C. (2005). Fibre reinforced composites in aircraft construction. *Progress in aerospace sciences*, 41(2), 143-151.
- Stephenson, D. A., & Agapiou, J. S. (2016). *Metal cutting theory and practice*. CRC press.
- Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V. N., & Samuel, G. L. (2012). Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 33, 75-86.
- Şahin, Y. (2000). *Kompozit malzemelere giriş*. Gazi kitabevi.
- Teti, R. (2002). Machining of composite materials. *CIRP Annals*, 51(2), 611-634.
- Thirukumaran, M., Siva, I., Jappes, J.T.W, Amico, S.C., Davim J.P. (2018), Investigation of Margin effect to minimize delamination during drilling of Differently Stacked GFRP-Aluminum Fiber Metal Laminates (3/2 GLARE), *Journal of Manufacturing Technology Research*, 10 (1-2)
- 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.
- Tsao, C. C., & Hocheng, H. (2005). Effect of eccentricity of twist drill and candle stick drill on delamination in drilling composite materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(2), 125-130.
- Tsao, C. C., & Hocheng, H. (2005). Effects of exit back-up on delamination in drilling composite materials using a saw drill and a core drill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(11), 1261-1270.
- Tyczynski, P., Lemanczyk, J., & Ostrowski, R. (2014). Drilling of CFRP, GFRP, GLARE type composites. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal*, 86(4), 312-322.
- Vermeeren, C. A. J. R., Beumler, T., De Kanter, J. L. C. G., Van Der Jagt, O. C., & Out, B. C. L. (2003). Glare design aspects and philosophies. *Applied Composite Materials*, 10(4-5), 257-276.
- Villanueva, G. R., & Cantwell, W. J. (2004). The high velocity impact response of composite and FML-reinforced sandwich structures. *Composites Science and Technology*, 64(1), 35-54.
- Vlot, A., & Gunnink, J. W. (Eds.). (2011). *Fibre metal laminates: an introduction*. Springer Science & Business Media.

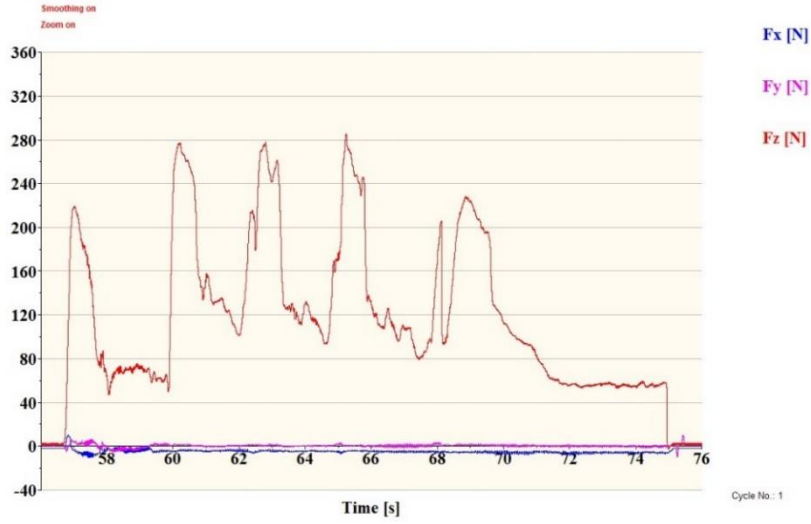
- Vlot, A., Vogelesang, L. B., & De Vries, T. J. (1999). Towards application of fibre metal laminates in large aircraft. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 71(6), 558-570.
- Wang, G. D., Melly, S. K., & Ahmed, S. K. (2018). Finite element study into the effects of fiber orientations and stacking sequence on drilling induced delamination in CFRP/Al stack. *Science and Engineering of Composite Materials*, 25(3), 555-563.
- Wu, G., & Yang, J. M. (2005). Analytical modelling and numerical simulation of the nonlinear deformation of hybrid fibre–metal laminates. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 13(3), 413.
- Wu, G., & Yang, J. M. (2005). The mechanical behavior of GLARE laminates for aircraft structures. *Jom*, 57(1), 72-79.
- Zhang, L., Liu, Z., Tian, W., Liao, W. (2015), Experimental studies on the performance of different structure tools in drilling CFRP/Al alloy stacks, *Int J Adv Manuf Technol*, 81:241–251
- Zitoun, R., Krishnaraj, V., & Collombet, F. (2010). Study of drilling of composite material and aluminium stack. *Composite Structures*, 92(5), 1246-1255.
- Zitoun, R., Krishnaraj, V., Almagouacif, 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.
- Zitoun, 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.

EKLER

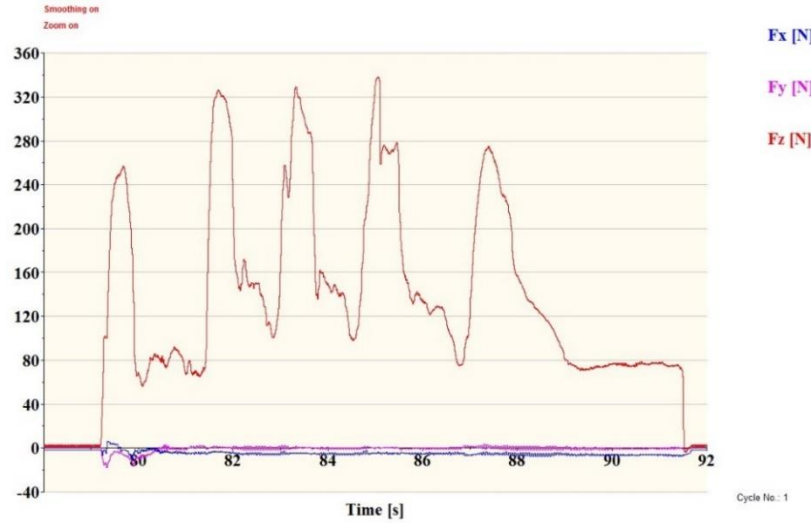
EK-1 FMT Kompozitlerin delinmesi sonucu elde edilen kesme kuvveti-zaman grafikleri



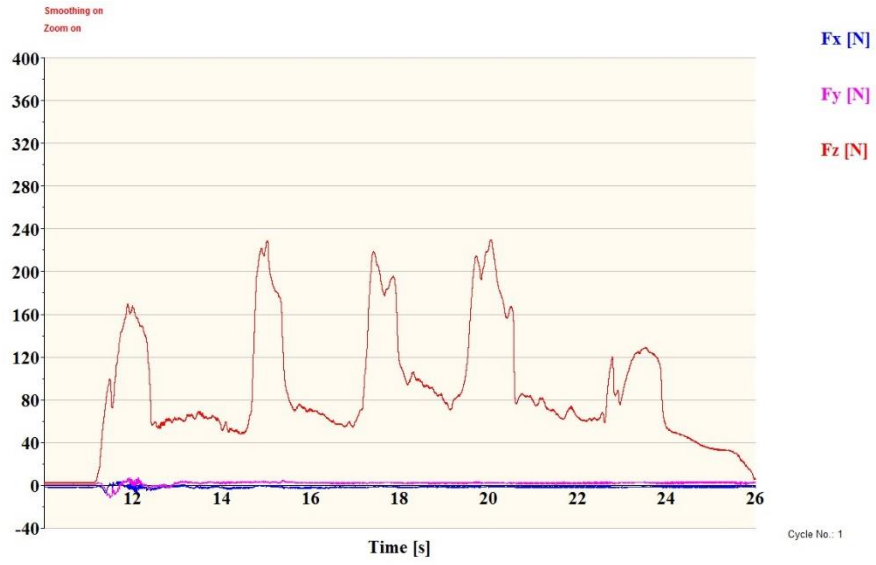
Şekil 1. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (1. deney)



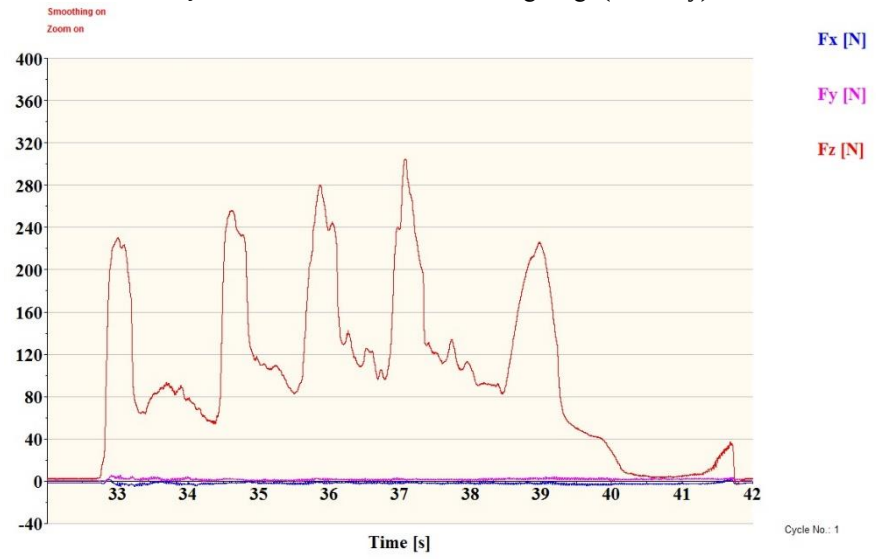
Şekil 2. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (2. deney)



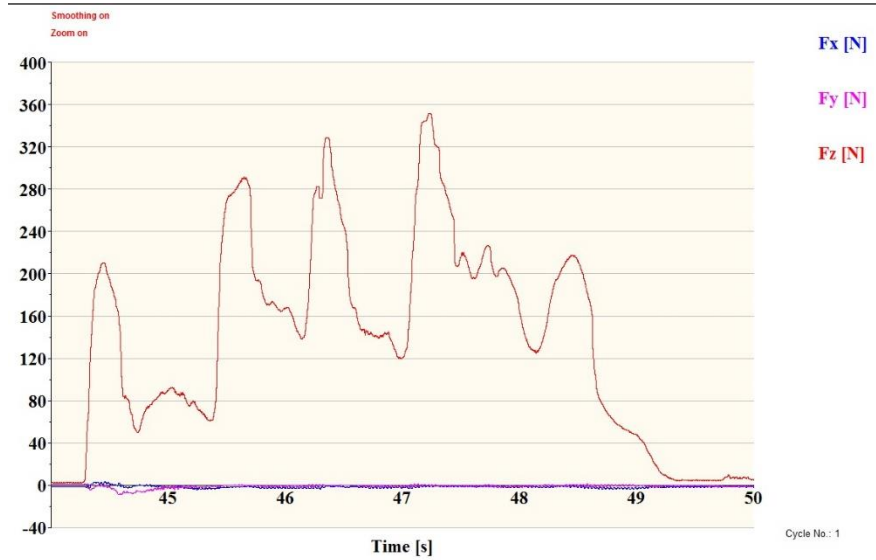
Şekil 3. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (3. deney)



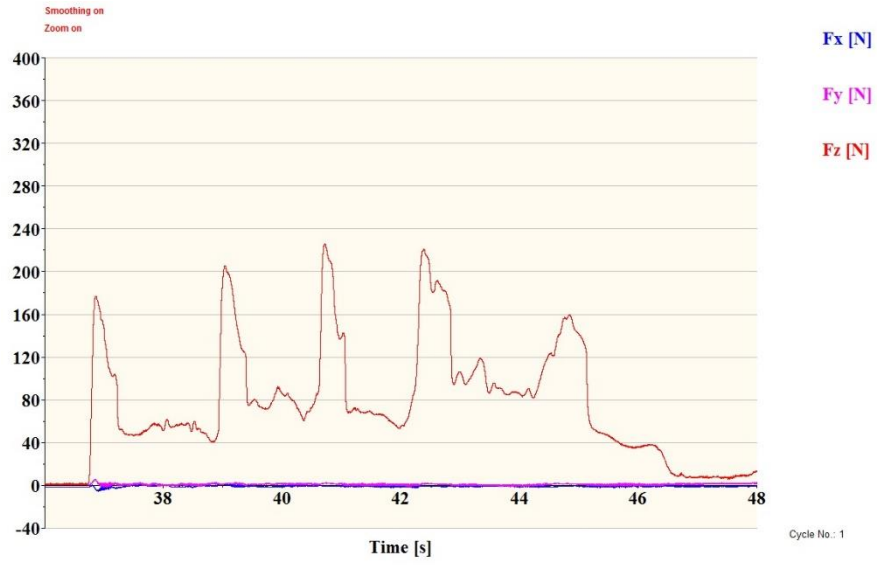
Şekil 4. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (4. deney)



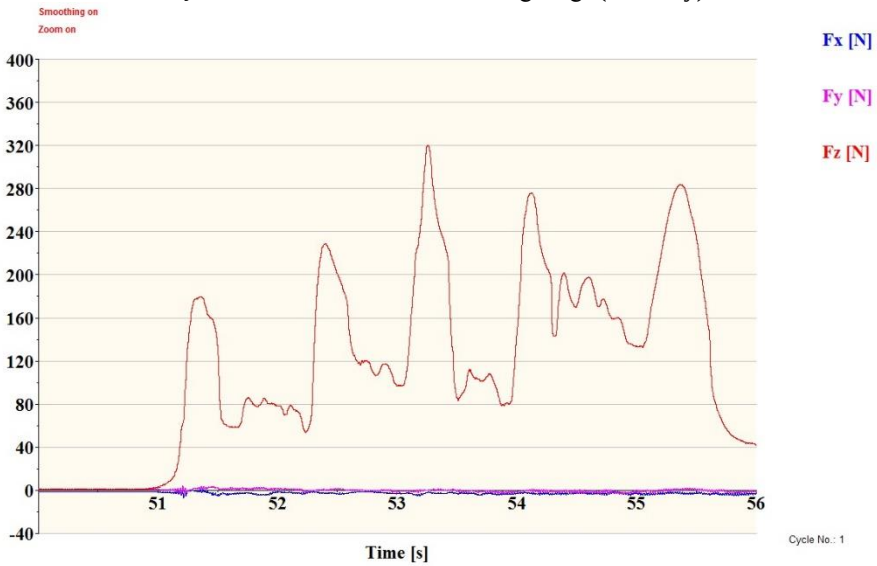
Şekil 5. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (5. deney)



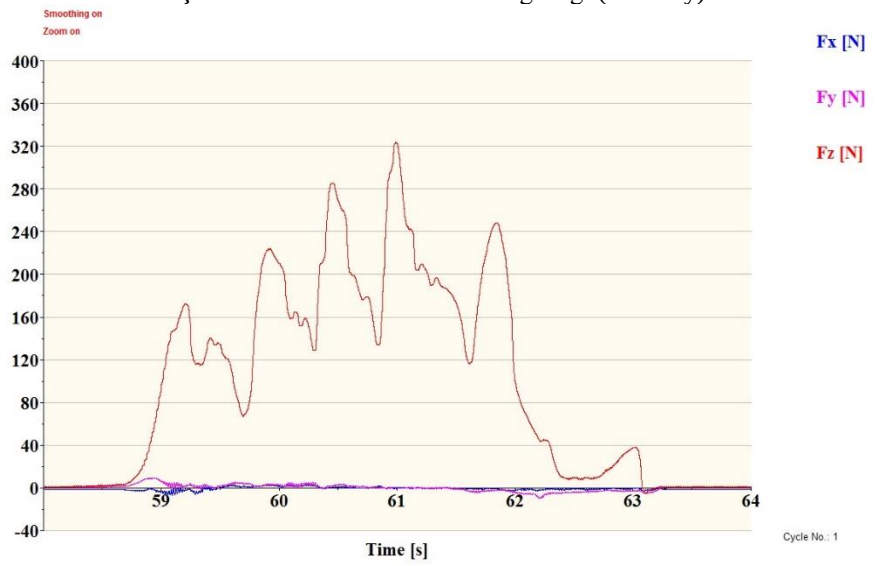
Şekil 6. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (6. deney)



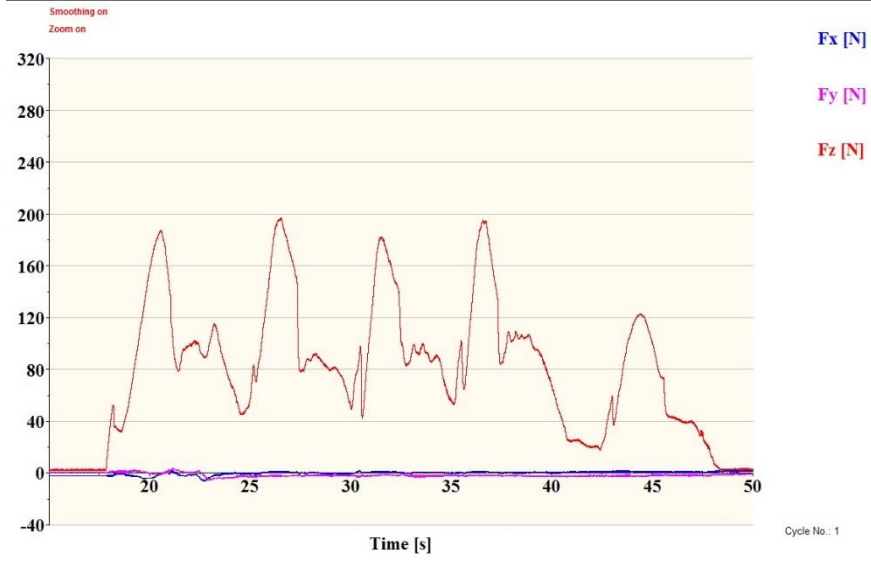
Şekil 7. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (7. deney)



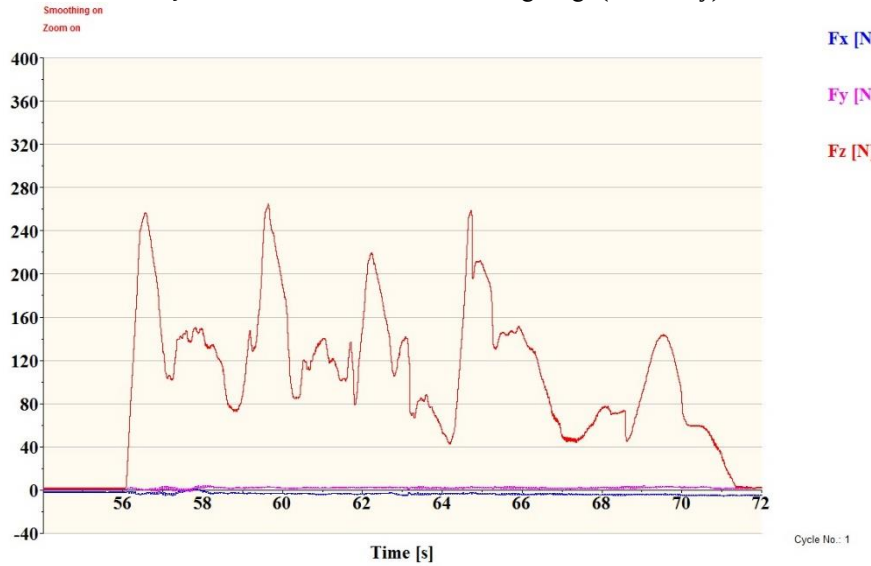
Şekil 8. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (8. deney)



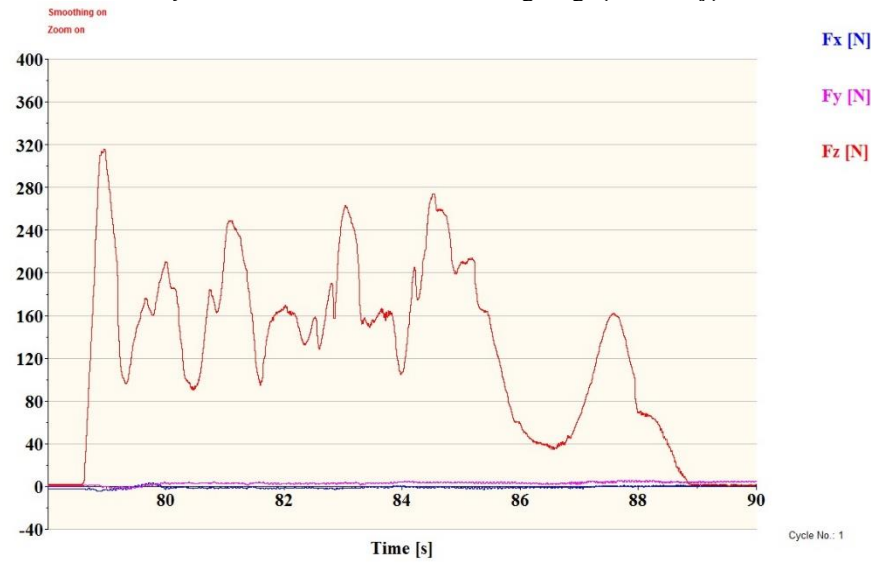
Şekil 9. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (9. deney)



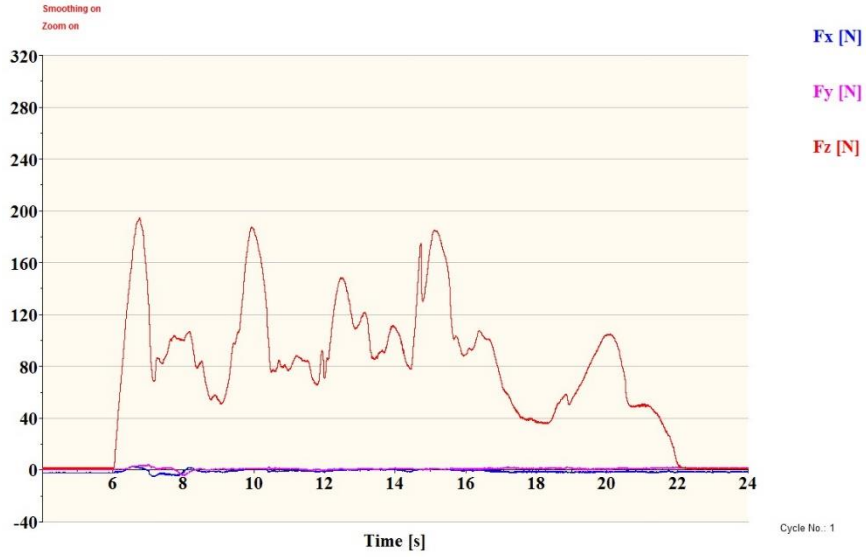
Şekil 10. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (10. deney)



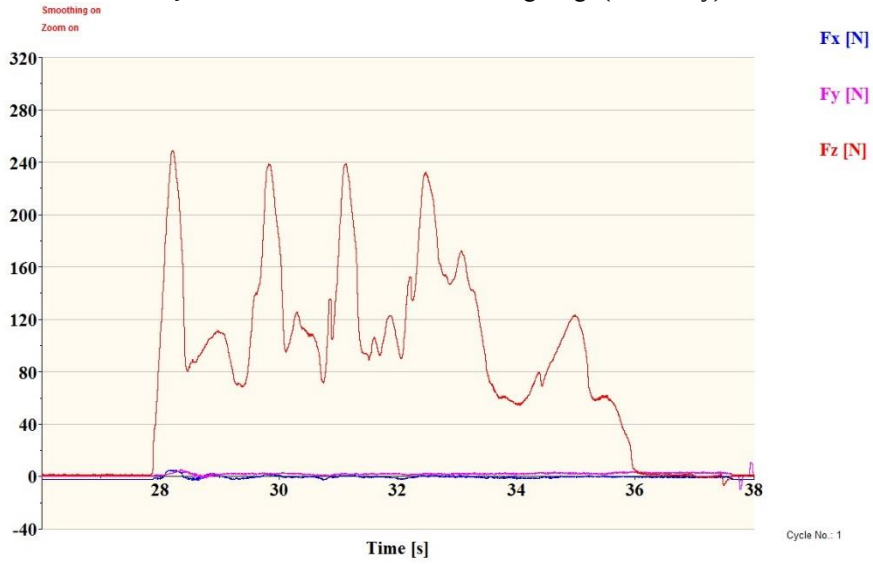
Şekil 11. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (11. deney)



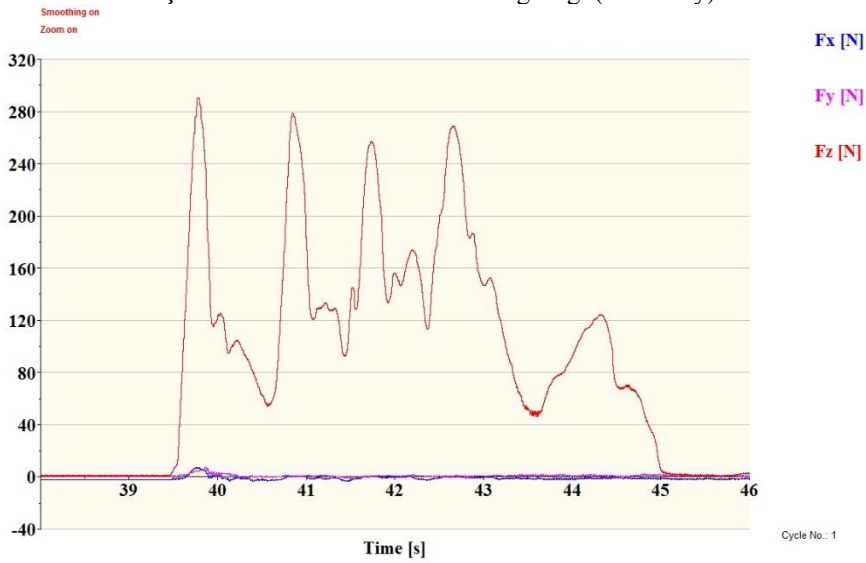
Şekil 12. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (12. deney)



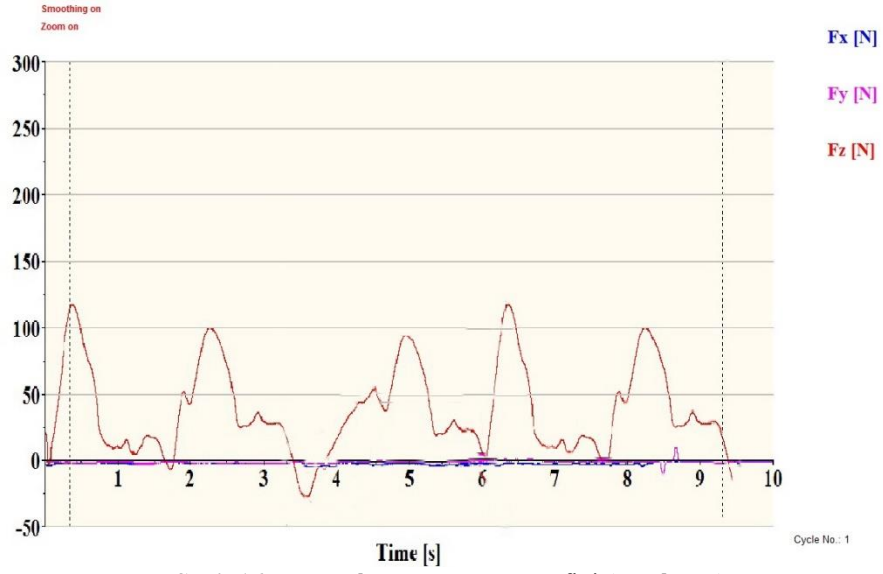
Şekil 13. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (13. deney)



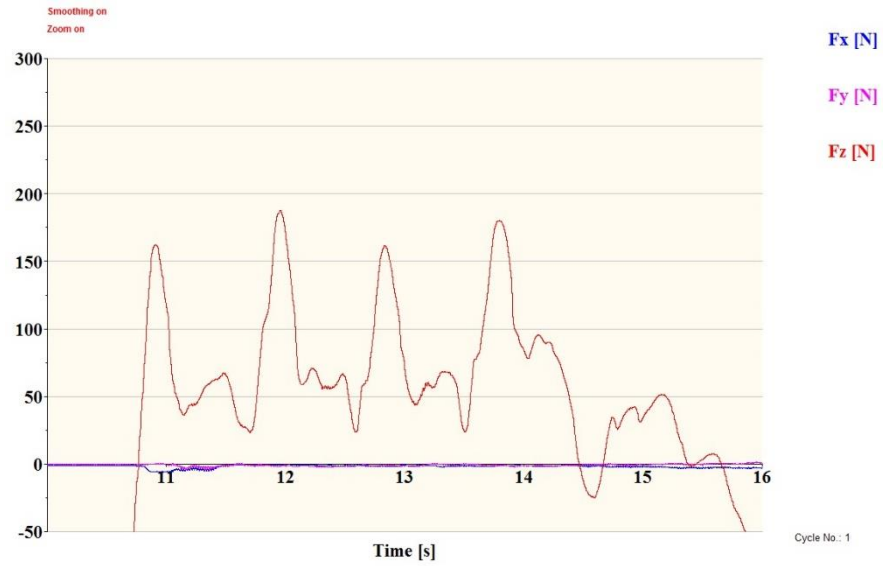
Şekil 14. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (14. deney)



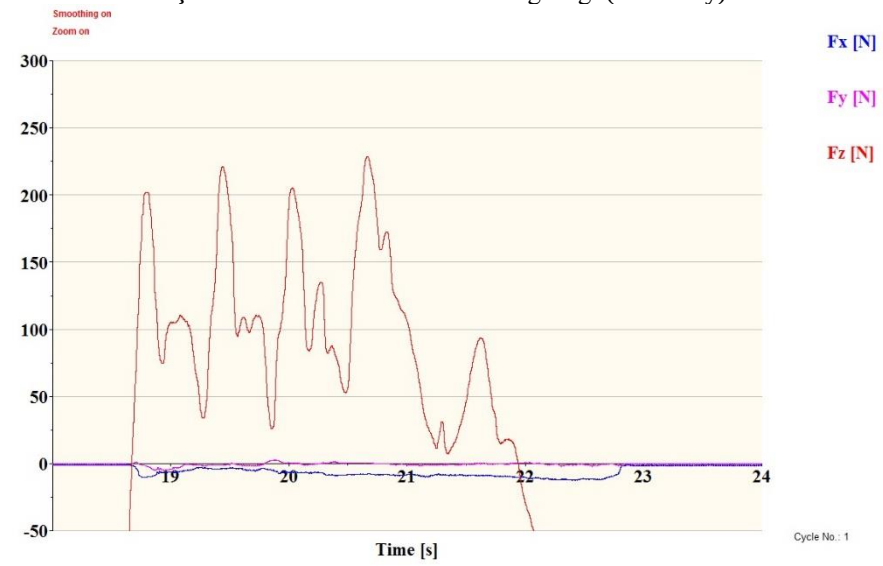
Şekil 15. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (15. deney)



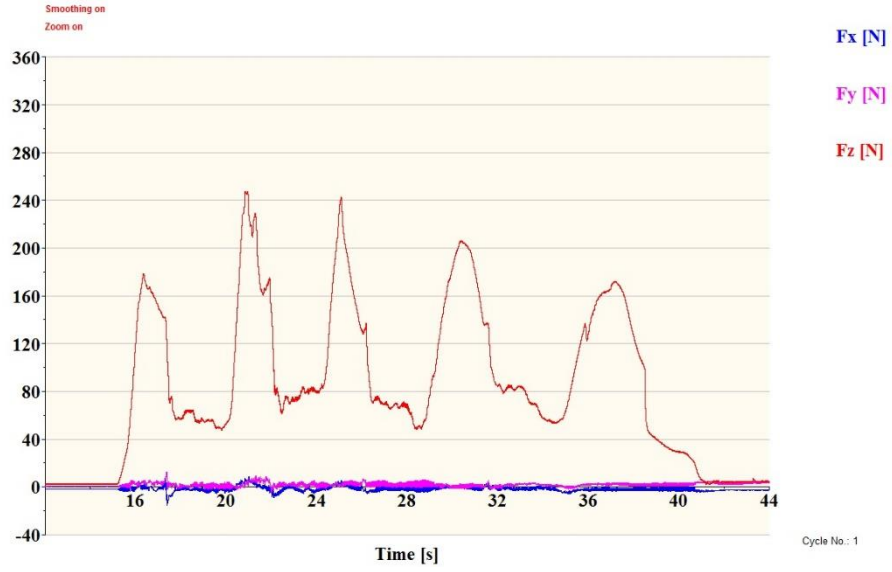
Şekil 16. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (16. deney)



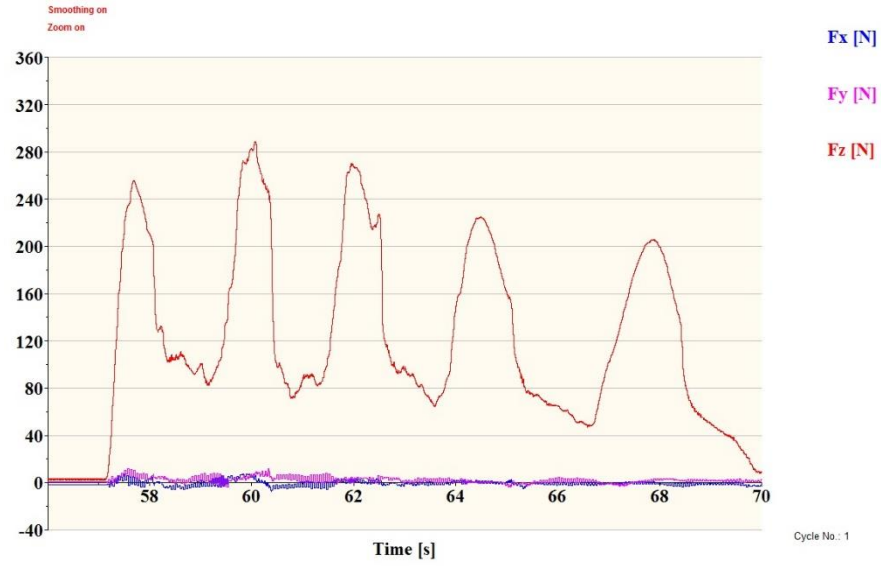
Şekil 17. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (17. deney)



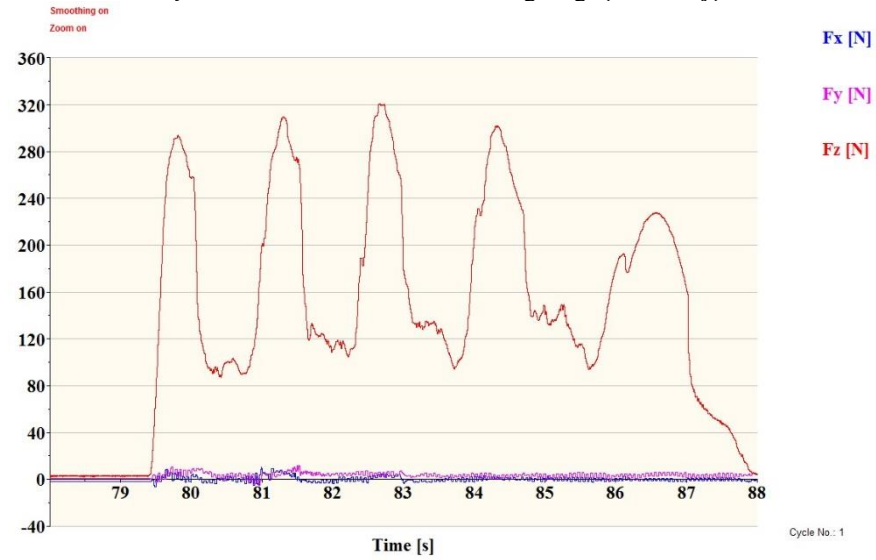
Şekil 18. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (18. deney)



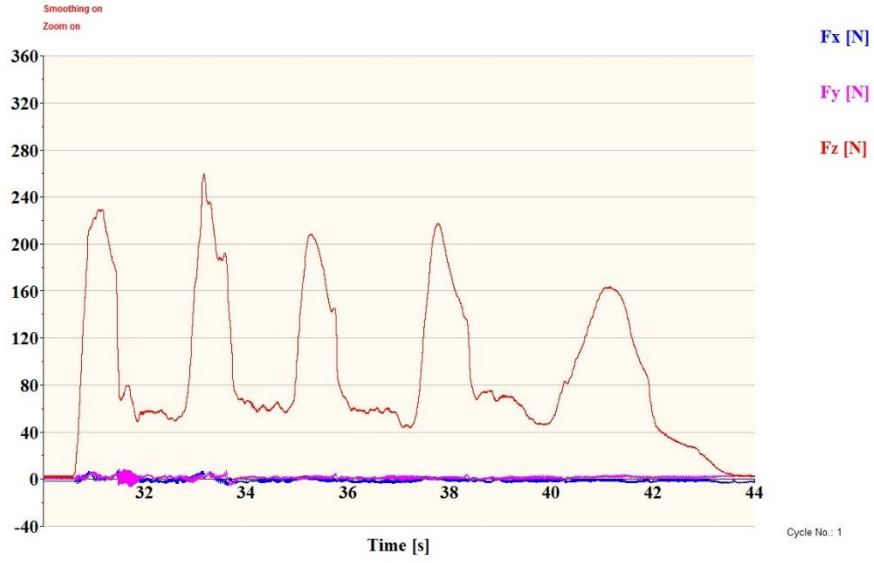
Şekil 19. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (19. deney)



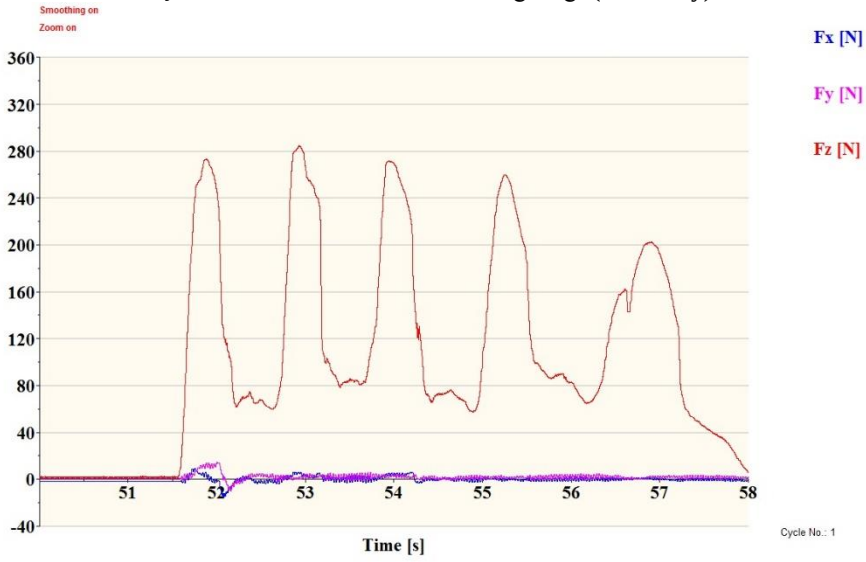
Şekil 20. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (20. deney)



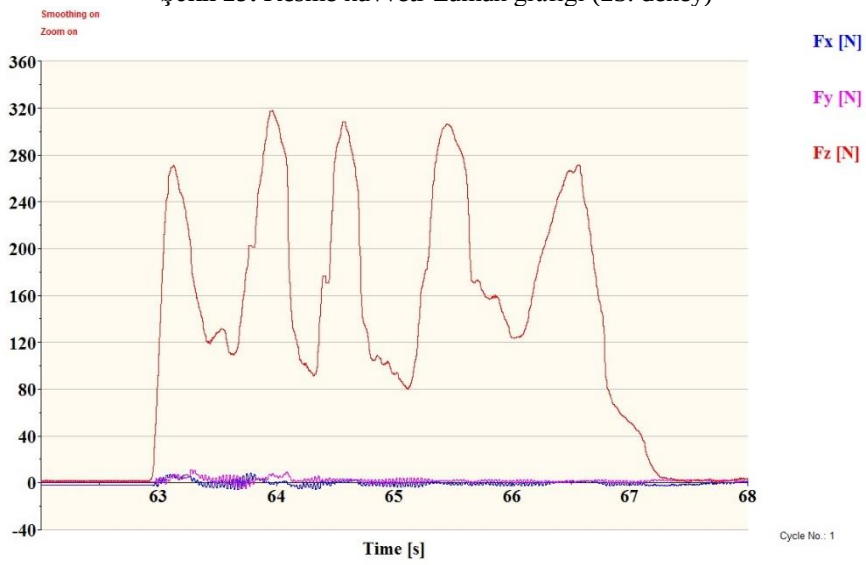
Şekil 21. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (21. deney)



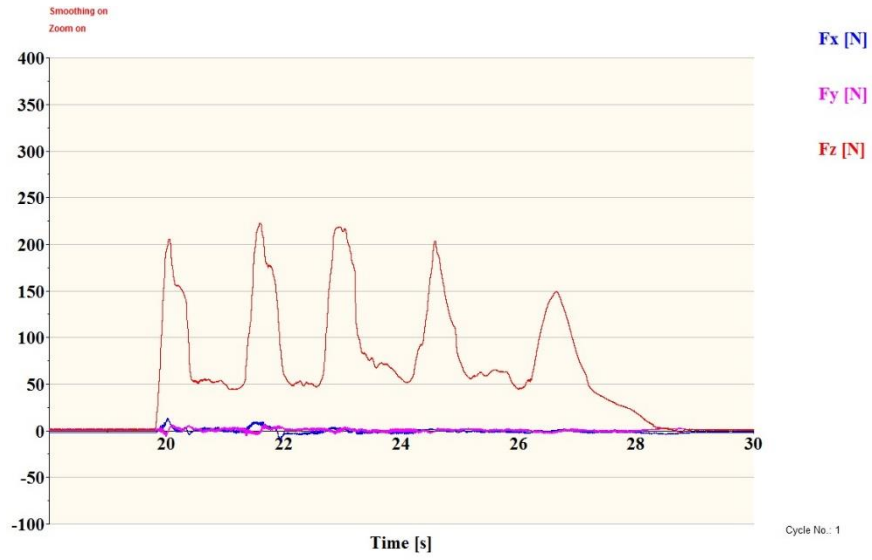
Şekil 22. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (22. deney)



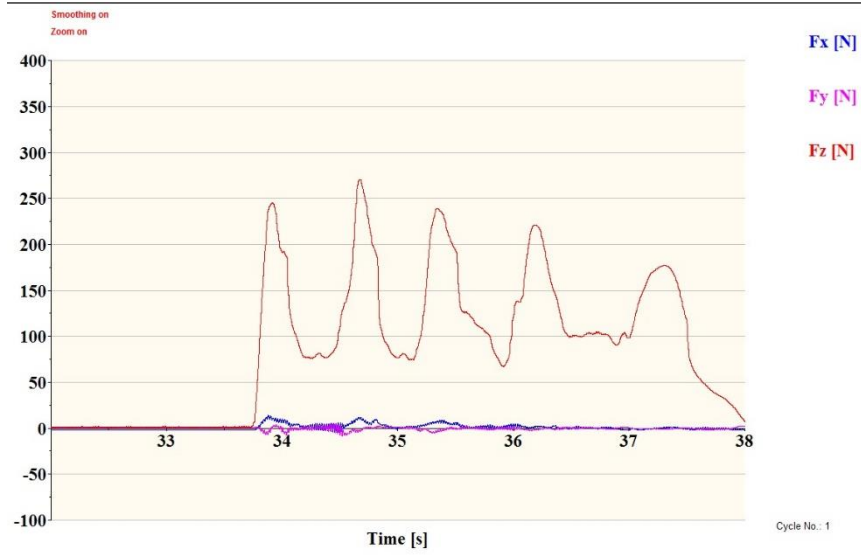
Şekil 23. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (23. deney)



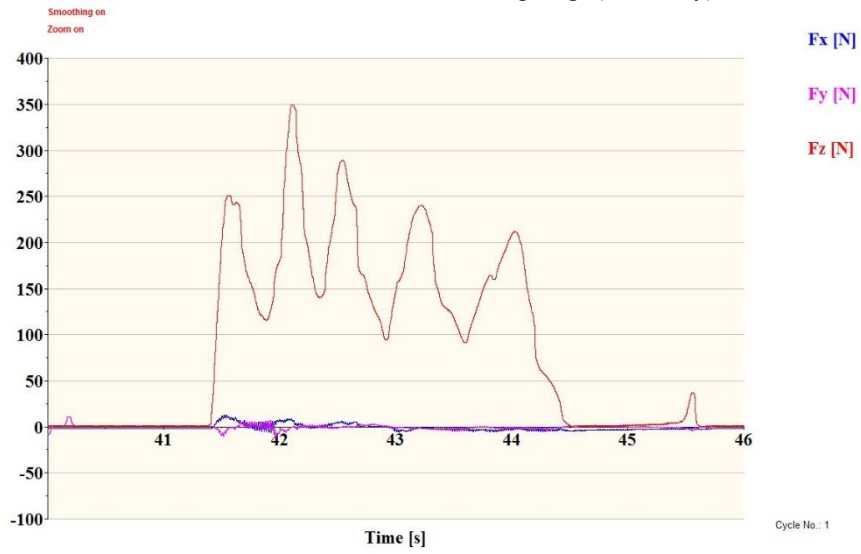
Şekil 24. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (24. deney)



Şekil 25. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (25. deney)



Şekil 26. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (26. deney)



Şekil 27. Kesme kuvveti-Zaman grafiği (27. deney)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serhat ŞANLITÜRK
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Göle/1985
Telefon : 05345772201
Faks : -
e-mail : serhat.sanlitürk@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ardahan Anadolu Lisesi / Merkez / Ardahan	2003
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi / Merkez / Konya	2015
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi / Merkez / Batman	2020
Doktora	: -	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
14	Türk Hava Kuvvetleri	Uçak Mekanik Sistemleri Asb.

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalât,

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR