

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞRİ YÜZEYLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN
DELİNMESİNDE DELME PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan YASAKCI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Erkan BAHÇE

NİSAN 2021

**T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞRİ YÜZEYLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN
DELİNMESİNDE DELME PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serkan YASAKCI
36173618016**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Erkan BAHÇE

NİSAN 2021

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca zamanını, desteğini, bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgmeden yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Erkan BAHÇE'ye;

Tez çalışmam boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Öğretim Görevlisi Ender EMİR'e;

Yaşamım boyunca desteklerini benden esirgemeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda bulunan, motivasyon kaynağım canım kızım Asya ve eşim Duygu'ya, bu yaşlara gelmemde büyük emekleri ve fedakarlıkları olan annem ve babama;

Teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Eđri Yüzeyli Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitlerin Delinmesinde Delme Performansının Araştırılması” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dűşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden olduğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Serkan YASAKCI



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	4
2.1 Delme Parametreleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2 Matkap Geometrisinin Delaminasyona Etkisi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	8
2.3 Kompozit Bileşenlerinin Delaminasyona Etkisi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	12
2.4 Çalışmanın Özgünlüğü ve Çalışmada İzlenecek Yol	16
3. GENEL BİLGİLER	19
3.1 Kompozit Malzemeler.....	19
3.2 Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması	20
3.2.1 Takviye malzemesine göre kompozitler	20
3.2.2 Matris Malzemelerine Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması	21
3.2.3 Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitler (CETP).....	22
3.3 Delaminasyon Faktörü	24
3.3.1 Delaminasyon Ölçüm Teknikleri	24
3.4 Yüzey Pürüzlülüğü.....	25
3.5 Delme İşleminde Takım Seçimi ve İşleme Parametrelerinin Seçimi.....	26
3.6 Takım Aşınması ve Türleri	28
3.6.1 Serbest Yüzey Aşınması	29
3.6.2 Krater Aşınması	29
3.6.3 Çentik Aşınması.....	30
3.6.4 Ağız Birikimi Oluşumu (BUE).....	30
3.6.5 Isıl Ve Mekanik Çatlaklar	31
3.7 Serbest Şekilli Yüzeylerin Modellenmesi.....	31
4. MATERYAL VE YÖNTEM	34
4.1 Serbest Şekilli Yüzey Tasarımı ve Kalıp Üretimi.....	34
4.2 Kompozit Yüzeylerin Üretimi.....	35
4.3 Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	36
4.6 Delaminasyon Ölçümü.....	38
4.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	39
4.8 Takım Aşınmasının Ölçümü	40
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
5.1 Delaminasyon Faktörünün Analizi	47
5.1.1 İlerleme ve İş Mili Devrinin Delaminasyona Etkisi	47
5.1.2 Takım Çapının Delaminasyona Etkisi	52
5.1.3 Elyaf Yönelim Açısının Delaminasyona Etkisi	54
5.2 Yüzey Pürüzlülüğü Analizi.....	56
5.2.1 İlerleme Oranı ve İş Mili Devrinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	56
5.2.2 Takım Çapının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	58
5.2.3 Elyaf Yönelim Açısının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	60
5.3 Serbest Şekilli Yüzeylerin Delinmesinin Değerlendirilmesi.....	62

5.4. Takım Aşınması	69
6. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen delme parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalar.	5
Çizelge 2.2: Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen takım geometrileri ile ilgili yapılan çalışmalar.	9
Çizelge 2.3: Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen kompozit bileşenleri ile ilgili yapılan çalışmalar.	13
Çizelge 3.1: Cam elyaf tipleri ve özellikleri	23
Çizelge 4.1: Eğriye ait knot, kontrol noktaları ve derece değerleri.	34
Çizelge 4.2: Kompozit malzemenin delinmesinde kullanılan deney parametreleri.	37
Çizelge 4.4: Taksan CNC Freze Teknik özellikleri.	38
Çizelge 5.1: 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip Ø5 mm çapındaki delme deneylerinin sonuçları.	41
Çizelge 5.2: 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip Ø7.5 mm çapındaki delme deneylerinin sonuçları.	42
Çizelge 5.3: 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip Ø10 mm çapındaki delme deneylerinin sonuçları.	43
Çizelge 5.4: 45°-45° elyaf yönelim açısına sahip Ø5 mm çapındaki delme deneylerinin sonuçları.	44
Çizelge 5.5: 45°-45° elyaf yönelim açısına sahip Ø7.5 mm çapındaki delme deneylerinin sonuçları.	45
Çizelge 5.6: 45°-45° elyaf yönelim açısına sahip Ø10 mm çapındaki delme deneylerinin sonuçları.	46
Çizelge 5.7: 15° eğim açısına sahip Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı– iş mili Devrine göre delik giriş-çıkışlarının resimleri.	48
Çizelge 5.8: Delik giriş ve çıkışında 30° delik eğim açısına sahip Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı– iş mili Devrine göre delik giriş-çıkışlarının resimleri.	49
Çizelge 5.9: 45° eğim açısına sahip Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı– iş mili Devrine göre delik giriş-çıkışlarının resimleri.	50
Çizelge 5.10: 90°-90° elyaf yönelimli kompozitte Ø5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.	63
Çizelge 5.11: 90°-90° elyaf yönelimli kompozitte Ø7.5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.	64
Çizelge 5.12: 0°-90° elyaf yönelimli kompozitte Ø10 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.	65
Çizelge 5.13: 45°-45° elyaf yönelimli kompozitte Ø5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.	66
Çizelge 5.14: 45°-45° elyaf yönelimli kompozitte Ø7.5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.	66
Çizelge 5.15: 45°-45° elyaf yönelimli kompozitte Ø10 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.	67
Çizelge 5.16: Ø5 mm çapındaki deliğin sabit ilerleme ve iş mili devrinde delik girişinde ve çıkışında oluşan tabaka ayrılması.	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Eğimli yüzeyde ve plakalı yüzeyde delik açılırken matkap kesme kenarı konumu	16
Şekil 2.2: Çalışmada kullanılacak kompozit yüzeye matkabin delme yapacağı bölgelerin gösterimi (a) 30° eğim açısında açılan delik (b) 45° eğim açısında açılan delik (c) 15° eğim açısında açılan delik	17
Şekil 2.3: Çalışmanın Organizasyon Şeması	18
Şekil 3.1: Kompozit malzemelerin sektörlere göre kullanım hacimleri; a) Dünya genelinde, b) Türkiye genelinde	19
Şekil 3.2: Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	20
Şekil 3.3: Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	20
Şekil 3.4: Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması	21
Şekil 3.5: Kompozitlerde farklı lif oryantasyonları a) tek yönlü b) rastgele yönlü c) çift yönlü d) ortogonal	22
Şekil 3.6: CETP kompozitin delinmesi sonucu oluşan (a) Giriş delaminasyonu (b) Çıkış delaminasyonu	24
Şekil 3.7: Delik yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün şematik gösterimi	26
Şekil 3.8: Matkap geometrisi	28
Şekil 3.9: Kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınması	29
Şekil 3.10: Kesici takımında oluşan krater aşınması	30
Şekil 3.11: Kesici takımında oluşan çentik aşınması	30
Şekil 3.12: Kesici takımında oluşan BUE aşınması	31
Şekil 3.13: Kesici takımında oluşan Çatlak aşınması	31
Şekil 4.1: B-Spline ile oluşan yüzey profili eğrisi	35
Şekil 4.2: Kompozit malzemenin üretimi için kullanılan kalıp (a) kalıbın üst görünümü (b) kalıbın yan görünümü	35
Şekil 4.3: Elyafların kompozitin üretim aşamasında istifleme şekli (a) 0°-90° elyaf yönelimi (b) 45°-45° elyaf yönelimi	36
Şekil 4.4: Deneide kullanılan cam elyaf takviyeli serbest şekilli yüzey formuna sahip kompozit malzeme	36
Şekil 4.5: Deneilerde kullanılan HSS matkap uçları	37
Şekil 4.6: Delaminasyon ölçüm düzeneği	38
Şekil 4.7: Delaminasyon ölçümü (a) ImageFocusAlpha programı kullanılarak alınan resim (b) AutoCAD ile delaminasyon alanı görünümü	39
Şekil 4.8: Delik kesit görünümü (a) işlenmemiş delik kesit görünümü (b) eksenden sapmış alanın görünümü	39
Şekil 4.9: TR200 pürüzlülük ölçüm cihazı	40
Şekil 4.10: Takım SEM görüntüsü	40
Şekil 5.1: 15° eğim açısında Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı – iş mili devrinin delik giriş ve çıkışında delaminasyona etkisi. 48	
Şekil 5.2: 30° eğim açısında Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı – iş mili devrinin delik giriş ve çıkışında delaminasyona etkisi.	49
Şekil 5.3: 30° eğim açısında 5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı – iş mili devrinin delik giriş ve çıkışında delaminasyona etkisi.	50

Şekil 5.4:	Matkabın kompozit malzemeye temas noktaları (a) düz bir yüzeye takımın giriş ve çıkış esnasında temas noktası (b) eğimli bir yüzeye takımın giriş ve çıkış esnasında temas noktası.....	51
Şekil 5.5:	15°, 30° ve 45° eğim açılarında, Ø5 mm takım çapı ve 0.1 mm/dev ilerleme oranı ile işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin iş mili devri ile delik giriş ve çıkışında oluşturduğu delaminasyon.....	51
Şekil 5.6:	15° eğim açısına sahip 0°-90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devrinde açılan deliklerin takım çapı ve ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkış delaminasyon değişimi.....	52
Şekil 5.7:	30° eğim açısına sahip 0°-90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devrinde açılan deliklerin takım çapı ve ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkış delaminasyon değişimi.....	53
Şekil 5.8:	45° eğim açısına sahip 0°-90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devrinde açılan deliklerin takım çapı ve ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkış delaminasyon değişimi.....	53
Şekil 5.9:	0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitlerin 1500 dev/dak iş mili devrinde, 15° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında delik girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonların karşılaştırılması.....	54
Şekil 5.10:	0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitlerin 1500 dev/dak iş mili devrinde, 30° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında delik girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonların karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.11:	0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitlerin 1500 dev/dak iş mili devrinde, 30° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında delik girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonların karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.12:	0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 15° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.13:	0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 30° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.14:	0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 45° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 5.15:	0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 15° eğim açısında ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde farklı takım çaplarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....	59
Şekil 5.16:	0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 30° eğim açısında ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde farklı takım çaplarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....	59
Şekil 5.17:	0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 45° eğim açısında ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde farklı takım çaplarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.18:	15° eğim açısındaki cam elyaf kompozitin ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde ve Ø5 mm takım çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin elyaf yönelimlerine göre karşılaştırılması.....	61
Şekil 5.19:	30° eğim açısındaki cam elyaf kompozitin ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde ve Ø5 mm takım çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin elyaf yönelimlerine göre karşılaştırılması.....	61
Şekil 5.20:	45° eğim açısındaki cam elyaf kompozitin ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde ve Ø5 mm takım çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin elyaf yönelimlerine göre karşılaştırılması.....	62

Şekil 5.21: Eğri yüzeyde takım kesme kenarının giriş ve çıkışta takım kesme kenarının zorladığı alanlar (a) 15° delme eğim açısında (b) 45° delme eğim açısında (c) 30° delme eğim açısında.....	63
Şekil 5.22: Delik giriş ve çıkışında oluşan geometrik hata bölgeleri (a) Delik girişi (b) Delik çıkışı.	67
Şekil 5.23: Ø5 mm matkapta oluşan aşınma türleri.	70
Şekil 5.24: Ø7.5 mm matkapta oluşan aşınma türleri.....	71
Şekil 5.25: Ø10 mm matkapta oluşan aşınma türleri.....	71



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Alan
A_{max}	: Deformasyona Uğramış Alan
CETP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit
D	: Takım Çapı
dak	: Dakika
dev	: Devir
D_{max}	: Deformasyona Uğramış Delik Çapı
f	: İlerleme Miktarı
F_d	: Delaminasyon Faktörü
f_z	: Bir Ağıza Karşılık Gelen İlerleme Miktarı
h	: Talaş kalınlığı
ISO	: ISO International Organization for Standardization
mm	: Milimetre
n	: İş Mili Hızı
R_a	: Yüzey pürüzlülüğü
R_t	: Pürüzlülük Yüksekliği
R_{max}	: En Büyük Pürüzlülük Değeri
R_p	: Profil Üst Sınırı
R_v	: Profil Alt Sınırı
s	: Saniye
V_c	: Kesme Hızı
V_f	: İlerleme Hızı
z	: Kesici Ağız Sayısı
µm	: Mikrometre
γ₀	:Talaş açısı
β₀	:Kama açısı
α₀	: Serbest aç
Ψ	:Takım uç açısı
χ	:Yerleşme açısı
%	: Yüzde

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EĞRİ YÜZEYLİ CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNMESİNDE DELME PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Serkan YASAKCI

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

80 + XI sayfa

2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erkan BAHÇE

Kompozit malzemeler günümüzde sağladığı yüksek korozyon direnci, hafiflik, yüksek mukavemet, yüksek kimyasal direnç, titreşimleri absorbe edebilme gibi özelliklerinden dolayı inşaat, denizcilik, uzay ve havacılık vb. endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durumda ilgilerin kompozit malzemeler üzerine toplanmasına neden olmaktadır.

Kompozit malzemelerin kullanılabilmesi için üretimden sonra bir dizi ikinci imalat yapılması gerekmektedir. Özellikle bu ikinci imlatta en çok başvurulan yöntem ise kompozitleri montajlama için delik delme yöntemidir. Fakat malzemede delme esnasında işleme parametrelerine bağlı olarak delik etrafında delaminasyon meydana gelmektedir ve kompozitin kullanım ömrünü azaltmaktadır. Bu durumun önüne geçilmesi için kaliteli delikler açılması ve malzemenin en az ölçüde deformasyona uğramasını sağlamak gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında serbest şekilli yüzey formuna sahip cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler farklı ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev), iş mili devri (1000, 1250, 1500 dev/dak), takım çapı (Ø5, Ø7.5, Ø10 mm) ve elyaf yönelim açısı (0°-90°, 45°-45°) kullanılarak delinmiştir. Ayrıca literatür çalışmalarından farklı olarak delme işlemi 15°, 30° ve 45° delik eğim açlarına sahip yüzeyler üzerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda ilerlemenin ve takım çapının artması ile birlikte delik girişlerinde ve çıkışlarında delaminasyonun arttığı, iş mili devrinin artması ile birlikte ise delik giriş ve çıkışlarında delaminasyonu azaldığı görülmüştür. 45° delik eğim açısına sahip numunelerde meydana gelen delaminasyonun 15° delik eğim açısına sahip numunelere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ilerleme, iş mili devri ve delik eğim açısının artması ile delik yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve takım çapının artması ile ise azaldığı gözlemlenmiştir. Son olarak kritik işleme parametrelerinde kullanılan matkapların SEM görüntüleri alınarak meydana gelen aşınmalar incelendi. Sonuç olarak delik eğim açılarında işleme parametrelerinde olduğu gibi delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde ciddi oranda etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cam Elyaf, Delaminasyon, Kompozit Malzeme, Delik Delme, Yüzey Pürüzlülüğü

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF DRILLING PERFORMANCE OF CURVED SURFACE GLASS FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES

Serkan YASAKCI

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

80 + XI page

2021

Supervisor: Dr. Lecturer Erkan BAHÇE

Today, composite materials are widely used in industrial areas such as construction, maritime, space and aviation etc. due to their high corrosion resistance, lightness, high strength, high chemical resistance, and ability to absorb vibrations. In this case, it causes interest to concentrate on composite materials.

In order to use composite materials, second manufacturing is required after production. Especially in this second manufacturing method, the most used is drilling the composites for assembly. However, during drilling in the material, depending on the machining parameters, delamination occurs around the hole and reduces the lifespan of the composite. In order to prevent this situation, it is necessary to drill quality holes and ensure that the material is subject to minimal deformation.

In this thesis study, glass fiber reinforced polymer composite materials with free-form surface different feed (0.1, 0.2, 0.3 mm/rev), spindle speed (1000, 1250, 1500 rev/min), tool diameter ($\varnothing 5$, $\varnothing 7.5$, $\varnothing 10$ mm) and fiber orientation angle (0° - 90° , 45° - 45°). In addition, unlike literature studies, drilling was performed on surfaces with hole inclination angles of 15° , 30° and 45° . In the results obtained, it was observed that delamination at hole entry and exits increased with the increase in feed and tool diameter, and delamination at hole entry and exit was decreased with the increase of spindle rotation. It was determined that the delamination occurring in samples with a hole inclination angle of 45° was higher than in samples with a hole inclination angle of 15° . In addition, it has been observed that the hole surface roughness increases with the increase of feed, spindle rotation and hole inclination angle and decreases with the increase of the tool diameter. Finally, the SEM images of the drills used in critical machining parameters were taken and the abrasions occurred were examined. As a result, it has been observed that hole inclination angles have a significant effect on drilling and surface roughness as well as machining parameters.

Keywords: Glass Fiber, Delamination, Composite Material, Drilling, Surface Roughness

1.GİRİŞ

Kompozit malzemeler mukavemet, korozyon direnci, hafiflik ayrıca kullanım alanlarına göre farklı malzemeleri bir araya getirerek istenilen özelliklerde malzeme üretimine olanak vermesi gibi özelliklerinden dolayı diğer malzemelere kıyasla daha üstün ve kullanışlı malzemelerdir. Kompozitler ilk olarak kerpiç yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Kerpiç malzeme, çamur içerisine takviye edilmiş samanlar sayesinde daha mukavim bir yapı ortaya koymaktadır.

Kompozit malzemeler hayatımıza çok eski tarihlerde girmesine rağmen endüstriyel olarak kullanılmaya başlanması 1899'da fenolformaldehit ve 1907'de fenolik plastiğin bulunmasıyla başlamıştır [1,2]. Bu malzemelerin bulunması kompozitlerin birdiğer bileşeni olan takviye elemanının araştırılmasını hızlandırmıştır. Takviye elemanının malzemenin mukavemetini ve mekanik özelliklerini en çok etkileyen bileşen olduğu belirlenmiştir. Takviye elemanı olarak elyaf lifleri mekanik özelliklerinden dolayı önem kazanmış ve karbon fiber, cam elyaf takviyeli kompozitler vb. malzemeler ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemeler içerisinde cam elyaf takviyeli kompozitler içerdiği cam liflerinin üretim kolaylığı, malzemeye kattığı üstün mukavemet özelliği ve düşük maliyetinden dolayı en çok tercih edilenidir. Cam liflerinin kullanımı M.Ö. 1600 yıllarında Mısır'da görülmektedir. Cam lifleri çeşitli günlük malzemeler için kullanılmıştır. 1935 de cam elyafının kullanılması, 1936'da polyester reçine, 1938'de ise epoksi reçinenin kullanılması ile cam elyaf takviyeli kompozitler yaygın olarak endüstriye girmiştir [1,2]. Kompozit malzemelerin endüstride kendine yer bulmasından sonra üretim yöntemleride çeşitlenmeye başlamıştır. Teknolojinin gelişmesiyle kompozit malzemelerde gelişmiş ve kullanım alanları günden güne artmıştır. Bu yüzyılda kompozit malzemeler savunma sanayi, uçak-uzay sanayi, otomotiv sanayi gibi pek çok lokomotif endüstri dallarında dahil olmak üzere bir çok endüstri dalında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Reçine ile takviye elemanın bir araya gelerek kompoziti oluştururken vakum infüzyon, plazma püskürtme ve elle yatırma gibi çeşitli üretim yöntemleri

kullanılmaktadır. Bu üretim yöntemlerinden elle yatırma yöntemi ekonomikliği ve her alanda uygulanabilmesinden dolayı en çok tercih edilenidir.

Üretimde kullanılan elle yatırma yöntemi sayesinde üretilecek parça kalıp kullanılarak nihai şekillerde imal edilmesine olanak sağlamaktadır. Kompozitler her ne kadar nihai şekle uygun üretilse bile genellikle yapısal malzeme olarak kullanıldığı için kompozitlerle veya diğer malzemelerle birleştirilmesi gerekmektedir. Kompozitler için önemli bir üretim aşaması olarak, kompozit yapıyı diğer yapılar ile bir araya getirmek için perçinli ve civatalı bağlantılar yapılabilmesi için delme işlemi yaygın olarak kullanılır [3]. Fakat kompozitlerde birleştirme amaçlı açılan delikler kompoziti malzemenin heterojen ve anizotropik doğası nedeniyle delaminasyon, delik çapında sapmalar ve lif kopması gibi hasarlar meydana getirmektedir [4,5]. Bu kusurlardan delaminasyon, sadece yüzey kalitesini ve montaj toleransını azaltmanın dışında yorulmaya karşı delik mukavemetini de etkilemektedir. Bu sorun montaj parçalarının kullanılırken malzemelerden alınan verimi azaltmaktadır [6-8].

Kompozitlerin delinmesini etkileyen faktörlerden bir diğeride yüzey formlarıdır. Kompozitler genel olarak düz plakalar, boru gibi şekillerde üretilse de günümüz teknolojisinin ihtiyaçları doğrultusunda serbest şekilli formlarda üretimde yaygınlaşmıştır. Örneğin bir tekne bordasının imalatında düz yüzey yerine serbest yüzey formu kullanılarak yapı aerodinamiği sağlanmaya çalışılmıştır. Serbest şekilli yüzeyler rastgele oluşan yüzeyler değildir. Çeşitli matematiksel yollarla yüzey yapısı hesaplanır. Bu yüzey yapısının matematiksel hesabı için yaygın olarak Bezier, B spline , NURBS gibi eğriler ve yüzeylerden yararlanılmaktadır. Bu formların tercih edilmesinin en önemli nedeni de eğri veya yüzey üzerinde lokal değişikliklere olanak sağlamasıdır [9]. Serbest yüzey formları aynı zamanda düz plakalara nazaran daha az parçanın bir araya gelmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin konveks yada konkav yüzey yapısına sahip bir malzemeyi düz plakalarla üretmek için birden fazla plakanın bir araya gelmesi gerekmektedir. Bu bir araya gelme işleminde yapıştırma, delik deme vb. yöntemler kullanılacağı için malzeme mukavemeti azalacaktır. Fakat eğri yüzey formları kullanılarak tek parça şeklinde istenilen malzeme üretilmektedir. Tek seferde üretim yapılması birleştirme işlemi olmayacağından veya daha az olacağı için mukavemeti maksimum seviyede koruyacaktır.

Kompozitler üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde düz plaka şeklinde imal edilen kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin (ilerleme hızı, kesme hızı ve iş mili hızı), takım özelliklerinin, elyaf yönelim açılarının ve çeşitli dış faktörlerin

delaminasyon üzerindeki etkilerini ayrı ayrı ortaya koymaktadır [10-13]. Fakat yapılan bu çalışmaların tamamı düz plakalar baz alınarak incelenmiştir. Endüstride kullanılan malzemeler çeşitli yüzey formlarına sahip olması bu çalışmaların yeteri düzeyde çalışılmadığı dikkat çekmektedir. Bu eksiklikten dolayı çalışmalar serbest şekilli yüzey formlarında araştırmalar yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Düz yüzeylere kıyasla bu tür serbest yüzey formuna sahip malzemelerin delinmesinde daha farklı sonuçlar alınması muhtemeldir. Çünkü delme operasyonunda kompozit malzeme takımın kesici kenarların tamamı ile simetrik bir şekilde karşılaşmamaktadır ve takım kesme kenarları kompozit malzemeye çeşitli açılar ile temas etmektedir. Bu takımın temas noktasının farklılığı ve kesici kenarların asimetrikliği takımın operasyon esnasında delik ekseninden sapmasına neden olacağı düşünülmektedir. Bu durum delme işleminde tutarsızlığa, takım aşınmasına ve tabakalar arası elyaf-takım karşılaşmalarında farklılıklara neden olacağı öngörülmektedir. Bu farklılıklarda delaminasyonu en çok etkileyen parametreler olduğundan delaminasyon değerini etkileyeceği düşünülmektedir. Bu durumda serbest şekilli yüzey formlarının giderek önem kazanmasını sağlamıştır. Bu tez çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine araştırılma yapılmasına rağmen diğer malzemeler ile ilgili araştırmalarda öncülük etmesi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Kompozit mlzemelerin talaşlı imalatı ile ilgili literatür çalışmalarında en önemli problemin delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü olduğu, yapılan çalışmaların büyük bir kısmı ise bu problemleri azaltmak için takım geometrisi, işleme parametreleri ve kompozit bileşenler gibi değişkenlerin etkilerini azaltmaya yönelmişlerdir.

2.1 Delme Parametreleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Delme üzerine yapılan çalışmalar Çizelge 2.1’de incelendiğinde işleme parametrelerinin (ilerleme, kesme hızı, iş mili hızı) delaminasyona etkilerinin fazla olduğu anlaşılmaktadır [10]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda delme parametrelerinin delaminasyona etkileri aşağıda verilmiştir.

Son 10 yılda yapılan araştırmalar delaminasyon üzerine en büyük etkiyi ilerlemenin yaptığını belirtilmektedir [10,14,15]. Artan ilerleme itme kuvvetinde artışa sebep olmaktadır. İtme kuvvetinin artması takımın malzemedan çıkarken lifler üzerine uyguladığı kuvvet artmaktadır. Artan bu itme kuvveti lifleri kesmek yerine koparma eğilimi göstererek delik çıkışında delaminasyona sebep olmaktadır [10].

Delaminasyon üzerinde ilerlemeden sonra en etkili olan diğer delme parametresi ise iş mili hızına bağlı olarak kesme hızıdır. Artan kesme hızı ile elyafların kesilmesi kolaylaşmakta ve tabaka ayrılması azalmaktadır. Elyafların düzgün bir şekilde kesilmesi de delaminasyon oluşumunu en az seviyeye indirmektedir [15].

Çizelge 2.1: Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen delme parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	İLERLEME MİKTARI	İŞ MİLİ HIZI	DİĞER DEĞİŞKENLER	YAPILAN ÇIKARIMLAR
1	J. Fernandez-Perez ve ark. [10] (2021)	0.1/0.12/0.14 mm/dev	3300/3960/4620 dev/dak	Kaplamasız ve elmas kaplamalı takım	Delaminasyon ile takım aşınmasının birbiri ile bağlantılı olduğunu vurgulamışlardır. Delik kalitesinin iyi olması için takım aşınmasının az olması gerektiği öngörülmüştür. En az aşınma elmas kaplamada görülmüştür. Bu durumda delaminasyon elmas kaplı matkapta daha az çıkmıştır. İlerlemenin artması delaminasyonu itme kuvvetinden dolayı artırmıştır fakat takım ömrünü artırmıştır. Takım faktörü itme kuvvetinden daha az delaminasyon üzerinde etkisi olduğunu belirtmişlerdir.
2	Mohammed Baraheni ve ark. [14] (2019)	0.05/0.10/0.15 mm/dev	955/1590/2228 dev/dak	D= 5 mm	İlerlemenin delaminasyon üzerindeki en etkin parametre olduğunu deneylerin sonuçlarında vermişlerdir.
3	Naeim Akbari Shahkhosravi ve ark. [15] (2019)	50, 100, 150 mm/dak	3000, 6000, 10000 dev/dak	D= 4 mm	Yaptıkları deneyler sonucunda delik açma işleminde kesme hızı arttıkça veya ilerleme azaldıkça döngüsel yük kaynaklı delaminasyonun derecesinin azaldığı sonucuna varmışlardır
4	M.A. Agwa ve A.A. Megahed [16] (2019)	0.056, 0.112, 0.22, 0.315 ve 0.45 mm/dev	160,315,500,800, 1250 dev/dak	D= 13 mm	Yaptıkları deney sonuçları diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Deney sonuçlarına göre 0.56 mm/dev en iyi ilerleme hızı ve giriş için 160 dev/dak çıkış için 1250 dev/dak en iyi devir sayısı olarak belirlenmişlerdir.

Çizelge 2.1 (Devamı): Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen delme parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	İLERLEME MİKTARI	İŞ MİLİ HIZI	DİĞER DEĞİŞKENLER	YAPILAN ÇIKARIMLAR
5	Manohar Velga ve Rahul M. Cadambi [17] (2017)	0.2/0.4/0.6 mm/dev	400/700/1000 dev/dak	D= 10 mm	700 dev/dak ve 0.4 mm/dev ile en iyi delaminasyon sonucu çıkarılmıştır.
6	U. A. Khashaba ve El-Keran [18] (2017)	0.025/0.050/0.075/0.100 mm/dev	800/1600/3150 dev/dak	D= 6.5 mm	16.3 m/dak kesme hızı ile 32.7 m/dak kesme hızı karşılaştırılmıştır. Sıcaklık ve itme kuvveti farklılıklarından dolayı delaminasyon değerleri değişmektedir.
7	Navid Zarif Karimi ve ark. [19] (2017)	31.5/63/125 mm/dak	315/630/1000 dev/dak	$\Psi=130^\circ$ 2 kesme kenarlı	İlerlemenin delaminasyona etkisi kesme hızından daha çok olduğunu belirterek en az delaminasyonun 1000 dev/dak devirde ve 31.5 ilerlemede olduğunu sonuçlarında belirtmişlerdir.
8	D. Ramesh ve ark. [20] (2016)	0.05 /0.10 /0.15 mm/dak	750/1000/1250 dev/dak	Delme esnasında Soğutmasız / Matkap içi soğutmalı / Dış soğutmalı	Delme parametrelerinden delaminasyonu en çok etkileyen parametrenin ilerleme miktarı olduğunu söylemişlerdir. Delme işlemi esnasında iç soğutma ile yapılan delme işleminde en az delaminasyon oluşmuş, bunu dış soğutmalı ve soğutmasız delme işlemleri izlemiştir.

Çizelge 2.1 (Devamı): Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen delme parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	İLERLEME MİKTARI	İŞ MİLİ HIZI	DİĞER DEĞİŞKENLER	YAPILAN ÇIKARIMLAR
9	A. A. Abulnasır ve ark. [21] (2015)	0.16/0.24 mm/dev	3000/6000 dev/dak	Helisel ve kademeli Matkap kullanılmıştır	Buldukları sonuçlar genel çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Yani ilerlemenin delaminasyon üstündeki etkisinin çok olduğu ve ilerleme miktarının artmasının itme kuvvetini artırarak delaminasyonu artırdığı sonucunu söylemişlerdir. Bir diğer sonuçları ise kademeli matkabin helisel matkaba oranla daha az delaminasyon oluşturduğu fakat bu farkın önemsenecek ölçüde olmadığını söylemişlerdir.
10	C. Bonnet ve ark. [22] (2015)	0.025/ 0.050/ 0.100 mm/dak	265/1325/5305 dev/dak	Matkap uç açısı olarak 90°/110°/140° kullanılmış	İlerleme miktarının ve matkap uç açısının artması delaminasyon faktörünü artırıcı doğrultuda bir tutum sergilediğini sonuçlarında belirtmişlerdir.
11	A. Çelik ve ark. [23] (2015)	0.05/ 0.10/ 0.15/ 0.20 mm/dak	4000/8000 dev/dak	Takım uç açısı 120°/130°/140° kullanılmış	Yapılan deneyler sonucunda delaminasyona en büyük etkiyi ilerleme miktarı yapmıştır. Takım uç açısının artmasının da delaminasyona artırıcı yönde olduğu sonucunu çıkarmışlardır.
12	U. A. Khashaba ve ark. [24] (2010)	0.056/0.112/0.220/ 0.315/0.450 mm/dev	-	D=8 mm D=13 mm	Delaminasyona en büyük etkiyi ilerlemenin yaptığını bunuda takım çapının izlediğini söylemişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün ilerlemenin artması ile arttığı, takım çapının artması ile de azaldığını sonuçlarında belirtmişlerdir.

2.2 Matkap Geometrisinin Delaminasyona Etkisi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Matkap geometrisinin delaminasyonu etkileyen bir diğer etken olduğu yapılan literatür incelemelerinde ön plana çıkmıştır. Matkap geometrisi genel anlamda kesme kenar sayısı, matkap çapı, matkap uç açısı, takım malzemesi, matkap tipi olarak anılmaktadır. Delaminasyonu en çok etkileyen matkap parametreleri aşağıda değinilmiştir.

A. Diaz Alvares ve ark. yaptıkları çalışmalar değerlendirildiğinde takım uç açısının önemli bir delaminasyon etkeni olduğunu belirtmişlerdir. Azalan takım uç açısı elyafa daha kolay nüfus edeceğinden ve bu kolay nüfus etme durumu da itme kuvvetinde bir azalmaya sebep olduğunu söylemişlerdir. İtme kuvvetinin azalması delaminasyon da bir azalma sağladığı sonucuna varmışlardır [25]. Bir diğer önemli takım açısında helis açılarıdır. Faissal Chegdani ve diğerleri üç farklı helis açısı ($H=0^\circ$, $H=20^\circ$ ve $H=40^\circ$) kullanarak yaptıkları deneylerde helis açısının 0° olması durumunda kesici takım malzeme ile daha sert bir şekilde temas ederek kusursuz bir işleme yaptığını söylemişlerdir. Fakat helis açısının küçük olmasında beraberinde artan sürtünme ile takım ömründe azalmaya neden olduğunu yaptıkları deneyler sonucunda belirtmişlerdir [26]. Takımın delaminasyona diğer bir etkisi ise takım çapıdır. Artan takım çapı malzemedeki elyaflar ile olan teması ve itme kuvvetini arttırdığından delaminasyonu olumsuz etkilemektedir [27].

Son on yılda yapılan çalışmalar incelendiğinde matkap tipinin delaminasyonu etkileyen bir diğer takım parametresi olduğu anlaşılmaktadır [28]. Ağaç matkabı, kademeli matkap, helisel matkap, özel üretim matkaplar vb. birçok matkap tipi bulunmaktadır. Matkap tipleri incelendiğinde delaminasyonun azaltmak için seçilen matkap tipinin itme kuvvetinin azaltır yönde bir geometrisi ve malzeme yapısı olması gerektiği belirtilmiştir [28, 29]. Bu durum göz önüne alındığında itme kuvvetini azaltan özel üretim matkaplar ve kademeli matkaplarda delaminasyon daha az çıkmaktadır [28]. Ayrıca takım kaplaması da delaminasyonu etkilediği vurgulanmıştır. Navneet ve ark. [30] Takım kaplaması takımın aşınmayı azaltarak bununla bağlantılı olarak delaminasyonu azalttığını belirtmişlerdir [30]. Fakat maliyetinin yüksek olması nedeni ile endüstride kullanımı sınırlıdır.

Takım geometrisinin ve takımın delaminasyon üzerindeki etkisini inceleyen araştırmalar Çizelge 2. 2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen takım geometrileri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	TAKIM ÇAPI	UÇ AÇISI	TAKIM ÇEŞİDİ	DİĞER DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA
1	K. Arun ve ark. [11] (2020)	D=8 mm	118°	Helisel matkap	işlenmemiş ve kriyojenik olarak işlenmiş takımlar	Takım daha az aşınma eğilimi gösterdiği için optimum delaminasyon kriyojenik işlenmiş matkapta elde edildiği sonucunu göstermişlerdir.
2	A. Diaz Alvares ve ark. [31] (2020)	D=10 mm	118° - 80°	HSS matkap	Farklı malzeme kalınlıkları 1.4/2.14/2.68 mm	Daha küçük delme noktası açları dokumaya daha kolay işler. Bu durumda matkabın ürettiği itmeyi doğrudan etkilemiştir. Bu çıkarım doğrultusunda 80° uç açısı en az delaminasyonu ortaya çıkardığı sonucunu söylemişlerdir.
3	Gopalakrishnan Ramya D. ve Kayarajanam P. [27] (2019)	D1=6 mm D2=8 mm D3=10 mm	118°	Karbür matkap	100, 200, 300 mm/dak ilerleme hızı 1000,2000,3000 dev/dak iş mili hızı	Yaptıkları deneyler sonucunda literatüre uygun olarak küçük çapta küçük değerlerde delaminasyon oluştuğu sonucu yinelemişlerdir.
4	Lokman Gemi ve ark. [28] (2019)	D=4 mm	-	Helisel matkap, ağaç matkabı, kademeli matkap	25, 75, 125, 175, 225 ve 275 mm / dak ilerleme hızı	Kademeli tip matkap daha az kuvvet ve hasar oluşturduğu için daha iyi sonuçlar verdiği sonucu ispatlanmıştır.
5	Navneet Khanna ve ark. [30] (2018)	D=10 mm	118°	Helisel matkap	Kaplamasız ve T1A1N kaplı karbür takımlar	Kaplamalı matkap kaplamasız matkaba nazaran %19.7 daha az delaminasyon sonucu vermiştir fakat kaplama maaliyetinden dolayı tercih edilmemektedir.

Çizelge 2.2(Devamı): Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen takım geometrileri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	TAKIM ÇAPI	UÇ AÇISI	TAKIM ÇEŞİDİ	DiĞER DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA
6	Xinyi Qiu ve ark. [31] (2018)	D1= 6-6 mm D2= 6-4.5 mm D3= 6-3 mm D4= 6-2 mm	110°	Kademeli matkap, Helisel matkap	0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 mm/dev ilerleme 1500,3500,5500 dev/dak iş mili hızı	Dört farklı kademeli matkap üzerinde deneyler yapılmıştır. D1 ve D2’de keski kenarı daha yüksek devirde delaminasyona ciddi etki yaptığını ve D4 ise delik çıkışında keski kenarı etkisi nedeni ile delaminasyonu arttırdığını söylemişlerdir. Fakat D3 keski kenarının delaminasyon üzerindeki etkisini azaltmış ve daha küçük delaminasyon oluşturduğu sonucuna varmışlardır.
7	Fei Su ve ark. [29] (2018)	D=12 mm	-	Kama Matkap, Ağaç matkabi, Özel Üretim Matkap	0,0525, 0,105, 0,5175, 0,2100 mm / dev ilerleme	Yeni geometrideki matkap itme kuvvetinin yanı sıra çapaklar ve delaminasyon gibi hasarları azaltmada iyi bir perfonsa sahip olduğunu sonuçlarında belirtmişlerdir.
8	N. Feito ve ark. [32] (2018)	D1= 6 mm D2= 6-4 mm	118°	Kademeli matkap, Helisel Matkap	0.05, 0.1, 0.15 mm/dev ilerleme 25, 50, 100 m/dak kesme hızı	Kademeli matkabin daha düşük delaminasyon sonucu vermesi beklenirken helisel matkabin optimum sonuç verdiğini söylemişlerdir.
9	Hossein Heidary ve ark. [33] (2018)	D1= 4 mm D2= 5 mm	118°	HSS matkap	Karbon nanotüp içeren kompozitler	Kompozit malzemenin içerisine çeşitli oranlarda karbonnano tüpler eklemiştir. Yapılan deney sonuçlarında küçük çaplı matkabin ve yüksek karbonnano nanotüp ihtiva eden malzemenin daha az delaminasyon oluşturduğu sonucuna varmışlardır.

Çizelge 2.2 (Devamı): Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen takım geometrileri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	TAKIM ÇAPI	UÇ AÇISI	TAKIM ÇEŞİDİ	DİĞER DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA
10	Dhiraj Kumar ve K.K. Singh [34] (2017)	-	-	HSS matkap, K20 karbür matkap, 4 kesici ağızlı karbür matkap	0.1, 0.3, 0.5 mm/dev ilerleme 500, 1250, 2000 dev/dak iş mili hızı	Üç farklı matkap tipi ile farklı ilerleme ve iş mili hızlarında bir dizi deneyler yaparak delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü incelemesi yapılmıştır. Yapılan deneylerde delaminasyonun itme kuvveti ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmışlardır. İlerlemenin artması ve iş mili hızının azalması itme kuvvetini artırarak delaminasyon faktörünü arttırdığı sonucuna varılmışlardır. Ayrıca kesme kenarı deformasyonundan dolayı iş milinin artması ile pürüzlülüğün arttığını söylemişlerdir. Kullanılan farklı matkap geometrileri karşılaştırıldığında sert bir karbür matkap kullanılarak daha küçük itme kuvveti, delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü oluştuğu sonucuna varılmışlardır.
11	Akhil K.T. ve ark. [12] (2017)	D1=8.5mm D2=9.5 mm D3=10.5 mm	118°	HSS matkap	0.1, 0.15, 0.2 mm/dev ilerleme 80, 160, 240 m/dak kesme hızı	Küçük çaplı takımın daha düşük delaminasyon çıkardığı sonucu çıkarımları arasındadır.
12	Tuncay Bilge ve ark. [36] (2017)	D=12 mm	118°	HSS matkap	Aşınmış ve aşınmamış matkaplar	Matkap aşınmasının delaminasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda aşınmış matkap aşınmamış matkaba nazaran %42 oranında daha fazla delaminasyon çıkarmıştır.

2.3 Kompozit Bileşenlerinin Delaminasyona Etkisi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Delaminasyon üzerinde etkisi olan faktörler incelendiğinde bir diğer faktör kompozit bileşenlerin önemli olduğu dikkat çekmektedir. Kompozit bileşenler genel anlamda matris malzemesi ve reçineyi ifade etmektedir. Kompozit bileşenlerin delaminasyon üzerindeki etkisi aşağıda sıralanmıştır.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte son yüzyılda önem kazanarak incelenmesi gereken kompozit bileşenleri ise kompozite eklenen farklı malzemelerdir. Kompozitlere ek olarak organik, metal malzemeler ve nano partiküller eklenerek malzemenin daha mukavim bir yapı ortaya çıkarması amaçlanmıştır. Bu eklenen malzemeler delme esnasında liflerin daha kolay kesilmesine olanak vererek delaminasyonu en aza indirmektedir [37]. Bu konu ile ilgili son yıllarda yapılan araştırmalar ayrı bir çalışma alanı olarak hala devam etmektedir.

Kompozit malzemelerde mukavemeti ve diğer istenen mekanik özellikleri sağlayan yapı bileşenin matris malzemesi olduğu bilinmektedir. Matris malzemesi olarak kullanılan liflerin ana yapıdaki hacim oranı delaminasyonu etkilemektedir [38]. Çünkü delme esnasında takımı zorlayan bölge liflerin yoğun olarak bulunduğu yerlerdir. Liflerdeki zorlama tabakalar arası ayrılmalara sebep olmaktadır. Lif oranının artması ile birlikte itme kuvveti ve sıcaklık artmakta ve bunun sonucu olarak delaminasyonda artış olmaktadır [38].

Liflerin delaminasyona bir diğer etkisinde lif yönelim açılarıdır. Kompozitler delinirken takım reçinenin olduğu bölgelerde daha verimli bir delme işlemi yaparken, elyafı karşılaştığı yerlerde elyafı koparmakta zorlanmaktadır. Delik çıkışında elyafın zorlanarak kopması çıkış delaminasyonunu oluştururken delik girişinde ise takımın dönme hareketi sonucu elyafı sıyrarak koparmakta ve yüzey bölgesinde tabaka ayrılması oluşturmaktadır [39]. Elyaf yönelim açıları da elyafın kompozit içerisindeki dağılımlarını etkilediği için delaminasyonu doğrudan etkilemektedir. Elyaf yönelim açısının artması kesme kuvvetlerinde artışa sebep olmaktadır ve bu kuvvetlerdeki artış delaminasyon artışı ile sonuçlanmaktadır [40]. Elyaf yönelimlerinin delaminasyona etkisi ile ilgili günümüzde halen çalışmalar yapılmaktadır.

Kompozit bileşenlerin delaminasyon üzerindeki etkisini inceleyen diğer çalışmalar Çizelge 2.3 de verilmiştir.

Çizelge 2.3: Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen kompozit bileşenleri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	LİF- HACİM ORANI	ELYAF YÖNELİM AÇILARI	KATKI MADDELERİ	DİĞER DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA
1	Jaewoo Seo MS ve ark. [12] (2020)	%66, %57, %49	-	-	D= 9 mm 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 mm/dev ilerleme 3000, 5000, 7000 dev/dak devir sayısı	Üç farklı lif hacmi oranında oluşan kompozitler üzerine yapılan deneyler sonucunda lif oranının artması ile birlikte itme kuvveti ve sıcaklık artmış bunun sonucu olarak delaminasyonda artış olduğu sonucunu bildirmişlerdir.
2	R. Kalyana Sundaram ve ark. [37] (2020)	-	-	Hindistan cevizi öznlü cam elyaf, Hindistan cevizi kabuklu cam elyaf, Sade cam elyaf	D= 5mm 60, 90, 120 mm/dak ilerleme hızı 1200, 1800, 2400 dev/dak devir sayısı	Üç farklı katkı maddeli kompozitin delme işlemi esnasında oluşturdıkları delaminasyonlar karşılaştırılmış ve katkılı kompozitlerin cam elyaf takviyeli kompozitlere nazaran daha iyi delaminasyon sonucu verdiği sonucu çıkarılmıştır.
3	Boyu Zhang ve ark. [39] (2020)	-	90° ve 0°	-	D= 10mm 50, 100, 150 mm/dak ilerleme hızı 2500, 3250, 4000 dev/dak devir sayısı	Elyaf yönelimlerinde oluşan hasarlar incelenmiş ve her iki durum içinde delaminasyon oluştuğunu söylemişlerdir. Fakat oluşan delaminasyonların etkilendikleri faktörlerin farklılık gösterdiğini söylemişlerdir.

Çizelge 2.3 (Devamı): Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen kompozit bileşenleri ile ilgili yapılan çalışmalar.

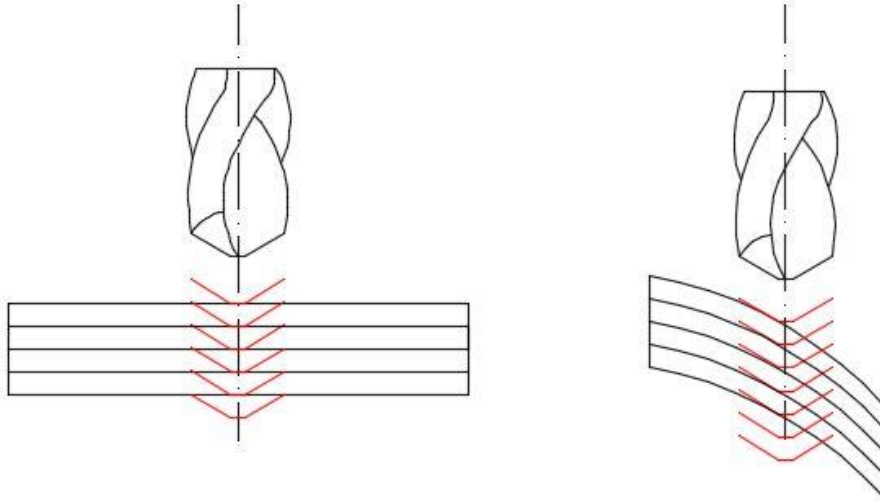
SAYI	YAZAR	LİF- HACİM ORANI	ELYAF YÖNELİM AÇILARI	KATKI MADDELERİ	DİĞER DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA
4	Ravi Shankar Anand ve Karali Patara [38] (2017)	-	-	-	1, 1.5, 2, 3, 4 mm/dev ilerleme, 15.7, 27.5, 39.2 m/dak	Yapılan deneylerde fiber kısımlar ve reçine kısımlarında oluşan delaminasyonlar arasındaki farkı ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Takım fiber kısımlara gelince itme kuvvetinde bir artış görülmüştür. İtme kuvvetindeki artış delaminasyonu arttırmıştır. Sonuç olarak itme kuvvetine bağlı olarak fiber kısımlarda artış olmasından dolayı bu kısımlarda delaminasyon değerinin daha büyük olduğunu vurgulamışlardır.
5	Omanath A. Pawar ve ark. [40] (2015)	-	0°-90° ve 45°-45°	-	0.15, 0.225, 0.30 mm/dev ilerleme miktarı 4500, 6000, 7500 dev/dak iş mili hızı	Dört farklı matkap geometrisi ile ve farklı ilerleme – iş mili hızları ile iki farklı elyaf yönelim açısına sahip kompozit malzemede deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre iki elyaf yönelim açısında da ihmal edilebilecek düzeyde sonuçlar alınmıştır.
6	Rao ve ark. [41] (2007)	-	15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°	-	5°, 10° ve 15° talaş açısı	Yapılan deneylerde talaş açısı ve elyaf yönelim açısının delaminasyon üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Talaş açısı ve elyaf yönelim açısının artması kesme kuvvetlerinde artışa sebep olmuştur. Bu kuvvetlerdeki artış delaminasyon artışı ile sonuçlanmıştır.

Çizelge 2.3 (Devamı): Düz plaka şeklindeki kompozit malzemelerin delinmesinde delaminasyonu etkileyen kompozit bileşenleri ile ilgili yapılan çalışmalar.

SAYI	YAZAR	LİF- HACİM ORANI	ELYAF YÖNELİM AÇILARI	KATKI MADELERİ	DİĞER DEĞİŞKENLER	AÇIKLAMA
7	U.A. Khashaba [13] (2003)	-	0°-90° ve karmaşık düzen	-	0.3, 0.23, 0.15, 0.08, 0.03 mm/dev ilerlemeye 1850, 875, 455 dev/dak iş mili hızı	Dokuma örüntülü kompozit malzemede en az delaminasyonun 1850 dev/dak iş mili hızı ve 0.03 mm/dev ilerlemeye elde etmiştir. Karmaşık örüntülü kompozitte ise 875 dev/dak iş mili hızı ve 0.03 mm/dev ilerlemeye elde etmiştir. Karmaşık örüntülü kompozit malzeme ile dokuma örüntülü kompozit malzemede oluşan delaminasyonlar karşılaştırıldığında delaminasyonun karmaşık örüntülü kompozitte olduğu sonucunu deney sonuçlarında vermiştir
8	M. Ramulu [42] (1997)	-	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°	-	-	Yaptığı çalışmalarda yedi farklı elyaf yönelim açısı kullanarak delaminasyona elyaf yönelim açısının etkisini araştırmıştır. Elyaf yönelim açılarının artmasının işleme kuvvetlerinde artışlar sağladığı sonucunu bulmuştur.

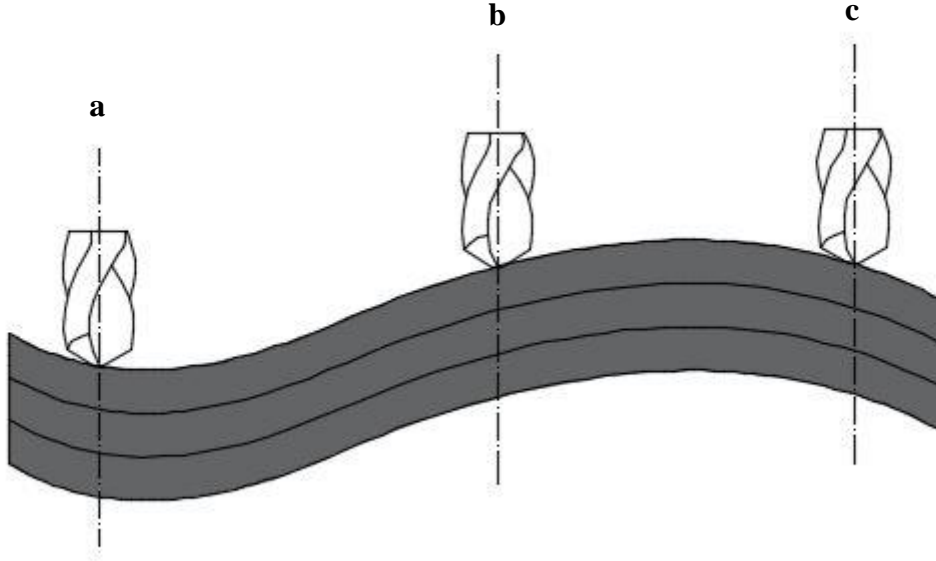
2.4 Çalışmanın Özgünlüğü ve Çalışmada İzlenecek Yol

Bir önceki bölümde belirtilen güncel literatür çalışmalarının özellikle düz plakaların delinmesinde oluşan problemlere odaklandığı dikkat çekmektedir. Ancak endüstride sadece bu tip kompozit yüzeyler kullanılmamaktadır. Özellikle estetik, aerodinamik ve konfor şartları nedeni ile serbest şekilli yüzeylere sahip yapıların kullanılması günümüz teknolojisi ile hızla artmaktadır. Dolayısıyla serbest şekilli yüzeylere sahip kompozitlerin delinmesinin araştırılması önem arz etmektedir. Özellikle düz plaka şeklindeki kompozitlerin delinmesinde matkap kesme ağzının simetrik bir şekilde kesme işlemi yapmaktadır. Ancak serbest şekilli yüzeye sahip kompozitlerde yüzey yapısına bağlı olarak matkabın delik giriş ve çıkışında asimetrik kesme işlemine mağruz kalabilmektedir. Bu durumun geometrik olarak değişimi Şekil 2.1’de verildi.



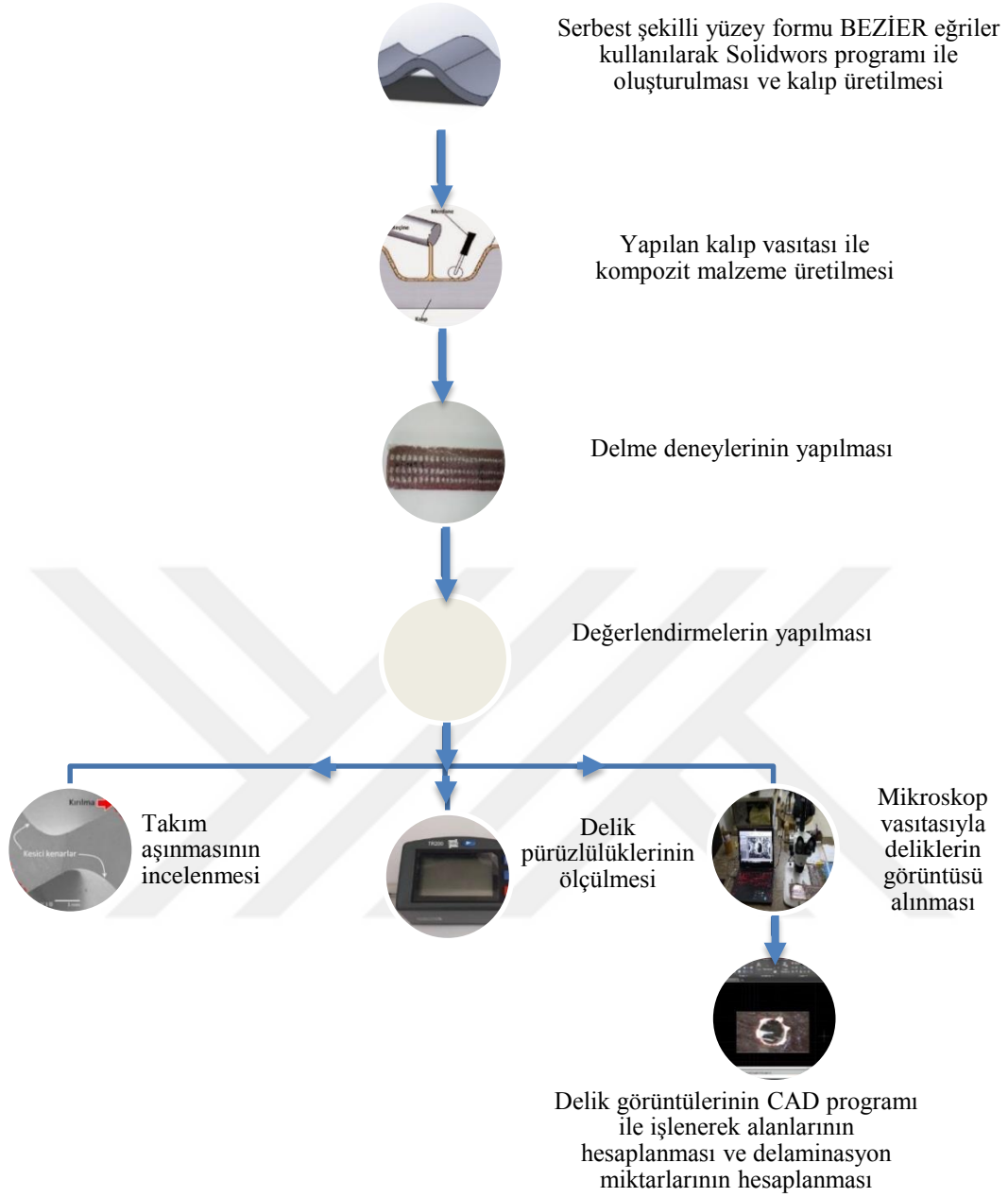
Şekil 2.1: Eğimli yüzeyde ve plakalı yüzeyde delik açılırken matkap kesme kenarı konumu

Bu çalışmada serbest şekilli yüzey tasarımında delik giriş ve çıkış geometrisi ile takım eksenindeki ilişkinin belirlenebilmesi için, delik eksenleri Şekil 2.2’de görüldüğü gibi çıkış eksenini 15°, 30° ve 45° olacak şekilde tasarlandı. Deneyde işleme parametrelerinin serbest şekilli yüzeye sahip CETP kompozitlerin delinmesi sonrası delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkileri araştırıldı. Çalışma özellikle eğri forma sahip yüzeylerin literatürde çalışılmamış olması ve bu yapıların kullanımının artması nedeni ile özgünlük oluşturmaktadır.



Şekil 2.2: Çalışmada kullanılacak kompozit yüzeye matkabın delme yapacağı bölgelerin gösterimi (a) 30° eğim açısında açılan delik (b) 45° eğim açısında açılan delik (c) 15° eğim açısında açılan delik

Bu çalışma yapılırken ilk olarak BEZİER eğriler kullanılarak yüzey formu belirlendi ve CAD programı vasıtası ile modellenerek kalıp üretildi. Üretilen kalıp ile kompozit malzeme iki farklı yönelim açısı (0°-90°, 45°-45°) kullanılarak imal edildi. Daha sonra deneyler üç farklı ilerleme oranı (0.1, 0.2, 0.3), üç farklı iş mili devri (1000, 1250, 1500) ve üç farklı takım çapı (Ø5, Ø7.5, Ø10) ile delikler açıldı. Açılan deliklerin delaminasyon ve yüzey pürüzlülükleri hesaplandı. Ayrıca takımda oluşan aşınmalar incelendi. Yapılan çalışma ve deneylerin daha detaylı olarak anlaşılabilmesi için Şekil 2.3'de görülen organizasyon şeması verilmiştir.



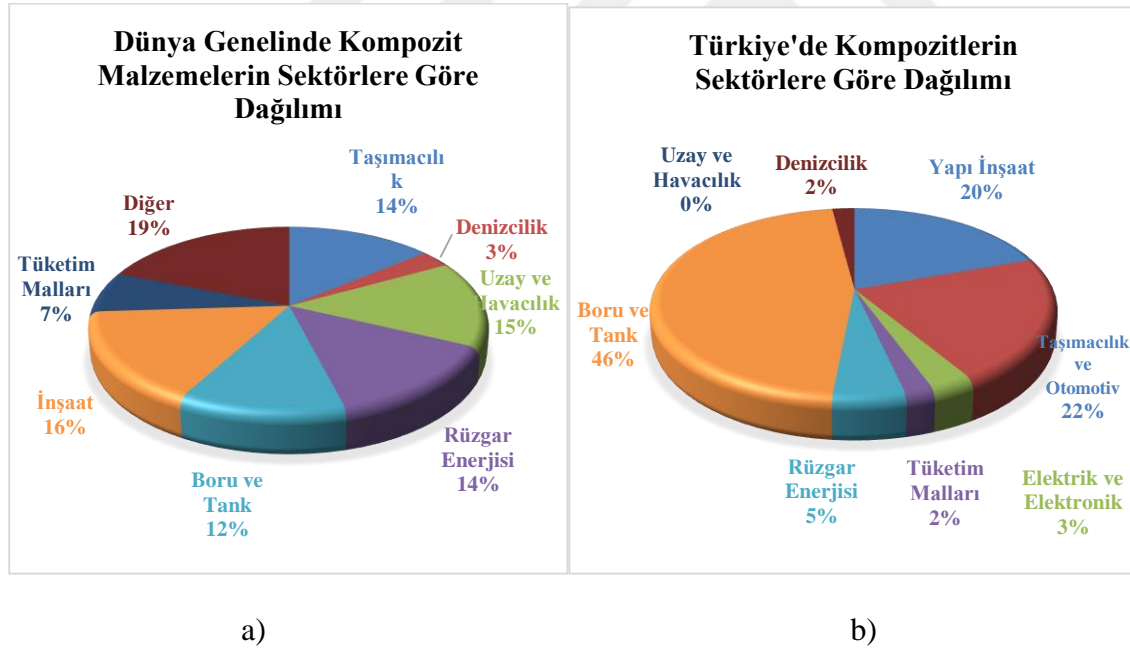
Şekil 2.3: Çalışmanın Organizasyon Şeması

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, makroskobik olarak farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip en az iki malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilen malzeme türüdür [43,45]. Kompozit malzemelerin yapısı gereği içeriğinde genel olarak iki tip bileşen bulunur. Bu bileşenlerden birincisi takviye malzemesi diğeri ise matris olarak adlandırılır. Bu iki bileşen kompozit malzemeye farklı özellikler kazandırır. Takviye malzemesi yapı içerisinde taşıyıcı görev üstlenirken matris bileşeni ise takviye malzemelerini bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar [44].

Kompozit malzemeler uzun kullanım ömrü, hafiflik, yüksek tokluk, düşük yoğunluk, boyutsal özelliklerini koruma, iyi kimyasal ve fiziksel özellikler sunmasından dolayı günümüzde gittikçe artan bir kullanıma sahiptir. Kullanım alanlarına bakıldığında havacılık, yapı sektörü, denizcilik, otomotiv gibi birçok alanda tercih edilmektedir. Şekil 3.1'de kompozit malzemelerin sektörlere göre hacim olarak dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.1: Kompozit malzemelerin sektörlere göre kullanım hacimleri; a) Dünya genelinde, b) Türkiye genelinde [45]

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere denizcilik, rüzgar enerjisi, taşımacılık gibi endüstrilerde yaygın olarak eğrilerden yararlanılarak yüzeyler oluşturulmaktadır. Bu durumda çalışmanın önemini göstermektedir.

3.2 Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması

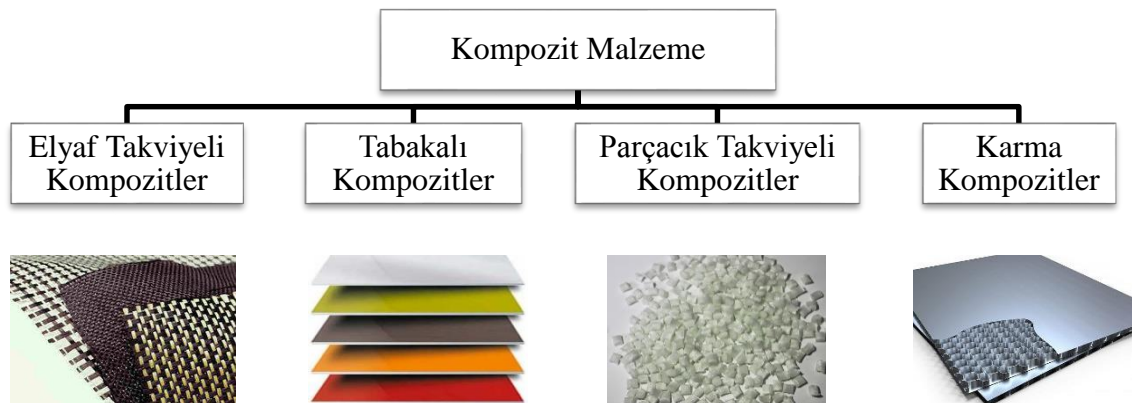
Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan matris ve takviye malzemesine göre iki ana başlık altında gruplandırılabilir.



Şekil 3.2: Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

3.2.1 Takviye malzemesine göre kompozitler

Takviye malzemesine göre kompozitler kendi içerisinde dört farklı yapıya sahiptir. Bunlar Şekil 3.3 de gösterildiği gibi elyaf takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma kompozitlerdir [46].



Şekil 3.3: Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler; günümüz teknolojisinde çoğunlukla lif şeklinde üretilebilmektedir. Kütleli forma göre lifli yapı daha yüksek rijitlik ve mukavemet sağlamaktadır. Örneğin; karbon liflerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği ise 3 kat daha yüksektir [47].

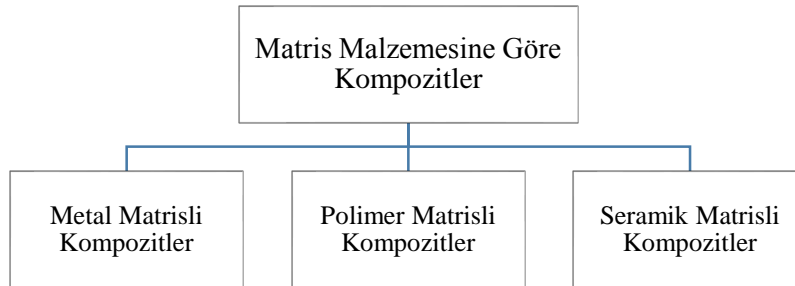
Parçacık takviyeli kompozitler; takviye elemanı olarak düzenli ya da düzensiz şekle sahip malzeme ile oluşturulan kompozit türüdür. Genel olarak yapı içerisinde takviye elemanı olarak seramikler kullanılmaktadır [48]. Parçacık takviyeli kompozitler, elyaf takviyeli kompozitlere göre daha düşük mukavemet gösterirken maliyet açısından daha avantajlıdır.

Tabakalı kompozitler; en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir [49]. Bu kompozitler mukavemet, sertlik ve ısı iletimi gibi farklı fiziksel özellikler gösteren tabakaların bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir [34].

Son olarak karma kompozitler ise tabakalı, parçacık takviyeli ve elyaf takviyeli kompozitlerin bir araya gelmesiyle oluşan kompozit çeşididir.

3.2.2 Matris Malzemelerine Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kullanılan matris malzemesinin türüne göre kompozit malzemeler Şekil 3.4' de verildiği gibi üç ana gruba ayrılmaktadır.



Şekil 3.4: Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırılması

Metal matrisli kompozitler (MMK); esneyebilir bir metal matris ile takviye malzemelerinden oluşur. İçeriğinde bulunan matris metal veya hafif metal alaşımlarıdır. Çalışma sıcaklıkları 200-800°C arasında değişen metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklık uygulamaları gerektiren ortamlara uygundur [50].

Polimer matrisli kompozitler (PMK); matris olarak bir polimer reçine ve takviye olarak da fiber veya diğer takviye malzemeleri içeren kompozitlerdir. Üretim proseslerinin

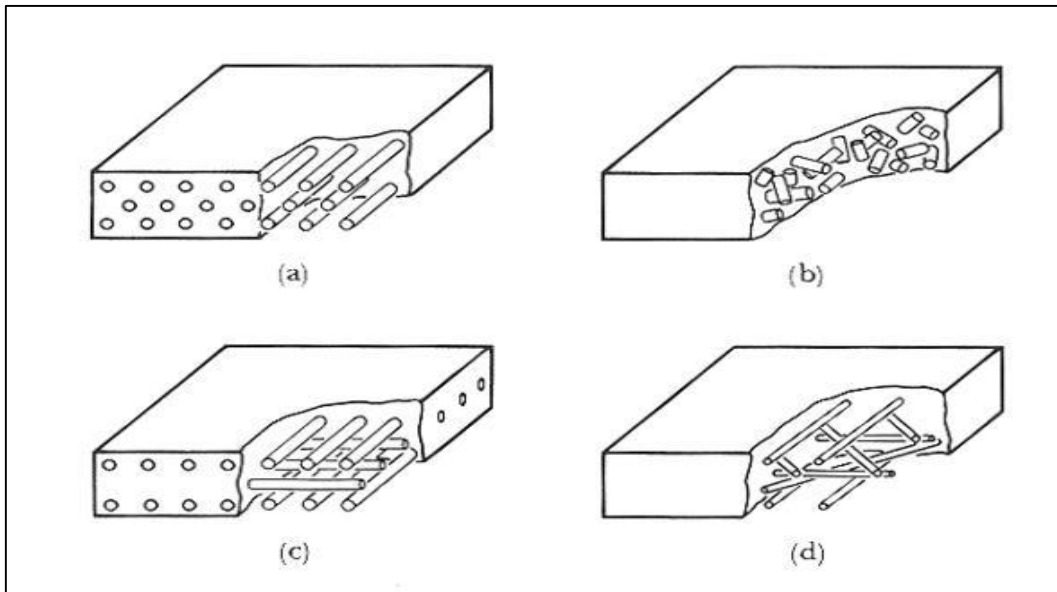
kolay olmasından dolayı kompozit uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tip kompozitler; aşınmaya, korozyona ve kırılmaya karşı dirençlidir [50]. Polimer matrisli kompozitler termoset, termoplastik ve elastomer olarak üç farklı matris yapısında bulunmaktadır.

Seramik matrisli kompozitler (SMK); karbon veya silisyum karbür gibi fiberlerle takviye edilmiş; alümina kalsiyum ve alümina silikat gibi bir seramik matris içerir.

Yapılan bu tez çalışmasında yukarıda sayılan bütün kompozit türlerinden cam elyaf takviyeli polimer kompozitler seçilmiştir. Bunun nedeni CETP kompozitlerin her alanda kullanıma olanak vermesi, ekonomikliği, üretiminin kolay olması ve ham maddesinin kolay temin edilebilir olmasıdır.

3.2.3 Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitler (CETP)

Kompozit malzemelerde elyaf takviyeleri çekme dayanımı yorulma dayanımı ve özgül dayanım özelliklerini iyileştirmektedir [50]. Elyaf takviyeli kompozitlerin içerisinde bulunan matris malzemesi etki eden kuvveti elyaflara aktararak yapının yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlar. Bunun dışında elyaf takviyeli kompozitlerde çoğu zaman farklı takviye elemanlarından yararlanılmaktadır. Bunlar; cam lifli, asbest lifli, metal tel, bor lifli, silisyum karbür lifli ve karbon lifli takviye elemanlarıdır. Ayrıca elyafların yönelim şekilleri mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Genel olarak farklı elyaf şekilli kompozitlere ait kesit görüntüleri Şekil 3.5’de verildiği gibidir.



Şekil 3.5: Kompozitlerde farklı lif oryantasyonları a) tek yönlü b) rastgele yönlü c) çift yönlü d) ortogonal [51,53]

Özellikle polimer matrisli kompozitlerde yaygın olarak cam elyaf kullanılmaktadır. Genel olarak avantajları;

- Yüksek mukavemet
- Düşük maliyet
- Kolay temin edilebilirlik
- Yüksek kimyasal direnç
- Titreşimleri absorbe edebilme
- Ağırlıkça tasarruf
- Korozyon direnci
- İyi yalıtım özellikleri göstermektedir. CETP üretimde cem elyafın kimyasal içeriğine göre farklı özellikler kazandırılabilir. Kullanılan cam elyaf tipi ve kazandırdığı özellikler Çizelge 3.1’ de verildiği gibidir.

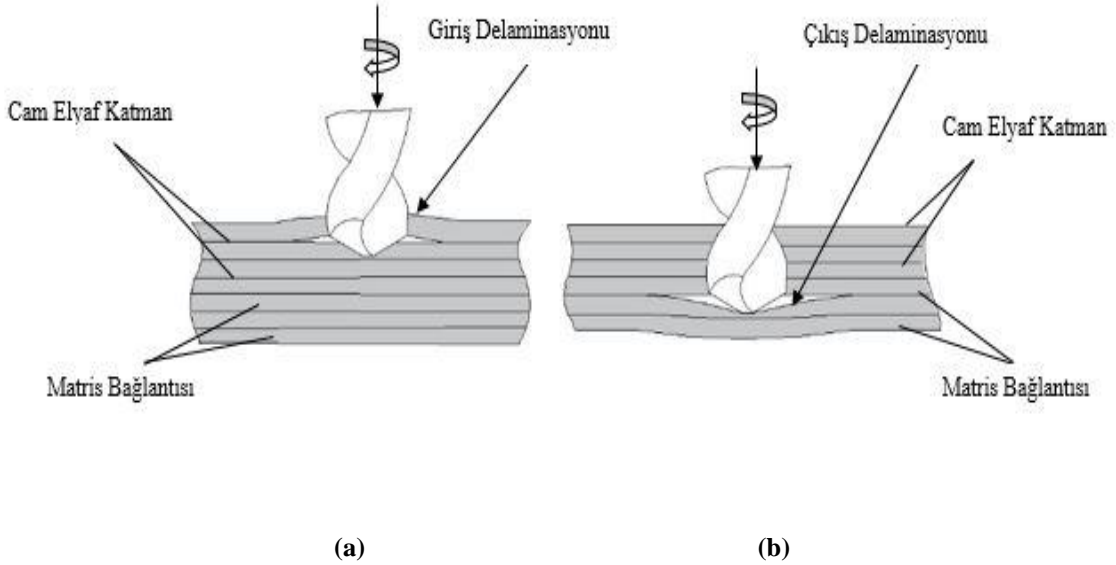
Çizelge 3.1: Cam elyaf tipleri ve özellikleri

Sıra no	Cam Elyaf Tipi	Malzemeye Kattığı Ek Özellik
1	A-Cam Elyaf	Yüzey iyileştirme
2	C	Yüksek korozyon
3	D	Dielektrik
4	E	Elektrik
5	R	Yapısal uygulama (İnşaat)
6	S	Yüksek mukavemet
7	E-CR	Elektrik ve korozyon direnci
8	AR	Alkali direnci

3.3 Delaminasyon Faktörü

Delaminasyon, katmanlarda yapısal hasarlara yol açtığı ve düşük montaj toleransı oluşturduğu ve bu nedenle uzun vadeli performansını düşürdüğü için cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi büyük bir sorun teşkil ettiği için kompozitlerin kullanımı açısından en büyük sorundur. Genel olarak delaminasyonun tanımı, kompozit malzemelerde reçinelerin içerisine takviye edilmiş lifler sayesinde oluşan tabakaların delme işlemi esnasında artan itme kuvveti ile ayrılmaya başlayarak ortaya çıkardıkları kusurdur [53,54].

Bu ayrılma tüm tabakayı kaplayabileceği gibi lokalde olabilir. Delaminasyon açılmış deliğin üst yüzeyinde meydana geldiğinde “soyulma delaminasyonu” veya “delik giriş delaminasyonu” olarak adlandırılmaktadır. Açılan deliğin çıkışında delik etrafında meydana gelen delaminasyona ise “itme delaminasyonu” veya “delik çıkış delaminasyonu” olarak adlandırılır. Delik giriş ve çıkış delaminasyonu şematik olarak Şekil 3.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: CETP kompozitin delinmesi sonucu oluşan (a) Giriş delaminasyonu (b) Çıkış delaminasyonu

3.3.1 Delaminasyon Ölçüm Teknikleri

Malzemenin mukavim bir şekilde kullanılması ve yorulma ömrünün düşmemesi için delaminasyon faktörü hesaplanmalı ve uygun değerlerdeki malzemeler kullanılmalıdır. [55]. Delaminasyon ölçümü için çeşitli yöntemler mevcuttur ve bu yöntemlerden en çok tercih edileni çap hesaplamasıdır. Çap hesaplamasında delik etrafında oluşan hasarlı bölgenin çapı ile delik nominal çapı hesapta kullanılır. Bu yöntemin avantajı basit bir şekilde ve doğruluğu

yüksek sonuçlar vermesidir. Dezavantajı ise hasara uğramış bölgenin alanını ihmal etmesidir. Bu yöntemde kullanılan hesaplama denklemi Denklem 3.1' de verilmiştir [56].

$$F_d = \frac{D_{max}}{D_0} \quad (3.1)$$

Burada D_{max} maksimum hasar çapını ifade ederken, D_0 ise nominal delik çapını ifade etmektedir.

Bir diğer delaminasyon faktörü hesaplama yöntemi ise alan hesaplama yöntemidir. Bu yöntem de deformasyona uğramış bölge alanının delik alanına oranı ile hesaplama yapılmaktadır. Yöntemin avantajı deformasyon alanını da hesaplama işlemine katarak yüksek doğruluk elde etmesidir. Alan hesabı ile delaminasyon hesabı denklemi Denklem 3.2' de verilmiştir [57].

$$F_d = \frac{A_{max}}{A_0} \quad (3.2)$$

Burada A_{max} maksimum hasar alanını ifade ederken, A_0 ise nominal delik alanını ifade etmektedir.

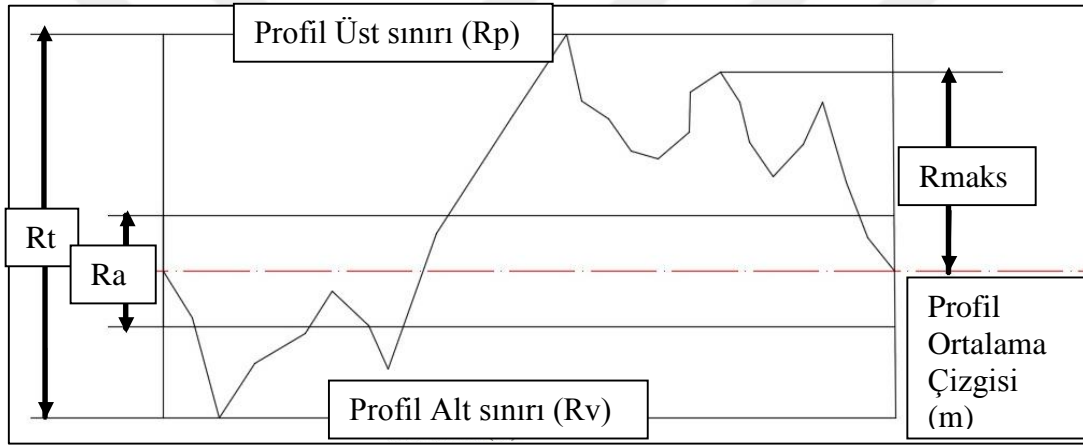
Bu hesaplamaları yapabilmek için yapılan araştırmalar incelendiğinde C-Taraması, boya penetrasyonu ve doğrudan görselleştirme gibi pekçok yöntem kullanılarak delikler incelenmiştir. Bu yöntemler incelendiğinde doğrudan görselleştirme yöntemi ile yapılan ölçümlerin hata oranları çok fazla olmamakla birlikte ekipmanların elde edilebilirliği ve en çok kullanılan yöntem olmasından dolayı tercih edilmektedir [58].

3.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlüğü ya da yüzey kalitesi, parçanın yüzeyinde imalat yönteminden meydana gelen takım izleri, hatalar ve dalgalar gibi düzensizliklerin toplamına verilen isimdir [59]. Parçanın işlenmesi anında meydana gelen düzensizlik yüzey pürüzlülüğü adı verilen mikro düzeydeki geometrik düzensizlikler ve parçanın ideal şeklinde meydana gelen sapmalardan kaynaklı olarak oluşan makroboyuttaki geometrik düzensizliklerdir. Bu düzensizlikler makine elemanları arasındaki gerçek temas yüzeylerini küçültmekte,

sürtünmeyi artırıp, aşınmayı hızlandırmakta, parçanın yorulma ve çentik darbe mukavemetini düşürmektedirler [55]. Yüzey pürüzlülüğünün fazla olması kompozitlerde bağlantı amaçlı açılan deliklerde bu etkenlerden dolayı bağlantı kalitesini düşürmekte ve kompozitin kullanım ömrünü azaltmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm yapılacak yüzeyde meydana gelen girinti ve çıkıntıların hesaplanması ile bulunur. Ölçümler yüzeye dik olan kesitler dikkate alınarak yapılır. Ölçümlerde numune uzunluğu boyunca kesitte meydana gelen pürüzlülük profilleri elde edilir. Elde edilen profillere göre orjinal yüzey kalitesinde meydana gelen sapmalar belirlenir. Şekil 3.7' de ölçüm yapılan numunede meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün şematik olarak gösterimi verilmiştir. Literatürde genel olarak profilin ortalama yüksekliği anlamına gelen Ra değeri kullanılmaktadır.



Şekil 3.7: Delik yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğünün şematik gösterimi.

Şekilde belirtilen Ra: Ortalama pürüzlülük değeri (μm), Rt: Pürüzlülük yüksekliği (μm), Rmaks: En büyük pürüzlülük değeri, Rp: Profil üst sınırı ve Rv: Profil alt sınırını ifade etmektedir.

3.5 Delme İşleminde Takım Seçimi ve İşleme Parametrelerinin Seçimi

Delik delme işleminde tornalama, frezeleme gibi yöntemler kullanılabilse endüstride en çok tercih edilen yöntem matkapla delik delme yöntemidir. Matkapla delik delme işleminde dikkat edilmesi gereken faktörler:

- İşlenen malzeme
- Matkap malzemesi
- Matkap uç açısı

-Matkap çapı

-Matkap çapına ve malzemeye uygun kesme hızı ve ilerleme miktarının seçilmesidir.

Bu faktörler yapılacak işlemin zamanını etkilemektedir. Eğer hız veya ilerleme miktarı çok düşükse işleme zamanı kaybı olacak; hız veya ilerleme yüksek olursa takımın aşınması hızlanacak ve malzemede deformasyonlar oluşacaktır.

Delme işlemini etkileyen bir diğer parametre ise kesme hızlarıdır. Verimli kesme hızının belirlenmesi; malzemenin sertliği, matkap malzemesi ve çapı, delik derinliği, matkap tezgahı ve durumu, kullanılan kesme sıvısı vb. değişkenlere bağlıdır. Verimli kesmede delik derinliği, tezgah tipi, kesme sıvısı önemli faktörler arasında yer alsada en önemli parametre takım- iş parçası çiftidir. Bu faktörler göz önüne alınarak belirlenen kesme hızının elde edilmesi için devir sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Doğru devirsayısı delinecek malzemenin cinsi, malzeme ön görülen kesme hızı ve matkap malzemesinin cinsi gibi durumlar göz önüne alınarak belirlenir. Kesme hızının takım çapı ve iş mili devri ile matematiksel ilişkisi Denklem 3'de verilmiştir [60].

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{m/dak}) \quad (3.3)$$

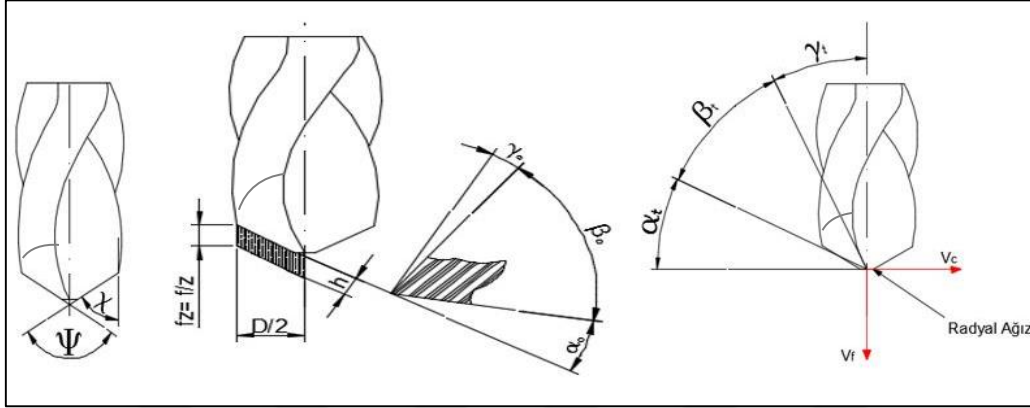
Bu denklemde V_c : Kesme hızını (m/dak), D : Takım çapını (mm) ve n : Devir sayısını (dev/dak) ifade etmektedir.

Matkap ile delik açma işleminde matkap dönme ve ilerleme hareketi yaparak işlem yapmaktadır. Dönme hareketi kesme hızı ile bağlantılı olurken ilerleme miktarı ise ilerleme hareketi ile bağlantılıdır. İlerlemenin değerinin değiştirilmesi operasyon esnasında malzemeye uygulanan itme kuvvetini etkilemektedir. İlerlemenin kesici ağız sayısı ve iş mili devri ile olan matematiksel bağlantısı Denklem 3.4 de verilmiştir [60].

$$\left. \begin{array}{l} V_f = f \cdot n \\ f = f_z \cdot z \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Burada V_f : İlerleme hızını (mm/dev), f : İlerleme miktarını, f_z : Bir ağıza karşılık gelen ilerleme miktarını ve z : Kesici ağız sayısını ifade etmektedir.

Bir diğer delmeyi etkileyen faktör ise takım geometrisidir. Matkap geometrisi Şekil 3.8’ de verilmiştir. Matkabin malzemeye teması ve kesme kenarlarına uygulanacak kuvveti en çok etkileyen takım geometrisi parametresi ise matkap uç açısıdır. Endüstride en genel kullanılan uç açısı 118° dir. Çünkü genel amaçlı delme işlemlerinde en verimli sonucu vermektedir.



Şekil 3.8: Matkap geometrisi [60].

Şekil 3. 8’ de verilen h : Talaş kalınlığını, γ_0 : Talaş açısını, β_0 : Kama açısını, α_0 : Serbest açığı, Ψ : Takım uç açısını ve χ : Yerleşme açısını ifade etmektedir.

3.6 Takım Aşınması ve Türleri

Takım aşınması genel manada takımın malzemeyi işlerken kesme kenarının yavaş yavaş azalarak şekil değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Bu şekil değişimleri en sonunda takımın kullanılamayacak hale gelmesi ile sonuçlanır. Fazla aşınmaya maruz kalmış bir takım gerek iş parçası üzerindeki hassasiyeti gerekse işleme süresindeki artışa sebep olması sebebiyle talaşlı imalatta önemli faktörlerdendir.

Takım aşınmasına birçok mekanizma etki etmektedir. Bu aşınma mekanizmaları; adhezyon, abrasive, yapışma, difizyon, plastik deformasyon ve kimyasal etkiyle aşınma olarak sıralanır. *Adhezyon* aşınma mekanizmasında takım ve işlenen malzemelerin temas ettiği yüzeylerin en üst noktalarının birbirine teması sonucu oluşan basınç ile birbirlerine yapışıp daha sonra birbirlerinden parçacıklar kopar ve sonucunda takımında aşınmalar oluşur. *Abrasive* aşınma mekanizmasında ise iş parçasından takımın kaldırdığı talaşın alt kısımlarında bulunan sert parçaların takım ile teması sonucu aşınma oluşur. *Yapışma* aşınması mekanizmasının ana mantığı ise malzemeden kalkan talaşın adhezyon aşınma mekanizmasında olduğu gibi takım ile iki malzemenin birbiri ile teması sonucu yapışıp daha

sonra koparak takımda boşluklar oluşmasıdır. *Difzyon* aşınma mekanizması ise iş parçası ile takım arasında artan sıcaklık ile birlikte kafes yapılarında atomların birbiri arasında değişerek (difzyon) takımda zayıf bölgeler oluşturduğu aşınma türüdür. *Plastik deformasyon* mekanizmasında takım kesici ağzının yüklere kalması sonucu plastik deformasyona uğrayarak körlenmesi veya şekil değiştirmesidir. Son olarak *kimyasal reaksiyonla oluşan aşınma* mekanizması ise takımın işlenen malzeme ve talaş ile yapışması sonucu birbirleri ile oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan aşınma mekanizmasıdır. Yukarıda verilen takım aşınma mekanizmaları ile oluşan takım aşınma türleri aşağıda ayrı başlıklar halinde incelenmiştir.

3.6.1 Serbest Yüzey Aşınması

Matkabın kompozit malzeme ile temasta bulunan yan yüzeyinde sürtünmeden oluşan aşınmadır [69]. Talaşlı imalatın en tipik aşınma türüdür. En çok aşınma mukavemetinin ve ilerleme oranının az, kesme hızının çok olduğu operasyonlarda daha çok karşımıza çıkmaktadır. Bu aşınmanın fazla olduğu takımlarda kesme tam verimde gerçekleşmez ve yüzey bozulmasından dolayı titreşim oluşur. Tüm bu etkenler sürtünme kaynaklı ısıyı arttırarak takımın deforme olmasına neden olur. Bu aşınma türünün görünümü Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9: Kesici takımında oluşan serbest yüzey aşınması [61].

3.6.2 Krater Aşınması

Krater aşınması, talaş-takım ara yüzey sürtünmesinin ve sıcaklığın artması ile oluşur. Düşük hızlarda krater aşınması genellikle az olur. Krater aşınmasının oluşumuna en büyük etken sıcaklıktır. Sıcaklığın artması yumuşayan yüzeyden kopmalara sebep olmaktadır ve bu durum krater aşınması olarak isimlendirilmektedir [62]. Şekil 3.10’da krater aşınmasının resmi verilmiştir.



Şekil 3.10: Kesici takımında oluşan krater aşınması [61].

3.6.3 Çentik Aşınması

Takım kesme kenarının operasyon esnasında küçük parçalarının kopması sonucu oluşan bir aşınma türüdür. takım kullanım ömrünü en çok etkileyen aşınma türüdür. Kesici kenarı deforme olmuş bir takım istenilen toleranslarda işlemler yapamamakta ve yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır. Şekil 3.11 Çentik aşınmasını göstermektedir.



Şekil 3.11: Kesici takımında oluşan çentik aşınması [61].

3.6.4 Ağız Birikimi Oluşumu (BUE)

İş parçasının malzemesinin takım kesme kenarında birikmesi ile oluşan bir aşınma türüdür [63]. BUE'nin artması kesme kenarının iş parçası ile temasını azaltacağından dolayı kesme işlemi tam anlamıyla gerçekleşmez ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Şekil 3.12'de BUE aşınması net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.12: Kesici takımında oluşan BUE aşınması [61].

3.6.5 Isıl Ve Mekanik Çatlaklar

Takımın iş parçasını kesmesi esnasında sürtünme kaynaklı artan ısının ve takıma uygulanan kuvvetlerin oluşturduğu bir aşınma türüdür. Şekil 3.13’de bu aşınma sonucu oluşan çatlaklar görülmektedir. Bu tarz aşınmalar takımında çatlamalara sebep olarak takımın verimini düşürmekte ve hatta takımın kırılarak kullanılamaz hale gelmesine sebep olmaktadır.



Şekil 3.13: Kesici takımında oluşan Çatlak aşınması [61].

3.7 Serbest Şekilli Yüzeylerin Modellenmesi

İnsalığın gelişimi, doğadan elde ettiği malzemeleri, kendi temel ihtiyaçlarını, hayatta kalmak ve teknolojik olarak ilerlemek için gerekli güvenlik ve rahatlığı sağlayacak şekilde değiştirme ve şekillendirme yeteneğine bağlı olmuştur. İnsanoğlu eskiden beri hayatı için gerekli olan avcılık için av aletleri, tarım yapabilmek için tarım aletleri, hayatta kalabilmek ve güvenliğini sağlamak için barınaklar, hayatını kolaylaştırabilmek için tekerlekler tasarlamışlardır. O zamanki deneme yanılma veya deneysel tasarım prosedürleri, matematikten gelen kavramlarla birlikte fizik kanunlarını da kullanılarak büyük ölçüde sistematikleştirilmiştir. İnsan uygarlığının büyümesinin özü tasarım ve üretimdir.

Tasarım, teknoloji kullanılarak toplumun ihtiyaç ve isteklerini karşıladığı yeni ürün ve süreçlerin gerçekleştirilmesini kolaylaştıran bir faaliyettir. Bir ürünün mühendislik tasarımı dört adımda tasarlanabilir ve geliştirilebilir:

1. Problem tanımı: bir mühendislik parçasının ihtiyacını ve işlevini değerlendirerek bir sorundan kaynaklanan arızaların gerçekler ve düşüncelerin bir araya getirilmesidir. Veri toplama, gözlem ve detaylı bir anket yoluyla yapılabilir.
2. Yaratıcı süreç: İhtiyacı karşılayan bir tasarım çözümü olan sentezleme formudur. Yaratıcı düşünce süreci tasarlayanın bilgi ve tecrübesinin bir ürünü olduğu için birden çok çözüm ortaya çıkabilir. Beyin fırtınası genellikle çeşitli formlara ulaşmak için gruplar halinde yapılır ve bunlar daha sonra değerlendirilerek birkaç uygulanabilir çözüm kümesi halinde seçilir.
3. Analitik süreç: Tasarlanan formların bileşenlerinin boyutlandırılmasıdır. Gerekli işlevsellik, güç ve güvenilirlik analizi, uygulanabilir üretim, maliyet belirleme ve çevresel etki, bileşenlerin boyutlarını ve malzemesini değiştirerek en iyi şekilde iyileştirilebilecek bazı tasarım hedefleri olabilir. Bu, analizin yetersiz olduğunu veya belirli bir tasarımın daha fazla iyileştirilmesi için kapsam göstermesi durumunda tasarım değişiklikleri gerektiren yinelemeli bir süreçtir. Birden çok çözüm aynı anda veya ayrı ayrı değerlendirilebilir ve işlevsel ihtiyaçların çoğunu veya tamamını karşılayan en iyi tasarım seçilebilir.
4. Prototip geliştirme ve test etme: Tasarımdan üretime geçmeden önce gerçek bir yükleme koşulu altında fiziksel değerlendirme yoluyla nihai kontrolün sağlanmasıdır. Başarılı bir tasarıma birçok başarısız prototipten sonra ulaşmaktadır.

Her tasarlanan cisim ve maddenin belli bir yüzey formu vardır. Bu yüzey formlarının hesaplanması standart geometrik şekillere nazaran daha zordur. Bahsedilen yüzeyler serbest şekilli yüzey formları olarak tanımlanır. Genel olarak, serbest biçim terimi, keyfi topolojiye sahip yüzeyleri ifade etmektedir. Serbest biçimli yüzeylerin 'serbest' şekillerinden dolayı daha çok dönme simetrisi olmayan yüzeyler için serbest biçim terimini kullanarak daha spesifik bir sınıflandırma için tercih edilmektedir. Özellikle, havacılık, savunma, sağlık ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda serbest yüzey formuna sahip makine parçaların kullanımı giderek artmaktadır. Bu parçalar yoğun olarak yüksek basınç ve yüksek sıcaklığın bulunduğu ortamlarda kullanıldığında üretim hassasiyeti ve toleransı genellikle yüksektir. Başta talaşlı imalat olmak üzere bu yüzeylerin kaliteli, kısa sürede ve düşük maliyetli olarak üretilmesi önemlidir. Geleneksel olarak, serbest biçimli yüzey üretim süreci, tasarım, işleme

ve ölçüm sürecinden oluşmaktadır ve nispeten birbirinden bağımsız faaliyetleridir. Yüksek üretim kalitesi elde etmek için genellikle büyük miktarda yineleme gerekir, bu da yüksek maliyet ve düşük zamanlamaya ihtiyaç ortaya çıkarmaktadır.

Serbes şekilli yüzeyler CAD ortamında tasarım, yüzeyin tanımlanması , 3 boyutlu yüzey modellemeyi ve üretilebilirlik analizini içermektedir. Serbest biçimli yüzeyler tipik olarak parametreleştirilmiş gösterimler kullanılarak, Bezier, B spline ve NURBS yaklaşımları ile oluşturulur [67].

Bezier eğrilerin yaygınlaşması Fransız mühendis Pierre Bezier' in otomobil tasarımında Bezier eğrileri kullanmasıyla başlamıştır. Bezier eğrilerin sahip olduğu özelliklerden dolayı eğri yüzey tasarımında sıkça başvurulan yöntem olmasına olanak vermiştir. Pierre Bezier, $n+1$ adet p_i kontrol noktası tarafından kontrol edilen $p(u)$ eğrisini aşağıdaki gibi tanımlamıştır [18].

$$p(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \quad (3.5)$$

B-spline eğrileri Bezier eğrisinin bir genelleştirilmesidir ve spline baz fonksiyonları tarafından oluşturulur. B-spline eğrisi bu spline baz fonksiyonlarının yinelemeli özelliğinin uygulanması ile elde edilir. B-spline kavramını ilk ortaya atan I.J. Schoenberg olsada ilk uygulamalar Gordon ve Riesenfeld tarafından yapılmıştır. Bu eğrilerde tıpkı Bezier eğrileri gibi kontrol noktaları ile ifade edilir. Ayrıca B-spline eğrisinin Bezier eğrisine göre avantajları vardır. Bu avantajlarından en önemlisi ise şekil kontrolüdür. Yani Bezier eğrisinde eğri lokal olarak kontrol edilemezken B-spline eğrisinde eğri lokal olarak kontrol edilebilir[66]. B-Spline fonksiyonunun temel ifadesi aşağıda verilmiştir [9].

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & , x_i \leq t \leq x_{i+1} \\ 0 & \end{cases} \quad (3.6)$$

Diğer durumlar için ise;

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t-x_i)}{x_{i+k-1}-x_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{(x_{i+k}-t)}{x_{i+k}-x_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t) , 1 \leq i \leq n + 1 \quad (3.7)$$

Serbest şekilli yüzeylerin üretiminde genellikle CNC freze tezgahlarında kaba, yarı kaba ve finish işleme yöntemleri uygulanmaktadır. İşleme sürecinin planlanması, takım yolu oluşturulması ve işleme parametrelerinin oluşturulması üretim açısından önemli parametrelerdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, serbest şekilli yüzey formunun oluşturulması, kompozitin üretilmesi, farklı işleme parametrelerinde delinmesi, delaminasyon, yüzey kalitesi ve takım aşınmasının belirlenmesinde kullanılan materyal ve yöntem aşamaları ayrı başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

4.1 Serbest Şekilli Yüzey Tasarımı ve Kalıp Üretimi

Serbest şekil formuna sahip bir kompozit üretimi için öncelikle kalıp yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle ilk aşamada serbest şekilli form B-Spline eğrilerden yararlanılarak, MATLAB ortamında kontrol noktalarına ve knotlara bağlı olarak yüzeyin eğriliği elde edildi. Kontrol noktaları ve knot değerleri serbest form oluşturması için Çizelge 4.1’de verilen değerler rastgele seçildi. Bunların kontrol noktalarına ve knot aralığına bağlı eğri denklemleri Denklem 4.1 ve Denklem 4.2’de uygulanarak parametrik yapı oluşturuldu.

Çizelge 4.1: Eğriye ait knot, kontrol noktaları ve derece değerleri.

Knot	Değer	Kontrol Noktaları
t_1	9	$b_0(50,0)$
t_2	11	$b_1(100,50)$
t_3	13	$b_2(150,0)$

Kontrol noktaları, knot değerleri ve eğrinin derecesi yazılıma girildikten sonra aşağıdaki fonksiyonlar elde edilmiştir.

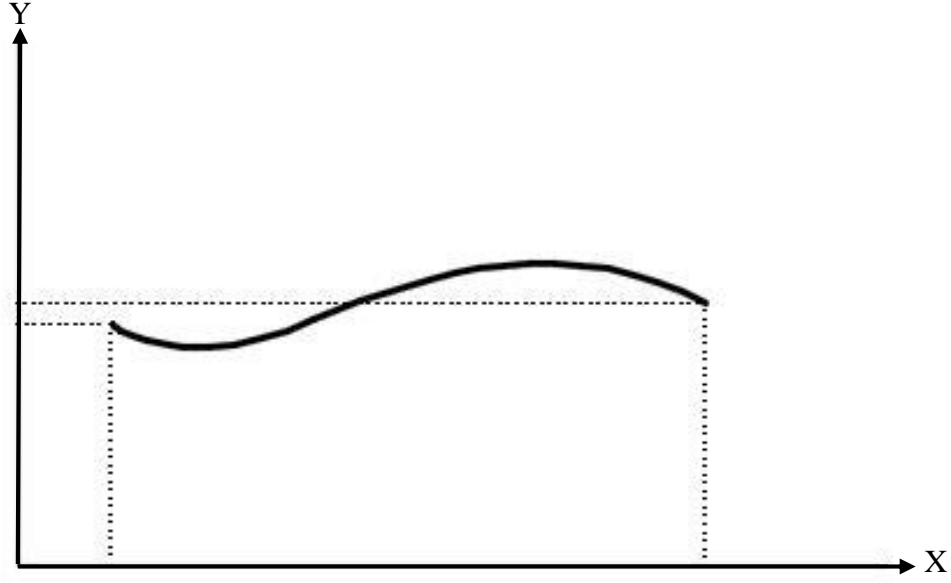
t_1 - t_2 aralığı

$$P_1 = 25(t - 8), \frac{25}{4}(t^2 - 18t + 81) \quad 9 \leq t \leq 11 \quad (4.1)$$

t_2 - t_3 aralığı

$$P_1 = 100(3t - 2), \frac{25}{2}(t^2 - 24t + 141) \quad 11 \leq t \leq 13 \quad (4.2)$$

Elde edilen genel denkleme göre knot aralıkları dikkate alınıp B-Spline eğri formu önce bir CAD programı ortamında B-Spline eğri denklemlerinden yararlanılarak Şekil 4.1’deki eğri çizildi. Daha sonra bu eğri Solidworks 2018 programı vasıtasıyla CAM modeli oluşturularak üretim için takım yolları oluşturuldu. Sonrasında ise CNC freze tezgahında yüzeyin kalitesini arttırmak amacıyla kaba, yarı kaba ve finish işlemleri uygulanarak Al 7075 malzemesinden kalıp üretimi gerçekleştirildi. Oluşturulan kalıp Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



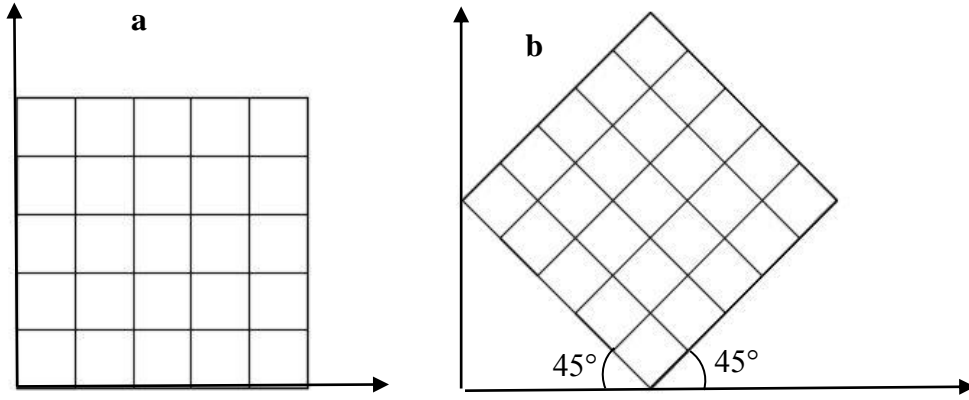
Şekil 4.1: B-Spline ile oluşan yüzey profili eğrisi.



Şekil 4.2: Kompozit malzemenin üretimi için kullanılan kalıp (a) kalıbın üst görünümü (b) kalıbın yan görünümü.

4.2 Kompozit Yüzeylerin Üretimi

Serbest şekilli yüzeye sahip olacak şekilde CETP kompozitler el yatırma yöntemi kullanılarak Şekil 4.3’de verildiği gibi 0-90 ve 45-45 elyaf yönelim açısında sık örgülü cam elyaflar ile üretilmiştir. Üretilen kompozitin görünümü Şekil 4.4’de verildi.



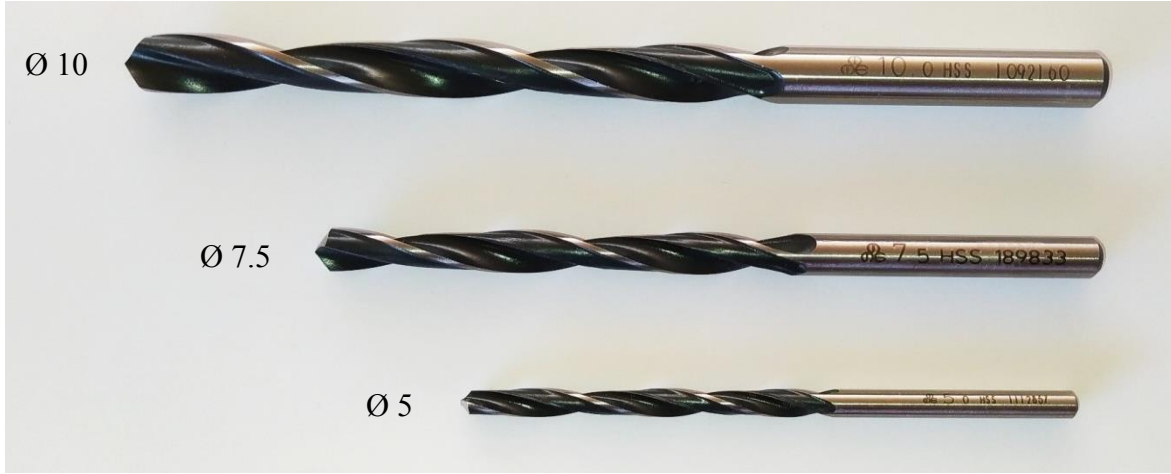
Şekil 4.3: Elyafların kompozitin üretim aşamasında istifleme şekli (a) 0°-90° elyaf yönelimi (b) 45°-45° elyaf yönelimi.



Şekil 4.4: Deneyde kullanılan cam elyaf takviyeli serbest şekilli yüzey formuna sahip kompozit malzeme.

4.3 Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Deney parametreleri belirlenirken literatür çalışmaları dikkate alınarak belirlenmiştir. İlerlemenin 0,02 – 0,6 mm/dev aralığında, iş mili devrinin ise 160 – 10000 dev/dak aralığında değiştiği gözlemlenmiştir [12-23]. Buna göre ilerleme için 3 farklı değer (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev), iş mili devri için ise 3 farklı devir sayısı (1000, 1250, 1500 dev/dak) belirlenmiştir. Deneyler yapılırken takımın oluştuğu aşınmanın delik kalitesini etkilememesi için her bir delik için ayrı kesici takım kullanılmıştır. yine literatür dikkate alınarak matkap çapı için 5, 7.5, 10 mm, 118 uç açısına sahip HSS matkaplar belirlenmiştir. Delme deneyinde kullanılan matkaplar Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Üretilen kompozit malzeme üzerinde matkap ucu kompozit malzemeye teması 15,30 ve 45 eğim açısı ile delme işlemi yapılmıştır. Yapılan deneyler 45-45 ve 0-90 elyaf yönelimlerine sahip kompozitler için ayrı ayrı uygulanmıştır. İş parçalarının tezgaha bağlantısında aynı standartları oluşturmak için ayarlı mengene ve komparatörden yararlanıldı. Uygulanan deney parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.5: Deneylerde kullanılan HSS matkap uçları.

Çizelge 4.2: Kompozit malzemenin delinmesinde kullanılan deney parametreleri.

Sıra No	İlerleme Miktarı f (mm/dev)	Devir Sayısı n (dev/dak)	Takım Temas Açısı	Matkap Çapı D (mm)	Elyaf Yönelim Açısı
1	0.1	1000	15°	Ø5 Ø 7.5 Ø 10	0°-90° 45°-45°
2	0.1		30°		
3	0.1		45°		
4	0.2		15°		
5	0.2		30°		
6	0.2		45°		
7	0.3		15°		
8	0.3		30°		
9	0.3		45°		
10	0.1	1250	15°	Ø5 Ø 7.5 Ø 10	0°-90° 45°-45°
11	0.1		30°		
12	0.1		45°		
13	0.2		15°		
14	0.2		30°		
15	0.2		45°		
16	0.3		15°		
17	0.3		30°		
18	0.3		45°		
19	0.1	1500	15°	Ø5 Ø 7.5 Ø 10	0°-90° 45°-45°
20	0.1		30°		
21	0.1		45°		
22	0.2		15°		
23	0.2		30°		
24	0.2		45°		
25	0.3		15°		
26	0.3		30°		
27	0.3		45°		

DeneYler İnönü Üniversitesi'nde bulunan TAKSAN marka CNC Freze tezgahı kullanılarak yapıldı. CNC freze tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 4.4'de verildi.

Çizelge 4.3: Taksan CNC Freze Teknik özellikleri.

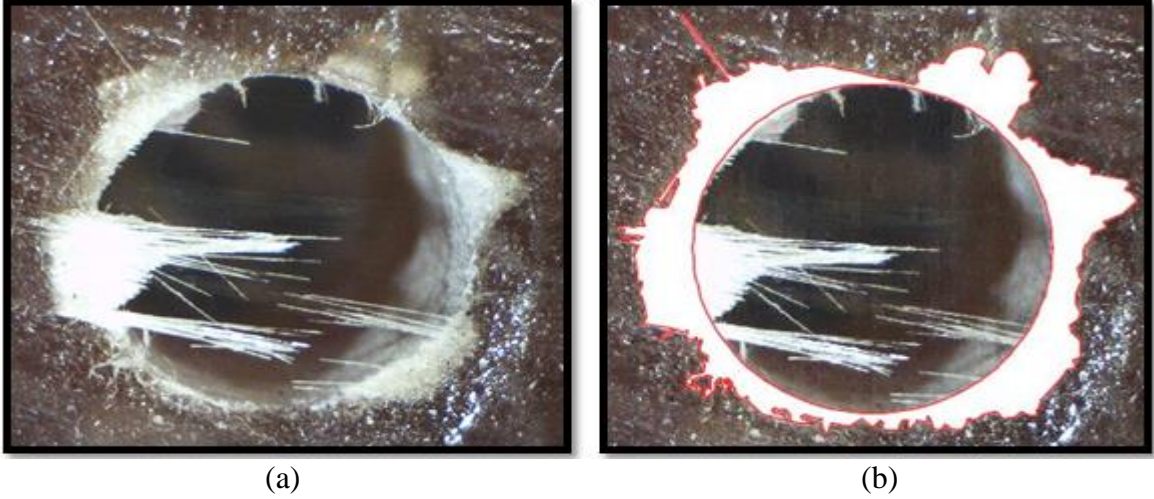
X/Y/Z Eksen Hareketleri (mm)	500/410/400
Çalışma Alanı (mm)	650X400
İş Mili Devir Aralığı (dev/dak)	80-8000
İş Mili Maksimum Tork (kgm)	7.2
Hızlı İlerleme X, Y, Z (m/dak)	30
Kesme İlerlemesi (mm/dak)	1-10000
Elle İlerleme (mmdak)	1-1260
İş Mili Motoru (SİEMENS(S1/S2)-FANUC(S1/S2) (Kw)	6.25/7.75 - 7.5/9
X&Y Eksen Motoru (SİEMENS-FANUC) (Kw)	1.4

4.6 Delaminasyon Ölçümü

Serbest yüzey şekline sahip cam elyaf kompozit malzemelerin delinmesinden sonra delik etrafında oluşan deformasyonu ölçmek için Euromex NexiusZoom Marka mikroskop ile Image FocusAlpha programı kullanılarak delik resimleri alındı. Ölçüm düzeneği Şekil 4.6' de görülmektedir. Alınan bu delik resimleri CAD çizim programı kullanılarak deformasyon alanı elde edilmiştir (Şekil 4.7). Elde edilen alanlar Denklem 2 kullanılarak delaminasyon faktörüne hesaplanmıştır.

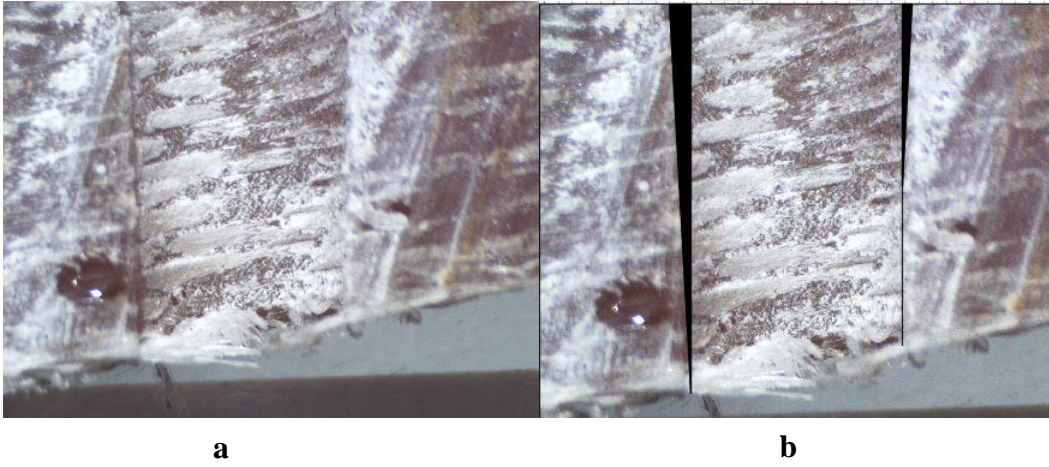


Şekil 4.6: Delaminasyon ölçüm düzeneği.



Şekil 4.7: Delaminasyon ölçümü (a) ImageFocusAlpha programı kullanılarak alınan resim (b) AutoCAD ile delaminasyon alanı görünümü.

Ayrıca Euromax NexiusZoom marka mikroskop kullanılarak delik kesit görüntüleri alındı ve bu görüntüler Image FocusAlpha programından yararlanılarak tabaka ayrılmaları, eksenden sapmalar ve tabakalar arasındaki ilişki incelendi. Buna ait görüntüler Şekil 4.8’de verildi.



Şekil 4.8: Delik kesit görünümü (a) işlenmemiş delik kesit görünümü (b) eksenden sapsmış alanın görünümü.

4.7. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Malzeme üzerinde açılmış deliklerin yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için ilk olarak delikler tezgah üstü kıltestere aracılığıyla kesildi ve daha sonra Şekil 4.9’da gösterilen TIME Marka TR200 model dijital göstergeye sahip iğneli bir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak pürüzlülük değerleri belirlendi. Bu cihazın ölçme aralığı $R_a = 0.01 - 40 \mu m$, $R_q = 0.02 - 160 \mu m$ ve $R_y = 0.3 \approx 160 \mu m$ arasındadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), delik

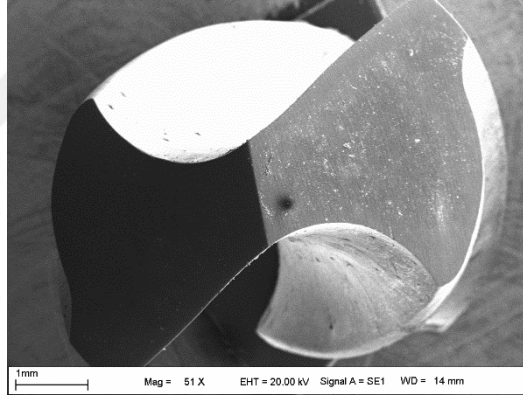
yüzeyine 90° açı ile ölçüm alındı. Ölçüm alınırken örnekleme uzunluğu 0.08 mm seçildi. Her bir delik için 4 ölçüm alınmış ve ortalamaları kaydedildi.



Şekil 4.9: TR200 pürüzlülük ölçüm cihazı.

4.8. Takım Aşınmasının Ölçümü

Üretilen kompozitlerin delinmesi sonucunda meydana gelen takım aşınmalarını ölçmek için Şekil 4.10’da görülen LEO EVO-40 marka ve modele sahip taramalı elektron mikroskopunda (SEM) 500x-1000x-1500x büyütme oranlarında takım kesme ağızlarında görüntüler alındı.



Şekil 4.10: Takım SEM görüntüsü.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Serbest şekilli yüzeye sahip kompozit malzemenin delinmesi sonrası elde edilen delik giriş/çıkış delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü değerleri 15°, 30° ve 45° delme eğim açılarında 0°-90° elyaf yönelim Ø5 mm takım çapı için Çizelge 5.1, Ø7.5mm takım çapı için Çizelge 5.2 ve Ø10 mm takım çapı için ise Çizelge 5.3’de verildi.

Benzer şekilde 45°-45° elyaf yönelim açısında Ø5 mm takım çapı için Çizelge 5.4, Ø7.5 mm takım çapı için Çizelge 5.5 ve son olarak Ø10 mm takım çapı için ise Çizelge 5.6’da delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülük değerleri verildi.

Çizelge 5.1: 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip Ø5 mm çapındaki deleme deneylerinin sonuçları.

Deney No	İş Mili Devri	İerleme Oranı	Takım Çapı	Delik Eğimi	Delaminasyon Faktörü		Yüzey Pürüzlülüğü
					Delik çıkışı	Delik girişi	
1	1000	0.1	Ø5	15°	1.615	1.4134	4.497
2		0.2			1.6375	1.4833	4.536
3		0.3			1.6479	1.5143	4.672
4	1250	0.1			1.4229	1.373	4.5658
5		0.2			1.5507	1.4036	4.702
6		0.3			1.5852	1.4125	4.749
7	1500	0.1			1.142	1.2357	4.7162
8		0.2			1.1677	1.2423	4.7954
9		0.3			1.2013	1.2689	4.9476
10	1000	0.1		1.726	1.4544	5.2356	
11		0.2		1.7486	1.5263	5.2888	
12		0.3		1.759	1.5553	5.416	
13	1250	0.1		1.534	1.416	5.412	
14		0.2		1.6608	1.4446	5.4652	
15		0.3		1.6963	1.4555	5.4944	
16	1500	0.1		1.253	1.2767	5.5484	
17		0.2		1.2788	1.2853	5.5896	
18		0.3		1.3124	1.3099	5.6778	
19	1000	0.1		1.837	1.5594	6.4178	
20		0.2		1.8597	1.6353	6.451	
21		0.3		1.8711	1.6603	6.6032	
22	1250	0.1		1.645	1.525	6.4832	
23		0.2		1.6869	1.5496	6.5344	
24		0.3		1.8074	1.5645	6.6716	
25	1500	0.1		1.3641	1.3817	6.6486	
26		0.2		1.3899	1.3943	6.7228	
27		0.3		1.4235	1.4149	6.86	

Çizelge 5.2:0°-90° elyaf yönelim açısına sahip Ø7.5 mm çapındaki deleme deneylerinin sonuçları.

Deney No	İş Mili Devri	İerleme Oranı	Takım Çapı	Delik Eğimi	Delaminasyon Faktörü		Yüzey Pürüzlülüğü		
					Delik çıkışı	Delik girişi			
1	1000	0.1	Ø 7.5	15°	1.8271	1.4675	3.133		
2		0.2			1.8496	1.5762		3.178	
3		0.3			1.86	1.6494			3.316
4	1250	0.1			15°	1.635	1.3824	3.2034	
5		0.2				1.7245	1.4147	3.341	
6		0.3				1.7973	1.64	3.392	
7	1500	0.1				15°	1.3541	1.4263	3.3496
8		0.2					1.4452	1.4775	3.4352
9		0.3					1.5542	1.6322	3.5738
10	1000	0.1		30			1.9281	1.5085	3.8698
11		0.2					1.9506	1.6192	3.9094
12		0.3					1.961	1.6244	4.048
13	1250	0.1			30		1.736	1.4254	4.027
14		0.2					1.8638	1.4557	4.0916
15		0.3					1.8983	1.5163	4.1222
16	1500	0.1				30	1.4551	1.3926	4.1692
17		0.2					1.4908	1.4358	4.2118
18		0.3					1.5144	1.4443	4.3064
19	1000	0.1		45			2.0515	1.6135	5.0344
20		0.2					2.074	1.7282	5.074
21		0.3					2.0844	1.7954	5.2126
22	1250	0.1			45		1.8594	1.5344	5.1006
23		0.2					1.9872	1.5607	5.1382
24		0.3					2.0217	1.6253	5.2868
25	1500	0.1				45	1.5785	1.4976	5.2468
26		0.2					1.63	1.5228	5.3324
27		0.3					1.6378	1.5493	5.471

Çizelge 5.3: 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip Ø10 mm çapındaki deleme deneylerinin sonuçları.

Deney No	İş Mili Devri	İerleme Oranı	Takım Çapı	Delik Eğimi	Delaminasyon Faktörü		Yüzey Pürüzlülüğü
					Delik çıkışı	Delik girişi	
1	1000	0.1	Ø 10	15°			1.759
2		0.2			1.8481	1.5589	
3		0.3			1.8726	1.5798	
4	1250	0.1			1.881	1.6363	1.94
5		0.2			1.658	1.4333	1.821
6		0.3			1.7838	1.5478	1.96
7	1500	0.1			1.8203	1.5688	2.01
8		0.2			1.3751	1.419	1.963
9		0.3			1.4128	1.4238	2.05
10	1000	0.1		1.5364	1.5365	2.19	
11		0.2		1.9501	1.5999	2.479	
12		0.3		1.9766	1.6228	2.52	
13	1250	0.1		1.983	1.6773	2.66	
14		0.2		1.762	1.5454	2.632	
15		0.3		1.8858	1.5888	2.698	
16	1500	0.1		1.9243	1.66	2.73	
17		0.2		1.4771	1.46	2.77	
18		0.3		1.5168	1.5252	2.814	
19	1000	0.1		1.6497	1.6523	2.91	
20		0.2		2.0634	1.7049	3.631	
21		0.3		2.0977	1.7318	3.672	
22	1250	0.1		2.0963	1.7823	3.812	
23		0.2		1.8831	1.6456	3.693	
24		0.3		1.9991	1.6938	3.732	
25	1500	0.1		2.0454	1.7208	3.882	
26		0.2		1.5904	1.565	3.835	
27		0.3		1.6379	1.5758	3.922	
					1.7956	1.5869	4.062

Çizelge 5.4: 45°-45° elyaf yönelim açısına sahip Ø5 mm çapındaki deleme deneylerinin sonuçları.

Deney No	İş Mili Devri	İerleme Oranı	Takım Çapı	Delik Eğimi	Delaminasyon Faktörü		Yüzey Pürüzlülüğü
					Delik çıkışı	Delik girişi	
1	1000	0.1	Ø 5	15°	1.7546	1.4401	4.8878
2		0.2			1.7685	1.4736	4.932
3		0.3			1.8582	1.5978	5.2315
4	1250	0.1			1.5735	1.3968	4.9626
5		0.2			1.7128	1.4389	5.1409
6		0.3			1.8769	1.5774	5.3264
7	1500	0.1			1.4239	1.3908	5.1563
8		0.2			1.4482	1.396	5.269
9		0.3			1.6187	1.5595	5.5454
10	1000	0.1		1.8293	1.4815	5.6848	
11		0.2		1.8799	1.4802	5.732	
12		0.3		1.9497	1.6192	5.9983	
13	1250	0.1		1.7114	1.4666	5.8786	
14		0.2		1.815	1.472	5.9372	
15		0.3		1.9744	1.6068	6.1012	
16	1500	0.1		1.5523	1.4492	6.0299	
17		0.2		1.5635	1.4432	6.0698	
18		0.3		1.7116	1.5823	6.297	
19	1000	0.1		1.8754	1.5079	6.9018	
20		0.2		1.9123	1.5242	6.9414	
21		0.3		1.978	1.6404	7.2108	
22	1250	0.1		1.7374	1.4906	6.9738	
23		0.2		1.851	1.5019	7.0363	
24		0.3		1.9897	1.62	7.2916	
25	1500	0.1		1.5932	1.484	7.1565	
26		0.2		1.6128	1.4904	7.247	
27		0.3		1.743	1.6076	7.5004	

Çizelge 5.5: 45°-45° elyaf yönelim açısına sahip Ø7.5 mm çapındaki deleme deneylerinin sonuçları.

Deney No	İş Mili Devri	İerleme Oranı	Takım Çapı	Delik Eğimi	Delaminasyon Faktörü		Yüzey Pürüzlülüğü
					Delik çıkışı	Delik girişi	
1	1000	0.1	Ø 7.5	15°	Delik çıkışı	Delik girişi	3.6291
					1.9541	1.5454	3.6897
					2	0.2	1.9895
3	0.3	2.0318			1.6567		3.7055
4		1250			1.8815		1.5021
5					2.0295	1.5546	3.9883
6	2.0471				1.5963	3.895	
7	0.1	1.6254			1.4961	4.0245	
8		1500			1.6355	1.5117	4.2305
9					1.7153	1.5784	4.4243
10	0.1				2.0355	1.5868	4.4683
11		1000			2.0541	1.5959	4.6492
12					2.1332	1.6381	4.5989
13	0.1				2.0093	1.5719	4.6793
14		1250			2.1226	1.5877	4.7479
15					2.1345	1.6257	4.756
16	0.1				1.7438	1.5545	4.8077
17		1500			1.7407	1.5589	4.9445
18				1.7981	1.6012	5.6237	
19	0.1			2.0751	1.6132	5.6801	
20		1000		2.1125	1.6399	5.8391	
21				2.178	1.6593	5.6965	
22	0.1			2.0477	1.5959	5.7558	
23		1250		2.1709	1.6176	5.9257	
24				2.1621	1.6389	5.86	
25	0.1			1.797	1.5893	5.9723	
26		1500	1.8023	1.6061	6.1303		

Çizelge 5.6: 45°-45° elyaf yönelim açısına sahip Ø10 mm çapındaki deleme deneylerinin sonuçları.

Deney No	İş Mili Devri	İerleme Oranı	Takım Çapı	Delik Eğimi	Delaminasyon Faktörü		Yüzey Pürüzlülüğü
					Delik çıkışı	Delik girişi	
1	1000	0.1	Ø 10	15°	2.0676	1.6516	2.3613
2		0.2			2.1076	1.688	2.4104
3		0.3			2.1005	1.729	2.6307
4	1250	0.1			1.9598	1.6083	2.4293
5		0.2			2.0161	1.6533	2.6133
6		0.3			2.0869	1.7086	2.7186
7	1500	0.1			1.6852	1.6023	2.6146
8		0.2			1.7262	1.6104	2.738
9		0.3			1.7154	1.6907	2.919
10	1000	0.1		2.17	1.693	3.1397	
11		0.2		2.1752	1.6946	3.1776	
12		0.3		2.1829	1.7504	3.3735	
13	1250	0.1		2.0906	1.6781	3.3101	
14		0.2		2.1102	1.6864	3.3844	
15		0.3		2.1773	1.738	3.468	
16	1500	0.1		1.8046	1.6607	3.463	
17		0.2		1.8344	1.6576	3.5086	
18		0.3		1.7992	1.7135	3.6604	
19	1000	0.1		2.2047	1.7194	4.3265	
20		0.2		2.2313	1.7386	4.3768	
21		0.3		2.2124	1.7716	4.5508	
22	1250	0.1		2.1267	1.7021	4.3951	
23		0.2		2.1484	1.7163	4.4483	
24		0.3		2.2026	1.7512	4.6332	
25	1500	0.1		1.8477	1.6955	4.5544	
26		0.2		1.8937	1.7048	4.6606	
27		0.3		1.9328	1.7388	4.8336	

5.1. Delaminasyon Faktörünün Analizi

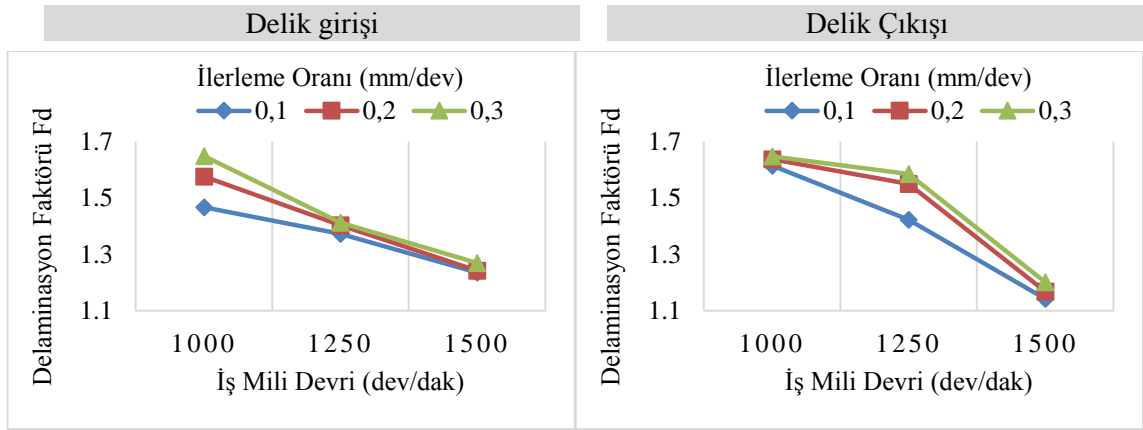
Kompozit malzemelerin farklı işleme parametrelerine göre delinmesi sonucu elde edilen delaminasyon faktörü ile ilgili Çizelge 5.1-5.6 incelendiğinde sırasıyla ilerleme oranı, iş mili devri, takım çapı ve elyaf yönelim açısının etkili olduğu tespit edildi. İşleme parametrelerinin delaminasyona etkileri aşağıda ayrı başlıklar halinde açıklandı.

5.1.1 İlerleme ve İş Mili Devrinin Delaminasyona Etkisi

İlerleme ve iş mili devrinin delaminasyona etkileri incelenirken deney parametrelerinin çok olması ve benzer olayların tekrarlı açıklanmaması amacı ile bu başlık altında sadece 0°-90° elyaf yönelim açısına göre ve Ø5 mm takım çapına göre delinmesinin sonuçları irdelendi.

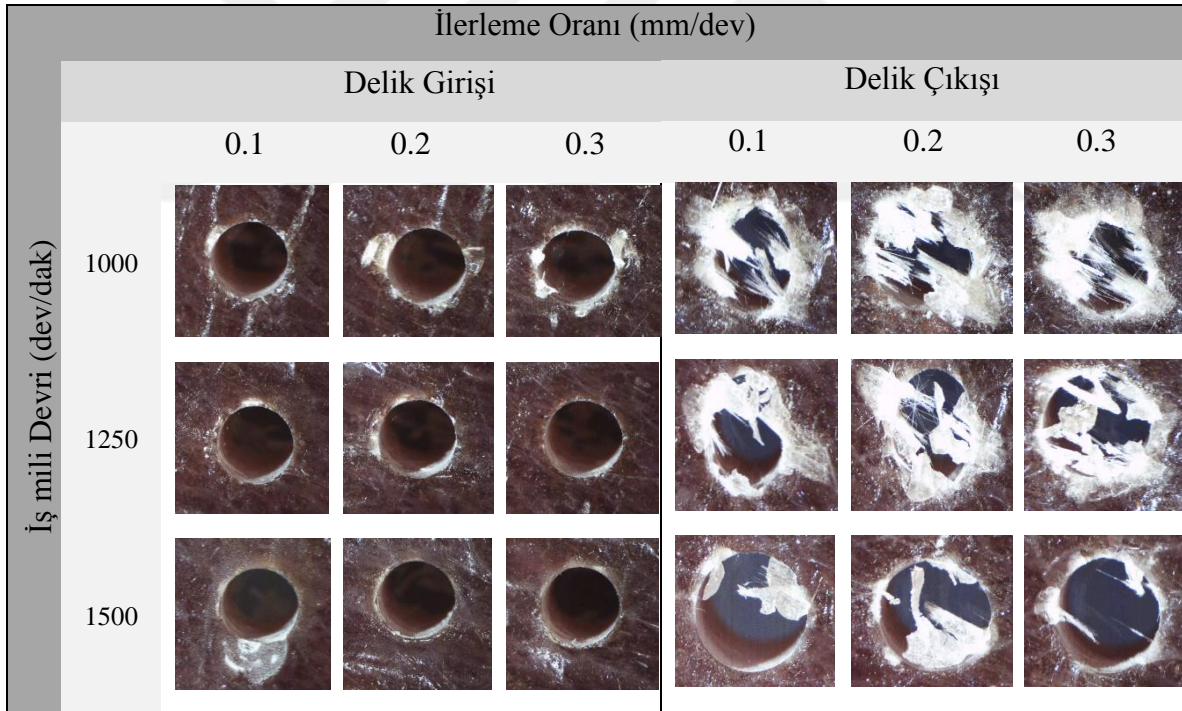
0°-90° elyaf yönelimine göre Ø5 mm takım çapı ile delme sonrası 15° delik eğim açısındaki delik giriş ve çıkış delaminasyon faktörlerinin değişimi Şekil 5.1’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde delik giriş ve çıkışlarında iş mili devrinin artması ile delaminasyon faktörünün azaldığı görüldü. Bu durumun temel sebebinin ise iş mili devrinin artması ile kesme hızının arttırarak cam liflerini daha kolay kesmesi olduğu düşünülmektedir. Nitekim Bosco [64] ve Rahme [65] yaptıkları çalışmalarda da benzer durumlar gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu durumun değerlendirilmesi amacıyla delik giriş ve çıkış görüntüleri alındı ve Çizelge 5.7’de verildi. Bu çizelgede ilerleme sabit tutulup iş mili devrinin artması ile birlikte delik giriş ve çıkışında görüntüler incelendiğinde delaminasyonun azaldığı görülmektedir.

Yine Şekil 5.1’de 15° delik eğim açısının ilerleme oranının artması ile birlikte delaminasyon faktöründe önemli bir farkolmasada bir artış görülmüştür. Bu durumun temel sebebi ise ilerleme oranının artması ile birlikte takım tam kesme yapmadan ileri doğru ilerlemesi ve kesilmeyen elyaflar ise koparak delaminasyon oluşturmasıdır. Benzer durumlar literatürde Manohar Velga [17], Khashaba [18] ve Navid Zarif Karimi’nin [19] yapmış olduğu çalışmalardada görülmüştür.



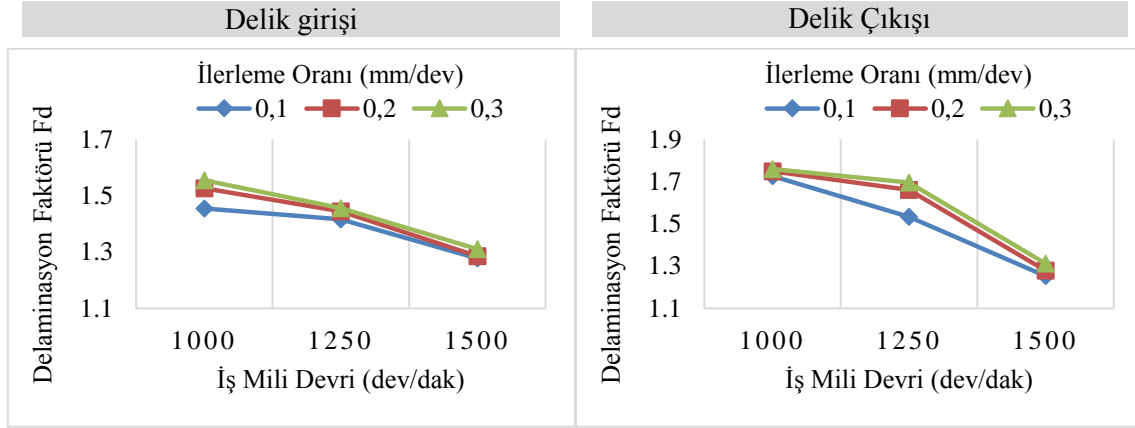
Şekil 5.1: 15° eğim açısında Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı – iş mili devrinin delik giriş ve çıkışında delaminasyona etkisi.

Çizelge 5.7: 15° eğim açısına sahip Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı– iş mili Devrine göre delik giriş-çıkışlarının resimleri.



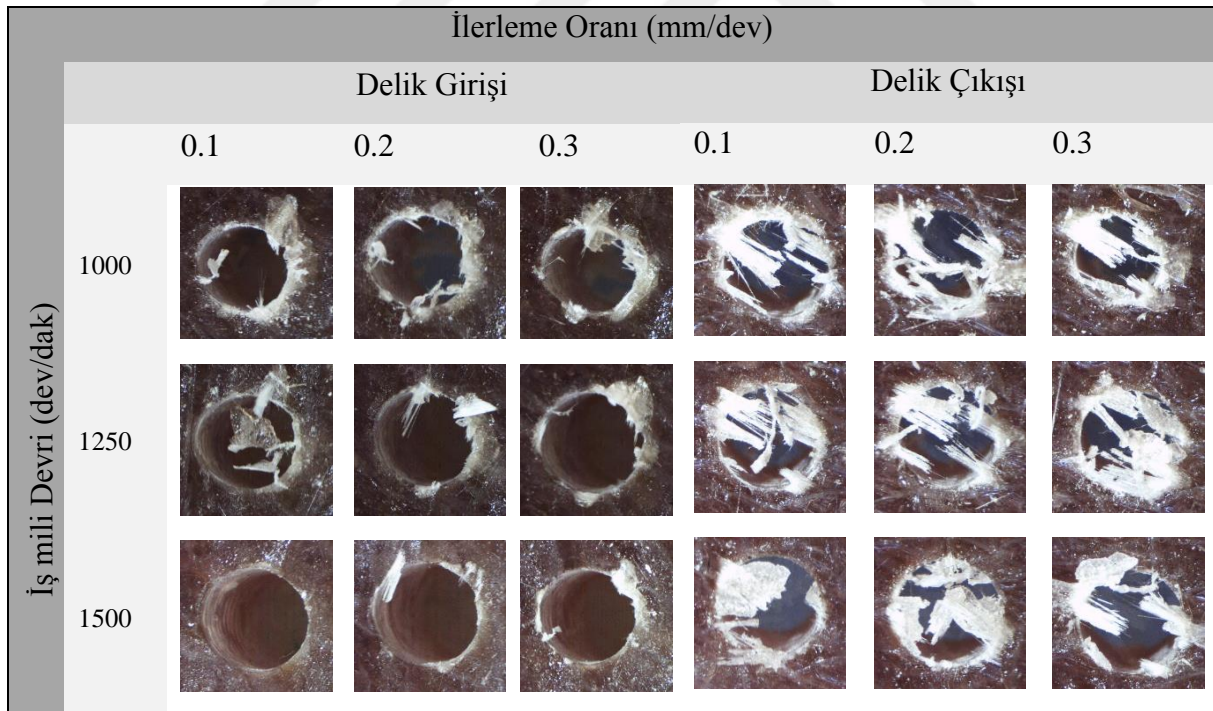
Delik giriş ve çıkışında 30° delik eğim açısının olduğu delikler 15° eğim açısındaki gibi benzer sonuçlar sergilemiştir. Nitekim Şekil 5.2 incelendiğinde delik giriş ve çıkışlarında iş mili devrinin artması ile delaminasyon faktörünün azaldığı görülmektedir. Benzer bir şekilde delik ilerlemenin artması ile birlikte delaminasyon faktöründe bir artış görülmüştür. Çizelge 5.8'deki görüntülerde bu durumu belirgin şekilde ifade etmektedir.

Fakat değerler dikkatlice incelendiğinde 15° eğim açısına sahip numuneye göre delaminasyon faktöründe bir artış olduğu görülmektedir.



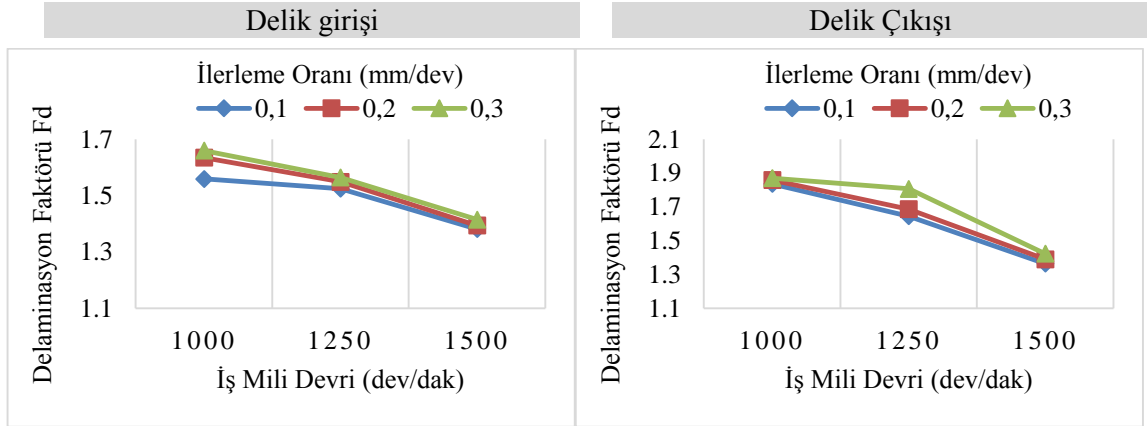
Şekil 5.2: 30° eğim açısında $\text{Ø}5$ mm takım çapıyla işlenmiş 0° - 90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı – iş mili devrinin delik giriş ve çıkışında delaminasyona etkisi.

Çizelge 5.8: Delik giriş ve çıkışında 30° delik eğim açısına sahip $\text{Ø}5$ mm takım çapıyla işlenmiş 0° - 90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı– iş mili Devrine göre delik giriş-çıkışlarının resimleri.



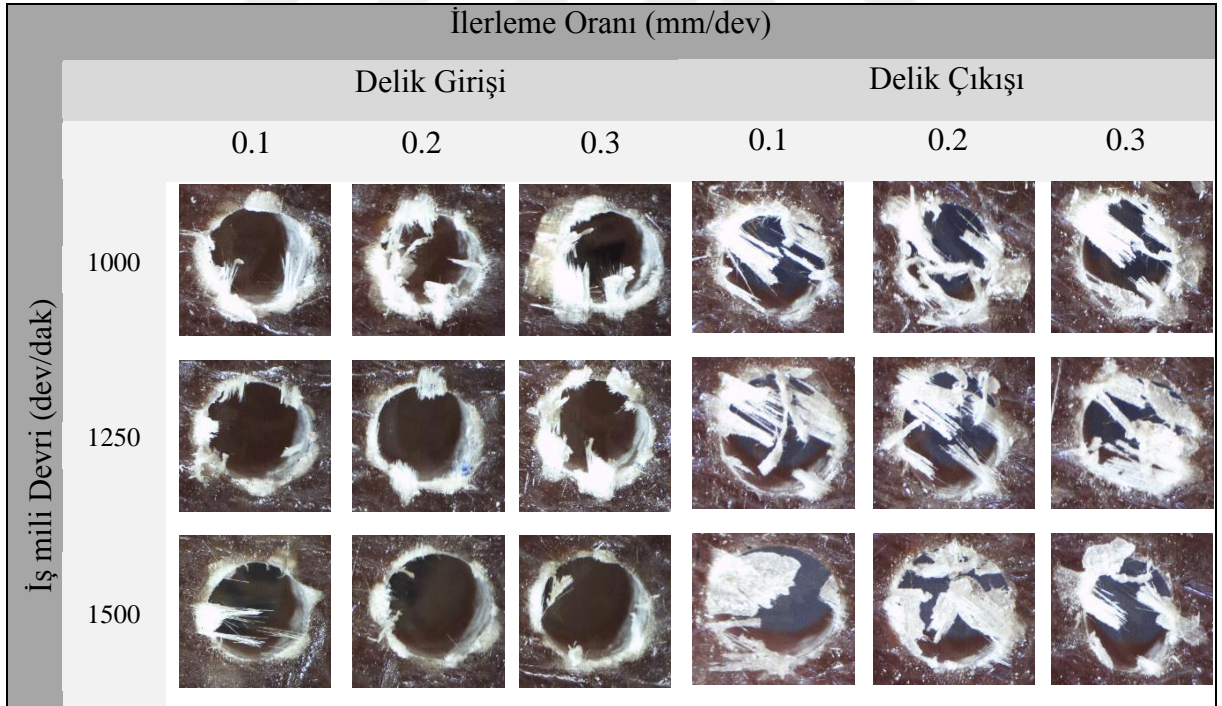
Son olarak delik giriş ve çıkışında 45° delik eğimine sahip numune Şekil 5.3'deki grafikler ve Çizelge 5.9'daki görüntüler incelendiğinde 15° ve 30° eğim açısındaki numuneler ile benzer sonuçlar sergileyerek, ilerlemenin artması ve iş mili devrinin azalması ile delaminasyonda azalma tespit edilmiştir. 15° ve 30° delik eğim açısı ile 45° delik eğim

açısındaki deliklerin delaminasyonları kıyaslandığında ise 45° de oluşan delaminasyonların en büyük olduğu görüldü.



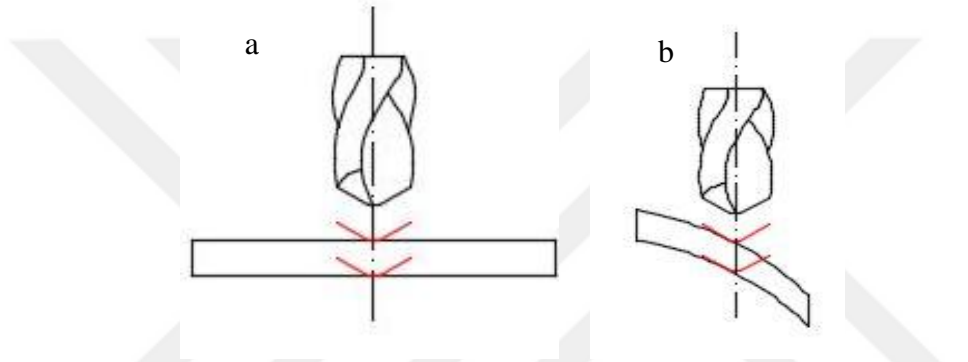
Şekil 5.3: 30° eğim açısında 5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı – iş mili devrinin delik giriş ve çıkışında delaminasyona etkisi.

Çizelge 5.9: 45° eğim açısına sahip Ø5 mm takım çapıyla işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin ilerleme oranı– iş mili Devrine göre delik giriş-çıkışlarının resimleri.

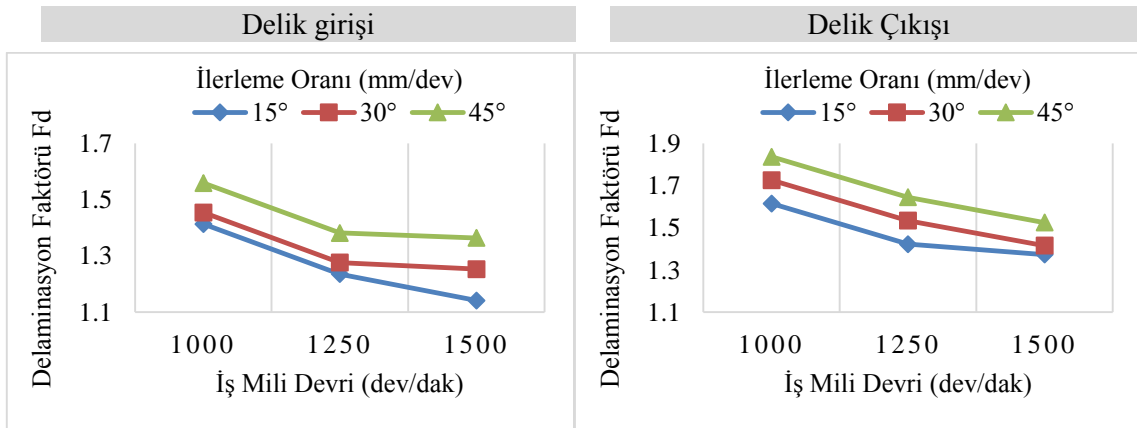


Sonuç olarak delaminasyon üzerine ilerleme oranı ve iş mili devrinin etkisi literatür ile paralellik göstermektedir. Fakat eğimli yüzeylerde ilerlemenin etkisi iş mili devrine göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi ise takım delik girişine doğru ilerlerken ilk temas yüzeyinin kesme kenarı olduğu benzer şekilde delik çıkışına doğru ilerlerken il

kesme kenarının çıkması bu sonuca bağlı olarak da kesme hızının etkisini arttırmıştır. Ayrıca eğim açısının artması ise kesme kenarı ile teması daha da arttırmakta ve delaminasyonu daha az eğimli bölgelere göre daha çok çıkarmaktadır. Bu durumu daha net olarak ifade etmek için Şekil 5.4’de (a) da düz bir yüzeye temas eden matkap (b) de ise eğri bir yüzeye temas eden matkabin temas noktaları çizilmiştir. Tüm bu bilgilerin ışığında delaminasyon faktörünün sabit ilerleme ve iş mili devrine bağlı olarak delme eğim açısındaki etkisi Şekil 5.5’ de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ise kesme kenar etkisinden dolayı en büyük delaminasyon 45° delik eğim açısında çıkmıştır. 30° delik eğim açısındaki delaminasyon bunu takip ederek en küçük delaminasyon ise 15° delik eğim açısında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4: Matkabin kompozit malzemeye temas noktaları (a) düz bir yüzeye takımın giriş ve çıkış esnasında temas noktaları (b) eğimli bir yüzeye takımın giriş ve çıkış esnasında temas noktaları.

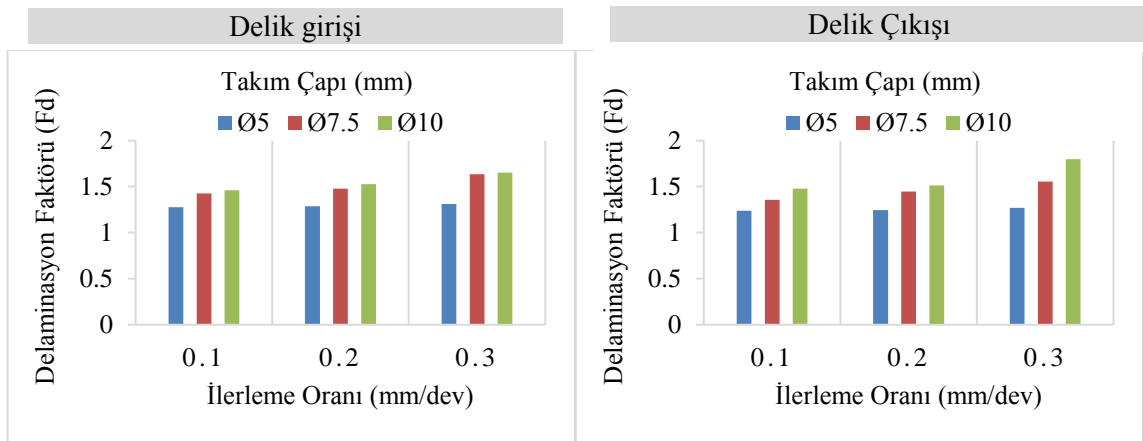


Şekil 5.5: 15°, 30° ve 45° eğim açılarında, Ø5 mm takım çapı ve 0.1 mm/dev ilerleme oranı ile işlenmiş 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip numunenin iş mili devri ile delik girişi ve çıkışında oluşturduğu delaminasyon.

5.1.2 Takım Çapının Delaminasyona Etkisi

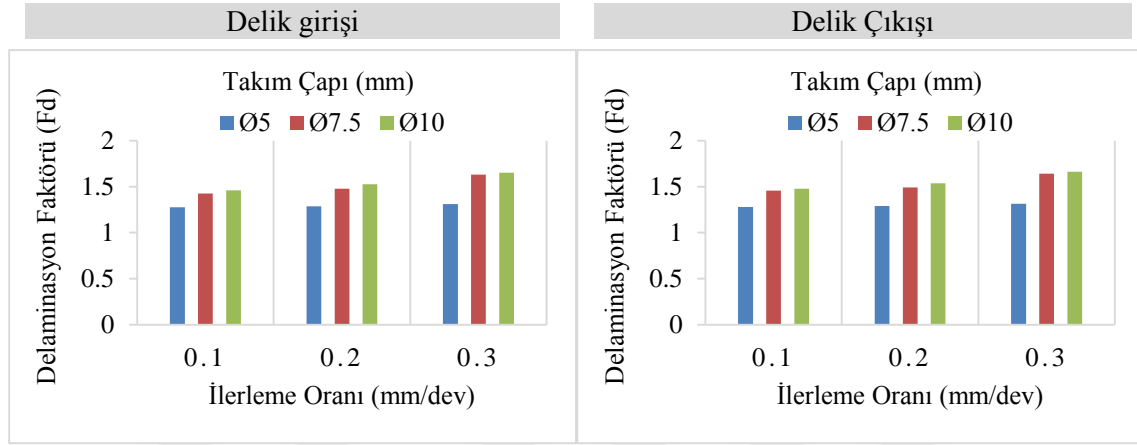
Ayrıca yukarıda bahsedilen ilerleme ve iş mili devrinin delaminasyona etkisi dışında bir diğer önemli faktöründe takım çapı olduğu literatürde anlaşılmaktadır. Gopalakrishnan [27] ve Feito [32] yaptığı çalışmalarda takım çapının değişmesi ile delaminasyon faktöründe değişiklikler olduğunu söylemişlerdir. Takım çapının delaminasyona etkileri literatürde önemsenmesinden dolayı bu çalışmada da delaminasyon analizi yapılırken takım çapının etkileride incelendi.

Deney parametrelerinin fazlalığı ve incelemelerin tekrarlı açıklanmaması için sadece 0°-90° elyaf yönelim açısına ve kritik delaminasyon değeri veren 1500 dev/dak iş mili devrine göre delinmesinin sonuçları irdelendi. Yukarıda verilen parametrelere göre 15° delik eğim açısındaki delik giriş ve çıkış delaminasyon faktörlerinin değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde takım çapında yapılan artış delaminasyonu arttırdı. Çünkü takım çapının artması ile birlikte takımın delme esnasında kaldıracağı malzeme miktarının artması bu duruma sebep olmaktadır. takımın çok malzeme kaldırması takım-malzeme temasını arttırmasından dolayı oluşan sürtünme kaynaklı sıcaklık artışına sebep olmaktadır. sıcaklığı artan takımda kesme kenarlarında yumuşama oluşmakta ve takım aşınmasına sebep olmaktadır. Nitekim Devi [27], Heidary[33] ve Akhil [35]'de yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmuştur.



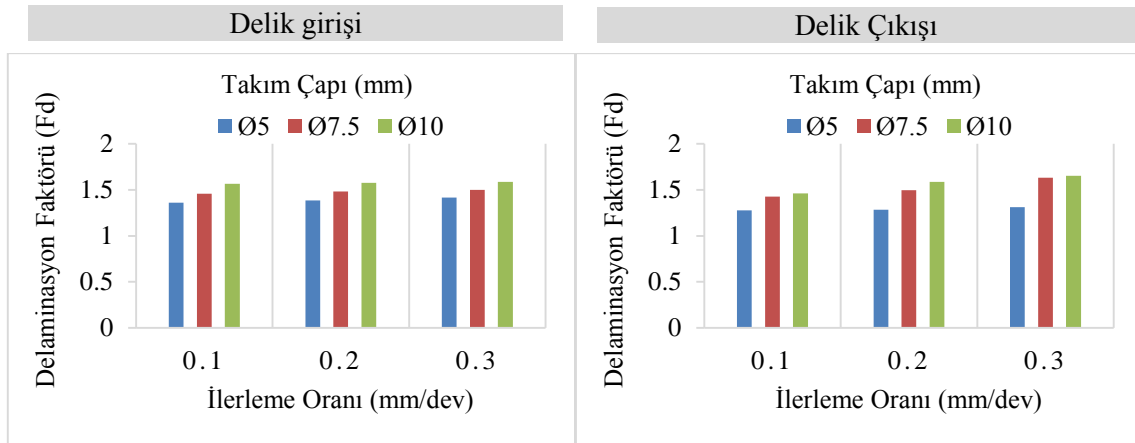
Şekil 5.6: 15° eğim açısına sahip 0°-90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devrinde açılan deliklerin takım çapı ve ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkış delaminasyon değişimi.

Takım çapının delaminasyona olan etkisi 30° delik eğim açısına sahip numunelerde incelendiğinde 15° delik eğim açısında takım çapının etkisi ile benzer sonuçlar sergiledi. Takım çapı ile delaminasyon doğru orantılı olduğu Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7: 30° eğim açısına sahip 0°-90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devrinde açılan deliklerin takım çapı ve ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkış delaminasyon değişimi.

0°- 90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devri ile delinen 45° delik eğim açısındaki deliklerde oluşan delaminasyonlar Şekil 5.8’de incelendi. 15° ve 30° delik eğim açısında olduğu gibi takım çapının artması delaminasyon faktörünü arttırmıştır.



Şekil 5.8: 45° eğim açısına sahip 0°-90° elyaf yönelim açısında 1500 dev/dak iş mili devrinde açılan deliklerin takım çapı ve ilerleme oranına bağlı delik giriş ve çıkış delaminasyon değişimi.

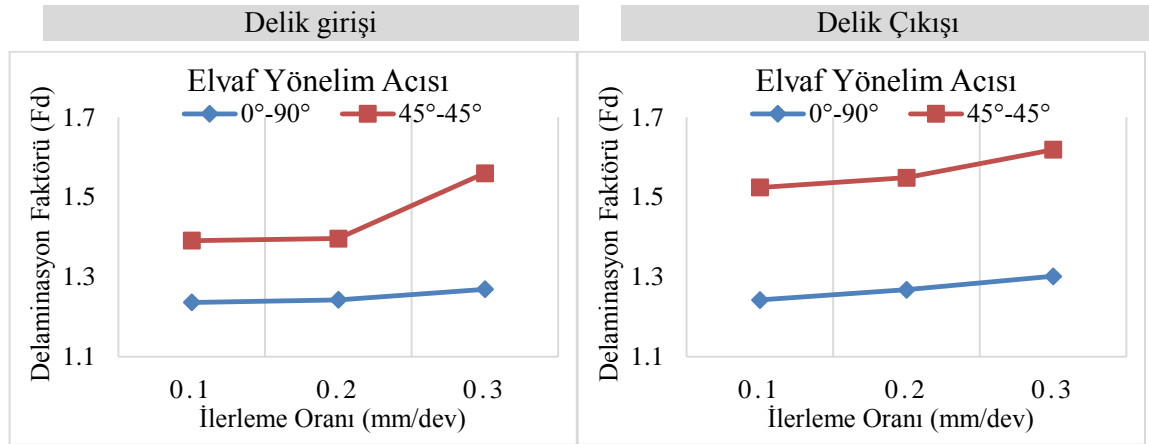
Sonuç olarak 3 farklı delik eğim açısı da incelendiğinde takım çapındaki artış delaminasyonu arttırdı. Takım çapının delaminasyona etkisi ilerleme ve iş mili devrine kıyasla daha azdır. Bir diğer önemli sonuçta delik eğim açısındaki artış delaminasyon

artışına sebep olmaktadır. Takım çapının büyümesi eğimin arttığı malzemelerde daha fazla kesme kenarı teması ile sonuçlandı. Ayrıca takım kesme kenarı daha fazla malzeme tutarak elyaflara baskı uygulayıp kopmalara sebep oldu.

5.1.3 Elyaf Yönelim Açısının Delaminasyona Etkisi

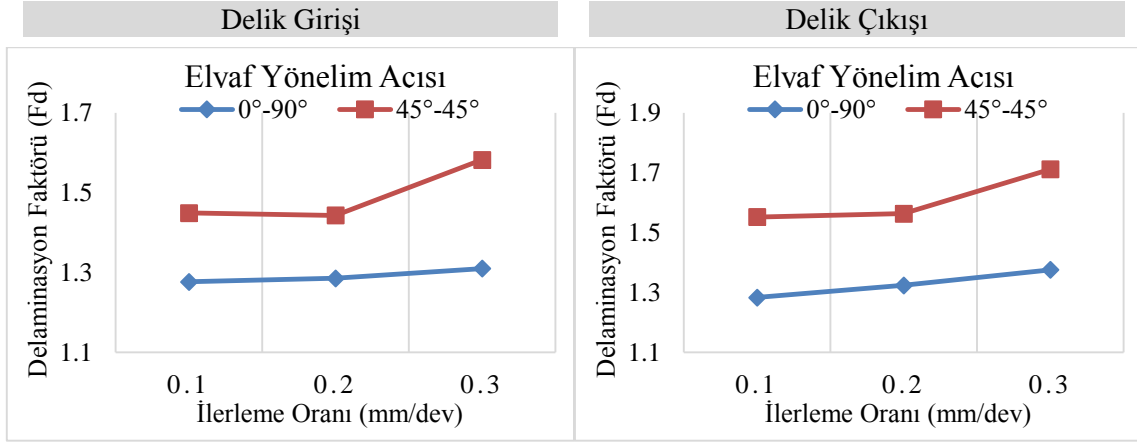
Delaminasyon üzerine etkili bir diğer önemli parametre de elyaf yönelim açısıdır. Elyaf yönelim açısının delaminasyona etkisi incelenirken deney parametrelerinin çokluğu ve tekrara düşmemek için delaminasyon faktörü üzerinde kritik değere sahip Ø5mm takım çapı ve 1500 dev/dak iş mili devrine göre delinmesinin sonuçları irdelendi.

İlk olarak 15° delik eğim açısında delik giriş ve çıkış delaminasyon faktörlerinin değişimi Şekil 5.9'da incelenerek, 45°-45° elyaf yöneliminde oluşan delaminasyon faktörünün 0°-90° elyaf yöneliminde oluşan delaminasyon faktörüne göre daha büyük olduğu görüldü. Ayrıca ilerleme artışının 45°-45° elyaf yönelim açılı kompozite daha belirgin delaminasyon artışı olduğu görüldü. Tüm bu durumların sebebi ise elyaf yönelim açıları takımın malzemede elyaf ile karşılaşma oranını arttırdığı için kesme kuvvetleri üzerinde doğrudan etkilidir. Elyaf yönelim açısının artması takımın elyafı kesmesini zorlar ve bu zorlamadaki artış delaminasyon artışı ile sonuçlandı. Nitekim Pawar ve ark. [40]'da benzer sonuçlar bulmuşlardır.



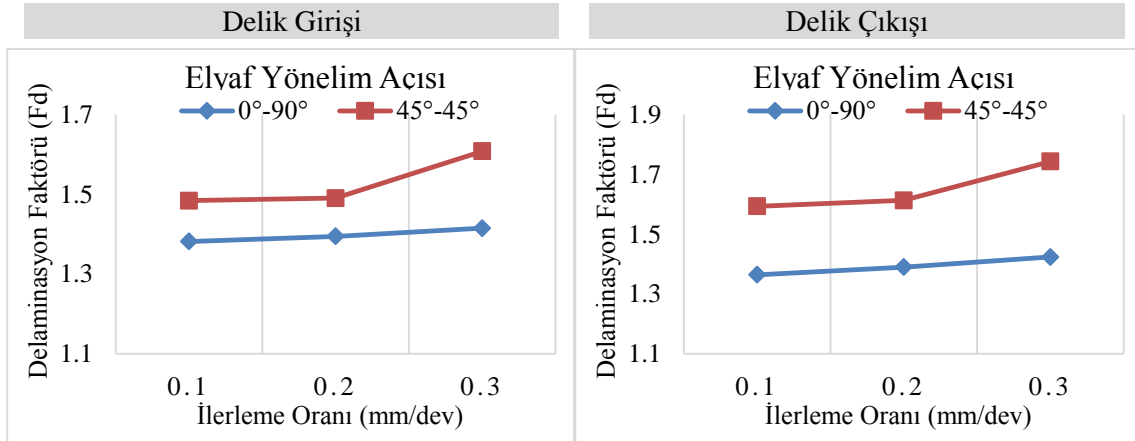
Şekil 5.9: 0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitlerin 1500 dev/dak iş mili devrinde, 15° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında delik girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonların karşılaştırılması.

Ayrıca 30° delme eğim açısına sahip deliklerin giriş ve çıkışlarındaki delaminasyon Şekil 5.10'daki grafikte incelendiğinde sabit ilerleme koşullarında elyaf yönelim açısının 45°-45° olduğu numunede daha büyük bir delaminasyon değeri ortaya koydu.



Şekil 5.10: 0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitlerin 1500 dev/dak iş mili devrinde, 30° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında delik girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonların karşılaştırılması.

Son olarak 0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelim açısında Ø5 mm takım çapı ve 1500 dev/dak iş mili devri kullanılarak 45° delik eğim açısında açılan delikler Şekil 5.11'de verilmiştir. Delaminasyon faktörleri 0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelim açıları karşılaştırıldıklarında 15° ve 30° delme eğim açısına sahip deliklerde oluşan delaminasyon karşılaştırmalarında olduğu gibi 45°-45° elyaf yönelim açısında ilerlemeye bağlı delaminasyon değişimi oranı daha fazla artmıştır.



Şekil 5.11: 0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitlerin 1500 dev/dak iş mili devrinde, 30° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında delik girişinde ve çıkışında oluşan delaminasyonların karşılaştırılması.

45°-45° ve 0°-90° elyaf yönelim açısına sahip kompozitlerde 15°, 30° ve 45° delik eğim açısındaki delikler delaminasyon faktörleri karşılaştırıldığında 45°-45° elyaf yönelim açısında ve 45° delik eğim açısında daha büyük delaminasyon faktörü oluştu. Çünkü 45°-45° elyaf yönelim açılı kompozitte elyafların daha geniş bölgelere yayılmıştır. Bunun sonucunda

matkabın elyafıla karşılaşmasının artması elyaf kopmalarını arttırdığı için delaminasyonu arttıracaktır.

5.2. Yüzey Pürüzlülüğü Analizi

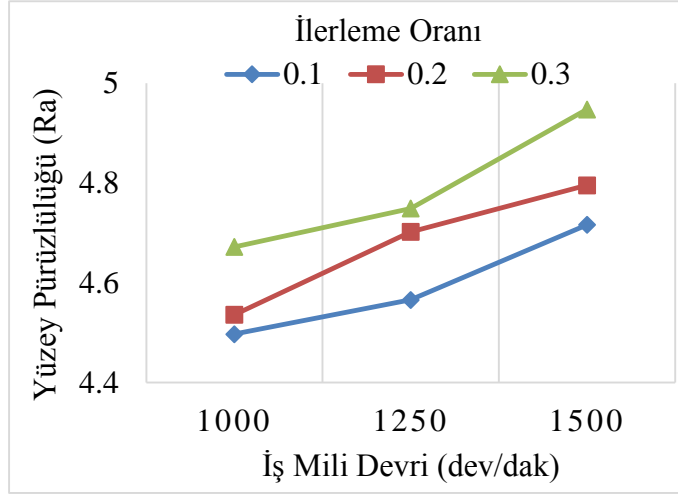
Delik delme işleminde oluşan takım aşınmalarının etkisiyle delik iç yüzeylerinde yüzey kalitesi bozulmaktadır. Bu bozulmalar istenilen bağlantı kalitesini düşürmektedir. Bu başlık altında kullanılan kompozit malzemelerin farklı işleme parametrelerine göre delinmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri incelendi. Oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 5.1-5.6'da verildi. Çizelgeler incelendiğinde sırasıyla ilerleme, iş mili devri, takım çapı ve elyaf yönelim açısının etkili olduğu görüldü. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri aşağıda ayrı başlıklar altında açıklandı.

5.2.1 İlerleme Oranı ve İş Mili Devrinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

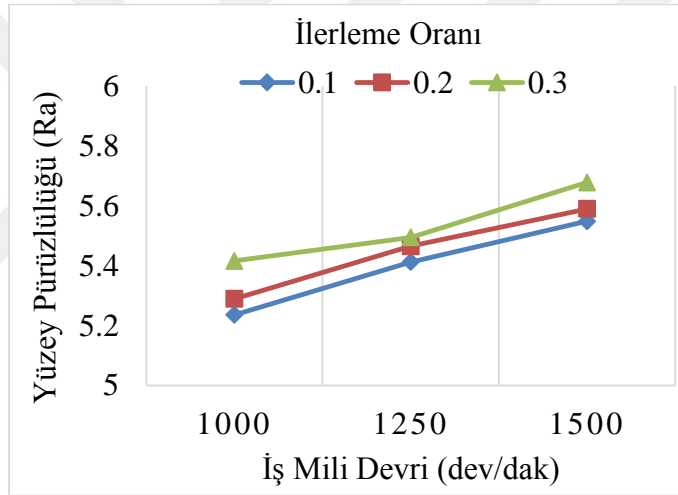
İlerleme ve iş mili devrinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenirken delaminasyon analizinde de olduğu gibi deney parametrelerinin çok olması ve benzer olayların tekrarlı açıklanmaması amacı ile bu başlık altında sadece 0°-90° elyaf yönelim açısına göre ve Ø5 mm takım çapına göre delinmesinin sonuçları irdelendi.

Yukarıda belirlenen parametreler ile delme sonrası 15° delik eğim açısındaki delik pürüzlülüklerinin değişimi Şekil 5.12'de, 30° delik eğim açısı Şekil 5.13'de ve 45° delik eğim açısı Şekil 5.14'deki grafiklerde yüzey pürüzlülük değişimleri verildi. Grafikler incelendiğinde sabit iş mili devrinde ilerlemenin artması yüzey kalitesini düşürerek yüzey pürüzlülük değerini arttırdığı görüldü. Bu artışa takımın delme esnasında ilerleme oranının artması sonucu elyafları kesmeden kopmaya zorlaması neden olmuştur.

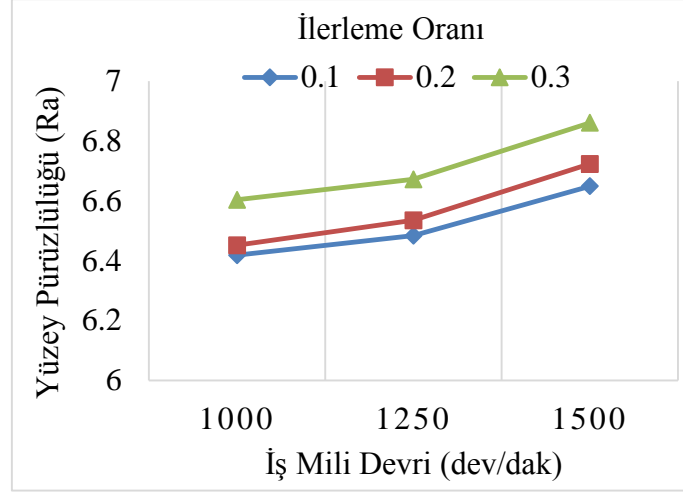
Bir diğer durum ise sabit ilerleme de iş mili devrinin artması sonucu yüzey pürüzlülüğünün artmasıdır. Bu artış ise artan iş mili devri dolayısıyla takım üzerine gelen kuvvetlerin ve momentlerin artması, talaş tahliyesinin kolay yapılamaması ve takımda oluşan titreşim artışından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.12: 0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozit 15° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.13: 0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozit 30° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.



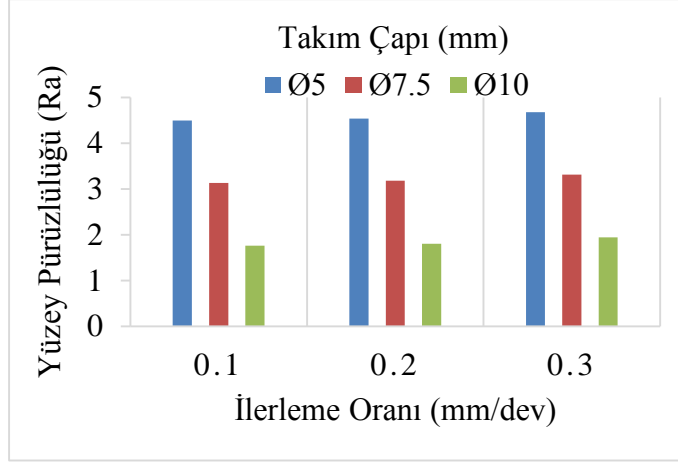
Şekil 5.14: 0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 45° eğim açısında ve Ø5 mm delik çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.

Genel olarak ilerleme ve iş mili devrinin pürüzlülüğü doğrudan etkilediği görülmüştür. Ayrıca eğim açısının artması elyafların kesme kenarları ile temas edeceği açığı arttırdığı için zorlanarak bir kesme söz konusu olacak ve bu kesim sonrasında ise kalitesiz yüzeyler ortaya çıkacaktır.

5.2.2 Takım Çapının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

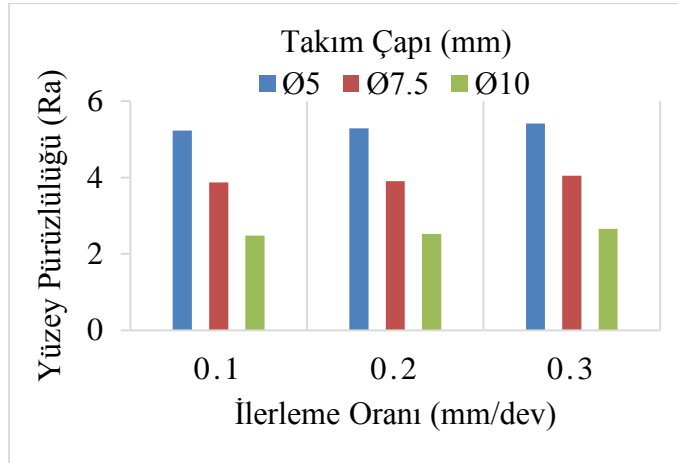
Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir diğer parametre ise takım çapıdır. Takım çapının yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenirken deney parametrelerinin çok olması ve benzer olayların tekrarlı açıklanmaması amacı ile bu başlık altında sadece 0°-90° elyaf yönlenme açısı ve kiritik iş mili değeri 1500 dev/dak'ya göre delinmesinin sonuçları irdelendi.

0°-90° elyaf yönelimine göre 1500 dev/dak iş mili devri ile delme sonrası 15° delik eğim açısındaki delik pürüzlülüklerinin değişimi Şekil 5.15'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleme oranı sabit tutulup takım çapının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü azaldığı görüldü. Takım çapının artması kesme hızı ile doğrudan etkilidir. Artan takım çapı sabit iş mili hızında büyük çaplarda daha büyük kesme hızı oluşturmaktadır. Artan kesme hızında yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır.



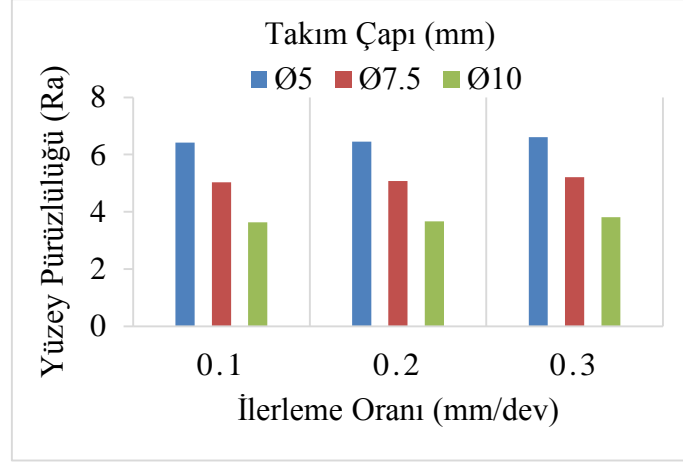
Şekil 5.15: 0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 15° eğim açısında ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde farklı takım çaplarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.

30° delme eğim açısında açılan deliklerin pürüzlülükleri Şekil 5.16'da incelenmiş ve 15° eğimde elde edilen bulgulara paralel sonuçlar elde edildi. Grafik incelendiğinde artan takım çapı ile yüzey pürüzlülüğü azaldı. Ancak tüm çaplar için 30° delik eğim açısında oluşan yüzey pürüzlülükleri 15° delik eğim açısında oluşan yüzey pürüzlülüklerine nazaran daha fazla oluştu.



Şekil 5.16: 0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozitin 30° eğim açısında ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde farklı takım çaplarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.

Son olarak 45° delme eğim açısına sahip deneyler Şekil 5.17'de incelendiğinde sonuçlar 15° ve 30° delme eğim açısına paralel durumlar sergileyerek takım çapının artması pürüzlülüğü azaltmıştır. 45° delme eğim açısında oluşan yüzey pürüzlülükleri diğer delme eğim açılarında oluşan yüzey pürüzlülüklerine göre daha fazladır.



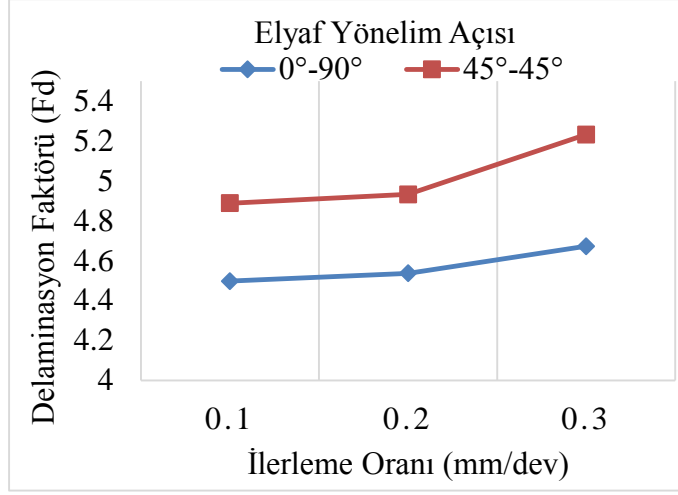
Şekil 5.17: 0°-90° elyaf yönelimli cam elyaf kompozit 45° eğim açısında ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde farklı takım çaplarında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.

Sonuç olarak artan takım çapı pürüzlülüğü azalttı. Bu durum literatür ile paralellik gösterdi. Sebebi ise artan takım çapının kesme hızını arttırdığı için pürüzlülüğü azaltmasıdır. Khashaba [24] ve Devi [27] de benzer sonuçlar bulmuşlardır.

5.2.3 Elyaf Yönelim Açısının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

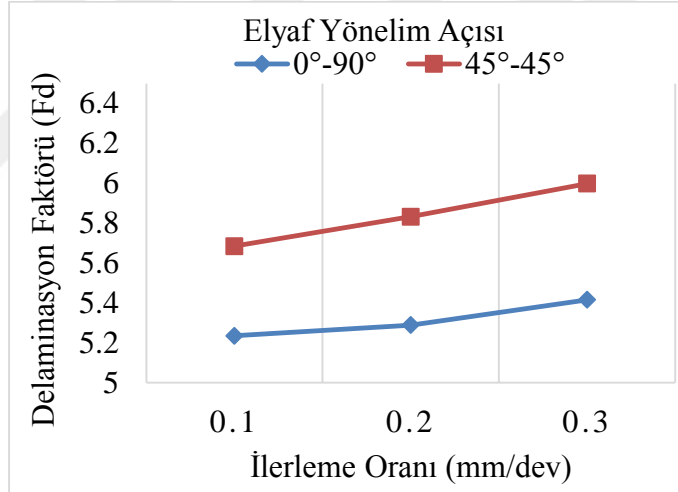
Delaminasyon analizi yapılırken bahsedildiği gibi elyaf yönelim açısı takım ile malzeme arasındaki etkileşimi etkilemektedir. Bu durum delik iç yüzeyinin kalitesini belirlemede de rol oynamaktadır. Çünkü kesilemeyen elyaflar ve takımı aşındıran elyaflar delik iç yüzeyinde pürüzlülüklere sebep olmaktadır. Nitekim bu başlık altında da elyaf yönelim açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elyaf yönelim açılarının yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenirken deney parametrelerinin çok olduğundan ve benzer olayların tekrarlı açıklanmaması amacı ile sadece yüzey pürüzlülüğü üzerinde kritik değerlere sahip olan Ø5 mm takım çapı ve 1500 dev/dak iş mili devrine göre delinmesinin sonuçları irdelendi.

İncelemeler yapılırken ilk olarak Ø5 mm takım çapına ve 1500 dev/dak iş mili devri ile delme sonrası 15° delik eğim açısındaki delikler incelendi. Yüzey pürüzlülük değişimi ise Şekil 5.18’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde sabit ilerleme oranında 45°-45° elyaf yönelim açısındaki deliklerde daha fazla yüzey pürüzlülük faktörü oluşturdu. Bu durumun nedeni ise elyaf açısının artması ile kompozit içerisindeki elyafların konumlanmasının sık bir yapı haline gelmesidir. Elyafların kompozit içerisinde sık bir yapı halinde bulunması kesici takımın elyafları keserken kopmaların olma olasılığını artırarak kaliteyi düşürmektedir.



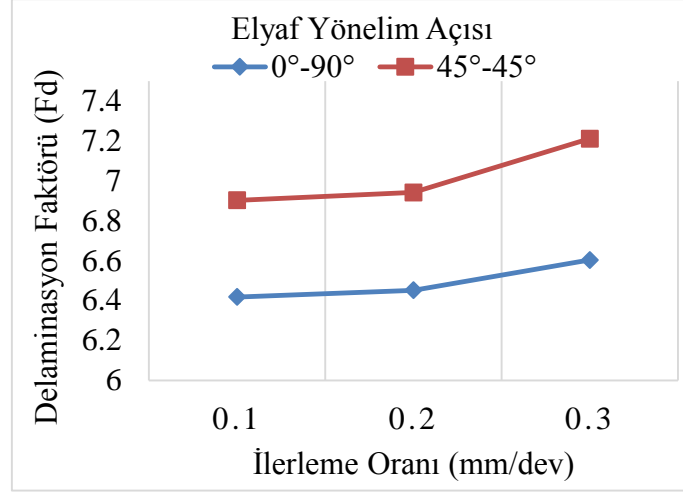
Şekil 5.18: 15° eğim açısındaki cam elyaf kompozit ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde ve Ø5 mm takım çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin elyaf yönelimlerine göre karşılaştırılması.

30° delme eğim açısındaki numuneler Şekil 5.19’da incelenmiş ve 15° eğim açısındaki gibi 45°-45° elyaf yönelim açılarında daha büyük pürüzlülük değerleri çıkmıştır.



Şekil 5.19: 30° eğim açısındaki cam elyaf kompozit ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde ve Ø5 mm takım çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin elyaf yönelimlerine göre karşılaştırılması.

Son olarak 45° delme eğim açısında oluşan yüzey pürüzlülükleri incelendi. 15° ve 30° delme eğim açılarında olduğu gibi 45°-45° elyaf yönelim açısında daha fazla pürüzlülük olduğu Şekil 5.20’de görüldü. 3 delme eğim açısı arasında en büyük pürüzlülükler ise 45° delme eğim açısında oluştu.

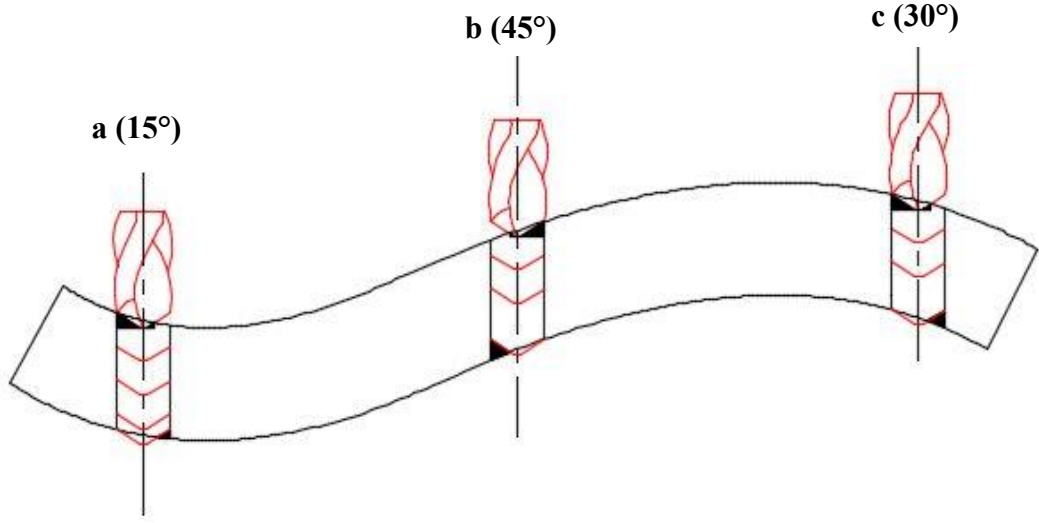


Şekil 5.20: 45° eğim açısındaki cam elyaf kompozit ve 1500 dev/dak sabit iş mili devrinde ve Ø5 mm takım çapında oluşan yüzey pürüzlülüklerinin elyaf yönelimlerine göre karşılaştırılması.

Bütün eğim açılarındaki elyaf yönelimleri ayrı ayrı incelendi ve sonuç olarak 45°-45° elyaf yönelim açısında oluşan pürüzlülükler daha fazla çıktı. Bu durum literatür ile paralellik gösterdi. Ayrıca eğim açısında artması elyafların yönelimini ve homojen dağılımını etkileyerek takımın elyaf ile karşılaşmasını arttırarak elyaf kopmalarını arttırdı ve yüzey kalitesini düşürdü. Genel anlamda bakılacak olursa en düşük yüzey pürüzlülük oranı 15° delme eğim açısında ortaya çıktı.



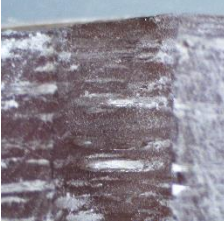
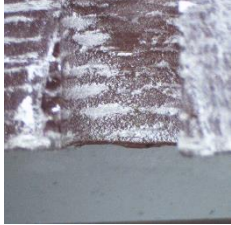


5.3 Serbest Şekilli Yüzeylerin Delinmesinin Değerlendirilmesi

Serbest şekilli yüzeylerde delinme, düz yüzeylerdeki delinme işlemlerine göre takım konumundan dolayı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların başlıca sebebi ise takım kesici ağızları düz plakalarda aynı anda görev görürken eğri yüzeylerde eşit kesme yüzeylerine maruz kalmamasıdır. Bu kapsamda serbest şekilli yüzeye sahip kompozit malzemenin 15°, 30° ve 45° eğim açılarındaki delinmesi esnasında kesme ağızlarının aynı anda malzemede koparmaya çalıştığı materyallerin çizimsel gösterimi Şekil 5.21’de verildi. Şekil incelendiğinde delik girişinde kesme işlemi ilk olarak taralı alanda gerçekleşirken diğer kesme kenarı boşta kalmaktadır. Aynı anda kesme kenarlarına eşit yük yüklenmesinden dolayı takım malzemeyi deformasyona zorlamaktadır. Delik çıkışlarında ise taralı alan ile belirtilen bölgede kesme kenarı kesme işlemine devam ederken diğer kesme kenarının boşta çıkmasından dolayı kesme kenarlarındaki yüklerin miktarları farklılık göstermiştir. Bu farklılık sonucunda takım taralı alanı kesmeden elyafı patlatılarak delaminasyona sebep olmaktadır.



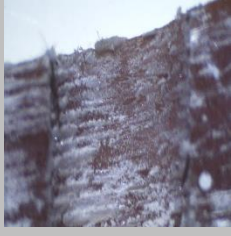

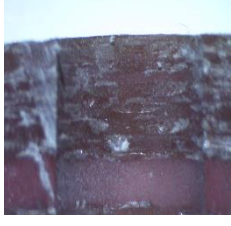



Şekil 5.21: Eğri yüzeyde takım kesme kenarının giriş ve çıkışta takım kesme kenarının zorladığı alanlar (a) 15° delme eğim açısında (b) 45° delme eğim açısında (c) 30° delme eğim açısında.

Çizelge 5.10: 90°-90° elyaf yönelimli kompozitte Ø5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.

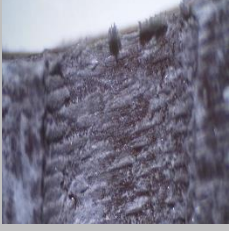




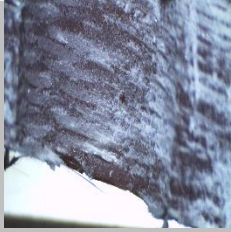
Delik çapı	Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
Ø5 mm	15°		
	30°		
	45°		

Çizelge 5.10'da 0°-90°elyaf yöneliminde Ø5 mm takım çapına delik kesit görüntüleri verildi. Tabloda verilen görüntüler incelendiğinde delik girişlerine nazaran delik çıkışlarında eğri yüzeylerin delaminasyon ve pürüzlülük üzerine etkisi daha fazladır. Bu durumun temel sebebi ise çıkış kısımlarında tek taraflı kesici takımın önünde birikmiş malzemeden dolayı birikinti doğrultusunda lifler kesilmeden kopma eğilimi göstermesidir. Ayrıca Çizelge 5.11'de 0°-90° elyaf yönelim açısında Ø 7.5 mm takım çapına, Çizelge 5.12'de ise Ø10 mm takım çapına ait görüntüler verildi. Tablolar incelendiğinde Ø 5 mm'deki sonuçlara benzer oluşumlar gözlemlendi. Ancak takım çapının artması ve delme eğim açısının artması ile birlikte kesici takımın önündeki malzeme miktarı daha da artacağından dolayı delaminasyon ve pürüzlülükte bir artış olduğu verilen tablolarda açıkça görülmektedir.

Çizelge 5.11: 90°-90° elyaf yönelimli kompozitte Ø7.5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.


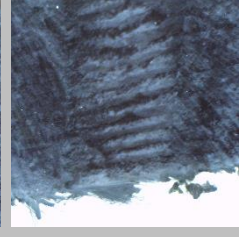
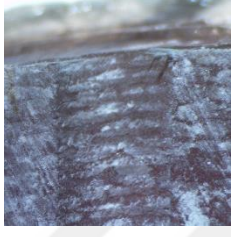
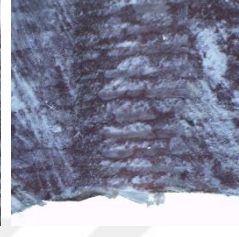

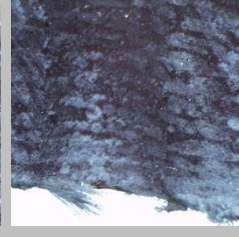
Delik çapı	Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
Ø7.5 mm	15°		
	30°		
	45°		

Çizelge 5.12: 0°-90° elyaf yönelimli kompozitte Ø10 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.







Delik çapı	Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
Ø10 mm	15°		
	30°		
	45°		

45°-45° elyaf yönelim açısına sahip kompozit malzemelerden alına delik kesit görüntüleri Ø 5 mm takım çapı için Çizelge 5.13, Ø7.5 mm takım çapı için Çizelge 5.14 ve son olarak Ø10 mm takım çapı için ise Çizelge 5.14’de verildi. 0°-90° elyaf yönelimindeki deliklerde oluşan sonuçlar ile benzerlik göstermesine rağmen 45°-45° elyaf yönelim açısında oluşan sonuçlar dah fazla olduğu görüldü. Bu fazlalığın sebebi incelendiğinde artan elyaf yoğunluğunun matkabı zorladığı ve kesme işlemi güçleştirmesidir.

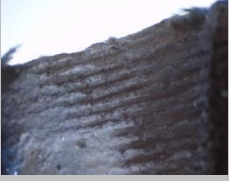
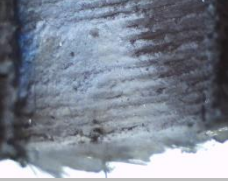
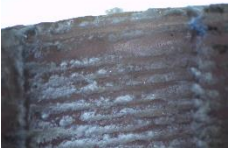



Çizelge 5.13: 45°-45° elyaf yönelimli kompozitte Ø5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.

Delik çapı	Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
Ø5 mm	15°		
	30°		
	45°		

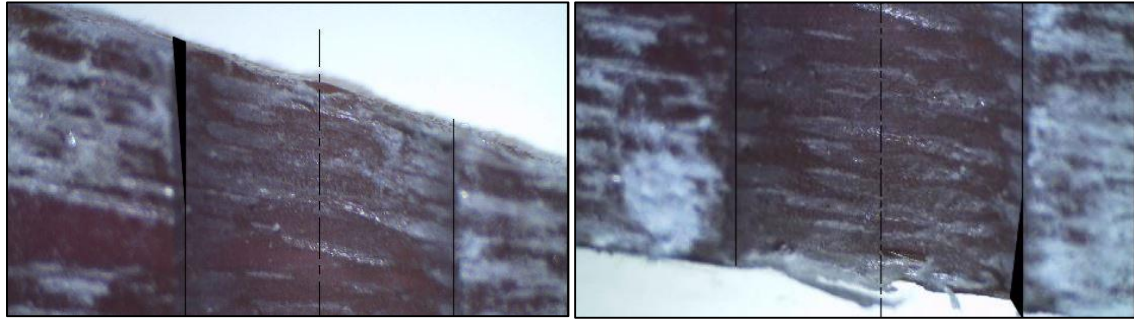
Çizelge 5.14: 45°-45° elyaf yönelimli kompozitte Ø7.5 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.

Delik çapı	Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
Ø7.5 mm	15°		
	30°		
	45°		

Çizelge 5.15: 45°-45° elyaf yönelimli kompozitte Ø10 mm çapında açılmış deliklerin eğim açısına göre kesit görüntüleri.

Delik çapı	Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
Ø10 mm	15°		
	30°		
	45°		

Bir diğer önemli konuda delik konumunun geometrik hassasiyetidir. Şekil 5.22’de delik giriş ve çıkışındaki geometrik sapmalar siyah ile taranmış şekilde verilmiştir. Verilen şekil incelendiğinde delik girişinde kesici takımın ilk karşılaştığı alanda eksenden bir sapma olduğu görülmektedir. Kesici takımın ilerleyerek kesme kenarlarının aynı anda kesme işlemi yaptığı bölgelerde takım tekrardan eksene oturarak delme işlemine devam ettiği görülmektedir. Takım çıkış bölgesi incelendiğinde ise takım kesme kenarlarından biri boşa çıktığı an itibari ile eksen kaçıklığı tekrardan görülmüştür.



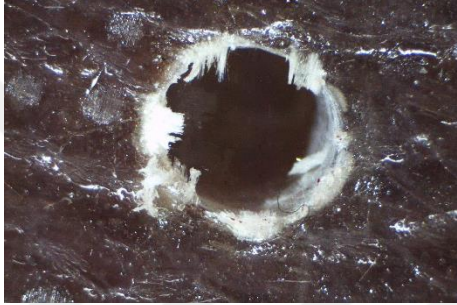

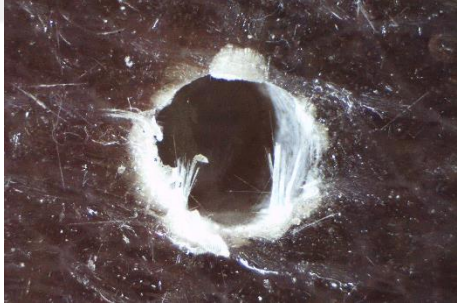



Şekil 5.22: Delik giriş ve çıkışında oluşan geometrik hata bölgeleri (a) Delik girişi (b) Delik çıkışı.

Eğimli yüzeylerde açılan deliklerin eksen kaçıklığında dikkat çeken diğer bir önemli bulguda delik girişinde ve çıkışında takım kesici kenarlarından takım ile teması olan yüzeylere doğru bir eksen kaçıklığı olmasıdır. Tüm bu durumların temel sebebi ise delme işleminin eğimli bir yüzeyde gerçekleşmesidir. Eğimli yüzey matkap kesici kenarların aynı anda görev yapmasını engellemektedir.

Bir diğer incelenen önemli konu ise eğimli yüzeylerde tabaka ayrılması sorunudur. Parametrelerin çokluğu ve anlam kargaşası olmaması adına Çizelge 5.16'da 5mm çapında 0.1mm/dev ilerleme oranında, 1500 dev/dak iş mili devrinde ve 0°-90° elyaf yönelim açısındaki deliklerin tabaka ayrılması görüntüleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde eğim açısının artışı beraberinde tabaka ayrılmasında bir artış meydana getirmiştir. Çünkü Şekil 5.21'de verildiği gibi kesici takımın kesme kenarlarının melzemeye simetri bir şekilde işlememektedir. Takım girişte tek kesme kenarı ile işleme başladığında bu bölgedeki lifler yukarı doğru çekilir ve ilk tabaka ayrılmasını başlatır. Diğer kesme kenarının boşta kalması ile birlikte yükteki kesme kenarında kuvvet artışı gerçekleşir ve bu artışta tabaka ayrılmasını iletir. Aynı durumlar delik çıkışı içinde geçerlidir. Fakat delik çıkışında düz yüzeyli kompozitlerde de olduğu gibi elyaflara binen itme kuvvetindeki artış ile beraber daha fazla tabaka ayrılması meydana gelir.

Çizelge 5.16: Ø5 mm çapındaki deliğin sabit ilerleme ve iş mili devrinde delik girişinde ve çıkışında oluşan tabaka ayrılması.

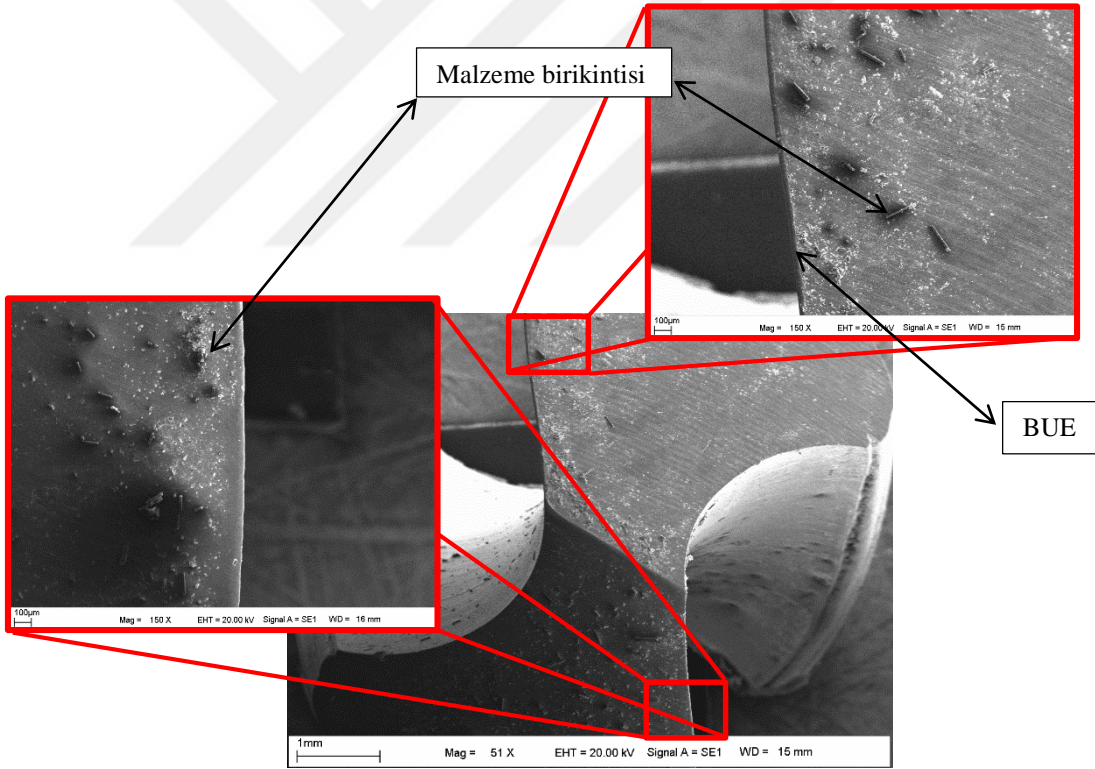
Delme eğim açısı	Delik girişi	Delik çıkışı
15°		
30°		
45°		

5.4. Takım Aşınması

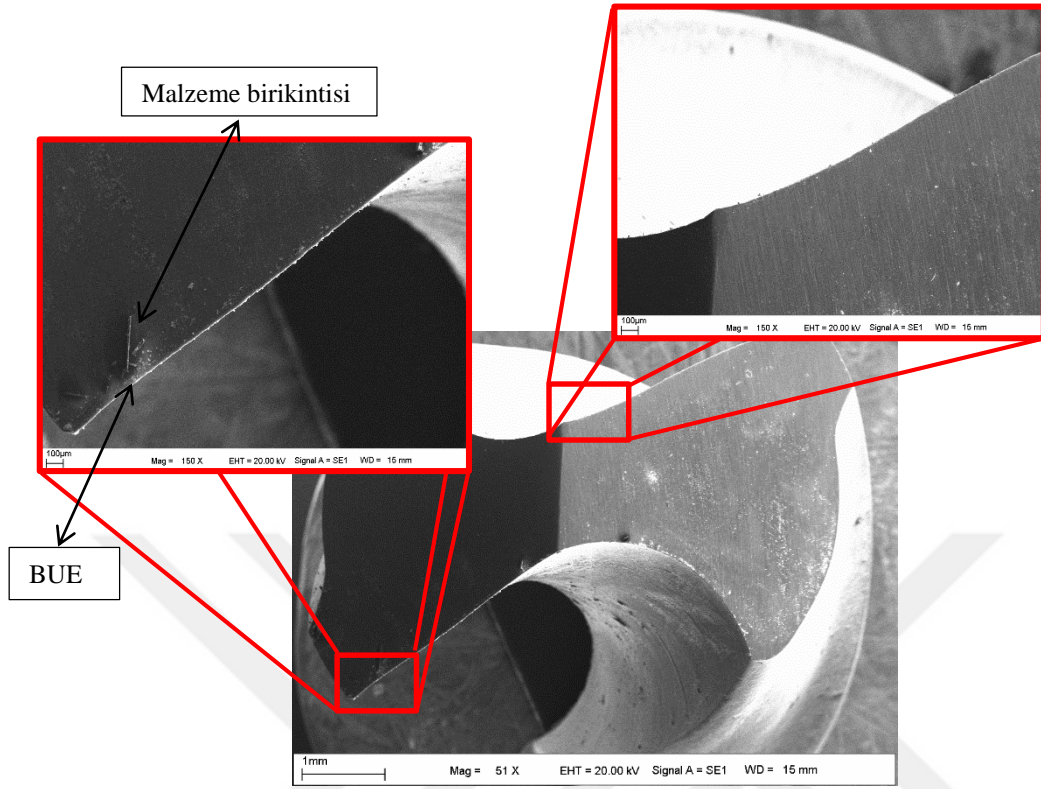
Takım aşınması gerek yüzey kalitesi ve delaminasyonlar konusunda en etkin parametrelerden biridir. Bu tez çalışmasında bu etkiyi en aza indirmek amacıyla herbir delik için bir takım kullanılmıştır. Fakat buna rağmen takım üzerinde çeşitli aşınma türleri oluşmuştur. Deney parametrelerinin çokluğundan dolayı kritik değerlere sahip olan 0°-90° elyaf yönelim açılı kompozitte 1500dev/dak iş mili devri, 0.1 mm/dev ilerleme ve 15° delik eğim açısına sahip deliklerde kullanılan matkaplar incelendi. Ø5 mm matkap çapında oluşan takım aşınmaları Şekil 5.23'de, Ø7.5 mm takım çapında oluşan takım aşınmaları Şekil 5.24'de ve son olarak Ø10 mm matkap çapında oluşan aşınmalar ise Şekil 5.25'de verildi.

Görüntüler incelendiğinde her 3 matkap çapı içinde takım serbest yüzeylerinde işlenen malzeme birikimi görülmektedir. bu aşınma türü yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkilemektedir. Yüzeyde biriken malzeme malzemeyi keserken titreşimler yaratır ve bu titreşimlerde yüzeyde girinti çıkıntılara sebep olur. Ayrıca görüntülerden BUE aşınma oluşumunda her 3 matkap çapında da görüldü. Bu aşınma türü kompozitlerde sık karşılaşılan durumdur. Çünkü kesme kenarı reçine ile temasa geçtikten sonra ısınan reçine cam partikülleri ile birlikte kesici kenara yapışmaktadır. Yapışan bu malzeme kalıntılarında kesici kenarın kompozit ile temasını azaltarak daha pürüzlü bir yüzey oluşturur.

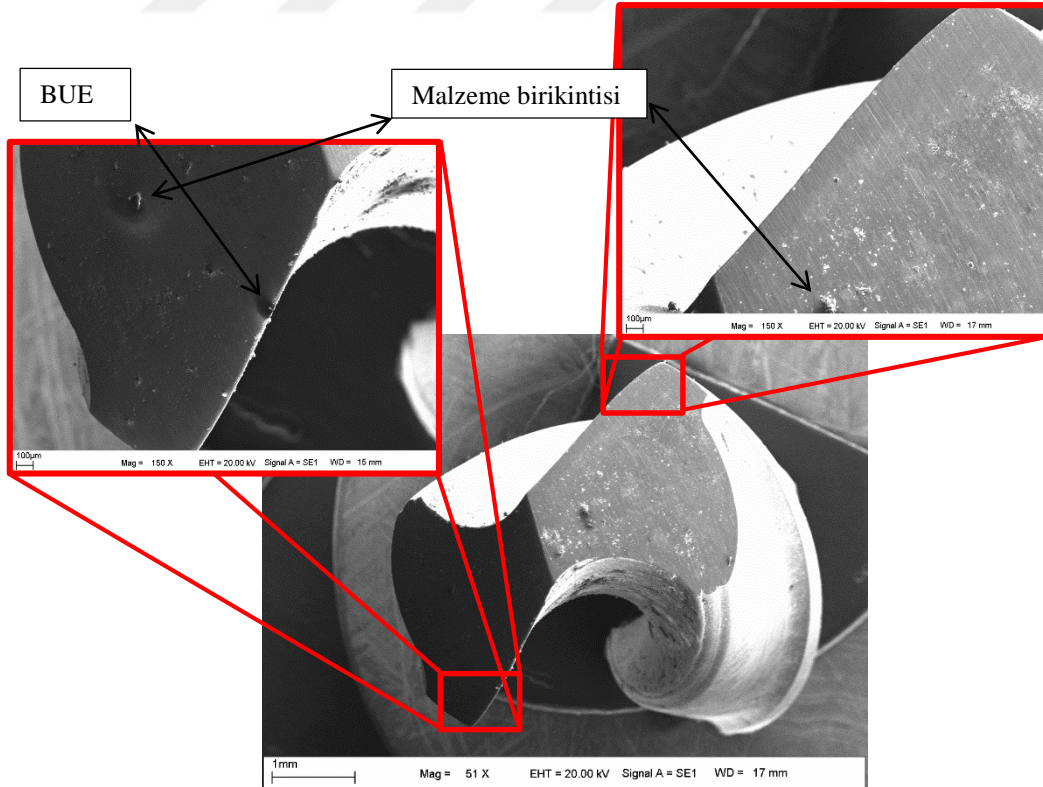
Ayrıca üç matkap çapında da oluşan aşınmalar kıyaslandığında en çok BUE aşınması her üçünde de oluşsa da en az Ø10 mm matkap çapında görülmektedir. Malzeme birikintisi ise en çok Ø5 mm matkap çapında görüldü.



Şekil 5.23: Ø5 mm matkapta oluşan aşınma türleri.



Şekil 5.24: Ø7.5 mm matkapta oluşan aşınma türleri.



Şekil 5.25: Ø10 mm matkapta oluşan aşınma türleri.

6. SONUÇLAR

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler serbest yüzey formunda üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerde delik delinmesi sonucu oluşan delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü hesaplanmıştır. Yapılan deneylerde ilerleme miktarı, iş mili hızı, takım çapı, elyaf yönelim açıları ve delik eğim açılarının delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan deney sonuçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- İlerleme ve iş mili devrinin delaminasyondaki etkisi fazladır. En düşük delaminasyon 0.1 mm/dev ilerleme ve 1500 dev/dak iş mili devrinde elde edilmiştir.
- Takım çapının artması delaminasyonu arttırıcı yönde etkisi görülmüştür.
- 0°-90° ve 45°-45° elyaf yönelimli kompozitlerde aynı delme parametreleri üzerinden değerlendirildiğinde en düşük delaminasyon 0°-90° elyaf yönelim açısında elde edilmiştir.
- Serbest şekilli yüzey üzerinde seçilen üç farklı eğim açısının (15°, 30° ve 45°) delaminasyon üzerine etkisi incelendiğinde eğim açısının artması ile delaminasyonun arttığı gözlemlenmiştir. En düşük delaminasyon ise 15° elde edilmiştir.
- Bütün faktörler toplu olarak incelendiğinde delaminasyona etkiyen faktörler iş mili devri, eğim açısı, ilerleme, takım çapı ve elyaf yönelim açısı olarak sıralanabilir.
- İlerleme oranı ve iş mili hızı devri pürüzlülüğü üzerinde etki göstermiş ve en düşük yüzey pürüzlülüğü 0.1 mm/dev ilerleme ve 1000 dev/dak iş mili devrinde hesaplanmıştır.
- Takım çapının artması pürüzlülüğü ciddi anlamda azaltmıştır.
- Elyaf yönelim açısı ve delik eğim açısında yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi önemli miktardadır. Eğim açısının artması yüzey kalitesini azaltmıştır.
- Bütün bu sonuçlar dikate alınarak en düşük delaminasyon; 0.1 mm/dev ilerleme oranı, 1500 dev/dak iş mili devri, Ø5 mm takım çapı, 15° delik eğim açısı ve 0°-90° elyaf yönelim açısında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise 0.1 mm/dev ilerleme oranı, 1000 dev/dak iş mili devri, Ø10 mm takım çapı, 15° delik eğim açısı ve 0°-90° elyaf yönelim açısında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]Url-1 < <http://re-coma.com/ctp/kompozit-tarihçesi/> >, date retrieved 03.10.2019.
- [2]Akdemir, A. (1992). *Yüzey çatlaklı cam takviyeli plastiklerde gerilmeli korozyon* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3]Singh, A. P., Sharma, M., & Singh, I. (2013). A review of modeling and control during drilling of fiber reinforced plastic composites. *Composites Part B: Engineering*, 47, 118-125.
- [4]Liu, D., Tang, Y., & Cong, W. L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates. *Composite structures*, 94(4), 1265-1279.
- [5]Uhlmann, E., Mullany, B., Biermann, D., Rajurkar, K. P., Hausotte, T., & Brinksmeier, E. (2016). Process chains for high-precision components with micro-scale features. *CIRP Annals*, 65(2), 549-572.
- [6]Caprino, G. B. A. U. D. N., & Tagliaferri, V. B. A. U. D. S. (1995). Damage development in drilling glass fibre reinforced plastics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35(6), 817-829.
- [7]Mishra, R., Malik, J., Singh, I., & Davim, J. P. (2010). Neural network approach for estimating the residual tensile strength after drilling in uni-directional glass fiber reinforced plastic laminates. *Materials & Design*, 31(6), 2790-2795.
- [8]Geng, D., Zhang, D., Li, Z., & Liu, D. (2017). Feasibility study of ultrasonic elliptical vibration-assisted reaming of carbon fiber reinforced plastics/titanium alloy stacks. *Ultrasonics*, 75, 80-90.
- [9]Özdemir, B. (2015). *Serbest şekilli yüzeylerin işlenmesinde işleme parametrelerinin form hatalarına etkilerinin incelenmesi* (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [10]Fernández-Pérez, J., Díaz-Álvarez, J., Miguélez, M. H., & Cantero, J. L. (2021). Combined analysis of wear mechanisms and delamination in CFRP drilling. *Composite Structures*, 255, 112774.
- [11]Arun, K., Kannan, C. R., & Stalin, B. (2020). The effect of cryogenically treated drilling tool on GFRP composite drilling holes-A comparative study. *Materials Today: Proceedings*
- [12]Seo, J., Banerjee, N., Kim, Y., Kim, DC ve Park, HW (2020). Termal etkiler dahil karbon fiber takviyeli plastiklerin delme kuvvetlerinin deneysel ve analitik incelenmesi. *Üretim Süreçleri Dergisi* , 58 , 1126-1137.
- [13]Khashaba, UA (2003, Mayıs). GFR-termoset kompozitlerin delinmesinde delaminasyon. In *Uzay Bilimleri Uluslararası Konferansı ve Havacılık Teknolojisi* (Vol. 10, No. 10. Uluslararası Konferans On Uzay Bilimleri & Havacılık Teknolojisi, s. 461-481). Askeri Teknik Koleji.

- [14] **Baraheni, M., Tabatabaeian, A., Amini, S., & Ghasemi, A. R.** (2019). Parametric analysis of delamination in GFRP composite profiles by performing rotary ultrasonic drilling approach: experimental and statistical study. *Composites Part B: Engineering*, 172, 612-620.
- [15] **Shahkhosravi, NA, Yousefi, J., Najfabadi, MA, Minak, G., Hosseini-Toudeshky, H. ve Sheibanian, F.** (2019). Akustik emisyon ve sonlu eleman teknikleri kullanılarak yüksek hızlı delinmiş kompozit malzemenin statik mukavemet ve hasar değerlendirmesi. *Mühendislik Kırılma Mekaniği* , 210 , 470-485.
- [16] **Agwa, M. A., & Megahed, A. A.** (2019). New nonlinear regression modeling and multi-objective optimization of cutting parameters in drilling of GFRE composites to minimize delamination. *Polymer Testing*, 75, 192-204.
- [17] **Velaga, M., & Cadambi, R. M.** (2017). Drilling of GFRP composites for minimising delamination effect. *Materials Today: Proceedings*, 4(10), 11229-11236.
- [18] **Khashaba, UA ve El-Keran, AA** (2017). İnce dokuma cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin delme analizi. *Malzeme İşleme Teknolojisi Dergisi* , 249 , 415-425.
- [19] **Karimi, NZ, Heidary, H., Fotouhi, M. ve Minak, G.** (2017). Delme işleminden sonra sıkıştırmaya tabi tutulan GFRP laminatlarının deneysel analizi. *Kompozit Yapılar* , 169 , 144-152.
- [20] **Ramesh, B., Elayaperumal, A., Satishkumar, S., Kumar, A., Jayakumar, T., & Dinakaran, D.** (2016). Influence of cooling on the performance of the drilling process of glass fibre reinforced epoxy composites. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16, 135-146.
- [21] **Nasir, AA, Azmi, AI ve Khalil, ANM** (2015). Delinmiş keten elyaf takviyeli kompozitlerin artık gerilme mukavemeti ve delaminasyon hasarının ölçümü ve optimizasyonu. *Ölçüm* , 75 , 298-307.
- [22] **Bonnet, C., Poulachon, G., Rech, J., Girard, Y., & Costes, J. P.** (2015). CFRP drilling: Fundamental study of local feed force and consequences on hole exit damage. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 94, 57-64.
- [23] **Çelik, A., Lazoglu, I., Kara, A., & Kara, F.** (2015). Investigation on the performance of SiAlON ceramic drills on aerospace grade CFRP composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 223, 39-47.
- [24] **Khashaba, U. A., El-Sonbaty, I. A., Selmy, A. I., & Megahed, A. A.** (2010). Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part I– Effect of machining parameters. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(3), 391-400.
- [25] **Díaz-Álvarez, A., Díaz-Álvarez, J., Feito, N., & Santiuste, C.** (2021). Drilling of biocomposite materials: Modelling and experimental validation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 106, 102203.

- [26] **Chegdani, F., Mezghani, S., & El Mansori, M.** (2016). On the multiscale tribological signatures of the tool helix angle in profile milling of woven flax fiber composites. *Tribology International*, 100, 132-140.
- [27] **Devi, G. R., & Palanikumar, K.** (2019). Analysis on drilling of woven glass fibre reinforced aluminium sandwich laminates. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(1), 1024-1035.
- [28] **Gemi, L., Morkavuk, S., Köklü, U., & Gemi, D. S.** (2019). An experimental study on the effects of various drill types on drilling performance of GFRP composite pipes and damage formation. *Composites Part B: Engineering*, 172, 186-194.
- [29] **Su, F., Zheng, L., Sun, F., Wang, Z., Deng, Z., & Qiu, X.** (2018). Novel drill bit based on the step-control scheme for reducing the CFRP delamination. *Journal of Materials Processing Technology*, 262, 157-167.
- [30] **Khanna, N., Desai, K., & Sheth, A.** (2018). Industry supported experimental studies on drilling of thick multi-directional GFRP composite material. *Procedia CIRP*, 77, 320-323.
- [31] **Qiu, X., Li, P., Li, C., Niu, Q., Chen, A., Ouyang, P., & Ko, T. J.** (2018). Study on chisel edge drilling behavior and step drill structure on delamination in drilling CFRP. *Composite Structures*, 203, 404-413.
- [32] **Feito, N., Díaz-Álvarez, J., López-Puente, J., & Miguelez, M. H.** (2018). Experimental and numerical analysis of step drill bit performance when drilling woven CFRPs. *Composite Structures*, 184, 1147-1155.
- [33] **Heidary, H., Karimi, N. Z., & Minak, G.** (2018). Investigation on delamination and flexural properties in drilling of carbon nanotube/polymer composites. *Composite Structures*, 201, 112-120.
- [34] **Kumar, D., & Sing, K. K.** (2017). Experimental analysis of delamination, thrust force and surface roughness on drilling of glass fibre reinforced polymer composites material using different drills. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7618-7627.
- [35] **Akhil, K. T., Shunmugesh, K., Aravind, S., & Pramodkumar, M.** (2017). Optimization of drilling characteristics using grey relational analysis (GRA) in glass fiber reinforced polymer (GFRP). *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1812-1819.
- [36] **Bilge, T., Motorcu, A. R., & Ivanov, A.** (2017). Kompakt laminat kompozit malzemenin tungsten karbür takımlarla delinmesinde delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4).
- [37] **Sundaram, RK, Sivashanmugam, N., Shameer, D., Deepak, R. ve Saikrishnan, G.** (2020). Polimer matris kompozit malzemeler üzerinde mekanik özelliklerin ve delme özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Bugünkü Malzemeler: Bildiriler* .

- [38] **Anand, RS ve Patra, K.** (2017). CFRP kompozit laminatların mikro delinmesi için mekanik kesme kuvveti modellenmesi. *CIRP Üretim Bilimi ve Teknolojisi Dergisi* , 16 , 55-63.
- [39] **Zhang, B., Wang, F., Wang, Q., & Zhao, X.** Karbon Fiberle Güçlendirilmiş Plastik sondajında delik çıkışında çapak oluşturma mekanizmalarını ve çatlamayı ortaya çıkarmak için yeni fiber kırılma kriterleri. *Malzeme İşleme Teknolojisi Dergisi* , 289 , 116934.
- [40] **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.
- [41] **Rao, G. V. G., Mahajan, P., & Bhatnagar, N.** (2007). Micro-mechanical modeling of machining of FRP composites–Cutting force analysis. *Composites science and technology*, 67(3-4), 579-593.
- [42] **Ramulu, M.** (1997). Machining and surface integrity of fibre-reinforced plastic composites. *Sadhana*, 22(3), 449-472.
- [43] **Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I.** (2019). Recent progress of reinforcement materials: A comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6354-6374.
- [44] **Url-3** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit_malzemeler>, date retrieved 03.10.2019.
- [45] **Url-4** <<http://accluster.com/kompozit-malzemelerinin-kullanim-alanlari/>>, date retrieved 03.10.2019.
- [46] **Kaya, A. İ.** (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- [47] **Vatangül, E.** (2008). *Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ansys 10 programı ile ısıl gerilme analizi.*(Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- [48] **Kösedağ, E., & Ekici, R.** (2019). *Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Darbe Davranışları Üzerine Bir Derleme. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 384-393.
- [49] **Url-5** <<https://www.metalurjik.net/kompozit-malzemelerin-siniflandirilmesi>>, date retrieved 03.10.2019.
- [50] **Beşergil B.** (2016). *Kompozitler Temel İlkeler*. Ankara
- [51] **Khashaba, U. A., Seif, M. A., & Elhamid, M. A.** (2007). Drilling analysis of chopped composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(1), 61-70.
- [52] **Arul, S. V. L. M. S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S. K., & Krishnamurthy, R.** (2006). The effect of vibratory drilling on hole quality in polymeric

composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(3-4), 252-259.

- [53] **Norcahyo, R., Soepangkat, B. O. P., & Effendi, M. K.** (2019, June). Minimization of the hole entry and hole exit delamination on drilling process of carbon fiber reinforced polymer using BPNN-PSO. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2114, No. 1, p. 060005). AIP Publishing LLC.
- [54] **Gläbe, R., & Riemer, O.** (2010, May). Diamond machining of micro-optical components and structures. In *Micro-Optics 2010* (Vol. 7716, p. 771602). International Society for Optics and Photonics.
- [55] **Kayihan, M.** (2019). *Yüksek performanslı hibrit kompozitlerde delik delme işleminin deneysel ve analitik olarak* (Master's thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [56] **Chen WC.** (1997). Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates, *International J Mach Tools Manufacturing*, 37(8): 1097–1108.
- [57] **Faraz, A., Biermann, D., & Weinert, K.** (2009). Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(15), 1185-1196.
- [58] **Geng, D., Liu, Y., Shao, Z., Lu, Z., Cai, J., Li, X., ... & Zhang, D.** (2019). Delamination formation, evaluation and suppression during drilling of composite laminates: a review. *Composite Structures*, 216, 168-186.
- [59] **Url-6** <https://tr.wikipedia.org/wiki/Y%C3%BCzey_p%C3%BCr%C3%BCzI%C3%BC%C4%9F%C3%BC>, date retrieved 03.10.2019.
- [60] **Akkurt M.** (2012). *Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi CNC Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu*. İstanbul.
- [61] **Url-5** <<https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/wear-on-cutting-edges.aspx>>, date retrieved 03.10.2019.
- [62] **Kılıçkap, E.** (2003). Al Si7 Mg2/SiCp Metal Matriksli Kompozitlerin Talaşlı İşlenmesinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- [63] **Bayraktar, Ş., Çamkerten, Ç., & Salihoğlu, N.** (2020). Bakır ve Silisyum İlavelerinin Al-25Zn Alaşımının CVD Al2O3 Kaplamalı Takımlarla Tornalanmasında İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1), 79-93.
- [64] **Bosco, M. A. J., Palanikumar, K., Prasad, B. D., and Velayudham, A.** 2013. Influence of machining parameters on delamination in drilling of GFRP-armour steel sandwich composites. *Procedia Engineering*, 51, 758-763.

- [65] **Rahme, P., Landon, Y., Lachaud, F., Piquet, R., and Lagarrigue, P.,** 2015, Delamination-free drilling of thick composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 72, 148-159. induced delamination of carbon fiber reinforced composites. *Composite Structures*, 105, 126-133.
- [66] **Levent, A.** (2019). *Bilgisayar destekli geometrik tasarımda geçiş eğrileri / Transition curves in computer aided geometric design* (Master's thesis, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [67] **BAHÇE, E., & ÖZDEMİR, B.** (2020). ANALYZING THE EFFECTS OF DIFFERENT TOOL PATHS ON FORM ERRORS IN THE MILLING OF FREEFORM SURFACES. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 38(3).



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: SERKAN YASAKCI

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA

Lisans: İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü (2011-2015)

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2017-)

Yayın Listesi:

S. Yasakcı, E. Bahçe (2018) “Kompozit Malzemelerin Delinmesinde Kullanılan Parametrelerin Delaminasyon Ve Pürüzlülüğe Etkisi”, Uluslararası Türk Dünyası Araştırmaları Sempozyumu, Afyon / Turkey (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

M. Can, S. Koluçık, E. Bahçe, **S. Yasakcı** (2018).”Distal Femur Anatomik Plağının Sea İle Statik Yük Altında Test Edilmesi Ve Hasta Üzerindeki Plakla Karşılaştırılması”, Uluslararası Türk Dünyası Araştırmaları Sempozyumu Afyon / Turkey (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

E. Bahçe, **S. Yasakcı**, D. Karaman (2019) “Farklı Elyaf Yönlendirmeli Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitlerde Delaminasyonun İncelenmesi”, III. International Battalgazi Scientific Studies Congress, Malatya / Turkey (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

E. Bahçe, **S. Yasakcı**, D. Karaman (2019) “Farklı Elyaf Yönlendirmeli Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitlerde Frezeleme Sonrası Yüzey Kalitesinin İncelenmesi”, 2. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Adıyaman / Turkey (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)