



**ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN
DELİNMESİ SIRASINDA OLUŞAN
DEFORMASYONLARI ÖNLEMELİK ÜZERE BİR
METOT GELİŞTİRİLMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Aydın Alperen EROL

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa BOZ**

**ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNMESİ
SIRASINDA OLUŞAN DEFORMASYONLARI ÖNLEMELİK ÜZERE BİR
METOT GELİŞTİRİLMESİ**

Aydın Alperen EROL

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa BOZ**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2024**

Aydın Alperen EROL tarafından hazırlanan “ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNMESİ SIRASINDA OLUŞAN DEFORMASYONLARI ÖNLEMEK ÜZERE BİR METOT GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa BOZ
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Doç. Dr. Abdullah Onur ÖZDEMİR (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa BOZ (GÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman YAŞİN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Aydın Alperen EROL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN DELİNMESİ SIRASINDA OLUŞAN DEFORMASYONLARI ÖNLEMELİK ÜZERE BİR METOT GELİŞTİRİLMESİ

Aydın Alperen EROL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Ocak 2024, 76 sayfa

Günümüzde enerji kaynaklarının sınırlı olması ve alternatif güç kaynaklarının performans açısından yetersizliği, taşıtlarda ağırlık azaltma çalışmalarını ön plana çıkarmıştır. Çevre sorunlarına yönelik artan hassasiyetle birlikte zararlı emisyonların azaltılması da önem kazanmıştır. Bu bağlamda, plastik malzemelerin hafifliği, otomotiv sektöründe plastik türevi kullanımını teşvik etmektedir. Plastik malzemelerin mukavemet ve verimlilik değerlerini artırmak amacıyla takviye elemanları ile güçlendirilerek kompozit malzemeler elde edilmektedir. Endüstriyel parçaların birleştirilmesi amacıyla malzemelere delik delinmesi işlemi, yaygın bir imalat yöntemidir. Kompozit malzemelerin delinmesi malzeme kesitinde deformasyona, yüzey kalitesinin bozulmasına ve mukavemet kaybına neden olabilir. Bu deformasyonlar, elyaf takviyeli polimer kompozit bileşenlerinin performansını ve yapısal bütünlüğünü olumsuz yönde etkiler. Bu çalışmada, termoplastik kompozit

delinmesinde oluşan deformasyonları en aza indirmek için yenilikçi bir fiktür tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu çalışmada, sürekli cam elyaf takviyeli polyamid-6 kompozit levhalar kullanılmış ve standart matkapta delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen fiktür yardımıyla delik girişine farklı tutma kuvvetleri uygulanmış, farklı matkap dönüş hızı ve matkap ucu çaplarının deformasyonlara etkileri araştırılmıştır. Delme işlemi sonrası numunelerde meydana gelen delaminasyon ve yüzey deformasyonları incelenmiştir. Tutma kuvveti artışı delaminasyonların azalmasına katkıda bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler : Delaminasyon, Delik delme, Saçaklanma, Termoplastik kompozit levha.

Bilim Kodu : 91512

ABSTRACT

Master Thesis

DEVELOPING A METHOD TO PREVENT DEFORMATIONS OCCURRED DURING THE DRILLING OF FIBER-REINFORCED POLYMER COMPOSITES

Aydın Alperen EROL

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa BOZ

January 2024, 76 pages

The limited availability of energy resources and the inadequacy of alternative power sources in terms of performance have brought weight reduction efforts to the forefront in vehicles today. With the increasing sensitivity to environmental issues, reducing harmful emissions has also become crucial. In this context, the lightweight nature of plastic materials encourages the use of plastic derivatives in the automotive sector. Composite materials are obtained by reinforcing plastic materials with reinforcement elements to increase their strength and efficiency. Drilling holes in materials for the assembly of industrial components is a common manufacturing method. The drilling of composite materials can lead to deformation, surface quality deterioration, and strength loss in the material section. These deformations adversely affect the performance and structural integrity of fiber-reinforced polymer composite

components. In this study, an innovative fixture has been designed and manufactured to minimize deformations during the drilling of thermoplastic composite laminates. Continuous glass fiber-reinforced polyamide-6 composite laminates were used in this study, and drilling operations were carried out with a standard drill. Different holding forces were applied to the hole entrance with the developed fixture, and the effects of different drill rotation speeds and drill bit diameters on deformations were investigated. Delamination and surface deformations occurring in the specimen after the drilling process were examined. An increase in holding force contributed to a reduction in delamination.

Key Words : Delamination, Drilling, Burrs, Thermoplastic composite laminates.

Science Code : 91512

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tez sürecimde destekleri için tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa BOZ hocama ve 10 yıldır mühendislik alanında üzerimde var olan emeği'nin yanı sıra tez sürecimin planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve destekleri için Doç. Dr. Abdullah Onur ÖZDEMİR hocama, aileme ve deneylerimi gerçekleştirmemde imkanlarından yararlandığım Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'ne tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	7
LİTERATÜR	7
1.1 KOMPOZİT MALZEMELER	7
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	8
1.1.2 Kompozit Malzeme Bileşenleri	9
1.1.2.1 Matriks Malzemeler	9
1.1.2.2 Takviye Elemanları	12
1.2 PLASTİKLER	15
1.2.1 Plastiklerin Özellikleri	17
1.2.2 Plastik Çeşitleri	18
1.2.2.1 Termosetler	18
1.2.2.2 Termoplastikler	18
1.2.2.3 Elastomerler	19
1.2.2.4 Elyaf lar.....	19
1.3 KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNMESİ	19

Sayfa

1.4 ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MATKAP İLE DELİNMESİNDE OLUŞAN DELAMİNASYONLAR.....	22
1.5 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	23
BÖLÜM 3	34
MATERYAL VE METOT	34
3.1 MALZEME	34
3.1.1 Delme Testi.....	35
3.1.1.1 Matkap	35
3.1.1.2 Kesme parametreleri	36
3.1.1.3 Kesme hızı.....	36
3.1.1.4 İlerleme hızı	37
3.2 DENEYSEL ÇALIŞMA	37
3.2.1 Deney Tasarımının Oluşturulması	38
3.2.2 Deney Düzenineğinin Kurulumu	43
3.2.3 Deneylerin Yapılması	44
3.2.4 Kalınlık Ölçümü	45
3.2.5 Hasar Görüntülüne.....	46
BÖLÜM 4	48
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	48
4.1 DELAMİNASYON	49
4.2 YÜZEY KALİTESİ.....	58
BÖLÜM 5	65
SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Otomotiv endüstrisinin kompozit pazar payı [7]	3
Şekil 1.2.	Kompozit malzeme bileşenleri	4
Şekil 1.3.	Giriş ve çıkış delaminasyonları [13]	5
Şekil 2.1.	Matriks fazına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [18]	9
Şekil 2.2.	Takviye fazına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [32].....	12
Şekil 2.3.	Sürekli elyaf takviyeleri [18]	13
Şekil 2.4.	Süreksiz elyafların şematik görünümü [18].....	13
Şekil 2.5.	Tabakalı kompozitlerin ayrıık görünümü [17].....	15
Şekil 2.6.	Polyamid-6 zinciri [39]	16
Şekil 2.7.	Doğal elyafla güçlendirilmiş polimer kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyonlar [65].....	23
Şekil 3.1.	Elyaf takviyeli termoplastik kompozit levha [97]	34
Şekil 3.2.	Delme işlemi [52]	35
Şekil 3.3.	Matkap ve geometrisi [98]	36
Şekil 3.4.	Kompozit delme fikstürü	39
Şekil 3.5.	Kovan.....	39
Şekil 3.6.	Bilyalı rulman	40
Şekil 3.7.	Tabla	40
Şekil 3.8.	Basma Yayısı.....	41
Şekil 3.9.	Pul	41
Şekil 3.10.	Silindirik saplı HSS matkap ucu.....	42
Şekil 3.11.	Numune tutma çerçevesi.....	42
Şekil 3.12.	Deney düzeneği (1- Hız kademe kolu, 2- Hız Ayarı, 3- İlerleme adım ayarı, 4- Hareket kolu, 5- Otomatik ilerleme kolu, 6- Mandren, 7- Fikstür, 8- Yükseklik ayar kolu)	43
Şekil 3.13.	Delme noktaları ve geometrisi.....	44
Şekil 3.14.	Bir grup numune	44
Şekil 3.15.	Kalınlık değeri ölçülen noktalar	45
Şekil 3.16.	Dijital mikrometre.....	46
Şekil 3.17.	Işık mikroskobu	47

Sayfa

Şekil 4.1.	Delik çevresinde yüzde kalınlık değişimi (min: D=8 mm, n=900 dev/dak, F=600 N, max: D=16 mm, n=224 dev/dak, F=35 N)	50
Şekil 4.2.	Delme çapının delaminasyona etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)	51
Şekil 4.3.	Farklı delik çaplarında 224 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyon (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N).....	52
Şekil 4.4.	Farklı delik çaplarında 900 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyon (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N).....	52
Şekil 4.5.	Tutma kuvvetinin delaminasyona etkisi (a: n=224 dev/dak, b: n=900 dev/dak)	53
Şekil 4.6.	Tutma kuvvetinin 224 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyona etkisi (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)	54
Şekil 4.7.	Tutma kuvvetinin 900 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyona etkisi (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)	55
Şekil 4.8.	Matkap dönüş hızının delaminasyona etkisi	56
Şekil 4.9.	8 mm delik çapında matkap dönüş hızını etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F:600 N)	56
Şekil 4.10.	12 mm delik çapında matkap dönüş hızını etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F:600 N)	57
Şekil 4.11.	16 mm delik çapında matkap dönüş hızını etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F:600 N)	58
Şekil 4.12.	Delik çapı artışının 224 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)	59
Şekil 4.13.	Delik çapı artışının 900 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)	60
Şekil 4.14.	Tutma kuvvetinin 224 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkileri (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)	61
Şekil 4.15.	Tutma kuvvetinin 900 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkileri (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)	62
Şekil 4.16.	Matkap dönüş hızının 8 mm deliklerde yüzey kalitesine etkileri (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)	63
Şekil 4.17.	Matkap dönüş hızının 12 mm deliklerde yüzey kalitesine etkileri (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)	63
Şekil 4.18.	Matkap dönüş hızının 16 mm deliklerde yüzey kalitesine etkileri (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2-1. Bazı kompozit takviye elemanlarının özelliklerinin karşılaştırılması [35].....	14
Çizelge 3-1. Deney tasarımı	38
Çizelge 4-1. Kalınlık değişimi sonuçları.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
Cm	: santimetre
Cu	: bakır
Dak	: dakika
f	: devir başına ilerleme
g	: gram
GPa	: gigapaskal
Mg	: magnezyum
Mm	: milimetre
MPa	: megapaskal
N	: matkap dönüş hızı
Ti	: titanyum
V _c	: kesme hızı
V _f	: ilerleme hızı

KISALTMALAR

FRP : Fiber Reinforced Plastic (Elyaf Takviyeli Polimer)

ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)

TS : Türk Standardı

Al₂O₃ : Alüminyum Oksit

AlCrN : Alüminyum Krom Nitrür

CO₂ : Karbondioksit

D : Takım Çapı

Dev : Devir

EOL : Ömür Sonu

HSM : Yüksek Hızlı İşleme

HSS : Yüksek Hız Takım Çeliği

PAN : Poliakrilonitrilden

PBO : Polibenzoksazol

PVC : Polivinil Klorür

Si₃N₄ : Silikon Nitrür

SiC : Silisyum Karbür

WC : Tungsten Karbür

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Taşıt parçalarının imal edileceği malzemelerin seçimine ilişkin kararlar, yalnızca ürün çalışma koşulları göz önünde bulundurularak değil, aynı zamanda ekonomik gerçekler de dikkate alınarak verilir [1]. Bununla birlikte, çevre korumaya ilişkin gereksinimlerin de karşılanması gerekmekte ve otomobil üreticileri, mümkün olan en geniş ölçüde geri dönüştürülebilir malzemeler kullanmak ve zararlı emisyonları azaltmak amacıyla taşıtın yakıt tüketimini azaltmak için sürekli araştırmalar gerçekleştirmektedirler.

Mevcut ve gelecekteki atık yönetimi ve çevre mevzuatı, ömrünü tamamlamış otomobiller, rüzgar türbinleri ve uçaklar gibi ürünlerden tüm mühendislik malzemelerinin uygun şekilde geri kazanılmasını ve geri dönüştürülmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Geri dönüşüm, kaynak ve enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Mühendislik malzemelerinin geri dönüşümü, endüstriyel süreçlerin sürdürülebilirliğine ve sürdürülebilir gelişimine katkı sağlamaktadır. Günümüzde metaller, cam, termoplastikler gibi mühendislik malzemeleri büyük ölçüde geri dönüştürülmektedir [2].

Avrupa Birliği parlamentosunun ömrünü tamamlamış araçlar [3] ve atık elektrikli ve elektronik ekipmanlar ile ilgili olarak yayımladığı yeni çevre mevzuatı, gerçek malzeme geri dönüşümünü gerçekleştiren geri dönüşüm tekniklerine yönelik talebin artmasını sağlamaktadır [4].

Sürüş güvenliğinin iyileştirilmesi, taşıt gövdesinin, fren sisteminin ve takip sisteminin güçlendirilmesi gerekliliğini içerir. Bunun sonucunda, taşıt daha özel ve karmaşık hale

gelir, ve ağırlığı kaçınılmaz olarak artar. Bu da daha yüksek yakıt tüketimine ve daha fazla egzoz gazı emisyonuna yol açar [1].

Elektrikli taşıt şasisi ve gövdesinin boş ağırlığını azaltmak, bataryalardan dolayı artan ağırlığı dengelemek ve maksimum menzili artırmak için taşıtlarda hafifletilmiş yapısal malzemelerin kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Artan uygulama yelpazesine sahip yeni malzemeler arasında kompozitler, metal köpükler ve aşınmaya karşı yüksek dirençli kaplamalar sayılabilir.

Kompozit malzemeler, daha düşük ağırlığa karşılık yüksek mukavemet, uzun ömür, düşük bakım gereksinimi özelliklerinin yanı sıra, ulaşım sektöründe enerji tüketimini ve çevreye olan zararlı etkiyi (CO₂) önemli ölçüde azaltmak için birçok mühendislik uygulamasında tercih edilmektedir.

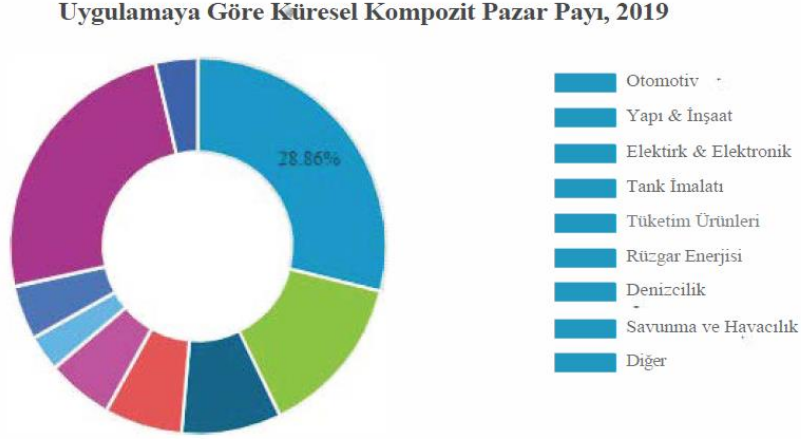
Savunma ve havacılık endüstrisi kompozit malzemelerin kullanımına öncülük etmiştir. Günümüzde çoğu uçağın ağırlığının %50'den fazlası kompozitlerden oluşmaktadır.

Otomobillerdeki ağırlık tasarrufu teknolojisinin gelişmesi, yakıt verimliliğinin artması için oldukça önemlidir. Endüstriyel uygulamalarda büyük bir hacme sahip olan otomotiv endüstrisinde, gövde, iç aksam, şasi, kaporta ve elektrik aksamalarının yapımında, kompozit malzemelerin kullanımı çok hızlı bir şekilde artmaktadır [2]. Ayrıca, kompozit malzemeler, spor ve dinlenme tesislerinde, tekne ve gemi yapımında, rüzgar türbin kanatlarında ve açık denizde petrol ve gaz arama sahalarında da kullanılmaktadır.

Kompozitler, yarış arabaları, otobüsler, yüksek hızlı trenler, binek otomobiller ve ticari araçlar dahil olmak üzere tüm otomotiv endüstrisinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır [5].

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi otomotiv endüstrisi günümüzde kompozit kullanımının %28'ini oluşturarak en büyük kullanıcı konumundadır. Yeni taşıt modellerinde

kompozitlerin kullanımı giderek artmaktadır. Avrupa'da bir aracın ortalama plastik ağırlık içeriği yaklaşık 120 kg'dır ve bunun yaklaşık %20'si kompozit malzemedir [6].



Şekil 1.1. Otomotiv endüstrisinin kompozit pazar payı [7]

Kompozitler, ortalama bir binek otomobilin ağırlığının 200 kg'dan fazla düşürülmesine katkıda bulunabilmektedir. Bu ağırlık tasarrufu, yakıt ekonomisine dönüşür. Bu gelişme, Avrupa'da her yıl üretilen 17 milyondan fazla otomobille çarpıldığında çok büyük bir çevre tasarrufu anlamına gelmektedir [6].

Otomotiv endüstrisinde daha sürdürülebilir yapılara geçiş, yalnızca daha yaşanabilir bir çevre ve maliyet verimliliğine yönelik bir girişim değil, aynı zamanda Avrupa düzenlemelerinin bir gerekliliğidir. Sürdürülebilirlik ile maliyeti dengelemenin bir başka yolu da, kompozitlerde yenilenebilir malzemeler kullanılmasıdır.

Çeşitli taşıt üreticilerinden mühendisler, tamamen gelişmiş bir kompozit taşıt gövdesinin, mevcut benzer boyuttaki metal alaşımlı malzeme gruplarıyla imal edilmiş bir taşıt gövdesinden %50-67 daha hafif olabileceğini tahmin etmektedir.

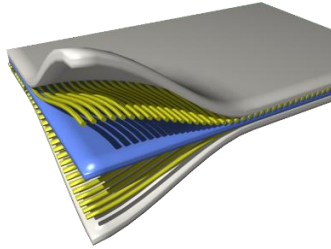
Kompozit malzemelerin ve kompozit malzemedan parça imalatı süreçlerinin geliştirilmesine yönelik kapsamlı Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

Kompozit malzemeler genel olarak, üç tip olarak geliştirilmekte ve çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır: polimer matriks kompozitler (PMK), metal matriks kompozitler (MMK) ve seramik matriks kompozitler (SMK). Takviye

tiplerine göre kompozitler, partikül takviyeli kompozitler, kısa lif takviyeli kompozitler ve sürekli elyaf takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılabilir.

Tüm kompozit malzeme türleri içinde polimer matriksli kompozitlerin uygulama alanı oldukça geniştir ve endüstriyel uygulamaların üçte ikisini termoset kompozitler oluşturur. Ancak, son yıllarda termoplastik kompozitlerin endüstrideki payı hızla büyümektedir [2]. Otomotiv endüstrisi %30'un üzerinde ve havacılık endüstrisi %20'nin üzerinde değer bazlı paya sahip olan iki ana uygulama sektörüdür.

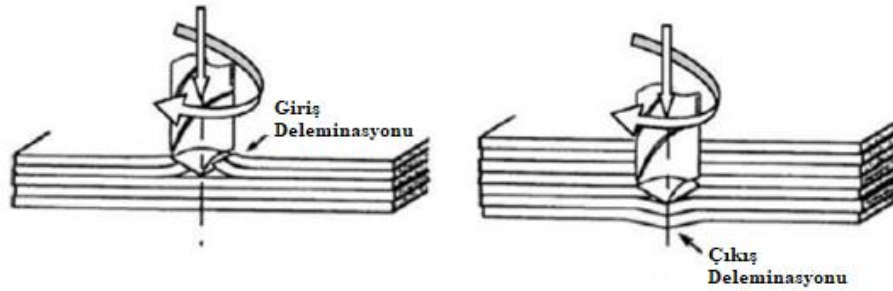
Termoplastikler düşük yoğunluk, kolay işlenebilirlik, süneklik ve bükülebilirlik gibi özelliklerini kompozit yapıda gösterirler. Termoplastik kompozitler düz levha haline getirilebilmeleri, oda sıcaklığında katı halde bulunabilmeleri ve uzun süre yarı mamul olarak depolanabilmeleri nedeniyle seri üretim endüstrilerinde kullanım açısından büyük potansiyele sahiptir [8]. Bu potansiyele ulaşmaları için işleme ve uygulamalara yönelik çeşitli araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu durumun sebebi Şekil 1.2'de de görüldüğü üzere kompozit malzemelerin tabiatları gereği homojen olmadıklarından işlenebilirlik özelliklerinin kötü olmasıdır [9]. Bu özelliğin sebep olduğu sorunlar arasında işlem sırasında matriks malzemesinin ısınmadan etkilenmesi, matriksin çatlaması, takım malzemelerin hızla aşınması, takviye fazının ayrılması, yüzey pürüzsüzlüğü ve delaminasyon gibi problemler bulunmaktadır [10]. Kompozit malzemelerin mekanik dayanımı ne kadar hesaplanabilir olursa olsun, montaj bölgesinde açılacak deliklerden kaynaklanan hasar veya pürüzlülük nedeniyle malzemenin çalışma ömrü önemli ölçüde etkilenebilir [11].



Şekil 1.2. Kompozit malzeme bileşenleri

Çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılan kompozit malzemelerin delinmesi esnasında oluşan delaminasyonlar, bu parçaların belirli bir bölümünün kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır [12].

Kompozit levha malzemelerin delinmesi sürecinde karşılaşılan deformasyonların başında delaminasyon (tabakalar arası ayrılma) gelmektedir. Delaminasyonlar, matkap uç kısmının elyaf takviyeli kompozite uyguladığı itme kuvveti sebebiyle talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan çekme kuvvetinin etkisiyle oluşmaktadır. Kompozit numune üzerinde oluşan delaminasyonlar sebebiyle işlenen elyaf takviyeli kompozit malzemenin direnci önemli miktarda düşmektedir. Şekil 1.3'te kesici takım ucunun kompozit parçayı delme işlemi esnasında giriş ve çıkış katmanlarında sebep olduğu delaminasyonlar gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Giriş ve çıkış delaminasyonları [13]

Delik delme en önemli geleneksel mekanik işlemlerden birisidir. Örneğin havacılık endüstrisinde, çoğunlukla perçinli yapısal bağlantıların kullanılması nedeniyle büyük miktarlarda deliklerin açılması gerekir. Kompozit malzemelerin kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında malzemeye uygulanacak her bir imalat işleminin mümkün olan en iyi optimizasyonda yapılması gerekir. Bu alandaki mevcut araştırma çabalarının önemli bir kısmı, en uygun kesme parametreleri veya takım geometrileri gibi önemli süreç optimizasyonu konularına ayrılmıştır.

Bu çalışmada, termoplastik kompozit levhaların delinmesi esnasında oluşan deformasyonları en aza indirmek için bir yardımcı fikstür tasarlanmış ve imal edilmiştir. Çalışmada, 3mm kalınlığa sahip sürekli cam elyaf ile güçlendirilmiş polyamide 6 kompozit levhalar kullanılmıştır. Öncelikle standart delme işlemlerindeki

delaminasyonlar tespit edilmiştir. İki farklı dönüş devri ve üç farklı çapta matkap kullanılmıştır. Ayrıca tasarlanan fikstür yardımıyla delik çevresinde baskı oluşturacak farklı yükler altında delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delaminasyon kusurunun tespiti için kesit kalınlık dağılımı çıkarılmış, ışık mikroskopunda görüntüleme yapılmıştır. Görüntülemeler ve makro ölçekli fotoğraflar karşılaştırılarak yüzey kalitesinin değişimi incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

2.1. KOMPOZİT MALZEMELER

Önemli ölçüde farklı fiziksel veya kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşen malzemenin bir araya getirilmesi ile bileşen elementlerden farklı özelliklere sahip yeni malzemeye kompozit adı verilir. Bu geliştirme, kompozit malzemeyi, tek tek malzemenin sahip olduğu özelliklerle karşılaştırıldığında üstün kılar [14].

Günümüzde en yaygın kompozit malzeme türü bir matriks içine gömülmüş takviye düzenlemelerinden oluşmaktadır. Matriks, bileşenleri bir arada tutarak bir bütünü oluşturur ve kompozitin maruz kaldığı gerilmeler ile yükün bir bütüne yayılmasını sağlar. Kompozit malzemeler heterojen bir yapıya sahiptir ve genellikle anizotropik özellik gösterir. Matriksin ve yükün doğası, yükün şekli ve oranı, ara yüzeyin kalitesi ve kullanılan üretim süreci, kompozit malzemenin özelliklerini etkileyebilecek parametrelerdir. Matriks ve takviye metalik, seramik veya plastik olabilir, bu da çok sayıda kombinasyonun oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Kompozit malzemede matriks sürekli faz ve takviye süreksiz faz olarak adlandırılır. Farklı yapılarda birkaç süreksiz faz olması durumunda, kompozitin hibrit olduğu söylenmektedir. Kompozit malzemelerde tamamlayıcı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bileşenler bir araya getirilmektedir. Bir polimer matrikse çok yüksek gerilme mukavemetine sahip takviyelerinin eklenmesi, mekanik ve termal kalitelerin iyileştirilmesini mümkün kılmaktadır. Polimer matriksli kompozitler, daha düşük yoğunluk, dolayısıyla daha düşük yakıt tüketimi (havacılık ve otomobil için), rekabetçi sporlarda daha yüksek hız ve karmaşık şekilli parçaların üretimine izin veren üretim süreci sayesinde metallere kıyasla daha avantajlıdır.

20. yüzyılın ortalarında ortaya çıkan kompozit malzemeler, günümüzde modern teknolojinin en önemli araştırma konularından biridir. Gelecek vaat eden özellikleri, havacılık, otomotiv, inşaat, spor, medikal gibi endüstriyel alanlardaki uygulamalar için uygun hale getirir. Bu malzemeler, yüksek mukavemet / ağırlık oranı, kimyasallara, yangına, korozyona ve aşınmaya karşı dirençli olmaları gibi yapısal ve mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte üretimi de ekonomiktir [14].

Yüksek mukavemet ve yüksek sertlik ile düşük yoğunluğun kombinasyonu, havacılık ve rüzgar endüstrilerinin yanı sıra başka uygulamalar için de caziptir. Örneğin, kompozit malzemeler, spor branşlarında daha hafif, daha güçlü ve daha sert ekipmanlar sağlayarak birçok spor dalında farklılıklar yaratmaktadır. Spor ekipmanı örnekleri arasında da kompozit sırtla atlama direkleri, golf sopası şaftları, kanolar, rüzgar sörfü direkleri ve tahtaları, hokey sopaları, oltalar ve bisikletler yer almaktadır [5].

2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Bir kompozit malzemenin bileşenleri, özelliklerini etkilediğinden, bunların sınıflandırılmasını ve farklı özelliklerini ayrıntılı olarak incelemeye ihtiyaç vardır [15]. Karışımlardan ve katılardan farklı olarak, kompozit malzemenin bileşenleri karışmaz, çözünmez veya bireysel özelliklerini kaybetmeler. Kompozit malzemenin özelliklerini iyileştirmek için özelliklerini birleştirir ve olumlu yönde katkıda bulunur [16]. Mikroskopla incelendiğinde kompozit malzemelerin yapısındaki farklı bileşenlerin özellikleri belirlenebilir [17].

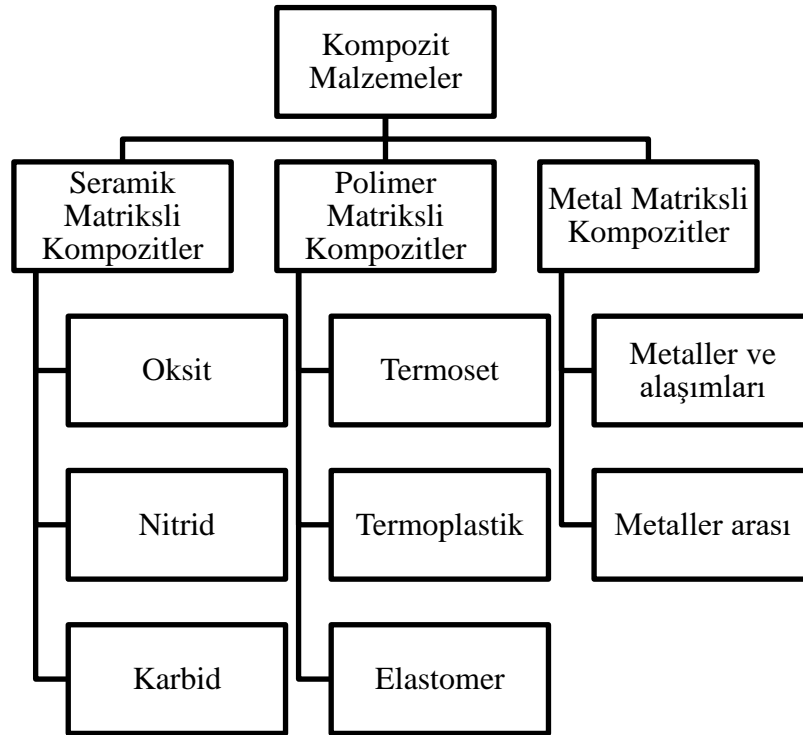
Kompozit malzemeler genel olarak, üç tip olarak geliştirilmekte ve çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır: polimer matriks kompozitler (PMK), metal matriks kompozitler (MMK) ve seramik matriks kompozitler (SMK). Takviye tiplerine göre kompozit malzemeler, partikül takviyeli kompozitler, elyaf takviyeli kompozitler ve tabakalı kompozitler olarak sınıflandırılabilir.

2.1.2. Kompozit Malzeme Bileşenleri

Kompozit bileşeninde matriks ve takviye elemanı olarak en az 2 malzeme bulunmaktadır. Bu bileşenler matrikslerine ve takviye elamanlarına göre sınıflandırılmaktadırlar.

2.1.2.1. Matriks Malzemeler

Matriks malzemeler metal, seramik ve polimer malzemelerden meydana gelebilir. Kompozit malzemeler matriks yapılarına göre Şekil 2.1’de gösterildiği gibi sıralanabilir [18].



Şekil 2.1.Matriks fazına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [18]

Metal malzemeye seramik takviye elemanının eklenmesi ile elde edilen metal matriks kompozitler, yüksek direnç ve tokluk, iyi darbe özellikleri, yüksek mukavemet, aşınmaya karşı dirençli olma ve yüksek yüzey pürüzlülük özellikleri gösterirler [19]. Polimer matriks malzemelere göre metal matriks kompozit malzemeler daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Seramik

matriks kompozit malzemelere göre de daha iyi kırılma tokluğuna ve kolay imal edilebilirliğe sahiptirler.

Seramik matriksli kompozit malzemeler ise yüksek sıcaklıklara dayanıklı, hafif malzemelerdir. Bu sebeple oldukça kullanılırdırlar. Genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemeler için kullanılırlar [19]. Sert ve kırılğan oldukları için düşük tokluk ve düşük süneklik özelliklerine sahiptirler. Çoğunlukla liflerle takviye edilirler. Ayrıca iyi bir yalıtkan malzemedir.

Polimer matriksli kompozit malzemeler genellikle petrokimya esaslı malzemelerdir ve oldukça geniş kullanım alanları vardır. Korozyona dirençli ve uzun ömürlü olmalarının yanı sıra işlenebilirliğe ve şekillendirilmeye uygun malzemelerdir. Termoset ve termoplastik olarak ikiye ayrılırlar.

Termosetler sıvı fazda bulunurlar ve genellikle lif takviyeli kompozitlerde kullanılırlar [20]. Termoplastikler ise sünek malzemelerdir ve ısı ile yumuşatılabilir, eritilerek yeniden kullanılabilir ve soğuduklarında ise katılaşırlar. Bu özellikleri sayesinde termoplastikler yeniden şekillendirilebilirler.

2.1.2.2. Polimer Matriksli Kompozitler (PMK)

PMK'ler, karbon, cam, kevlar ve metal elyafların bir araya getirildiği, termoset veya termoplastik matrikslerle oluşturulan kompozit malzemelerdir [21-26]. Termoset malzemeler, yüksek mukavemetleri ve yüksek sıcaklıklara karşı dirençleri sebebiyle termoplastiklere göre daha yaygın bir şekilde tercih edilmektedir [26]. PMK'ler, basit imalat yöntemleri ve kullanım kolaylığı sayesinde daha ucuz maliyetlendirilebilen kompozitlerdir.

Tipik elyaf takviyeleri, cam elyafı, karbon elyafı ve poliaramid elyaflarından oluşur. Cam elyaf, düşük maliyeti, hazır bulunabilirliği ve kimyasal inertliği nedeniyle büyük hacimli, düşük performanslı uygulamalar için popülerdir. Tipik olarak poliakrilonitrilden (PAN) veya zift öncülerinden yapılan karbon elyaf, çok yüksek özgül mukavemeti ve yükseltilmiş sıcaklık performansı sayesinde gelişmiş yüksek

performans uygulamaları için en yaygın kullanılan takviyedir. Poliaramidler yaygın olarak kevlar adıyla tanınmaktadır. Yüksek toklukları ile bilinen bu polimer lifler, yüksek darbe dayanımı istenen çeşitli kompozitlerde kullanılmaktadır. Diğer elyaf takviyeleri arasında yüksek moleküler ağırlıklı polietilen, polibenzoksazol (PBO), boron, kuvars ve silisyum karbür bulunur [5].

Polimer matriks, yükü taşıyan liflere gerilim aktarma görevi görmektedir. Bunun bir sonucu olarak, liflerdeki kusurlar, diğer yük taşıyan liflerden izole edilmektedir. Bu durum takviye fazının daha yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerine sahip olmasını sağlamaktadır.

2.1.2.3. Seramik Matriksli Kompozitler (SMK)

SMK'ler, seramik matriks yapısının içine gömülmüş şekilde ve genellikle Karbon, Silisyum Karbür (SiC), Alüminyum Oksit (Al_2O_3), Silikon Nitrür (Si_3N_4) liflerinden oluşan seramik türüdür [21]. Monolitik seramiğin dezavantajı olan kırılabilirliğin üstesinden gelmek için tasarlanmıştır. Matriksin kopma geriliminin elyafların kopma gerilimine göre daha düşük olması nedeniyle; SMK'lere ters kompozitler denir. Çoğu polimer veya metal matriksli kompozitlerde bu durum farklıdır. Bu sebeple, yük altında, kırılabilir alyafın daha çabuk hasar görmesini önlemek için daha önce bozulan matrikstir [27].

2.1.2.4. Metal Matriksli Kompozitler (MMK)

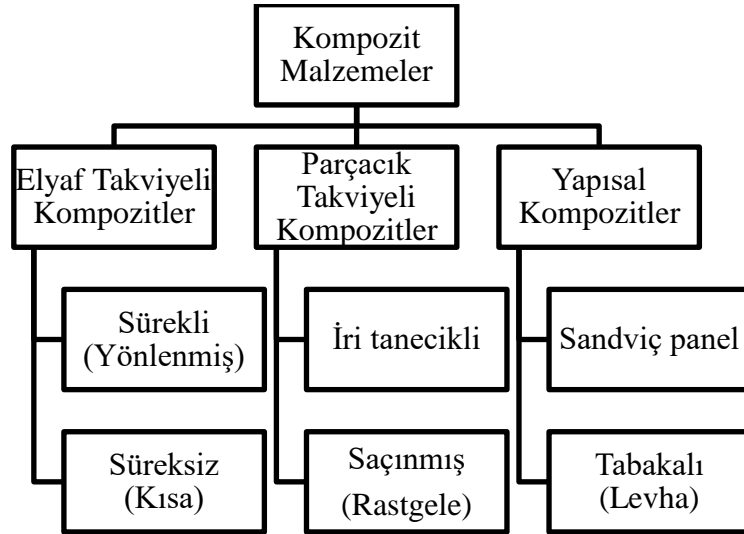
MMK'lerin matriks malzemeleri metaliktir (Al, Mg, Cu ve Ti). Takviye malzemesi, kompozit malzemenin genel hacminin yaklaşık %50'sini çeşitli yüzeylerde artırır [28]. Alüminyum tabanlı MMK'ler, arzu edilen nitelikler arasında geliştirilmiş dayanıklılık, optimize edilmiş sertlik, yoğunluk azaltımı, kontrol edilmiş termal genişleme ve geliştirilmiş aşınma direnci sağlamak amacıyla SiC ve Al_2O_3 gibi takviye bileşenleri erimiş Al ile hızlıca ve basit bir şekilde karıştırılıp, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [29, 30]. MMK'lerin sahip oldukları yüksek rijitlik ve aşındırıcı yapıları nedeniyle işleme sırasında yüksek takım aşınma

oranları sebebiyle genellikle geleneksel olmayan işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu işleme tekniklerinde takım ve malzeme arasında temas yoktur [31].

2.1.2.5. Takviye Elemanları

Kompozit malzemeler takviye elemanlarına göre üç grupta incelenebilir. Bunlar elyaf takviyeli kompozitler, partikül takviyeli kompozitler ve tabakalı kompozitlerdir.

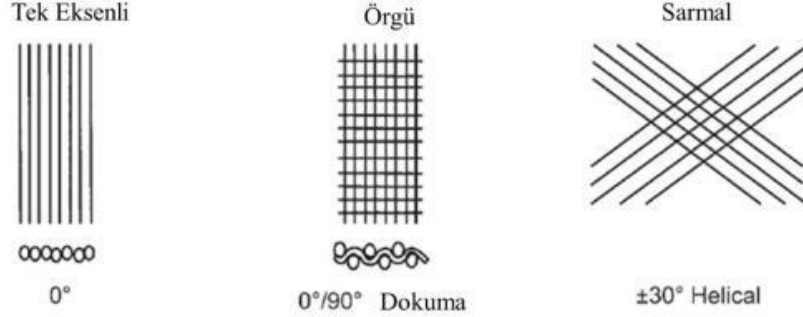
Elyaf takviyeli kompozit malzemeler adından da anlaşılacağı gibi takviye elemanı olarak elyaf kullanılan malzemelerdir. Takviye elemanına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.2’de gösterilmektedir [32]. Bir malzemenin elyaf olarak kabul edilebilmesi için bazı uygun şartları barındırması gereklidir. Uzunluk/kalınlık oranının en az 10/1 değerinde olması gerekir. En büyük kesit alanının 0,05 mm²’ den küçük ve en büyük genişliğinin 0,25 mm’den küçük olması gerekir. Çeşitli sektörlerde birçok elyaf çeşidi kullanılmaktadır [33]. Bunlardan en sık kullanılanları arasında cam elyaflar, karbon elyaflar ve aramid elyaflar gösterilebilir.



Şekil 2.2. Takviye fazına göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması [32]

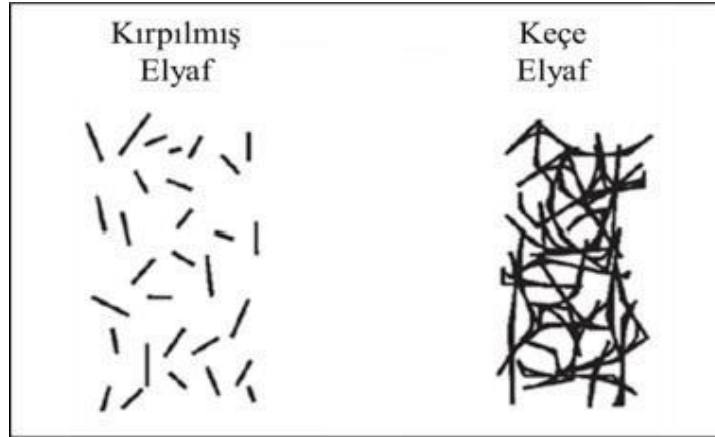
Elyaf takviyeli kompozitlerin yapısında en sık kullanılan örgü biçimi sürekli elyaf uygulamasıdır. Sürekli elyaflı kompozit malzemelerde istenilen yüksek dayanım ve sertlik özelliklerinin elde edilmesi için yapıda yaklaşık %65 hacimde elyaf olması gerekir. Daha yüksek elyaf oranına sahip malzemelerde elyaflardaki lifleri destekleyebilen oldukça az matriks elemanı vardır [18]. Bu sebeple elyaf hacmi sınırı

%70 civarındadır. Sürekli elyaf takviyeleri üç temel gruba ayrılmıştır. Bunlar aşağıdaki Şekil 2.3’de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Sürekli elyaf takviyeleri [18]

Süreksiz elyaflar, sürekli elyaflara göre daha uzun boy oranlı lif uzunluklarına sahiptir. Süreksiz elyaflar rastgele yönlendirilmiş yapıdadır. Süreksiz elyaflar, sürekli elyaflara göre daha az maliyettedir [18]. Maliyetin ön planda olduğu durumlarda süreksiz elyaflar tercih edilir ancak yüksek mukavemet değerleri ve sertlik isteniyorsa tercih sürekli elyaflar olmalıdır. Süreksiz elyaf türlerinin şematik görünümü aşağıdaki Şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Süreksiz elyafların şematik görünümü [18]

Matriks genellikle süneklik, şekillendirilebilirlik ve termal iletkenlik gibi belirli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip nispeten yumuşak bir faz olarak görülür [34]. Matriks takviyesinde yüksek mukavemet, yüksek rijitlik ve düşük termal genişlemeye

sahip malzemeler gömülüdür. Bu nedenle kompozitlerdeki takviye fazı, malzemeye uygulanan yükü taşıdığı için genellikle matriksten daha güçlü ve serttir [14].

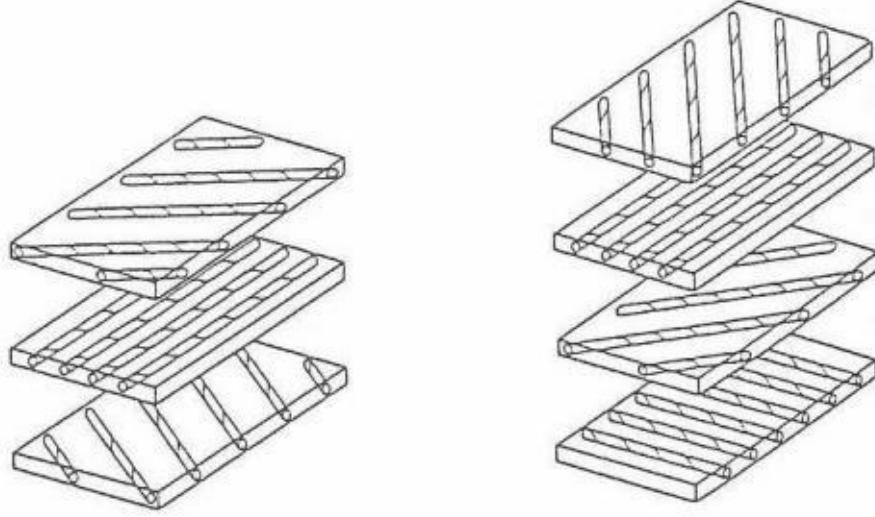
Endüstride en çok kullanılan elyaf çeşidi cam elyaftır. Bunun sebebi ekonomik olmalarıdır. Cam elyaflar endüstriye ilk çıktıklarında A-glass olarak imal edilmeye başlanmıştır. Günümüzde mekanik özellikleri daha iyi ve gelişmiş olan bor silikat camı olarak adlandırılan E-glass'lar öne çıkmaktadır. Cam elyaflar yüksek çekme ve darbe dayanımına sahip malzemelerdir [33]. Aşağıdaki Çizelge 2.1'de bazı kompozit takviye elemanları ve metallerin özelliklerinin karşılaştırılması verilmektedir.

Çizelge 2-1. Bazı kompozit takviye elemanlarının özelliklerinin karşılaştırılması [35]

Ürün Türü	Temel Özellikler		
	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastik Modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
Karbon (Orta Seviye Modülü)	5300	270-325	1,8
Karbon (Yüksek Modül)	3500	325-440	1,8
Aramid (Yüksek Modül)	3100	120	1,45
E-Cam	2400	69	2,5
S-Cam	3450	86	2,5
Alüminyum Alaşım (7020)	400	69	2,7
Paslanmaz Çelik (A5-80)	800	196	7,8
Sert Çelik (17/4 H900)	1241	197	7,8

Partikül takviyeli kompozitlerde takviye elemanı olarak küçük parçacıklar kullanılır. Metal ve ametal takviye elemanlarının yine metal ve ametal matrikslerle kombinasyonu şeklinde üretilmektedirler. Bu kompozitlerde kullanılan takviye elemanının dislokasyon hareketlerine engel olmak için sert ve kararlı yapıda olması gereklidir. Partikül takviyeli kompozitlere örnek olarak sementte karbürler, abrazyivler (aşındırıcılar) ve elektrik kontak malzemeleri verilebilir [33].

En az iki tabakanın bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzemelere tabakalı kompozitler adı verilir. Farklı özellikte ve farklı yapıda tabakalar kullanılabilir. Bunlara metal tabakalı, cam tabakalı, plastik tabakalı ve ahşap tabakalı kompozitler örnek olarak verilebilir. Tabakalı kompozit malzemelerin ayrıık görünümü aşağıdaki Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Tabakalı kompozitlerin ayrıık görünümü [17]

2.2. PLASTİKLER

Plastik terimi, 'kalıplamaya uygun' anlamına gelen Yunanca bir kelime olan 'plastikos'tan türetilmiştir. Bu terim, bir malzemenin dökümünü, ekstrüzyonunu veya çoklu şekillerde preslenmesini sağlayan şekillendirilebilirliğini veya işlenebilirliğini ifade eder [36]. Polietilen, naylon ve polivinil klorür (PVC) gibi organik polimerler, plastiğin ana bileşenleridir. Bu plastik türleri, yumuşak bir biçimde kalıplanabilir ve elastik veya sert şekiller oluşturmak için değiştirilebilir [37].

Malzemenin kullanılacağı şartlar, o şartlardaki sıcaklık parametreleri, malzemenin mekanik özelliği, ürünün imal edilebilirliği, geri dönüştürülebilme ve tekrar kullanılabilme özellikleri plastik malzemelerin kullanım alanlarını belirler. Plastik malzemelerin bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır:

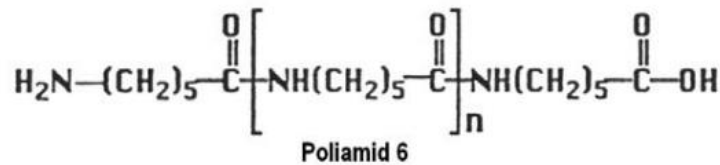
1. Düşük yoğunluk özelliğine sahiptir.

2. İmal etmek için ihtiyaç duyulan çalışma sıcaklıkları metallere göre düşüktür. Bu da daha az enerji ihtiyacı demektir.
3. İşçilik maliyetleri düşüktür.
4. Farklı renklerde işlenebilirler.
5. Yüksek korozyon direncine sahiptirler.
6. Düşük elektrik iletkenliğine sahiptirler.

Avantajlarının yanı sıra plastikler bazı dezavantajlara da sahiptirler. Plastik malzemelerin bazı dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

1. Sınırlı yükleme şartlarına sahiptirler.
2. Seramik ve metal malzemeler ile karşılaştırıldığında daha düşük mukavemete sahiptirler.
3. Elastisite modülleri düşüktür.
4. Çalışma sıcaklıkları düşüktür.

Günümüzde polimer ve plastik kavramları çok karıştırılmaktadır. Plastik malzemelerin ana maddesine polimer adı verilir [38]. Polimerin farklı özelliklere sahip olması istendiğinde çeşitli katkı malzemeleriyle dönüştüğü son haline plastik adı verilir. Aşağıdaki Şekil 2.6'da bir polimer olan Polyamid 6'nın zincir yapısı görülmektedir.



Şekil 2.6. Polyamid-6 zinciri [39]

Günümüzde kompozit malzemeler, farklı endüstriyel sektörlerde kullanılmakta ve bu nedenle çevrede ciddi plastik atık birikimine neden olmaktadır. Polimer kompozitler için ömür sonu (EOL) işlemleri zorunludur [40], çünkü bu malzemeler kolaylıkla bertaraf edilemez. Polimer kompozitler için benimsenen geri dönüşüm metodolojilerinin iki önemli avantajı vardır. İlk olarak, geri dönüşüm teknikleri polimer kompozit malzemelerin atık tüketimini kontrol eder. İkincisi, polimer

kompozit malzemelerin geri dönüşümünde ihtiyaç duyulan enerji, geleneksel imalat tekniklerine göre oldukça düşüktür.

Plastikler düşük yoğunlukludur. Kısa süreli kimyasal dirence sahiptirler, ancak termal kararlılıktan yoksundurlar ve çevresel bozulmaya (özellikle güneş ışığının foto-kimyasal etkilerinden kaynaklanan) karşı yalnızca orta derecede dirençlidirler.

2.2.1. Plastiklerin Özellikleri

Plastikler, çok yönlü yapıları ve üstün malzeme özellikleri nedeniyle günlük hayatımıza ve endüstriyel gelişimimize büyük katkı sağlayan malzemelerdir [41]. Güçleri ve dayanıklılıklarının yanı sıra, plastiklerin düşük maliyetli ve seri üretim kolaylığı endüstride plastiklerin tercih edilmesini sağlamaktadır.

Plastik malzemelerin bazıları sert bir yapıya, bazıları yumuşak bir yapıya sahiptir. Her malzemenin belli bir plastikleşme sıcaklığı vardır. Plastikleşme sıcaklığının altında sert ve kırılabilir bir yapıya sahiptirler. Plastikleşme sıcaklığının üzerinde ise yumuşak ve esnekler. Plastikleşme sıcaklığına malzemenin camsı geçiş sıcaklığı adı verilir. Camsı geçiş sıcaklığı her plastik için farklılık gösterir [42]. Plastiklere daha sert ya da daha yumuşak bir yapı kazandırmak için bazı katkı maddeleri eklenir.

Plastik malzemeler seramikler, metaller ve camlara göre daha yumuşak bir yapıdadır. Plastifiyanın miktarı ve sıcaklığın artırılmasıyla termoplastik malzemelerin sertliği azalır. Termosetler ise dolgu maddelerinin eklenmesinden sonra sert bir yapıya kavuşurlar. Termosetlerde sıcaklık artırma işlemi ile sertlik miktarı oldukça azalır [43].

Ağırlığın önemli bir faktör olduğu yerlerde plastik malzemeler kullanılır. Çünkü plastik malzemelerin yoğunluk değerleri $0,9-2,5 \text{ g/cm}^3$ arasındadır [43].

2.2.2. Plastik Çeşitleri

Plastiklerin kullanım sırasında gösterdikleri özelliğe göre üç ana grupta ayırmak mümkündür. Bunlar termosetler, termoplastikler, ve elastomerlerdir [44]. Aşağıdaki başlıklarda plastik çeşitlerine değinilmiştir.

2.2.3. Termosetler

Termoset plastikler, zincirleri arasında yoğun çapraz bağ bulunan malzemelerdir. Isı ile eritilemezler ve yüksek sıcaklıklarda bozunma gösterirler. Termosetler sıcaklık ve basınç ile sertleştirilirler ve geri dönüşü olmayan bir yapıya dönüşürler [45]. Fenoplastlar, aminoplastlar, polyester kalıplama bileşimleri, silikon reçineleri, melamin formaldehit, üre formaldehit, poliüretan ve epoksi reçineleri günümüzde ticari olarak sıklıkla kullanılmakta olan termosetlerdir.

2.2.3.1. Termoplastikler

Termoplastikler birçok kez ısıtılıp sertleştirilebilir malzemelerdir. Bu malzemeler soğutulduklarında şekillendirilmiş olurlar. Paketleme ve ambalaj sektöründe kullanılan plastik ürünlerin yaklaşık %97'sini oluştururlar [46]. Polietilen, polistiren, polipropilen, polietilen tereftalat, polyamid, polikarbonat, akrilonitril bütadien stiren ve polivinil klorür günümüzde sıklıkla kullanılan termoplastiklerdir.

Termoplastik malzemeler arasında en sık kullanılanlardan biri Polyamid - 6'dır. Polyamid 6, dayanıklılığı, mukavemeti ve işlenebilirliği sayesinde otomotiv endüstrisinde kıt depoları, rezervuarlar, borular, borular, karbüratör, enjektörler, manifoldlar gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [47].

Termoplastiklerin yeniden kullanıma dönüştürülmelerini belirleyen özellikleri ısıtılmaları, yumuşamaları ve yeniden şekillendirilebilir olmalarıdır [46].

2.2.3.2. Elastomerler

Elastomerlerin molekül zincirleri, termosetlerdeki gibi çapraz bağlarla bağlanmıştır. Elastomerler ve termosetler, birbirlerini takip eden çapraz bağların sayısı ve çokluğu ile birbirinden ayrılır [48].

Doğal kauçuklar yapısal özellikleri gereği yüksek elastikiyet özellikleri gösterebilmektedir. Kauçuksal özellikler gösteren plastik malzemelere elastomer adı verilir [45].

2.2.3.3. Elyafar

Elyafar, boy çap oranları ciddi boyutta farklılık gösteren yapılarıdır. Elyafardaki liflerin çaplarının oldukça küçük olması sebebiyle yüksek mukavemet özelliği sağlarlar [17]. Elyafarda lifin çapı ne kadar küçükse dayanımı o oranda yüksek olur. Ancak lifin çapı küçüldükçe elyaf maliyeti de aynı oranda yükselir. Küçük çaplı ve yüksek dayanımlı lifler daha fazla esnekliğe sahiptir.

Lifler, yük taşıyan ana elemanlardır. Liflerin çevresindeki matriks elemanı lifleri istenilen yerde ve yönde tutar. En çok kullanılan elyaf çeşitlerinden bazıları cam, aramid ve karbon elyafarıdır [17]. Bu elyafar matriks elemanının içinde sürekli veya süreksiz olarak bulunabilirler.

En sık kullanılan elyafardan biri olan cam elyafar oldukça hafif, güçlü ve mukavemeti yüksek malzemelerdir. Dayanım özellikleri karbon elyafara göre düşük olsa da daha az kırılma eğilimine sahiptirler ve maliyeti daha uygundur. Cam elyafarın dayanımı metaller ile karşılaştırıldığında ise oldukça avantajlıdır ve daha kolay şekillendirilebilirler.

2.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNMESİ

Geleneksel üretim tekniklerinde mekanik kuvvet kullanılırken, modern üretim uygulamalarında mekanik, kimyasal, elektrokimyasal ve termal enerjiler dahil olmak

üzere çeşitli enerji türlerinden yararlanılır [47, 49]. Günümüzde gelişmiş mikro ve makro işleme prosedürleri, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde havacılık, otomotiv ve kalıplama uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır [50]. Bu yöntemlerin tamamı ülkemizde benimsenmese de dünya çapında çok sayıda modern üretim tekniği yaygın olarak uygulanmaktadır.

Havacılık, savunma ve ulaşım endüstrisi, yüksek özgül mukavemet, yüksek sertlik ve korozyon direncine sahip kompozit malzemelerin potansiyelini ilk fark eden endüstri olmuştur. Tüm işleme operasyonları arasında, helisel matkapla delme, yapısal montajları perçinlemek ve sabitlemek için delikler oluşturmak en yaygın yöntemdir [51]. Delme, silindirik delikler oluşturmak amacıyla iş parçasından talaş kaldırmak için kullanılan bir kesici aletin uyguladığı bir yöntemi ifade eder. Delme işlemi, genellikle dönen ve aksenal hareket eden iki bıçağa sahip bir kesici kullanılarak gerçekleştirilir, bu sayede iş parçası üzerinde silindirik boşluklar elde edilir [52].

Elyaf takviyeli polimer kompozitler gibi heterojen malzemelerde, delinmiş deliklerin kalitesi oldukça önemlidir. Malzemeler üzerindeki sürünme, yorulma ve aşınma mekanizmaları, yüksek yüzey pürüzlülüğü ile delaminasyon tepkilerinin olduğu yerlerde hızla yayılır. Zayıf yüzey pürüzlülüğü ve katmanlar arası delaminasyon, çatlağın başlaması ve ilerlemesi ayrıca elyaf-matriks bağına çözme hasarına neden olur. Bu hasarlar, sistemlerin elyaf takviyeli polimer kompozit bileşenlerinin yük taşıma kapasitesini, verimini ve yapısal bütünlüğünü azaltır [53].

Tornalama, frezeleme ve delme gibi kesme işlemleri, çeşitli mekanik bileşenlerin üretilmesi için imalatta yaygın olarak kullanılmaktadır [54]. Bir delik oluşturma işlemi olan delme, genel işleme operasyonlarının büyük bir bölümünü oluşturduğu için önemlidir. Birçok delme işlemi genellikle bir parçanın imalatındaki son adımlar arasında yer aldığından, delme sorunları maliyetli üretim israfına neden olabilir.

Kompozit levhaların delinmesinde, matkap çıkış düzlemine yaklaştıkça delme itme kuvvetine karşı koyacak kesilmemiş kalınlık azalır. Alttaki katman, delik kenarı etrafındaki katmanlar arası bağlarından ayrılabilir. Bir noktada itme kuvveti, katmanlar arası bağlanma gücünü aşar ve delaminasyon meydana gelir. Kompozitlerin

işlenmesinde delaminasyon, saçak, şişme, parçalanma ve lif kopması gibi delme kaynaklı hasarlar karakteristiktir. Delaminasyon, çeşitli endüstrilerde elyaf takviyeli kompozit malzemelerin uygulanmasındaki ana sorunlar olarak kabul edilir. Delaminasyon bölgesinin büyüklüğünün delme işlemi sırasında oluşan itme kuvveti ile ilişkili olduğu gösterilmiş ve altında herhangi bir hasarın oluşmadığı “kritik itme kuvveti” olduğuna inanılmaktadır [54]. Delmede delaminasyonu inceleyen çok sayıda çalışma vardır [55]. Önceki araştırmaların çoğu, matkap geometrisi ve ilerleme hızını, kompozit parçanın yük taşıma kapasitesinde ciddi azalmaya yol açan delaminasyonla ilişkilendirir [10].

Yüzey pürüzlülüğü, elyaf çekme/kesilmemiş, saçak oluşumu, termal bozunma, çatlama ve parçalanma, delaminasyon hasarı, elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesiyle ilgili büyük bir sorun olarak yaygın bir şekilde kabul edilmiştir.

Delme noktası geometrisinin, bir helezon matkabın itme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir [56]. Pek çok tip matkap ucu, cam-epoksi laminatlar üzerinde test edilmiştir [57]. Kesme sırasında en az miktarda ısı üretmek için pozitif talaş açılarına ihtiyaç vardır [58]. Ancak talaş açısı ne kadar pozitif olursa kesici kenar o kadar kırılğan hale gelir.

Spiral matkap ve çeşitli uçlarla geleneksel delme, pratik amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Matkap ucunun dönüşü ve ilerlemesi, talaş oluşturmak için kesme kenarları ile iş parçası arasında görelî hareketle sonuçlanır. Kesme işleminin etkinliği, en yüksek matkabın dış çapında ve en az merkezde olacak şekilde değişir. Delme noktasındaki bağıl hız, kesme işlemi olmadan sıfırdır. Bunun yerine, matkap ucunun keski kenarı, malzeme deliğe girerken merkezdeki malzemeyi kenara iter. Spiral matkapla delmede, büyük bir itme kuvveti oluşturur. Matkap ve kompozit malzemeler arasındaki bu büyük itme kuvveti, girişte ve çıkışta katların ayrılmasına neden olabilir [10].

Kompozit malzemelerin düzgün bir şekilde delinmesi için testere matkabı, şamdan matkabı ve karot matkabı vb. gibi çeşitli matkaplar kullanılmıştır. Matkap itme

kuvvetinin neden olduğu delaminasyon hasarı, delme sırasındaki en büyük sorunlardan biri olarak kabul edilmiştir. Elyaf takviyeli polimerlerin delinmesine ilişkin birçok referans, kesilen yüzeylerin kalitesinin büyük ölçüde delme parametresine bağılı olduğunu bildirmektedir [59]. 1967 gibi erken bir tarihte, delme sonunda ilerleme hızının hızlı bir şekilde artmasının, deliğin çıkış kenarı çevresinde çatlamaya neden olacağı bulunmuştur [60]. Besleme yükü ne kadar büyük olursa çatlamanın o kadar ciddi olduğu da belirtilmektedir. Matkap geometrisi de matkap performansını etkileyen en önemli faktör olarak kabul edilir [56].

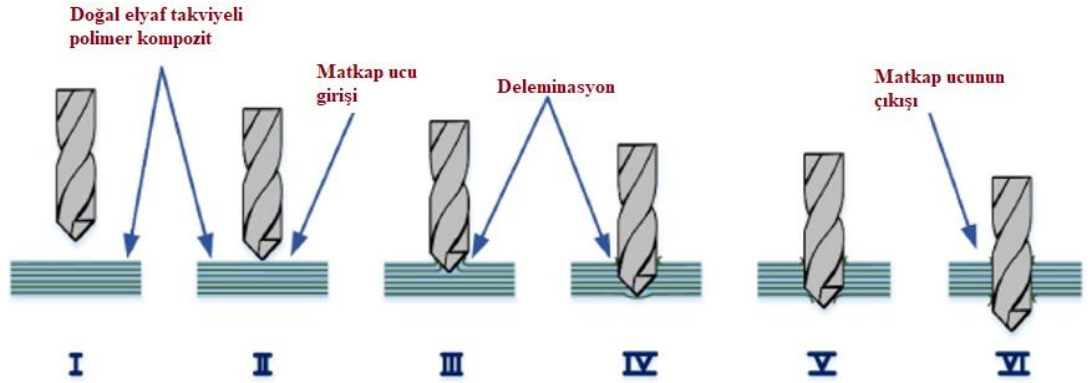
Delme kaynaklı delaminasyon, iş parçasının hem giriş hem de çıkış düzlemlerinde meydana gelir. Ayrıca sürtünme esnasında malzemede yüzey ve yüzey altı çatlaklar oluşur [61]. Araştırmacılar, delmedeki delaminasyonun matkaptan giriş ve çıkış sırasındaki itme kuvvetiyle ilişkilendirildiği durumları analitik ve deneysel olarak incelemişlerdir [10].

2.4. ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MATKAP İLE DELİNMESİNDE OLUŞAN DELAMİNASYONLAR

Geleneksel malzemelerin delme işlemi ile karşılaştırıldığında, elyaf takviyeli polimer kompozitlerin delme işlemi elyaf kırılması, liflerin bağlanmaması, yüzeysel soyulma, kesilmemiş lifler, lif çatlamaları vb. gibi birçok sorun içermektedir. Elyaf takviyeli polimer kompozit delme işlemi, yüksek kaliteli deliklere ihtiyaç duyulan nitelikli bağlantı noktaları için kritiktir. Delaminasyonlar ve mikro çatlaklar nedeniyle, elyaf takviyeli polimer kompozitler eksantrik düzlük, dalgalanma içermeyen iç yapılar ve dairesellik gibi standartları karşılamakta zorlanır.

Yüksek özgül mukavemet ve rijitlik gibi sayısız avantajına rağmen, işlemede çeşitli problemler vardır. En yaygın işleme süreçlerinden biri, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin bileşenlerinin birleştirilmesi için deliklerin delinmesidir [62]. Uygunsuz parametre tercihi, delme alanında ısıl hasar, matkap ucu giriş ve çıkışı esnasında delaminasyonlar, takviye elemanı kopması gibi delik kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir [63].

Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde; işleme ve takım parametrelerinin etkileri olabilir. İşleme parametrelerini oluşturan, ilerleme hızı, devir ve kesme hızı ile takım parametrelerini oluşturan takım geometrisi, türü ve malzemesi sayılabilir [64]. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesinde oluşan delaminasyonlar Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Doğal elyaf ile güçlendirilmiş polimer kompozit malzemelerin delinmesinde oluşan delaminasyonlar [65]

2.5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde takım aşınmasının ve takımın itme kuvveti üzerindeki etkilerini araştıran Lin ve Shen [66], 2,8 mm kalınlığındaki tek yönlü cam elyaf takviyeli polimerlerin numuneleri, bükümlü ve çok yönlü matkap uçları kullanarak delmiştir. Takım aşınmasıyla ilgili olarak yazarlar, yüksek kesme hızının matkap uçlarında daha fazla aşınmaya yol açtığını bulmuşlardır. Kullanılan iki matkap ucu arasında, çok yönlü matkap, keskin ve dolayısıyla zayıf köşesi nedeniyle çok daha hızlı aşınmıştır. Ayrıca, itme kuvveti ve torkun orta iş mili hızında maksimum olduğu, maksimum değerinde delme bölgesindeki sıcaklığın en yüksek olduğu ve dolayısıyla yumuşatılmış delme bölgesinin düşük itme kuvveti ve tork değeriyle sonuçlandığı görülmüştür [66]. Ayrıca takım geometrisinin itme kuvveti ve tork üzerindeki etkisini bilmek için Mathew vd. [67], bir yüksek hız takım çeliği (HSS) trepaning takımı ve bükümlü matkap kullanarak tek yönlü cam elyaf takviyeli polimer kompozitleri üzerinde delikler açmışlardır. HSS trepaning takımında yazarlar, kesici kenarın uzunluğunun azalması ve matkap ucu açısının artması nedeniyle itme kuvvetinde azalma görmüşlerdir. Öte yandan, ilerleme hızı değerindeki bir artış,

trepaning takımının kesme uzunluğunda bir artışa ve daha fazla itme kuvveti ile sonuçlanmasına neden olmuştur. Üstelik trepaning takımı, bükümlü matkapla üretilene göre %50 daha az itme kuvveti ile işlem yapmıştır. Bu da daha kaliteli deliklerin açılmasını sağlamıştır. Trepaning aleti ile delme işlemi sırasında elyaf saçaklanmalarının daha az olduğu ve bu sayede daha kaliteli deliklerin elde edildiğini söylemişlerdir [67].

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde takım türünün, takım aşınmasının ve takımın itme kuvveti üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Krishnaraj vd. [68] standart bükümlü matkap, çift konik matkap, Zhirov noktalı matkap ve çok yönlü matkap olmak üzere dört farklı matkap geometrisi kullanarak 9,5 mm kalınlığında çift yönlü cam elyaf takviyeli polimerleri deldiler. Standart bükümlü matkapla itme kuvveti üzerinde %92,4 oranında maksimum etkiye ile öne çıkan parametrenin ilerleme hızı olduğu belirtildi. İlerleme hızının artmasıyla itme kuvveti değerleri de arttı. Üstelik çift konik matkap, en yüksek itme kuvveti değerini kaydetti. Zhirov ve çok yönlü matkap neredeyse benzer itme kuvveti değerleri kaydetti; bu değerler diğer iki matkaptan daha düşüktü. Standart bir bükümlü matkabın belirli bir ilerleme hızı için yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu bulundu. Ayrıca ilerleme hızındaki bir artış yüzey pürüzlülüğünü arttırdı. Ancak Zhirov matkapı ile yüksek ilerleme hızında bile daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edildi [68].

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde matkap ucu açısı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştıran Karnik vd. [69], karbon elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde 130°, 115° ve 85 nokta açılı sement karbür bükümlü matkaplar kullanmışlardır. Sonuçlar, minimum delaminasyonun daha yüksek hız ve daha düşük uç açısı ile elde edildiğini göstermiştir. Bu sonuçları, yüksek kesme hızında artan sıcaklığın ve küçük uç açısı için daha düşük itme kuvvetinin birleşiminin etkisine bağlamışlardır [69]. Benzer bir gözlem Singh vd. tarafından da rapor edilmiştir. Chen [70], karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinde takım geometrisi ve delme parametrelerinin kesme kuvveti değişimi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Helis açısı ne kadar büyük olursa, itme kuvveti ve torkun o kadar küçük olduğunu belirtmektedir [70]. Yine Yaşar vd. [71], 5 mm çaplı tungsten karbür (WC) matkapla karbon elyaf takviyeli kesme hızı

ve matkap ucu açısının yüzey pürüzlülüğü ve delinmiş deliklerin delik boyutu üzerindeki etkisini incelediler. Sonuçlarında, ilerleme hızındaki bir artışın daha fazla itme kuvvetini tetiklediği ve bunun da açılan deliklerin yüzey pürüzlülüğünü daha da arttırdığı bulmuşlardır. Daha yüksek kesme hızında yüzey pürüzlülüğündeki azalma, o hızda mevcut olan daha az kesme süresine bağlanmıştır [71].

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde itme kuvvetinin delaminasyon üzerindeki etkileri araştıran Gaitonde vd. [72]., 2,5 mm kalınlığındaki karbon elyaf takviyeli polimerleri delmişlerdir. Yazarlar, düşük ilerleme hızı ve uç açısında, dikkate alınan en yüksek kesme hızında delindiğinde yukarıda adı geçen malzemede daha kaliteli delikler üretildiğini bulmuşlardır. Ayrıca düşük delme noktası açısıyla delmenin daha az itme kuvveti ürettiğini ve bunun da karbon elyaf takviyeli polimerlerde daha az katmanlara ayrılmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Üstelik kesme hızındaki artış daha az delik hasarına neden olmuştur [72]. Benzer olarak Chan [73], karbür ve HSS matkapları kullanarak karbon elyaf takviyeli polimerler üzerinde delikler üretmişlerdir. Takım geometrisinin itme kuvveti üzerindeki etkisini açıklayan yazarlar, takımın uç açısındaki artışın torku düşürdüğünü ve itme kuvveti oluşumunu arttırdığını bildirdiler. Karbon elyaf takviyeli polimerlerle ilgili önceki tartışmalara benzer şekilde yazarlar, iyi kalitede delikler üretmek için matkap ucu için daha küçük bir uç açısı önerdiler. Takım aşınmasının etkisi daha ayrıntılı tartışıldığında, matkap aşınmadaki artışın itme kuvvetini arttırdığı ve bunun da karbon elyaf takviyeli polimerlerdeki delaminasyon problemini daha da arttırdığı sonucuna varılmıştır [73].

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde matkap türlerinin delaminasyon üzerindeki etkilerini ve takım aşınmasını araştıran Xu vd. [74], tarafından karbon elyaf epoksi kompozitler elmas kaplı ve düz matkap kullanılarak delinmiştir. Yazarlar kesme hızı ve ilerleme hızının itme kuvveti ve delaminasyon üzerindeki etkisini incelemiş ve benzer şekilde ilerleme hızındaki artışla birlikte itme kuvvetinde de artış bulmuşlardır. Bunun nedenini kompozit laminatların kesilmeye karşı direncini artıran yüksek ilerleme hızında artan talaş kalınlığına bağladılar. Ayrıca takım ile iş parçası arasındaki daha yüksek kesme hızındaki büyük sürtünme, daha fazla takım aşınmasına neden oldu. Aşınmış takım daha yüksek itme

kuvveti oluşturdu ve açılan deliklerde büyük katmanlara ayrılmaya neden oldu. Farklı matkap türlerinin davranışını araştıran yazarlar, çok yönlü bir matkabın, yüksek delme hızında bir helezon matkap kullanıldığında elde edilenden daha düşük bir ortalama tork değeriyle sonuçlandığı sonucuna vardı. Ayrıca, verilen parametreler açısından çok yönlü bir matkabın bükümlü matkaptan üstün olmadığı sonucuna varılmıştır [74].

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde ilerleme hızının delaminasyon üzerindeki etkilerini araştıran Xu vd. [75], değişken ilerleme hızının 10.000 dev/dk'lık sabit bir kesme hızında karbon elyaf takviyeli polimerlerde açılan deliklerin etrafındaki elyafların delaminasyon üzerindeki etkisini araştırdı. Yazarlar, daha yüksek ilerleme hızının daha fazla hasara yol açtığını gözlemledi. Bu durum, daha yüksek ilerleme hızında matkap ucunun devir başına daha fazla hacimde malzeme kesmek zorunda kalmasıyla izah edildi. Bu nedenle liflerin bir kısmı kesilememiş ve açılan deliklerde sarkan lifler halinde görüntülenmiştir [75]. Ayrıca Xu vd. [76], ilerleme hızındaki artışın, 2000 dev/dk'lık sabit kesme hızında bükümlü matkap kullanarak karbon elyaf takviyeli polimerlerde açılan deliklerde saçak oluşumu üzerindeki etkisini araştırdı. Yazarlar ilerleme hızındaki artışla birlikte saçak oluşumunda da artış görmüşlerdir [76]. Benzer sonuçları gösteren bir diğer alıma da Sobri vd., tarafından gerçekleştirilmiştir [77]. İlerleme hızındaki artışın, daha yüksek iş parçası kalınlığında bile delinmiş deliklerdeki delaminasyonu ve saçakları artırdığını belirten araştırmalarından elde edilen bulgularla geleneksel eğilimi savundu. Daha yüksek ilerleme hızı değerlerinde delik açılmasının, karbon elyaf takviyeli polimerlerde delme kaynaklı büyük hasarlara yol açabileceği sonucuna varılabileceğini belirttiler [77].

Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde matkap kaplamalarının delik kalitesi üzerindeki etkilerini araştıran Harris vd. [78], HSS ve AlCrN kaplı matkaplar kullanarak karbon elyaf takviyeli polimerleri deldiler ve ayrıca üretilen deliklerin kalitesini karşılaştırdılar. AlCrN kaplı matkaplar, HSS takımlarına göre daha kaliteli delikler üretti. Kaplamalı matkaplar daha düşük bir sürtünme katsayısına sahipti ve bu da delme sırasında daha düzgün talaş kaldırılmasıyla sonuçlandı. Üretilen itme kuvvetlerinin şiddeti azaltıldı ve böylece daha kaliteli

delikler üretildi. Elyaf takviyeli polimerlerde açılan deliklerin kalitesini ilerleme hızı ve kesme hızının yanı sıra çeşitli parametrelerin de etkilediği anlaşılmaktadır [78].

Tang vd. [79], deliğin girişindeki delaminasyonu incelemek için ABAQUS programı yardımıyla 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturdu ve talaş oluşumunun davranışını araştırdı. Oluşturulan modeli doğrulamak için semente karbür matkap ucuyla tek yönlü karbon elyaf takviyeli polimer'ler üzerinde delikler açıldı. Yazarlar, giriş delaminasyonu ve talaş oluşumu değerlendirilirken elyaf kesme açılarının büyük önem taşıdığını bulmuşlardır. Elyaf kesme açıları 0° , 45° ve 90° olduğunda, çeşitli sebepler nedeniyle lifler kolayca kırıldı ve dolayısıyla giriş delaminasyon olasılığı daha az oldu. Aksine 135° lik elyaf kesme açısı girişte maksimum delaminasyon hasarına neden olmuştur [79].

Matkap türünün ve uç açısının etkilerini araştıran Abrao vd. [80], 2,5 mm kalınlığındaki cam elyaf takviyeli polimerlerde delikler üretmek için başsız ve düz karbür matkap, HSS bükümlü matkap, 118° uç açılı karbür matkap ve 150° uç açılı karbür matkap olmak üzere dört farklı matkap geometrisi kullanmıştır. Daha yüksek ilerleme hızı değerleri için kayma alanının arttığı ve dolayısıyla itme kuvvetinin de arttığı tespit edildi. Öte yandan itme kuvvetinin kesme hızından en az etkilendiği görüldü. Tüm matkap geometrileri arasında, başsız ve düz karbür matkap için minimum itme kuvveti değeri kaydedildi. Bu durum matkap ucunun dışından iç çapına doğru gerçekleşen kesme hareketine atfedildi ve böylece matkap ucunun merkezindeki yoğun plastik deformasyonun önüne geçildi. Yazarlar iki durumda daha yüksek itme kuvveti değerleri gözlemlədiler. Ayrıca delaminasyon faktörü incelendiğinde, düşük ilerleme hızı değerlerinde minimum delaminasyonun gözleneceği şekilde ilerleme hızının delaminasyon faktörüne en fazla etkilediği bulunmuştur [80]. Palanikumar vd. [81], HSS bükümlü matkap ve dört kanallı kesici kullanarak cam elyaf takviyeli polimerleri deldiler ve elde edilen verileri araştırmak için regresyon analizi ve Anova teknikleri uyguladılar. Yazarlar, devirdeki artışın, helezon matkap için delaminasyon faktörünün düşmesine ve dört kanallı kesici için delaminasyonun artmasına yol açtığını bulmuşlardır. Üstelik daha yüksek ilerleme hızı değerlerinde, her iki matkap ucu için de daha büyük delaminasyon hasarıyla sonuçlandı [81].

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde ilerleme hızı, devir, itme kuvveti ve matkap çapının delaminasyon üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, Palanikumar [82], 8 mm çaplı başsız ve düz matkaplar kullanarak cam elyaf takviyeli polimerlerde delikler üretti. Devrin artmasıyla itme kuvvetinin önce azaldığı, daha sonra arttığı belirlendi. En yüksek devirde açılan deliğe göre, dikkate alınan en düşük devirde daha pürüzlü yüzeye sahip bir delik oluşturuldu. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızı ile doğrusal varyasyona sahip olduğu bulundu. İlerleme hızındaki bir artış, üretilen itme kuvvetini arttırdı ve bu da açılan deliklerde daha fazla yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlandı. Delaminasyon bağlamında yüksek ilerleme hızı değerleri daha fazla hasara neden olmuştur [82]. Başlı ve düz matkaplar kullanılarak daha kaliteli delikler elde etmek için daha yüksek devir değerinde ve daha düşük ilerleme hızı değerinde delik açılması önerildi. İlerleme hızı ve devir üzerinde araştırma yapan Rubio vd. [83], yine cam elyaf takviyeli polimerler üzerinde yüksek hızlı işleme (HSM) gerçekleştirdiler. Bunlardan ikisi bükümlü matkaplar, biri ise başsız ve düz matkap geometrisiydi. Yazarlar, tüm matkap geometrileri için delaminasyon faktörünün ilerleme hızındaki artışla arttığını ve devirdeki artışla azaldığını gözlemledi. Cam elyaf takviyeli polimerlerin başsız ve düz matkapla delinmesi sırasında daha az kayma düzlemi alanı nedeniyle daha düşük itme kuvveti oluşturuldu ve dolayısıyla delaminasyon faktörü de azaldı. Düşük ve orta devirde, üretilen itme miktarındaki artışa bağlı olarak ilerleme hızındaki artışla birlikte delaminasyon faktörü de arttı [83].

Prakash ve Dhar [84] tarafından 6 mm kalınlığındaki tek yönlü cam elyaf takviyeli polimerleri delmek için HSS bükümlü matkap kullanıldı. Yazarlar, daha önce tartışılan literatürün aksine, kabul edilen maksimum devirde delaminasyon faktöründe ani bir artış gözlemlediler. Liflerin yüksek sıcaklıklarda yumuşaması, liflerin kesilmesini zorlaştırdı. Dolayısıyla kesilmemiş lifler delaminasyonun oluşmasına neden olmuştur. Kesilmemiş elyaflar, dikkate alınan en yüksek ve en düşük devirde delaminasyona neden olan elyaf çekilmesine yol açtı. Takım aşınması bağlamında yazarlar, takım aşınmasındaki artışın daha yüksek itme kuvveti değeriyle sonuçlanabileceğini ancak deliğin girişindeki delaminasyonunun azaldığını gözlemlediler [84].

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesinde ilerleme hızı ve devrin delaminasyon üzerindeki etkileri Kumar vd. [85], tarafından araştırılmıştır. Üç farklı matkap ucu kullanarak 3,78 mm kalınlığındaki cam elyaf takviyeli polimerleri deldiler ve oluşan hasarı görüntü işleme tekniğini kullanarak analiz ettiler. Üç farklı matkap ucu olarak; HSS helisel kanallı matkap (uç açısı-130°), karbür uçlu matkap (uç açısı-130°) ve yekpare karbür sekiz yönlü matkap (uç açısı-118°) kullandılar. Yazarlar, daha yüksek ilerleme hızı değerlerinde delikler üretildiğinde delaminasyon faktörünün arttığını, ancak daha yüksek devirde delme yapıldığında düştüğünü buldular. Bu sonuçlar, cam elyaf takviyeli polimerlerin delinmesine ilişkin önceki tartışmaların çoğuna benzerdi. Ayrıca, daha yüksek devir değerlerinde delme, açılan deliklerde minimum yüzey pürüzlülüğü değeriyle sonuçlandı. Çalışmada kullanılan matkaplardan biri olan yekpare karbür sekiz yüzeyli matkap ucu, dikkate alınan matkap geometrileri arasında minimum delaminasyon hasarıyla birlikte daha iyi yüzey kalitesine sahip delikler üretti. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen geometrinin cam elyaf takviyeli polimerlerde delik üretmek için kullanılması önerildi [85].

Abilash ve Sivapragash [86], bambu elyaf takviyeli polyester kompozitleri deldiler ve proses parametrelerinin üretilen deliklerdeki delaminasyon üzerindeki etkisini araştırdılar. Yazarlar, ilerleme hızı, devir ve takım çapı gibi proses parametrelerinin öncelikle itme kuvveti, tork ve delaminasyon gibi çıktı özelliklerini etkilediği konusunda hemfikirdi. Ayrıca, varyans analizi kullandılar ve ilerleme hızının delaminasyon üzerinde maksimum etkiye sahip olduğunu ve bunu matkap çapı ve devrin takip ettiğini buldular [86].

Kumar vd. [87], katı karbür matkap ucu kullanarak muz ve sisal elyaf takviyeli epoksi kompozitlerde delikler üretti. Önceki tartışmalara benzer şekilde, bu yazarlar devir, ilerleme hızı ve matkap çapının delinmiş deliklerin kalite özellikleri üzerindeki etkisini de incelediler. Maksimum devir ve minimum ilerleme hızı ve minimum matkap çapında en az delaminasyonu buldular [87].

Bajpai ve Singh [88], sırasıyla büküm ve trepaning takımlarının katı ve içi boş matkap geometrilerini kullanarak sisal lifli elyaf takviyeli polipropilen kompozit laminatlarda (%20 elyaf ağırlık oranı) delikler ürettiler ve ayrıca kesme hızı ve ilerleme hızının

performans özellikleri üzerindeki etkilerini incelediler. Yazarlar, trepaning aletinin iyi kalitede delikler ürettiğini buldu. Bu durum içi boş trepanlama aletinin sunduğu çevresel kesme nedeniyle sisal liflerinde oluşan gerilime atfedildi. Gergin liflerin kesilmesi daha kolaydı. Ayrıca her iki matkap geometrisi için itme kuvvetinin sabit olduğu veya kesme hızındaki artışla azaldığı bulundu. Bununla birlikte, trepanlama aleti, yukarıda adı geçen cam elyaf takviyeli polimerde üretilen itme kuvvetini, aynı çalışma koşulları için bir bükümlü matkapla delme işlemi sırasında üretilenin yarısına kadar azaltmayı başardı. RSM (Tepki yüzeyi metodolojisi) tekniğine göre matkap geometrisinin itme kuvveti ve tork üzerinde maksimum etkiye sahip olduğu, bunu ilerleme hızı ve kesme hızının takip ettiği bulunmuştur. Yazarlar, içi boş trepaning aletinin itme kuvvetini büyük ölçüde hafiflettiği ve dolayısıyla delme sırasında katmanlara ayrılmayı azalttığı sonucuna vardı [88].

Choudhary vd. [89], beş farklı tipte matkap geometrisi kullanarak 4 mm kalınlığında lignoselülozik elyaf takviyeli polimer kompozitleri (%55 elyaf ağırlık oranı) delmişlerdir. Yazarlar, malzemenin daha yüksek sıcaklıklarda sunduğu daha düşük direnç nedeniyle tüm matkap ucu türleri için devir artışıyla birlikte itme kuvvetinde bir azalma buldular. Sekiz yönlü ve hançerli matkaplarda minimum tork değeri kaydedilirken, maksimum değere parabolik ve kademeli matkaplarda ulaşıldı. Kamalı matkap ucu 30°'lik küçük uç açısı sayesinde minimum itme kuvveti üretirken, dört yönlü matkap ucu maksimum itme kuvveti değerini üretti. Hançerli matkap ucunun tasarımı, söz konusu lifli laminatın üzerinde delme işlemi sırasında tam çaplı kavramaya izin vermemesi sebebiyle delme kuvvetlerini büyük ölçüde azalttı. Ayrıca düşük ilerleme hızı, numune ile matkap ucu arasında uzun süreli etkileşime neden oldu. Sürtünme etkisi nedeniyle daha fazla ısı üretildi ve dolayısıyla malzemenin yumuşaması itme kuvveti ve torkun azalmasına neden oldu. Yüzey pürüzlülüğü bağlamında yazarlar, hançerli ve sekiz yönlü matkap uçlarının daha pürüzsüz yüzeyler ürettiğini, parabolik ve dört yönlü matkap uçlarının ise açılan deliklerin daha fazla yüzey pürüzlülüğüne neden olduğunu ortaya çıkardı. Ayrıca, tüm matkap uçları için ilerleme hızının artmasıyla birlikte delaminasyon da arttı. Sekiz yönlü ve hançerli matkap uçlarının, diğer matkap uçlarına kıyasla daha az katmanlara ayrılmasına sahip olduğu bildirildi [89].

Venkateshwaran ve Perumal [90] tarafından 15 mm kalınlığındaki muz lifi ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerde delikler üretmek için 10 mm çapında bir HSS matkap kullanıldı. Önceki tartışmalara benzer şekilde, yazarlar daha düşük ilerlemede daha az delaminasyon buldular. Varyans analizi (Anova) sonuçları, ilerleme hızı ve kesme hızının giriş delaminasyonuna sırasıyla %51,73 ve %28,45 katkı sağladığı sonucuna varmıştır. Öte yandan ilerleme hızı ve çıkış delaminasyonundaki kesme hızının katkısı sırasıyla %36,66 ve %53,13 olarak bulunmuştur [90].

Maleki vd. [91], 6,6 mm kalınlığında jüt elyaf takviyeli polimer kompozitlerin üç farklı türde matkap ucu kullanılarak delindiğini bildirdi. Bu matkaplar, büküm matkap ((uç açısı-118°, helis açısı-30°), korodril 854 (uç açısı-130°, helis açısı-40°) ve korodril 856 (nokta açısı-120°, helis açısı-30°))' dan oluştu. Yazarlar, tüm matkap uçlarının ilerleme hızındaki artışla birlikte itme kuvveti değerlerinde de artış kaydettiğini gözlemledi. Talaş oluşumunun itme kuvvetine karşı direncini artıran, deforme olmamış talaşın kesit alanındaki artışa atfedildi. Malzeme yüksek ilerleme hızında delindiğinde devirdeki artış itme kuvvetini düşürdü. İlerleme hızı ve matkap ucu türlerinin itme kuvvetine sırasıyla %57,42 ve %22,12 katkısı oldu. Ayrıca HSS bükümlü matkapta, özellikleri ve üretilen itme kuvveti değerinin düşük olması nedeniyle delaminasyonun minimum olduğu bulunmuştur. Burgulu matkapların küçük uç açısı, deliklerin kalitesini artırdı. Ayrıca, HSS bükümlü matkap ve korodril 856 kullanıldığında ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri azaldı [91]. Aynı bağlamda Chaudhary ve Gohil [92], 4 mm çaplı bükümlü matkaplar kullanarak 3 mm kalınlığında çift yönlü pamuk-polyester kompozitlerde delikler ürettir. Daha yüksek ilerleme hızında delinirken iş malzemesi daha fazla direnç gösterdi, daha fazla sürtünmeye neden oldu ve bu da itme kuvvetini daha da artırdı. Delaminasyon faktörü, nokta açısının artmasıyla arttı. Ayrıca, daha düşük ilerleme hızlarında oluşan sürekli talaşlar, daha düşük bir itme kuvveti üretim değeri ile sonuçlanmıştır [92].

Maleki vd. [93], HSS bükümlü matkap, corodril 854 ve corodril 856 matkap uçları olmak üzere üç farklı tipte matkap ucu kullanarak keten elyafları/epoksi kompozit üzerinde delikler üretti. Yazarlar yukarıdaki tartışmalarda olduğu gibi itme kuvveti hakkında benzer sonuçlar buldular. İlerleme hızındaki artışla birlikte itme kuvveti değerinde de artış olduğunu bulmuşlardır. Corodril 854'e karşılık gelen maksimum

itme kuvveti gözlemlendi. Minimum itme kuvveti helezon matkap için gözlemlendi. Spiral matkabın nokta geometrisi, matkap ucu ile numune arasında daha küçük temas sağlayarak itme kuvvetini daha da azalttı. Anova uygulandığında ilerleme hızının itme kuvveti üzerinde maksimum etkiye sahip olduğu, devrin ise en az etkiyi kaydettiği bulundu. Delaminasyon burgulu matkapta minimum, corodrill 854'te ise maksimum bulundu. Bunun nedeni, burgulu matkaba karşılık gelen itme kuvveti değerinin düşük olmasıydı. Ayrıca HSS bükümlü matkap, doğal elyaflar gibi yumuşak malzemeleri kolaylıkla kesebilen daha keskin kesici kenarı sayesinde üretilen deliklerde daha iyi bir yüzey kalitesi sağladı [93].

Navaneethakrishnan ve Athijayamani [94], doğal elyaf ve partikül takviyeli kompozitlerde delikler üretmek için 6 mm çapında HSS bükümlü matkaplar kullandılar. Numuneler, sisal lifleri ve hindistancevizi kabuğu dolgusunun oranları değiştirilerek ve %80 vinil ester ile karıştırılarak hazırlandı. Yazarlar ilerleme hızı ve uç açısının itme kuvveti üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. İtme kuvveti, elyaf hacmi ve ilerleme hızı aksiyonundaki artışla birlikte arttı. Kesme hızındaki bir artışın yalnızca yüksek ilerleme hızında itme kuvvetini düşürdüğü görüldü. Düşük ilerleme hızında kesme hızının itme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisi gözlenmedi. Ayrıca ilerleme hızı ve matkap ucu açısının artmasıyla itme kuvveti ve tork da arttı [94].

Alagappan vd [95], 5.72 mm kalınlığında hibrit elyaf takviyeli polimer üzerinde, ortasında kenaf elyaf katmanları ile çevrelenmiş muz elyaf katmanları bulunan kompozit üzerinde delikler açtılar. Delik açmak için tungsten karbür kaplı HSS bükümlü matkap kullanıldı. Yukarıda belirtilen literatürün aksine, yazarlar, seçilen elyaf takviyeli polimer kompozitin performans özelliklerini etkileyen, delme hızının (ilerleme hızı değil) en etkili parametre olduğunu bulmuşlardır. Sonuçlardaki bu farklılık, iş parçası malzemesi ve dikkate alınan parametrelerdeki farklılığa bağlanabilir. Delme hızı, delaminasyon faktörü ve işleme kuvvetine %92,6'lık bir katkı kaydetti [95].

Rajaraman vd. [96], tungsten karbür kaplı HSS matkap uçları kullanarak 4 mm kalınlığında kenaf ve muz lifi takviyeli polimer kompozitleri deldiler. Yazarlar, en

düşük ilerleme hızı değerini ve en yüksek kesme hızı değerini, en az delaminasyon hasarına sahip optimum delme koşulları olarak buldular. Ayrıca, ilerleme hızındaki ve matkap ucunun çapındaki artışa karşılık gelen itme kuvvetinde bir artış gözlemlendi. Devrin artmasıyla delaminasyonun azaldığı ve diğer parametreler sabit kaldığı için dikkate alınan maksimum matkap çapında minimum olduğu bulundu. Yukarıda bahsedilen literatüre uygun olarak, ilerleme hızı, kesme hızı ve matkap ucunun uç açısının cam elyaf takviyeli polimerlerde açılan deliklerin kalitesini etkilediği sonucuna varıldı [96].

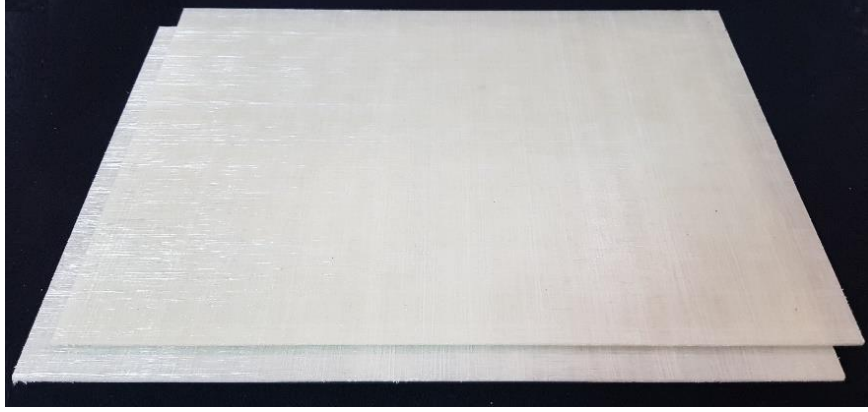
BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, araştırmada kullanılan materyaller, deneysel yöntemler, araç-gereçler izah edilmiş ve delme çalışmaları, deneysel çalışma bilgileri gibi bilgiler aktarılmıştır.

3.1. MALZEME

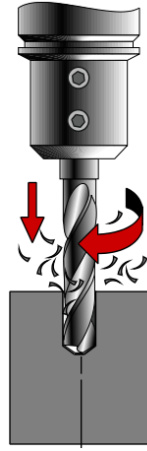
Bu çalışmada kullanılan kompozit levhalar hazır satın alınarak temin edilmiştir. Levha kalınlığı 3 mm olan kompozitler 12 katman prepregten oluşmaktadır. Prepreg içeriği, ağırlıkça %60 oranında sürekli cam elyaf takviyeli polyamid-6'dır. Tek yönlü ve 0/90 derece dizilimli olmak üzere iki farklı kompozisyonda bir levha haline getirilmiştir. Kompozit levhaların elyaf yönünde çekme mukavemeti 445 MPa değerindedir.



Şekil 3.1. Elyaf takviyeli termoplastik kompozit levha [97]

3.1.1. Delme Testi

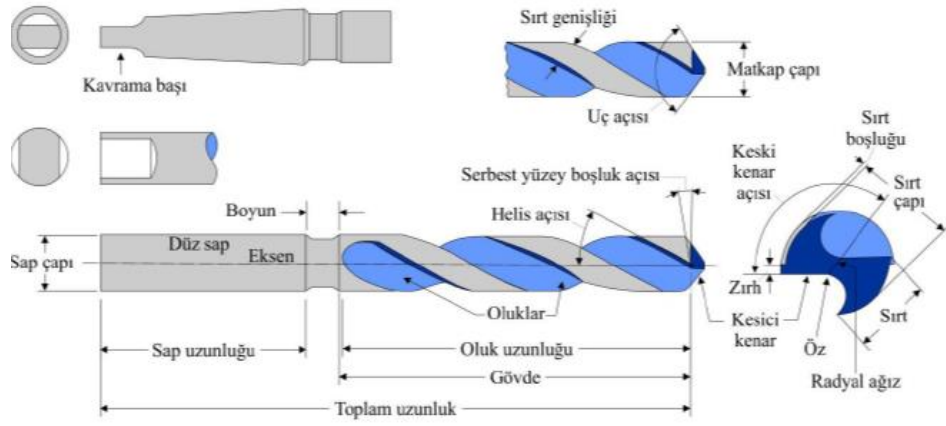
Delik açma, iş parçasından talaş kaldırarak silindirik bir delik oluşturmayı amaçlayan kesici takımlarla yapılan bir işlemin genel adıdır. İş parçası üzerinde dönen ve aksenal bir harekete sahip olan bir kesici aracılığıyla silindirik delikler elde etmek amacıyla gerçekleştirilen bu yönteme delik delme denir. Delme işlemin örneği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Delme işlemi [52]

3.1.1.1. Matkap

Delik delme işleminde gerekli olan kesici takımlar genellikle matkaplar kullanılmaktadır. Bu takım, bir veya birden fazla kesici ağza sahip, döner bir yapıya sahip takımlardır ve talaş akışını sağlamak amacıyla helisel ya da düz kanallara sahiptir. Bu tür kesici takımlar, çeşitli tiplerde, farklı formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmiştir. Helisel matkaplar, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan matkap türleridir [98]. Şekil 3.3'te matkap geometrisi görülebilir.



Şekil 3.3. Matkap ve geometrisi [98]

3.1.1.2. Kesme parametreleri

Delik delme operasyonu, takımın kendi etrafında dönüş ve ilerleme hareketi olmak üzere iki temel hareketle gerçekleşir. Kesme hızı ve ilerleme hızı parametreleri, bu hareketleri belirler. Bu iki hareket aynı zamanda takım geometrisiyle birleşerek talaş kesitini belirler [99].

3.1.1.3. Kesme hızı

Delme işlemlerinde, temel hareket dönüş hareketidir ve bu hareket, ana takım veya iş parçası tarafından gerçekleştirilir. Temel hareketi üreten ana mil hızı (n), bir dakikada gerçekleştirilen devir sayısı olarak nitelendirilir. Delik delme prosesi için kesme hızı (V_c), çevresel hız kullanılarak bulunur. Kesme hızı formülü Eşitlik 3.1'de verilmektedir. Bir dakikadaki devir sayısı bilindiğinde bu hız hesaplanabilir. Matkap bir dönüşte çevresi kadar daire çizer. Takım çapı D olarak kabul edilirse çevresi $\pi \cdot D$ olur. Dönüş hareketi (n) ile kesme hızı arasındaki ilişki Eş. (1)'de verilmiştir [51].

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad \text{Eş. (3.1)}$$

Burada 'D' mm, 'V_c' m/s ve 'n' dev/dak olarak alınmıştır.

Delik delme prosesi sırasında kesme hızı, dıştan içe doğru azaldığı için matkabın ucu, malzeme üzerinde etkili bir biçimde çalışmaz. Matkap ucundaki kesme hızı neredeyse sıfır olduğundan, bu takım malzemeyi kesmeye çalışmak yerine basınç uygulayarak ezme eğilimindedir. Bu alanda negatif kesme açısı ve düşük kesme hızı sebebiyle plastik deformasyon eğilimi ortaya çıkar.

3.1.1.4. İlerleme hızı

İlerleme hızı (V_f), birim zamanda kat edilen mesafeyi ifade eder ve genellikle takımın iş parçasına göre ölçülen ilerlemeyi temsil eder. Bu kavram aynı zamanda tezgahın veya iş parçasının bağlı olduğu tablanın adımı olarak da tanımlanır. Devir başına ilerleme (f), adımı hesaplamak için kullanılan bir değişken olarak bilinir ve genellikle takımın veya iş parçasının bir devirdeki ilerlemesini ifade eder. İlerleme hızı formülü Eşitlik 3.2’de verilmektedir

$$V_f = f \cdot n \quad \text{Eş. (3.2)}$$

Burada, ‘ f ’ ve ‘ V_f ’ nin birimleri sırasıyla mm ve mm/dak’dır.

3.2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, %60 cam elyaf oranına sahip polyamid-6 kompozit levhaların delme işleminde meydana gelen deformasyonlar araştırılmıştır. Bu kapsamda, deneysel araştırmanın adımları aşağıda listelenmiş ve açıklanmıştır.

1. Deney sisteminin oluşturulması
2. Numunelerin hazırlanması
3. Deney metodolojisinin tasarlanması
4. Deney düzeneğinin kurulumu
5. Deneylerin yapılması
6. Deformasyonların ölçülmesi

3.2.1. Deney Tasarımının Oluşturulması

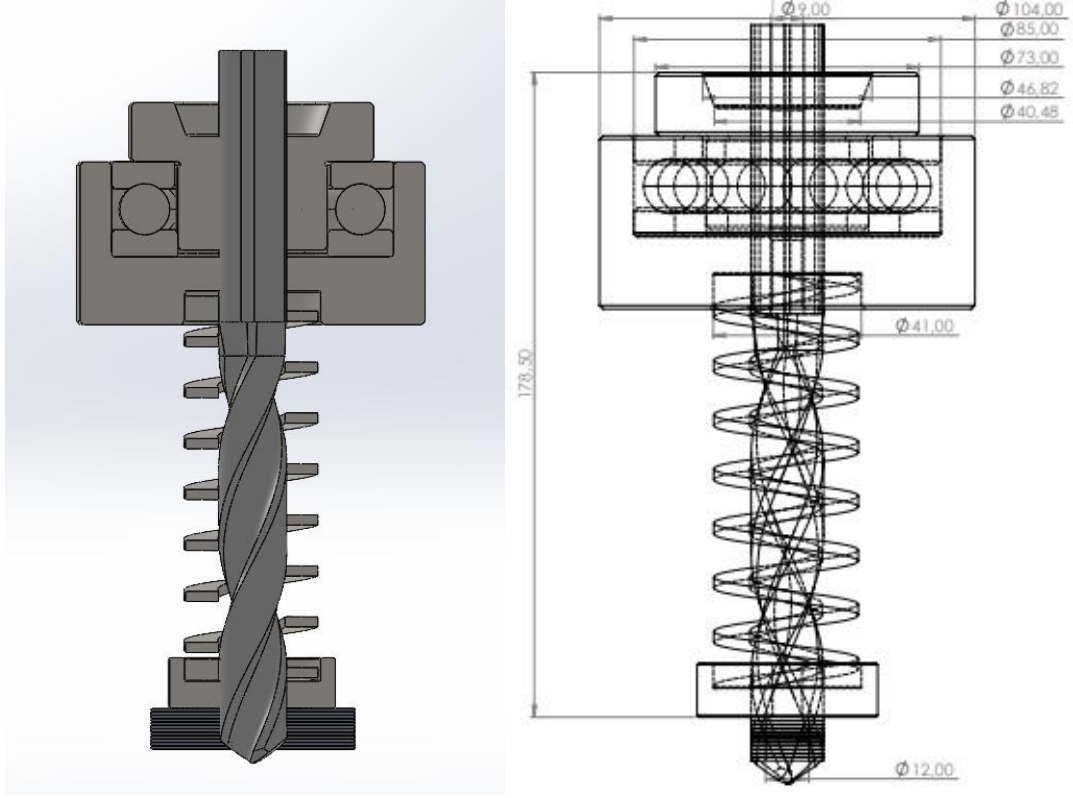
Gerçekleştirilen ön deneyler sonucunda elde edilen deney tasarımı Çizelge 3.1’de verilmiştir. Matkap çapı, dönüş hızı ve tutma kuvveti değiştirilerek 18 farklı delme işlemi üçer tekrar ile yapılmıştır.

Çizelge 3-1. Deney tasarımı

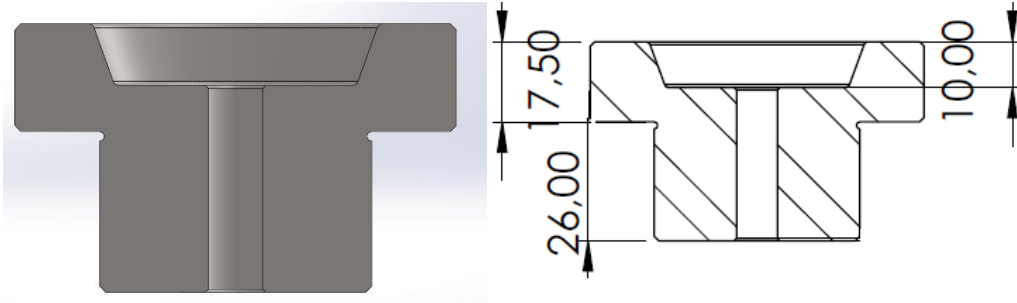
Parametre	Seviye
Matkap çapı (mm)	8, 12, 18
Dönüş hızı (dev/dak)	224, 900
Tutma kuvveti (N)	35, 500, 800

Kompozit levha malzeme su jeti yardımıyla kesilerek deney numuneleri 20x60 mm boyutlarda hazırlanmıştır.

Kompozit levhaların delinmesi sırasında olası deformasyonların önüne geçebilmek için tasarlanan ve çelik malzemeden imal edilmiş fikstür Şekil 3.4’te görülmektedir. Bu tasarımın temel amacı, giriş deformasyonlarını en aza indirmektir. Fikstür; delik çapından 0,2 mm daha büyük iç çapa sahip bir pul, 25 mm deplasmana sahip çelik yay, mandrenin ilerleme hareketini yaya ileten kovan ve mandrenin alt gruptan bağımsız dönemsine müsaade eden bir baskı/alın rulmanı elemanlarından oluşmaktadır.



Şekil 3.4. Kompozit delme fikstürü



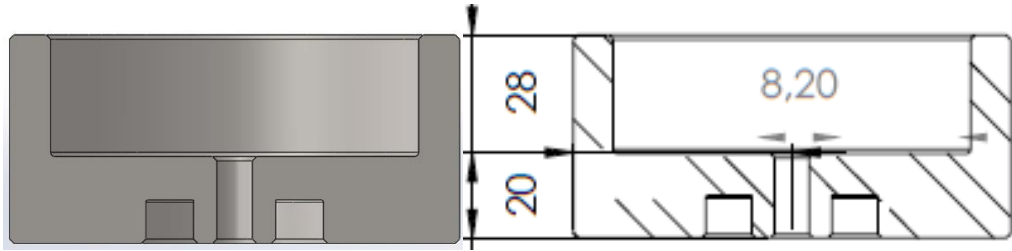
Şekil 3.5. Kovan

Endüstriyel matkap tezgâhının delme işlemi için oluşturduğu dönüş hareketinin deney malzemesine etkisini engellemek için tek yönlü aksel bilyalı rulman kullanılmıştır. Rulman SKF marka olup, 45 mm iç çap, 85 mm dış çap ve 28 mm kalınlığa sahiptir. Statik yük sınırı 153 kN ve hız sınırı 4000 dev/dak'dır. Şekil 3.6'da tek yönlü aksel bilyalı rulman gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Bilyalı rulman

Kovan-rulman-tabla grubunun güvenli bir şekilde kuvvet uygulaması için tablaya bir yay oturma kanalı oluşturulmuştur. Tabla, yay iç çapı değerine kadar farklı çaplarda matkapla delmeye müsaade edecek şekilde tasarlanmıştır. Tabla Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Tabla

Sürekli elyaf takviyeli kompozit levhaların delinmesi sırasında özellikle matkap giriş bölgesinde oluşan deformasyonları önlemek için numune yüzeyine tutma kuvveti uygulamak için yay kullanılmıştır. Yay, silindirik helisel basma yayı olup, dairesel kesitli telden yaptırılmıştır. Şekil 3.8’de yay gösterilmektedir.

Tasarlanan fikstüre uygun olarak imal ettirilen yayın iç çapı 20 mm, dış çapı 30 mm ve serbest boyu 93 mm’dir. Ayrıca, yay lineer bir yay olup yay sabiti $k=40000$ N/m dir. Yayda oluşan elastik kuvvet (F) Eş. 3.3’te gösterilmiştir.

$$F = k\Delta z$$

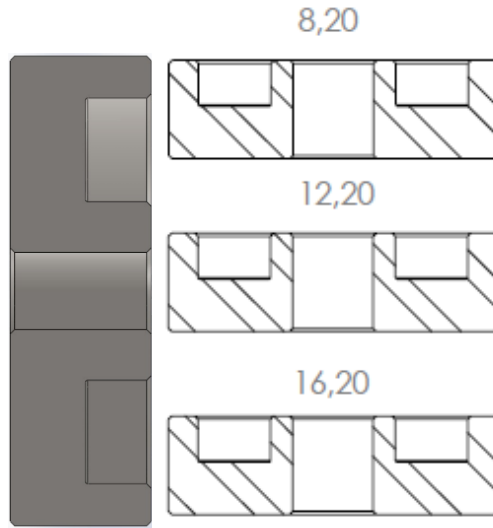
$$\text{Eş. (3.3)}$$

Burada ' Δz ' m cinsinden yer değiştirmeyi göstermektedir.



şekil 3.8. Basma Yayı

Yay tarafından uygulanan kuvvetin delik çevresinde eşit dağılması için farklı i çaplarda pullar imal edilmiştir. Bu pulların yay oturma kanal çapı ve dış çapı aynı ldeyken i çapları delik sınırından 0,2 mm daha geniştir. şekil 3.9'da fikstrde kullanılan üç farklı pul gösterilmektedir.



şekil 3.9. Pul

Bu çalışmada kullanılan matkap uçları Makine Takım Endüstrisi A. ř.'den tedarik edilmiştir. Matkap uçları, 118° uç açılı ve yüksek hız çeliğinden (HSS) TS ISO 235 standardında uygun olarak imal edilmiştir. Deney tasarımına göre 8 mm, 12 mm ve

16 mm çaplı matkap uçları kullanılmıştır. Matkap uçlarının toplam boyları sırasıyla 165 mm (60 mm tutma ve 105 mm kesme), 150 mm (52 mm tutma ve 98 mm kesme) ve 175 mm (55 mm tutma ve 120 mm kesme)'dir. Klasik bir HSS matkabın görüntüsü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Silindirik saplı HSS matkap ucu

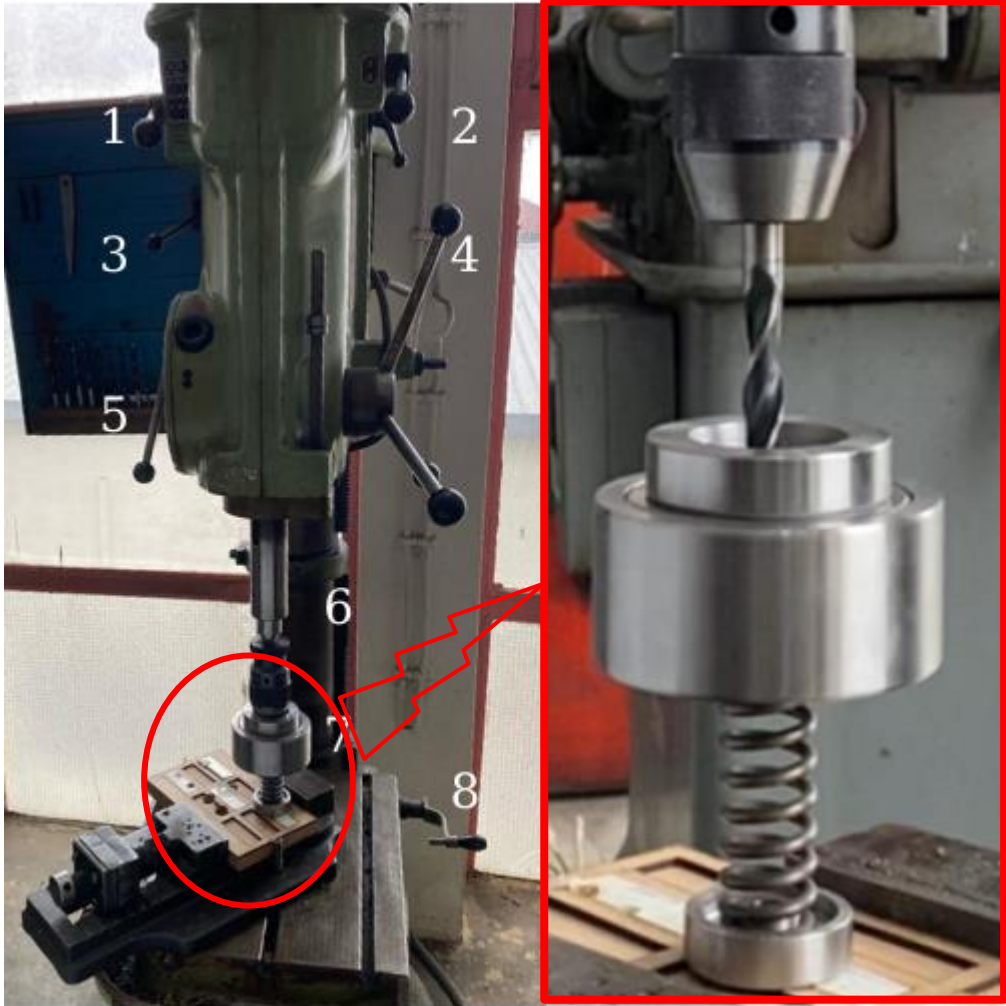
Endüstriyel matkaplarda delme işlemi yapılırken delinmek istenen malzeme mengene yardımıyla sabitlenir. Bazı durumlarda, yumuşak metallerin yastıklanarak bağlanması söz konusudur. Kompozit levhaların bağlanması sırasında, her işlemde farklı sıkma gücü uygulanması ve/veya herhangi bir hasara uğrama olasılığının önüne geçmek gerekmektedir. Bu çalışmada, kompozit numuneler için bir tutma çerçevesi imal edilmiştir. Çerçeve için ahşap malzeme tercih edilmiş ve numune ölçülerine uygun olarak lazer ile kesilmiştir. Tutma kuvvetinin yalnızca numuneye etkimesini sağlamak için çerçevenin kesit kalınlığı 2,6 mm olarak hazırlanmıştır. Çerçevenin altına düz bir ahşap plaka eklenmiştir. Bu sayede, delme çıkışında olası deformasyonlar da görece azalması hedeflenmiştir. Numune tutma çerçevesi Şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Numune tutma çerçevesi

3.2.2. Deney Düzeneginin Kurulumu

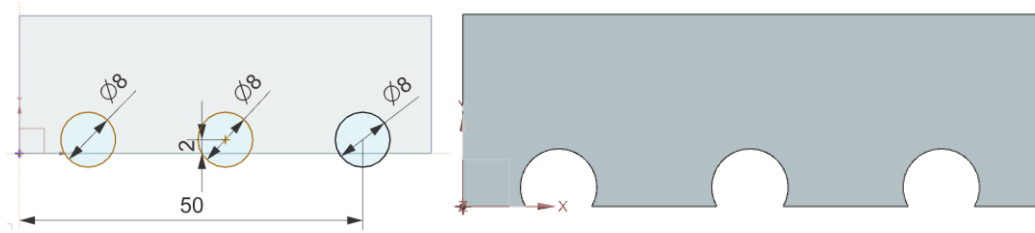
Deney düzenegi kurulurken bir endüstriyel matkap, kompozit delme fikstürü ve numune tutma çerçevesi kullanılmıştır. Kompozit levhaların delinmesi sırasında olası deformasyonların önüne geçebilmek için bir fikstür tasarlanıp imal edilmiştir. Numuneler tezgaha doğrudan mengeneye bağlanmamış ve sonuçların tutarlılığını etkilenmeyecek şekilde bir numune tutma çerçevesi hazırlanmıştır. Numune geometrisi kartezyen değil de dairesel şekilli olsaydı, matkap ucunun teğet kuvveti sebebiyle numunenin kendi merkezinde dönüşü kaçınılmaz olurdu. Delme işlemi sonrası kompozit malzemede oluşan deformasyonları görüntüleyebilmek için bir ışık mikroskopu kullanılmıştır. Deney düzenegi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 12. Deney düzenegi (1- Hız kademe kolu, 2- Hız Ayarı, 3- İlerleme adım ayarı, 4- Hareket kolu, 5- Otomatik ilerleme kolu, 6- Mandren, 7- Fikstür, 8- Yükseklik ayar kolu)

3.2.3. Deneylerin Yapılması

Planlanan deney tasarımına göre numuneler numaralandırılmış ve sistematik olarak delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delmenin beklenen bir etkisi olarak delaminasyonların belirlenmesi için uygun bir kesitten mikro görüntüleme yapmak gerekmektedir. Deney sonuçlarının etkilenmesi söz konusu olduğu için numuneler delinirken orta eksenden kaçık bir şekilde deliğin dörtte birlik kısmının numune kenarından dışarda kalması sağlandı. Bu sayede numunelerin delme deneyleri sonrasında tekrar kesilmesi ihtiyacı ortadan kaldırdı. Delme noktaları Şekil 3.13'te ve deneyde kullanılan bir grup numune Şekil 3.14'de gösterilmektedir. Numune tutma çerçevesine yerleştirilen numuneler 3 farklı matkap çapı, 2 farklı matkap dönüş hızı ve 3 farklı tutma kuvveti şartlarında delinmiştir.



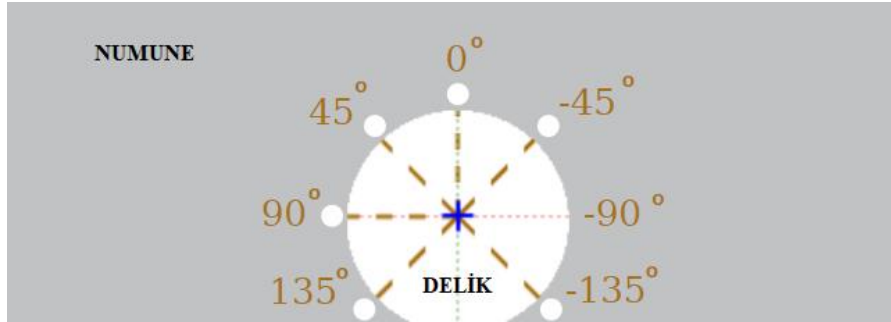
Şekil 3.12. Delme noktaları ve geometrisi



Şekil 3.13. Bir grup numune

3.2.4. Kalınlık Ölçümü

Kompozit levhaların delinmesinden sonra meydana gelebilecek olası deformasyon türlerinden biri de delaminasyondur. Delaminasyon yani katmanların ayrılması ile kesit kalınlığı deęiŖecektir. Levha kalınlık farklılığının en az olması için, numune üzerinden beŖ farklı rastgele noktadan ölçüm yapılarak, her bir numunenin delme işleminin öncesi ortalama kalınlık değeri belirlenmiştir. Delme işleminin sonrası delik çevresinde Şekil 3.15’de gösterildiği gibi yedi farklı noktadan (-135° , -90° , -45° , 0° , 45° , 90° , 135°) kalınlık değerleri ölçülmüştür. Ölçüm için Kroeplin marka $\pm 0,01$ mm hassasiyete sahip dijital bir mikrometreden yararlanılmıŖtır. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler heterojen yapılı bir malzeme çeŖidi olduğu için imal edilen levhanın tekdüze bir kalınlığa sahip olması beklenmemektedir. Levha kalınlık farklılığının en az olması için her bir numunenin delme işleminin öncesi ortalama kalınlık değeri belirlenmiştir. Delme sonrası kalınlık değişimini delinmemiŖ numunenin nominal değerine göre oranlanmıŖtır. Şekil 3.16’ da kullanılan dijital mikrometre gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Kalınlık değeri ölçülen noktalar



Şekil 3.15. Dijital mikrometre

3.2.5. Hasar Görüntülüme

Delinmiş numuneler Leica marka ışık mikroskobunda 20 kat yaklaştırılarak uygun açılardan görüntülenmiştir. Numune kesitine dik bakılarak delik iç bölgesinde 45 ve 90 derecelik yönlerden ayrı ayrı ve delme sırasında numune kenarında oluşturulan boğaz bölgeleri fotoğraflanmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.17’de kullanılan ışık mikroskobu gösterilmiştir.

Mikroskop ile görüntü almanın yanı sıra kompozit yüzey kalitesindeki değişimi değerlendirmek üzere numune yüzeylerinden makro ölçekte fotoğraflar çekilmiş ve saçaklanma kusuru incelenmiştir.



Şekil 3.16. Işık mikroskoku

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler anizotropik yapıları gereği delme işlemlerinde çeşitli deformasyonlara uğrarlar [100]. Delme sebebiyle sıklıkla rastlanan deformasyonların başında tabakalı kompozit levhalar için delaminasyon sorunu gelir [101]. Delaminasyon oluşumu kompozit malzemenin karakterine bağlı olduğu gibi işleme parametrelerine göre de değişiklik göstermektedir [102]. Delme işleminde delaminasyona ek olarak takviye fazının ayrılması, yüzey kalitesinin bozulması ve saçaklanma gibi deformasyonlar meydana gelmektedir [71]. Bu çalışmada, sürekli cam elyaf takviyeli polyamid-6 kompozit levhaların delik delme parametrelerinin malzeme deformasyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Delme işlemi 18 farklı şekilde ve 3 tekrar ile gerçekleştirilmiştir. Kalınlık değişimi verileri Çizelge 4.1’de listelenmiştir. Her bir satırdaki sonuç üçer tekrar deneyin ve delik çevresinde yedi farklı bölgeden ölçülmüş değerlerin ortalamasıdır. Belirli bir yay kuvveti uygulanmadığı durumda, numunenin çerçeveden çıkmaması için, numune fikstürün kendi ağırlığı ile tutuldu. Bu durumda fikstür ağırlığı 35 N olarak hesaplandı.

Çizelge 4-1. Kalınlık değişimi sonuçları

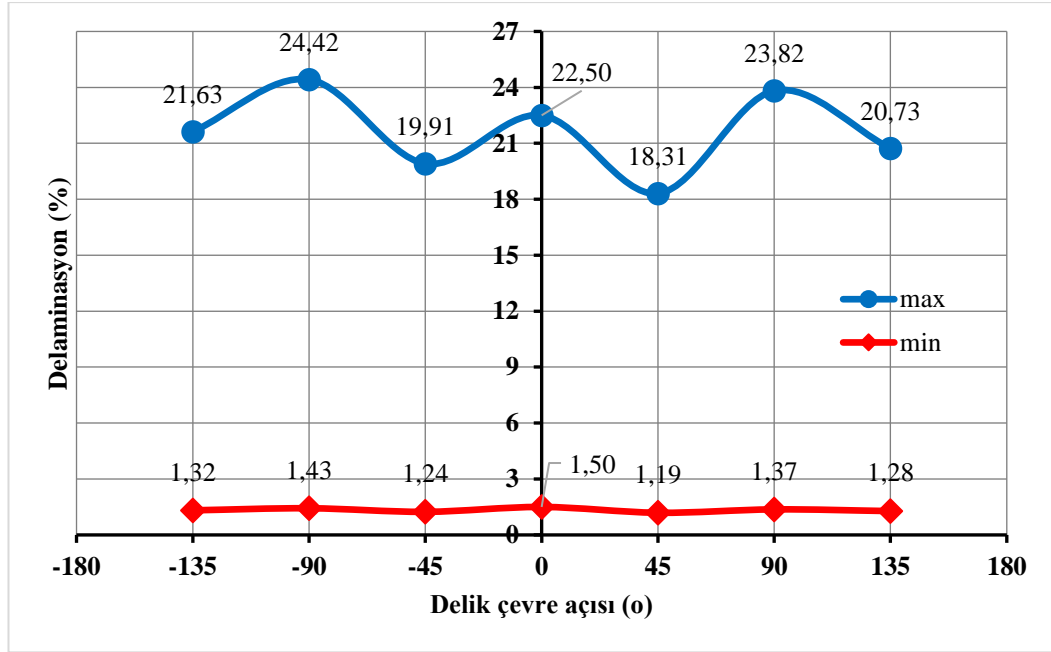
Matkap ucu çapı (mm)	Matkap dönme devri (dev/dak)	Tutma kuvveti (N)	Numune ilk kalınlığı (mm)	Delik çevresi ortalama kalınlık (mm)	Kalınlık değişimi (%)
8	224	35	2,96	3,30	11,41
8	224	400	2,97	3,18	7,22
8	224	600	2,89	3,04	5,14
8	900	35	2,89	3,17	9,74
8	900	400	2,96	3,15	6,26
8	900	600	3,02	3,06	1,33

Matkap ucu çapı (mm)	Matkap dönme devri (dev/dak)	Tutma kuvveti (N)	Numune ilk kalınlığı (mm)	Delik çevresi ortalama kalınlık (mm)	Kalınlık değişimi (%)
12	224	35	2,91	3,28	12,97
12	224	400	2,98	3,21	7,94
12	224	600	3,08	3,24	5,32
12	900	35	2,87	3,17	10,43
12	900	400	2,92	3,10	6,31
12	900	600	2,92	3,00	2,97
16	224	35	2,93	3,56	21,60
16	224	400	3,00	3,29	9,59
16	224	600	2,97	3,14	5,58
16	900	35	2,99	3,31	10,57
16	900	400	2,98	3,19	6,90
16	900	600	3,03	3,16	4,23

Deney tasarımının sınırlarını belirlemek üzere yapılan denemelerde, delme çapı 12 mm ve matkap dönüş hızı 900 dev/dak iken uygulanan tutma kuvveti 1000 N'a yükseltilmiş, bunun sonucunda delaminasyon %3,74 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 12 mm çap ve 600 N tutma kuvveti şartlarında matkap dönüş hızı 1400 dev/dak'ya yükseltilmiş, bu durumda ise delaminasyon %4,12 olarak tespit edilmiştir. Her iki bulgu da ilgili parametrelerin bir alt seviyelerinde elde edilen sonuçlardan daha kötü çıkmıştır.

4.1. DELAMİNASYON

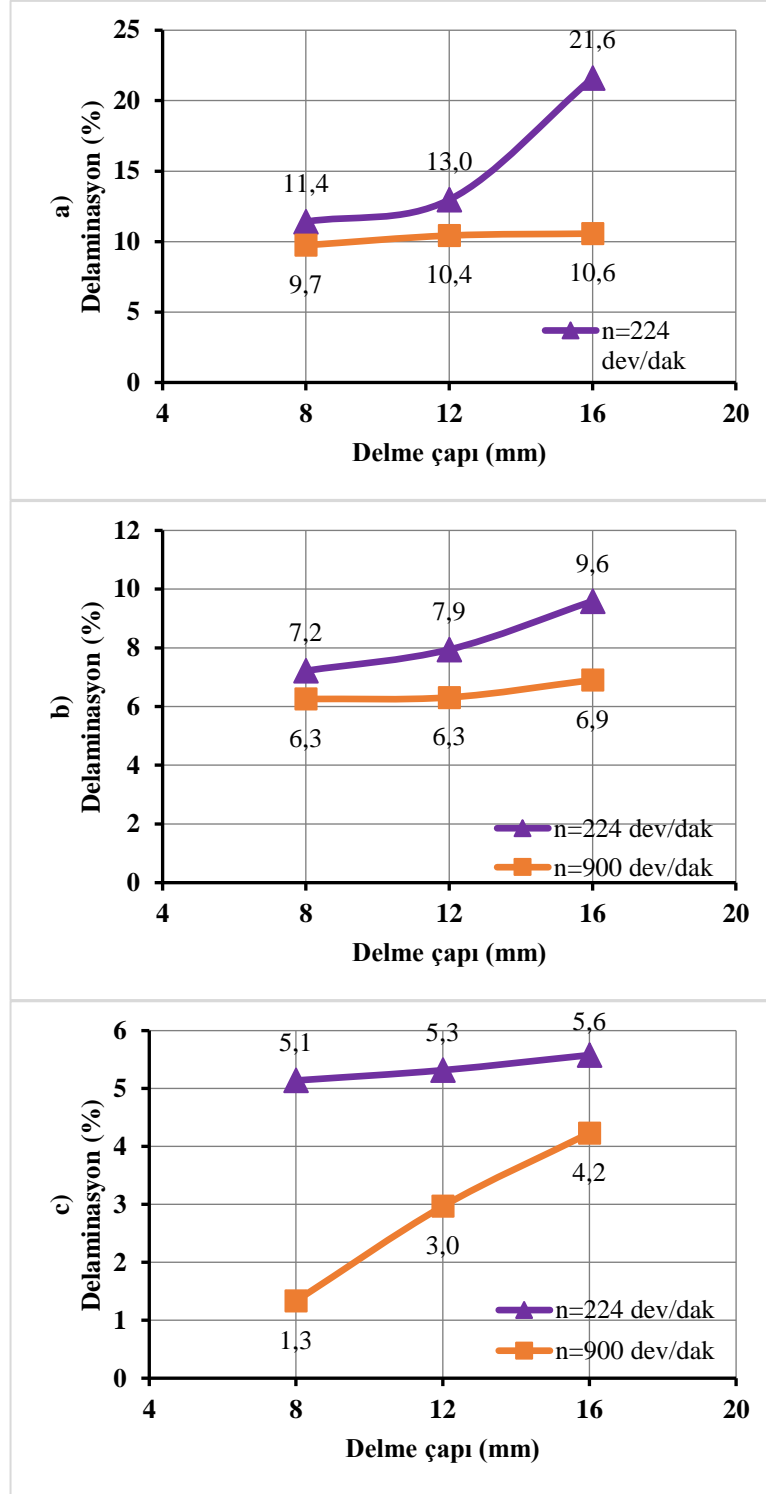
Delme deneylerinde kullanılan malzemelerin delme işleminden önce 5 farklı noktadan kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Delme deneyleri sonrası delik çevresinde 7 ayrı açıdan kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kompozit levhaların delinmesi sonucu elde edilen en iyi ve en kötü sonuç Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Minimum deformasyonun olduğu eğri üzerinde en düşük delaminasyon %1,19 oranında 45°'lik açıda görülmektedir. Maksimum deformasyonun olduğu eğri üzerinde en düşük delaminasyon %18,31 oranında 45°'lik açıda görülmektedir.



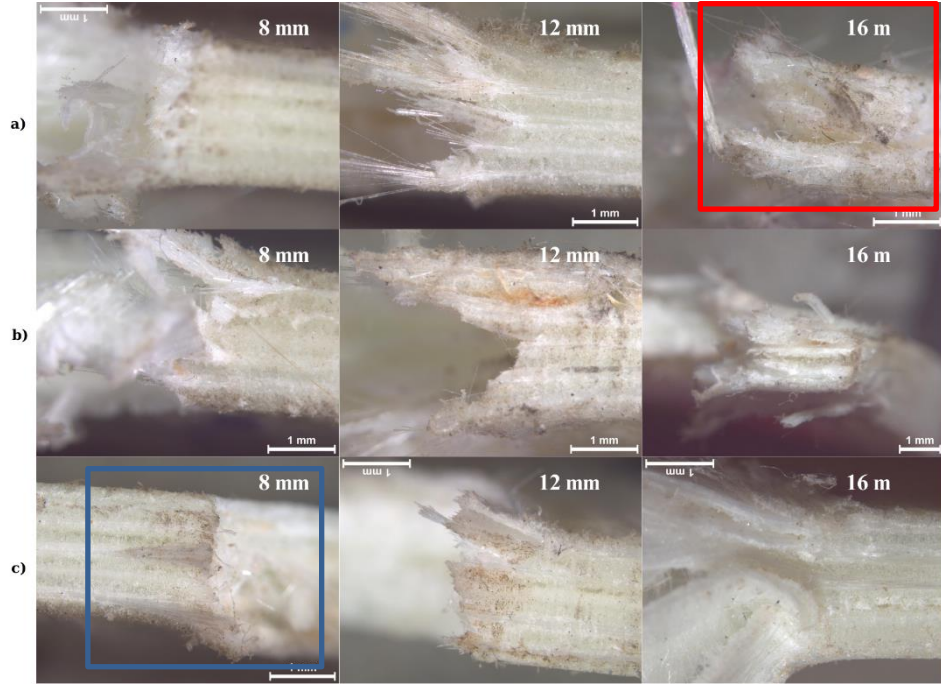
Şekil 4.1. Delik çevresinde yüzde kalınlık değişimi (min: D=8 mm, n=900 dev/dak, F=600 N, max: D=16 mm, n=224 dev/dak, F=35 N)

Şekil 4.2’de delme çap artışının delaminasyona etkisi gösterilmektedir. En düşük delaminasyon 8 mm matkap çapı, 900 dev/dak dönüş hızı ve 600 N tutma kuvvetinde %1,3 olarak görülürken, en yüksek delaminasyon 16 mm matkap çapı, 224 dev/dak dönüş hızı ve 35 N tutma kuvvetinde %21,6 olarak görülmektedir. Kumar vd. [87], yaptıkları çalışmada minimum delaminasyonu, yüksek dönüş hızı ve minimum matkap çapında görmüşlerdir. Literatüre uygun olarak matkap çapının artması delaminasyonu artırırken [91], dönüş hızının artması delaminasyonu düşürmüştür [72]. Kuvvet’in 35 N’den 600 N’a çıkarılması ile en düşük delaminasyon oranı %8,4 azalmıştır.

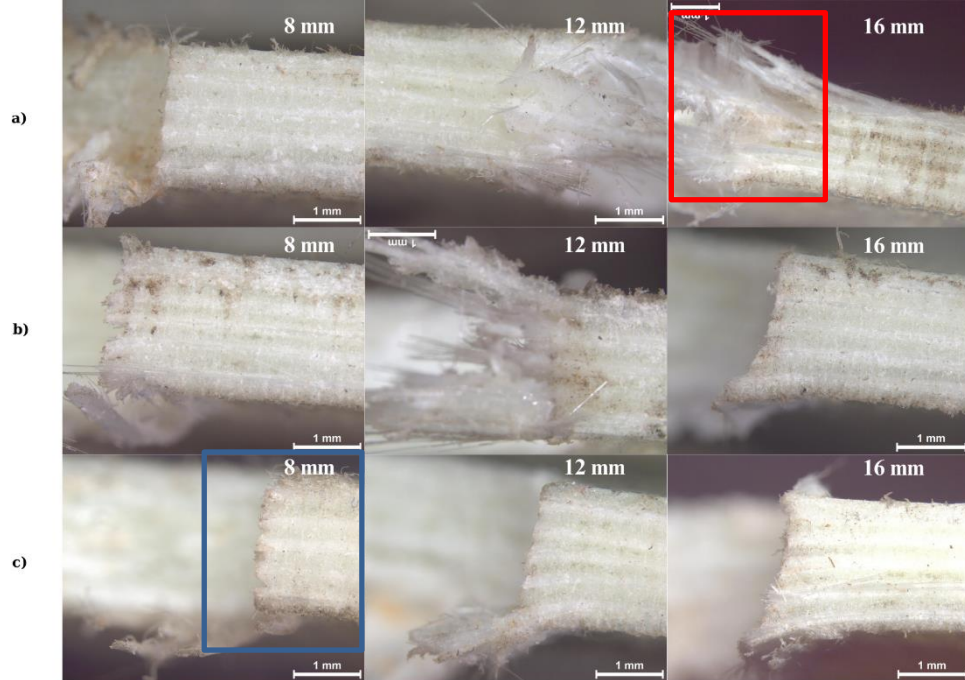
Şekil 4.3’te ve Şekil 4.4’de farklı dönüş hızlarında ve farklı delik çaplarında delinen deliklerin ışık mikroskobundan alınmış görüntüleri gösterilmektedir. 35 N tutma kuvveti, 224 dev/dak dönüş hızı ve 16 mm matkap çapında en büyük deformasyonlar meydana gelmiştir. 600 N tutma kuvveti, 900 dev/dak ve 8 mm matkap çapında en düşük deformasyonların olduğu görülmektedir. Matkap çapının artması ile birlikte deformasyonlar artarken, matkap dönüş hızı ve kuvvetin artması ile azalmıştır.



Şekil 4.1. Delme çapının delaminasyona etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)

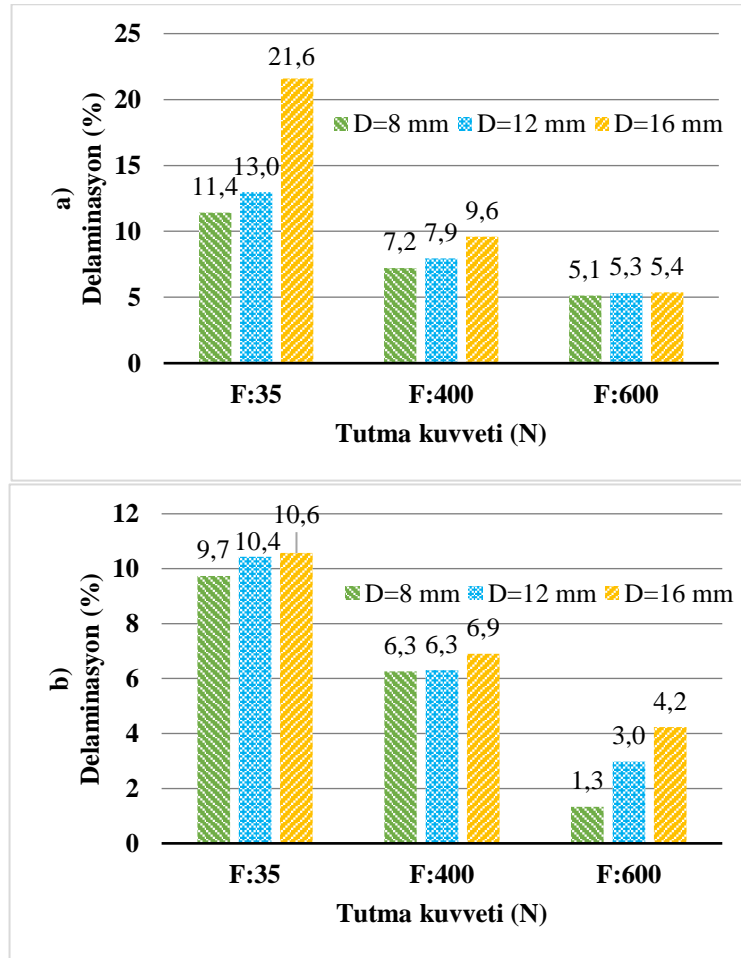


Şekil 4.2. Farklı delik çaplarında 224 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyon (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)



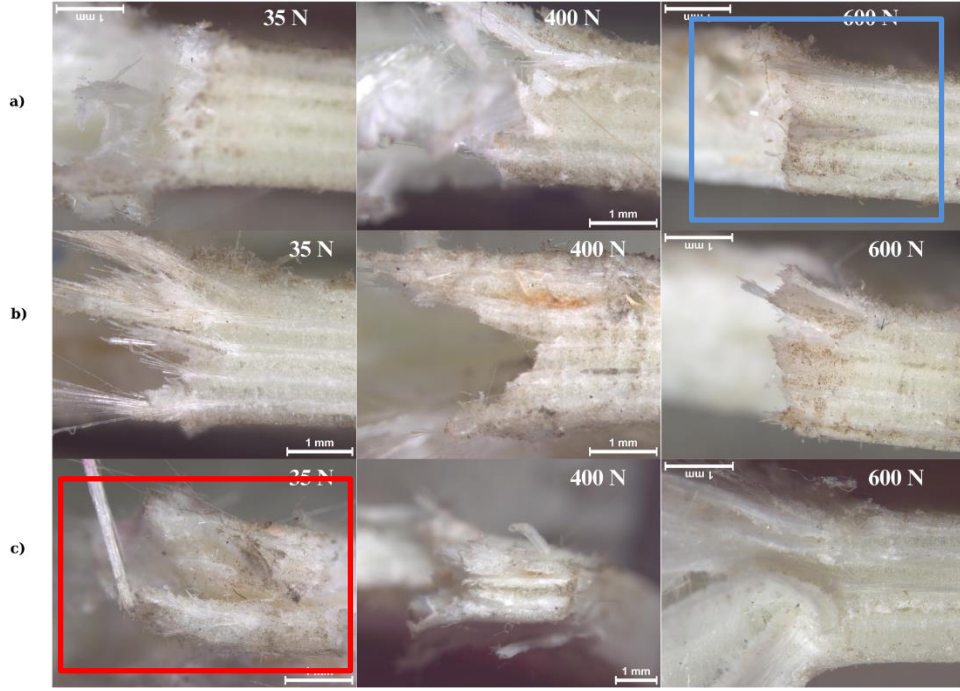
Şekil 4.3. Farklı delik çaplarında 900 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyon (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)

Şekil 4.5'te 2 farklı matkap dönüş hızı ve 3 farklı matkap çapında tutma kuvvetinin delaminasyona etkisi gösterilmektedir. 224 dev/dak ve 35 N tutma kuvvetinde matkap çaplarının delaminasyon oranları arasında %10,2'lik fark var iken, tutma kuvvetinin 600 N'a çıkması ile bu fark %0,2 olmaktadır. Dolayısıyla matkap çapının artmasından kaynaklanan delaminasyon oranları, tutma kuvvetinin artırılması ile azalmıştır. Dönüş hızının 224 dev/dak'dan 900 dev/dak'a çıkarılması ile en düşük delaminasyon oranı %3,8 azalmıştır. Matkap dönüş hızının azalması ile birlikte kesme hızı azalmaktadır [72]. Matkap çapı artışı ile artan itme kuvveti delaminasyon oranını artırmasına [79, 87] rağmen tutma kuvvetinin artması sayesinde delik çapının ve matkap dönüş hızının olumsuz etkileri azalmıştır.



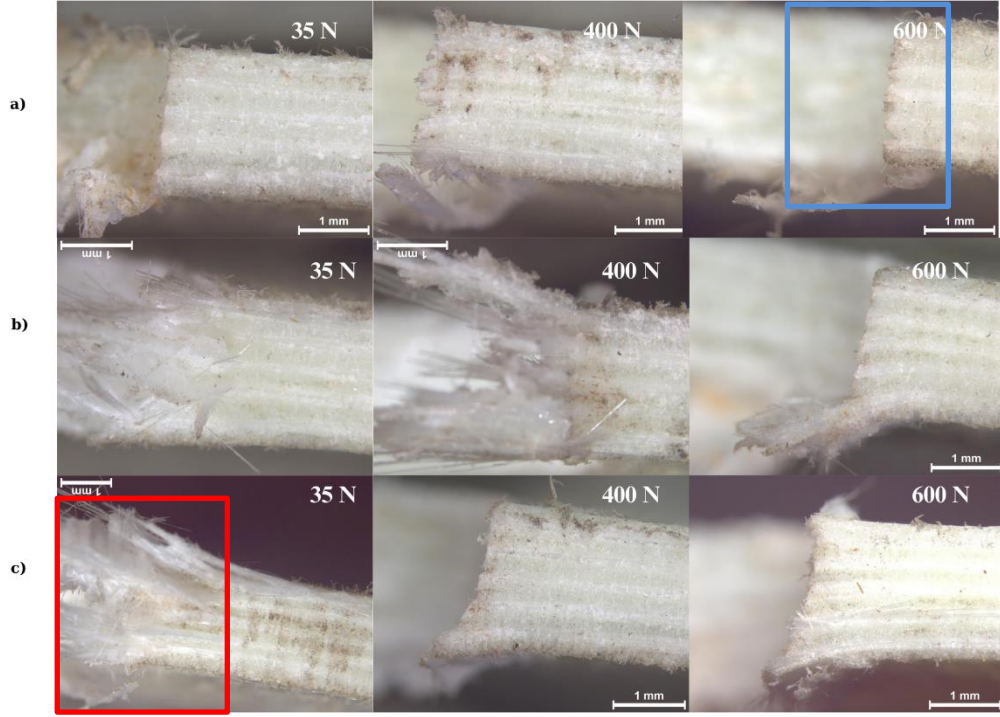
Şekil 4.4. Tutma kuvvetinin delaminasyona etkisi (a: n=224 dev/dak, b: n=900 dev/dak)

Şekil 4.6’da 224 dev/dak dönüş hızı ve farklı delik çaplarında delinen deliklerin ışık mikroskobundan alınmış görüntüleri gösterilmektedir. Matkap çapının artması ile birlikte itme kuvvetinde bir artış meydana gelmektedir. Bu durum deformasyonları artırmıştır. Matkap çapının 8 mm’den 16 mm’ye çıkarılması ile kopmalar ve delaminasyonlar artmıştır. Tutma kuvvetinin 600 N’a çıkarılması ile deformasyonlar azalmıştır.



Şekil 4.5. Tutma kuvvetinin 224 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyona etkisi (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)

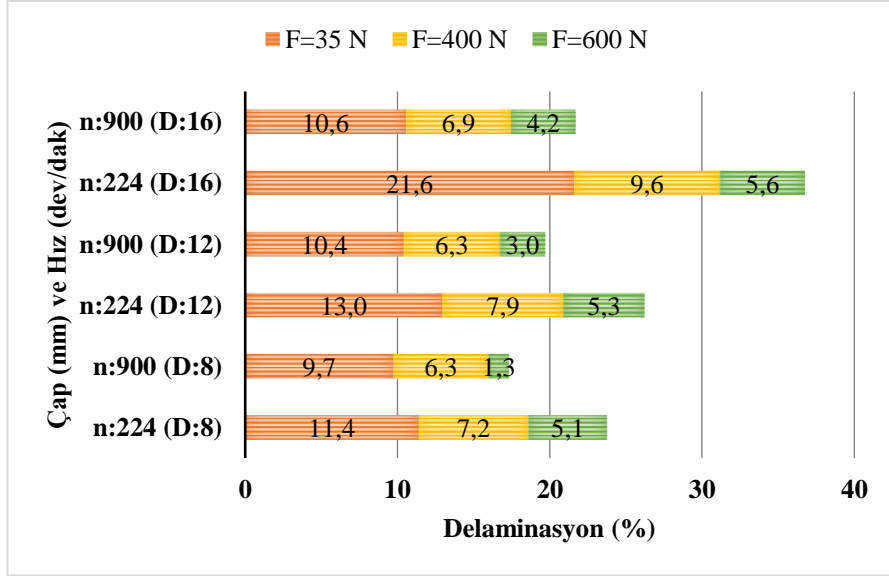
Şekil 4.7’de 900 dev/dak dönüş hızı ve farklı delik çaplarında delinen deliklerin ışık mikroskobundan alınmış görüntüleri gösterilmektedir. Delik çapında görülen artış ile birlikte deformasyonlar artmıştır. Delik çapı artışı ile itme kuvvetinin artmasına rağmen dönüş hızı artışının kesme hızını artırması itme kuvvetinin azalmasına ve deformasyonların minimum’a inmesini sağlamıştır. Delaminasyon oranı matkap çapının küçültülmesi ile azalmıştır. Delme esnasında kompozit malzemeye uygulanan tutma kuvvetinin artışı ile de deformasyonlar azalmıştır.



Şekil 4.6. Tutma kuvvetinin 900 dev/dak matkap dönüş hızında delaminasyona etkisi (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)

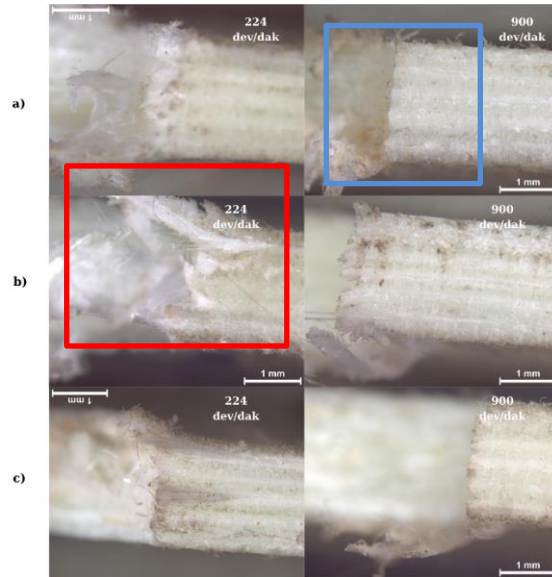
Şekil 4.8’de 3 farklı tutma kuvveti ve 3 farklı delik çapında matkap dönüş devrinin delaminasyona etkisi gösterilmektedir. En düşük delaminasyon 900 dev/dak matkap dönüş hızı, 8 mm matkap çapı ve 600 N tutma kuvvetinde %1,3 olarak görülmektedir. Tutma kuvvetinin 35 N’den 600 N’a çıkarılması ile delaminasyon oranında %8,4 azalma meydana gelmiştir.

Matkap dönüş hızının artması ile kesme hızı artmıştır. Kesme hızının artması da itme kuvvetini azaltmıştır. Bu sebeple matkap dönüş hızının artması ile birlikte delaminasyon oranının en iyi sonuç için %2,3 azaldığı görülmektedir. Matkap çapının artması ile artan delaminasyon oranı, tutma kuvvetinin artması ile azalmıştır.



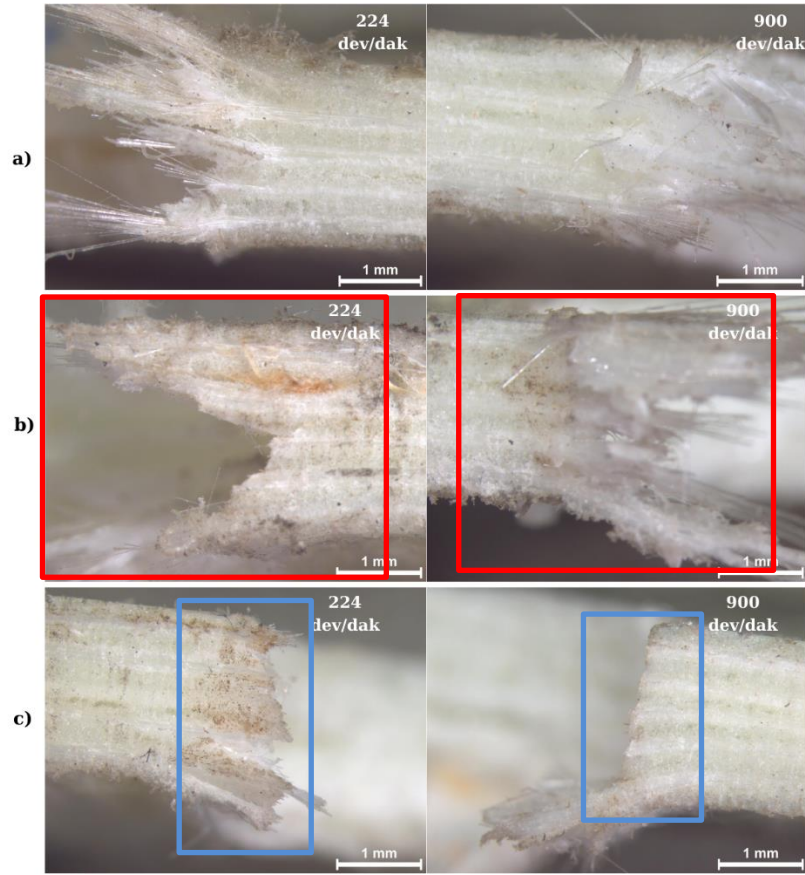
Şekil 4.7. Matkap dönüş hızının delaminasyona etkisi

Şekil 4.9’da 8 mm matkap çapı ve farklı tutma kuvvetlerinde delinen deliklerin ışık mikroskobundan alınmış görüntüleri gösterilmektedir. Dönüş hızının artması ile birlikte deformasyonların azaldığı görülmektedir. Tutma kuvvetinin artması ile delaminasyon oranları düşse de, düşük devirlerde deformasyon açısından etkisini azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.8. 8 mm delik çapında matkap dönüş hızının etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)

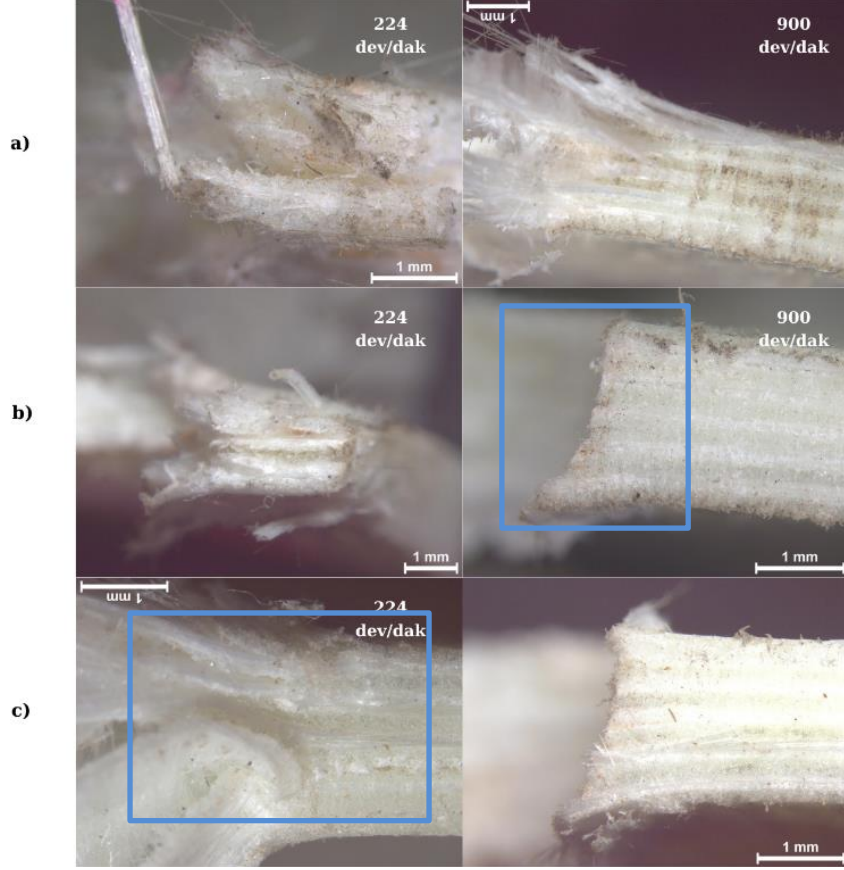
Şekil 4.10'da 12 mm matkap çapının, farklı tutma kuvvetleri ve dönüş hızlarında delinen deliklerin ışık mikroskobundan alınmış görüntüleri gösterilmektedir. Dönüş hızındaki artışın, malzeme üzerinde meydana gelen deformasyonları azaltma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Aynı zamanda, tutma kuvvetinin artmasıyla birlikte delaminasyon oranlarının düşüş gösterdiği fakat düşük devirlerde tutma kuvvetinin deformasyonu engellemesi de azalmaktadır. Tutma kuvvetinin 35 N'dan 600 N'a çıkarıldığında görülen etki tutma kuvvetinin 35 N'dan 400 N'a çıktığı durumlardan daha etkilidir.



Şekil 4.9. 12 mm delik çapında matkap dönüş hızını etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F:600 N)

Şekil 4.11'de, 16 mm matkap çapıyla delinen deliklerin farklı tutma kuvvetleri ve dönüş hızları altındaki ışık mikroskobu görüntüleri sunulmaktadır. Dönüş hızındaki artışın malzeme üzerinde meydana gelen deformasyonları azaltma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca, tutma kuvvetinin artmasıyla birlikte delaminasyon oranları düşüş göstermiştir. Düşük dönüş hızlarında meydana gelen kopmalar, matkap çapının

büyümesi ve kuvvetin 600 N'a çıkarılması ile yerini delaminasyona bırakmıştır. En düşük deformasyon 400 N tutma kuvveti ve 900 dev/dak'da görülmektedir.



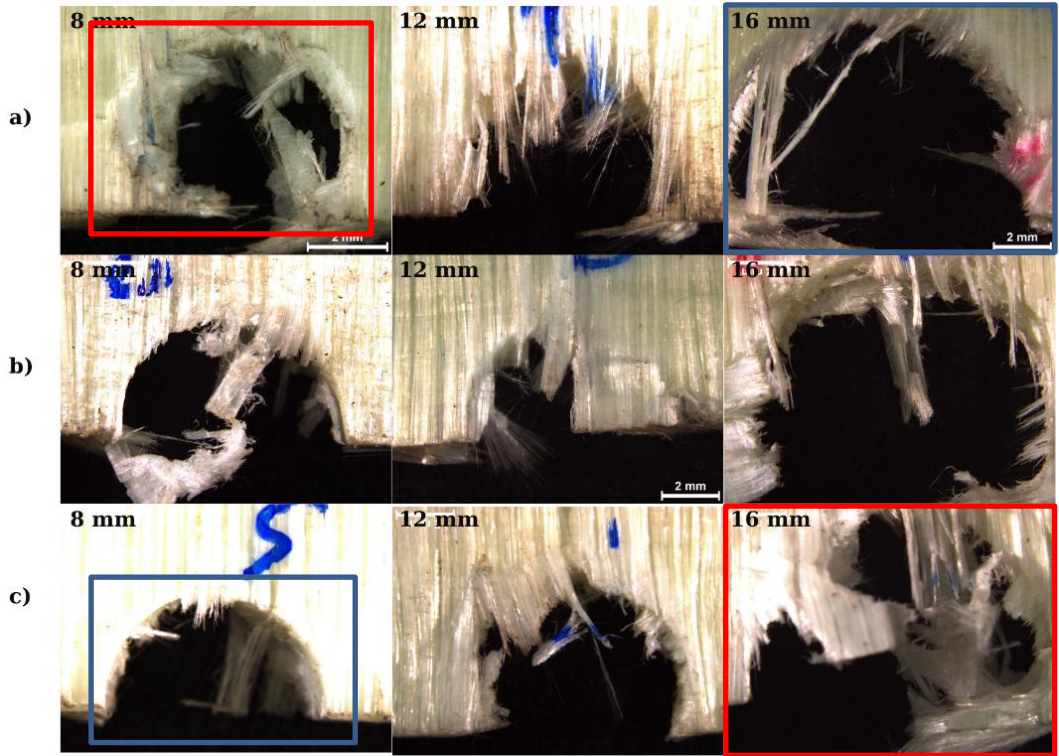
Şekil 4.10. 16 mm delik çapında matkap dönüş hızının etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F:600 N)

4.2. YÜZEY KALİTESİ

Yüzey pürüzlülüğü ve iç yüzey kalitesi delinmiş parçaların performansında etkin bir rol oynar. Klasik bir delme işleminde dönüş hızına bağlı teğetsel kesme kuvveti, matkap çapına bağlı radyal kuvvet ve ilerleme adımına bağlı aksenal kuvvet optimize edilmeye çalışılır [103]. Bu çalışmada, geliştirilen fikstür yardımıyla kompozitlerin delinmesinde meydana gelebilecek çeşitli deformasyon mekanizmalarının önüne geçmek için malzemeye aksenal ve çevresel etki eden bir tutma kuvveti uygulanmıştır. Tespit edilen saçaklanmalar, malzemedeki estetik problemlerden daha çok mukavemet kaybına neden olabilecek hasarların başlamasına anlamına gelmektedir. Olası hasarlar, elyaf bükülmesi, elyaf sıyrılması, elyaf kopması, matris yırtılması, düzlem içi kayma

olarak karşımıza çıkabilir. Bu hasar tiplerinin biri veya birden fazlası meydana geliyor olabilir [104]. Buna ve malzemede neden olduğu eksikliğe ancak derinlemesine bir incelemeden sonra karar verilebilir. Bu bölümde yer alan görüntülemeler ile malzeme yüzey bütünlüğünün bozulma seviyeleri karşılaştırılmıştır. Bu kısımda, elyaf takviyeli termoplastik kompozitlere deney sistemine göre gerçekleştirilen çalışmaların deformasyon sonuçları karşılaştırmalı bir biçimde numune görselleri ile açıklanmıştır. Şekil 4. 12’de delik çapı artışının 224 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkileri görülmektedir.

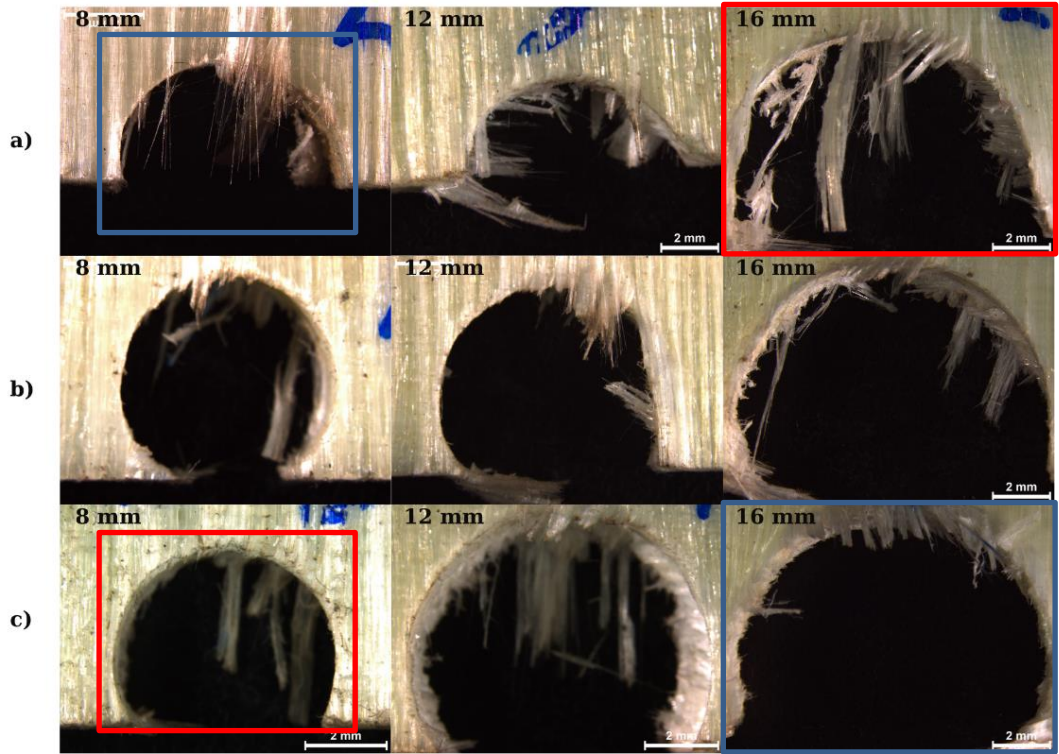
Düşük dönüş hızlarında delik çapının artması ile birlikte delme ekseninde saçaklanmanın azaldığı görülmektedir. Tutma kuvvetinin 600 N’a çıkarılması, küçük delik çapında saçaklanmayı azaltmış ancak büyük delik çaplarında saçaklanmayı artırmıştır.



Şekil 4.11. Delik çapı artışının 224 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)

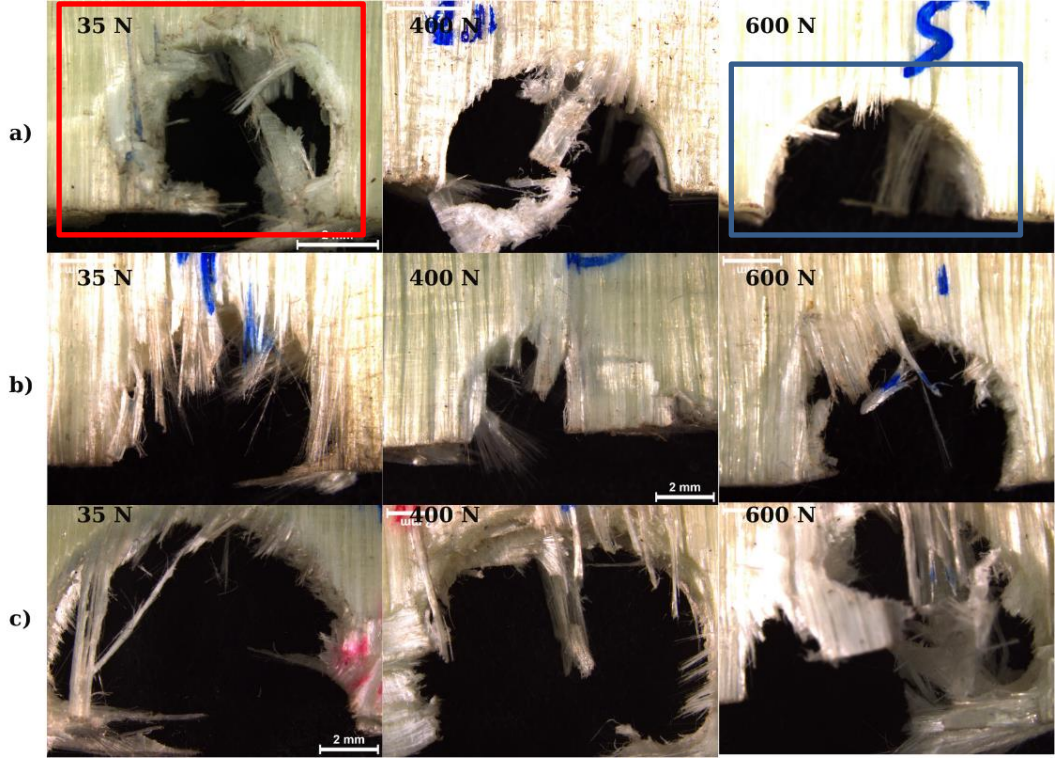
Şekil 4. 13’de delik çapı artışının 900 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkileri görülmektedir. Yüksek dönüş hızlarında 600 N tutma kuvvetinde delik çapının

artması ile birlikte delme ekseninde saçaklanmanın azaldığı görülmektedir. Tutma kuvvetinin 35 N ve 400 N olması durumunda ise çap artışı saçaklanmayı artırmıştır. Çap artışı ile artan itme kuvveti saçaklanmayı artırmış, tutma kuvvetinin 600 N'a çıkarılması ile itme kuvvetinden kaynaklanan saçaklanma azaltılmıştır. Dönüş hızının artması ile kesme hızında artış meydana gelir. Dönüş hızının 224 dev/dak'dan 900 dev/dak hıza çıkarılması kesme hızının artmasını sağlamış ve saçaklanma azalmıştır.



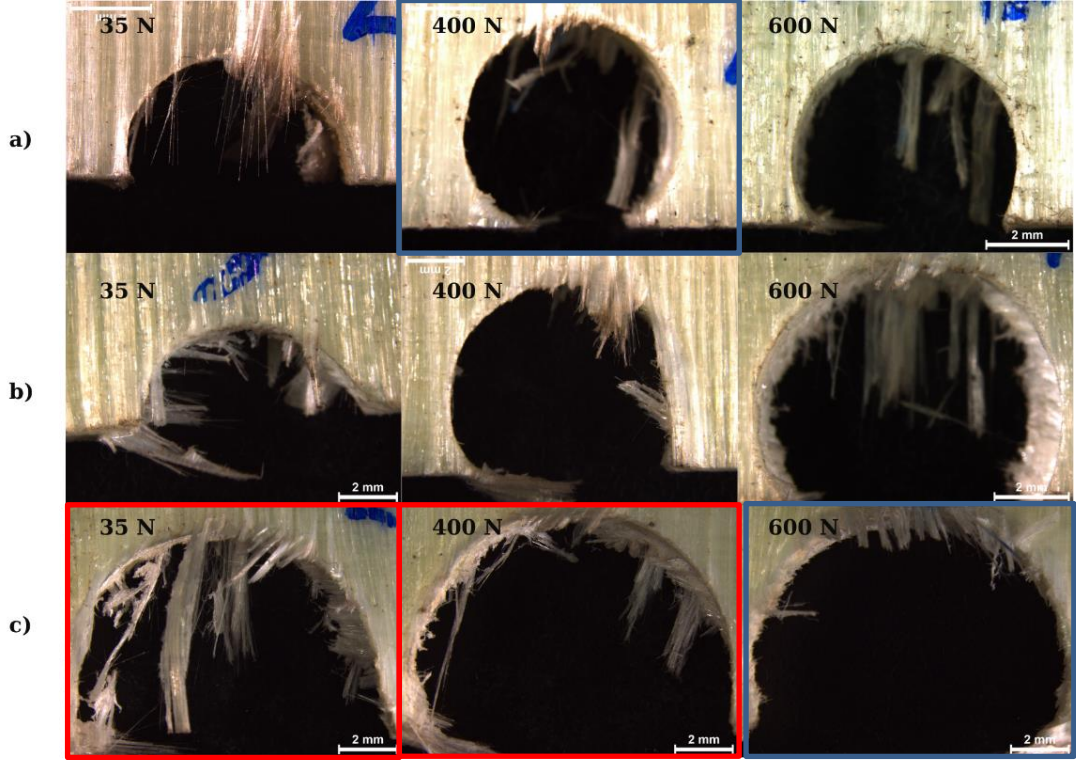
Şekil 4.12. Delik çapı artışının 900 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkisi (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)

Şekil 4.14'de tutma kuvvetinin 224 dev/dak matkap dönüş hızı ve farklı delik çaplarında yüzey kalitesine etkileri görülmektedir. Tutma kuvvetinin artması, malzemenin matkap ucu tarafından kesilmeye karşı direncini artırmış ve daha az saçaklanma olmasını sağlamıştır. Daha düşük devirlerde istenen saçaklanma oranları tutma kuvveti sayesinde elde edilmiştir. Tutma kuvvetinin artması, matkap dönüş devrinin azalması ve delik çapının artması ile artan saçaklanma oranını düşürmüştür.



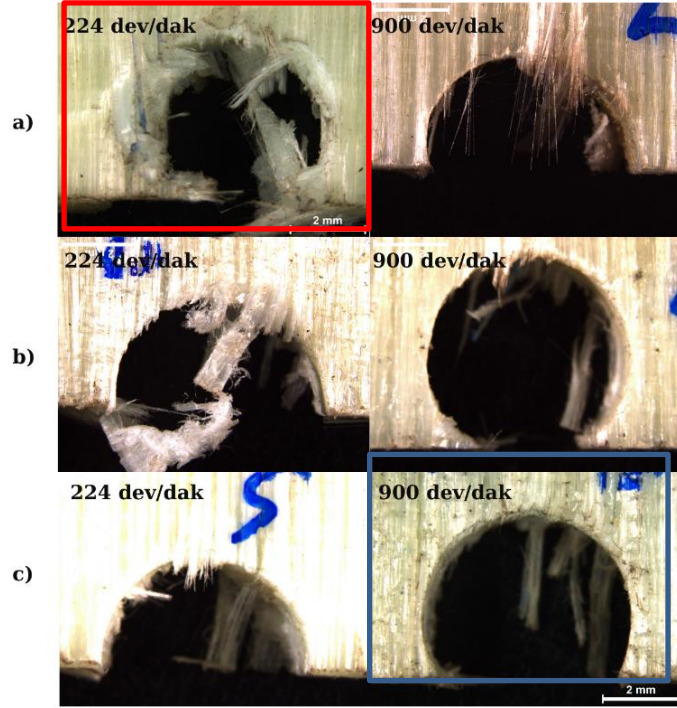
Şekil 4.13. Tutma kuvvetinin 224 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkileri (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)

Şekil 4.15’de tutma kuvvetinin 900 dev/dak matkap dönüş hızı ve farklı delik çaplarında yüzey kalitesine etkileri görülmektedir. Fikstür tarafından uygulanan tutma kuvvetinin artması ile saçaklanma azalmıştır. Delik çapının artışı ile saçaklanma oranında artış meydana gelmiştir. Matkap dönme hızının artırılması ile kesme hızı artmış ve itme kuvveti azalmıştır. İtme kuvvetinin azalması ile birlikte saçaklanmanın azaldığı görülmüştür.

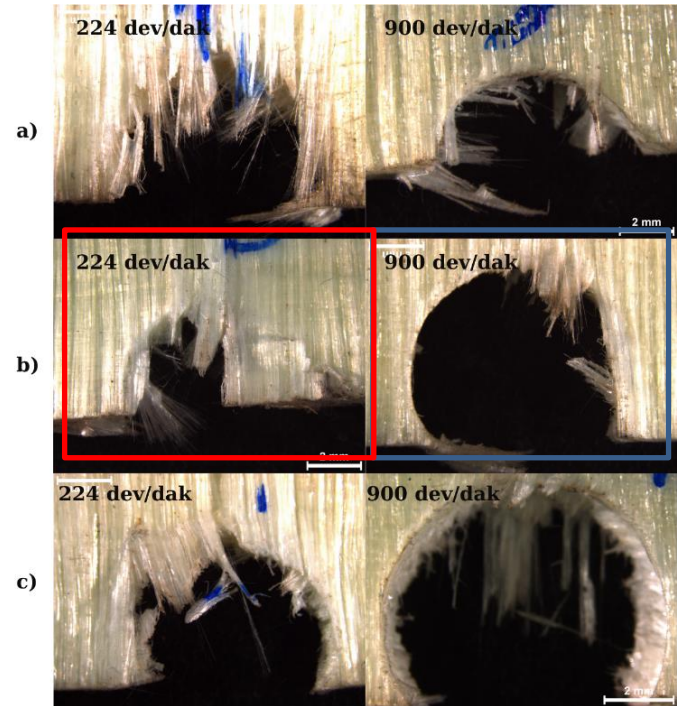


Şekil 4.14. Tutma kuvvetinin 900 dev/dak matkap dönüş hızında yüzey kalitesine etkileri (a: D=8 mm, b: D=12 mm, c: D=16 mm)

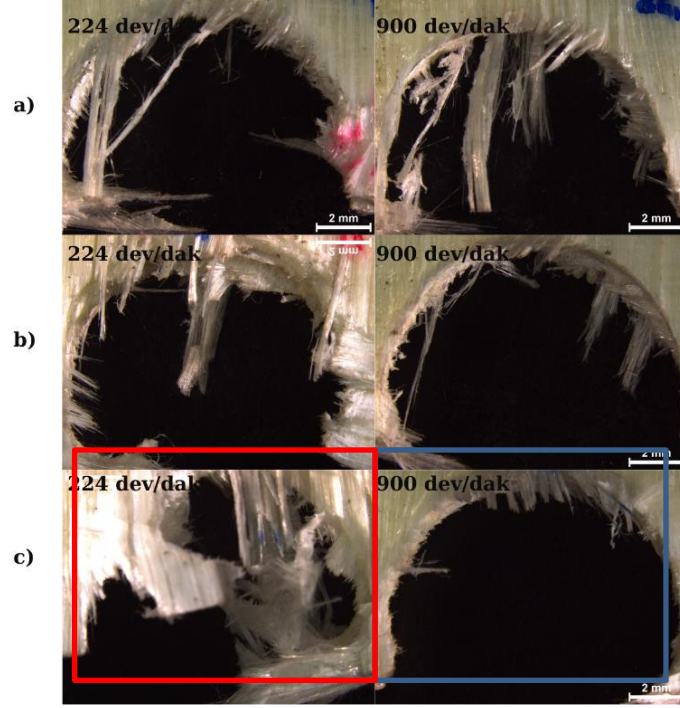
Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de matkap dönüş hızının farklı delik çapları ve farklı tutma kuvvetlerinde yüzey kalitesine etkileri gösterilmektedir. Matkap dönüş hızının artması ile birlikte artan kesme hızı sayesinde saçaklanma azalmıştır. Matkap dönüş hızının artması ile birlikte tutma kuvvetinin de artması saçaklanmayı azaltmıştır [81]. Delik çapının artması itme kuvvetini artırarak saçaklanmayı artırmıştır [82]. Delik çaplarının artırıldığı durumlarda tutma kuvveti de artırıldığında saçaklanmanın azaldığı görülmektedir. En az saçaklanma 900 dev/dk matkap dönüş hızı, 600 N tutma kuvveti ve 8 mm matkap çapında meydana gelmiştir.



Şekil 4.15. Matkap dönüş hızının 8 mm deliklerde yüzey kalitesine etkileri (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)



Şekil 4.16. Matkap dönüş hızının 12 mm deliklerde yüzey kalitesine etkileri (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)



Şekil 4.17. Matkap dönüş hızının 16 mm deliklerde yüzey kalitesine etkileri (a: F=35 N, b: F=400 N, c: F=600 N)

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada, termoplastik kompozit levhaların delinmesi sırasında ortaya çıkan deformasyonları en aza indirmek amacıyla özel bir fikstür geliştirilmiştir. Fikstür yardımıyla numune delik girişinde çevresel bir tutma kuvveti oluşturulmuştur. Fikstürün serbest ağırlığı 35 N, mekanik uygulanan 400 N ve 600 N tutma kuvvetlerinin yanı sıra standart matkapla delme parametrelerinden dönüş hızı ile delme çapı değiştirilerek çeşitli deneyler yapılmıştır. Deney malzemesi olarak otomotiv endüstrisinde mekanik ve ısıl özellikleri sebebiyle tercih edilen cam elyaf takviyeli polyamid-6 kompozit kullanılmıştır. Sistematik olarak gerçekleştirilen deneyler sonrasında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. İncelenen delme parametreleri arasında en çok tutma kuvvetinin deformasyonlar üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ardından sırasıyla matkap dönüş hızı ve delme çapı etkili olmuştur.
2. Deformasyonların en az olduğu delme işlemi 8 mm delik çapı, 900 dev/dak dönüş hızı ve 600 N tutma kuvveti şartlarında gerçekleşmiştir. Bu durumda, delaminasyon %1,33 olarak tespit edilmiştir.
3. Tutma kuvveti arttıkça delaminasyon azalmış ve yüzey kalitesi daha az bozulmuştur.
4. Matkap dönüş hızının artması delaminasyonu azalttığı görülmüştür.
5. Matkap ucu çapının artması yüzey kalitesini olumsuz etkilerken, 600 N tutma kuvveti ve 900 dev/dak dönüş hızında iken yüzey kalitesini değiştirmemiştir.
6. Hem tutma kuvvetinin hem de dönüş hızının belirli bir değere kadar artırılabilceği, o seviyeden sonra deformasyonların azalmasına katkı sunmadığı anlaşılmıştır.

7. Geliştirilen fikstürün, yalnızca pul iç çapı değiştirilerek ve yay iç çapının müsaade ettiği çaplarda, en az deformasyonla delik delmeye imkan sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Orłowicz, A., W., Mroz, M., Tupaj, M. and Trytek, A., "Materials used in the automotive industry" *Archives of Foundry Engineering*, 15 : 6 (2015).
2. Mohan, N. S., Kulkarni, S. M. and Ramachandra, A., "Delamination analysis in drilling process of glass elyaf reinforced plastic (GFRP) composite materials" *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (1-3): 265-271 (2007).
3. Tagliaferri, V., Caprino, G. and Diterlizzi, A., "Effect of drilling parameters on the finish and mechanical properties of GFRP composites" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 30 (1): 77-84 (1990).
4. Capello, E., "Work piece damping and its effect on delamination damage in drilling thin composite laminates", *J. Mater. Process. Technol.*, 148 (2): 186–195 (2004).
5. Kessler, M. R., "Polymer matrix composites: A perspective for a special issue of polymer reviews" *Polymer Reviews*, 52 (3): 229-233 (2012).
6. McKechnie, D. and Wegma T., "ECRC heads search for composites recycling solutions" *Reinforced Plastics*, 51 (7): 32-33 (2007).
7. İnternet: Fortune Business Insights, "Innovative Market Solutions to Help Businesses Make Informed Decisions", <https://www.fortunebusinessinsights.com/composites-market-102295> (2019).
8. Özdemir, A. O., "Investigation of the spring-back phenomenon in two-dimensional bending of continuous glass fiber-reinforced polyamide composite sheets" *Journal of Composite Materials*, 57 (7): 1247-1260 (2023).
9. Shirazi, A. and Varvani-Farahani, A., "A stiffness degradation based fatigue damage model for FRP composites of (0/θ) laminate systems" *Applied Composite Materials*, 17 : 137-150 (2010).
10. Hocheng, H. and Tsao, C. C., "Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits" *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (1): 335-339 (2003).
11. Kumar, S., Gupta, M. and Satsangi, P. S., "Multiple-response optimization of cutting forces in turning of UD-GFRP composite using Distance-Based Pareto Genetic Algorithm approach" *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18 (4): 680-695 (2015).

12. Liu, D., Tang, Y. and Cong and W. L., "A review of mechanical drilling for composite laminates" *Composite Structures*, 94 (4): 1265-1279 (2012).
13. Khashaba, U. A., "Drilling of polymer matrix composites: a review" *Journal of Composite Materials*, 47 (15): 1817-1832 (2013).
14. Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R. and Pruncu, C. I., "Recent progress of reinforcement materials: A comprehensive overview of composite materials" *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (6): 6354-6374 (2019).
15. Wicks, S. S., de Villoria, R. G. and Wardle, B. L., "Interlaminar and intralaminar reinforcement of composite laminates with aligned carbon nanotubes" *Composites Science and Technology*, 70 (1): 20-28 (2010).
16. Chawla, K., "Composite materials: science and engineering", *Springer*, 247-238, (2012).
17. Kandaş H., "Farklı ön gerilme yüklerinde cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışı", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 25-26 (2018).
18. Yang, Y., Boom, R., Irion, B., Van Heerden, D. J., Kuiper, P. and De Wit, H., "Recycling of composite materials" *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51 : 53-68 (2012).
19. Mindivan, H., "Silisyum karbür takviyeli alüminyum matris kompozitlerin tribolojik davranışlarının incelenmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 56-58 (2007).
20. Itoh, M., Inoue, K., Hirayama, N., Sugimoto, M. and Seguchi, T., "Fiber reinforced plastics using a new heat-resistant silicon based polymer" *Journal of Materials Science*, 37 : 3795-3801 (2002).
21. Zhang, C., "Understanding the wear and tribological properties of ceramic matrix composites. Advances in ceramic matrix composites" *Woodhead Publishing*, 312-339 (2014).
22. Ray, BC., "Temperature effect during humid ageing on interfaces of glass and carbon fibers reinforced epoxy composites" *J Colloid Interface Science*, 298 (1): 111 (2006).
23. Xu, Y., Chung, DDL. and Mroz, C., "Thermally conducting aluminum nitride polymer-matrix composites. Compos Part A" *Appl Sci Manuf*, 32 (12): 1749-57 (2001).
24. Davim, JP., Reis, P., "Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments" *Compos Struct*, 59 (4): 481 (2003).

25. Mukherjee, M., Das, CK. and Kharitonov. AP., "Fluorinated and oxyfluorinated short Kevlar fiber-reinforced ethylene propylene polymer" *Polym Compos*, 27 (2): 205–12 (2006).
26. Dang, ZM., Yuan, JK., Zha, JW., Zhou, T., Li, ST. and Hu, GH., "Fundamentals, processes and applications of high-permittivity polymer–matrix composites" *Prog Mater Sci*, 57 (4): 660–723 (2012).
27. David, W. R., "Modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design" *CRC Press.*, (2018).
28. Hunt, WH., "Metal matrix composites" *Comprehensive Composite Materials*, 57–66 (2000).
29. Haghshenas, L. and Faraji, A., "Evaluation of the effect of Gold and Nickel nanoparticles on Escherichia coli and Staphylococcus aureus bacteria in milk" *J. Micro Nano Biomed*, 1 : 1-6 (2016).
30. Mallick, P. K., "Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles", *Chennai*, 21-22 (2020).
31. Li, J. and Laghari, R. A., "A review on machining and optimization of particle-reinforced metal matrix composites" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100 : 2929-2943 (2019).
32. Callister, W. D., "Materials Science and Engineering 7th ed.", *John Wiley & Sons*, New York, 567 (2007).
33. Kılıç, E., "Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 35-36 2006.
34. Kumlutaş, D., Tavman, I. H. and Çoban, M. T., "Thermal conductivity of particle filled polyethylene composite materials" *Composites Science and Technology*, 63 (1): 113-117 (2003).
35. Gül, A. ve Kuruca, L., "Kompozit-CTP El Kitabı", İstanbul, 14-15 (2017).
36. Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mohamed, A. M., and Alaskar, A., "Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review" *Construction and Building Materials*, 253 (2020).
37. Oxford, Oxford Dictionary. 2020.
38. Şentürk, O., "Kısa Cam Elyaf ve Kalsit Dolgulu Polipropilen Hibrit Kompozitlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 48-51 (2014).

39. Yılmaz, D. and Kanik, M., "Poliamid liflerinde meydana gelen kimyasal hasarın tespitinde kullanılan test yöntemlerinin incelenmesi" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 14 (2): 3 (2009).
40. Khalid, M. Y., Arif, Z. U., Ahmed, W. and Arshad, H., "Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials" *Sustainable Materials and Technologies*, 52 (3): 229-233 (2022).
41. Sohn, Y. J., Kim, H. T., Baritugo, K. A., Jo, S. Y., Song, H. M., Park, S. Y. and Park, S. J., "Recent advances in sustainable plastic upcycling and biopolymers" *Biotechnology Journal*, 15 (6): 190 (2020).
42. Örçen, G., "Çelik takviyeli termoplastik kompozit levhalarda elastik ve elasto-plastik gerilme analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 31-33 2005.
43. Akkurt, S., "Plastik Malzeme Bilgisi", İstanbul, 80-81 (1991).
44. Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., "Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review" *Construction and Building Materials*, 253 : 119146 (2020).
45. Saçak M., Polimer Teknolojisi 3. baskı, Ankara, 71-80 (2012).
46. Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., "Plastikler" Ankara, 18-22 (1997).
47. Parkinson, D. B., "Quality-based design by probability optimization" *Quality and Reliability Engineering International*, 9 (1): 29-37 (1993).
48. Şahin, S., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Levhaların Şekillendirilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2015).
49. Kayı, Y., "Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 45 (2006).
50. MKE Kurumu Genel Müdürlüğü, 1454 sayı 8 Nisan tarihli yazı, Ankara, (1993).
51. Ravishankar, S. R. and Murthy, C. R. L., "Ultrasonic imaging for evaluation of drill induced delaminations in composite laminates" *Proceedings of the 14th World Conference Nondestructive Test*, 8-13 (1996).
52. Meral, G., "Matkap Uç Ve Kanal Geometrisi Tasarımı ve Delme Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 32-33, (2016).

53. Strenkowski, J. S., Hsieh, C. C. and Shih, A. J., "An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44 :(12-13), 1413-1421 (2004).
54. Koenig, W., Wulf, C., Grass, P., and Willerscheid, H., "Machining of fibre reinforced plastics" *CIRP Annals*, 34 (2): 537-548 (1985).
55. Sakuma, K., Yokoo, Y. and Seto, M., "Study on drilling of reinforced plastics-relation between tool material and wear behavior", *Bull. JSME*, 27 (228): 1237–1244 (1984).
56. Galloway, D.F., "Some experiments on the influence of various factors on drill performance", *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 79 (2): 191-224 (1957).
57. Miller, J., "Drilling graphite/epoxy at Lockheed." *Am. Mach. Autom. Manuf.*, 70-71 (1987).
58. Mackey, B.A., "How to drill precision holes in reinforced plastics in a hurry", *Plast. Eng.*, 22–24 (1980).
59. Komanduri, R., , Zhang B., and Vissa, C., "Machining of elyaf reinforced composites", *Process. Manuf. Comp. Mater.*, 49 (27): 1–36 (1991).
60. Kobayashi, A., Machining of Plastics, *McGraw-Hill*, New York, 1967.
61. Boz, M. ve Kurt, A., "Bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme-aşınma özelliklerine sepiyolit'in etkisi", *Politeknik Dergisi*, 9 (4): 303-311 (2006).
62. Ahmad, S., "Machining of polymer composites" New York, 103-104, (2009).
63. Kırhasanoğlu, E. and Turgut, Y., "Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin istifli delinmesinde delik çıkış hasarının deneysel araştırılması" *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2): (2021).
64. Panchagnula, K. K. and Palaniyandi, K., "Drilling on fiber reinforced polymer/nanopolymer composite laminates: a review" *Journal of Materials Research and Technology*, 7 (2): 180-189 (2018).
65. Kumar, G., Rangappa, S. M., Siengchin, S. and Zafar, S., "A review of recent advancements in drilling of fiber-reinforced polymer composites" *Composites Part C*, 100312 (2022).
66. Lin, S. C. and Shen, J. M., "Drilling unidirectional glass fiber-reinforced composite materials at high speed" *Journal of Composite Materials*, 33 (9): 827-851 (1999).

67. Mathew, J., Ramakrishnan, N. and Naik, N. K., "Investigations into the effect of geometry of a trepanning tool on thrust and torque during drilling of GFRP composites" *Journal of Materials Processing Technology*, 91 (1-3): 1-11 (1993).
68. Krishnaraj, V., Vijayarangan, S. and Suresh, G., "An investigation on high speed drilling of glass fibre reinforced plastic" *GFRP*, 6-7 (2005).
69. Karnik, S. R., Gaitonde, V. N., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A. M. and Davim, J. P. "Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model" *Materials & Design*, 29 (9): 1768-1776 (2008).
70. Lin, S. C. and Chen, I. K., "Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed" *Wear*, 194 (1-2): 156-162 (1996).
71. Yaşar, N., Korkmaz, M. E. and Günay, M., "Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite" *MATEC web of Conference*, Volume 112 : 3 (2017).
72. Gaitonde, V., Karnik, S. R., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A. M. and Davim, J. P., "Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites" *Journal of Materials Processing Technology*, 203 (1-3): 31-438 (2008).
73. Chen, W. C., "Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) composite laminates" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37 (8): 1097-1108 (1997).
74. Xu, J., Lin, T., Chen M. and Davim, J.P., "Machining responses of high-strength carbon/ epoxy composites using diamond-coated brad spur drills" *Mater. Manuf. Process.*, 36 : 722–729 (2021).
75. Xu, J., An, Q. and Chen, M., "An experimental investigation on cutting-induced damage when drilling high-strength T800S/250F carbon fiber–reinforced polymer" *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231 (11): 1931-1940 (2017).
76. Xu, J., Li, C., Mi, S., An, Q. and Chen, M. "Study of drilling-induced defects for CFRP composites using new criteria" *Composite Structures*, 201 : 1076-1087 (2018).
77. Ahmad Sobri, S., Whitehead, D., Mohamed, M., Mohamed, J. J., Mohamad Amini, M. H., Hermawan, A. and Norizan, M. N., "Augmentation of the delamination factor in drilling of carbon fibre-reinforced polymer composites (CFRP)" *Polymers*, 12 (11): 2461 (2020).
78. Harris, M., Qureshi, M. A. M., Saleem, M. Q., Khan, S. A. and Bhutta, M. M. A., "Carbon fiber-reinforced polymer composite drilling via aluminum chromium

- nitride-coated tools: Hole quality and tool wear assessment" *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36 (19): 1403-1420 (2017).
79. Tang, W., Chen, Y., Yang, H., Wang, H. and Yao, Q., "Numerical investigation of delamination in drilling of carbon fiber reinforced polymer composites" *Applied Composite Materials*, 25 : 1419-1439 (2018).
 80. Abrao, A.M., Rubio, J.C.C., Faria, P.E. and Davim, J.P., "The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite", *Mater. Des.*, 29 : 508–513 (2008).
 81. Palanikumar, K., Prakash, S. and Shanmugam, K., "Evaluation of delamination in drilling GFRP composites" *Materials and Manufacturing Processes*, 23 (8): 858-864 (2008).
 82. Palanikumar, K., "Experimental investigation and optimisation in drilling of GFRP composites" *Measurement*, 44 (10): 2138-2148 (2011).
 83. Rubio, J. C., Abrao, A. M., Faria, P. E., Correia, A. E. and Davim, J. P., "Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: evaluation of the delamination factor" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48 (6): 715-720 (2008).
 84. Prakash, M. and Dileep Aditya Dhar, P. V. S., "Investigation on the effect of drilling parameters on the tool wear and delamination of glass fibre-reinforced polymer composite using vibration signal analysis" *Journal of Composite Materials*, 52 (12): 1641-1648 (2018).
 85. Kumar, D. and Sing, K., "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 (2017).
 86. Abilash, N. and Sivapragash, M., "Optimizing the delamination failure in bamboo fiber reinforced polyester composite", *Journal of King Saud University Engineering Sciences*, 28 (1): 92-102 (2016).
 87. Saravana Kumar, A., Maivizhi Selvi, P. and Rajeshkumar, L., "Delamination in drilling of sisal/banana reinforced composites produced by hand lay-up process" *Applied Mechanics and Materials*, 867 : 29-33 (2017).
 88. Bajpai, P. K. and Singh, I., "Drilling behavior of sisal fiber-reinforced polypropylene composite laminates." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32 (20): 1569-1576 (2013).
 89. Choudhury, M. R., Srinivas, M. S. and Debnath, K., "Experimental investigations on drilling of lignocellulosic fiber reinforced composite laminates" *Journal of Manufacturing Processes*, 34 : 51-61 (2018).

90. Venkateshwaran, N. and ElayaPerumal, A., "Hole quality evaluation of natural fiber composite using image analysis technique" *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32 (16): 1188-1197 (2013).
91. Rezghi Maleki, H., Hamed, M., Kubouchi, M. and Arao, Y., "Experimental study on drilling of jute fiber reinforced polymer composites", *J. Compos. Mater.*, 53 : 283–295 (2019).
92. Chaudhary, V. and Gohil, P. P., "Investigations on drilling of bidirectional cotton polyester composite" *Materials and Manufacturing Processes*, 31 (7): 960-968 (2016).
93. Rezghi Maleki, H., Hamed, M., Kubouchi, M. and Arao, Y., "Experimental investigation on drilling of natural flax fiber-reinforced composites" *Materials and Manufacturing Processes*, 34 (3): 283-292 (2019).
94. Navaneethakrishnan, S. and Athijayamani, A., "Measurement and analysis of thrust force and torque in drilling of sisal fiber polymer composites filled with coconut shell powder" *International Journal of Plastics Technology*, 20 (1): 42-56 (2016).
95. KM, A. and MP, J., "Optimization of process parameters on drilling of natural fibres reinforced in epoxy resin matrices using Taguchi–Grey relational analysis" *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 16 (5): 937-949 (2020).
96. Rajaraman, G., Agasti, S. K. and Jenarathanan, M. P., "Investigation on effect of process parameters on delamination during drilling of kenaf-banana fiber reinforced in epoxy hybrid composite using Taguchi method" *Polymer Composites*, 41 (3): 994-1002 (2020).
97. Özdemir, A. O., "Otomotiv sektöründe kullanılan polimer kompozitlerin şekillendirme sınır diyagramlarının belirlenmesi" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 43-44 (2020).
98. Tonshoff, H.L., Spintig, W., König, W., Neises, A., "Machining of holes developments in drilling technology" *Annals of the CIRP*, 43 (2): 551-560 (1994).
99. Çakır, A., "AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-35 (2015).
100. Bajpai, P. K., Singh, I. and Madaan, J., "Development and characterization of PLA-based green composites: A review", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27 (1): 52-81 (2014).
101. Alias, M. A. A., Azmi, A. I., Tan, C. L. and Zakaria, M. S., "Drilling performance of flax fibre epoxy composites: Induced thrust force and delamination damage analyses" *Materials Today: Proceedings*, 41 : 51-55 (2021).

102. Ho-Cheng, H. and C. K. H. Dharan., "Delamination during drilling in composite laminates" 236-239 (1990).
103. Hintze, W. and Hartmann, D., "Modeling of delamination during milling of unidirectional CFRP" *Procedia Cirp* 8 : 444-449 (2013).
104. Pervaiz, S., Kannan, S., Huo, D. and Mamidala, R., "Ecofriendly inclined drilling of carbon fiber-reinforced polymers (CFRP)" *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 111 : 2127-2153 (2020).

ÖZGEÇMİŞ

Aydın Alperen EROL; ilk ve orta öğrenimini Antalya Alanya'da lise eğitimini Sinop'da tamamladı. 2014 yılında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2020 yılında mezun oldu. 2020 yılında Akademisyenler Birliği Derneği'nde Proje yöneticisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.