



**CAM ELYAF TAKVİYELİ PA66 KOMPOZİT  
MALZEMENİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Muzaffer DEMİRHAN**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ PA66 KOMPOZİT MALZEMENİN  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Muzaffer DEMİRHAN**

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

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ**

**KARABÜK  
Haziran 2021**

Muzaffer DEMİRHAN tarafından hazırlanan “CAM ELYAF TAKVİYELİ PA66 KOMPOZİT MALZEMENİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ .....  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/06/2021

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL (SUBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR(KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ (KBÜ)	.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....  
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.”*

Muzaffer DEMİRHAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **CAM ELYAF TAKVİYELİ PA66 KOMPOZİT MALZEMENİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Muzaffer DEMİRHAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ**

**Temmuz 2021, 61 sayfa**

Poliamid maddeler, dayanıklılık seviyesi yüksek, kimyasal ve elektriksel özellikleri iyi olan, hafif ağırlığı olan ve birden çok türü olan termoplastikler sınıfına giren polimerler olarak adlandırılmaktadır. Sentezinde bir diasit ve bir diaminin polimerleşmesi olan poliamidler, farklı kimyasallar sayesinde birden fazla özelliği bulunan polimerlerin elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Poliamidler, erime sıcaklığı yüksek olan ve sıcaklığın artmasıyla sertliğini koruyabilme özelliği bulunan yarı kristal malzemelerdir. Ayırt edici özelliklerine bakıldığında sertliğinin yüksek ve tok olması, aşınma, yorgunluğa, sürtünmeye ve kimveyi maddelere karşı mukavemet gösterebilmesi bu malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin test edilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu çalışmada, %10, %20 ve %30 gibi farklı oranlarda cam fiber (CF) takviye edilmiş poliamid 66 (PA66) malzemelerin delinebilirliği araştırılmıştır.

Delme deneylerinde incelenen itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için üç farklı kesme hızı (40, 80, 120 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,06, 0,09 ve 0,12 mm/dev) kullanılmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı olmak üzere iki farklı matkap kalitesi ile ilerleme miktarı ve kesme hızının farklı değerleri kullanılarak delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, en düşük itme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri, cam elyaf takviyesinin %10, kesme hızının 120 m/dak ve ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu seviyelerde kaplamalı takım ile delme işleminde bulunmuştur. Son olarak tüm deneyler için, kaplamalı matkap ile elde edilen yüzeylerin kalitesinin, kaplamasız matkaplara göre daha iyi çıktığı belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Cam elyaf, Kompozit, Polimer, Delik delme.

**Bilim Kodu** : 91438

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF MACHINABILITY OF GLASS FIBER REINFORCED PA66 COMPOSITE MATERIAL**

**Muzaffer DEMİRHAN**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ**

**July 2021, 61 pages**

Polyamide materials are named as polymers that are classified as thermoplastics with high durability, good chemical and electrical properties, light weight and more than one type. Polyamides, which are the polymerization of a diacid and a diamine in their synthesis, provide the opportunity to obtain polymers with more than one feature thanks to different chemicals. Polyamides are semi-crystalline materials with a high melting temperature and the ability to maintain their hardness with increasing temperature. Considering its distinctive features, its high hardness and toughness, its resistance to abrasion, fatigue, friction and chemical substances necessitated testing the machinability properties of these materials. In this study, the drillability of polyamide 66 (PA66) materials reinforced with glass fiber (CF) at different rates such as 10%, 20% and 30% was investigated.

Three different cutting speeds (40, 80 and 120 m/min) and three different feed rates (0.06, 0.09 and 0.12 mm/rev) were used for the thrust force and surface roughness investigated in the drilling experiments. Drilling operations were carried out using two different drill qualities as uncoated and coated, and different values of feed rate and cutting speed. At the end of the study, the lowest thrust force and surface roughness values were found at the levels where the glass fiber reinforcement of 10%, the cutting speed of 120 m/min and the feed rate of 0.06 mm/rev via the coated carbide tools. Finally, for all experiments, it was determined that the quality of the surfaces obtained with the coated drill was better than the uncoated drills.

**Keyword** : Glass fiber, Composite, Polymer, Drilling.

**Science Code** : 91438



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam ve danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Erdi KORKMAZ'a saygı ve őükranlarımı sunarım.

Çalıőmalarım boyunca yardımını esirgemeyen hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR ve Doç. Dr. Samet USLU'ya teőekkürü borç bilirim.

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

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. CAM ELYAF KATKILI POLİAMİD 66/POLİFTALAMİD KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI VE YÜZEY KALİTESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	3
2.2. POLİAMİD 66 (PA66) KARIŞIMLARININ TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	6
BÖLÜM 3 .....	10
KURAMSAL TEMELLER .....	10
3.1. KOMPOZİT MALZEMELER .....	10
3.2. POLİMER MALZEMELER .....	15
3.2.1. Termoplastikler .....	17
3.2.2. Termosetler .....	18
3.2.3. Poliamid, PA (Naylon) .....	18
3.3. POLİMERLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	20

3.4. TAKVİYELİ POLİMERLER (POLİMER KOMPOZİT MALZEMELER) ..	21
3.4.1. Takviyeli Polimerlerde Kullanılan Elyaf lar.....	21
3.4.1.1. Cam Elyaf ı ile Takviye .....	22
3.4.1.2. Karbon Elyaf ile Takviye .....	24
3.4.1.3. Aramid Elyaf ile Takviye.....	25
3.5. TALAŞLI ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	26
3.5.1. Delik Delme .....	28
3.5.4.1. Delme İşlemlerinde Kesme Değerleri .....	29
3.5.4.2. Deliklerin İşlenmesi .....	31
3.5.4.3. Kesme Kuvvetleri ve Güç .....	31
3.5.4.4. Delik Delme İşlemlerinde Talaş Kontrolü ve Kesme Sıvısı .....	33
3.5.4.5. Matkap Seçimi .....	35
3.5.4.6. Kesme Parametrelerinin Etkileri .....	36
BÖLÜM 4 .....	37
MALZEME VE YÖNTEM .....	37
4.1. CETP KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ .....	37
4.2. DELİK DELME TASARIM DÜZENEGİ VE DENEYLERİ .....	39
4.2.1. Deney Tesisatı.....	39
4.2.2. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi.....	40
4.2.3. Kesici Takım.....	41
BÖLÜM 5 .....	42
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	42
5.1. CAM ELYAF KATKILI POLİAMİD (CETP) MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ .....	42
5.1.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi .....	42
5.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi.....	46
BÖLÜM 6 .....	52
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	53
6.1. SONUÇLAR .....	53

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.2. ÖNERİLER .....	55
KAYNAKLAR .....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	61

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3. 1. Elyaf takviyeli kompozit malzeme iç yapısı.....	12
Şekil 3. 2. Delme İşlemi [37] .....	29
Şekil 3. 3. Kesme Hızı, Giriş Oranı, Fener Mili Hızı, Devir Başına İlerleme ve Delik İşleminin Temel Faktörleri [37].....	30
Şekil 3. 4. Matkabın İlerleme Kuvveti ve Tork [45].....	32
Şekil 3. 5. Matkabın Uç Açısı ve Kesme Kenar Açısı .....	33
Şekil 3. 6. Delik Delme İşlemlerinde Talaş Oluşumu, Talaş tahliyesi ve Kesme Sıvısı Temini [46] .....	33
Şekil 3. 7. Matkabın Kesme Açısı.....	34
Şekil 4. 1. CE Takviye Elemanı ve Polyester Matris Malzemesi .....	37
Şekil 4. 2. Üretilen CETP Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	38
Şekil 4. 3. Deneylerde Kullanılan Delik Delme Tezgâhı.....	40
Şekil 4. 4. Delik Delme Deney Düzeneği ve Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi.....	41
Şekil 4. 5. HSS matkap .....	41
Şekil 5. 1. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Fz Değişimleri (Kaplamasız Kesici Takım) .....	43
Şekil 5. 2. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Fz Değişimleri (Kaplmalı Kesici Takım) .....	45
Şekil 5. 3. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Ra Değişimleri (Kaplamasız Kesici Takım) .....	47
Şekil 5. 4. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Ra Değişimleri (Kaplmalı Kesici Takım) .....	48
Şekil 5. 5. 40 m/dak kesme hızında Delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) Kaplamasız takım ile 0.06, 0.09 ve 0.12 ilerleme miktarı, d)-f) Kaplmalı takım ile 0.06, 0.09 ve 0.12 ilerleme miktarı. ....	50
Şekil 5. 6. 0,06 mm/dev ilerleme miktarında Kaplamasız takım için Delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) 40 – 80 – 120 m/dak .....	51
Şekil 5. 7. 0,06 mm/dev ilerleme miktarında ve 120 m/dak kesme hızında Kaplamasız takım için Delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) %10, %20 ve 30% GF oranları .....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 4. 1. CE Takviyesinin Özellikleri .....	38
Çizelge 4. 2. CE takviye elemanı oranları.....	38
Çizelge 4. 3. Kesme Parametreleri .....	39

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler:

$\varphi$	: Matkabın uç açısı
mm	: Milimetre
m	: Metre
$\mu\text{m}$	: Mikron
N	: Newton
Fz	: İtme Kuvveti
Mz	: Moment
Fd	: Delaminasyon Faktörü
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü
ap	: Radyal Kesme Derinliği
L	: Delik Derinliği
Mc	: Tork
Kr	: Matkabın Kesici Kenar Açısı
Mpa	: Çekme Dayanımı
Gpa	: Elastisite Modülü
V	: Kesme Hızı
f	: İlerleme Miktarı

## **KISALTMALAR**

CE : Cam Elyaf

CETP : Cam Elyaf Takviyeli Plastik

KE : Karbon Elyaf

KETP : Karbon Elyaf Takviyeli Plastik

PA(66) : Poliamid 66

SEM : Scanning Electrone Mikroskobe (Taramalı Elektron Mikroskobu)

PPS : Polifenilen Sülfid

HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)

POM : Polioksimetilen

UHMWPE : Ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen

PTFE : Teflon

PA : Poliamid

MMK : Metal Matrisli Kompozitler

CMK : Seramik Matrisli Kompozitler

PMK : Polimer Matrisli Kompozitler

PA : Naylon



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Geleneksel malzemenin teknolojik gelişmeler karşısında bütün ihtiyaçları karşılayamaz duruma gelmesi sonucunda kompozit malzemeler geliştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından günümüze kadar olan süreçte kompozit malzemenin üretimi, mekanik özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklerinin geliştirilebilmesi hususunda yapılan çalışmalar gün geçtikçe artış göstermiştir [1].

Kompozit malzemeler; özellikleri sınırlı olan tek malzemelerin kullanılmasından ziyade, en az iki farklı malzemenin özelliklerini, tek ve yeni bir malzemedeki toplayabilmek hedefiyle geniş ölçekte bir birleştirmeye ortaya çıkan heterojen malzemeler şeklinde isimlendirilmektedir. Kompozit malzemelerde en az iki farklı malzemenin farklı farklı özelliklerinin bir arada bulunmasından ötürü rijitlik seviyesi, yorulma ve çekme düzeyi, basınç ve eğilime karşı dayanıklılığı, yüksek ısıya karşı duyarlılığı ve korozyon direncinin yüksek olması gibi özellikler bulunmaktadır. Bunların dışında yoğunluğunun düşük olması, sertliğinin yüksek olması, kırılmaya karşı dayanımının yüksekliği gibi iyi düzeyde tribolojik özellikler sergilemektedir. Bundan ötürü, savunma sanayi ve havacılık sektörü başta olmak üzere inşaat, uzay teknolojileri, otomotiv endüstrisi, denizcilik, nükleer endüstri, robotik teknoloji, sağlık sektörü ve kimyevi maddeler gibi bir çok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır [2].

Cam elyaf takviyeli kompozitler (CETP); basınç ve vakum altında kalıplama, elle yatırma gibi yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilmektedirler. Üretim aşamasında kullanılacak yerin ebatları ve geometrik şekil de göz önünde bulundurulmaktadır. Çeşitli hallerde üretilmiş kompozitlerin son haline getirilmesi amacıyla tornalama, delik delme, frezeleme gibi talaşlı imalat yöntemlerine başvurulmaktadır. Fakat CETP kompozitler, metal ve alaşımlarında mevcut olan izotropik yapıda değildir.

Bundan dolayı CETP kompozitlerin talaşlı olarak işlenmesi esnasında çeşitli sorunlar meydana gelmektedir. Elyaf takviyeli kompozitlerin tornalanması esnasında yüzey kalitesi düzeyinin artırılması ve takımın ömrünün yükseltilmesi hususu önem arz etmektedir. Takım ömrü; işleme maliyetleri, kesme kuvveti ve yüzeyin kalite düzeyinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüzey kalitesinin ise, kompozit malzemenin mekanik özellikler üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. Bundan dolayı yüzeyin kaliteli olma durumu, tornalama aşamasında en çok dikkat edilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, elyafın boyu ve oranları gibi değişkenler, yüzey kalitesinin en iyi seviyede olması için uygun değer ve oranlarda olması gereklidir [3].

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1. CAM ELYAF KATKILI POLİAMİD 66/POLİFTALAMİD KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI VE YÜZEY KALİTESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Elyaf takviyeli kompozitlerin işlenmesiyle ilgili araştırmalar geçmişte yapılmıştır. Yapılmış araştırmalar, çeşitli yöntemler ile üretilmiş kompozitlerin tribolojik ve mekanik davranışları üzerine veya frezeleme, tornalama, delme gibi talaşlı şekillendirmeler üzerine yapılmıştır. Fakat teknolojiyle beraber yapılan araştırmaların sayısı artış göstermektedir [4,5]. Konuyla ilgili yapılan araştırmalar aşağıda belirtilmiştir.

Sami ve arkadaşları (2020) PA6 ve cam elyaf katkılu türevlerinden üretilmiş olan numuneler sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Nem alma davranışının kaynak mukavemetine etkisini araştırmak amacıyla, numuneler -20 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında 16 saat bekletilerek yapay olarak şartlandırmışlardır. Kaynaklı numunelerde, şartlandırma sıcaklıklarının artması ile PA6 malzemede nem alma oranının arttığı, mekanik mukavemet değerlerinin azaldığı ve yüzde uzama değerlerinin ise arttığını gözlemlemişlerdir. Cam elyaf katkılu numunelerde ise nem alma oranında önemli bir değişiklik olmamıştır. Şartlandırma sonrasında, en yüksek kaynak mukavemeti PA6 malzemede 0 oC' de 34 MPa, PA6 GF15'te -10 oC'de 38MPa ve PA6 GF30'da ise -20 oC'de 41MPa olarak ölçmüşlerdir [6].

Rubio ve ark., cam elyaf takviyeli poliamidin en iyi delme düzenini belirlemek için Taguchi yönteminin kullanımını araştırmışlardır. PA6 ve PA66-GF30 kompozitleri üzerinde deneysel çalışma, farklı geometrilere sahip üç adet karbür matkap (K20) kullanılarak gerçekleştirmişlerdir.

Takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme hızı faktörlerinin itme kuvveti, delik ortalama çapı ve dairesellik hatası üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar, kesme hızlarının artmasının, esas olarak güçlendirilmemiş malzemeyi delerken (PA66) sonuçları etkileyen kesme sıcaklıklarının artmasına neden olduğunu söylemişlerdir [2].

Poliamid matrise cam elyafın eklenmesi, kompozitlerin işlenebilirliğini etkileyen sertlik, mukavemet ve termal dirençte bir artış sağlamıştır. Diğer yandan, güçlendirilmiş malzemeyi delerken (PA66GF30) kesme hızının çok önemli bir etkisinin olmadığı vurgulanmıştır. Bu durumda takım geometrisi, sonuçları en çok etkileyen ana parametre olduğunu bulmuşlardır [7].

Kumar ve ark. (2009), araştırmalarında Polyamid/Polipropilen (PA66/PP) karışım kil şeklinde nano PA66/PP ve kısa karbon elyaf takviyeli PA66/PP kompozitleri enjeksiyon kalıplama yöntemiyle hazırlamışlardır. Karışımın uyum içerisinde olması amacıyla “maleic anhidride polypropylen” (MAgPP) kullanmışlardır. PA66/PP katkılı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir ve çeşitli yüklemeye, aşınma mesafelerinde kauçuk abrazyon test cihazında aşınma davranışlarını değerlendirmeye çalışmışlardır. Deneyler sonucunda PA66/PP nano kompozitlerin, karbon elyaf takviyesi bulunan PA66/PP kompozitlerden daha az aşındığı belirtmişlerdir [8].

Ünal ve arkadaşları (2005) araştırmalarında, APK, POM, UHMWPE, PA66 ve PPS+30% GFR (Cam Elyaf) mühendislik polimer numunesini, oda sıcaklığında pin on disk test cihazının üstünde 1 m/s test hızında ve 10N yük altında 50, 100, 150, 200 m kayma mesafelerindeki aşınma davranışını incelemiştir. Abrasive aşındırıcı disk yüzeyini 150 ve 1200 taneli aşındırıcıyla kaplamışlardır. Pimde oluşan her kütle azalmasını kaydetmiş, spesifik aşınma oranını ise pimin aşınan hacminden ortaya çıkarmışlardır. Bütün malzemeler için aşınma oranları mesafeler yükseldikçe lineer olarak yükselmiştir [9].

Davim ve ark. (2009), %30 CE takviyeli poliamid (PA) 66 matrisli kompozitle takviyesiz PA 66 malzemenin tornalanmasında, kesici takım ve kesme

parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkisini araştırmışlardır. Tornalama deneyi sonucunda, kuvvetler arasındaki en yüksek değer radyal kuvvette olduğu görülmüştür. Radyal kuvvetlerden sonra kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinin geldiği belirtilmiştir. Bunun dışında yüzey pürüzlüğünü düzeyinin, ilerlemesinin artışıyla doğru orantılı olduğu sonucu ortaya çıkartılmıştır. Kesici takımlar ve malzemelerin kuvvet oluşturulması ve yüzeyin pürüzsüz olması hususunda önem arz eden bir etkisinin olduğu vurgulanmıştır [10].

Işık ve Kentli (2009), CETP kompozit malzemelerin tornalanması işleminde, optimum kesme koşullarının belirlenebilmesi için çok kriterli optimizasyon yaklaşımıyla alakalı bir deney gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma ile tasarım aşamasında meydana gelebilecek olası üretim hatalarının da belirlenmesi amaçlamışlardır. Bu doğrultuda, tek yönlü CETP kompozitleri farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerinde 0,4 ve 0,8 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla tornalayarak kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve birim zamanda kaldırılan talaş miktarı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneylerde; kesme hızını 75, 100 ve 125 m/dak, ilerleme miktarı 0,2; 0,3 ve 0,4 mm/dev ve kesme derinliğini 0,6; 0,9 ve 1,2 mm olarak belirlemişlerdir. Amaçları kesme kuvvetlerini en aza indirmek ve kaldırılan talaş miktarını maksimize etmektir. Kullanılan yöntemin, optimum kesme parametrelerinin seçimi için uygun bir yol sağladığını düşünmüşlerdir. Optimum kesme parametrelerini; 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takım için 1,2 mm kesme derinliği, 0,4 mm/dev ilerleme ve 125 m/dak kesme hızı değerinden elde etmişlerdir. Ancak 0,8 mm uç yarıçapına sahip kesici takım için ise optimum kesme parametrelerini 1,2 mm kesme derinliği, 0,4 mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dak kesme hızı değerinde elde etmişlerdir [11].

Kuram (2016), enjeksiyon kalıplama ile üretilen poliamid 6 malzeme ve CE takviyeli poliamid 6 kompozitin mikro işlenebilirliğini daha iyi anlamak için bir çalışma yapmıştır. Bu doğrultuda, bu malzemelerin mikro frezelenmesinde, çeşitli keme hızı ve ilerleme miktarı değerlerinin takım aşınması, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumu üzerine etkilerini incelemiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını, ancak her iki iş parçası için kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını

ifade etmiştir. Takviyesiz poliamid 6 malzemenin işlendiği kesici takımlarda adhezyon aşınması, CE takviyeli poliamid 6 kompozitin işlendiği kesici takımlarda ise adhezyon ve abrazif aşınma, kesme kenarlarında yuvarlanmalar ve mikrotalaşlar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca işlenmiş CE takviyeli Poliamid 6 kompozitin yüzeyinde lif çıkınları, liflerde bozukluk/kopma ve elyaf ile matris arasında ayrışma oluştuğunu ve bu durumun yüzey pürüzlülük değerinin artmasında büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Bu iki malzemenin işlenmesinde oluşan çapakları değerlendirildiğinde ise poliamid 6 malzeme çapak biçiminin duvar şeklinde, CE takviyeli poliamid 6 kompozitte çapak biçiminin dalgalı biçimde oluştuğunu belirtmiştir. Takviyesiz poliamid 6 malzeme ile CE takviyeli poliamid 6 kompozit; mikro işlenebilirlik açısından karşılaştırıldığında, poliamid 6 malzemenin daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [10].

Quaglini ve arkadaşları (2009) yaptıkları araştırmalarda; yatak (kaymalı yatak) teknolojilerinde en fazla kullanılmakta olan metal karşı yüzeylerin pürüzlülüğe etkilerini araştırmışlardır. Çeşitli termoplastik örnekler “Flat bearing tests” düz yatak test düzeneğinde denemeye almışlardır. Deneyin sonucunda her bir polimerin minimum sürtünmesi için optimum yüzey pürüzlülüğünün aynı olmadığını, düşük elastisite modülü ile karakterize edilen yumuşak polimerlerin düz parlatılmış yüzeyde iyi kayma davranışı gösterdiğini ve yüksek elastisite modüllü polimerlerin iyi kayma davranışı göstermesi, parlatılmış ve pürüzlü yüzey kombinasyonlu karşı bir yüzeye bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bununla beraber kayma hızı ve yüzey basıncının kayma filminin oluşmasında etkin olduğunu araştırmalarında göstermişlerdir [12].

## **2.2. POLİAMİD 66 (PA66) KARIŞIMLARININ TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Karslı ve arkadaşları (2020) tabanca gövdelerinde kullanılmak üzere optimum özelliklere sahip polimer kompozit malzeme seçiminin yapılması amaçlamışlardır. Hafif silahlar için uygun matris özelliklerine sahip olduğu belirlenen poliamid 66 (PA66) ve polikarbonat (PC) malzemeler cam ve karbon elyaf kullanılarak takviye

etmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerde takviye oranı %15-40 aralığında kullanmışlardır. İncelenen polimer kompozit malzemelerin su emme kabiliyetlerinin ve korozyon dirençlerinin elyaf türünden çok matris türüne bağlı olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Kompozit malzemelerde aşınma direncinin elyaf tipinden kısmen etkilenmesine rağmen baskın olarak matris türüne bağlı olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda hafif silahlarda gövde malzemesi olarak kullanılabilen en uygun kompozit malzemenin %40 oranında karbon elyaf içeren PA66 olduğu sonucuna varmışlardır [13].

Cong ve arkadaşları (2007) yapmış oldukları araştırmada, PA66, PPS ve PTFE termopolimerten üretilen pim şeklindeki malzemeyi, aşındırıcı yüzey olarak aynı malzemenin kullanılmasıyla kuru sürtünme şartlarında “pin on disk” pim üzeri disk test cihazında polimer aşınma davranışını test etmiştir. Polimer aşınma davranışlarının incelenmesindeki temel hedef, polimer malzemenin metallerle aynı çalışma durumlarında, polimer tarafından metal yüzeye sıvanan polimerin etkisini görmektir. Deney 0.5, 1, 1.5 ve 2 N yüklerinde ve 0,2 m/s kayma hızında gerçekleştirmişlerdir. Deneyin sonunda, en düşük sürtünme katsayısı değerini PTFE’de en yüksek değeri ise PPS’de elde etmişlerdir [14].

Ünal ve arkadaşları (2004) yapmış oldukları araştırmada, PA66, POM, YYP, PPS+%30 Cam Elyaf ve APK termoplastik malzemeleri “pin on disk” pim üzeri disk test cihazında, kuru şartlarda aşınma davranışını incelemişlerdir. Aşındırıcı olarak çelik AISI D2 malzemesini kullanmışlardır. Numuneler 0.5, 1, 1.5, 2 m/s kayma hızında ve 0.35, 0.70 ve 1,05 MPa basınçlarında deney gerçekleştirilmiştir. Basıncın yükselmesiyle sürtünme katsayısında azalış gözlemlenmiş, %30 cam elyaf takviyeli PPS’deyse 0.7 MPa basınca kadar düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumdan sonra uygulanan yük artışıdaysa sürtünme katsayısında artış gözlemlenmiştir [15].

Davim ve Reis (2004), %30 CE’le güçlendirilen polieter eter keton (PEEK) kompozit malzemenin (PEEK CE30) tornalanma işlemini, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı güç, spesifik kesme basıncı ve yüzey pürüzlüğünü durumunu Taguchi yöntemiyle araştırmışlardır. Bunun dışında polikristal elmas (PCD) ve sementit karbür kesici takımların kullanılmasıyla PEEK CE30’un kesme özellikleri

ANOVA'la analiz etmişlerdir. İlerlemenin artmasıyla gereken gücün ve yüzeydeki pürüzlülüğün azaldığını ortaya çıkartmışlardır. Fakat kesici takım cinslerinin; güç, kesme basıncı ve yüzey pürüzlülüğü üstünde ilerleme ve kesme kızı kadar önem arz eden bir etkisinin bulunmadığını belirtmişlerdir [16].

Mohan ve ark. (2005), CETP kompozit malzemelerin delinmesi işleminde, kesme değişkenlerinin optimizasyonu amacıyla Taguchi yöntemini kullanarak deneyi gerçekleştirmişlerdir. Delme işleminde değerlendirilmekte olan değişkenler olarak devir sayısı, ilerleme, matkabın boyutları ve kompozitlerin kalınlık seviyeleri belirlemişlerdir. Bu değişkenlerin kesme kuvveti ve torklar üzerindeki etkisinin incelendiğini çalışmanın sonuçları, MINITAB 14 programının yardımı ile analiz etmişlerdir. Buradaki temel amaç ise, düşük kesme kuvvetleri ve ilerleme miktarı elde edilebilmesi için delme sürecini etkilemekte olan faktörler ve kombinasyonlarının bulunmasıdır. Taguchi yöntemi analizi sonucunda, takımların ebatlarının ve devir sayısının, numunenin kalınlık düzeyi ve ilerlemeden daha çok kesme kuvvetinin üstünde bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bunun dışında, numunenin kalınlık düzeyi ve takımların ebatlarının kesme torkunun üstünde önem arz eden bir etkisinin bulunduğunu ve bu iki değişkenin diğer değişkenlerden daha baskın olduğu tespit edilmiştir [17].

Mohan ve ark. (2007), farklı kalınlıkları (3, 6, 10 ve 12 mm) bulunan CETP kompozit malzemeleri değişik kesme hızı (600, 900, 1200 ve 1500 dev/dak), ilerleme miktarı (50, 75, 100, 125 ve 150 mm/dak), matkap çapı (3, 6, 10 ve 12 mm) gibi delme parametreleriyle delme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Malzemenin kalın olması ve delme parametrelerine bağlı şekilde kompozit numunelerin girişleri ve çıkışında meydana gelen delaminasyon faktörleri belirlenmiş ve MINITAB 14 paket programının yardımı ile analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda, deliğin girişinde sıralı biçimde malzemenin kalın olması, kesme hızı, matkabın çapı ve ilerleme miktarının delaminasyon düzeyini belirleyen faktörlerin başında geldiği gözlemlenmiş, deliğin çıkışındaysa sıra ile malzemenin kalın olması, ilerleme, devir sayısı delaminasyon düzeyini belirleyen en önemli faktör olduğu belirlenmiştir [18].



Uhlmann ve ark. (2016), aşındırıcı özelliklerde olan CETP ve KETP kompozit malzemelerinin işlenmesi esnasında meydana gelen takımların aşınma durumu ve kesici kenarların yuvarlanması gibi problemlerden ötürü ortaya çıkan yüksek kesme kuvveti ve iş parçalarının kalitelerindeki yetersizlik durumlarına çözüm getirmeye çalışmışlardır. Bunun dışında bahsedilen kompozit malzemelerin işlenmesi aşamasında, iş parçalarının kalitelerinin sınıflandırılmasında eksiklikler olabileceğinden yola çıkarak bu noktayı da araştırmışlardır. CETP ve KETP kompozit malzemelerin aksel olarak delinmesi işleminde, delik kalite düzeyinin düşük olduğunda, yüksek düzeyde elyaf çekmesi durumunun ortaya çıktığı ve CETP özellikli kompozit malzemelerin KETP kompozit malzemelerden daha çok probleme yol açtığını belirtmişlerdir. Takımların CVD elmasla kaplanması işleminin, kesme kenarının yuvarlanması sorununa bir katkısının olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Bunların dışında CETP ve KETP kompozit malzemelerin helisel frezeleme işlemiyle delinmesi esnasında, daha düşük düzeyde elyaf çekmelerinin ortaya çıktığını fakat delme işleminin işlem süresinin çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [19].

## BÖLÜM 3

### KURAMSAL TEMELLER

#### 3.1. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler; en az iki veya daha fazla sayıda benzer ya da değişik gruplardaki malzemenin birbiri içerisinde çözünmeden, atomsal bir alışveriş olmadan, gözle görülebilecek düzeylerde bir araya getirilerek, bileşenlerindeki malzemelerin üstün özelliklerini bir malzeme toplayarak istenilen özelliklere sahip olan yeni bir malzeme türü olarak adlandırılır. Kompozit malzemelerin alışılmış diğer malzemelere göre pek çok üstün özellikleri bulunmaktadır [20].

Kompozit terimi, özellikle kullanışlı bir bileşenin bir eksikliğini gidermek için iki veya daha fazla malzeme birleştirildiğinde mühendislikte ortaya çıkmıştır. Fazlar, metal, polimer, seramik, karbon veya hatta bir sıvı veya boşluk alanı dahil olmak üzere herhangi bir malzeme sınıfında olabilir: gerçekten, en yüksek oranda gözenekli materyaller de kompozitlerdir. İki fazın varlığının çıplak gözle kolayca ayırt edilememesi veya iki fazın dağılımının yapısal ölçeğinin sağlanması şartıyla onları kullanan yapınınkinden çok daha küçükse, ortaya çıkan kompozitin kendisi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip homojen bir malzeme olarak kabul edilebilir [17].

Kompozit malzeme yüzyıllardır var olmuştur. Eskimolar, iglolar (eskimo evi) oluştururken buzu güçlendirmek için yosun kullanırlar. Benzer şekilde, daha fazla mukavemet için alçada at kılı bulmak nadir değildir. Bambu, kemik ve kereviz, doğada bulunan hücresel kompozitlere örnektir. Kas dokusu çok yönlü lifli bir laminadır. Hem doğal hem de yapay kompozit malzemelerin çok sayıda başka örnekleri vardır [21].

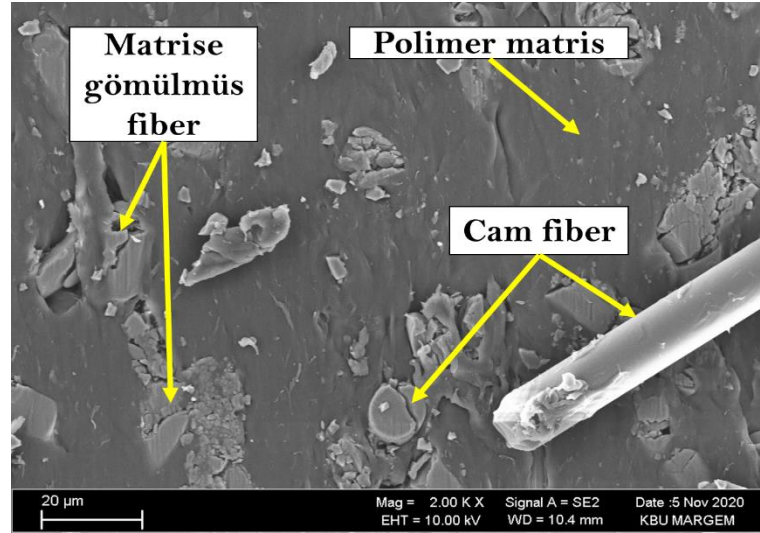
Kompozit malzemelerin erken büyük ölçekli ticari uygulamaları, II. Dünya Savaşı sırasında (1940'ların sonları ve 1950'lerin başlarında) askeriyenin denizcilik uygulamalarıyla başlamıştır; ancak bugün, kompozit ürünler havacılık, otomotiv, denizcilik, spor malzemeleri, tüketici, altyapı ve daha fazlasını içeren çok çeşitli endüstriler tarafından üretilmektedir. Yeni malzeme yenilikleri, fiyatlandırmada düşüş ve gelişmiş üretim süreçlerinin geliştirilmesinde, hemen hemen her endüstriyel sektörde kompozit malzemelerin varlığının artmasına neden olmuştur [22].

Bir kompozitin bileşenleri genellikle, bir veya daha fazla kesintili fazın sürekli bir faza gömüleceği şekilde düzenlenir. Süreksiz faz takviye olarak adlandırılır ve sürekli faz matristir. Bunun bir istisnası, kauçuk modifiyeli polimerler olarak bilinen bir malzeme sınıfı üreten sert bir kauçuk matrisinde asılı kauçuk parçacıklarıdır. Genel olarak, takviyeler matriste göre çok daha güçlü ve daha sağlamdır. Her iki bileşen de gereklidir ve eğer kompozit amaçlanan şekilde gerçekleştirilecekse, her biri özel görevleri yerine getirmelidir [23].

Kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri, bileşenlerin özelliklerine, geometrisine ve konsantrasyonuna bağlıdır. Donatıların hacim içeriğinin artırılması, bir bileşiğin sağlamlığını ve sertliğini bir noktaya kadar artırabilir. Eğer takviyelerin hacim içeriği çok yüksekse, onları ayrı tutmak için yeterli matris olmayacaktır ve dolaştırılabilirler. Benzer şekilde, bireysel takviyelerin geometrisi ve bunların matris içindeki düzenlenmesi bir kompozitin performansını etkileyebilir. Kompozit malzemelerle tasarlanırken dikkat edilmesi gereken birçok faktör vardır. Takviye ve matris tipi, her bir bileşenin geometrik düzenlemesi ve hacim kesri, beklenen mekanik yükler, kompozit için çalışma ortamı vb. dikkate alınmalıdır [24].

Kompozit malzemeler sıcaklığa oldukça dayanıklı olmasının yanında hafif, sağlam ve darbelere karşı dayanıklı olması birçok alanda çalışmaların yapılmasına olanak sağlamıştır. Matris, fiber, ara yüzey ve mikro yapı kompozit malzemelerinin temel özelliklerini belirler [25].

Elyaf malzemesi, kompozitlerin dayanım ve yük taşıyabilme özelliklerini belirleyebilen bileşendir. Aramid elyaf olarak bilinen kevlar 49 dayanımı yüksek yoğunluğu ise düşüktür. Sıcaklık ve darbe dayanımı yüksek olup ısıl genleşme katsayısına da sahiptir. Şekil 3.1.'de elyaf takviyeli kompozit malzemenin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Elyaf takviyeli kompozit malzeme iç yapısı

Kompozit malzemelerin üstün özellikleri şunlardır;

- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı
- Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı
- Yüksek korozyon dayanımı
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Yüksek kimyasal direnç
- Hava koşulları ve UV Işınlara karşı dayanım
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Çok iyi elektrik ve termik yalıtım özelliği
- Hafiflik
- İşlenebilirlik
- Kalıcı renklendirme
- Titreşim sönümlenme

Kompozit malzemelerin üretim metodları ve kullanılan malzemelere bağlı olarak avantajları yanında birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin dezavantajları şunlardır;

- Kompozit malzemelerin imal edilirken kullanılan üretim metodlarının kalitesiyle alakalı olarak her zaman ideal özellikler elde edilemez. Aynı kompozit malzeme için bile farklı mukavemet özellikleri gözlemlenebilir.
- Üretiminin zor olması
- İşlenme güçlüğü
- Geri dönüşümünün olmaması
- Maliyetinin yüksek olması

Kompozit malzemelerin bahsedilen avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurulduğunda üstün özelliklerinin daha fazla olması dolayısıyla sanayide çok geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir. Kompozitlerin uygulama alanları arasında inşaat ve yapı sektörü, savunma sanayi, otomotiv sektörü, havacılık ve uzay sanayi, denizcilik sektörü, enerji sektörü, spor malzemeleri imalatı, gıda ve tarım sektörü gibi daha birçok alan sayılabilir.

Kompozit malzemeler bu uygulama alanlarındaki sektörlerde çok farklı amaçlar için kullanılmaktadırlar. Örneğin; inşaat ve yapı sektöründe kompozit malzemeler; taşıyıcı konstrüksiyon, bina balkon korkuluğu, köprüler, prefabrik binalar, beton kalıpları, kapı ve pencere elemanları, mutfak ve banyo malzemeleri, çatı kaplama elemanları, gibi yerlerde kullanılırken; savunma sanayinde; balistik zırhlarda, koruyucu giysi ve başlık, çeşitli mühimmat parçaları, hava taşıtları ve hücum bot parçalarında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe ise kompozit malzemeler; otomobillerin kaportalarında, otomobil lastiklerinde ve emniyet kemeri, hava yastığı gibi birçok iç aksanlarında çeşitli avantajlarından dolayı tercih edilmektedirler. Diğer taraftan havacılık ve uzay sanayinde de uçaklar, helikopterler, uzay araçları ve uyduların gövde tasarımları, iç donanımları, yakıt tankları, roket gövdeleri ya da türbin kanatları gibi parçalarında kullanılmaktadırlar. Denizcilik sektöründe ise iskeleler, dubalar, şamandıralar ya da kano, tekne, filika gibi deniz taşıtlarında da kompozitler kullanılmaktadırlar [10].

Kompozitlerin bir diğerk kullanım alanı da enerji sektöründeki rüzgar türbinleri, izolatörler, doğalgaz servis kutuları, elektrik direkleri, antenler gibi örneklendirilebilir. Kompozit malzemeler hafif dayanıklı ve estetik görüntüsü dolayısıyla spor malzemelerinin yapımında dahi en çok tercih edilen malzemelerdir. Spor malzemeleri olarak kano, yarış bisikleti, kayak takımları, golf sopaları, tenis raketleri, sörf tahtaları, yüksek atlama sırtıkları, oltalar, ok gövdeleri, yüzme paletleri gibi sayısız alanda kullanılmaktadır. Son olarakta seralar, gıda depolama tankları, sulama kanalları, kültür balıkçılığı ekipmanlarında gıda ve tarım sektöründe kompozit malzemelerin kullanım alanları olarak örneklendirilebilir. Tabiki bahsedilen alanlar kompozit malzemelerin kullanıldığı bazı alanlardır bu örnekleri daha da artırmak mümkündür.

Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanı adı verilen iki malzemedenden oluşur. Burada kompozit malzemelerin davranışının anlaşılabilmesi için matris ve takviye elemanlarının görevlerinin bilinmesi önemlidir. Elyaf takviyeli kompozitlerin matris fazı; metal, polimer veya seramik olabilir. Elyaf takviyeli kompozitlerde, matris fazının bazı fonksiyonları yerine getirme görevi vardır böylece takviye elemanından istenilen başarıyı elde edebiliriz.

Matrisin kompozit malzemeye kazandırdığı özellikleri şu şekilde sıralamak mümkün; matrisin ilk görevi elyafları bir arada tutarak elyafların tek başına hareket etmesini engelleyip dışarıdan uygulanan gerilmeyi elyafa iletmek ve bu gerilmenin homojen bir şekilde dağılımını sağlamaktır; burada gerilmenin çok küçük bir kısmı matris tarafından taşınmaktadır. Ayrıca matris malzemesi sünek olmalıdır. Bunun yanında elyafların elastiklik modülü matristen çok daha yüksek olmalıdır. Matrisin ikinci görevi ise elyafların yüzeyini mekanik aşınma gibi fiziksel zararlar ve kimyasal reaksiyon gibi çevresel etkilerden korumaktır. Bu tür çevresel etkiler yüzeyde daha çok çekme dayanımına neden olabilecek yüzey kusurlarına yol açabilir. Matrisin üçüncü görevi kompozit malzemeye şekil vermek ve rijit durmasını sağlamaktır. Son olarak ta matris elyafı birbirinden ayırarak göreceli bir süneklik ve plastiklik sağlayarak oluşan çatlakların elyaftan elyafa geçişini engelleyerek, ani kırılmayı önler. Böylece matris çatlak ilerlemesini önleyen bir engel görevi görmüş olur. Elyaf tek tek hasar

görse bile, tüm kompozitin hasarı çok sayıda birbirine komşu elyafın kırılması kritik bir değere ulaşana kadar gerçekleşmez [26].

Elyafın matristen ayrılmaması için, matris-elyaf arasındaki ara yüzey bağ kuvvetinin, yüksek olması gerekir. Bu nedenle matris-elyaf ikilisi seçiminde, ara yüzey dayanımı önemli bir seçim kriterini oluşturur. Kompozitin dayanımı büyük ölçüde bu ara yüzey bağ kuvvetine bağlı olup, gerilmenin düşük dayanımlı matristen yüksek dayanımlı takviyeye iletmesi için, bağ kuvvetinin yeterince yüksek olması gerekir. Kompozit malzemelerin ana bileşenlerinden birisi olan matris; elyafı bir arada tutarak uygulanan gerilmeyi elyafa ileterek eşit bir dağılım olmasını sağlar. Malzemeye rijitlik ve şekil verir. Matris aynı zamanda elyaf yüzeyinin mekanik ve kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Ayrıca elyafı birbirinden ayırarak süneklik ve plastiklik özelliği kazanmasını sağlayıp kompozit malzemedeki oluşabilecek çatlakların ilerleyerek malzemenin aniden kırılmasını engeller [20].

Matris malzeme cinsine göre üçe ayrılır:

- Metal matrisli kompozitler (MMK)
- Seramik matrisli kompozitler (CMK)
- Polimer matrisli kompozitler (PMK)

### **3.2. POLİMER MALZEMELER**

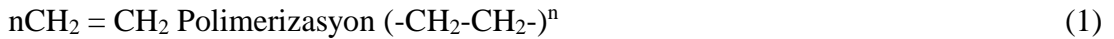
Yüksek moleküle sahip birleşmeler ya da makromolekül olarak da ifade edilen polimerleri oluşturan küçük moleküle sahip maddelereyse monomer adı verilmektedir. Monomer madde, yapısında genellikle çift ve üçlü bağ, iki ya da daha çok fonksiyonel grup bulundurmaktadır.

Bir maddenin polimer sayılabilmesi için yüzlerce monomerlerin birleşerek büyük bir molekül oluşturması gerekmektedir. Polimer (makromolekül), tekrar edilen basit ve küçük birimlerden oluşan büyük bir molekül olarak karşımıza çıkmaktadır. Polimer moleküllerinin içinde tekrar edilmekte olan bu basit ve küçük kimyasal birimlere, tekrarlanan birim (mer), polimerleri elde edebilmek amacıyla ilk başta uygulanmakta

olan küçük moleküllere sahip ve organik olan maddelereyse monomer ismi verilmektedir.

Makromolekülün birimleri aynı ise, bu tip polimerlerin ismi homopolimer olarak adlandırılmaktadır. İki yada daha çok monomerin birleşiminden oluşursa ise bu durumda kopolimer şeklinde ifade edilmektedir [27].

Polimerleri meydana getiren ana grup, polimer türüne göre farklı sayılarda olmaktadır. Bunun dışında bu gruplar, doğrusal, dallanmış ya da çapraz bağlı olan bir yapı meydana getirmektedir. Grupların moleküllerdeki sayılarına ise polimerizasyon derecesi adı verilmektedir. Grup molekül kütlesiyle polimerizasyon derecesinin birbiriyle çarpımıyla plastik maddenin molekül kütlesi bulunmaktadır. Polimerlerin çoğunluğunda mol kütlesi genel olarak 10 bin ile 100 bin arasında olmaktadır. Tüm polimerlerin başlangıç monomerleri mevcuttur. Polimerleri meydana getiren monomerler, ana grup haline geçme esnasında yapısal olarak çeşitli değişimlere uğramaktadır. Polimerleşmenin sonucunda elde edilen maddeler, doğal renginde olmaktadır. Bunun dışında özel şekilde renklendirilen, kullanımın kolay olması ve amaçları açısından da tablet, filmler, levhalar, bloklar, profiller veya değişik şekillerde biçimlendirilerek piyasaya sürülmektedirler [28].



Yukarıda yazılmış Eşitlik 1.1'e etilen monomerlerinin polimerizasyonla (n) kadar monomer içeren polietilen elde edilmesi görülmektedir. Polimerler yapay ve doğal polimerler şeklinde iki grup halinde ayrılmaktadır. Sanayideki uygulamada kullanılmakta olan polimerler genel olarak yapay polimerler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Polimerler yapısına baktığımızda bir tek monomerin tekrarlanmasıyla meydana gelen homopolimer, iki farklı monomerin polimerizasyonu ile meydana gelen kopolimer ve kimyevi üç farklı tekrarlama ile meydana gelen termopolimer olarak üç farklı yapıya bulunmaktadır. Polimerlerin kullanıldığı alanlara baktığımız zaman; elyaflar, kaplamalar ve yapıştırıcılar olarak üçe ayrılmaktayken, fiziki esas şeklinde; amorf,



kristalin ve kısmi kristalin olarak da üçe ayrılmaktadır 30. Polimerin sınıflandırılması esnasında en çok kullanılmakta olanıysa işleme yöntemine göre yapılmakta olan sınıflandırmalardır. Buna göre polimerler; termoplastik ve termoset olarak ikiye ayrılmaktadır [29].

### **3.2.1. Termoplastikler**

Termoplastik malzemeler ısıtıldığında yumuşayan akışkan soğutulduğunda ise katılaştıran bir malzemedir. Bu işlemi tekrarlamak termoplastik malzemelerin ısıtıldığında özelliğini kaybetmemesi dolayısıyla mümkündür. Dolayısıyla termoplastikler yeniden işlenebilme özelliğine sahiptir. Termal iletkenlikleri metallere daha düşük olmasına rağmen termal genişleme katsayıları metallere beş kat fazladır. Elektrik yalıtkanlıkları çok iyidir, darbe dayanımları yüksektir, sertlik ve rijitlik bakımından mukavemetleri düşüktür, Sünekler, oda sıcaklığında işlenmeleri zordur. Kullanım alanları havacılık ve otomotiv sektörleri gibi alanlardır [30]. Termoplastikler işlem sıcaklıklarında yüksek viskoziteye sahiptir, bu da işlemlerini daha zor hale getirir. Termoplastiklerin akışını sağlamak için ihtiyaç duyulan yüksek kayma gerilmeleri, elyafların hasar görmesine neden olarak elyaf uzunluğunun 10 ila 100 kat azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yeni termoplastik malzemelerin ve işlemlerin üretiminde ana hedeflerden biri akışkandaki viskoz etkileri azaltmaktır. Termoplastikler soğutmalı depolama gerektirmez ve neredeyse sınırsız raf ve kap ömrüne sahiptir. Ayrıca, termoplastik kompozitler tamir edilebilir, çünkü yumuşatılmış aşamaya geçiş herhangi bir sayıda ısı uygulanarak gerçekleştirilebilir [10]. Termoplastikler, güçlü molekül içi bağlara sahip, ancak zayıf moleküller arası bağlara sahip olan doğrusal veya dallanmış zincir moleküllerinden oluşur. Isı ve basınç uygulanarak yeniden şekillendirilebilirler ve yapılarında ya yarı kristal ya da amorfurlar. Örnekler arasında polietilen, polipropilen, polistiren, naylonlar, polikarbonat, poliasetaller, poliamidimitler, polieter eter keton, polisülfon, polifenilen sülfid, polieterimid ve benzerleri bulunur [31].

### 3.2.2. Termosetler

Adından da anlaşılacağı gibi, termoset plastikler veya termosetler kalıcı bir şekilde ayarlanır, iyileştirilir veya sertleştirilir. Sertleştirme işlemi genellikle oda sıcaklığı koşulları altında, ısı veya ultraviyole (UV) ışığı altında hızlı bir şekilde gerçekleşir ve polimerin geri dönüşümsüz bir çapraz bağlanmasına yol açar. Termoset polimerleri, polimer zincirlerini üç boyutlu olarak bağlayan kovalent bağlara sahiptir. Bu bağlantılar, zincirlerin birbirinden geçmesini önler, daha yüksek bir modül ve daha yüksek sünme direnci sağlar. Genellikle termosetler termoplastiklerden daha kırılmandır. Termosetler, tüm moleküllerle kovalent bağlara sahip çapraz bağlanmış veya ağ içyapılarına sahiptir. Isıtma ile ayrışırlar. Çapraz bağlama işlemiyle katılaştıktan sonra, yeniden şekillendirilemezler. Yaygın örnekler epoksiler, polyesterler, fenolikler, üre, melamin, silikon ve polimitlerdir [32].

Termosetler termoplastların aksine sadece bir defaya mahsus ısıtılıp şekillendirilebilirler. Bir daha ısıtıldığında şekil verilemez şekli bozular. Bunun nedeni, termosetlerin uzun molekül zincirlerinin çapraz bağlarla birbirlerine bağlanmaları ve tekrar ısı verildiğinde ise birbirlerinin üzerinde kayma yeteneklerini kaybetmeleridir. Termoset malzemeler genellikle ısı ve basınç etkisiyle kompozit malzemelerde son halini alırlar. Termoset reçinelerin kullanım alanları iç mekân mobilyaları, deniz taşıtları, inşaat sektöründe çeşitli yapı elemanları, otomotiv sanayi gibi sıralanabilir [29].

### 3.2.3. Poliamid, PA (Naylon)

Termoplastik bir malzeme olan poliamid; sert, dayanıklılığı yüksek, elektriksel ve kimyevi özellikleri iyi düzeyde olan, hafifliği bulunan ve çeşitli türü bulunan bir polimer olarak tanımlanmaktadır. Poliamid standardında yedi tip ve 20'nin üstünde malzeme derecesi bulunmaktadır. Poliamid, amid gibi yüksek kristalize yapısını içerisinde bulunduran, molekül ağırlık seviyesi yüksek olan lineer bir polimerdir. Pratiğe bakıldığında poliamid 6, poliamid 6.6, poliamid 6.10, poliamid 6.12, poliamid 11 ve dökme poliamid gibi poliamid çeşitleri bulunmaktadır. Sanayilerde poliamidlerden en fazla kullanılanları poliamid 6 ve 6.6'dır [3].

Poliamidlerin en önem arz eden özelliği, su emme özelliğinin çok yüksek olmasıdır. Poliamidlerden en fazla kullanılmakta olan poliamid 6.6 %50 izafi nemde %2,5 su emme özelliği bulunmaktadır. Genel olarak %1 emilen neme %0,2 ila %0,3 boyut büyümesi karşılık gelmektedir. Aynı nem oranı için poliamid 6'nın su emme özelliği biraz daha fazla düzeydedir [33]. Poliamidlerin suya karşı hassasiyeti amid grubunun hidrojen bağ karakterlerinden gelmektedir.

Poliamid 6 ve poliamid 66, kristal yapısı bulunan molekülü yüksek olan polimerlerdir. Yapısında amorf ve kristal bölgeler bulunmaktadır. Özelliği daha çok kristalize yapısına bağlı olarak değişim göstermektedir. Kristalize yapısının büyük olması, çarpma direncinin haricindeki mekanik özelliklerin daha iyi olmasını meydana getirmektedir. Kristalize yapılar erimiş polimerlerin soğutulmasının ardından hızlı biçimde değişim göstermektedir. Soğutma işleminin çok hızlıca yapılması durumunda kristal yapı az olmaktadır. Soğutulma işlemi yavaşça yapıldığı takdirde çok üst düzeyde kristal yapı elde edilmektedir. Poliamid 6 ve 66 üst seviyede nem emmektedirler. Emilen nemler, polimerlerin çekme ve kırılma dirençlerini ve sertlik seviyesini azaltmakta, çarpma direnciniyse arttırmaktadır. Poliamid 6 ve Poliamid 66 rutubetleri emerek genişlemektedir ve bundan ötürü bu polimerlerden yapılmakta olan malzemenin ölçüsüne dikkat etmek gerekmektedir. Poliamid 6.6, poliamid 6'ya göre daha fazla rijitliği bulunmakta ve daha az nem emme özelliği bulunmaktadır [17].

Poliamid 6 ve poliamid 66'nın özelliklerinde amorf yapının sıcaklık seviyesiyle değişim göstermesi sebebiyle farklılıklar meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla çekme, kırılma direnci ve sertlik seviyesi azalmakta, çarpma direnci ise artmaktadır. Katı maddeler poliamid 6 ve poliamid 66'nın özelliklerini geliştirmektedirler. Isı stabilizatörleri poliamidlere ısı stabilizasyonu ve dış etkilere karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. Yağlayıcı katkı maddeleri olan Molibdenum disülfid ve grafit aşınma karşı direnç sağladıkları gibi kendi kendine yağlama özelliği de vermektedirler. Cam elyafı ve titandioksit gibi inorganik dolgu maddeleri, poliamid 6 ve 66'ya boyutsal kararlılık, mekanik özellik vermektedir ve ısı ile bozulma sıcaklığını yükseltmektedir. Poliamid 6 ve 66 diğer polimerlere oranla yağlara, greslere karşı

çok dayanıklı malzemelerdir. Kimyasal çözücülere karşı da dayanıklı olup, formik asit ve asetik asit gibi asitlerde çözünmezler [19].

Poliamidler piyasada granül ya da silindirik ve levha şeklinde bulunmaktadır. Granül halindeki poliamidlere şekil verilmesinden önce, nem absorpsiyon özelliğinden ötürü 3 saat kadar 85-90°C de kurutulmalıdır. Enjeksiyon ve ekstrüzyonla kolay biçimde şekillendirilen poliamidlerde %0,2'de fazla nem bulunması durumunda, mekanik özellikleri düşmekte ve bununla beraber, yüzeylerinde de hatalar görülmektedir 38. Mekanik özelliğinin üst düzey olması sebebiyle poliamidler kam, dişli ve kaymalı yatak, rulman kafesleri, kızak gibi malzemelerin yapılmasında kullanılmaktadırlar. Aşınmaya karşı takım tezgahının kızaklarında kaplamalar biçiminde de kullanılmaktadırlar.

### **3.3. POLİMERLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ**

Polimerler (veya makromoleküller), birbirine kovalent olarak bağlanmış, monomerler veya tekrarlayan üniteler adı verilen daha küçük birimlerden oluşan çok geniş moleküllerdir. Polimer yapısı değişebilir. En yaygın geliştirilmiş kompozitler, ince çaplı liflerle (örneğin grafit, aramidler, bor) takviye edilmiş bir polimerden (örneğin epoksi, polyester, üretan) oluşan polimer matris kompozitlerdir (PMK). Örneğin, grafit/epoksi kompozitler ağırlık karşılaştırma esasına göre çelikten yaklaşık beş kat daha güçlüdür. En yaygın kompozit olma nedenleri arasında düşük maliyet, yüksek mukavemet ve basit üretim ilkeleri bulunur [9].

PMK'lerin temel dezavantajı düşük çalışma sıcaklıkları, yüksek ısıl ve nem genleşme katsayıları ve belirli yönlerde düşük elastik özellikler içermesidir.

Polimer matrisli kompozitlerde; matris malzemesi olarak polimer reçine, takviye elemanı olarak elyaf kullanılır. Kolay üretilmesi ve maliyetinin düşük olması sebebiyle en yaygın kullanım alanına sahip kompozitler polimer matrisli kompozitlerdir [9].

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılan reçineler polimer malzemelerin termosetler grubu içerisinde yer alırlar. Polimer malzemeler termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üçe ayrılırlar.

### **3.4. TAKVİYELİ POLİMERLER (POLİMER KOMPOZİT MALZEMELER)**

Polimerlerin çekme, darbe, ısıya karşı dayanıklılık ve boyut kararlılığı gibi özelliklerinin iyileştirilmesi hedefiyle, polimerler başka maddelerle takviye edilmektedirler. Bahsedilen takviye malzemesi, dolgu ve elyaf şeklindedir. Dolgu amacıyla takviye edilmiş malzemelerin temel amacı maliyetlerin daha düşük düzeyde olmasıdır. Ancak dolgu malzemeleri ısının iletkenliğinin artırılması, soğuma esnasındaki şekil değişmesinin önlenmesi ve kalıplama zamanının düşürülmesi gibi amaçları da bulunmaktadır. Dolgu malzemeleri genel olarak polimerlerin çekme dayanıklılığını azaltmaktadır. Bundan dolayı kuvvetlendirici olarak maliyeti daha çok olan elyaf malzeme kullanılmaktadır.

Elyafın takviye malzemesi biçiminde kullanılmasında üç adet önem arz eden faktör mevcuttur. Bu faktörlere baktığımızda; elyafın matris malzemesi tarafından ısıtılabilmesinin gerekliliği, matrisle elyafın temas ettikleri yüzeyde bir kimyevi reaksiyonun meydana gelmemesi ve elyafın yüzey karakteristiğinin iyi olması karşımıza çıkmaktadır. Elyafın, matris malzeme tarafından yüksek düzeyde ısıtılmadığı takdirde malzemenin içerisinde boşluk oluşacaktır. [1]. Dolgu maddeleri ve elyafın karıştırılma oranı matris malzemelerinin mekanik ve fiziki özelliğini etkilemektedir. Dolgu maddelerinin çok kullanılması, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir.

#### **3.4.1. Takviyeli Polimerlerde Kullanılan Elyaf**

Kompozit malzemelerde takviye elemanının çok önemli bir görevi vardır. Takviye elemanı malzemenin üzerine gelen yükü yaklaşık %90 oranında taşır, matris malzemesine rijitlik kazandırır, malzemenin mukavemetini artırır, elektrik iletkenliği yada yalıtkanlığı, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek elastik modül, yüksek sertlik gibi özellikler kazandırır. Tabiki takviye elemanının kompozit malzemeye

gelen yükün büyük kısmını taşıyabilmesi için takviye elemanı ve matrisin ara yüzey bağ kuvvetinin çok iyi olması gerekir. Bunun haricinde de kompozit malzemeye gelebilecek kuvvete göre elyaf yönlendirmesinin ayarlanması, uygun takviye elemanının seçilmesi, takviye elemanının boyutları ve matrisin elyafı iyi bir şekilde ıslatması gibi kriterlere de dikkat etmek gereklidir [34]. Kompozit malzemelerde takviye elemanları farklı formlarda bulunabilirler. Bu formlar parçacık, sürekli ve süreksiz elyaf şeklinde olabilir. Kullanılacak bu formların her biri malzemeye olumlu birçok katkıda bulunur. Takviye malzemesi olarak en çok kullanılan elyaflara baktığımızda; cam elyaflar, karbon elyaf ve aramid elyaflar karşımıza çıkmaktadır [35].

#### **3.4.1.1. Cam Elyafı ile Takviye**

Cam elyafı temel madde olarak silisyumu ( $\text{SiO}_2$ ) ve buna ilaveten sodyum, bor, alüminyum, kalsiyum gibi elementlerin oksitlerinden belli oranlarda ilave edilerek  $1600^\circ\text{C}$ 'lerde elde edilen eriyik haldeki camın üzerinde yüzlerce delik bulunan kovanlarda çekilmesi ve hızla soğutulması sonucu 5-24 mikron kalınlığında mono cam lifleri üretilir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elyaf türleri arasında cam elyafı büyük bir yer tutar. Camın farklı türleri vardır bu türler sahip oldukları özellikler bakımında farklı kullanım alanlarına sahiptirler [3].

Cam elyaf temel olarak silika kumundan yapılmış ve farklı sınıflarda ticari olarak temin edilebilmektedir. En yaygın kullanılan cam türleri elektrikli cam (E-cam), yüksek mukavemetli cam (S-cam) ve alkali-dirençli AR-camıdır. E-cam yüksek elektriksel yalıtım özellikleri, neme karşı düşük duyarlılık ve yüksek mekanik özellikler sunmaktadır. S-cam daha yüksek çekme dayanımı ve modülüne sahiptir, ancak daha yüksek maliyeti ondan dolayı E-camdan daha az tercih edilmektedir. ARcam, çimento esaslı matrislerde alkali saldırılarına karşı oldukça dirençlidir. Cam elyafından yapılan kompozitler, iyi elektriksel ve termal yalıtım özellikleri göstermektedir [1].

Silika, soda, alüminyum oksit, magnezyum oksit, kolemanit den oluşan cam elyafı bileşiminden oluşan cam elyafı hammadde bileşimi, çok küçük parçalar halinde

öğütülerek, homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Bu karışım 1200°C-1500°C sıcaklıktaki bir fırında ergitilerek sıvı hale geçer. Bu eriyik platin alaşımli bir potanın altında açılmış mikron seviyesinde binlerce delikten basınç etkisiyle 50-70 m/sn gibi yüksek bir hızda aşağı doğru demetler halinde çekilerek yıpranmaya karşı dayanımın artması için kaplama işlemi yapılarak makaralara sarılır. Cam elyafının bu kaplama malzemeleriyle kaplanma sebebi nemin elyaf tabakasının içerisine girerek elyafın yapısının bozmasından dolayıdır. İşlem sonrasında makaralara sarılı cam elyafından çok uçlu bobin, keçe ya da kırılmış elyaf üretililerek kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılacak hale getirilirler.

Elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler için cam elyaf; maliyeti, hafifliği, mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle en yaygın kullanılan elyaf takviye elemanıdır. Ancak cam elyafların mekanik özellikleri, karbon fiberler ile kıyaslandığında düşük modül ve çekme dayanımına sahiptir. Cam elyafların, üretim yöntemleri ve eklenen bazı kimyasallara göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. A-cam, E-cam, S-cam ve C-cam olarak dört sınıfa ayrılır [17].

- A Camı: Yüksek oranda alkali içeren A camı daha çok pencerelerde ve şişe imalatlarında kullanılmakta olan bir cam çeşidi olup kompozit üretiminde çok fazla kullanılmamaktadır. Elektriksel yalıtkanlığı düşük fakat kimyasal direnci yüksek olan bir cam türüdür.
- C Camı: Kimyasallara karşı korozyon dirençleri yüksek seviyededir. Depolama tanklarında kullanılmaktadır.
- E Camı: Mukavemet, elektirksel yalıtkanlık, düşük su emiş oranı gibi özellikler bakımından iyi olan E-camı takviye elyaflarının üretilmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan bir cam türüdür.
- S Camı: Mukavemeti yüksek, yüksek sıcaklıklarda yorulma direnci iyi bir malzemedir. S camındaki elyaf çapları E camı ile kıyaslandığında S camındaki tellerin çapları %50 daha düşüktür dolayısıyla lif sayısındaki artış üretilen kompozit malzemelerin çok üstün özelliklerde olmasını sağlar [8]. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan cam malzemeler takviye elemanı olarak kullanılabilmesi için elyaf haline getirilmelidir.

### 3.4.1.2. Karbon Elyaf ile Takviye

Cam elyafı kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye malzemesi olsa da karbon elyafı yüksek performanslı kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon elyafı takviyeli kompozitler cam elyaf takviyeli olanlara göre daha hafif, mukavemet ve rijitlik gibi mekanik özellikler bakımından daha üstün olması nedeniyle karbon elyafının kullanımı artmaktadır. Organik elyaf olarak kabul edilen karbon ve grafit elyaflarda hammadde olarak poli-akro-nitril (PAN), Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) kullanılır [3].

Daha çok suni ipek ve poliakrilonitrilden (PAN) ve zift gibi hammaddelerden üretilir. İlk olarak mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlamak için boylarının beş on katı uzatıldıktan sonra üç farklı ısıtmaya tabi tutulur bu ısıtma işlemlerinden ilki daha sonraki ısıtma işlemlerinde fiberin boyutlarını sabitlemek için 300°C fırından geçirilir. Daha sonra 1000-1500°C’lerde karbonizasyon yapılır. 2500°C’nin üzerinde grafitleşme işlemine tabi tutulur. Grafit ve karbon elyafı aynı malzeme kabul edilseler de grafit elyafındaki karbon oranı karbon elyafından fazladır. Karbon ve grafit elyafları aynı malzeme gibi görülmesine rağmen karbon içerikleri bakımından karşılaştırıldığında karbon elyafı yaklaşık %93-95 arasında karbon içerirken; grafit elyafında bu oran %100’ e yakındır [16].

Karbon elyafı piyasada sürekli ve kırılmış elyaf olarak farklı formlarda temin edilebilir. Sürekli elyaflar dokuma kumaş ve prepreg şeklinde kullanılırken kırılmış karbon elyafları daha çok kalıpla üretimi yapılan kompozitlerin üretiminde tercih edilir aynı zamanda karbon elyafının avantaj getiren bir diğer özelliği ise hemen hemen her tür reçine ile uyumlu olabilmesidir. Bunun haricinde karbon elyafı kompozit malzemenin sertlik, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek mukavemet ve titreşim sönümlenme gibi özellikleri nedeniyle havacılık, uzay ve savunma sanayi, spor malzemeleri yapımı gibi pek çok endüstriyel alanda tercih edilmektedir.

Karbon elyafların kullanıldığı iki temel sektör vardır. Bunlar uzay ve nükleer mühendislik sektörü ile genel mühendislik ve ulaşım sektörüdür. Genel mühendislik



sektöründe rulmanlar, dişliler, fan kanatları ve otomobil gövdeleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte iki sektörün gereksinimleri birbirinden tamamen farklıdır. Karbon elyafların büyük bir kısmı maksimum performans ve yakıt tasarrufu istenen ancak üretim maliyetlerinin ilk planda olmadığı havacılık ve uzay sektöründe kullanılmaktadır. Karbon elyafların genel mühendislikte ve ulaşım sektöründe kullanılmaları yüksek maliyetleri sebebiyle kısıtlanmaktadır ve yalnızca kritik performans istenilen uzay, havacılık, savunma ve otomotiv endüstrisinin önemli uygulama alanlarında kullanılabilirler.

### **3.4.1.3. Aramid Elyaf ile Takviye**

Aramid, bir çeşit naylon olan aromatik poliamiddir. Aramid elyafı adı verilen takviye elemanı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar ve Twaron isimleri ile anılmaktadırlar. Özgül rijitlik bakımından Kevlar 49 daha iyi performans gösteren bir malzemedir. Aramid elyafların avantajlı özellikleri yanında bazı dezavantajlı özellikleri de vardır. Bunlar; bazı türlerinin ultraviyole ışın, asit ve tuzlara karşı hassas olması, malzemenin kumaş ya da lif halinde iken kesme ve katlama gibi işlenmesinin zor olması, matris malzemesi ile iyi birleşme olmaması durumunda ise oluşan mikro çatlakların malzemenin su emmesine neden olmasıdır. Aramid elyaflar askeri alanda, denizcilik, havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde çok farklı amaçlarla kullanılırlar. Örneğin; askeri alanda balistik amaçlı delinmeme özelliği sayesinde askeri kask, kurşun geçirmeyen yelek ve zırh üretiminde, çeşitli alanlar için koruyucu giysi üretiminde (yanmayan giysi, eldiven, motorsiklet koruyucu giysileri gibi), denizcilik, havacılıkta ve otomotiv sanayinde (Emniyet kemeri, lastik, yekenli direği, uçak ve tekne gövdesi gibi), fiberoptik kablolarda, endüstride (debriyaj balataları, basınçlı kap, yüksek basınç ve ısıya dayanan conta imalatı gibi) alanlarda kullanılırlar [36].

Aramid elyaf bir aromatik poliamid organik elyaftır. Aramid elyaf, düşük yoğunluk, yüksek tokluk ve yüksek darbe dayanımı ile iyi mekanik özellikler sunar. Aramid elyaf hem elektrik hem de ısı için iyi bir yalıtıcıdır ve organik çözücülere, yakıtlara ve yağlama maddelerine karşı dayanıklıdır. Ancak ultraviyole (UV) ışığına, yüksek

sıcaklığa ve yüksek neme karşı duyarlıdır. Aramid elyafının gerilme mukavemeti, caminkinden daha yüksektir.

### 3.5. TALAŞLI ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Talaşlı imalatın DIN 8589 standardına göre yapılan tanımlamada, bir iş parçasının, iş takımı yardımı kullanılarak, iş parçasından talaş kaldırılarak, iş parçası şeklinin değiştirilmesi veya iş parçası yüzeyinin mekanik olarak iş parçasından ayrılmasıdır. DIN 8589 normunda, talaşlı imalat işlemleri, geometrisi belli kesicilerle talaş kaldırma ve geometrisi belli olmayan takımlarla talaş kaldırma olarak ikiye ayrılmıştır. Geometrisi belli takımlarla yapılan işlemler, tornalama, borlama, havşalama, delme, frezeleme, vargelleme, planyalama, tığ çekme (broşlama), testere, eğeleme, tel fırça ve keski ile yapılan işlemlerdir. Geometrisi belirli olmayan takımlarla yapılan işlemler ise, zımparalama, bileme, şerit zımparalama, düzlem zımpara, honlama, laplama, elektro erezyon ve parlatma işlemleridir. DIN8589 standardına göre, talaş kaldırma işlemleri proses numaraları ile numaralandırılmıştır. Proses numaraları, iş parçasına uygulanması gereken işleme proseslerini göstermektedir ve toplamda 7 basamaktan oluşur [37].

Bir hammaddenin kesici takımların yardımı ile talaş kaldırılmasıyla istenilen geometrik şekle getirme durumuna talaşlı imalat denilmektedir. Talaşın kaldırılması işlemi, belli bir boyut, yüzey ve şekil kalitesi olan bir parça oluşturmak için keskin uçlu bir takım ve gücün kullanılmasıyla hammadde aracılığıyla tabaka biçiminde malzemenin kaldırılmasıdır. Tanımından anlaşılacağı gibi malzemelerin işlenebilmesi esnasında talaş ismi verilen artıklar oluşmaktadır. Bir diğer ifadeyle ayrılan malzeme tabakasının adına talaş denilmektedir. Bu noktadan sonraki süreçte talaşın kaldırılması işleminde kullanılmakta olan ekipmanlar ve terimlerin açıklaması yapılacaktır.

Talaşlı üretimlerin yapılmakta olduğu makinelere takım tezgahı denilmektedir. Talaşlı üretim yöntemlerinden her biri için özel takım tezgahları bulunmaktadır. İşlenmek istenen malzemelerin boyut ve türlerine göre farklı güç ve boyutlarda tezgahlar mevcuttur. Takım tezgahlarında genellikle; takımın bağlanmış olduğu

takımlık, kontroller ve hareketlerin ünitelerini içermekte olan ana gövde ve işlem esnasında parçaların ve takımların soğutulması işlemini gerçekleştiren soğutma ünitelerinden meydana gelmektedir [37].

Talaşlı üretimlerde, takım ve parçanın ısınmasının sonucunda hem takımların aşınmasına neden olacağından hem de işlemlerin hassasiyetlerini etkileyebileceğinden ötürü, işlem yapılan parçalar ve takımların tamamında soğutma sıvıları kullanılmaktadır. Bu soğutucu sıvılar özel yağ ya da kimyevi bileşiklerden meydana gelmektedir. Soğutucu olarak en fazla kullanılmakta olan sıvı, belli oranda suyla karıştırılan bor yağıdır [38].

Talaşın kaldırılması işleminde parçaların şekillendirilmesinde kullanılmakta olan kesici uçlara takım denilmektedir. Takımların uygulanması planlanan üretim yöntemlerine göre özel geometrilerde ve işlenmesi düşünülen malzemelerin türlerine bağlı olarak çeşitli malzemelerden üretilmektedir. Takımların seçilmesindeki en önemli değişken, daha doğru bir anlatımla bir malzemenin işlenebilmesi için en gerekli kural, işlem esnasında kullanılması planlanan takımların, işlenmesi planlanan malzemelerden sert olmasıdır. Kullanılan yerlere göre takımlar genel olarak, yüzeyleri sert kaplamalarla kaplanan çelikten üretilmektedirler. İşlemler esnasında ortaya çıkan talaşların şekilleri (sürekli ya da kesik), uygulanmış yöntemlerin özellik ve değişkenlerine bağlı haldedir [39].

Talaşın kaldırılması işlemi, uygulanması düşünülen işlemler ya da iş parçalarına kazandırılması düşünülen geometrik şekiller dikkate alındığı takdirde, kendi içinde birçok farklı gruba ayrıldığı görülmektedir. İş parçaları, aşağıda bahsedilen işlemlerin biri ya da birkaçının kullanılmasıyla istenilen geometrik şekle getirilebilmektedirler.

Talaşlı imalat işlemleri temelde tormalama, frezeleme ve delik delme olmak üzere 3 grupta incelenir. Bu tez çalışmasında delik delme işlemi uygulandığı için delik delme prosedürü konusunda kuramsal bilgilere yer verilmiştir [37].

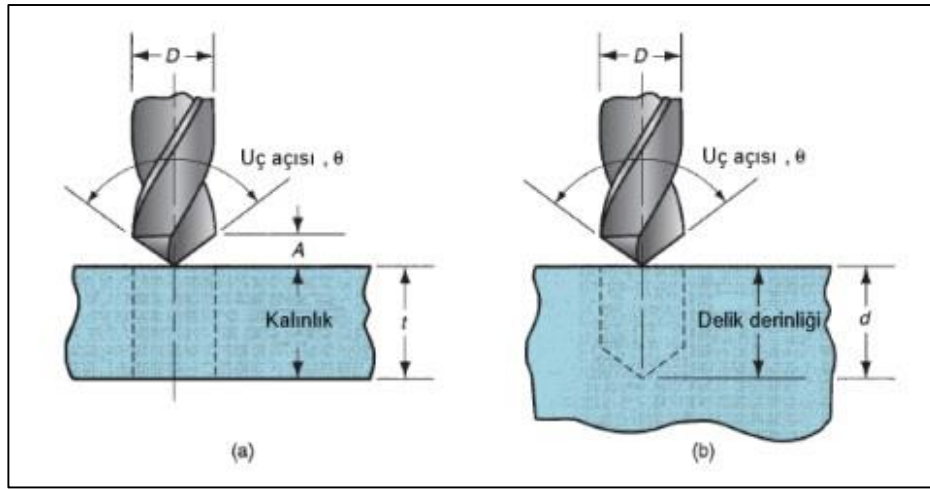
### 3.5.1. Delik Delme

Geleneksel işleme yöntemleri arasında en yaygın kullanılanı delik delmedir. Özellikle havacılık alanında bağlantı ve perçinleme ihtiyacı nedeniyle en temel ve kapsamlı şekilde gerçekleştirilen işleme yöntemidir. Örneğin tek motorlu küçük bir uçağın kompozit yapısında bağlantı elemanları için 100.000'den fazla delik bulunurken, büyük bir nakliye uçağında milyonlarca delik bulunmaktadır. En iyi kalitede hasarsız delikler elde etmek maksadıyla delme işleminin optimize edilmesine yönelik birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar neticesinde KFTP kompozitleri delmek için çok sayıda yeni takım malzemesi, takım geometrisi ve en uygun parametreler elde edilmesine rağmen, tamamen hasarsız bir delme işleminin mevcut olmadığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, en iyilenmiş işleme koşulları ve parametreleri kullanılarak hasarın boyutu en aza indirilebilmektedir [37].

KFTP kompozitlerin delinmesinde ortaya çıkan hasar tiplerinden malzemenin mekanik özelliklerini en çok etkileyeni ise delaminasyondur. Delme işlemleri sırasında KFTP kompozitler üzerine uygulanan itme kuvveti ve tork; hıza, ilerleme miktarına, takım geometrisine ve takım aşınmasına bağlıdır. Delme işlemi başlangıcında kompozit malzemenin kalınlığı itme kuvvetine dayanabilecek seviyede iken, delme süreci esnasında kompozitin henüz delinmeyen katmanları tarafından sağlanan dayanım giderek düşmektedir. Bunun sonucunda kompozit malzeme yapısında katman ayrılmaları, tork etkisi ile de fiberlerde kesilme yerine kopmalar oluşarak delaminasyona neden olmaktadır. Kesme parametrelerinin bir fonksiyonu olan delaminasyonlar; delik girişinde tabaka ayrılması şeklinde ve delik çıkışında saçaklanma şeklinde delaminasyon olmak üzere iki farklı şekilde oluşmaktadır. Delik delme, genel olarak son işlemleri oluşturmaktadır ve bu deliklerden ötürü parçaların ıskarta oranının artması parça hatalarının ve hurdaya çıkan malzemelerin artması demektir. Bu yüzden, delik delme işleminin yüksek kalitede olması istenir [40].

Matkapla talaş kaldırma işleminde iki etkin bölge vardır. Bunlar matkabın merkezinde yer alan radyal ağız (chisel edge) ve kesme kenarıdır (cutting edge). Kesme işleminin gerçekleştiği bu kenarlarda talaş açısı ve eğiklik açısı farklılık

gösterir. Kesme kenarında eğiklik açısı matkabın çevresine doğru artarken, talaş açısı genellikle negatif değerlerden pozitif değerlere doğru artış gösterir. Matkabın radyal ağzında ise talaş açısı çok yüksektir bu yüzden bazı bölgelerde kesmenin aksine yüksek plastik deformasyon ile malzeme şekil değiştirir. İki kesme kenarlarının arasında kalan açığa koniklik açısı (helix angle) adı verilir. Matkabı diş sayısı kadar boşaltma kanalı çevreler. Boşaltma kanalları kesme işlemi yapmazlar sadece talaşların kesme bölgesinde uzaklaşmasına yardımcı olurlar. Matkabın öz genişliği (margin) ile gösterilir (Şekil 3.2) [41].



Şekil 3. 2. Delme İşlemi [37]

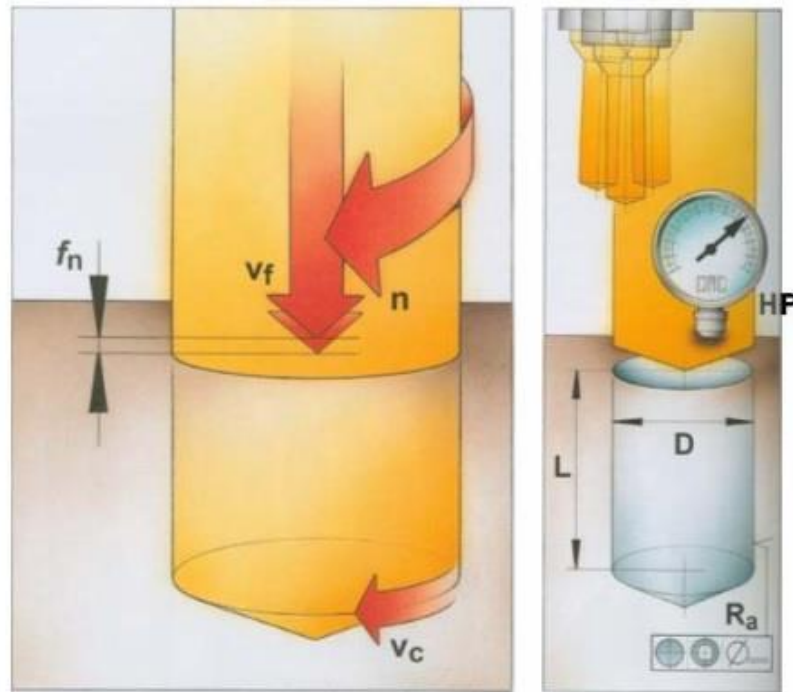
### 3.5.4.1. Delme İşlemlerinde Kesme Parametreleri

Delik delme sırasında kullanılan kesme şartları ve kesme parametreleri işlemin kalitesini etkiler. Kesme hızı delik delme işlemiinde takım ömrünü etkileyen en önemli proses parametrelerinden biridir. Kesme hızının artması (talaş kaldırma hızının artmasına rağmen) artan sıcaklıklar ile birlikte takım ömrünü kısaltmaktadır [42].

Delik delinmesi için kesme hızı ya da yüzey hızları ( $V_c$  m/min) çevre hızıyla belirtilmekte ve fener mili hızından hesaplanmaktadır. Fener mili hızı ( $n$ ), dakikadaki devir sayısı biçiminde ifade edilmektedir. Bir devir süresince matkapların çeperleri,  $\pi \cdot DC$  olan bir çemberi tanımlamaktadır. Bu noktadaki DC kavramı, takımın çapını

belirtmektedir. Kesme hızı, kesme kenarının hangi matkap yüzeyleri süresince çalışmakta olacağına göre değişmektedir.

Delik delme takımlarının işlemindeki zorluk, matkapların çevrelerinden merkezlerine doğru kesme hızlarının azalması ve merkez noktasında ise sıfıra eşitlenmesidir. Önerilen kesme hızları, çevredeki en yüksek hızlar içindir. Devir başına ilerleme, bir devir boyunca takımın yapmış olduğu aksel hareketleri belirtmektedir. Bu ifadeler, giriş oranının hesaplanmasında kullanılmakta ve matkapların ilerleyebilmek kapasitesini belirlemektedir. Giriş oranları ya da ilerleme hızları ( $V_f$  mm/min), birim süre içerisinde uzunluk cinsinden takımların iş parçalarına bağlı biçimde iletilmesidir. Bu kavram aynı zamanda tezgahın ilerlemesi yada tabla ilerlemesi şeklinde de ifade edilmektedir. Devir başına ilerleyebilme ve fener mili hızlarının çarpılmasıyla matkapların iş parçalarına giriş hızı bulunmaktadır. Delik delme işleminin hesaplanmasında radyal kesme derinliği ( $a_p$ ) ve diş başına ilerleme ( $f_z$ ) kadar delik derinliği ( $L$ ) de önem arz eden bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Kesme Hızı, Giriş Oranı, Fener Mili Hızı, Devir Başına İlerleme ve Delik İşleminin Temel Faktörleri [37]

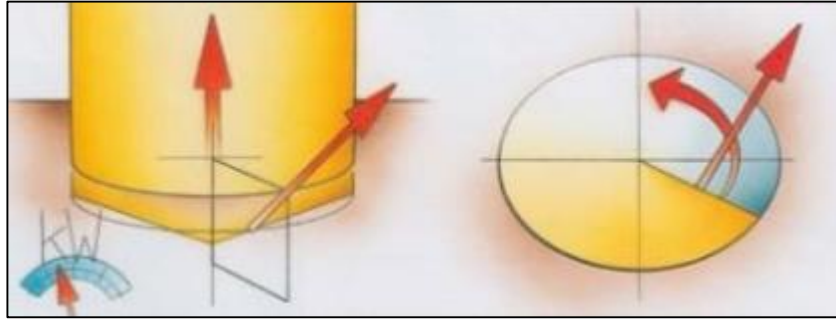
### 3.5.4.2. Deliklerin İşlenmesi

Deliklerin işlenmesi için iki yol bulunmaktadır. Bunlardan ilki boş şekilde üretilmesidir. İkincisi ile malzemenin işlenmesiyle son halini almasıdır. İş parçalarının genel olarak en az bir deliği bulunmaktadır ve bu delik, fonksiyonlarına bağlı şekilde farklı kısıtlamalar ile işlenmeyi gerektirmektedir. Bir deliğin işlenmesi bakımından tanımlayan faktörlere bakıldığında; çapları, derinlikleri, kalitesi, kullanılan malzemeler, işleme şartları, güvenilirlik ve verimlilik olduğu görülmektedir [43,44].

### 3.5.4.3. Kesme Kuvvetleri ve Güç

Deliğin açılabilmesi için belirli düzeyde enerji gereksinimi gerekmektedir. Matkaplar, iş parçalarının içlerine girerek talaşları kaldırma esnasında kesme kuvvetleri matkaplara etki etmektedir ve bu durum da belirli düzeyde güç gerektirmektedir. İlk olarak deliğin açılabilmesi için gereken güç, iş parçasının malzemesinin cinsine göre farklılık göstermektedir ve bu gücün hesaplanmasında malzemeler için gerekli olan özgül bir kesme kuvveti göz önünde bulundurulmalıdır. Özgül kesme kuvvetinin değeri (kc), mm<sup>2</sup> başına N cinsinden, hemen hemen her malzeme için hesaplanmış ve test edilmiştir. Bu değer, takımın etkili kesme açısı ve talaşın ortalama kalınlığı ile alakalı tablolarda bulunmaktadır ve belirli bir kesme alanı (1 mm<sup>2</sup>) olan talaş için gereken teğetsel kesme gücü yada etkili kesme gücünün teorik talaş alanındaki bölümüyle tanımlanmaktadır [21]. Değerler, diş başına ilerleme kuvveti olarak gösterilmektedir. Normal şartlarda, çeliklerin özgül kesme kuvvetleri, demir esaslı olmayan alaşımların hemen hemen üç katı kadar olmaktadır. Yüksek dayanıklılığa sahip süper alaşımların özgül kesme kuvvetiyse çeliklerin yaklaşık iki kadardır. Malzeme faktörlerine ek olarak deliğin delinmesi işlemi için gereken güç (PC) KW cinsinden çap ilerleme oranı ve kesme hızına bağlı haldedir. Belirli bir işlemde yaklaşık güç ihtiyacının hesaplanabilmesi için bir eşitlik kullanılmaktadır ve eşitlik söz konusu takım tezgahlarının yapılmakta olan uygulamalar için uygun olup olmadığını doğrulayabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Ortak büyüklüğe sahip delikler, modern bir tezgâh için problem oluşturmamakta ancak çapından çok daha küçük derinliği bulunan büyük parçalar için güçlerin

kontrolünün sağlanmasında fayda bulunmaktadır. Nm cinsinden Tork ( $M_c$ ), çeşitli büyük çaplı delme işlemlerinde, özellikle deliğin büyütülmesi işlemlerinde, önem arz eden bir değerdir. Bu değer işleme zamanında matkapların maruz kaldığı toplam delik delme momenti dikkate alınarak belirlenmektedir. Tork değerlerini etkilemekte olan ana faktörlere; ilerleme, işlenen malzeme ve çaptır. Tork her bir kesme kenarının momentlerinin toplamı ve teğetsel kuvvetlerin merkezlerden yapı çap ile çarpımıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4. Matkapın İlerleme Kuvveti ve Tork [45]

N cinsinden ilerleme kuvveti ( $F_t$ ), delme işlemlerinde performans bakımından en önemli değişkendir. Bu durum, matkapın malzemeye girdiğindeki matkaba uygulanmakta olan aksenal kuvvettir. Bu kuvvet, delme işlemleri için fener millerinin gücü ve dayanıklılığın yeterliliğinin doğrulanması açısından değerlendirilmelidir. Aşırı ilerlemeler kuvvetin kullanılmasını, deliğin kalitesini ve takımların güvenilirliğini etkileyerek, tezgahın durmasına neden olabilir. Öte yandan yeterli düzeyde ilerleme kuvvetinin uygulanmasıyla kesme hareketi ve verimlilik açısından önem arz etmektedir (Şekil 3.5). İlerleme kuvveti; matkapın çapı, ilerleme seviyesi ve delinen malzeme ile ilgilidir. Matkapın kesme kenar açısı ( $K_r$ ) da ilerleme kuvvetini etkilemektedir. Matkapın uç açısı ( $\phi$ )dir.





Şekil 3. 5. Matkabın Uç Açısı ve Kesme Kenar Açısı

#### 3.5.4.4. Delik Delme İşlemlerinde Talaş Kontrolü ve Kesme Sıvısı

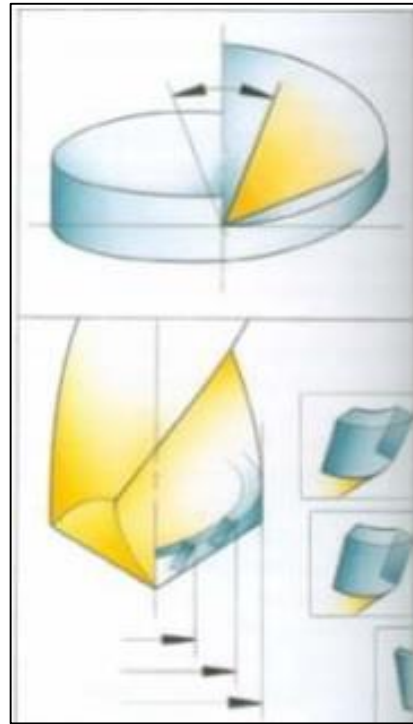
Talaşın kontrol edilmesi ve kesme sıvısının düzeyi, deliğin delinmesi işlemindeki en önemli faktörlerdendir. Uygun büyüklük ve şekillerde talaşların üretilmesi ve tahliyesinin sağlanması, herhangi bir delme işleminin başarılı olabilmesi için büyük önem arz etmektedir. Bu açıdan kullanılan güç yeterli düzeyde olmazsa matkap, delikte sıkışacaktır ve sonrasında da duracaktır. Kesme hızı ve ilerleme düzeyleri, modern matkaplarda yüksek düzeydedir. Bu durumsa talaşın kesme sıvısıyla verimli bir biçimde tahliye edilebilmesiyle mümkün olmaktadır. Birçok kısa delik matkabının, talaşlarını tahliye ettiği iki adet talaş kanalları bulunmaktadır. Bu işlemler, modern tezgah ve delik açma takımları ile, takım kesme sıvısı deliğine içerden kesme sıvısının sağlanmasıyla etkili bir biçimde yapılmaktadır. Kesme sıvısı yapılan işlem süresince talaşların atılması için matkapların ucundan boşaltılmaktadır (Şekil 3.6.).



Şekil 3. 6. Delik Delme İşlemlerinde Talaş Oluşumu, Talaş tahliyesi ve Kesme Sıvısı Temini [46]

Talaşların oluşumu; iş parçasının malzemesi, takımlar, geometrik şekil, kesme hızları, ilerlemeler ve belirli bir oranda kesme sıvısının ne olduğuyula ilgili olarak değişkenlik gösterebilir. Genel olarak; yükseltlen ilerleme ve düşürülen kesme hızının sonucunda talaş boyu daha kısa olmaktadır. Talaşlar, güvenli bir biçimde atılıyorsa, talaşların şekillerinin ve uzunluğunun kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir. Matkabın talaş açısı kesme kenarı boyunca farklılık göstermektedir ve matkabın çevresinden merkeze doğru azalmaktadır. Kesme hızı da çevreden merkeze doğru azalmakta olduğu için kesme kenarı, matkapların ucunda istenilen verimde etkili bir biçimde çalışmayacaktır. Matkapların uçları, malzemelerin kesilmesi yerine malzemelere basın uygulayacak ve sürtünmenin de başlamasıyla beraber kesme açısının negatif ve kesme hızının da az olduğu noktada plastik deformasyon eğilimi meydana gelecektir.

Tezgahlar; açılması planlanan deliklerin büyüklüğü ve üretilen ilerleme kuvvetlerine göre zayıf ise, tezgahların fener milleri eksenden sapar ya da işlem sonucunda oval delikler oluşabilir (Şekil 3.7).



Şekil 3. 7. Matkabın Kesme Açısı

### 3.5.4.5. Matkap Seçimi

Matkabın seçilmesi esnasında dikkat edilmesi gereken konular aşağıda açıklanmıştır;

- Deliğin çapı, derinlik düzeyi ve kalite gereksinimi belirlenir. Bunun dışında üretim ekonomisi ve işlemin güvenilir olması konusu da dikkate alınır.
- Matkabın tipi seçilir. Deliklerin kaba ya da ine işlenebilmesi için bir matkap seçilmelidir. Matkapların iş parçası malzemelerine, deliğin kalite ihtiyacına uygun olduğu ve delik işleminin en ekonomik biçimde sağlanıp sağlanamadığı kontrol edilmelidir.
- Matkapların kalitesi ve geometrisi seçilir. Ucu değiştirilebilen bir matkabın seçilmesi halinde, kesici uçların ayrı ayrı seçilmesi gerekmektedir. Matkabın çağı için doğru kesici uçlar belirlenmeli ve iş parçası malzemeleri için önerilmekte olan geometriyle kaliteler seçilmelidir. Tek parça ve lehimli sinterlenmiş karbür matkaplar için uygun kaliteler seçilmelidir.
- Takımın sap tipi seçilmelidir. Birçok matkabın değişik biçimlerde montaj seçenekleri bulunmaktadır. Modern sinterlenmiş karbür delik delme takımı, çok verimli olarak kabul edilmekte ve günümüzde de atölyelerin birçoğunda kullanılmakta olan yüksek hız çeliği (HSS) helis matkaplardan bu yana büyük bir gelişme göstermiştir. Bu gelişme sonucunda delik başına işlem maliyeti de önemli ölçüde azalma göstermiştir. Tek parça sinterlenmiş karbür matkaplar için takımın ömrü, HSS matkaplara oranla yirmi kat civarında daha iyi düzeydedir ve kesme hızının kapasitesi de aynı ilerleme oranları için daha yüksek düzeydedir. Günümüzde kullanılmakta olan matkap ucu geometrileri, geleneksel kesme kenarının kesme hareketlerini yüksek düzeyde geliştirmekteyken, takım malzemeleri de takım ve takım performansının ömrünü büyük oranda arttırmaktadır. Tek parça karbür helis matkaplar, işlem ve tezgahlara bağlı biçimde, daha düşük kesme hızında, daha yüksek düzeyde ilerlemelerde çalışmaktadırlar. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplardaysa yüksek kesme hızı, düşük ilerleme için kullanılmaktadır [44,47,48].

### 3.5.4.6. Kesme Parametrelerinin Etkileri

Kesme hızları, takımların ömürlerinin belirlenmesindeki en temel faktör olarak karşımıza çıkmaktadır ve bunun dışında güç tüketimini de etkilemektedir. Yüksek kesme hızları;

- Matkap üstünde hızlı serbest yüzey aşınmasına,
- Kesme kenarlarında plastiğin deforme olmasına,
- Deliğin kalitesinin düşük olmasına,
- Tolerans dışı sonuçlara yol açabilir.

Çok düşük kesme hızıyla;

- Matkabın üstünde talaşın yığılmasına,
- Talaşın tahliye edilmesinin olumsuz etkilenmesine,
- Düşük verimlilik/delik başına yüksek maliyete sebep olmaktadır.

İlerleme hızları talaşın oluşumu için temel faktörlerden biridir ve gücün tüketilmesini de etkilemektedir. Bunun dışında mekanik ve ısıl gerilmelere yol açmaktadır. Yüksek ilerleme hızı;

- İyi talaş kontrolü,
- Daha düşük kesme süresi,
- Daha yüksek matkap kırılma riski,
- Daha kötü delik kalitesi anlamı taşımaktadır.

Düşük ilerleme hızlarıysa;

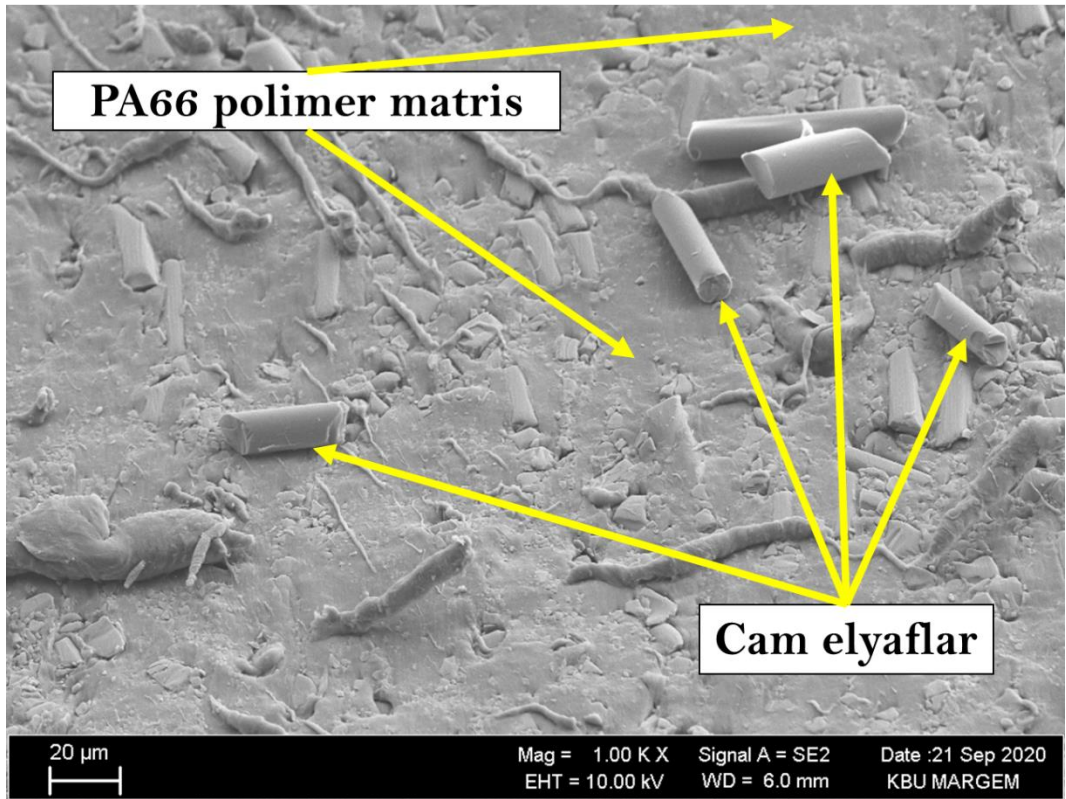
- Daha uzun talaş,
- Kalitenin iyileşmesi,
- Takımın aşınmasında daha hızlı artış,
- Daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet anlamına gelmektedir.

## BÖLÜM 4

### MALZEME VE YÖNTEM

#### 4.1. DENEYLERDE KULLANILAN CETP MALZEMELER

Bu çalışmada kullanılan ve aşağıdaki resimlerde gösterilen poliamid 66 malzemesi Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında %10, %20 ve %30 oranlarında cam elyaf katkı yapılarak üretilmiştir. Şekil 4.1’de CE takviye elemanı ve PA66 matris malzemesinin SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 1. CE Takviye Elemanı ve Polyester Matris Malzemesi

Çizelge 4. 1. CE Takviyesinin Özellikleri

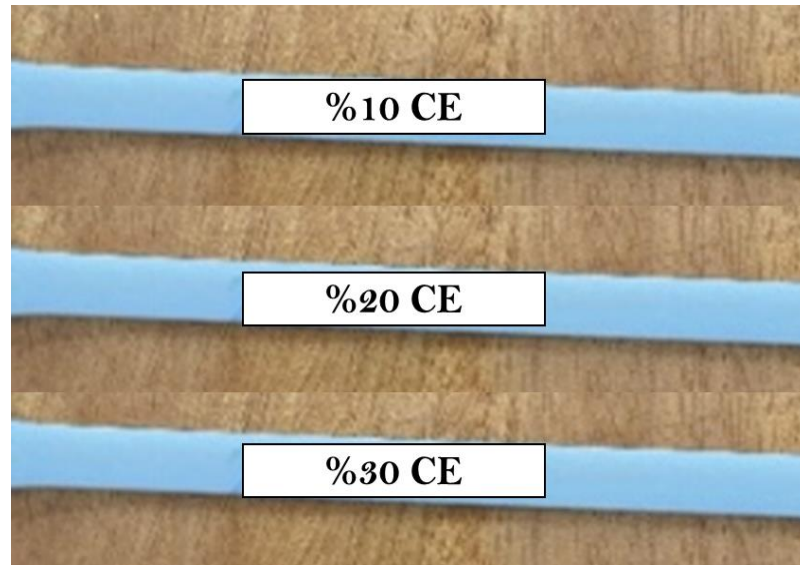
Malzemeler	Çekme mukavemeti, MPa	Elastiklik Modülü, MPa	Kopmadaki uzama %	İzod darbe mukavemeti (çentikli) $\text{kJ/m}^2$	Sertlik (Shore D)
PA 66	73,6	2930	6,6	5,84	79
PA 66+ %10 GFR	89,7	4780	5,5	5,45	79,5
PA 66+ %20 GFR	111	6320	5,4	4,51	81
PA 66+ %30 GFR	142	8390	5,1	7,46	82,9

CETP kompozitlerin üretilmesinde, Çizelge 4.2.'de verilen değişkenler kullanılmıştır.

Çizelge 4. 2. CE takviye elemanı oranları

Elyaf oranları (ağırlıkça %)	10	20	30
------------------------------	----	----	----

Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında %10, %20 ve %30 oranlarında cam elyaf katkı yapılarak üretilen cam elyaf katkılı poliamid (Pa66) kompozitlerin görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Üretilen CETP Takviyeli Kompozit Malzemeler

## 4.2. DELİK DELME TASARIM DÜZENİ VE DENEYLERİ

### 4.2.1. Deney Tesisatı

Farklı elyaf oranına sahip CETP kompozitlerin, farklı kesme parametrelerinde delik delinmesinde; elyaf oranı, kesme hızı ve ilerleme miktarının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerine etkilerini belirlemek için birtakım deneyin yapılması gerekmektedir. Delme deneyleri için kaplamalı ve kaplamasız kesici takım ve Çizelge 4.3'te verilen kesme parametreleri seçilmiştir. Bu parametreler, kesici takım için önerilen kesme parametreleri ve literatür çalışmaları ışığında belirlenmiştir.

Çizelge 4. 3. Kesme Parametreleri

Parametreler	Birim	Sembol	Değer
Kesme Hızı	m/dak	V	40-80-120
İlerleme	mm/dev	f	0,06-0,09-0,12
Delme derinliği	mm	l	8

Elyaf oranı ve kesme parametrelerine bağlı olarak delik delme deneyleri toplam 54 adet yapılmıştır. Belirlenen parametrelerin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki faktörünü belirlenmesi için delme deneyleri, 3 farklı elyaf oranına sahip CETP üzerinde yapılmıştır. Delik delme deneyleri, Gazi İmalat Mühendisliği bölümü merkezi araştırma laboratuvarında CNC dik işleme tezgahında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3. Deneylerde Kullanılan Delik Delme Tezgâhı

#### 4.2.2. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi

CETP kompozitlerin delik delinmesinde, kesme kuvvetlerini ölçmek için Gazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan delik delme tezgâhına dinamometre bağlanmıştır.

Dinamometreden alınan kuvvet sinyalleri yükseltici bağlantısı ile bilgisayara aktarılmış ve grafik haline getirilmiştir. Dinamometrenin bağlandığı delik delme tezgâhı ve bilgisayar deney düzeneği Şekil 4.4'te verilmiştir.

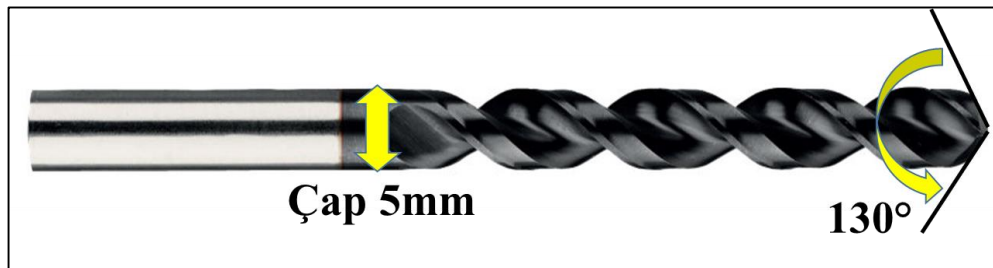




Şekil 4. 4. Delik Delme Deney Düzeneği ve Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

#### 4.2.3. Kesici Takım

Kesici takım olarak, 5 mm çapında,  $130^\circ$  uç açısı ve  $30^\circ$  helis açısında TiAlN kaplı HSS (Yüksek Hız Çeliği) ve kaplamasız HSS matkaplar kullanılmıştır (Şekil 4.5). TiAlN Kaplı HSS Matkap: Titanyum Alüminyum Nitrür kaplama, çok sert çelikler gibi malzemelerin kesme için uygundur. Bu kaplama yüzeyi yüksek sertlik değerine sahiptir ve bu sayede yüksek hızlarda çalışma imkânı sağlar. Bununla beraber düşük sürtünme katsayısına sahip olduğundan dolayı da kesme sırasında talaş yapışmasına engel olur ve talaş tahliyesini kolaylaştırır. Üretilen ısının büyük bir kısmı talaş ile dışarı atıldığından talaş oluşumu iyidir. Ayrıca termal iletkenliği düşük olduğundan dolayı yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygundur. Bu sebeple yüksek sıcaklıklarda mükemmel aşınma direnci ve uzun takım ömrü sunmaktadır.



Şekil 4. 5. HSS matkap

## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 5.1. CAM ELYAF KATKILI POLİAMİD (CETP) MALZEMELERİN DELİNEBİLİRLİĞİ

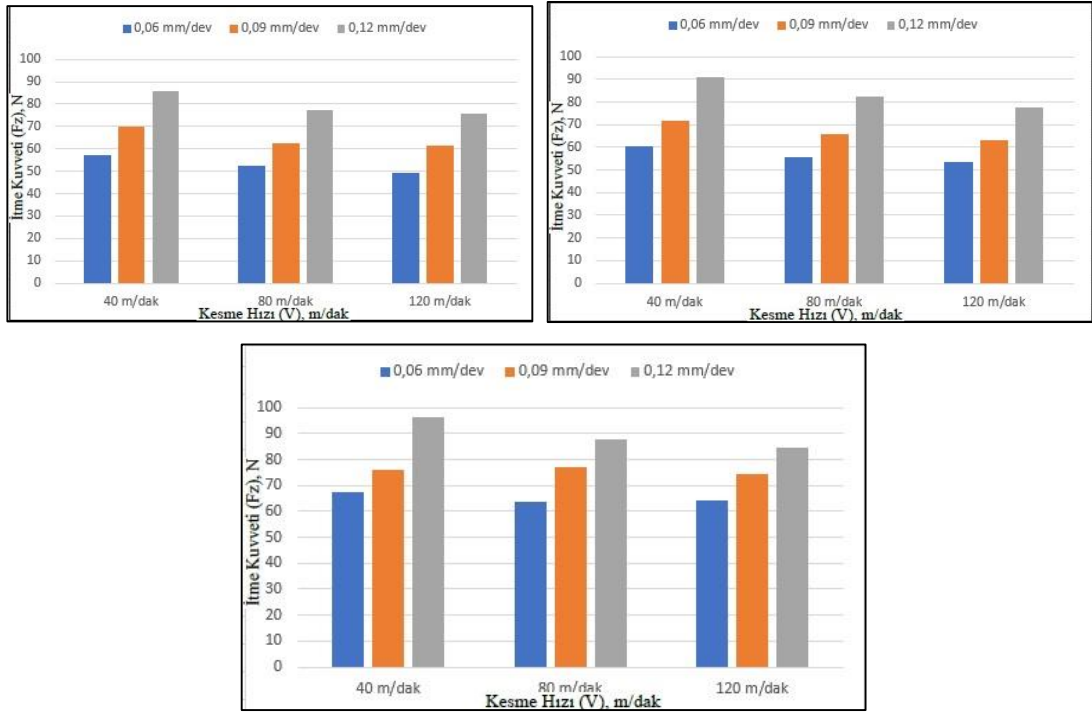
Havacılık/uzay endüstrisinin yanı sıra otomotiv, deniz, spor ve kimya endüstrisindeki ekipmanların imalatında kompozit malzemelere olan talep giderek artmaktadır. Cam elyaf katkılı polimerler gibi geliştirilmiş kompozit malzemeler, yüksek özgül sertlik, mukavemet ve korozyon direnci içeren cazip özellikleri nedeniyle, yapısal parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [49]. Bu çalışmada, CETP kompozit malzemeler için gerçekleştirilen ön deney delme işlemlerinde itme kuvveti (Fz) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları değerlendirilerek optimum delme parametreleri belirlenmiştir. CETP malzemelerin işlenmesinde metallere göre farklılıklar görülmektedir. Metallerin işlenmesinde Merchant teorisine dayalı olarak delme mekaniği analiz edilebilirken, CETP malzemelerde ise fiberlerin kesilme yerine kırılması (parçalanması) gözlemlendiğinden bu teori yetersiz kalmaktadır. Bu durum, delme sırasında kırılan fiberlerin takım malzeme arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kalması, sıcaklığın artması ve talaş tahliyesinin düzensizliğine yol açmaktadır. CETP malzemelerin delinmesinde oluşan moment ve delik çapları, bu düzensizliklerden olumsuz olarak etkilenmekte olup, yapılacak analizlerden doğru sonuçlar elde etmek için değerlendirilmemiştir.

##### 5.1.1. İtme Kuvvetinin (Fz) Değerlendirilmesi

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’teki grafikler kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlarla farklı cam elyaf oranları ve kesme parametreleri kullanılarak elde edilen Fz değişimlerini göstermektedir.

İlerleme miktarına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, aynı kesici takım kalitesi, sabit cam elyaf oranı ve sabit kesme hızında artan ilerleme miktarlarında Fz değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artması birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle talaşın koparılmaya karşı gösterdiği direnç artmakta ve Fz değerini arttırmaktadır. Ayrıca talaş hacminin artmasıyla talaş tahliyesi zorlaşmaktadır.

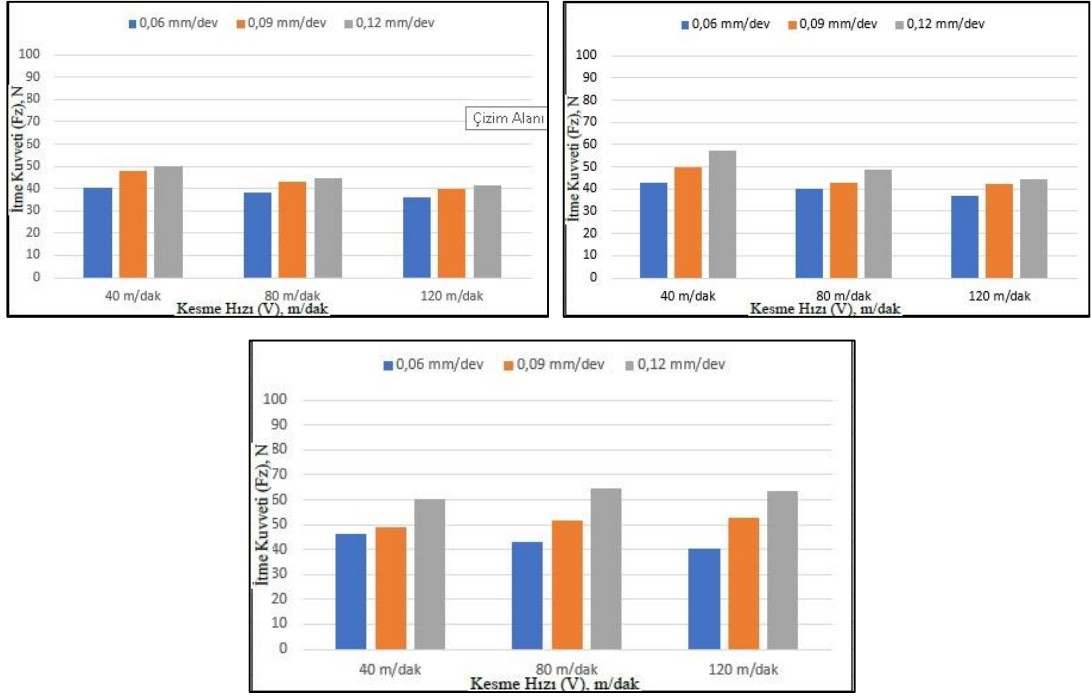
Artan kesme hızının Fz değeri üzerindeki etkisi artan ilerleme miktarının sonuçlarının aksine azalma eğilimi sergilemiştir. Bu durumu, malzemelerde artan kesme hızıyla birlikte kesme sıcaklığının artması ve buna bağlı olarak malzemenin plastik deformasyonunun kolaylaşması ile açıklamak mümkündür. Kesme hızının Fz değeri üzerindeki etkisinin ilerleme miktarına göre düşük olduğu görülmektedir. Benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında aynı eğilimi görmek mümkündür [50,51].



Şekil 5. 1. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Fz Değişimleri (Kaplamasız Kesici Takım)

Kaplamasız matkap için ilerleme miktarına göre değerlendirme yapıldığında, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev'den %50 oranında artırılmasıyla birlikte Fz değerlerinin yaklaşık olarak ortalama %33, bu artış oranı

%100 olduğunda ise Fz değerlerinde yaklaşık olarak %89 oranında artış belirlenmiştir. 80 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarının 0,06 mm/dev'den %50 oranında artmasıyla Fz değerlerinde yaklaşık ortalama %22, bu artış oranı %100 olduğunda ise Fz değerlerinde yaklaşık olarak %45 oranında artışlar meydana gelmiştir. 120 m/dak kesme hızında, ilerleme miktarının 0,06 mm/dev'den %50 oranında artmasıyla Fz değerlerinde ortalama yaklaşık %20, bu artış oranı %100 olduğunda ise Fz değerlerinde yaklaşık olarak %40 oranında artışlar meydana gelmiştir. İlerlemenin %100 artmasıyla itme kuvvetinde daha büyük değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler ilerleme miktarının etkisinin kesme hızına göre daha etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca aynı kesme hızı ve aynı devirde %30 CETP malzemesinin %10 CETP katkılıya göre daha yüksek Fz değerine ulaştığı görülmüştür. Yani sabit kesme hızı ve sabit ilerleme miktarlarına göre cam elyaf oranını %10'dan %30'a çıkarırken Fz değerleri artmıştır. 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %10 CETP malzemesinde Fz değeri 57,1N iken, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %20 CETP malzemesinde Fz değeri 60.6N, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %30 CETP malzemesinde Fz değeri 67,5 N olarak ölçülmüştür. Diğer ilerleme miktarları ve kesme hızları için bakıldığında artan cam elyaf oranı ile Fz değerlerinin arttığı yani benzer eğilim içinde olduğu görülmüştür. Deney numunelerindeki cam elyaf oranı arttıkça itme kuvvetinde (Fz) artış meydana gelmesinin nedeni malzemenin daha mukavemetli bir hal aldığını göstermektedir. Kaplamasız matkap ile yapılan tüm deneyler sonucunda, en düşük Fz değeri en düşük ilerleme ve en yüksek kesme hızı parametrelerinde 49 N, en büyük Fz değeri ise en yüksek ilerleme miktarında 96 N olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. 2. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Fz Değişimleri (Kaplmalı Kesici Takım)

Kaplmalı matkaplar ile gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.2), kaplamasız kesici takımlara oranla daha düşük Fz değerlerinin olduğu görülmektedir. Bu durum kaplamalı kesici takımların sürtünme katsayısının kaplamasız kesici takımlara oranla daha düşük olması ile açıklanabilir. Tüm kesme hızı artışlarında kaplamasız kesici takıma göre ortalama yaklaşık %8 düşüş olmuştur. İlerleme miktarının artışlarında kaplamasız kesici takıma göre yaklaşık olarak ortalama %11 düşüş olmuştur. Bu sonuçlar Fz değeri üzerinde kaplamalı takım kullanmanın daha etkili olduğu olduğunu göstermektedir.

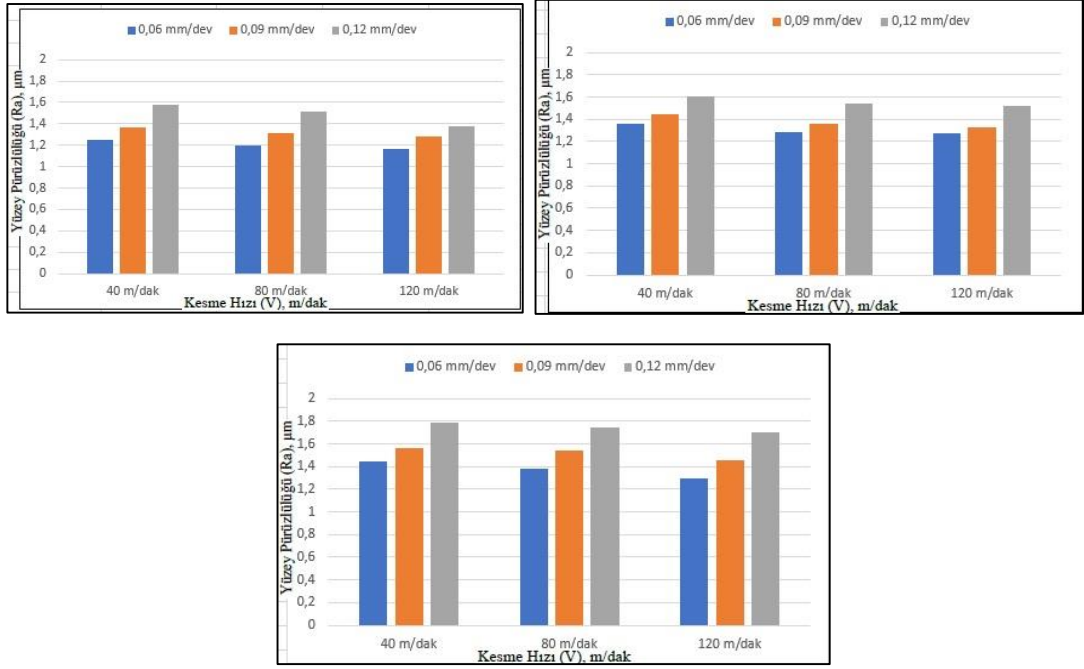
Deney numunelerindeki cam elyaf oranı arttıkça itme kuvvetinde artış meydana gelmiştir. İtme kuvvetindeki bu artış cam elyaf oranının artmasıyla malzemenin daha mukavemetli bir hal aldığı göstermektedir. Ayrıca kaplamasız kesici takımlar kullanıldığında daha fazla itme kuvveti olduğu gözlemlenmiştir.

### 5.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün (Ra) Değerlendirilmesi

Malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kriterlerden birisi yüzey pürüzlülük değeridir. Nihai üründe yüzey pürüzlülük kalitesi malzemenin yorulma dayanımında, korozyon direncinde ve tribolojik özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır [52]. Bu bağlamda, CETP malzemelerin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi ile optimum işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki grafikler (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) kaplamasız ve kaplamalı kesici takımlarla farklı kesme parametreleri kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimlerini göstermektedir.

İlerleme miktarına bağlı olarak tüm grafikler incelendiğinde, sabit kesme hızı ve cam fiber oranında artan ilerleme miktarlarında Ra değerlerinde artış olduğu açıkça görülmektedir. İtme kuvvetinde açıklandığı gibi ilerleme miktarının artmasıyla birlikte itme kuvvetlerinde artış olduğu bilinmektedir. Kuvvetler üzerinde meydana gelen bu artışlar yüzey kalitesinin kötüleşmesine ve Ra değerlerinin artmasına sebep olmaktadır. Artan ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülük değerlerinin artması beklenen bir durum olup, literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [53,54].

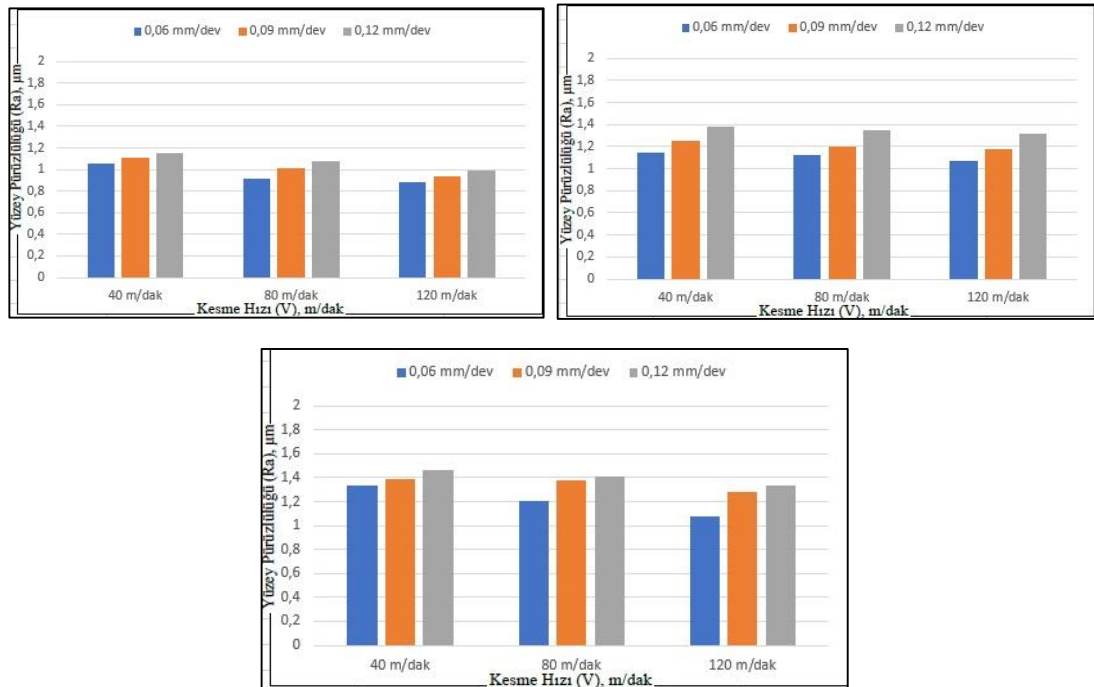
Parametreler incelendiğinde artan kesme hızıyla birlikte Ra değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Gözlemlenen bu farklılığı itme kuvvetinin değerlendirilmesinde açıklandığı gibi kesme hızının artmasıyla takım-iş parçası arasındaki sürtünmenin artmasına bağlı olarak ısının artması ve buna bağlı olarak plastik deformasyonun kolaylaşması ile açıklama mümkündür. Ayrıca delme anından talaş tahliyesinin iyileşmesini de kolaylaştırmaktadır.



Şekil 5. 3. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Ra Değişimleri (Kaplamasız Kesici Takım)

İlerleme miktarına göre değerlendirildiğinde, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev'den %50 oranında artırılarak 0,09 mm/dev'e çıkmasıyla birlikte Ra değerlerinde yaklaşık olarak ortalama %10, %100 oranında artırıldığında ise ortalama %25 oranında değişen değerlerde artış meydana gelmiştir. 80 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının %50 oranında artışında Ra değerleri ortalama yaklaşık %15, %200 oranında artışında ise yaklaşık olarak ortalama %30, 120 m/dak kesme hızında ise yüzey pürüzlülük değerlerinde artışların sırasıyla yaklaşık ortalama %15 ve ortalama %35 aralığında artış olduğu tespit edilmiştir. İlerleme miktarına bağlı olarak delik yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 5.5' te verilmiş olup sonuçları desteklemektedir. 0,06 m/dev ilerleme miktarında kesme hızının 40 m/dak'dan 80 m/dak ya çıkmasında Ra değerinde ortalama %11 azalma ve 40 m/dak' dan 120 m/dak ya artışında %16 azalma olmuştur. 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 m/dev'den 0,09 m/dev çıkmasında Ra değerinde ortalama %8 artış ve 0,12 m/dev ya artışında ortalama %10 artış olmuştur. Bu sonuçlar ışığında, ilerleme miktarının kesme hızına oranla Ra üzerinde daha etkin bir parametre olduğu görülmektedir. Kesme hızına bağlı olarak delik yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri Şekil 5.6' da verilmiştir. Ayrıca aynı kesme hızı ve aynı devirde %30 CETP malzemesinin %10 CETP katkıya göre daha yüksek Ra

değerlerine ulaştığı görülmüştür. Yani sabit kesme hızı ve sabit ilerleme miktarlarına göre cam elyaf oranını %10'dan %30'a çıkarırken Ra değerleri artmıştır. 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %10 CETP malzemesinde Ra değeri 1,05 iken, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %20 CETP malzemesinde Ra değeri 1,15, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %30 CETP malzemesinde Ra değeri 1,33N olarak ölçülmüştür. Diğer ilerleme miktarları ve kesme hızları için bakıldığında artan cam elyaf oranı ile Ra değerlerinin arttığı yani benzer eğilim içinde olduğu görülmüştür. 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarında 0,06 mm/dev olduğu %10 CETP malzemesinin, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarında 0,06 mm/dev olduğu %20 CETP malzemesine göre Ra değeri ortalama %6 daha düşük, 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının 0,06 mm/dev olduğu %30 CETP malzemesine göre ise %10 daha düşük olduğu görülmüştür. Diğer ilerleme miktarları ve kesme hızları için bakıldığında artan cam elyaf oranı ile Ra değerlerinin arttığı yani benzer eğilim içinde olduğu görülmüştür. Cam elyaf katkı oranına göre delik yüzeyi değişimleri Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5. 4. Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Ra Değişimleri (Kaplama Kesici Takım)



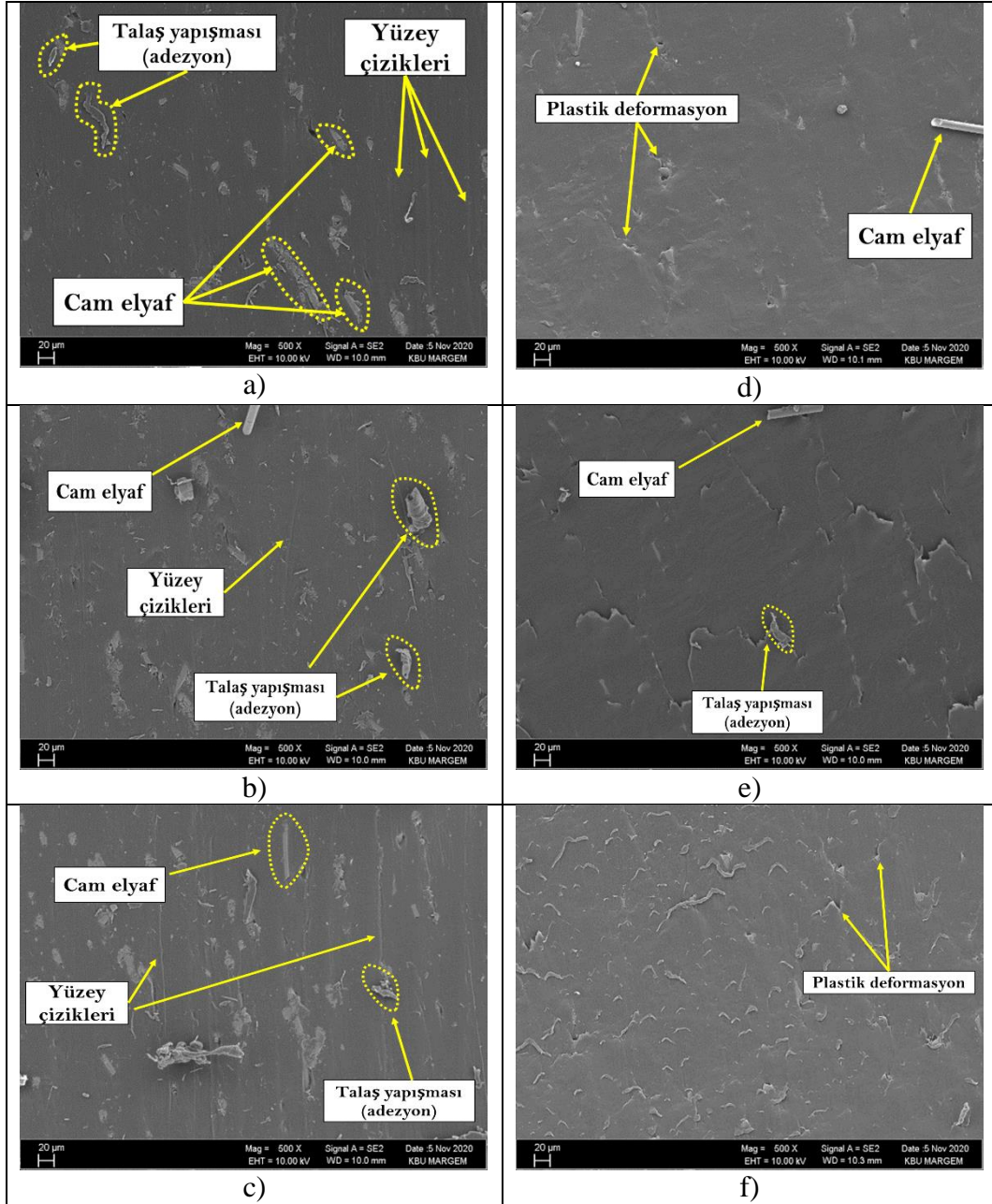
Kaplamasız ve kaplamalı matkap için Ra değerleri benzer eğilimde olup, tüm kesme şartlarında kaplamasız takım ile elde edilen Ra değerleri kaplamalı takıma göre daha yüksektir. Bu sonuç kaplamalı matkabın yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayı ile kaldırılan talaşların takım-iş parçası arasına girmeden uzaklaştırılması ile açıklanabilir.

Kaplamasız takımında 40 m/dak kesme hızında 0,06 mm/dev ilerleme miktarındaki Ra değeri, kaplamalı takımında 40 m/dak kesme hızında 0,06 mm/dev ilerleme miktarındaki Ra değerine göre ortalama %20 fazladır. Kaplamasız takımında 40 m/dak kesme hızında 0,09 mm/dev ilerleme miktarındaki Ra değeri, kaplamalı takımında 40 m/dak kesme hızında 0,09 mm/dev ilerleme miktarındaki Ra değerine göre ortalama %23 fazladır. Kaplamasız takımında 40 m/dak kesme hızında 0,12 mm/dev ilerleme miktarındaki Ra değeri, kaplamalı takımında 40 m/dak kesme hızında 0,12 mm/dev ilerleme miktarındaki Ra değerine göre ortalama %29 fazladır.

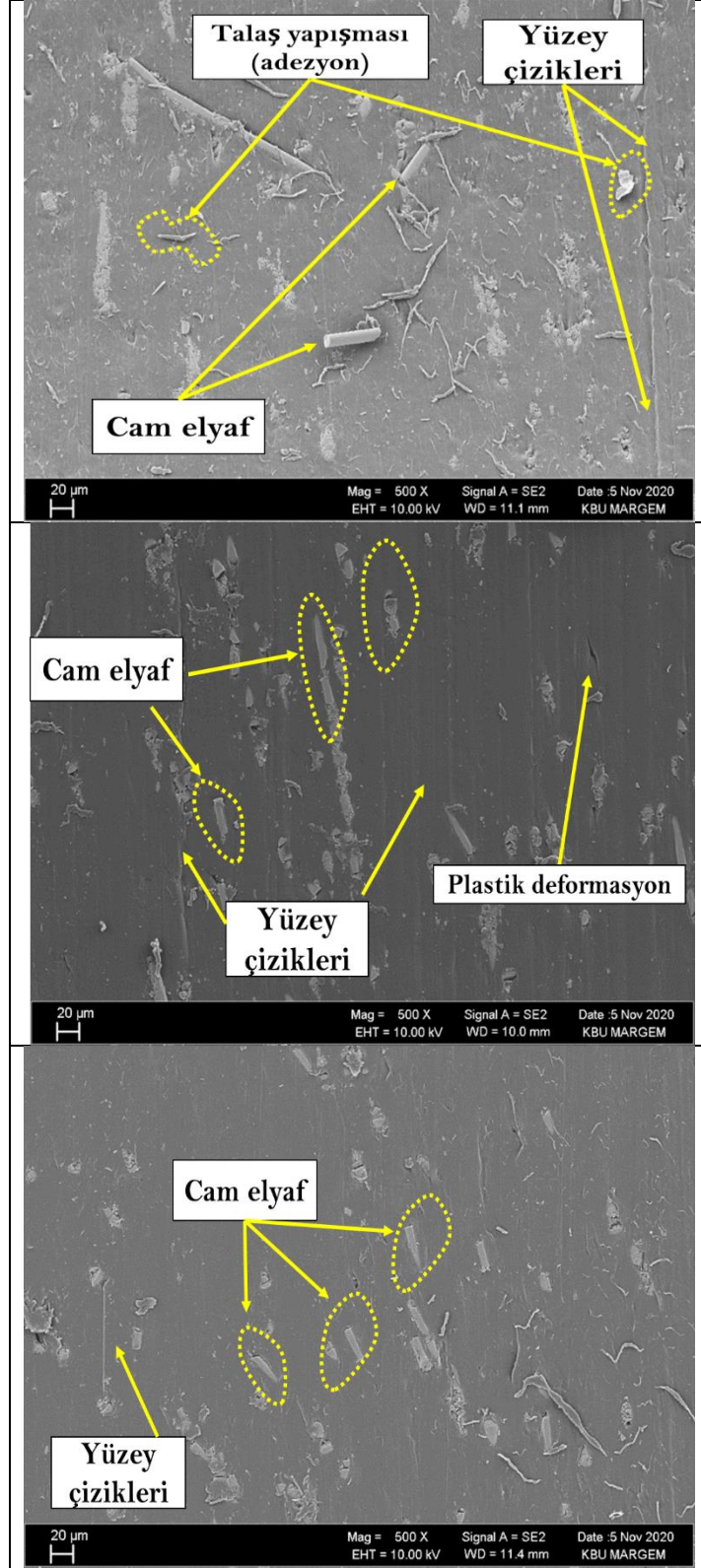
Deney numunelerindeki cam elyaf oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde (Ra) artış meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki bu artış, cam elyaf oranının artmasıyla malzemenin mukavemetinin artmasına ve takımın kesmede zorlanıp kötü yüzey kalitesi meydana gelmesine yorumlanabilir [55]. Ayrıca kaplamasız kesici takımlar kullanıldığında daha fazla yüzey pürüzlülüğüne (Ra) ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca düşük ilerleme miktarlarında matris malzemesinin delik yüzeyine yapışarak yüzey hasarlarını en aza indirdiğini söylemek mümkündür (Şekil 5.5). Yüksek ilerleme miktarında artan sıcaklıklar nedeniyle oluşan matris parçalanması ve cam elyafların kesilmeden matristen kopması ile oluşan boşluklar daha kötü yüzey pürüzlülüğüne sebep olmaktadır (Şekil 5.5). Kaplamalı takımın takım iş parçası arasındaki sürtünmeyi ve dolayısıyla sıcaklığı azaltmasıyla daha iyi bir yüzey oluşturduğu Şekil 5.5'te görülmektedir. Ek olarak kesme hızının artmasıyla yüzey kalitesinin iyileştiği Şekil 5.6'daki SEM görüntülerden de görülmektedir. Son olarak Cam fiber oranının artmasıyla malzemenin daha mukavim olması ve delme zorlanması sebebiyle delinmiş yüzeyde daha yüksek pürüzlülüğün meydana geldiği Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

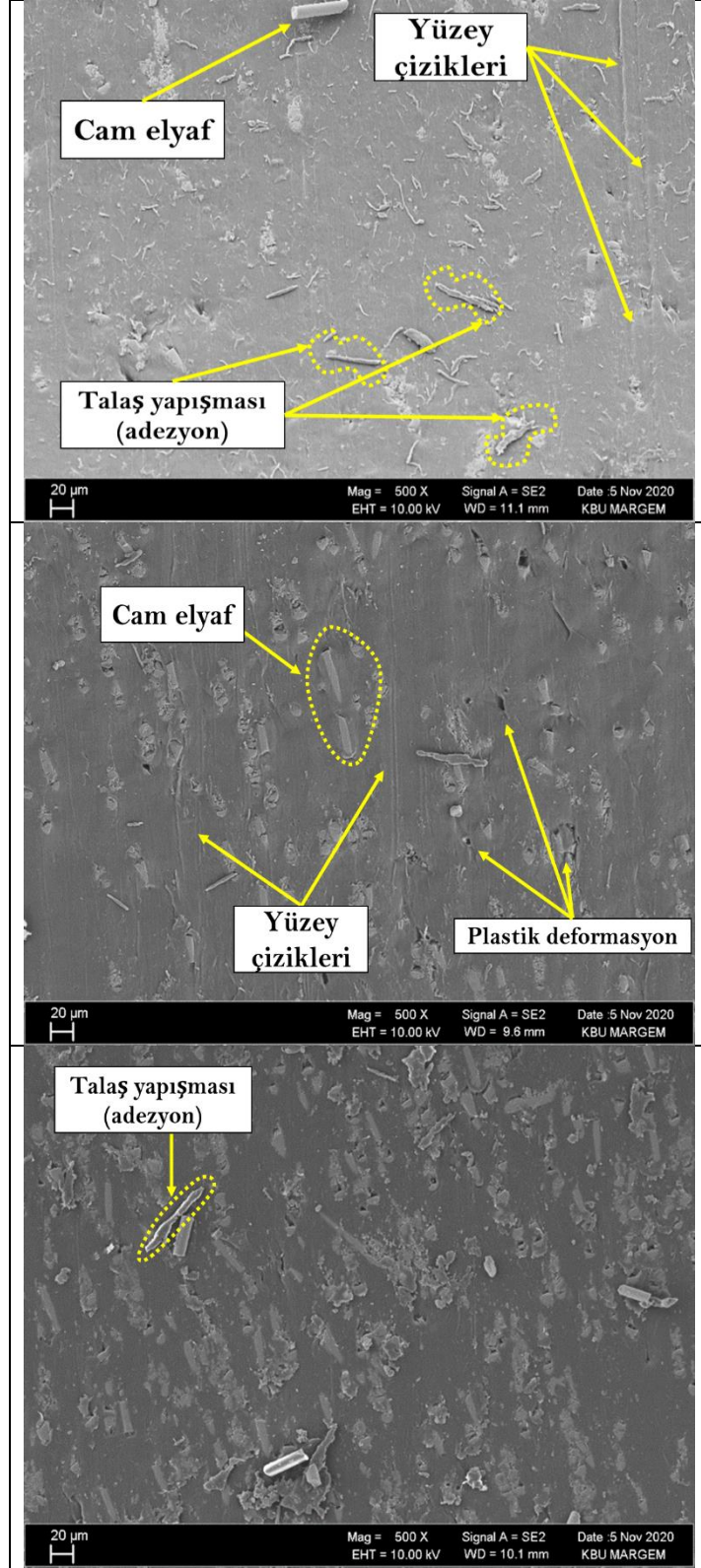
Bu sonuçlardan yola çıkarak en düşük cam fiber oranında, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarının yüzey kalitesini arttırdığını söylemek mümkündür. Kaplamalı kesici takımlar ile 120 m/dak kesme hızında 0,06 mm/dev ilerleme miktarında gerçekleştirilen deneylerde en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.



Şekil 5. 5. 40 m/dak kesme hızında Delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)- c) Kaplamasız takım ile 0,06, 0,09 ve 0,12 ilerleme miktarı, d)-f) Kaplamalı takım ile 0,06, 0,09 ve 0,12 ilerleme miktarı.



Şekil 5. 6. 0,06 mm/dev ilerleme miktarında Kaplamasız takım için Delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) 40 – 80 – 120 m/dak



Şekil 5. 7. 0,06 mm/dev ilerleme miktarında ve 120 m/dak kesme hızında Kaplamasız takım için Delik yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri; a)-c) %10, %20 ve 30% GF oranları

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, %10, %20 ve %30 gibi farklı oranlarda cam fiber (CF) takviye edilmiş poliamid 66 (PA66) malzemelerin delinebilirliği araştırılmıştır. Delme deneylerinde incelenen itme kuvveti (Fz) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) için üç farklı kesme hızı (40, 80 ve 120 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,06, 0,09 ve 0,12 mm/dev) kullanılmıştır. Kaplamasız HSS kesici takım ve TiAlN Kaplı HSS kesici takım olmak üzere iki farklı matkap kalitesi ile ilerleme miktarı ve kesme hızının farklı değerleri kullanılarak delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- CETP malzemelerin delinebilirliği itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde düşük değerler TiAlN kaplamalı kesici takım ile elde edilmiştir.
- CE takviye oranına göre itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde en düşük değerler %10 cam elyaf takviyeli malzemelerde elde edilmiştir.
- İlerleme miktarına bağlı olarak grafikler incelendiğinde, aynı kesici takım kalitesi, sabit cam elyaf oranı ve sabit kesme hızında artan ilerleme miktarlarında itme kuvvetlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan tüm deneyler sonucunda, en düşük itme kuvveti değeri, %10 CF takviyeli malzemede kaplamalı matkap ile en düşük ilerleme ve en yüksek kesme hızı parametrelerinde, 36,2 N olarak ölçülmüştür.

- İlerleme miktarının etkisi değerlendirildiğinde, tüm kesici takımlarda 40 m/dak kesme hızında ilerleme miktarının %50 oranında arttırılmasıyla itme kuvvetini ortalama %20 arttırdığı, ilerleme miktarının %100 artışıyla birlikte bu oranın %25 olduğu görülmüştür.
- Yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak tüm grafikler incelendiğinde, sabit kesme hızı ve sabit cam elyaf oranında artan ilerleme miktarlarında Ra değerlerinde artış olduğu açıkça görülmektedir. Ancak TiAlN kaplamalı kesici takımında, kaplamasız kesici takıma göre daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.
- En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri, kaplamalı matkap ile 120 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarında %10 cam elyaf katkılı poliamid ile yapılan deneyde 0,88 µm olarak ölçülmüştür.
- İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü (Ra) artarken, kesme hızının artmasıyla Ra değerleri bir miktar azalmıştır. Kaplamalı kesici takımında, Ra değerleri ortalama %20 daha düşük elde edilmiştir.
- İlerleme miktarı kaplamasız kesici takımında, 40 m/dak kesme hızında ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarında CE oranının %10 dan %20 ye çıkarılması ile ortalama %6 oranında artmıştır.
- Kaplamasız kesici takım ile delinen %30 cam elyaf katkılı poliamid 66 (PA66) malzemede elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Talaşların tahliyesi sırasında %30 cam elyaf katkılı poliamid 66 (PA66) malzemenin delik yüzeylerinde oluşturduğu yüksek fiber kopma oranı, matris parçalanması vb. hataların yüzey pürüzlülüğünü artırdığı belirlenmiştir. 7
- Cam fiber oranının artmasıyla malzemenin daha mukavim olması ve delme zorlanması sebebiyle delinmiş yüzeyde daha yüksek pürüzlülüğün meydana geldiği SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Fakat kaplamalı takımın kaplamasız takıma göre daha tok oluşu ve bu durumun delmeyi kolaylaştırması daha iyi yüzey kalitesi elde etmeyi sağlamıştır.

## 6.2. ÖNERİLER

- CETP malzemelerin delinmesinde yüzey kalitesi açısından kaplamalı kesici takımların kullanılması tercih edilmelidir.
- CETP malzemelerin delinmesinde yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarı kullanılması ancak yüksek sıcaklıklara sebep olacak kesme parametrelerinin kullanılmaması tercih edilmelidir.
- CETP malzemelerin delinmesinde sıvı soğutmaların CETP malzeme üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı hava soğutma sistemi kullanılarak etkileri araştırılabilir.
- CETP malzemelerin delinmesinde matkaplarda oluşan aşınma miktarları ölçülerek, delme parametrelerinin tahmininde kullanılacak matematiksel model geliştirilebilir.
- CETP malzemelerin delinmesinde, CETP malzemelerde oluşan hasarların temel sebeplerinden birisi olan sıcaklık ölçülerek delme parametreleri ile sıcaklık arasındaki etkileşimi öngörebilecek matematiksel model geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Taşdelen, M. A. and Yılmaz, İ. N., "Cam Elyaf Katkılı Poliamid 6 Poliftalamid Karışımlarının Hazırlanması", *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 23 (1): 285–294 (2018).
2. Kesehatan, K., "No TitleEΛENH", *Ayaq*, 8 (5): 55 (2019).
3. Umesh, G. L., Krishna Prasad, N. J., Rudresh, B. M., and Devegowda, M., "Influence of nano graphene on mechanical behavior of PA66/PA6 blend based hybrid nano composites: Effect of micro fillers", *Materials Today: Proceedings*, 20: 228–235 (2020).
4. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Rubio, J. C. C., de Oliveira Leite, W., and Davim, J. P., "Experimental studies on hole quality and machinability characteristics in drilling of unreinforced and reinforced polyamides", *Journal Of Composite Materials*, 48 (1): 21–36 (2012).
5. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Silva, L. R., Abrão, A. M., and Davim, J. P., "Machinability study in microTurning of PA66 GF30 polyamide with a PCD tool", *Materials And Manufacturing Processes*, 24 (12): 1290–1296 (2009).
6. Sami, S., Özyaman, C., and Ozes, C., "Sıcak Plaka Kaynağı ile Birleştirilmiş PA6 Ve Cam Elyaf Katkılı Türevlerinin Nem Alma Davranışının Kaynak Mukavemetine Etkisi", *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 8: 175–184 (2020).
7. Campos Rubio, J. C., Silva, L. J. da, Leite, W. de O., Panzera, T. H., Filho, S. L. M. R., and Davim, J. P., "Investigations on the drilling process of unreinforced and reinforced polyamides using Taguchi method", *Composites Part B: Engineering*, 55: 338–344 (2013).
8. Esmaeillou, B., Fereirra, P., Bellenger, V., and Tcharkhtchi, A., "Fatigue damage initiation of a PA66/glass fibers composite material", *Journal Of Applied Polymer Science*, 125 (5): 4007–4014 (2012).
9. Yetgin, S. H., Ünal, H., and Hatipoğlu, G., "Poli-Fital-Amid (PPA) Polimerinin Tribolojik Özelliklerine Karbon Fiber Ve Kayma Hızı'nın Etkisinin İncelenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 4 (1): 167–175 (2016).
10. Kilickap, E., "CETP Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi", *2. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi*, 76–84 (2010).



11. Lingesh, B. V., Rudresh, B. M., and Ravikumar, B. N., "Effect of Short Glass Fibers on Mechanical Properties of Polyamide66 and Polypropylene (PA66/PP) Thermoplastic Blend Composites", *Procedia Materials Science*, 5:1231–1240 (2014).
12. Quaglioni, V., Dubini, P., Ferroni, D., and Poggi, C., "Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications", *Materials & Design*, 30 (5): 1650–1658 (2009).
13. Karsli, M., Sert, Y., and Küçükömeroğlu, T., "Tabanca Gövdeleri İçin Polimer Kompozit Malzeme Geliştirilmesi", *Savunma Bilimleri Dergisi*, 38: (2020).
14. Xu, X., Li, B., Lu, H., Zhang, Z., and Wang, H., "The interface structure of nano-SiO<sub>2</sub> /PA66 composites and its influence on material's mechanical and thermal properties", *Applied Surface Science*, 254 (5): 1456–1462 (2007).
15. Paulo Davim, J., Silva, L. R., Festas, A., and Abrão, A. M., "Machinability study on precision turning of PA66 polyamide with and without glass fiber reinforcing", *Materials And Design*, 30 (2): 228–234 (2009).
16. Lee, C. S., Kim, H. J., Amanov, A., Choo, J. H., Kim, Y. K., and Cho, I. S., "Investigation on very high cycle fatigue of PA66-GF30 GFRP based on fiber orientation", *Composites Science And Technology*, 180 (January): 94–100 (2019).
17. Bellenger, V., Tcharkhtchi, A., and Castaing, P., "Thermal and mechanical fatigue of a PA66/glass fibers composite material", *International Journal Of Fatigue*, 28 (10 SPEC. ISS.): 1348–1352 (2006).
18. Stan, F., Munteanu, A. V., and Fetecau, C., "Analysis of visco-elastic-plastic behaviour of short glass fiber-reinforced polyamide 66 composite (PA66 GF30)", *Materiale Plastice*, 48 (1): 1–6 (2011).
19. Chebbi, E., Mars, J., Wali, M., and Dammak, F., "Fatigue behavior of short glass fiber reinforced polyamide 66: Experimental study and fatigue damage modelling", *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 60 (4): 247–255 (2016).
20. Książek, M., "The experimental investigations of propriety and applies in the building special coating - Sulfur polymer composite as the industrial waste material", *Composites Part B: Engineering*, 58: 378–385 (2014).
21. Groover, M. P., "Modern İmalatın Prensipleri", *Journal Of Chemical Information And Modeling*, 53 (9): 1689–1699 (2019).
22. Lotfi, A., Li, H., Dao, D. V., and Prusty, G., "Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability", *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, 34 (2): 238–284 (2019).

23. Dixit, S., Goel, R., Dubey, A., Shivhare, P. R., and Bhalavi, T., "Natural Fibre Reinforced Polymer Composite Materials - A Review", *Polymers From Renewable Resources*, 8 (2): 71–78 (2017).
24. O' Connor, H. J. and Dowling, D. P., "Comparison between the properties of polyamide 12 and glass bead filled polyamide 12 using the multi jet fusion printing process", *Additive Manufacturing*, 31: 100961 (2020).
25. Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L., and Linul, E., .
26. Unal, H., Mimaroglu, A., Kadioglu, U., and Ekiz, H., "Sliding friction and wear behaviour of polytetrafluoroethylene and its composites under dry conditions", *Materials & Design*, 25 (3): 239–245 (2004).
27. Silva, L. R., Davim, J. P., Festas, A., and Abrão, A. M., "Machinability aspects concerning micro-turning of PA66-GF30-reinforced polyamide", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 41 (9–10): 839–845 (2009).
28. Cheng, K., Teraguchi, M., Kaneko, T., and Aoki, T., "Improved oxygen permeation of a multi-stranded network two-dimensional polymer synthesized by three-step polymerizations of a novel monomer bearing three different polymerizable groups followed by photoexfoliation", *Polymer*, 228: 123857 (2021).
29. Aliyeva, N., Sas, H. S., and Saner Okan, B., "Recent developments on the overmolding process for the fabrication of thermoset and thermoplastic composites by the integration of nano/micron-scale reinforcements", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 149: 106525 (2021).
30. Murray, R. E., Beach, R., Barnes, D., Snowberg, D., Berry, D., Rooney, S., Jenks, M., Gage, B., Boro, T., Wallen, S., and Hughes, S., "Structural validation of a thermoplastic composite wind turbine blade with comparison to a thermoset composite blade", *Renewable Energy*, 164: 1100–1107 (2021).
31. Shah, S. Z. H., Megat-Yusoff, P. S. M., Karuppanan, S., Choudhry, R. S., Ud Din, I., Othman, A. R., Sharp, K., and Gerard, P., "Compression and buckling after impact response of resin-infused thermoplastic and thermoset 3D woven composites", *Composites Part B: Engineering*, 207: 108592 (2021).
32. Kandola, B. K., Krishnan, L., Ebdon, J. R., and Myler, P., "Structure-property relationships in structural glass fibre reinforced composites from unsaturated polyester and inherently fire retardant phenolic resin matrix blends", *Composites Part B: Engineering*, 182: 107607 (2020).
33. Zhao, R., Luo, W., Xiao, H., and Wu, G., "Water-absorptivity and mechanical behaviors of PTFE/PA6 and PTFE/PA66 blends", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 16: s498–s503 (2006).

34. Vigneshwaran, G. V., Shanmugavel, B. P., Paskaramoorthy, R., and Harish, S., "Tensile, impact, and mode-I behaviour of glass fiber-reinforced polymer composite modified by graphene nanoplatelets", *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, 20 (3): 94 (2020).
35. Franke, R., Haase, I., Lehmann, D., Hupfer, B., and Janke, A., "Manufacturing and tribological properties of sandwich materials with chemically bonded PTFE-PA 66 and PA 66/GF", *Wear*, 262 (7): 958–971 (2007).
36. Zhao, G., Hussainova, I., Antonov, M., Wang, Q., Wang, T., and Yung, D.-L., "Effect of temperature on sliding and erosive wear of fiber reinforced polyimide hybrids", *Tribology International*, 82: 525–533 (2015).
37. DeGarmo, E. P., Black, J. T., and Kohser, R. A., "Materials and Process in Manufacturing", *Prentice-Hall Inc*, New Jersey, 533–600 (2013).
38. Kilincarslan, E., Kabave Kilincarslan, S., and Cetin, M. H., "Evaluation of the clean nano-cutting fluid by considering the tribological performance and cost parameters", *Tribology International*, 157: 106916 (2021).
39. Shuang, Y., John, M., and Songlin, D., "Experimental investigation on the performance and mechanism of graphene oxide nanofluids in turning Ti-6Al-4V", *Journal Of Manufacturing Processes*, 43: 164–174 (2019).
40. Yaşar, N. and Günay, M., "Experimental investigation on novel drilling strategy of CFRP laminates using variable feed rate", *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, 41 (3): 150 (2019).
41. Jamil, M., Zhao, W., He, N., Gupta, M. K., Sarikaya, M., Khan, A. M., R, S. M., Siengchin, S., and Pimenov, D. Y., "Sustainable milling of Ti-6Al-4V: A trade-off between energy efficiency, carbon emissions and machining characteristics under MQL and cryogenic environment", *Journal Of Cleaner Production*, 281: 125374 (2021).
42. Yöntemlerİ, T. İ., "4. talaşlı imalat yöntemleri", .
43. Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Senthil Kumar, M., Zitoune, R., and Davim, J. P., "Optimization of machining parameters at high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates", *Composites Part B: Engineering*, 43 (4): 1791–1799 (2012).
44. Yaşar, N. and Günay, M., "The Influences of Varying Feed Rate on Hole Quality and Force in Drilling CFRP Composite", *Gazi University Journal Of Science*, 30 (3): 39–50 (2017).
45. Aşındırıcılı ve Geleneksel Olmayan Talaşlı İşleme.
46. Delme, D. E. L. İ. K., "Ş ekil 7.7.1. İş lem say 1 s 1 na göre delme iş leminin di

ğ er tala ş kald ı rma i ş lemleriyle kar ş ı la ş t ı r ı lmas ı . Tala ş Kald ı rma Süresi", 1–24 .

47. Robert-Perron, E., Blais, C., Pelletier, S., Thomas, Y., Kulkarni, H., Dabhade, V. V., Robert-Perron, E., Blais, C., Pelletier, S., Thomas, Y., Wang, X., Yang, L., Qiao, Y., Guo, P., Wang, S., Hayajneh, M. T., Hassan, A. M., Mayyas, A. T., Czampa, M., Markos, S., Szalay, T., Robert-Perron, E., Blais, C., Thomas, Y., Pelletier, S., Dionne, M., and Thomas, Y., "Machinability of Green Powder Metallurgy Components: Part I. Characterization of the Influence of Tool Wear", *Procedia CIRP*, 38 (6): 1330–1336 (2007).
48. Feito, N., Álvarez, J. D., Cantero, J. L., and Miguélez, M. H., "Influence of Special Tool Geometry in Drilling Woven CFRPs Materials", *Procedia Engineering*, 132: 632–638 (2015).
49. Correa, H. L., Rodrigues, R. V., and da Costa, D. D., "Machining process of glass-fiber-reinforced polyamide 6.6 Composite: Pathways to improve the drilling of recycled polymers", *Engineering Research Express*, 2 (1): (2020).
50. Erturk, A. T., Vatansever, F., Yazar, E., and Karabay, S., "Machining behavior of multiple layer polymer composite bearing with using different drill bits", *Composites Part B: Engineering*, 176: 107318 (2019).
51. Cheung, F. Y., Zhou, Z. F., Geddam, A., and Li, K. Y., "Cutting edge preparation using magnetic polishing and its influence on the performance of high-speed steel drills", *Journal Of Materials Processing Technology*, 208 (1): 196–204 (2008).
52. Abas, M., Sayd, L., Akhtar, R., Khalid, Q. S., Khan, A. M., and Pruncu, C. I., "Optimization of machining parameters of aluminum alloy 6026-T9 under MQL-assisted turning process", *Journal Of Materials Research And Technology*, 9 (5): 10916–10940 (2020).
53. Yaşar, N., "Thrust force modelling and surface roughness optimization in drilling of AA-7075: FEM and GRA", *Journal Of Mechanical Science And Technology*, 33 (10): 4771–4781 (2019).
54. Meral, G., Sarıkaya, M., Mia, M., Dilipak, H., Şeker, U., and Gupta, M. K., "Multi-objective optimization of surface roughness, thrust force, and torque produced by novel drill geometries using Taguchi-based GRA", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 101 (5–8): 1595–1610 (2019).
55. Prakash, S., "Experimental investigation of surface defects in low-power CO2 laser engraving of glass fiber-reinforced polymer composite", *Polymer Composites*, 40 (12): 4704–4715 (2019).

## ÖZGEÇMİŞ

Muzaffer DEMİRHAN, ilk ve orta öğrenimini Zonguldak'ta tamamladı. 2011 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliğinden 2016 yılında mezun oldu. 2018 yılından beri Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Lisansüstü Öğrenimine devam etmektedir.