



**AA7075 MATRİSLİ AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE GRAFİT TAKVİYELİ  
HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE  
DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Aysel Eda ŞENGÜL**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BOY**

**AA7075 MATRİSLİ AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE GRAFİT TAKVİYELİ HİBRİT  
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE DELİNEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Aysel Eda ŞENGÜL**

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

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BOY**

**KARABÜK  
Nisan 2022**

Aysel Eda ŞENGÜL tarafından hazırlanan “AA7075 MATRİSLİ AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE GRAFİT TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BOY

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliđi ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof.Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç.Dr. Ahmet MAVİ (GÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BOY (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.”*

Aysel Eda ŞENGÜL

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AA7075 MATRİSLİ AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> VE GRAFİT TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE DELİNEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Aysel Eda Şengül**

**Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BOY**

**Nisan 2022, 76 sayfa**

Bu çalışmada, toz metalurjisi ile üretilmiş üç farklı katkı oranına sahip (AA7075+%5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2grafit, AA7075+%10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 grafit, AA7075+%15Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 grafit) hibrit kompozit malzemenin kaplamasız karbür matkaplarla delinmesinde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İşleme deneyleri için çap 40x10 mm ebatlarında hibrit kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen hibrit kompozit numunelere sinterleme işleminden sonra mikroyapı analizi, yoğunluk ölçümü ve sertlik testleri uygulanmıştır. Delme işlemi için üç farklı kesme hızı, ilerleme miktarı ve 5 mm çapında kaplamasız karbür matkap seçilerek deneyler yapılmıştır. Delinen deliklerin yüzey pürüzlülükleri ve delme işleminden sonra deliklerde oluşan delaminasyon miktarı takım mikroskobu ile incelenmiş ve oluşan hasarlar bilgisayar ortamında ölçülmüştür. Deliklerin yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarının artmasıyla artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün takviye oranı arttıkça arttığı görülmüştür. İlerleme ve devir sayısının artması delik çıkışında delaminasyon miktarını arttırmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Hibrit kompozit, Delik delme, Yüzey pürüzlülüğü,  
Delaminasyon

**Bilim Kodu** : 916.3.028

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **MANUFACTURED AND INVESTIGATION OF DRILLABILITY OF AA7075 MATRIX AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AND GRAPHITE REINFORCED HYBRID COMPOSITES**

**Aysel Eda ŞENGÜL**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Mehmet BOY**

**April 2022, 76 pages**

In this study, the effects of drilling parameters on surface roughness and delamination factor in drilling hybrid composite material with three different reinforcement ratios (AA7075+5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+2% graphite, AA7075+10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+2% graphite, AA7075+15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+2% graphite) produced by powder metallurgy with uncoated drills were investigated. For the machining experiments, hybrid composite material with a diameter of 40x10 mm was produced. After sintering, microstructure analysis, density measurement and hardness tests were applied to the produced hybrid composite samples. Experiments were carried out by choosing three different cutting speeds, feed rates and uncoated carbide drills with a diameter of 5 mm for drilling. The surface roughness of the drilled holes and the amount of delamination in the holes after drilling were examined with a tool microscope and the resulting damages were measured in the computer environment. The surface roughness of the holes increased with increasing feed rate. It was observed that the surface roughness increased as the reinforcement ratio increased. The increase in feed rate and spindle speed increased the amount of delamination at the hole exit.

**Key Word** : Hybrid composite, Drilling, Surface roughness, Delamination

**Science Code** : 916.3.028



## TEŞEKKÜR

Bu tez alışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarda katkı sağlayan ve değerlendirmeleriyle destek olan Karabük Üniversitesi TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ulař MATİK'e teşekkür ederim.

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

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
KOMPOZİT MALZEMELER.....	5
2.1. MATRİS MALZEMESİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER .....	7
2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler .....	7
2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler .....	8
2.1.3. Polimer Matrisli Kompozitler.....	9
2.2. TAKVİYE ELEMANINA GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER.....	9
2.2.1. Parçacık Takviyeli Kompozitler .....	9
2.2.2. Fiber Takviyeli Kompozitler .....	10
2.2.3. Tabakalı Kompozitler .....	10
2.2.4. Hibrit Kompozitler.....	10
2.2.4.1. Alüminyum Metal Matrisli Hibrit Kompozit.....	11
BÖLÜM 3 .....	13
KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	13
3.1. TOZ METALÜRJİSİ .....	15
3.1.1. Toz Metalürjisi ile Üretim Aşamaları.....	15
3.1.2. Toz Metalürjisinin Avantajları ve Kısıtlamaları.....	17
BÖLÜM 4 .....	14
DELİK DELME VE MATKAPLAR.....	14
4.1. DELİK DELME İŞLEMLERİ .....	14

4.1.1. Delme İşleminin Önemi.....	20
4.1.2. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler.....	20
4.1.3. Delik Delmede Talaş Oluşumu.....	22
4.1.4. Delik Kalitesinin Özellikleri.....	24
4.1.5. Yüzey Pürüzlülüğü .....	25
4.1.5.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri .....	27
4.1.5.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri.....	27
4.1.6. Delaminasyon .....	28
4.1.6.1. Delaminasyon Faktörünün Hesaplanması.....	29
4.2. MATKAPLAR .....	30
4.2.1. Matkap Malzemeleri .....	32
4.3. MATKAP GEOMETRİSİNİN TALAŞ KALDIRMAYA ETKİSİ.....	33
4.3.1. Matkap Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi .....	33
4.3.2. Boşluk Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi.....	34
4.3.3. Helis Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi .....	34
4.3.4. Uç Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi .....	35
BÖLÜM 5 .....	36
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	36
5.1. HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	36
5.2 LİTERATÜR ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	43
BÖLÜM 6 .....	44
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	44
6.1. HİBRİT KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ.....	44
6.1.1. Tozların Karıştırılması.....	44
6.1.2. Soğuk Presleme İşlemi .....	45
6.1.3. Sinterleme işlemi .....	45
6.2. YOĞUNLUK TESTLERİ.....	47
6.3. SERTLİK TESTLERİ .....	47
6.4. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ.....	48
6.5. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ.....	48

6.6. TAKIM TEZGAHI VE DENEY DÜZENEĞİ .....	48
6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ.....	49
BÖLÜM 7 .....	50
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	50
7.1. KULLANILAN TOZLARIN KARAKTERİZASYONU VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ.....	50
7.2. AA7075 MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN ELEMENTEL ANALİZLERİ.....	52
7.3. YOĞUNLUK TEST SONUÇLARI.....	54
7.4. SERTLİK TEST SONUÇLARI.....	54
7.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	55
7.6. DELİK ÇIKIŞ HASARI (DELAMİNASYON) DEĞERLENDİRİLMESİ ..	62
BÖLÜM 8 .....	66
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	66
KAYNAKLAR .....	68
ÖZGEÇMİŞ .....	76

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması. ....	6
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları .....	7
Şekil 3.1. Toz metalürjisi işleminde üretim basamakları.....	15
Şekil 3.2. Sinterleme teorisi .....	17
Şekil 4.1. Delik delme işlemleri a)doluya delik delme b) delik genişletme c) kademeli delik delme (Fatura açma) d) Raybalama .....	14
Şekil 4.2. Kesme derinliği.....	22
Şekil 4.3. Talaş kesit alanı. ....	22
Şekil 4.4. Talaş oluşumuna etki eden faktörler .....	23
Şekil 4.5. Kesici kenarın talaş kaldırması .....	24
Şekil 4.6. Delik kalitesinin özellikleri.....	25
Şekil 4.7. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler .....	26
Şekil 4.8. Delaminasyon çeşitleri.....	29
Şekil 4.9. Matkap uç açısı ve boşluk açısı .....	31
Şekil 4.10. Matkabın öz kalınlığı. ....	33
Şekil 4.11. Matkabın boşluk açısı. ....	34
Şekil 4.12. Matkabın helis açısı. ....	34
Şekil 4.13. Matkabın uç açısı. ....	35
Şekil 6.1. Numune üretiminde kullanılan kalıp ve üretilen numune. ....	45
Şekil 6.2. Sinterlemede kullanılan ısıtma işlem fırını.....	46
Şekil 6.3. Yaşlandırmada kullanılan ısıtma işlem fırını.....	46
Şekil 6.4. T6 ısıtma işlem basamakları. ....	46
Şekil 6.5 Hassas terazi ve yoğunluk kiti. ....	47
Şekil 6.6. Mikro sertlik cihazı.....	47
Şekil 6.7. Deney düzeneği.....	49
Şekil 6.8. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı. ....	49
Şekil 7.1. AA7075, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve grafit tozlarının SEM görüntüleri. ....	50
Şekil 7.2. %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve %2 grafit takviyeli kompozitin mikroyapısı. ....	51
Şekil 7.3. %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve %2 grafit takviyeli kompozitin mikroyapısı. ....	51
Şekil 7.4. %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve %2 grafit takviyeli kompozitin mikroyapısı. ....	52

Şekil 7.5. AA7075 + %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %2 hibrit kompozit malzemenin EDX analizi.....	53
Şekil 7.6. AA7075 + %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %2 hibrit kompozit malzemenin EDX analizi....	53
Şekil 7.7. AA7075 + %15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + %2 hibrit kompozit malzemenin EDX analizi... 53	
Şekil 7.8. Hibrit kompozitlerin teorik ve deneysel yoğunluk değişimi. ....	54
Şekil 7.9. Üretilen hibrit kompozitlerin sertlik değerleri. ....	55
Şekil 7.10. AA7075+%5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri.....	56
Şekil 7.11. AA7075+%10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri.....	57
Şekil 7.12. AA7075+%15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri.....	59
Şekil 7.13. Hibrit numunelerin delinmesinde kullanılan matkapların görüntüleri a) %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr b) % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr c) % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr.....	61
Şekil 7.14. Hibrit numunelerin delinmesinde kullanılan matkapların görüntüleri a) %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr b) % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr c) % 15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr.....	62
Şekil 7.15. Delikteki delaminasyon hasarının gösterimi.....	62
Şekil 7.16. AA7075+%5Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr hibrit kompoziti delmede oluşan delaminasyon faktörü.....	63
Şekil 7.17. AA7075+%10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr hibrit kompoziti delmede oluşan delaminasyon faktörü.....	64
Şekil 7.18. AA7075+%15 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +%2 Gr hibrit kompoziti delmede oluşan delaminasyon faktörü.....	65

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 6.1. Kullanılan tozların kimyasal kompozisyonu. ....	44
Çizelge 6.2. Kullanılan tozların takviye oranları. ....	44
Çizelge 6.3. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri ve işleme parametreleri. ....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Al	: alüminyum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: alüminyum oksit
SiC	: silisyum karbür
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	: silisyum nitrür
B <sub>4</sub> C	: bor karbür
ZrO <sub>2</sub>	: zirkonya
Zn	: çinko
Mg	: magnezyum
Ti	: titanyum
Cu	: bakır
AlN	: alüminyum nitrür
TiN	: titanyum nitrür
TiB <sub>2</sub>	: titanyum diborür
V	: kesme hızı
F	: ilerleme miktarı
Mo	: molibden
Ni	: nikel
Fd	: delaminasyon miktarı



## **KISALTMALAR**

- MMK** : Metal Matrisli Kompozit  
**PMK** : Polimer Matrisli Kompozit  
**SMK** : Seramik Matrisli Kompozit  
**ÇKE** : Çok Kristalli Elmas  
**KNF** : Karbon Nanofiber  
**HV** : Vickers Sertlik Değeri  
**TM** : Toz Metalürjisi  
**BUE** : Yığıntı Talaş (Built Up Edge)  
**DIN** : Alman Standartlar Enstitüsü  
**SEM** : Taramalı Elektron Mikroskobu  
**EDS** : Enerji Dağılım Spektrometresi  
**XRD** : X-ışınları Kırınımı (X-Ray Diffraction)  
**CNC** : Bilgisayarlı Sayısal Denetim  
**HSS** : Yüksek Hız Çelięi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde geleneksel olarak üretilen ve yaygın olarak kullanılan metalik malzemelerden ele edilen ürünler istenilen beklentileri ve performansları karşılamamaktadır. Teknolojik ve endüstriyel gelişmeler alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanlarını arttırmış ve sahip olduğu özelliklerden dolayı en sık kullanılan malzemelerden biri olmuştur. Alüminyum ve alaşımları hafiflik, iyi mukavemet direnci, elektriksel ve ısıl iletkenliği ve korozyon direnci gibi özelliklere sahip olduğundan savunma sanayi, otomotiv, uçak, sağlık alanlarında çoğunlukla tercih edilmektedir. Ancak alüminyum alaşımlarının temel sorunu, zayıf aşınma dirençleri ve yüksek sıcaklıklara karşı zayıf dayanıklılıklarıdır. Yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri ve bilimsel çalışmalar teknolojik malzemelerden biri olan kompozit malzemelerinde gelişmesine katkı sağlamaktadır. Birçok endüstriyel alanda kullanılan ve geliştirilen kompozit malzemelerde de alüminyum ve alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle son yıllarda yüksek mukavemet ve düşük ağırlık açısından malzemelerden daha yüksek beklentiler oluşmuş ve geleneksel metal malzemeler bu beklentileri karşılamakta zorlanmaktadır. Bu nedenle, yüksek mukavemetli, hafif ve antiseptik yeni bir kompozit materyallerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur [1]. Kompozit malzemeler, farklı fiziksel formlarda veya kimyasal bileşimlerde iki veya ikiden fazla malzemedен oluşan bir mühendislik malzemesidir. Çeşitli bileşen malzemeleri performans açısından birbirini tamamlayabilir ve sinerjik bir etki yaratabilir, böylece çeşitli gereksinimleri karşılamak için kompozit malzemelerin kapsamlı performansı hammaddelerinkinden daha iyidir [2]. Genel olarak kompozit malzemelerin bileşimi matris ve takviye elemanı olarak iki kısımdan oluşur. Matrisler olarak yaygın olarak metalik, polimer ve seramik malzemeler kullanılırken, takviye olarak yaygın olarak

lif şeklindeki parçacıklar veya kristal filamanlar kullanılmaktadır. Her matris kategorisinde çeşitli kimyasal bileşimler ve mikroyapısal düzenlemeler mümkündür. Genel olarak, lifler başlıca yük taşıyan elemanlardır, çevreleyen matris ise onları istenen konum ve oryantasyonda tutar [3].

Kompozitler, hiçbir malzemede tek başına bulunmayan farklı mekanik ve kimyasal niteliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin (fazların) bir araya gelmesiyle oluşturulan yeni bir malzemedir. Ana faz yüklerin dağılımını sağlayan, kompozitin oluşumunu koruyan ve kompozit yapının son dış kabuğunu sağlayan matristir. Diğer faz ise kompozit takviye elemanlarının kompozite yönelik daha iyi mekanik özellikler sunması ve matrisi istenilen yönde geliştirmesidir. Kompozit malzemeler, kompozit üretiminde kullanılan ana matris malzemesine göre seramik, polimer ve metal matrisli kompozit malzeme olarak tasnif edilmektedir.

Kompozit malzemeler arasında, metal matrisli olanlar (MMC'ler), üstün mekanik ve termal özelliklerinin sonucu olarak en işlevsel ve çeşitli işlerde kullanılan malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler, matris malzemesi polimer olan kompozit çeşididir. Bu kompozitler; kolay üretim, düşük yoğunluk, yüksek mekanik özelliklere sahip olması, ekonomik olması ve izolatör özellikleri sebebiyle endüstriyel alanda çoğunlukla tercih edilmektedir. Seramik matrisli kompozitler, matris malzemesi seramik bir malzemedir ( $Al_2O_3$ , SiC,  $Si_3N_4$ ,  $B_4C$ ) oluşan kompozit malzeme grubudur. Metal matrisli kompozitler (MMK) ise, parçacık halindeki malzemelerin belli oranlarda karışması sonucu üretilmektedir. MMK malzemelerde takviye elemanı olarak; alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), silisyum karbür (SiC), zirkonya ( $ZrO_2$ ), silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ), gibi nitrür, karbür ve oksit formundaki seramikler kullanılabilir. Çinko (Zn), magnezyum (Mg), titanyum (Ti), alüminyum (Al) ve bakır (Cu) gibi metaller ve alaşımları MMK üretiminde, matris malzeme olarak kullanılmaktadır [4]. Farklı özelliklere sahip birçok takviye elemanının matrise eklenmesi ile karma (hibrit) kompozitler elde edilmektedir.

Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri sürekli gelişmekte olup toz metalürjisi (TM) yöntemi kullanılan yöntemlerden biridir. Parçacıkların homojen dağılımı TM yönteminin seçilmesinde önemli etmenlerden biridir. TM yöntemi ile metal tozları

belirli oranlarda karıştırılarak yüksek sıcaklık veya normal koşullarda üretilecek parçanın boyut ve şekline uygun bir kalıpta preslenmesiyle elde edilmektedir. Presleme işleminden sonra sinterleme yapılır [5].

Kompozit malzemeler genellikle istenilen şekle yakın üretilse de üretilen parçaların istenen şekil ve boyutlara getirilmesi için çeşitli imalat yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Kompozitlerin mekanik özellikleri ve kullanılan takviye elemanları kompozit malzemelerini işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır [6].

Kompozit malzemelerin işlenmesinde en çok uygulanan talaşlı imalat yöntemi delik delme işlemidir. İşleme sürecinde, kompozit malzemelerin homojen olmayan ve anizotropik davranır, ancak çeşitli takviye elemanları, matris malzemesi özellikleri ve hacim sürtünmesi de bunu etkiler. Kompozit malzemelerdeki tok ve aşındırıcı takviyeler, kullanılan kesici takımlarla hemen hemen aynı sertliğe sahiptir. Kesme işlemi sırasında bu sert takviyeler kesme kenarı boyunca taşlama etkisi yaparak ve kenar aşınmasını ciddi şekilde artırır. Kompozit malzemelerin işlenmesi sırasında talaş oluşumunun karmaşıklığı, kesme işleminin karmaşıklığını daha da artırır.

Hibrit kompozitler, matris alaşımının farklı özelliklere sahip birden fazla tipte takviye ile güçlendirilmesiyle elde edilir. Bu kompozitlerin artan mühendislik uygulamaları göz önüne alındığında, işleme özelliklerinin ayrıntılı ve sistematik bir çalışmasına ihtiyaç olduğu öngörülmüştür. Bu malzemelerin verimli ve ekonomik olarak işlenmesi, istenen boyutların ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için gereklidir. Hibrit metal matrisli kompozitler, malzeme bilimindeki son gelişmelerde çok önemli olan ve birçok malzemenin yerini alan birçok mühendislik alanında çeşitli uygulamalar bulmaktadır. Özellikle otomotiv, uçak ve lokomotif endüstrilerinin mekanik bileşenlerde kullanılan çelik ve dökme demirin alüminyum matris kompozitler gibi daha hafif yüksek mukavemetli alaşımlarla değiştirmesi gerekmektedir. Bu eğilimin bir sonucu olarak, metal matrisli kompozitlerin işlenmesi, fabrikasyonun son aşamasında çok önemli hale gelmekte ve bu da daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir [7].

Bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilen (AA7075) alüminyum matrisli seramik ( $Al_2O_3$ ) ve grafit takviyeli hibrit kompozit malzemenin işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Değişik takviye oranları kullanılarak takviyenin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Üç farklı devir sayısı (1000, 2000, 3000 dev/dk) ve üç farklı ilerleme miktarıyla (0,1,0,15-0,2 mm/dev) delik delme işlemi yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve delik kalitesi gibi temel işlenebilirlik parametreleri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan hibrit kompozit malzeme için en uygun takviye miktarı ve kesme parametreleri belirlenmiştir.

## BÖLÜM 2

### KOMPOZİT MALZEMELER

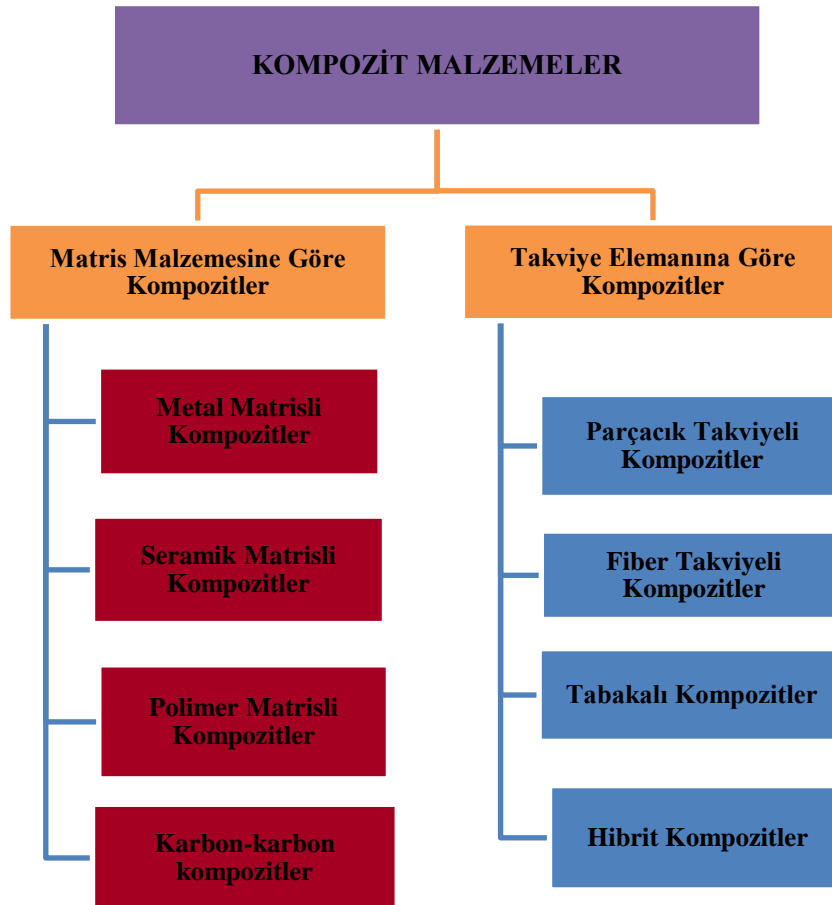
Kompozit malzemelerin gelişimi ile ilgili tasarım ve üretim teknolojileri, malzeme tarihindeki en önemli ilerlemelerden biridir. Kompozitler, belirli bir uygulamanın gereksinimlerini karşılamak üzere uyarlanabilen, benzeri görülmemiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahip çok işlevli malzemelerdir. Birçok kompozit ayrıca aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklığa maruz kalmaya karşı büyük direnç gösterir. Bu benzersiz özellikler, makine mühendisine geleneksel monolitik (takviyesiz) malzemelerle mümkün olmayan tasarım fırsatları sağlar. Ayrıca, kompozitler birçok imalat prosesinde parçaların konsolidasyonuna izin vererek imalat maliyetlerini azaltan büyük karmaşık yapıların imalatına imkan sağlar.

Kompozitler, sadece havacılık endüstrisinde değil, aynı zamanda içten yanmalı motorlar gibi çok sayıda ve artan sayıda ticari makine mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan önemli malzemelerdir. Bu malzemeler, makine bileşenleri, elektronik paketleme; frenler, tahrik milleri, volanlar, tanklar ve basınçlı kaplar gibi otomobil, tren ve uçak yapıları ve mekanik bileşenlerinde boyutsal olarak kararlı bileşenler; yüksek sıcaklıkta korozyona, oksidasyona ve aşınmaya karşı direnç gerektiren proses endüstrisi ekipmanlarında açık deniz ve karada petrol arama ve üretiminde deniz yapıları, spor ve eğlence ekipmanları; gemiler ve tekneler; ve biyomedikal cihazlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Tipik bir kompozit malzeme, makroskopik ölçekte iki veya daha fazla malzemedan (karışık ve birleştirilmiş) oluşan bir malzeme sistemidir. Bileşim mikroskobik bir ölçekte (moleküler düzeyde) meydana gelirse, yeni malzemeye metaller için bir alaşım veya plastikler için bir polimer denir. Genel olarak, bir kompozit malzeme, bir matris (polimerler, metaller veya seramikler) içine gömülmüş takviyeden (lifler,

parçacıklar, pullar ve/veya dolgular) oluşur. Matris, takviyeyi istenen şekli oluşturacak şekilde tutarken, takviye, matrisin genel mekanik özelliklerini iyileştirir. Uygun şekilde tasarlandığında, yeni birleştirilmiş malzeme, her bir malzemeye göre daha iyi mukavemet sergiler.

Kompozitler genellikle matris için kullanılan malzeme tipine göre sınıflandırılır. Dört ana kompozit kategorisi, polimer matrisli kompozitler (PMK'ler), metal matrisli kompozitler (MMK'ler), seramik matrisli kompozitler (SMK'ler) ve karbon matrisli kompozitlerdir (KAMK'ler). Karbon-karbon kompozitleri (KKK'ler), KAMK'lerin en önemli alt sınıfıdır. Şu anda, PMK'ler açık ara en yaygın kullanılan kompozit türüdür (Şekil 2.1) [8,9]. Kompozit malzemelerin matris yapılarına göre avantajları ve dezavantajları Şekil 2.2 gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.

## 2.1. MATRİS MALZEMESİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları [10].

### 2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler

Alüminyum, bakır, magnezyum, çinko, titanyum, süper alaşım gibi metallerin matris malzemesi olarak tercih edildiği bu kompozit malzemeler düşük yoğunlukları, yüksek mekanik ve elastisite özellikleri, aşınma ve korozyon dirençleri gibi önemli nitelikleri nedeniyle endüstriyel alanda sıklıkla kullanılmırlardır [11]. Metal matrisli kompozitler için sıklıkla seramik bazlı takviye elemanları kullanılır. En çok tercih edilenler; alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), silisyum karbür ( $SiC$ ), alüminyum nitrür ( $AlN$ ), silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ), titanyum nitrür ( $TiN$ ), bor karbür ( $B_4C$ ), titanyum diborür ( $TiB_2$ ), wolfram ( $W$ ), bor ( $B$ ), grafit ve molibden ( $Mo$ )'dir. Matris malzemesi olarak özellikle çevresel etkilere karşı dirençli, hafif ve kullanışlı mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı alüminyum matris tercih edilmektedir [12].



Metal matrisli kompozitler (MMC'ler), yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, sertlik, yüksek modül ve düşük genleşme katsayısı gibi temel özelliklerinden dolayı günümüzde havacılık, savunma ve otomobil endüstrilerinde bir dizi uygulama için kullanılmaktadır.

#### **2.1.1.1. Alüminyum Metal Matrisli Kompozit**

Genellikle hafif metaller MMK malzemeler için matris malzemesi olarak tercih edilir. Bu hafif metallerin başında Al ve alaşımları da gelmektedir. Al ve alaşımlarının düşük yoğunluğu, şekillendirilebilirliği ve takviye malzemeler ile uyumunun beklenenden iyi yönde olması sebebiyle en yaygın kullanılan matris malzemesidir. Özellikle havacılık alanında düşük yoğunluğu, üstün dayanımı, tokluk ve korozyon dirençleri ile önemli uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Endüstride en çok tercih edilen matris malzemesi Al matrisidir. Al'un doğada çok fazla bulunması, oldukça hafif ve yüksek spesifik mukavemet özelliklerine sahip olması sebebiyle matris malzemesi olarak çoğunlukla tercih edilir. Çözelti sertleşebilirlikleri ve yaşlandırılabilir olması sebebiyle mukavemet arttırmaya yönelik çalışmalarda tercih edilir. Isıl ve elektriksel özelliklerinin de yüksek olması sebebiyle matris seçiminde öncelikli olarak tercih edilmektedir [13,14].

#### **2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler**

Seramik matris kompozitler yüksek sıcaklıklara dayanım istenilen ürünlerde kullanılmaktadır. Sertlik ve kırılma özellikleri taşırlar. Düşük tokluk ve kopma uzaması özelliklerine kıyasla elastik modülü yüksektir ve yüksek çalışma sıcaklığında kullanılabilirler. Ani kırılma dayanımı ise seramik fiber takviyeler kullanımı ile artış göstermiştir. Matris malzemesi seçiminde  $Al_2O_3$ , SiC,  $B_4C$  tercih edilirken takviye olarak  $Al_2O_3$ , SiC gibi seramik elemanlar kullanılır [15].

### **2.1.3. Polimer Matrisli Kompozitler**

Polimer matrisler genellikle nispeten zayıf, düşük sertlikte, viskoelastik malzemelerdir. PMK'lerin gücü ve sertliği öncelikle takviye edici liflerden gelir. Matris malzemeleri, termosetler ve termoplastikler olarak kullanılan iki ana polimer sınıfı vardır. Şu anda, termosetler istikrarlı kazançlar elde etmelerine rağmen, termosetler yapısal uygulamalar için açık ara en yaygın kullanılan matris reçineleridir. Termosetler, solventlere ve aşındırıcı ortamlara karşı termoplastiklerden daha dirençli olma eğilimindedir, ancak bu kuralın istisnaları vardır.

Matris seçiminde en önemli konulardan biri maksimum servis sıcaklığıdır. Polimerlerin elastik ve mukavemet özellikleri artan sıcaklıkla azalır. Polimerlerin karşılaştırmalı sıcaklık direncinin yaygın olarak kullanılan bir ölçüsü, bir polimerin nispeten sert bir malzemeden kauçuksu bir malzemeye geçiş yaptığı sıcaklığın yaklaşık ölçüsü olan cam geçiş sıcaklığı Tg'dir. Polimerler tipik olarak cam geçiş sıcaklıklarının üzerinde hem mukavemet hem de sertlik açısından önemli kayıplara maruz kalırlar. Artan sıcaklık kapasitesine sahip yeni polimerler, daha geniş bir metal yelpazesi ile rekabet etmelerine izin vererek sürekli olarak geliştirilmektedir. Örneğin, karbon fiber takviyeli polyamidler, bazı uçak gaz türbini motor parçalarında titanyumun yerini almıştır [9].

## **2.2. TAKVİYE ELEMENİNE GÖRE KOMPOZİT MALZEMELER**

### **2.2.1. Parçacık Takviyeli Kompozitler**

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler, matrisin içerisine küçük partiküllerin eklenmesiyle elde edilmektedir. Parçacıklar daha mukavemetli matris bir yapı oluşturmaktadır. Malzemenin mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. Parçacık takviye elemanlarının şekilleri küresel, kübik, tek tip veya farklı tiplerde olabilmektedir ve bu parçacıklar matris içinde rastgele dağılmış halde veya yönlendirilmiş olarak yerleşebilirler. Matris içinde yönlendirilmiş olarak yer alan

parçacık takviyeler belirlenen yöndeki zorlamalara karşı mukavemet sağlayabilmektedir [16,17].

### **2.2.2. Fiber Takviyeli Kompozitler**

Sünek özelliği olan bir matris malzemesi ve elastiklik modülü ve dayanımı yüksek olan fiber takviyeleri bir araya getirerek fiber takviyeli kompozit malzemeler üretilir. Bu kompozitler yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Matris fazı, kompozit malzemeye uygulanan yükü fiberlere aktarır. Bu sayede üstün dayanım gösteren fiber takviyesi yükü yüksek ölçüde taşıyabilmektedir. Fiber takviyeler tek yönlü veya yönlendirilmiş olarak matris içinde yerleştirilebilirler. Bu uygulanacak yükün yönüne bağlıdır. Yönlendirilmiş fiberlerin haricinde örgü şeklinde fiberler de vardır. Fiber takviyeli kompozitlerin yüksek dayanım, rijitlik ve hafiflik gibi özellikler sergilemesi uzay ve havacılık sanayisinde tercih edilme sebeplerindedir [18].

### **2.2.3.Tabakalı Kompozitler**

Bu tip kompozit malzemeler, farklı yapı ve özelliklere sahip birden fazla malzemenin reçine yardımı ile birleştirilip farklı tür ve formlarda birden fazla katmana sahip olan kompozitlerdir. Tabakalı kompozitler “Lamine Kompozitler” olarak da ifade edilmektedir. Bu kompozitlerden aranan en önemli özellik mukavemettir. Mukavemetin oluşması için en az iki veya daha fazla tabakanın birleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu tabakaların malzemeleri farklı olmakla birlikte aynı tip malzeme ile de oluşturulabilir Tabaka takviyesi olarak genellikle metaller, polimer esaslı bileşikler ve lamine camlar tercih edilmektedir [19].

### **2.2.4.Hibrit Kompozitler**

Hibrit kompozitler temel matrisin farklı özelliklere sahip birden fazla takviye ile güçlendirilmesiyle oluşturulmuştur. İki veya daha fazla takviye partikülünün karışımına sahip olan bu kompozitler, kompozitin mekanik özelliklerini geliştirebilir [28]. Hibrit kompozitler, sadece bir takviye ile üretilen kompozit malzemelere göre yüksek mekanik özellikler içerir. Hibrit ürün uygulamaları genellikle kompozitler,

polimerler veya metal malzemeleri bir başlık altında ele almaktadır. Bu uygulama sayesinde malzeme çeşitlerinin üstün özellikleri tek bir malzemede birleştirilebilmektedir. Metal alaşımlı malzemeler sayesinde yüksek sıcaklıkta dahi malzemelerin rijitliği ve yapısal dayanımı korunmakta, fiber takviyeli kompozitler ise işlevsellikle katmakta ve malzeme birleşimine aşınma ve özgül dayanımı sağlamaktadır [20,21].

#### **2.2.4.1. Alüminyum Metal Matrisli Hibrit Kompozit**

Alüminyum matrisli hibrit kompozitler, ilgili endüstriyel alanlarda son talepleri karşılama potansiyeline sahip gelişmiş mühendislik işlemlerinde en sık tercih edilen metal matrisli kompozitlerdir. Geleneksel işleme tekniği ile olan uyumu ve üretim maliyetlerine olan pozitif etkisi ile bu talepleri karşılamada rol oynayan hibrit kompozitler geliştirilen çeşitli mekanik özellikler ile ön plana çıkmaktadır. Alüminyum matrisli hibrit kompozit malzemelerin tercih edilmesinden en önemli rol takviye malzemelerin kombinasyonunun doğru yapılmasına bağlıdır [22].

Hibrit kompozit malzemeler; iki veya ikiden fazla takviye elemanının bileşimi ile oluşturulmaktadır. Tüm takviye elemanlarının en iyi özelliklerini tek bir yapıda bir araya getirmek hedeflenir. İki ya da daha fazla takviye elemanı kullanılan malzemeler tek takviye elemanı kullanılan malzemelerden daha üstün özellikler göstermiştir [23]. Birden fazla takviye elemanı kullanılan Al matrisli hibrit kompozit malzemeler; dayanımı, aşınma performansı, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek spesifik modül gibi niteliklerinden dolayı büyük ilgi görmüştür [24].

Takviye elemanının doğru seçimi onun özelliklerinin tanınması ile mümkün olmaktadır.  $Al_2O_3$  (alüminyum oksit),  $B_4C$  (bor karbür),  $SiC$  (silisyum karbür),  $TiN$  (titanyum nitrür),  $AlN$  (alüminyum nitrür),  $Mo$  (molibden),  $W$  (wolfram) ve grafen en çok tercih edilen takviye elemanlarıdır.

**$Al_2O_3$  (Alümina):** Metal matrisli kompozitlerde iyi bir dayanıma sahip düşük yoğunluklu malzemeler üretmek asıl hedeftir. Bahsedilen özellikleri elde etmede

yapı içine katılan seramik faz önemli bir role sahiptir. Alüminanın yüksek modül ve rijitlik özellikleri, yüksek sıcaklığa karşı olan dayanımı onu önemli kılmaktadır. Ergime sıcaklığı 2050 °C ve kaynama noktası 2977 °C 'dır. Bu sayede yüksek sıcaklıklarda bile mekanik yüklere, kimyasal maddelere karşı en dayanıklı performansı gösteren refrakter malzemelerden biridir [34].

**Grafit :** Son yıllarda grafit en çok tercih edilen seçenektir çünkü grafitin alüminyum matrisli kompozitlere dahil edilmesi hem aşınma direncini hem de işlenebilirliği arttırmaktadır. Ayrıca, grafit, yüksek sıcaklıkta ciddi aşınma kaybını önler. Hibrit kompozitlerde grafit içeriği arttıkça aşınma direnci de artmaktadır. Aşınma direncindeki artış, kayma durumu sırasında açığa çıkan grafit parçacıklarının mevcudiyeti altında tribo tabaka oluşumuna atfedilebilir. Benzer şekilde, grafit konsantrasyonu arttıkça, grafit parçacıklarının salınma olasılığı da artar, bu da aşınma direncini daha da artırır [25-28].

## BÖLÜM 3

### KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Hibrit kompozit malzemeler geniş yelpazede üretim imkanları sunduğu için üzerine çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak Al matrisli hibrit kompozit malzemeleri üretmek için günümüzde farklı kombinasyonlar ve yöntemler denenmektedir.

Al MMK malzemelerin üretiminde; sıvı ve yarı-katı hal işlemleri, katı hal işlemleri şeklinde üç seçenek mevcuttur. Birçok araştırmacının sıvı ve yarı-katı hal işlemlerini kullandıkları görülmektedir. Homojen bir dağılım için ve matris-takviye arası güçlü bir bağ sağlamak için ıslatma sıvı hal işlemlerinde kullanılmaktadır. Islatma, sıvı matrisin katı takviye elemanı üstüne yaydırılması ile oluşan temas açısı ile ilgilidir ve katı elemanın sıvı matris içinde çözünmesiyle oluşur [29].

Seramik takviye malzemeleri üzerindeki ıslatma kabiliyetleri açısından Al ve alaşımları iyi bir performans sergilememektedir. Bu nedenle seramik takviyeli Al MMK malzemelerin üretiminde katı hal üretim tekniği olarak tercih edilen toz metalürjisi yöntemidir [30]. Matris ve takviye arayüzey kinetiğinin takibinin yapılabildiği ve böylelikle istenilen homojen dağılımın elde edilebildiği üretim yöntemi toz metalürjisidir [31]. Daha iyi mekanik özelliklerin sağlanması için partikül takviyeli MMK'ların üretiminde sıvı hal üretim yöntemlerindense toz metalürjisi ile üretim yöntemi tercih edilmektedir [32,33].

- *Katı hal işlemleri*

Ergime olmadan takviye elemanı ve matrisin bir araya getirildiği üretim işlemleridir. Katı hal üretim yöntemleri ile yüksek oranda (>%50) ve homojen dağılmış takviyeli MMK üretimi yapılabilir. Katı hal işlemleri üç çeşittir:

1. Toz Metalurjisi
2. Difüzyon Bağlanması
3. Fiziksel ve Kimyasal Buhar Biriktirme

- *Yarı-katı hal işlemleri*

Yarı-katı işlemleri yakın zamanda geliştirilen bir döküm yöntemidir. Reo döküm ve tikso döküm olarak iki çeşidi uygulanmaktadır. Bu işlemler mekanik özelliklerin yüksek olması ve üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle özellikle hafif metalleri döküm işlemlerinde kullanılmaktadır.

- *Sıvı hal işlemleri*

Matris malzemesinin sıvı faza getirilerek takviye elemanı ile biraraya geldiği işlemlerdir. Nispeten yüksek sıcaklık ve bileşenlerden en az birinin sıvı fazda olması sayesinde takviye elemanı ile matris malzemesi arasında ara yüzey oluşumu sağlanabilmektedir. Bu işlemlerle üretilen kompozit malzemelerde oldukça güçlü bir takviye-matris ara yüzey oluşumunun sağlandığı genel olarak kabul edilmektedir [34]. Sıvı hal işlemlerinin çeşitleri şunlardır:

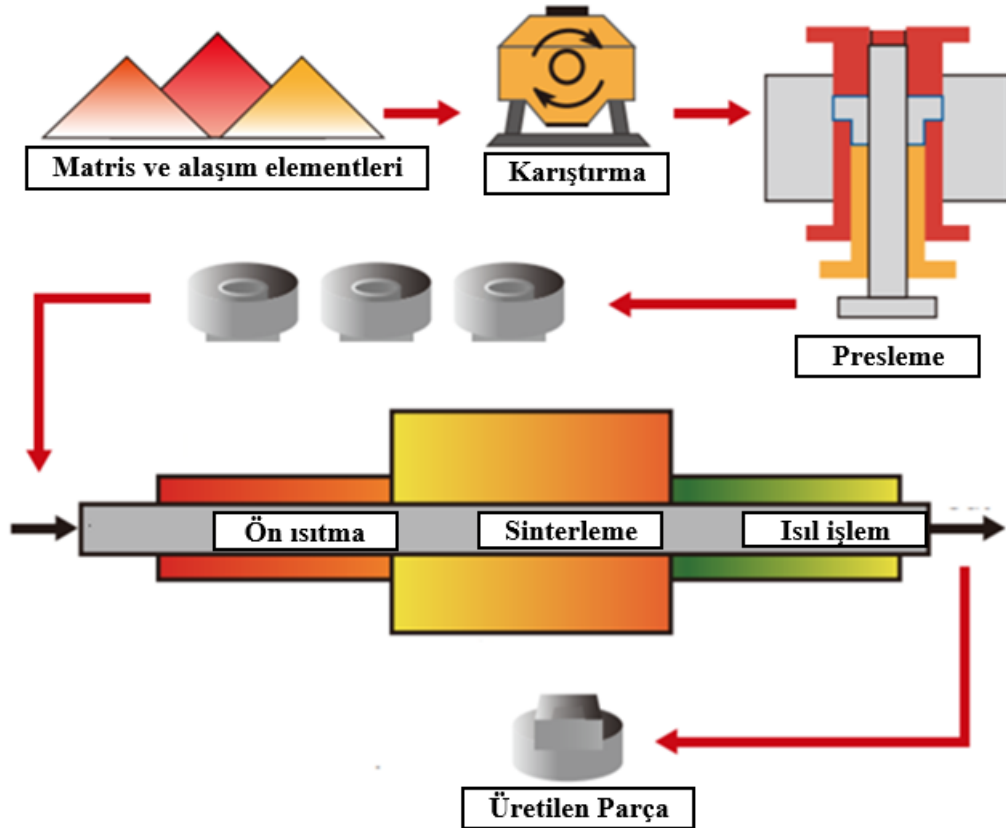
1. Karıştırmalı Döküm
2. Sıvı Metal İnfiltrasyonu
3. Sprey Biriktirme
4. İn-Situ İşlem
5. Sıkıştırımlı Döküm

### 3.1. TOZ METALÜRJİSİ

Toz metalürjisi işlemi ile (T/M) toz haldeki metal, plastik, karbonik bileşik veya seramik malzemeler ya tek başlarına ya da karıştırılarak preslenir ve sinterlenir. Böylelikle yeni bir ürün elde edilir. Preslemeden sonra ergime sıcaklığının altında sinterleme işlemi yapılarak toz halindeki malzemelerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bağlar oluşturmak amaçlanır. Böylelikle şekillendirilmesi zor parçaların bile üretimi sağlamış olur [35].

#### 3.1.1. Toz Metalürjisi ile Üretim Aşamaları

Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak yapılan üretim işlemi karıştırma, presleme ve sinterlemeden oluşur. Her işlemde dikkat edilmesi gereken parametreler vardır. Bu parametrelerin kontrolleri doğru yapıldığı takdirde üretilen ürünün kalitesi de aynı oranda artacaktır.



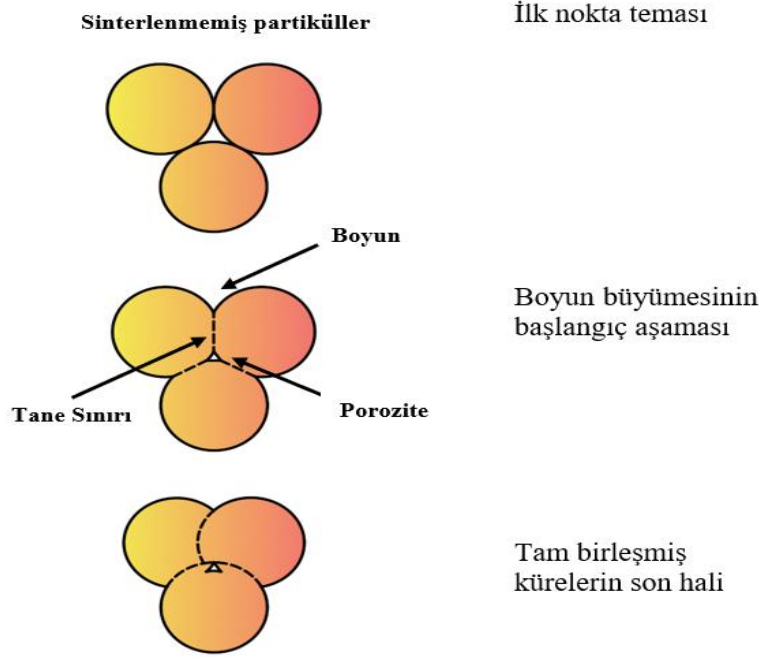
Şekil 3.1. Toz metalürjisi işleminde üretim basamakları [36].



Karıştırma işlemi üretilecek ürünün mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir işlemdir. Arzu edilen parçacık boyut dağılımı, sinterleme işlemi esnasında yeni alaşım ve bileşimlerin oluşturulabilmesi, presleme ve şekillendirme işlemi için önceden yağlayıcıların ve bağlayıcıların karıştırılması için gerekli bir işlemdir. Uygulanan karışıma yaklaşık %0,5 ile %1,5 arası yağlayıcı eklenmektedir. Yağlayıcı olarak genellikle parafin ve metal sterat kullanılır. Yağlayıcı kullanarak kalıp arasındaki sürtünme kuvvetini azaltarak tozlar arasındaki sürtünme kuvvetini minimuma indirmek amaçlanır. Böylelikle şekillendirilen toz kalıbın içinden kolaylıkla çıkarılabilecektir [29].

Tozları istenilen şekilde şekillendirmek ve tozlar arasında mekanik bir bağ oluşturmak için presleme işlemi yapılır. Tozların kalıp boşluğunu iyice doldurması ve preslenmesi ile optimum teorik yoğunluk değerini sağlamak hedeflenir. Elde edilen yoğunluk değeri parçaların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etkindir. Üretilen parçanın esas mukavemet değeri ise sinterleme işleminden sonra kesinleşir [37]. Presleme işlemi için üç ana faktör; malzeme sertliği, taneler arasındaki ve tane kalıp arasındaki sürtünme kuvvetinin değeridir.

Sinterleme, istenilen yoğunlukta bir malzeme üretebilmek için metal veya seramik tozlarına uygulanan bir ısı işlemidir. Bu işlemle tozların atomik ölçekte bağlanması ve kütle taşınım yoluyla katı parçacıklarının belirlenen sinterleme değişkenlerine uygun şekilde bir mikroyapıda oluşturulması amaçlanmaktadır. İstenilen mikroyapıyı sağlamak için; toz parçacıklarının büyüklüğü, sinterleme sonrası yoğunluk, diğer fazlar ve gözenek konumları kontrol altında olmalıdır [41].



Şekil 3.2. Sinterleme teorisi [38].

Sinterleme işleminde sonra parçaların yoğunlukları artar. Sinterleme işleminde;

- Toz parçacıklar arasında noktasal bağ gelişmeye başlar.
- Temas ettikleri noktalar genişleyerek boyun oluşur.
- Toz parçacıkları arasındaki boşluklar azalır.
- Boyun büyümesi ile tane sınırları belirginleşir. Tane sınırlarının genişlemesiyle malzeme yapısı homojen hale gelir (Şekil 3.2) [39,40].

### 3.1.2. Toz Metalürjisinin Avantajları ve Kısıtlamaları

#### Avantajları:

- Zaman ve maliyet açısından seri üretimde üstünlük sağlar.
- Birden fazla parça aynı anda üretilebilir. Bu sayede birim maliyet düşük olur.
- Geleneksel üretim yöntemleri ile sağlanamayacak kimyasal bileşimler oluşturulur.
- Çoğunlukla parça istenilen son şekilde üretilebilir ve ek bir işleme gerek kalmaz.
- Boyut hassasiyeti epey yüksektir.
- Üretim süresince istenilen özellik ve boyutlar aynı şekilde tekrarlanabilir.

- Üretim gücü oldukça yüksektir.
- Hurdaya çıkacak malzeme oldukça azdır.
- Yüksek tribolojik performansta (yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı) malzemeler üretilebilir.
- Geleneksel yöntemlerle yapılamayacak ölçüde küçük geometrik şekiller üretilebilir.
- Homojen halde mikroyapılar oluşturulabilir.
- İleri teknoloji malzemelerin üretimi yapılabilir [41].

**Kısıtlamaları:**

- Toz temini oldukça maliyetlidir.
- Bazı karmaşık geometrilerin üretimi sağlanamayabilir.
- Üretim alanındaki havanın kirlenmesi sonucu iş sağlığı problemleri olabilir.
- Üretim alanındaki cihazlarda kullanılan tozlardan dolayı kirlenme olabilir.

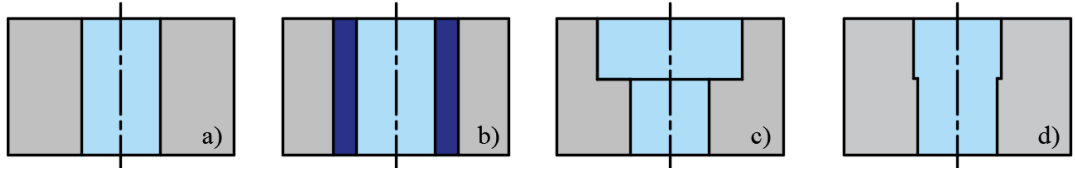
## BÖLÜM 4

### DELİK DELME VE MATKAPLAR

#### 4.1. DELİK DELME İŞLEMLERİ

Delik delme işlemi talaş kaldırma şekillerinden biri olarak kabul edilmektedir. Takım kendi ekseninde döner ve hareket yönünde ilerleyerek delik açma gerçekleşir. Delik delme işlemleri delik büyütme, fatura açma, raybalama, havşa açma gibi farklı işlemleri içerir. Delik derinliği arttıkça talaşın delikten çıkması ve işlemi kontrol altında tutmak zorlaşır. Derin delik açma ile kısa delik açma arasındaki ayırtıcı özellikler çap ve delik derinliğinin yanı sıra talaşın boşaltımı, delik kalitesi ve talaş debisidir [42].

Delik delme işlemleri; kademeli delik delme, delik genişletme, doluya delik delme, ve raybalama şeklinde dört unsura incelenebilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Delik delme işlemleri a) doluya delik delme b) delik genişletme c) kademeli delik delme (Fatura açma) d) Raybalama [42].

Günümüzde delik delme uygulamaları talaş kaldırma işlemlerinde önemli bir yere sahiptir. Bütün delik delme işlemlerinde kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ve hareket eksenini yönünde ilerleyerek talaş kaldırması otak noktadır [59].

Talaşlı imalatta yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntemler frezeleme, delik delme ve tornalamadır. Bu yöntemler arasında delik delme işlemi en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Delme işlemi, frezeleme ve tornalama ile kıyaslandığında işlemlerin kinematik ve dinamik yapısının benzer olduğu ve talaş akışı kesme sıcaklığı dağılımının aynı olduğu görülür.

Delme işlemlerinin bazı negatif yönleri bulunmaktadır. Bunlar arasında talaşın kapalı ortamda oluşması ve görülmemesidir. Talaş akışını zorlaştıran matkapta biriken talaşın kalınlığı kesici takım ve iş parçası arasında sürtünmeye ve ısının artmasına neden olur. Kesici takım ile işlem yapılacak olan parça arasındaki sürtünme kritiktir. Yüzeiden akan sıcaklığın yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızının sıfır olması esas problemdir. Bu nedenle matkap ve delme işlemi tezgahı iş parçası özelliklerine özgü olarak sabitlenmeli ve delik kalitesi göz önüne alınarak gerekli yöntemin doğruluğu sağlanmalıdır [43].

#### **4.1.1. Delme İşleminin Önemi**

Delme işlemine başlamadan önce işlenecek malzeme türü, kesici takım cinsi, takım geometrisi, soğutma sıvısı kullanımı gibi faktörler iyi belirlenmelidir ki imalat maliyeti istenilen kaliteye göre en minimumda tutulabilsin. Bu faktörler maliyet dışında delik tamlığı, dairesellik sapma değeri, yüzey pürüzlülük değeri ve kesici takım aşınmasını da belirler. Delik delme talaşlı imalatta genellikle son işlem olarak uygulanır. Bu işlemde talaş kapalı alanda olduğundan talaşın kırılıp dışarı atılması oldukça önemlidir. Deliğin derinliği arttıkça delme işleminin kontrolü ve talaşın dışarı atılması zorlaşır [42,43].

Delik delme işleminde oluşan talaş, kesme kuvvetlerinin değerini, oluşan sıcaklığı ve nihayetinde delik kalitesini ve tamlığını direk olarak etkilemektedir. Talaşın dışarı atılması ise kesme parametrelerine bağlı olarak delik kalitesini etkilemektedir. Kesme parametrelerinden kesme ve ilerleyiş hızı delme işlemleri arasında önemli bir role sahiptir. Bu değerler kesme kuvvetlerine ve kesme sıcaklığına etki ederek kesici takımın (matkabın) performansını belirlemektedir [44].

#### **4.1.2. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler**

Kesici takım kendi eksenini etrafında dönme hareketi ve iş parçası üzerinde kesme yaparak ilerleme hareketi yapar. Böylelikle delik delme işleminde en önemli parametreler kesme hızı ve ilerleme hızı olarak karşımıza çıkar. Aynı zamanda kesme esnasında talaşın derinliği de önemlidir.

**Kesme Hızı:** Delme işleminde esas olan nokta takım veya iş parçası tarafından yapılan dönme hareketidir. Bu işlem esnasında hareketi meydana getiren ana mil hızının dakikada yaptığı devir sayısı (n) ile gösterilir. Delme işlemi için kesme hızı, matkabın iş parçası üzerindeki hareketinden yararlanılarak bulunur ve (V) ile gösterilir. Matkabın çapı (d) ile gösterilir. Matkap bir tur dönüş yaptığı zaman iş parçası üzerinden çevresi kadar yani  $\pi d$  kadar yol alır. Matkap çapı mm olarak verildiğinden kesme hızının m/dak cinsinden ifade edilebilmesi için 1000'e bölünerek kesme hızı formülü bulunur (Eşitlik 4.1).

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \quad (4.1)$$

Delik delme işleminde kesme hızı çevreden merkeze doğru düştüğü için kesme kenarı matkabın ucunda etkin bir şekilde çalışmayacaktır. Kesme hızı matkap ucunda sıfıra yakın olduğu için matkabın ucu malzemeyi kesmek yerine malzemeye basınç uygulayarak ezmeye çalışır. Bu bölgede negatif kesme açısı ve düşük kesme hızından dolayı plastik deformasyon eğilimi olur [45].

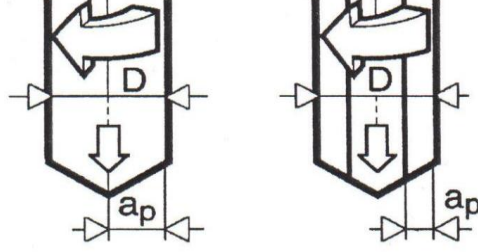
**İlerleme Hızı:** Devir başına ilerleme (f) ile gösterilir birimi mm/dev'dir. Kesici takımın veya iş parçasının bir turundaki (devrindeki) ilerlemesidir (Eşitlik 4.2).

$$V_f = f \times n \quad (4.2)$$

İlerleme ya da parçaya olan etki hızı ( $V_f$ ) birim zamanda kat edilen mesafe olarak tanımlanan, takımın iş parçasına göre veya alternatif olarak iş parçasının takıma göre ilerlemesidir. Bu aynı zamanda tezgâh veya tablanın ilerleme hızı olarak da bilinir [46].

**Kesme Derinliği:** Delik delme işleminde delik içerisindeki talaşlar matkabın olukları sayesinde işlenen yüzeye zarar vermeden kesme bölgesinden uzaklaştırılmalıdır. Kesme derinliği  $a_p$  ile gösterilir ve yarıçap olarak gösterilir (Şekil 4.2).

$$a_p = \frac{D-d}{2} \quad (4.3)$$

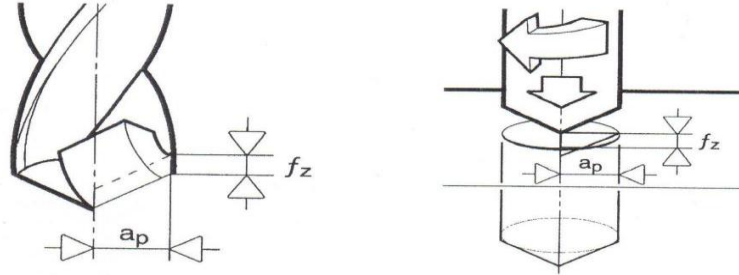


Şekil 4.2. Kesme derinliği.

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (4.4)$$

$$A = a_p \times f_z \quad (4.5)$$

Kesici takım üzerinde birden çok kesici kenar varsa (z kesici kenar sayısı) talaş kesit alanının ( $A - \text{mm}^2$ ) tanımında kenar sayısı kadar ilerleme ( $f_z - \text{mm/z}$ ) değeri kullanılır (Şekil 4.3). Bu alan bir kenar tarafından kaldırılan talaşın alanıdır ve radyal kesme derinliği ( $a_p$ ) ile kesici kenar sayısı kadar ilerlemenin çarpımına eşittir (Eşitlik 4.3-4.5).



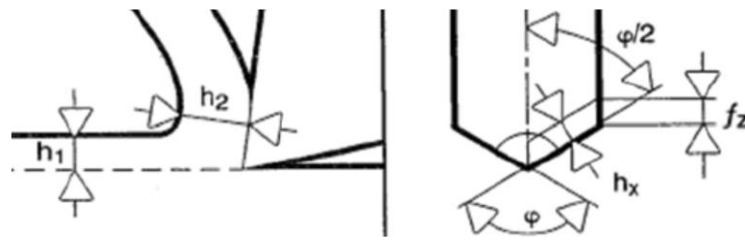
Şekil 4.3. Talaş kesit alanı.

#### 4.1.3. Delik Delmede Talaş Oluşumu

Delme işleminde tercih edilen matkapların çoğunda iki kesici kenar ve talaş kanalı bulunmaktadır. Helis kanalları yardımıyla delik içinden talaşların boşaltımı gerçekleşmektedir. Bu, modern tezgâh ve matkaplarda kesme sıvısının kesici takım üzerinde bulunan kanallar yoluyla kesme alanına ulaştırılması sayesinde

gerçekleştirilir. Talaş oluşumu kesici takım geometrisi, iş parçası malzemesi, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme sıvısı değişkenlerine göre farklılık gösterir. Genellikle ilerleme miktarının artışı ve/veya kesme hızının azalması ile kısa talaş oluşumuna görülür. Talaşların matkabın kesici kenarlarından sorunsuz uzaklaştırılması, oluşan talaşın uygun bir uzunlukta olduğuna işaret eder [46].

Talaş kırma aralığını tetkik ettikten sonra doğru kesme verilerinin belirlenmesi olasıdır. Talaş kırma alanı, iş parçası malzemesi üzerinde farklı kesme hızı ve ilerleme miktarlarının denenmesi ve uygun görülen verilerden, talaş kırma bakımından hedeflenen sonuçların elde edildiği değerlerin seçilmesiyle oluşturulur. Kesme hızı, matkabın çevresinden merkez noktasına yaklaştıkça azalır. Bu sebeple kesme hızı değerinin azalması ile oluşabilecek yığılma kenar oluşma ihtimali göz önüne alınmalıdır. Matkabın merkez noktasının yakınlarında oluşabilecek öngörülen miktardaki yığılma kenar tolere edilebilir [42]. Daha düşük kesme hızlarında yığılma kenarın matkabın çevresine yakın alanlarda oluşması nedeniyle dikkatli olunmalıdır. Talaş kaldırma işlemi sırasında talaşın plastik deformasyona uğraması ile deformasyona uğramış talaş kalınlığı ( $h_2$ ) teorik talaş kalınlığına göre ( $h_1$ ) farklılık gösterir. Delik delme işlemlerinde teorik talaş kalınlığı kenar sayısı başına ilerleme ve uç açısı ( $\phi$ ) ile artış gösterir (Şekil 4.4) [46].

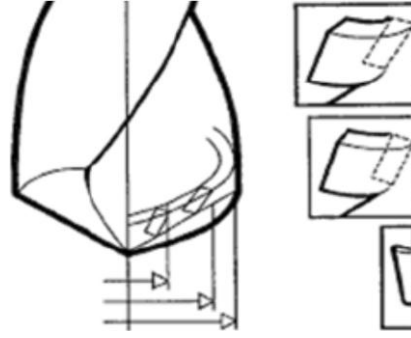


Şekil 4.4. Talaş oluşumuna etki eden faktörler [46].

İlerleme miktarının artmasıyla ile helis açısında artış ve boşluk açısı azalma görülür. Azalma, merkeze en yakın noktada maksimum seviyede olur. Bu sebeple kesici takım ile delik yüzeyleri arasında oluşan aşınmanın engellenebilmesi için boşluk açısı çevreden merkeze doğru arttırılmalıdır. Talaş açısı ise kesici kenar boyunca farklılık gösterir ve matkabın çevresinden merkezine yaklaştıkça azalır. Matkap hızı da çevreden merkeze doğru azalır ve bu yüzden matkap ucu kesme hızı merkez



noktasında sıfıra ulaştığında oldukça verimsiz işler. Matkap, merkezindeki malzemeyi delmek yerine bastırıp ezdiği sırada talaş açısının negatife düştüğü ve kesme hızının sıfıra ulaştığı noktada bir plastik deformasyon oluşur (Şekil 4.5). Bu basınç ile yüksek bir aksenal kuvvet bileşeni meydana gelir. Tezgâhın gücü delik boyutlarına göre daha azsa, ilerleme gücünün büyüklüğü nedeniyle tezgâh ana milinin esneme oluşacaktır ve bu sebeple delikler oval şekilde olacaktır. Radyal ağız sebebiyle meydana gelen istenmeyen çalışma şartlarından kurtulabilmek için kesici takımlarda birçok değişiklikler sağlanmıştır. Radyal ağız fazla inceltilmiş ya da tümüyle kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru radyüs verilmiştir [46].



Şekil 4.5. Kesici kenarın talaş kaldırması [64].

#### 4.1.4. Delik Kalitesinin Özellikleri

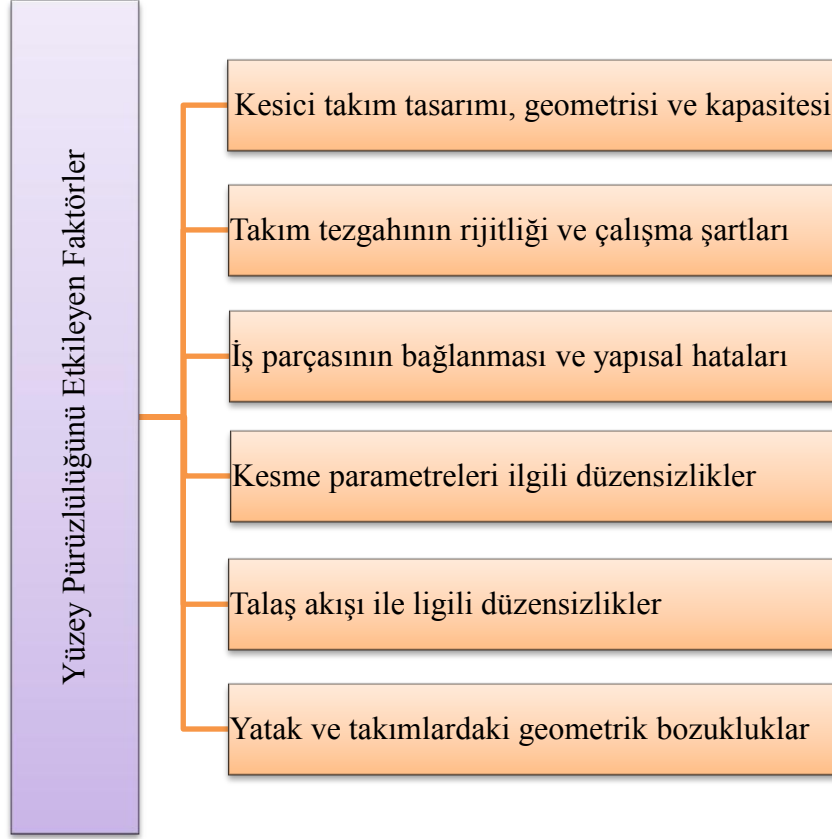
Delik kalitesinin özellikleri, Şekil 4.6'da verildiği gibi delik boyutu, dairesellik veya yuvarlaklık hatası, çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünü içerir. Uçak bileşenlerinin %60'a ulaşan yüksek reddetme oranları, son montajdaki düşük delik kalitesinden kaynaklanır. Delik kalitesi sorunlarının üstesinden gelmek için devam eden çalışmaları gerektiren zorlu bir sorun. Bu nedenle, kötü delik kalitesi nedeniyle reddedilen parça sayısının kontrol edilmesi gerekmektedir [47].



Şekil 4.6. Delik kalitesinin özellikleri [47].

#### 4.1.5. Yüze Pürüzlülüğü

Yüze pürüzlülüğü, herhangi bir işleme işlemi nedeniyle iş parçasının yüzeyinde oluşan düzensizlikleri ifade eder. Yüze pürüzlülüğü genellikle endüstrilerde yaygın olarak kullanılan ortalama pürüzlülük ( $R_a$ ) olarak ölçülür. Yüze pürüzlülüğü, deliklerdeki yüksek yüze pürüzlülüğünün malzeme aşırı aşınmaya ve yorgunluğa neden olduğu ve bunun üretim sürecini ve nihayetinde üretim maliyetini doğrudan etkilediği delik kalitesinin ana özelliklerinden biridir. Yüze pürüzlülüğünü etkileyen faktörler Şekil 4.7'de verilmiştir [48-50]. Ayrıca delme sırasında çapak oluşma olasılığı vardır. Bu çapaklar, deforme olmuş malzemenin küçük parçalarıdır ve normalde delik kenarlarının etrafındaki deliklerin hem girişinde hem de çıkışında oluşur ve boyutsal doğruluğu etkiler. Girişteki çapaklar genellikle küçüktür ve deliklere pah açılırken çıkarılması kolaydır; ancak çıkış deliklerinin çıkarılması zordur [51].



Şekil 4.7. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [50].

Yüzey pürüzlülüğü, iş parçasının işlenmesinden sonra genellikle parçanın yüzeyinde oluşan girinti ve çıkıntılar, yani bozuklukların ortalama değeri olarak belirtilir. Pürüzlülüğü yüksek olan yüzeylerde, düşük olan yüzeylere kıyasla sürtünme katsayısı artar ve aşınmaya daha hızlı gerçekleşir [52].

İşlenmiş bir yüzeydeki pürüzlülük 3 ana kusur ve hatayı içerir. Bunlar;

- 1) pürüzlülük; kesici takım hareketi ve işlemin sonlanması ile gerçekleşen
- 2) dalgalanma; işlem sistemindeki değişim sebebiyle
- 3) yüzey formu; yerleştirmedeki kaba yanlışlar

Yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işlemleri sırasında birçok değişkene bağlı olduğu için, seçilen takım geometrisi ve ilerleme miktarı ile ulaşılan “ideal yüzey pürüzlülüğü” ve kesme işlemlerindeki düzensizlikten kaynaklanan “doğal yüzey pürüzlülüğü” olarak iki ayrı şekilde tanımlanır. Optimum şekilde seçilen takım şekli,

takım geometrisi, ilerleme hızı, kesme hızı, talaş yığılması ve vuruntular gibi etkenlerin etkileri azaltıldığında hedeflenen yüzey pürüzlülüğü “ideal yüzey pürüzlülüğünü” verir. Talaşlı imalat işlemlerinde çoğunlukla ideal koşulların sağlanması olanaksızdır. Doğal şartlarda ulaşılan yüzey pürüzlülük miktarları, gerçek yüzey pürüzlülük değerlerini verir. Doğal yüzey pürüzlülüğünün başlıca etkenleri; kesme hızı, kesici takım sistemi, işleme ortamı şartları, malzeme kusurları, aşınma ve titreşimdir [53-55].

#### **4.1.5.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri**

Yüzey pürüzlülük değerinin elde edilmesinde faydalanılan birçok yüzey pürüzlülük parametresi vardır. Bunlardan bazıları; yüzeydeki girinti-çıkıntıların alan olarak eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafe  $R_a$  olarak, orta eksenin altında ve üstünde meydana gelen sapsmaların geometrik ortalama değeri  $R_q$  (RMS) olarak, değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması  $R_z$ , değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe  $R_{max}$  ( $R_y$ ), filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafe de  $R_t$  olarak adlandırılmaktadır. Bunlar haricinde pürüzlülükle ilgili daha birçok parametre vardır [56,57].

#### **4.1.5.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri**

Kaynaklarda yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri, ölçüm hızı dikkate alınarak; uygulama şekli (tahribatlı veya tahribatsız, temaslı veya temassız) ve ölçüm hassasiyeti bakımından kaba, orta veya hassas olarak sınıflandırılmıştır. Pürüzlerin kaydedilmesi bakımından daha somut ve detaylı bilgi alma ve karar vermeye destek olması açısından ölçüm işlemlerinde grafik alma özelliği olan cihazlar tercih edilmektedir [50].

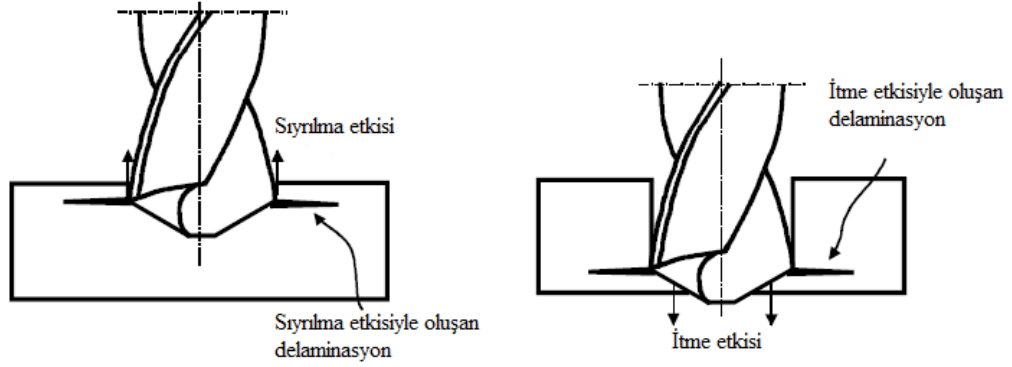
- Optik metot
- Temas metodu
- Mekanik metot

- X ışını metodu
- Elektron mikroskobu metodu
- Hidrolik metot
- Yüzey dinamometresi metodu
- Replika metodu
- İzleyici uçlu cihazlar
- Elektro fiber optik metot

#### **4.1.6. Delaminasyon**

Delaminasyon, elyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesinden sonra en yaygın görünen hasar tiplerinden biridir ve elyaf takviyeli kompozitlerin içinde var olan tabakaların katman katman ayrılması sonucu oluşur. Bu oluşumun başlıca sebebi ise bu katmanların birbirine yeterince mukavim olarak bağlı bulunmamasıdır. Delaminasyon miktarı asgari ölçüye indirilmeli ve mümkünse mevcut olmamalıdır çünkü bu hasar tipi kompozit malzemelerin rijitliğinde kayıplar vermesine ve yorulma ömrünün ziyadesiyle kılmasına neden olmaktadır.

Delaminasyon delik delme işleminde iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki helisel matkabın kompozit malzemenin yüzeyine nüfuz etmesinden sonra malzemedeki talaşı kaldırmak amacıyla gösterdiği sıyrıma etkisidir. Bu etki giriş delaminasyon miktarı ve faktörü hesaplanarak bulunabilir ancak sıyrıma etkisiyle oluşan giriş delaminasyonunu görmek her zaman için mümkün olmaz. İkinci oluşan delaminasyon etkisi ise son katmana yakın noktalarda gözlemlenebilen ve kompozit malzemenin itilmesiyle oluşan delaminasyon çeşididir. Aşağı yönde itme etkisiyle oluşan bu delaminasyonlar genellikle daha kapsamlıdır ve diğerine göre daha tehlikeli olduğu düşünülmektedir. Son kompozit katmanları, delik oluşturulması esnasında matkap katmanı delerek açma eğilimindedir. Ayrıca takım özelliklerinin ve delme parametrelerinin de delaminasyon miktarını etkilediği bilinmektedir. Delaminasyon çeşitleri Şekil 4.8’de verilmiştir [58].



Şekil 4.8. Delaminasyon çeşitleri.

#### 4.1.6.1. Delaminasyon Faktörünün Hesaplanması

Malzemelerin rijitliğinin korunması ve yorulma ömrünün düşmemesinin istenmesi nedeniyle delaminasyon miktarı hesaplanmalı ve düzenli olarak takip edilmelidir. Bu nedenle delaminasyon miktarının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama için çeşitli metodlar mevcuttur. Bu örneklerden bir tanesi ve en sık tercih edileni geleneksel delaminasyon faktörü hesaplanmasıdır. Buradaki, hesaplanma delaminasyon hasarı nedeniyle oluşan en büyük çapın, normalde elde edilmesi gereken çapa oranıyla hesaplanmaktadır. Oldukça temel ve basit bir hesabı olmasına rağmen düzenli bir delaminasyon hasarı görünmesi durumunda halen delaminasyon faktörünün hesaplanmasında en sık tercih edilen yöntemdir. Bu yöntemin dezavantajı ise hasarı uğranan bölgenin alan hesabını içermiyor olmasıdır. Hesaplama Denklem 4.6'da verilmiştir [59].

$$F_d = D_{max}/D_{nom} \quad (4.6)$$

Bu denklemde  $F_d$  delaminasyon faktörünü,  $D_{max}$  azami delik çapını,  $D_{nom}$  ise olması gereken delik çapını vermektedir. Yakın zamanda kullanılan bir diğer yöntem ise ayarlanmış delaminasyon faktörü hesaplanmasıdır. Bu yöntemde denkleme alan hesaplamaları da dahil edilmiştir ancak alanların hesaplanmasının oldukça düzenli ve dikkatli yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu yöntem düzensiz bir delaminasyon durumu olması durumunda daha çok tercih edilmektedir. Bilhassa çatlak yüzeylerin gözlemlendiği durumlarda kullanılmalıdır. Bu hesaplamadaki kısıt ise ince

çatlakların delaminasyon üzerindeki etkisini hesaba katmamasından kaynaklanmaktadır. İlgili hesaplama yöntemi Eşitlik 4.6'da verilmiştir [59]. Bu denklemde  $F_d$  delaminasyon faktörünü,  $D_{max}$  azami delik çapını,  $D_{nom}$  ise olması gereken delik çapını vermektedir. Yakın zamanda kullanılan bir diğer yöntem ise ayarlanmış delaminasyon faktörü hesaplanmasıdır. Bu yöntemde denkleme alan hesaplamaları da dahil edilmiştir ancak alanların hesaplanmasının oldukça düzenli ve dikkatli yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu yöntem düzensiz bir delaminasyon durumu olması durumunda daha çok tercih edilmektedir. Bilhassa çatlak yüzeylerin gözlemlendiği durumlarda kullanılmalıdır. Bu hesaplamadaki kısıt ise ince çatlakların delaminasyon üzerindeki etkisini hesaba katmamasından kaynaklanmaktadır. İlgili hesaplama yöntemi Eşitlik 4.7-4.9'da verilmiştir [59]

$$F_{da} = \alpha \frac{D_{max}}{D_{nom}} + \beta \frac{A_{max}}{A_{nom}} \quad (4.7)$$

$$\alpha + \beta = 1 \quad (4.8)$$

$$\beta = \frac{A_d}{A_{max} - A_{nom}} \quad (4.9)$$

Burada,  $F_{da}$ , düzeltilmiş delaminasyon faktörü,  $D_{maks}$ , hasar bölgesindeki maksimum delik çapı ve  $D_{nom}$ , matkap çapı,  $A_{maks}$  maksimum zarar görmüş alan,  $A_{nom}$  delinmiş deliğin alanı olarak tanımlanmıştır. Burada,  $\alpha$ , geleneksel delaminasyon faktör ağırlığı,  $\beta$ , hasar görmüş alanın oranı olarak tanımlanmıştır.

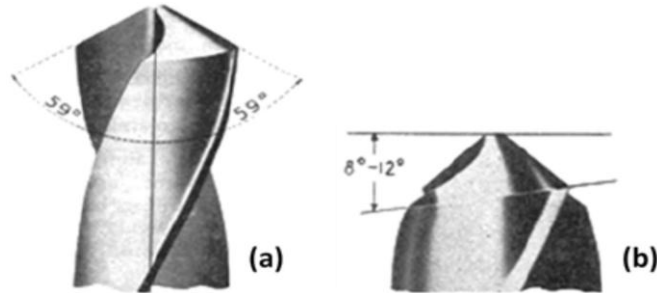
## 4.2. MATKAPLAR

Delik delme operasyonlarında kullanılan kesici aletlere genellikle matkap denir. Matkaplar kendi eksenini dönerek ve eksenini etrafında ilerleyerek kesme işlemini gerçekleştirir. İhtiyaçlara göre farklı çeşit matkaplar kullanılmaktadır. Matkap tercihinde deliğin çapı, delik derinliği, tolerans değerleri, delinecek malzeme, kullanılacak tezgah ve üretim hacmi gibi değerler göz önünde bulundurulmalıdır [60].

Matkapla delik delme işleminde şunlara dikkat edilmelidir;

- Delik merkezinde kesme hızının sıfıra inmesi
- Talaş boşaltımının zorluğu
- Kesme alanında ısının homojen dağılmaması
- Kesici takımın keskin köşelerindeki aşınma
- Zırhın delik içinde sürtünmesi ile aşınması

**Uç:** Matkabın kesici ağızların bulunduğu kısma uç denir. Uç kısmı kesim işlemi ile talaş kaldırılmaya ve deliklerin oluşmasını sağlamaktadır. Matkaplar genellikle 2 veya 3 ağızlı imal edilir. Matkapların uç geometrisi taşlanarak elde edilir. Kesici ağız kenarlarının oluşması için uç kısmının taşlanması gerekmektedir. Kesici uç geometrisini oluşturulması, kesici uç açısının ve kesici kenarın arka boşluk açısının verilmesiyle yapılmaktadır [42]. Normal işleme koşullarının sağlanması için uç açısı  $118^\circ$  ve boşluk açısı  $8-12^\circ$  olacak şekilde bilinir (Şekil 4.11).



Şekil 4.9. Matkap uç açısı ve boşluk açısı [61].

**Gövde:** Matkabın helisel oluklarının bulunduğu kısımdır. Kesici takımın ucundan başlayıp kesicinin sapına kadar devam eder. Kesilen talaşların dışarı atılmasını sağlayan unsur helisel oluklardır. Helisel oluk sayısı kesici ağız sayısı kadardır. Matkap gövdesinin tamamının delik yüzeyine sürtmesinin engellenmesi için gövde üzerinde arka kısmı set olacak şekilde taşlanan zırh vardır. Matkabın parça içerisinde dalarak ilerlemesi sırasında sıkışmaması için matkap gövdesi çok küçük de olsa konik yapılıdır. Helisel oluklar arasında kalan kısma kesicinin özü denir. Kesicinin özü, kesici ucundan kesici sapına doğru koniktir [42].



**Sap:** Matkabın tezgâha bağlanması işlemini oluşturan kısımdır. Sap kısmı genellikle silindirik bir yapıya sahiptir. Büyük çaplı matkapların konik yapıda olmasının sebebi bağlama kolaylığı ile tezgâh miline takılabilesidir [42].

#### 4.2.1. Matkap Malzemeleri

Kesici takım malzemeleri için talep edilen ortak özellikler aşınma direnci sertlik, tokluk, sıcak sertlik ve ekonomiktir. Takım malzemelerini üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar; metal, karbür ve seramik esaslı olanlardır. Matkap malzemesi olarak da çoğunlukla yüksek hız çelikleri (HSS), kobaltlı yüksek hız çelikleri ve sement karbür uçlar tercih edilmektedir. Takım ömrü ve yüzey kalitesi düşünülerek kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplı takımlar da kullanılmaktadır [62].

Talaşlı imalattaki gelişmelere göre kesici takımlardan beklenen nitelikler;

- Uzun ömürlü olması
- Hedeflenen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığını sağlaması
- Uygun maliyet
- Kolay elde edilebilirlik

Farklı kesme kuvvetleri ve zorlamalara karşı kesici takım malzemelerinin sahip olması gereken nitelikler;

- Sertlik ve basınç dayanımı
- Eğilme dayanımı
- Kenar dayanımı
- İç yapı dayanımı
- Isıl dayanım
- Oksitlenme dayanımı
- Sürtünmeye karşı dayanım
- Difüzyon yayılma istediğinin minimum olması

Alüminyum alaşımlarının delinmesi için bir diğer önemli husus da takım malzemesidir. Takım ömrü, takım malzemesinin tokluğuna, sertliğine, aşınmasına ve ısıl direncine bağlıdır [63]. HSS takımları, çok çeşitli kullanılabilirlikleri, düşük maliyetleri ve dayanıklılıkları nedeniyle birincil tercih olarak kabul edilir; ancak, HSS matkapları sertliklerinden ödün vermeleri nedeniyle yüksek sıcaklıkta çalışmaya uygun değildir. Ayrıca, HSS, onları işleme için uygun olmayan orta

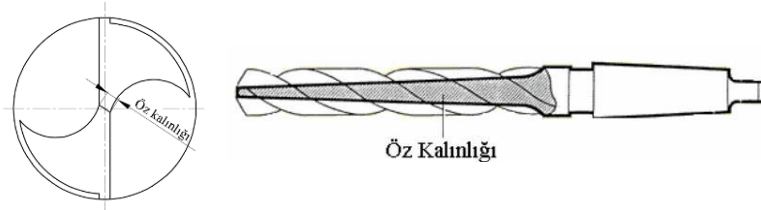
düzeyde bir güce sahiptir [64]. Semente karbür grubunda yer alan bir diğer önemli alet malzemesi de tungsten karbürdür. Karbür takım, yüksek sertliği ve tokluğu nedeniyle daha iyi işleme için uygundur [63]. Takım malzemelerine ek olarak, bir takım yüzeyine uygulanan ince bir mikron tabakasını tanımlayan kaplamaların kullanımı, aşınma direncini artırarak takım performansını daha da iyileştirebilir. Ayrıca, kaplamalı takımların kullanımı yüksek sıcaklıkta daha iyi performans gösterdiğinden yüksek kesme hızlarında fazla kullanım olanağı sağlar [63].

### 4.3. MATKAP GEOMETRİSİNİN TALAŞ KALDIRMAYA ETKİSİ

Matkabın gerek imalatında gerekse de bileme işleminde oluşan uç geometrisi talaş kaldırma işleminde çok önemli rol oynar. Matkabın öz kalınlığı, kesici ağzının arkasına verilen boşluk açısı, helis açısı ve uç açısı kesme işlemi doğrudan etkiler.

#### 4.3.1. Matkap Öz Kalınlığının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Matkabın serbest yüzeylerini birleştiren ve mukavemetini artırmak için sap kısmına doğru kalınlaşan kısımdır (Şekil 4.12).



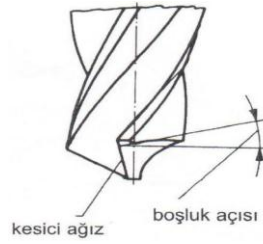
Şekil 4.10. Matkabın öz kalınlığı.

Matkabın boyu kısaldıkça öz kalınlığı da büyük olur. Matkapla delme işlemi yaparken oluşan basıncın etkisiyle matkabın ısı artar ve matkabın ömrü azalır. Dolayısıyla öz kalınlığının ince olması gerekmektedir. Kesme bölgesindeki radyal ağız uzunluğu matkabın öz kalınlığının artmasına bağlıdır. Bu durumda daha fazla kesme kuvveti gereksinimi doğacaktır. Matkaplarda öz kalınlığı matkap çapının 0,1 ile 0,4 katı kadar olur. Genellikle çapın 0,2-0,3 katı öz kalınlığı tercih edilir.

Böylelikle yüksek devirlerde kaliteli delikler elde edilmiş olur. Derin deliklerde öz kalınlığı, matkap çapının 0,4 katına kadar tercih edilir.

#### 4.3.2. Boşluk Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Boşluk açısı, matkabin kesici ağızlarının arka yüzeyinin kesilen yüzeye sürtünmemesi için verilen açıdır (Şekil 4.13). Boşluk açısı sürtünmeyi önleyip matkabin iyi kesmesini sağlar.

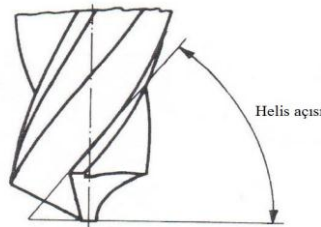


Şekil 4.11. Matkabin boşluk açısı.

Boşluk açısı genellikle  $8^{\circ}$ - $12^{\circ}$  arasında taşlanır. Her iki kesici ağıza verilen boşluk açısı eşit olmalıdır. Boşluk açısı eşit olmazsa kesici ağız yükseklikleri farklı olacağına delik çapı istenenden büyük çıkabilir.

#### 4.3.3. Helis Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Matkabin helis açısı, matkapta bulunan helis kanallarının oluşturduğu açıdır (Şekil 4.14). Kesme yaparken çıkan talaşlar helis kanalını takip ederek dışarı atıldığı için talaş açısı da denir.

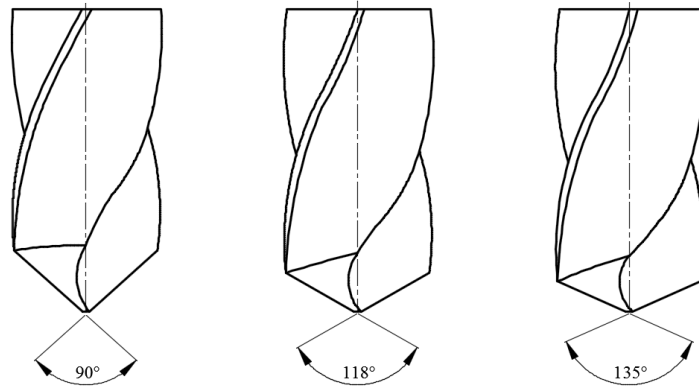


Şekil 4.12. Matkabin helis açısı.

Matkaplardaki helis açısı genellikle  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  olacak şekilde imal edilir. Ancak malzeme çeşidine göre değişebilir. Düşük helis açılı matkaplar kesici ağız dayanımını artırdığı için sert malzemeleri delerken tercih edilmektedir. Helis açısının fazlalığı, oluşan kesme kuvvetini azaltır ve alüminyum gibi yumuşak malzemelerin delinmesinde kullanılır.

#### 4.3.4. Uç Açısının Talaş Kaldırmaya Etkisi

Matkabın uç açısı talaş kaldırmayı etkileyen en önemli açıdır. Aynı zamanda itme kuvvetini, torku ve kesici ağız uzunluğunu da etkiler. Standart matkapların uç açısı genellikle  $118^{\circ}$  olur (Şekil 4.15).



Şekil 4.13. Matkabın uç açısı.

Matkapların uç açısı malzemenin cinsine göre değişebilir. Dar uç açılı matkaplar ( $90^{\circ}$ ) genellikle yüksek oranda aşınma etkisi gösteren plastik malzemeler gibi yumuşak malzemeleri delerken kullanılır. Uç açısı  $118^{\circ}$  olan matkaplar genel amaçlı kullanılır. Aynı zamanda geniş uç açılı ( $135^{\circ}$ - $140^{\circ}$ ) matkaplar ise sert malzemeler ile uzun talaş çıkaran lifli malzemelerin delinmesinde kullanılır.

## BÖLÜM 5

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde farklı alüminyum matrise ve farklı takviye elemanlarına sahip takviyeli hibrit kompozit malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili daha önceki yapılan çalışmalar verilmiştir.

#### 5.1. HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Rajesh vd. Al 5023 alüminyum alaşımı ve farklı yüzdeliklere (%5, %10, %15) sahip Boron karbür (B<sub>4</sub>C) kullanarak karıştırmalı döküm yöntemi ile hibrit kompozit üretmişlerdir. Bu araştırmalarında sert bor karbür parçacıkları ile güçlendirilmiş AA5083 malzemeye delik delme işlemi uygulamışlar ve deliklerde minimum yüzey pürüzlülük değerini elde etmek için delme operasyon parametrelerinin incelenmesini ve optimizasyonunu planlamışlardır. Delik delmede 1000 dev/dk, 1500 dev/dk ve 2000 dev/dk devir sayısı, 60 mm/dk, 100 mm/dk ve 140 mm/dk delme ilerlemesi. Delme işleminde minimum yüzey pürüzlülüğünü bulmak için L9 ortogonal dizin kullanarak optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon sürecinde, delme hızı, takviye yüzdesi ve delme ilerlemesine kıyasla oldukça etkilenmiştir. Yapılan çalışmanın optimum değerleri 1000dev/dk devir sayısı, 140 mm/dk delme ilerlemesi ve %15 güçlendirme yüzdesi olarak bulunmuştur [65].

Basavarajappa vd. delinmiş yüzeydeki yüzey pürüzlülük değişimlerini ve delme nedeniyle yüzeyde ve yüzey altındaki deformasyonları incelemişlerdir. Al2219 / %15SiCp ve Al2219 /%15 SiCp- %3Grafit (hibrit) kompozitler üzerinde farklı takım ve kesme koşullarının etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Delme testlerinde karbür ve kaplamalı karbür takımlar kullanmışlardır. Delinen deliklerde yüzey pürüzlülüğü ile ilgili olarak; kesme hızının artışı ile azalan ve ilerleme hızının artmasıyla doğru orantılı olarak artan bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Yüzeyi taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak analiz etmişlerdir. Mikrosertlik

profilleri, yüzey altı deformasyonunun Al<sub>2219</sub>/15SiCp-3Gr kompozit için 120 mm altına kadar uzandığını, Al<sub>2219</sub>/15SiCp kompozitte de 150 mm'ye kadar uzandığı görülmüştür [66].

Taşkesen ve Kutukde, B<sub>4</sub>C ile güçlendirilmiş Al alaşımında takım aşınması ve delik boyutsal doğruluğu için delme parametrelerinin analizini ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Testler için Taguchi'nin L<sub>27</sub>, 3 seviyeli, 4 faktörlü ortogonal dizisi kullanmışlardır. Takım aşınmasında genel olarak abrasif aşınma ve yığılmış kenar (BUE) oluşumunun görüldüğü ve köşe aşınmasının da büyük önem taşıdığı görülmüştür. Yapılan analizde kesici takımın yanak aşınmasının çoğunlukla partikül kütle fraksiyonuna bağlı olduğu, ardından sırasıyla ilerleme hızı, matkap sertliği ve devir sayısının geldiğini bulmuşlardır. Kullanılan takımlar arasında, takım aşınması ve delik boyutu açısından en iyi performansı TiAlN kaplı karbür matkaplar elde etmişlerdir [67].

Lee ve arkadaşları, karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) ve aramid elyaf takviyeli polimer (AFRP) hibrit kompozitler (C-AFRP) delinmesinde çapak oluşumu ve takım aşınmasını araştırmışlardır. CFRP ve C-AFRP'nin delme özellikleri, aynı çalışma koşullarında (kesici takım, iş mili hızı, ilerleme hızı) karşılaştırmışlar ve analiz etmişlerdir. Deneysel sonuçlarda, C-AFRP, CFRP ile karşılaştırıldığında daha yüksek çekme mukavemetine ve iyi delme özelliklerine (düşük itme ve daha az takım aşınması) sahip olduğunu göstermiştir. C-AFRP hibrit kompozitlerin delinmesinin neden olduğu itme kuvveti ve takım aşınması, CFRP'nin delinmesinden önemli ölçüde azalmış ve ancak C-AFRP kompozitlerinin delinmesinde daha fazla çapak oluştuğu görülmüştür [68].

Karabulut ve arkadaşları, AA7039 ve ağırlıkça %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ağırlıkça %10 B<sub>4</sub>C ve ağırlıkça %10 SiC ile güçlendirilmiş üç farklı kompozit numuneyi, toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi kullanılarak üretmişlerdir. Kompozit malzemedeki takviyenin etkisini belirlemek için sertliği, enine kopma mukavemeti (TRS) ve uzama davranışı araştırılmıştır. Sonuçlar, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C ve SiC takviye partiküllerinin matris yapısında eşit bir şekilde dağıldığını ve ayrıca matris ile takviye elemanları

arasında istenilen bir seviyede ara yüzey bağının sağlandığını göstermektedir. Ağırlıkça %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile güçlendirilmiş AA7039 kompozit, incelenen numuneler arasında en yüksek sertlik, eğilme mukavemeti ve uzama sergilemiştir. Kırılma yüzeyi analizi, AA7039/B<sub>4</sub>C ve AA7039/SiC'nin kırılma yüzeyinde çatlaklar ortaya çıkardı; bu çatlaklar parçacık matris arayüzleri boyunca yayıldığı görülmüştür. AA7039/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numunenin delinmesinde mükemmel yüzey kalitesi elde etmişler ve tüm numunelerin delinmesinde düşük ilerleme hızlarında yüzey kalitesinin iyileştiği ve artan ilerleme hızıyla azaldığı görülmüştür. Talaş oluşumu, iş parçası malzemelerinin mekanik ve mikroyapısal özelliklerini talaş oluşumunu etkilediği görülmüştür [69].

Kumar ve arkadaşları, hibrit Al-6061/SiC/B<sub>4</sub>C/talc kompozitlerinde delme parametrelerinin optimizasyonu gri ilişkisel analiz kullanılarak incelenmişlerdir. Karıştırmalı döküm kullanılarak üretilen Al6061/SiC/B<sub>4</sub>C/talc kompozitleri üzerinde delme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Talk (katı yağlayıcı) parçacıkları içeren bu hibrit kompozitler, itme kuvvetini, daireselliği ve yüzey pürüzlülüğünü azaltır. Delmede, kuru koşullarda kullanılan 6 mm, 7 mm ve 8 mm HSS matkap uçları ile hibrit Al6061/SiC/B<sub>4</sub>C/talc kompozitler üzerinde Taguchi L27 ortogonal dizi yöntemine dayalı deneyler yapılmıştır. ANOVA, kesme derinliği, kesme hızı, takviye yüzdesi ve ilerleme, gibi çeşitli delme girdi unsurlarının, itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik gibi çıktı parametreleri üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Optimum işleme koşulunu bulmak için gri ilişkisel analiz denklemleri kullanmışlar ve en önemli parametre olan kesme hızının, hibrit Al6061/SiC/B<sub>4</sub>C/talc kompozitlerin delinmesinde itme kuvveti, dairesellik ve yüzey pürüzlülüğünü etkilediği bulmuşlardır [70].

Kumar ve ark. (2014), karıştırma (stir casting) metoduyla Al6351 alüminyum matris B<sub>4</sub>C ve SiC takviye elemanları katarak kompozit üretmişlerve üretilen bu kompozitlerin işlenmesindeki parametrelerin optimizasyonunu yapmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı gibi değerleri kullanmışlardır [71].

Palanikumar ve Muniaraj, alüminyum matrisli %15 SiC ve %4 grafit takviyeli hibrit kompozitlerin farklı çaplardaki karbür matkaplarla delinebilirliklerini incelemişlerdir. Kaplamalı matakaplarda SiC parçacıklarının aşındırıcı etkisi yaparak kaplamanın kalkmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme kuvvetlerinin artmasıyla deliklerde çapak oluşumunun arttığını gözlemlemişlerdir. Metal matrisli hibrit kompozitlerin delinmesinde kesme kuvveti ve ilerlemenin en etken parametreler olduğunu belirtmişlerdir [72].

Günay et al. [73], Al7075'in delinmesi sırasında düşük ilerleme hızının ve yüksek nokta açısının düşük itme kuvveti oluşturduğunu bildirdi. Bununla birlikte, itme kuvvetine en yüksek katkı, uç açısının ve kesme hızının minimum etkisi ile ilerleme hızından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Yaşar et al. [74], kesme hızı ve ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını araştırdı; bununla birlikte, ilerleme hızı ve uç açısı ile karşılaştırıldığında kesme hızının en büyük etki faktörü olduğu bulundu. Yüksek ilerleme hızında yüksek yüzey pürüzlülüğünün nedeni, yüksek itme kuvvetinin talaş hacmini arttırarak yüzey pürüzlülüğünü etkilemesi ile doğrulanmıştır. Ayrıca, optimum yüzey pürüzlülüğü için 130°'lik bir nokta açısı önerildi.

Klocke ve Krieg, kaplamalı matkapların çeşitli özelliklerini inceledi. Takım kaplama ömrünün, kesici kenarlarda birikmiş kenar oluşumu nedeniyle iş parçası malzemeleriyle ilişkili olduğunu ve bu sorunun uygun kesme sıvıları kullanılarak çözülebileceğini bulmuşlardır. Kaplanmış tabakaların ve iş parçası malzemelerinin afinitesi, takım ömründeki azalmanın ana nedeni olarak bulunmuştur [75].

Bağcı ve Özçelik, Al7075'te TiN/TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanarak derinlik, ilerleme hızı ve kesme hızının delme sıcaklığı ve itme kuvveti üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç, delme derinliğinin işleme sıcaklığı ve ardından kesme hızı ve ilerleme hızı üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermiştir [76].

Ravindranath vd. 1000, 1500, 2000 dev/dak ile 0,1; 0,2; 0,3 mm/dev ilerleme hızlarında 5 mm çapında HSS matkap kullanarak %8 B<sub>4</sub>C ve %3 grafit içeren



alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin delinmesini araştırmışlardır. Grafitin yağlayıcı etkisinden düşük kesme kuvvetleri ve düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. Takviye miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı ve işlenebilirliği zorlaştırdığını belirtmişlerdir [77].

Hayjeneh vd., farklı takviye oranlarına sahip alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini araştırmışlardır. 5 mm çapındaki matkapla 150-300 ve 600 dev/dak devir sayısı, 0,076; 0,127 ve 0,152 mm/dev ilerleme miktarlarında delik delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Devir sayısı ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvveti ve moment değerlerinin arttığını belirtmişlerdir [78].

Ahamed vd., %5 B<sub>4</sub>C ve %5 SiC takviyeye sahip alüminyum matrisli hibrit kompozitlere 5 mm çapındaki HSS matkapla, 160, 315 ve 630 dev/dak devir sayısında, 0,125; 0,2 ve 0,315 mm/dev ilerleme miktarlarında delik delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yüksek kesme hızlarında plastik deformasyonunun etkisiyle matris malzemesinde çatlaklara neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Takım aşınmasının kesme hızının artmasıyla arttığını, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğünde iyileşmenin olduğunu ifade etmişlerdir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerin de arttığını belirtmişlerdir. Yüksek ilerleme miktarında talaş yapışmasının yüzey kalitesini kötüleştirdiğini ifade etmişlerdir [79].

Shabo vd., alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak %0-2-4-6-8 oranında SiC ve pirinç kabuğu kullanmışlardır. İşlenebilirlik deneylerini 40-60-90-120-150 m/dak kesme hızlarında ve 0,14; 0,16; 0,2; 0,25; 0,3 mm/dev ilerleme miktarında gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızı arttıkça ölçülen kesme kuvveti değerlerinin azaldığı aynı zamanda ilerleme miktarının artmasıyla da kesme kuvvetlerinin arttığını belirtmişlerdir. Takviye miktarının artmasıyla ölçülen kuvvet değerleri azaldığını ifade etmişlerdir. Sünek matrisin içerisine sert parçacıkların eklenmesiyle malzemenin deformasyon davranışının değiştiğini, artan takviye oranıyla beraber ölçülen kuvvet değerlerinin

azaldığını saptamışlardır. Düşük takviye oranlı malzemelerin işlenmesinde BUE oluşumunu gözlemlemişlerdir [80].

Haq vd., alüminyum matrisli ve hacimce %10 SiC takviyeli kompozit malzemenin işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. En iyi işlenebilirlik sonuçlarının 90° uç açılı matkapla 0,2 mm/dev ilerlemede ve 87,96 m/dak kesme hızında gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Kompozitlere uygulanan delik delme işleminde kritik öneme sahip unsurların kesme hızı, uç açısı ve ilerleme miktarı şeklinde olduklarını vurgulamışlardır [81].

Tinga, alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli olarak bilinen kompozit malzemenin işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. B<sub>4</sub>C miktarının artmasıyla çekme dayanımının düştüğünü belirtmiştir. B<sub>4</sub>C ve SiC takviyesinin çapraz kırılma dayanımını düşürdüğünü belirlemiştir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını ifade etmiştir. Düşük takviye oranlarında yapılan işlenebilirlik testlerindeki düzensizliğin kesici takımın maruz kaldığı sıvanma eğiliminden kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Takviye oranındaki artışın yüzey kalitesi üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu vurgulamıştır [82].

Ekici vd. %10 B<sub>4</sub>C ve %5 grafit içeren alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin farklı kesme hızlarında ve farklı ilerleme matkapla işlenebilirliğini incelemişlerdir. İşlenebilirlik testi sonucunda kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delik çıkış hasarını ölçmüşlerdir. Sonuç olarak grafit takviyesiyle kesme kuvvetinin %25 azaldığı görmüşlerdir. Grafitin yağlayıcı etkisi sayesinde yüzey pürüzlülüğünde ve çapak oluşumunda olumlu sonuçlarının olduğunu vurgulamışlardır. İşlenebilirlik testinde en önemli parametrenin kesme hızı olduğunu ortaya koymuşlardır. Delik çıkışı hasarı sonuçları incelendiğinde en etkin parametrenin ilerleme hızı olduğunu belirtmişlerdir [83].

Motorcu ve Ekici, toz metalürjisi-sıcak presleme yöntemi ile üretilen %5-10-15 oranında B<sub>4</sub>C takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinebilirliğini incelemişlerdir. Eksenel kuvvet, ilerlemenin miktarının

artmasıyla aksnel kuvvetin arttığı, kesme hızının artmasıyla azaldığını ifade etmişlerdir. Delme işleminde en etkin parametrenin B<sub>4</sub>C takviyesi olduğunu, kaplamalı matkapların delmede önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir [84].

Samy vd., alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin, delik delme işlemi esnasında oluşan takım ile iş parçası ara yüzeyindeki ısıyı ölçmüşler ve işlenebilirlik özelliklerini araştırmışlardır. İşlenebilirlik deneylerinde, üç farklı uç açısında (90°-118°-135°) matkap kullanarak oluşan sıcaklığın ve kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Düşük kesme hızında ve düşük ilerleme miktarlarında düşük sıcaklık ölçülmüşler ancak takım aşınmasının ve yüzey kalitesinin bozuk olduğunu saptamışlardır. 135° uç açısına sahip matkapla delme işleminde daha fazla delik hasarı olduğunu belirtmişlerdir. 90° uç açısına sahip matkapla daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesine rağmen kesici takımında daha fazla aşınma olduğunu ifade etmişlerdir [85].

Tosun ve Muratoğlu, alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozitlerin farklı işleme parametrelerinde HSS, karbür ve TiN kaplı matkaplar kullanarak işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığını, yüksek ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını belirlemişlerdir. Matkap uç açısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı belirtmişlerdir [86].

Bayraktar ve Turgut, alüminyum levha üzerine istiflenmiş karbon fiber takviyeli kompozitlere farklı kesme hızı, uç açısı ve ilerleme seviyelerinde delik delme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Delik giriş ve çıkışlarında oluşan hasarlarda ilerleme miktarı, matkap uç açısı ve kesme hızının en etken parametreler olduğunu belirlemişlerdir. Düşük uç açısı, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızının optimum kesme parametrelerinin olduğunu vurgulamışlardır [87].

## 5.2 LİTERATÜR ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Alüminyum matrisli hibrit kompozitler konusunda daha önce yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, birçok takviye elemanının kullanıldığı ve mekanik özellikler üzerinde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. İşlenebilirlik konusunda yapılan çalışmalara gelince daha çok delik delme işlemi tercih edilmiştir. Bunun sebebi üretilen kompozitlerin kullanım amacı gereği delik delme işlemine maruz kalmalarıdır. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında hedeflenen çalışma ile üretilen hibrit kompozit malzemenin takviye oranının mekanik özellikler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Delik delme işleminde kuvvet, moment, yüzey pürüzlülüğü ve delik hasarı değerlendirilerek en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 6.1. HİBRİT KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

Tez çalışmasında hibrit kompozit numuneleri üretilmek amacıyla matris malzemesi olarak seçilen AA7075 alaşım tozlarına, alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve grafit tozları ilave edilmiştir. Kullanılan AA7075 alaşım tozları ( $<50 \mu m$ ) ile  $Al_2O_3$  ( $<20 \mu m$ ) ve grafit ( $<100 \mu m$ ) tozlarının kimyasal kompozisyonu Çizelge 6.1 verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kullanılan tozların kimyasal kompozisyonu.

	Al	Zn	Cu	Mg	O	B	C	Fe
AA7075	89,92	5,03	2,30	2,17				0,3
$Al_2O_3$	46,45				52,75			0,42
Grafit					4,64	6,87	86,11	2,38

##### 6.1.1. Tozların Karıştırılması

Bu çalışmada kullanılan tozların ağırlıkları 0,01 mg hassasiyete sahip (Radvag AS 220 R2 marka) hassas terazide tartılarak karıştırma işlemi yapılmıştır. Kullanılan tozların ağırlık oranları Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Kullanılan tozların takviye oranları.

Ağırlıkça oran (%)			
	AA7075	$Al_2O_3$	Grafit
1	93	5	2
2	88	10	2
3	83	15	2

Tozların karıştırılma işlemi sırasında farklı çaplarda çelik bilyeler kullanılmıştır. Karıştırma işlemi sonrası oksitlenmeyi önlemek amacıyla ağırlıkça %1 oranında polietilen glikol ilave edilen tozlar plastik saklama kaplarında muhafaza edilmiştir.

### 6.1.2. Soğuk Presleme İşlemi

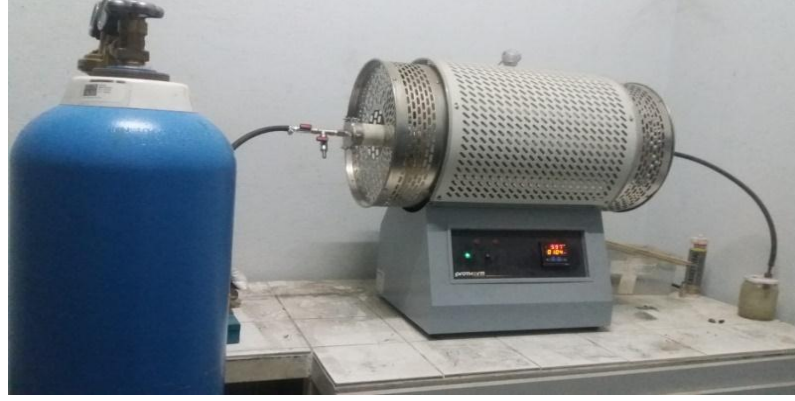
Presleme işlemi Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği atölyesinde bulunan 200 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılarak yapılmıştır. Toz karışımları iç çapı 40 mm olan kalıpta (Şekil 6.1) 700 MPa basınç altında tek eksenli olarak preslendi. Presleme işleminde zımba ve kalıp yüzeyleri çinko stearat kullanılarak yağlanmıştır. Bir test numunesi için yaklaşık 35 g tozun preslenmesi ile 40 mm çapında 10 mm kalınlığında silindirik numuneler elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Numune üretiminde kullanılan kalıp ve üretilen numune.

### 6.1.3. Sinterleme işlemi

Presleme sonrası elde edilen kompakt numunelerin dayanımlarını artırmak amacıyla sinterleme işlemi uygulanmıştır. Test numunelerinin sinterleme işleminde, önce 100 °C de 10 dk beklendi, daha sonra 10 °C/dk hız ile 450 °C sıcaklığa ulaşıldı ve 10 dakika beklendi ardından, 590 °C'de 1 saat beklendi 10 °C/dk hız ile soğutuldu. Sinterleme işlemleri Şekil 6.2'te verilen atmosfer kontrollü tüp fırında yüksek saflıktaki akan argon atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.

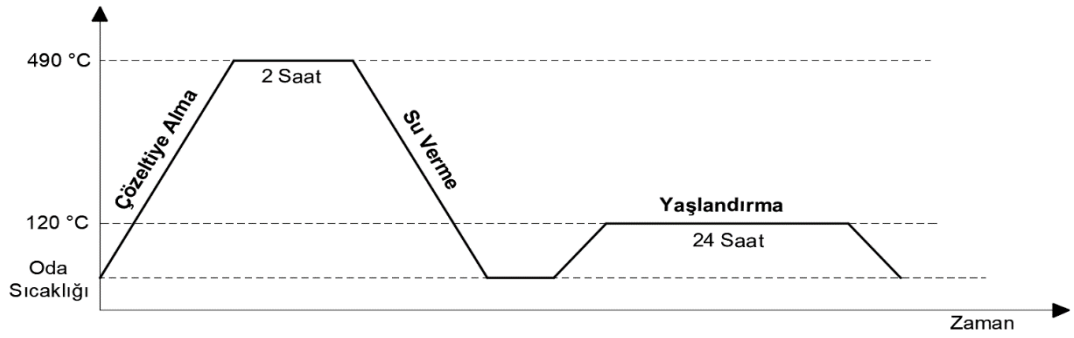


Şekil 6.2. Sinterlemede kullanılan ısıtım fırını.

Sinterleme işleminden sonra numunelere T6 yaşlandırma işlemi uygulanmıştır (Şekil 6.3). Yaşlandırma için 490 °C’de 2 saat solüsyona alınan numuneler suda soğutulduktan sonra 120 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 6.4).



Şekil 6.3. Yaşlandırmada kullanılan ısıtım fırını.



Şekil 6.4. T6 ısıtım işlem basamakları.

## 6.2. YOĞUNLUK TESTLERİ

Sinterleme işleminden sonra üretilen hibrit kompozit malzemelerin yoğunluk testleri Karabük Üniversitesi TOBB MYO laboratuvarında bulunan Radvag As 220 R2 marka hassas terazi (0,1 mg) ve yoğunluk kiti kullanılarak Arşimet prensibine göre yapılmıştır (Şekil 65).



Şekil 6.5 Hassas terazi ve yoğunluk kiti.

## 6.3. SERTLİK TESTLERİ

Üretilen hibrit kompozit numunelerin farklı beş noktasından Şekil 6.6'da görülen Shimadzu mikro sertlik cihazında 15 saniye süreyle HV 0.5 değerinde 4.903 N yük uygulanarak sertlik değerleri ölçülmüş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 6.6. Mikro sertlik cihazı.



#### 6.4. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

Bu tez çalışmasında üretilen hibrit kompozitlere delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delik delmede kullanılan işleme parametrelerini belirleyebilmek için üç farklı kesme hızı ve ilerleme hızında deneyler yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelere eklenen takviye malzemelerinin oranlarının işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır.

#### 6.5. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIMLAR VE KESME PARAMETRELERİ

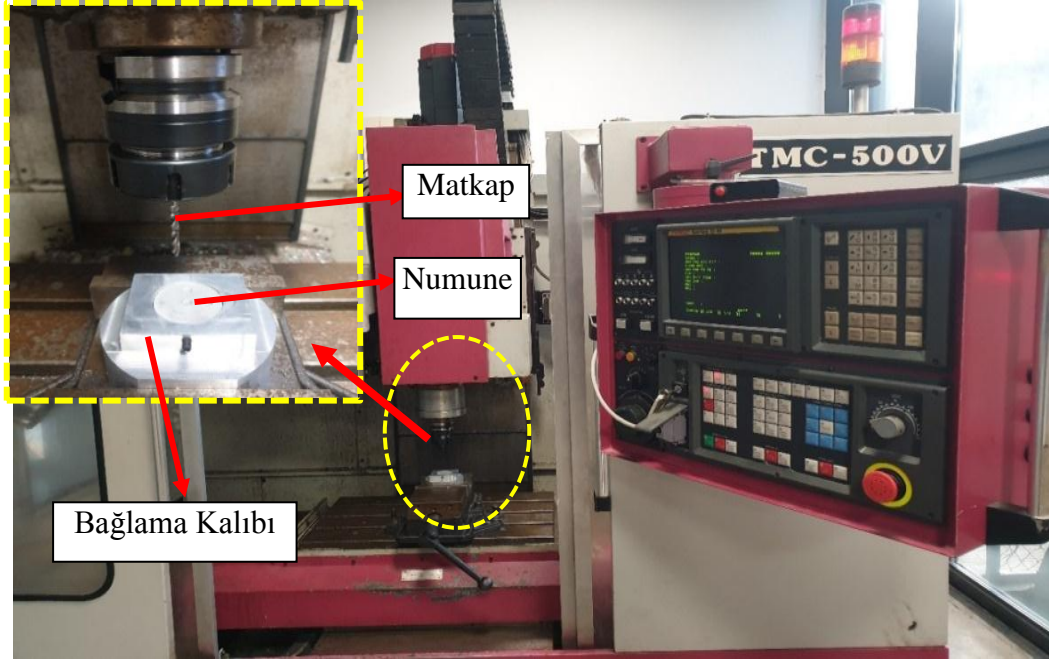
5 mm çapında Karcan marka tungsten karbür (WC) kaplamasız matkap uçlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan matkaplar ve kesme parametreleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Deneylerde kullanılan matkapların özellikleri ve işleme parametreleri.

Kesici Malzeme	Uç Açısı	Kaplama	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme Miktarı (mm/dev)
Karbür	118 <sup>0</sup>	Kaplamasız	1000	0,1
			2000	0,15
			3000	0,2

#### 6.6. TAKIM TEZGAHI VE DENEY DÜZENİ

Deneysel çalışma Karabük Üniversitesi TOBB MYO Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Laboratuvarında yer alan dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.7). Test numunelerinin bağlanabilmesi için kalıp yapılmış ve numuneler bu bağlama kalıbına bağlanarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir işleme parametresinden sonra matkaplar değiştirilmiştir.



Şekil 6.7. Deney düzeneği.

## 6.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

MarSurf M 300 tipi Mahr marka yüzey pürüzlülük cihazıyla numune 90° döndürülerek dört farklı bölgeden delik yüzeyinde oluşan pürüzlülük değerleri örnekleme uzunluğu 5,6 mm alınarak ölçülmüş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Şekil 6.8).



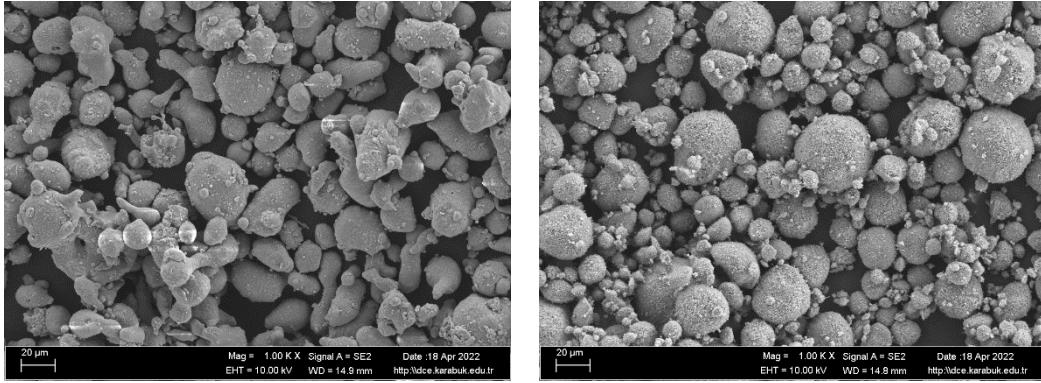
Şekil 6.8 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

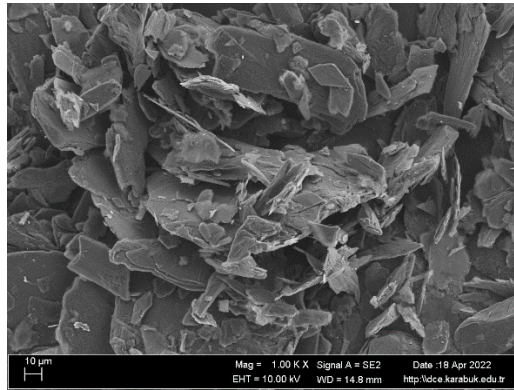
#### 7.1. KULLANILAN TOZLARIN KARAKTERİZASYONU VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ

Soğuk presleme yöntemiyle üretilen AA7075 matrisli hibrit kompozit numunelerin üretiminde kullanılan tozların SEM görüntüleri Şekil 7.1.'de verilmiştir. Şekil 7.1. incelendiğinde alüminyum alaşım tozları ile  $Al_2O_3$  tozlarının küresel bir morfolojiye, grafitin ise lamelli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



a) AA7075

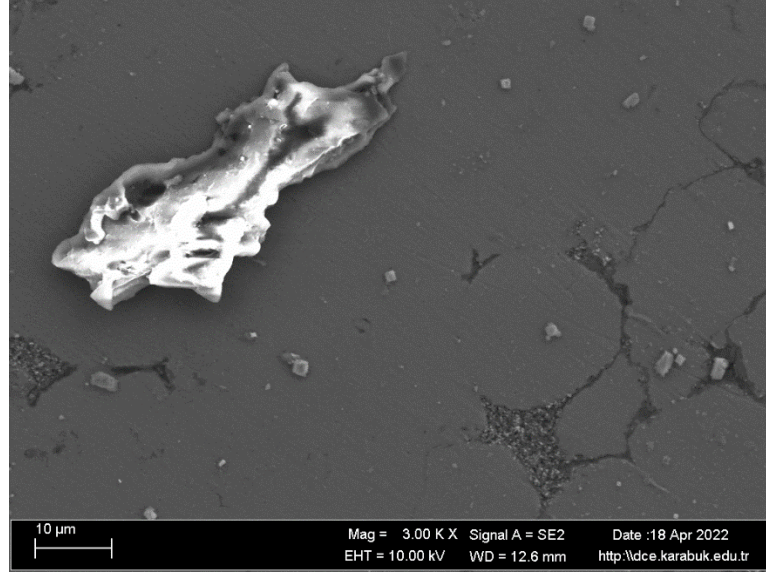
b)  $Al_2O_3$



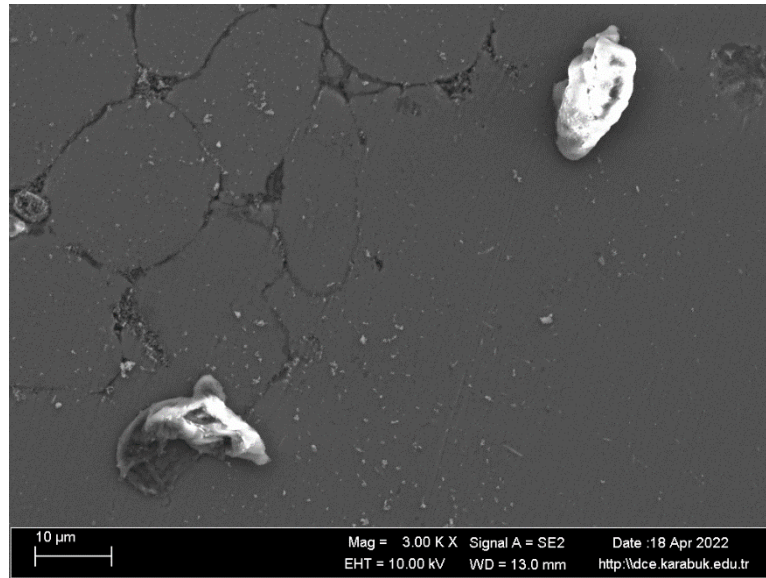
c) Grafit

Şekil 7.1. AA7075,  $Al_2O_3$  ve grafit tozlarının SEM görüntüleri.

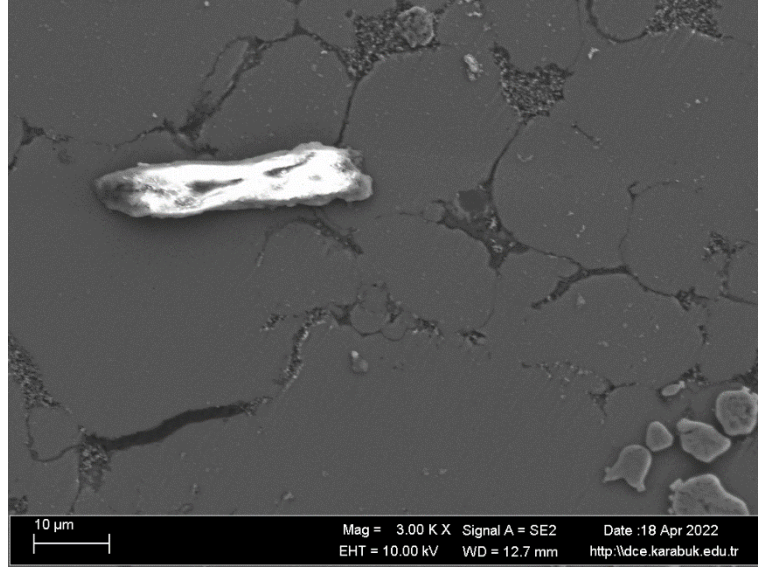
Farklı partikül oranlarına sahip hibrit kompozit numunelerin mikro yapıları SEM ile incelenmiştir. Şekil 7.2.-7.4.'de sırasıyla %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 grafit takviye oranına sahip numunelerin mikroyapıları verilmiştir.



Şekil 7.2. %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 grafit takviyeli kompozitin mikroyapısı.



Şekil 7.3. %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 grafit takviyeli kompozitin mikroyapısı.

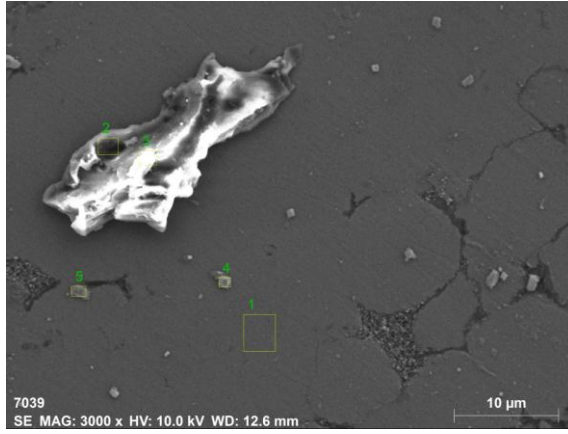


Şekil 7.4. %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 grafit takviyeli kompozitin mikroyapısı.

Kompozit numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının artışına bağlı olarak yapıdaki gözenek miktarının da arttığı görülmektedir. Gözenek miktarındaki bu artışta sert Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin AA7075 matris partikülleri arasında topaklanmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

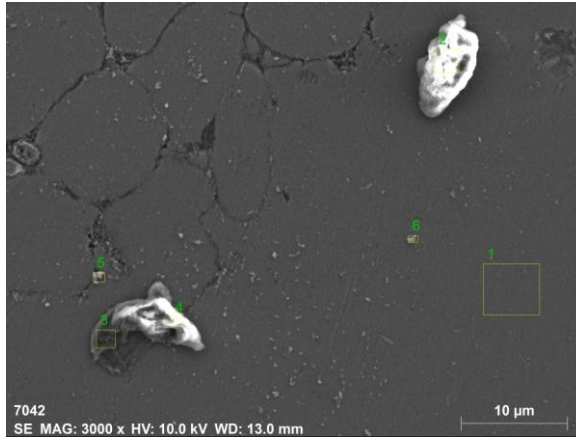
## 7.2. AA7075 MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİT MALZEMELERİN ELEMENTEL ANALİZLERİ

Kompozit numunelerin SEM mikroyapı incelemesinde ayrıca EDX analizi uygulanarak matris yapının kimyasal kompozisyonu ve matris yapı içerisindeki diğer fazların varlığı tespit edilmiştir. Şekil 7.5.-7.7.'de numunelerin EDX analiz sonuçları verilmiştir.



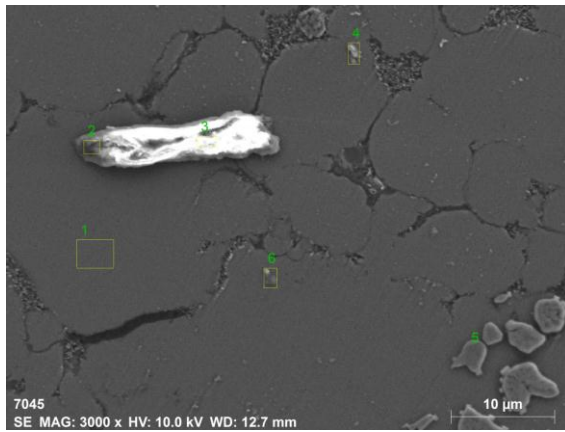
Spectrum	C	O	Mg	Al	Cu	Zn
1	5.11	3.48	1.53	84.01	1.97	3.90
2	70.65	10.16	0.23	2.75	0.00	16.20
3	69.99	19.76	0.17	0.68	0.00	9.40
4	14.13	4.75	0.85	41.22	0.00	39.04
5	11.78	6.28	1.36	48.83	0.00	31.75
Mean value:	34.33	8.89	0.83	35.50	0.39	20.06
Sigma:	33.02	6.58	0.62	34.82	0.88	14.89
Sigma mean:	14.77	2.94	0.28	15.57	0.39	6.66

Şekil 7.5. AA7075 + %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %2 hibrit kompozit malzemenin EDX analizi.



Spectrum	C	O	Mg	Al	Cu	Zn
1	4.22	2.21	1.10	86.65	2.01	3.81
2	56.76	27.29	0.31	2.67	0.00	12.98
3	46.43	15.20	0.44	28.68	0.00	9.25
4	56.45	25.75	0.34	3.73	0.00	13.73
5	6.47	23.74	1.57	64.24	1.46	2.51
6	8.53	14.58	1.83	70.20	1.77	3.10
Mean value:	29.81	18.13	0.93	42.70	0.87	7.56
Sigma:	25.94	9.46	0.67	35.97	0.97	5.10
Sigma mean:	10.59	3.86	0.27	14.68	0.40	2.08

Şekil 7.6. AA7075 + %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %2 hibrit kompozit malzemenin EDX analizi.

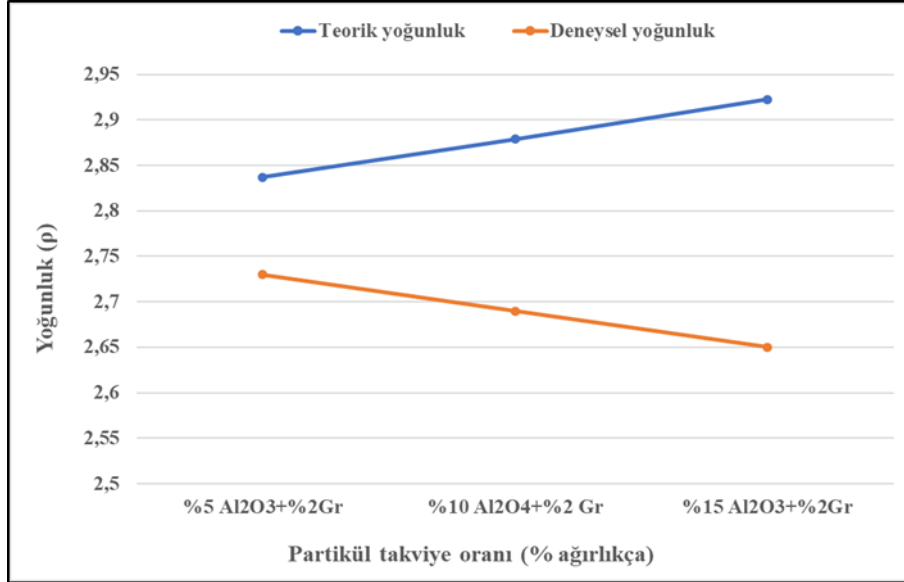


Spectrum	C	O	Mg	Al	Cu	Zn
1	3.95	2.25	1.28	85.09	2.44	4.99
2	64.86	22.20	0.39	2.48	0.00	10.08
3	62.37	18.54	0.44	2.59	0.00	16.06
4	6.59	14.91	1.07	70.28	1.71	5.43
5	5.85	9.88	1.20	49.05	0.00	34.01
6	21.88	6.20	1.00	64.92	1.79	4.20
Mean value:	27.59	12.33	0.90	45.74	0.99	12.46
Sigma:	28.65	7.58	0.39	35.39	1.11	11.46
Sigma mean:	11.70	3.10	0.16	14.45	0.45	4.68

Şekil 7.7. AA7075 + %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %2 hibrit kompozit malzemenin EDX analizi.

### 7.3. YOĞUNLUK TEST SONUÇLARI

Hibrit kompozit numunelerde  $Al_2O_3$  takviye oranının yoğunluğa etkisini belirlemek amacıyla Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Soğuk presleme ile üretilen AA7075 matrisli hibrit kompozit numunelerinin yoğunluk değişimleri Şekil 7.8.'de görülmektedir. Şekil 7.8. incelendiğinde deneysel yoğunluklar %5, %10 ve %15  $Al_2O_3$  takviyeli numunelerde sırasıyla  $2,73 \text{ gr/cm}^3$ ,  $2,69 \text{ gr/cm}^3$  ve  $2,59 \text{ gr/cm}^3$  olarak ölçülmüştür.  $Al_2O_3$  takviye oranının artması yoğunluğun azalmamasına neden olmuştur.  $Al_2O_3$  takviye oranının artması presleme esnasında toz akışını olumsuz etkilediği gibi matris partikülleri arasında topaklanması sonucu da sinterleme işleminde bağ oluşumunu olumsuz etkileyip yoğunluk azalmasına sebep olmaktadır. Deneysel yoğunluğun azalması gözenek oluşumunun bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. AA7075 + %5  $Al_2O_3$ +%2 Gr numunelerde gözeneklilik oranı %3,7, AA7075 + %10  $Al_2O_3$ +%2 Gr numunelerde gözeneklilik oranı %6,5, AA7075 + %15  $Al_2O_3$ +%2 Gr numunelerde gözeneklilik oranı %9,3 olarak ölçülmüştür.

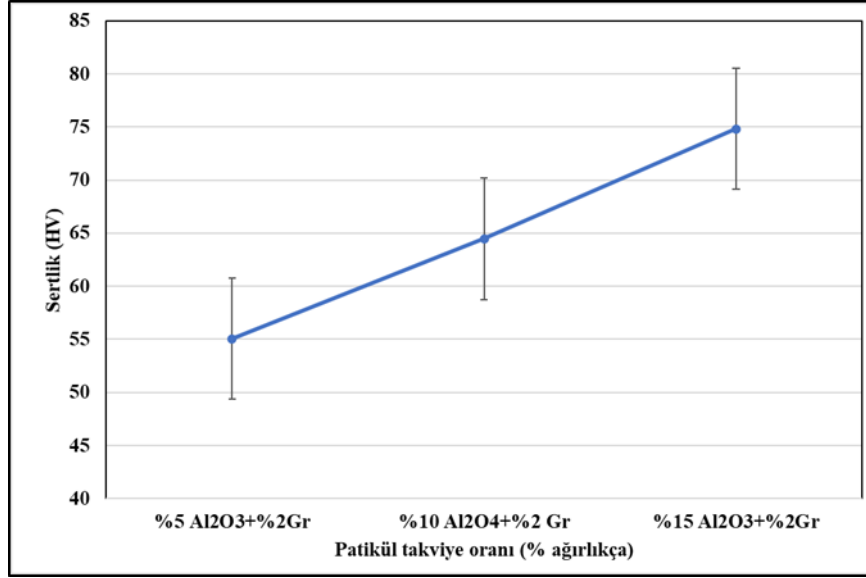


Şekil 7.8. Hibrit kompozitlerin teorik ve deneysel yoğunluk değişimi.

### 7.4. SERTLİK TEST SONUÇLARI

Numunelerin sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçme yöntemiyle HV 0.5 değerinde 4.903 N'da 15 saniye süreyle mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Kompozit

numunelerde ağırlıkça partikül oranı arttıkça sertliğin arttığı görülmüştür (Şekil 7.9). En yüksek sertlik değeri (74,8 HV) %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitler de elde edilmiştir.

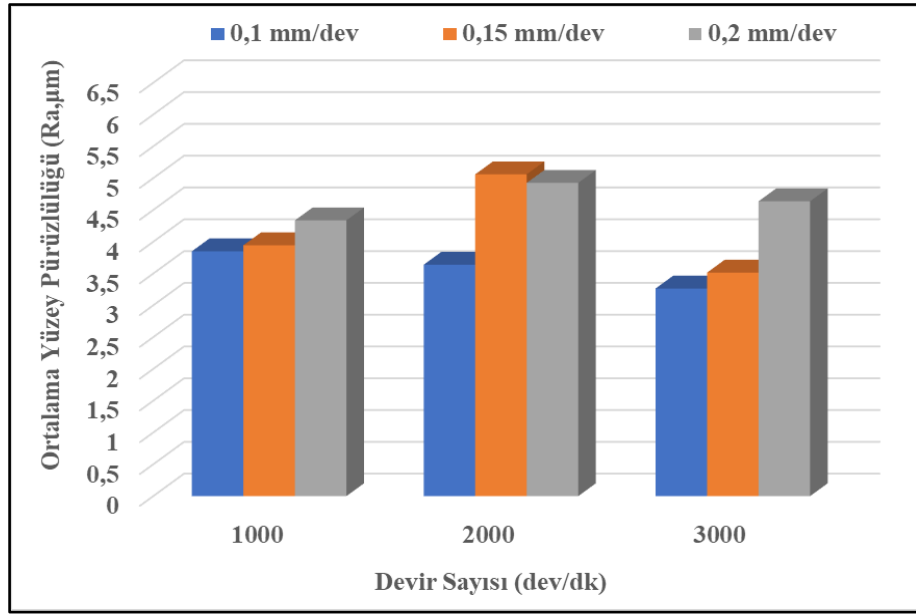


Şekil 7.9. Üretilen hibrit kompozitlerin sertlik değerleri.

## 7.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

İşlenebilirlikte en önemli işleme kriterlerinden biri yüzey pürüzlülük değeridir. İşlenebilirlik sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük nitelikleri korozyon direnci, yorulma dayanımı ve tribolojik özelliklerinde iyileşme yönünde etkiye sahip olduğunu göstermektedir [88]. Yüzey pürüzlülüğüne işleme parametreleri haricinde iş parçası malzemesinin özellikleriyle beraber kullanılan kesici takımın malzemesi ve geometrisi de etki etmektedir [89]. Bu noktadan hareketle, farklı işleme parametrelerinde hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi ile en uygun işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.



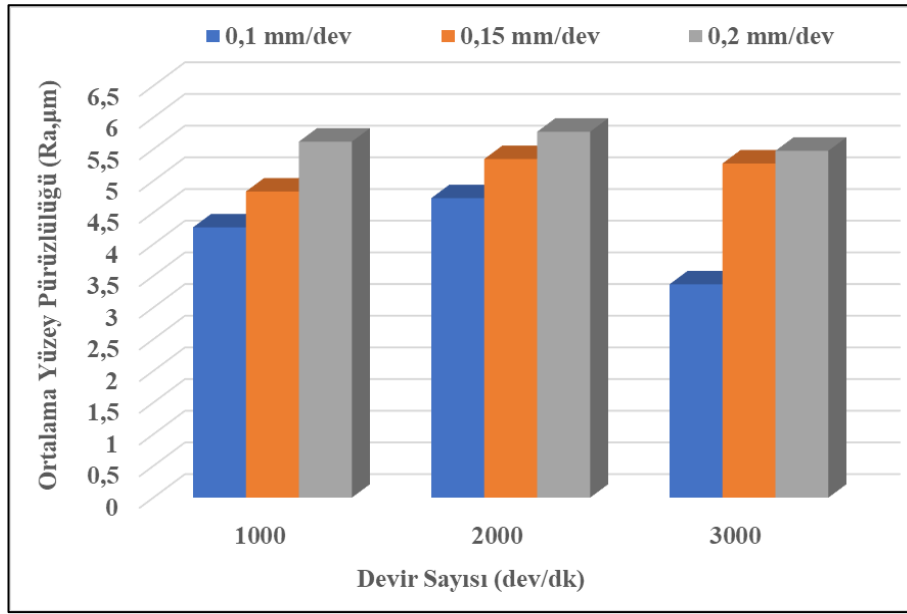


Şekil 7.10. AA7075+%5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri.

AA7075+%5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompozit malzemenin kaplamasız karbür matkapla farklı kesme hızı ve ilerleme miktarları kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin değişimleri Şekil 7.10.'da gösterilmiştir. En düşük Ra değeri 3,264 µm, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, 3000 dev/dak devir sayısında elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlük değeri 5,06 µm, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı, 2000 dev/dk devir sayısında elde edilmiştir.

%5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 Gr katkı oranına sahip grafitten elde edilen malzemenin kaplamasız matkapla delmede elde edilen yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde 1000 dev/dk devir sayısında ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %2, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %9 artış olmuştur. 2000 dev/dk'da ilerleme miktarı 0,1 mm/dev 'den 0,15 mm/dev çıktığında pürüzlülük değerinde %28 artış meydana gelirken 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev ilerlemeye çıktığında %3'lük bir azalma meydana gelmiştir. 3000 dev/dk'da ilerleme miktarı 0,15 mm/dev' e çıktığında %7, 0,15 'mm/dev'den 0,2 mm/dev çıktığında %24 artış meydana gelmiştir. Kompozit malzemelerde takviye elemanın dağılımı ve büyüklüğü ile oluşan porozite yüzey kalitesini etkiler ve yüzey kalitesinde istenmeyen değişimlere neden olabilir [90].

AA7075+%10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompozit malzemenin kaplamasız karbür matkapla farklı devir sayısı ve ilerleme miktarları kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin değişimleri Şekil 7.11.'de gösterilmiştir. En düşük Ra değeri 3,368 µm, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, 3000 dev/dak devir sayısında elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlük değeri 5,776 µm, 0,2 mm/dev ilerleme miktarı, 2000 dev/dk devir sayısında elde edilmiştir.



Şekil 7.11. AA7075+%10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri.

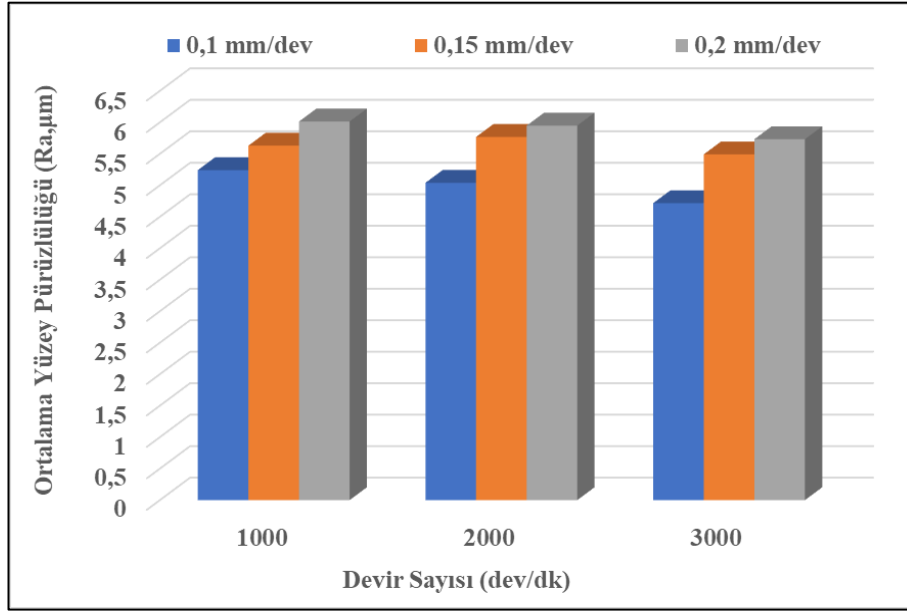
%10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 Gr katkı oranına sahip grafitten elde edilen malzemenin kaplamasız matkapla 1000 dev/dk'da delmede elde edilen yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %12 artış gözlenirken, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %14 artış olmuştur. 2000 dev/dk'da ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %12, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %7 artış olmuştur. 3000 dev/dk'da ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %36, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %7'lik artış olmuştur.

Farklı katkı oranlarına sahip hibrit kompozitlerin delinmesinde düşük ilerleme miktarında yüzey kalitesinin düşük olduğu ve düşük ilerlemenin tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir. İlerleme hızındaki artış, itme kuvvetini ve torku artırır ve kötü yüzey kalitesine yol açar. Ayrıca ilerleme hızındaki artış, delme sırasında yüzey pürüzlülüğünü artıran ısı üretimini artırır. İlerleme hızındaki artış, kompozitlerin delinmesinde itme kuvvetini artırır. İtme kuvvetindeki bu artış, malzemede bağ çatlmasına neden olur. İlerleme hızındaki artış, delme sırasında yüzey pürüzlülüğünü artıran ısı üretimini artırır. Sert seramik takviyesinin ağırlıkça %'indeki artış itme kuvvetini ve takım aşınmasını artırır. Metal matriste seramiğin varlığı sertliği, çekme mukavemetini ve ısı direncini artırarak yüzeyin kötüleşmesine neden olmaktadır [91-93]

Matris parçacıkları ve  $Al_2O_3$  katkı maddesinin takım-iş parçası arasında kalarak tekrar kesilmeye maruz kalmasıyla birlikte talaş oluşumu kararsız bir hal alarak delik yüzeyinde Ra değerinin artmasına neden olmaktadır. Ancak bazı parametrelerde artan devir sayısı ile birlikte Ra değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu sonuç, genelde yüksek ilerleme miktarlarının yüksek kesme hızlarında gerçekleşmektedir. İlerlemenin artmasıyla delme sırasında talaş tahliyesi iyileştiğinden pürüzlülük değerlerinde azalma meydana gelmiştir [94].

Grafitin daha az yoğun olması, zayıf nokta bölgesi görevi görür. Takım bu bölgelerin üzerinden geçtiğinde, ezilmiş grafit parçacıkları derin bir vadi oluşturur ve dolayısıyla malzemenin yüzey pürüzlülüğünü artırır. Kaldırılan grafit parçacıkları işlenmiş yüzeye bulaşır. Bu bulaşmış grafit tabakası ayrıca sürtünme katsayısını da düşürür [66,93].

AA7075+%15  $Al_2O_3$ +%2 Gr hibrit kompozit malzemenin kaplamasız karbür matkapla farklı devir sayısı ve ilerleme miktarları kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin değişimleri Şekil 7.12'de gösterilmiştir. En düşük Ra değeri 4,716  $\mu m$ , 0,1 mm/dev ilerleme miktarında, 3000 dev/dak devir sayısında elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlük değeri 6,013  $\mu m$ , 0,2 mm/dev ilerleme miktarı, 1000 dev/dk devir sayısında elde edilmiştir.



Şekil 7.12. AA7075+%15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompozit malzemenin delinmesinde oluşan yüzey pürüzlülükleri.

%15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2 Gr katkı oranına sahip grafitten elde edilen malzemenin kaplamasız matkapla 1000 dev/dk'da delmede elde edilen yüzey pürüzlülükleri değerlendirildiğinde ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %7 artış gözlenirken, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %6 artış olmuştur. 2000 dev/dk'da ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %13, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %3 artış olmuştur. 3000 dev/dk'da ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,15 mm/dev çıkmasıyla Ra değerinde %14, 0,15 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e çıktığında Ra değerinde %4'lük artış olmuştur.

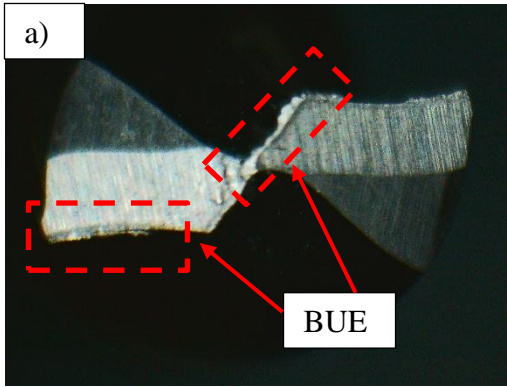
Grafikler incelendiğinde ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. Ahamed vd, alüminyum matrisli hibrit kompozitlerin işlenebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada, 118° uç açılı, 5 mm çapında HSS matkap kullanmışlardır. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinde arttığını saptamışlardır [79].

Üç farklı katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin delinmesinde kullanılan matkaplar stereo mikroskobunda incelenmiştir. Matkapların fotoğrafları Şekil 7.13'te

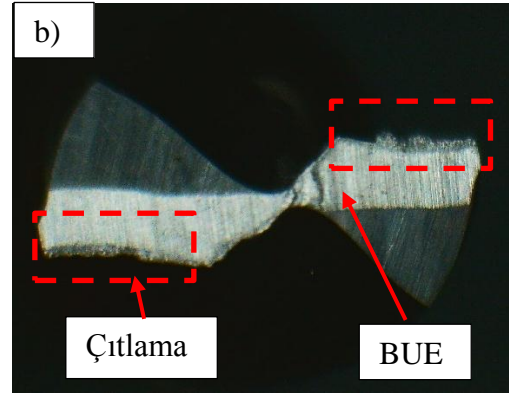
gösterilmiştir. Bu görüntüleri incelendiğinde kaplamasız karbür matkaplarda meydana gelen aşınma tiplerinin genellikle yanak aşınması, çatlama ve BUE şeklinde olduğu görülmüştür.

Hibrit kompozit malzemenin delinmesinde ilerlemedeki artışla yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasının diğer bir nedeni talaş sıvanması (BUE) oluşumuna atfedilebilir. Şekil 7.13'te matkap yüzeylerin bu sıvanmalar açıkça görülmektedir. Okay, alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C ve KNF ile takviye edilmiş hibrit kompozit malzemenin delinmesinde takviye elemanın ve matkap uç açısının artmasıyla BUE'nin azaldığını ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeye neden olduğunu belirtmiştir. BUE oluşumunun itme kuvvetlerini arttırdığını ifade etmiştir [95].

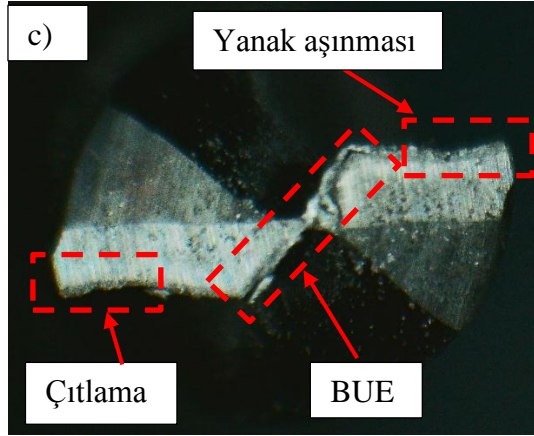
İlerleme hızındaki artışla birlikte çatlamanın arttığı görülmektedir. İlerleme hızındaki artış birim zamanda kesilen talaş hacminin artmasına neden olarak metalin kopmaya daha fazla direnç göstermesine, iş parçasıyla takım arasındaki temasın artmasına neden olarak kesici kenarda kırılmalara neden olmaktadır [95].



N=2000 dev/dk, f=0,15 mm/dev



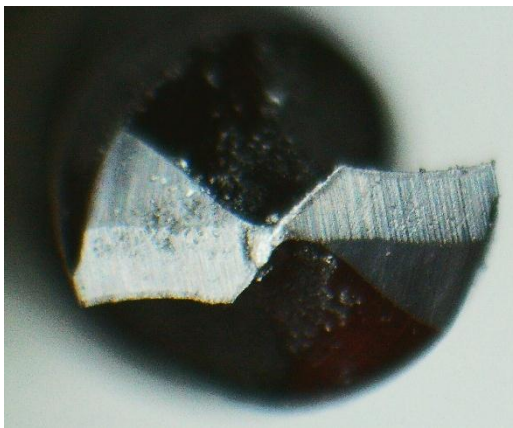
N=2000 dev/dk, f=0,15 mm/dev



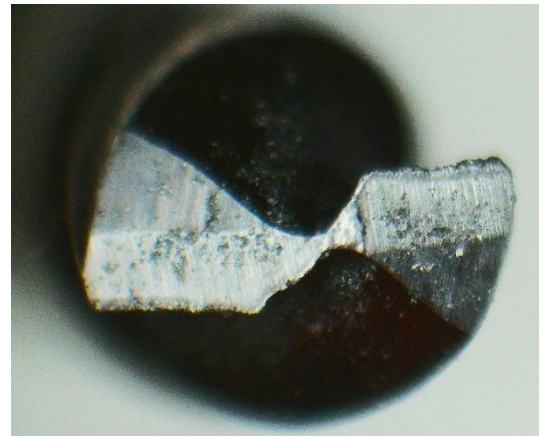
N=2000 dev/dk, f=0,15 mm/dev

Şekil 7.13. Hibrit numunelerin delinmesinde kullanılan matkapların görüntüleri a) %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr b) %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr c) %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr.

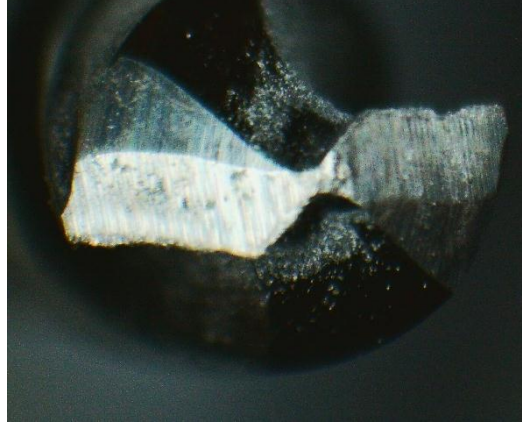
Çok yaygın bir aşınma mekanizması olan abrasiv aşınma mekanizması, çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert parçacıklarının aşındırıcı etkisiyle oluşmaktadır. Kesici takımlarda görülen yanak aşınması abrasiv aşınma mekanizması sonucunda kesici kenarın yan yüzeylerinde meydana gelmiştir. Abrasiv yanak aşınmasının Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranının artması ile arttığı görülmektedir. Katkı oranının artmasını hibrit numunenin sertliğinin artmasına aynı zamanda sert partikül miktarının artmasına neden olmaktadır. Sert parçacıklar matkap yanaklarında abrasiv aşınmaya neden olmaktadır. Şekil 7.14'te farklı katkı oranına sahip hibrit malzemelerin delinmesinde kullanılan matkapların görüntüsü verilmiştir.



a) N=3000 dev/dk f= 0,2 mm/dev



b) N=3000 dev/dk f= 0,2 mm/dev

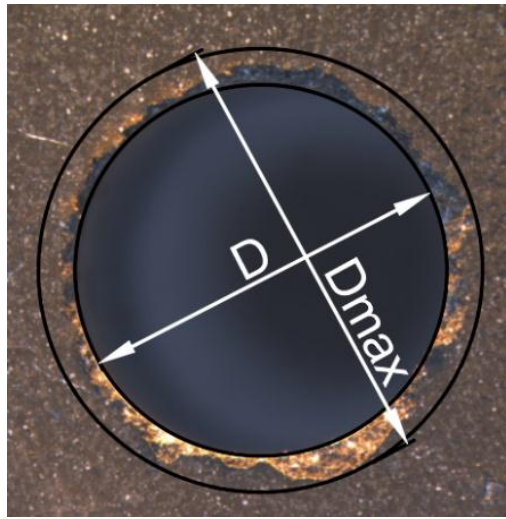


c)  $N=3000$  dev/dk  $f= 0,2$  mm/dev

Şekil 7.14. Hibrit numunelerin delinmesinde kullanılan matkapların görüntüleri a) %5  $Al_2O_3$ +%2 Gr b) %10  $Al_2O_3$ +%2 Gr c) %15  $Al_2O_3$ +%2 Gr.

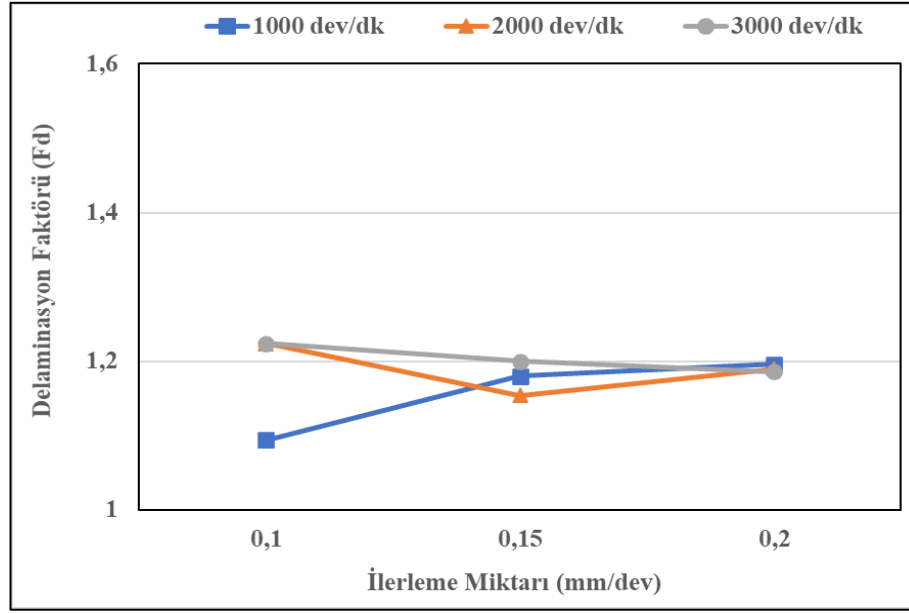
#### 7.6. DELİK ÇIKIŞ HASARI (DELAMİNASYON) DEĞERLENDİRİLMESİ

Delaminasyon delme işlemi esnasında kompozit malzemenin gördüğü hasar şeklinde tanımlanmaktadır. Delmeye bağlı delaminasyonun hem girişte hem de çıkışta meydana gelebileceğini belirtmiştir. Delaminasyon faktörünü ( $F_d$ ), hasar görmüş en büyük çapın ( $D_{max}$ ) deliğin çapına ( $D$ ) oranı olarak belirlemişlerdir Delik delmeden sonra oluşan hasarlı bölge Şekil 7.15’te gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Delikteki delaminasyon hasarının gösterimi.

Kompozitlerin malzemelerin delinmesinde karşılaşılan problemlerden biri delaminasyon faktörü olup, delik giriş ve çıkışında oluşan katman ayrışması olarak tanımlanmaktadır. Delaminasyonun meydana gelmesi kesme parametrelerinin ve kesici takım özelliklerinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir [96].



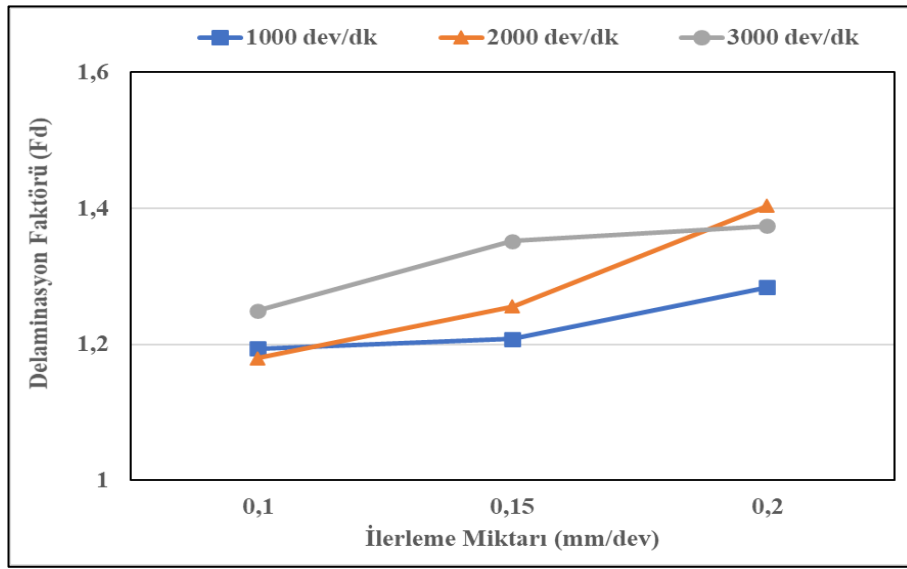
Şekil 7.16. AA7075+%5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompoziti delmede oluşan delaminasyon faktörü.

Şekil 7.16'da %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr katkılı kompozit malzemenin delinmesinde delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörünün devir sayısı ve ilerleme miktarına göre değişimleri gösterilmiştir. Delaminasyon faktörünün ilerleme miktarı ve kesme hızı değerlerine bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Kuvvetler üzerinde meydana gelen bu artışlar delaminasyon faktörünün artmasına sebep olmaktadır. En yüksek delaminasyon faktörü 0,1mm/dev ilerleme miktarı ve 3000 dev/dk devirde hibrit kompozit malzemenin delinmesinde elde edilirken en düşük delaminasyon faktörü 0,1 mm/dev ilerleme ve 1000 dev/dk'da hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde meydana gelmiştir.

Şekil 7.17'te %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr katkılı kompozit malzemenin delinmesinde delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörünün devir sayısı ve ilerleme miktarına göre değişimleri gösterilmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 0,2 mm/dev ilerleme

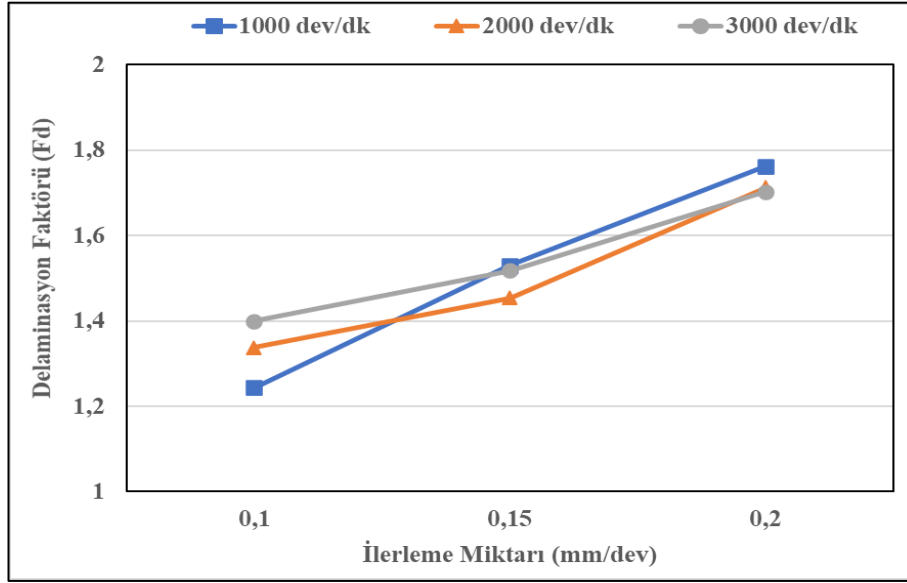


miktarı ve 120 m/dk kesme hızında %1 grafit katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde oluşurken en düşük delaminasyon faktörü 0,15 mm/dev ilerleme miktarı 40 m/dk kesme hızında %4 grafit katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde oluşmuştur. En yüksek delaminasyon faktörleri %1 grafit katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde oluşmuştur. Devir sayısı ve ilerlemenin artmasıyla delaminasyon faktörünün arttığı görülmektedir.



Şekil 7.17. AA7075+%10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompoziti delmede oluşan delaminasyon faktörü.

Şekil 7.18'de %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr katkılı kompozit malzemenin delinmesinde delik çıkışında oluşan delaminasyon faktörünün devir sayısı ve ilerleme miktarına göre değişimleri gösterilmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 0,2 mm/dev ilerleme miktarı ve 120 m/dk kesme hızında %1 grafit katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde oluşurken en düşük delaminasyon faktörü 0,15 mm/dev ilerleme miktarı 40 m/dk kesme hızında %4 grafit katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde oluşmuştur. En yüksek delaminasyon faktörleri %1 grafit katkı oranına sahip hibrit kompozit malzemenin matkapla delinmesinde oluşmuştur. Devir sayısı ve ilerlemenin artmasıyla delaminasyon faktörünün arttığı görülmektedir.



Şekil 7.18. AA7075+%15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompoziti delmede oluşan delaminasyon faktörü.

Farklı takviye oranına sahip AA7075 hibrit kompozitin farklı işleme parametrelerinde delinmesinde delik çıkışında oluşan hasarın ilerleme miktarı arttıkça hasarının da arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artması matris ile Takviyenin ara yüzey bağ kuvveti ilerleme miktarı arttıkça bağ kuvvetinin azalmasına neden olmuştur. Üretilen kompozit malzemede takviye oranı arttıkça yoğunluğun azaldığı bu durumun gözenek oluşumunu arttırdığı görülmektedir. Bu gözenek artışı matris-takviye bağ kuvvetini etkilemektedir. Gözenek miktarı yüksek olan AA7075+%15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%2 Gr hibrit kompozitte en yüksek delaminasyon faktörü olduğu görülmektedir. Ayrıca delme sırasında oluşan ısı delik sonuna doğru artarak delik çıkışındaki hasarın artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Bayraktar ve Turgut, yaptıkları çalışmada delaminasyon faktörüne etki eden en önemli işleme parametrelerini ilerleme miktarı, matkabın uç açısı ve kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca minimum delaminasyon faktörü için HSS takımlarla yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme miktarının delaminasyonu azalttığını belirtmişlerdir [87].

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen AA7075 matris esaslı farklı katkı oranlarına sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve grafit içeren hibrit kaplamasız karbür matkapla delik delinmesinde katkı oranı, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney numunesi belirlenen parametrelerde işlenmiş ve işleme sonrası işlenen yüzeyde yüzey pürüzlülükleri ile delaminasyon miktarları ölçülmüştür.

Deneyle sonucunda elde edilen bulgular aşağıda belirtilmiştir.

- Numunelerin deneysel yoğunlukları %5, %10 ve %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli numunelerde sırasıyla 2,73 gr/cm<sup>3</sup>, 2,69 gr/cm<sup>3</sup> ve 2,59 gr/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Yoğunluğun azalması gözenek oluşumunun bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.
- Numunelerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesindeki artışla birlikte sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek sertlik değeri 74,8 HV ile %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitte elde edilmiştir.
- Farklı takviye oranına sahip hibrit kompozitlerin delinmesinde ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüklerinde artış görülmüştür.
- Hibrit kompozitte bulunan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye oranı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünde artış olmuştur.
- Delik çıkışındaki delaminasyon incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla delik çıkışında delaminasyon faktörünün artmıştır.
- Delik çıkışında en fazla delaminasyon faktörü %15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranına sahip malzemeyi 0,2 mm/dev ilerleme miktarı ve 1000 dev/dk ile delmede ölçülürken en düşük delaminasyon faktörü %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı oranına sahip malzemeyi 0,1 mm/dev ilerleme ve 1000 dev/dk'da oluşmuştur.

- Matkapların görüntüleri incelendiğinde matkaplarda yanak aşınması, çatlama ve BUE oluştuğu görülmüştür. Bu aşınmalar yüzey pürüzlülüğünün ve delaminasyonun artmasına neden olmuştur.

Bu çalışmadan el edilen yukarıdaki bulgular ışığı altında, bundan sonraki yapılacak çalışmalara yön vermesi bakımından aşağıdaki öneriler getirilebilir:

- Farklı matris ve takviye elamanlarına sahip hibrit kompozitlerin işlenebilirliği araştırılabilir.
- Farklı kompozit üretim yöntemlerinin işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılabilir.
- Farklı matris ve katkı elemanına sahip kompozit malzemelerin işlenmesinde farklı kesici takım malzemeleri ve kesici geometrinin işlenebilirlik üzerinde etkileri araştırılabilir.
- Delaminasyon faktörünün ölçüsünden görüntü işleme yöntemlerinden yararlanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Bunsell, A.R., Renard, J., “Fundamentals of fibre reinforced composite materials”, *CRC Press*, Boca Raton, FL, USA, (2005).
2. Mohan, N., Ramachandra, A., Kulkarni, S., “Influence of process parameters on cutting force and torque during drilling of glass-fiber polyester reinforced composites”, *Compos. Struct*, 71: 407–413 (2005).
3. Mazumdar, S., “Composites Manufacturing: materials, product, and process engineering”, *CRC Press*, Boca Raton, FL, USA, (2001).
4. Şahin, İ. Alüminyum “Matrisli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesi konusunda yapılan çalışmaların incelenmesi”, *Mühendis ve Makina*, 55(649): 9-16 (2014).
5. Tsukerman, S. A., “Powder Metallurgy”, *Pergamon*, (2013).
6. Šalák, A., Selecká, M., and Danninger, H., “Machinability of Powder Metallurgy Steels”, *Cambridge International Science Publishing Ltd*, 83 (2005).
7. Singha, J., and Chauhanb, A., “Characterization of hybrid aluminum matrix composites for advanced applications, A review”, *Journal of Materials Research and Technology*, 5(2):159–169 (2016).
8. Nagavally, R.R., “Composite materials - history, types, fabrication techniques, advantages, and applications”, *International Journal of Current Research*, 8(9): 37763-37768 (2016).
9. Zweben, C. “Composite Materials” Mechanical Engineers' Handbook Volume 1, 4th Edition, *Wiley*, 401-409 (2015).
10. İnternet: Tuncel, D., “Bal Peteği (Honeycomb) Kompozit” <https://www.slideshare.net/DuranTuncel1/balpetei-kompozitler-56210673>, (2015).
11. Bulut, M., “Türkiyede kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirmesi,” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2014).
12. Şenel, M.C., Gürbüz, M., and Koç, E., “Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler”, *Mühendis ve Makina*, 56(669): 36-47, (2015).

13. Hacıoğlu, T., “AlB4Cp kompozitlerinin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi ve karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
14. Kalemtaş, A., “Makale metal matrisli kompozitlere genel bir bakış” *Putech&Composites*, 8:18–30 (2014).
15. Kalaycıoğlu, A. S., 2010, “SiC tane katkılı alüminyum kompozitlerin toz metalurjisi ile üretimi ve karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2010).
16. Şahin, Y., "Kompozit malzemelere giriş", *Gazi Kitabevi*, Ankara (2000).
17. Uygur, İ. U., and Saruhan, H., “Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1):167-174, (2004).
18. Karakoç, H., “TM yöntemi ile B4C takviyeli AA6061 metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve balistik performansının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2017).
19. Ersoy, H., Y., "Kompozit Malzeme", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul (2001).
20. Esawi, A.M.K., Morsi, K, Sayed A., and Lanka, S., “Effect of carbon nanotube (CNT) content on the mechanical properties of CNT-reinforced aluminium composites”, *Compos. Sci. Technol*, 70: 2237–2241 (2010).
21. Kayıhan, M. “Yüksek performanslı hibrit kompozitlerde delik delme işleminin deneysel ve analitik olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2019).
22. Bodunrin, M. O., Alaneme, K. K., and Chown, L. H., “Aluminium matrix hybrid composites: a review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics”, *Journal of materials research and technology*, 4(4): 434-445 (2015).
23. Suryakumari, T. S. A. and Ranganathan, S., “Preparation and study the wear behaviour of aluminium hybrid composite”, *Mater. Today Proc.*, 5(2): 8104–8111 (2018).
24. Gökmen, U. “Sıcak ekstrüze edilmiş Al 2024 matrisli B4C/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli hibrit kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu” *J. Polytech.*, 19(4): 445–453 (2016).

25. Raj, A.M., Das, S.L., and Palanikumar, K., “Influence of drill geometry on surface roughness in the drilling of Al/SiC/Gr hybrid metal matrix composite”, *Indian J. Sci. Technol.*, 6(7): 5002–5007 (2013).
26. Mahdavi, S. and Akhlaghi, F., “Effect of SiC content on the processing, compaction behavior and properties of Al6061/SiC/Gr hybrid composites”, *J. Mater. Sci.* 46: 1502–1511 (2011).
27. Akhlaghi, F., and Mahdavi, S., “Effect of the SiC content on the tribological properties of hybrid Al/Gr/SiC composites processed by in-situ powder metallurgy (IPM) method”, *Adv. Mater. Res.* 264–265: 1878–1886 (2011).
28. Ravindran, P., Manisekar, K., Rathika, P., and Narayanasamy, P., “Tribological properties of powder metallurgy-processed aluminium self-lubricating hybrid composites with SiC additions”, *Mater. Des.*, 45: 561–570 (2013).
29. German, R.M. “Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing”, Çeviri Editörleri: Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., *MPIF*, New Jersey, 4-272, (2007).
30. Karabulut, H., “Toz metalurjisi yöntemiyle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli Al matrisli kompozit üretiminde mekanik alaşımlama süresinin kompozit özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2011).
31. Kumdalı, F., “Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).
32. Kılıç, E. F., “Alüminyum alaşımlı SiC parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).
33. Kalaycıoğlu, A. S., “SiC tane katkılı alüminyum kompozitlerin toz metalurjisi ile üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2010).
34. Hull, D., Clyne, T. W., and Clarke, D. R. “An Introduction to Composite Materials”, *Cambridge*, (1996).
35. Yavuz, N. ve Güner, R. “Demir esaslı toz metal parçaların elektrik direnç kaynağında optimum kaynak şartlarının belirlenmesi”. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1): 221-228 (2002).
36. İnternet: Case Study: Powder Metallurgy Inspection, <https://www.automate.org/case-studies/powder-metallurgy-inspection>

37. Babayev, Y. “Bir kompresör gövdesi imalatının toz metalürjisi ve difüzyon kaynağı yöntemleri uygulanarak optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, (2007).
38. Smart, S., Liu, S., Serra, J.M., Diniz da Costa, J.C., Iulianelli, A., and Basile, A., “8- Porous ceramic membranes for membrane reactors”, In Woodhead Publishing Series in Energy, Handbook of Membrane Reactors, **Woodhead Publishing**, 1: 298-336 (2013).
39. Sarıtaş, S., Türker, M, ve Durlu, N, “Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, **Türk Toz Metalürjisi Yayınları: 05**, Ankara, 2-34, 206-237, 379-410 (2007).
40. Matik, U., “Akımsız nikel kaplamalarda ısıl işlemin sertlik ve aşınma özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-50 (2010).
41. Ak, H. D., “Geleneksel toz metalürjisi yöntemiyle üretilen AISI 304L ve AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerine sinterleme koşullarının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2014).
42. Yağmur, S., “Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi”, Y. Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, (2011).
43. Tonshoff, H. K., Spintig, W., König, W., and Neises, A., “Machining of holes developments in drilling technology” **CIRP annals**, 43(2): 551-561 (1994).
44. Sandvik Coromant, “Modern Metal Cutting”, Sweden: **Sandvikens Tryckeri**, 2-61 (1994).
45. Meral, G., “AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).
46. Çakır, M.C. “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri” **Vipaş A.Ş**, 350-390 (2000).
47. Aamir, M., Giasin, K., Tolouei-Rad, M., Vafadar, A., “A review: drilling performance and hole quality of aluminium alloys for aerospace applications”, **Journal of Materials Research and Technology**, 9(6): 12484-12500 (2020).
48. Ratnam M., “Factors affecting surface roughness in finish turning. comprehensive materials finishing”, **Elsevier** 1 (1): 1–25 (2017).
49. Boothroyd G., “Fundamentals of metal machining and machine tools”. USA, **CRC Press**, (1988).



50. Güllü, A., Özdemir, A. ve Demir, H. “Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi”, *Z.K.Ü. Karabük T.E.F. Teknoloji dergisi*, 6(1-2): 79-92 (2003).
51. Shanmughasundaram P., and Subramanian R., “Study of parametric optimization of burr formation in step drilling of eutectic Al–Si alloy–Gr composites”, *J Mater Res Technol*, 3(2):150–7 (2014).
52. Öztürk, M. M., “Tornalama işleminde kesici uç kaplama çeşidinin iş parçası yüzey kalitesi ve takım ömrüne etkisinin araştırılması deneysel verilerin elde edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, (2016).
53. Yazman, Ş. “Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işleme etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2006).
54. Akdere, R., “Sertleştirilmiş AISI H10A çeliğinin CBN kesici takımlarla işlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2016).
55. Özlü, B., “Sıcak dövme uygulanan mikroalaşımli çeliklerin mikroyapı ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2019).
56. İnternet: Sandvik Coromant, “İş parçası yüzeyi ölçümü”, <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/workpiece-surface-measurement.aspx> (2022).
57. İnternet: “Yüzey pürüzlülüğü ölçümü”, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/ot/yuzey.puruzlulugu.pdf> (2019).
58. Davim J.P., “Machining Fundamentals and Recent Advances”, *Springer*, 184-188 (2008).
59. Davim J, Rubio J, Abrao A., “A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates”, *Composite Science and Technology*, 67: 1939–1945 (2007).
60. Kaynak, Y., “Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,15-20 (2006).
61. Şeker, U. “Takım Tasarımı Ders Notları”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, 5-11 (1997).

62. Meral, G., “AISI 1050 malzemenin delinmesinde delme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve delik kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).
63. Sheikh-Ahmad J.Y., “Machining of polymer composites”, Boston, MA, USA, *Springer*, (2009).
64. Liu D, Tang Y, Cong W., “A review of mechanical drilling for composite laminates”, *Compos Struct* 2012;94(4):1265–79.
65. Rajesh, S., Chandramohan, D., and Sathish, T., “Machining parameters optimization of surface roughness analysis for AA5083 – Boron carbide (B<sub>4</sub>C) composites”, *Materials Today: Proceedings*, 33 (7): 4642-4645 (2020).
66. Basavarajappa, S., Chandramohan, G., Prabu, M., Mukund, K., Ashwin, and M., “Drilling of hybrid metal matrix composites—Workpiece surface integrity”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(1): 92-96 (2007).
67. Taşkesen A., and Kutukde K., “Analysis and optimization of drilling parameters for tool wear and hole dimensional accuracy in B<sub>4</sub>C reinforced Al-alloy”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(9): 2524-2536 (2013).
68. Lee, J.H., Ge, J.C., Song, J.H., “Study on burr formation and tool wear in drilling cfrp and its hybrid composites”, *Applied Sciences*, 11(1):384 (2021).
69. Karabulut, Ş., Gökmen, U., Çinici, H., “Study on the mechanical and drilling properties of AA7039 composites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/B<sub>4</sub>C/SiC particles”, *Composites Part B: Engineering*, 93: 43-55 (2016).
70. Ramesh Kumar, C., Jai Ganesh, V. and Malarvannan, R.R.R. “Optimization of drilling parameters in hybrid (Al6061/SiC/B<sub>4</sub>C/talc) composites by grey relational analysis”, *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 41:155 (2019).
71. Kumar, P. V., Devi, S. B., Gowshikan, G., and Balamuali, B., “Machinability investigation of aluminium based hybrid metal matrix composite”, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2319-8753 (2014).
72. Palanikumar, K., and Muniaraj, A., “Experimental investigation and analysis of thrust force in drilling cast hybrid metal matrix (Al–15% SiC–4% graphite) composites”, *Measurement*, 53: 240-250 (2014).
73. Günay, M., Yasar, N., and Korkmaz M.E., “Optimization of drilling parameters for thrust force in drilling of AA7075 alloy”, *International Conference on Engineering and Natural Sciences*, Sarajevo, 2098-2101 (2016).

74. Yasar, N., Boy, M., and Günay, M., “The effect of drilling parameters for surface roughness in drilling of AA7075 alloy”, *MATEC web of conferences*, EDP sciences, 01018 (2017).
75. Klocke, F., and Krieg, T., “Coated tools for metal cutting—features and applications”. *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, 48: 515–525 (1999).
76. Bagci, E., and Ozcelik, B.. “Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling conditions based on Taguchi method during dry drilling of Al 7075 T651”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 29: 629–636 (2006).
77. Ravindranath, V. M., Shankar, G. S., Basavarajappa, S., and Suresh, R., “Optimization of Al/B<sub>4</sub>C and Al/B<sub>4</sub>C/Gr MMC drilling using Taguchi approach”, *Materials Today: Proceedings*, 4(10): 11181-11187 (2017).
78. Hayajneh, M. T., Hassan, A. M., and Mayyas, A. T., “Artificial neural network modeling of the drilling process of self-lubricated aluminum/alumina/graphite hybrid composites synthesized by powder metallurgy technique”, *Journal of Alloys and Compounds*, 478 (1-2): 559-565 (2009).
79. Ahamed, A. R., Asokan, P., Aravindan, S., and Prakash, M. K., “Drilling of hybrid Al-5% SiC p-5% B<sub>4</sub>C p metal matrix composites”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9-12): 871-877 (2010).
80. Shoba, C., Ramanaiah, N., and Rao, D. N., “Effect of reinforcement on the cutting forces while machining metal matrix composites—an experimental approach”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(4): 658-663 (2015).
81. Haq, A. N., Marimuthu, P., & Jeyapaul, R., “Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the Taguchi method”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(3-4): 250-255 (2008).
82. Tinga, S. “AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara, (2019).
83. Ekici, E., Motorcu, A. R., and Uzun, G., “An investigation of the effects of cutting parameters and graphite reinforcement on quality characteristics during the drilling of Al/10B<sub>4</sub>C composites”, *Measurement*, 95, 395-404 (2017).
84. Motorcu, A. R., & Ekici, E., “Al/B<sub>4</sub>C kompozitlerin karbür matkaplarla delinmesinin değerlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4): 259-266 (2016).

85. Samy, G. S., and Kumaran, S. T., "Measurement and analysis of temperature, thrust force and surface roughness in drilling of AA (6351)-B4C composite", *Measurement*, 103:1-9 (2017).
86. Tosun, G., and Muratoglu, M. "The drilling of Al/SiCp metal–matrix composites. Part II: workpiece surface integrity", *Composites Science and Technology*, 64(10-11): 1413-1418 (2004).
87. Bayraktar, Ş., and Turgut, Y., "Determination of delamination in drilling of carbon fiber reinforced carbon matrix composites/Al 6013-T651 stacks", *Measurement*, 107, 493. (2020).
88. Trent, E., M., "Metal Cutting", *Butterworths Press*, London (1989).
89. Singh, P., D. and Rao, V., "A surface roughness prediction model for hard turning process", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 32: 1115-1124 (2007).
90. Günay, M., "Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2009).
91. Basavarajappa S, Chandramohan G, Davim JP., "Some studies on drilling of hybrid metal matrix composites based on Taguchi techniques", *J Mater Process Technol* , 196: 332–338 (2008).
92. Rajmohan, T., Palanikumar, K., Prakash, S., "Grey-fuzzy algorithm to optimise machining parameters in drilling of hybrid metal matrix composites", *Composites, Part B*, 50: 297–308 (2013).
93. Altunpak, Y., Ay, M., Aslan, S., "Drilling of a hybrid Al/SiC/Gr metal matrix composites" *Int J Adv Manuf Technol*, 60:513–517 (2012).
94. Yaşar, N. "Lamine kompozitlerle istiflenmiş metal malzemelerin delinebilirliğinin araştırılması" Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2017).
95. Okay, F., "Alüminyum matrisli bor karbür ve karbon nanofiber takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu, (2020).
96. Davim, J. P., and Reis, P., "Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments", *Composite structures*, 59(4): 481-487 (2003).

## ÖZGEÇMİŞ

Aysel Eda ŞENGÜL ilk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. Balgat Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Bölümü Mekatronik Dalı'ndan mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2015 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2017 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı ve 2022 yılında Karabük Üniversitesi'nde eğitimini tamamladı.