

Y  
u  
n  
u  
s  
K  
A  
R  
T  
A  
L

Y  
ü  
k  
s  
e  
k  
l  
i  
s  
a  
n  
s  
T  
e  
z  
i

K  
Ü

2  
0  
1  
7

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MİHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALÜMİNYUM (Al 1070) MATRİSLİ SİLİSYUM KARBÜR (SiC) ve BOR  
KARBÜR (B<sub>4</sub>C) TAKVİYELİ HİBRİT METAL MATRİSLİ KOMPOZİT  
MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yunus KARTAL

HAZİRAN 2017

T. C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALÜMİNYUM (Al 1070) SİLİSYUM KARBÜR (SiC) ve BOR KARBÜR (B<sub>4</sub>C)  
TAKVİYELİ HİBRİT METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN  
İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yunus KARTAL

HAZİRAN, 2017

## ÖZET

### ALÜMİNYUM (Al 1070) MATRİSLİ SİLİSYUM KARBÜR (SiC) ve BOR KARBÜR (B<sub>4</sub>C) TAKVİYELİ HİBRİT METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yunus KARTAL

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ER

Temmuz 2017, 113 Sayfa

Bu çalışmada Alüminyum matrisli SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin tornalama işleminde, takviye oranlarının işlenebilirliğe etkileri ve en uygun kesme parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yüksek dayanım, aşınma direnci kompozit malzemelerin sahip oldukları en temel özelliklerdendir. Deneysel çalışmalarda farklı takviye hacim oranlarında takviye malzemesi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar CVD kaplamalı kesici takım kullanılarak, farklı kesme hızı ve ilerleme verilerinde sabit kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerle işleme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve takviye oranının) kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile metal matrisli hibrit takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliği konusunda referans olabilecek bir çalışma gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Metal Matrisli Kompozit, Hibrit Takviye Elemanı, İşlenebilirlik, Takım Aşınması, Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Kuvvetleri.

## ABSTRACT

### RESEARCH ON THE MACHINABILITY OF ALUMINUM (A11070) MATRIX SILICIUM CARBIDE (SiC) AND BORON CARBIDE (B<sub>4</sub>C) REINFORCED HYBRID METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS

Yunus KARTAL

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Eng., M. Sc. Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali Osman ER

July 2017, 113 pages

In this study, it was tried to determine the most suitable cutting parameters in the turning process of aluminum matrix SiC and B<sub>4</sub>C hybrid reinforced composite materials. High strength and abrasion resistance are the most important properties that the composite material have. Reinforcement materials were used in different volume ratios in experimental studies. Experimental work was carried out using a CVD coated cutting tool at different cutting speeds and feed rates without the use of cutting fluid at constant cutting depth. The relationship between machinability, surface roughness, cutting forces, cutting speed, and tool wear progress was investigated with these experiments. With this study, it is aimed to make a study which can be a reference about the machinability of reinforced hybrid metal matrix composite materials.

**Keywords:** Metal Matrix Composite, Hybrid Reinforcement, Machinability, Tool Wear, Surface Roughness, Cutting Forces.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ER'e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Prof. Dr. Recep ÇALIN'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Barış KALAYCIOĞLU'na, büyük fedakârlıklarla bana destek olan arkadaşım Dr. Ahmet Alper YONTAR'a ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

<b>ÖZET</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>4</b>
<b>3. KOMPOZİT MALZEMELER, TALAŞLI İMALAT ve KESİCİ TAKIMLAR</b> .....	<b>16</b>
3.1. Kompozit Malzemenin Tanımı ve Genel Özellikleri .....	16
3.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Özellikleri .....	16
3.2.1. Metal matrisli kompozitlerin avantajları.....	17
3.2.3. Metal matrisli kompozitlerin dezavantajları;.....	17
3.3. Matris Malzemesi ve Özellikleri .....	17
3.3.1. Al ve Al alaşımları.....	18
3.4. Takviye Malzemeleri ve Özellikleri .....	18
3.4.1. Silisyum Karbür (SiC) .....	18
3.4.2. Bor Karbür (B <sub>4</sub> C).....	19
3.5. TALAŞLI İMALAT .....	19
3.5.1. TALAŞ OLUŞUMU VE TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ.....	19
3.5.2. TALAŞ KALDIRMA OLAYINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	20
3.6. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ VE MALZEMELERİ.....	22
3.6.1. Yüksek Hız Çeliği (HSS).....	24
3.6.2. Sermet (CT) .....	24
3.6.3. Karbür (Sert Metal).....	25
3.6.4. Seramik .....	26
3.6.5. Çok Kristalli Elmas (PCD) .....	26
3.6.6. Kübik Bor Nitrür (CBN).....	27
3.6.7. Doğal Elmas.....	27
3.7. İŞLENEBİLİRLİK .....	28
3.7.1. Takım Ömrü ve Aşınması.....	29

3.7.2. Takım Aşınmasının Ölçülmesi .....	32
3.7.3. Kesme Kuvvetleri .....	33
3.7.4. Yüzey Kalitesi.....	36
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>37</b>
4.1. Malzeme Üretimi Ve Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	37
4.1.1. Malzeme Hazırlama Düzenegi.....	37
4.1.2. Takviye Malzeme Olarak Kullanılan Tozların Hazırlanması.....	38
4.1.3. Matris Malzemesinin Ergitilmesi.....	38
4.1.4. Karıştırma İşleminin Gerçekleştirilmesi .....	39
4.1.5. Ergitilen Metalin Kum Kalıba Dökülmesi.....	40
4.1.6. Kum Kalıptan Metalin Çıkarılması.....	41
4.1.7. Kum Kalıptan Çıkarılan Metalin Temizlenmesi.....	42
4.2. İşlenebilirlik Deneyleri.....	43
4.2.1. Takım Tezgahı .....	43
4.2.2. Takım Tutucu.....	45
4.2.3. Kesici Takımlar.....	46
4.2.4. Kesme Parametreleri.....	47
4.2.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi.....	47
4.2.6. Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi.....	49
<b>5. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA .....</b>	<b>52</b>
5.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi.....	52
5.1.1. Kesme hızı ile kesme kuvveti değişiminin değerlendirilmesi .....	53
5.1.2. İlerleme İle Kesme Kuvveti Değişiminin Değerlendirilmesi .....	61
5.1.3. Takviye Oranı ile Kesme Kuvveti Değişiminin Değerlendirilmesi.....	67
5.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi .....	71
5.2.1. Kesme Hızı İle Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Değerlendirilmesi .....	71
5.2.2. Kesme Hızı İle Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Değerlendirilmesi .....	78
5.2.3. Takviye Oranı ile Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Değerlendirilmesi... 83	
5.3. Kesici takım aşınma davranışlarının incelenmesi .....	87
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>89</b>
6.1. Sonuçlar.....	89
6.2. Öneriler.....	92
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>94</b>

EK-I MMK malzemeye ait iç yapı görüntüleri..... 99





## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

### Sayfa

3.1. Kesici takım uç açıları [50] .....	23
3.2. Talaş kaldırma sırasında oluşan deformasyon bölgeleri [47] .....	29
3.3. Kesici takım aşınma bölgeleri [44] .....	32
3.4. Talaşlı imalat sırasında oluşan kuvvetler [48] .....	33
3.5. Kesme ve Dayama kuvvetlerinin gösterimi [48] .....	35
4.1. Malzeme hazırlama düzeneği [KÜ döküm laboratuvarı].....	37
4.2. Hassas terazi.....	38
4.3. Elektrik direnç ergitme ocağı .....	39
4.4. MMK malzemelerin üretiminde kullanılan kum kalıp.....	40
4.5. MMK malzemelerin kum kalıp içerisinde bekletilmesi.....	41
4.6. MMK malzemelerin kum kalıptan çıkarılması .....	41
4.7. MMK malzemelere yüzey temizleme işleminin uygulanması.....	42
4.8. MMK malzemelerin yüzey temizlenme işleminden sonra görüntüsü.....	43
4.9. Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği sistem .....	44
4.10. Numunenin BSD torna tezgahının aynasına bağlanması .....	45
4.11. Sandvik marka DSBNR 2020K 12 kod numaralı takım tutucu .....	46
4.12. Talaşlı imalat işleminde kullanılan kesici takım.....	47
4.13. Kistler 9257b marka dinamometre.....	48
4.14. Dinamometreden elde edilen kesme kuvveti ekran örnekleri .....	49
4.15. Hommel T1000 Tester marka cihaz.....	50
5.1. Kesme hızı ile kesme kuvveti değişim grafiği (ilerleme: 0,05 mm/dev (sbt))....	54
5.2. Kesme hızı ile kesme kuvveti değişim grafiği (ilerleme: 0,1 mm/dev (sbt)).....	56
5.3. Kesme hızı ile kesme kuvveti değişim grafiği (ilerleme: 0,15 mm/dev (sbt))....	58
5.4. Hesaplanan özgül kesme direnci verileri .....	61
5.5. İlerleme ile kesme kuvveti değişim grafiği (kesme hızı: 100 m/dak (sbt)).....	63
5.6. İlerleme ile kesme kuvveti değişim grafiği (kesme hızı: 200 m/dak (sbt)).....	65
5.7. İlerleme ile kesme kuvveti değişim grafiği (kesme hızı: 300 m/dak (sbt)).....	67
5.8. Takviye oranı kesme kuvveti değişim grafiği (kesme hızı: 100 m/dak).....	68
5.9. Takviye oranı kesme kuvveti değişim grafiği (kesme hızı: 200 m/dak).....	69
5.10. Takviye oranı kesme kuvveti değişim grafiği (kesme hızı: 300 m/dak).....	70
5.11. Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (ilerleme: 0,05 mm/dev) .....	72
5.12. Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (ilerleme: 0,1 mm/dev) .....	74
5.13. Kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (ilerleme: 0,15 mm/dev) ...	77
5.14. İlerleme, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (kesme hızı: 100 m/dak (sbt))....	79
5.15. İlerleme, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (kesme hızı: 200 m/dak (sbt))....	81
5.16. İlerleme, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (kesme hızı: 300 m/dak (sbt))....	83

- 5.17. Takviye oranı yüzey pürüzlülüğü değişimi (kesme hızı: 100 m/dak (sbt)) ..... 84  
5.18. Takviye oranı yüzey pürüzlülüğü değişimi (kesme hızı: 200 m/dak (sbt)) ..... 85  
5.19. Takviye oranı yüzey pürüzlülüğü değişimi (kesme hızı: 300 m/dak (sbt)) ..... 86



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

### Sayfa

2.1 MMK malzemelere ait deneysel veriler .....	14
4.1 GOODWAY GLS 150 marka CNC torna cihazı teknik özellikleri .....	44
4.2 Deneyleerde kullanılan takım tutucu teknik özellikleri .....	45
4.3 Kullanılan kesici ucun teknik özellikleri.....	46
4.4 İşleme parametreleri.....	47
4.5 KISTLER marka 9257b model dinamometre teknik özellikleri .....	48
4.6 HOMMEL TESTER marka T1000 model yüzey pürüzlülük cihazı .....	51
5.1 Kesme hızı değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri (f:0,05 mm/dev) .....	53
5.2 Kesme hızı değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri (f:0,1 mm/dev) .....	55
5.3 Kesme hızı değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri (f:0,15 mm/dev) .....	58
5.4 Hesaplanan özgül kesme dirençleri.....	60
5.5 İlerleme değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri (V <sub>c</sub> : 100 m/dak) .....	62
5.6 İlerleme değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri (V <sub>c</sub> : 200 m/dak) .....	64
5.7 İlerleme değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri (V <sub>c</sub> : 300 m/dak).....	66
5.8 Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (f:0,05mm/dev) .....	71
5.9 Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (f:0,1 mm/dev) .....	73
5.10 Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (f:0,15mm/dev) .....	76
5.11 İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (V <sub>c</sub> : 100 m/dak) .....	78
5.12 İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (V <sub>c</sub> : 200 m/dak) .....	80
5.13 İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (V <sub>c</sub> : 300 m/dak) .....	82
5.14 Kesici takım işleme verileri .....	87
5.15 Kesme hızı değişimi ile artan sıcaklık verileri (f: 0,05 mm/dev).....	88

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda teknoloji alanında yaşanan hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelerden daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaç doğrultusunda araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, kompozit malzeme adı verilen, malzemelerin üstün özelliklerini taşıyan yeni malzemeler üretilmiştir.

Kompozit malzemeler, kimyasal ve fiziksel özellikler bakımından farklı özelliklere sahip en az iki geleneksel malzemenin, farklı yöntemlerle bir araya getirilmesi ile oluşturulan karma yapılardır. Kompozit malzemeler; matris malzemesi (ana faz), takviye malzemesi ve ara yüzey bağından oluşmaktadır. Matris fazı kompozit malzemede takviye elemanların yer değiştirmesini engeller ve malzemenin maruz kaldığı kuvvetleri takviye elemanına iletir. Takviye elemanları ise, matris malzemesinin maruz kaldığı yükü değişen oranlarda paylaşır ve böylece kompozit malzeme yapısını güçlendirir.

Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesi cinsine göre sınıflandırıldığı zaman oluşan sınıflardan birisi metal matrisli kompozit malzemelerdir. Metal matrisli kompozitlerin (MMK) özelliklerini geliştirmek için matris malzemesi içerisine seramik takviye elemanlar eklenmektedir. Bu amaçla en yaygın olarak kullanılan takviye elemanları SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC'dir. MMK malzemeler maliyetlerinin fazla olması sebebiyle ilk olarak havacılık ve savunma sanayi endüstrileri gibi sınırlı alanlarda yüksek performanslı malzemelerin elde edilmesi amacıyla kullanılmışlardır. İlerleyen yıllarda daha ekonomik takviye elemanları, daha az işçilik ve daha ekonomik üretim yöntemleri kullanılması ile maliyeti oldukça düşük MMK malzemeler üretilmiştir.

MMK malzemeler katı ve sıvı hal işlemleri uygulanarak birçok üretim yöntemi ile üretilebilirler. Katı hal üretim yöntemleri: toz metalurjisi, difüzyonlu birleştirme ve vakumda presleme, sıcak haddeleme yöntemlerinden oluşmaktadır. Katı hal üretim yöntemleriyle MMK üretiminde başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Katı hal üretim yöntemlerinden toz metalurjisi (TM) yöntemi yaygın olarak kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Toz metalurjisi yönteminin tercih edilmesinin önemli

nedenlerinden birisi, homojen bir yapının elde edilmesidir; ancak yöntemin maliyeti fazladır. TM yöntemi ile üretilen MMK malzemeler genellikle hafif metal esaslı malzemelerdir. En yaygın olarak kullanılan metaller arasında Al ve Al alaşımları başta gelmektedir. Bunun nedeni ise Al ve Al alaşımlarının düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığı, iyi dökülebilirlik, iyi mekanik ve fiziksel özelliklere ve birçok seramik takviye malzemesini ıslatabilmesi gösterilebilir. Sıvı hal üretim yöntemleri: infiltrasyon, sıkıştırılmalı döküm, ergiyik içine takviye elemanı karıştırma, plazma püskürtme yöntemlerinden oluşmaktadır. Sıvı hal işlemleri daha ekonomiktir. Ancak bu işlemlerde takviye parçacıklardan kaynaklanan homojensizlik ve gözeneklilik döküm yönteminin dezavantajıdır.

MMK malzemelerin üretim yöntemlerinden biri olan infiltrasyon yöntemi ekonomik bir üretim yöntemidir[10]. Sıvı hal infiltrasyon yönteminde bir kap veya tüp içerisinde bulunan elyaflar arasına eriyik haldeki metal matris malzemesinin ilave edilmesidir. Sıvı hal işlemler, seramik takviye malzeme ile metal ara yüzeyi ıslatma sorunu, boşluk ve eksik infiltrasyon nedeni ile katı hal işlemlerine göre daha ekonomik olmalarına rağmen malzeme üretimi oldukça zordur. Karıştırılmalı döküm yöntemi, üretilen kompozit malzemenin yüksek kalitede olmasından dolayı bu tip üretim yöntemlerinin en iyisi olarak kabul edilir.

Bu çalışmada, karıştırılmalı döküm yöntemi ile kütlece eşit oranlarda, farklı takviye (%2,5SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5SiC-%5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C) oranlarında üretilen alüminyum 1070matrislisilisyum karbür (SiC) ve bor karbür (B<sub>4</sub>C) takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin işlenebilirliği ve kesici takım aşınması olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. MMK malzemelerin işlenebilirliklerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmanın ilk bölümünü oluşturan malzeme kısmında takviye oranının işlenebilirliğe olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca yine aynı bölümde işleme parametrelerinin işlenebilirliğe olan etkisi kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü bakımından incelenmiştir. MMK malzemelerin işlenebilirliklerinin değerlendirildiği ikinci kısımda kesici takım ömrü ve takım aşınmasına işleme parametrelerinin etkileri değerlendirilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde CVD kaplamalı tungsten karbür takım kullanılmıştır. Deneyler farklı kesme hızlarında (100, 200, 300 m/dak), farklı ilerlemelerde (0,5-0,1-0,15 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (a=0,5 mm) ve soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Hibrit takviyeli MMK malzemelerin

işlenebilirliği konusunda yeterli bilgi bulunmaması çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışma sonucunda Al1070 matrisli SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemeler için en uygun kesme parametreleri tespit edilerek endüstriyel alana katkıda bulunulmuştur. Çalışmanın amaçlarından biri olan hibrit kompozit malzemelerde takviye oranının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiş ve artan takviye oranının hem kesme kuvvetini hem de yüzey pürüzlülüğünü artırdığı belirlenmiştir.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geçmişten günümüze işlenebilirlik üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi ve kullanılan parametrelerin değerlendirilmesi, hem konunun anlaşılması hem de çalışmaların yöneliminin belirlenmesi açısından önemlidir. Tezin bu kısmında geçmişten günümüze MMK malzemelerin işlenebilirliği hakkında inceleme gerçekleştirilmiş ve incelenen çalışmalarda, kullanılan yöntemler, işleme parametreleri, çalışmalardan edinilen sonuçlar rapor edilmiştir.

Chambers A. R.(1996), yapmış olduğu çalışmada, Al-5 Mg alaşımına hacimce %5 Saffil ve %15 SiC takviye edilmiş malzeme ve A356 (Duralcan) matrisli hacimce %15 SiC takviyeli kompozit malzemeleri, takım aşınması ve işlenebilirlik verileri bakımından karşılaştırmıştır. Çalışmada 3 farklı kesme derinliği (1, 2, 3 mm), 5 farklı ilerleme (0,1, 0,2, 0,4, 0,7, 1,5 mm/dev) ve 4 farklı kesme hızı (100, 200, 300, 400 m/dak) kullanılmıştır. Çalışmada kesme sıvısı kullanılmamış ve kesici takım olarak PCD kaplamalı tungsten karbür kesici takım kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Duralcan matrisli SiC takviyeli MMK malzemelerin Al-Mg takviyeli kompozitlere kıyasla önemli ölçüde daha kolay işlendiği görülmüştür. Bu durumun sebebini kompozit malzeme matris yapısının neden olabileceği belirtilmiştir. Her iki MMK malzemede de PCD takımın tungsten karbür takıma kıyasla daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir [1].

Hocheng H. ve arkadaşları (1997), yapmış oldukları çalışmada, %56 grafit partiküllerden oluşan matris malzemesinin alüminyum alaşımı olduğu kompozit malzemenin kesme koşullarının, (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, talaş açısı ve kesme sıvısı) talaş formu, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma 4 farklı kesme hızı (25, 50, 150, 300 m/dev), 3 farklı ilerleme (0,03, 0,1, 0,3 mm/dev), 3 farklı kesme derinliği (0,25, 0,5, 1 mm), 2 farklı talaş açısı (+6, -6) ve 2 farklı kesme atmosferi koşullarında (yağ ve su çözeltisi ve kuru kesme) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada takviye oranının artmasının kesikli talaş oluşumuna sebep olduğu, talaş açısı ve kesme sıvısının, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli derecede etkili olduğu, takım aşınma

mekanizmasının abrazyon olduğu ve takım aşınmasının çelik işlemeye nazaran daha hızlı olduğu belirlenmiştir [2].

Ciftçi I. (2003), sıvı metal karıştırmalı-basınçlı döküm yöntemiyle üretilen MMK malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelemiştir. Çalışmada torna cihazında ve soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, farklı kesme hızı, sabit talaş derinliği ve sabit ilerleme verilerinde gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde, kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür, kübik bor nitrür ve elmas kaplamalı tungsten karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Testler sonucunda, artan parçacık oranı ve boyutunun kullanılan bütün kesici takımlarda aşınmayı arttırdığı ve CBN kesici takımlar haricinde artan kesme hızıyla kesici takım aşınması arttığı belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek aşınma direncinin CBN kesici takımlar sergilemiştir [3].

Davim J. P. (2003), yapmış olduğu çalışmada, kesme koşullarının (kesme hızı, ilerleme) ve işleme zamanının MMK malzemeler üzerine etkisini incelemiştir. Deneysel planı Taguchi yöntemine uygun olarak belirlenmiştir. Çalışmada 3 farklı kesme hızı (250, 350, 500 m/dak), ilerleme (0,05, 0,1, 0,2 mm/dev) ve işleme zamanı (1, 5, 10 dak) kullanılmıştır. Taguchi'nin L27 tekniğini kullanmış ve 27 deney yapmıştır. Çalışma sonunda kesme hızının takım aşınması üzerinde en etkili parametre olduğu ve onu kesme zamanının takip ettiğini, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu ve onu kesme hızının takip ettiğini belirlenmiştir [4].

Kılıçkap E. ve arkadaşları (2005), yapmış oldukları çalışmada, %5 SiC takviye hacim oranına sahip MMK malzemede tornalama işlemi sonrasında meydana gelen takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Çalışma iki farklı kesici takım (kaplamalı ve kaplamasız K10), 3 farklı kesme hızı (50, 100 150 m/dak), 3 farklı ilerleme (0,1, 0,2, 0,3 mm/dev) ve 3 farklı kesme derinliği (0,5, 1, 1,5 mm) değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Takım aşınmasının temel olarak kesme hızından etkilendiği ve kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığını belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin kesme hızı olduğu ve kesme hızını takip eden parametrenin ilerleme olduğu, yüksek ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü artırdığını, yüzey pürüzlülüğünü en az etkileyen parametrenin kesme derinliği olduğu



belirlenmiştir. Ayrıca kaplamalı kesici takımında, kaplamasız kesici takıma göre daha az takım aşınması meydana geldiği belirlenmiştir [5].

BahçeciE. (2006), takviye oranının metal matrisli kompozitlerin işlenebilirlik ve üretim özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmalar için Al matrisli farklı oranlarda takviye malzeme içeren (%5, %10, %15 SiC) metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Al matrisli metal matrisli kompozit malzeme (MMK) üretimi ve işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada işlenebilirlik, talaş kökü, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş tipleri verileriyle karakterize edilmiştir. Deneysel çalışmalar torna tezgahında, soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda; MMK daki takviye miktarındaki artışla çapraz kırılma dayanımında azalma, sertlikte ise artış gözlemlenmiştir. En yüksek çapraz kırılma dayanımı % 10 seramik takviye içeren MMK malzemelerde olduğu belirlenmiştir. MMK malzemelerin  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> oranı arttıkça yüzey kalitesinin iyileştiği ve tornalama kuvvetlerinin azaldığını gözlemlenmiştir. PCD kaplamalı kesici takım ile yapılan işleme deneylerinde, minimum yüzey pürüzlülüğü ve minimum tornalama kuvvetleri belirlenmiştir. Alüminyum matrisin K10 takıma yapışma eğiliminin, aşırı yıgıntı talaş (YT) oluşumuna ve dolayısıyla kötü yüzey kalitesine sebep olduğu tespit edilmiştir [6].

Palanikumar K. ve arkadaşları (2007), yapmış oldukları çalışmada, Al/SiC MMK malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörleri değerlendirmişlerdir. Çalışma K10 tungsten karbür takım kullanarak torna tezgahı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hacimce farklı SiC takviye oranı (%10, %25), farklı kesme hızı, kesme derinliği ve ilerlemede deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 2 farklı kesme hızı (50, 100 m/dak), ilerleme (0,1, 0,5 mm/dev) ve kesme derinliği (0,5, 1,5 mm) verileri kullanılmıştır. Çalışma sonunda, yüzey pürüzlülüğünü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu ve onu kesme hızı ile takviye hacim oranının izlediğini belirlenmiştir [7].

Orhan S. ve arkadaşları (2007), takım aşınması ile titreşim ilişkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, freze tezgahında deneyler yapmışlardır. Çalışma CBN kesici takım ile AISI D3 soğuk iş takım çeliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kesici takım aşınması toolmaker mikroskop ile incelenmiştir. Çalışmada artan titreşim ile birlikte kesici takım aşınmasının arttığı görülmüştür. Ayrıca takım aşınması değeri 160 µm

değerinden küçükken titreşim genliğinin düşük olduğu buna karşın aşınma kesici takım yanal yüzey aşınmasının 160 µm'ye ulaşması ve artmasıyla birlikte titreşimin önemli ölçüde arttığı görülmüştür [30].

Sur G. (2008), yapmış olduğu çalışmada metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin işlenebilirliklerini kontrol etmiştir. Bu amaçla karıştırma döküm yöntemiyle tek ve karma takviyeli, metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üretilmiştir. Üretilen MMK malzemeler kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür (SK) ve kübik bor nitrür(CBN) kesici takımlar ile işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuş ve takım ömrü, kesme kuvvetleri, talaş kökü morfolojisi ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü incelenmiştir. Deneysel çalışmalar soğutucu sıvı kullanılmadan, farklı kesme hızı, sabit kesme derinliği (1 mm) ve sabit ilerleme ile (0,15 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, takviye elemanı tipinin ve yüzde hacim oranının, kesici takımların aşınmasına ve kuvvet bileşenlerinin değişimine etkide bulunduğu tespit edilmiştir [8].

Ozben T. ve arkadaşları (2008), yapmış oldukları çalışmada, 3 farklı takviye hacim oranına (%5, %10,%15) sahip SiC takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada MMK malzemelerin işlenmesinde, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi işleme parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Çalışma TiN kaplamalı K10 kesici takım kullanarak konvansiyonel torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Çalışma 3 farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak.), 3 farklı ilerleme (0,1, 0,2, 0,3 mm/dev), 3 farklı kesme derinliği (0,5, 1, 1,5 mm) ve 3 farklı takviye hacim oranında (%5, %10,%15) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada takviye hacim oranının artmasıyla birlikte takım aşınmasının arttığını ve yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ve kesme hızından etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca takviye hacim oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür [9].

Pramanik A. ve arkadaşları (2008), yapmış oldukları çalışmada, takviye malzemenin MMK malzemelerin işlenebilirliğine etkilerini incelemiştir. Çalışmada MMK malzemelerin işlenmesinde malzeme yüzeyinde basma gerilmelerinin oluştuğu, yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile kontrol edildiği, düşük ilerlemede parçacık uzamasının yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, parçacıkların talaş kırılmasını kolaylaştırdığı, kesme ve sürtünme açılarının ilerlemeye bağımlı ancak kesme hızından hemen hemen hiç

etkilenmediği belirlenmiştir. Takviyesiz Al alaşımı ve %20 SiC takviyeli MMK kullanılmışlardır. Çalışma kuru kesme şartlarında, PCD takım kullanılarak, torna cihazında gerçekleştirilmiştir. 5 farklı ilerleme (0,025, 0,05, 0,1, 0,2 ve 0,4 mm/dev) ve kesme hızında (100, 200, 400, 600, 800 m/dak) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) çalışılmıştır. Çalışma sonunda ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı, düşük ilerlemelerde, MMK malzemelerde, yüzey pürüzlülüğünü parçacık davranışı belirlediği ancak yüksek ilerlemelerde ilerlemenin etkili olduğunu ayrıca takviyesiz Al alaşımında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir [10].

Günay M. (2009), yapmış olduğu çalışmada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri ve işlenebilirliklerinin araştırmıştır. MMK yapısında ağırlıkça üç farklı oranlarda takviye malzeme kullanılmıştır (%5, %10, %15). İşlenebilirlik deneyleri kaplamasız tungsten karbür, kübik bor nitrid ve çok kristalli elmas kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen çalışmada dört farklı kesme hızı (75, 150, 225, 300 m/dak), iki farklı ilerleme (0,1 ve 0,2 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1 mm) kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü verileri ile işlenebilirlikler araştırılmıştır. Çalışmada, SK kesici takım kullanılarak yapılan deneylerde yüksek kesme hızlarında takımın burun bölgesinde aşınmanın oluştuğu ve buna bağlı olarak talaş yığılmasının arttığı belirlenmiştir. SiC ağırlık oranının artmasıyla beraber kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından en kötü işlenebilirliğe sahip numunenin %5 SiC kodlu numune olduğu belirlenmiştir. Kesici takımların performansı yüzey kalitesi açısından en iyiden en kötüye doğru PCD, CBN ve WC şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü verisinin, %15 SiC kodlu numuneden 0,1 mm/rev ilerleme ve 300 m/dak kesme hızında PCD kesici takım kullanılarak işlenmesiyle elde edilmiştir [11].

Pul M. (2010), yapmış olduğu çalışmada Al matrisli MgO takviyeli, MMK numuneler kullanmıştır. Kullanılan MMK malzemeler vakumlu infiltrasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Al matrisli MgO takviyeli, metal matrisli kompozit (MMK) numunelerin işlenebilirlikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, birinci aşamada kompozit malzemelerin üretimi, ikinci aşamada ise farklı takviye oranlarına sahip bu malzemelerin işlenebilirlikleri değerlendirilmiştir. Tornalama

tezgahında soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen çalışmada, dört farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300 m/dak), üç farklı ilerleme (0,075, 0,15, 0,225 mm/dev) ve sabit kesme derinliği verileri kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri tungsten karbür (SK), kübik bor nitrür (CBN) ve kaplamalı kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetleri açısından yapılan değerlendirmede, artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü, ilerlemenin artmasıyla ise yükseldiği görülmüştür. Yüzey kalitesi, artan kesme hızıyla iyileşme eğilimi sergilerken, ilerlemenin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri de artma eğilimine girmiştir. İşleme deneylerinin tamamında, genel olarak beklendiği şekilde, kesme hızındaki artışa bağlı olarak kesme kuvvetleri azalırken ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak, kesme kuvvetleri artma eğilimi göstermiştir. İlerleme kuvveti ( $F_f$ ) ve yanıl kuvvet ( $F_r$ )'nin asıl kesme kuvveti ( $F_c$ ) ile ilişkisine bakıldığında, her üç kuvvetin değişme eğilimlerinin paralel olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti bileşenlerinin büyüklüğü değerlendirildiğinde ise asıl kesme kuvvetinden sonra ilerleme kuvveti ve radyal kuvvet olarak sıralandıkları görülmektedir. Takviye-hacim oranları ve kesici takım malzemelerinin tamamı için, artan ilerleme değerleri ile birlikte artan talaş kesit alanı, asıl kesme kuvvetinin de artmasına sebep olmuştur [12].

Doğan M. A. (2012), gerçekleştirilen bu çalışmada, MMK malzemelerde takviye oranının işlenebilirliğe etkisi incelenmiştir. Deneyler tornalama tezgahında, sabit kesme derinliğinde, farklı kesme hızı ve farklı ilerleme verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesici takım olarak tungsten karbür kesici takım kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzeme numuneleri aynı hacimdedir. Çalışma sonunda işlenebilirliğe etki eden parametrelerin ve kesme kuvvetlerindeki değişim, yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınması incelenmiştir. Tungsten Karbür kesici takım kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde takviye oranı arttıkça yığıntı talaş oranının da arttığı gözlemlenmiştir ve partikül boyutunun azalması yığıntı talaş miktarını arttırmıştır. Ayrıca ilerleme arttıkça, kesme kuvvetinin de arttığı, takviye oranı düşük malzemelerde yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olduğu, kesme hızlarının artması genel olarak yüzey pürüzlülük değerlerinde bir azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir [13].

Babu T. S. M. ve arkadaşları (2012), yapmış oldukları çalışmada, hibrit metal matrisli kompozit (Al-SiC-B<sub>4</sub>C) malzeme kullanmışlardır. Çalışmada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi incelenmiştir. Kullanılan hibrit malzemede ağırlıkça

%10 SiC ve %5 B<sub>4</sub>C bulunmaktadır. MMK malzemeler karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Çalışma torna tezgahında PCD takım kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 3 farklı kesme hızı (40, 90, 140 m/dak), kesme derinliği (0,5, 0,75, 1 mm) ve ilerleme (0,05, 0,1, 0,2 mm/dev) belirlenmiş ve belirlenen parametreler Taguchi L9 deney tasarım metoduna uygun olacak şekilde kullanılmıştır. Çalışmada yüzey kalitesini en çok etkileyen parametrenin ilerleme olduğu ve onu kesme hızı son olarak kesme derinliğinin izlediğini belirlenmiştir. Çalışmada her bir parametrenin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisi grafiksel olarak sunulmuştur [14].

Aramesh M. ve arkadaşları (2013), TiC takviyeli Ti-6Al-V matrisli MMK malzemelerin optimum işleme parametreleri elde edilmeye çalışmışlardır. Çalışmada 3 bağımsız değişken kullanılmıştır (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği). Bu üç değişken üç farklı derecede belirlenmiştir. Kesme hızı 80, 100, 120 m/dak, ilerleme 0,1, 0,15 0,2 mm/dev ve kesme derinliği 0,8, 1, 1,2 mm olarak belirlenmiştir. Deneyler 6 eksenli Boehringer marka CNC torna cihazında kesme sıvısı kullanılmadan, TH1000 kaplamalı karbür takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda bağımsız parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasında meydana getirdiği etki incelenmiştir. Parametrelerin etkisi incelenirken Kriging matematiksel tekniği kullanılmıştır [15].

Sahoo A. K. ve arkadaşları (2013), Al/SiC<sub>p</sub> MMK malzemelerin işlem parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 3 farklı kesme hızı (60, 120, 180 m/dak), üç farklı ilerleme (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev), üç farklı kesme derinliği (0,2, 0,3, 0,4 mm )değerleri kullanılmıştır. Çalışma kesme sıvısı kullanılmadan tungsten karbür takım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler Taguchi'nin L9 yöntemine göre yapılmıştır. Çalışmada talaş yığılması (BUE) oluşumu görülmüştür ve kullanılan kesici takımın kazıntı (abrazif) ve yapışma (adheziv) takım aşınma mekanizmaları görülmüştür. Çalışmada kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için optimum bir değer sunulmuştur [16].

Suresh P. ve arkadaşları (2014), yapmış oldukları çalışmada Al-SiC-Gr hibrit kompozit malzemelerin işlenebilirliğinde optimum işleme parametrelerini elde etmeye çalışmışlardır. 3 farklı oranda (%5, %7,5, %10) SiC-Gr takviyesi, 3 farklı kesme hızı (100, 150, 200 m/dak) ve 3 farklı ilerleme (0,075, 0,1, 0,123 mm/dev) verileri ile

gerçekleştirilen çalışmada grey-fuzzy tahmin yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada %10 takviye hacim oranlı hibrit kompozit malzemelerin işlenebilirliğinin (yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması bakımından) %5 ve %7 takviye hacim oranına sahip hibrit kompozit malzemelere kıyasla daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca grey-fuzzy (belirsizlik analiz yöntemi) yönteminin diğer yöntemlere kıyasla belirsizliğin daha az olduğu görülmüştür [17].

Rao P. ve arkadaşları (2014), farklı takviye hacim oranında (%0, %5, %10, %15) Al6061 matrisli MMK malzemelere K10 tungsten karbür ve PCD takımlar kullanarak, soğutma sıvısı kullanmadan, tornalama işlemi uygulamışlar ve MMK malzeme için en uygun kesme parametrelerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Uygulanan tornalama işleminde 4 farklı kesme hızı (300, 400, 500, 600 m/dak), 4 farklı ilerleme (0,06, 0,12, 0,18, 0,24 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1,2 mm) kullanılmıştır. Çalışmada kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerlemenin artmasının yüzey pürüzlülüğünü arttığı belirlenmiştir. Ayrıca en düşük yüzey pürüzlülüğünün %10 takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde elde edilmiş ve %15 takviye hacim oranına sahip olan MMK malzemelerde, mikro boşluklardan dolayı, yüzey pürüzlülüğünün fazla olduğunu belirlenmiştir. Aynı kesme koşullarda PCD takımların kullanılmasıyla elde edilen yüzey pürüzlülüğünün K10 karbür takımlara kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir [18].

Çalın R. ve arkadaşı (2015), Al 2014 matrisli SiC takviyeli MMK malzemelerde takviye oranının MMK malzemeye lan etkisini incelemiştir. Çalışmada SiC takviyesinin sertlik, porozite ve abraziv aşınmaya olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada %3, %6 ve %12 takviye hacim oranlarında MMK malzeme kullanılmıştır. Kullanılan MMK malzemeler karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Çalışma sonucundaki aşınma değerleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelen ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada SiC takviyesi arttıkça MMK malzemenin sertlik değeri ve MMK malzemedeki porozite artmıştır. En yüksek abraziv aşındırma %3 SiC takviyeli MMK malzemedeki elde edilmiştir. Artan SiC takviyesi ile abraziv aşındırma değeri azalmakta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca abraziv aşınmada porozite ve takviye hacim oranının önemli olduğu belirlenmiştir [46].

Razavykia A. ve arkadaşları (2015), Al matrisli %20Mg<sub>2</sub>Si takviyeli MMK malzeme özelliklerini incelemiştir. Çalışmada MMK malzemelerin özelliklerinin, takviye

malzemenin boyutundan, dağılımından ve takviye oranından etkilendiği belirlenmiştir. Çalışmada kesme hızı, ilerleme ve takviye-hacim oranının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma ALPHA 1350S CNC torna cihazında, soğutma sıvısı kullanılmadan, 3 farklı kesme hızı (70, 140, 210 m/dak) ve 3 farklı ilerlemede (0,1, 0,15, 0,2 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda tüm ana işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği ve bütün kesme koşullarında BUE oluşumu görülmüştür. Al-20%Mg<sub>2</sub>Si-P MMK malzemelerin işlenmesinde yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme önerilmektedir [19].

Rui-song J. ve arkadaşları (2016), %6 TiB<sub>2</sub> takviyeli Al matrisli MMK malzemelerde takım aşınması, yüzey kalitesi ve talaş şeklini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, PCD kaplamalı kesici takımların takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü bakımından TiB<sub>2</sub>/Al MMK malzemelerin işlenmesi için uygun olduğu belirlenmiştir. Kesici takımında meydana gelen esas aşınma mekanizması kazıntı(abrazif) ve yapışma(adheziv) olduğu ve onları difüzyon ve oksidasyonun takip ettiği belirlenmiştir. TiB<sub>2</sub> takviyeli Al matrisli MMK malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değeri, aynı parametrelerle işlenen SiC takviyeli Al matrisli kompozit malzemeler ile kıyaslandığında daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, TiB<sub>2</sub>/Al MMK malzemelerin talaşlı imalatında oluşan talaş şekillerinin, mikro yapıda SiC/Al kompozit malzemelerin işlenmesinde oluşan talaş şekilleri ile benzer olduğu ancak makro yapıda takviyesiz Al ile benzer olduğu görülmüştür [20].

Shoba C. ve arkadaşları (2015), yapmış oldukları çalışmada Al/6% SiC/6%RHAp hibrit MMK malzemenin optimum işleme parametreleri Taguchi metodu kullanılarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada kontrol edilebilir parametrelerin (dönme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi) hibrit kompozit malzemenin tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi incelenmektedir. Çalışma 3 farklı kesme hızı (560, 900, 1250 m/dak), 3 farklı ilerleme (0,15, 0,2, 0,25 m/dev) ve 3 farklı kesme derinliği (0,5, 0,75, 1 mm) değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar Taguchi L9 metoduna uygun olarak farklı kesme parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elektron mikroskopunda hibrit kompozit malzemenin işlem sonunda yüzey görüntüsü alınmış ve işleme ile ilişkisi araştırılmıştır [21].

Nas E. (2015), yapmış olduğu çalışmada karma takviyeli MMK malzemelerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Deneysel çalışmada, matris malzemesi

olarak Al 13 alaşımı, takviye elemanı olarak bor karbür ( $B_4C$ ) ve üzeri nikel kaplı grafit (Ni(K)Gr) kullanılmıştır. Kullanılan takviye elemanlarında bor karbür oranı ağırlıkça sabit olup %8'dir. Diğer takviye elemanı nikel kaplı grafit ise ağırlıkça 4 farklı oranda yapıya katılmıştır, bu oranlar ağırlıkça %0, %3, %5, %7'dir. İşlenebilirlik deneyleri dört farklı kesme hızı (100, 140, 180, 220 m/dak), üç farklı ilerleme (0,1, 0,15, 0,20 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,5 mm) değerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, bütün karma takviyeli MMK malzemelerde kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ve yığıntı talaş oluşumunun azaldığı, ilerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ve yığıntı talaş oluşumunun arttığı tespit edilmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan  $1,03 \mu m$  0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 220 m/dak kesme hızında, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan  $2,67 \mu m$  ise 0,2 mm/ dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. En düşük yığıntı talaş değeri 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 220 m/dak kesme hızında 0,065 mm, en yüksek yığıntı talaş değeri 100 m/dak kesme hızında 0,279 mm olarak elde edilmiştir [22].

Qiao Y. ve arkadaşları (2016), yapmış oldukları çalışmada A03190/304 kompozit malzemelerin tornalama işleminde işleme parametrelerinin kompozit malzeme yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi incelemişlerdir. A03190/304 kompozit malzemelerin üretiminde döküm yöntemi kullanılmıştır. Çalışma 9 farklı ilerleme ve 9 farklı kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yüzey pürüzlülüğüne ait deneysel ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Çalışma sonunda kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, kesme derinliğinin değişiminden yüzey pürüzlülüğünün az etkilendiği belirlenmiştir [23].

Bu zamana kadar gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan MMK malzemelerin içeriği, kullanılan takviye oranı, üretim yöntemi ve incelenen veriler Çizelge 2.1'de sunulmuştur.



**Çizelge 2.1** MMK malzemelere ait deneysel veriler

Malzeme içeriği	Takviye oranı (%)	İncelenen Veriler
Al/SiC	8,16,32	Üretilen MMK malzemenin mikro yapı, mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini incelenmiştir [1].
Al/SiC	5,10,15	Takviye oranının işlenebilirlik ve üretim özelliklerine olan etkisini incelenmiştir [2].
Al/Ni(K)Gr	4,8	Karma takviyeli MMK malzemelerin mekanik ve işlenebilirlik verileri incelenmiştir [3].
Al/MgO	5,10,15	Kompozit malzemelerin üretimi ve işlenebilirlikleri incelenmiştir [4].
Al6061/Al2O3	10,15,20	İşlenebilirlik parametrelerinin MMK malzemelere etkileri incelenmiştir [5].
Al/SiC	10,25	MMK malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler değerlendirilmiştir.[6]
Al/SiC	20	MMK malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini incelenmiştir.[7]
Al/GRAFİT	56	Talaş formu, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması incelenmiştir [8].
Al/SiC	5,10,15	MMK malzemelerin işlenebilirlik ve mekanik özellikleri incelenmiştir [9].
Al/SiC/B4C	10+5	Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi incelenmiştir [10].
Al/SiC	20	Takviye malzemenin MMK malzemelerin işlenebilirliğine etkileri incelenmiştir [11].
Al/SiC	5	MMK malzemede takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir [12].
Al/SiC/Saffil	15+5	MMK malzemelerde takım aşınması ve işlenebilirlikleri incelenmiştir [13].
Al/Mg2Si	20	Kesme parametreleri ve takviye-hacim oranın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi araştırılmıştır [14].
Al/Flyash	0,5,10,15	MMK malzeme için en uygun kesme parametrelerini elde edilmesi amaçlanmıştır [15].
Al/TiB2	6	MMK malzemede takım aşınması, yüzey kalitesi ve talaş şekli incelenmiştir [16].
Ti6Al4V/TiC	10,12	MMK malzemelerin optimum işleme parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır [17].
Al/SiC	10	İşlem parametrelerinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri incelenmiştir [18].
Al/SiC-Gr	5,7,5,10	MMK malzeme için optimum işleme parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır [19].
Al/SiC/Rhap	6+6	Malzemenin optimum işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır [20].
Al/SiC	8,16,32	İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi incelenmiştir [21].
Al/B4C-	8+0,3,5,7	Karma takviyeli MMK malzemelerin mekanik ve

Ni(K)GR		işlenebilirlikleri özellikleri incelenmiştir [22].
Al/SiC	3,6,12	MMK malzemelerin mekanik özellikleri ve işlenebilirliklerini araştırmıştır [23].

Kompozit malzemelerin işlenebilirliği alanında yapılan çalışmalara genel olarak bakıldığında, kompozit malzemelerin üretimiyle ilgili çalışmalar, karıştırmalı döküm yönteminin ağırlıklı olduğu görülmektedir. MMK malzemelerde genel olarak matris malzemesi olarak Al ve alaşımları kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak daha çok SiC kullanılmıştır. Al matrisli SiC takviyeli MMK malzemelerin çok kullanılmasının nedeni SiC parçacıkların alüminyum matris ile oluşturduğu birlikteliğin mekanik özelliklerini son derece iyi olmasındandır. Gerçekleştirilen bu çalışma matris malzemesi olarak Al1070 alaşımının kullanılması ve takviye olarak kullanılan malzemeler ile birlikte oluşan MMK yapısının Hibrit olması nedeniyle özgünlük değeri taşımaktadır. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde hibrit takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirliği konusunda yapılan çalışmaların çok az olduğu görülmektedir. Bu çalışma yüksek kesme hızında çalışılması yönünden orijinal ve önemli bir çalışma olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3. KOMPOZİT MALZEMELER, TALAŞLI İMALAT ve KESİCİ TAKIMLAR

#### 3.1. Kompozit Malzemenin Tanımı ve Genel Özellikleri

Kompozit malzemeler iki (veya daha fazla) malzemenin daha iyi mekanik veya kimyasal özelliklere sahip yeni bir malzemeyi oluşturmak için bir araya geldiği malzeme olarak tanımlanabilir. Kompozit malzeme oluşumunda ikiden fazla malzeme bir araya getirilebilir bu durumda kompozit malzeme oluşumunu sağlamak amacıyla kullanılan matris takviye birleşimine dikkat edilmesi gerekir.

Kompozit malzemeler, üretiminde kullanılan matris malzemelerine göre üç grupta incelenebilir:

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler

#### 3.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Özellikleri

Metal matris kompozitler, alüminyum, magnezyum, demir, bakır ve dağılmış seramik benzeri bir oksitler, karbürler veya metalik fazlardan oluşur. Çeşitli matris malzemeleri arasında alüminyum alaşımları hafif, çevre direnci, özgül modül, mukavemet, tokluk gibi mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle daha çok kullanılmaktadır. Ayrıca alüminyum pek çok uygulama için yeterli olacak derecede yüksek ve kompozit malzeme üretimini sağlayacak derecede düşük erime noktasına sahiptir. Takviye elemanı olarak silisyum karbür kullanımı yaygındır, bunun sebebi yüksek modül ve mukavemet, mükemmel ısı direnci, iyi korozyon direnci, alüminyum matris ile iyi uyumluluk ve düşük maliyettir. Seramik takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemeler yeni nesil malzeme olarak adlandırılırlar. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler daha iyi plastik şekillendirilebilme özelliğine sahiptirler. Bu nedenle ekonomik dökülebilme nedeniyle birlikte en çok

aranan materyal olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca mükemmel aşınma kabiliyetine sahiptirler [26].

### **3.2.1. Metal matrisli kompozitlerin avantajları**

Metal matrisli kompozitlerin sahip olduğu avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Isıl genleşme katsayıları düşüktür.
- Yorulma direnci daha iyidir.
- Dayanıklılırlar.
- Mukavemet/ağırlık oranı yüksektir.
- Aşınma direnci yüksektir.
- Radyasyon direnci yüksektir.

### **3.2.3. Metal matrisli kompozitlerin dezavantajları;**

Metal matrisli kompozitlerin sahip olduğu avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Parça işlemesi zordur.
- Maliyeti yüksektir.
- Malzeme özellikleri süreksizdir.

### **3.3. Matris Malzemesi ve Özellikleri**

Kompozit malzemede genel olarak yüksek özellikleri farklı malzemelerin bir araya getirildiği ve böylece yüksek özellikli yeni bir malzemenin ortaya çıktığı malzeme olarak tanımlanabilir. MMK malzemeler iyi metal yapısı oluşturmak için metal matris ve ona eklenmiş metal takviyelerden oluşur. Matris malzemesi olarak genellikle alüminyumun ve alaşımları kullanılır. Alüminyum malzemenin takviye olarak kullanılmasının nedenleri matris malzemenin özelliklerinin anlatıldığı

bölümde sıralanmıştır. Takviye malzeme olarak hibrit malzeme kullanılması kompozit malzeme oluşturmanın amacına benzerdir. Farklı iyi özelliklerinin bir arada bulunması aslında kompozit malzemenin oluşturulmasının ana sebebidir. Bu amaçla bu çalışmada kullanılan MMK malzemeler oluşturulurken farklı iyi özelliklerin oluşması için hibrit bir yapı oluşturulmuştur. Örneğin SiC takviyeden kazanılan ileri özellikler ve B<sub>4</sub>C den kazanılan ileri özellikler tek başına bir SiC den kazanılan ileri özelliklerden fazla olacaktır ve bu düşünce kompozit malzemenin temel düşüncesine son derece uygundur. Gerçekleştirilen hibrit MMK malzeme gelişmiş özelliklerinden dolayı (düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek ısı iletkenlik, iyi kimyasal kararlılık vb...) çalışma numunesi olarak seçilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı çalışmanın gerçekleştirildiği MMK malzemeler havacılık (türbin motorları, roket memeleri vb...), otomotiv(askeri araçlarda zırh plakaları), kimyasal korozif ortamlarda (dış yüzey koruyucu, regülasyon, kontrol ve zırhlama amacıyla nükleer reaktörlerde), nükleer sanayinde (nötron absorblayıcı), serbest partiküllü aşındırıcılar, kumlama nozulları, telhadde lokmaları, ekstrüder memelerinde kullanılabilecektir.

### **3.3.1. Al ve Al alaşımları**

Alüminyum ve alaşımları matris malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzeme gruplarından biridir. Düşük yoğunluluk, düşük ergime derecesi ve nispeten kolay ıslatabilirlik alüminyumun ve alaşımlarının yaygın olarak kullanılmasının nedenleridir.

## **3.4. Takviye Malzemeleri ve Özellikleri**

### **3.4.1. Silisyum Karbür (SiC)**

Hibrit kompozit yapısını oluşturan takviye elemanlarından birisi SiC'dir. Takviye malzemesi olarak SiC'nin seçilmesinin nedeni alüminyum ile iyi bir yüzey bağı

oluşturmasıdır. Matris malzemesi ile aynı boyutlara sahip SiC kullanılmasının nedeni daha homojen bir yapı elde edileceği beklentisidir.

### **3.4.2. Bor Karbür (B<sub>4</sub>C)**

Hibrit kompozit takviyeli MMK deney malzemelerinin içerisinde bulunan takviye elemanlarından bir diğeri bor karbürdür (B<sub>4</sub>C). Bor karbür yüksek sertlik, yüksek elastik modül, düşük yoğunluk, yüksek aşınma direnci, yüksek ergime noktası, yüksek termal iletkenlik, iyi kimyasal kararlılık, elmas ve CBN den sonra en sert malzeme olmasından dolayı mühendislik uygulamalarında önemli bir yere sahiptir.

Kompozit malzeme üretiminde sıvı hal, katı hal ve sıvı-katı hal üretim yöntemleri bulunmaktadır. Sıvı hal üretim yöntemleri: infiltrasyon, sıkıştırılmalı döküm, ergiyik içine takviye elemanı karıştırma, plazma püskürtme yöntemlerinden oluşmaktadır. Katı hal üretim yöntemleri: toz metalurjisi, difüzyonlu birleştirme ve vakumda presleme, sıcak haddeleme yöntemlerinden oluşmaktadır.

## **3.5. TALAŞLI İMALAT**

### **3.5.1.TALAŞ OLUŞUMU VE TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ**

Talaşlı imalat işlemi keskin kesme takımları vasıtasıyla iş parçasından malzeme kaldırılarak hedeflenen parça şeklini elde etme yöntemidir. Talaşlı imalatta iş parçasının kayma deformasyonu ile talaş oluşturulması ve oluşan talaş atıldıkça yeni yüzeylerin oluşması işlemi gerçekleşir. Temel olarak tornalama, delik delme, frezeleme olmak üzere üç işlem tipi vardır, bunların yanında diğer talaş kaldırma işlemleri planyalama, raybalama ve testere ile kesme işlemleridir. Diğer bir malzeme kaldırma grubu aşındırıcı parçacıklar ile iş parçasından malzeme kaldırmadır. Bu grup taşlama, honlama, lepleme ve üstün honlama tekniklerinden oluşur. Alışılmamış imalat yöntemleri de talaşlı imalat işlemlerinin diğer bir grubudur. Bu işlemlerde keskin kesme takımı veya aşındırıcı parçacıktan mekanik, elektrokimyasal, termal ve kimyasal gibi farklı enerji şekilleri uygulanır.

İş parçası üzerinden talaş kaldırma işleminin gerçekleşebilmesi için takımın iş parçasına nüfuz etmesi, takım veya iş parçasına uygulanan kesme kuvvetinin de iş malzemesinden talaş kaldırmak için yeterli olması gerekir. İş parçasından ayrılan malzemeye talaş denir. Talaşlı imalat işleminde belirli bir iş parçasından malzeme kaldırılabilmesi için, takıma uygulanan kuvvetin yeterli olması ve kesici takım malzemesini iş parçasından daha sert olması gerekmektedir.

### **3.5.2.TALAŞ KALDIRMA OLAYINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Tornalama işlemi sırasında talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirlerine etkilerinin dikkate alınması gereklidir. Elde edilen bilgiler tornalama işleminde uygulanacak olan kesme parametrelerinin belirlenmesinde etkin bir rol oynayacaktır.

Bunlar başlıca [32];

1. Takım Malzemesi
2. Kesme Hızı
3. İlerleme
4. Kesme Derinliği

#### **3.5.2.1.Takım Malzemesi**

Talaşlı imalat işleminde, plastik şekil değiştirme adı verilen bir bölge oluşur. Bu bölgede malzeme talaş şeklinde iş parçasından değişik talaş formlarda kopar. Meydana gelen kopma sürekli olduğu gibi kesikli de olabilmektedir. Sünek malzemelerde oluşan sürekli talaş tipi, kesme şartlarının ve işlenen yüzey kalitesinin iyi olduğuna işarettir. Gevrek malzemelerde işlem sırasında kesikli talaş tipi oluşur.

### 3.5.2.2.Kesme Hızı

Gerçekleştirilen çalışma kesici takım malzemesi aşınması ve MMK malzemenin işlenebilirliği olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde kesme hızının özellikle takım aşınmasına doğrudan etkili olduğu görülecektir. Kesme hızı ve takım ömrü ilişkisi ifade eden en geniş kapsamlı çalışma Taylor tarafından gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü ve kesme hızını ifade eden Taylor eşitliği Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$v_c = C_t / T^n \quad (3.1)$$

Denklemdaki n, takım malzemesi, işleme şartları ve ortama bağlı sabit; C<sub>t</sub>, sabit-ilerleme miktarı ve talaş derinliği dahil takım geometrisi, soğutma sıvısı vb. bütün giriş parametrelerine bağlı olarak değişir; v<sub>c</sub>, kesme hızı; T, takım ömrüdür.

Denklemden de anlaşılacağı gibi takım ömrü ve kesme hızı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Kesme hızı, talaşlı imalat işleminin gerçekleşme zamanını da etkilemektedir. Kesme hızı ve işlem süresi arasındaki ilişki Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 te verilmiştir.

$$t = \frac{l * i}{n * f} \quad (3.2)$$

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad (3.3)$$

t: işlem zamanını, l: işleme uzunluğunu, i: paso sayısını, v<sub>c</sub>: kesme hızını ve D: işlenen çapı ifade etmektedir.

### 3.5.2.3.İlerleme

Talaşlı imalat işlemini etkileyen parametrelerden biri ilerlemedir. Özellikle esas kesme kuvveti F<sub>c</sub> değerlendirilirken ilerlemenin etkili olduğu belirlenmiştir. İlerlemenin esas kesme kuvvetiyle olan ilişkisi ampirik formüllerle ifade edilmektedir. Denklem 3.4’te kesme kuvveti denklemi verilmiştir.



$$F_c = a \cdot f \cdot q_{kc} \quad (3.4)$$

Denklemdaki  $F_c$ : kesme kuvveti,  $a$ : kesme derinliğini,  $f$ : ilerlemeyi ve  $q_{kc}$ : özgül kesme direncini ifade etmektedir. Denklemden de anlaşılacağı gibi esas kesme kuvveti ile doğrusal olan bir ilişki vardır [34].

İlerleme değeri, yüzey pürüzlülüğü ve talaşlı imalat işlem süresini doğrudan etkilemektedir. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini gösteren ifade Denklem 3.5'da ve ilerlemenin işleme zamanına olan etkisini gösteren ifade Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r_E} \quad (3.5)$$

Denklem 4.6'daki  $R_a$ : ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri,  $f$ : ilerleme,  $r_E$ : kesici uç burun yarıçapıdır.

#### **3.5.2.4. Kesme Derinliği**

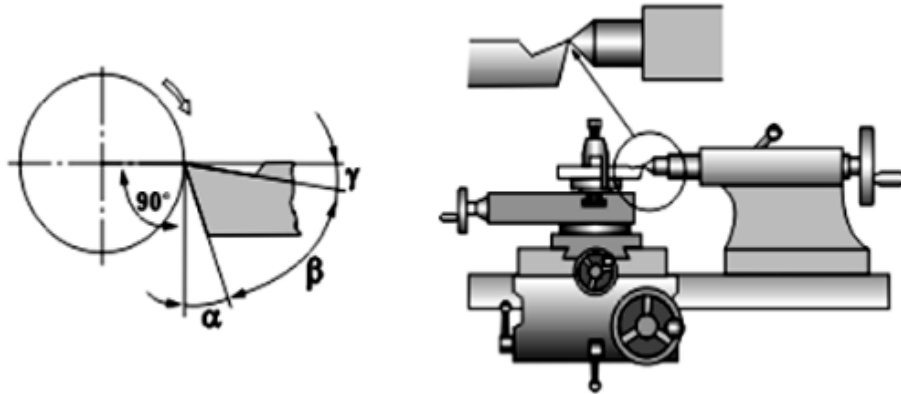
Talaşlı imalat işleminde kesme kuvvetini etkileyen önemli parametrelerden birisi kesme derinliğidir. Kesme derinliğinin artması kesme kuvvetini arttıracaktır. Ayrıca artan kesme derinliği takım aşınmasının da etkilemektedir. Kesme derinliğinin çok yüksek alınması kesici takım aşınmasını hızlandıracağı gibi kesici takımın kırılmasına da sebebiyet verebilmektedir.

### **3.6. KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİ VE MALZEMELERİ**

CNC tezgahlarda çalışma şartlarının çok fazla değişkenlik göstermesi neticesinde sürekli olarak piyasaya yeni kesici takımlar, tutucular ve bunların kaliteleri çıkmaktadır. Klasik torna tezgahlarına göre CNC tezgahlarında yüksek sıcaklıklarda, yüksek devir, ilerleme ve talaş verilebilmektedir. Bu yapısından dolayı CNC'lerde daha rijit ve dayanıklı takımlarla çalışma gerekliliği oluşmuş ve kesici takımlar için yeni bir gelişme çağı başlamıştır. Hemen hemen her ay rakiplerinde geri kalmak

istemeyen üreticiler yeni takımları ve kesicileri piyasaya sürmektedir. Bunların bazıları kalite yönünden geliştirilmiş, bazıları yeni form verilmiş ve bazıları da yeni baştan tasarlanmıştır. Bu yeni tasarımların bağlandığı daha uygun ve sağlıklı çalışma ortamı sağlayan tutucularda bu gelişmelerle beraber çeşitlenmektedir. Üretici firmaların rekabet ortamında varlıklarını sürdürmeleri gelişen teknolojik yeniliklere ayak uydurabilmeleri ile mümkün olacaktır. Bu amaç doğrultusunda üretilen kesici takımların geometrileri sürekli olarak geliştirilmektedir.

İş parçasının en son geometrisinin oluşturulması, kesici takımın geometrisinin uygun seçilmiş olması ile mümkündür. Kesici takım uç geometrisi, kesici uç tutucu (kater) ile kesici uç malzemesinin bir araya gelmesiyle oluşur. Bundan dolayı talaşlı imalat işleminden önce belirlenen kalitede kesici uç malzemesi ve işlemin gerçekleştirileceği kesici uç tutucunun uygun seçilmesi son derece önemlidir. Takım geometrisini oluşturan en önemli açılar kama açısı ( $\beta$ ), boşluk açısı ( $\alpha$ ) ve talaş açısıdır ( $\gamma$ ). Bu açılardan kama açısı kesici takımın dayanımını, boşluk açısı sürtünmeyi ve talaş açısı ise talaşın akış hareketini belirler. Kesici uç açıları Şekil 3.1 de gösterilmiştir. CNC torna tezgâhlarında yapılan parça programı kesici takımın parça üzerinde istenilen profil üzerinden giderek talaş kaldırmasını sağlamaktadır. Kesici takım geometrisinin uygun seçilmemesi hâlinde çıkacak iş parçasının biçim ve ölçüsü de doğru olmayacaktır.



Şekil 3.1 Kesici takım uç açıları [50]

Kesici takım malzemeleri malzeme içeriğine göre sınıflandırılır. Kesici takımın yapıldığı malzeme ve geometrisi en önemli özelliğidir. Yapılacak bir işleminde ne tür bir kesici takım kullanılacağına bu özelliklerine bakılarak karar verilir. Kesici takım malzemeler endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılma durumuna göre;

- Yüksek Hız Takım Çelikleri (HSS)
- Sermet (CT)
- Sert Metal
- Seramik
- Kübik Bor Nitrür (CBN)
- Çok Kristalli Elmas (PCD)
- Doğal Elmas

olarak gruplandırılabilir.

### **3.6.1. Yüksek Hız Çeliği (HSS)**

Yüksek hız çelikleri yirminci yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanmış ve o zamandan sonra talaşlı imalatta temel kesici takım malzemesi olmuştur. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığ gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde kullanılır. Yüksek hız takım çeliklerinin bu tip kesici takımlarda kullanılabilmesini sağlayan karakteristik özellikleri şunlardır; yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı, mükemmel tokluk, basınç dayanımı, yüksek sıcaklıklarda sertlik dayanımı, kenar kesimlerinde kırılma dayanımı. [37, 49]

### **3.6.2. Sermet (CT)**

Sermet, sert partikül olarak tungsten karbür yerine titanyum karbür (TiC), titanyum karbonitrür (TiCN) ve/veya titanyum nitrür (TiN) gibi titanyum esaslı karbürlerin kullanıldığı sinterlenmiş karbürlerin geneline verilen isimdir. Sermet ismi, metal bağlayıcı içerisindeki seramik parçacıklardan dolayı, seramik ve metalden gelmektedir.

Sermet kesici takımlar toz metalurjisi yöntemiyle üretilirler ve çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin talaşlı imalat işlemlerinde kullanılırlar. Sermet kesici takımların düşük ilerlemelerde kullanılması durumunda çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz.

Sermet kesici takımlar; düşük oksitlenme eğilimi, yüksek kesme hızı yeteneği, uzun takım ömrü, yüksek kaliteli ve yüksek hassasiyette işleme kabiliyeti gibi özelliklere sahiptirler [38].

### **3.6.3. Karbür (Sert Metal)**

Karbür kesici takımlar yalnızca toz metalurjisi yöntemiyle üretilebilirler. Tungsten karbür ve kobalt metal tozları önce preslenir daha sonra hidrojen ortamında sinterleme işlemine tabi tutulur. Karbür kesici takımların dökme demir ve çeliklerin işlenmesinde kullanılmaları uygundur. Karbür kesici takımlar pek çok kesici takıma göre daha fazla dayanıma sahiptirler. Ancak karbür kesici takımların kırılma, düşük şok dayanımı gibi dezavantajları vardır. Karbür kesici takımların bu sınırlamalarını gidermek için titanyum ve tantalum eklenmektedir [39]. Sementit karbür, bir toz metalurjisi ürünü olup, temel olarak bağlayıcı (Co) içinde farklı karbürlerden (WC, TiC, TaC veya NbC) üretilirler. Güçlü kimyasal kararlılık, yüksek basınç dayanımı, yüksek sertlik, yüksek sıcaklıklarda iyi sertlik, iyi aşınma dayanımı, yüksek ısı iletkenliği, yüksek elastiklik modülü özelliklerinden dolayı işlenmesi zor olan malzemelerin talaşlı imalatında kullanılırlar [40].

#### **3.6.3.1. Tungsten Karbür (WC)**

Tungsten karbür parçacıkların toz metalurjisi yöntemiyle yüksek sıcaklık ve basınçta kobalt ile birleştirilmesi sonucu elde edilir. Demir dışı, işlenmesi zor olan malzemelerin ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılırlar.

### **3.6.3.2. Titanyum Karbür (TiC)**

Titanyum karbür kesici takımlarda titanyum karbür parçacıklarının birleştirilmesinde nikel- molibden alaşımı kullanılır. Tungsten karbür ile kıyaslandığında aşınma dayanımı daha yüksektir ve daha yüksek kesme hızlarında özellikle çelik ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılırlar.

### **3.6.4. Seramik**

Seramik kesici takımlar tungsten karbür takımların kullanılmasından önce Almanya 1926 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Seramik kesici takımlar mikro yapı ve yoğunluk kontrolünün daha kolay olması ve geliştirilen kompozit malzemelere uyumluluğu nedeniyle günümüzde kullanılmaktadır. Seramik kompozit kesici takımları içerdiği malzeme özelliklerine göre sialonlar, siyah seramikler, beyaz seramikler, whisker seramikler, kaplamalı  $Si_3N_4$  ve kaplamalı siyah seramikler olmak üzere sınıflandırılabilir.

Seramik kesici takımlar yüksek talaş kaldırma oranında kullanılması nedeniyle çoğu talaşlı imalat uygulamasında kullanılmaktadır. Seramik kesici takımlar iyi sıcaklık dayanımı, düşük sürtünme katsayısı, yüksek takım aşınma dayanıklılığı, yüksek kimyasal kararlılık, düşük ısı yayılım katsayısına sahiptir. Tüm bunlara ek olarak seramik kesici takımlar iyi bir yüzey pürüzlülüğü sağlamaktadırlar [37].

Seramik kesici takımlar gevrek malzemelerdir. Bundan dolayı mekanik şoklara dayanımı düşüktür. Seramik kesici takım kullanılması durumunda daha rijit ve güçlü tezgahlara gereksinim duyulacaktır.

### **3.6.5. Çok Kristalli Elmas (PCD)**

Çok kristalli elmas kesici takımlar yapay elmas parçacıklarının çok yüksek sıcaklık ve basınç altında metalik bir birleştirici ile bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle kesici takım geometrisinde imal edilir. Diğer kesici takımlarla

karşılaştırıldığında aşınmaya karşı direnci çok yüksektir. Demir ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Yüksek dayanım ve sertliğe rağmen yüksek sıcaklıkta çeliğin işlenmesinde hızlı takım aşınmasından dolayı kullanılmaz. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkta elmasın grafitte dönüşümü ve/veya elmas ile demir veya atmosfer arasındaki etkileşimdir [42].

### **3.6.6. Kübik Bor Nitrür (CBN)**

Elmaktan sonra en sert kesici takımlardır. Kübik bor nitrür kesici takımlar, 0,5-1 mm bir tabaka oluşturacak şekilde sert metal kesici takım üzerine kübik bornitrür malzemelerin sinterlenmesi sonucu elde edilen kesici takımlardır. Karbür malzeme şok direnci kazandırırken CBN tabakası yüksek takım aşınması direnci ve kesme kenarı dayanımı sağlamaktadır. Kimyasal olarak demir ve nikel malzemeleriyle etkileşime girmez bu nedenle bu malzemelerin işlenmesinde kullanılması uygundur [43].

### **3.6.7. Doğal Elmas**

Elmas doğada bilinen en sert malzemedir. Sertliği 6500 – 12000 VSD arasında değişir. Çok yüksek sertliği, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı, yüksek ısı iletkenliği ve iyi uç keskinliği doğal elmas kesici takımların önemli özelliklerindedir. Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde karbür ve seramik kesici takımlara nazaran daha iyi performans sergilemektedir.

İnce düzgün talaşlı imalat işlemlerinde elmas kesici uçlar kullanılır. Çok yüksek kesme hızları ve sıcaklıklarda kullanılabilirler. Genellikle son işlem için kullanılırlar. Yüksek ekonomik nedenlerden dolayı takımın yalnızca uç kısmı elmaktan yapılır [41].

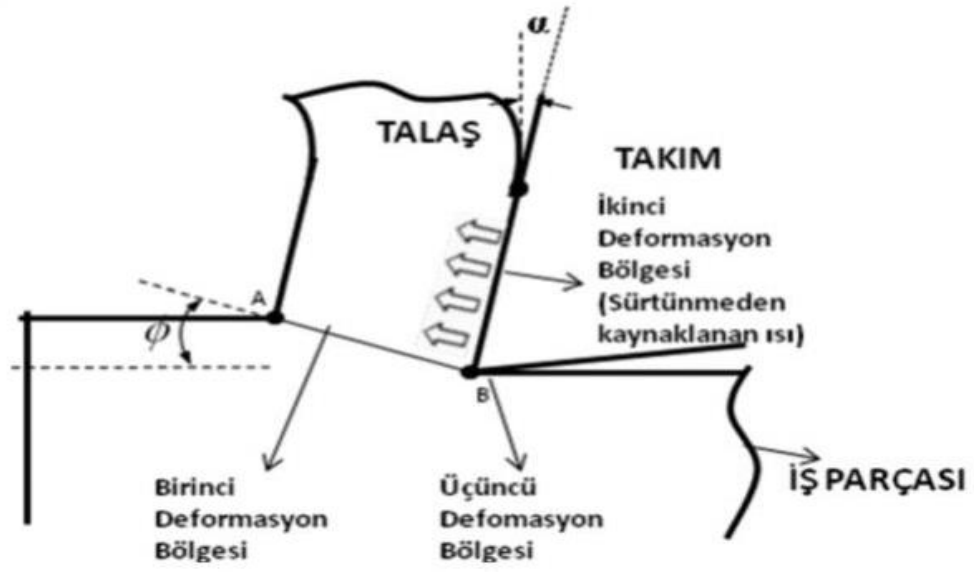
### 3.7. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik kavramının genel bir tanımı olmamakla beraber malzemenin talaşlı imalat işlemine karşı koyduğu davranış olarak tanımlanabilir. İşlenebilirlik tanımını belirleyen parametreler; talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetleri, talaşlı imalat sonrasında iş malzemesi yüzey pürüzlülüğü ve kullanılan kesici takımda meydana gelen aşınma olarak düşünülebilir. Ancak daha geniş düşünülecek olursa işlenebilirliği etkileyen parametreler artırılabilir. İşleme verimliği, işlenen parçaların toleranslar içerisinde ve bütünlüğü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak doğru kesici takım, kesme şartları ve takım tezgahı kombinasyonunun sağlanmasıyla iyileştirilebilir.

İş malzemesinin işlenebilirlik açısından değerlendirilmesinde çeşitli kıstaslar kullanılır. Bunlardan yaygın olarak kullanılanları;

1. Takım ömrü ve aşınması
2. Kesme kuvvetleri ve dolayısıyla harcanan enerji
3. İşlenen yüzey kalitesi

Kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar, birinci, ikinci ve üçüncü deformasyon bölgesi aşınmaları olmak üzere 3 kategoride incelenebilir. Şekil 3.2’de talaşlı imalat işleminde oluşan kesme bölgeleri gösterilmiştir [35]. Kesici takımda meydana gelen aşınmanın iki temel sebebi: sürtünme ve sıcaklıktır. Talaşlı imalat işleminde meydana gelen sürtünme takım aşınmasında en önemli etken iken, sıcaklık takımın aşınma direncini azaltan ve dolayısıyla aşınmayı hızlandıran en önemli etkidir [33].



Şekil 3.2 Talaş kaldırma sırasında oluşan deformasyon bölgeleri [47]

### 3.7.1. Takım Ömrü ve Aşınması

Takım aşınması, talaşlı imalat işleminde kesici takım olarak kullanılan ve belirli geometride üretilen malzemenin ile talaşlı imalat işlemine devam edilmesi durumunda işleme zarar verecek hale gelmesi durumudur. Kesici takım olarak kullanılan malzemelerde meydana gelen aşınma değeri belirli bir değere ulaştığında kullanımına son verilmelidir. Belirlenen bu değer uluslararası standartlarda belirtilmiştir. Kesici takım malzemelerinde oluşan aşınmalar farklı şekillerde oluşabilir. Kesici takım aşınmaları; abrazif (aşındırıcı) aşınma, krater aşınması, yığılma kenar oluşumu, ısıl çatlaklar, kırılma, parça kopması, mekanik yorulma çatlakları başlıklarıyla incelenebilir [44].

#### 3.7.1.1. Abraziv Aşınma

En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Genellikle iş malzemesine ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, iş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur. Bu aşınma tipi



kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar. Kesici kenarın abraziv aşınmaya dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır.

### **3.7.1.2. Krater Aşınması**

Talaşlı imalat işleminde takım-iş parçası arasında meydana gelen kimyasal etkileşimden dolayı oluşmaktadır. Takım-iş parçası kimyasal özelliği krater aşınmasının mekanizmasını belirlemektedir. Takım-iş parçası sertliği krater aşınmasını etkilemez. Bazı takım malzemeleri iş parçasına karşı kimyasal olarak duyarsızdırlar.

### **3.7.1.3. Yığıma Kenar Oluşumu**

Talaşlı imalat işleminde oluşan yığıma kenar daha çok düşük işleme sıcaklıklarında takım talaş yüzeyinde oluşur. Yığıma kenar oluşumu alüminyum ve çelik malzemelerin uzun işlemlerinde işleme sırasında çıkan kısa talaşların kesici takım talaş yüzeyine yapışması ile oluşumu başlar daha sonra iş malzemesinden kalkan talaşlar tabaka halinde iş malzemesi üzerine kaynar ve sertleşir. Yığıma kenar takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olur.

### **3.7.1.4. Isıl Çatlaklar**

Isıl çatlaklar termo mekanik davranışlar (ısı sirkülasyonu) sonucunda oluşur. Bu aşınma sonucunda kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir ve takım malzemesi kenarda dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda takım malzemesinde ani kırılma ve ucun kullanılamaz hale gelmesi söz konusudur.

### **3.7.1.5. Kırılma (Mekaniksel)**

Mekaniksel kırılma, kesici kenarda bulunan küçük parçacıkların aşınma nedeniyle yıpranmadan ziyade koparak kesici takımdan uzaklaşması nedeniyle oluşur. Karşılaşılan bu takım aşınması kesici takım kenarının dayanımını aşan bir mekanik yükleme durumunda oluşur. Mekaniksel kırılma genellikle şok yüklemelerde yani düzensiz, kesikli yüklemelerde görülür. Kırılma aşınması kesici takım talaş ve serbest yüzey açısını değiştirir. Kırılma aşınmasını en iyi tarif eden görüntü takım talaş ve serbest yüzeyinin incelenmesi sonucu oluşan durumla ifade edilebilir. Kırılma aşınması kesici takımın değiştirilmesine ve talaşlı imalat işlemine son verilmesine neden olan aşınma türüdür.

### **3.7.1.6. Kırılma (Isıl Genleşme)**

Isıl kırılma aşınması takım-talaş ara yüzeyinde kesmeyi kolaylaştıracak boşluk olmaması durumunda gerçekleşir. Isıl kırılma aşınması yan yüzeyde küçük ancak talaş yüzeyinde büyük ve tabakalı halde oluşmaktadır [45].

### **3.7.1.7. Kesici Kenardan Parça Kopması**

Kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir.

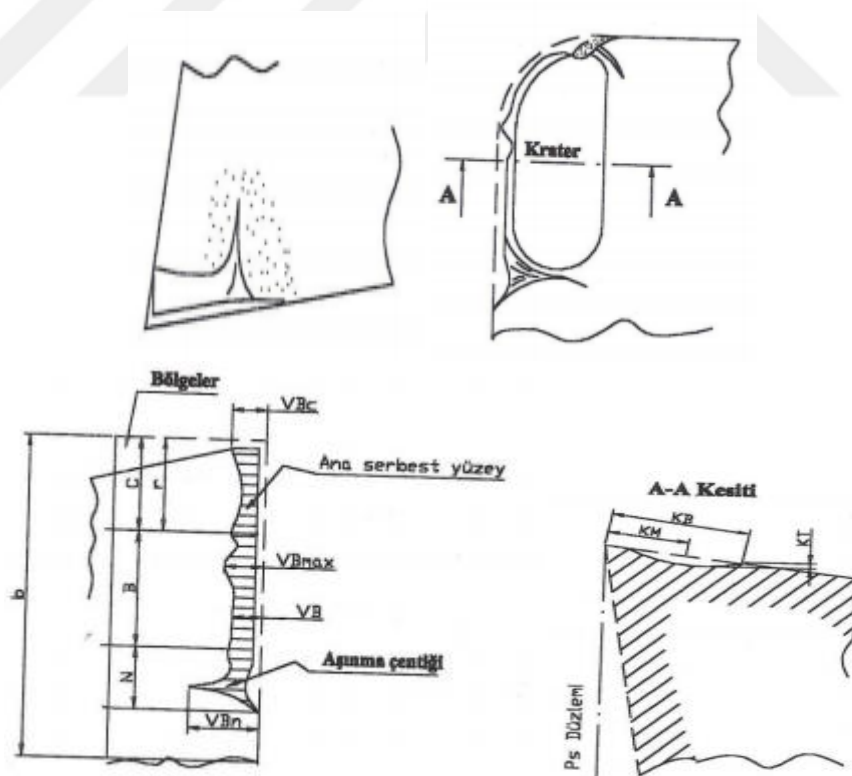
Kenar üzerindeki dikkatli bir inceleme aşınmanın serbest yüzey aşınması mı yoksa kenardan parçacık kopması mı olduğunu belirleyecektir.

### 3.7.1.8. Mekanik Yorulma Çatlakları

Kesme kuvvetlerindeki ani değişimler sonucunda ortaya çıkarlar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlakla neden olur. Kesmenin başlangıcında kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip aşınma gözlenir [46].

### 3.7.2. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Kesici takımda meydana gelen aşınmaların ölçülmesinde esas kesme kenarı 3'e ayrılır. Bu bölgeler Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Şekil 3.3'te gösterilen bölgelerden C bölgesi, kalem köşesindeki kesici kenarın kavisli kısmı, N bölgesi, kesici kenarın kalem köşesinden en uzakta olan kısmı olup b'nin 1/4'üne karşılık gelir. B bölgesi, kesici kenarın C ve N bölgesi arasında kalan düz kısımdır.



Şekil 3.3 Kesici takım aşınma bölgeleri [44]

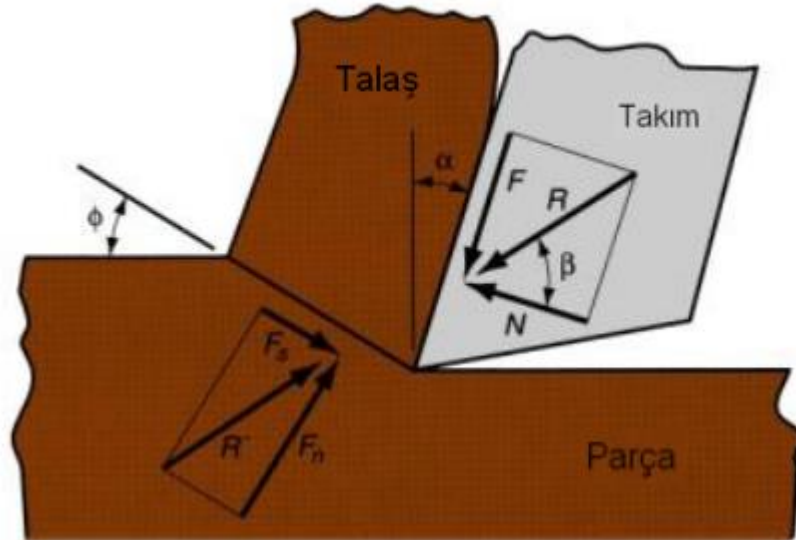
Şekil 3.4'te görülen ifadelerden  $V_B$  serbest yüzeyin aşınan kısmının genişliği,  $KT$  =Krater derinliği,  $KM$ =Krater merkezinin uca uzaklığı,  $KB$  =Krater genişliğidir.  $V_B$  değeri  $P_s$  düzlemindeki  $B$  bölgesinden ölçülmelidir. Tungsten karbür kesici takımlarda yaygın olarak kullanılan aşınma kriteri aşağıdaki standartlar yardımıyla belirlenir [44].

Kesme kenarında düzenli aşınma varsa  $V_B=0,3$  mm veya kesme kenarında düzensizlik varsa yanal yüzey aşınmasının en fazla değeri  $V_{B,MAX}=0,6$  mm olduğunda takım ömrünü tamamlamış kabul edilir.

Eğer kesici takımında krater aşınması varsa  $KT=0,06+0,3f$  (f: ilerleme) olarak kabul edilir.

### 3.7.3.Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi sırasında takım ile talaş ve takım ile parça arasında sürtünmeden dolayı kesme kuvvetleri oluşur ve bu kuvvetler düzlem boyunca yayılmıştır. Talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Talaşlı imalat sırasında oluşan kuvvetler [48]

Şekildeki; F: Sürtünme kuvveti, N: Sürtünmeyi oluşturan Normal kuvvet, Fs: Kayma kuvveti, Fn: Kaymaya karşı Normal kuvvet, R: F ve N'nin vektör toplamı (bileşke kuvvet), R/: Fs ve Fn'nin vektör toplamı (bileşkesi), Talaş üzerine etki eden kuvvetler dengede olmalı. Yani:R/, R'ye eşit büyüklükte, ters yönde ve aynı doğrultuda olmalıdır.

Takım ve talaş arasındaki sürtünme katsayısı ( $\mu$ ):

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (3.6)$$

şeklinde bulunur.

Sürtünme katsayısına bağlı olarak sürtünme açısı:

$$\mu = \tan\beta \quad (3.7)$$

Kayma düzlemi boyunca etki eden kayma gerilmesi:

$$S = \frac{F_s}{E_s} \quad (3.8)$$

Burada: As, kayma düzleminin alanı olup şöyle bulunur:

$$A_s = \frac{t_0 w}{\sin \theta} \quad (3.9)$$

Denklemdaki:

$t_0$ , kayma düzlemi boyunca talaş kalınlığı ve  $w$ , talaş genişliğidir.

Kesme ve Dayama Kuvveti: F, N, Fs ve Fn kuvvetleri doğrudan ölçülemez. Kesme kuvvet  $F_c$  ve dayama kuvveti  $F_t$  olarak gösterilirse doğrudan ölçülemeyen bu kuvvetler denklemler türetilebilir.

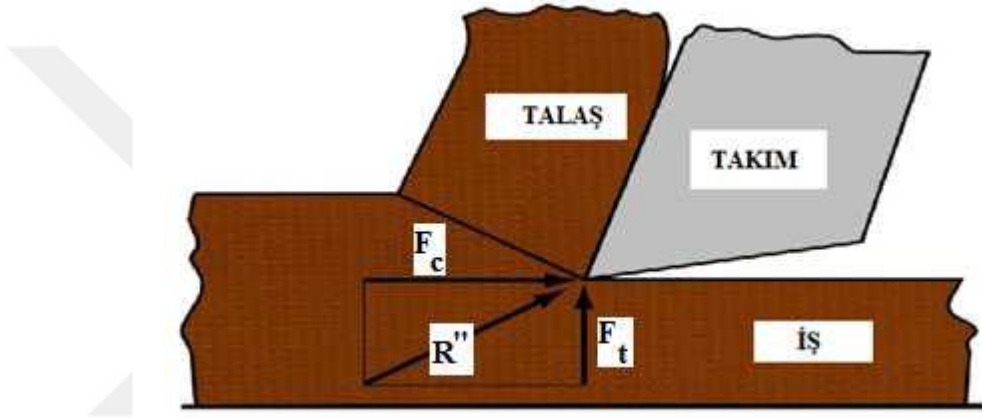
$$F = F_C \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (3.10)$$

$$N = F_C \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (3.11)$$

$$F_s = F_C \cos \theta - F_t \sin \theta \quad (3.12)$$

$$F_n = F_C \sin \theta + F_t \cos \theta \quad (3.13)$$

Hesaplanan bu kuvvetlere dayanarak kayma gerilmesi ve sürtünme katsayısı belirlenebilir. Şekil 3.5 kesme ve dayama kuvvetlerini göstermektedir.



Şekil 3.5 Kesme ve Dayama kuvvetlerinin gösterimi [48]

Talaşlı imalat işleminde işlenecek olan malzemenin mukavemeti büyükse, kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) değeri de büyük olur. Talaşlı imalat işleminde talaş kalınlığının, takım eğim açısının ve talaş açısının artması kesme kuvvetinin azalmasına neden olur.

Kesme kuvvetinin büyüklüğü ve dolayısıyla güç sarfiyatı ne kadar fazla ise malzemenin işlenebilirliği o derece kötü olduğu kabul edilir.

#### 3.7.4. Yüzey Kalitesi

Kesici takımın, işlenecek olan iş parçasının bir ucundan diğer ucuna gitmesi sonucu iş parçası üzerinde bıraktığı pek çok çizikli, düzensiz dalga boyu uzunluklarına yüzey pürüzlülüğü denir. İşlenmiş malzemelerin yüzey kalitesini değerlendirmekte esas kriter yüzey pürüzlülüğüdür ve yüzey pürüzlülüğü işlenebilirlik değerlendirmelerinde en önemli parametrelerden biridir. Belirli koşullar altında malzemenin yüzey kalitesi ne kadar iyi ise o malzemenin işlenebilirliğinin o kadar yüksek olduğu söylenebilir. Yüzey kalitesi Denklem 3.5'e göre hesaplanır.



## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Malzeme Üretimi Ve Deney Numunelerinin Hazırlanması

#### 4.1.1. Malzeme Hazırlama Düzeneği

MMK malzemelerin karıştırma işlemi Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümü Döküm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de gösterilen malzeme hazırlama düzeneğinde matris malzemesi ergitilmiş ve takviye malzemesi karıştırılmıştır. Malzeme hazırlama düzeneği üzerinde bulunan sıcaklık kontrol paneli vasıtasıyla elektrikli potanın sıcaklığı kontrol edilmiştir. Matris malzemesi ergidikten sonra üzerinde bulunan bir panel vasıtasıyla devir sayısı kontrol edilebilen dikey matkap ucuna takılan karıştırma çubuğu metal havuzu içerisine daldırılmış ve karıştırma işlemi başlatılmış ve karıştırma işlemine 5dk boyunca 600dev/dak. da devam edilmiştir. Karıştırma işleminin tamamlanmasından sonra oluşan sıvı MMK kompozit kum kalıp içerisine dökülmüştür. Kum kalıpta soğuması için 1 saat beklenen MMK kompozit malzemelere kalıptan çıkarıldıktan sonra universal torna tezgahında yüzey temizleme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.1 Malzeme hazırlama düzeneği [KÜ döküm laboratuvarı]



#### 4.1.2. Takviye Malzeme Olarak Kullanılan Tozların Hazırlanması

MMK malzemelerin üretiminde kullanılacak olan matris malzemesi ve takviye elemanlarının miktarı Şekil 4.2’de gösterilen Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Bölümü Döküm Laboratuvarı bünyesinde bulunan hassas terazide ölçülmüştür. MMK malzemeleri oluşturan matris malzemesi ve takviye elemanlarının ortalama toz boyutları SEM cihazında yapılan inceleme sonrasında ölçülmüş ve 40µm olduğu belirlenmiştir. Eşit ve küçük (40µm) toz boyutu homojen bir kompozit yapısını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4.2 Hassas terazi

#### 4.1.3. Matris Malzemesinin Ergitilmesi

Matris malzemesi olarak kullanılan Al1070 alüminyum alaşımı oda şartlarında pota içerisine katı halde yüklenmiş ve Şekil 4.3’te gösterilen Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümü Döküm Laboratuvarı bünyesinde bulunan cihazda 800 °C’ye kadar ısıtılarak ergimesi sağlanmıştır. Ergiyen metalin içerisinde bulunduğu ortamın sıcaklığını korumak amacıyla pota üzerine ısıya dayanıklı malzemeler kapatılmıştır.



**Şekil 4.3** Elektrik direnç ergitme ocağı

#### **4.1.4. Karıştırma İşleminin Gerçekleştirilmesi**

Dikey matkap ucuna takılan karıştırma çubuğu vasıtasıyla karıştırma işlemi, homojen bir MMK iç yapısını elde etmek için Şekil 4.1'de gösterilen sistemle gerçekleştirilmiştir. Dikey matkap üzerinde bulunan kontrol paneli yardımıyla karıştırma çubuğunun dönme hızı kontrol edilmiştir. Matris malzemesinin ergitilmesinden çok kısa bir süre sonra karıştırma çubuğu metal havuzuna batırılmış ve karıştırma işlemi başlatılmıştır. Karıştırma işleminin başlatılmasından çok kısa bir süre sonra takviye malzemeler (SiC ve B<sub>4</sub>C) havuz içerisine dökülmüş ve esas kompozit yapısını oluşturan karıştırma işlemi başlatılmıştır. Karıştırma işlemi 10 Hz yani 600 dev/dak değerinde 5 dak. boyunca gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1.5. Ergitilen Metalin Kum Kalıba Dökülmesi

Sıvı MMK malzemesi Şekil 4.4'te gösterilen Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümü Döküm Laboratuvarında bulunan kum kalıp içerisine dökülmüştür. Kum kalıp içerisindeki boşlukların oluşmasını sağlayan modeller 40mm çap ve 140 mm boya sahiptir. Kum kalıp içerisine istenilen boşluk oluşturulduktan sonra modeller çıkarılmış ve döküm işlemi oluşan boşluklar içerisine yapılmıştır. Döküm işleminde her bir takviye oranından 3 adet numune üretilmiştir.



**Şekil 4.4** MMK malzemelerin üretiminde kullanılan kum kalıp

Şekil 4.5'te gösterilen kum kalıplara ergiyik haldeki MMK döküldükten sonra soğuması için birsaat beklenilmiştir.



**Şekil 4.5** MMK malzemelerin kum kalıp içerisinde bekletilmesi

#### **4.1.6. Kum Kalıptan Metalin Çıkarılması**

Kum kalıptan çıkarılan MMK numuneler hala sıcak olmasından dolayı kalıptan çıkarıldıktan sonra MMK malzemelerin yüzey temizleme işlemi uygulanmıştır. Kalıptan çıkarılan MMK malzemelerin karışmasını önlemek amacıyla sınıflandırılması yapılmıştır. Şekil 4.6'da kum kalıptan çıkarılan MMK malzemelerin görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 4.6**MMK malzemelerin kum kalıptan çıkarılması

#### 4.1.7. Kum Kalıptan Çıkarılan Metalin Temizlenmesi

Kum kalıptan çıkarılan MMK malzemelere Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Talaşlı İmalat Laboratuvarında yüzey temizleme işlemi uygulanmıştır. Yüzey temizleme işlemi laboratuvar dahilinde bulunan universal torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Yüzey temizleme işleminde tezgah devir hızı 710 dev/dak, kesme derinliği 1 mm ilerleme 0,5 mm/dev olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7’de yüzey temizleme işlemi görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 4.8’de yüzey temizleme işleminden sonra oluşan metal yapısı gösterilmiştir. Temizleme işleminden sonra üretilen MMK malzemelerin boyutları ölçülmüş ve çap:38 mm boy:135 mm olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7 MMK malzemelere yüzey temizleme işleminin uygulanması

MMK malzemeye ait SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları Ek-I’de verilmiştir. Ek-I’deki veriler incelendiğinde takviyesiz Al 1070 alaşımının iç yapı görüntülerinde Al 1070 alaşımını oluşturan elementlerin içerikte olduğu görülür. Takviyeli MMK malzemelerde analiz yapılan görüntü alanı içerisinde gerçekleştirilen EDS sonuçlarında takviye malzemelerin yapı içerisinde olduğu görülmektedir.





**Şekil 4.8** MMK malzemelerin yüzey temizlenme işleminden sonra görüntüsü

## **4.2. İşlenebilirlik Deneyleri**

Al1070 matrisli SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini incelemek bu çalışmanın amacıdır. Bu çalışmada MMK malzemenin işlenebilirlik özellikleri kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması yönünden incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda soğutma sıvısı kullanılmamış ve çalışmalar bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahında, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir.

### **4.2.1. Takım Tezgahı**

20 mm çapında ve 80 mm boyundaki MMK malzemelerin işlenebilirlik deneyleri Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar Kontrollü Tezgahlar Laboratuvarı'nda bulunan GOODWAY GLS 150 marka, Bilgisayar Sayısal Denetimli Torna Tezgahı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu tezgaha ait teknik özellikler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği deney düzeneği Şekil 4.9'da verilmiştir.

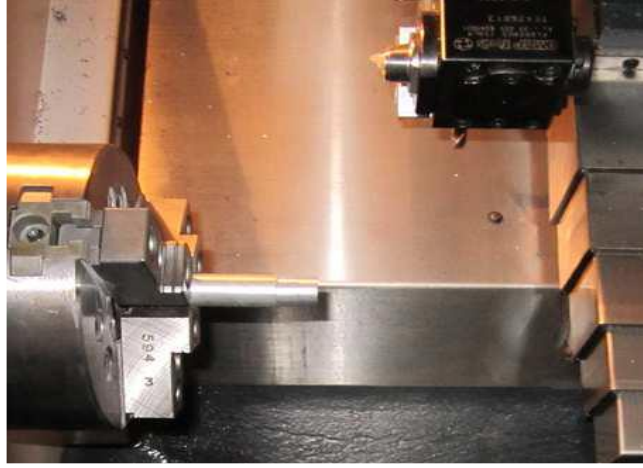


**Şekil 4.9** Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği sistem

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği GOODWAY GLS 150 marka CNC torna cihazının özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1**GOODWAY GLS 150 marka CNC torna cihazı teknik özellikleri

Üretici firma	GOODWAY
Model	GLS 150
Tornalama çapı	400 [mm]
Tornalama boyu	500 [mm]
Ayna ebadı	8"
İş mili normu	A2-6
Ana iş mili motor gücü	11 Kw
Kontrol sistemi	FanucOi-TC
Magazin tipi	BMT Taret-12 istasyon
Makine ağırlığı	3200[kg]
İş mili devri	7000 [dev/dak]



**Şekil 4.10** Numunenin BSD torna tezgahının aynasına bağlanması

#### 4.2.2. Takım Tutucu

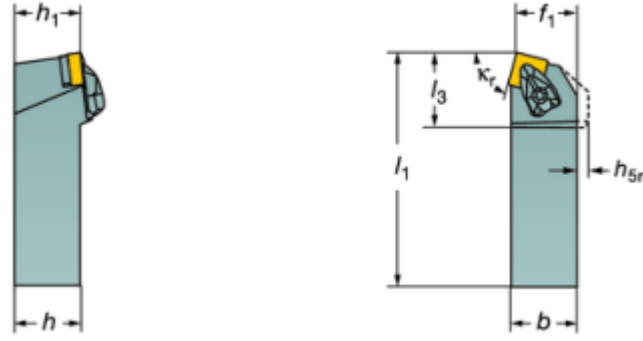
Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen numunelerin, işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan kesici takım tutucu, Çizelge 4.1’de özellikleri verilen torna cihazının bağlama başlığına uygun olarak seçilmiştir. ISO 3685 standartlarında belirtilen özelliklere ve deney parametrelerine uygun olarak Sandvik marka DSBNR 2020K 12 kod numaralı takım tutucu kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de deneylerde kullanılan takım tutucu özellikleri verilmiştir. Şekil 4.11’de kullanılan kesici takım tutucu verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Deneylerde kullanılan takım tutucu teknik özellikleri

KOD	b	f1	h	h1	l1	l3	$\lambda^1$	$\lambda_s^{2)}$	YAKLAŞMA AÇISI
DSBNR 2020K 12	20	17	20	20	125	26,7	-6	-6	75

$\lambda^1$ ):kesme açısı,  $\lambda_s^{2)}$ :eğim açısı





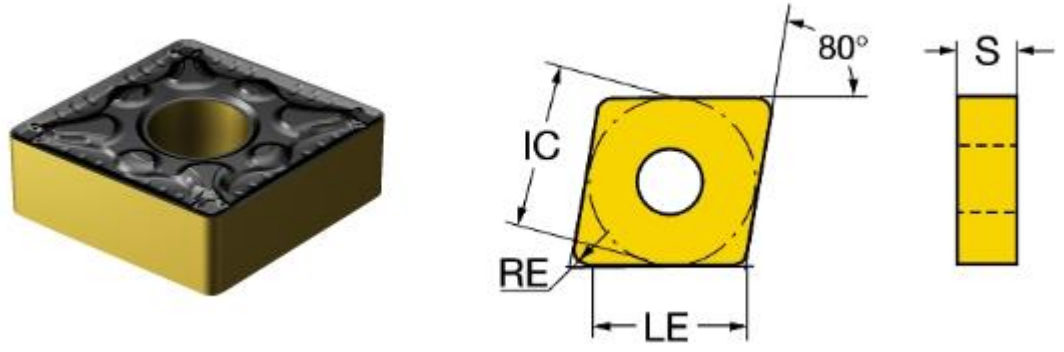
**Şekil 4.11** Sandvik marka DSBNR 2020K 12 kod numaralı takım tutucu

#### 4.2.3. Kesici Takımlar

MMK malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde CVD TiN kaplamalı tungsten karbür kaliteye sahip kesici takım kullanılmıştır. Kullanılan kesici takım, Sandvik marka, SNMG 120408 PM 4325 kod numaralı, CVD kaplamalı tungsten karbür takımdır. Kullanılan kesici takımın teknik özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.12'de talaşlı imalat işleminin gerçekleştirildiği kesici uç görüntüsü verilmiştir.

**Çizelge 4.3** Kullanılan kesici ucun teknik özellikleri

Kesici Takım Kalitesi	Malzemesi	Kaplama durumu	Kaplama türü	Kaplama malzemesi	Kesici Takım Geometrisi	Uçaçısı 1
GC4325	Sementit Karbür Takım	Kaplamalı	CVD	TiN	SNMG	80°



**Şekil 4.12** Talaşlı imalat işleminde kullanılan kesici takım

#### 4.2.4. Kesme Parametreleri

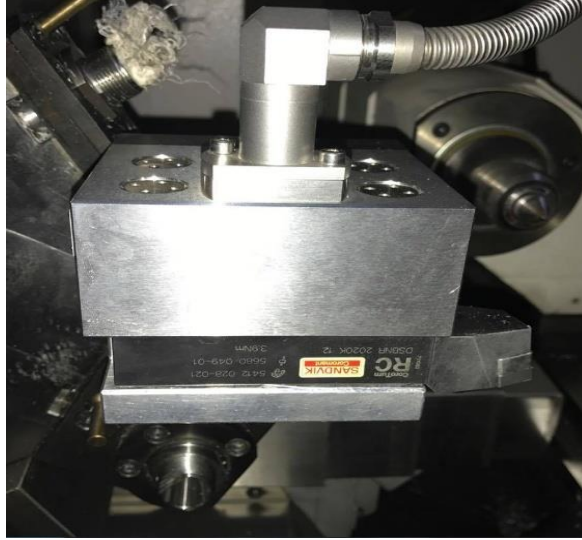
Bu çalışmada karıştırmalı döküm yöntemiyle üç farklı takviye hacim oranında üretilen Al matrisli SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli hibrit MMK malzemelerin, işlenebilirlik özellikleri, kuru kesme şartlarında, BSD torna tezgahında, dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde belirlenmiştir. Deney parametreleri literatürdeki çalışmalar ve ilgili kataloglardan edinilen bilgilerden elde edilmiştir. Deneyde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

**Çizelge 4.4** İşleme parametreleri

Kesme derinliği ( $a_p$ ), mm	İlerleme( $f$ ), mm/dev	Kesme hızı ( $v_c$ ), m/dak
0,5	0,05-0,1-0,15	100-200-300

#### 4.2.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

İşleme deneylerinde kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Kontrollü Tezgahlar Laboratuvarı’nda bulunan KISTLER marka 9257b model dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

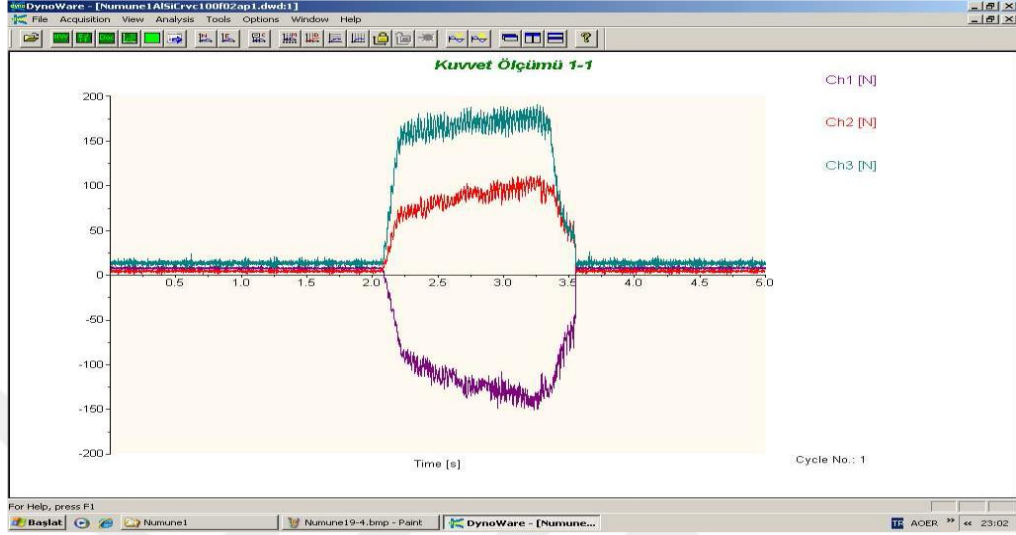


**Şekil 4.13** Kistler 9257b marka dinamometre

**Çizelge 4.5** KISTLER marka 9257b model dinamometre teknik özellikleri

Özellikleri	Ölçme birimi	Model 5070A10000
Ekipman tipi	-	Şarj yükseltici
Tasarım	-	Bağımsız
Kanal sayısı	-	4
Uç girişte bağlantı	-	BNC
Ölçme aralığı	pC	200...200000
Sensör tanımlanması	-	Hayır
Çıkış sinyali/voltajı	V	10...100
Frekans cevabı	kHz	0,0...450
Çalışma sıcaklık aralığı	°C	0...50
Boy	mm	253
Derinlik	mm	247,5
Yükseklik	mm	142
Akım kompensasyonu	-	Hayır
Kendi nokta taraması	-	Hayır
Ağırlık	kg	3,8

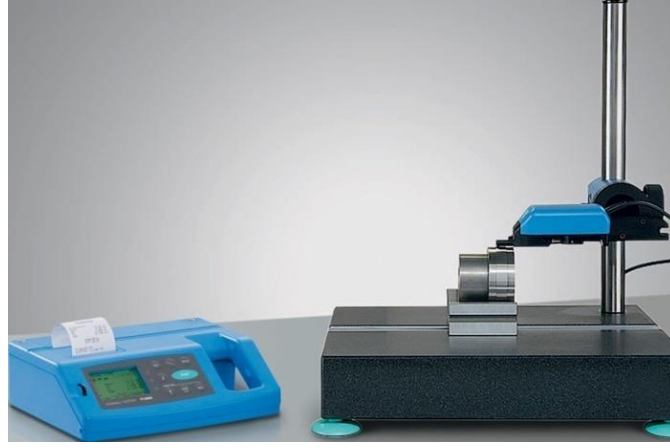
KISTLER 9257bdinamometresinden elde edilen kesme kuvveti ölçüm verilerin örnek görüntüleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Dinamometreden elde edilen kesme kuvveti ekran örnekleri

#### 4.2.6. Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi

İşleme deneylerinde yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Kontrollü Tezgahlar Laboratuvarı'nda bulunan HOMMEL TESTER marka T1000 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.



**Şekil 4.15** Hommel T1000 Tester marka cihaz

İşleme deneyleri sonrasında işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılan HOMMEL TESTER marka T1000 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.6** HOMMEL TESTER marka T1000 model yüzey pürüzlülük cihazı

Ölçüm	Kaymalı tip ölçüm
DIN 4772'ye göre toplam sapma	Sınıf 1
Ölçme aralığı/çözünürlük	$\pm 80 \mu\text{m}/0,01 \mu\text{m}$ $\pm 320 \mu\text{m}/0,04 \mu\text{m}$
Kesme uzunluğu $L_c$ (mm)	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8,0
Tolerans sınırı	Tüm karakteristik değerler için ayarlanabilir
EN ISO 4287 uygun parametreler	Ra, Rz, Rt, Rmax, Rp, Rpm, Rv, Rq
Birim	$\mu\text{m}$ , $\mu\text{inç}$ (değiştirilebilir)
Ekran	Aydınlatma grafik ekran 240 x 160 nokta
Veri hafıza kapasitesi	999 profil/999 ölçüm (toplamda)
Ölçme programları	5
Ara yüzey	Standart-V 24(RS-232),seri
Güç kaynağı	Ni-metal hibrit batarya
Batarya ile ölçme kapasitesi	Yaklaşık 500 ölçüm
Çalışma sıcaklığı	0-50 °C, maksimum %85 nem
Boyutlar (en x boy x yükseklik)	253 x 193 x 80 mm
Ağırlık	1600 g
Yazıcı içeriği	ölçme şartları, tarih, sonuç, parametreler
	R profil, Rk profil, istatistikler,
Dikey büyültme	Maksimum X50000
Yazıcı hızı	30 mm/s
Çözünürlük	8 nokta/mm

## 5. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

Alüminyum (Al1070) matrisli SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirlik özellikleri değerlendirilirken ISO3685 standartlarına ve literatür çalışmalarına uygun olarak; kuru kesme şartları, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliği parametreleri belirlenmiştir. Gerçekleştirilen her bir işleme deneyinde deney numunesine 30 mm silindirik tornalama işlemi uygulanmıştır. Belirlenen ölçüde tornalama işlemi gerçekleştirildiğinde kesici takım ucu değiştirilmiştir. MMK malzemelerin işlenebilirlik özellikleri; deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, kesme kuvveti verileri ve takım aşınması yönünden değerlendirilmiştir. Üç (%2,5SiC-%2,5B<sub>4</sub>C, %5SiC-%5B<sub>4</sub>C, %7,5SiC-%7,5B<sub>4</sub>C) farklı takviye hacim oranındaki MMK malzemeler için toplam 72 adet işleme deneyi gerçekleştirilmiştir.

### 5.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen saf Al 1070 alaşımı ve üç farklı takviye hacim oranındaki malzemelere, BSD tornalama merkezi tezgahında silindirik (boyuna) tornalama işlemi uygulanmıştır. Talaşlı imalat işlemi sırasında dinamometre kullanılarak kesme kuvveti verileri elde edilmiştir. Kistler marka dinamometre kullanılarak gerçekleştirilen deneylerden alınan veriler 2 başlık altında incelenmiştir. Kesme hızının kesme kuvvetine olan etkisi ve ilerlemenin kesme kuvvetine olan etkisinin incelenmesi bu şekilde daha sistematik bir hale getirilmiştir. Kesme hızının değişmesiyle kesme kuvvetinde meydana gelen değişim Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te, ilerlemenin değişmesiyle kesme kuvvetinde meydana gelen değişim Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmiştir. Elde edilen veriler Excel kullanılarak grafiksel sunum haline getirilmiştir. Çalışmanın daha anlaşılabilir olması açısından kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

### 5.1.1. Kesme hızı ile kesme kuvveti değişiminin değerlendirilmesi

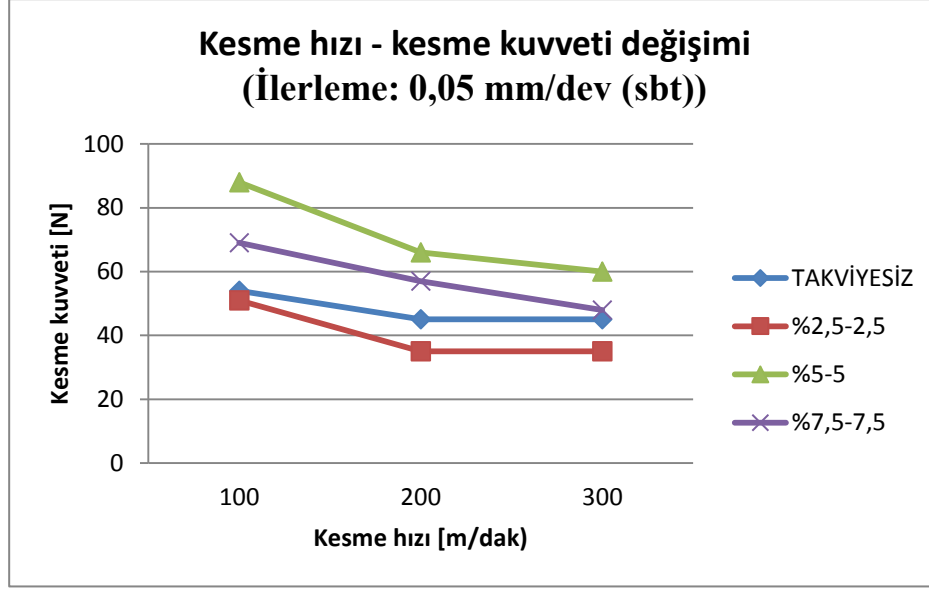
Kesme hızının farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde işlenebilirliğe olan etkisini gösteren verilerden Çizelge 5.1 ilerlemenin 0,05 mm/dev, Çizelge 5.2 ilerlemenin 0,1 mm/dev ve Çizelge 5.3 ilerlemenin 0,15 mm/dev olduğu çalışma içindir.

**Çizelge 5.1** Kesme hızı değişimi ile kesme kuvveti değişimi (f:0,05 mm/dev)

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,05 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	Kesme Hızı [m/dak]	Kesme Kuvveti (N)
TAKVİYESİZ	100	54
TAKVİYESİZ	200	45
TAKVİYESİZ	300	45
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	100	51
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	35
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	35
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	88
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	66
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	60
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	69
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	57
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	48

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı kesme hızlarında elde edilen kesme kuvveti verileri Çizelge 5.1’de listelenmiştir. Çizelge 5.1 İlerleme 0,05 mm/dev olarak belirlenen çalışmalar için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1, Çizelge 5.1’den elde edilen verilerle oluşturulmuştur.





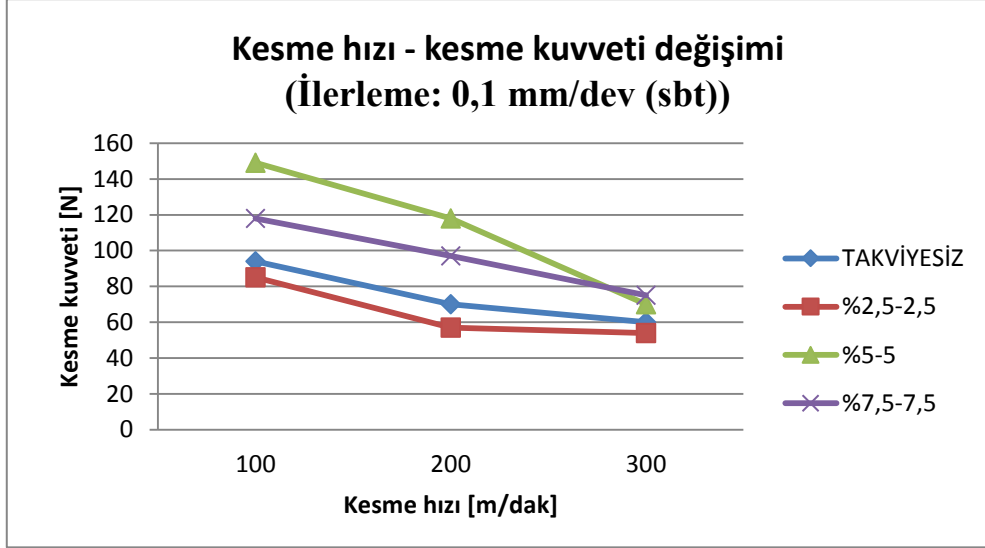
**Şekil 5.1** Kesme hızı ile kesme kuvveti değişim grafiği (İlerleme: 0,05 mm/dev (sbt))

Kaplamalı tungsten karbür takım kullanılarak 3 farklı kesme hızı ve 0,05 sabit ilerlemede takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden elde edilen kesme kuvveti verileri Şekil 5.1’de sunulmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde farklı takviye hacim oranındaki bütün malzemeler için kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvveti düşmektedir. Grafikten elde edilen bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Karşılaşılan bu düşüşün sebebi artan kesme hızıyla artan sıcaklık neticesinde, iş parçası malzemesinin daha kolay deforme edilmesine bağlanabilmektedir. Yüksek hızlarda deformasyon bölgelerinde artan sıcaklığa bağlı olarak kesme bölgesinde deformasyon işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin, kesici kenar ve burun radyüsü çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ile açıklanabilir. Elde edilen kesme kuvveti verileri incelendiğinde bütün kesme hızlarına %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranına sahip malzemede elde edilen kesme kuvveti verileri diğer numunelerden fazla olmuştur. Ayrıca %2,5 SiC-%2,5B<sub>4</sub>C takviye hacim oranından sonra sırasıyla sertlik değeri %7.5-7.5, 0, 2.5-2.5’dir. Anlaşılacağı üzere takviye hacim oranı ile kesme kuvveti arasında direkt bir ilişki kurmakta zorlanılmaktadır. Bunun sebebi olarak malzeme içi homojensizlik düşünülmektedir.

**Çizelge 5.2** Kesme hızı değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri(f:0,1 mm/dev)

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,1 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	Kesme Hızı [m/dak]	Kesme Kuvveti [N]
TAKVİYESİZ	100	94
TAKVİYESİZ	200	70
TAKVİYESİZ	300	60
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	100	85
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	57
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	54
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	149
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	118
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	70
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	118
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	97
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	75

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı kesme hızlarında elde edilen kesme kuvveti verileri Çizelge 5.2’de listelenmiştir. Çizelge 5.2 ilerleme 0,1 mm/dev olarak belirlenen çalışmalar için gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.2’den elde edilen verilerle oluşan grafik Şekil 5.2’de sunulmuştur.



**Şekil 5.2** Kesme hızı ile kesme kuvveti değişim grafiği (İlerleme: 0,1 mm/dev (sbt))

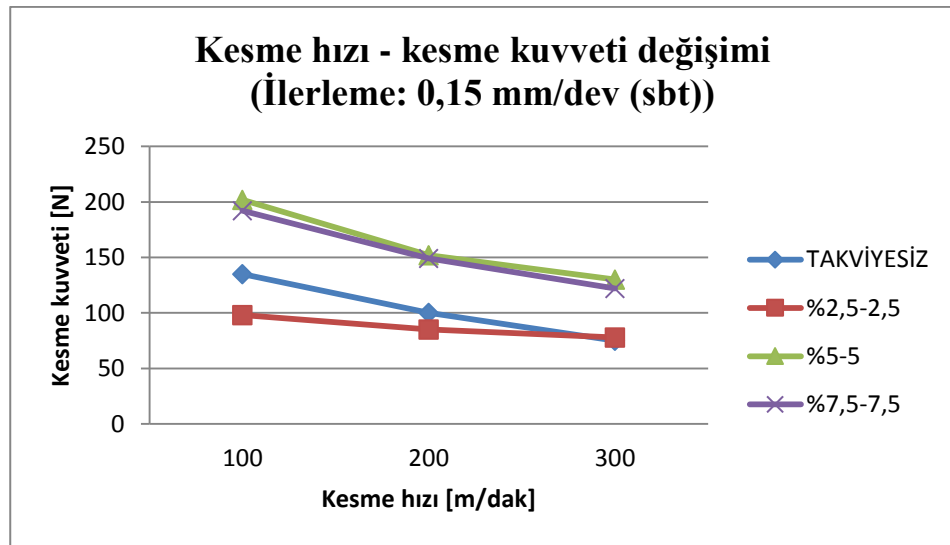
Kaplamalı tungsten karbür kesici takım kullanılarak 3 farklı kesme hızı ve 0,1 sabit ilerlemede üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden elde edilen kesme kuvveti verileri Şekil 5.2’de sunulmuştur. Yapılan ön çalışmalar neticesinde ilerlemenin 0,1 mm/dev olduğu çalışmada elde edilen verilerin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde farklı takviye hacim oranındaki bütün malzemeler için kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvveti düşmektedir. Bahçeci E. yapmış olduğu çalışmada tornalama kuvvetlerinin artan kesme hızıyla birlikte önemli ölçüde azaldığını gözlemlemiştir [6]. Grafikten elde edilen bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Karşılaşılan bu düşüşün sebebi artan kesme hızıyla artan sıcaklık neticesinde, iş parçası malzemesinin daha kolay deforme edilmesine bağlanabilmektedir. Yüksek hızlarda deformasyon bölgelerinde artan sıcaklığa bağlı olarak kesme bölgesinde deformasyon işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin, kesici kenar ve burun radyüsü çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ile açıklanabilir. Kesme kuvveti verisi değerinin takviye hacim oranı arttıkça artması beklenmektedir. Bunun sebebi ise artan takviye hacim oranlarında kesici takımın sert partiküllere olan teması artacak ve artan temas kesme kuvveti verisini artıracaktır. Dört farklı takviye hacim oranındaki malzemelerden elde edilen kesme kuvveti verileri incelendiğinde 100 m/dak, 200 m/dak olduğu kesme

hızlarında %5 SiC-5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranına sahip malzemede elde edilen kesme kuvveti verileri diğer numunelerden fazla olmuştur. Kesme hızının artmasıyla birlikte artan takviye hacim oranıyla kesme kuvveti verileri de artmıştır. Anlaşılacağı üzere 100 ve 200 m/dak olduğu çalışmalarda takviye hacim oranı ile kesme kuvveti arasında doğrusal bir ilişki kurulamamaktadır. Bunun sebebi olarak malzeme içi kontrol edilmesi zor olan hibrit MMK içyapısının neden olduğu düşünülmektedir. Takviye elemanların özellikleri incelendiğinde bor karbürün sertlik değerinin silisyum karbüre göre daha yüksek olduğu görülecektir. Takviye elemanlar arasındaki bu sertlik farkı deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti verilerinde de etkisini göstermiştir. Çalışma öncesinde kesme hızının 100 m/dak değerinden artarak 300 m/dak olmasıyla birlikte kesme kuvvetindeki azalış oranının benzer olması beklenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada kesme kuvveti verileri, kesme hızının 300 m/dak olduğunda elde edilen kesme kuvveti verileri 100 m/dak değerine oranla (takviyesiz, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC-%5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla) %36, %36, % 53, %36 daha azdır. Kesme kuvveti verilerindeki azalışın %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK haricinde aynı olduğu görülmektedir. %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemedeki düşüşün benzer olmamasının sebebinin kontrol edilmesi güç olan hibrit kompozit yapısı olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 5.3** Kesme hızı değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri ( f:0,15 mm/dev )

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,15 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	Kesme Hızı [m/dak]	Kesme Kuvveti [N]
TAKVİYESİZ	100	135
TAKVİYESİZ	200	100
TAKVİYESİZ	300	75
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	100	98
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	85
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	78
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	202
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	152
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	130
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	192
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	149
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	122

Farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde değişen kesme hızı verilerinin işleme sırasında dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvveti verilerine olan etkisini Çizelge 5.3 sunmaktadır. Şekil 5.3, Çizelge 5.3'ten elde edilen verilerle oluşturulmuştur.



**Şekil 5.3** Kesme hızı ile kesme kuvveti değişim grafiği (İlerleme: 0,15 mm/dev (sbt))

Artan kesme hızının farklı takviye oranlarındaki malzemelerde kesme kuvvetine olan etkisi Şekil 5.3'te verilmiştir. Kesme kuvveti verileri farklı takviye hacim oranındaki malzemelerde benzer etki yapmış ve kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvveti verileri azalmıştır. Kesme kuvveti verilerindeki azalış oranı %0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla %80, %25, % 55, %57'dir. Kesme kuvveti verilerinin en büyük oranda azaldığı çalışma saf alüminyum ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilmiştir. Kesme kuvvetindeki azalma homojen her malzeme için benzer olması beklenilir. Ancak karşılaşılan bu durum bu açıklamaya ters düşmektedir. Kesme kuvveti verilerindeki azalışın benzer olmamasının sebebi olarak malzeme homojensizliği olduğu düşünülmektedir.

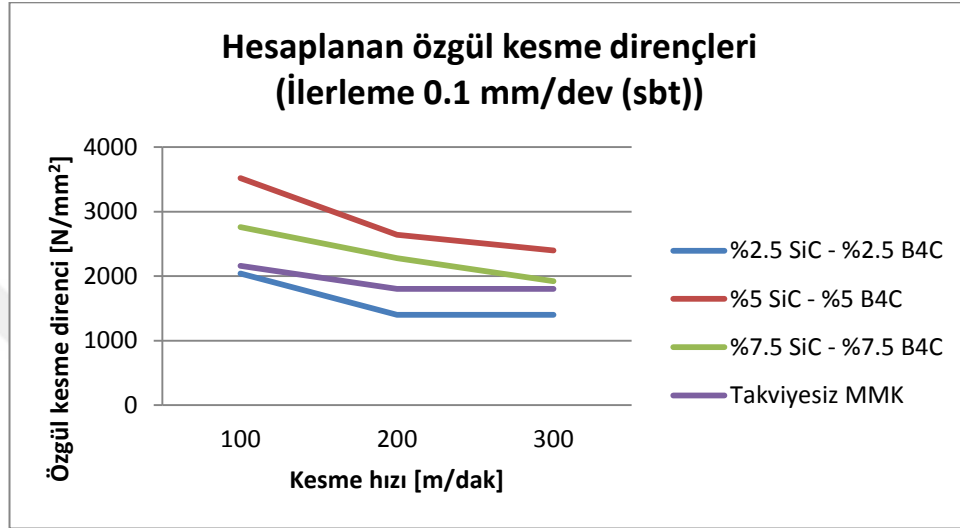
Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanacak olan kesme kuvveti değeri deney kontrolü için öneme sahiptir. Bu amaçla kullanılacak Denklem 3.4 değişken parametrelerinden özgül kesme direncinin bilinmesi gerekir yada deneylerden elde edilen kesme kuvveti verileri ile özgül kesme direnci hesaplanabilir. Özgül kesme direncinin belirlenmesi amacıyla deneysel parametrelerin Denklem 3.4'e uygulanması ile oluşan Çizelge 5.2'de verilen özgül kesme dirençleri hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.4** Hesaplanan özgül kesme dirençleri

Kesme derinliği:0,5 mm				
İlerleme: 0,1 mm/dev				
İşleme mesafesi: 30 mm				
Takviye Hacim Oranı	Kesme hızı(m/dak)	Özgül Kesme Direnci [N/mm <sup>2</sup> ] (İlerleme: 0,05 mm/dev)	Özgül Kesme Direnci [N/mm <sup>2</sup> ] (İlerleme: 0,1 mm/dev)	Özgül Kesme Direnci [N/mm <sup>2</sup> ] (İlerleme:0,15 mm/dev)
TAKVİYESİZ	100	2040	1700	1300
TAKVİYESİZ	200	1400	1140	1133
TAKVİYESİZ	300	1400	1080	1040
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	100	3520	2980	2693
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	2640	2360	2026
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	2400	1400	1733
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	2760	2360	2560
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	2280	1940	1986
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	1920	1500	1626
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	2160	1880	1800
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	1800	1400	1333
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	1800	1200	1000

Bu çalışmada elde edilen özgül kesme kuvveti verileri Denklem 3.4'e deney verilerinin uygulanması sonucunda elde edilmiştir. Kesme kuvveti, ilerleme ve kesme derinliğin Denklem 3.4'e uygulanması sonucu elde edilen özgül kesme kuvveti verileri Çizelge 5.4'te verildiği gibidir. Aynı takviye oranındaki malzemede Denklem 3.4'e göre aynı ilerleme değerlerinde farklı kesme hızları değerlerinde özgül kesme direncinin aynı hesaplanması gerekir; çünkü deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvvetleri ile hesaplanan özgül kesme dirençlerinin elde edildiği

Denklem 3.4'te kesme hızı yer almamaktadır. Bundan dolayı aynı takviye oranına sahip malzemelerde ölçülen kesme kuvvetini değiştiren etkenler her ne ise hesaplanan özgül kesme kuvveti verilerini onlar değiştirecektir. Çizelge 5.2'den elde edilen verilerle oluşturulan ve özgül kesme direnci verilerinin incelenmesini kolaylaştıran grafik Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Ölçüm sonucunda oluşturulan özgül kesme direnci verileri

Deneysel çalışma sonunda elde edilen özgül kesme dirençleri değerlendirildiğinde bütün takviye hacim oranlarındaki malzemelerde 200 m/dak ve 300 m/dak kesme hızlarında elde edilen özgül kesme dirençleri yakın olmuştur. Kesme hızının artmasıyla birlikte ölçülen özgül kesme dirençleri daha tutarlı olmaktadır. Bunun sebebi ise yüksek kesme hızlarında kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık artışının her ne kadar Denklem 3.4'te yer almasa dahi sonuçları daha tutarlı hale getirdiği düşünülmektedir.

### 5.1.2. İlerleme İle Kesme Kuvveti Değişiminin Değerlendirilmesi

Farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde değişen kesme parametrelerinin işlenebilirliğe olan etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen

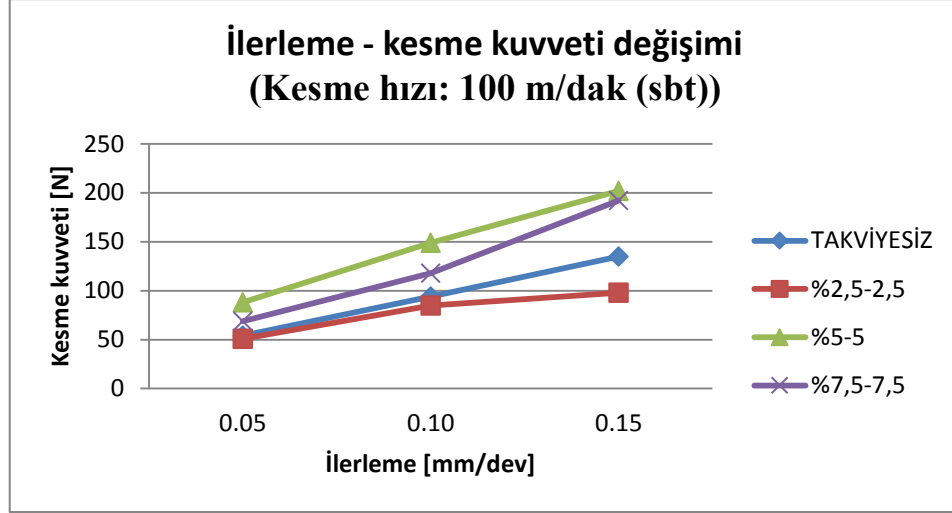


çalışmada Çizelge 5.5 kesme hızının 100 m/dak, Çizelge 5.6 kesme hızının 200 m/dak, Çizelge 5.7 kesme hızının 300 m/dak olduğu çalışma verilerini sunmaktadır.

**Çizelge 5.5** İlerleme değişimi ile kesme kuvveti değişim ( $V_c$ : 100 m/dak)

Kesme derinliği:0,5 mm		
Kesme Hızı: 100 m/dak		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme [mm/dev]	Kesme Kuvveti [N]
TAKVİYESİZ	0,05	54
TAKVİYESİZ	0,1	94
TAKVİYESİZ	0,15	135
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,05	51
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,1	85
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,15	98
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,05	88
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,1	149
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,15	202
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,05	69
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,1	118
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,15	192

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı ilerlemelerde elde edilen kesme kuvveti verileri Çizelge 5.5'te listelenmiştir. Çizelge 5.5 kesme hızı 100 m/dak olarak gerçekleştirildiği çalışmalarda elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Şekil 5.5, Çizelge 5.5'ten elde edilen verilerle oluşturulmuştur



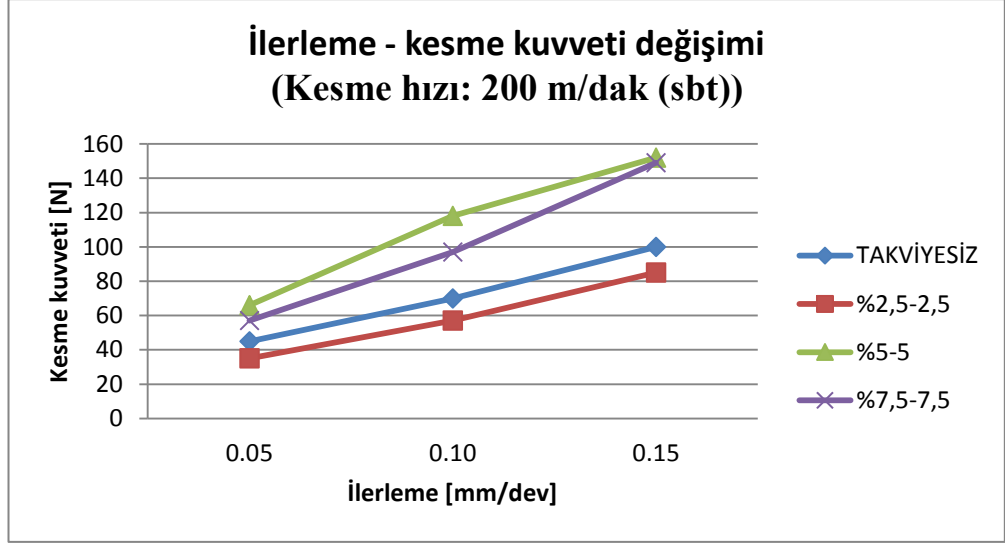
**Şekil 5.5** İlerleme ile kesme kuvveti değişim grafiği (Kesme hızı: 100 m/dak (sbt))

Kaplamalı tungsten karbür takım kullanılarak 3 farklı ilerlemede (0,05, 0,1, 0,15) ve 0,05 sabit ilerlemede takviyesiz ve farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden elde edilen kesme kuvveti verileri Şekil 5.5'te sunulmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde farklı takviye hacim oranındaki bütün malzemeler için ilerlemenin artmasıyla birlikte kesme kuvveti de artmaktadır. Yontar A. yapmış olduğu çalışmada ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını gözlemlemiştir [34]. Grafikten elde edilen bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Karşılaşılan bu artışın sebebi artan ilerlemeyle birlikte kesme alanının artmasından kaynaklanmaktadır. Denklem 3.4'ten de anlaşılacağı üzere ilerlemenin artmasıyla birlikte kesme kuvveti verileri artacaktır. Deneysel çalışmada elde kesme kuvveti verileri ile Denklem 3.4'ten yapılan çıkarımlar benzerdir. Elde edilen kesme kuvveti verileri incelendiğinde bütün ilerlemelerde %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranına sahip malzemede elde edilen kesme kuvveti verileri diğer numunelerden fazla olmuştur. Ayrıca %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranından sonra sırasıyla kesme kuvveti verileri en yüksek değerleri sırasıyla değeri %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C, 0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C'dir. Anlaşılacağı üzere takviye hacim oranı ile kesme kuvveti arasında direk bir ilişki kurulamamaktadır. Bunun sebebi olarak malzeme içi homojensizlik düşünülmektedir.

**Çizelge 5.6** İlerleme değişimi ile kesme kuvveti değişimi ( $V_c$ : 200 m/dak)

Kesme derinliği:0,5 mm		
Kesme Hızı : 200 m/dak		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme [mm/dev]	Kesme Kuvveti [N]
TAKVİYESİZ	0,05	45
TAKVİYESİZ	0,1	70
TAKVİYESİZ	0,15	100
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,05	35
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,1	57
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,15	85
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,05	66
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,1	118
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,15	152
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,05	57
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,1	97
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,15	149

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı ilerlemelerde elde edilen kesme kuvveti verileri Çizelge 5.6’da listelenmiştir. Çizelge 5.6 kesme hızı 200 m/dak olarak belirlenen çalışmada elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.6’dan elde edilen verilerle oluşturulan grafikler Şekil 5.6’da sunulmuştur.



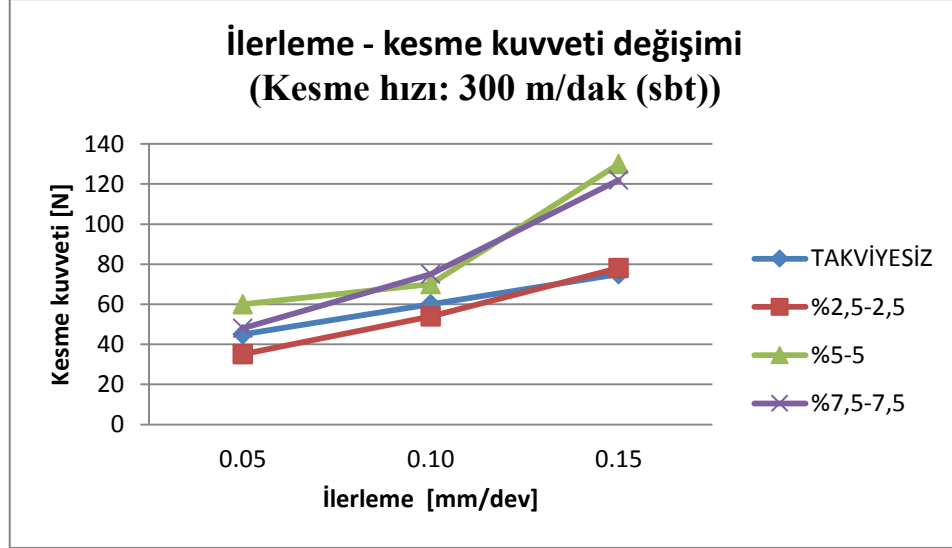
**Şekil 5.6** İlerleme ile kesme kuvveti değişim grafiği (Kesme hızı: 200 m/dak (sbt))

Üç farklı ilerlemede ve farklı takviye hacim oranlarındaki malzemelerde kesme kuvveti verilerini Şekil 5.6 sunmaktadır. Şekil 5.6’da da görüldüğü gibi ilerlemenin artması bütün takviye hacim oranı için benzer harekete sebep olmuştur. İlerlemeni artmasıyla birlikte bütün takviye hacim oranındaki malzemelerde kesme kuvveti verileri artmaktadır. Kesme kuvveti verisi değerinin takviye hacim oranı arttıkça artması beklenmektedir. Bunun sebebi ise artan takviye hacim oranlarında kesici takımın sert partiküllere olan teması artacak ve artan temas kesme kuvveti verisini artıracaktır. Bu açıklama doğrultusunda beklenen sonuçlara en yakın değerler ilerlemenin 0,05 ve 0,15 mm/dev olduğu çalışmalarda elde edilmiştir. Söz konusu çalışmalarda %0 ve %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki MMK malzemeler haricinde artan takviye hacim oranı ile birlikte kesme kuvveti verileri artmaktadır. %0 ve %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki MMK malzemelerde meydana gelen bu düzenli olmayan artışın sebebi olarak %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki malzemedeki homojensizlik olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 5.7** İlerleme değişimi ile kesme kuvveti değişim verileri ( $V_c$ : 300 m/dak)

Kesme derinliği:0,5 mm		
Kesme Hızı: 300 m/dak		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme [mm/dev]	Kesme Kuvveti [N]
TAKVİYESİZ	0,05	45
TAKVİYESİZ	0,1	60
TAKVİYESİZ	0,15	75
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,05	35
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,1	54
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,15	78
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,05	60
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,1	70
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,15	130
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,05	48
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,1	75
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,15	122

Farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde değişen ilerleme verilerinin işleme sırasında dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvveti verilerine olan etkisini Çizelge 5.7 göstermektedir. Çizelge 5.7'deki veriler ile oluşturulan Şekil 5.7'de ilerlemenin kesme kuvvetine olan etkisi daha iyi takip edilebilmektedir.



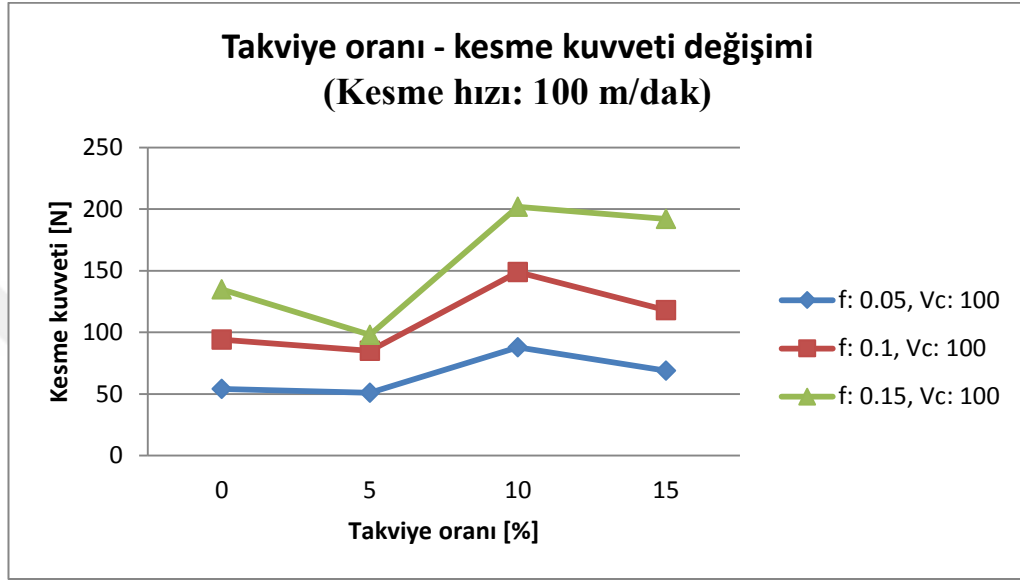
**Şekil 5.7** İlerleme ile kesme kuvveti değişim grafiği (Kesme hızı: 300 m/dak (sbt))

Artan ilerlemenin farklı takviye oranlarındaki malzemelerde kesme kuvvetine olan etkisi Şekil 5.7’de verilmiştir. Kesme kuvveti verileri farklı takviye hacim oranındaki malzemelerde benzer etki yapmış ve ilerlemenin artmasıyla birlikte kesme kuvveti verileri artmıştır. Kesme kuvveti verilerindeki artış oranı %0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla %40, %55, %53, %60 dır. Kesme kuvveti verilerinin en büyük oranda arttığı çalışma %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki malzeme ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilmiştir. Kesme kuvvetindeki artma değerinin homojen her malzeme için benzer olması beklenilir. Ancak karşılaşılan bu durum bu açıklamaya ters düşmektedir. Kesme kuvveti verilerindeki azalışın benzer olmamasının sebebi olarak malzeme homojensizliği olduğu düşünülmektedir.

### 5.1.3. Takviye Oranı ile Kesme Kuvveti Değişiminin Değerlendirilmesi

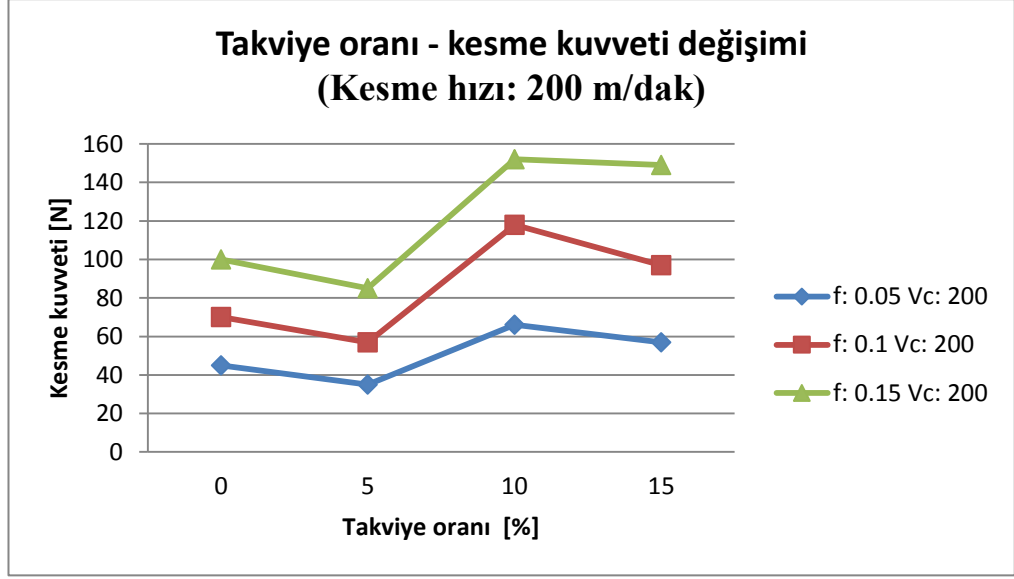
Hibrit MMK malzemelerde takviye oranının işlenebilirliğe olan etkisini incelemek tezin önemli amaçlarından biridir. Hibrit MMK malzemelerin işlenebilirlikleri kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü bakımından incelenmiştir. Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil

5.10’da farklı takviye hacim oranına sahip hibrit MMK malzemelerde takviye oranının kesme kuvvetine olan etkisi gösterilmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler neticesinde çizilen grafiklerden her birinde kesme hızı sabit ilerleme ise sırasıyla 0,05, 0,1, 0,15 mm/dev olarak değişmektedir



Şekil 5.8 Takviye oranı kesme kuvveti değişim grafiği (Kesme hızı: 100 m/dak)

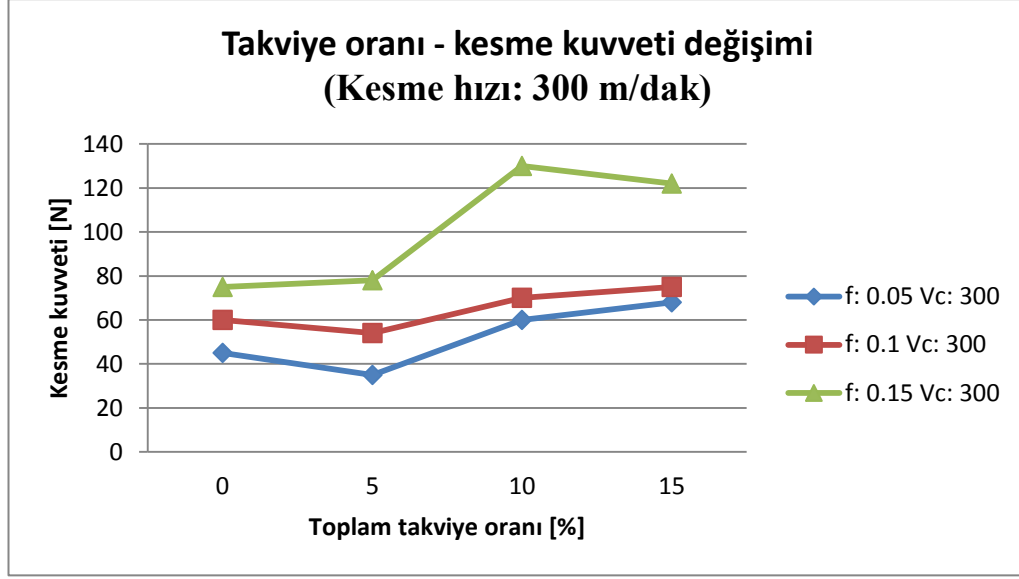
Kesme hızının en düşük olduğu çalışmada takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranlarında ve üç farklı kesme hızı verilerinde elde edilen kesme kuvveti verileri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Bütün kesme hızında kesme kuvveti verileri %0’dan %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C’e geçerken azalmış aynı şekilde %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C’dan %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C’e geçerken yine kesme kuvveti verileri azalmıştır. Kesme kuvvetinde meydana gelen bu azalmanın sebebi olarak malzeme içi homojensizlik düşünülmektedir.



**şekil 5.9** Takviye oranı kesme kuvveti değişim grafiği (Kesme hızı: 200 m/dak)

Takviye hacim oranının kesme kuvvetine olan etkisini (kesme hızının sabit ve 200 m/dak olduğu çalışmada) gösteren grafiğ şekil 5.9’da verilmiştir. Grafiğlerden de anlaşılacağı üzere takviye hacim oranı ve kesme kuvveti arasında doğrudan bir ilişki kurmakta zorlanılmaktadır. Oysaki deney başlamadan önce Denklem 3.4’teki değişkenlerden olan  $q_{kc}$  değerinin (zgl kesme direnci) artan takviye oranı ile birlikte artması beklenmiştir. Kesme kuvveti verilerindeki bu değişimin nedeni olarak malzeme içi homojensizlik düşünülmektedir.





**Şekil 5.10** Takviye oranı kesme kuvveti değişim grafiği (Kesme hızı: 300 m/dak)

Takviye hacim oranının kesme kuvvetine olan etkisini (kesme hızının sabit ve 300 m/dak olduğu çalışmada) gösteren grafik Şekil 5.10'da verilmiştir. İlerlemenin 0,05 ve 0,1 mm/dev olduğu, takviyesiz malzemeden takviye oranının %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C'e çıkılmasıyla kesme kuvveti verileri azalmış ancak diğer çalışmalarda genel olarak takviye hacim oranının artmasıyla birlikte kesme kuvveti verileri de artmıştır. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere takviye hacim oranı ve kesme kuvveti arasında doğrusal bir ilişki kurulamamaktadır. Oysaki deney başlamadan önce Denklem 3.4'teki değişkenlerden olan  $q_{kc}$  değerinin (özgül kesme direnci) artan takviye oranı ile birlikte artması beklenmiştir. Bu beklenti bütün çalışmalarda takviye oranı %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C' ten %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C a ve %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C dan %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C e geçerken karşılanmıştır. Ancak takviye oranları arasında bazı geçişlerde kesme kuvvetlerinde beklenmeyen şekilde azalma gerçekleşmiştir. Kesme kuvvetinde meydana gelen bu azalmanın sebebinin üretilen MMK malzemelerde kontrol edilmesi güç olan hibrit yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 5.10 da görüldüğü gibi %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde yapı içerisinde daha çok B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC - %7,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde ise yapı içerisinde SiC ve B<sub>4</sub>C dengeli olarak bir arada bulunmaktadır. Takviye elemanların özellikleri incelendiğinde bor karbürün sertlik değerinin SiC'e göre daha yüksek olduğu

görürecektir. Takviye elemanlar arasındaki bu sertlik farkı deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti verilerinde de etkisini göstermiştir.

## 5.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

### 5.2.1. Kesme Hızı İle Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Değerlendirilmesi

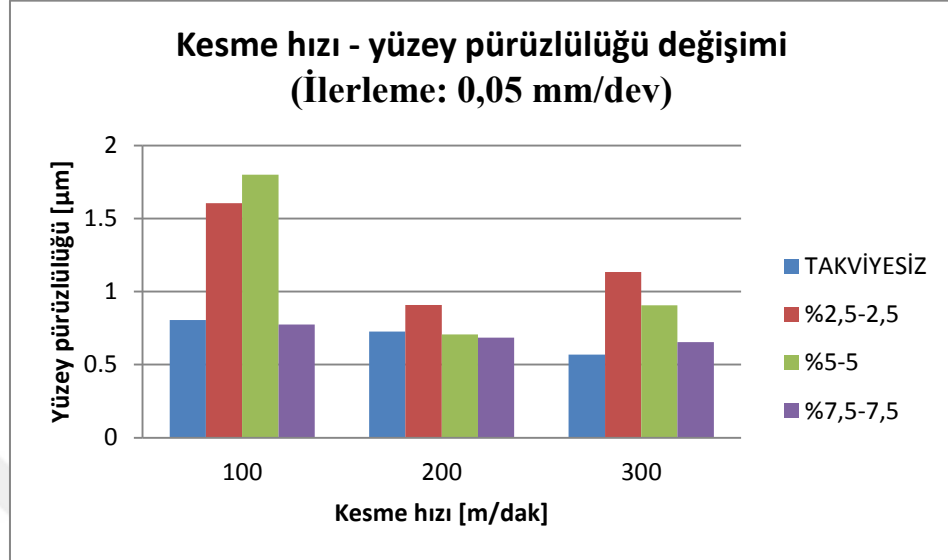
Kesme hızı değişimi ile kesme kuvvetinde meydana gelen değişim verilerini içeren Çizelge 5.8 ilerleme 0,05, Çizelge 5.9 ilerleme 0,1, ve Çizelge 5.10 ilerleme 0,15 olduğu çalışmada verileridir. İlerleme ile kesme kuvvetinde meydana gelen değişim verileri Çizelge 5.11 kesme hızının 100 m/dak, Çizelge 5.12 kesme hızının 200 m/dak, Çizelge 5.13 kesme hızının 300 m/dak olduğu çalışma içindir.

**Çizelge 5.8** Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (f:0,05mm/dev )

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,05 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	Kesme Hızı [m/dak]	Yüzey Pürüzlülüğü [ $\mu$ m]
TAKVİYESİZ	100	0,806
TAKVİYESİZ	200	0,726
TAKVİYESİZ	300	0,569
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	100	1,604
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	0,908
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	1,135
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	3,3
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	0,708
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	0,906
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	0,774
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	0,685
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	0,655

İlerlemenin 0,5 mm/dev olarak belirlendiği çalışmada kesme hızının, farklı takviye hacim oranındaki malzemelerde, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini gösteren

deneysel veriler Çizelge 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.11, Çizelge 5.8’den alınan verilerle oluşturulmuştur.



**Şekil 5.11** Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (İlerleme: 0,05 mm/dev)

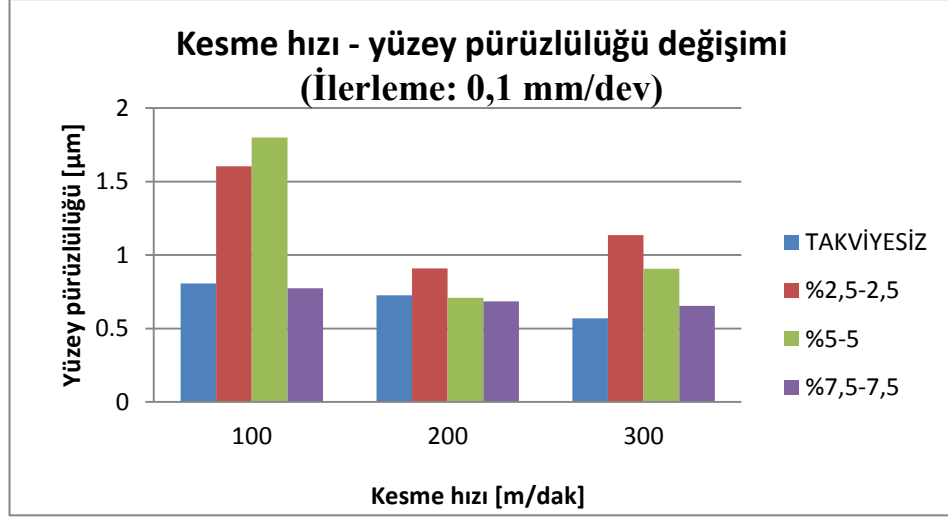
Farklı takviye hacim oranlarındaki malzemede kesme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi Şekil 5.11’de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan kesme hızı verileri yüksek hızlardır, bundan dolayı farklı takviye hacim oranlarındaki MMK malzemelerin yüksek hızlarda yüzey pürüzlülüğü değişimi incelenme imkânı vermektedir. Çizelge 5.8’den anlaşılacağı ve Şekil 5.11’den görüleceği gibi kesme hızının artmasıyla birlikte, farklı takviye hacim oranlarında MMK malzemelerde genel eğilim, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Başka bir deyişle kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir. Elde edilen veriler literatür verileri ile benzerlik göstermektedir. Karşılaşılan bu durumda yüzey pürüzlülüğü verilerinin artan kesme hızı ile iyileşmesinin nedeni olarak talaşlı imalat işleminde artan kesme hızının kesme bölgesinde sıcaklık artışına neden olduğu ve artan sıcaklığın kesme işlemini kolaylaştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak elde edilen verilerin tamamı literatür verileri ile benzerlik göstermemektedir. Bu durum kesme hızının 200 m/dak dan 300 m/dak ya geçildiği çalışma için geçerlidir. Karşılaşılan bu durumun nedeni olarak; kesme bölgesinde sıcaklığın

artmasıyla beraber yüzey kalitesini olumlu etkileyerek yüzey pürüzlülüğünün azalmasına sebep olmuştur, ancak kesme hızındaki aşırı artış, takımın aşınma süresince daha erken girmesine sebep olmuştur. Bundan dolayı kesme hızının belli bir sınıra kadar arttırılması yüzey kalitesi açısından olumlu olurken, daha fazla arttırılması yüzey kalitesinde tekrar kötüleşmeye sebep olabilmektedir.

**Çizelge 5.9** Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (f:0,1 mm/dev)

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,1 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	Kesme Hızı [m/dak]	Yüzey Pürüzlülüğü [ $\mu\text{m}$ ]
TAKVİYESİZ	100	1,141
TAKVİYESİZ	200	1,641
TAKVİYESİZ	300	0,743
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	100	2,229
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	1,206
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	0,943
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	3,65
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	1,805
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	1,303
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	2,593
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	2,185
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	0,957

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı kesme hızlarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri Çizelge 5.9’da listelenmiştir. Çizelge 5.9 İlerlemenin 0,1 mm/dev olarak belirlendiği çalışmalarda elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.9’un daha görsel hale gelmesi için elde edilen veriler Şekil 5.12’de grafik halinde sunulmuştur.



**Şekil 5.12** Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (İlerleme: 0,1 mm/dev)

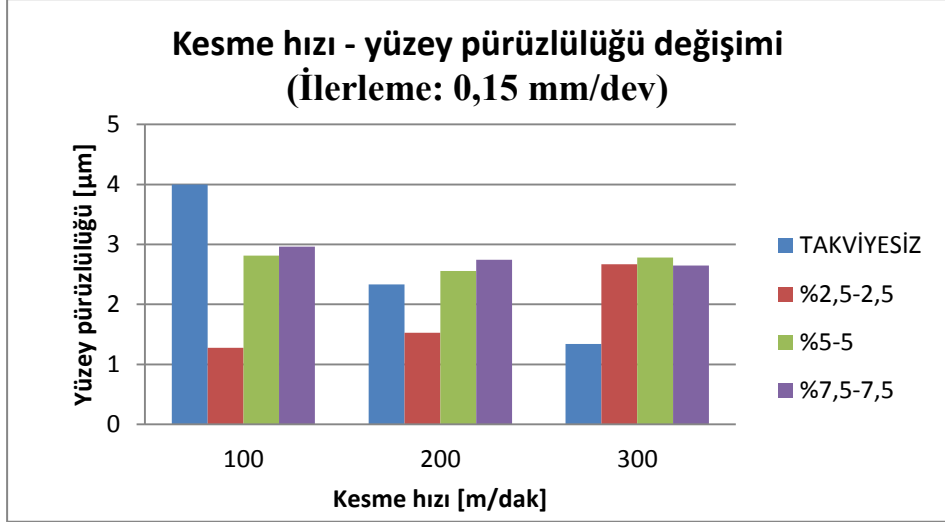
Takviyesiz ve farklı takviye hacim oranlarındaki malzemede kesme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi Şekil 5.12’de gösterilmektedir. Çalışmada ilerleme 0,1 mm/dev dir ve kullanılan kesme hızı verileri yüksek hızlardır, bundan dolayı farklı takviye hacim oranlarındaki MMK malzemelerin yüksek hızlarda yüzey pürüzlülüğü değişimi incelenme imkânı vermektedir. Yüzey pürüzlülüğü verisi değerinin takviye hacim oranı arttıkça artması beklenmektedir. Çünkü artan takviye hacim oranlarında kesici takımın sert partiküllere olan teması artacak ve artan temas kesme kuvveti verisini artıracak, artan kesme kuvveti tezgahta titreşime sebep olacak ve nihayet artan titreşim yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olacaktır. Bu açıklama doğrultusunda beklenen sonuçlara en benzer değerler kesme hızının 200 m/dak olduğu çalışmada elde edilmiştir. Çalışmadaki diğer parametrelerde artan takviye oranına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde orantılı bir artış elde edilememiştir. Bu durum en belirgin şekilde kesme hızının 100 m/dak olduğu çalışmada görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak deneysel çalışmada 100 m/dak olan çalışma kesme hızının 200 m/dak ve 300m/dak olduğu çalışmadan daha sonra gerçekleştirilmiş ve dolayısıyla işlenen MMK malzemenin çap değeri kesme hızlarında gerçekleştirilen çalışmalara göre daha düşük olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü çap düştükçe işleme tezgahında meydana gelen titreşim artacak ve yüzey pürüzlülüğü artacaktır. Çizelge 5.9’den anlaşılacağı ve Şekil

5.12'den görüleceği gibi kesme hızının artması ve 200 m/dak olmasıyla birlikte, farklı takviye hacim oranlarında MMK malzemelerde genel eğilim, yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır, başka bir deyişle kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir. Elde edilen veriler literatür verileri ile benzerlik göstermektedir. Doğan M. A. yapmış olduğu çalışmada kesme hızlarının artmasıyla birlikte genel olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalmanın olduğunu belirlemiştir [13]. Karşılaşılan bu durumda yüzey pürüzlülüğü verilerinin artan kesme hızı ile iyileşmesinin nedeni olarak talaşlı imalat işleminde artan kesme hızının kesme bölgesinde sıcaklık artışına neden olduğu ve artan sıcaklığın kesme işlemini kolaylaştırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak bu durum kesme hızının 200 m/dak dan 300 m/dak ya geçildiği çalışmada için geçerli değildir. Karşılaşılan bu durumun nedeni olarak; kesme bölgesinde sıcaklığın artmasıyla beraber yüzey kalitesini olumlu etkileyerek yüzey pürüzlülüğünün azalmasına sebep olmuştur, ancak kesme hızındaki aşırı artış, takımın aşınma süresince daha erken girmesine sebep olmuştur. Bundan dolayı kesme hızının belli bir sınıra kadar arttırılması yüzey kalitesi açısından olumlu olurken, daha fazla arttırılması yüzey kalitesinde tekrar kötüleşmeye sebep olabilmektedir. Kesme hızının 100 m/dak değerinden 300 m/dak olmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü verilerindeki iyileşme oranı %0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla %35, %55, % 64, %63 tür. Yüzey pürüzlülüğü değerinin homojen her malzeme için benzer olması beklenilir. Ancak karşılaşılan bu durum bu açıklamaya ters düşmektedir. Yüzey pürüzlülüğü verilerindeki azalışın benzer olmamasının sebebi olarak malzeme homojensizliği olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 5.10** Kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü değişim verileri ( f:0,15mm/dev)

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,15 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	Kesme Hızı [m/dak]	Yüzey Pürüzlülüğü [µm]
TAKVİYESİZ	100	4
TAKVİYESİZ	200	2,333
TAKVİYESİZ	300	1,339
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	100	1,279
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	1,525
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	2,67
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	2,815
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	2,56
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	2,783
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	2,964
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	2,742
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	2,65

Takviyesiz ve farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde değişen kesme hızı verilerinin işleme sonrasında yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülen yüzey pürüzlülüğü verilerine olan etkisi Çizelge 5.10’da göstermektedir. Çizelge 5.10’daki veriler ile oluşturulan ve çalışmaya görsellik katan Şekil 5.13’te kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi takip edilebilmektedir.



**Şekil 5.13** Kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (İlerleme: 0,15 mm/dev)

Artan kesme hızının takviyesiz ve farklı takviye oranlarındaki malzemelerde yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü verileri farklı takviye hacim oranındaki malzemelerde benzer etki yapmış ve kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü verileri genel olarak azalmıştır. Yüzey pürüzlülüğü verilerindeki azalış oranı %0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla %497, %-52, % 1, %11'dir. Yüzey pürüzlülüğü verilerinin en büyük oranda azaldığı çalışma saf alüminyum malzeme ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerinin homojen her malzeme için benzer olması beklenilir. Ancak karşılaşılan bu durum bu açıklamaya ters düşmektedir. Yüzey pürüzlülüğü verilerindeki azalışın benzer olmamasının sebebi olarak malzeme homojensizliği olduğu düşünülmektedir. Çalışmada elde edilen verileri incelendiğinde %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki MMK malzeme elde edilen veriler kesme hızıyla birlikte artmaktadır. Bu durumun nedeni olarak malzemedeki homojensizlik düşünülebilir, ayrıca bir diğer etken tezgah titreşimi olduğu düşünülmektedir.



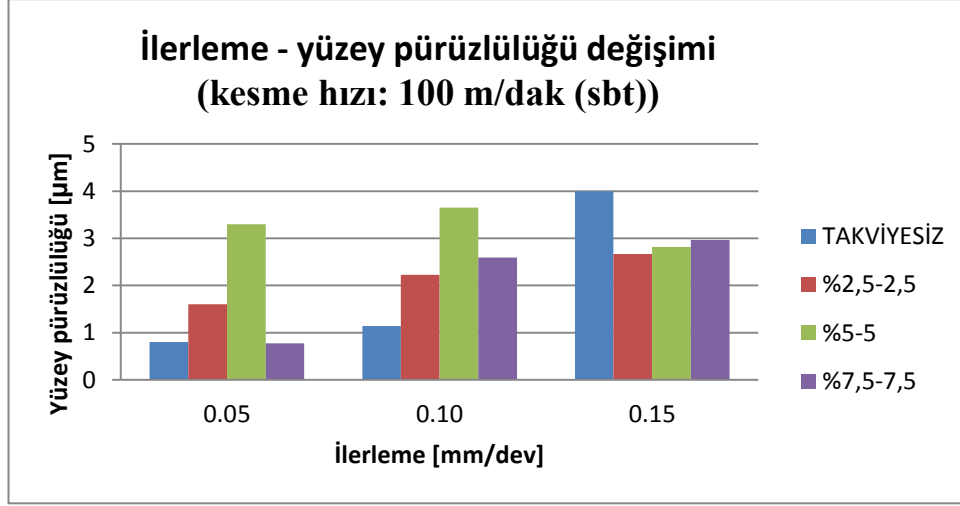
## 5.2.2. Kesme Hızı İle Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Değerlendirilmesi

Kesme hızı değişimi ile kesme kuvvetinde meydana gelen değişim verileri Çizelge 5.11, Çizelge 5.12, ve Çizelge 5.13'te verilmiştir. İlerleme ile kesme kuvvetinde meydana gelen değişim verileri Çizelge 5.13, Çizelge 5.14, Çizelge 5.15'te verilmiştir.

**Çizelge 5.11** İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişim verileri(  $V_c$ : 100 m/dak )

Kesme derinliği:0,5 mm		
Kesme hızı: 100 m/dak		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme [mm/dev]	Yüzey Pürüzlülüğü [ $\mu$ m]
TAKVİYESİZ	0,05	0,806
TAKVİYESİZ	0,1	1,141
TAKVİYESİZ	0,15	4
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	0,05	1,604
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,1	2,229
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,67
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,05	3,3
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,1	3,65
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,815
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,05	0,774
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,1	2,593
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,964

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı ilerlemelerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri Çizelge 5.11'de listelenmiştir. Çizelge 5.11 kesme hızı 100 m/dak olarak gerçekleştirildiği çalışmalarda elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Çizelge 5.11'in daha görsel hale gelmesi için elde edilen veriler Şekil 5.14'te grafik halinde sunulmuştur.



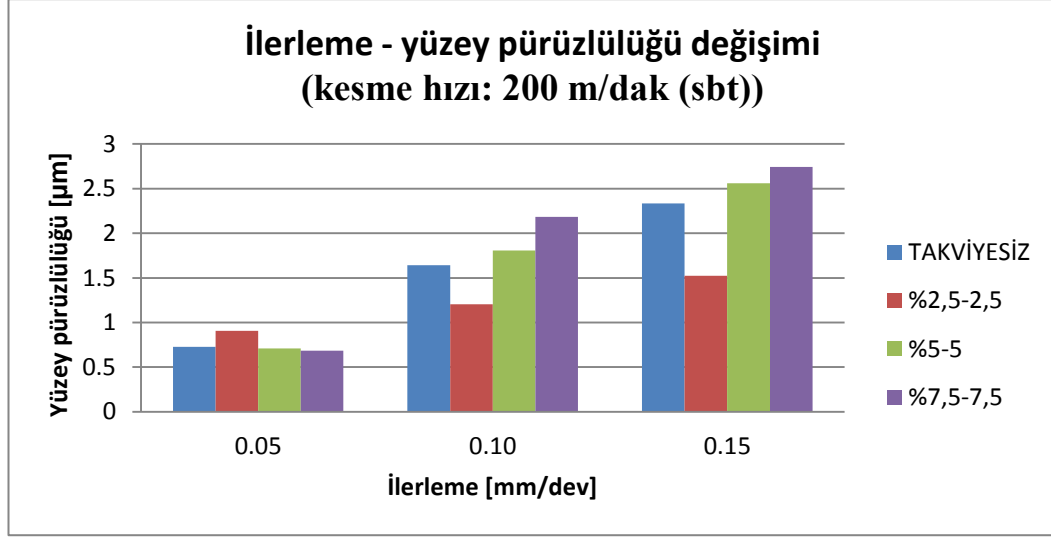
**Şekil 5.14** İlerleme, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (Kesme hızı: 100 m/dak (sbt))

Kaplamalı tungsten karbür takım kullanılarak 3 farklı ilerlemede (0,05, 0,1, 0,15) ve 0,05 sabit ilerlemede takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri Şekil 5.14'te sunulmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde farklı takviye hacim oranındaki bütün malzemeler için ilerlemenin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü genel olarak artmaktadır. Nas E [22]., yapmış olduğu çalışmada ilerlemenin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemiştir. Grafikten elde edilen bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Karşılaşılan bu artışın sebebi artan ilerlemeyle birlikte kesme alanının artması ve buna bağlı olarak tezgah titreşiminin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dört farklı takviye hacim oranındaki malzemelerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri incelendiğinde bütün ilerlemede %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranına sahip malzemede elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri diğer numunelerden fazla olmuştur. Ayrıca %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranından sonra sırasıyla kesme kuvveti verileri en yüksek değerleri sırasıyla değeri %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, 0'dır. Anlaşılabileceği üzere takviye hacim oranı ile kesme kuvveti arasında direk bir ilişki kurulamamaktadır. Bunun sebebi olarak malzeme içi homojensizlik düşünülmektedir.

**Çizelge 5.12** İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişim verileri ( $V_c$ : 200 m/dak)

Kesme derinliği: 0,5 mm		
Kesme Hızı: 200 m/dak		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme [mm/dev]	Yüzey Pürüzlülüğü [ $\mu$ m]
TAKVİYESİZ	0,05	0,726
TAKVİYESİZ	0,1	1,641
TAKVİYESİZ	0,15	2,333
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	0,05	0,908
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,1	1,206
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,15	1,525
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,05	0,708
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,1	1,805
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,56
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,05	0,685
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,1	2,185
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,742

Takviyesiz ve üç farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden farklı ilerlemelerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri Çizelge 5.12’de listelenmiştir. Çizelge 5.12 kesme hızı 200 m/dak olarak belirlendiği çalışmalarda elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.12’nin daha anlaşılır hale gelmesi için elde edilen veriler Şekil 5.15’te grafik halinde sunulmuştur.



**Şekil 5.15** İlerleme, yüzey pürüzlülüğü değişimi (Kesme hızı: 200 m/dak (sbt))

Kaplamalı tungsten karbür takım kullanılarak 3 farklı ilerlemede (0,05, 0,1, 0,15) ve 200 m/dak sabit ilerlemede dört farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri Şekil 5.15'te sunulmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde farklı takviye hacim oranındaki bütün malzemeler için ilerlemenin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü genel olarak artmaktadır. Grafikten elde edilen bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Karşılaşılan bu artışın sebebi artan ilerlemeyle birlikte kesme alanının artması ve buna bağlı olarak tezgah titreşiminin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü verisinin takviye hacim oranı arttıkça artması beklenmektedir. Bunun sebebi ise artan takviye hacim oranlarında kesici takımın sert partiküllere olan teması artacak ve artan temas kesme kuvveti verisini artıracak artan kesme kuvveti tezgahta titreşime neden olacak böylece yüzey pürüzlülüğü artacaktır. Bu açıklama doğrultusunda beklenen sonuçlara en yakın değerler ilerlemenin 0,1 ve 0,15 mm/dev olduğu çalışmalarda elde edilmiştir. Söz konusu çalışmalarda artan takviye hacim oranı ile birlikte kesme kuvveti verileri artmaktadır. İlerlemenin 0,05 mm/dev olduğu çalışmada elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri ile takviye oranı arasında bir ilişkinin kurulamamasının sebebi ilerlemenin düşük olmasından dolayı tezgah titreşiminin artması olarak düşünülmektedir. İlerlemenin 0,05 mm/dev olduğu çalışmada elde edilen veriler 0,15 mm/dev olduğu çalışmada elde edilen verilere

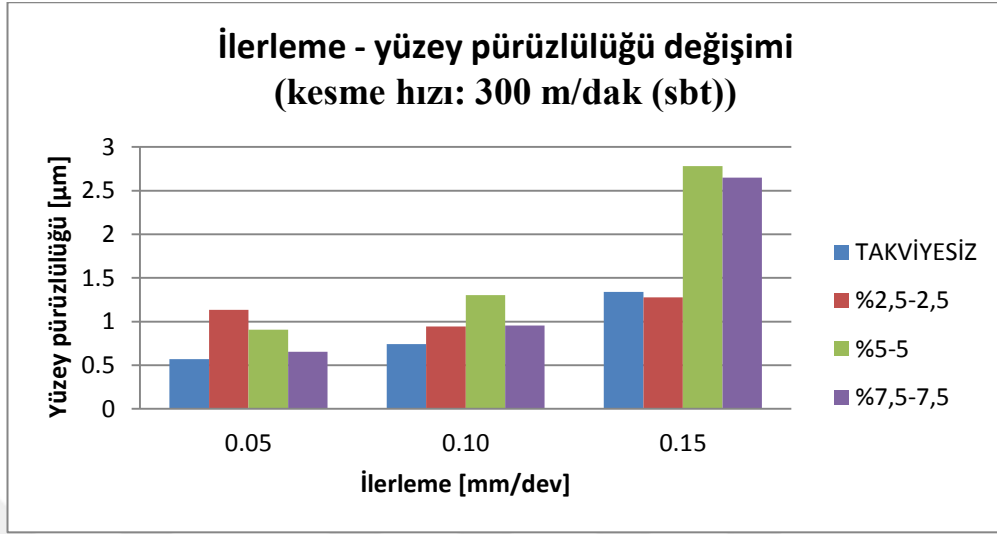
oranla; yüzey pürüzlülüğü verilerindeki artış oranı (%0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla) %221, %67, % 261, %300 dür. Yüzey pürüzlülüğü verilerinin en büyük oranda arttığı çalışma %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki malzeme ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki artma değerinin homojen her malzeme için benzer olması beklenilir. Ancak karşılaşılan bu durum bu açıklamaya ters düşmektedir. Kesme kuvveti verilerindeki azalışın benzer olmamasının sebebi olarak malzeme homojensizliği olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 5.13** İlerleme ile yüzey pürüzlülüğü değişim verileri (V<sub>c</sub>: 300 m/dak)

Kesme derinliği:0,5 mm		
Kesme hızı: 300 m/dak		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme [mm/dev]	Yüzey Pürüzlülüğü [ $\mu$ m]
TAKVİYESİZ	0,05	0,569
TAKVİYESİZ	0,1	0,743
TAKVİYESİZ	0,15	1,339
%2,5 SiC-%2,5B <sub>4</sub> C	0,05	1,135
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,1	0,943
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	0,15	1,279
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,05	0,906
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,1	1,303
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,783
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,05	0,655
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,1	0,957
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	0,15	2,65

Farklı takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde değişen ilerleme verilerinin işleme sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı yardımıyla ölçülen yüzey pürüzlülüğü verilerine olan etkisi Çizelge 5.13'te göstermektedir. Çizelge 5.13'teki

veriler ile oluşturulan ve çalışmaya görsellik katan Şekil 5.16’da ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi daha iyi takip edilebilmektedir.



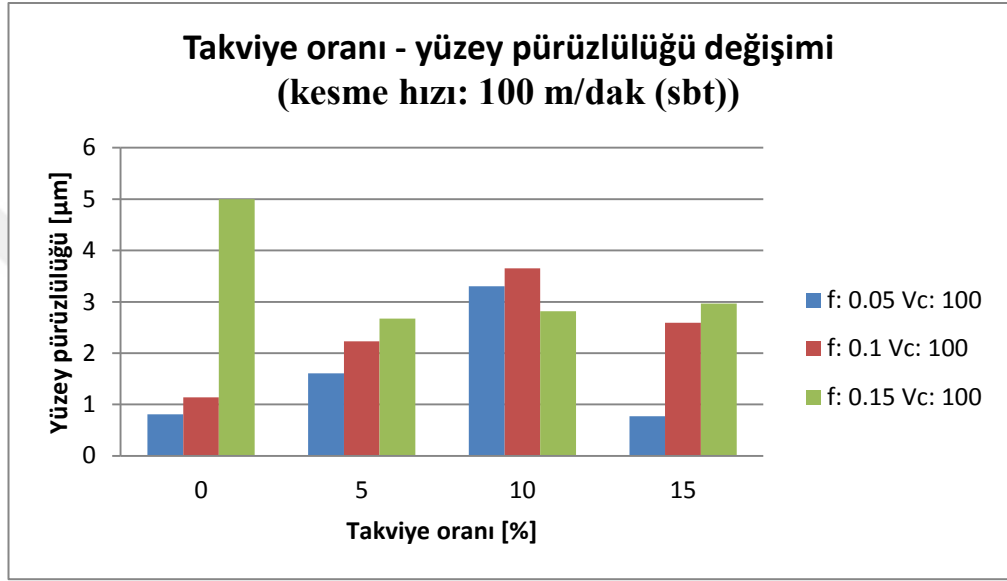
**Şekil 5.16** İlerleme, yüzey pürüzlülüğü değişim grafiği (Kesme hızı:300 m/dak (sbt))

Artan ilerlemenin farklı takviye oranlarındaki malzemelerde yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi Şekil 5.16’da verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü verileri farklı takviye hacim oranındaki malzemelerde benzer etki yapmış ve ilerlemenin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü verileri artmıştır. Yüzey pürüzlülüğü verilerindeki artış oranı %0, %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C, %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C, %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye malzemeler için sırasıyla %57, %11, % 67, %75 tir. Yüzey pürüzlülüğü verilerinin en büyük oranda arttığı çalışma %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranındaki malzeme ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki artma değerinin homojen her malzeme için benzer olması beklenilir. Ancak karşılaşılan bu durum bu açıklamaya ters düşmektedir. Kesme kuvveti verilerindeki azalışın benzer olmamasının sebebi olarak malzeme homojensizliği olduğu düşünülmektedir.

### 5.2.3. Takviye Oranı ile Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Değerlendirilmesi

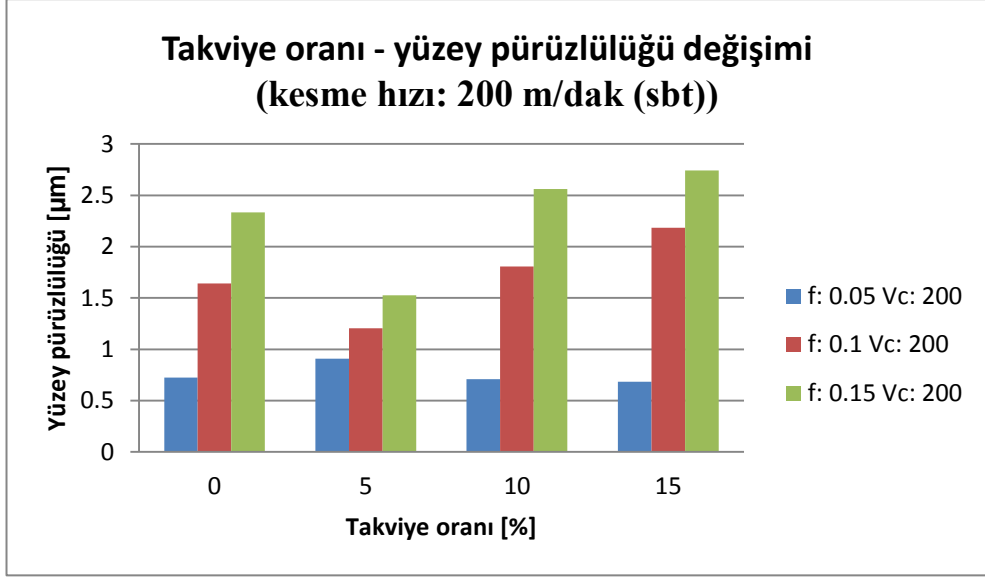
Gerçekleştirilen tezin amaçlarından birisi de hibrit MMK malzemelerde takviye oranının işlenebilirliğe olan etkisini incelemektir. Hibrit MMK malzemelerin

işlenebilirlikleri bu bölümde yüzey pürüzlülüğü bakımından incelenmiştir. Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19, farklı takviye hacim oranına sahip hibrit MMK malzemelerde, takviye oranının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini göstermektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler neticesinde çizilen grafiklerden her birinde kesme hızı sabit ilerleme ise sırasıyla 0,05, 0,1, 0,15 mm/dev olarak değişmektedir.



**Şekil 5.17** Takviye oranı yüzey pürüzlülüğü değişimi (Kesme hızı: 100 m/dak (sbt))

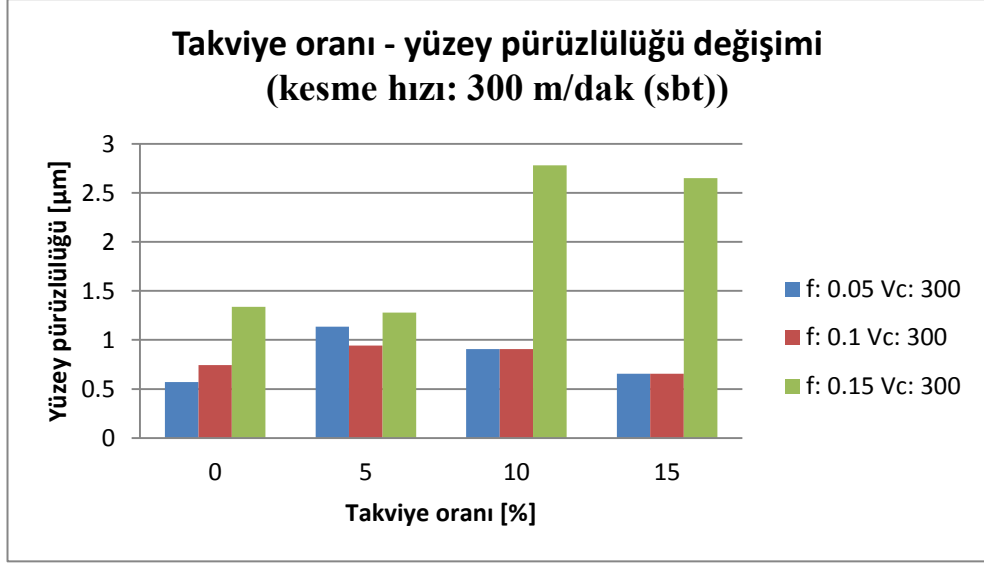
Kesme hızının 100 m/dak olduğu çalışmada farklı takviye hacim oranlarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri Şekil 5.17’de gösterilmiştir. İlerlemenin 0,05 ve 0,1 mm/dev olduğu çalışmalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri benzer davranış göstermektedir. Takviye hacim oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü verileri %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C’e kadar artmaktadır. Takviye hacim oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen bu artış aslında beklenen bir sonuçtur ve bu duruma sebep ise artan takviye oranları ile birlikte işlenmiş malzeme yüzeyindeki takviye parçacıkların artışı ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artmasıdır.



**Şekil 5.18** Takviye oranı yüzey pürüzlülüğü değişimi (Kesme hızı: 200 m/dak (sbt))

Takviye oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren Şekil 5.18 kesme hızının sabit ve 200 m/dak olduğu çalışmada elde edilmiştir. Çalışma gerçekleştirilmeden önce artan takviye oranı ile birlikte kesme kuvvetlerinde artış beklenmektedir. Beklentinin bu şekilde olmasına sebebi ise artan partiküllerin MMK malzemenin işlenmesi sırasında kesici takıma olan temasının sıklığının artmasından kaynaklanmaktadır. İlerlemenin 0,05 ve 0,1 mm/dev olduğu çalışmalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü verileri benzer davranış göstermektedir. Takviye hacim oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü verileri %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C e kadar artmaktadır. Takviye hacim oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen bu artış aslında beklenen bir sonuçtur ve bu duruma sebep ise artan takviye oranları ile birlikte işlenmiş malzeme yüzeyindeki takviye parçacıkların artışı ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artmasıdır. Ancak İlerlemenin 0,1 ve 0,15 olduğu çalışmada takviyesiz malzemenin toplamda %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C takviye içeren MMK'ya geçerken elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmıştır (iyileşmiştir). Meydana gelen bu azalmanın nedeni olarak malzeme içinde meydana gelen homojen olmayan dağılımın sebep olduğu düşünülmektedir.





**Şekil 5.19** Takviye oranı yüzey pürüzlülüğü değişimi (Kesme hızı: 300 m/dak (sbt))


Şekil 5.19 kesme hızının 300 m/dak olduğu çalışmada elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Çalışma gerçekleştirilmeden önce artan takviye oranı ile birlikte kesme kuvvetlerinde artış beklenmektedir. Beklentinin bu şekilde olmasına sebebi ise artan partiküllerin MMK malzemenin işlenmesi sırasında kesici takıma olan temasının sıklığının artmasından kaynaklanmaktadır. Beklenen bu durum aslında bir kaç deneysel çalışma verisinde elde edilmiştir. Örneğin ilerlemenin 0,15 mm/dev, kesme hızının ise 300 m/dak olduğu çalışmada %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C'ten %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C'a geçerken ve ilerlemenin 0,05 ve 0,1 mm/dev olduğu çalışmada %0'dan %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C'e geçerken yüzey pürüzlülüğü verileri artmıştır. Bu parametreler haricindeki çalışmalarda yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Karşılaşılan bu durum da aslında beklenmeyen bir sonuç değildir; çünkü deneysel çalışmada elde edilen verilere bir çok parametre etki etmektedir. Karşılaşılan bu durumun sebebi olarak artan takviye oranlarında hibrit MMK malzemelerde homojen olmayan bir dağılımın kesme kuvveti verilerinde değişimlere neden olduğu düşünülmektedir.

### 5.3. Kesici takım aşınma davranışlarının incelenmesi

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesici takımlarla yapılan işleme deneylerinden sonra kesici takımlardaki aşınma davranışını incelemek üzere mikroskop görüntüleri alınmıştır. Bu amaçla eşit kütlede %0, % 2,5-%2,5, % 5-%5 ve % 7,5-7,5 SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli numunelerin işlenmesinde CVD kaplamalı tungstan karbür kesici takımların aşınma davranışları incelenmiştir.

MMK malzemelerin işlenmesi sonrasında ışık mikroskopunda elde edilen kesici takım görüntüleri aşınma bilgileri Çizelge 5.14’te sunulmuştur.

**Çizelge 5.14** Kesici takım işleme verileri

Kesici takım kodu	Deney paso sayısı	Aşınma tipi	Kesici takım görüntüsü
SNMG 120408	137	BUE	

Takviyesiz ve üç farklı takviye oranlarına sahip MMK malzemelerde meydana gelen aşınmalar incelendiğinde farklı kesme hızlarında elde edilen aşınma görüntülerinde aşınma tipinin bütün görüntülerde ortak olacak şekilde kesici takım burun ucunda yığılma (BUE) şeklinde olduğu görülmektedir. 137 paso deney yapılmıştır ama BUE’den başka aşınma tipi görülmemektedir. Meydana gelen aşınmada ilerlemeden çok kesme hızının etkili olduğu görülmektedir. Kesme hızının değişimi kesici takım aşınma davranışı üzerinde direkt etkili olmuştur. Kesme hızının artmasıyla birlikte oluşan BUE artmıştır. Ayrıca kesme hızının artmasıyla birlikte sıvanma kesici takım yan yüzeyinde de oluşmuştur. Kesme hızının artmasıyla birlikte meydana gelen sıvanmanın artma sebebi kesme bölgesinde sıcaklık yükselmesidir. Kesme

bölgesinde kesme hızına bağlı olarak artan sıcaklık değerleri Çizelge 5.15'te verilmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık yükselmesi talaş kaldırmayı kolaylaştırmış ve kesici takımında meydana gelen sıvanmayı artırmıştır.

**Çizelge 5.15** Kesme hızı değişimi ile artan sıcaklık verileri (f:0,05 mm/dev)

Kesme derinliği:0,5 mm		
İlerleme: 0,05 mm/dev		
İşleme mesafesi: 30 mm		
Takviye Hacim Oranı	İlerleme (mm/dev)	Mutlak Sıcaklık Artışı ( °C )
TAKVİYESİZ	100	3
TAKVİYESİZ	200	3,3
TAKVİYESİZ	300	7,4
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	100	7,7
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	200	14,4
%2,5 SiC-%2,5 B <sub>4</sub> C	300	11,9
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	100	11
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	200	9,7
%5 SiC-%5 B <sub>4</sub> C	300	4,7
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	100	3,4
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	200	2,6
%7,5 SiC-%7,5 B <sub>4</sub> C	300	5,7

## 6.SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1.Sonuçlar

Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al matrisli, SiC ve B<sub>4</sub>C takviyeli hibrit takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirlik özellikleri, temel işlenebilirlik kriterleri olan kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirilmiştir. Üretilen hibrit MMK numunelerin işlenebilirlik özellikleri ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kesme hızı ile kesme kuvveti arasında doğrusal bir ilişki kurmakta zorlanılmıştır. Doğrusal bir ilişkide artan kesme hızına bağlı olarak farklı takviye oranlarında hibrit takviyeli MMK malzemelerde aynı veya benzer tepkiler ölçülmesi gerekirdi. Kesme hızının artması farklı takviye oranlarında malzemeler için ortak şekilde kesme kuvvetini azalmış ancak azalış miktarları farklı olmuştur. Farklı takviye hacim oranların kesme kuvvetindeki değişim derecelerindeki farklılıkların sebebi olarak kontrol edilmesi zor içyapı ve işlemeye başlamadan önceki malzeme sıcaklığının etkilediği düşünülmektedir.
- İlerleme ile kesme kuvveti arasındaki değişim farklı takviye oranlarında ortak şekilde artışa sebep olmaktadır; ancak artış dereceleri farklı olmuştur. Kesme kuvvetlerinde meydana gelen artış derecelerindeki farklılıkların sebebi olarak homojen olmayan içyapı ve buna bağlı olarak tezgah titreşimlerinde meydana gelen değişimlerin olduğu düşünülmektedir.
- Takviye hacim oranına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. %2,5 SiC ve %2,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde elde edilen kesme kuvveti verilerinde düzensizlikler meydana gelmiştir. Kesme kuvvetlerinde meydana gelen bu düzensiz değişimin nedeni olarak takviye hacim oranının çok düşük olması nedeniyle, kesici takımın genelde Al matris ile temasta olması düşünülmektedir.
- Takviye oranının %2,5 SiC ve %2,5 B<sub>4</sub>C den %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C a artmasıyla birlikte artan kesme hızı ile birlikte kesme kuvvetinde azalma ve artan ilerleme ile birlikte kesme kuvvetinde artış olmuştur bu beklenen sonuçtur. Çünkü artan kesme

hızı ile birlikte kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklık yükselmesi kesme işlemini kolaylaştırmıştır. İlerleme oranının artmasıyla birlikte kesme kuvvetinin artmasının sebebi ise; artan ilerleme ile birlikte kesme bölgesinin artması kesme işleminin güçleştirmiştir.

- Farklı takviye oranları içerisinde en düzenli kesme kuvveti verileri %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C takviye hacim oranına sahip MMK malzemelerde elde edilmiştir.

- Gerçekleştirilen çalışmada kesme hızı ve ilerlemenin değişimi ile yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde genel olarak azalış meydana gelmiştir. Ancak kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün azalmadığı hatta arttığı deneyler olmuştur. Bu durum beklenmeyen bir durumdur ve sebep olarak yüksek kesme hızlarında gerçekleştirilen talaşlı imalat işleminde kesme bölgesinde meydana gelen aşırı sıcaklık artışının neden olduğu düşünülmektedir.

- İlerlemenin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinde genel olarak bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum Denklem 3.5'e uygun bir durumdur. İlerleme artıkça yüzey pürüzlülüğü verilerinde artış olması normaldir. Ancak kesme hızının 300 m/dak olduğu çalışmada %2,5 SiC ve %2,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemede 0,05 mm/dev değerinden 0,1 mm/dev değerine çıkıldığında yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı görülmektedir. Bu duruma takviye oranının düşük olması ve buna bağlı olarak kesici takımın sünek Al matrisle temasta olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

- Takviye oranı değişimi ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi açıklamak son derece zordur. Çalışmalara başlamadan önce beklentiler artan takviye oranı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değişiminin artması yönünde olmuştur. Bu beklentinin sebebi artan takviye oranı ile birlikte takviye parçacıklar etrafında oluşacak gözenekliliktir. Kesme hızının 100 m/dak olduğu çalışmada %2,5 SiC ve %2,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemede yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Benzer şekilde kesme hızının 200 m/dak ve ilerlemenin 0,1 ve 0,15 mm/dev olduğu çalışmada %2,5 SiC ve %2,5 takviyeli MMK malzemelerde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir. bu durumun nedeni olarak ise takviye oranının düşük olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

- Kesme hızının 300 m/dak ve ilerlemenin 0,1 ve 0,05 olduğu çalışmada %2,5 SiC-%2,5 B<sub>4</sub>C'ten %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C'a ve %5 SiC - %5 B<sub>4</sub>C'dan %7,5 SiC-%7,5 B<sub>4</sub>C'e geçerken yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi duruma olarak değişen çapla kesici ucun takviyeyle yaptığı karşılaşmadaki değimin neden olduğu düşünülmektedir.
- Takviye hacim oranının yüzey kalitesi açısından incelendiğinde en kararsız sonuçlar %2,5 SiC ve %2,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde; en kararlı sonuçlar ise %5 SiC ve %5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde elde edilmiştir.
- İşlenebilirlik açısından genel bir değerlendirme yapıldığında en kararlı sonuçlar %7,5 SiC ve %7,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde ve en kararsız sonuçlar %2,5 SiC ve %2,5 B<sub>4</sub>C takviyeli MMK malzemelerde elde edilmiştir.
- Farklı takviye hacim oranlarına sahip MMK malzemelerin işlenebilirlik parametreleri değerlendirildiğinde kesme hızı için en uygun parametre 300 m/dak olarak ve ilerleme için en uygun parametre 0,1 mm/dev olarak değerlendirilmiştir.
- Tungsten karbür kesici ucun talaşlı imalat işlemindeki performansı incelendiğinde kesici uçta meydana gelen aşınma tipinin kesici ucun esas kesme kenarında talaş yığılması (BUE) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Artan kesme hızı ile birlikte oluşan BUE'nin arttığı görülmüş ve bunun sebebi olarak artan kesme hızı ile birlikte kesme bölgesinde artan sıcaklığın neden olduğu düşünülmüştür.
- Tungsten karbür kesici uç kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda artan takviye hacim oranı ile birlikte BUE oluşumunun azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak malzeme içerisinde artan parçacıkların BUE oluşumunu geciktirdiği düşünülmektedir.

## 6.2. Öneriler

Bu çalışmada, infiltrasyon deneylerinde önce cam borular kullanılmış ancak istenilen sonuçlar alınamamıştır. Daha sonra karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmış ve işlem başarılı olmuştur. Başka bir çalışmada değişik malzemelerden borular kullanılarak infiltrasyon işlemiyle üretilen malzemelerde infiltrasyon yönteminin etkileri değerlendirilebilir.

- Her bir takviye oranından ayrı ayrı üretilerek işlenebilirlik deneyleri yapılabilir böylece hibrit yapı karşılaştırılabilir.
- Bu çalışmada kesme derinliği sabit tutulmuş olup, kesme derinliğinin işlenebilirlik kriterleri üzerindeki etkisi değerlendirilememiştir. Kesme derinliğinin de bir parametre olarak değişen değerleri için işlenebilirlik kriterleri araştırılabilir.
- Özellikle sünek matris yapısının yarattığı olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için pozitif geometri takımlarla, değişik talaş açılarının etkileri değerlendirilebilir.
- Bu çalışma için belirlenen şartlarda, tungsten karbür kesici takımların gösterdiği performans dikkate alınarak, kaplamasız tungsten karbür takımlarla bir karşılaştırma yapılabilir.
- İşlenen MMK numunelerin yüzey bütünlüğünü ve yapısını daha detaylı değerlendirebilmek için işlenmiş yüzeylerin mikro sertlik ölçümleri yapılarak yüzeylerde meydana gelen hatalar değerlendirilebilir.
- Bu çalışmada işleme deneyleri “tornalama” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aynı malzemelere tornalama işlemi sırasında soğutma sıvısı kullanılarak yada “frezeleme” ve “delme” uygulamaları yapılarak farklı işlenebilirlik değerlendirmelerine gidilebilir.
- Bu malzemelerde, alışılmamış imal usulleri ile yapılacak işleme deneyleri ile geleneksel yöntemlerle bir karşılaştırma yapılabilir.
- Bu çalışma tungsten karbür kesici uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kesici takım uçları kullanılarak talaşlı imalat işlemine olan etkisi incelenebilir. Benzer

şekilde DSBNR takım tutucu kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma ile farklı geometrilere takım tutucular kullanılarak veriler karşılaştırılabilir.

- MMK malzemeler için oluşturulmuş özgül kesme direncini veren bağıntılar bulunmamaktadır. Bu konu hakkında çalışarak bu alandaki eksiklik giderilebilir.





## KAYNAKÇA

1. Chambers A.R., "The Machinability of Light Alloy MMCs." Composites Part A-27A:143-147 (1996).
2. Hocheng H. et al, "Fundamental turning characteristics of a tribology-favored graphite/aluminum alloy composite material." Composites Part A-28A:883-890 (1997).
3. Ciftci I., "Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması." Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi Doktora (2003)..
4. Davim J. P. "Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays." Journal of Materials Processing Technology 132: 340-344.
5. Kılıçkap E. et al., "Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite." Journal of Materials Processing Technology 164-165: 862-867 (2005).
6. Bahçeci E., "Al matrisli  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu." Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gazi Üniversitesi, Gazi Üniversitesi Yüksek lisans (2006).
7. Palanikumar K. and R. Karthikeyan, "Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of Al/SiC particulate composites." Materials & Design 28(5): 1584-1591(2007).
8. Sur G., "Karma takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi." Makina Eğitimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi Doktora (2008).
9. Ozben T., et al., "Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC." Journal of Materials Processing Technology 198(1-3): 220-225 (2008).

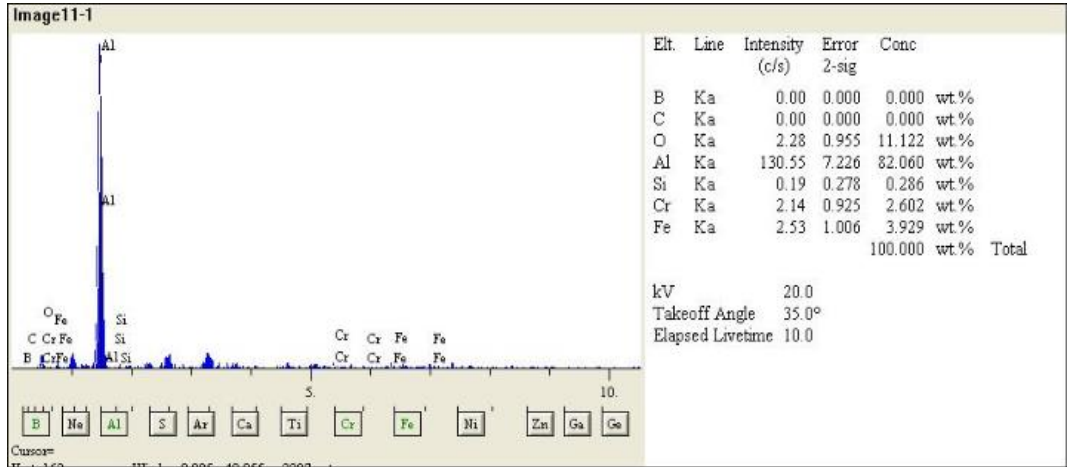
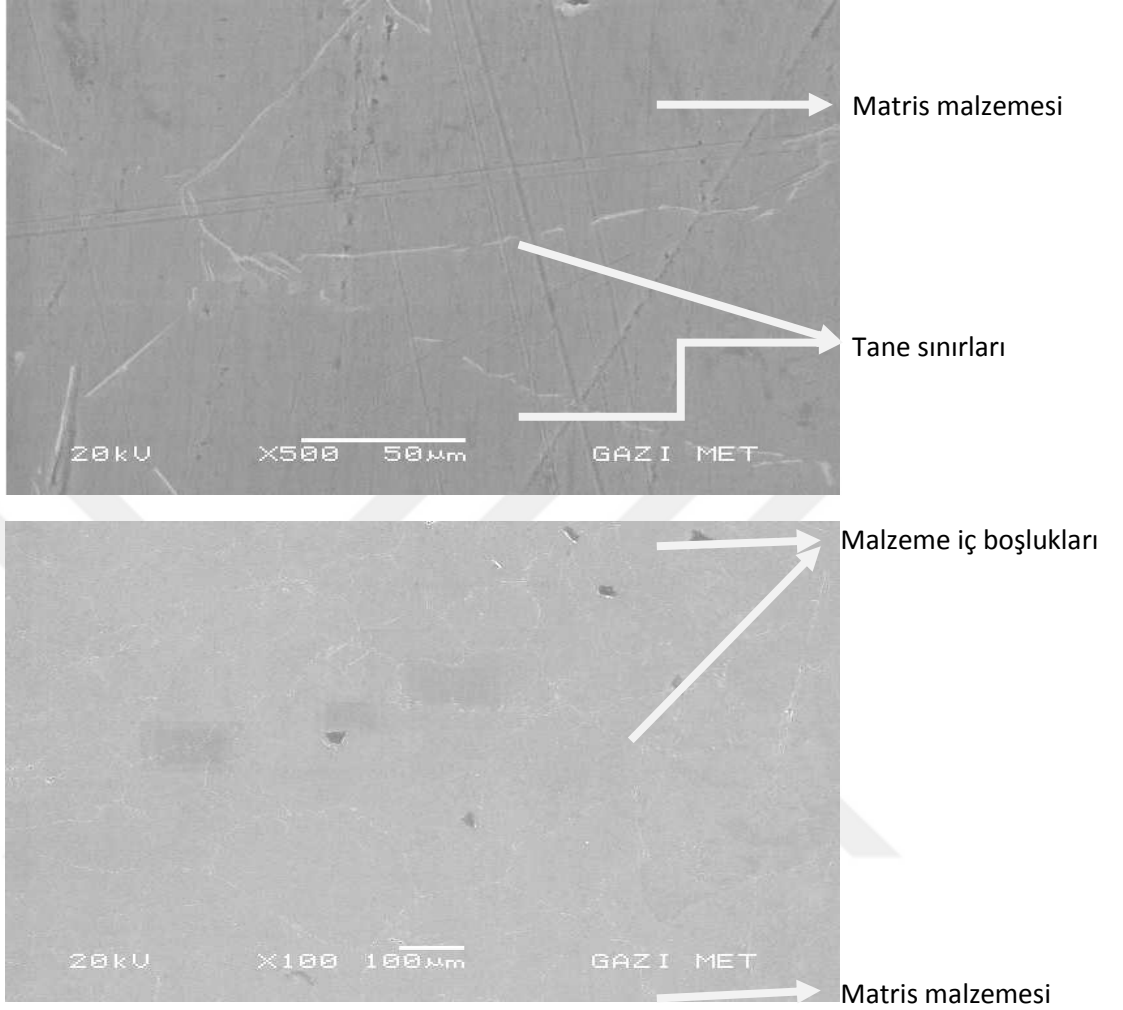
10. Pramanik A., et al., "Machining of metal matrix composites: Effect of ceramic particles on residual stress, surface roughness and chip formation." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 48(15): 1613-1625 (2008).
11. Günay M., Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. Makina eğitimi bölümü. Fen bilimler enstitüsü, gazi üniversitesi doktora tezi (2009).
12. Pul M., Al matrisli MgO takviyeli Kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi. Makina Eğitimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi. Doktora (2010).
13. Doğan M. A., Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikül takviyeli 6061 alüminyum metal matriksli kompozitlerin işlenebilirliği. Makine Mühendisliği. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi. Yüksek Lisans (2012).
14. Babu T. S. M., et al., "Investigation on the Characteristics of Surface Quality on Machining of Hybrid Metal Matrix Composite (Al-SiC-B<sub>4</sub>C)." *Procedia Engineering* 38: 2617-2624 (2012).
15. Aramesh M., et al., "Meta-modeling Optimization of the Cutting Process During Turning Titanium Metal Matrix Composites (Ti-MMCs)." *Procedia CIRP* 8: 576-581 (2013).
16. Sahoo A. K. and S. Pradhan, "Modeling and optimization of Al/SiCp MMC machining using Taguchi approach." *Measurement* 46(9): 3064-3072 (2013).
17. Suresh P., et al., "Optimization of machining parameters in turning of Al-SiC-Gr hybrid metal matrix composites using grey-fuzzy algorithm." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 24(9): 2805-2814 (2014).
18. Rao C. R. P., et al., "Effect of Machining Parameters on the Surface Roughness while Turning Particulate Composites." *Procedia Engineering* 97: 421-431 (2014).
19. Razavykia A., et al., "Determining the Effects of Machining Parameters and Modifier on Surface Roughness in Dry Turning of Al-20%Mg2Si-PMMC using Design of Experiments (DOE)." *Procedia Manufacturing* 2: 280-285 (2015).

20. Rui-song J., et al., "Experimental investigation on machinability of in situ formed TiB<sub>2</sub> particles reinforced Al MMCs." *Journal of Manufacturing Processes* 23: 249-257 (2016).
21. Shoba C. et al., "Optimizing The Machining Parameters For Minimum Surface Roughness In Turning Al/6% SiC/6%RHA Hybrid Composites." *Procedia Materials Science* 10: 220-229 (2015).
22. Nas E., "Karma Takviyeli (Al/B<sub>4</sub>C-Ni(K)GR) Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretimi Mekanik Özellikleri Ve İşlenebilirliği." *Makina Mühendisliği Anabilim Dalı. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi. Doktora Tezi* (2015).
23. Qiao Y. et al., "Surface integrity analysis in turning A03190/304 composites with network reinforcement." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 19(4): 1966-1970 (2016).
24. Tuttle M.E., "Structral analysis of ploymeric composite materials" Marcel Dekker, New York (2004).
25. Barbero E. J., "Introduction to Composite Materials Design", Taylor and Francis, New York (1999).
26. Natarajan N., Krishnaraj V., Davim J. P., "Metal Matrix Composites Synthesis, Wear Characteristics, Machinability Study of MMC Brake Drum" Springer.
27. İnternet: <http://www.makeitfrom.com>
28. Schwartz M.M., "Composites Materials Handbook", Mc Graw Hill Book Company, New York (1984).
29. İnternet: <http://www.azom.com>
30. Orhan S. et al., "Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 cold work tool steel with 35 HRC hardness." *NDT&E International* 40: 121-126 (2007).
31. İnternet: <http://www.azom.com>

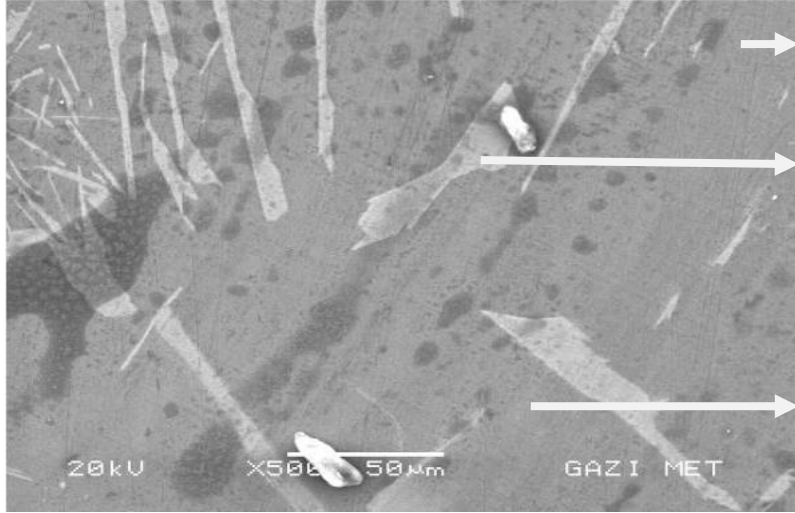
32. Anık S. Dikicioğlu A. Vural M.,”İmal Usulleri”, Birsen Yayınevi, İstanbul (1994).
33. Yeyen, H. E.,”AISI 303 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2006,).
34. Yontar A.A., “AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliklerinin İncelenmesi”Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya (2011).
35. Creese R. C., “Introduction to Manufacturing Processes and Materials”, Taylor and Francis, New York (1999).
36. Amstead B.H., Ostwald P.F., Begeman M.L. “ Manufacturing Processes”, John Wiley and Sons, United States (1976).
37. Geng H.”Manufacturing Engineering Handbook”, the McGraw-Hill, United State, America (1976).
38. Can, A., “AISI 5140 Çeliğinin Sermet, PVD İle Ti, AlN – Cu İle TiN Kaplanmış Kesici Uçlarla Tornalanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2003).
39. Amstead B., Ostwald P.F., Begeman M.L.”Manufacturing Processes”, John Wiley and Sons, United State, America (1976).
40. Groover M.P.,”Principles of Modern Manufacturing”, Wiley, United State, America (1976).
41. Anık S. “İmal Usulleri”, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye (1994).
42. Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri ,Cilt 1., Gazi Kitapevi, Ankara (2003).
43. Kalpakjian S., Schmid S.R.,”Manufacturing Engineering and Technology”, Prentice Hall, United State, America (2000).
44. Boothroyd G. “fundamentals Of Metal Machinig And Machine Tools”the McGraw-Hill, United State, America (1981).

45. Geng H. "Manufacturing Engineering Handbook", the McGraw-Hill, United State, America (1976).
46. Çalın R. et al., "An Investigation of Abrasive Wear Behaviour of Al 2014-SiC Composites" High Temperature Materials and Processes 34: 131-139 (2015).
47. İnternet:<http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/139-talasli-imalatta-isim-modellenmesi-ve-sicaklik-olcum-yontemleri>
48. Bilir, H., Al/SiC Kompozitlerin Karıştırmalı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi', Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale (2014).
49. İnternet:[http://www.bohlerturkiye.com/28\\_TRK\\_HTML.php](http://www.bohlerturkiye.com/28_TRK_HTML.php)(son erişim tarihi: 11.05.2017)

## EK-I MMK malzemeye ait iç yapı görüntüleri



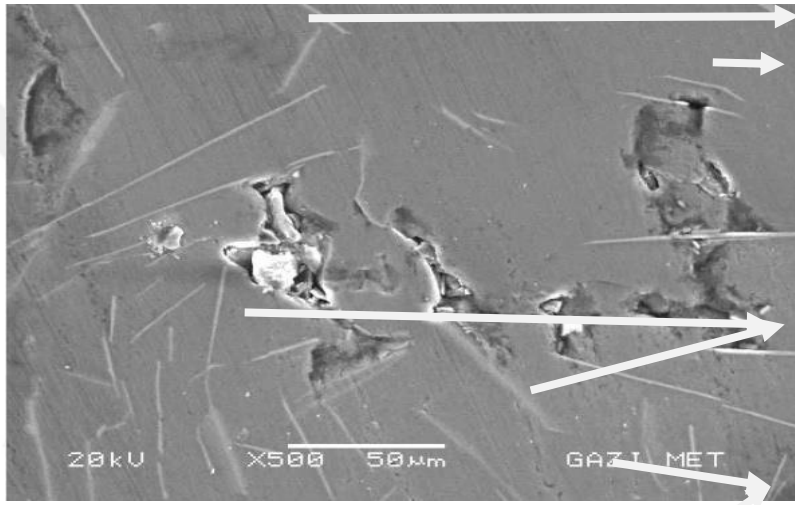
**EK I.1.** Takviyesiz Al 1070 alaşımının SEM görüntüleri ve EDS analizi sonuçları



Matris malzemesi

Takviye malzeme(SiC)

Hızlı soğuma sonrası oluşan matris malzemesi

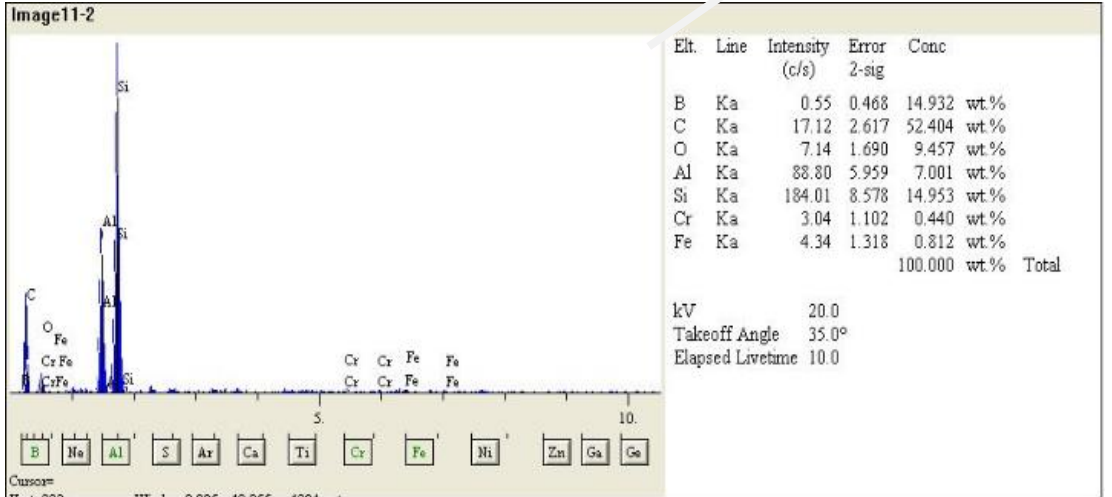


Takviye malzeme (SiC)

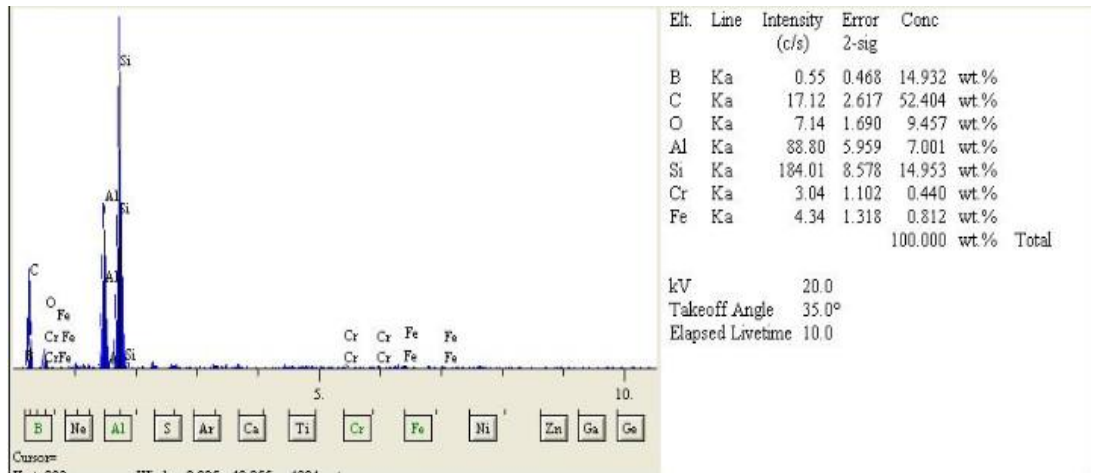
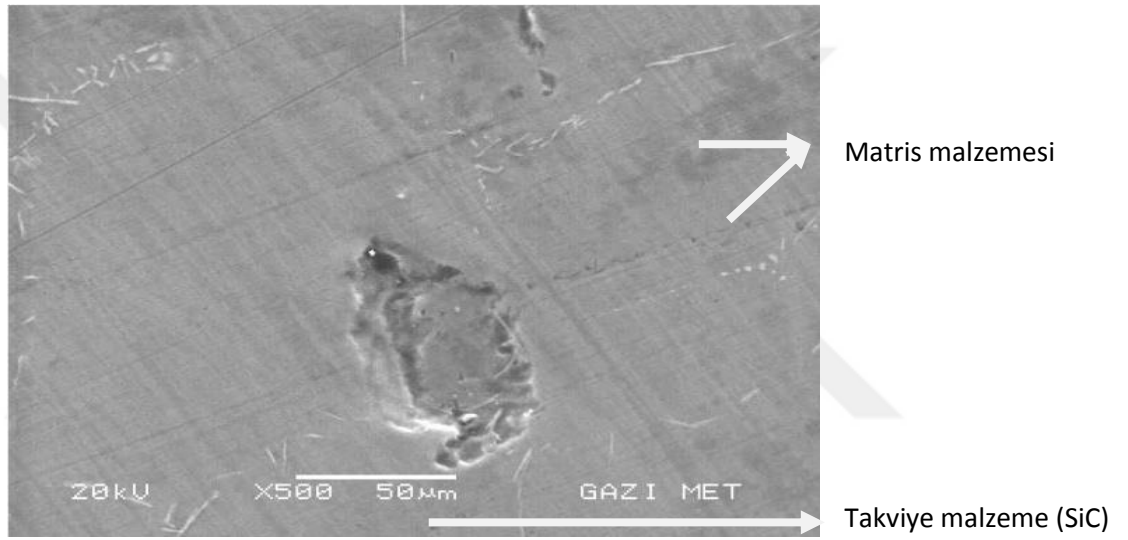
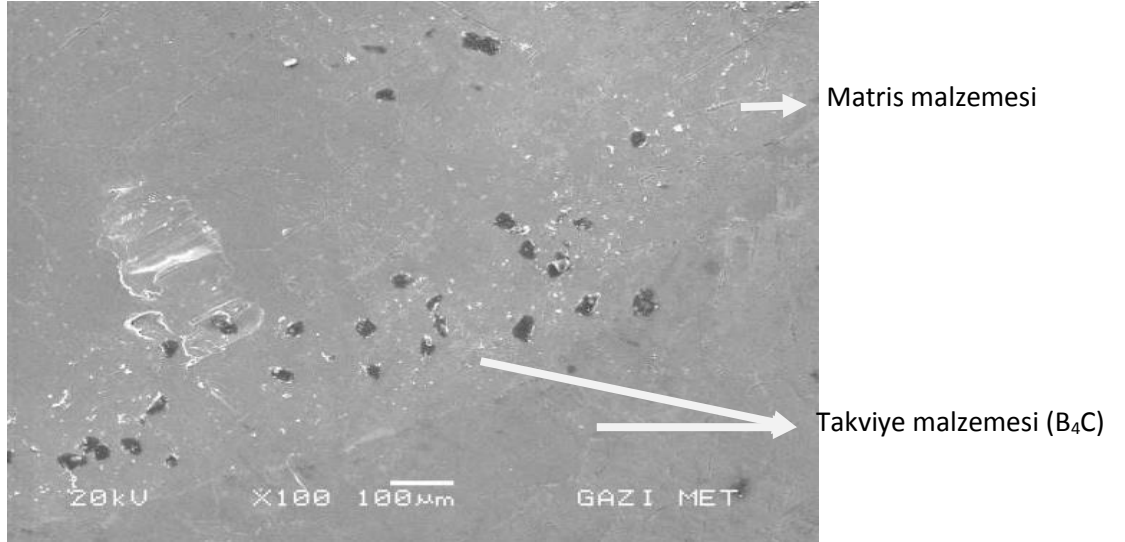
Matris malzemesi

Takviye malzeme (B<sub>4</sub>C)

Hızlı soğuma sonrası oluşan matris malzemesi

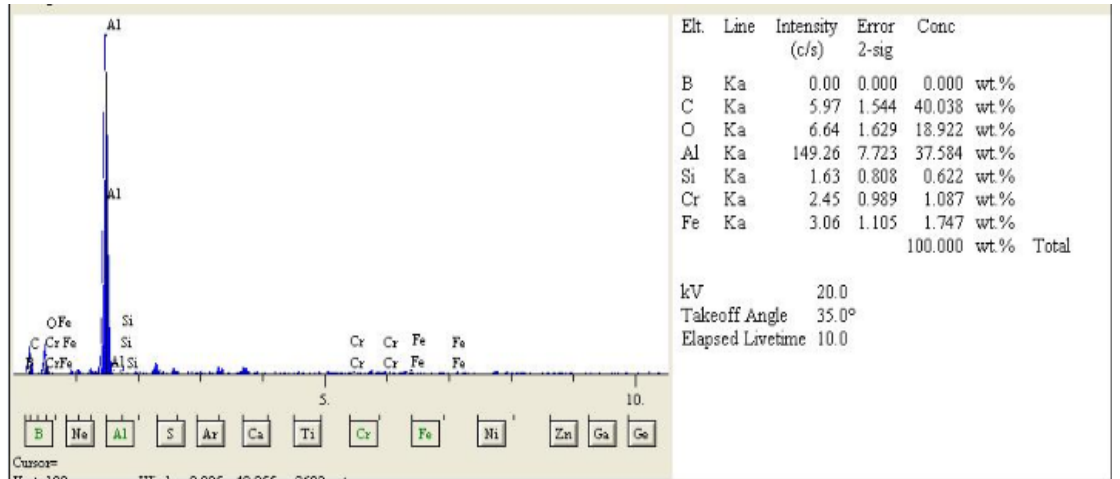
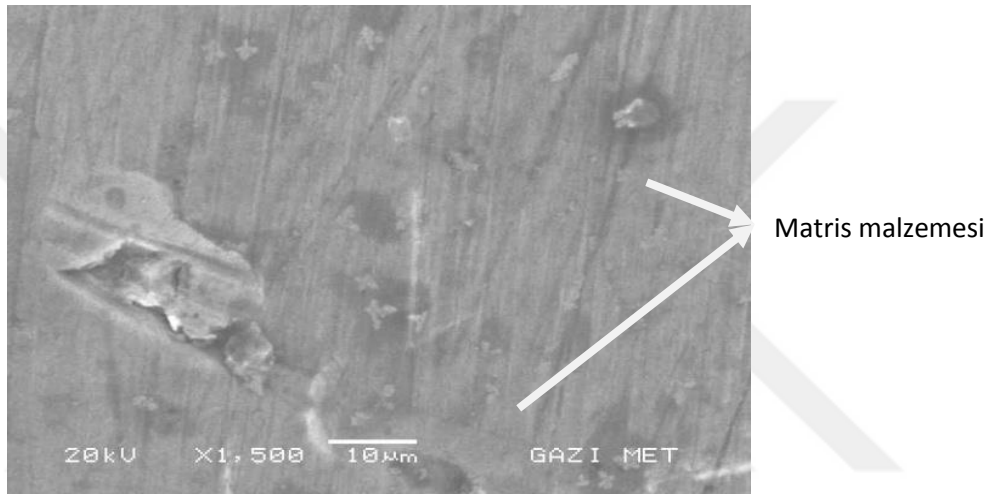
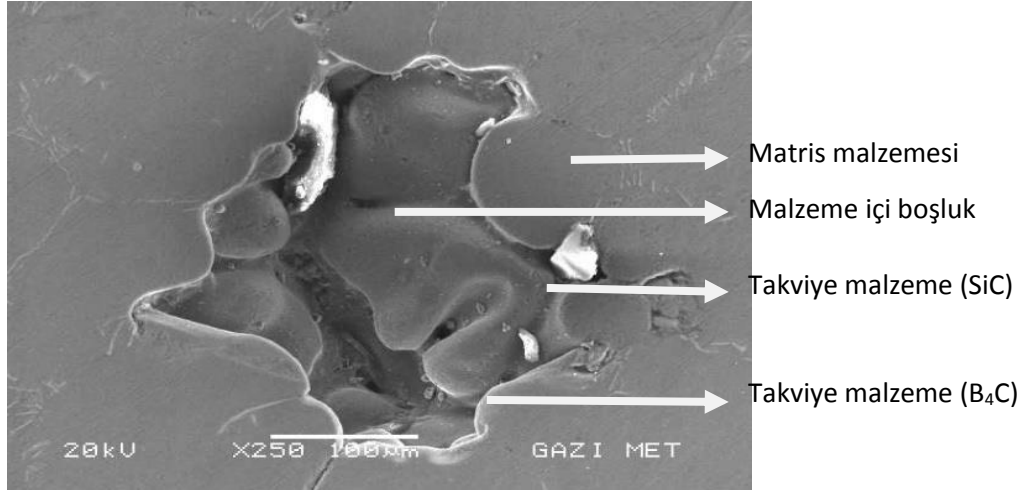


**EK I.2.** %2.5 SiC-%2.5 B<sub>4</sub>C takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri, EDS analizi sonuçları



**EK I.3.** %5 SiC-%5 B<sub>4</sub>C takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri, EDS analizi sonuçları





**EK I.4.** %7.5 SiC-%7.5 B<sub>4</sub>C takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri, EDS analizi sonuçları