



**AA6061 MATRİSLİ B<sub>4</sub>C VE SİC TAKVİYELİ KOMPOZİT  
MALZEMELERİN MEKANİK VE İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Sibel TİNGA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2019**

Sibel TİNGA tarafından hazırlanan “AA6061 MATRİSLİ B<sub>4</sub>C VE SİC TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

**Başkan:** Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Muharrem PUL

İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 09/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sibel TİNGA

09/08/2019



# AA6061 MATRİSLİ B<sub>4</sub>C VE SiC TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Sibel TİNGA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

## ÖZET

Bu çalışmada takviyeli ve takviyesiz, farklı (AA6061), (% 12 B<sub>4</sub>C), (% 12 SiC), (% 9 B<sub>4</sub>C + % 3 SiC), (% 6 B<sub>4</sub>C + % 6 SiC), (% 3 B<sub>4</sub>C + % 9 SiC) kompozit malzemeler Toz Metalurjisi (TM) yöntemi ile üretilmiş ve aynı yöntemle işlenebilirlik deneyleri için (% 3 B<sub>4</sub>C), (% 6 B<sub>4</sub>C) ve (% 9 B<sub>4</sub>C) kompozit malzemeler üretilmiştir. Matris malzemesi olarak ortalama toz tane boyutu 100 µm altı olan AA6061 tozları, takviye elemanı olarak 10 µm altı B<sub>4</sub>C tozları ile 8 µm SiC tozları kullanılmıştır. Ağırlıkça karışım oranları belirlenen tozlar hassas terazide tartıldıktan sonra 3 boyutlu karıştırıcıda 30 dakika homojen olarak karıştırılmıştır. Karışım tozlar 200 MPa basınç altında soğuk preslenmiştir. Numuneler 550 oC'de 60 dakika sinterleme sonrası 500 oC de sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutularak 25×30 mm dikdörtgen kesitli ve çapı 30 mm olan daire kesitli numuneler üretilmiştir. Yaşlandırılabilir bu numuneler 10 °C/dakika ısıtma hızıyla 530 °C sıcaklığa çıkartılıp 1 saat süreyle bekletilmiş ve ardından su verme ile hızlı soğutma yapılmıştır. Daha sonra numuneler 10 °C/dakika ısıtma hızı ile 175 oC sıcaklıkta 8 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk değişimleri, sertliği, çapraz kırılma dayanımları ve çekme mukavemetleri incelenmiştir. Ayrıca mikro yapı ve kırık yüzey için optik mikroskop, SEM analizi de yapılmıştır. İşlenebilirlik için üretilen numunelerin de mekanik ve optik testleri yapılmıştır. Sıcak ekstrüzyon yöntemiyle üretilen numunelerin ortalama yoğunluğunun % 99'un üzerinde olduğu tespit edilmiştir. B<sub>4</sub>C/SiC parçacıklarının matris içerisinde homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri % 12 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit iken, çapraz kırılma testinde ise % 12 SiC takviyeli kompozit malzeme olarak ölçülmüştür. B<sub>4</sub>C miktarının artmasıyla çekme dayanımının düştüğü görülmüştür. İşlenebilirlik deneylerinde dört farklı kesme hızı (200, 224, 230 ve 250 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,1875 ve 0,27) uygulanmıştır. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri azalmış, düşük kesme hızı zaman zaman kesme kuvvetlerinde dalgalanmalara neden olmuştur. Artan kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmış ve artan ilerleme miktarıyla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Takviye oranındaki artış yüzey kalitesi üzerinde olumlu etki yapmıştır.

Bilim Kodu : 91512

Anahtar Kelimeler : AA6061, B<sub>4</sub>C, SiC, Toz metalurjisi, Ekstrüzyon, İşlenebilirlik, Mekanik Özellikler

Sayfa Adedi : 67

Danışman : Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND MACHINABILITY PROPERTIES  
REINFORCED WITH B<sub>4</sub>C AND SiC PARTICIPATE OF AA6061 MATRIX  
COMPOSITE MATERIALS

(M. Sc. Thesis)

Sibel TİNGA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

This study investigates the production of various reinforced and non-reinforced composite materials (AA6061), (3 % B<sub>4</sub>C + 9 % SiC), (6 % B<sub>4</sub>C + 6 % SiC), (9 % B<sub>4</sub>C + 3 % SiC), (12 % B<sub>4</sub>C), (12 % SiC), (3 % B<sub>4</sub>C), (6 % B<sub>4</sub>C) and (9 % B<sub>4</sub>C) using powder metallurgy (PM). AA6061 powders with grain sizes below 100 µm are used as the matrix material and B<sub>4</sub>C powders with sizes below 10 µm and SiC powders with sizes below 8 µm are used as the reinforcement material. The powders are weighed on a micro-balance and their mixture proportions in terms of weight are determined. Next, they are mixed for 30 min in a three-dimensional mixer. The mixtures are then subjected to cold pressing under a pressure of 200 MPa to form metal block samples. These are subjected to hot extrusion in an extrusion mold heated at 500 °C after being subjected to a sintering process for 60 min at 550 °C. This produces samples with a cross-sectional area of 25×30 mm and Ø30 mm. These age-hardened are next subjected to a dissolution process for 1 h, immediately followed by a rapid cooling process with water in a furnace heated at 530 °C with a heating speed of 10 °C/min. The cooled samples are then artificially aged for 8 h by heating them at 175 °C with a heating speed of 10 °C/min. The composite materials produced are examined in terms of density changes, hardness, tensile strength, and machinability. Furthermore, optical microscopy and scanning electron microscopy are performed to examine the microstructure and surface fractures. Average density of composite materials are 99 % and above. The best hardness and tensile strength were measured 12 % SiC reinforced composite materials. Machining tests have been applied using four different cutting speeds (200, 224, 230 and 250 m/min) and three different feeding rate (0,15, 0,1875 and 0,27). Cutting forces were decreased with increasing cutting speeds of materials. Cutting speeds was decreased caused by time to time fluctuations of cutting forces. Average surface roughness was decreased with increasing cutting speeds and surface roughness was increased with increasing feed rates. Increasing reinforced ratio was effected as positive on surface quality.

Science Code : 91512

Key Words : AA6061, B<sub>4</sub>C, SiC, Powder Metallurgy, Extrusion, Machinability, Mechanical Properties

Page Number : 67

Supervisor : Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince çok kıymetli vaktini ayırıp yardım ve katkılarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ramazan ÇITAK'a teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım. İşlenebilirlik deneylerinin yapılmasında bilgi ve becerilerinden faydalandığım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ve Dr. Selçuk YAĞMUR'a teşekkür eder saygılarımı sunarım. Ayrıca Malzeme karakterizasyonunda yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Halil KARAKOÇ'a teşekkür ederim. Öğrenim hayatımda her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen değerli aileme ve kıymetli eşime teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                    | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                                                         | iv           |
| ABSTRACT .....                                                                     | v            |
| TEŞEKKÜR .....                                                                     | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                  | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                          | x            |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                                           | xi           |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                                           | xiv          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                                      | xv           |
| 1. GİRİŞ.....                                                                      | 1            |
| 2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR.....                              | 3            |
| 2.1. Kompozit Malzemeler.....                                                      | 3            |
| 2.1.1. Metal matrisli kompozit malzemeler .....                                    | 5            |
| 2.1.2. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler .....                                | 6            |
| 2.1.3. Al matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları .....                   | 8            |
| 2.2. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi ..... | 9            |
| 2.2.1. Toz metalurjisinde parça üretim kademeleri .....                            | 9            |
| 2.3. İşlenebilirlik .....                                                          | 13           |
| 2.3.1. İşlenebilirlik kavramı.....                                                 | 13           |
| 2.3.2. Alüminyum ve alaşımlarının işlenebilirliği .....                            | 15           |
| 2.3.3. Kesme kuvvetleri ve ölçümleri.....                                          | 18           |
| 2.3.4. Takım ömrü ( Takım aşınması) .....                                          | 20           |
| 2.3.5. Yüzey kalitesi .....                                                        | 21           |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                                                       | 23           |

**Sayfa**

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Malzeme ve Metot .....                               | 23  |
| 3.1.1. Malzeme .....                                      | 25  |
| 3.2. Tozların Karakterizasyonu .....                      | 25  |
| 3.2.1. Tozların tane şekillerinin belirlenmesi .....      | 25  |
| 3.2.2. Tozların tane boyutunun ölçülmesi .....            | 25  |
| 3.3. Kompozit Malzemelerin Üretimi .....                  | 25  |
| 3.3.1. Tozların karıştırılması.....                       | 26  |
| 3.3.2. Presleme işlemi.....                               | 26  |
| 3.3.3. Preslenen toz blok numunelerin sinterlenmesi ..... | 28  |
| 3.3.4. Sinterlenen blokların ekstrüzyon edilmesi .....    | 28  |
| 3.3.5. T6 ısıtıl işlemi .....                             | 30  |
| 3.4. Malzeme Karakterizasyonu.....                        | 30  |
| 3.4.1. Yoğunluk ölçümü .....                              | 30  |
| 3.4.2. Mikro yapı analizleri .....                        | 30  |
| 3.4.3. Sertlik testi.....                                 | 31  |
| 3.4.4. Mekanik test numunelerin hazırlanması.....         | 31  |
| 3.4.5. Çekme testi .....                                  | 31  |
| 3.4.6. Çapraz kırılma testi.....                          | 32  |
| 3.5. İşlenebilirlik Deneyleri .....                       | 303 |
| 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....                     | 39  |
| 4.1. Kullanılan Tozların Karakterizasyonu .....           | 39  |
| 4.2. Ekstrüzyon İşleminin Yüzey Kalitesine Etkisi .....   | 40  |
| 4.3. Yoğunluk Değişimi ve Gözeneklilik Oranı .....        | 41  |
| 4.4. Mikroyapı Karakterizasyonu.....                      | 412 |
| 4.4.1. Optik mikroskop analizleri .....                   | 42  |

**Sayfa**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.2. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen bulguların değerlendirmesi ..... | 52 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                       | 59 |
| KAYNAKLAR .....                                                                  | 61 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                   | 66 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                     | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Bor karbür ( $B_4C$ ) fiziksel özellikleri.....                                | 7     |
| Çizelge 2.2. Malzemelerin sinterleme sıcaklıkları ve süreleri. ....                         | 12    |
| Çizelge 2.3. Sertliği 50-150 BHN olan Al alaşımlarının işlenmesi. ....                      | 17    |
| Çizelge 3.1. AA6061 alaşımının kimyasal kompozisyonu. ....                                  | 24    |
| Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan metal ve seramik tozlarının özellikleri.....              | 25    |
| Çizelge 3.3. Üretilen malzemelerin ağırlıkça ve yüzde karışım oranları.....                 | 26    |
| Çizelge 3.4. JohnFord TC35 CNC Torna Tezgahı' nın Teknik Özellikleri.....                   | 34    |
| Çizelge 3.5. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri ..... | 35    |
| Çizelge 3.6. Kesme Kuvveti (Kistler 9257 B ) Ölçme Cihazının Özellikleri.....               | 36    |
| Çizelge 3.7. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı teknik özellikleri. ....                      | 37    |
| Çizelge 4.1. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen bulgular. ....                        | 52    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                                                                                                            | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara faz ve yüzeyler a) Ara fazsız birleşme, b) Kaplanmış takviye kullanımı, c) Sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu.....                       | 4     |
| Şekil 2.2. MMK’lerde kullanılan değişik oranlardaki takviye malzemelerin şematik görünümü. a) Sürekli Fiber Takviyeli, b) Kısa Fiber Takviyeli, c) Parçacık Takviyeli .....                                      | 6     |
| Şekil 2.3. a) SiC partikül takviyeli Al metal matrisli kompozit silindir gömleği. b) F-16 uçaklarında kullanılan SiC partikül takviyeli 6092 Al alaşımı matrisli Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzeme ..... | 8     |
| Şekil 2.4. a) SiC partikül takviyeli Al kompozit biyel kolu. b) Alümina kısa fiber takviyeli alüminyum kompozit piston.....                                                                                      | 8     |
| Şekil 2.5. Tek yönlü preslemeye ait toz metalurjisindeki işlem kademeleri.....                                                                                                                                   | 10    |
| Şekil 2.6. Tozlardaki pres basıncının teorik yoğunluğa etkisi .....                                                                                                                                              | 10    |
| Şekil 2.7. Tozlarda tek ve çift yönlü pres altında meydana gelen yoğunluk değişim şeması .....                                                                                                                   | 11    |
| Şekil 2.8. Tozun sinterlenmesi sırasındaki boyun oluşumu (Nikel) .....                                                                                                                                           | 11    |
| Şekil 2.9. İşlenebilirlik Verileri.....                                                                                                                                                                          | 14    |
| Şekil 2.10. Bazı Mühendislik Malzemelerinin Dayanım/Yoğunluk Oranı. ....                                                                                                                                         | 16    |
| Şekil 2.11. Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşan aşınma mekanizmaları .....                                                                                                                                       | 20    |
| Şekil 2.12. (a) Yığıntı talaş oluşumu ve yapışma aşınması. (b) Yığıntı katmanı ve yığıntı talaşlı takımın görüntüsü .....                                                                                        | 21    |
| Şekil 2.13. Yüzey Kalitesine Etki eden Faktörler .....                                                                                                                                                           | 22    |
| Şekil 3.1. Çalışmada uygulanan akış şeması.....                                                                                                                                                                  | 23    |
| Şekil 3.2. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası numune kesitleri, (a) pilot çalışmalarda kullanılan kesitler, (b) işlenebilirlik deneyleri için kullanılan kesitler .....                                                | 29    |
| Şekil 3.3. (a) Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazı (b) Çekme deney numune boyutları .....                                                                           | 32    |

| Şekil                                                                                                                                                                                                                                                        | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.4. Çapraz kırılma deney numune boyutları .....                                                                                                                                                                                                       | 32    |
| Şekil 3.5. Çapraz kırılma testinin şematik olarak gösterimi. ....                                                                                                                                                                                            | 33    |
| Şekil 3.6. İşlenebilirlik testlerinde kullanılan kesici takım. ....                                                                                                                                                                                          | 35    |
| Şekil 3.7. Sandvik Coromant marka takım tutucu .....                                                                                                                                                                                                         | 35    |
| Şekil 3.8. Kesme kuvvetleri ölçme deney şeması ....                                                                                                                                                                                                          | 36    |
| Şekil 3.9. Kesme kuvvetlerinin ölçümünde Dynoware yazılımından alınmış örnek grafik .....                                                                                                                                                                    | 37    |
| Şekil 4.1. (a) AA6061, B <sub>4</sub> C ve SiC tozlarının SEM görüntüleri (b) Toz boyut dağılım grafikleri.....                                                                                                                                              | 39    |
| Şekil 4.2. Pilot çalışmalarda üretilen kompozitlerin yoğunluk değişimleri .....                                                                                                                                                                              | 41    |
| Şekil 4.3. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin yoğunluk değişimleri.....                                                                                                                                                                    | 42    |
| Şekil 4.4. (a) SEM görüntüsü (b) AA6061'in ekstrüzyon sonrası EDS analizi. ....                                                                                                                                                                              | 43    |
| Şekil 4.5. (a) 6B <sub>4</sub> C6SiC kompozit malzemenin SEM görüntüsü (b) 1. Bölgeden alınan EDS analizi (c) 2. bölgeden alınan EDS analizi.....                                                                                                            | 44    |
| Şekil 4.6. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin sertlik grafiği .....                                                                                                                                                                           | 48    |
| Şekil 4.7. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin sertlik grafiği .....                                                                                                                                                                        | 48    |
| Şekil 4.8. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin çapraz kırılma grafiği .....                                                                                                                                                                    | 49    |
| Şekil 4.9. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanım grafiği ....                                                                                                                                                                      | 49    |
| Şekil 4.10. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin çekme dayanım grafiği.....                                                                                                                                                                  | 50    |
| Şekil 4.11. AA6061 matrisli %3 B <sub>4</sub> C, %6 B <sub>4</sub> C ve %9 B <sub>4</sub> C takviyeli kompozitlerin farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı kesme kuvvetindeki değişimler a) f=0.15, b) f=0.1875, c) f=0.27. ....                    | 53    |
| Şekil 4.12. AA6061 matrisli %3 B <sub>4</sub> C, %6 B <sub>4</sub> C ve %9 B <sub>4</sub> C takviyeli kompozitlerin farklı kesme hızlarında ilerleme değerlerine bağlı kesme kuvvetindeki değişimler a) V=200, b) V=224, c) V=230, d) V=250. ....            | 54    |
| Şekil 4.13. AA6061 matrisli %3 B <sub>4</sub> C, %6 B <sub>4</sub> C ve %9 B <sub>4</sub> C takviyeli kompozitlerin farklı ilerleme değerlerinde kesme hızlarına bağlı ortalama yüzey pürüzlülükteki (Ra) değişimler a) f=0.15, b) f=0.1875, c) f=0,27. .... | 56    |

**Şekil****Sayfa**

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.14. AA6061 matrisli %3 B <sub>4</sub> C, %6 B <sub>4</sub> C ve %9 B <sub>4</sub> C takviyeli kompozitlerin farklı kesme hızlarında ilerleme miktarına bağlı ortalama yüzey pürüzlülükteki (Ra) değişimler a) V=200, b) V=224, c) V=230, d) V=250. .... | 57 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                                                                                                                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 3.1. Kompozitlerin üretim sırası .....                                                                                                                                                                                 | 24    |
| Resim 3.2. (a) İç çapı 60 mm olan soğuk presleme kalıbı .....                                                                                                                                                                | 27    |
| Resim 3.3. Preslenen toz metal blok numuneler (a) Pilot çalışmalar için,<br>(b) işlenebilirlik deneyleri için preslenen toz metal blok numuneler.....                                                                        | 27    |
| Resim 3.4. Ekstrüzyon kalıbı ve hidrolik pres .....                                                                                                                                                                          | 28    |
| Resim 3.5. Ekstrüze edilen kompozit malzemeler (a) pilot çalışmalar,<br>(b) işlenebilirlik deneyleri .....                                                                                                                   | 29    |
| Resim 3.6. JOHNFORD TC 35 marka CNC torna tezgahında deneyin yapılışı .....                                                                                                                                                  | 34    |
| Resim 4.1. Ekstrüzyon sonrası elde edilen kompozitlerin makro görüntüsü<br>(a) pilot çalışmalar, (b) işlenebilirlik deneyleri.....                                                                                           | 40    |
| Resim 4.2. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin optik mikroskop<br>görüntüleri (a) AA6061 (b) 3B <sub>4</sub> C9SiC (c) 6B <sub>4</sub> C6SiC (d) 9B <sub>4</sub> C3SiC<br>(e)12B <sub>4</sub> C (f) 12SiC..... | 45    |
| Resim 4.3. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin optik mikroskop<br>resimleri (a) % 3B <sub>4</sub> C, (b) % 6B <sub>4</sub> C, (c) % 9B <sub>4</sub> C.....                                                  | 46    |
| Resim 4.4. Çekme testi sonrası kırık yüzey analizi SEM görüntüleri (a) AA6061<br>b) 6B <sub>4</sub> C6SiC (c) 12B <sub>4</sub> C (d) 12SiC.....                                                                              | 51    |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| <b>a</b>             | Kesme derinliği, mm              |
| <b>f</b>             | İlerleme miktarı, mm/rev         |
| <b>F<sub>c</sub></b> | Esas kesme kuvveti               |
| <b>F<sub>f</sub></b> | İlerleme kuvveti, N              |
| <b>F<sub>r</sub></b> | Radyal kuvvet, N                 |
| <b>R<sub>a</sub></b> | Yüzey pürüzlülüğü, $\mu\text{m}$ |
| <b>v</b>             | Kesme hızı, m/min                |

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| <b>AMK</b> | Alüminyum Matrisli Kompozit           |
| <b>EDS</b> | Enerji Dağılımlı Spektroskopi Analizi |
| <b>HB</b>  | Brinell Sertlik                       |
| <b>HIP</b> | Sıcak İzostatik Presleme              |
| <b>HV</b>  | Vickers Sertlik                       |
| <b>MMK</b> | Metal Matrisli Kompozit               |
| <b>SEM</b> | Tarama Elektron Mikroskobu            |
| <b>TM</b>  | Toz Metalurjisi                       |
| <b>XRD</b> | X-ışınları Difraktometresi            |



## 1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle endüstri de yaşanan değişim ve fiyatı günden güne artan enerjiden dolayı nitelikli özellikleri olan malzemelere ihtiyaç git gide doğmaktadır. Bu bağlamda bilim insanları yeni ve fonksiyonel malzeme üretimi için projeler yürüterek oldukça yüksek performanslara sahip kompozit malzemeler üretilmektedir [1].

Malzeme üretiminde oldukça hızlı geliştirilen üretim proseslerinden birisi de toz metalurjisidir. Tercih edilmesinin en önemli sebebi parçacıkların homojen dağılımıdır. Bu yöntemde, metal tozları karıştırılarak, normal şartlar altında veya yüksek sıcaklıklarda, istenilen parça şekli ve ebadına göre kalıpta pres ile şekillendirilir ve ardından sinterleme işlemine tabi tutularak gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir [2]. Haddelme ve döküm gibi bilinen imalat yöntemlerin yanı sıra toz metal parçalar ile üretilen malzemeler bazı avantajlı özelliklere sahiptir. Bunlar, üretimi zor ve karmaşık şekilli alaşımları daha kolay üretme, yoğunluğu ve ekonomik olması gibi avantajlardır [3].

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler metal veya alaşımından oluşan bir matris ile çoğunlukla parçacık halindeki takviye malzemesinin makro ölçekte karışımından meydana gelir [4]. Karma (hybrid) kompozitler ise; farklı özelliklere sahip birden fazla takviye elemanının matrise katılmasıyla oluşur [5]. MMK malzemelerde parçacık takviye olarak; metal karbürler (SiC, TaC, WC, B<sub>4</sub>C), metal nitrürler (TaN, ZrN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiN), metal borürler (TaB<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub>, WB) ve metal oksitler (ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ThO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>) kullanılmaktadır. Matriste özellikle ağırlığı düşük, korozyon direnci yüksek malzemeler tercih edilir. Matris malzemesi için en çok Al, Cu, Mg, Ti, Zn ve Pb metalleri kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı Al ve alaşımlarıdır. Hafiflik, dayanımının, tokluğunun ve korozyon direncinin fazla olması, yüksek elastikiyet ve takviye malzemesi ile bağ kuvvetinin iyi olması nedeniyle en yaygın malzeme olmaktadır. Uygulama alanı olarak en çok havacılık, uzay ve otomotiv sektörleri bulunmaktadır. Otomotivde son yıllarda hafifliği, dayanımın yüksek olması, düşük termal genleşme katsayıları ve iyi aşınma dayanımı gibi özellikleri dikkat çekmekte, fren diski, silindir gömleği, motor pistonu gibi parçalarda uygulama alanı bulmaktadır [4].

Bu çalışmada, daha çok savunma ve otomotiv endüstrisinde uygulanmak üzere, toz metalurjisi ve ekstrüzyon prosesleriyle imal edilen AA6061 matris ile takviye oranı % 12

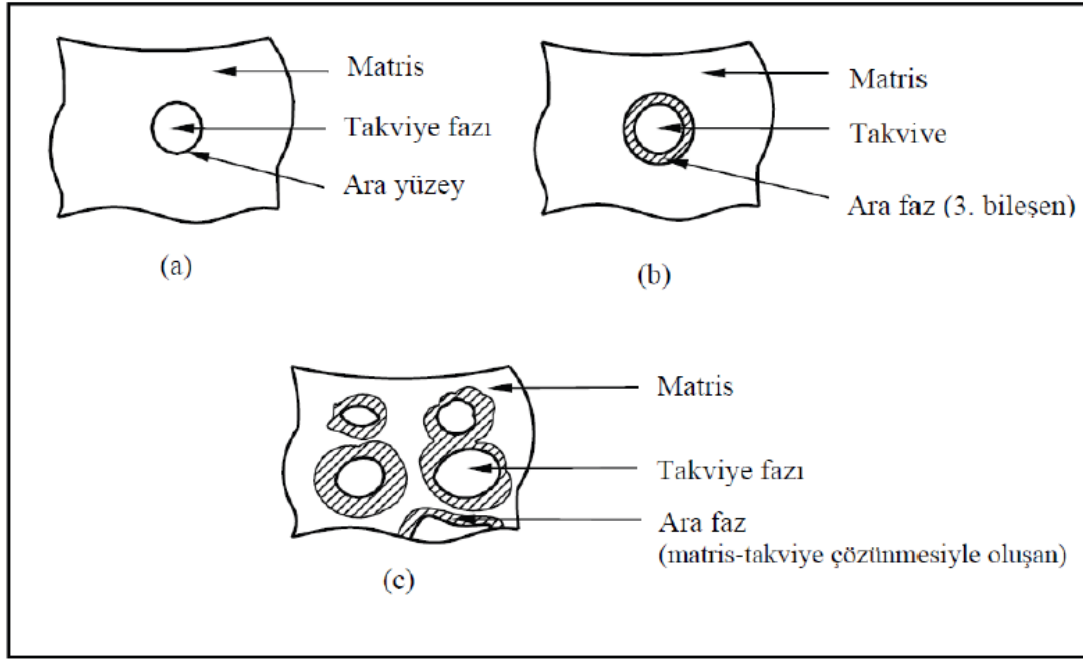
olan B<sub>4</sub>C ve SiC kompozit malzemeler ve % 9 SiC-% 3 B<sub>4</sub>C, % 6 SiC-% 6 B<sub>4</sub>C, % 3 SiC-% 9 B<sub>4</sub>C takviye oranlarında seramik esaslı malzemeler ilave edilmiştir. Daha sonra mekanik testler ve optik analizler yapılarak değişimler incelenmiştir. Ayrıca aynı yöntemle üretilmiş matris malzemesi olarak AA6061 ile % 3, % 6 ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin de mekanik, işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerin teknolojide önemli bir yeri vardır. Gelişen dünyada istenilen özellikteki malzemeleri üretmek için duyulan bu ihtiyaç git gide artmaktadır [6,7]. Malzemelerin üstün yapısal ve fonksiyonel özelliklerinden faydalanarak, işletmede daha az parça kullanımına imkân kılmaktadır. Bu durum sistem mühendisliği açısından gerekli yedek parça miktarın azalmasında ve ürünün ömründe önemli artış göstermektedir [8]. Kompozit malzemeler, birçok alanda değişik uygulamalara sahiptir [9]. Genellikle savunma, havacılık, otomotiv, inşaat ve biyomedikal alanlarında kullanılmaktadır.

Kompozit malzeme, farklı fiziksel veya kimyasal özellikteki iki veya daha çok bileşenin bir araya getirilmesi veya karışımıyla oluşan ve birbiri içerisinde çözünmeyen malzemedir. Matris ve takviye olmak üzere iki bileşenden oluşur. Kompozit malzemede takviye genellikle sert ve dayanımı yüksek olan bileşendir. Matris ise, ana yapı malzemesidir ve nispeten düşük dayanıma sahip olan bağlayıcı görevindedir [10]. Bu bileşenler birbirlerinin eksik yönlerini kapatır ve yepyeni özellikler kazandırır. Matriste istenilen hafif olması, korozyon direnciyle kırılma tokluğunun yüksek olması ve takviye ile uyumdur. Matris malzemeleri aynı zamanda takviye elemanlarına karşı aşınma ve korozyon direnci sağlar yani; takviyeleri bağlayıp malzemenin şekilsel bütünlüğünü korur. Takviye malzemesi ise, matrisin özelliklerini iyileştirir. Kompozit malzemelerde matris ve takviye fazının çözünmesi istenmez, ancak az miktarda çözünürlük güçlü bağ oluşturur. Şekil 2.1’de matris, takviye ve ara faz oluşumu gösterilmiştir. Oluşan ara yüzeyin yapısı mekanik ve fiziksel özellikleri doğrudan etkilemektedir [11].



Şekil 2.1. Kompozit malzemede matris-takviye bağı oluşumunda ara faz ve yüzeyler  
a) Ara fazsız birleşme, b) Kaplanmış takviye kullanımı, c) Sınırlı oranda çözünmeyle ara faz oluşumu [11]

Kompozit malzemenin özellikleri matris ve takviyenin kullanımına göre değişir; takviyenin biçimi (kısa fiber, sürekli fiber, partikül) ve oranları önem arz eder [12]. Parçacık takviyeli kompozitler, fiber takviyeli kompozitlere nazaran daha iyi özellikler gösterirler. Parçacıkların matrise göre sert olması aşınmasını olumlu etkilemektedir [13]. Kompozit malzemeler üretim şekline göre üretim şekline göre üçe ayrılırlar; polimer matrisli, metal matrisli ve seramik matrisli kompozitlerdir. Bunlar en yaygın endüstriyel uygulama alanlarında tercih edilirler [12].

Son dönemde polimer kompozit malzemeler, sanayide ön plana çıkmaktadır. Çünkü kompozit malzemeler ilave edilen her malzemenin en iyi özelliklerini alır ve bunlar önemli ölçüde performans değerleri arttırılabilen malzemelerdir. Polimerler matris malzemesi olarak zahmetsizdir ve ucuzdur [14]. Burada en yaygın kullanılanı yumuşak polimer matrisinin mukavemetli ve gevrek fiberler ile takviye edilmesidir. Cam takviyeli kompozit malzemeler ise yüksek mukavemetli ve ekonomik olması sebebiyle tercih edilirler. Karbon fiber takviyeli ve aramid elyaf takviyeli kompozitlerin ise; dayanımı fazla ve hafiftirler. Bunun yanı sıra ekonomik değildir ve yüksek performans gerektiren alanlarda, maliyetin sorun oluşturmadığı hallerde kullanılır. Askerî uçakların yüzeyinde % 70 oranlarında karbon fiber takviyeli polimer kompozitler, askeri araçların rulman yatakları, araç kasaları

ve hava kanalları vb. gibi çok yüksek termal direnç istenilen kısımlarda tercih edilmektedirler [15].

Seramik matrisli kompozit malzemelerde yüksek termal dayanımının iyi derecede fonksiyonel özelliklerin elde edilmesinin yanında daha çok kırılma tokluğunu arttırmak için araştırmalar yapılmaktadır. Güçlendiricilerden uzun ve kısa fiber, parçacık şekilleri kullanılmaktadır. En bilinen güçlendiriciler ise  $B_4C$  ve  $SiC$  [12].

Metal matrisli kompozit malzemeler fiziksel özelliklerinin yanı sıra, enerji kazanımı açısından hafif olmaları sebebiyle dikkat çekmektedir. Ayrıca aşınma ve sürtünme direncinin yüksek olması nedeniyle bu malzemelerden yapılan parçalar giderek yaygınlaşmaktadır [16]. Kompozit malzemede genellikle takviye malzemesi için kullanılan seramik parçacıklar; oksitler ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ), nitritler ( $Si_3N_4$ ,  $AlN$ ) ve karbürler ( $SiC$ ,  $TiC$ ,  $B_4C$ ) dir. Al, Ti, Mg, Cu, Ni, superalloys metal matrisli kompozitler için, matris fazı olarak tercih edilmektedir. Hafifliğin önemli bir etken olmasından dolayı, havacılık ve uzay endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır [17].

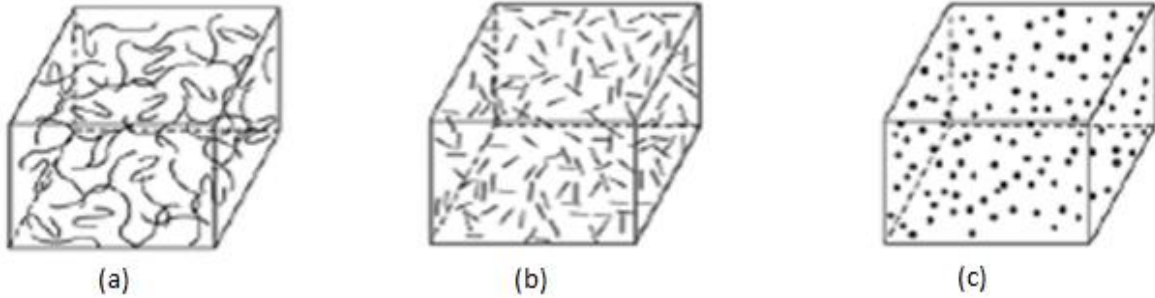
### 2.1.1. Metal matrisli kompozit malzemeler

Son yıllarda, metal matrisli kompozitler birçok malzemenin yerini almaktadırlar. Örneğin; havacılık, uzay, taşımacılık ve savunma sanayisinde üstün mekanik özellikler ve kıyaslanabilir düşük maliyetleri ile ön plana çıkmaktadır. En iyi mekanik özellikleri elde etmek için homojenite gerekmektedir. Bu yüzden önemli parametreler kontrol altına alınarak süreç tanımlanmalı ve kaliteli kompoziti elde etmek için iyileştirilmelidir. Ayrıca kompozitin mikro yapısı özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [18]. Bu malzemelerin özelliklerini tanımlamada takviyenin mikro yapısının ve matris ile uyumunun etkileri vardır [19]. Şekil 2.2’de MMK’lerde kullanılan takviye malzemelerin şematik görünümüleri verilmiştir.

MMK'lerin avantajları şu şekildedir [20]:

- Matris malzemesi, polimer ve seramiklerden farklı olarak saf veya alaşımlı metaldir.
- MMK’lerde takviye malzemesinin rolü polimer matrisli kompozit malzemelerde olduğu gibi çekme dayanımını arttırmaktır. SMK’lerde ise amaç, darbe dayanımını iyileştirmektir.

- Takviye edilmemiş matris alaşımlarının sünekliği ve tokluğu, takviye edilenden düşük olduğu halde SMK'lerden yüksektir.
- MMK'lerin termal dayanımları PMK'lerden yüksek fakat SMK'lerden düşüktür.



Şekil 2.2. MMK'lerde kullanılan değişik oranlardaki takviye malzemelerin şematik görünümü. a) Sürekli Fiber Takviyeli, b) Kısa Fiber Takviyeli, c) Parçacık Takviyeli

Kompozitlerin birçoğu havacılık endüstrisinde tercih edilmektedir. Otomotiv için motor parçalarında projeler yürütülmektedir. Seramik takviyesiyle matris ile uyum sağlanmış ve geniş uygulama alanları bulmuştur. Metal ve alaşımları ile seramik takviye malzemeler birleştirilerek (yüksek dayanım) üstün özellikler ve mükemmel dayanım elde edilmektedir [21].

### 2.1.2. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler

Otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde ağırlıklı olarak partikül takviyeli alüminyum alaşımlı kompozit malzemelerin tercih edilir. Bunun en büyük etkenleri yoğunluğunun düşük olması, yüksek mukavemet ve aşınma direncidir [16]. Ancak, alüminyum alaşımlı kompozitlerin zayıf olduğu noktalar aşınma direncinin düşük olması ve yüksek sıcaklıktaki performansdır [22]. Otomotiv sektöründe özellikle motor parçalarından biri olan krank-biyel mekanizmalarında tercih edilmektedir [13].

Alüminyum alaşımlarına  $Al_2O_3$ , SiC,  $SiO_2$  gibi partiküllerin takviye edilmesi dayanımı güçlendirmektedir [13]. SiC yüksek dayanım, Young modülü ve termal şok direnci gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılan parçacık fazıdır. Bu durum alüminyum ile güçlü bir bağ oluşturabilmesinden kaynaklanmaktadır [23].  $B_4C$  ise, takviye elemanı olarak alüminyum matrisli kompozitler içerisinde potansiyel aday görülmektedir. Özgül ağırlığının düşük olması ( $2.52 \text{ g/cm}^3$ ), darbe ve aşınma direncinin yüksek olması en



önemli avantajlarıdır. Otomotiv, askeri ve nükleer sanayide Al-B<sub>4</sub>C metal matrisli kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadırlar [17].

Alüminyum matrisli kompozitlerde en çok tercih edilen takviye malzemeleri aşağıda özetlenmiştir:

*Bor Karbür (B<sub>4</sub>C):* Bor karbür, endüstride çok kullanılan malzemelerden biri olup sertlik olarak elmas ve kübik bor nitrürden sonra gelir. Esasında B<sub>4</sub>C tozu, bir elektrik ark fırını içinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile birlikte karbonla reaksiyona girerek, karbotermal indirgeme yoluyla veya gaz fazındaki reaksiyonlar aracılığıyla üretilir. Ticari kullanım için saflaştırılması gereken B<sub>4</sub>C tozlarına, öğütme ve metalik yabancı maddelerden uzaklaştırma işlemi yapılır [24].

Çizelge 2.1’de Bor karbürün fiziksel özellikleri verilmiştir.

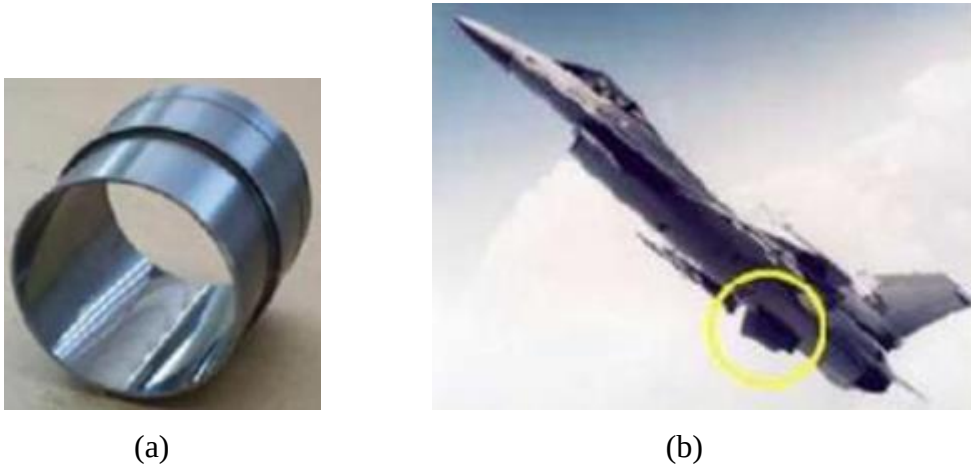
Çizelge 2.1. Bor karbür (B<sub>4</sub>C) fiziksel özellikleri

| Fiziksel Özellikler                          |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| Yoğunluk (g.cm <sup>-3</sup> )               | 2,52      |
| Ergime Sıcaklığı (°C)                        | 2445      |
| Sertlik (Knopp 100 g.)(kg.mm <sup>-2</sup> ) | 2900-3580 |
| Kırılma Tokluğu (MPa.m <sup>-1/2</sup> )     | 2.9-3.7   |
| Young Modülü (GPa)                           | 450-470   |
| Elektrik İletkenliği (25°C’de) (S)           | 140       |
| Isıl İletkenlik (25°C’de) (W/m.K)            | 30-42     |
| Isıl genleşme katsayısı x 10 (°C)            | 5         |

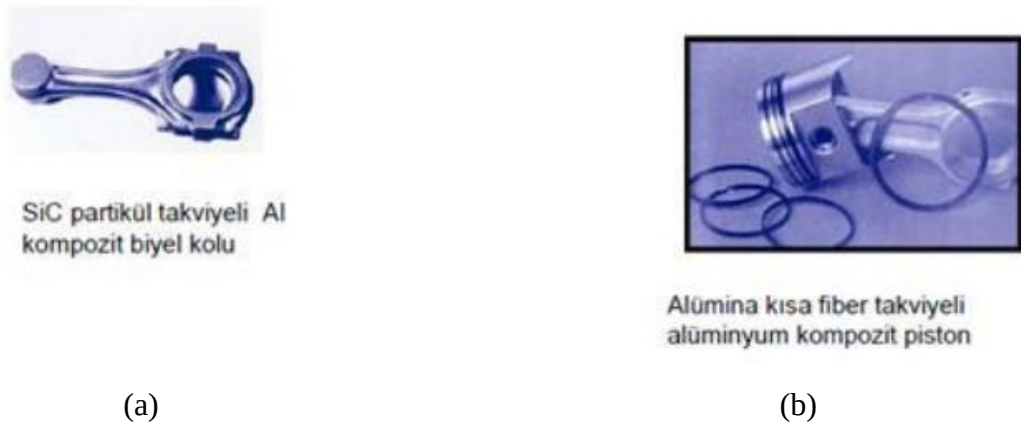
*Silisyum Karbür (SiC):* Takviye parçacıkların metal matristeki miktarı ve dağılımı kompozitlerin güçlenmesini etkiler. Silisyum karbür, ısılatılabilirlik olarak diğer parçacık takviyelerine oranla alüminyum tarafından daha iyidir. Ayrıca, aşınma direncinin yüksek ve yüksek sıcaklıklara karşı ısı direnci özellikleriyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotivde kullanılan malzemelerin yerini artık SiC parçacık takviyeli alüminyum kompozit malzemenin kullanılmasının doğruluğu kanıtlanmıştır. Silisyum karbür gibi seramik parçacıklar alüminyum matrisli kompozit malzemelere takviye edildiğinde, mukavemeti ve sünekliği artırır, ayrıca mühendislikte yapılan uygulamalar için çok yararlıdır [19].

### 2.1.3. Al matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanları

Alüminyum matrisli kompozit malzemelere uzay araçları bu alandaki ilk uygulamalardan biri olmaktadır. Uzay aracının ana gövdesini destekleyen kafes sistemi ile kirişlerde ve iniş takımı parçalarında tek yönlü bor-alüminyum MMK borular kullanılmıştır. Araçlardaki gövde kafes sistemini destekleyen 159 kg bor-alüminyum borular araca %44'lük bir ağırlık kazancı sağlamaktadır [25]. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de uygulama alanlarına örnek verilmiştir.



Şekil 2.3. a) SiC partikül takviyeli Al metal matrisli kompozit silindir gömleği. b) F-16 uçaklarında kullanılan SiC partikül takviyeli 6092 Al alaşımı matrisli Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzeme [26]



Şekil 2.4. a) SiC partikül takviyeli Al kompozit biyel kolu. b) Alümina kısa fiber takviyeli alüminyum kompozit piston. [26]

## 2.2. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi

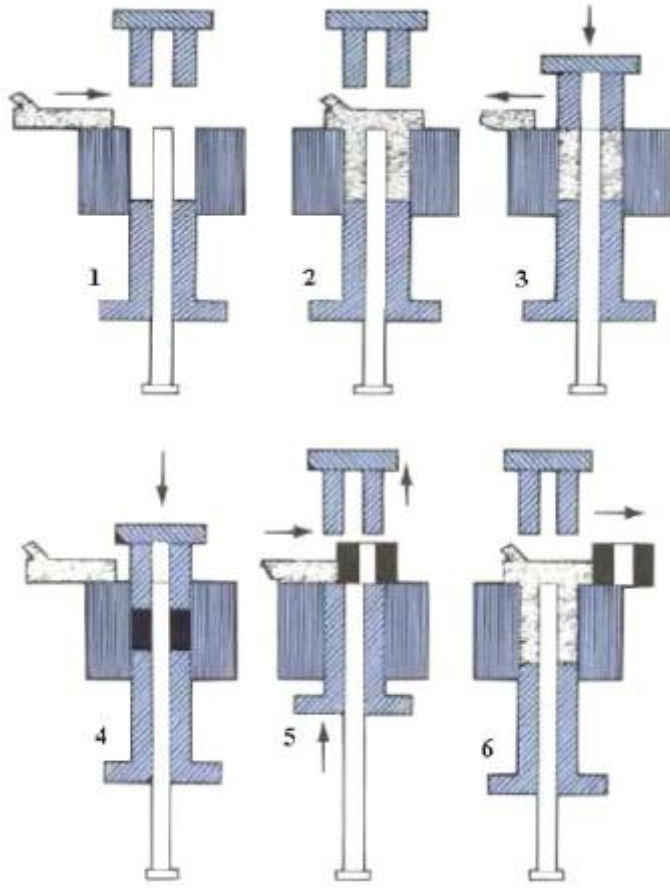
Bu yöntem, farklı şekil ve ölçülerdeki metal tozlarına mukavemet kazandırmak için presleme ve ardından sinterleme işlemi uygulanıp, çeşitli parçalara dönüştürme işlemidir. Bu yöntemde minimum enerji sarfıyatı olması sebebiyle endüstride kullanımı artmakta ve bu itibarla ekonomik olmaktadır. Günümüzde bilinen metal şekillendirme yöntemlerinde kullanılmaktadır [27].

### 2.2.1. Toz metalurjisinde parça üretim kademeleri

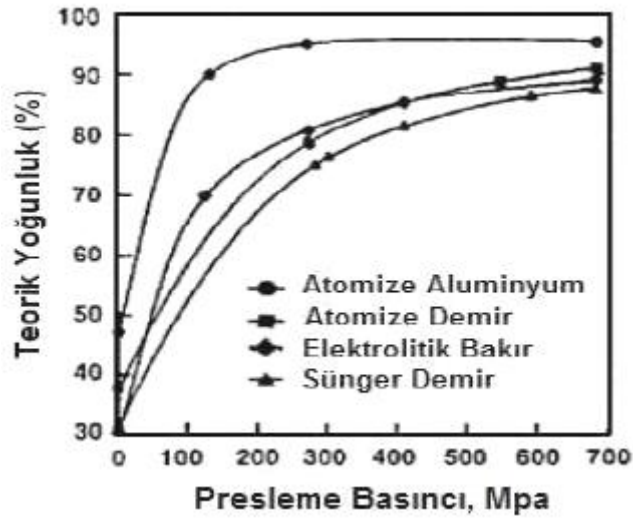
*Metalik Tozların ve/veya Alaşımların Karıştırılması:* Tozlarının kendi arasında homojenite gösterip karıştırılarak TM yöntemiyle parça üretmenin ilk adımını oluşturmaktadır. Burada tozlara mukavemet kazandırılmasının yanında alaşımların ilavesiyle uygun karıştırıcılar kullanılarak harmanlanır. Daha sonra metal tozların preslenmesi aşamasında, tozların kalıp duvarlarına ve birbirine yapışmaması, kayarak rahat şekillenmesi için prese alınmış parçayı kalıptan alma işleminde uygun bir kalıp ayırıcı ( metal stearatlar, mum, grafit) belirli oranlarda ( % 0, 5-1, 5) ilave edilebilir [28].

*Tozların Preslenmesi:* Üretilen malzemeye göre sertlik ve dayanımına uygun çelik veya karbür kalıplar içerisinde ortalama 300-800 MPa basınç arası değerlerde yapılır. Preslenen karmaşık şekilli parçaları pistonlar aracılığıyla tek prosette üretmek mümkündür. Şekil 2.5’ te preslemeye ait kademeler şematik olarak gösterilmiştir. Presleme sonunda sıkışan parçalara sinterleme işlemi uygulanır [28,29].

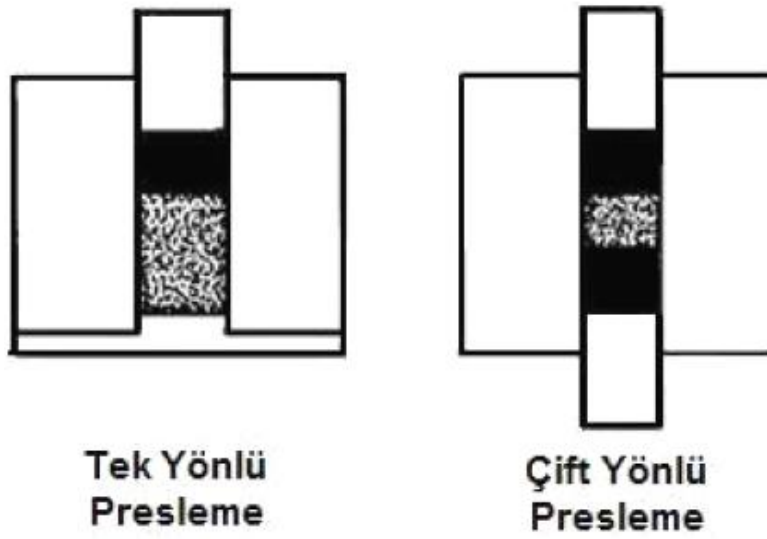
Tozların preslenmesinde teorik olarak özgül ağırlığa yakın yoğunlukta parça üretmek mümkün olabilmektedir ( Şekil 2.6). Şekil 2.7’ de görülebileceği gibi çift yönlü preslemenin de tek yönlü presleye oranla yoğunluk artışına pozitif bir etki de bulunduğu ve tozların homojen bir dağılım göstermesine yardımcı olduğu sonucuna varılmaktadır. Alternatif bir presleme yöntemi olan sıcak sıkıştırma işleminde ise T/ M parçanın özgül ağırlığı  $0.2 \text{ g/cm}^3$  kadar artırılabilir. Bu işlemde toz karışımı yağlayıcı yardımıyla yağlanır. Kalıp sıcaklığı  $130-150^\circ\text{C}$ ’ye çıkartılarak işlem tamamlanır. Sıcak sıkıştırmanın en önemli avantajı, sinterleme öncesinde parçanın daha yüksek mukavemete ve düşük poroziteye sahip olmasından dolayı bazı talaş kaldırma işlemleri yapılarak takım ömrünü arttırmasıdır [27].



Şekil 2.5. Tek yönlü preslemeye ait toz metalurjisindeki işlem kademeleri [29]

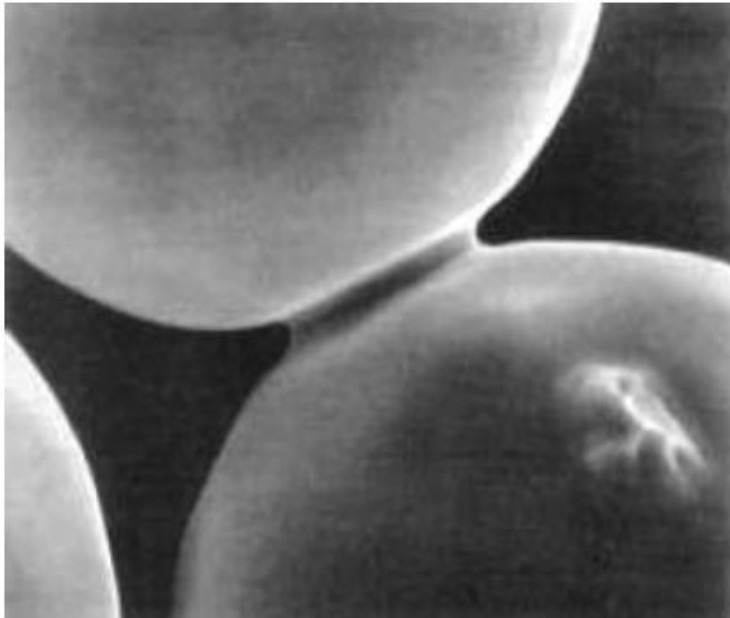


Şekil 2.6. Tozlardaki pres basıncının teorik yoğunluğa etkisi [30]



Şekil 2.7. Tozlarda tek ve çift yönlü pres altında meydana gelen yoğunluk değişim şeması [30]

*Tozların Sinterlenmesi:* Sinterleme, toz halindeki malzemenin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta bekletilerek tozların birbirlerine değdikleri noktalardan kaynaşmasına denir. Şekil 2.8’ de sinterleme sırasında bir nikel tozunda partiküller arasında meydana gelen boyun oluşumuna ait bir mikroyapı görüntüsü verilmiştir [31].



Şekil 2.8. Tozun sinterlenmesi sırasındaki boyun oluşumu (Nikel) [31]

Toz metalurjisinde sinterleme, sıkıştırılmış parçalara mukavemet kazandıran ve poroziteyi düşürmeye yönelik yapılan yöntemdir. Çelik malzemelerde sinterleme sıcaklığı genellikle

1100-1150<sup>0</sup>C dir. Süresi ise 10-60 dakikadır. Çizelge 2.2 'de farklı malzemelere ait sinterleme sıcaklıkları ve süreleri verilmektedir.

Toz metalürjisiyle parça üretiminde, sinterleme işlemi üç ana kademedен meydana gelmektedir:

- Yağlayıcı - bağlayıcı katkının yapıdan uçurulması,
- Sinterleme,
- Soğutma.

Toz metalürjisiyle üretilmek istenen kompozit parçaların sinterlenmesinin birinci kademesinde bağlayıcı olarak yapıda görev yapan ilavelerin kontrollü olarak giderilmesi sağlanır. Fırının soğutma bölgesinde, malzemelerin koruyucu bir gaz altında soğumaları sağlanır. Birçok malzeme küçüldüğü halde, bakır gibi bazı alaşımlar da boyutta artış görülür. Baskı kalıbının tasarımında bu durum dikkate alınmalıdır. [27].

Çizelge 2.2. Malzemelerin sinterleme sıcaklıkları ve süreleri [27]

| MALZEME           | SİNERLEME<br>SICAKLIĞI (°C) | SİNERLEME SÜRESİ<br>(dk) |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Bronz             | 815                         | 15                       |
| Bakır             | 870                         | 25                       |
| Alüminyum         | 600                         | 20                       |
| Pirinç            | 870                         | 20                       |
| Demir             | 1150                        | 25                       |
| Nikel             | 1040                        | 38                       |
| Paslanmaz Çelik   | 1150                        | 40                       |
| Semente Karbürler | 1460                        | 90                       |
| Molibden          | 2050                        | 120                      |
| Tungsten          | 2350                        | 480                      |
| Tantalyum         | 2400                        | 480                      |
| Titanyum          | 1200                        | 120                      |

## 2.3. İşlenebilirlik

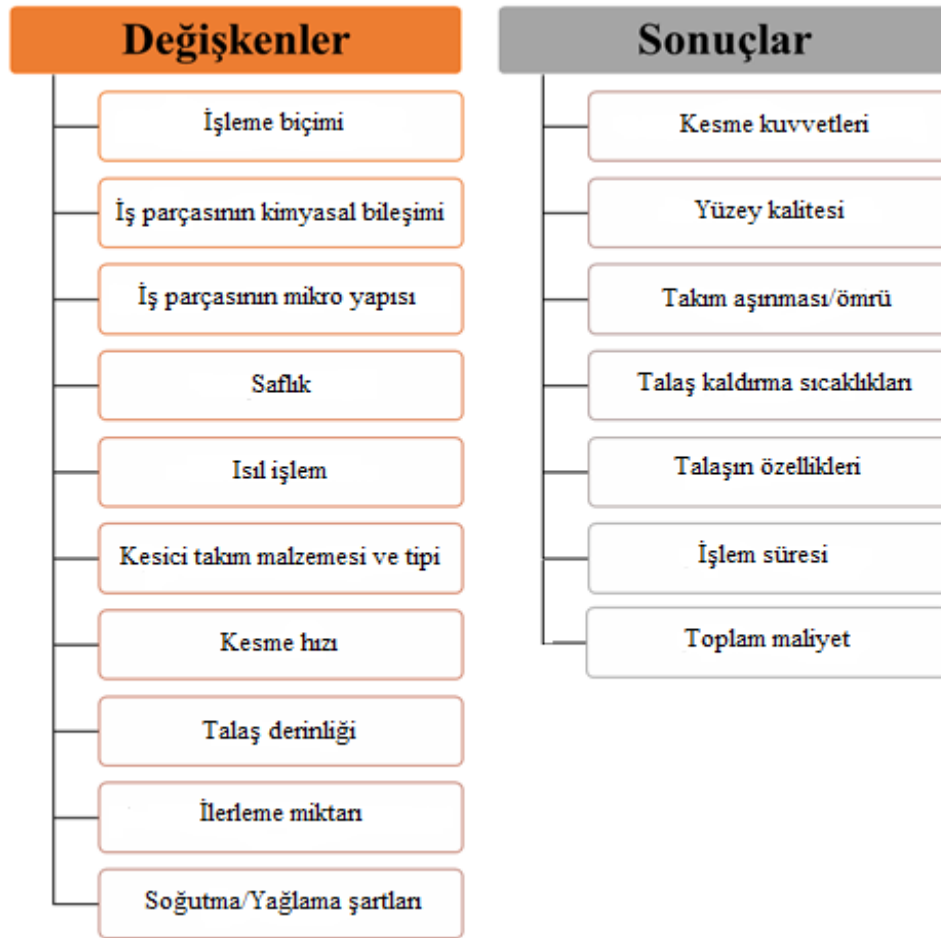
### 2.3.1. İşlenebilirlik kavramı

İşlenebilirlik kavramının birkaç farklı değişken göz önüne alınarak tanımının yapılması mümkün değildir. Ancak, en genel manada işlenebilirlik tanımı, işlenen malzeme yüzeyinin kalitesini, standart bir talaş kaldırma işlemlerine ait bir ya da daha çok karakteristiği bir nokta üzerine odaklamak şeklinde yapılabilir. Bu kavramın tanımı daha da basit hale getirildiğinde, bir malzemenin arzu edilen şekilde, yüzey kalitesinde ya da boyutlarda işlenebilmesinde kolaylık ve zorluk derecesini ifade eden bir kavram olduğu söylenebilir [32].

*İşlenebilirliğe etki eden unsurlar:* İşlenebilirliğin değerlendirilmesinde bir takım kıstaslar önem arz etmektedir. Herhangi bir malzeme için işlenebilirlik değerlendirmesi yapılabilmesi için aşağıdaki sıralanan kıstaslardan bir tanesi ya da daha fazlası göz önüne alınarak analiz yapılır [33]:

- i. Kesme Hızı,
- ii. Talaş kaldırma miktarı,
- iii. Takım ömrü,
- iv. Kesme kuvvetleri,
- v. Yüzey kalitesi.

Talaşlı imalat kapsamında işlenebilirlik, malzemenin seçimi ve işlem safhalarına ilişkin tüm bilgileri ihtiva eden ve bütün esas başlıklar altında bulunan diğerlerine uygun olacak şekilde ilişkiler ile düzenlenen sistemli bir yaklaşımı gerekli kılar. Bahse konu yaklaşım ile herhangi bir talaşlı imalat uygulamasına başlamadan evvel tespit edilen tezgah türü, kesme sürati, iş parçasının kimyevi bileşimi, talaş derinliği, ilerleme miktarı, iş parçasının yapısı, saflık, ısıl işlem, kesici takım malzemesi ve tipi vb. değişkenlere ilave olarak işlem esnasında meydana gelen talaş kaldırma sıcaklıkları, kesme kuvvetleri, talaşın özellikleri, yüzey kalitesi, işlem için geçen zaman ve toplam maliyet vb. sonuçlar Şekil 2.9'da verildiği gibi işlenebilirlik verilerini meydana getirmektedir [32].



Şekil 2.9. İşlenebilirlik Verileri [32]

Malzemelerin işlenebilirliği açısından etkili olan malzeme özellikleri ise süneklik, sertlik, pekleşme, ısıl iletkenlik, malzemenin kimyasal bileşimi ve malzeme içerisinde mevcut olan inklüzyonlardır. Örneğin malzemenin sertliğinde artışla beraber kesici takımlarda abrasif aşınmanın arttığı görülür ve bundan ötürü takımların kullanım ömrü azalır. Düşük seviyedeki sertlik ve dayanım özellikleri genellikle işlenebilirlik açısından olumlu olarak kabul edilmekle beraber, sertlik düzeyi düşük sünek malzemeler üzerinde BUE (yığıntı talaş) meydana gelmesi nedeniyle yüzey kalitesinde kötüleşme oluşur ve takımın kullanım ömrü azalır. Çok düşük sertlikte talaşlı imalat işleminin performansı olumsuz anlamda etkilenebilir. Düşük süneklik özelliği, metal kesim işlemlerinde genellikle pozitif bir etki sağlayarak iyi talaşların çıkmasına katkı sağlar ve metal kesme işlemleri için ihtiyaç duyulan güç seviyesini azaltır. Yükselen iş parçası dayanımı da özgül enerji, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklığını yükselteceğinden, artan dayanım ile kesme işleminin zorlaşacaktır. Buna ilave olarak, yüksek seviyede ısıl iletkenlik kesme yapılan bölgeden,

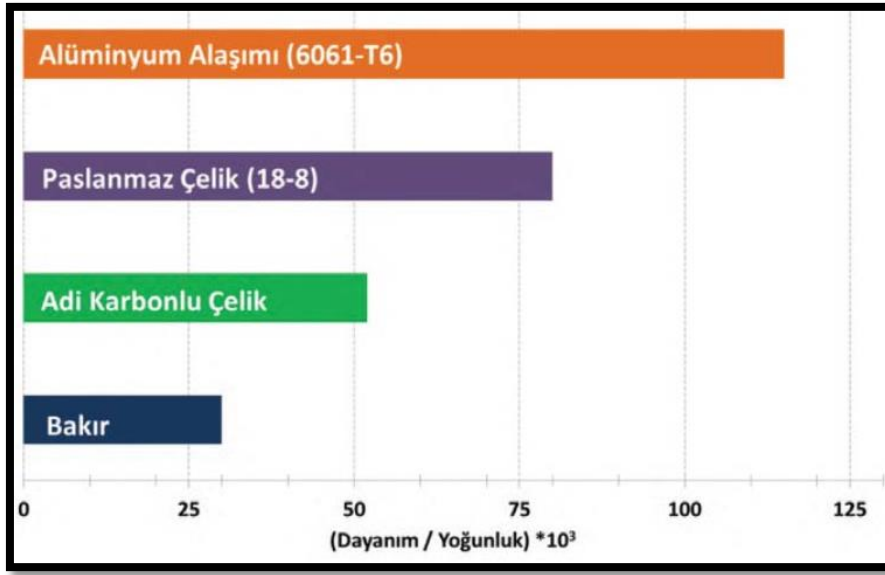


meydana gelen ısıнын sratlı bir Şekilde uzaklaşmasına neden olur. Bundan dolayı yüksek ısıl iletkenliğin işlenebilirlik açısından faydalı olduğu söylenebilir [34].

### **2.3.2. Alüminyum ve alaşımlarının işlenebilirliği**

Alüminyum alaşım malzemeler talaşlı imalat alanında sıklıkla istifade edilen malzemelerdendir. Nitekim saf alüminyumun çok zayıf ve sünek bir malzeme olması, bu malzemenin talaşlı imalat alanında kullanımını kısıtlamaktadır. Bu yüzden saf alüminyumun üzerinde işleme yapmak çoğunlukla alaşımlar üzerinde yapmaktan çok daha zordur. Saf alüminyum malzemenin işlenmesi esnasında uzun teller Şeklinde talaşlar oluşur ve bu talaşların abrasive özelliklerinin sonucu olarak kesici takımlar üzerinde oluşan talaşlardan daha sert oldukları görülür. Birçok alüminyum alaşımı, yüksek kesme sratlerinde işleme tabi tutularak iyi yüzey kalitesi sağlarken kesici takımların ömrünün uzamasına neden olur. Çoğunlukla, temperlenmiş ve sertleştirilmiş alaşımların çok daha kolay işlendiği ve çok daha kaliteli yüzey oluşturduğu görülür. Ancak silisyum ihtiva eden alaşımların işlenmesi çok kolay değildir, bahse konu malzemelerin işlenmesinde talaş kaymaktan ziyade yırtılır ve bundan ötürü kötü bir yüzey oluşur [33, 35].

Günümüzde alüminyum mühendislik malzemesi olarak çelikten sonra en fazla tercih edilen malzemedir. Alüminyumun bahse konu alanda rağbet görmesinde birkaç unsur etkilidir. Bunlar korozyona karşı yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek seviyede elektriksel iletkenlik ve Şekil 2.10’da gösterildiği biçimde diğer malzemelere nazaran yüksek spesifik dayanım olarak sıralanabilir. Alüminyumun manyetik olmaması sebebiyle manyetizmaya bağlı ilkeler ile çalışan elektronik ürünlerin üretiminde rağbet gören bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan alüminyum alaşımlarının parlayıcı ve yanıcı olmaması, yüksek ısıl iletkenliği, bütünüyle geri dönüştürülebilir olması vb. niteliklerinden ötürü diğer mühendislik malzemelerine karşı üstünlük sağladığı görülmektedir [36].



Şekil.2.10 Bazı Mühendislik Malzemelerinin Dayanım/Yoğunluk Oranı [37]

İşlenebilirlik açısından incelendiğinde de alüminyum alaşımlarının çok kullanışlı ve avantajlı oldukları görülmektedir. Özellikle işlenebilirlik bakımından yüzey kalitesi, kesici takımların ömrü ve talaş oluşumu hususlarında avantajlar sağlamaktadır. Diğer taraftan kesme kuvvetlerinin düşük olduğu görülmektedir. Döküm ve dövme alaşımların temperlenmiş durumdan tavllanmış duruma nazaran çok daha iyi işlendiği görülür. İşleme esnasında oluşan sıcaklık çoğunlukla düşüktür ve yüksek seviyede kesme süratleri kullanılır. Kesme işlemi açısından pozitif ve keskin geometriler gereklidir ve çoğunlukla alüminyum malzemeye özel olarak geliştirilen özel kesme takımlarıyla yapılır. Fakat alüminyum alaşımların çoğunun modern ve genel kesme takımları ile uygun biçimde işlenebilmesinin imkânı mevcuttur. Bahse konu işleme esnasında doğru bir kayma işleminin meydana gelmesi ve yığma talaş oluşumunun engellenmesine yönelik geniş talaş açıları gereklidir [35].

Alüminyum malzemelerin işlenmesinde yaşanan sorunlardan biri talaşın kontrol edilmesidir. Bu problem yüzey merkezli kübik bir yapısı olan alüminyumun, kırılma öncesinde yüksek düzeyde plastik deformelere uğramasından ileri gelmektedir. Alüminyum ve alaşımları işleme sırasında kesildiğinde ortaya çıkan talaşlar uzun, çok dayanıklı, kalındır ve bundan dolayı da kolay bir şekilde parçalanamaz. Bahse konu talaş biçimi kesme takımlarına dolaşma ihtimali vardır. Bu talaşların temizlenmesi maksadıyla kesme işleminin durdurulması gereklidir. Ancak yaklaşma açısı, talaş açısı ya da talaş kırıcılar dizayn edilerek kesme işleminde iyileşme elde edilebilir. Bu hususta diğer bir

metot da, alaşımların bileşimlerinde küçük talaş oluşturmak ya da daha kolay kırılan talaşlar çıkarmak maksadıyla değişiklikler yapmaktır. Bu maksatla standart alüminyum içerisine bizmut, kalay veya kurşun ve antimon ortalama % 0,5 oranında ilave edilir. Bu sayede talaşlar daha küçük parçacıklar şeklinde kolaylıkla kırılır. Anılan ergime noktası düşük olan metal elementler, alüminyum içerisinde katı çözelti oluşturmazlar ve ince küresel şekilde dağınık haldedirler. Bu elementler işleme esnasında talaş oluşturmak amacıyla kayma düzleminden geçtiği sırada alüminyumun sünekliğini azaltırlar. Alüminyuma alaşım oluşturma için bahse konu elementlerin ilave edilmesinin esas gayesi, kaldırılan talaş miktarının artırılması ya da takım ömrünün uzatılmasından daha çok talaş oluşumunu kolaylaştırmaktır.

Alüminyum alaşımları uygulamalar esnasında YHÇ karbürler, ÇKE takımlar ve seramik takımlar ile işlenebilmektedir. Fakat nispeten çok daha az maliyetli talaş kaldırma işlemi yapmak amacıyla ÇKE takımlar kullanılır. Örnek olarak, ÇKE ucu olan takımların sertliği 50 ila 150 BHN arasında olan alüminyum alaşımlarının işlenmesinde talaş kaldırma miktarının % 40 oranında artmış olduğu Çizelge 2.3'te görülmektedir. Bu çizelgede takım cinsine göre değişen veriler sergilenmiştir [33].

Çizelge 2.3. Sertliği 50-150 BHN olan Al alaşımlarının işlenmesi [33]

| Takım Cinsi            | Kesme Hızı<br>(m/dak) | İlerleme<br>Miktarı<br>(mm/dev) | Talaş<br>Derinliği<br>(mm) | Talaş Hacmi<br>(cm <sup>3</sup> /dak) |
|------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| ÇKE Uçlar<br>TiN (PVD) | 762                   | 0,018                           | 3,30                       | 1,149                                 |
| Kaplamalı<br>Karbürler | 549                   | 0,018                           | 3,30                       | 0,827                                 |

Alüminyum malzemenin frezelenmesi esnasında talaşın kalınlığı önem arz etmektedir. Çoğunlukla yüksek kesme süratleri kullanıldığında ilerleme sürati azalma eğilimi gösterir ve bundan dolayı kesme işleminden ziyade bir ezme işlemi gerçekleşir. Sonuç olarak da meydana gelen aşırı ısınma nedeniyle takımların ömrü kısalmır [35].

### 2.3.3. Kesme kuvvetleri ve ölçümleri

Talaşlı imalat kapsamında imal edilen iş parçasının kalitesinin yükseltilmesi ve işin maliyetinin azaltılması amacıyla icra edilen çalışmalarda kesme kuvvetlerinin tespit edilmesi ve bu kuvvetlerin analizinin yapılması çok önemli bir unsurdur [38].

Kesme kuvvetlerinin, takım ömrü, yüzey kalitesi, ısı oluşumu ve iş parçası ebatları üstünde kayda değer etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Kesme kuvvetleri diğer taraftan kesme takımı tezgâhları, kesici takımlar ve gereken bağlama kalıplarının dizaynı ciddi derecede önemlidir. Mühendislik hesaplamalarıyla sağlanan bir takım değerlerin, etkisi tam olarak belirlenemeyen değişik etmenler ve çok yönlü gerilmeler nedeniyle, çoğunlukla ölçülen değerler ile uyuşmadığı tespit edilmiştir. Bahse konu etmenlerin dikkate alınmamasından ötürü hesaplamalarda kesinlik sağlanamadığı ve zorlama doğrultusunun hatasız şekilde belirlenemediği durumlarda, gerilmelerin ve bu gerilmelere sebep olan kuvvetlerin deneyler ile ölçülmesiyle çok daha kesin ve doğru neticeler alınabilmektedir. Bunun sonucunda, hesaplamalarda istifade edilen ampirik eşitliklerin doğruluk düzeyi de icra edilen deneyler yoluyla doğrulanabilmektedir [39,40].

Teorik olarak yapılan hesaplarda sistem ve malzemenin, dış kuvvetlerin etkisinde biçim değiştirmedeği, formunun bozulmadığı tarafının rijit olduğu kabul edilmektedir. Rijit olan cisimler, her çeşit etkinin altında olursa olsun form değiştirmeyen cisimler olarak tanımlanır. Gerçek anlamda tüm cisimlerin, kuvvetlerin etkisi ile muhtelif düzeylerde form değiştirmesi nedeniyle kesin bir biçimde rijit olmaları mümkün değildir. Bu yüzden rijit kavramı ile bir soyutlama yapılarak cisimler hakkında bilgi verilir. Fakat katı cisimlerin birçoğunda form değiştirmenin, bir bütün olarak cisim hareketi üzerinde oluşan etkisi göz ardı edilebilir seviyededir. Ayrıca hareketin matematiksel analizinin kolaylaşmasını sağlayan rijitlik varsayımı bir takım olayların ele alınmasında kayda değer bir etki meydana getirmez [41].

Talaş kaldırma aşamasında kesme kuvvetlerinin saptanması aşağıda ifade edilen sebeplerden ötürü çok önemlidir. Buna göre talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerinin tespit edilmesi;

- i. Takım tezgâhının talaş kaldırma esnasında sarf ettiği enerjinin saptanması,

- ii. Takım tezgâhı, kesme takımları ve bağlama aparatlarının tasarlanması ve boyutlandırılması,
- iii. Tezgâh boyutları ve rijitliğinin hesaplanması,

Sarf edilen enerji ya da kesme kuvvetlerine bağlı olarak, talaş kaldırma esnasında optimizasyona bağlı adaptif bir kontrol sistemi oluşturulması açılarından çok önemlidir [42].

Yukarıda ifade edilen amaçların doğrultusunda talaşlı imalatta kesme kuvvetlerinin ölçülmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bahse konu çalışmalarda işleme türünden bağımsız olarak kesme kuvvetlerinin ölçülmesi işlemi iki sınıfta toplanmıştır. Anılan ölçme sistemlerinden ilki, adaptif kuvvet ölçme şeklinde isimlendirilen, tezgâh kontrol sistemi ya da kesici takımın bağlı olduğu motordan sağlanan akım ya da elektrik sinyallerinin analiziyle kuvvetlerin ölçülmesi icra edilmiştir. İkinci kuvvet ölçme metodu ise, iş parçası ya da kesici takım üzerine tespit edilen dönüştürücüler (Yük hücreleri, gerilimölçerler ve dinamometreler) vasıtasıyla kuvvetlerin ölçülmesidir [43].

*Adaptif kesme kuvveti ölçüm sistemleri:* Bu kuvvet ölçüm sisteminde tezgâha ait kontrol paneli ya da kesme takımının bağlı bulunduğu motor vasıtasıyla ölçüm yapılmaktadır. Kesme takımının bağlı olduğu motorun akımının kesme durumu hakkında önemli verileri içerdiği görülmektedir. Bahse konu motor akımı birçok incelemede kesme kuvvetinin ölçülmesinde yararlanılmaktadır. Dolaylı kuvvet ölçüm sistemi olarak da isimlendirilen bu metot ile düşük frekanslarda oluşan kuvvetlerin ölçümü yapılabilmektedir. Bu sistemde motordan geçen akım, motorun devir frekansı ve kesme kuvveti arasında bir bağıntı kurularak ölçüm icra edilebilir [44].

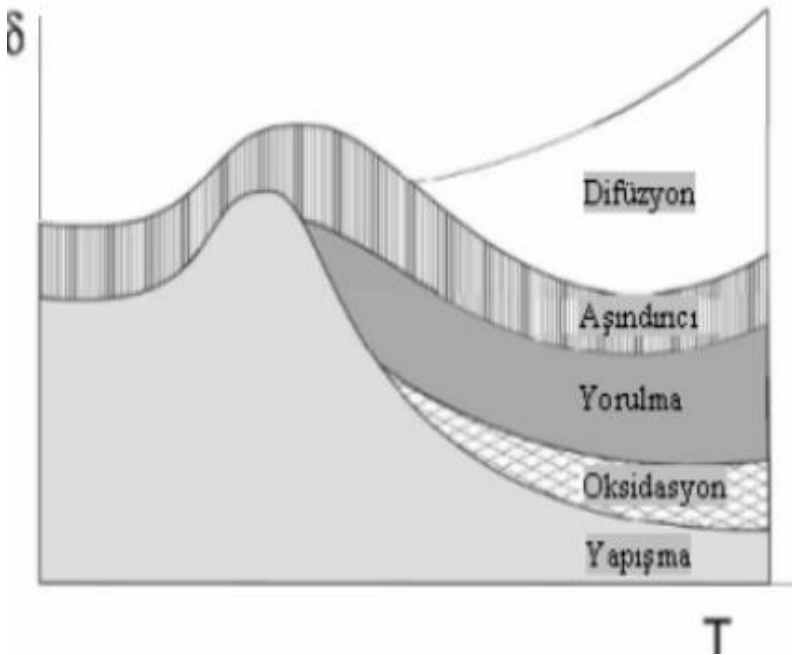
*Kuvvet dönüştürücüleri ile kesme kuvveti ölçüm sistemleri:* Bu kuvvet ölçüm yönteminde kuvvet ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu yöntem teknolojik açıdan gelişmiş uygulamalarda yaygın biçimde kullanılarak kuvvet ve yük ölçümü sensörler vasıtasıyla yapılmaktadır. Kullanılan alan bağlı olarak kuvvet transdüseri, yük hücresi, yük reseptörü ve dinamometre vb. değişen isimlerle de anılan bu cihazlar, çok küçük ölçekli terazilerden büyük kantarlara kadar çok geniş bir alanda yük ölçümü maksadıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bu elemanlardan çok hassas ölçümlerin gerekli olduğu metrolojik ölçümlerde de istifade edilir. Bahse konu cihazlar, uygulanan yük ile elastik açıdan form bozukluğu

oluşan bir yay elemanı ve bahse konu deformasyonu sayısal ya da analog biçimde sergileyen bir göstergeden meydana gelmektedir. Ölçümlerde meydana gelen deformasyonun uzunluğu kuvvetin ölçülmesinde kullanılan bir parametredir [45].

#### 2.3.4. Takım ömrü ( Takım aşınması)

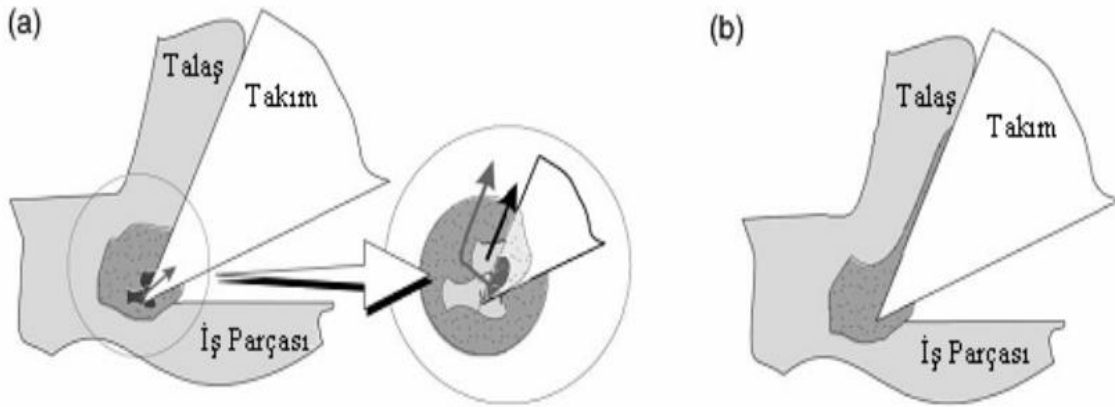
Talaşlı imalat işlemlerinde kesme takımının ömrü açısından genellikle takımın aşınması bir kıstas olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı kesme takımının aşınması ile ilgili yapılan kesme takımı ömürlerinin uzatılması çok önemli bir konudur. Kesme takımlarının aşınması kesici kenarda meydana gelen termal, mekanik, aşındırıcı ve kimyasal vb. yük etmenlerinin bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Ayrıca bahse konu etmenlerden herhangi biri de tek başına aşınmaya neden olabilir [46].

Çoğunlukla yükler ayrı şekilde davranmazlar, kaldırma işlemi sürdükçe yüklerin bileşkesi sinerji içerisinde artar. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesme parametrelerine göre meydana gelen sıcaklıkların, aşınma mekanizmaları oluşum eğilimini artırdığı Şekil 2. 11'deki gibi görülür. Bahse konu şekilde sıcaklığın fonksiyonu olan aşınma mekanizmalarının oluşum eğilimi gösterilmiş, burada  $\delta$  farklı aşınma mekanizmalarını gösterirken, T ise sıcaklığı göstermektedir [47].



Şekil 2.11. Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşan aşınma mekanizmaları [47]

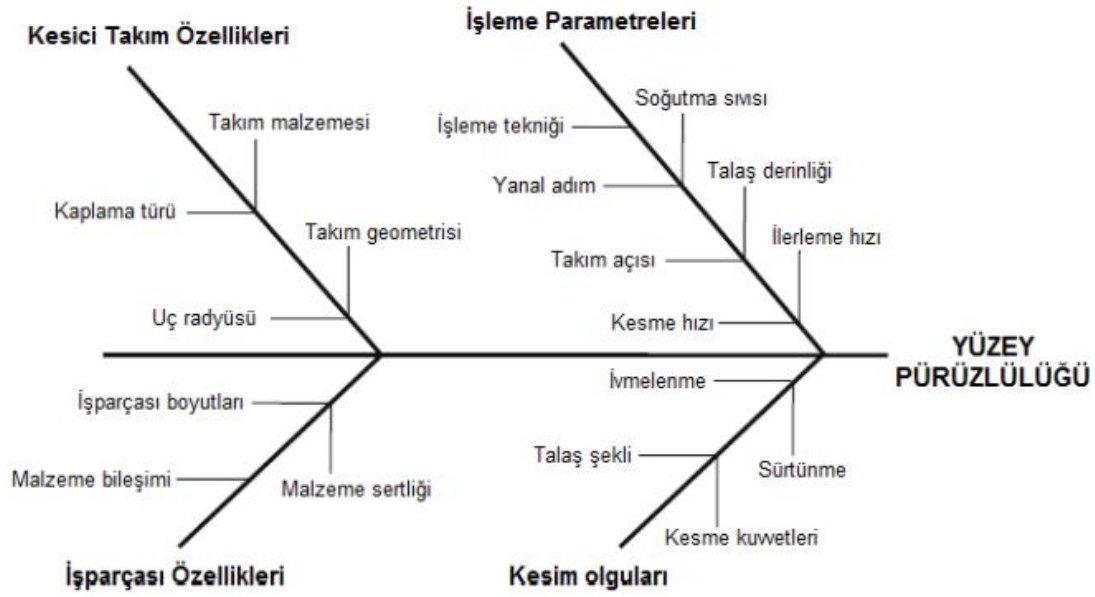
Aşınma mekanizmalarından difüzyon ve aşınma, kesme takımı aşınması üzerinde çok etkin olan mekanizmalardır [48]. Yine Şekil 2.11 incelendiğinde kesme sıcaklıklarının en geniş aralığı içerisinde meydana gelen aşınma mekanizmasının yapışma olduğu anlaşılmaktadır. Yapışma aşınması genellikle iş parçasının kesme takımı yüzeyine eklenmesiyle oluşur. Kesme takımı yüzeyine yapışan iş parçasına ait parçalar sabit değildir. Kesme işlemi sırasında uygulanan yüksek kesme kuvvetleriyle kesme takımı yüzeyinden koparak düşer ve talaş kaldırma işlemi süresince yeniden kesme takımı üst yüzeyinde toplanmaya başlayabilir ya da kesici kenar üzerinden ufak parçacıkların kırılarak kopmasına neden olabilir. İş parçasının malzemesi, kesme takımı yüzeyi üzerine Şekil 2.12’de görüldüğü üzere iki değişik biçimde ve neredeyse aynı anda yapışır. Şekil 2.12 (a)’da iş parçasının malzemesinin, kesme takımının kesici kenarına yapışmasıyla meydana gelen yığıntı talaş oluşumu gösterilmektedir. Şekil 2.12 (b)’de ise kesme takımının talaş yüzeyi üzerinde geniş bir alan dağılarak yapışan yığıntı katmanı oluşumu gösterilmektedir [49].



Şekil 2.12. (a) Yığıntı talaş oluşumu ve yapışma aşınması. (b) Yığıntı katmanı ve yığıntı talaşlı takımın görüntüsü [49]

### 2.3.5. Yüzey kalitesi

Talaşlı imalat metotlarında yüzey kalitesine etki eden birçok etmen mevcuttur. Bahse konu etmenler Şekil 2.13’te de sergilendiği üzere; iş parçası malzeme tipi, kesme takımının türü, kesme sürati, ilerleme sürati, talaşın derinliği, meydana gelen ısı, soğutma sıvısı ve tezgâhın yapısı vb. faktörlerden oluşmaktadır. Anılan faktörlerden herhangi bir tanesinin değişmesiyle yüzey kalitesi de değişim göstermektedir. İşlem esnasında yüzey kalitesine etki eden başlıca faktörler detaylandırılarak Şekil 2.13’te balık kılçığı metoduyla sergilenmiştir [50].



Şekil 2.13. Yüzey Kalitesine Etki Eden Faktörler [50]

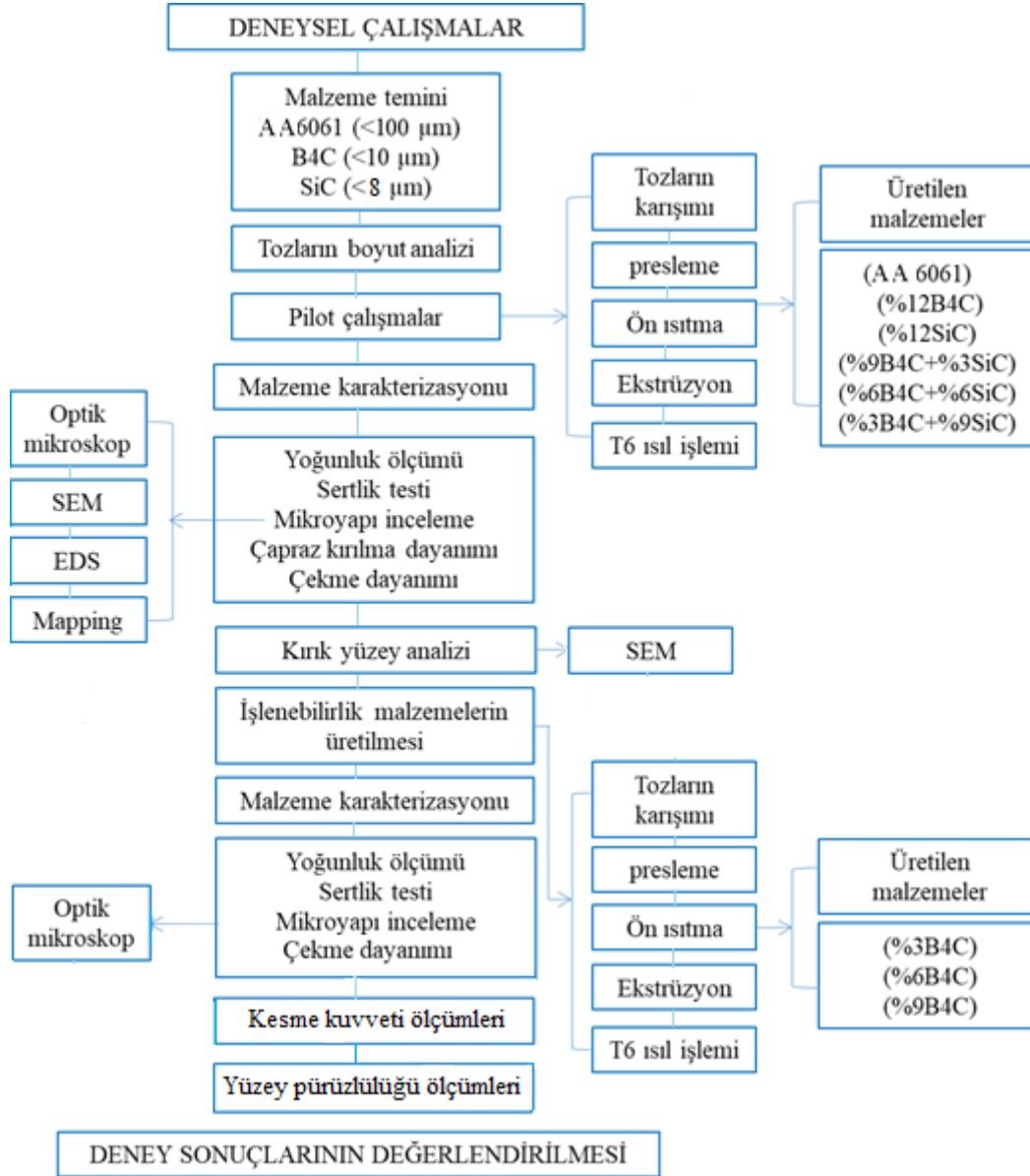
Kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme vb. kesme işlemine etki eden unsurlar genellikle üst düzeyde kontrol edilebilen faktörlerdir. Ancak diğer taraftan kesme takımı geometrisi, takımların aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumları veya takım ve iş parçası malzeme özellikleri ise kontrol altına alınamayan özellikler olarak öne çıkmaktadır. Takım tezgâhında oluşan titreşimler, iş parçası malzemesinin yapısında oluşan hasarlar, kesme takımının aşınması ya da talaş oluşumundaki düzensizlikler, işleme esnasında yüzey bozulmasına sebep olmaktadır olurlar. Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi ve ilerleme ya da kesme sürati gibi işleme parametrelerinin uyumunun değerlendirilmesi ürünün kalitesini artırır ve arzu edilen yüzey kalitesinin elde edilmesine katkı sağlar. Talaşlı imalatta çoğunlukla yüksek kesme hızlarında çok daha iyi yüzey kalitesinin sağlandığı görülür. Fakat çok yüksek kesme sürati kesme takımının körelmesini hızlandırdığından dolayı aynı yüzey kalitesi korunamaz [51].



### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Malzeme ve Metot

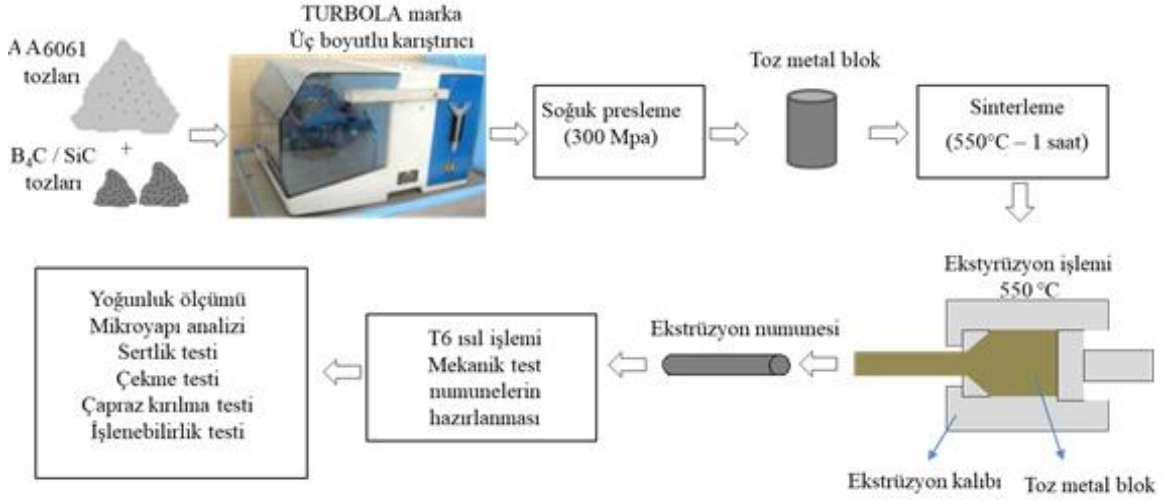
Bu çalışma kapsamında izlenen akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada uygulanan akış şeması

Bu çalışmada, TM yöntemi ile AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC parçacık takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, optik

özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri karakterize edilmiştir. Parçacık takviyeli ve takviyesiz üretilen malzemelerin üretim süreci Resim 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Resim 3.1. Kompozitlerin üretim sırası.

### 3.1.1 Malzeme

Kompozit malzemelerin üretilmesinde matris olarak <100 µm parçacık boyutunda ve % 99,0 saflıkta AA6061 alaşım tozu kullanıldı (Şekil 3.1). Takviye elemanı olarak ise <10 µm parçacık boyutunda B<sub>4</sub>C ve <8 µm SiC seramik ve tozu kullanıldı. Bu malzemelere ait özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. AA6061 alaşımının kimyasal kompozisyonu (% Ağırlıkça)

| Element                      | Al    | Mg      | Zn   | Cu      | Si      | Mn          | Ti  | Fe  | Cr  |
|------------------------------|-------|---------|------|---------|---------|-------------|-----|-----|-----|
| Kompozisyon<br>(% Ağırlıkça) | Kalan | 0.8–1.2 | 0.25 | 0.6–1.1 | 0.6–1.0 | 0.2–<br>0.8 | 0.1 | 0.5 | 0.1 |

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan metal ve seramik tozlarının özellikleri

| Malzeme          | Üretim metodu   | Yoğunluk<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Ergime noktası<br>(°C) | Parçacık boyutu<br>(µm) |
|------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| AA6061           | Gaz atomizasyon | 2,70                             | 582–652                | <100                    |
| B <sub>4</sub> C | ----            | 2,52                             | 2350                   | <10                     |
| SiC              | ----            | 3,10                             | 2730                   | <8                      |

### 3.2. Tozların Karakterizasyonu

#### 3.2.1. Tozların tane şekillerinin belirlenmesi

Tozların tane şekillerinin ve safsızlıklarının belirlenmesi için Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yer alan JEOL JSM 6060LV marka Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) analizleri yapılmıştır. Tozları SEM cihazında görüntüleyebilmek için metalografik olarak epoksi reçine yüzeyine soğuk gömme yapılmıştır. Soğuk gömme yapılan tozların şekil tayini için SEM görüntüleri alınmıştır. Ayrıca tozların safsızlıklarını belirleyebilmek için tozların EDS analizleri de yapılmıştır.

#### 3.2.2. Tozların tane boyutunun ölçülmesi

Tozların ortalama tane boyut dağılımı Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Toz metalürjisi laboratuvarında bulunan Malvern Mastersizer lazerle boyut ölçme cihazında belirlenmiştir.

### 3.3. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemelerin üretimi Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan cihazlarda gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde ilk olarak pilot çalışma yapılmıştır. Pilot çalışmadaki üretim verilerinden faydalanarak işlenebilirlik numuneleri üretilmiştir. Pilot çalışmalarda 6 farklı malzeme üretilmiştir.

### 3.3.1. Tozların karıştırılması

AA6061 tozları ile ağırlıkça farklı oranlarda  $B_4C$  ve SiC içeren tozlar 0,1 mg hassasiyetindeki Precisa marka hassas terazi kullanılarak tartılmıştır. Tartılan tozlar plastik bir kap içerisine konulduktan sonra Turbola marka T2 F tipi üç boyutlu karıştırıcıda 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Yapılan pilot çalışmalardan elde edilen verilere göre işlenebilirlik deneyi için kompozit malzemeler üretilmiştir. Hem pilot çalışmalar hem de işlenebilirlik deney çalışmaları için hazırlanan toz karışımları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bu çizelgede farklı oranlarda  $B_4C$  ve SiC içeren AA6061 alaşım tozlarının karışım oranları vardır.

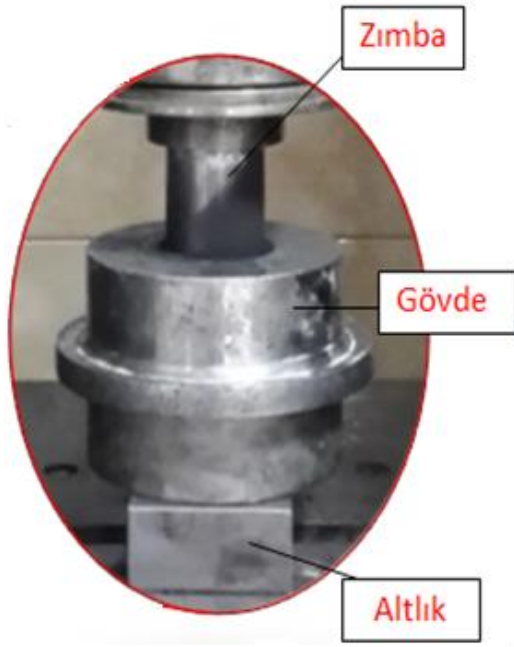
Çizelge 3.3. Üretilen malzemelerin ağırlıkça ve yüzde karışım oranları

| Pilot çalışmalarda kullanılan toz karışım oranları            |                           |        |     |                             |        |     |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|-----|-----------------------------|--------|-----|
| Numune                                                        | Malzeme karışım oranı (%) |        |     | Ağırlıkça karışım oranı (g) |        |     |
|                                                               | AA6061                    | $B_4C$ | SiC | AA6061                      | $B_4C$ | SiC |
| S1                                                            | 100                       | --     | --  | 400                         | --     | --  |
| S2                                                            | 88                        | 3      | 9   | 352                         | 12     | 36  |
| S3                                                            | 88                        | 6      | 6   | 352                         | 24     | 24  |
| S4                                                            | 88                        | 9      | 3   | 352                         | 36     | 12  |
| S5                                                            | 88                        | 12     | --  | 352                         | 48     | --  |
| S6                                                            | 88                        | --     | 12  | 352                         | --     | 48  |
| İşlenebilirlik deneylerinde kullanılacak toz karışım oranları |                           |        |     |                             |        |     |
| S7                                                            | 97                        | 3      | --  | 388                         | 12     | --  |
| S8                                                            | 94                        | 6      | --  | 376                         | 24     | --  |
| S9                                                            | 91                        | 9      | --  | 364                         | 36     | --  |

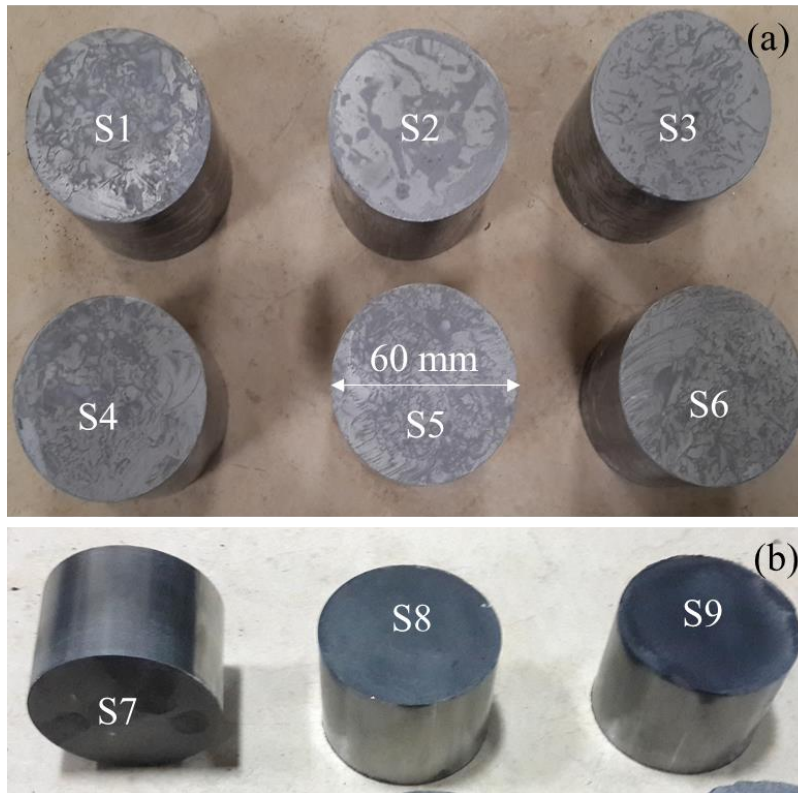
### 3.3.2. Presleme işlemi

Karışım tozlar TM laboratuvarında bulunan 260 ton presleme kapasitesine sahip hidrolik preste gerçekleştirilmiştir (Resim 3.2). Pilot çalışmalar ve işlenebilirlik çalışmaları için iç çapı 62 mm olan özel olarak tasarlanmış soğuk presleme kalıbı kullanılmıştır. Hem pilot çalışmalar için hem de büyük ebatlarda malzeme üretmek için karışım tozlar soğuk olarak

300 MPa basınç altında tek yönlü preslenmiştir. Preslenen toz metal blok numunelerin makro görünüşleri Resim 3.3'te verilmiştir.



Resim 3.2. (a) İç çapı 60 mm olan soğuk presleme kalıbı



Resim 3.3. Preslenen toz metal blok numuneler (a) Pilot çalışmalar için (b) işlenebilirlik deneyleri için preslenen toz metal blok numuneler

### 3.3.3. Preslenen toz blok numunelerin sinterlenmesi

Presleme işlemi yapılarak ham yoğunlukta toz metal blok haline gelen numunelerinin ekstrüze edilebilmesi için ön ısıtma yapılmıştır. Ön ısıtma işlemi Protherm marka PLF 120/12 tipindeki 1000 °C kapasiteli fırın içerisinde 550 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile serbest halde koruyucu gaz kullanmadan yapılmıştır.

### 3.3.4. Sinterlenen blokların ekstrüzyon edilmesi

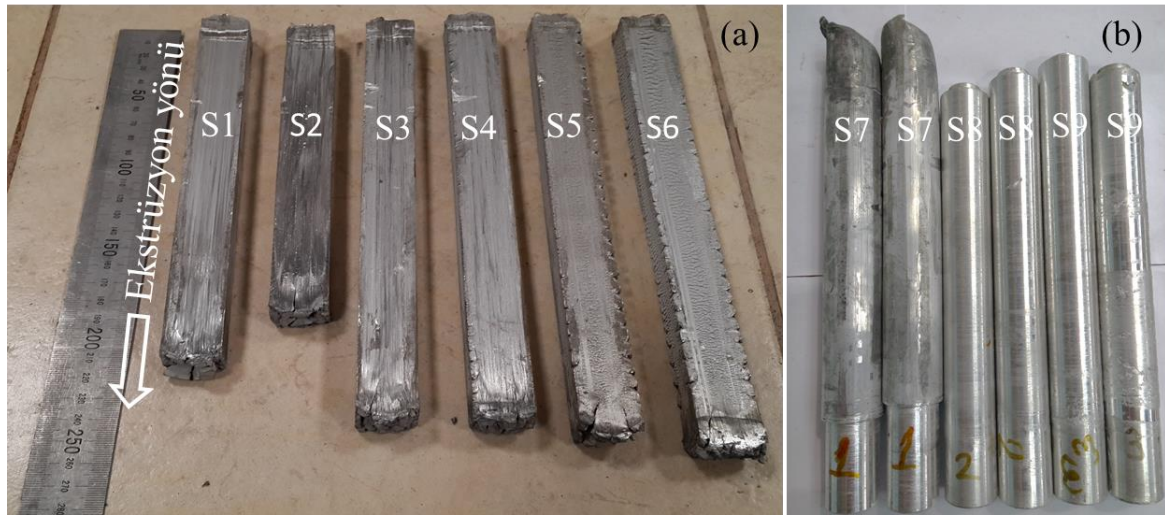
550 °C' de 1 saat süre ile sinterleme işlemine tabi tutulan kompozit malzemeler özel olarak tasarlanmış, yüksek sıcaklığa dayanıklı 2344 serisi sıcak iş takım çeliği kullanılarak yine 550 °C'de ekstrüze edilmiştir. Resim 3.4'te ekstrüzyon kalıbı ve hidrolik pres verilmiştir.



Resim 3.4. Ekstrüzyon kalıbı ve hidrolik pres

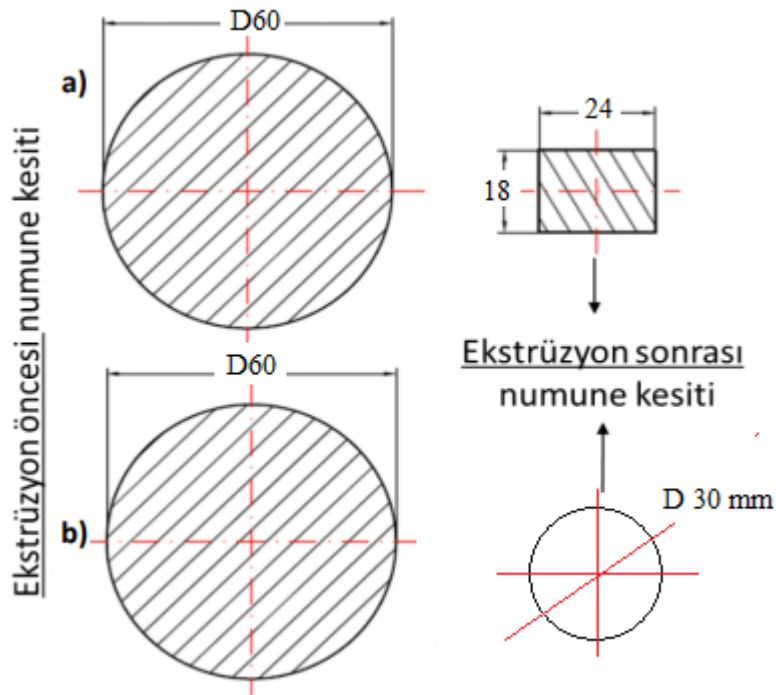
Ekstrüzyon işlemi neticesinde AA6061 matrisli B<sub>4</sub>C ve SiC takviyelendirilmiş ekstrüzyon ürünü elde edilmiştir. Pilot çalışmalarda 18x24 mm kesitine sahip numuneler üretilirken, işlenebilirlik deneyleri için tam çapı 30 mm olan dairesel kesitli numuneler elde edilmiştir.

Resim 3.5'te ekstrüze edilen numuneleri ve işlenebilirlik deneyinin numuneleri verilmiştir.



Resim 3.5. Ekstrüze edilen kompozit malzemeler (a) pilot çalışmalar, (b) işlenebilirlik deneyleri

Farklı kesit alanında üretilen kompozit malzemelerin ekstrüzyon öncesi ve ekstrüzyon sonrası kesit alanları şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası numune kesitleri, (a) pilot çalışmalarda kullanılan kesitler, (b) işlenebilirlik deneyleri için kullanılan kesitler

### 3.3.5. T6 ısıt işlemleri

Haddelenen kompozit levhaların dayanımlarını artırabilmek için AA6061 alaşımlarına en çok uygulanan ısıt işlemlerden biri olan T6 yaşlandırma ısıt işlemleri uygulanmıştır. Yaşlandırılabilir numunelere fırın içerisinde 10 °C/dakika ısıtma hızı kullanılarak 530 °C sıcaklığa çıkartılarak 1 saat süreyle çözündürme ve hemen ardından su verilerek hızlı soğutma yapılmıştır. Su verilerek soğutulan numuneler 10 °C/dakika ısıtma hızı ile 175 °C sıcaklığa getirilerek 8 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

## 3.4. Malzeme Karakterizasyonu

### 3.4.1. Yoğunluk ölçümü

Üretilen AA6061/B<sub>4</sub>C kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre 0,1 mg hassasiyetindeki Sartorius marka terazi kullanılarak yapılmıştır. Yoğunluk hesabı için kullanılan Arşimet prensibi Eşitlik 6.1’de verilmiştir [52]. Üretilen kompozit malzemelerin sinterleme öncesi, sinterleme sonrası, ekstrüzyon ve haddeleme sonrası olmak üzere ayrı ayrı yoğunluk değişimleri incelenmiştir.

$$\rho^* = \frac{m_{hava}}{m_{hava} - m_{su}} \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte;

$\rho^*$  = Malzemenin yoğunluğunu (g/cm<sup>3</sup>),

$m_{hava}$  = Malzemenin havadaki ağırlığını (g),

$m_{su}$  = Malzenin su içerisindeki ağırlığını (g) ifade etmektedir.

### 3.4.2. Mikro yapı analizleri

Üretilen kompozit levhalar mikro yapısal analizler için tel erezyon tezgâhında kesilmiştir. Kesilen numunelerin yüzeyleri sırası ile 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarda sulu dönen disk üzerinde zımparalanmıştır. Zımparalama sonrası keçe üstüne sıkılan 3 ve 1 µm’lik elmas süspansiyon (pasta) ile parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak numuneler keller (1ml HF + 200 ml H<sub>2</sub>O) çözeltisinde 15 saniye süre ile dağlama yapılarak optik inceleme için hazır hale getirilmiştir. Numunelerin optik incelemeleri Leica DM4000M optik mikroskopta yapılmıştır. Üretilen kompozit levhalarda



takviye malzemesi ( $B_4C$ ) ile ana malzeme (AA6061) arasındaki ara yüzey bağ uyumunu görebilmek için JEOL JSM 6060LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmış ve aynı cihazda EDS analizleri yapılmıştır.

### **3.4.3. Sertlik testi**

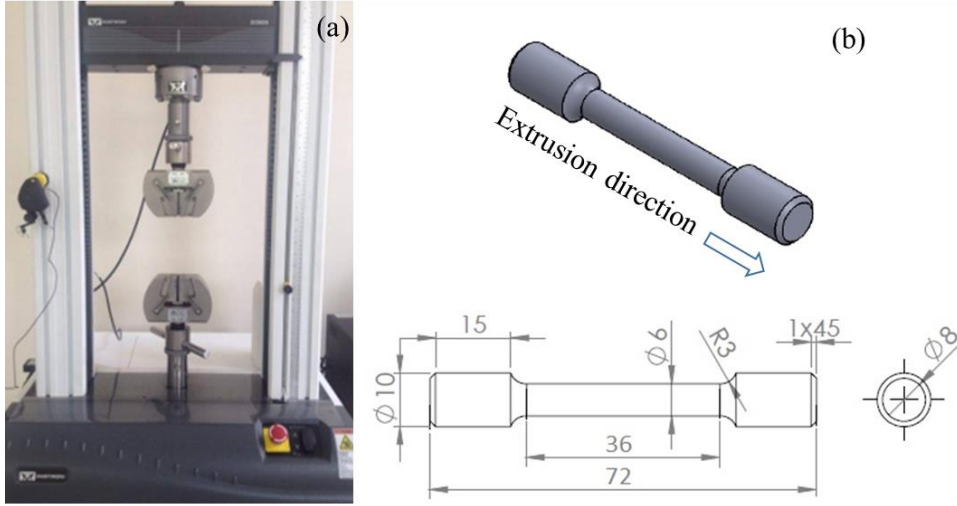
TM yöntemi ile üretilmiş ve T6 yaşlandırma işlemi uygulanan kompozit malzemelerin sertliklerini belirlemek için Brinell sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri EMCO TEST Duravision 200 marka sertlik ölçüm cihazında 2,5 mm bilye uç ve 31,25 kgf yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.4.4. Mekanik test numunelerin hazırlanması**

Pilot çalışmalarda sinterleme sonrası, ekstrüzyon sonrası ve büyük ebatlarda malzeme üretiminde haddeleme sonrası olmak üzere üretimin çeşitli aşamalarında mekanik test numuneleri hazırlanmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin içerisinde mekanik test için çekme ve çapraz kırılma testi için üçer adet numune alınmıştır. Çekme test numuneleri ASTM E8-m standartına göre hazırlanmıştır. Çapraz kırılma test numuneleri “Metal Powder Industries Federation Standart Test Methods For Metal Powders And Powder Metallurgy Products – “MPFI–41,1998” standartlarına göre hazırlanmıştır. Çapraz kırılma deneyleri için 31,7x12,7x6,35mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır.

### **3.4.5. Çekme testi**

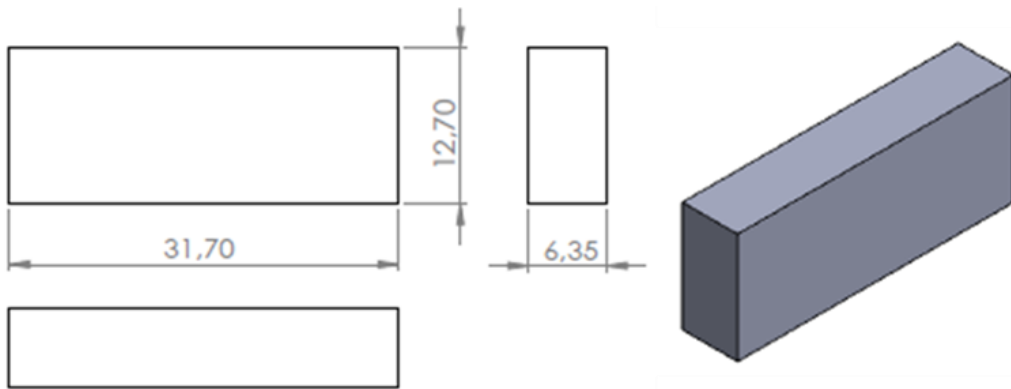
Şekil 3.3’te Metal Powder Industries Federation standartlarına göre hazırlanmış çekme test numune ölçüleri verilmiştir. Çekme testleri Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazında oda sıcaklığında 1 mm/dakika çekme hızında yapılmıştır. Gerilme ve % uzama değerleri deney sırasında çekme cihazına bağlı bilgisayardan grafik olarak elde edilmiştir.



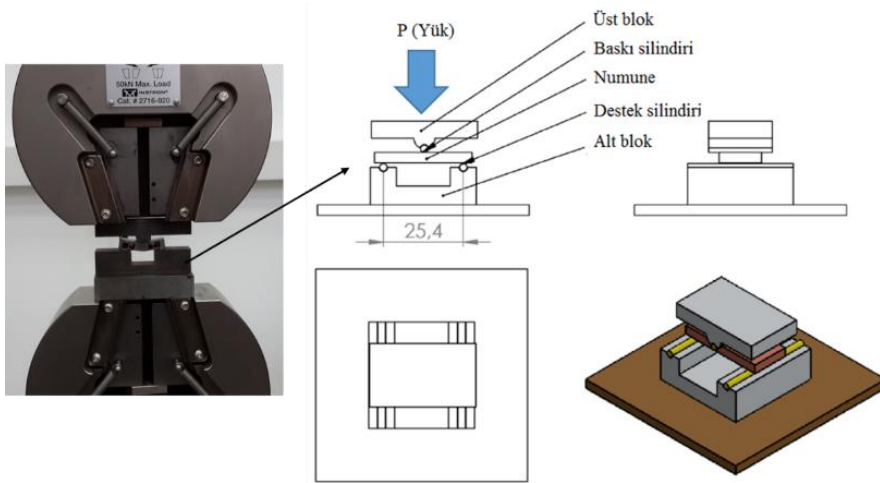
Şekil 3.3. (a) Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazı (b) Çekme deney numune boyutları

#### 3.4.6. Çapraz kırılma testi

Şekil 3.4’ te Metal Powder Industries Federation stardartlarına göre hazırlanmış çapraz kırılma numune boyutları verilmiştir. Yapılan çalışmada hazırlanan test numunelerinin çapraz kırılma deneyleri Instron 3369 model 50 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazında özel olarak hazırlanan çapraz kırılma aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5.). Bu deney grubu için 3’er adet numune kullanılmıştır. Eğme deneyleri oda sıcaklığında ve 1 mm/dakika hızda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Çapraz kırılma deney numune boyutları



Şekil 3.5. Çapraz kırılma testinin şematik olarak gösterimi

### 3.5. İşlenebilirlik deneyleri

Toz metalurjisi ile üretilen 60 mm çapındaki AA6061 matrisli (% 3 B<sub>4</sub>C), (% 6 B<sub>4</sub>C) ve (% 9 B<sub>4</sub>C) takviyeli kompozit malzemelerin çapı, işlenebilirlik deneyleri için, ekstrüzyonla 30 mm'e getirilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı CNC Laboratuvarı'nda bulunan JOHNFORD TC 35 marka Bilgisayar Sayısal Denetimli Torna Tezgâhı'nda yapılmıştır (Çizelge 3.4). Resim 3.6'da JOHNFORD TC 35 torna tezgahı ve deneyin yapılışı verilmiştir.

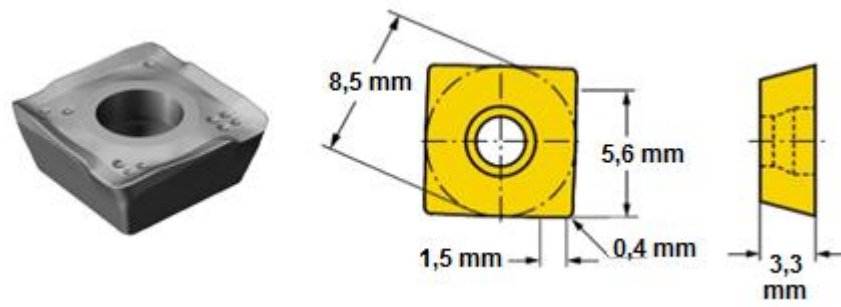


Resim 3.6. JOHNFOR TC 35 CNC torna tezgâhında deneyin yapılışı

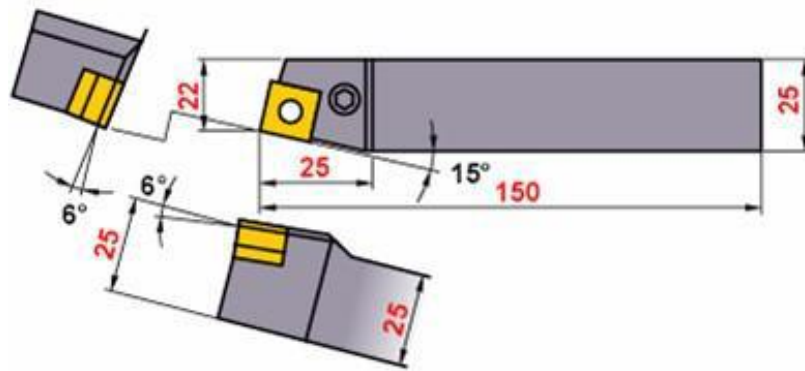
Çizelge 3.4. JohnFord TC35 CNC Torna Tezgahı'nın Teknik Özellikleri

| Tezgâh Özellikleri              | Birim Değerleri |
|---------------------------------|-----------------|
| X eksen                         | 250 mm          |
| Z eksen                         | 600 mm          |
| Tezgâh gücü                     | 10 kW           |
| Devir sayısı                    | 4000 rpm        |
| Hidrolik ayna çapı              | 250 mm          |
| Hassasiyet                      | 0,001 mm        |
| Taret, Takım Bağlama Kapasitesi | 12              |

Torna tezgâhına ve deneyin yapılacağı şartlara uygun olarak alüminyum ve alaşımlarını işlemeye uygun Sandvik Marka CCGX 120404-AL ISO kodlu takım ucu kullanılmıştır. Sandvik Coromant marka SCLCR 2525M 12 ISO kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Şekil 3.6.'da kesici takım ve Şekil 3.7.'de takım tutucu gösterilmiştir.



Şekil 3.6. İşlenebilirlik testlerinde kullanılan kesici takım



Şekil 3.7. Sandvik Coromant marka takım tutucu

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri aşağıdaki Çizelge 3.5'te verilmiştir. Kistler 9257 B tipi dinamometre ile ölçülen kesme kuvvetleri Kistler DynoWare yazılımı aracılığıyla grafiğe dönüştürülmüştür. Cihazın teknik özellikler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

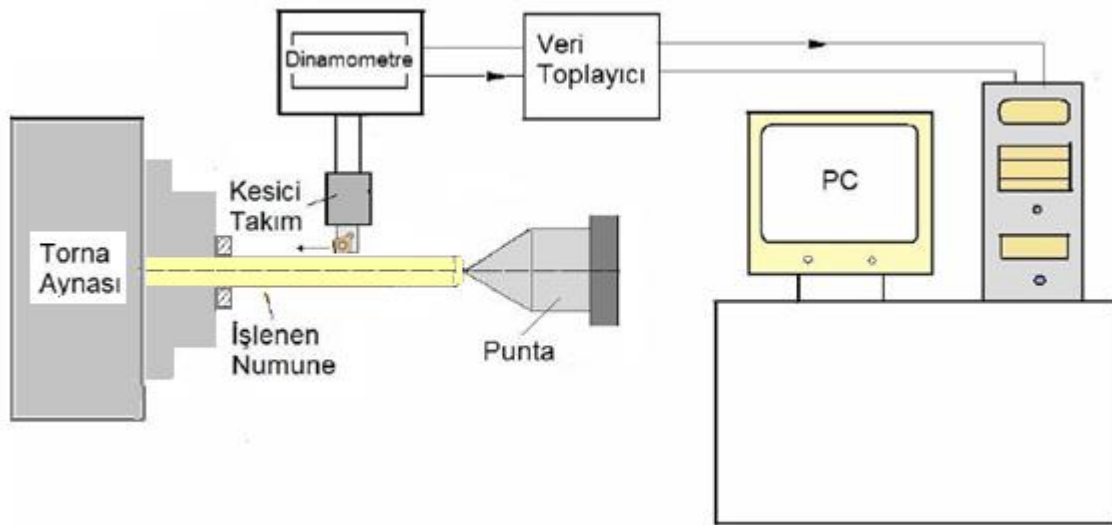
Çizelge 3.5. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri

| Kesme Hızı (V) m/min  | İlerleme Miktarı (f) mm/dev | Kesme Derinliği (a), mm |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 200 – 224 - 230 - 250 | 0,15 - 0,1875 – 0,27        | 1                       |

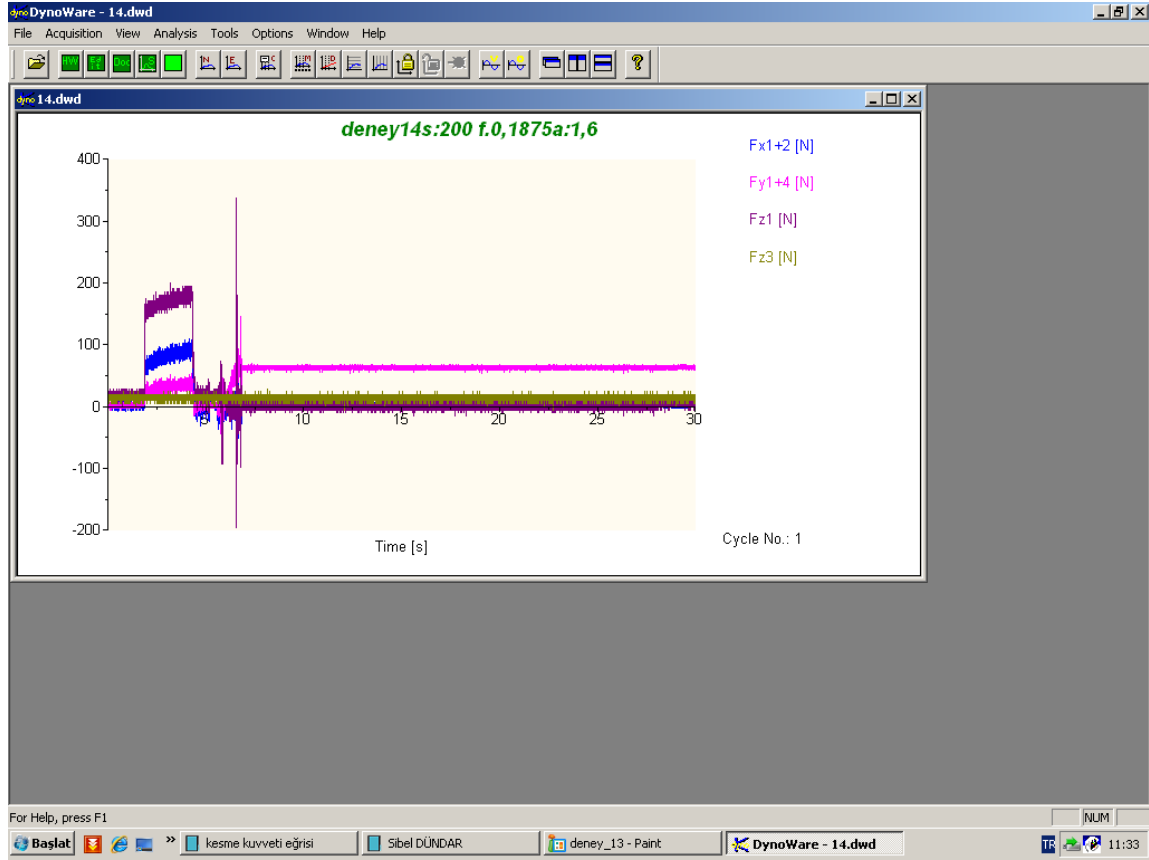
Çizelge 3.6. Kesme Kuvveti (Kistler 9257 B ) Ölçme Cihazının Özellikleri

| Kistler 9257 B Dinamometrenin Teknik Özellikleri |                                  |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| Kuvvet aralığı (Fx, Fy, Fz)                      | -5...10                          |
| Tepki verme                                      | (N) 0,01                         |
| Hassasiyet                                       | Fx, Fy -7,5                      |
| Hassasiyet                                       | Fz -3,5                          |
| Doğrusallık                                      | %1 FSO                           |
| Histerezis                                       | %0,5 FSO                         |
| Doğal frekans                                    | f <sub>0</sub> (x,y,z) 3,5 (kHz) |
| Çalışma sıcaklığı                                | (0°...70 °C)                     |
| Kapasitans                                       | 220 (pF)                         |
| 20 °C' deki yalıtım direnci                      | 10 <sup>13</sup> (Ω)             |
| Topraklama sınıfı                                | 108 (Ω)                          |
| Koruma sınıfı                                    | IP 67                            |

Kesme kuvvetlerinin ölçümü Şekil 3.8'da şematik olarak gösterilmiş olup alınan örnek grafiklerden biri Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8. Kesme kuvvetleri ölçme deney şeması [53]



Şekil 3.9. Kesme kuvvetlerinin ölçümünde Dynoware yazılımından alınmış örnek grafik

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği'nde bulunan Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.7.'de verilmiştir. İşlenen her bölgeden üçer adet ölçüm alınmış ve bunların aritmetik ortalamasıyla yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.7. Mahr Perthometer-M1 ölçüm cihazı teknik özellikleri

|                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| Model                               | M1                     |
| Tarama hızı                         | 0,5 m/sn               |
| Tarama kuvveti                      | 0,75 mN                |
| İğne uç yarı çapı                   | 2 $\mu$ m              |
| Ölçüm aralıkları                    | 100 -150 $\mu$ m       |
| Profil çözünürlüğü                  | 12 mm                  |
| Filtre                              | Gausion                |
| Örnekleme uzunluğu (Cut-off length) | 0,25 - 0,8 - 2,5 (mm)  |
| Ölçme uzunluğu (L)                  | 1,75 - 5,6 – 17,5 (mm) |
| Ölçülen parametreler                | Ra, Rz, Rmax           |

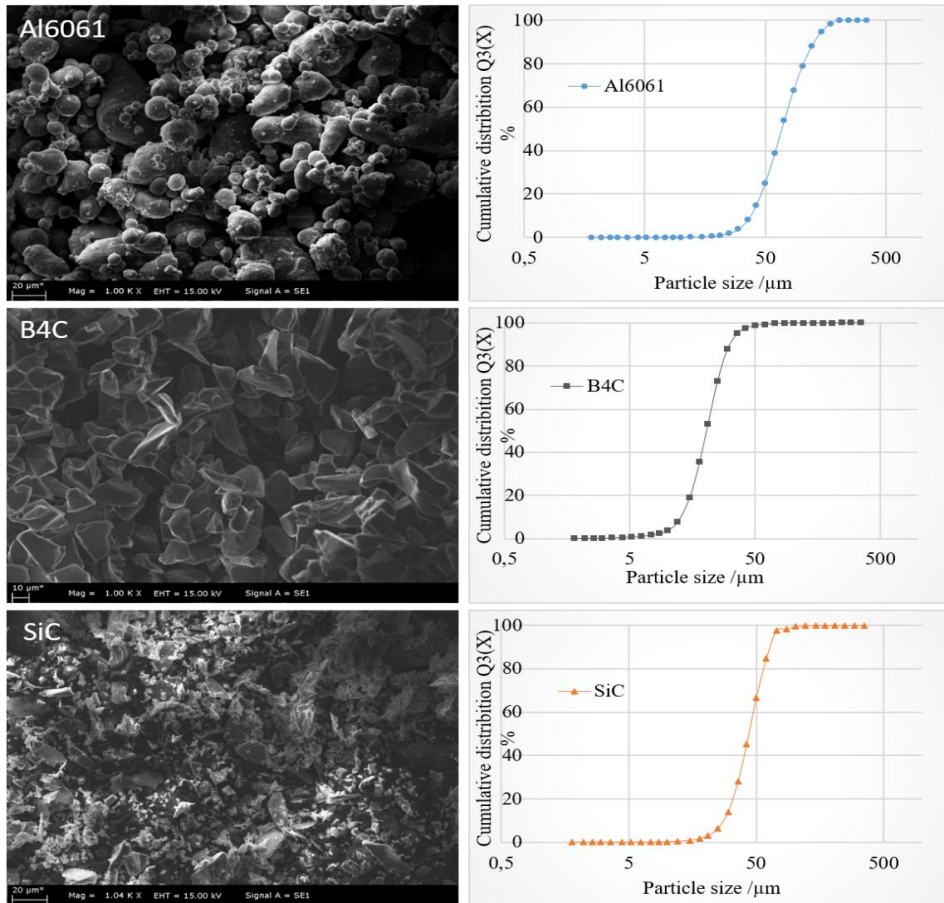




## 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Kullanılan Tozların Karakterizasyonu

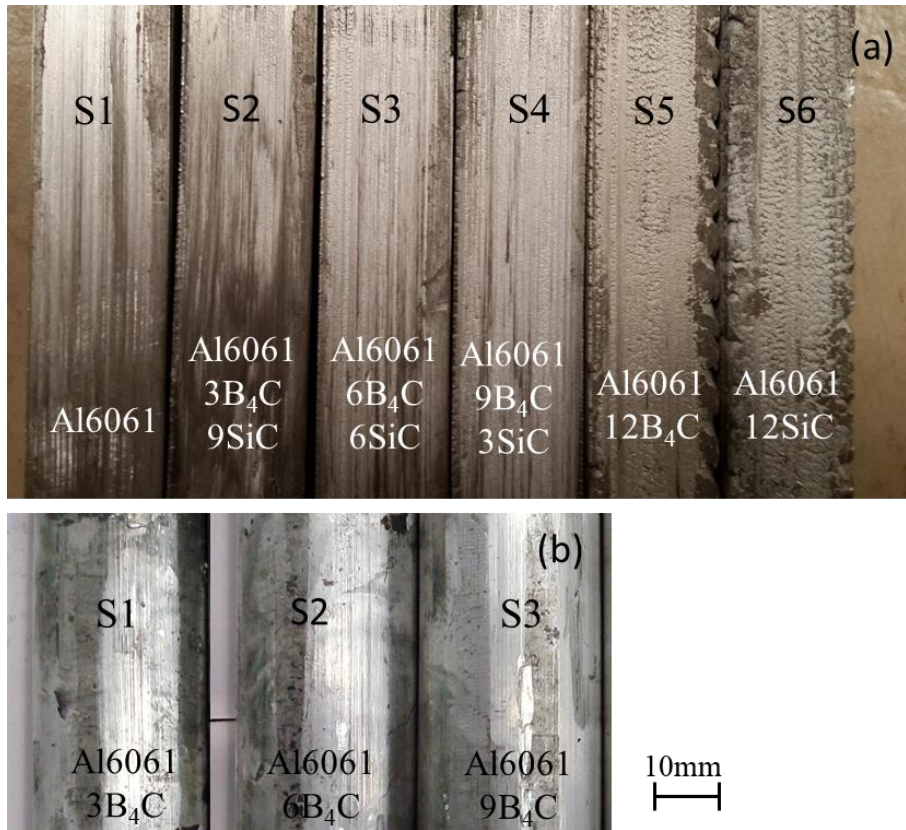
Bu çalışmada kullanılan AA6061 matris alaşım tozları,  $B_4C$  ve SiC seramik takviye elemanı olan tozların SEM görüntüleri ve parçacık ölçüm analizleri yapılmıştır. SEM görüntülerini incelediğimizde AA6061 tozunun küresel şekilli ve düzensiz olduğu görülürken  $B_4C$  tozunun ise karmaşık şekilli ve köşeli olduğu görülmüştür. Tozların SEM resimleri ve toz boyut dağılımı Şekil 4.1’de verilmiştir. Tozların parçacık boyutları dağılımına baktığımızda AA6061 alaşım tozlarının 10 ile 100  $\mu m$  mikrometre arasında olduğu tespit edilmiştir.  $B_4C$  seramik tozlarının 1 ile 10  $\mu m$  arasında dağıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. (a) AA 6061,  $B_4C$  ve SiC tozlarının SEM görüntüleri (b) Toz boyut dağılım grafikleri

#### 4.2. Ekstrüzyon İşleminin Yüzey Kalitesine Etkisi

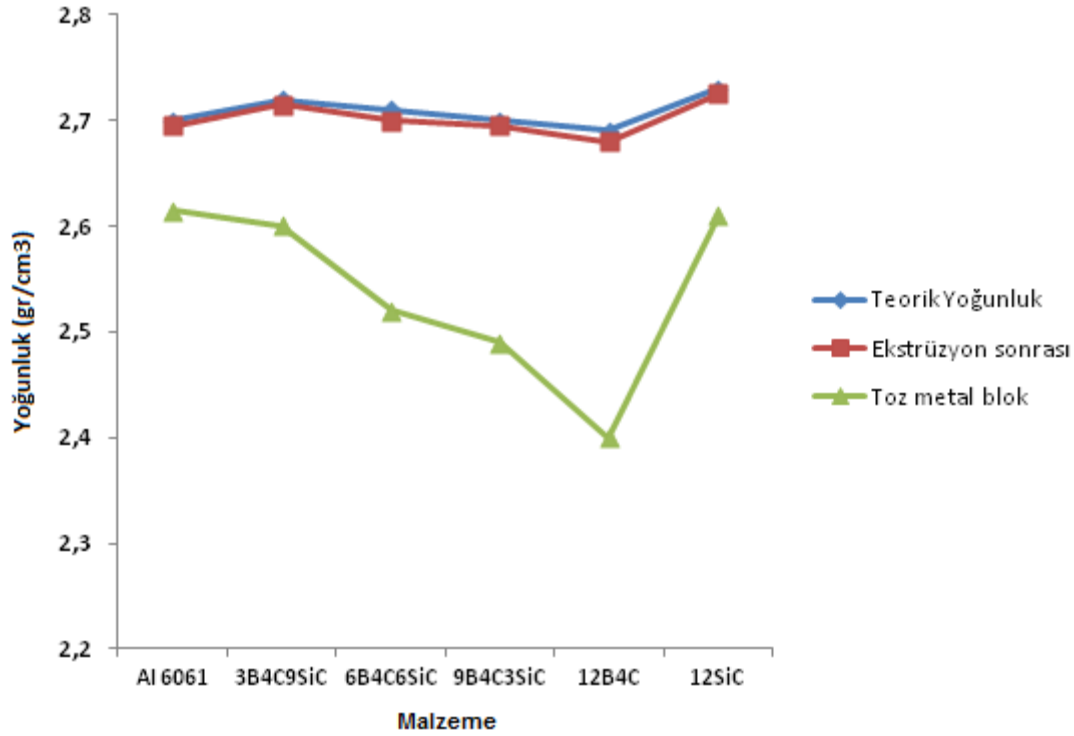
Resim 4.1’de pilot çalışmalar için ekstrüze edilmiş numunelere (kesit:  $24 \times 18 \text{ mm}^2$ ) ait makro yapı fotoğrafları verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında AA6061 matris yapı içerisinde seramik parçacık eklenmesi ile beraber malzemenin yüzeyinde makro çatlaklar oluşmaya başlamaktadır. AA6061 alaşımın yüzey pürüzlülüğü diğerlerine göre oldukça iyidir. (% 3  $\text{B}_4\text{C}$  / % 9  $\text{SiC}$ ), (% 6  $\text{B}_4\text{C}$  / % 6  $\text{SiC}$ ), (% 9  $\text{B}_4\text{C}$  / % 3  $\text{SiC}$ ), kompozit malzemelerinde yüzey pürüzlülüğü (% 12  $\text{B}_4\text{C}$ ) ve (% 12  $\text{SiC}$ ) parçacık takviyeli kompozit malzemeye göre iyi olmasına rağmen malzemenin yüzeyinde makro çatlak başlangıçları oluşturmaktadır. (% 12  $\text{B}_4\text{C}$ ) ve (% 12  $\text{SiC}$ ) kompozitlerde ise malzeme yüzeyinde gözle görülebilir çatlaklar oluşmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemelerde işlenebilirlik deneylerini yapmak için seramik parçacık takviyesi % 12’nin altında tutulmuştur. İşlenebilirlik deneyleri için maksimum % 9 seramik parçacık takviyesi seçilmiştir.



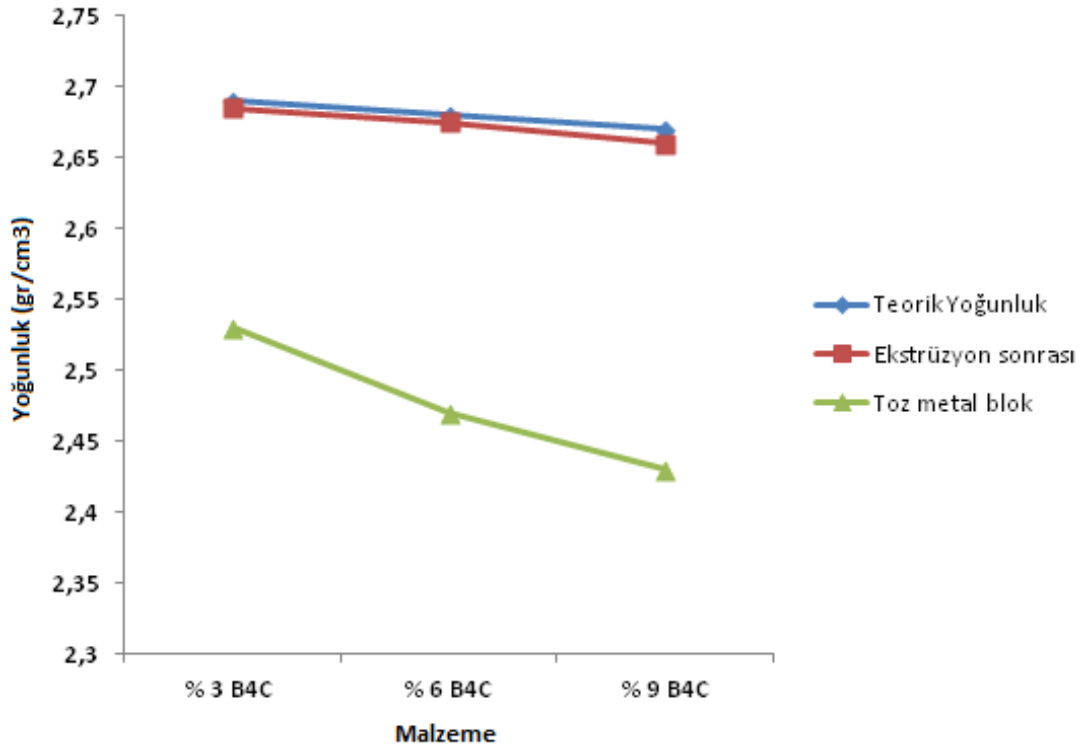
Resim 4.1. Ekstrüzyon sonrası elde edilen kompozitlerin makro görüntüsü (a) pilot çalışmalar, (b) işlenebilirlik deney numuneleri

### 4.3. Yoğunluk Değişimi ve Gözeneklilik Oranı

Üretilen kompozit malzemelerin takviye oranlarına göre teorik ve deneysel yoğunluk ilişkileri Şekil 4.2 'de verilmiştir. Şekil 4.3'e baktığımızda soğuk preslenmiş toz metal blokların hepsinde ortalama yoğunlukların % 89'un üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Soğuk preslenen numunelerde en yüksek yoğunluk AA6061 alaşımında (% 91,03), en düşük yoğunluk ise % 12 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerde (% 89,55) olduğu anlaşılmıştır. AA 6061 ile % 12 SiC yoğunlukları yaklaşık olarak birbirine yakın iken B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber yoğunluklarda düşüş meydana gelmiştir. Ekstrüzyon yapılan numunelerin hepsinde ortalama yoğunluklar % 99'un üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kompozitlerin ekstrüzyon esnasında yüksek plastik deformasyon olmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek yoğunluk AA6061 alaşımında (% 99,74) olduğu gözlemlenmiştir. En düşük yoğunluk ise % 12 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemede (% 99,02) görülmüştür.



Şekil 4.2. Pilot çalışmalarda üretilen kompozitlerin yoğunluk değişimleri

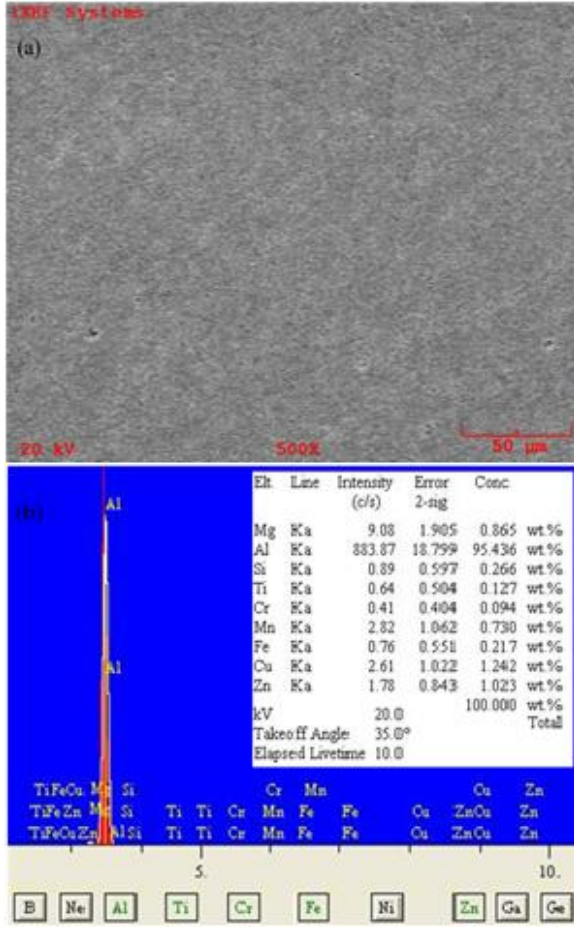


Şekil 4.3. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin yoğunluk değişimleri

#### 4.4. Mikroyapı Karakterizasyonu

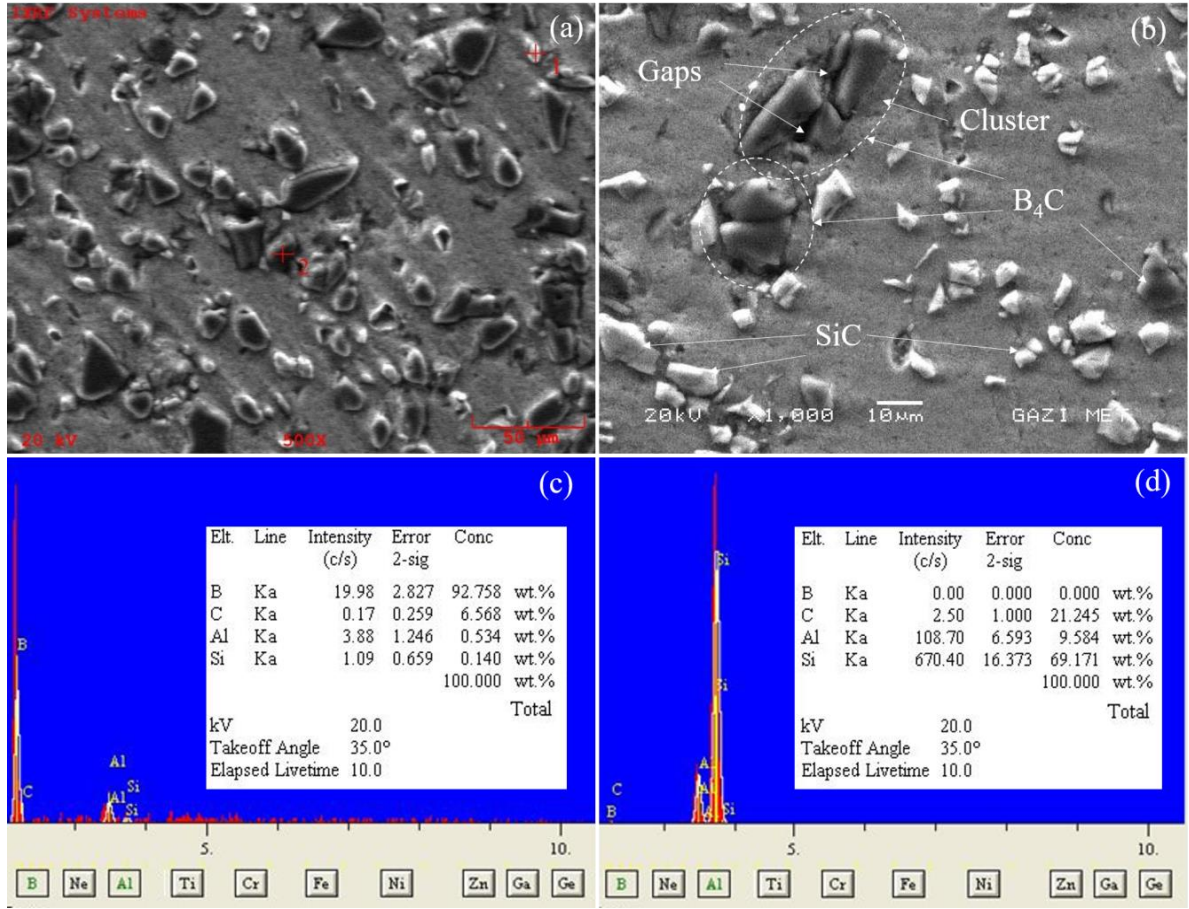
##### 4.4.1. Optik mikroskop analizleri

Optik mikroskop görüntülerinde matris içinde yer alan parçacıkları doğru tanımlamak için takviyesiz olan AA6061 malzemesinin ve 6 B<sub>4</sub>C 6 SiC takviyeli kompozit malzemesinin SEM görüntüsü ile EDS analizleri yapılmıştır. AA6061 malzemesinin SEM görüntüsü baktığımızda yapı içerisinde yok denecek kadar az porozite olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Ayrıca yapılan elementel analiz ile yapı içerisindeki alaşım bileşimleri oranları da hesaplanmıştır. Şekil 4.5'te 6 B<sub>4</sub>C 6 SiC kompozit malzemeden alınan SEM görüntüsü ve EDS sonuçları verilmiştir. EDS analizine baktığımızda 1. bölgeden alınan pikte silisyum ve karbon oranının yüksek olması açık gri renkte olan parçacıkların SiC olduğunu söylemektedir. Koyu gri renkli olan 2. bölgelerin bor piki vermesi ile bu parçacıkların B<sub>4</sub>C olduğu anlaşılmıştır. Şekil 4.5-b'deki SEM görüntüsünü incelediğimizde B<sub>4</sub>C parçacıklarının etrafında boşlukların olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum B<sub>4</sub>C parçacıkları ile matris fazı arasındaki ıslatılabilirliğin zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Islatılabilirliği zayıf olan malzemelerin ara yüzey bağ kuvveti de azalmaktadır [54].



Şekil 4.4. (a) SEM görüntüsü (b) AA6061'in ekstrüzyon sonrası EDS analizi

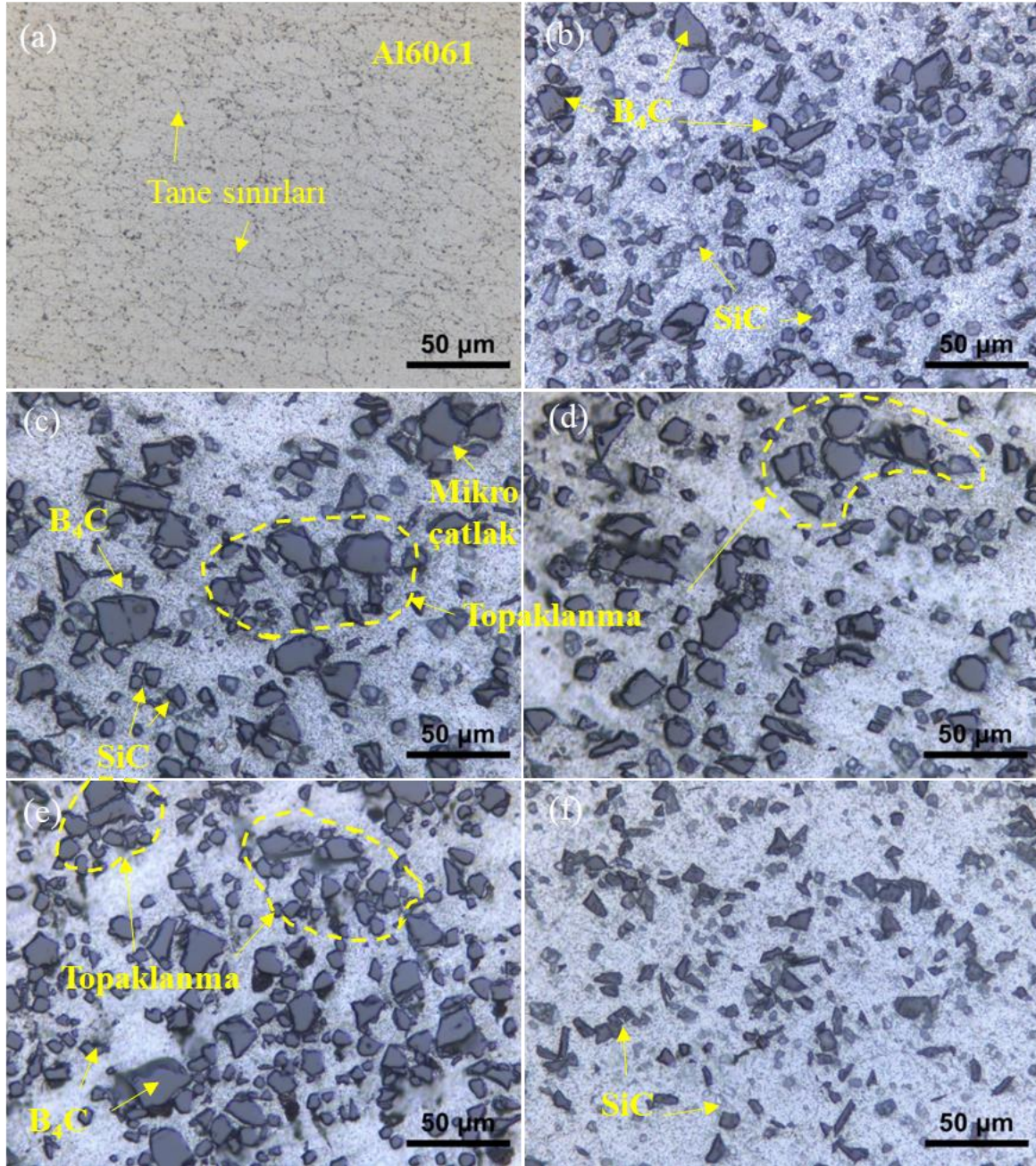




Şekil 4.5. (a) ve (b) 6 B<sub>4</sub>C / 6 SiC kompozit malzemenin SEM görüntüsü (c) 1. bölgeden alınan EDS analizi (d) 2. bölgeden alınan EDS analizi

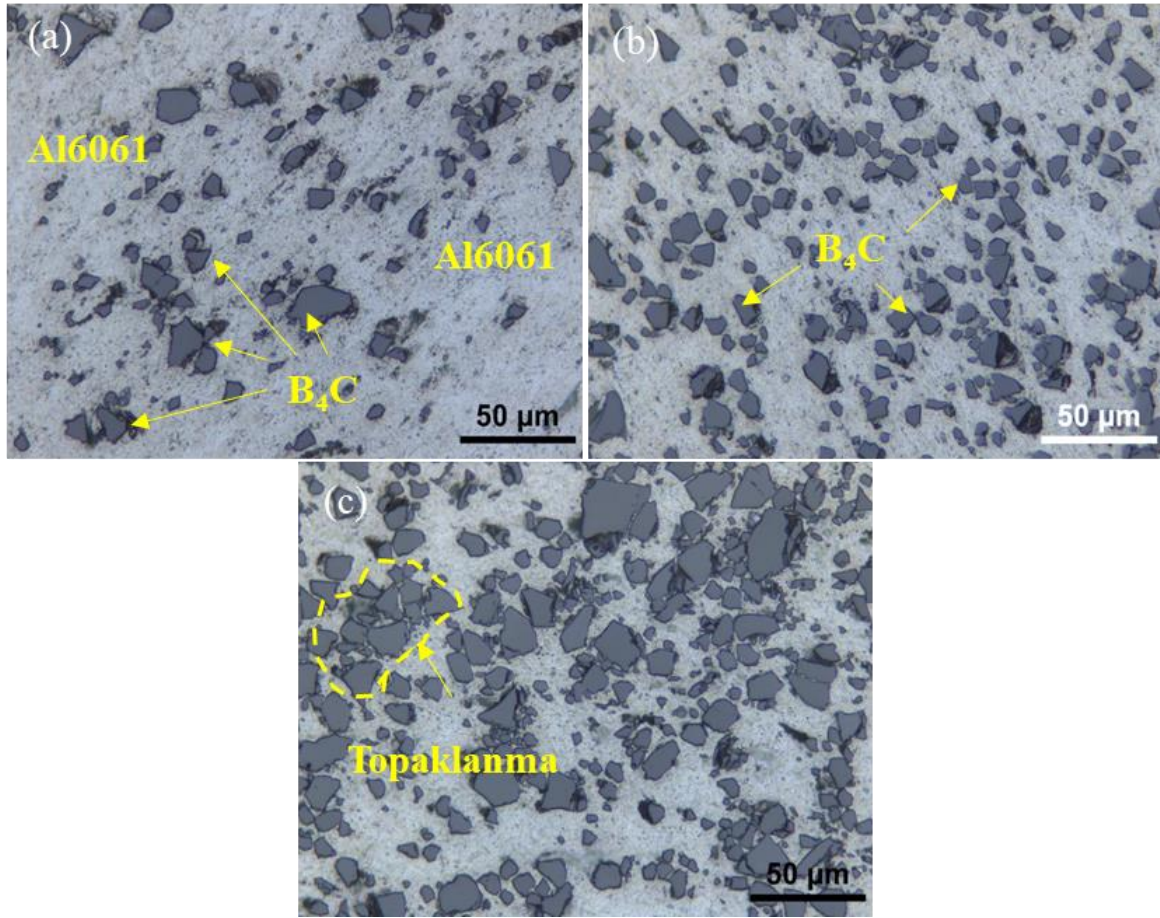
Kompozit malzemelerin ekstrüzyon yönüne dik olarak mikro yapı resimleri Resim 4.2’de verilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozit malzemelerin alınan optik mikroskop görüntüleri Resim 4.3’te verilmiştir. AA6061 mikro yapısını incelediğimizde mikro yapı içerisinde herhangi bir gözeneğe rastlanmamıştır (Resim 4.2-a). Bu durum ekstrüzyon işlemi esnasında plastik deformasyon ile beraber malzemenin yüksek yoğunluklara çıkmasından kaynaklanmaktadır. Mikro yapıda az belirgin halde 50 µm den küçük tanelere rastlanmıştır. B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozitlerin mikro yapısına baktığımızda 3B<sub>4</sub>C/9SiC kompozitlerde genel olarak B<sub>4</sub>C/SiC parçacıklarının matris içerisinde homojen dağıldığı tespit edilmiştir. 6B<sub>4</sub>C/6SiC ve 9B<sub>4</sub>C/3SiC kompozitlerde B<sub>4</sub>C miktarının artması ile beraber topaklanmanın da (aglomerasyon) arttığı gözlemlenmiştir. % 12 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerde topaklanmalar diğer kompozitlere göre fazlalaşırken mikro yapı içerisinde çok az oranlarda mikro gözenek oluşmuştur. Ekstrüzyon işlemi esnasında parçacıkların birbirine sürtünmesi ile beraber bazı parçacıklarda mikro çatlakların oluştuğu

gözlemlenmiştir. % 12 SiC takviyeli kompozitlerde SiC parçacıklarının matris yapı içerisinde homojen dağılım sergilediği anlaşılmıştır.



Resim 4.2. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin optik mikroskop görüntüleri  
 (a) AA6061 (b) % 3  $B_4C_9SiC$  (c) % 6  $B_4C_6SiC$  (d) % 9  $B_4C_3SiC$  (e) % 12  $B_4C$   
 (f) % 12 SiC takviyeli





Resim 4.3. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin optik mikroskop resimleri  
(a) % 3 B<sub>4</sub>C, (b) % 6 B<sub>4</sub>C, (c) % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli

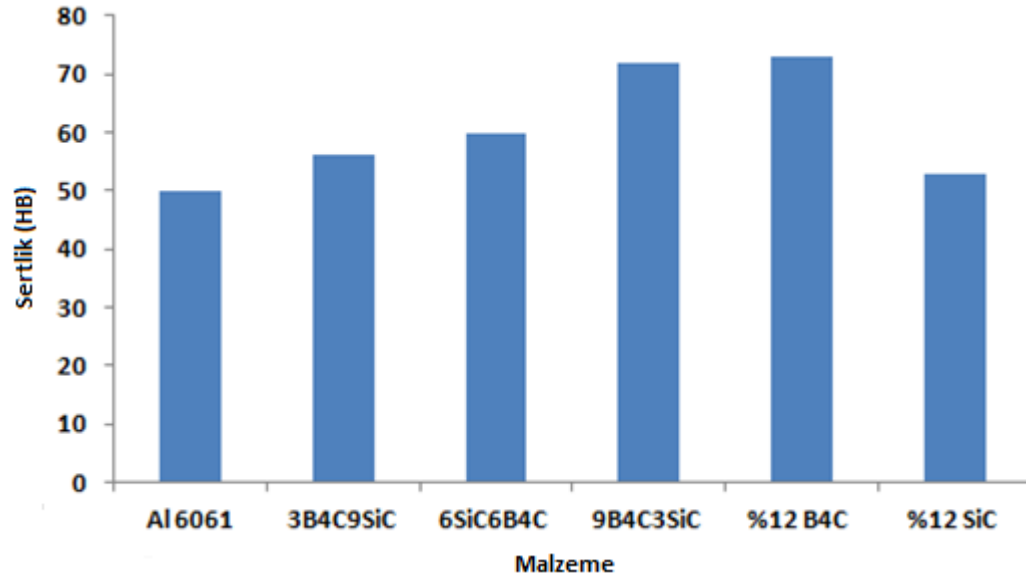
Üretilen kompozit malzemelerin sertliği, çapraz kırılma dayanımı ve çekme dayanımı aşağıda verilmiştir. Kompozitlerin sertlik değerlerine baktığımızda takviyeli olan kompozitler takviyesi olan AA6061 alaşımına göre daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Ortalama sertlik değeri AA6061 alaşımında 50 HB olarak hesaplanmıştır. En yüksek sertlik değeri % 12 B<sub>4</sub>C kompozitte (76 HB) bulunmuştur. Genellikle Al matrisli kompozit malzemelerde B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber sertlik değerlerinin de arttığı bilinmektedir [55]. % 12 SiC kompozitlerde ortalama sertlik değeri 54 HB olarak hesaplanmıştır. B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli kompozitlerde sertlik oranı B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber artmıştır. Çapraz kırılma dayanımlarına baktığımızda en yüksek çapraz kırılma dayanımı (TRS Transfer Rupture Strength) % 12 SiC takviyeli kompozitlerde 402,5 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.8). Şekil 4.2'deki yoğunluk grafiğinde en yüksek değerin % 12 SiC takviyeli kompoziti olmasından dolayı çapraz kırılma dayanımı da yüksek ölçülmüştür. En düşük çapraz kırılma dayanımı ise sertliği en yüksek olan % 12 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitte 358 MPa olarak bulunmuştur. B<sub>4</sub>C ve SiC kompozitlerde B<sub>4</sub>C



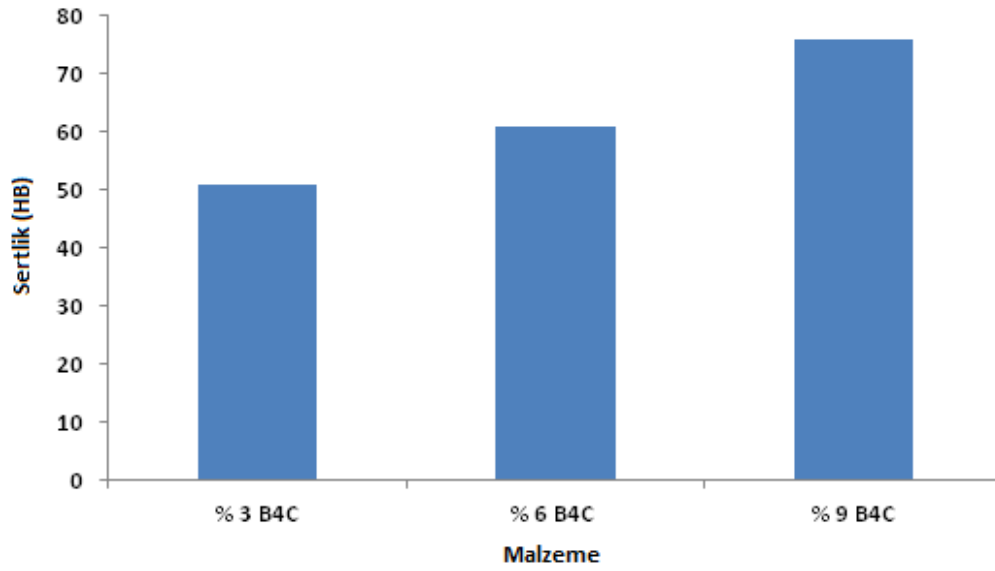
oranının artması ile beraber çapraz kırılma dayanımları da düşüş sergilemiştir. Çapraz kırılma dayanımları sırası ile  $3B_4C_9SiC$ ,  $6B_4C_6SiC$ , ve  $9B_4C_3SiC$  kompozitlerde 378, 367 ve 362 MPa olarak hesaplanmıştır. Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde parçacıkların matris yapı içerisindeki dağılımları mekanik özellikleri belirleyen unsurdur [56]. Optik mikroskop resimlerinde  $B_4C$  takviyelerinin matris yapı içerisinde topaklandığı görülmektedir. Ayrıca karma kompozitlerde de  $B_4C$  miktarının artması ile beraber topaklanmaların arttığı görülmüştür. Bu durumun çapraz kırılma dayanımında da etkili olduğu düşünülmektedir. Topaklanan kompozit malzemelerde çapraz kırılma dayanımının etkin olduğu Şekil 4.8’de açıkça görülmektedir. Aynı ortamda çekme test yapılan kompozit malzemelerin çekme dayanımları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiştir. En düşük çekme dayanımları AA6061 malzemesinde 174 MPa olurken en yüksek çekme dayanımı % 12 SiC takviyeli kompozitte 185,1 MPa olarak bulunmuştur.  $B_4C/SiC$  kompozitlerde  $B_4C$  takviye miktarına göre çekme dayanımlarının da azaldığı görülmüştür. Çapraz kırılma dayanımlarında olduğu gibi matris yapı içerisindeki topaklanma çekme dayanımı da etkilemiştir. Topaklanma ile beraber çekme dayanımları da düşüş sergilemiştir.

Dinesh Patidar yapmış olduğu çalışmada ağırlıkça  $B_4C$  oranının % 6’nın üzerinde olduğunda parçacıkların topaklandığını dolayısı ile kompozit malzemenin dayanım ve sünekliğinin azalmasına neden olduğunu söylemektedir [57].

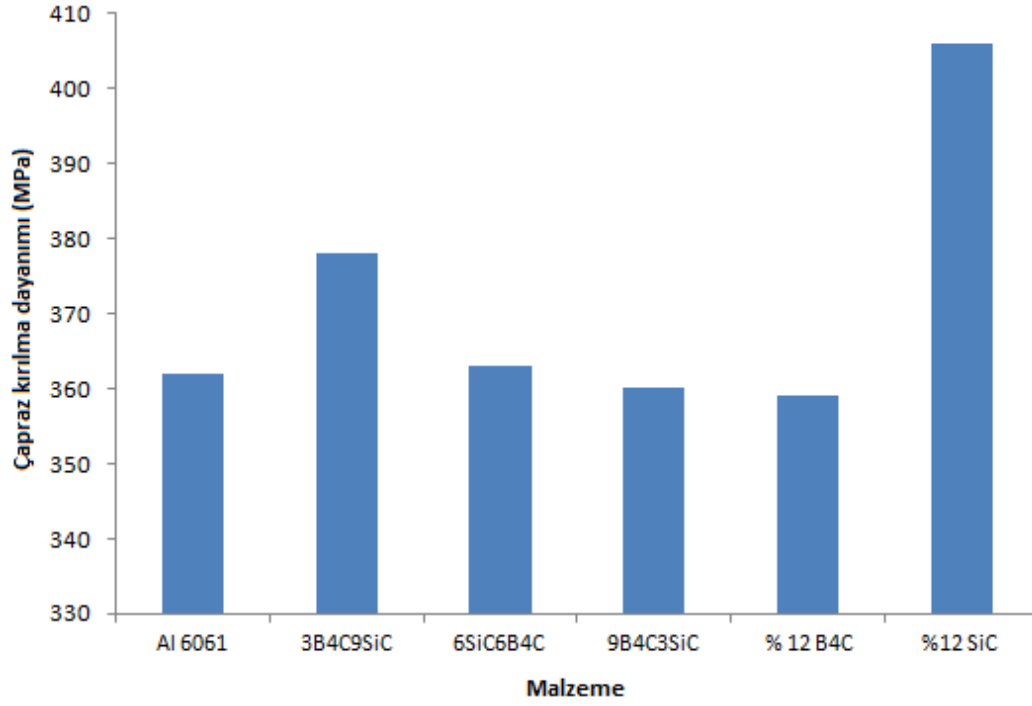
Başka bir çalışmada A. Canakci & F. Arslan, yapmış oldukları mikroyapısal incelemede, Al2024 matrisinde daha büyük  $B_4C$  parçacıkların (71  $\mu m$ ) genel olarak homojen olduğunu, daha küçük parçacıkların (29  $\mu m$ ) ise gözenekliliklerle aglomerasyona ve segregasyona neden olduğunu tespit etmişlerdir [58].



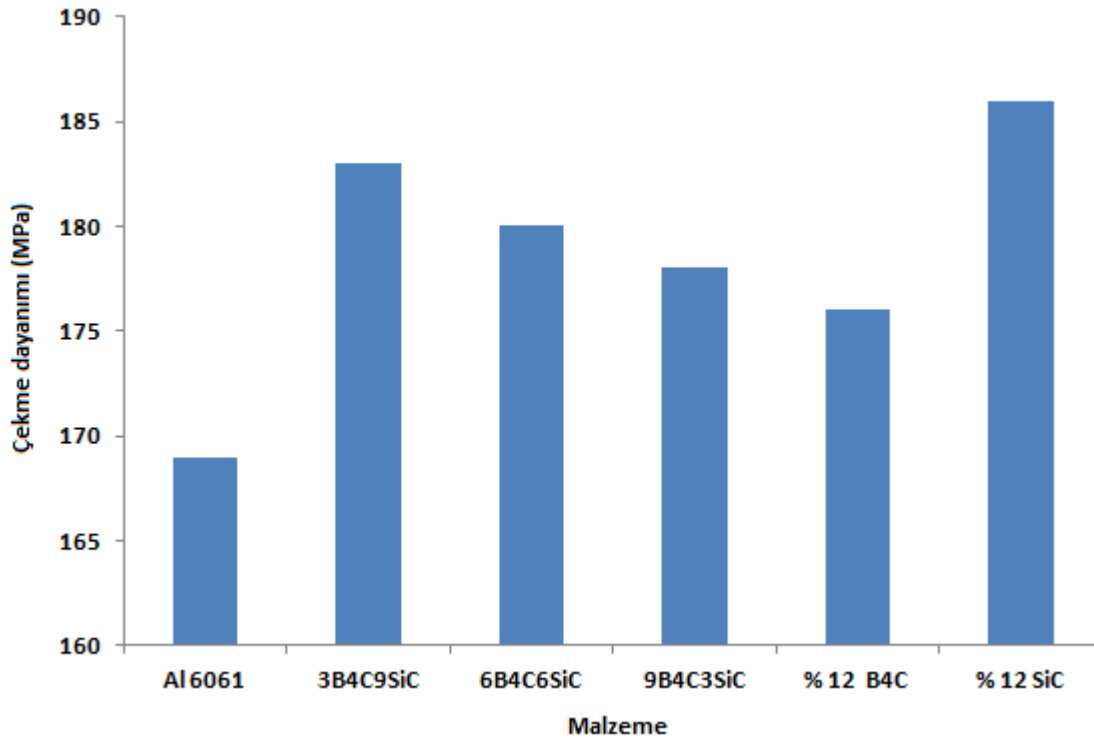
Şekil 4.6. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin sertlik değişimi



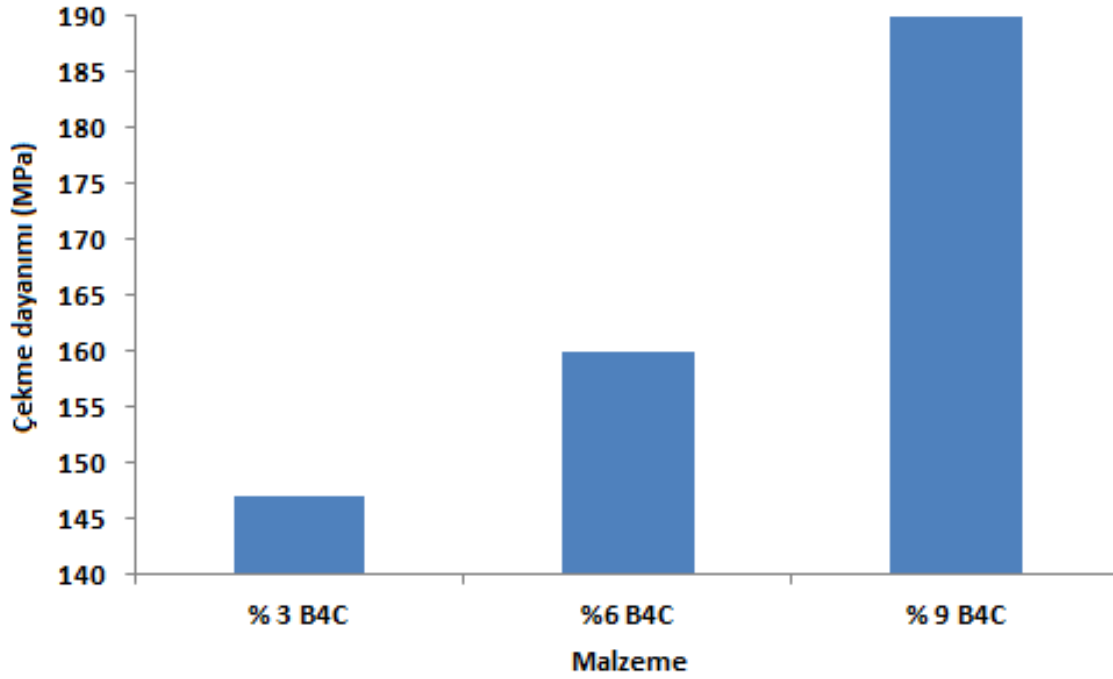
Şekil 4.7. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin sertlik değişimi



Şekil 4.8. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin çapraz kırılma dayanımları değerleri



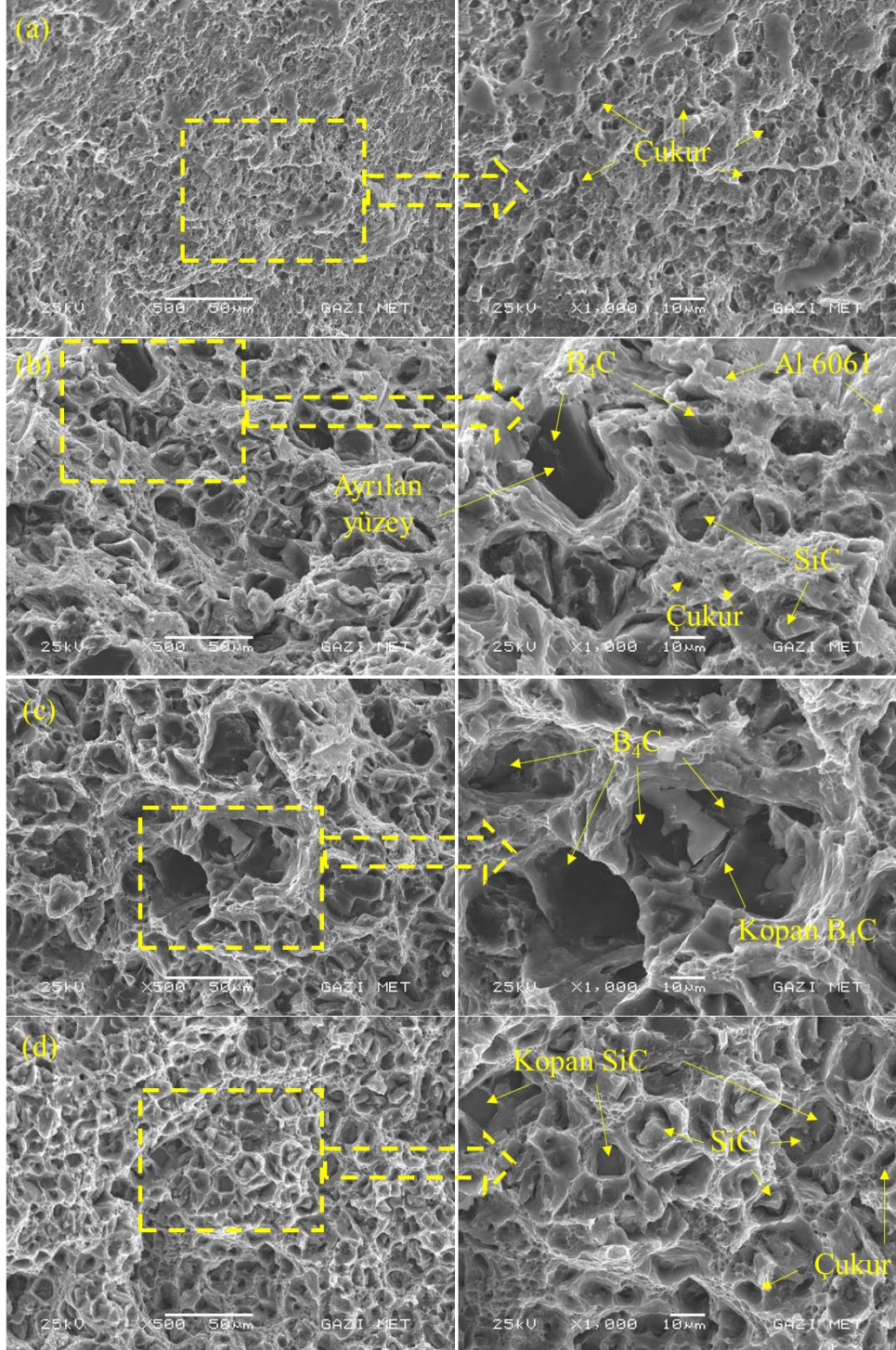
Şekil 4.9. Pilot çalışmalarda üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımları değerleri



Şekil 4.10. İşlenebilirlik deneyleri için üretilen kompozitlerin çekme dayanım değerleri

Ağırlıkça % 12 oranında seramik parçacıklar içeren AA6061 kompozit malzemelerinden 3'er adet çekme testi yapılmıştır. Çekme testi sonrası kopma davranışlarını ve matris ile takviye arasındaki ara yüzey bağıni karakterize edebilmek için kırık yüzey analizi yapılmıştır. Kırık yüzeylerin yapısını incelemek için kopan yüzeylerin tam kesitinden numuneler kesilerek SEM cihazına konulmuştur. Takviyesiz AA6061, % 6 B<sub>4</sub>C % 6 SiC, % 12 B<sub>4</sub>C ve % 12 SiC kompozit malzemelerin kopan yüzeylerinden farklı büyütme oranlarında SEM resimleri alınmıştır (Resim 4.4). Kompozit malzemelerin üretiminde tercih edilen aşırı sünek AA6061 matrisinden dolayı kopan malzemelerin tüm yüzeylerinde deformasyondan kaynaklı mikro gözenekler oluşmuştur. Takviyesiz olan AA6061 malzemesinin takviyeli olan kompozitlere göre daha sünek olmasından dolayı kopan yüzeyde daha fazla mikro boşluk (dimples) oluşmuştur. Parçacık takviyeli kompozitleri birbiri ile kıyasladığımızda B<sub>4</sub>C oranının artması ile beraber kopan yüzeylerde mikro boşluk oluşumu azalmıştır. Bu durum B<sub>4</sub>C oranının kompozitlerde gevrekliği artırmasının kaynaklanmaktadır. % 12 B<sub>4</sub>C ve % 12SiC takviyeli kompozitin kopan yüzeyini kıyasladığımızda 12SiC'ün daha fazla mikro boşluk oluşturduğu gözlemlenmiştir. Dolayısı ile çekme testinde daha sünek olan % 12 SiC takviyeli kompozit malzemesi daha üstün dayanım sergilemiştir. Kırık yüzeylerde B<sub>4</sub>C parçacıklarının matristen ayrıldığı görülmüştür. B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerde B<sub>4</sub>C parçacıkları ile matris fazı arasındaki arayüzey bağ uyumunun zayıf olmasından dolayı başka bir ifade ile yetersiz

ıslatmadan dolayı kopma anında  $B_4C$  parçacıkları matristen kolayca ayrılarak (debonded particles) kopan yüzeylerin her iki tarafında kalmıştır. SiC takviyeli kompozitlerde ise arayüzey bağ uyumunun iyi olmasından dolayı çekme anında SiC parçacıkları koparak matris fazda gömülü kaldığı görülmüştür.



Resim 4.4. Çekme testi sonrası kırık yüzey analizi SEM görüntüleri (a) AA6061 b) % 6  $B_4C$ 6SiC (c) % 12  $B_4C$  (d) % 12 SiC takviyeli

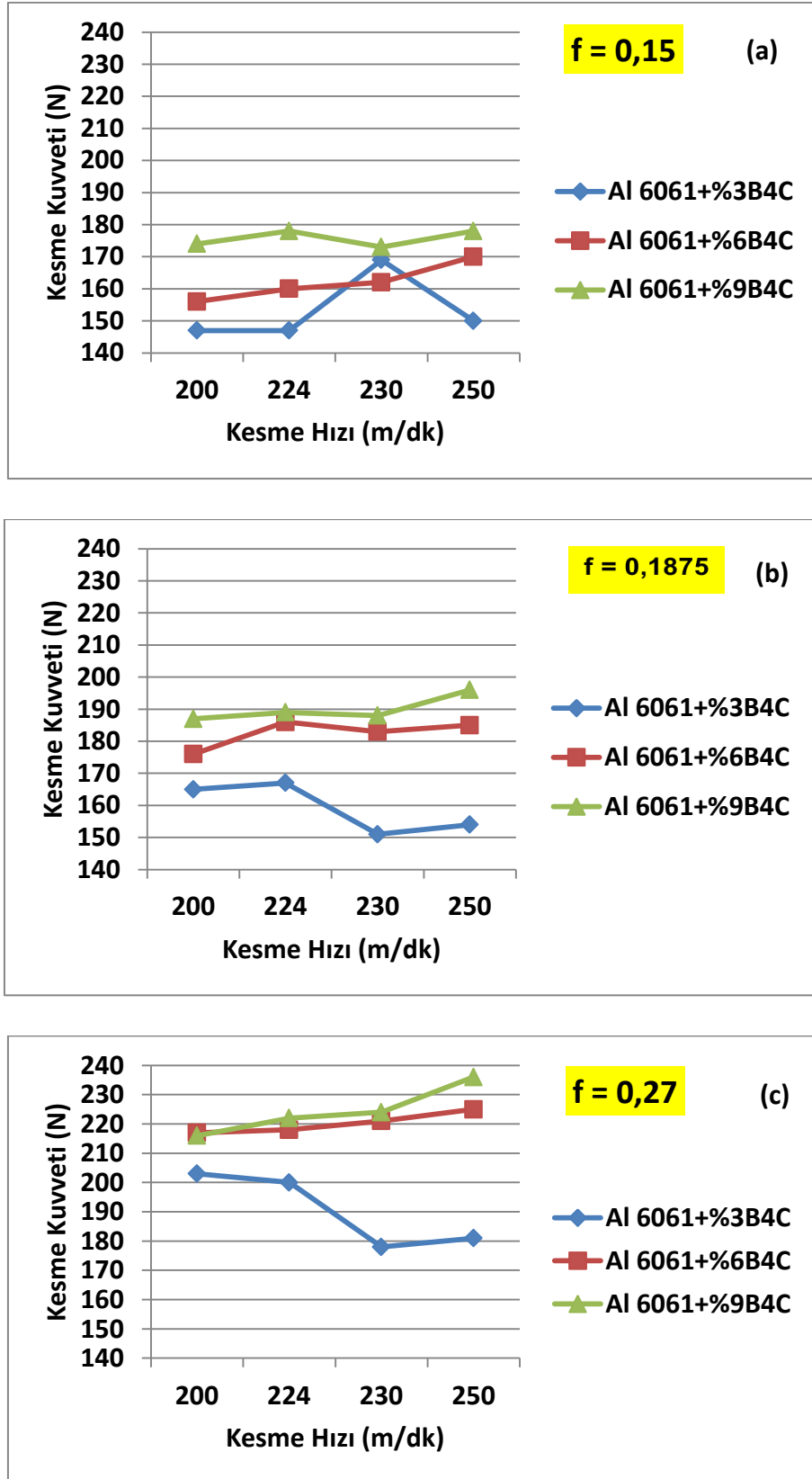
#### 4.4.2. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen bulguların değerlendirilmesi

TM ile üretilen AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirlik deneyleri tornalama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deney sonuçları asıl kesme kuvveti (Fc) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları Çizelge 4.1’de tablo halinde özetlenmiştir.

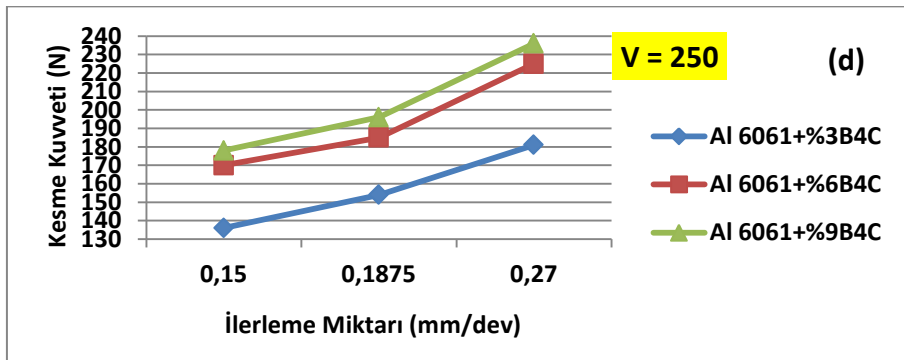
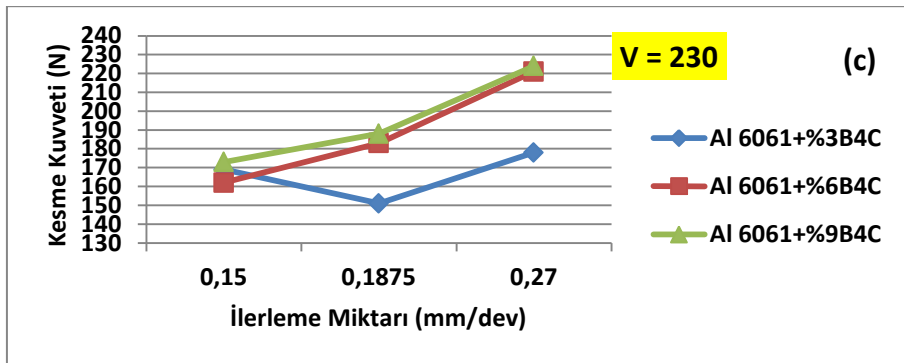
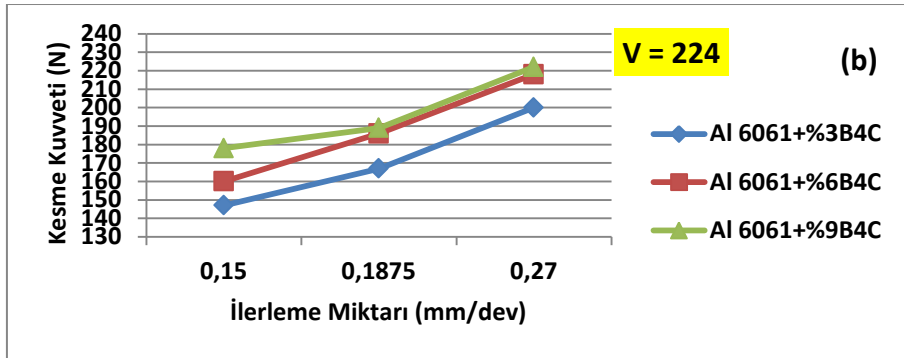
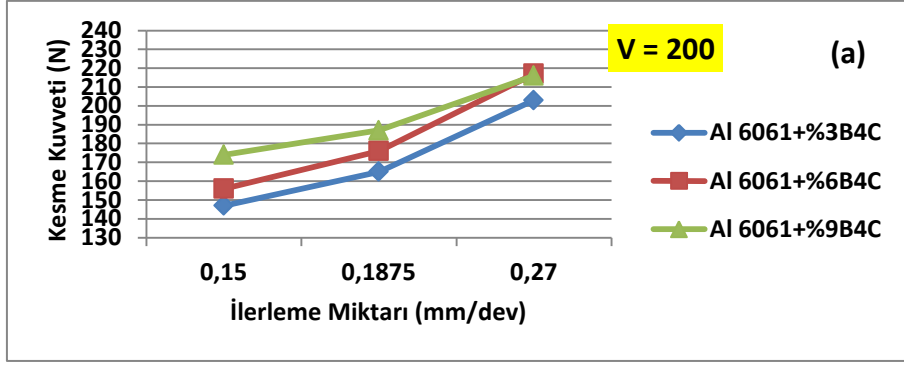
Çizelge 4.1. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen bulgular

| Malzeme 1= AA6061 + % 3 B <sub>4</sub> C |                            |                         |          | Malzeme 2= AA6061 + % 6 B <sub>4</sub> C |                            |                         |          | Malzeme 3= AA6061 + % 9 B <sub>4</sub> C |                            |                         |          |
|------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|
| Kesme Hızı<br>m/dak.                     | İlerleme miktarı<br>mm/dev | Kesme Kuvveti<br>Fc (N) | Ra<br>µm | Kesme Hızı<br>m/dak.                     | İlerleme miktarı<br>mm/dev | Kesme Kuvveti<br>Fc (N) | Ra<br>µm | Kesme Hızı<br>m/dak.                     | İlerleme miktarı<br>mm/dev | Kesme Kuvveti<br>Fc (N) | Ra<br>µm |
| 200                                      | 0,15                       | 147                     | 4,6      | 200                                      | 0,15                       | 156                     | 2,066    | 200                                      | 0,15                       | 174                     | 1,433    |
|                                          | 0,1875                     | 165                     | 3,433    |                                          | 0,1875                     | 176                     | 2,5      |                                          | 0,1875                     | 187                     | 2,466    |
|                                          | 0,27                       | 203                     | 4,766    |                                          | 0,27                       | 217                     | 4,2      |                                          | 0,27                       | 216                     | 4,566    |
| 224                                      | 0,15                       | 147                     | 3,933    | 224                                      | 0,15                       | 160                     | 2,333    | 224                                      | 0,15                       | 178                     | 1,566    |
|                                          | 0,1875                     | 167                     | 4,066    |                                          | 0,1875                     | 186                     | 2,466    |                                          | 0,1875                     | 189                     | 2,333    |
|                                          | 0,27                       | 200                     | 4,733    |                                          | 0,27                       | 218                     | 3,9      |                                          | 0,27                       | 222                     | 3,766    |
| 230                                      | 0,15                       | 169                     | 3,4      | 230                                      | 0,15                       | 162                     | 2,233    | 230                                      | 0,15                       | 173                     | 1,9      |
|                                          | 0,1875                     | 151                     | 3,833    |                                          | 0,1875                     | 183                     | 2,833    |                                          | 0,1875                     | 188                     | 2,9      |
|                                          | 0,27                       | 178                     | 5,566    |                                          | 0,27                       | 221                     | 4,4      |                                          | 0,27                       | 224                     | 3,8      |
| 250                                      | 0,15                       | 150                     | 3,8      | 250                                      | 0,15                       | 170                     | 2,333    | 250                                      | 0,15                       | 178                     | 1,766    |
|                                          | 0,1875                     | 154                     | 4,033    |                                          | 0,1875                     | 185                     | 3,033    |                                          | 0,1875                     | 196                     | 2,333    |
|                                          | 0,27                       | 181                     | 5,233    |                                          | 0,27                       | 225                     | 4,466    |                                          | 0,27                       | 236                     | 3,8      |

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerin mikro yapısının diğer saf metaller ve alaşımlara göre farklılık göstereceği, homojen bir yapı elde edilmesinin üretim yöntemine bağlı olarak zor olduğu bilinmektedir. Yapıda meydana gelen gözeneklilik hem mekanik hem de işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Ölçülen değerlerde zaman zaman kesici takımın sert fazla karşılaşması kesme kuvvetlerinin yükselmesine, gözenekler ise, ani düşüşlere neden olmaktadır. Şekil 4.11’de AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti değişimleri, Şekil 4.12’de farklı kesme hızlarında ilerleme miktarına bağlı olarak kesme kuvveti değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 4.11. AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı kesme kuvvetindeki değişimler a) f=0,15, b) f=0,1875, c) f=0,27



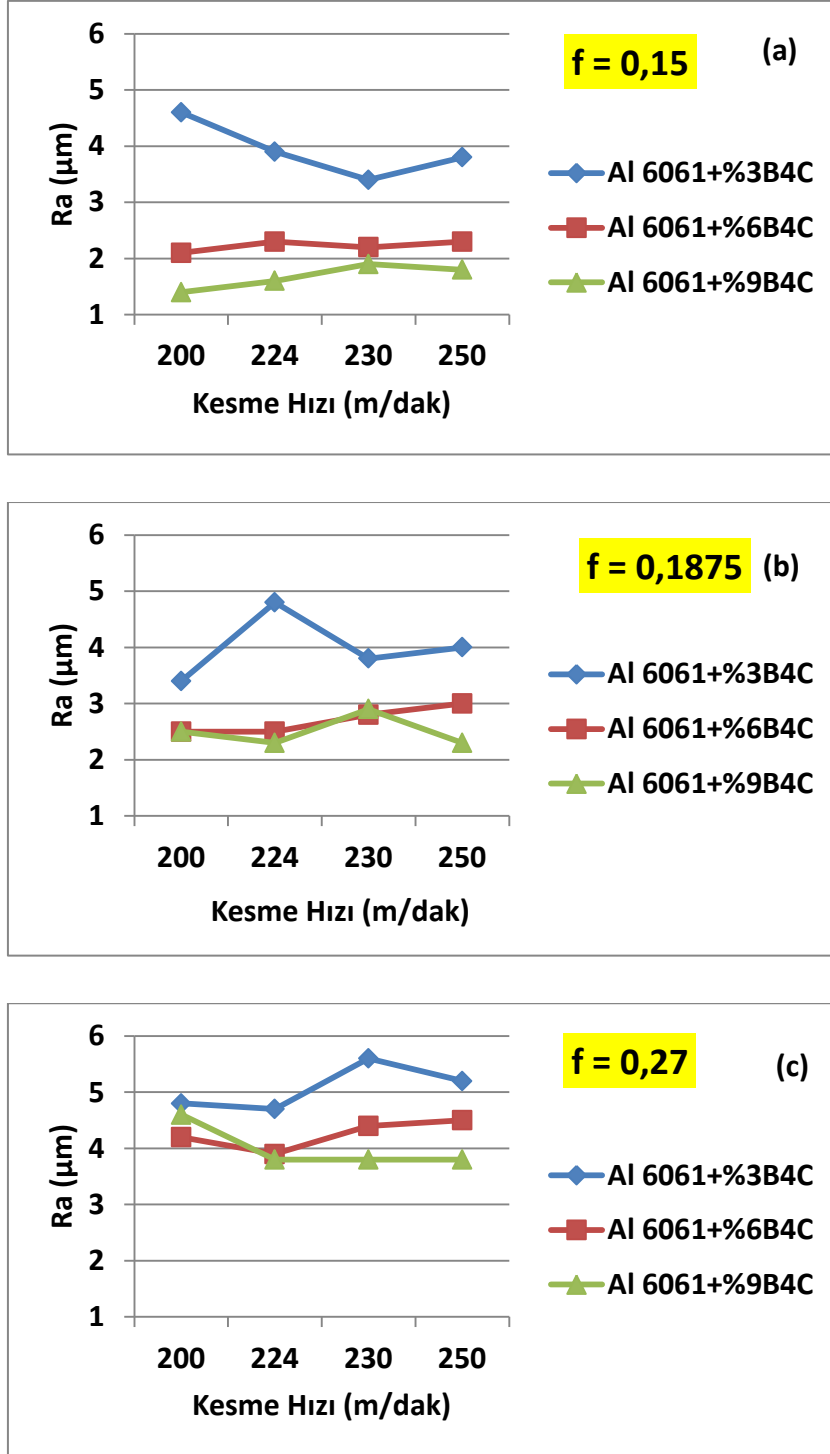
Şekil 4.12. AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin farklı kesme hızlarında ilerleme değerlerine bağlı kesme kuvvetindeki değişimler a) V=200, b) V=224, c) V=230, d) V=250



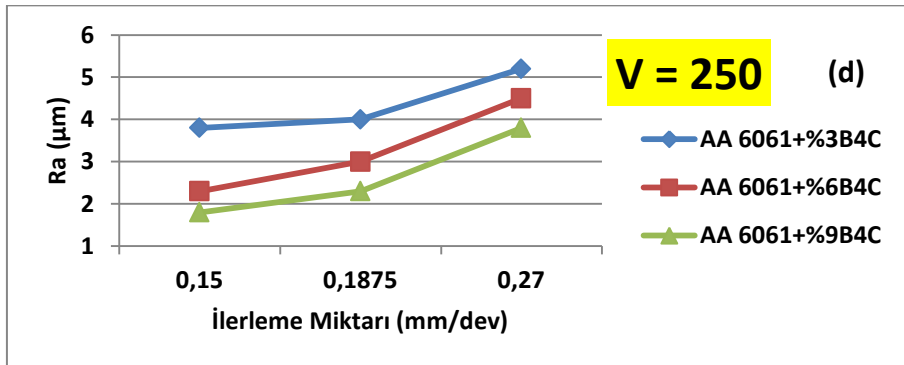
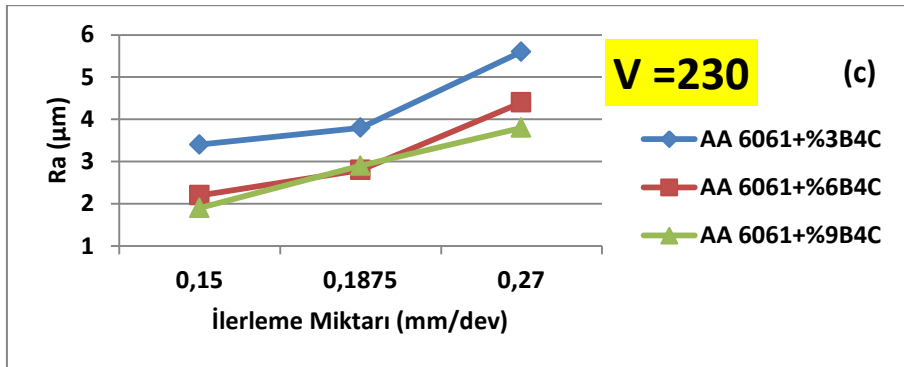
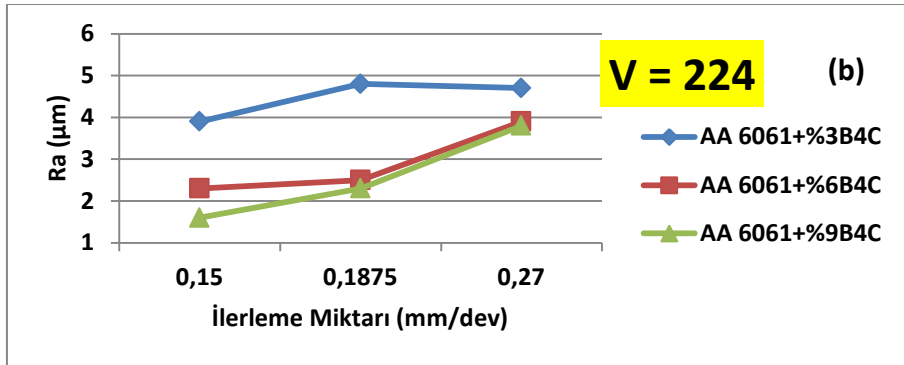
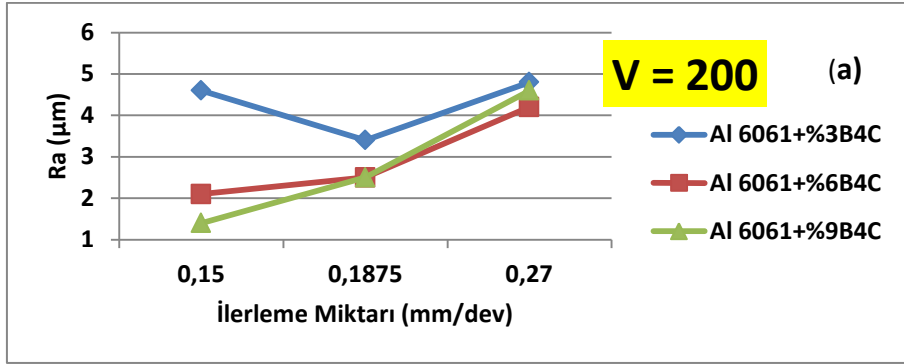
Şekil 4.11'den, % 3 B<sub>4</sub>C takviyeli numunelerde, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde düşme eğilimi gözlenirken, takviye oranının artmasıyla (% 6 ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli numunelerde) kesme hızındaki artış, kesme kuvvetlerinde önemli bir değişime sebep olmamıştır. Sadece en yüksek kesme hızı olan 250 m/dak ile yapılan deneylerde, % 6 ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli numunelerde, kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. % 3 B<sub>4</sub>C takviyeli numuneler, düşük takviye sebebiyle matris malzemesinin işlenebilirlik özelliklerine yakın özellikler sergilemiş, artan kesme hızları kesme kuvvetlerinin düşmesine sebep olmuştur. Bu durum; artan kesme hızlarında kesme bölgesindeki sıcaklığının artmasına ve artan sıcaklığın deformasyonu kolaylaştırmasına atfedilmiştir [53, 59, 60]. Yüksek takviye oranına bağlı olarak artan dayanım ve sertlik değişimleri (Şekil 4.7 ve Şekil 4.10), talaş kaldırma için harcanan enerjinin artmasına sebep olarak kesme kuvvetlerinin yükselmesine sebep olmuş, bu durum yüksek kesme hızlarında daha da belirgin hale gelmiştir.

Şekil 4.12'de ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak, kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte talaş kesit alanının artmasına atfedilmiştir. İlerleme miktarındaki artışla kesme kuvvetlerinin artması talaş kesitlerinin artmasıyla ilişkilidir. Talaş kesiti “ilerleme x kesme derinliği” olarak bilindiğinden, ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir sonuçtur. En yüksek kesme kuvveti 0,27 mm/dev ilerleme miktarında ve 250 m/dak kesme hızında 236 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti ise, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 147 N olarak tespit edilmiştir.

İşlenebilirlik deneylerinin en önemli parametrelerden biri de işlenen malzemelerin yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleridir. Şekil 4.13'te AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemelerin farklı ilerleme değerlerinde kesme hızlarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki (Ra) değişimler; Şekil 4.14'de ise farklı kesme hızlarında ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğündeki (Ra) değişimler verilmiştir. Kompozit malzemelerde takviye elamanının dağılımı ve büyüklüğü ile oluşan porozite miktarı yüzey kalitesini etkiler ve zaman zaman yüzey kalitesinde beklenmeyen değişimlere neden olabilmektedir [53].



Şekil 4.13. AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin farklı ilerleme değerlerinde kesme hızlarına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğündeki ( $R_a$ ) değişimler a)  $f=0,15$ , b)  $f=0,1875$ , c)  $f=0,27$



Şekil 4.14. AA6061 matrisli % 3 B<sub>4</sub>C, % 6 B<sub>4</sub>C ve % 9 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin farklı kesme hızlarında ilerleme miktarına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğündeki (Ra) değişimler a) V=200, b) V=224, c) V=230, d) V=250

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'deki grafikler birlikte değerlendirildiğinde artan kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve artan ilerleme miktarıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En yüksek değerler % 3 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemedeki ölçülmüştür. Bu durum yüksek matris malzemesinin yüksek sıvanma eğilimiyle muhtemel yapışık talaş oluşmasına ve bunu yüzey kalitesini olumsuz etkilemesine atfedilmiştir. Artan takviye oranı, artan sertlikle beraber yüzey kalitesini olumlu etkilemiş ve yüksek takviye oranlarında azalan sıvanma eğilimiyle birlikte yüzey kalitesinin olumlu etkilendiği görülmüştür. Artan ilerleme miktarıyla artan talaş kesiti, kesme kuvvetlerinde olduğu gibi yüzey kalitesini de olumsuz etkilemiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, takviyesiz AA6061 alaşımı ve  $B_4C/SiC$  takviyeli kompozit malzemeler toz metalurjisinde sıcak ekstrüzyon tekniği kullanılarak üretilmiştir. Üretilen malzemelerin yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma, çekme ve işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Ekstrüzyon sonrası numune yoğunlukları teorik yoğunluğun % 99'nun üzerine çıkmıştır. Sıcak ekstrüzyon ile üretilen kompozitlerde en yüksek yoğunluk AA6061 alaşımında (% 99,74), en düşük yoğunluk ise % 12  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemede (% 99,02) elde edilmiştir.  $B_4C$  ilavesi yoğunluk artışını engellemektedir. Sıcak ekstrüzyon sonrası takviyesiz AA6061 malzemede herhangi bir gözeneğe rastlanmamıştır.
- % 3  $B_4C/SiC$  kompozitlerde genel olarak  $B_4C/SiC$  parçacıklarının matris içerisinde homojen dağıldığı tespit edilirken % 6  $B_4C/SiC$  ve % 9  $B_4C/SiC$  kompozitlerde  $B_4C$  miktarının artması ile beraber topaklanmanın da (aglomerasyon) arttığı görülmüştür. % 12  $B_4C$  kompozitlerde topaklanmalar diğer kompozitlere göre artarken mikro yapı içerisinde çok küçük oranlarda mikro gözenek oluşmuştur. % 12  $SiC$  takviyeli kompozitlerde  $SiC$  parçacıklarının matris yapı içerisinde homojen dağılım sergilediği anlaşılmıştır.
- Ekstrüzyon işlemi esnasında parçacıkların birbirine sürtünmesi sonucu bazı parçacıklarda mikro çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir.
- Takviye oranı ve  $B_4C$  oranı arttıkça kompozitlerin sertlikleri de artmıştır. Ortalama sertlik değeri AA6061 alaşımında 50 HB olarak ölçülürken en yüksek sertlik değeri 76 HB ile % 12  $B_4C$  takviyeli kompozitte tespit edilmiştir.
- En yüksek çapraz kırılma dayanımı % 12  $SiC$  takviyeli kompozitlerde 402,5 MPa olarak tespit edilmiştir. En düşük çapraz kırılma dayanımı ise sertliği en yüksek olan % 12  $B_4C$  kompozitinde 358 MPa olarak bulunmuştur.  $B_4C$  ve  $SiC$  kompozitlerde  $B_4C$  oranının artması çapraz kırılma dayanımlarını düşürmektedir.
- En düşük çekme dayanımı 174 MPa ile AA6061 alaşımında görülürken en yüksek çekme dayanımı % 12  $SiC$  takviyeli kompozitte 185,1 MPa olarak tespit edilmiştir.  $B_4C/SiC$  takviyeli kompozitlerde  $B_4C$  takviye oranının artması çekme dayanımlarını düşürmektedir.

- İşlenebilirlik deneylerinde, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde düşme eğilimi gözlenirken, takviye oranının artmasıyla kesme hızındaki artış, kesme kuvvetlerinde önemli bir değişime sebep olmamıştır.
- Düşük takviyeli (% 3 B<sub>4</sub>C) kompozit malzemenin işlenebilirliğinde gözlenen düzensizliklerin sünek matrisin işlenmesindeki sıvanma eğilimine atfedilmiştir.
- Yüksek takviye oranına bağlı olarak artan dayanım ve sertlik talaş kaldırma için harcama enerjisinin artmasına sebep olarak kesme kuvvetlerinin yükselmesine sebep olmuş, bu durum yüksek kesme hızlarında daha da belirgin hale gelmiştir.
- İlerleme miktarındaki artışa bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki artış eğilimi ilerleme miktarının artmasıyla artan talaş kesit alanına atfedilmiştir.
- En yüksek kesme kuvveti 0,27 mm/dev ilerleme miktarında ve 250 m/dak kesme hızında 236 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti ise, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 147 N olarak tespit edilmiştir.
- Artan kesme hızına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmış ve artan ilerleme miktarıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Artan ilerleme miktarıyla artan talaş kesiti, kesme kuvvetlerinde olduğu gibi yüzey kalitesini de olumsuz etkilemiştir.
- En yüksek yüzey pürüzlülük değerleri % 3 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzemede ölçülmüş. bu durum yüksek orandaki matris malzemesinin yüksek sıvanma eğilimine atfedilmiştir.
- Artan takviye oranı, artan sertlikle beraber yüzey kalitesini olumlu etkilemiş ve yüksek takviye oranlarında azalan sıvanma eğilimiyle birlikte yüzey kalitesinin olumlu etkilendiği görülmüştür.
- Ekstrüzyon yerine soğuk veya sıcak haddeleme ile kompozit üretimi denenebilir.
- Takviye oranları değiştirilerek kompozit üretimi yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Ray, Y., Kannikeswaran, K., (1989). Interfacial Reaction Kinetics Of Al/Sic Composite During Casting, Interfaces İn Metal-Ceramic Composites. *The Minerals, Metals & Materials Society*, 153-164.
2. Eksi, A.K., Bircan, D.A., (2006). *Mechanical Properties Of Cold And Warm Compacted Aluminum Alloys (Al7XXX)*. Proceedings Of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye.
3. Sonsino, C.M., Schlieper, G., Huppmann, W.J., (1984). Influence Of Homogeneity On The Fatigue Properties Of Sintered Steels. *International Journal Powder Metallurgy*, 20(1), 45-50.
4. Şahin, İ. (2014), Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Matkap İle Delinmesi Konusunda Yapılan Çalışmaların İncelenmesi. *Mühendis ve Makine*, 55(649), 9-16.
5. Torralba, J.M., Costa, C.E.D., Velasco, F., (2003). P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview, *Journal Of Materials Processing Technology*, 133, 203-206.
6. Hariprasad, T., Varatharajan, K., Rav, S., (2014). Wear Characteristics Of B<sub>4</sub>C And Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reinforced With Al 5083 Metal Matrix Based Hybrid Composite, *12th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM*, Procedia Engineering 97, 925 – 929.
7. Omya E.K., Fathy, A., (2014). Effect Of Sic Particle Size On The Physical And Mechanical Properties Of Extruded Al Matrix Nanocomposites, *Materials And Design*, 54, 348–353.
8. Blanchard, B.S., Fabrycky W.J., (2006). *Bringing System Into Being, System Engineering And Analysis 4*. New Jersey: Pearson Prentice Hall
9. Hasırcı, H., Gül, F., (2010, February). B<sub>4</sub>C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *SDU International Technologic Science Mechanical Technology*, 2(1), 15-21.
10. Nazık, C. (2013, Temmuz). *Al Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
11. Kalemtaş, A. (2014, December). *Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış*, Makale Researchgate Publication.
12. Teti, R. (2002). Machining Of Composite Materials, *University Of Naples Federico II*, 51(2), 611-634, Italy.

13. Mutlu, İ., (2012). Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 4(1), 25-36.
14. Feng, J., Venna, S.R., Hopkinson, D.P., (2016, September). Interactions At The Interface Of Polymer Matrix-Filler Particle Composites, *Polymer* 103, 189-195.
15. Yılmaz, U., Evci, C., (2015, Kasım). Havacılık Ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 14(2), 77-109.
16. Önal, M., Gavgalı, M., (2015). In situ Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler ve Sıcak Presleme ile Üretimleri. *Ordu Üniversitesi Bilim Teknik Dergisi*, 5(2), 63-73.
17. Uygur, İ., Saruhan, H., (2004, Mart). Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1).
18. Vijaya Ramnath, B., Elanchezhian, C., Jaivignesh, M., Rajesh, S., Parswajinan, C., Siddique Ahmed Ghias, A., (2014). Evaluation Of Mechanical Properties Of Aluminium Alloy–Alumina–Boron Carbide Metal Matrix Composites, *Materials And Design* 58, 332–338.
19. Radha, A., Vijayakumar, K.R., (2016). An Investigation Of Mechanical And Wear Properties Of AA6061 Reinforced With Silicon Carbide And Graphene Nano Particles-Particulate Composites, *Materials Today: Proceedings*, 3, 2247–2253.
20. Aydın, E., Erzi, E., Yüksel, Ç., Dışınar, D., (2015). *SİMA Yöntemi İle Sic Takviyeli A380 Ve 6063 Kompozit Üretimi*, 7. Alüminyum Sempozyumu - 7th Aluminium Symposium, İstanbul.
21. Jaswinder, S., Amit C., (2016). Characterization Of Hybrid Aluminum Matrix Composites For Advanced Applications. A Review, *J Mater Research Technology*, 5(2), 159-169.
22. Pramanik, A. (2016). Effects Of Reinforcement On Wear Resistance Of Aluminum Matrix Composites, *Transactions of Nonferrous Metals Society*, 26, 348–358, China.
23. Knowles, A.J., Jiang, X., Galano, M., Audebert, F., (2014). Microstructure And Mechanical Properties Of 6061 Al Alloy Based Composites With SiC Nanoparticles, *Journal Of Alloys And Compounds*, 615, 401-405.
24. İnternet: Lucideon. (2001). Boron Carbide (B<sub>4</sub>C) Properties And Information About Boron Carbide URL: <http://www.Azom.Com/Article.Asp?ArticleId=75> Son Erişim Tarihi: 20.01.2017
25. Callister, W. (2007). Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği. *NOBEL Akademik Yayıncılık*, 72-75.
26. Occhionero, M., Adams, R., Fennessy, K., Hay, R., (1998, May). Aluminum Silicon Carbide (AlSiC) For Advanced Microelectronic Packages, *IMAPS Boston Meeting*.



27. Metals Handbook (1984). American Society For Metals, Powder Metallurgy. *Ninthed ASM, Metals Park*, 7, Ohio, USA.
28. İnternet: Baksan, B., Gürler, R., (2005). Toz Metalurjisinin Savunma Sanayinde Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir. URL: [http://www.Msb.Mil.Tr/Birimler/Argeteknod/Argesemineri/Sunular/09\\_TozMetalurji\\_si](http://www.Msb.Mil.Tr/Birimler/Argeteknod/Argesemineri/Sunular/09_TozMetalurji_si). Son Erişim Tarihi: 25.03.2017.
29. İnternet: Türk Toz Metalurjisi Derneği, (2005). Toz Metalurjisi Üretim Teknikleri, Ankara. URL: <http://www.Turktoz.Gazi.Edu.Tr/Makale.Html> Son Erişim Tarihi: 25.03.2017.
30. Boot Hroyd, G., De Whurst, P., Winston, K., (2002). *Design For Powder Metal Processing, Product Design For Manufacture And Assembly*. Höganäs PM-School, New York: Marcel Dekker Inc, 11.
31. İnternet: Oto İnşa Teknolojileri. (2005). Sinterleme Teknolojisi. URL: [http://www.Turkcadcam.Net/Rapor/Ot\\_Oinsa/Sinterleme.Html](http://www.Turkcadcam.Net/Rapor/Ot_Oinsa/Sinterleme.Html), Son Erişim Tarihi: 25.03.2017.
32. Aydın, B. (2002, Haziran). *AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
33. Şahin, Y. (2001). Talaş Kaldırma Prensipleri 2. *Nobel Yayın Dağıtım*, 240, 490, Ankara.
34. Kopač, J., Babor, M., (1999). Interaction Of The Technological History Of A Workpiece Material And The Machining Parameters On The Desired Quality Of The Surface Roughness Of A Product. *Journal Of Materials Processing Technology*, 92, 381-387.
35. Çakır, M.C. (2006). Modern Talaşlı İmalatın Esasları. *Nobel Yayın Dağıtım*, 993, 267, Ankara.
36. Newkirk, J.W. (2003). *Handbook Of Aluminum: Physical Metallurgy And Processes*, New York: Marcel Dekker Inc, 1.
37. Gökçe, A., Fındık, F., Kurt, A.O., (2017). Alüminyum Ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri. *Engineer & The Machinery Magazine*, 58(686).
38. Şeker, U., Kurt, A. Çiftçi, İ., (2002). Design And Construction Of A Dynamometer For Measurement Of Cutting Forces During Machining With Linear Motion. *Materials And Design*, 23, 355-360.
39. Demir, H., Güllü, A., (2001). Taşlama Parametrelerinin Taşlama Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 189-198.

40. Demir H., Güllü A., Şeker U., (2006). Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı Ve İmalatı. *Teknoloji-ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 9(2), 111-118.
41. Oğuz S. (1985). *Teknik Mekanik I (Statik), Çözümlü Problemler*. Eskişehir: Bilim Teknik Kitabevi, 1-58.
42. Işık Y., Çakır M.C., (2000). *Takım Çeliklerinin Talaşlı İmalatında Kesme Kuvvetleri İle Takım Ömrü Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, IX. Mühendislik Sempozyumu, Ankara.
43. Turgut, Y., Korkut, İ., (2009, 13-15 Mayıs). *Talaşlı İmalatta Kesme Kuvveti Ölçme Sistemleri*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
44. Jeong Y.H., Cho D.W., (2002). Estimating Cutting Force From Rotating And Stationary Feed Motor Currents On A Milling Machine. *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 42, 1559–1566.
45. Kuzu C., Fank S., Doğan Ç., Parlaktürk H., (1999). Kuvvet Ölçme Cihazlarının Ölçüm Belirsizliği, *III. Ulusal Ölçümbilim Kongresi*, Eskişehir, 113-118.
46. Kendall, L.A. (1995). Friction And Wear Of Cutting Tools And Cutting Tool Material, *ASM Metal Handbook, Friction, Lubrication And Wear, ASM International*, 18, Ohio, USA.
47. Carrilero, M.S., Bienvenido, R., Sanchez, J.M., Alvarez, M., Gonzalez, A., Marcos, M., (2002). A SEM And EDS Insight Into The BUL And BUE Difference In The Turning Processes Of AA2024 Al-Cu Alloy. *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 42, 215-220,
48. List, G., Nouari, M., Gehin, D., Gomez, S., Manaud, J.P., Le Petitcorps, Y., Girot, F., (2005). Wear Behaviour Of Cemented Carbide Tools In Dry Machining Of Aluminium Alloy, *Wear*, 259, 1177-1189.
49. Boothroyd, G., Kinght, W.A., (1989). *Fundamentals Of Machining And Machine Tools*, New York: Marcel Dekker.
50. Hamamcı, M. (2012). *Yüksek Hızlı İşlemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Açısından Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 140.
51. Groover, M.P. (1996). *Fundamentals Of Modern Manufacturing- Materials, Processes And Systems*, New Jersey: Prentice-Hall incorporated, 220-639.
52. Çinici, H. (2012). *TM Yöntemi İle Al Esaslı Bor Karbür Takviyeli Sandviç Metalik Köpük Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-80.

53. Pul, M. (2010, Şubat). *Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
54. Toptan, F., Kilicarslan, A., Kerti, I., (2010). The Effect Of Ti Addition On The Properties Of Al-B<sub>4</sub>C Interface: A Microstructural Study. *Materials Science Forum* 636, 192-197.
55. Baradeswaran, A.E.P.A., Perumal, A.E., (2013). Influence Of B<sub>4</sub>C On The Tribological And Mechanical Properties Of Al 7075–B<sub>4</sub>C Composites. *Composites Part B: Engineering*, 54, 146-152.
56. Topcu, I., Gulsoy, H.O., Kadioglu, N., Gulluoglu, A.N., (2009). Processing And Mechanical Properties Of B<sub>4</sub>C Reinforced Al Matrix Composites. *Journal Of Alloys And Compounds*, 482(1-2), 516-521.
57. Patidar, D., Rana, R.S., (2017). Effect Of B<sub>4</sub>C Particle Reinforcement On The Various Properties Of Aluminium Matrix Composites: A Survey Paper. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 2981-2988.
58. Canakci, A., Arslan, F., Varol, T., (2013). Effect Of Volume Fraction And Size Of B<sub>4</sub>C Particles On Production And Microstructure Properties Of B<sub>4</sub>C Reinforced Aluminium Alloy Composites. *Materials Science And Technology*, 29(8), 954-960.
59. Çiftçi, İ. (2003, Ekim). *Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 107-120.
60. Günay, M. (2009, Haziran). *Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Al-Si/SiC<sub>p</sub> Kompozitlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 147-192.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TİNGA, Sibel  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 08.06.1989, Ceyhan  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (539) 398 54 53  
 Faks :  
 e-mail : Sibel.dundar47@gmail.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                          | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|--------------------------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  | Devam ediyor     |
| Lisans        | Fırat Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği | 2014             |
| Lise          | İskenderun Demir Çelik Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi    | 2007             |

### İş Deneyimi

| Yıl        | Yer                     | Görev             |
|------------|-------------------------|-------------------|
| 2017-Halen | Faydasıçok Holding A.Ş. | Satın Alma Uzmanı |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Karakoç, H., Çıtak, R., Dünder, S., (2017). *Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen AA6061/B<sub>4</sub>C/SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Sertlik Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu*, Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, IDEFIS, Kırıkkale.

**Hobiler**

Yüzme, Dans



*GAZİ GELECEKTİR..*