**T.C.**
**HARRAN ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

# ATIK ALÜMİNYUMDAN METAL MATRİS ÜRETİMİ VE MİKRO PARTİKÜL TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

**Fatih Tayyip GÜRBÜZ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA**
**2023**

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ danışmanlığında, Fatih Tayyip GÜRBÜZ'ün hazırladığı **"Atık Alüminyumdan Metal Matris Üretimi ve Mikro Partikül Takviyeli Kompozitlerde Mekanik Özelliklerin İncelenmesi"** konulu bu çalışma 11/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

| | | |
|---|---|---|
| Danışman | : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ | …… |
| Üye | : Doç. Dr. Mustafa ÖZEN | …… |
| Üye | : Dr. Öğr. Üyesi Yunus DEMİRTAŞ | …… |

**Bu Tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. İsmail HİLALİ**
**Enstitü Müdürü**

**Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**
**Proje No: 21186**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**


ÖZET ..... i
ABSTRACT ..... ii
TEŞEKKÜR ..... iii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... iv
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... vi
1. GİRİŞ ..... 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..... 3
2.1. Kompozit Malzemeler ve Özellikleri ..... 3
2.2. Alüminyum ve Özellikleri ..... 5
2.3. MMK Yapımında Kullanılan Yardımcı Malzemeler ..... 7
2.3.1. Silisyum karbür (SiC) ..... 8
2.3.2. Bor karbür ($B_4C$) ..... 8
2.3.3. Cam tozu ..... 9
2.4. Silisyum karbür, Bor karbür ve Cam tozuyla İlgili Çalışmalar ..... 11
3. MATERYAL ve YÖNTEM ..... 12
3.1. Materyal ..... 12
3.2. Yöntem ..... 14
3.2.1 Matris malzemesinin hazırlanması ..... 14
3.2.2 İşlem parametrelerinin belirlenmesi ..... 16
3.2.3 Takviyeli kompozitlerin üretimi ..... 17
3.2.4 Dökümü yapılan alüminyum kompozitlerin çapak temizleme işlemi ..... 18
3.3. Testler ..... 20
3.3.1. Çekme testi ..... 20
3.3.2.Eğilme testi ..... 21
3.3.3.Aşınma testi ..... 22
3.3.4. Sertlik testi ..... 23
3.3.5. Yoğunluk testi ..... 24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA ..... 26
4.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler ..... 26
4.1.1.Yoğunluk sonuçları ..... 26
4.1.2.Sertlik sonuçları ..... 27
4.1.3. Aşınma sonuçları ..... 29
4.1.4.Eğilme Sonuçları ..... 35
4.1.5.Çekme sonuçları ..... 38
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER ..... 41
KAYNAKLAR ..... 43
ÖZGEÇMİŞ ..... 46

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

## ATIK ALÜMİNYUMDAN METAL MATRİS ÜRETİMİ ve MİKRO PARTİKÜL TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

**Fatih Tayyip Gürbüz**

**Harran Üniversitesi**
**Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ**
**Yıl: 2023, Sayfa: 46**

Alüminyumlar sahip oldukları yüksek mekanik özelliklerinden ve hafifliklerinden dolayı metal matris olarak sıkça tercih edilirler. Gelişmiş mekanik özelliklere sahip alüminyum matrisli kompozitlere artan talepler birincil kaynakların hızla azalmasına neden olmuştur. Bu tez çalışmasında atık içecek kutularının geri dönüşümünden elde edilen alüminyum, ana matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Öncelikle atık içecek kutuları toplanıp, bu kutular boya ve yabancı maddelerden arındırılmak için ön ergitme işlemine tabii tutulur. Alüminyum matrisli kompozitlerin birçok üretim yöntemi bulunmakta olup, bu çalışmada karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. %3 ve %6 oranlarında SiC kompozit, %1, %3 ve %6 oranlarında $B_4C$ takviyeli kompozit, %3 ve %6 oranında cam tozu takviyeli kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Elde edilen kompozit malzemelere; sertlik, yoğunluk, eğilme, çekme ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları incelendiğinde; SiC kompozitlerde, en yüksek sertlik değeri 81.08 Hv ve %6 takviyesinde en yüksek eğilme mukavemeti 302.329 MPa olarak gözlemlenmiştir. $B_4C$ kompozitlerde ise en yüksek sertlik değeri 86.08 Hv olarak yine %6 takviyesinde elde edilmiştir. Cam tozu takviyeli kompozitlerde en yüksek sertlik değeri 77.47 Hv olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak atık içecek kutularından elde edilen SiC, $B_4C$ ve cam tozu takviyeli kompozitlerin bazı fiziksel özelliklerinin geliştirilmesiyle çeşitli ikincil uygulamaları elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Atık Alüminyum, Karıştırmalı Döküm, Kompozit Malzeme, Geri Dönüşüm

## ABSTRACT

**Master Thesis**

**PRODUCTION OF METAL MATRIX FROM WASTE ALUMINUM and INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES IN MICROPARTICLE REINFORCED COMPOSITES**

**Fatih Tayyip GÜRBÜZ**

**Harran University**
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**
**Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ**
**Year: 2023, Page: 46**

Aluminums are frequently preferred as metal matrix due to their high mechanical properties and lightness. Increasing demands for aluminum matrix composites with improved mechanical properties have led to a rapid decline in primary resources. In this thesis, aluminum obtained from the recycling of waste beverage cans was used as the main matrix material. First of all, waste beverage cans are collected and pre-melted in order to get rid of paint and foreign materials. There are many production methods of aluminum matrix composites, and the stirred casting method was used in this study. 3% and 6% SiC composite, 1%, 3% and 6% B4C reinforced composite, 3% and 6% glass powder reinforced composite were produced. Hardness, density, bending, tensile and abrasion tests were performed on the obtained composite materials. When the test results are examined; in SiC composite materials, the highest hardness value was 81.08 Hv and the highest flexural strength was 302.329 MPa at 6% reinforcement. In B4C composite materials, the highest hardness value was obtained as 86.08 Hv, again at 6% reinforcement. The highest hardness value in glass powder reinforced composites was measured as 77.47 Hv. As a result, SiC, $B_4C$, and glass powder-reinforced composites of waste beverage cans improved some physical properties for various secondary applications.



**KEY WORDS:** Waste Aluminum, Stir Casting, Composite Material, Recycling

# TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışması boyunca konu seçiminden yazım aşamasına kadar tecrübe ve bilgi birikimi ile bana yön veren danışman hocam, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Mehmet DİRİLMİŞ'e en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışması boyunca, özellikle laboratuvar çalışmalarında sahip olduğu tecrübe ve bilgileriyle beni yönlendiren saygıdeğer hocalarım, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Arş. Gör. Abuzer AÇIKGÖZ ve Arş. Gör. Gökhan DEMİRCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan Yüksek Makine Mühendisi Sibel YÖYLER`e, Tek-İş Hidrolik Nihat TEK`e, Hatay Erol Bilecik Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi saygıdeğer Öğretmen ve Öğrencilerine, Esra Yalçın COŞKUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm çalışmam boyunca her zaman yanımda olup manevi desteğini benden esirgemeyen sevgili ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa No**

Şekil 2.1. Kompozit malzeme yapısı (Nazik, 2013). 3
Şekil 3.1. Atık alüminyumdan elde edilen kompozitlerin üretimi 13
Şekil.3.2. içecek kutularının ön ergitmeden önce preslenmesi 15
Şekil 3.3. Atık kutuların ergimesi ve üst tabakalarındaki yabancı maddelerin ayrıştırılması 15
Şekil 3.4. a) Eğilme testi için ASTM D790 kalıp tasarımı b) Çekme testi için ASTM D 638-14 kalıp tasarımı, 16
Şekil 3.5. a) Aşınma testi için ASTM G99-17 kalıp tasarımı, b) Sertlik testi için ASTM D785-08 kalıp tasarımı 16
Şekil 3.6. Freze ile numunelerin temizlenme işlemi 19
Şekil 3.7. Torna ile numunelerin temizlenme işlemi 20
Şekil 3.8. Shımadzu Çekme Testi 21
Şekil 3.9.Shımadzu Eğilme Testi 22
Şekil 3.10. Zımparalama Ünitesi ve Aşınma Testi 23
Şekil 3.11. Vickers Sertlik Testi 24
Şekil 3.12.Radwag yoğunluk ve hassas terazi ölçme testi 25
Şekil 4.1. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin yoğunluk ölçüm grafiği 27
Şekil 4.5. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği 28
Şekil 4.6. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği 28
Şekil 4.7. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği 29
Şekil 4.8. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği 29
Şekil 4.9. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin aşınma grafiği 30
Şekil 4.10. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin aşınma grafiği 30
Şekil 4.11. SiC takviyeli kompozitlerin 50X büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü aşınma izleri A) %3 ve B) % 6. 31
Şekil 4.12. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin aşınma grafiği 32
Şekil 4.13. $B_4C$ takviyeli kompozitlerin 50X büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü aşınma izleri A) %1, B) %3 ve C) %6. 33
Şekil 4.14. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin aşınma grafiği 34
Şekil 4.15. Cam tozu takviyeli kompozitlerin aşınma izlerinin 50X büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü A) %3 ve B) %6. 35
Şekil 4.16. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri 36
Şekil 4.17. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri 36
Şekil 4.18. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri 37
Şekil 4.19. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri 37
Şekil 4.20. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin çekme test sonuç grafikleri 39
Şekil 4.21. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin çekme test sonuç grafikleri 39

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Sayfa No**

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları ..... 4
Çizelge 2.2. Kompozit türleri ve uygulama alanları ..... 5
Çizelge 2.3. Saf alüminyum özellikleri (* saflık derecesine bağlı) ..... 5
Çizelge 2.4. Çeşitli takviye malzemeleri ve özellikleri ..... 7
Çizelge 3.1. İşlem parametreleri çizelgesi ..... 17
Çizelge 3.2. Maike kalıpçı freze tezgahı teknik özellikleri ..... 18
Çizelge 3.3. Optimum TU2304V torna tezgahı teknik özellikleri ..... 19
Çizelge 4.1. Numunelerin yoğunluk sonuçları ..... 26

# SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---|---|
| AL | Alüminyum |
| $Al_2O_3$ | Alüminyum oksit |
| ASTM | Amerikan test ve malzeme kurumu |
| $B_4C$ | Bor Karbür |
| CNC | Bilgisayarlı sayısal kontrol |
| ISO | Uluslararası Standartlar Teşkilatı |
| SiC | Silisyum Karbür |
| $Si_3N_4$ | Silisyum Nitrür |
| Mg | Magnezyum |
| Ni | Nikel |
| NŞA | Normal şartlar altında |
| Ti | Titanyum, |
| TiC | Titanyum Karbür |
| $TiO_2$ | Titanyum dioksit |

# 1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv, iletişim, uzay, enerji, ulaşım ve havacılık gibi benzeri alanlarda teknolojik faaliyetlerin gelişmesiyle geleneksel malzeme ihtiyacı karşılanamadığı için yeni malzemelere ihtiyaç artmıştır. Bu nedenden dolayı kompozit adıyla yeni malzemeler üretilmeye başlanmıştır (Kılıç, 2008; Öztop, 2017).

Metal matrisli kompozitler (MMK), kompozit malzemelerden mekanik ve fiziksel (korozyon direnci, ağırlık/mukavemet oranı, aşınma dayanımı ve basma ve çekme dayanımı) olarak daha yüksek özelliklere sahip olduğu için mühendislik malzemeleri arasında önemli bir yeri vardır (Mindivan, 2007; Kılıç, 2008).

Kompozitin yapısı iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar metalik matrisin ana yapısı ile içinde dağılmış ve az oranda ilave edilen yardımcı maddeden meydana gelmektedir. Metalik matris kompozitlerin üretilmesinde matris malzemesi olarak metal ve alaşım tercih edilmesine rağmen genelde magnezyum (Mg), titanyum (Ti), nikel (Ni), alüminyum (Al) gibi metaller ve/veya alaşımları kullanılmaktadır (Şahin, 2015). MMK'da en yaygın kullanılan matris malzemesi olan alüminyum ve alaşımları hafif yapısından, yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasından, yardımcı malzemelerle kimyasal ve fiziksel uyumluluk göstermesinden, düşük yoğunlukta ve ısı, elektrik iletkenliğinin yüksek olmasından ve geniş kullanım alanlarından dolayı öncelikli olarak kullanılmaktadır. Genellikle silisyum karbür (SiC), titanyum karbür (TiC), alüminyum oksit ($Al_2O_3$), parçacık ve elyaf biçiminde silisyum nitrür ($Si_3N_4$), bor karbür ($B_4C$) gibi malzemeler tercih edilmektedir (Şenel ve ark., 2015). Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalara göre alüminyum matrisli kompozitlere talep yoğunlaşmaktadır. Yüksek dayanıklılık göstermesi, elastik yapısı, hafif yapılı ve yüksek aşınma direnciyle havacılık ve savunma sanayine ek olarak otomotiv endüstrisinde de kullanılmaktadır (Özkök, 2004; Kılıç, 2008; Öztop, 2017).

Metal matrisli kompozit üretiminde karıştırmalı döküm ve toz metalürjisi yöntemleri en sık kullanılan yöntemlerdir. Takviye ve matris malzemelerin arasındaki reaksiyonlar, maliyeti ve ürün kalitesi kompozit üretim metodunun seçiminde etken

nedenlerdendir. Toz metalürjisine kıyasla karıştırmalı döküm yöntemi maliyeti daha düşük olan, daha kolay bir yöntemdir (Yılmaz, 2019).

Son zamanlarda teknolojik faaliyetlerin artmasıyla doğru orantılı olarak hammadde kullanım miktarı da artmakta ve bundan dolayı harcanan maliyet, enerji ve çevre kirliliği de artmaktadır. Alüminyumun mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı havacılık, içecek kutuları, iletişim, ulaşım vb. endüstriyel alanlarda parça imalatında geniş şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum; gıdaların ambalajı ve içecekler için kutu olarak kullanım alanları vardır. Zaman içinde kullanılan alüminyumlar hurdaya ayrılmaktadır. Gıdaların ambalajlanmasında ve diğer alanlarda kullanılan atık alüminyumlar geri dönüşüme kazandırılarak çevre kirliliğinin ve doğal kaynakların azalması riskleri önlenir (Gürbüz, 2018). Son zamanlarda ileri teknoloji kullanım olarak yaygın olmadığından hala gıda ambalajlarında ve içecek kutularında geleneksel malzemelerde kullanılmaktadır.

Alüminyum kutuların dünyada toplanma oranı %69.1 ve Avrupa'da %70'tir. Oranlar Türkiye'de %75 iken Amerika'da %54.7, Almanya'da %91, Çin'de %99.5, İngiltere'de %52 ve Japonya'da %92.7'dir. Bu verilerden yola çıkarak alüminyum atık kutuların sanayi alanında tekrar kullanılmasının önemli bir yeri vardır (OEA, 2013).

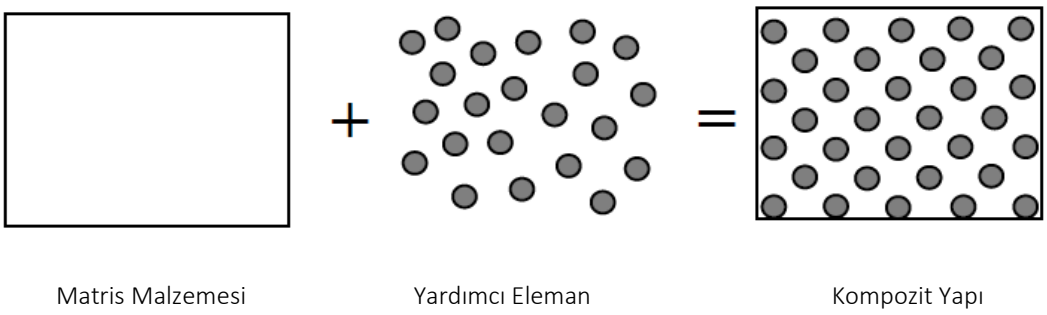
Bu çalışmada ilk olarak atık alüminyum eritilerek boya maddesi giderilmiş ve daha sonra kalıplara dökülerek matris malzemesi üretilmiştir. Karıştırmalı döküm işlemine tabi tutulan matris malzemesine (atık alüminyuma) silisyum karbür, cam tozu ve bor karbür ilavesiyle farklı türlerde kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Farklı ağırlık oranlarında üretimi yapılan kompozit malzemelerin yoğunluk, çekme, eğilme mukavemeti, sertlik ve mikroyapısı incelenmiştir. İlave edilen malzemelerin miktarlarının sonuçlara yansıması verilmiştir.

# 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde atık alüminyum üretiminde katkı maddeleri ilave edilerek (Silisyum karbür, cam tozu, bor karbür) metal maddesi üretiminde mikro yapı incelemesi yapılacaktır. Sanayide kullanılmakta olan cam tozu, bor karbür ve silisyum karbür ile ilgili bilgiler verilmiştir.

## 2.1. Kompozit Malzemeler ve Özellikleri

Endüstriyel ortamda geniş kullanımı olan seramikler, metaller, plastikler fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı teknolojik alanda belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmiştir. Bundan dolayı da yeni ürün elde etmek için araştırma faaliyetlerine başlanmıştır. Bu araştırmalar sonucunda yeni malzeme ortaya çıkmış ve buna kompozit malzeme adı verilmiştir. Diğer bir tanımda da ise iki ve/veya daha fazla malzemenin öne çıkan iyi özellikleri kullanılarak büyük oranda birleştirilmesiyle elde edilen yeni malzemeye ‘kompozit malzemeler’ denilmektedir (Nazik, 2013).




Şekil 2.1. Kompozit malzeme yapısı (Nazik, 2013).

Kompozit malzemelerde çoğunlukla malzemelerin belli bir veya daha fazla özelliğinin kullanılabilir olması hedeflenmektedir. Bu özellikleri;

• Yüksek mekanik özellik (eğilme, çekme, çentik darbe, basma, gibi)

• Yıpranmaya karşı dayanmak ve aşınma direnci,

• Termal ve elektriksel anlamda gelişmiş olması,

• Korozyon mukavemeti,

• Düşük yoğunluk ve estetik görünüş şeklinde sıralanabilir (Pul, 2010).

Son zamanlarda kompozit malzemelerin yaygın kullanım alanları mevcuttur. Bunlar Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları (Bilir, 2014; Cilasun, 2013).

| KULLANIM ALANLARI | KULLANILDIĞI PARÇALAR |
|---|---|
| Havacılık ve Otomotiv Endüstrisi | Uçak, motor gövdesi, motor kutuları, akü plakaları, türbin bıçakları, uçak ara gövdeleri |
| Elektrik ve elektronik sanayisi | Pil plakaları, motor fırçaları |
| Uzay | Uzay gereçleri, gaz türbinleri |
| İş makineleri ve inşaat sektörü | İnşaat kalıpları, iş araçlarının kapakları, cephe korumaları, çalışma kabinleri, büfeler |
| Tarım ve Ev Aletleri | Tahıl toplama siloları, masa, televizyon kabinleri, sulama kanalları, su boruları, dikiş makine gereçleri |

Kompozit malzemeler genel durumları ile matris malzemesine ve yardımcı maddeye göre sınıflara ayrılırlar. Matris malzemesine göre; metal, polimer, seramik; yardımcı maddenin tipine ve şekline göre, elyaflı, tabakalı, parçacıklı kompozitler olarak sınıflandırılırlar.

MMK malzemelerde sık kullanılan yardımcı elemanları TiC, $Al_2O_3$, $B_4C$ ve C, SiC' dur. Metal malzemelerin tokluk ve süneklik vb. özelliklerinin, seramik malzemelerin elastiklik modülü ve dayanıklılık gösterme karakterlerinin bir araya toplanmasıyla meydana gelen MMK malzemeler, düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık, dirençlilik ve elastiklik modülü, yüksek aşınma direnci gibi önemli özelliklere sahiptirler. MMK malzemesi olarak çoğunlukla hafif metaller (alüminyum ve alaşımları) matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanılmasının nedeni; seramik yardımcı malzemesinin kolay ısınabilmesi, yoğunluğunun düşük olması ve ergime sıcaklığının düşük olmasıdır (Atik ve ark., 2006).

MMK malzemeler; elde edilen yapıyı sağlamak için bir metal diğeri iki veya daha farklı malzemenin kullanılmasıyla ortaya çıkan yeni üründür. Genellikle alüminyum ve çelik benzeri geleneksel donanımlardan daha fazla avantaj sağlamak için kullanılır. Yardımcı malzemelerden dolayı aşınma dayanımı, ısıl iletkenliği, özgül keskinliği, korozyon direnci, özgül donanımı gibi mekanik kabiliyetleri arttırılabilir.

MMK'nın geniş kullanım alanı bulunmaktadır ve Çizelge 2. 2.'te bazı metal matrisli kompozit türleri ve uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kompozit türleri ve uygulama alanları (Şahin, 2015)

| **Kompozit Türü** | **Uygulama Alanları** |
|---|---|
| Alüminyum-SiC | Turboşarj kanatları |
| Bakır-grafit | Kayma özelliği olan elektriksel kontaklar |
| Alüminyum-SiC/$AL_2O_3$<br>Alüminyum- $AL_2O_3$<br>Alüminyum-grafit | Silindir gömlekleri,<br>Biyel kolları ,<br>Motorlu taşıt pistonları, |
| Alüminyum-grafit | Motorlu taşıt yatakları |
| Alüminyum-kömür | Az maliyetli gereçler |
| Magnezyum-karbon fiber | Uzay gereçleri için kompozitler |

## 2.2. Alüminyum ve Özellikleri

Dünya'da silisyum ve oksijenden (%7.5-8.1) sonra en çok bulunan element olup doğada bileşikler şeklinde bulunur. İngiliz Sir Humpry Davy 1808 yılında, Amerikalı Charles Martin Hall ve Fransız Paul Louis Toussaint Héroult 1886 yılında alüminyumun ticari olarak üretimde kullanılması hakkında birbirlerinden haberdar olmadan ayrı ayrı çalışmalar yapmışlardır. Halen Hall- Héroult yöntemi adıyla bilinen bu methodta, alüminyum oksit erimiş kriyolitin içinde çözündürüldükten sonra güçlü bir elektrik akımına tabii tutulduğunda, elektrolitin alt kısmındaki alüminyumun sıvı halde olduğunu gözlemlemişlerdir. Hall- Héroult yönteminden kısa bir süre sonra ilk alüminyum elektroliz haneleri Schweizerische Metallurgische Gesellschaft tarafından 1888 yılında Neuhausen şehrinde (İsviçre) Hėroult patentiyle ve 1888 yılında Pittsburgh şehrinde (A.B.D.) Pittsburgh Reduction Company tarafından Hall patentiyle kurulmuştur (Alüminyum Raporu, 2004). Saf alüminyumun özelliklerinin verildiği tablo Çizelge 2.3.'te bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Saf alüminyumun özellikleri (saflık derecesine bağlı olarak değişebilir) (Ediz, 2011)

| **Özellikler** | **Fiziksel Sabitler** |
|---|---|
| Kopma uzama miktarı | % 30-40 |
| Elastisite modülü | 70.000 MPa |
| Akma mukavemeti | 10-30 MPa |
| Ergime sıcaklığı | 660 $^0$C |
| Isı iletkenliği | 237 W/m.K |
| Çekme mukavemeti | 39-85 MPa |
| Sertlik (BHN 2.5) | 12-20 HB |

Alüminyumun, %100'e kadar geri dönüşümü olan metaldir. Ekolojik özelliği sayesinde geleceğin metali olma özelliği taşımaktadır. Dünyada yaşanan petrol krizleri ve çevreyi koruma baskıları, daha az enerji tüketimi ve çevreyi daha az kirletecek özellikte olması, alüminyumun diğer metallerden daha avantajlı konuma gelmesine vesile olmuştur (Öztop, 2017).

Saf alüminyum (%99.99), yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, düşük yoğunluk, korozyona karşı dayanıklı olmasından dolayı dekoratif olarak ve elektrik iletiminin istenildiği alanlarda ambalajlama sanayinde kullanılmaktadır (Özkök, 2004; Ediz, 2011).

Alüminyumun diğer metallere nazaran birçok kullanım avantajlarının olması ve dünyada en geniş kullanım alanına sahip ikinci metal olmasının en önemli özellikleri;

- Hafif yapılı olması,
- Alaşımlı hale getirildiğinde yüksek direnç/ağırlık oranı,
- Geri dönüştürüldüğü için tekrar kullanılabilirliği,
- Çekilebilirliğinin dayanıklı olması
- Şekillendirilebilirliğinin kolay olması
- Dövülebilirliğinin rahat olması
- İşlenebilir bir yapıda olması
- Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip olması
- İyi ışık ve ısı yansıtmasına sahip olması

Alüminyum imalatında kullanılan kaynaklar; cevherden imal edilen birincil alüminyum, hurdadan imal edilen ikincil alüminyumdur (Özsarı, 2018; Ediz, 2011).

Birincil (cevherden) alüminyumdan imal edilen beş aşamalı proses aşağıdaki gibidir;

1. Boksit madeni işletmeciliği
2. Uygulanan işlem sıra ile kırma, öğütme, çözümlendirme, çöktürme ve kalsinasyon işlemlerinin boksit cevherinden alüminyum oksit (alümina) üretimi
3. Erimiş tuz elektrolizi ile alüminyum oksitten sıvı alüminyum üretimi
4. Alüminyumun sıvı formunda alaşımlaştırıp dökülmesi
5. Döküm işleminden sonra ekstrüzyon ve haddeleme işlemleriyle çeşitli alüminyum ürünlerinin üretimi (Alüminyum Raporu, 2004)

İkincil alüminyum ise yeni ve/veya eski hurdadan üretilen alüminyuma denilmektedir. Birincil alüminyum eldesi sırasında oluşan hurdalar yeni hurda sınıfı oluşturmaktadır. Geri dönüşüm ile kazanılan hurdalarda eski hurda sınıfındadır. Metal gıda kutuları, sıvı gıda kutuları vb. kutuları eski hurda sınıfındadır. Birçok alanda kullanıldıktan sonra geri dönüşümü kazandırılan hurdalar veya elektroliz metoduyla erimiş alüminyumlar, alaşımlandırma maddeleriyle beraber alaşımlandırma fırınına katılmakta ve döküm işlemiyle haddeleme veya ekstrüzyon gibi bazı işlemlerden sonra alüminyum ürünleri ortaya çıkmaktadır (Ediz, 2011).

## 2.3. MMK Yapımında Kullanılan Yardımcı Malzemeler

Kompozit yapıyı oluşturan önemli elemanlardan biri de yardımcı elemanlardır. Yardımcı elemanlar yükü sırtlanarak matrisin keskinliğini ve dayanım kuvvetini artırmakta olup fazlar arasında kimyasal ve fiziksel uyumluluk gerekmektedir.

MMK üretimindeki yardımcı elemanların, kimyasal özelliklerine (ısıl genleşme katsayısı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, tane boyutu ve benzeri karakterler) göre;

• Oksitler ($SiO_2$, $Al_2O_3$)

• Karbürler (SiC, $B_4C$)

• Nitrürler ($Si_3N_4$, $A_lN$)

• Elementler (paslanmaz çelik, Si, C, vs) gibi dört ana gruba ayrılır.

Genellikle $B_4C$, SiC, $Si_3N_4$ ve TiC benzeri yardımcı elemanlar kullanılır. Yardımcı elemanlar özellikleri Çizelge 2.4. verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bazı takviye elemanları ve özellikleri (Öztop, 2017).

| **Partikül takviye malzemeleri** | **Yoğunluk ($g/cm^3$)** | **Elastisite modülü (GPa)** | **Mukavemet (MPa)** |
|---|---|---|---|
| TiC | 4,93 | 269 | 55 |
| SiC | 3,22 | 324 | 3100 |
| MgO | 3,58 | 417 | 4100 |
| $CeO_2$ | 6,9 | 200 | 600 |
| $Si_3N_4$ | 3,18 | 250 | 4100 |
| $Al_2O_3$ | 3,98 | 359 | 90 |
| $B_4C$ | 2,52 | 448 | 2579 |

### 2.3.1. Silisyum karbür (SiC)

Silisyum karbür (SiC) metal matris kompozitlerde kullanılan seramik özellikli yardımcı malzemedir. Doğada çok fazla olan elementlerden biriside silisyumdur. Yer kabuğunun %25,7'sinde bulunmaktadır. Normal şartlar altında (NŞA) katı formadadır ve koyu gri renge sahiptir. SiC, elektrikli fırında kok kömürünün silisyum dioksitin ile indirgenmesi sonucu oluşan silisyum eldesinde karbon ilavesindeki etkileşim sonucunda meydana gelen bir bileşiktir. Tetrahedra karbon ve silikon atomlarından oluşan SiC, kristal kafes içinde kuvvetli bağlara sahip olup çok güçlü ve sert bir üründür. 800 °C sıcaklığa kadar herhangi bir erimiş tuz, alkali veya asit ile tepkimede bulunmamaktadır. 1200 °C sıcaklıkta silisyum oksit koruyucu kaplama oluşturur. Bu koruyucu kaplama özelliği 1600 °C sıcaklığa kadar devam eder.

Silisyum karbürün genel karakterleri şu şekildedir; düşük yoğunluklu ve termal genleşme özellikli, yüksek termal iletkenlik ile yüksek oranda sertlik, yüksek kapasitede elastisite modülü ve termal şok direncidir (Özsarı, 2018).

Son yüzyılda teknolojinin gelişmesiyle SiC çok kaliteli mekanik özellikleri olan yüksek özellikli seramik halini almıştır. Silisyum karbür iyi bir aşındırıcıdır. SiC elektrik iletkeni yapılabilmekte olup ayrıca elektronik bileşenler, alev ateşleyicileri ve rezistanslı ısıtma uygulamaları alanları vardır.

### 2.3.2. Bor karbür ($B_4C$)

Bor nitrürden ve elmastan sonra en sert üçüncü malzeme olarak bor karbür bilinmektedir. Doğada yalnız olmadığından dolayı çok sert malzemedir. Bor madeninin yan maddesi olarak 19. yüzyılda tesadüfen keşfedilen ve 1930 yılından sonra üzerinde detaylı bir şekilde çalışılmaktadır. İlk kez Ridgway tarafından 1934 yılında amonyağın borik oksit ile reaksiyon neticesinde saf bor nitrürü bulmuştur. Bor karbürü de aynı şekilde karbon ile karıştırdıktan sonra yüksek sıcaklık meydana gelmiştir. Ridgway, işlemlerden sonra $B_4C$ veya $B_5C$ bulduğunu belirtmiştir. Kimyasallara karşı gösterdiği yüksek direnç, düşük yoğunluğu, mukavemet göstermesi, nötron emme kabiliyeti benzeri üstün özelliği sayesinde aşındırıcılar, zırh

uygulamaları, kesici ve delici uçlar, nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu, gibi birçok farklı alanı vardır (Yakut, 2015).

### 2.3.3. Cam tozu

Cam; saydam, ışığı düzgün kıran, biçimsiz iç yapılı, güneş radyasyonuna geçirimli, dış etkenlere karşı dayanıklı, yüksek sertlikte bir malzemedir. Ana öğesi saydamlık karaktere sahip, dağılmış ve erimiş halde bulunan silisyum dioksit ($SiO_2$)'tir (Yüksel, 2009).

Cam keşfedilen ve üretimi yapılan en eski ürünlerdendir. Günümüze kadar yapılan arkeolojik kazılarda elde edilen en eski cam çeşidi M.Ö.5500 yıllarında Mısır'a aittir (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 2012).

1890'dan sonra camın gelişimi, üretimi ve kullanımı hızla artmıştır. 1902'de Irving W. Colburn, pencere camının seri üretimini sağlayan düz cam çekme makinesini icat etmiştir. Seri üretim yapma amacıyla mekanik teknoloji, Sanayi Devrimi'nin son safhalarında, Michael Owens'ın 1903'te saatte 2500 şişe üretebilen otomatik bir şişe üfleme makinesi buluşu ile başlamıştır. 1959'da Sir Alastair Pilkington, devrim niteliğindeki düz cam üretim tekniğini icat etmiştir. Metodu, kalay veya kurşun gibi erimiş metalin düz yüzeylerine camın dökülmesini içermektedir. Pilkington yöntemi bugün cam üretiminin %90'ında kullanılmaktadır (Karasu ve ark., 2017).

Cam; kum (silika) kireçtaşı, iz elementler, feldspat ve soda külünden üretilir. 1500- 1600°C sıcaklıkta kum, dolamit, feldspat, soda, kalker ve sodyum sülfat belli oran miktarınca hazırlanır ve karıştırılır daha sonra da cam fırınlarında eritilir. Elde edilen yapı üfleme, pres, dökme-silindirleme, yüzdürme, haddeleme, savurma veya akıtma yöntemlerinden birisi uygulanarak istenilen şekil aldırılır (Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, 2012). Cam sırası ile harman hazırlanması, eritme işlemi, biçimlendirme işlemi ve tavlama işlemi uygulanarak üretilmektedir.

Cam, tabiatta inorganik ve metalik olmayan, yanmaz özelliklere sahip ve aşınmaya karşı yüksek dirençli dayanıklı bir üründür. Ekseriyetle kırılgandır ve pürüzsüz yüzey dokusundan dolayı su tutmayan fiziki özelliği vardır (Mehta ve Ashish, 2019).

Yaygın olarak kullanılan cam çeşitleri şöyledir:

Soda-kireç camlar: Doğada en fazla olan cam türüdür, ucuzdur ve geri dönüşüme kazandırılabilir (Hasanuzzaman ve ark., 2016). Düz cam, pencere camları, cam kaplar, cam ev eşyaları ve aydınlatma malzemelerinde ürünlerinde kullanılır (Kılıçoğlu, 2013).

Kurşun içerikli camlar: Kirecin kurşun oksit ile dönüştürüldüğü soda-kireç camına benzer. Radyasyon korumasında kullanım için kullanılmaktadır (Hasanuzzaman ve ark., 2016).

Borosilikat camlar: Cam ağ oluşturucusu için önemli oranda silika ve bor oksit içerir (Hasanuzzaman ve ark., 2016). Fırın kaplarında, borularda laboratuvar gereçlerinde ve projektörlerde kullanılmaktadır (Kılıçoğlu, 2013).

Alüminosilikat camlar: Genel anlamda ağırlıkça %52–58 $SiO_2$, ağırlıkça %15–25 $Al_2O_3$ ve ağırlıkça %4–18 CaO içeren bir bileşim içerikli üçlü bir sistemden hazırlanır. Termometreler, tencere, yanma tüpü, halojen lambalar, fırınlar ve cam elyafı izolasyonunda kullanılır (Hasanuzzaman ve ark., 2016).

Son yıllarda, dünya hızla gelişen sanayileşmeyle beraberinde sanayi atık yönetiminin çevresel sorunlarına ilişkin endişeleri artırmıştır (Si ve ark., 2020). Cam malzemelerin yoğun kullanımından dolayı dünyada fazla miktarda atık cam birikmeye başlamıştır. Bu atıkların çoğu düzenli depolama sahalarına gömülmüştür ve gömülme ise elverişsizdir. Çünkü cam vb. katı atıklar biyolojik yapıda olmadığı için doğada parçalanmazlar ve bu durumda zamanla çevre açısından olumsuz bir hal almaya başlar. Cam vb. katı atıkların mümkün olduğu kadar en az düzeye indirilmesi gerekir bu da tekrar kullanılması veya geri dönüştürülmesiyle olmaktadır. Bu yöntem de sürdürülebilir kalkınma için yeni bir çözüme yöntemleridir (Al-Obeidy ve Khalil, 2016).

## 2.4. Silisyum karbür, Bor karbür ve Cam tozuyla İlgili Çalışmalar

Pawar ve Utpat (2014), yaptıkları çalışmada, ağırlıkları sırasıyla % 2,5, % 5, % 7,5 ve % 10 SiC yardımcı malzemesi ve Alüminyum kullanarak karıştırma ve döküm yöntemiyle kompozit numuneler üretmişlerdir. Ürettikleri ürünlerin mikroyapı ve sertlik analizleri yapmışlardır. Sertlik değerinde elde edilen en iyi netice % 10 SiC ilaveli üründen çıkmıştır. Bu çalışmada yardımcı elemanın matris içerisinde homojen olarak dağıldığını gözlemlemişlerdir.

Verma ve ark. (2017), çalışmalarında Al356 matrisine yardımcı malzemeden %10 ağırlık oranında $Al_2O_3$ ve silisyum karbür ilavesi yaparak karıştırmalı- döküm yöntemiyle kompozit ürün üretmişlerdir. Ürettikleri malzemelere sertlik, basma, mikroyapı analizi, darbe ve kesme, çekme testlerine tabii tutulmuşlardır. Mikroyapı analizinden elde edilen sonuçta yardımcı elemanların matris içinde homojen dağıldığını tespit etmişlerdir. Al356/SiC kompozitin çekme direncinin, darbe direncine ve kesme direncinden yüksek olduğunu ifade etmiştir.

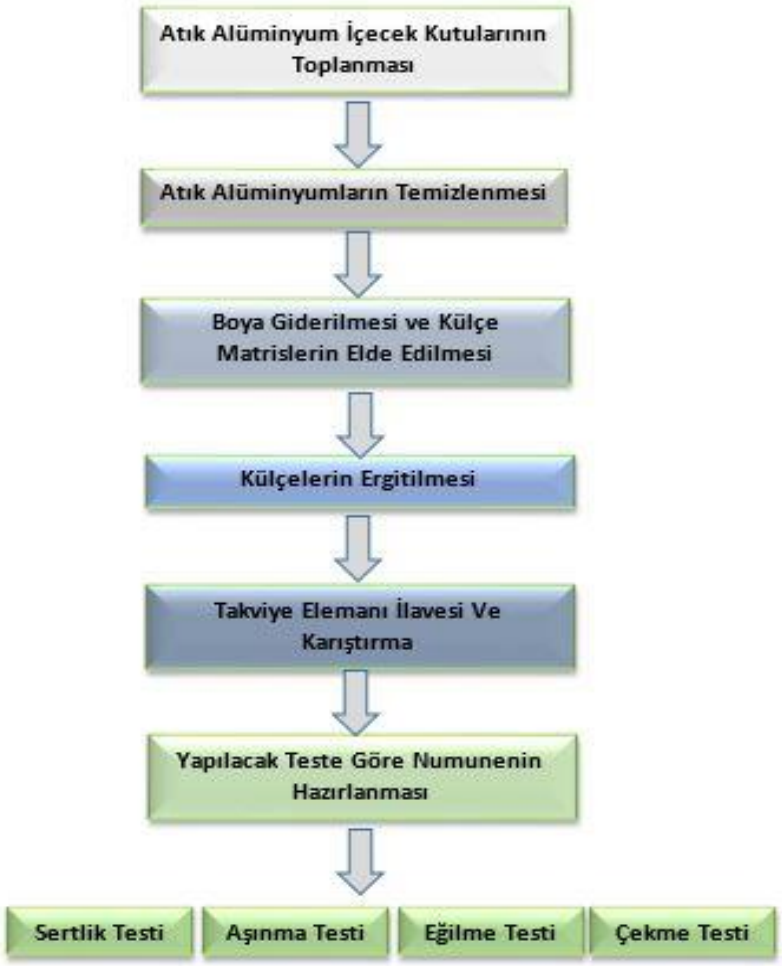
Hindi ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada karıştırma ile döküm metodu kullanarak, sırayla % 2, % 4 ve % 6 oranlarında Silisyum karbür parçacıkları, Al 6063 alüminyum alaşımına ilave ederek kompozit ürün elde etmişelerdir. SiC ilavesinin artmasıyla sünme oranın azaldığı ve sertlik- çekme direncinin ise arttığı gözlemlemişler ve darbe direncinin başta arttığı fakat daha sona da SiC ilavesiyle azaldığı gözlenmiştir.

Bajaj (2011), karıştırma döküm usulünü kullanarak yaptıkları çalışmasında, ağırlıkları sırayla % 2.5, %5, %7.5, %10 oranlarında SiC, $Al_2O_3$ ve SiC+ $Al_2O_3$ ilaveli, alüminyum döküm alaşımı (LM6) matrisli kompozit ürün üretimini gerçekleştirmiştir. Üretilen örneklerdeki çekme, sertlik ve darbe deneyleri ile mekanik özellikleri gözlemlenmiştir. İlave edilen oranının artışı ile sertlik, çekme direnci ve darbe direncinde artış olduğunu gözlemlemiştir.

# 3. MATERYAL ve YÖNTEM

## 3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında atık içecek kutularından elde edilen atık alüminyum matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan atık içecek kutularının alüminyum alaşımları 3004 ve 5182 olarak tespit edilmiştir. Takviye malzemesi olarak $B_4C$, SiC ve cam tozu seçilmiştir. $B_4C$ sahip olduğu yüksek aşınma ve sertlik direncinin yanı sıra sahip olduğu düşük yoğunluk özelliği ile bu çalışmada takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça %1, %3 ve %6 oranında, 135 µm boyutlarında $B_4C$ matris içerisine ilave edilmiştir. SiC sahip olduğu üstün fiziksel ve mekanik özellikleri (özellikle yüksek aşınma direnci) nedeniyle tercih edilmiştir ve matrise ağırlıkça %3 ve %6 oranında, ortalama 74 µm tane boyutu ile toz halinde ilave edilmiştir. Cam tozunun sahip olduğu yüksek sertlik özelliği nedeniyle birçok çalışmada yer almıştır (Yazıcı, 2019). Bu araştırmada ağırlıkça 3% ve 6% oranında 210 µm boyutlarında cam tozu takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Atık alüminyumdan elde edilen kompozitlerin üretimi aşağıda yer alan Şekil 3.1 de gösterilmiştir.




Şekil 3.1. Atık alüminyumdan elde edilen kompozitlerin üretimi

Şekil 3.1.'de verilen alüminyum matrisli kompozit elde etme akış şeması verilmiştir. Bu şemaya göre deneyde kullanılmak üzere aynı ölçüde sahip yaklaşık 1500 adet atık içecek kutusu toplanmıştır. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi için düşük maliyet ve uygulama kolaylığı gibi avantajları nedeniyle karıştırmalı döküm yöntemi bu çalışmada tercih edilmiştir. Alüminyum matrisli kompozitlerin elde edilmesi için toplanan içecek kutuları suyla yıkanarak kurutulmuşlardır. Külçeler halinde matris malzemesi elde edilmesi için ön ergitme düzeneği kurulmuştur. Ergitme işleminde elde edilen potadaki sıvı alüminyum, metal külçe halindeki kalıplara dökülerek alüminyum külçeler elde edilmiştir.

Alüminyum matrisli kompozit üretiminde kullanılan ağırlıkça takviye elemanı ilavesi için, ilk öncelikle külçeler hassas terazi kullanılarak ağırlıkları ölçülmüştür.

Kompozit üretiminde kullanılan ağırlıkça yüzde takviye oranı alüminyumun ağırlığına yüzde oranı ile hesaplanmıştır ve takviye elemanlarının miktarı hassas terazi ile ölçülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonrası ergitme fırınında külçe alüminyumun ergitilmesinin ardından, sıvı haldeki matrise belirlenen oranlarda takviye elemanı ilave edilmiştir ve mekanik karıştırma işlemi uygulanmıştır. Ardından elde edilen sıvı haldeki malzeme belirlenen kalıba dökülerek alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Alüminyum matrisli kompozitler, metalografik numune hazırlama cihazları ve yöntemleri; takviye oranının mekanik özelliklere etkisini, mikroyapılarını incelemeleri için numunelerinin hazırlanması, yapılacak testlere uygun ölçülerde numune hazırlanması aşamalarında kullanılmıştır. Alüminyum matrisli kompozitler için hazırlanan numunelerde yoğunluk ölçümlerinin yapılmasının yanı sıra sertlik, çekme, eğme ve aşınma testleri uygulanmıştır.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1 Matris malzemesinin hazırlanması

Alüminyum içerikli kompozit üretiminde kullanılmak üzere doğada atıl durumda bulunan alüminyum içerikli içecek kutuları belirlenmiş, farklı yapıdaki maddelerden arındırılmak amacı ile temizlenmiştir. Atık içecek kutuları Şekil 3.2. de gösterildiği gibi bir araya getirilip presleme işlemi ile ön ergitme işleminde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



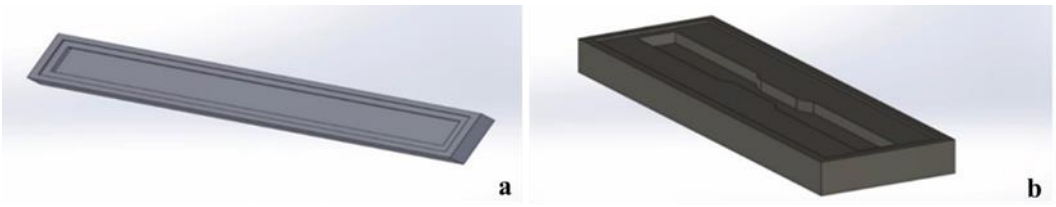
Şekil.3.2. içecek kutularının ön ergitmeden önce preslenmesi

Ön ergitme işlemi 900 ℃- 1000 ℃ sıcaklıklara kadar ulaşmıştır. Bu işlem sırasında belirtilen sıcaklıklarda atık içecek kutularının ergimeye başlamadan hemen önce üst katmanlarındaki yabancı maddelerin yandığı görülmüştür. Üzerindeki yabancı maddelerden arındırılan sıvı fazdaki alüminyum atık içecek kutuları Şekil 3.3'teki gibi kalıplara dökülerek katılaşması sağlanmıştır.

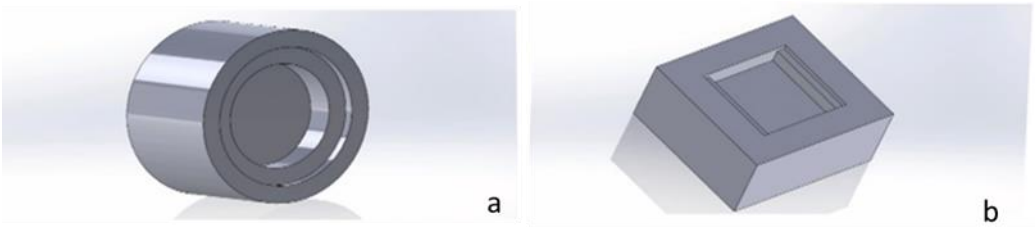


Şekil 3.3. Atık kutuların ergimesi ve üst tabakalarındaki yabancı maddelerin ayrıştırılması

Ön ergitme sonrasında deney sırasında kullanılacak olan kalıpların belirli ASTM standartlarına göre tasarımları yapılmıştır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te kalıpların üç boyutlu modellemeleri gösterilmiştir.




Şekil 3.4. a) Eğilme testi için ASTM D790 kalıp tasarımı b) Çekme testi için ASTM D 638-14 kalıp tasarımı,




Şekil 3.5. a) Aşınma testi için ASTM G99-17 kalıp tasarımı, b) Sertlik testi için ASTM D785-08 kalıp tasarımı

### 3.2.2 İşlem parametrelerinin belirlenmesi

Bu çalışmada karıştırmalı döküm metodu kullanılarak kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarında SiC, $B_4C$ ve cam tozu takviye elemanlarının ergimiş alüminyum içerisine ekleme şekli ve ekleme işleminin ardından karıştırırken; hız, süre, sıcaklık ve ardından dinlendirme gibi işlem parametrelerinin etkisi saptanmıştır. Gözlemlenen araştırmalar neticesinde deneyler sırasında kullanılmak üzere takviye oranları %3 ve %6 olarak belirlenmiştir. Ek olarak $B_4C$ takviye malzemesinden %1 oranında Al matrisli kompozit üretilmiştir.

Karıştırma döküm yöntemiyle kompozit üretiminde; takviye ilave şekli, karıştırma hızı, karıştırma süresi, takviye ilave ve karıştırma sıcaklığı gibi parametreler etkin rol almaktadır. Bu çalışmada Çizelge 3.1'de gösterilen parametreler kullanılmıştı.

Çizelge 3.1. İşlem parametreleri çizelgesi

| Takviye Malzemesi | Takviye % ağırlık oranı | Takviye ilave şekli | Mekanik karıştırma hızı (dev/dk) | Karıştırma süresi (dk) | Takviye ilave sıcaklığı | Takviye sonrası karıştırma sıcaklığı |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $B_4C$ | %1,3,6 | Üstten | 450 | 10 dk | 550-600 ºC | 700 ºC |
| SiC | %3, %6 | Üstten | 450 | 10 dk | 550-600 ºC | 700 ºC |
| Cam Tozu | %3, %6 | Üstten | 450 | 10 dk | 500-550 ºC | 700 ºC |

### 3.2.3 Takviyeli kompozitlerin üretimi

Takviye elemanı olarak kullanılan SiC, $B_4C$ ve cam tozları oranı belli bir değeri aştıktan sonra karışım içerisindeki topaklanmanın kayda değer bir artış gösterdiği karışımın homojen yapısının bozulduğu yapılan literatür çalışmasında saptanmıştır (Yılmaz, 2019). Karışımdaki homojen yapının olumsuz etkilenmemesi adına takviye oranı miktarı ağrılıkça %3 ve %6 olarak belirlenmiştir. Ek olarak $B_4C$ takviye malzemesinden %1 oranında kompozit malzeme üretilmiş ve mekanik testlere tabi tutulmuştur.

Ön ergitme işlemi sonucunda ortaya çıkan, yabancı maddelerden arınan sıvı fazdaki alüminyum önceden üretimi yapılmış olan kalıp içerisine dökülmüştür. Sıvı haldeki alüminyumun Katılaşması sağlandıktan sonra hassas terazi yardımıyla ağırlığı ölçülüp 550 gr alüminyum blok elde edildiği tespit edilmiştir. Elde edilen alüminyum blok, ergitme fırınında bulunan potaya sığmayacağından, KESMAK kesme cihazı yardımıyla potaya sığacak şekilde kesimi sağlanmıştır. Kesim, her bir takviye oranından 3 adet olmak üzere toplamda 15 adet numune elde edilmesi amacıyla yapılmıştır.

Takviye elemanı olan SiC ve $B_4C$, 1000 ºC'de 210 dakika süresince oksitlendirmeye tabii tutulmuş, cam tozu ise 500 ºC'de 120 dakika süresince ısıtma işlemi yapılmış ve takviye oranları göz önüne alınarak hassas terazide ölçülüp hazırlanmıştır.

Matris malzemesi, sıcaklığı önceden 700 ºC 'ye yükseltilip ergime işlemi için hazır hale getirilmiş olan ergitme potasına konulmuştur. Karışım sırasında alüminyum

matris ve takviye elamanının homojen dağılımını sağlamak için sıcaklık 550-600 ºC ‘ye indirilmiştir. Ergiyik alüminyum matris içerisine farklı zaman aralıklarında düzenli olarak eklenen takviye elemanları her ekleme işlemi sonrasında 450 rpm hız ile 60’ar saniye karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işlemi, ergiyik alüminyum matrisine son eklenen takviye elemanları ile 450 rpm hız ile 10 dakika boyunca sürdürülmüştür. Oluşturulan karışımın homojenleşmesi için sıcaklık 700ºC seviyesine getirilerek, karıştırma işlemi yapılmış ve homojenleşen karışım bu sıcaklıklarda dilendirilmeye bırakılmıştır. Dinlendirilmiş olan karışımın üst yüzeyinde oluşan oksit filmi alınmıştır.

CNC Torna ve Freze makineleri yardımı ile meydana getirilen metal kalıplar, karışımı sağlanmış olan takviye elemanı ve alüminyum matris karışımının düzgün bir biçimde dağılmasını sağlamak amacıyla 400-450 ºC aralığında ısıtılmıştır. Ağırlıkça %3 ve %6 oranlarında takviye elemanı ilave edilerek her oran için üçer adet kompozit malzeme üretme işlemi yapılmıştır.

### 3.2.4 Dökümü yapılan alüminyum kompozitlerin çapak temizleme işlemi

Döküm işlemi tamamlanmış olan takviyeli alüminyum matrisleri, yüzey temizleme işlemine tabi tutmak amacıyla çeşitli cihazlardan (CNC Freze ve Torna) yardım alınmıştır. Çekme, eğilme ve sertlik testleri için Maike kalıpçı freze tezgâhı kullanılmıştır. Çizelge 3.2. de kullanılan freze tezgahının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Maike kalıpçı freze tezgâhı teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Tabla Ölçüsü | 254 x 1370 mm |
| X, Y, Z Eksen Hareketleri | 850 x 420 x 430 mm |
| İş Mili Devri Ve Kademesi | 66- 4540 d/dk.,16 kademe |
| Kafa Gövde Üzeri Dönüş Açısı | 360 ˚ |



Şekil 3.6. Freze ile numunelerin temizlenme işlemi

Dökümü tamamlanmış alüminyum kompozitlerin aşındırma deneylerinde kullanılacak numunelerinin, çapak temizlenmesi işlemi endüstriyel sanayilerde kullanılan Optimum TU2304V torna tezgâhı yardımıyla yapılmıştır. Çizelge 3.3 te kullanılan torna tezgahının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Optimum TU2304V torna tezgahı teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Motor | 750 W 230V 50Hz |
| Puntalar arası mesafe | 450 mm |
| Yatak genişliği | 135 mm |
| Hız | 150 - 2.200 dev/dk. |



Şekil 3.7. Torna ile numunelerin temizlenme işlemi

## 3.3. Testler

Alüminyum kompozit numunelerin, döküm ve temizlenme işlemlerinin ardından deneysel çalışmalar safhasına geçilmiştir. Bu deneysel çalışmalar; çekme testi, eğilme testi, aşındırma testi, sertlik testi ve yoğunluk testleri olarak uygulanmıştır.

### 3.3.1. Çekme testi

Deney malzemesi, kontrol edilebilir bir şekilde iki ucundan tutturularak ve çekme kuvveti uygulanarak, plastik deformasyona uğrayıp, kalıcı hasar oluşuna kadar sürdürülen temel mühendislik çalışmasıdır. Bu test ASTM E8 standartlarına göre yapılmış olup, numunenin kopma gerilmesi, uzama miktarı, çekme elastisite modülü ve maksimum gerilmesini öğrenmek amacıyla yapılır. Test için Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Laboratuvarındaki Shımadzu çekme test cihazı kullanılmıştır.

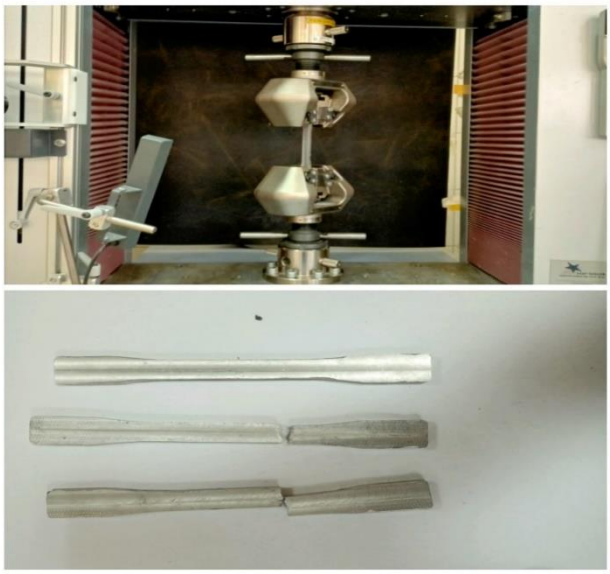
$$\sigma_{çekme} = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

Burada, σ = numune yüzeyindeki gerilme (N/mm$^2$ ), $F$ = numuneye uygulanan kuvvet (N), $A$ = numune alanı

$$\varepsilon_{çekme} = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Burada, Ɛ = numunenin yüzeyindeki şekil değiştirme, L= numunenin gerçek uzunluğu, **δ =** gerinme uzunluğu

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$



Şekil 3.8. Shımadzu Çekme Testi

### 3.3.2.Eğilme testi

Yatay olarak iki temas noktası üzerinde bulunan deney numunesine bir kuvvet uygulayarak eğilmesini sağlamak amacıyla yapılır. Bu test ASTM E-190M standartlarına göre yapılmış olup, eğilme gerilmelerini, numunede oluşan plastik deformasyonu, eğilme modülünü ve birim şekil değiştirmesini belirlemektedir. Test için Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Laboratuvarındaki Shımadzu eğilme test cihazı kullanılmıştır.

$$\sigma_{eğilme} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4)$$

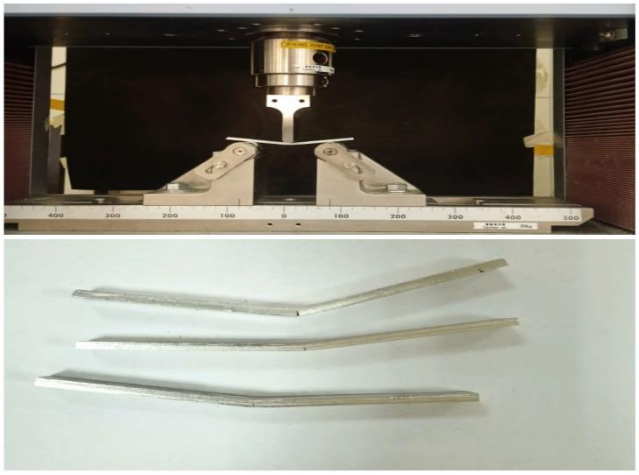
σ = Orta noktada numune yüzeyindeki gerilme (N/mm$^2$ ), L = İki destek arası mesafe (mm), P = Yük sehim eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet (N) ,b = numune genişliği (mm) d = numune yüksekliği (mm)

$$\varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (5)$$

Ɛ = numunenin dış yüzeyindeki şekil değiştirme (mm/mm), d = numune kesitinin yüksekliği (mm), D = numune max. sehimi (mm), L = Destekler arası mesafe (mm)

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad (6)$$

$E_B$ = Eğilme Elastisite Modülü ($N/mm^2$ ), L = Destekler arası mesafe (mm), b = numune kesitinin genişliği, d = Test edilen numune kesitinin yüksekliği (mm), m = Yük sehim eğrisinin başlangıçtaki düzgün doğrudan itibaren eğriye çizilen teğetin eğimi ($N/mm^2$)



Şekil 3.9.Shımadzu Eğilme Testi

### 3.3.3.Aşınma testi

Numuneler bir düzlem üzerine sabitlenip, 0.1 m/s hızla döndürülürken üzerinde aşınma meydana getirecek 10 N kuvvetindeki bir cisim yardımıyla gerçekleştirilen bu deney numunede toplamda 200 metre aşındırma mesafesi ile kütle kaybına bağlı olarak yapısal özellikleri hakkında bilgi verir. Numune yüzeylerinin çizik ve pürüzlülüklerinin giderilmesi adına aşınma deneyi öncesinde, numuneler zımparalama işlemine tabii tutulmuştur. Bu test ASTM G99-17 standartlarına göre yapılmış olup, malzemenin ilk ağırlık ve aşınma sonrası ağırlıklarının ölçümü karşılaştırarak yapılır. Aşınma deneyi için Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malzeme Laboratuvarındaki aşınma testi cihazı kullanılmıştır.




Şekil 3.10. Zımparalama Ünitesi ve Aşınma Testi

### 3.3.4. Sertlik testi

Takviye malzemelerinin alüminyum matrislere ilavesi yapıldıktan sonra etkilerini görmek adına, numune üzerine 500 gr ağırlıktaki yükün 10 saniye boyunca uygulanması ile yapılan bir testtir. Bu test ASTM D785-08 standartlarına göre yapılmış olup malzemenin sertliği hakkında bilgi vermek amacıyla yapılır. Vickers sertlik deneyi kare tabanlı piramit üzerine karşıt yüzeyleri arasında tepeden 136° açılı elmas piramit uç, 10 saniye uygulanan F yükü altında numuneye düşey doğrultuda batırılır. Elmas ucun numuneye batırılmasıyla elde edilen iz köşegenleri kare olarak gözlemlenen piramittir. Sertlik deneyi için Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malzeme Laboratuvarındaki Vickers sertlik testi cihazı kullanılmıştır.

$$HV=1{,}8544\ \frac{F}{d^2} \qquad (4)$$

Denklemde, F = numuneye uygulanan yük (kg), d= ort. köşegen genişliği (mm) d=(d1+d2)/2



Şekil 3.11. Vickers Sertlik Testi

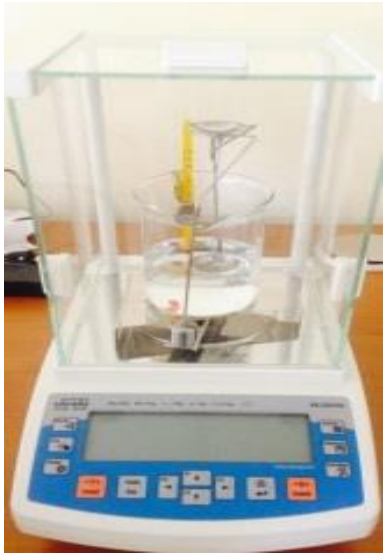
### 3.3.5. Yoğunluk testi

Yoğunluk testi, öncelikle numunenin havada asılı durduğu ağırlığının ölçülmesi ve sonrasında saf su içerisine daldırılarak ağırlığının ölçülmesi ile gerçekleştirilen testtir. Bu test Arşimed prensibi olarak da adlandırılır. Bu test için Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malzeme Laboratuvarındaki Radwag yoğunluk ve hassas terazi ölçme test cihazı kullanılmıştır.

Denklemde yoğunluk hesabı gösterilmiştir.

$$\rho = \frac{m_h}{m_h - m_s} \times \rho_s \qquad (5)$$

Malzeme yoğunluğunu $\boldsymbol{\rho}$ (gr/cm$^3$), saf su yoğunluğu $\boldsymbol{\rho_s}$ (gr/cm$^3$), son olarak $\mathbf{m_h}$ve $\mathbf{m_s}$ sırasıyla malzemenin havadaki ve sıvıdaki ağırlığını(gr) belirtmektedir.



Şekil 3.12.Radwag yoğunluk ve hassas terazi ölçme testi

# 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

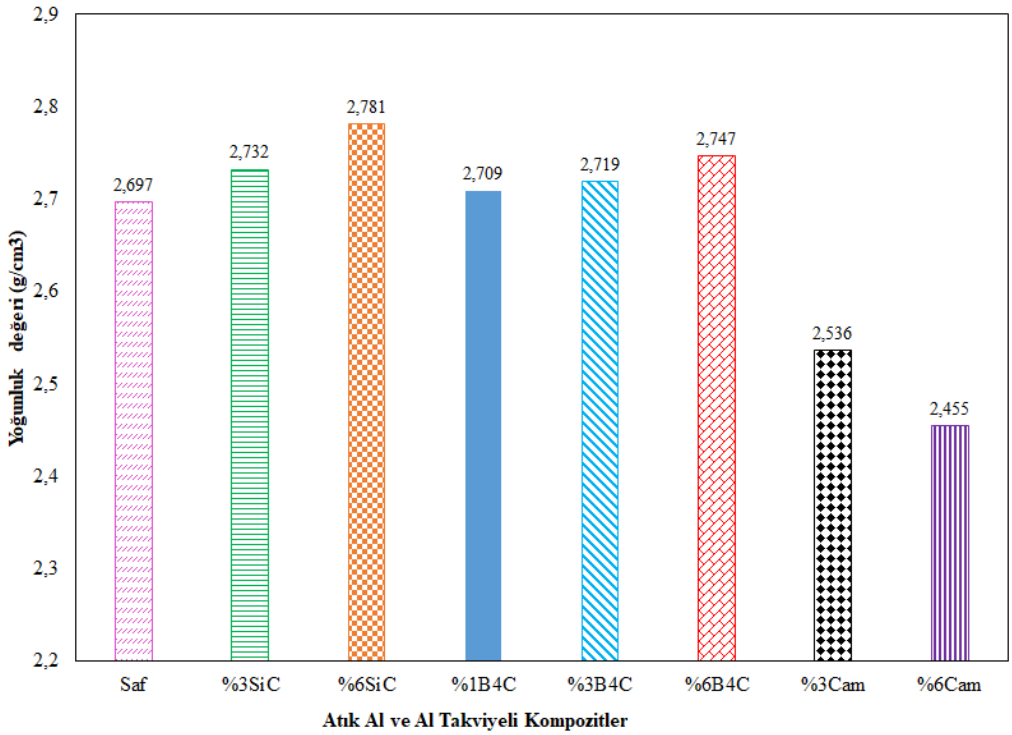
## 4.1. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

### 4.1.1.Yoğunluk sonuçları

SiC, $B_4C$ ve Cam Tozu takviye elamanları ve takviyesiz alüminyum matris elemanının döküm işlemi gerçekleştirilerek yapılan yoğunluk deneyleri sonrasında en yüksek yoğunluğa 2,781 g/cm$^3$ değeri ile %6'lık oranla SiC takviye elemanının sahip olduğu görülmüştür. Cam tozu takviyeli kompozit malzemelerinde cam tozu oranlarının artmasıyla yoğunluklarında gözle görülür bir azalma meydana gelmektedir. Bunun da atık alüminyum yoğunluk değerlerinin cam tozu takviyesinin yoğunluk değerine kıyasla daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Deneyler sonrası değerlere bakıldığı zaman cam tozu takviyesi hariç, takviye elemanı kullanarak oluşturulan kompozitlere kıyasla takviye elemanı kullanmadan oluşturulan alüminyum metal matrislerin daha yüksek değerlerde yoğunluk değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Alüminyum metal kompozitlerin Arşimet prensibine göre ölçülen kompozitlerin yoğunlukları Çizelge 4.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelerin yoğunluklari.

| MALZEME | KARIŞIM ORANI | YOĞUNLUK(g/cm3) |
|---|---|---|
| NUMUNE 1 | AL%0 (Saf) | 2,697 |
| NUMUNE 2 | AL%3SiC | 2,732 |
| NUMUNE 3 | AL%6SiC | 2,781 |
| NUMUNE 4 | AL%1$B_4C$ | 2,709 |
| NUMUNE 5 | AL%3$B_4C$ | 2,719 |
| NUMUNE 6 | AL%6$B_4C$ | 2,747 |
| NUMUNE 7 | AL%3CAM | 2,536 |
| NUMUNE 8 | AL%6CAM | 2,455 |

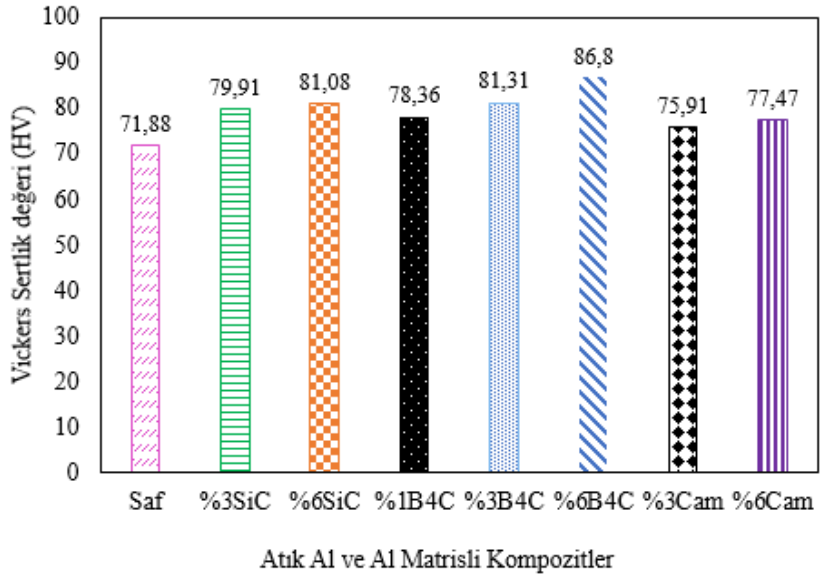



Şekil 4.1. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin yoğunluk ölçüm grafiği

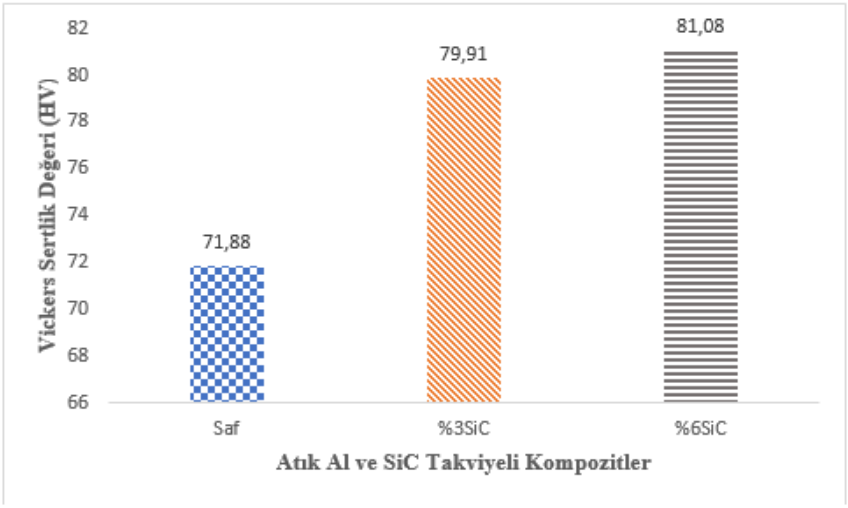
### 4.1.2.Sertlik sonuçları

Sekil 4.2. de döküm alüminyum ve kompozitlerinin vickers sertlik ortalama değerleri verilmiştir. Döküm alüminyuma kıyasla, alüminyuma eklenen takviye elemanlarının alüminyumun sertlik değerinde artışa neden olduğu görülmektedir. Akçay ve arkadaşlarının yapmış olduğu araştırmada SiC takviye oranın artışı ile Al matrisli kompozitlerde sertlik artışının arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki SiC takviyeli kompozitlerin sertlik sonuçları SiC takviyesinin artmasıyla, doğru orantılı artmaktadır ve bu nedenle Akçay ve arkadaşlarının yaptığı çalışmayla uyuştuğunu söylemek mümkündür (Akçay ve ark., 2022). Ayrıca, Baydaroğlu ve Pul'un yapmış olduğu çalışmada SiC ve $B_4C$ takviyelerinin eklenmesinde yüksek sertlik değerine sahip olan kompozit $B_4C$ takviyeli Al matrisli kompozittir (Pul ve Baydaroğlu 2022). Böylece, bu tez çalışmasında elde edilen en yüksek sertlik sonucunun %6 $B_4C$ takviyeli kompozitte olmasıyla uyumlu olduğu belirtilebilir. Yazıcının yapmış olduğu cam takviyeli Al matrisli araştırmada olduğu gibi cam tozlarının eklentisiyle Al matrisli kompozitlerin sertlik değerlerinde artış gözlemlenmektedir (Yazıcı, 2019).

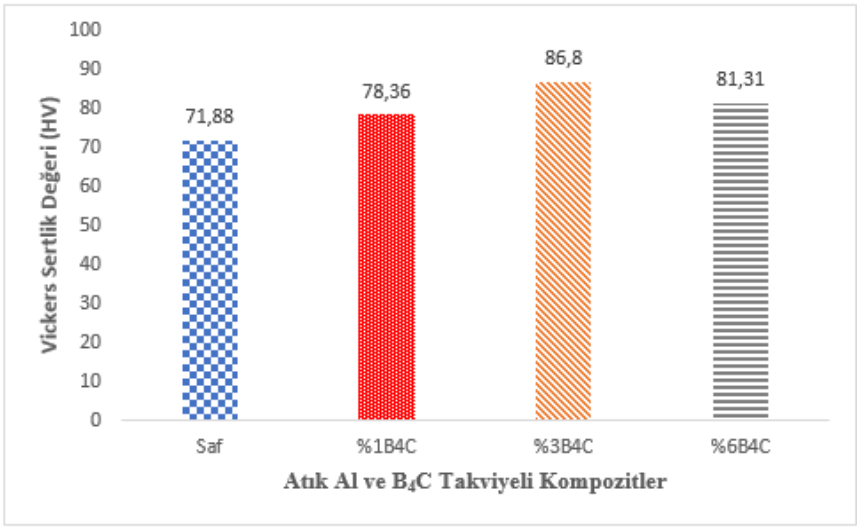
Ortalama vickers sertlik değerleri karşılaştırıldığında en düşük sertlik değeri %3 Cam tozu ilavesinde görülürken, en yüksek sertlik değeri %6 $B_4C$ takviyesinde görülmektedir. Saf malzeme olarak adlandırılan matris malzemesinin sertlik değeri 71.88 Hv olarak ölçülmüş olup üretilen tüm takviyeli kompozitlerin sertlik değerlerinde artış elde edilmiştir.



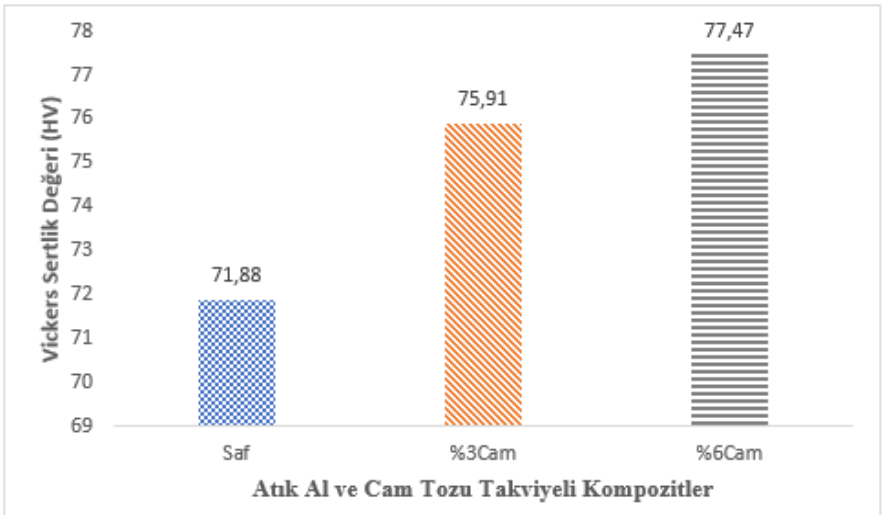

Şekil 4.5. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği




Şekil 4.6. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği




Şekil 4.7. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği

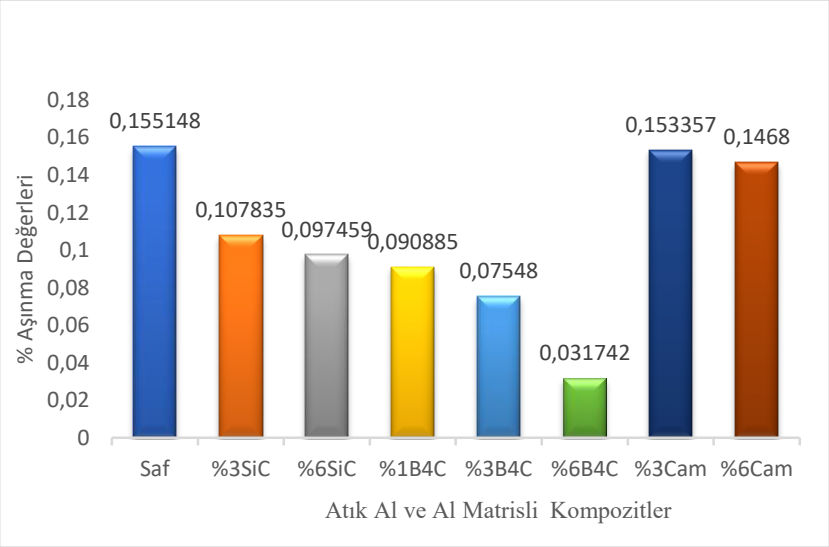



Şekil 4.8. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri grafiği

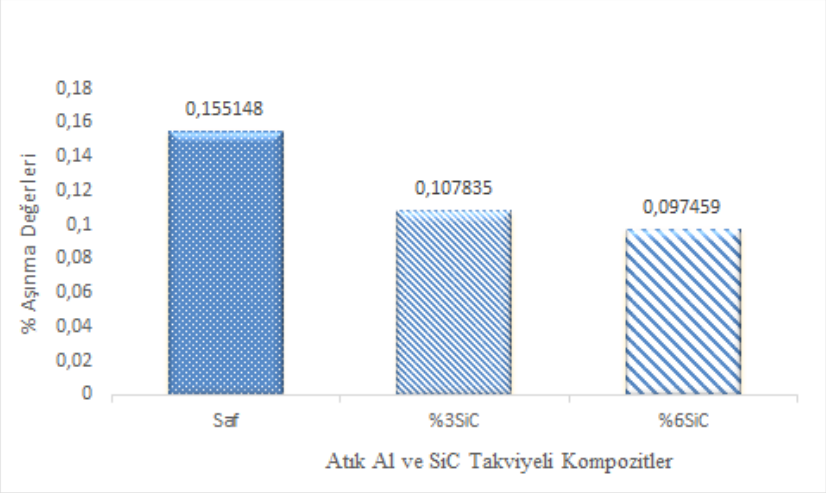
### 4.1.3. Aşınma sonuçları

Aşınma testine ait ortalama aşınma grafiği Şekil 4.3.'de görülmektedir. İlk ve son ağırlık ölçümü hesaplanarak ağırlık kaybı ile aşınma değerleri hesaplanmıştır. Takviye elemanlı kompozitler ile takviyesiz atık alüminyum dökümü karşılaştırıldığında; $B_4C$ takviye elemanlı kompozitlerde, takviyesiz alüminyum matrisine kıyasla daha az aşınmaya bağlı kütle kaybı değerleri görülmektir. Diğer önemli bir nokta ise, %6 $B_4C$ takviyeli kompozit, gözlemlenen en düşük aşınma miktarına sahip olmasıdır. Seçilmiş´ in yaptığı araştırma sonucuna göre artan $B_4C$

takviye oranın artması ile aşınma miktarında azalmayı sağladığı belirtilmektedir (Seçilmiş, 2017). Saf alüminyum içerisine eklenen %3 lük SiC ve Cam tozu takviyeleri karşılaştırıldığında SiC eklentisinin daha düşük aşınma oranı gösterdiğini söylemek mümkündür. Şimşek ve diğerlerinin yaptığı çalışmada artan SiC takviye oranıyla aşınmadaki ağırlık kaybının azaldığı gözlenirken (Şimşek ve diğerleri, 2020), benzer şekilde bu tez çalışmasında artan SiC ilavesiyle aşınmadaki ağırlık kaybının azaldığı görülmektedir. Ancak, %6 SiC ilavesinin, %6 Cam ilavesinden daha düşük aşınma oranına sahiptir. Bu sonuçlardan yola çıkarak aşınma davranışına SiC takviyesinin Camdan daha etkili olduğu sonucuna ulaşmak mümkündür.

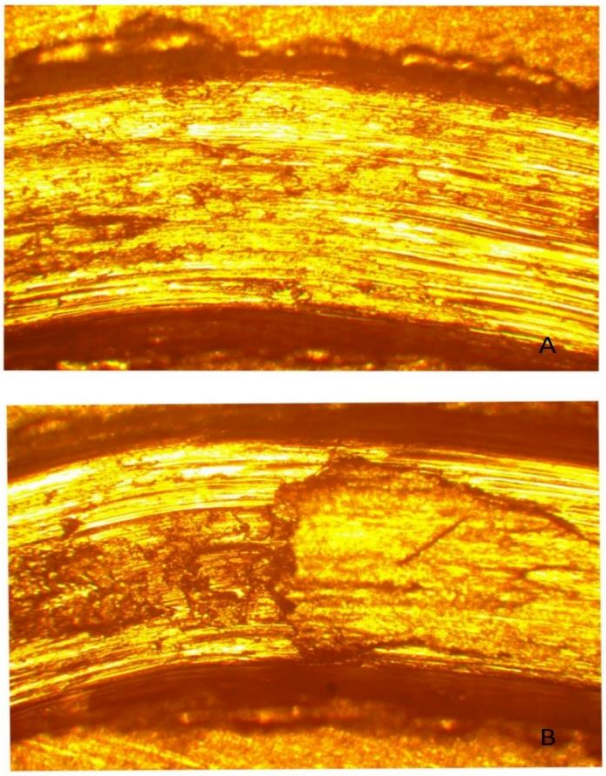



Şekil 4.9. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin aşınma grafiği

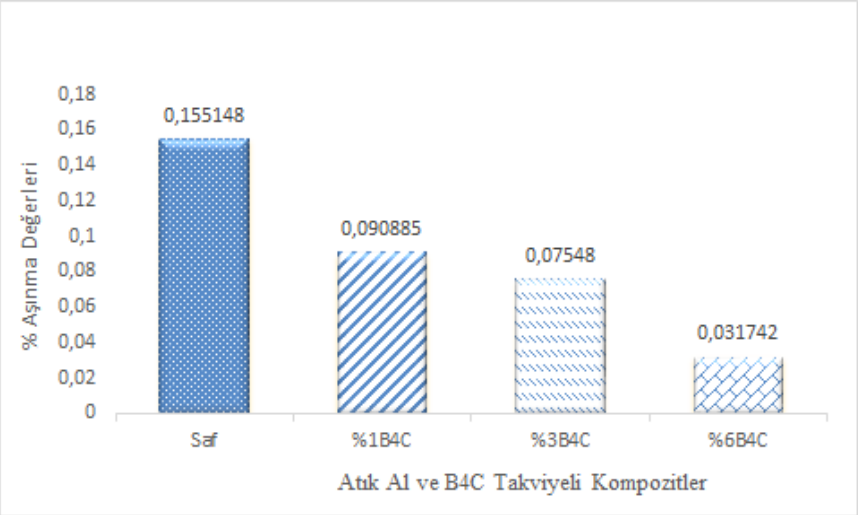



Şekil 4.10. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin aşınma grafiği

Bu çalışma için numunelerin yüzeyinde oluşan aşınma mekanizmaları da ters metal mikroskobunda alınan görüntüler ile değerlendirilmiştir. Şekil 4.11´ de verilen SiC takviyeli numunelerin aşınma izleri verilmiştir. Alınan görüntülerden %6 SiC da gerçekleşen aşınma miktarının %3 SiC takviyeli kompozite oranla az olmasının temelinde sert SiC tozları matris sınırlarına ve boşluklarına yerleştikçe aşınmaya karşı ciddi direnç göstermektedir. Şekil 4.11 A'da %3 SiC takviyesi olan numuneden alınan görüntülerde yüzeyde olan sıyrılmalar parlak bölgelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Buna karşın Şekil 4.11 B'de %6 SiC olan numune yüzeyinde parlamaların oldukça azaldığı görülmektedir. Bu durum sıyrılmaya bağlı aşınmalarında oldukça azaldığı ve matris boşluklarını ve tane sınırlarını SiC tanecikleri doldurarak aşınmaya karşı direnci en üst seviyeye çıkmıştır. Bu durum ortalama aşınma miktarının SiC takviyesine göre değişimini gösteren Şekil 4.10'da verilen grafik ile de desteklenmiştir.

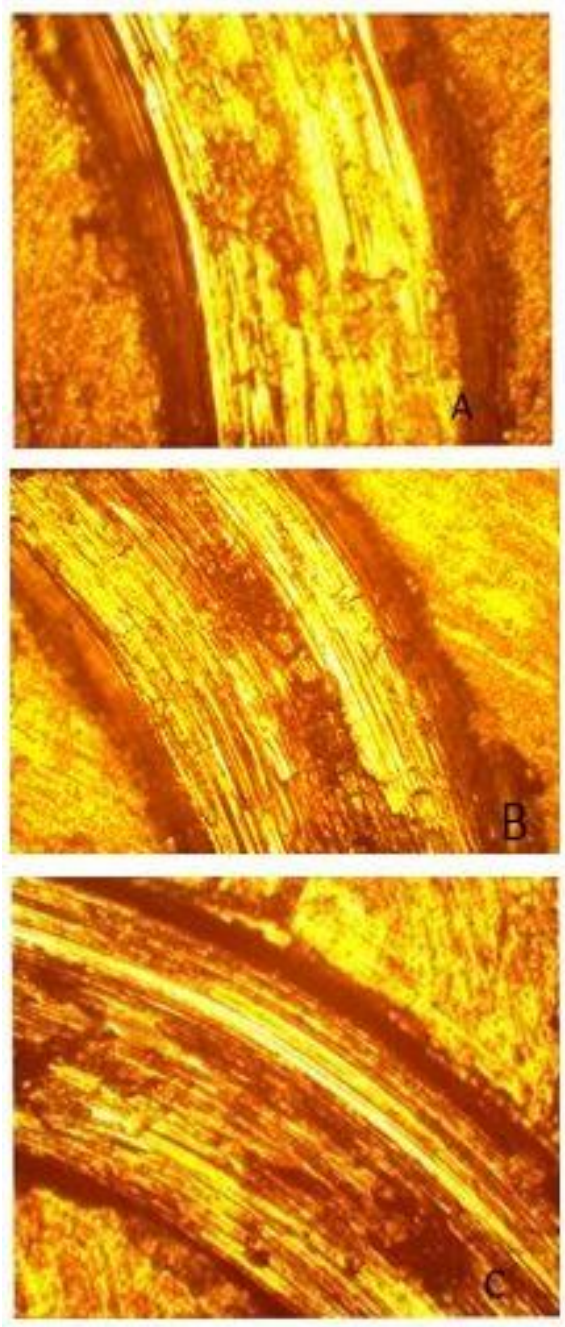



Şekil 4.11. SiC takviyeli kompozitlerin 50X büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü aşınma izleri A) %3 ve B) % 6.

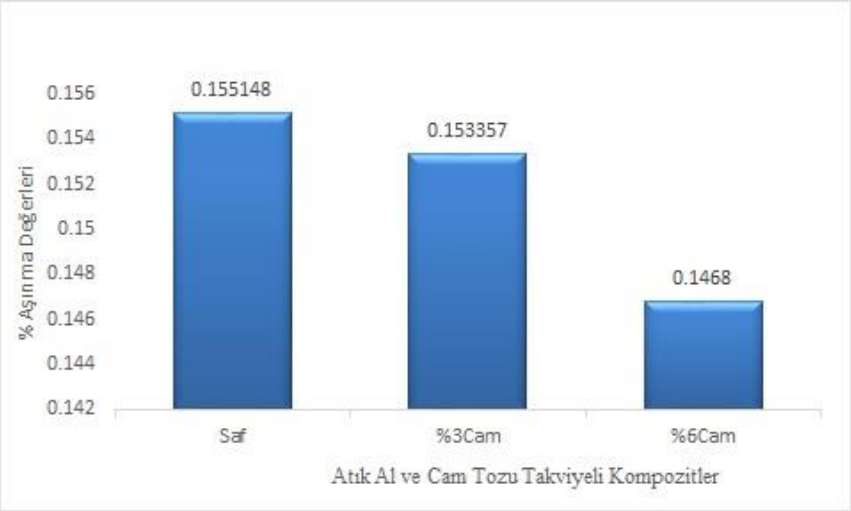



Şekil 4.12. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin aşınma grafiği

Tez çalışmasında atık alüminyum malzemelerine ikinci takviye elemanı olarak kullanılan $B_4C$'ye ait ortalama aşınma ağırlığı ve takviye miktarına ait grafik şekil 4.12 de verilmiştir. Literatürdeki bir çok çalışmada $B_4C$ katkı miktarı arttıkça aşınma miktarında azalma gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan %1 , %3 ve %6 $B_4C$ takviyeli numunelerde karışım içerisindeki $B_4C$ takviyesi artarken aşınmaya bağlı kütle kaybı değerleri azalma göstermiştir. Doğası gereği yeryüzündeki en sert malzemelerden olan $B_4C$ kullanıldığı alüminyum matrisin aşınması ciddi oranda azaltmıştır. Yüksek sertlik ve hafif malzeme ihtiyacını büyük oranda karşılayan $B_4C$ katkılı alüminyum matrisli malzemeler havacılık ve uzay teknolojisinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 4.13 de verilen farklı oranlarda $B_4C$ takviyeli kompozitlerin aşınma izlerinin ters metal mikroskopu görüntüleri incelendiğinde, eklenen takviye oranıyla birlikte yüzeyde aşınma izlerinde meydana gelen yapışmalarda azalma gözlemlenmiştir. 6% oranındaki $B_4C$ takviye oranın etkisi daha belirgin olduğunu söylenebilir.

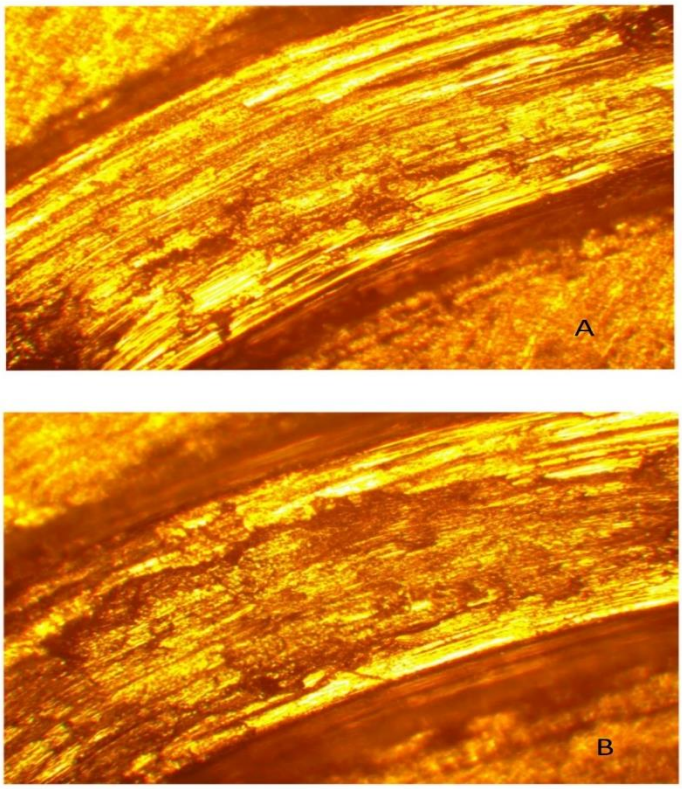



Şekil 4.13. $B_4C$ takviyeli kompozitlerin 50X büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü aşınma izleri A) %1, B) %3 ve C) %6.




Şekil 4.14. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin aşınma grafiği

Çalışmada son katkı malzemesi olarak cam tozu kullanılmıştır. Şekil 4.14 verildiği üzere ortalama aşınma miktarı %6 cam takviyesinde çok az miktarda azalmış olsa da %3 takviyesinde saf matrise yakın değerler vermiştir. Cam tozu ilavesinin alüminyum matrisin aşınmaya bağlı kütle kaybı değerlerini azalttığını söylemek mümkündür. Şekil 4.15 de %3 ve %6 oranında eklenen cam tozu takviyeli kompozitlerin ters metal mikroskopu görüntüleri incelendiğinde, %6 cam tozu takviye miktarında yüzeye yapışmış aşınma yüzeyleri gözlemlenirken %3 cam tozu takviye oranında daha az oranda yapışmalar gözlemlenmiştir.

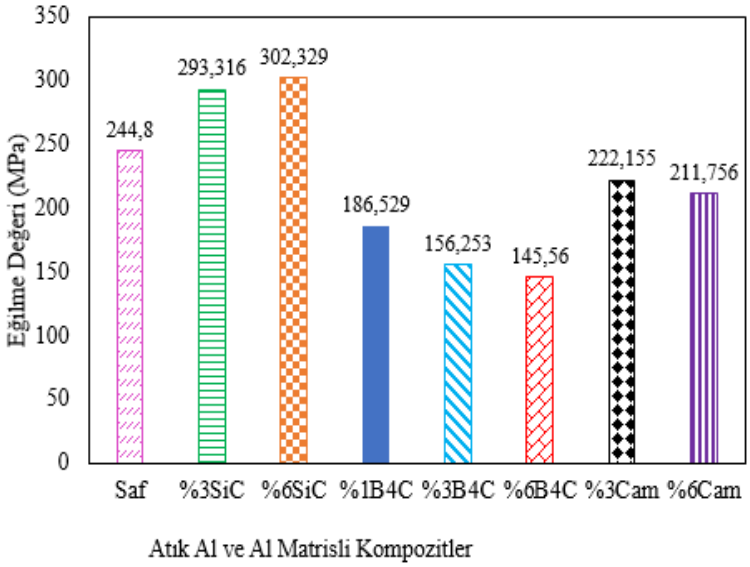



Şekil 4.15. Cam tozu takviyeli kompozitlerin aşınma izlerinin 50X büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü A) %3 ve B) %6.

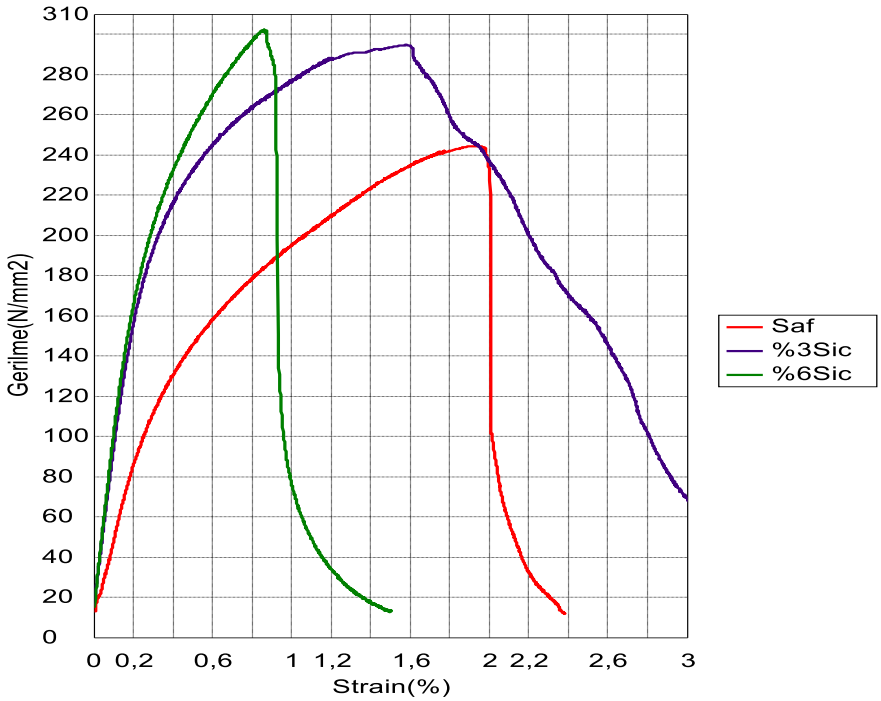
### 4.1.4.Eğilme Sonuçları

Takviye malzemeleri ile elde edilen kompozitlerin üretimi sonrasında yapılan eğilme deneylerinin sonuçları incelendiğinde; %6 SiC takviye oranının diğer takviye oranına göre daha yüksek gerilme/yüzde birim şekil değiştirme değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. %6 SiC takviye oranının eğilme gerilme/yüzde birim şekil değiştirme değerinin 302,329 MPa olduğu gözlemlenirken %3 SiC takviye oranının eğilme gerilme/yüzde birim şekil değiştirme değerinin 293,316 MPa olduğu görülmüştür. Buna göre takviye oranı arttıkça SiC takviye malzemesinin eğme gerilmesi değerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. $B_4C$ takviye elemanı ile üretilen alüminyum matrislerin takviye oranı %1´te eğilme gerilme/yüzde birim şekil değiştirme değerinin 186,529 MPa iken %3´lık oranda eğilme gerilme/yüzde birim şekil değiştirme değerinin 156,253 MPa olduğu ve $B_4C$ %6 takviye miktarında 145,56 MPa saptanmıştır. Buna göre takviye oranının artmasıyla eğilme değerlerinin azaldığı

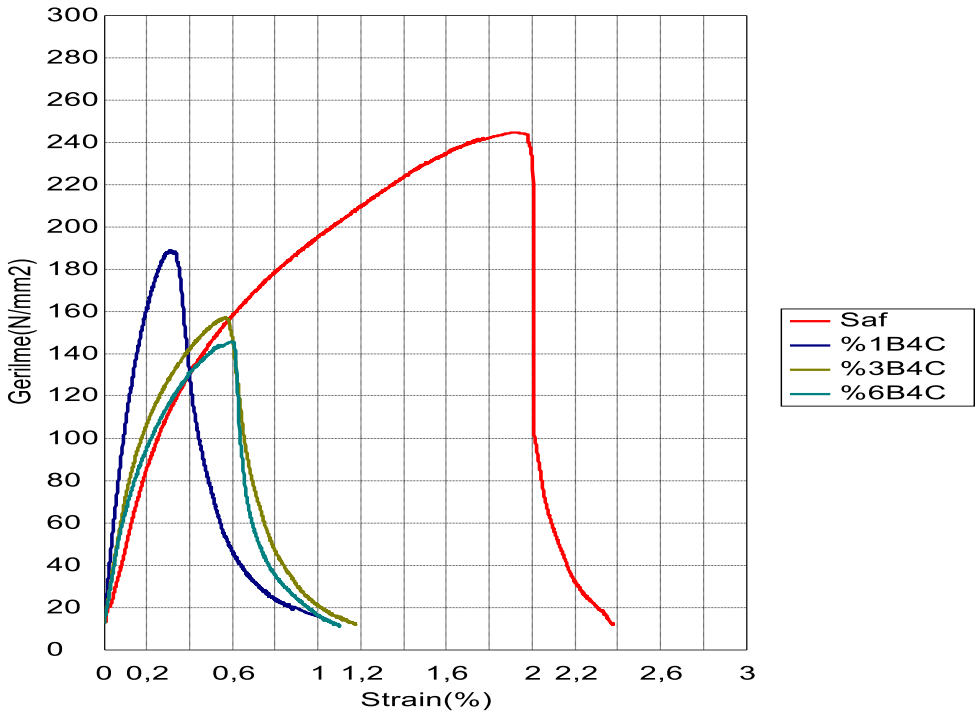
gözlemlenmiş olup, matris numunesi ve takviye malzemesindeki yapısal bağların uygun seviyede olmadığı sonucuna varılmıştır (Yakut, 2015). Cam tozu takviye malzemesi ile elde edilen kompozitlerde %3 takviye oranında 222,155 MPa değeri elde edilirken %6 takviye oranında 211,756 MPa değeri saptanmıştır. Şekil 4.4. referans alaşım ve kompozitlerin eğilme test sonuç grafiklerini göstermektedir.



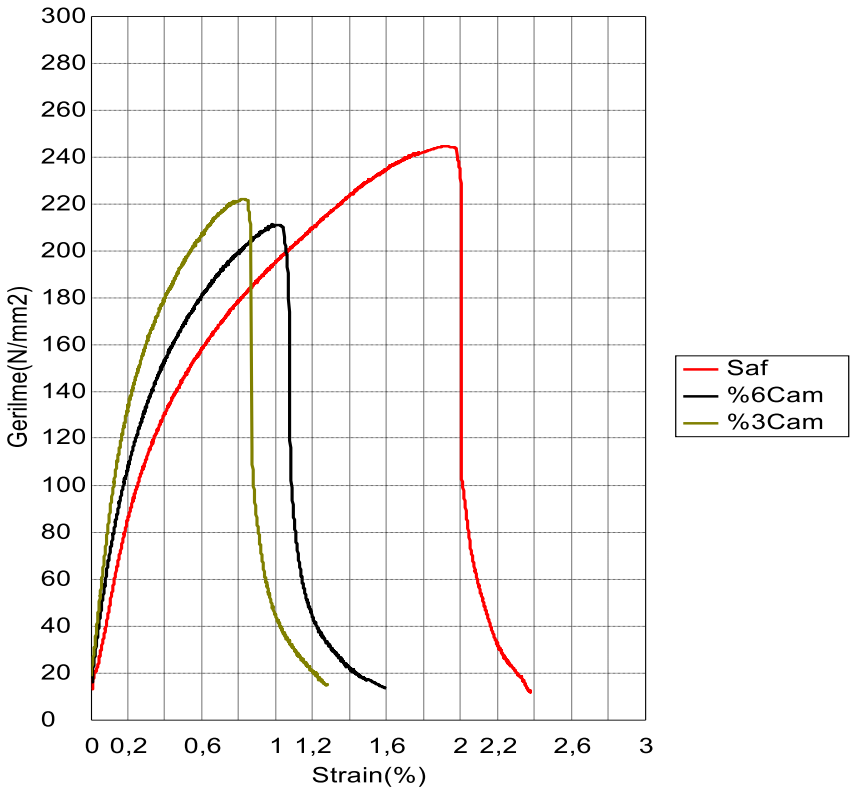

Şekil 4.16. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri




Şekil 4.17. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri




Şekil 4.18. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri

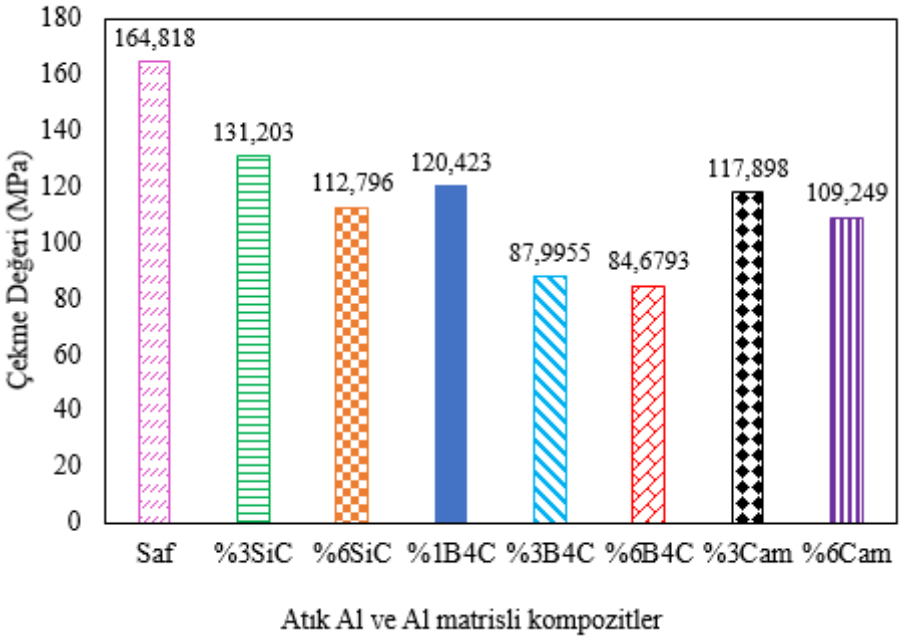



Şekil 4.19. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin eğilme test sonuç grafikleri

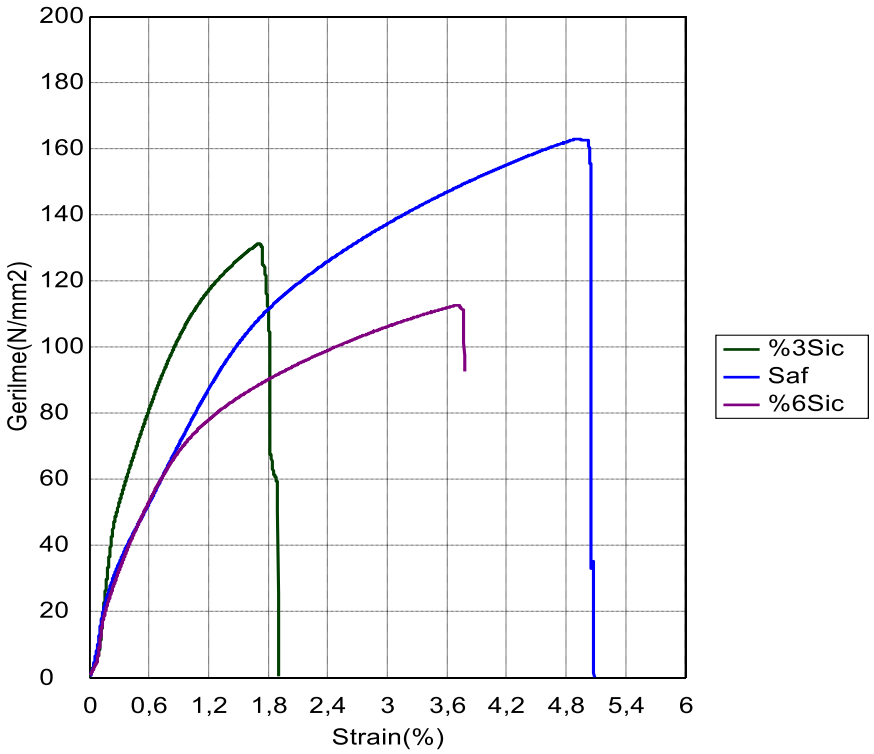
### 4.1.5.Çekme sonuçları

Takviye malzemeleri ve atık alüminyumdan elde edilen kompozitlerin üretimi sonrasında yapılan çekme deneylerinin sonuçları gözlemlendiğinde; SiC takviye oranlarının artmasıyla birlikte takviyesiz atık alüminyum matrise göre çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Takviyesiz atık alüminyum matrisinin çekme gerilme/yüzde birim şekil değiştirmesinin 164,818 MPa değerinde olduğu gözlemlenmiş olup, %3 SiC takviyesiyle birlikte bu değer 131,203 MPa ya kadar düştüğü görülmüştür. Ayrıca SiC takviye oranı %6 olduğunda ise çekme gerilme/yüzde birim şekil değiştirmesinin 112,796 MPa değerinde olduğu saptanmıştır. Yılmaz çalışmasında açıkladığı üzere, takviye miktarı arttıkça çekme gerilmesindeki gerçekleşen azalmanın sebebinin karıştırmalı döküm sürecinde gerçekleşen hatalardan ve yapı içerisinde fazla miktarda porozite oluşmuş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yılmaz,2019).

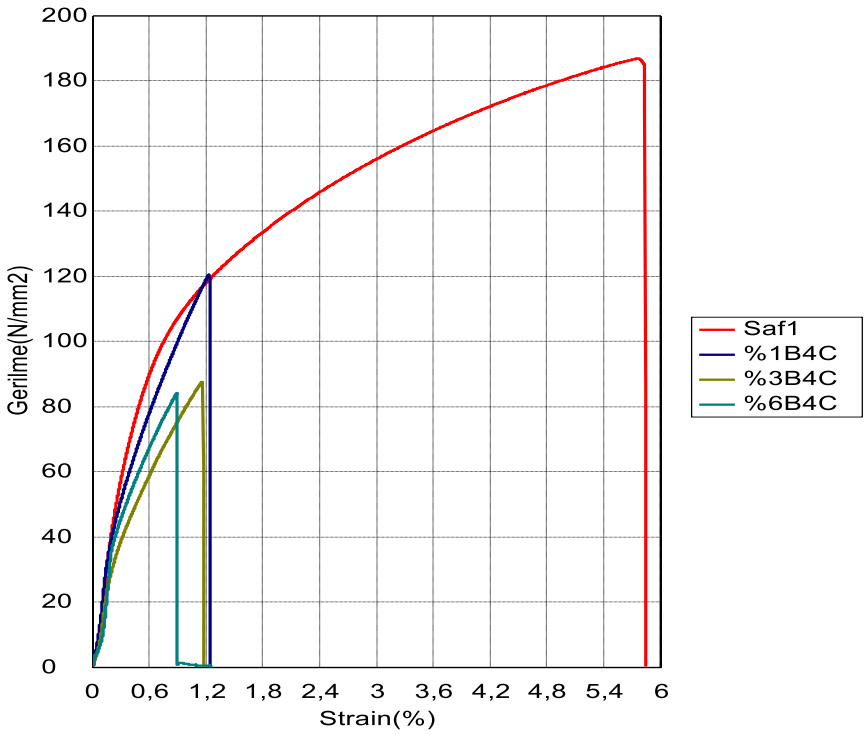
$B_4C$ takviye oranları ile yapılan çekme deneyleri sonucunda elde edilen rakamların %1´lik $B_4C$ takviyesinde çekme gerilme/yüzde birim şekil değiştirmesinin 120,423 MPa, %3 lük $B_4C$ oranında çekme gerilme / yüzde birim şekil değiştirmesinin 87,99 MPa değeri ve %6 $B_4C$ takviye oranında çekme gerilme/yüzde birim şekil değiştirmesinin 84,67 MPa değeri elde edilmiştir. Cam tozu takviye malzemesinin çekme testi sonuçlarının %3`lük oranda çekme gerilme/yüzde birim şekil değiştirmesinin 117,898 MPa değerinde olduğu görülürken, %6`lık oranda bu değerin 109,249 MPa olduğu tespit edilmiştir. Sekil 4.5. te çekme test sonuç grafiklerini göstermektedir.



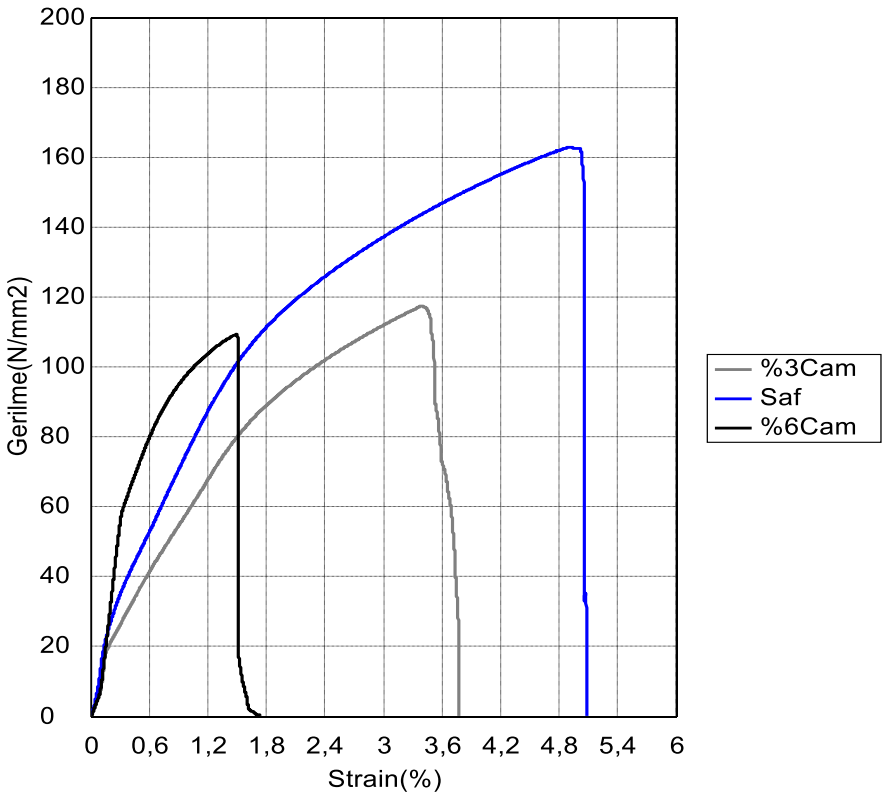

Şekil 4.20. Atık Al ve Al matrisli kompozitlerin çekme test sonuç grafikleri




Şekil 4.21. Atık Al ve SiC takviyeli kompozitlerin çekme test sonuç grafikleri




Şekil 4.22. Atık Al ve $B_4C$ takviyeli kompozitlerin çekme test sonuç grafikleri




Şekil 4.23. Atık Al ve cam tozu takviyeli kompozitlerin çekme test sonuç grafikler

# 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada $B_4C$, SiC ve cam tozu takviyeli alüminyum kompozit malzemeler üretilmiştir. Yapılan kompozit malzemelerin üretimlerinde geri dönüşümü sağlamak ve birincil kaynakların tükenmesini yavaşlatmak için atık alüminyum içecek kutuları kullanılmıştır. Elde edilen $B_4C$, SiC ve cam tozu takviyeli kompozitler üzerinde takviye oranının artmasına bağlı olarak mekanik özelliklerin etkisi incelenmiştir. Yapılan deney çalışmaları sonucunda aşağıdaki bulgular tespit edilmiştir.

SiC takviyeli kompozitlerde; Alüminyum matrise, %3 ve %6 oranında SiC takviye malzemesi üstten eklenerek karıştırmalı döküm metodu ile kompozit malzeme üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviyeli kompozitlerin yoğunluk, sertlik, aşınma dayanımı, eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti incelenmiştir.

- SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviyeli kompozitlerde, karışım içerisinde SiC, $B_4C$, takviye malzemelerinin miktarının artmasıyla kompozit yoğunluğunun genel anlamda arttığı saptanmıştır. Cam tozu takviyeli kompozitlerde ise diğer takviye çeşitlerinin aksine, yoğunluk değerleri cam tozu takviyesinin karışım içerisindeki artışı ile azalma göstermiştir. Buna göre kompozitlerdeki en yüksek yoğunluk değerlerinin, %6 SiC takviye malzemesi oranında 2,781 $gr/cm^3$, %6 $B_4C$ takviyesinde 2,747 $gr/cm^3$ ve %3 Cam Tozu takviye malzemesinde ki değerin 2,536 $gr/cm^3$ olduğu tespit edilmiştir.
- SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviyeli kompozitlerde, sertlik değerleri incelendiğinde matris malzemesi içerisindeki SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviye malzemesinin artmasıyla oluşturulan kompozitlerin sertliğinde artışlar gözlemlenmiştir. SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviye malzemeleri eklenmesiyle üretilen kompozitlerin en yüksek sertlik değerleri %6 SiC takviyeli kompozitlerde 81,08 Hv , %6 $B_4C$ takviyeli kompozitlerde 86,8 Hv ve %6 cam tozu takviyeli kompozitlerde 77,47 Hv olarak tespit edilmiştir.
- Üretimi gerçekleştirilen takviyeli ve takviyesiz kompozitlerin aşınma değerleri incelendiğinde; takviyesiz alüminyum matrisi, SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviyeli kompozitlerine kıyasla daha fazla aşınmaya bağlı kütle kaybı değeri

göstermiştir. SiC, $B_4C$ ve Cam tozu takviyeli kompozitler incelendiğinde ise, karışım içerisindeki takviye oranının artmasına paralel olarak aşınmaya bağlı kütle kaybı değerlerinde kayda değer azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Dökümü gerçekleştirilen kompozit malzemeler arasında aşınma direnci en yüksek ve aşınmaya bağlı kütle kaybı en düşük olan %6 $B_4C$ takviyesinde gerçekleşmiştir.

- SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviyeli kompozitlerde, eğilme test sonuçları incelendiğinde takviye oranının alüminyum matrisi içerisindeki miktarının artmasına bağlı olarak cam tozu, $B_4C$'li kompozitlerin değerlerinde azalma gözlemlenirken, SiC takviyesinde kompozitlerin, takviyesiz alüminyum matrisine kıyasla eğilme dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Takviyesiz alüminyum matrisinin eğilme dayanımı 244,8 MPa elde edilirken, en yüksek eğilme değeri SiC takviyeli kompozitte %6 takviye oranında 302,329 MPa verileri elde edilmiştir. Bu oranlarda Cam Tozu takviyesinin, $B_4C$ takviyesine göre eğilme dayanımı açısından daha yüksek mekanik özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir.
- SiC, $B_4C$, Cam Tozu takviyeli kompozitlerde, çekme test sonuçları incelendiğinde takviye oranının alüminyum matrisi içerisindeki miktarının artmasına bağlı olarak elde edilen çekme mukavemetinin değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum matris ve takviye elemanları arasındaki bağın üretimden kaynaklı yetersiz olduğu ve iç yapıdaki porozite miktarlarıyla açıklanabilir.

Sonuç olarak atık içecek kutularından elde edilen SiC, $B_4C$ ve cam tozu takviyeli kompozitlerin çeşitli ikincil uygulamaları ile iyileştirici bazı fiziksel özellikler elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR


AKÇAY, S. B. , VAROL, T. , AKSA, H. C. ve GÜLER, O. (2022). Al2024/$_4$ Kompozitlerin Yüksek SiC Takviyesi ile Üretimi ve Karakterizasyonu . Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi , 22 (2) , 353-365. DOI: 10.35414/akufemubid.1021086

AL-OBEİDY, N. F., and KHALİL, W. I. (2016). *Properties Of High Strength Eco-Friendly Concrete with Glass Waste Powder*. https://doi.org/10.5281/ZENODO.161679

ALÜMİNYUM RAPORU, 2004. Alüminyum Raporu, Retrieved from.

ATİK, E., ÜNLÜ, S. B., ŞEN, O. ve ÇAVDAR, U. 2006. Partikül Takviyeli AlSi12CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2, 75-87.

BAJAJ, P. 2011. Mechanical behaviour of aluminium based metal matrix composites reinforced with SiC and alumina. Thapar University,Yüksek lisans tezi, Üretim ve Endüstri Mühendisliği, 70, Patiala, India

BAYDAROĞLU, V., 2018. Balistik malzeme üretimine yönelik $B_4C$+SiC takviyeli Al 7075 kompozitlerde optimum katkı oranının belirlenmesi, Kırıkkale Üniversitesi.

BİLİR, H. 2014. Al/SiC Kompozitlerin Karıştırmalı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendsliği Anabilim Dalı, 123, Kırıkkale.

CİLASUN, N., S. 2013. Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle SiC Takviyeli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Kırıkkale

EDİZ, Ç. 2011. Alüminyumun Geri dönüşüm Süreci ve Süreçte Kullanılan Malzemelerin Alüminyum Bileşenlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine ve İmalat Mühendisliği, 79, Bilecik.

GÜRBÜZ, M. 2018. Effect of cold treatment on mechanical properties of aluminum made from waste beverage cans. Dokuz Eylul University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering, 20:58.

HASANUZZAMAN, M., RAFFERTY, A., SAJJİA, M., and OLABİ, A. G. (2016). Properties of glass materials. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.

HİNDİ, J., KİNİ, A., U., , SHARMA, S., S., , GURUMURTHY, B., M., and SHANKAR, G., 2015. Mechanical Characterization of Stir Cast Al 6063 Matrix SiC Reinforced Metal Matrix Composites. 5th International Conference on Automotive, Bali, Indonesia

KARASU, B., BEREKET, O., BİRYAN, E., and SANOĞLU, D. (2017). The latest developments in glass science and technology. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, *4*(2), 209-233.

KILIÇ, C. (2008). Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş ve soğuk haddelenmiş AlMg3/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans

Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 103, Edirne.

KILIÇOĞLU, C. (2013). *Cam atıklarının betonda agrega ve çimento yerine kullanımı.* Doktora tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

MEHTA, A., and ASHİSH, D. K., 2020. Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review. *Journal of Building Engineering, 29,* 100888.

MİNDİVAN, H. 2007. Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 244, İstanbul

NAZİK, C. 2013. Alüminyum Matrisli $B_4C$ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, Konya.

ORGANİSATİON OF EUROPEAN ALUMİNİUM REFİNERS AND REMELTERS,2013. Aluminium Recycling in Europe. http://recycling.worldaluminium.org/uploads/media/fl0000217.pdf (Erişim tarihi: 20.10.2016)

ÖZKÖK, Ö., 2004. α-Si3N4 içeren alüminyum matrisle kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 104, Ankara.

ÖZSARI, A., R., B. 2018. Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, $B_4C$ ve SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi, İçyapı, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 88, Uşak.

ÖZTOP, B. ve GÜRBÜZ, M. 2017. Atık Alüminyumdan Elde Edilen Matrise Grafen Takviyesiyle Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 1:1, 4-8.

PAWAR, P., B., and UTPAT, A., A. 2014. Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite for Spur Gear. Procedia Materials Science, 6, 1150-1156.

PUL, M. 2010. Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, 210, Ankara.

SEÇİLMİŞ, K., 2017. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş farklı oranlarda $B_4C$ takviyeli Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının araştırılması. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

Sİ, R., DAİ, Q., GUO, S., and WANG, J. ,2020. Mechanical property, nanopore structure and drying shrinkage of metakaolin-based geopolymer with waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*, *242,* 118502.

SİNGLA, M., DWİVEDİ, D., D., SİNGH, L. and V., C. 2009. Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 8:6, 455-467.

ŞAHİN, Y. 2015. Kompozit malzemelere giriş, 440, Seçkin Yayınevi, Ankara.

ŞENEL, M. C., GÜRBÜZ, M. ve KOÇ, E. 2015. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler. Mühendis ve Makine, 56:669, 36-47.

ŞİMŞEK, İ., ŞİMŞEK, D., ÖZYÜREK, D. "Yarı Katı Kalıplama Yöntemi ile Üretilen Farklı Miktarlarda SiC Takviyeli A356 Matrisli Kompozit Malzemelerin

Aşınma Performansının İncelenmesi". Politeknik Dergisi 23 (2020): 1237-1243

THÉVENOT, F., 1990. Boron carbide-A comprehensive review, *Journal of the European Ceramic Society*, 87: 132-135.

TÜRKİYE ODALAR ve BORSALAR BİRLİĞİ. (2012). *Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu* (s. 72). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği.

VERMA, R., SHARMA, S. and KUMAR, D. 2017. Analysis of mechanical properties of aluminium based metal matrix composites reinforced with alumina and SiC. Int. Journal of Engineering Research & Technology, 6:03.

YAKUT, R. (2015). B4C Takviyeli Alüminyum Kompozit Malzemelerin Yarı Katı Karıştırma Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Yayımlanmamış doktora tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

YAZICI, Z. Ö., 2019. "Cam Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mikrodalga Sinterleme Yöntemi ile Üretimi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 19, no. 2, pp. 439-448, Sep. 2019

YILMAZ, Ö., 2019. Atık Alüminyum İçecek Kutuları Kullanarak Grafen/SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 149s.

YÜKSEL, C. (2009). *Atık cam agregasının beton özelliklerine etkisi* Yüksek lisans tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.