T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK ALÜMİNYUM MATRİSLİ VE NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammed GÖKSOY

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Önemi ve Amacı 1
1.2. Tezin Kapsamı 3
1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler 4
1.4. Kompozit Malzemeler 5
1.4.1. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları 5
1.4.2. Kompozit malzemelerin uygulama alanları 7
1.4.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması 8
1.4.3.1. Metal matrisli kompozit malzemeler 10
1.4.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler 26
1.4.3.3. Polimer matrisli kompozitler 28
1.4.3.4. Partikül takviyeli kompozit malzemeler 29
1.4.3.5. Fiber takviyeli kompozit malzemeler 31
1.4.3.6. Tabakalı kompozit malzemeler 32
1.4.3.7. Levha kompozit malzemeler 33
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 35
3. MATERYAL ve YÖNTEM 42
3.1. Materyal 42
3.2. Yöntem 47
3.2.1. Kompozit üretimi 47
3.3. Yapılan Deneyler 51
3.3.1. Çekme deneyi 51
3.3.2. Üç nokta eğme deneyi 54
3.3.3. Aşınma deneyi 55
3.3.4. Vickers sertlik deneyi 57
3.3.5. Yüzey pürüzlülüğü deneyi 59
3.3.7. Mikroskobik inceleme 63
3.3.8. Isı iletim katsayısı ölçüm deneyi 66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 68
4.1. Deneyler 68
4.1.1. Çekme deneyi incelemesi 68
4.1.2.Eğilme deneyi incelemesi 71
4.1.3.Aşınma testi incelemesi 72
4.1.4. Vickers sertlik testi incelemesi 80
4.1.5. Yüzey pürüzlülüğü testi incelemesi 82
4.1.6. Yoğunluk deneyi incelemesi 84
4.1.7. Mikroskobik Deney Sonuçlarının İncelenmesi 87
4.1.8. Isı iletim katsayısı testi incelemesi 91
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 96
5.1. Sonuçlar 96
5.1.1. Al_2O_3 takviyeli atık alüminyum kompozitin incelenmesi 96
5.1.2 TiO_2 takviyeli Atık alüminyum kompozitinin incelenmesi 97
5.2. Öneriler 99
KAYNAKLAR 100

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK ALÜMİNYUM MATRİSLİ VE NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammed GÖKSOY

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ
Yıl: 2023, Sayfa: 104

Sanayi ve teknolojinin istenilen özellikte malzeme ihtiyaçlarını karşılamak için fiziksel ve mekanik özellikler bakımından iyileştirilmiş olan en az biri matris diğeri takviye elemanı olmak şartıyla birden fazla malzemenin en iyi özelliklerini bir araya getirilerek üretilen malzeme, kompozit malzeme olarak tanımlanabilir. Genellikle daha düşük mekanik özelliklere sahip referans matris malzemesi içerisine farklı yöntemlerle takviye malzemesi eklenerek daha yüksek mekanik özelliklere sahip malzeme üretmek istenmiştir. Matris malzemesi olarak farklı sınıflara ait malzemeler mevcut olup mühendislik ihtiyaçlarını karşılaması açısından metal matrisli kompozitler önemli bir yere sahiptir. Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak seçilen metaller yumuşak, hafif, ergime sıcaklığı düşük ve dayanımı az olan metallerdir. Bu alanda genel olarak alüminyum hafif ve şekillendirilebilirliği iyi olan bir malzeme olduğu için daha çok tercih edilmektedir. Alüminyumun mekanik özelliklerini arttırmak için genel olarak literatür incelendiğinde seramik nanopartiküllerin takviye edilmesiyle daha iyi özelliklere sahip kompozit malzeme elde edilebilmektedir. Bu çalışmada matris malzemesi olarak atık içecek kutuları geri dönüştürülerek kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi üretilmiştir. Atık alüminyumdan elde edilen referans matris malzemesine ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında 38nm boyutunda TiO_2, ayrıca ağırlıkça %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında 78 nm boyutunda Al_2O_3 nanopartikülleri karıştırmalı döküm yöntemi ile takviye edilerek metal matrisli nano kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen metal matrisli nano kompozit malzemeye çekme dayanımı, 3 nokta eğilme dayanımı, aşınma oranı, yüzey pürüzlülüğü sonuçları, vickers sertlik değeri, yoğunluk, gözeneklilik oranı ve mikroyapı deneyleri yapılarak değişimleri irdelenmiştir. Yapılan deneyler sonucu ağırlıkça Al_2O_3 partikül takviyesi sonucu en iyi değerler %1.5 oranında çekme dayanımı 143,5 N/mm^2, 3 nokta eğilme dayanımı 336,2 N/mm^2, sertlik değeri 245.51 Hv, aşınma oranı 0,0000023 mm^3/ Nm ve kütle kaybının %1,60 olduğu, yoğunluk 2,699gr/cm3 ve yüzey pürüzlülüğü en az %0,5 Al_2O_3 katkılı kompozitte 0,3614 µm olduğu tespit edilmiştir. Matris malzemesine ağırlıkça TiO_2 takviye edilmesiyle yapılan deneyler sonucu en iyi değerler %1 oranında çekme dayanımı 143,98 N/mm^2, 3 nokta eğilme dayanımı 323,04 N/mm2, sertlik değeri 263.95 Hv, aşınma oranı 0,0000028 mm^3/ Nm ve kütle kaybının %1,933 olduğu, yoğunluk 2,711 gr/cm^3 ve yüzey pürüzlülüğü en az 0,3527 µm olduğu tespit edilmiştir. Takviye partikülü olarak Al_2O_3 ve TiO_2 katkılı malzemenin mikro yapı incelemesine bakıldığında artan takviye miktarına göre matris malzemesi içinde partiküllerin homojen bir şekilde dağıldığı ve porozitenin azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak atık alüminyum matris malzemesine nano boyutta Al_2O_3 ve TiO_2 ilave edilmesinin mekanik özelliklere katkı sağladığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Atık alüminyum, mekanik özellikler, kompozit, nanopartikül, geri dönüşüm

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF WASTE ALUMINUM MATRIX AND NANOPARTICLE REINFORCED COMPOSITE MATERIALS
Muhammed GÖKSOY

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

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ
Year: 2023, Page: 104

A composite material can be defined as a material produced by combining the best properties of more than one material, provided that at least one of them is a matrix and the other is a reinforcement element, which has been improved in terms of physical and mechanical properties in order to meet the material needs of the industry and technology with the desired properties. It was desired to produce materials with higher mechanical properties by adding reinforcement material with different methods into the reference matrix material, which generally has lower mechanical properties. There are materials belonging to different classes as matrix materials, and metal matrix composites have an important place in terms of meeting engineering needs. Metals chosen as matrix material in metal matrix composites are soft, light, low melting point and low strength metals. In this field, aluminum is generally preferred more because it is a light and formable material. In order to increase the mechanical properties of aluminum, when the literature is examined in general, composite materials with better properties can be obtained by reinforcing ceramic nanoparticles. In this study, matrix material was produced for composite material production by recycling waste beverage cans as matrix material. Metal matrix nanocomposite production was carried out by reinforcing the reference matrix material obtained from waste aluminum with 38 nm size TiO_2 at 0.5% and 1% by weight, and 78 nm size Al_2O_3 nanoparticles at 0.5%, 1% and 1.5% by weight, by the mixed casting method. Tensile strength, 3-point bending strength, abrasion rate, surface roughness results, Vickers hardness value, density, porosity ratio and microstructure experiments were performed on the produced metal matrix nano composite material and their changes were examined. As a result of the experiments, the best values as a result of the Al_2O_3 particle reinforcement by weight, the tensile strength of 1.5%, 143.5 N/mm^2, the 3-point bending strength 336.2N/mm^2, the hardness value of 245.51 Hv, the wear rate 0.0000023 mm^3/ Nm and the mass loss % It was determined that it was 1.60, the density was 2.699 gr/cm^3, and the surface roughness was 0.3614 μm in at least 0.5% Al_2O_3 added composite. As a result of the experiments made by adding TiO_2 to the matrix material by weight, the best values are 1% tensile strength 143.98 N/mm^2, 3-point bending strength 323.04N/mm^2, hardness value 263.95 Hv, wear rate 0.0000028 mm3/Nm and mass loss. It has been determined that it is 1.933%, the density is 2.711 gr/cm^3 and the surface roughness is at least 0.3527 μm. When examining the microstructure of the material with Al_2O_3 and TiO_2 as reinforcement particles, it was observed that the particles were homogeneously dispersed in the matrix material and the porosity decreased according to the increasing amount of reinforcement. As a result, it has been determined that the addition of nano-sized Al_2O_3 and TiO_2 to the waste aluminum matrix material contributes to the mechanical properties.

KEY WORDS: Waste aluminum, mechanical properties, composite, nanoparticle, recycling

TEŞEKKÜR

Tüm yaşamım boyunca her zaman yanımda olarak bu günlere gelmem için büyük fedakârlıklar gösteren maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim. “Atık Alüminyum Matris Malzemesine Nano Partikül Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ’ e teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca yardımlarını ve bilgilerini benden esirgemeyen Prof. Dr. İsmail HİLALİ, Prof. Dr. Bülent AKTAŞ, Dr. Öğr. Üyesi Yusuf IŞIKER, Arş. Gör. Dr. Gökhan DEMİRCAN ve Arş. Gör. Abuzer AÇIKGÖZ hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmanın yapılabilmesi için maddi destek sağlayan HÜBAK birimine teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca sürekli teşvikleriyle maddi ve manevi destek olan İsmail ÇİFTÇİ’ye teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kompozit malzeme yapısı 5
Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin bileşenlerine göre sınıflandırılması 9
Şekil 1.3. Karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit üretimi 14
Şekil 1.4. Sıkıştırmalı döküm tekniğiyle kompozit üretimi 16
Şekil 1.5. Plazma püskürtme yöntemi 17
Şekil 1.6. a) Ezme döküm, b) Gaz basınçlı infiltrasyon yöntemi şeması 18
Şekil 1.7. a) Üstten doldurma, b) Alttan doldurma, c) Üstten döküm yöntemi 20
Şekil 1.8. Vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi 21
Şekil 1.9. Toz metalurjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretimi 23
Şekil 1.10. Difüzyon bağı yöntemiyle üretim yapımı 24
Şekil 1.11. Ötektik katılaşmanın kontrolü ile in-situ üretimin şematik gösterimi 26
Şekil 1.12. Partikül takviyeli kompozit malzeme 31
Şekil 1.13. Fiber takviyeli kompozit 32
Şekil 1.14. Farklı doğrultuda tabakalı kompozit 33
Şekil 3.1. Atık alüminyumların temin edilerek ezilmesi 42
Şekil 3.2. Elektrikli ergitme ocağı 42
Şekil 3.3. Atık içecek kutularının boyalarının yakılması 43
Şekil 3.4. Paslanmaz çelikten imal edilen ergitme potası 44
Şekil 3.5. Atık içecek kutularının ergitilme işlemi 44
Şekil 3.6. Ergimiş alüminyumdan çıkartılan cüruflar 45
Şekil 3.7. Matris malzemesi için imal edilen külçe kalıbı 45
Şekil 3.8. Dökümü yapılan alüminyumun oda koşullarında soğuması 46
Şekil 3.9. Üretilen külçelerin hassas teraziyle tartılması 46
Şekil 3.10. Paslanmaz çelikten imal edilen kalıplar 47
Şekil 3.11. Hassas terazi ile takviye malzemelerinin tartılması 48
Şekil 3.12. Matris malzemesine takviye edilen partiküllerin karıştırılması 50
Şekil 3.13. Kalıp ve ekipmanlarının ısıtılması 50
Şekil 3.14. SHIMADZU AG-X Plus 100 kN kapasiteli çekme testi cihazı 53
Şekil 3.15. Testler için üretilen matris ve ağırlıkça artan takviye miktarına göre numuneler 53
Şekil 3.16. 3 nokta eğilme testi 55
Şekil 3.17. Aşınma testi cihazı 57
Şekil 3.18. Mikro Vickers Sertlik Ölçüm Cihazı ve iz görüntüsü 59
Şekil 3.19. TIME TR200 Roughness Tester cihazı 61
Şekil 3.20. Kompozit numunenin yoğunluk ölçümü 62
Şekil 3.21. Zımparalama ve parlama cihazı 65
Şekil 3.22. Kozo XJM200 Ters Metal Mikroskobu 65
Şekil 3.23. ZEISS EVO 50 Taramalı Elektron Mikroskobu 66
Şekil 3.24. Hot Disk TPS 500 S ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı 67
Şekil 3.25. Isı iletimi katsayısı ölçülen numuneler 67
Şekil 4.1. Matris malzemesi ve TiO_2 artan madde miktarına göre çekme testi grafiği 68
Şekil 4.2. Matris malzemesi ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre çekme testi grafiği 69
Şekil 4.3. TiO_2 ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre çekme testi grafiği 70
Şekil 4.4. TiO_2 ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre elastik gerilme grafiği 70
Şekil 4.5. Matris malzemesi ve TiO_2 artan madde miktarına göre eğilme testi grafiği 71
Şekil 4.6. Matris malzemesi ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre eğilme testi grafiği 72
Şekil 4.7. %0,5 Al_2O_3 numunelerinin ortak aşınma grafiği 74
Şekil 4.8. %1 Al_2O_3 numunelerinin ortak aşınma grafiği 74
Şekil 4.9. %1,5 Al_2O_3 numunelerinin ortak aşınma grafiği 74
Şekil 4.10. %0,5 TiO_2 numunelerinin ortak aşınma grafiği 75
Şekil 4.11. %1 TiO_2 numunelerinin ortak aşınma grafiği 75
Şekil 4.12. Takviye elemanına göre bütün parametreler için ortak aşınma grafiği 75
Şekil 4.13. Artan takviye miktarına göre sürtünme katsayısı değişimi 76

Şekil 4.14. % TiO_2 ve %Al_2O_3 değişen miktarına göre % ağırlık kaybının kıyaslaması 77
Şekil 4.15. Aşınma testi sonucu artan TiO_2 takviye miktarına göre aşınan malzeme hacmi..... 78
Şekil 4.16. Aşınma testi sonucu artan Al_2O_3 takviye miktarına göre aşınan malzeme hacmi..... 78
Şekil 4.17. % TiO_2 ve %Al_2O_3 değişen miktarına göre aşınan malzeme hacmi (mm^3) 78
Şekil 4.18. Aşınma testi sonucu artan TiO_2 takviye miktarına göre aşınma oranı 79
Şekil 4.19. Aşınma testi sonucu artan Al_2O_3 takviye miktarına göre aşınma oranı..... 80
Şekil 4.20. Matris ve TiO_2 artan takviye miktarına göre sertlik (Hv) ölçüm grafiği..... 81
Şekil 4.21. Matris ve Al_2O_3 artan takviye miktarına göre sertlik (Hv) ölçüm grafiği 82
Şekil 4.22. Matris malzemesi ve takviye edilen nanopartiküllerin sertlik (Hv) grafiği..... 82
Şekil 4.23. Matris ve TiO_2 katkılı kompozit malzemenin yüzey pürüzlülüğü..... 83
Şekil 4.24. Matris ve Al_2O_3 katkılı kompozit malzemenin yüzey pürüzlülüğü..... 84
Şekil 4.25. Takviye miktarına göre Al_2O_3 ve TiO_2 katkılarındaki yüzey pürüzlülüğü..... 84
Şekil 4.26. Matris ve TiO_2 katkılı kompozit malzemenin deneysel ve teorik yoğunluğu 85
Şekil 4.27. Matris ve Al_2O_3 katkılı kompozit malzemenin deneysel ve teorik yoğunluğu..... 86
Şekil 4.28. Al_2O_3 ve TiO_2 artan takviye miktarına göre deneysel yoğunluk değişimi 86
Şekil 4.29. a) Katkısız, b) % 0,5 Al_2O_3, c) % 1 Al_2O_3, d) % 1,5 Al_2O_3 87
Şekil 4.30. a) Katkısız, b) % 0,5 TiO_2, c) % 1 TiO_2..... 89
Şekil 4.31. TiO_2 ve Al_2O_3 takviye oranlarına göre ortak ısı iletim katsayısı değişimi 94
Şekil 4.32. Matris ve TiO_2 takviye oranlarına göre ısı iletim katsayısı değişimi 94
Şekil 4.33. Matris ve Al_2O_3 takviye oranlarına göre ısı iletim katsayısı değişimi..... 95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları 7
Çizelge 1.2. Havacılık uygulamaları için metal matris uygulamaları..... 7
Çizelge 1.3. Alüminyum parça üreticileri 8
Çizelge1.4. Seramik partikül malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri 31
Çizelge 4.1. Matris malzemesine göre TiO_2'in teorik ve deneysel % yoğunluk değişimi 86
Çizelge 4.2. Matris malzemesine göre Al_2O_3'in teorik ve deneysel % yoğunluk değişimi..... 86
Çizelge 4.3. Matris ve artan Al_2O_3 nano partikül katkı miktarına göre % porozite oranı 88
Çizelge 4.4. Matris ve artan TiO_2 nano partikül katkı miktarına göre % porozite oranı 90
Çizelge 4.5. Al_2O_3 takviye oranlarına göre deneysel veriler..... 93
Çizelge 4.5. TiO_2 takviye oranlarına göre deneysel veriler..... 93
Çizelge 4.6. 1000 gr alüminyum ve ağırlıkça %0,5 partiküllü kompozit için fiyat listesi 95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	Aluminyum
Al_2O_3	Alüminyum oksit
ASTM	Amerikan test ve malzeme kurumu
B_4C	Bor Karbür
CNT	Saf karbon nanotüp
Co	Kobalt
Cu	Bakır
HCI	Hidroklorik asit
HF	Hidroflorik asit
HNO_3	Nitrik asit
Mg	Magnezyum
MMK	Metal matrisli kompozitler
MMNK	Metal matrisli nanokompozitler
N_2	Azot
Ni	Nikel
NK	Nano kompozitler
PMK	Polimer matrisli kompozitler
PMNK	Polimer matrisli nano kompozitler
Ra	Yüzey pürüzlülüğü
RPM	Devir/dakika
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si_3N_4	Silisyum nitrür
SiC	Silisyum karbür
SiO_2	Silisyum dioksit
SMK	Seramik matrisli kompozitler
Ti	Titanyum
TiB_2	Titanyum diborür
TiO_2	Titanyum dioksit
TMA	Termomekanik analiz
Zn	Çinko

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Önemi ve Amacı

Teknolojideki gelişmeler insanoğlunun eskiden beri hayat koşullarının değişmesiyle sürekli olarak kendini çağın ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmede bulunmuştur. Teknolojinin gelişmesi kullanılan malzemelerin daha iyi özellikte olmasını ve bu malzemelerin geliştirilmesini sağlamıştır. Yeni oluşturulan ve gelişime her zaman açık olan en önemli malzemelerden birisi de kompozit malzemelerdir. Sanayi devrimi 1800'lü yıllarda teknolojik gelişmeleri beraberinde getirmiş ve en çok katkıyı sağlamıştır. Nüfus artışıyla beraber üretimin artması, sanayideki iş gücünün artmasına sebebiyet sağlamıştır. Bu durumda dolayı teknolojik gelişmeler hız kazanmıştır. Teknolojinin gelişmesi rekabeti arttırarak mukavemeti yüksek, maliyeti düşük malzeme arayışını hızlandırmıştır. 20. Yüzyılda teknolojideki gelişim hızı insanlık tarihinin geçmiş hiçbir döneminde yaşanmamıştır. Kompozit malzemeler çağın fiziksel ve mekanik özellikte isteklerine cevap verebilen malzeme olmuştur. Kuantum fiziği yasalarıyla beraber atomik yapıda incelemeler malzemelerin daha da iyi özellikte olmasına katkıda bulunmuştur. Nano boyutta çalışmaların ilerlemesi yeni malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin muazzam derecede gelişmesini sağlamıştır. Bu bağlamda kompozit malzeme oluşturmada matris malzemesi ve katkı maddesinin yapısal uyumu önemli rol oynamaktadır. Kompozit malzeme üretiminde istenilen fiziksel ve mekanik özelliklerinin arttırılması için matris malzemesi içerisine katılacak olan malzemenin nano boyutlara indirgenmesi, diğer boyuttaki kompozit oluşumlara kıyasla daha iyi sonuçlar meydana getirmiştir.

Kompozit malzeme sınıflarında yer alan metal matrisli kompozitler (MMK) yüksek mekanik özellikleriyle mühendislikte önemli yere sahiptir. (Mindivan, 2007). Metal matrisli kompozit (MMK) üretiminde alüminyum ve alaşımları (Al), magnezyum (Mg), çinko (Zn), bakır (Cu), titanyum (Ti) ve nikel (Ni) mukavemet, iletkenlik, aşınma direnci, korozyon direnci, hafiflik gibi özelliklerinden dolayı önemli bir yere sahiptir. Metal matrisli kompozitlere (MMK) nano boyutta partikül ilavesi ile

metal matrisli nanokompozitler (MMNK) oluşturularak daha yüksek fiziksel ve mekanik özellik gözlemlenmiştir. Metal matrisli nanokompozit (MMNK)üretiminde takviye elemanı olarak silisyum karbür (SiC), alümina (Al_2O_3), titanyum diborür (TiB_2), borkarbür (B_4C), silisyum nitrür (Si_3N_4) silisyum dioksit (SiO_2), titanyum dioksit (TiO_2) ve grafit örnek olarak verilebilir. Son yıllarda metal matrisli nanokompozitler (MMNK) üzerindeki çalışmalardan da anlaşılacağı gibi muazzam derecede özelliklerinden dolayı talep görmektedir. Bu nedenlerden dolayı askeri, uzay, havacılık, nükleer enerji vb. sektörlerde düşük maliyet ve yüksek mukavemet gereksinimini karşıladığından dolayı metal matrisli nano kompozitler (MMNK) tercih edilmiştir. Bu ilerleyiş artık uluslararası gelişmişliğin bir göstergesi haline gelmiştir. Bu yenilik sayesinde önümüzdeki yüzyılın teknolojisi nano bilim ve nano teknoloji dönemidir. (Umur, 2017).

Bu bilgiler doğrultusunda savunma, havacılık, otomotiv, denizcilik gibi önemli alanlarda ileri teknoloji malzemelere olan ihtiyaç giderek artıyor. (Öztop ve Gürbüz, 2021) Teknolojik malzemelere artan talepler doğrultusunda maliyeti düşürmek, çevresel kirliliği azaltmak ve enerji kullanımını azaltmak için metal matris kompozit (MMK) malzemesi olarak kullanılan alüminyumun geri dönüşümü büyük rol oynamaktadır. Alüminyumun yoğun olarak kullanıldığı içecek kutular geri dönüşümle kompozit malzeme üretimine büyük oran da katkı sağlamaktadır. Atık alüminyum içecek kutularının geri dönüşümle endüstriye kazandırılması çevrenin korunması açısından da önemli yer almaktadır. Metal matrisli kompozit (MMK) üretiminde alüminyum içecek kutularının geri dönüşümü maliyeti düşüreceğinden öncelikli olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada atık alüminyum içecek kutularından matris malzemesi elde edilerek, nano partikül takviyesi olarak alümina (Al_2O_3) ve titanyum dioksit (TiO_2) kullanılarak karıştırmalı döküm yöntemiyle metal matrisli nanokompozit (MMNK) üretilmek istenmiştir.

Bu çalışmanın amacı üretilen nano kompozitlerin avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirerek maliyeti düşük, mekanik avantajları yüksek özelliklere sahip yeni bir kompozit malzeme üretmektir.

1.2. Tezin Kapsamı

Sanayideki ilerleyiş teknolojik malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasıyla yeni ürün arayışını hızlandırmıştır. Bu bağlamda hammadde tedarik etmede maliyet, çevre kirliliği ve enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Alüminyumun sahip olduğu hafifliği, şekillendirilebilirliği, maliyet düşüklüğü ve mekanik özellikleri araştırmacıların ilgisini çekmiştir.

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde bu özellikler araştırmacılar tarafından tercih edilmiştir. Alüminyumun kullanımı istenilen fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı savunma, havacılık, otomotiv, denizcilik, uzay gibi alanlarda ekipman üretiminde kullanılmıştır. Bu alanlarda maliyeti düşürmek için atık içecek kutularının değerlendirilmesi önemli derecede rol oynamaktadır. Alüminyumun en çok kullanım alanlarından olan içecek kutuları, insanlar tarafından hurdaya atılmaktadır. Hurda alüminyum içecek kutularının dönüşümü yapılarak artan çevre kirliliğinin önüne geçilebilir. (Gürbüz 2018).

Alüminyumun endüstriye maliyeti düşük ve yüksek mekanik özelliklere sahip bir şekilde katılması için alüminyum matris malzemesi olarak kullanılıp takviye elemanlarıyla kompozit malzeme üretimi gerçekleşmektedir. Alüminyumun matris malzemesi olarak kullanıldığı kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak nanopartiküller önemli yere sahiptir. Nanopartiküller kendi içerisinde metal ve metal oksit olarak sınıflandırılabilir. Nanopartikül seçimi yapılırken bazı parametreler göz önünde bulundurulabilir. Bunlara örnek olarak çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, boyut, ısıl genleşme katsayısı, maliyet gibi özellikler söylenebilir.

Bu bilgiler doğrultusunda metal matrisli kompozit üretiminde uygulanacak yöntem önemli rol oynamaktadır. Bunlar örneklendirilecek olursa döküm, toz

metalürjisi, in-situ üretim, yöntemleri verilebilir. Bu örneklerden döküm yöntemi hızlı, basit, üretimi zor karmaşık parçaların üretim kolaylığı ve maliyeti düşük olduğundan dolayı tercih edilmektedir.

Literatür taraması yapıldığında döküm yöntemi kullanılarak üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada atık içecek kutularının ergitilmesiyle matris malzemesi elde edilerek, takviye malzemesi olarak alümina (Al_2O_3) ve titanyum dioksit (TiO_2) nano partikülleri takviye edilip, karıştırmalı döküm yöntemiyle partiküllerin ıslana bilirliğini arttırılalar mekanik özellikleri yüksek metal matrisli nano kompozit (MMNK) üretmeye çalışılmıştır. Üretimi yapılan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri deneyleri yapılarak incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

1.3. Tezin Katkısı ve Getireceği Yenilikler

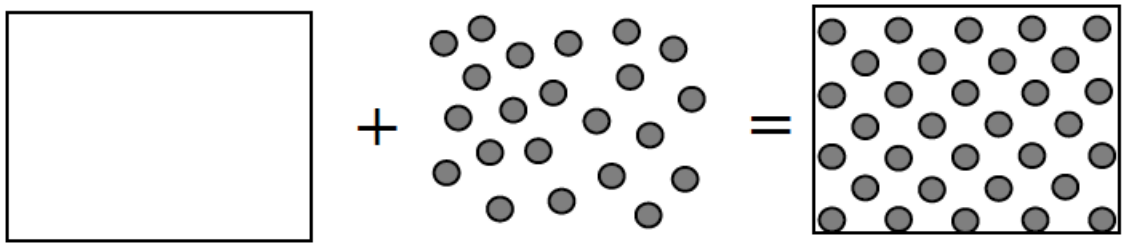
Bu çalışmanın katkısı ve literatüre getireceği yenilikler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Literatür taramaları sonucu, yüksek özelliklere sahip olan alümina (Al_2O_3) ve titanyum dioksit (TiO_2) nanopartikülleri metal matris içerisinde kullanımı az olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı bu çalışmanın verilerinin literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.
- Bu yüksek lisans çalışması HÜBAK tarafından desteklenerek üretilmiştir. Bu bağlamda yapılan çalışma araştırmacıları teşvik ederek yeni çalışmaların yürütülmesine öncülük edebilecek niteliktedir.
- Daha önce yöntem olarak aynı takviye malzemesi olarak farklı partiküller kullanılarak kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Bu çalışmada karıştırmalı döküm yöntemiyle atık metal matrise takviye malzemesi olarak nanopartikül titanyum dioksit ilk defa kullanılarak avantajları ve dezavantajları incelenmiştir.

1.4. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme en az iki değişik malzemenin en iyi özelliklerini yeni bir malzemede toplamasıyla oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır (Sarıtaş, 1995). Farklı özelliklerdeki maddeleri kimyasal ve fiziksel olarak birleştirmeyle üstün özelliklere sahip malzemelerin elde edilebileceği günümüzde ön plandadır. Kompozit malzeme oluşturmada iki tip malzeme söz konusudur. Bu malzemelerden birincisi ana faz matris malzemesi, diğeri ise matris malzemesine ilave edilen dolgu takviye malzemesidir. Kompozit malzeme üretiminde ana faz matris malzemesi içerisine takviye malzemesinin dağılmasıyla oluşturulur. Kompozit malzemenin oluşumunda matris ve takviye malzemesinin birbiri içerisinde çözünmemesi istenmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda kompozit malzemeden istenilen matris ve takviye malzemesinin birbirinin eksik özelliklerini tamamlayarak daha üstün özelliklere sahip malzeme olmasıdır (Ünal,2010).



Şekil 1.1. Kompozit malzeme yapısı (Yılmaz,2019)

1.4.1. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemelerin üretimi kullanılacakları alanlara göre avantaj ve dezavantajları değişiklik gösterebilmektedir. Bu malzemelerin avantajları ve dezavantajları kullanılan matris veya takviye malzemesine göre farklılıklar gösterebilir. Burada avantajları sıralanırsa;

- Yüksek dayanım

- Estetik özelliği
- Yorulma dayanımı
- Korozyon direnci
- Mükemmel derecede aşınma direnci
- Isı yalıtımı
- Yüksek rijitlik
- Termal ve elektriksel iletkenlik
- Ağırlık
- Ses yalıtımı
- Titreşim sönümleme (Koçer,2002; Kılıç,2006; Schwartz,1983)

Kompozit malzemelerin doğal bir titreşim sönümleme özellikleri vardır. Malzemede oluşabilecek çatlakların ilerlemesi de bu yolla durdurulabilir. (Arıcasoy,2006). Bu avantajları kullanım yerlerine ve özeliklerine göre gereksinim duyulduğu şekilde arttırılabilir. (Mondal ve ark, 2005; Armatlı,1999; Hiçyılmaz,1999) Kompozit malzemenin istenilen bu özelliklerini yanı sıra istenmeyen dezavantajlarda mevcuttur. Bunları aşağıda maddelerin halinde sıralanırsa;

- Geri dönüşümlerinin olmaması
- İşleme zorluğu
- Üretimin güçlüğü
- Üretim maliyeti (Koçer,2002; Kılıç,2006; Schwartz,1983)
- Sünekliğin az olması
- Kompozit malzemelerin üretiminde içerisinde kalan hava zerreciklerinin malzemenin yorulma dayanımına olumsuz etkileri
- Aynı kompozit malzeme üzerinde mekanik deneylerde numuneler arasında farklı sonuçlar vermesi (Bilir,2014).

1.4.2. Kompozit malzemelerin uygulama alanları

Kompozit malzemelerin en eski uygulama alanı inşaat sektörüdür (Bilir,2014). Kompozit malzemeler teknolojinin gelişimiyle beraber birçok alanda kullanımı artmıştır. Birden fazla sektöre de avantajları sayesinde kolaylık sunmuştur. Gelişen dünyada işletmeler arasında kullanımı rekabet haline gelmiştir. Kompozit malzemelerin sektörlere göre kullanımları aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları (Bilir, 2014; Cilasun, 2013)

Sektörler	**Kullanıldığı Parçalar**
Otomotiv Endüstrisi	Motor gövdesi, piston kolları, ara gövde
Havacılık Sanayisi	Uçak, motor kutuları, kanat boşlukları, türbin
Uzay	Uzay araçları gaz türbinleri
Çevre ve Şehircilik	Heykel, elektrik panoları, otobüs durakları
Elektrik Endüstrisi	Motor fırçaları, pil plakaları
Tıp	Protezler, Biyomalzemeler
Makine Endüstrisi	İş makinaları kapakları, çalışma kabinleri
İnşaat Sektörü	Cephe korumaları, yalıtım, büfeler
Tarım Sektörü	Tahıl depolama siloları, su boruları, seralar, fiskiyeler,
Ev Aletleri	Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinası parçaları

Kompozit malzemelerin kullanıldıkları alanlarda matris malzemesi ve takviye malzemesini parçalara göre tercihleri aşağıda tablo olarak verilmektedir.

Çizelge 1.2. Havacılık uygulamaları için metal matris uygulamaları (Miracle, 2005)

Matris	Takviye	Muhtemel Uygulamalar
Alüminyum		Uydu, roket, helikopter parçaları
Magnezyum	Grafit	Uzay ve uydu parçaları
Kurşun		Akümülatör klişeleri
Bakır		Elektrik kontaktı ve bağlantıları
Alüminyum		Kompresör bıçakları ve yapı desteği
Magnezyum	Bor	Anten yapıları
Titanyum		Jet motoru fan bıçakları
Alüminyum	Bor	Jet motoru fan bıçakları
Titanyum		Yüksek sıcaklık yapıları ve fan bıçakları
Alüminyum		Füzyon güç reaktörlerinde süper iletken sınırlayıcısı
Kurşun	Alümina	Akümülatör klişeleri
Magnezyum		Helikopter iletim yapıları
Alüminyum		Yüksek sıcaklık yapıları
Titanyum	Silisyum	Yüksek sıcaklık yapıları
Co esaslı süper alaşım	karbür	Yüksek sıcaklık motor paçaları
Süper alaşım	Molibden	Yüksek sıcaklık motor paçaları
Süper alaşım	Tungsten	Yüksek sıcaklık motor paçaları

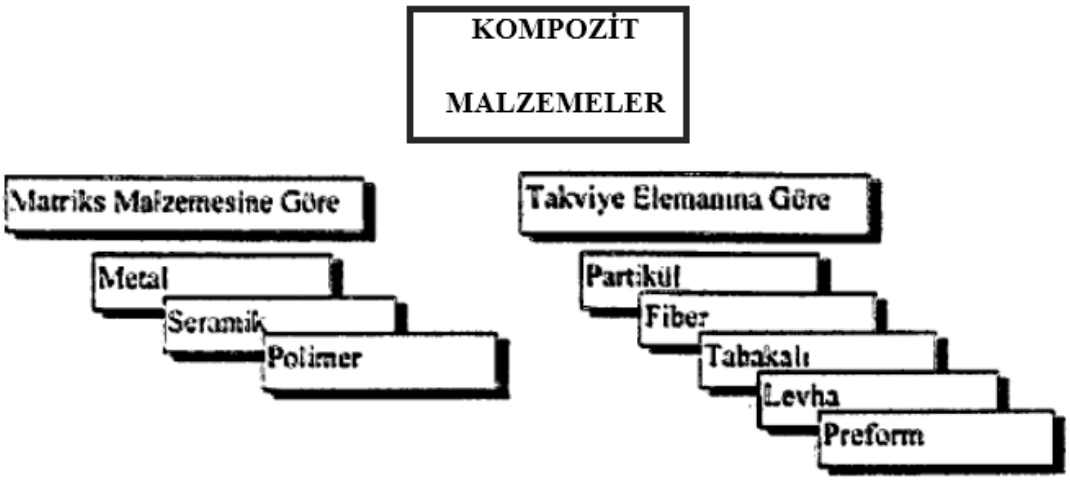
Çizelge 1.3. Alüminyum parça üreticileri (Rohatgi, 1991; Prasad ve Asthana, 2004; Miracle, 2005)

Takviye	Parça	Özellik	Avantaj	Üretici
SiC (p)	Piston	Aşınma direnci, yüksek mukavemet	Ağırlık azalması	Dural, Martin Marietta, Lanxide
Al_2O_3 (f)	Piston ring kanalı	Aşınma direnci	Daha yüksek çalışma sıcaklığı	Toyota
Al_2O_3 (f)	Piston dişi	Yorulma direnci, sürünme	Al kullanma fırsatı	T&N, JPL, Mahle ve diğerleri
SiC (p)	Fren çarkı, kumpas, silindir gömleği	Aşınma direnci	Ağırlık azalması	Dural, Lanxide
SiC (p)	Kardan mili	Özel direngenlik	Ağırlık azalması	GKN, Dural
SiC (w)	Biyel	Özel direngenlik ve mukavemet, termal genleşme	Ağırlık azalması	Nissan
Al_2O_3 (f)	Biyel	Özel direngenlik ve mukavemet, termal genleşme	Ağırlık azalması	DuPont,Chrysler
Al_2O_3 (f) Si_2O_3-C	Silindir gömleği	Aşınma direnci, genleşme	Artan ömür, azalan boyut	Honda
TiC(p)	Piston, biyel	Aşınma, yorulma	Azalan ağırlık ve aşınma	Martin Marietta
Al_2O_3 (f)	Valf yayı, kam	Aşınma, mukavemet	Azalan ağırlık, artan ömür	Lanxide

Kullanım yerlerine ve üretim şekline göre istenilen özellikleri sağlamak için kompozit malzemelerin türüne ve şekline göre sınıflandırılmalı literatürde sınıflandırılmaları bulunabilmektedir. En genel anlamda sınıflandırmak gerekirse matris malzemesine ve takviye malzemesine göre sınıflandırılabilir.

1.4.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemenin oluşumunda önemli bir yere sahip olan takviye malzemesi, matris malzemesi içerisinde yer almasıyla yeni malzemenin birçok özelliklerinin gelişmesini sağlamıştır. Bu doğrultuda genel olarak kompozit malzemelerin kullanılan matris malzemesinin cinsine ve takviye elemanın şekline göre sınıflandırılması yapılmaktadır. Aşağıda şekilde kompozit malzemelerin sınıflandırılması verilmiştir (Schwartz,1984).



Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin bileşenlerine göre sınıflandırılması (Schwartz,1984)

Bu tablodan yola çıkarak kompozit malzemenin oluşumunda biri matris malzemesi diğeriyse takviye elemanı olarak iki malzemeye ihtiyaç vardır. Matris malzemesine burada istenilen özellikleri katmak için uygun takviye elemanı seçerek yapılır. Matris malzemesi, takviye elemanın içerisinde tutunmasına ve özellik katmasına olanak sağlar. Böylelikle yeni oluşan kompozit malzeme, matris malzemesinden daha üstün özelliklere sahip olur. Bu bilgilerden yola çıkarak matris malzemesi ve takviye elemanı seçimi çok önemlidir.

Matris malzemesiyle takviye elemanı uyumu üretimi yapılacak olan kompozit malzemenin özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Takviye elemanının boyutu ve şekli matris malzemesi içerisinde uyum sağlamasıyla birlikte istenilen özelliklerde iyileştirme yapılabilir. Uyum sağlamaması durumunda istenilen derecede özellikler bulunmadığı gibi daha kötü sonuçlarda elde edilebilir. Bunun yanı sıra takviye elemanı ile matris malzemesinin uyumunu üretim teknikleri de etkilemektedir. Üretim tekniği kompozit malzemenin matris malzemesi içerisinde, takviye elemanın tutumunu ve dağılımını etkileyeceğinden önemlidir. Matris malzemesi uygulanan teknikle takviye edilen elemanların özelliklerini kendi üzerinde gösterebilmektedir. Uygulanacak olan üretim tekniği, üretimi yapılacak olan kompozit malzemenin her bölgesinde istenilen özellikleri elde etmeye yardımcı olacaktır. Bundan dolayı matris malzemelerini ve takviye elemanları iyi tanıyarak, üretim tekniğine karar verip daha iyi özelliklere sahip kompozit malzeme üretimi yapılacaktır. Bundan dolayı bu çalışmada homojen

dağılımı elde edebilmek için karıştırmalı döküm yöntemi tercih edilmiştir. Üretilecek olan kompozit malzeme metal matris tabanlı olduğu için içerisine ilave edilecek olan takviye malzemesi homojenliği yakalaya bilmesi için karıştırmalı döküm sistemi tercih edilmiştir.

1.4.3.1. Metal matrisli kompozit malzemeler

Metal matrisli kompozitler (MMK)üstün özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanıldığı gibi mühendislik açısından da önem arz etmektedir. Mühendislik malzemelerinin geliştirilmesi, yeni özelliklere sahip malzemelerin piyasa ihtiyaçlarını karşılaması açısından metal matrisli kompozitler önemli yere sahiptir. Genel anlamda metal matrisli kompozitler yüksek mukavemet gerektiren yerlerde tercih edilmektedir. Son yıllarda gelişen teknoloji ve üretim tekniklerinin kolaylaşmasıyla hafif ve mekanik özellikleriyle birlikte birçok alanda tercih edilmiştir. Yapılan literatür taraması sonuçlarında çoğunlukla metal matris olarak alüminyumun kullanıldığı görülmüştür. Genel olarak metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak seçilen metaller yumuşak, hafif, ergime sıcaklığı düşük ve dayanımı az olan metallerdir. Bu şekilde seçilmesinin en önemli nedeni hafif ve şekillendirilebilirliği iyi olan metallere daha yüksek özellikler ekleyerek tedariki kolay ihtiyaçlara cevap verebilen ürün elde etmektir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak alüminyum (Al), magnezyum (Mg), bakır (Cu), ve nikel (Ni) gibi metaller kullanılmaktadır. Bu metal matris malzemelerinin içerisine takviye malzemesi olarak Al_2O_3, SiC, B_4C, TiC, MgO, gibi malzemeler ilave edilerek, matris malzemesi içinde homojen dağılım sağlanıp takviye elemanın tutunması istenmektedir. Takviye malzemesi matris içerisinde tutunmasını etkileyen en önemli etkenlerden birisi de ıslana bilirliktir. Takviye malzemesinin ıslana birliğinin artması, iyileştirilmek istenilen özelliği daha kolay ve iyi derecede elde etmeye olanak sağlamaktadır. MMK'lerde en iyi sonuçlarda maliyeti düşük yeni bir malzeme oluşumunda istenilen sonuçları elde etmek için takviye malzemesi olarak literatür taraması sonucu seramik takviye elemanları tercih edilmiştir. Takviye elemanın boyutu, katılma şekli ve homojenliği matris malzemesi içerisinde yer alması için önemli bir ayırt edici özelliktir. Matris, takviye malzemesinin bir arada ve her yerinde

aynı özellikleri sağlayabilmesi için bağlayıcı özellik sağlar. Bu şekilde üretimi sağlanış olan kompozitlerde istenilen özellik üzerine uygulanan yük matris malzemesi aracılığıyla takviye malzemesine daha kolay ve dengeli bir şekilde aktarılmış olur. Böylelikle istenilen özellik daha iyi sonuçlar verir. Metal matrisli kompozitlerin birçok kullanım alanına sahip olmasındaki en önemli sebep kullanılan alanın uzun vade de uygulama koşullarına cevap verebilmesidir.

a) Metal matrisli kompozit üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozit üretiminde talep edilen ürüne göre çeşitli üretim teknikleri mevcuttur. Üretim yöntemlerinin belirlenmesinde; imal edilecek olan parçanın şekli, matrisin hazırlanması, takviye malzemesinin ilave edilmesi ve üretimi yapılacak parçada olması istenilen özellikler ön plana çıkmaktadır. Bu koşullarda seçim yapılmak üzere çeşitli üretim yöntemleri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra üretim yöntemlerinin de kendine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bundan dolayı imal edilecek olan parçaya göre üretim yöntemi çok önemlidir. Seçilen üretim yönteminin yanlış olması durumunda gözenekli yapı oluşumu, matris içerisinde takviye elemanın topaklanması, takviye malzemesinin yeterince ıslanamaması gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu durumlardan kaynaklı üretimi yapılan kompozit malzeme istenilen özellikleri gösteremez. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde dikkat edilmesi gereken ölçütler aşağıda sıralanmaktadır.

- Matris malzemesi içerisinde takviye malzemesinin homojen dağılım sağlaması
- Takviye malzemesi ile matris malzemesinin uyumu
- Takviye malzemesi ile matris arasında gerçekleşecek olan tepkimeler
- Matris malzemesinin takviye malzemesini iyi ıslatabilir olması
- Takviye malzemesinin boyutu ve şekli
- Matris malzemesi ile takviye edilen malzemenin arasında ara yüzey bağının iyi derece sağlanması

Bu parametreler doğrultusunda seçimi yapılacak üretim yöntemleri üç grupta aşağıda sıralanmaktadır.

- Sıvı faz üretim işlemleri
- Katı faz üretim işlemleri
- İn-situ işlemleri

- **Sıvı faz üretim işlemleri**

Sıvı faz üretim işlemlerinde öncelikle matris malzemesi eriyik hale getirilir ve takviye malzemesinin eriyikle birleştirilmesi yapılır. Genel olarak bilinen döküm yöntemiyle kompozit malzemenin üretiminin sağlanabilmesidir. Sıvı faz üretim işlemlerinde farklı metotlar uygulanarak, matris malzemesiyle takviye elemanı birleştirildiği anda matris, kısmen veya tamamen eriyik haldedir. Bu şekilde birleştirilen matris ve takviye malzemesinin avantajları kompozit malzeme üretimi için önemlidir. Eriyik haldeki matris malzemesi, takviye elemanıyla daha iyi temas sağlayıp ıslana bilirliğin artmasıyla ara yüzey bağlarının daha iyi oluşmasının sağlamaktadır. Bu süreç aralığında dikkat edilmesi gerenken noktalar ise sıcaklığın kontrol altında tutulması, basıncın dengeli olması ve takviye malzemesinin ıslanamaması ve gaz boşluklarının oluşmasıdır. Bu parametrelere dikkat edilmemesi durumunda üretimi yapılan kompozit yeteri kadar özellik barındırmayabilir. Sıvı faz üretim işlemleri uygulanabilirliği kolay, maliyet olarak cazip, karmaşık şekilli parçaların üretimine elverişli olmasıyla yaygın olarak tercih edilmektedir.

Bu yöntemle üretimi yapılacak olan kompozit malzemelerde matris ve takviye malzemesi arasında güçlü bir bağ olabilmesi ıslana bilirliğin arttırmasına bağlı olduğu için takviye malzemesi kaplama işlemi yapılabilir. Matris malzemesinin takviye malzemesini ıslatmaması dökümü zorlaştıran problemlerin en başında gelmektedir. Bunun önüne geçmek için matris yüzey kuvvetinin dışarıdan uygulanabilecek kuvvetle aşılması, takviye malzemesinin kaplanmasıyla gibi çeşitli işlemler uygulanabilir. Uygulanabilecek olan bu işlemler yardımıyla matris ve takviye arasında kimyasal bağlar kontrol altına alınabilir.

Sıvı faz üretiminde eriyik halde bulunan matris malzemesiyle, takviye elemanı çeşitli yöntemlerle birleştirilebilir. Genel olarak kompozit üretiminde tercih edilen döküm yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

- Karıştırmalı (Vorteks) Döküm
- Sıkıştırmalı Döküm
- Yarı Katı Döküm (COMPOCASTİNG)
- Plazma Püskürtme
- İnfiltrasyon (Sıvı Metal Emdirmesi)

- **Karıştırmalı (vorteks) döküm**

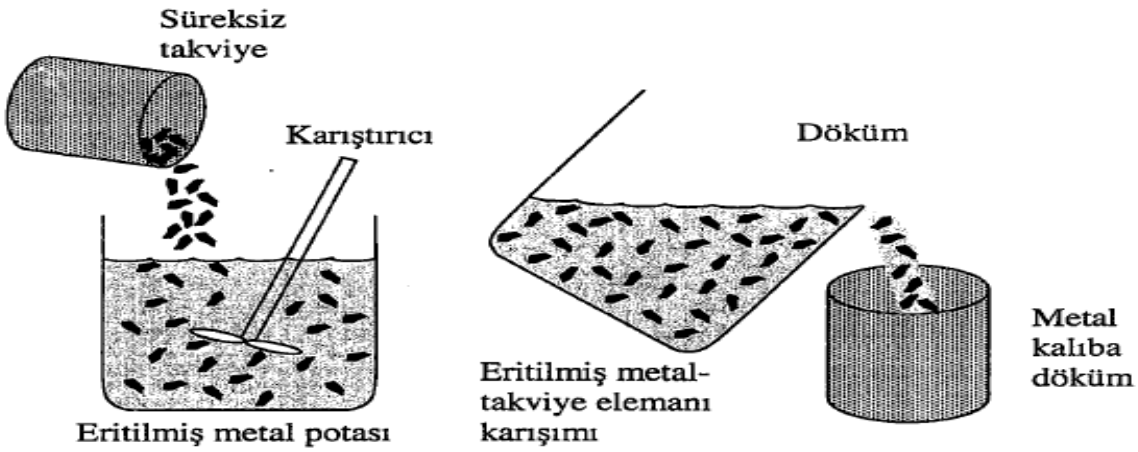
Karıştırmalı döküm yönteminde matris malzemesi eriyik halde karıştırma işlemi yapılırken takviye malzemesi partikül halinde matris malzemesi içerisine ilave edilmesi esasına dayanır. Vorteks yönteminde, metal matris malzemesi eriyik haldeyken bir karıştırıcı yardımıyla belirli bir devirde karıştırma işlemi başlatılarak vorteks oluşması sağlanır. Takviye malzemesi partikül olarak, bu vorteks içerisine ilave edilerek matris malzemesiyle birleştirilir. Bu aşamadan sonra takviye partiküllerinin eriyik metal içerisinde homojen dağılımını arttırmak için karıştırma işlemine belirli süre devam edilir. Sıvı metal matris içerisinde vorteks oluşturmak için mekanik, elektromanyetik ve gaz enjeksiyon gibi çeşitli karıştırma işlemi yapılabilir. Ergimiş metal matris içerisine bu yöntemler kullanılarak seramik partiküller katmak elverişlidir. Bu yöntemde karşılaşılan dezavantaj, katılacak olan takviye partikül miktarının artmasıyla matris malzemesinde homojen dağılım azalacağından dolayı partiküllerin istenilen seviyede ıslanmaması gibi istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bundan kaynaklı porozite miktarındaki artış üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde önemli derece kayıplara neden olabilmektedir.

Karıştırma esnasında oluşan vorteksten kaynaklı hava kabarcıklarının oluşumu, matris içerisine girmesiyle gözenekler oluşmaktadır. Bunun yanı sıra takviye malzemesinin eklenmesi esnasında da hava kabarcıkları oluşabilmektedir. Hava kabarcıklarının oluşumunu minimize etmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Eriyik

matris veya kompozit hammaddesi içerisinden hava kabarcıkları çıkarmak için inert gaz verilmesi, kabarcıkları önlemek için çeşitli formda bazı elementlerin eriyik içerisine katılması, filtrasyon ve oksit giderici fluxlar kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra dikkat edilmesi geren bazı durumlar, karıştırıcının boyutları, karıştırma devri, karıştırma süresi, döküm sıcaklığı, kalıbın sıcaklığı, kalıp temizliği, kalıp kalınlığı, eriyik matrisin sıcaklık kontrolü, takviye malzemesinin özellikleri gibi koşullarda mevcuttur.

Üretimde bu parametreler kontrol altına alınmamasında çökelme, topaklanma ve porozite gibi bazı sorunlarla karşılaşılmaktadır. Metal matrisli kompozit üretimindeki bu yöntemin genel olarak avantajları aşağıda sıralanmaktadır.

- Kompleks şeklindeki parçaların ikincil işleme tabi olamadan üretilebilmesi
- Kolay ve hızlı üretime elverişli
- Ekonomik açıdan ucuz
- Karmaşık şekillere sahip parçaların üretiminde kolaylık sunması



Şekil 1.3. Karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit üretimi (Srıvatsan,1991)

- **Sıkıştırmalı döküm**

Bu döküm yönteminde temel amaç fiber veya partikül halinde hazırlanmış preformun üzerine yüksek basınç uygulanmasıyla sıvı metalin katılaşmasını

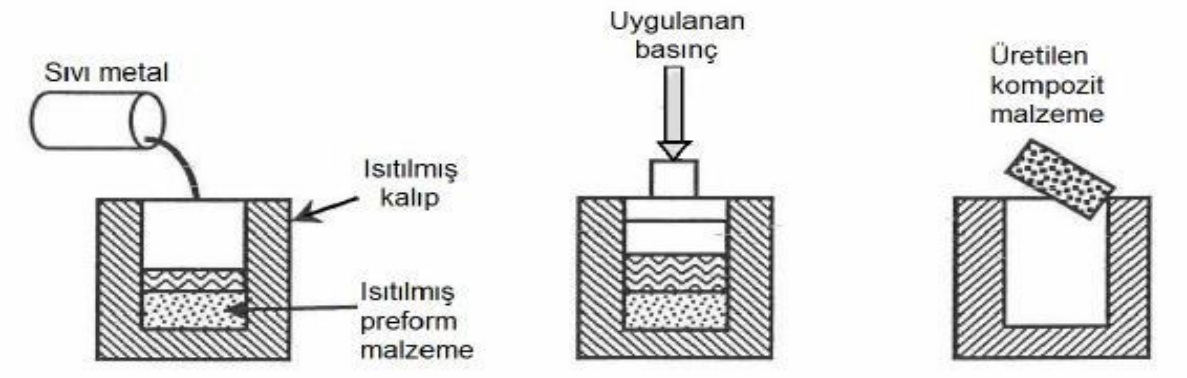
sağlamaktır. Bu üretim yönteminde ön ısıtma işlemi yapılmış olan fiber ve partiküllerden oluşan kalıp içerisine yüksek kuvvet yardımıyla sıvı metalin basılmasıyla ve bu eriyik üzerine uygulanan yüksek basınç uygulanarak katılaşmasını sağlamaktır. Bu yöntem yardımıyla yüksek hassasiyet gerektiren mühendislik ekipmanlarının üretimi yapılabilmektedir. Sıkıştırmalı döküm yönteminde uygulanan yüksek basıncın etkisiyle porozite gibi dökümde oluşabilecek hatalar en aza indirgenmiştir. Bu yöntemde kompozitin oluşumu, fiber veya partikül takviye malzemeleri üzerine kullanılacak olan eriyik metal matris malzemesi kuvvet yardımıyla emdirilerek katılaşması sağlanır. Bu şekilde fiber veya partikül takviyeli kompozit üretimi gerçekleştirilir. Metal matrisin kuvvet yardımıyla uygulaması esnasında katılaşmasını önlemek için ön şekil, kalıp ve itici zımba ısıtmaya tabi tutulur. Bu ısıtma sırasında takviye malzemesinin ergimek sıcaklığına ulaşmamasına dikkat edilir.

Üretimi yapılacak olan kompozit parçaya göre ergimiş matris malzemesi içerisine takviye partikülleri döküm işlemi yapılmadan önce de karıştırılarak bu yöntem yardımıyla üretim yapılabilmektedir. Bu üretim tekniğindeki esas amaç metal matris malzemesinin basınç altında takviye malzemesinin ıslana bilirliğini arttırarak, oluşabilecek kusurları en aza indirgemektir. Sıkıştırmalı döküm yönteminin en önemli dezavantajı küçük boyuttaki parçalar için döküm yapılabilmesidir. Dökümü yapılacak parça boyutlarının büyümesiyle metal matrisin takviye malzemesini ıslata bilirliği azalmaktadır.

Sıkıştırmalı döküm yönteminde katılaşma sırasında parça üzerindeki yüksek basınç poroziteyi azalttığı gibi pürüzsüz yüzey oluşumunu ve dayanımı yüksek üretim yapmayı sağlamaktadır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli parametreler, penetrasyon hızı, kalıp malzemesi, eriyik sıcaklığı, ön ısıtma sıcaklığı ve uygulanan basınçtır. Genel olarak bu üretim tekniğinin avantajları aşağıda sıralanmaktadır.

- Küçük ve kompleks parçaların üretimine elverişli olması
- Üretilen parçaların ince taneli iç yapıya sahip olmasından dolayı mekanik özelliklerinin iyi olması

- Yüzey kalitesi iyi olmasından kaynaklı ikinicil işlem gerektirmemesi
- Hızlı üretim sağlanması
- İnce cidarlı parçaların kalıplarının tam dolum sağlanması



Şekil 1.4. Sıkıştırmalı döküm tekniğiyle kompozit üretimi (Pul,2010)

- **Yarı katı döküm (compocasting) yöntemi**

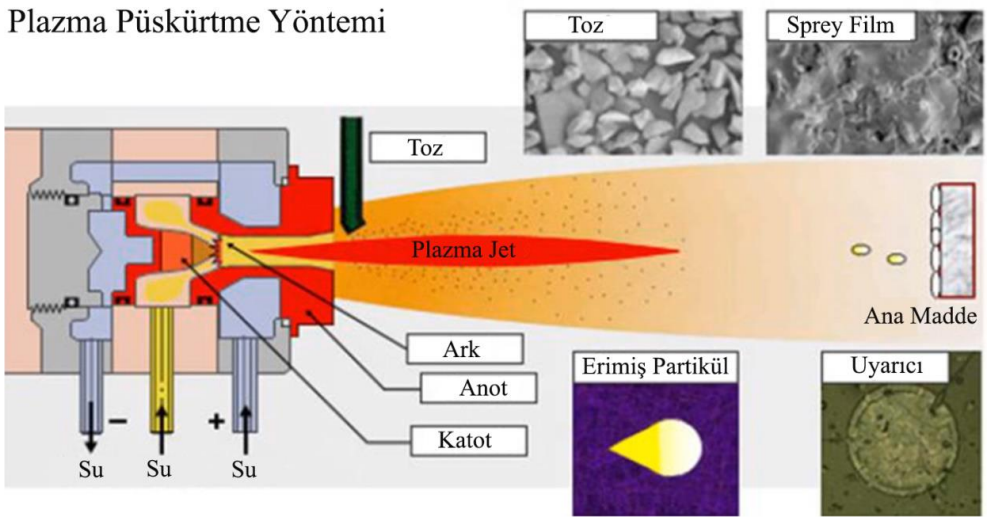
Bu yöntemde partikül ve fiber takviyeli kompozit üretimi için uygulanan tekniktir. Bu üretim yönteminde matris malzemesinin sıcaklığı katı-sıvı faz aralığında sabit tutularak yoğun kıvamda elde edilerek, takviye malzemesinin ilave edilerek karışma işlemi yapılır. Bu yöntem de tercih edilen matris malzemesi ergime sıcaklığının %5-10 üzerine çıkılarak matris malzemesi ergitilir. Bu aşamada matris malzemesinin homojen bir eriyik olması sağlanmaktadır. Bunun devamında sıcaklık kontrollü bir şekilde düşürülerek yarı katı durumda yüksek viskoziteli matris malzemesi elde edildiğinde takviye malzemesi ilave edilir ve karıştırma işlemine başlanır. Matris malzemesinin takviye elemanını ıslata bilirliğini arttırmak için sıcaklık arttırılır. Karıştırma işlemine takviye malzemesinin homojen dağılım sağlanmasına kadar devam edilir ve önceden ısıtma yapılmış olan kalıba döküm işlemi gerçekleştirilir.

- **Plazma püskürtme**

Metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak partiküllerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bu yöntemde ergimiş metal matris malzemesi atomize

edilerek, takviye malzemesi üzerine istenilen parça boyutlarına göre püskürtme işlemidir. Eriyik haldeki metal matris bu yöntemle takviye malzemesine yapışmakta ve katılaşma prosesi hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu üretim tekniği ergime sıcaklığı düşük alüminyum gibi metallerde genel olarak uygulanabilmektedir. Bu yöntemde üretimi yapılacak olan parça boyutları püskürtmeyle ayarlanabilmektedir. Ergimiş metalin püskürtülerek takviye üzerinde hızlı katılaşması bu yöntemde ara yüzey tepkimesini azalttığından dolayı dezavantajlar sunmaktadır. Ara yüzeyde sınırlı reaksiyon oluşumu üretimi yapılan kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Matris malzemesi ve takviye elemanının beraber ergitiliş veya toz halde hazırlanmış şekilde gaz jeti aracılıyla püskürtülerek gerçekleştirilen üretime "Osprey Yöntemi" denir. Bu yöntemde üretim hızı ve cidar kalınlığı kontrollü üretim yapılarak gözenekli iç yapı oluşumu en az indirgenmiştir. Plazma püskürtme işleminde kullanılan azot gazının yardımıyla matris malzemesi ince damlacıklar haline geldiğinden dolayı homojen bir üretim gerçekleştirilmektedir. Bu üretim yönteminin bir diğer dezavantajı üretimi yapılan ürünlerin yoğunluğu kaynaklı dövme gibi ikincil işlem gerektirmesidir. Bu üretim yönteminin avantajları aşağıda sıralanmaktadır.

- Üretimin hızlı olması
- Homojen üretim sağlanması
- İnce taneli yapı oluşumu

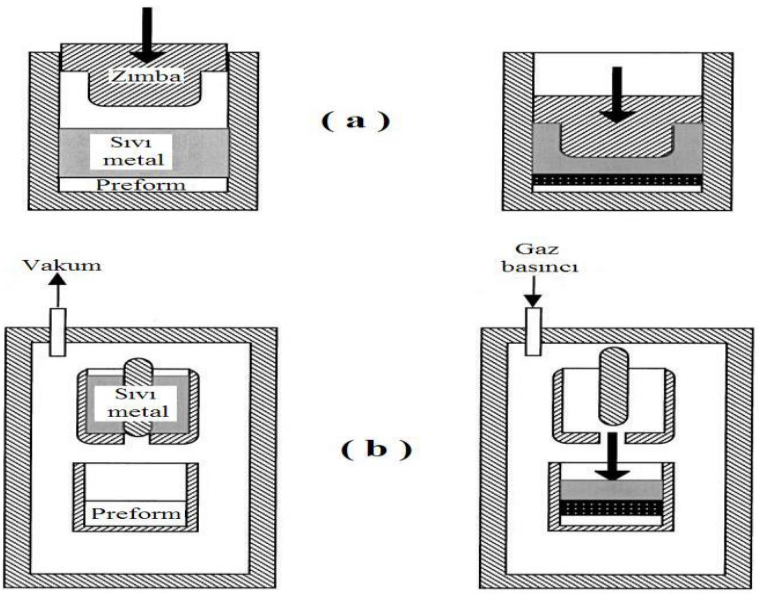


Şekil 1.5. Plazma püskürtme yöntemi (Günay, 2009)

- **İnfiltrasyon (Sıvı Metal Emdirmesi)**

İnfiltrasyon metal matrisli kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu üretim tekniğinde bir tüp içerisine yerleştirilmiş takviye malzemelerinin arasına sıvı formda matris malzemesinin emdirilmesi işlemidir. Bu yöntem üretim ihtiyaçlarına elverişli avantajlar sunması metal matrisli kompozit üretiminde önemli bir yere sahiptir.

İnfiltrasyon yönteminde öncelikle takviye malzemeleri kullanılarak preform hazırlanılır, bu aşamada takviye ilave oranı ve yönlendirmesi ön şekillendirme sırasında ayarlanmaktadır. Takviye malzemesi içeren preformlar kalıp içerisine yerleştirilerek sıvı metal matris emdirme işlemine başlanır. Bu yöntemde sıvı metal matrisin emdirilmesinde çeşitli yöntemler mevcuttur. Emdirme işlemi basınçsız, basınçlı ya da vakum altında yapılabilmektedir. Bu yöntemlerin tercihi artan takviye malzemesi miktarına göre değişmektedir. Yöntem tercihindeki esas amaç takviye malzemesinin ıslana bilirliğini arttırarak daha iyi sonuçlara sahip kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmektir.



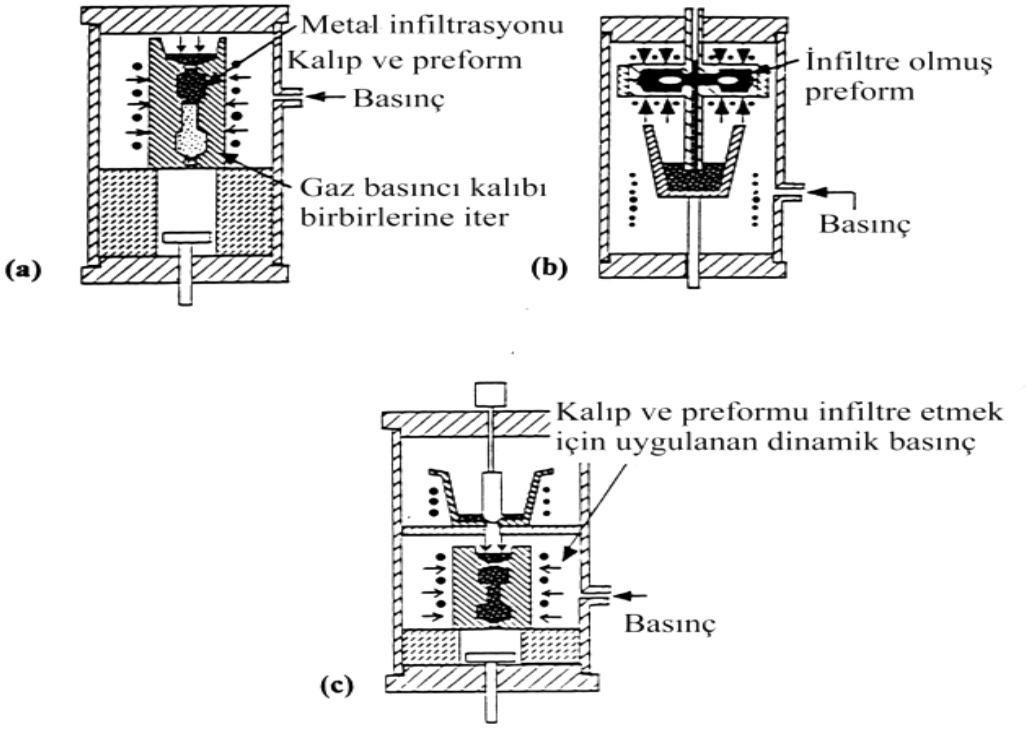
Şekil 1.6. a) Ezme döküm, b) Gaz basınçlı infiltrasyon yöntemi şeması (Michaud, 2001)

- **Basınçlı infiltrasyon**

Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle metal matrisli kompozit malzeme üretmek için sıkıştırmalı döküm yönteminden farkı ön şekillendirme yapılmış preform takviye malzemesinin üzerine uygulan basınç, piston yardımıyla değil de inert bir gaz aracılıyla gerçekleştirilmesidir.

Bu yöntemde genel olarak kullanılan azot (N2) gazı basıncı metal matris malzemesine uygulanarak ön şekillendirilmiş preforma emdirilmesi gerçekleştirilir. Bu yöntem basınçsız infiltrasyonla karşılaştırıldığında takviye malzemesinin ıslana bilirliği basınç etkisiyle arttığı gözlemlenmiştir. Buda basınçlı infiltrasyon tekniğinin önemli bir avantajı olmuştur. Bu yöntemde kullanılan inert gazın basıncı, sıkıştırmalı yöntemde kullanılan basınca göre daha az seviyelerdedir. Uygulanan bu basınç porozite miktarını atmosfer basıncındaki metal matrisin boşaltılmasına göre daha az seviyeler olmasına avantaj sağlamıştır. Genel olarak bu yöntemin avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Üretimin hızlı olması
- Üretilen parçanın ikincil işlem ihtiyacının az olması
- Matris malzemesine ilave edilecek olan takviye elemanın miktarının artmasından kaynaklı ıslana bilirliğin artmasını sağlayarak gözenekli yapı oluşumu ve topaklanma gibi problemlerin azalması
- Bazı üretim tekniklerine kıyasla cazip olması



Şekil 1.7. a) Üstten doldurma, b) Alttan doldurma, c) Üstten döküm yöntemi (Çevik,2015)

- **Basınçsız infiltrasyon**

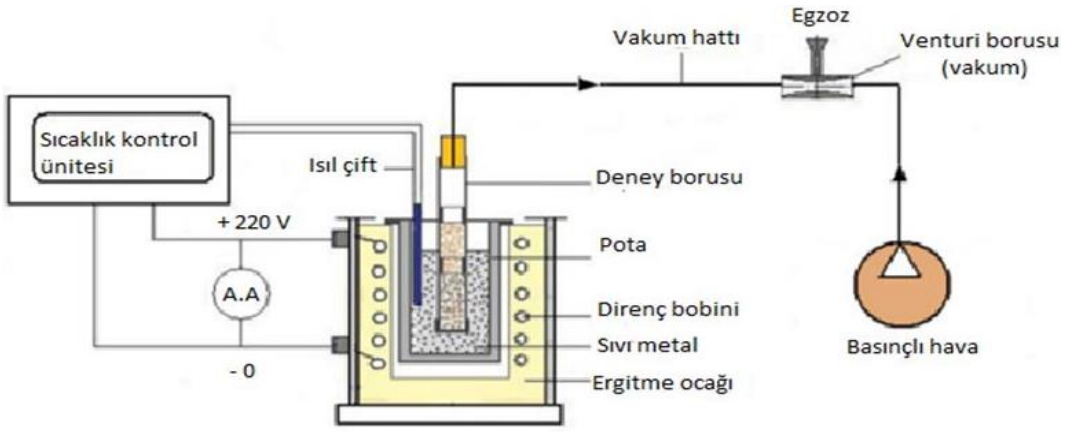
Lanxide tarafından geliştirilen bu yöntem metal matris malzemesinin preforma kendiliğinden infiltrasyonu sağlanır. Bu üretim tekniğinde hiçbir basınç ve vakum etkisi olmadan infiltrasyon olmasından dolayı Lanxide prosesi olarak adlandırılmıştır.

Bu yöntemde takviye elemanın infiltre olabilmesi için matris malzemesi ıslata bilirliği iyi olması gerekmektedir. Bunun için alüminyum matris içerisine (Mg) magnezyum partikülleri eklenmektedir. Bir diğer yöntemde ise takviye malzemesinden hazırlanan preform içerisine magnezyum partikülleri ekleyerek alüminyum matrisin ıslata bilirliğini arttırmaktır. Bu üretim prosesinde diğer bir önemli parametre, üretim esnasında azot (N2) gazı atmosferi kullanılarak ara yüzey reaksiyonlarını minimize etmektir. Bu üretim tekniğinde magnezyum ve azot gazı iki önemli parametredir. Bu üretim yönteminin bazı dezavantajları zaman alan bir süreç gerektirmedir. Bunun yanı sıra alüminyum içerisine eklenen magnezyumla birlikte matris hazırlanmasıdır.

- **Vakum infiltrasyon**

Vakum infiltrasyon yönteminde takviye elemanından meydana gelen ön şekillendirilmiş preformu, metal matrisin iyi derecede ıslatabilmesi için gözenekli yapıda olması istenmektedir. Takviye malzemeli preform hazırlanma işleminden sonra Arşiment yoğunluk testi aracılıyla gözenek durumu tespit edilerek üretim işlemine geçilmektedir. Bu infiltrasyon tekniğinde esas amaç takviye malzemesinin ıslana bilirliği arttırılarak mekanik özellikleri iyi kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmektir.

Eriyik halde ki metal matris malzemesinin takviye elemanını ıslata bilirliği temas açısının az olmasına bağlıdır. Temas açı 00 dolaylarına yakın olduğunda takviye malzemesinin ıslana bilirliği en yüksek seviyelerde iken bu derece 1800 'ye yaklaştıkça ıslana bilirlik en düşük seviyededir. Bu infiltrasyon yönteminde temas açısı dikkate alınarak ıslana bilirliği arttırmak için dış basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Çeşitli teknikler yardımıyla bu basınç uygulanabilmektedir. Bu yöntemde uygulanan vakum basıncı üretilen kompozit malzemede oluşacak poroziteyi ve matris malzemede oluşabilecek bozunmaları en aza indirgemiştir.



Şekil 1.8. Vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi (Pul,2010)

- **Katı faz üretim işlemleri**

Kompozit üretiminde kullanılan bu yöntemde, matris olarak seçilen malzemenin ergime sıcaklığına ulaşmayacağı kadar sıcaklıkta ısıtılarak, takviye elemanının matris

malzemesine katı faz halinde yayınımı olarak tanımlanmaktadır. Katı faz üretim yöntemleriyle kompozit malzeme üretimi için en yaygın kullanılan iki yöntem vardır. Bu yöntemler Toz Metalurjisi ve Difüzyon bağlama yöntemleridir.

- **Toz metalurjisi**

Toz metalurjisi yöntemi, sıvı faz üretim tekniklerinde genel olarak karşılaşılan matris malzemesinin takviye elemanını yeteri kadar ıslatmamasından kaynaklı sorunları ortadan kaldırmak için geliştirilerek metal matrisli kompozit malzeme üretim yöntemidir.

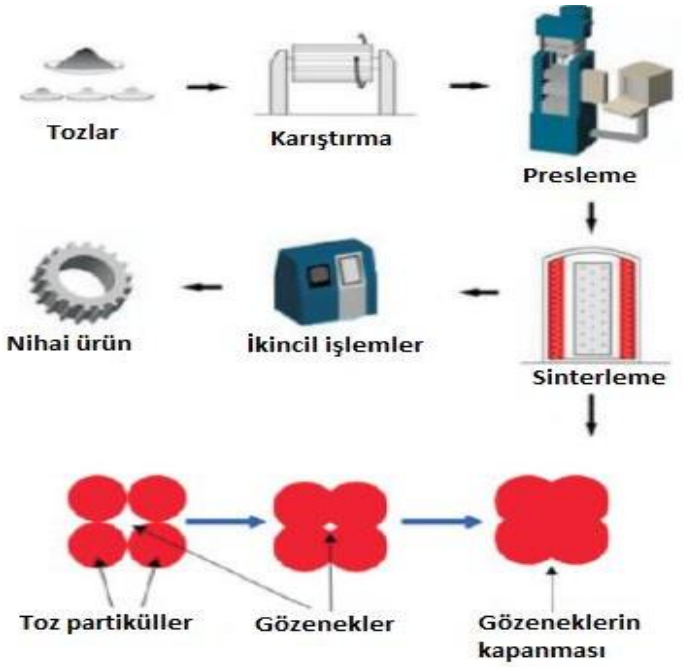
Bu yöntemde öncelikle kullanılacak olan matris ve takviye malzemesi toz formda hazırlanmaktadır. Toz haldeki matris ve takviye malzemesi ilk aşamada mekanik alaşımla olarak bilinen yöntemle karıştırma işlemi yapılır. Tozların birbiri içerisinde homojen bir şekilde karıştırılması üretimi yapılacak kompozit malzemenin verimi açısından önemlidir. Homojen karışım sağlanan tozlar şekli verilmek istenen kalıbın içerisine yerleştirilir. Kalıp içerisine boşaltılmış tozlar soğuk veya sıcak pres yardımıyla basınç uygulanarak presleme işlemi yapılmaktadır.

İstenilen özellikteki son ürünü elde etmek için sıkıştırılmış tozlara, ergime sıcaklığından az bir noktadaki sıcaklıkta sinterleme işlemi yapılır. Bu işlemin yapılması, üretilen kompozit parçanın istenilen derecede mikroyapıya sahip olması için uygulanan sıcak işlemdir. Üretilen malzemeye bu işlemin uygulanması hem yoğunluk hem de taneler arasındaki boyun vermeyi arttıracaktır.

Bu yöntemde takviye ve matris malzemesi seçiminde birçok çeşit sunmaktadır. Bunun yanı sıra toz metalurjisi yöntemi diğer tekniklere bakarak takviye malzemesinin matris içerisinde hacimce katılma oranını arttırmaktadır. Diğer yöntemlerde artan takviye malzemesinden kaynaklı matris malzemesi ilave edilen tozları yeterince ıslatmadığından sağlıklı bir üretim yapılamamaktadır. Bu yöntem yardımıyla ıslatmama sorunu en aza indirgenmiştir. Böylelikle üretilen kompozit malzeme mekanik özellikler açısından en iyi derecede olması için arayüzey reaksiyonları

kontrol altına alınarak daha düzgün üretim yapılabilmektedir. Bu yöntemde genel olarak matris malzemesi olarak kobalt (Co), alüminyum (Al), bakır (Cu) ve nikel (Ni) tercih edilirken, takviye malzemesi olarak ise silisyum karbür (SiC), grafit, bor karbür (B_4C) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) tercih edilmektedir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajları aşağıda sıralanmaktadır.

- Kompleks parçaların üretimine kolaylık sağlamak.
- Homojen yoğunlukta kompozit üretimi iyidir.
- Takviye malzemesinin hacimce yüksek oranda matris içerisine katılmasına olanak sağlar.
- Ara yüzeyde istenmeyen reaksiyonları ez düzeyde tutarak mekanik özelliklerde iyileşme olur.
- Üretimi yapılan kompozit malzemelerin yüzey kalitesi yüksektir.
- Diğer yöntemlere göre toz metalurjisinin dezavantajları aşağıda sıralanmaktadır.
- Döküm yöntemlerine kıyasla maliyet pahalıdır.
- Toz fiyatları pahalıdır.
- Takviye malzemesi olarak patlayıcı tozların sistemi sınırlaması

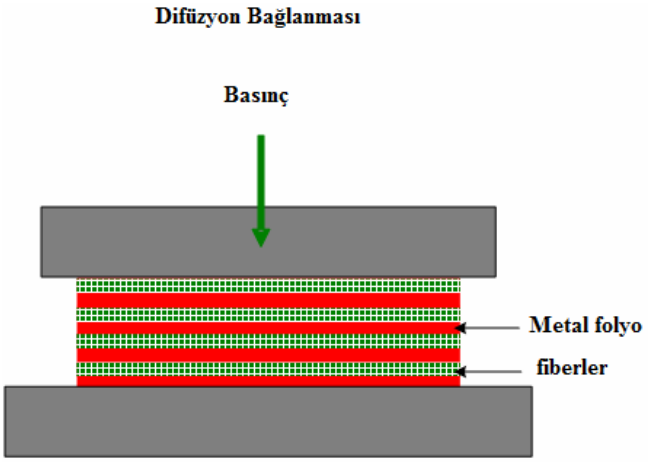


Şekil 1.9. Toz metalurjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretimi (Soy,2011)

- **Difüzyon bağlama**

Kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi ve takviye elemanını ergime noktası altındaki sıcaklıkta presleme yaparak birleştirme işlemine difüzyon bağlama yöntemi denir. Bu yöntemde matris ve takviye malzemesi arasında bağ oluşumuyla kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilir. Bu yöntemde kullanılan matris malzemesi levha halinde iken takviye malzemesi fiberdir. İlk aşamada üretime başlanamadan önce matris ve takviyenin yeterince temiz yüzeye sahip olması gerekmektedir. Bundan dolayı matris ve takviye malzemesi işlem öncesinde kimyasal temizleme işlemiyle yüzeylerindeki istenmeyen maddelerden arındırılır. Bu işlemin yapılması kompozit üretiminde gerçekleşecek olan difüzyon bağının daha iyi ve dengeli olmasını desteklemektedir.

Bu işlemin devamında levha halinde olan matris üzerine önceden belirlenen sıklıkta ve açıda fiberler yerleştirilerek ısıtma aşamasına geçilmektedir. Ergime noktasına ulaşmayacak derecede ısıtma işlemi yapılırken difüzyon bağı oluşması için basınç uygulanarak birleştirme işlemi yapılmaktadır. Difüzyon bağlama yöntemiyle üretim aşamasında dikkat edilmesi gereken parametreler uygulanacak basınç ve sıcaklık değeri kompozitin oluşumunda etkilidir. Bu yöntemle en iyi şekilde kompozit üretme, takviye elemanın konumlandırılmasına bağlı değişmektedir. İstenilen özellikleri elde etmek için bu parametrelere dikkat ederek üretim gerçekleştirilmelidir.



Şekil 1.10. Difüzyon bağı yöntemiyle üretim yapımı (Kandpal ve ark.,2014)

- **İn-situ işlemleri**

Sıvı faz işlemleri ve katı faz işlemlerinde kompozit üretiminde genel olarak karşılaşılan sorun takviye malzemesinin matris içerisinde homojen dağılmaması ve matrisin yeteri kadar takviye elemanını ıslatmamasından kaynaklı oluşan porozite ve topaklanmadır. Bunun önemli sebeplerinden birisi üretimde matris malzemesinin istenilen düzeyde takviye malzemesini ıslatmadığında arayüzeyde sorunların meydana gelmesidir. Bunun sonucundan matris içerisinde porozitelerin oluşumu ve matrisin katılaşması esnasında güçlendirici takviye elemanını kabullenmemesinden kaynaklı topaklanmalar oluşabilmektedir. Bundan dolayı da üretimi yapılan kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde önemli derecede kayıplar olabilmektedir. İn-situ yöntemi problemleri kontrol altına alabilmenin en etkili yöntemidir.

İn-situ yönteminde üretimi yapılacak kompozitin matrisi eriyik haldeyken kuvvetlendirici takviye elemanlarının, matris içerisinde çekirdeklenerek kendiliğinden oluşturulmasıdır. Bu yöntemde kompozit üretim aşamasında malzeme içerisinde çeşitli fazlar oluşturarak, bunlardan birinin güçlendirici takviye malzemesinin görevini üstlenirken diğerinin ise matris malzemesi olarak davranıp üretimin yapılmasıdır. Bu yöntemin kullanılması ekonomik ve teknik açıdan bazı kolaylıklar sunmaktadır. Metal matris malzemesi içerisinde takviye elemanın konumlandırılması ve miktarı kontrol altında olmasıyla kompozit malzemenin istenilen özelliklerini elde etmek daha mümkün hale gelmektedir. Bunun yanı sıra üretimin kaliteli ve uygulanacak kuvveti matris aracılıyla takviye partiküllerine aktarılarak malzemenin her noktasına yayılması için, takviye malzemesinin iyi şekilde homojen dağılımı bu yöntemle mümkündür.

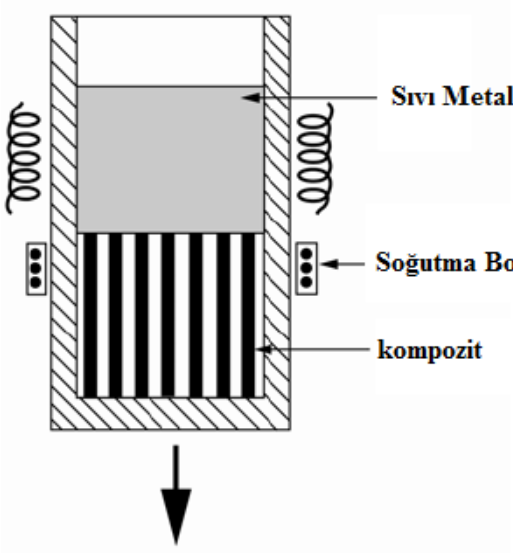
Bu teknikle üretimde diğer yöntemlerde meydana gelen yapısal sorunlar ortadan kaldırılmakta ve kompozit malzeme daha sağlıklı üretilmektedir. İn-situ yönteminde metal matris malzemesi ile takviye elemanı doğrudan birleşim sağladığından dolayı büyük avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Islana bilirliğin artmasıyla mekanik özelliklerde iyileştirmenin artması
- Takviye malzemesinin ince boyutsal kontrolü sağlanması

- Homojen dağılımın kontrollü ve sağlıklı olması
- Üretim sonrası ikincil işleme gerek duyulmaması

İn-situ yöntemiyle kompozit malzeme üretmenin çeşitli teknikleri mevcuttur. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Ekzotermik reaksiyon prosesi
- Ötektiklerin katılaştırılması
- Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu (Kelez,2021)



Şekil 1.11. Ötektik katılaşmanın kontrolü ile in-situ üretimin şematik gösterimi (Bilir,2014)

1.4.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik malzemeler genel olarak kullanım sıcaklıkları yüksek, çekme mukavemetleri ve yoğunlukları düşük malzemelerdir. (Cilasun, 2013). Seramik malzemelerin bu özelliklerinden kaynaklı bu malzemeler çok sert ve buna bağlı olarak kırılgandır. Bu malzemeler düşük yoğunluklarından kaynaklı kullanımda çok hafiflik sağlamaktadır. Seramik malzemelerin sertliklerinden dolayı bu malzemelerin aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı seramik malzemeler kesici takımlarda kullanıma olanak sağlamaktadır. Bu malzemelerin ergime sıcaklığı yüksek olduğundan dolayı katılaşmasında ise sertliklerinin

yüksekliğinden kaynaklı şekillendirilebilirliği düşüktür. Bundan dolayı malzemelerin sektörde kullanımları kısıtlıdır.

Seramik malzemelerin bu özelliklerinden dolayı üretime elverişli hale getirmek için seramik matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Genel olarak seramik matris malzemesi olarak üretimde oksitler, nitrürler ve karbürler kullanılmaktadır. Bunlara örnek verilecek olursa Al_2O_3, SiC, Si_3N_4 üretimde kullanılmaktadır. Seramik matrisli kompozit (SMK) malzeme üretiminde bazı konulara dikkat edilmesi gerekmektedir. Kompozit üretiminde seramik malzemelerin yüksek ergime sıcaklıklarından kaynaklı takviye malzemesiyle arasında bazı sorunlar çıkabilmektedir. Bu sorunları kontrol altına tutabilmek için üretimde uygulanacak teknik önem arz etmektedir. Son yıllarda teknolojik gelişmelerin artmasıyla beraber seramik matrisli kompozit malzemeler önemli oranda üretimde yer almıştır. Alümina ve zirkonyum gibi seramik matrisli kompozit malzemeler biyomalzeme üretimde önemli yere sahip olmuştur.

Seramik matrisli kompozit malzemeler ayrıca son zamanlarda fiberlerle takviye edilerek savunma sanayisine yönelik olarak zırh üretiminde ve füze başlığı üretiminde de önemli derecede başarı elde etmiştir. Savunma sanayisinde zırh üretiminde hafifliği ve bunun yanı sıra dayanımı sayesinde üzerindeki çalışmalar gelişme kazanmıştır. Genel olarak seramik matrisli kompozit malzemeler lif takviyeli olarak üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunun sebebi ise seramik matris malzemesinin kırılgan yapısının desteklenerek daha sağlam yapıya sahip kompozit malzeme üretmektir. İstenilen özelliklere sahip kompozit malzeme üretmek için çok çeşitli yöntemler literatürde mevcuttur. Seramik matrisli kompozit malzeme üretim yöntemleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Soğuk Presleme ve Sinterleme
- Sıcak Presleme
- DIMOXTM
- Sol jel
- Tepkime Bağlama
- Seramik Emdirme

- Tepkin Sinterleme ve Kendinden İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi (SHTS)

1.4.3.3. Polimer matrisli kompozitler

Metal ve seramik matrisli kompozit malzemelere göre polimer matrisli kompozit (PMK) malzemeler kullanım sıcaklıkları düşük olduğundan dolayı bazı yerlerde dezavantaj sağlarken genellikle çeşitli alanlarda tercih edilmektedir. (Cilasun, 2013). Polimer matrisli kompozitler kullanım alanı olarak korozyona dayanımı, uzun vadede kullanım gerektiren, kompleks şekilli parça üretimi ve aşınma dayanımı iyi olması istenen noktalarda tercih edilmektedir. Polimerin matris olarak üretimde tercih edilmesinde maliyeti düşük ve şekillendirilebilirliği kolay olduğundan dolayı talep görmektedir. Korozyon direncinin yüksek olduğundan ve hafif kompozit malzeme üretimine olanak sağladığından havacılık ve deniz sektörü uygulama alanlarında önemli yere sahip olmuştur.

Polimer matrisli kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak genellikle üretimde reçineler tercih edilirken, son zamanlarda takviye malzemesi olarak nano partiküller kullanılmaya başlanmıştır. Takviye fazı olarak nano boyuttaki partiküllerin kullanıldığı kompozit malzemelere polimer matrisli nano kompozitler (PMNK) olarak literatürde yer almıştır.

Takviye malzemesi olarak genel anlamda polimer matrisli kompozit üretiminde aramid, cam elyaf ve karbon fiberler tercih edilmektedir. Kompozit üretiminde polimer matris olarak ise genellikle polyester, epoksi ve vinil ester reçineler tercih edilmektedir. Matris olarak polimer malzeme tercihi yapılarak kompozit üretiminin sağlamış olduğu genel avantaj çekme ve basma mukavemetinin yüksek olmasıdır. Bunun yanı sıra karmaşık ve büyük boyuttaki parçaların yekpare üretimine olanak sağladığından dolayı son zamanlarda otomotiv sektöründe kullanımını artırmıştır. Uzun yıllar boyu kullanıma elverişli olması çeşitli sektörlerde de tercih sebebi olmuştur.

Polimer matrisli kompozit malzeme üretimi için çeşitli yöntemler bulmaktadır. Bu yöntemlerin tercihi üretimi yapılacak parçanın kullanımına ve istenen özelliğin eklenebilmesi için çeşitlilik sunmaktadır. Üretimde kullanılan teknikler; enjeksiyon kalıplama, elle sıvama, sıvı akış tekniği, tel sarma ve ekstrüzyon gibi çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Ayrıca polimer matrisli kompozit malzemeleri kendi için de iki sınıfa ayırmakta mümkündür. Genellikle yapılan literatür taramasına dayanarak polimer matrisli kompozitler termosetler ve termoplastikler olarak ikiye ayrılmaktadır. Termoset matris malzemeleri sıvı formda bulunurlar ve kompozit üretiminde genellikle takviye elemanı olarak lif ilave edilir. Lif takviyeli kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak termoset tercih edildiğinde viskozitesinin az olması üretim açısından önem arz etmektedir. Kompozit üretiminde matris olarak termoset kullanıldığında öncelikle katılaştırıcı üretim sırasında ilave edilir ve sonra termoset jel haline geldikten sonra katılaşma işlemi gerçekleşir. Genel olarak kompozit malzeme olarak otomotiv sektöründe ve bazı yan sektörlerinde tercih edilmektedir. Termoset kompozitlerin en önemli dezavantajı geri dönüşüme elverişli olmamasıdır. Termoplastik matris malzemesi olarak kullanıldığında ise genellikle takviye elemanı elyaflardır. Termoplastiklerin kompozit malzeme üretimi sırasında yaşanan genel sorun ergitildiğinde viskozitesinin çok yüksek olmasından kaynaklı takviye elemanı ile birleştirilmesinin zor olmasıdır. Üretim esnasında termoplastik malzemenin ergine sıcaklığının belli oranda üstüne çıkılması matris malzemesinin bozunmasına yol açmaktadır. Matris malzemesi olarak termosetin kullanıldığı kompozit malzemelerin darbe dayanımları yüksektir. Termoplastiklerin genel avantajları geri dönüşüme olanak sağlamasıdır. Genel olarak dezavantajları üretim için ilk olarak yapılan yatırımın yüksek ölçekte olması ve üretim gerçekleştirmede zorluklarının fazla olmasıdır.

1.4.3.4. Partikül takviyeli kompozit malzemeler

Kompozit malzeme üretiminde matrise ilave edilecek olan takviye malzemesinin seramik veya alaşımlarından, boyutsal olarak da makroskobik ve mikroskobik ölçekte parçacıkların takviye edilmesiyle oluşturulan kompozitlerdir. Takviye malzemesi olarak partiküllerin kullanılması daha iyi dayanım, aşınma direnci, korozyon direnci,

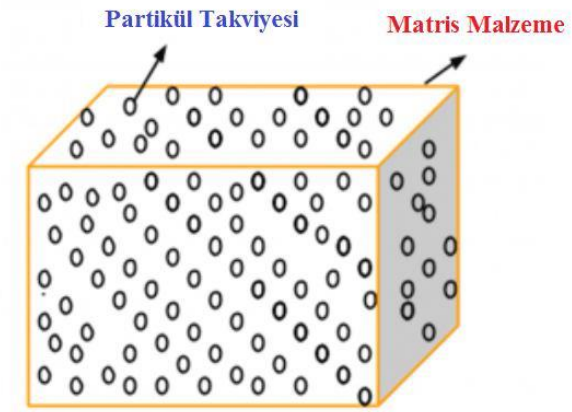
yüksek sıcaklık koşullarında çalışamaya elverişli gibi özelliklerinin iyileştirilmesinin yanı sıra ekonomik ve üretim kolaylığı sunmaktadır. Partikül takviyeli kompozit malzemeler genel olarak mühendislik uygulamalarında daha hafif ve verim açısından daha iyi sonuçların istediği sektörlerde talep görmektedir. Bu konuda partiküllerin matris malzemesine ilave edilmesiyle istenilen performansın elde edilebilmesi için izotropik dağılım sağlayarak özellik iyileştirmeye olanak sağlamaktadır. Partiküller kompozit üretiminde ilave edilmesi oransal olarak ağırlıkça ve hacimce matrise katıldıklarında önemli olan nokta matris içerisinde homojen dağılması ve iyi derecede ıslana bilmesidir. Islana bilirlik artmasıyla ve homojen dağılımla kompozit malzeme üzerindeki etken kuvvetler parçacıklara aktarılarak daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak seçilen partiküller mikro ve nano boyutta kullanılabilmektedir. Partiküllerin nano boyutta olması nano kompozit (NK) üretim alanında yeni çalışmaların ilerlemesine öncülük etmiştir. Literatürde ağırlıklı olarak partikül takviyesi olarak SiC ve B_4C gibi seramik partiküller tercih edilmiştir. Genel olarak üretimi sağlanan partikül takviyeli kompozitlerin hafif ve performansı daha iyi malzeme olması istenmiştir. Partikül takviyeli kompozit üretiminde kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler karıştırmalı döküm, in-situ işlemi ve yarı katı döküm gibi kompozit üretim yöntemleridir.

Partikül takviyeli kompozit malzemelerin dayanımının artmasında en önemli etken partiküllerin malzeme iç yapısında dislokasyonların hareketini sınırlayarak malzeme üzerine gelen kuvvetlerin etkisiyle oluşabilecek tepki kayıplarını önleyerek malzemenin dayanımını arttırmaktadır. Ayrıca bu şekilde üretimi yapılan kompozit malzemenin yüksek sıcaklıklarda yapıyı daha direngen sağlayarak bozulmasını önemli oranda etkilemiştir. Bu sayede yüksek sıcaklıklarda çalışacak parçaların hafif ve sıcaklık dayanımı yüksek malzeme üretimine olanak sağlamıştır. Parçacık takviyeli kompozit üretiminde partikül boyutu eklenmek isten özelliği olumlu ve olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu konuda literatürde son zamanlarda çalışmalar halen sürmektedir. İstenilen özelliğe göre bu konuda partikül boyutu tercih edilerek kompozitin daha iyi sonuçlar kazandırılabilir.

Çizelge1.4. Seramik partikül malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri (İbrahim ve ark.,1991)

Partikül	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cm^3)
Al_2O_3	221	379	3,98
AlN	2069	310	3,26
B_4C	2759	448	2,52
CeO_2	589	185	7,13
MgO	41	317	3,58
SiC	3100	324	3,21
Si_3N_4	4100	207	3,18
ThO_2	193	200	9,86
TiC	55	269	4,93
ZrC	90	359	6,73
ZrO_2	83	132	5,89



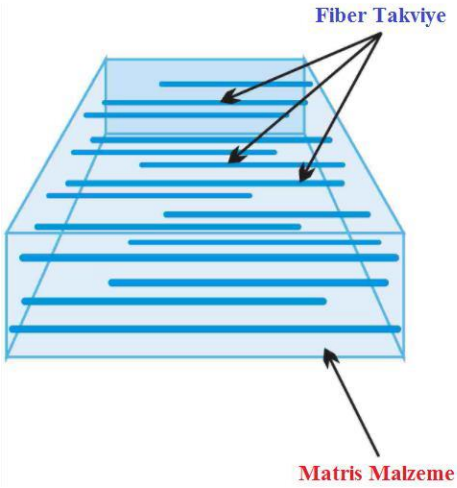
Şekil 1.12. Partikül takviyeli kompozit malzeme (Chandu 2017)

1.4.3.5. Fiber takviyeli kompozit malzemeler

Matris malzemesi içerine fiber takviyeli kompozit üretiminde, takviye malzemeleri sürekli (uzun) ve süreksiz(kısa) elyafların ilave edilmesiyle kompozit malzeme üretimidir. Bu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin arttırılmasında üretimde takviye elyaflarının matris malzemesi içerisine yerleştirilme şekilleri önemli oranda etkilemektedir. Fiber takviyeli kompozit üretmede sürekli fiber takviye elyafların kullanılması durumunda, elyaflar tek doğrultuda ya da örme şeklinde ilave edilebilmektedir. Çok katmanlı tabakalı kompozit üretiminde sürekli fiber elyaflar belirli açılarda yığınlar halinde de üretime katılabilmektedir. Fiber takviyeli kompozit malzemeler genellikle sektörde havacılık ve savunma sanayinde daha çok tercih edilmiştir.

Bu kompozitlerin üretim tekniği ve fiberlerin dizilimi malzeme uygulanacak kuvvetleri absorbe etmesini her yönüyle etkilemektedir. Kompozit malzemeye uygulanan kuvvet yönünde dizilimle oluşturulan fiber takviyeli kompozit malzemelerde mukavemet artışı gözlemlenirken, zıt yönde yani kuvvete dik dizilim sağlanarak üretilen kompozitte ise mukavemet değeri düşmektedir. Bundan dolayı üretimde fiberlerin dizilimi önemlidir.

Süreksiz fiber takviyeli kompozit üretiminde ise kullanılan takviye whisker, kısa fiber ve partiküller halinde olabilmektedir. Süreksiz fiberlerle takviye edilmiş kompozitler genel olarak izotropik yapıya sahiptir. Üretim maliyetlerinden dolayı süreksiz fiber takviyeli kompozit alanında kullanılan takviye elemanları fazla tercih edilmektedir.



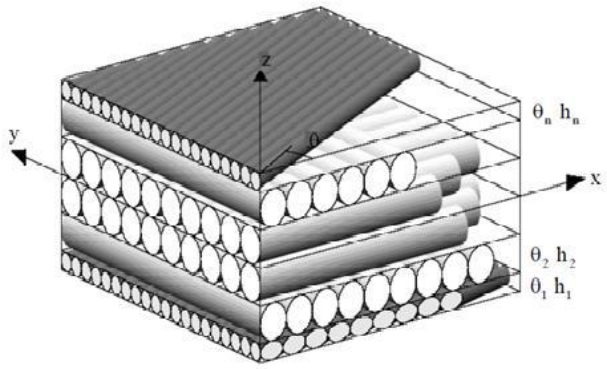
Şekil 1.13. Fiber takviyeli kompozit (Ashori,2008)

1.4.3.6. Tabakalı kompozit malzemeler

Bir dizi katmanlar halinde üretimi yapılarak şekil verilen kompozit malzemelerdir. Üretimde tabakaları oluşturacak ve bu katmaları birbirine bağlayıcı malzeme olmak üzere iki çeşit malzeme kullanılmaktadır. Tabakalı kompozit üretiminde bağlayıcı ve tabaka olarak en az iki katmandan oluşmaktadır. Tabakalar her katmanda farklı farklı doğrultuda yerleşim sağlanabilmektedir. Tabaka olarak kullanılacak malzemeler metal, ahşap, plastik ve cam olarak tercih edilebilmektedir. Bunun yanı sıra tek veya çok yönlü olarak dizilen elyaflardan da katman

oluşturulabilmektedir. Katmanları bir arada tutacak bağlayıcı malzeme olarak fenol reçine ve üre reçinesi gibi reçineler kullanılabilmektedir.

Tabakalı kompozitin mühendislik uygulamalarında kullanımında ihtiyaçlara daha iyi cevap verebilmektedir. Üretimde tabakalı kompozit malzemeler üzerine gelebilecek yüklere karşı tasarımı yapılarak şekillendirilebilmektedir. Tabaka olarak elyafların farklı doğrultalar da katmanlarda kullanıldığında yüksek mukavemet değerlerine sahip kompozit malzeme üretilebilir. Tabakalı kompozitlerin genel avantajları neme ve ısıya dayanıklıdırlar. Sektör de genel olarak tabakalı kompozitlerin tercihi metal matrisli kompozitlere göre hafif ve mukavemet değerlerinin yüksek olmasıdır. Tabakalı kompozit malzeme üretimi yaparken genellikle tabaka olarak kullanılacak malzeme tercihi yapılır ve devamında bağlayıcı yardımıyla bir sonraki katmanı birbirine yapıştırma işlemi yapılır. Bu esnada tabaka malzemesine istenen doğrultu verilerek yerleştirme yapılır. Tabakalı kompoziti üretebilmek için en az iki katman olması gerekmektedir.



Şekil 1.14. Farklı doğrultuda tabakalı kompozit (Autio,1999)

1.4.3.7. Levha kompozit malzemeler

Matris malzemesi içerisine takviye edilecek olan malzemenin levha halinde ilave edilmesiyle üretilen kompozit malzemelere levha kompozit malzeme denir. Bu kompozit malzemenin sektörlerce tercih edilmesinin en önemli sebebi hafif olmasıdır. Takviye malzemesi olarak kullanılmak üzere birçok malzemenin kullanımına olanak sağlamaktadır. Levha kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi iki levha

arasında yer alacağı gibi levha takviye elemanın yüzeyinde kaplama yapılarak da üretilmektedir.

Genel olarak levha kompozit malzemeleri yalıtım ekipmanı ve cephe kaplamalarında tercih edildiği gibi mühendislik uygulamalarında da tercih edilmektedir. Genel olarak levha kompozit malzemeler sektörde sunduğu avantajlar dayanıklı, hafif ve pürüzsüz yüzey kalitesidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ateş ve ark. (2014), yapmış oldukları çalışmada basınçlı infiltrasyon tekniğiyle SiC tozlar içerisine Al2014 alaşımını emdirerek metal matrisli kompozit numuneler elde edilmişlerdir. Matris malzemesine takviye malzemesi olarak Mg ilave ederek artan takviye miktarının ısıl iletkenlik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Takviye miktarının artmasıyla porozite ve ısıl iletkenliğin azaldığını göstermişlerdir.

Son yıllarda termal iletkenlik anlamında kompozit malzemelere ilgi artmıştır. Özellikle elektronik aygıtların boyutlarının küçültülmesi ve güçlendirilmesinde kullanılacak olan ekipmanlar için ısıl iletkenliği oldukça yüksek olan malzemelere talep artmaktadır (Zweben, 1998).

Literatürde, kompozitlerin infiltrasyon değişkenlerine göre şekillenen özelliklerinin, teorik ve analitik ısıl iletkenlik özelliğine olan etkisini belirleyen birçok model vardır (Flaquer ve ark. 2007; Nogales ve ark., 2008).

Polat (2020), yapmış olduğu çalımada basınçlı infiltrasyon yöntemi ile alüminyum matris malzemsine seramik ve grafen takviyesi yaparak termal ve mekanik özelliklere etkilerini incelemiştir. Deneyler sonucunda termal özellikler bakımından seramik partikül takviyesiyle alaşımların genleşme ve iletkenliklerinin önemli oranda azaldığı, takviye olarak grafen kullanılan numunelerde iletkenlik değerlerinin arttığını gözlemlemiştir.

Gardea ve ark. (2014), yapmış olduğu çalımada kompozit karbon nanotüp/epoksiyle üretmiş olduğu numunelerin termal iletkenliğe etkisini incelemişlerdir. Saf karbon nanotüp (CNT) üretilen kompozitlerde %5,5 kadar termal iletkenlikte artış sağladığı gözlemlenirken, florlanmış ve oksitli CNT'ler termal iletkenlikte daha az artış sağladığını gözlemlemişlerdir.

Tiwari ve ark. (2019), yapmış oldukları çalımada takviye malzemesi olarak grafen kullanarak ürettikleri kompozit malzemede mekanik ve termal özelliklerdeki değişimi incelemişlerdir.

Zhu ve ark. (2021), yapmış oldukları çalışmalarında alüminyum matris malzemesine vakum sıcak presleme yöntemiyle karbon fiber takviyeli kompozitlerin termal, mikroyapı özellikleri ve proses optimizasyonunu incelemiştir.

Clyne ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada kompozit malzemede takviye elemanı ve matris malzemesi ara yüzeyinin özelliklerini, kompozit üzerine etkiyen kuvvetlerin ara yüzey aracılığıyla takviye malzemesine aktarıldığı için kompozit malzemenin özelliklerini etkilediğini belirlemişlerdir.

Özkök (2004), alüminyum matris malzemesine α-Si_3N_4 takviye ederek mekanik özelliklerini belirlemiştir.

Pulat ve ark. (2014), atık içecek kutularının geri dönüşümünü yaparak alüminyum eldesinin verimliliğini yaparak sonuçlarını değerlendirmişlerdir.

Ravichandran ve ark. (2020), Karıştırmalı döküm yöntemi parametrelerini ve metal matrisli kompozit malzeme üretimine etkilerini incelemişlerdir. Alüminyum matrisli kompozit üretimini ele almışlar ve karıştırma parametreleri olarak sıcaklık, karıştırma hızı ve karıştırma süresinin etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı sıcaklık, karıştırma süresi ve karıştırma hızlarında üretilen numunelere ait testler yapılarak maksimum gerilme değerleri ve sertlik değerleri karşılaştırılmıştır.

Kok (2005), Sıvı faz vorteks yöntemi ve basınç altında presleme ile 2024 alüminyum matrisli farklı boyut ve yüzdeliklerde alümina parçacık takviyeli kompozit malzeme üretimi yaparak, parçacık yüzde ağırlık oranının artması ve parçacık boyutunun küçülmesiyle kompozit malzemenin çekme dayanımı ve sertlik değerinin arttığını gözlemlemiştir.

Bajaj ve ark. (2011), Karıştırmalı döküm yöntemiyle alüminyum matris içerisine SiC ve alümina takviyeli kompozit malzeme üretimi yapmışlardır. Numuneler üzerinde mekanik özellikler incelenerek takviye oranının artışına bağlı olarak sertlik, çekme dayanımı ve darbe dayanımı değerlerinde artış gözlemlemişlerdir.

Pul (2019), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 7075 kullanırken takviye partikülü olarak SiC, B_4C ve TiB_2 tercih etmiş olup toz metalurjisi tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma, aşınma testleri yapıp sonuç olarak artan takviye oranına göre gözenek miktarının arttığını gözlemlemiştir.

Öztop ve ark. (2021), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 7075 kullanırken takviye partikülü olarak Si_3N_4 tercih etmiş olup karıştırmalı döküm tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere yoğunluk, sertlik, çekme dayanımı, darbe dayanımı, mikro yapı incelemesi yapıp sonuç olarak artan takviye oranına göre mukavemetin arttığını gözlemlemiştir.

Aybarç ve ark. (2021), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 356 kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 ve grafen tercih etmiş olup toz metalurjisi tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme testi, kalite indeksi (QI) incelemesi yapıp sonuç olarak daha yüksek akma ve gerilme mukavemeti elde edildiği gözlemlemiştir.

Aybarç ve ark. (2018), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3, SİC, grafen tercih etmiş olup karıştırmalı döküm, basınçlı döküm ve toz metalurjisi tekniğiyle artan takiye miktarına göre ürettiği malzemelere genel araştırma yapıp sonuç olarak alüminyum alaşımlar için takviye olarak grafenin kullanılması seramik parçacık ilavelerine kıyasla daha yüksek tokluk potansiyeline sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Öztop ve ark. (2017), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak atık alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak grafen tercih etmiş olup karıştırmalı

döküm tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere yoğunluk, sertlik, mikro yapı, XRD, SEM incelemesi yapıp sonuç olarak grafenin % ağırlık oranın artmasıyla sertliğin arttığını gözlemlemiştir.

Şimşek ve ark. (2020), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al (%2 grafit) kullanırken takviye partikülü olarak B_4C tercih etmiş olup mekanik alaşımlama yöntemiyle ağırlıkça takviye miktarına göre ürettiği malzemelere korozyon deneyi ve SEM incelemesi yapıp sonuç olarak takviye elemanın yapıda homojen dağıldığı, SEM görüntülerinden korozyon oluşumlarını gözlemlemiştir.

Karacif ve ark. (2019), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak B_4C tercih etmiş olup toz metalurjisi yöntemiyle ağırlıkça takviye miktarına göre ürettiği malzemelere korozyon deneyi ve elektro kimyasal inceleme yapıp sonuç olarak mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla korozyon hızının arttığını gözlemlemiştir.

Singla ve ark. (2009), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak SiC tercih etmiş olup karıştırmalı döküm yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere darbe deneyi ve sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak SİC artışıyla birlikte sertliğin ve darbe mukavemetinin arttığını gözlemlemiştir.

Pawar ve ark. (2014), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak SİC tercih etmiş olup karıştırmalı döküm yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere sertlik, mekanik, mikro yapı, sonlu eleman analizi incelemesi yapıp sonuç olarak SİC miktarının artışıyla birlikte sertliğin ve tokluğun arttığını gözlemlemiştir.

Nie ve ark. (2019), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak TiB_2 ve TiC tercih etmiş olup döküm haddeleme yöntemiyle artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere EDS, SEM,

EIS, PDC, korozyon incelemesi yapıp sonuç olarak tane incelmesi korozyon çukurlarının genişlemesini önlediğini gözlemlemiştir.

Sathish ve ark. (2021), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 8079 kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup döküm tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere sertlik, SEM, aşınma incelemesi yapıp sonuç olarak takviye miktarının artmasıyla mikro sertlikte iyileşme olduğunu gözlemlemiştir.

Atik ve ark. (2006), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak AlSi12CuNiMg kullanırken takviye partikülü olarak SiC, Al_2O_3 ve $TİO_2$ tercih etmiş olup döküm tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme testi, basma testi, sertlik, aşınma direnci incelemesi yapıp sonuç olarak partikül takviyesinin çekme dayanımını azaltırken basma dayanımı ve sertliğin arttırdığını gözlemlemiştir.

Şenel ve ark. (2018), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak SiC tercih etmiş olup toz metalurjisi yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere basma dayanımı, XRD, SEM, EDX, sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak SİC ilavesinin mekanik özellikleri iyileştirdiğini gözlemlemiştir.

Bayar ve ark. (2015), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak etial 171 Al kullanırken takviye partikülü olarak SiC tercih etmiş olup basınçlı döküm yöntemiyle artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme ve charpy çentik incelemesi yapıp sonuç olarak SiC ilavesinin kompozit parçanın sertliğini arttırırken çekme mukavemetini düşürdüğünü gözlemlemiştir.

Rahmana ve ark. (2014), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak SiC tercih etmiş olup karıştırmalı döküm yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme

deneyi, aşınma, sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak takviye ilavesinin %20 sertliği ve çekme mukavemetini arttırdığını gözlemlemiştir.

Aslan ve ark. (2020), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak MgO tercih etmiş olup toz metalurjisi yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere yoğunluk ve sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak MgO takviyesinin sertliği arttırdığını gözlemlemiştir.

Şimşek ve ark. (2020), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al A356 kullanırken takviye partikülü olarak SiC tercih etmiş olup toz metalurjisi yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere mikro yapı, küresellik oranı, aşınma, sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak takviye elemanın sertliği arttırırken küresellik oranını azalttığını gözlemlemiştir.

Mussert ve ark. (2002), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 6061 kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup nano indentasyon tekniğiyle hacimce artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere sertlik, SEM, EDS incelemesi yapıp sonuç olarak üretilen numuneler katkısız alüminyumla benzer özelliklere sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Kumar ve ark. (2021), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak SiC ve Mo tercih etmiş olup karıştırmalı döküm yöntemiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere yoğunluk, aşınma, XRD, SEM, EDS, sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak Mo takviyesinin içerik yoğunluğunu arttırdığını gözlemlemiştir.

Mazaharey ve ark. (2011), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 356 kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup karıştırmalı döküm tekniğiyle hacimce artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme ve basma deneyi incelemesi yapıp sonuç olarak çekme deneyinde numunelerde sünek kırılma olduğunu gözlemlemiştir.

Kang ve ark. (2004), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup toz metalurjisi tekniğiyle hacimce artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere sertlik, çekme testi incelemesi yapıp sonuç olarak takviye elemanının monolitik sistemdeki mekanik özellikleri iyileştirdiğini gözlemlemiştir.

Mazaharey ve ark. (2009), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 356 kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup karıştırmalı döküm tekniğiyle artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere SEM incelemesi yapıp sonuç olarak takviye partikülleri numune içerisinde homojen dağılım gösterdiğini gözlemlemiştir.

Singh ve ark. (2013), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup karıştırmalı döküm tekniğiyle artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme testi, darbe deneyi, sertlik incelemesi yapıp sonuç olarak takviye elemanının darbe ve çekme mukavemeti üzerinde önemli derecede etki ettiğini gözlemlemiştir.

Sujan ve ark. (2012), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum kullanırken takviye partikülü olarak SiC ve Al_2O_3 tercih etmiş olup karıştırmalı döküm tekniğiyle ağırlıkça artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere çekme testi, darbe deneyi, termal genleşme incelemesi yapıp sonuç olarak gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikleri sergilediğini gözlemlemiştir.

Sajjadi ve ark. (2011), yapmış olduğu çalışmada matris malzemesi olarak Al 356 kullanırken takviye partikülü olarak Al_2O_3 tercih etmiş olup karıştırmalı döküm tekniğiyle artan takviye miktarına göre ürettiği malzemelere sertlik, basınç dayanımı, gözeneklilik, incelemesi yapıp sonuç olarak takviye partiküllerinin numune içerisinde artması sertlik, basınç dayanımı ve gözeneklilik miktarını arttırdığını gözlemlemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasında temel matris malzemesi olarak kullanmak için atık içecek kutuları tercih edilmiştir. Bu aşamada atık içecek kutuları toplanarak, matris malzemesi olarak kullanılmak için preslenerek hazırlanmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Atık alüminyumların temin edilerek ezilmesi



Şekil 3.2. Elektrikli ergitme ocağı

Atık içecek kutularından alüminyum elde edilmesi için elektrikli ergitme ocağı kullanılmıştır (Şekil 3.2.). Elektrikli ergitme ocağı 220 Volt, 0.9 kw gücünde olup cihazın ölçüleri 200x350x350 mm ve 1 kg metal ergitme kapasitesine sahiptir.

Matris üretiminde ilk aşamada içecek kutuları üzerinde bulunan boya ve kalıntılar elektrikli ergitme ocağında, grafit pota içerisine uygun bir şekilde sırasıyla konularak yakılıp temizlenmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Atık içecek kutularının boyalarının yakılması

Ergitme işlemi esnasında grafit potada meydana gelen bozulmalardan dolayı paslanmaz çelikten ergitme ocağı ölçülerine uygun yedek potalar üretilmiştir. Ergitme işleminde kullanmak üzere 400-500gr eriyik kapasiteli paslanmaz çelikten pota imal edilmiştir (Şekil 3.4.).

Elektrikli ergitme ocağı 900 ^{0}C'ye kadar ısıtılarak atık içecek kutularının ergitilme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.5.). Ergitme esnasında pota maksimum kapasiteye ulaşana kadar içecek kutuları kontrollü bir şekilde potaya şarj edilmiştir. Belirli bir süre yarı katı fazda bulunan matris malzemesi tam sıvı forma geçmesi için sıcaklık 900 ^{0}C'de sabit tutulmuştur.



Şekil 3.4. Paslanmaz çelikten imal edilen ergitme potası



Şekil 3.5. Atık içecek kutularının ergitilme işlemi

Atık alümiyum içecek kutularının ergitme işlemi esnasında meydana gelen cüruflar döküm öncesi pota içerisinden çıkarılmıştır. (Şekil 3.6.) Eriyik içerisinden çıkarılmayan cüruf döküm kusurlarına yol açabileceği gibi matris malzemesinin yapısal bozunmasına da sebep olabilmektedir. Bundan dolayı ergitme işleminde öncelikle içecek kutuları potaya şarj edildiğinde eriyik tam sıvı forma geçtikten sonra pota bir karıştırıcı yardımıyla tabandan başlamak suretiyle karıştırılmıştır. Tabanda biriken cüruf eriyik yüzeyine çıktığında matris malzemesi içerisinde kalmayacak

şekilde yüzeyde sıyrılarak pota dışına çıkarılmıştır. Bu işlem eriyik içerisinde cüruf kalmayana kadar devam edilmiştir.



Şekil 3.6. Ergimiş alüminyumdan çıkartılan cüruflar

Döküm işlemi için paslanmaz çelik pota kullanılmıştır. Matris malzemesi eldesi için paslanmaz çelikten 400-500gr kapasiteli külçe kalıpları imal edilmiştir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Matris malzemesi için imal edilen külçe kalıbı

Ergitilmiş atık içecek kutuları hazırlanmış olan kalıplara dökümü yapılarak oda koşullarında soğumaya bırakılmıştır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Dökümü yapılan alüminyumun oda koşullarında soğuması

Matris malzemesi olarak atık alüminyum içecek kutuları ergiyip dökümü yapılıp soğuduktan sonra tartılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. 400-500gr ağırlığa sahip külçeler matris olarak kullanılmak üzere elde edilmiştir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Üretilen külçelerin hassas teraziyle tartılması

3.2. Yöntem

3.2.1. Kompozit üretimi

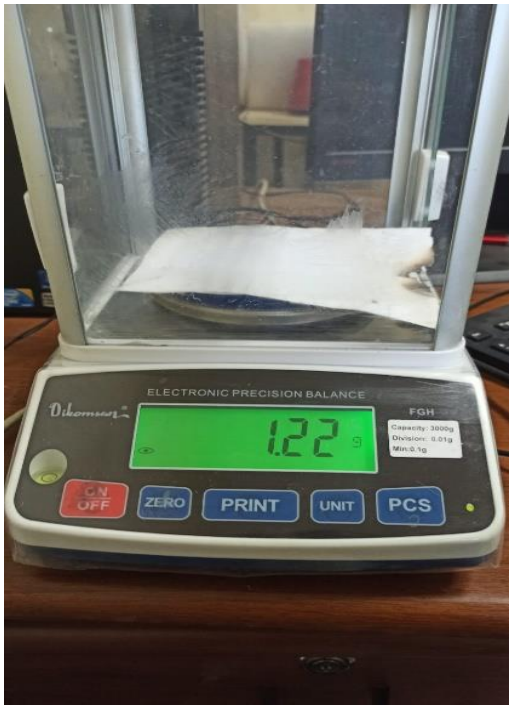
Kompozit üretimi için iki farklı malzeme gereklidir. Bu malzemelerden biri matris diğeri ise takviye elemanıdır. Kompozit üretiminde matris malzemesinin görevi takviye edilen malzemenin bütünlüğünü sağlamak ve üretilen kompozite uygulanacak olan yükleri takviye elemanına iletmektir. Bu çalışmada kompozit üretimi için gerekli takviye malzemesi olarak kullanılmak üzere 38nm boyutunda TiO_2 ve 78 nm boyutunda Al_2O_3 nano partikülleri tercih edilmiştir.

Bu aşamada kompozit üretimine geçmeden önce istenilen özelliklerde yapılan iyileştirmeleri tespit edebilmek için yapılacak olan deneyler belirlenmiştir. Bu deneylerde kullanılacak olan numuneler ASTM standartlarına göre ölçüleri tespit edilmiştir. Bu ölçülere tabi kalınarak üretimi yapılacak numunelerin kalıpları tasarlanarak üretimi paslanmaz çelik malzemeden yapılmıştır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Paslanmaz çelikten imal edilen kalıplar

Öncelikle kompozit üretiminde matris malzemesi pota kapasitesine uygun olarak hesaplanarak ayarlanmıştır. Matris malzemesinin ağırlığına uygun şekilde takviye edilecek olan nano partikül % (yüzde) ağırlıkça ilk üretim için hassas terazi yardımıyla tartılıp ayarlanmıştır.



Şekil 3.11. Hassas terazi ile takviye malzemelerinin tartılması

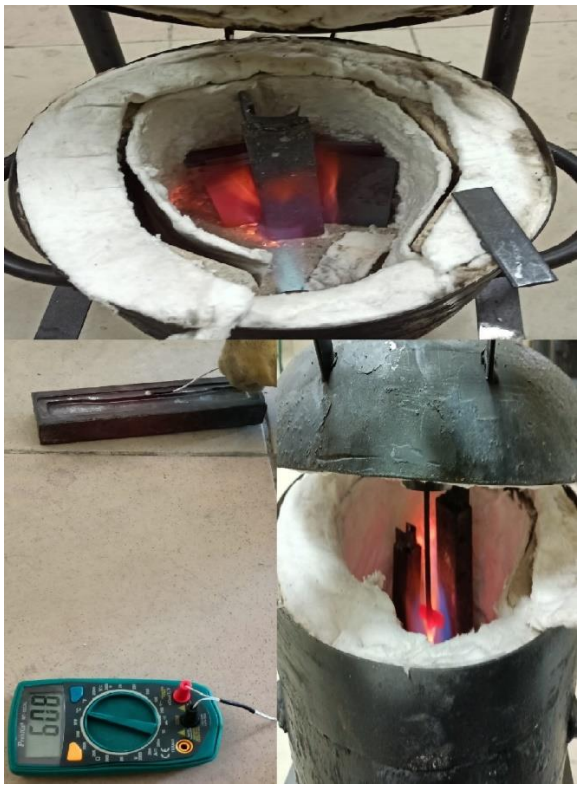
Üretime başlandığında ilk olarak matris malzemesinin yarısı potaya alınarak sıcaklık 900 0C'ye ayarlanarak ergitme işlemine başlanmıştır. Eriyik tam sıvı forma ulaştığında matris malzemesinin kalan kısmı eklenerek yarı katı-sıvı faz formuna gelene kadar sıcaklık sabit tutulmuştur. Bu aşamada yarı katı-sıvı forma ulaştığında ergitme ocağı sıcaklığı 6300C'ye düşürülmüştür. Bu işlemin yapılmasındaki amaç matris malzemesinin yüzey gerilimi düşürerek, takviye elemanın matris içerisine katılımını kolaylaştırmaktır. Matris malzemesi içinde takviyesi yapılacak olan partiküllerin homojen dağılımını ve ıslanabilirliğini arttırmak için (500-2000 rpm) devri kontrol edilebilir mekanik karıştırıcı tasarlanarak imal edilmiştir. Karıştırıcı devir hesabı (rpm) yapılarak karıştırıcıda kullanılmak üzere 35mm çalışma çapında çift kanatlı mil ve kanat tasarımı yapılarak imal edilmiştir.

Üretime başlandığında ergimiş yarı katı faz halinde 6300C'de beklemekte olan matris malzemesine 1000 rpm'de mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırma işlemine başlanarak, ergiyik içerisinde vorteks oluşturulmuştur. Vorteksin oluşturulmasındaki amaç ilave edilecek olan takviye malzemesinin ergiyik içerisine daha çabuk katılımını sağlamaktır. Ergiyiğin merkezinde vorteks etkisiyle oluşan emme kuvvetinin yardımıyla ilave edilen partiküller homojen bir şekilde dağılımına katkı sağlamıştır. Matris malzemesine takviye elemanı olarak ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında 38nm boyutunda TiO_2, ayrıca ağırlıkça %0.5, %1ve %1.5 oranlarında 78nm boyutunda Al_2O_3 partikülleri ilave edilmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan TiO_2 nano partikülü için matris malzemesine katkı oranı ağırlıkça % 1.5 miktarında eklenmiştir. Ancak bu miktar matris malzemesi içerisinde doygun bir ergiyik meydana getirdiği için partiküller matrise yeteri kadar hapsolmamıştır. Karıştırma işlem süresi uzatılarak ve devir arttırılarak kompozit ergiyik oluşturulmak istenmiştir ama doygunluk seviyesi fazlası partikülleri matris kusmuştur. Bundan dolayı ağırlıkça TiO_2 %1.5 takviyeli kompozit numuneler üretilememiştir.

Ağırlıkça yüzde (%) hesabı yapılan takiye malzemesi 1000 rpm'de karıştırma işlemi devam ederken oluşan girdaba kontrollü bir şekilde dökülerek matris malzemesine katılmıştır. Homojen dağılımı ve ıslanabilirliği arttırmak için 6300C'de sıcaklık sabit tutularak 1000 rpm'de 10 dakika boyunca karıştırma işlemine devam edilmiştir (Şekil 3.12.) Karıştırma işlemi her partikül takviye miktarı için 1000 rpm'de sabit tutulmuştur. Bunun yapılmasındaki amaç matris içerisinde partiküllerin artan madde miktarına göre homojen dağılımını sağlamak ve karıştırma devrinden kaynaklı partiküllerin ıslanabilirliğine olumsuz etkileri ortadan kaldırmaktır. Karıştırma işlemi sonunda sıcaklık 7500C'ye çıkarılmıştır. Bu sıcaklıkta 10 dakika bekletildikten sonra tekrardan karıştırma işlemine 1000 rpm'de 5 dakika boyunca devam edilmiştir. Bu işlemin devamında hazırlanan karışım 5 dakika 7500C'de bekletildikten sonra karıştırmadan kaynaklı eriğin içerisine katılan oksijenin oluşturduğu cüruf, eriyik yüzeyinden alınmıştır. Eriyik de oluşan oksitlenme döküm yapıldıktan sonra parça iç yapısında poroziteye ve yapısal bozukluklara yol açtığından dolayı her döküm işleminden önce bu işlem tekrarlanmıştır.



Şekil 3.12. Matris malzemesine takviye edilen partiküllerin karıştırılması



Şekil 3.13. Kalıp ve ekipmanlarının ısıtılması

Hazırlanan kompozit ergiyiğin dökümüne geçilmeden önce, dökümde kullanılacak ekipmanlar ve döküm kalıbı 550-6000C'de ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. (Şekil 3.13.) Bu işlemin yapılmasındaki amaç dökümde kalıptan kaynaklı kusurların önüne geçebilmektir. Isıtılmayan kalıba dökümde karşılaşılan problemler ani soğumanın etkisiyle yüzey bozuklukları ve numunede oluşan çatlaklardır. Bu işlemin önüne geçmek ve yapısal kusurları önleyerek daha düzgün yüzeye sahip parça üretmek için her döküm öncesi ısıtma işlemi tekrarlanmıştır.

Isıtılan kalıplara döküme geçilmeden önce kalıp yüzeyinde tutunan olası partiküllerin, dökümü yapılan parça yüzeyine zarar vermemesi için her döküm öncesi kalıp yüzeyi tel fırça yardımıyla temizlenmiştir. Bu şekilde hazırlanmış kalıplara pudra çok ince partikül tabaka halinde serpme işlemi yapılmıştır. Bu işlemin yapılması dökümü yapılan numunenin kalıba yapışmasını önlemek ve daha düzgün yüzeye sahip parça üretimi gerçekleştirmektir. Kalıp üzerinde işlemler bittikten sonra 7500C'de hazır bulunan ergiyiğin döküm işlemine geçilmiştir. Bu aşamada takviye elemanlarının her oranına göre 5 adet numune dökümü yapılmıştır.

Döküm sonrası 2 dakika beklendikten sonra kalıp yolluğundan katılaşma kontrolü sağlanarak üretimi yapılan kompozit numune çıkarılmıştır. Ortamın sıcaklığından kaynaklı kalıptan çıkan parçalarda oluşacak yüzey bozunmaları ve yapı kusurlarını önlemek için kendi doğasında soğuyabilmesi için dökümü yapılan numuneler silis kumuna kalıptan çıktıktan sonra hiç beklemeden gömülmüştür. Bu kumda numuneler yaklaşık bir saat bekletilmiştir. Bu şekilde üretilen numunelerde soğuması bittikten sonra demir kesme makası yardımıyla yolluk ve çapakları kesilerek hazırlanmıştır.

3.3. Yapılan Deneyler

3.3.1. Çekme deneyi

Genel tabiriyle çekme testi ASTM standartlarına uygun belirli sayıda üretimi yapılan malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için zıt yönde bulunan iki farklı çene yardımıyla, numuneler kendi kategorisi içinde sırayla çekme kuvvetine maruz

bırakılarak yapılan deneydir. Uygulanan çekme kuvveti altında numuneler öncelikle boyda uzama ve devamında kuvvetin etkisiyle kırılır. Bu deney sonucunda üretimi yapılan malzemenin numune aracılıyla elastik ve plastik deformasyonu belirlenir. Numuneye yapılan kuvvet etkisi ile çekme gerilmesi, akma gerilmesi, kopma gerilme sınırları tespiti yapılır.

Deneyin yapılış aşamasında numune birbirine zıt iki çeneye bağlanır ve kuvvetin etkisiyle meydana gelen uzama miktarı kayıt altına alınır. Bu sayede elde edilen değerlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Tokluk
- Çekme mukavemeti
- Poisson oranı

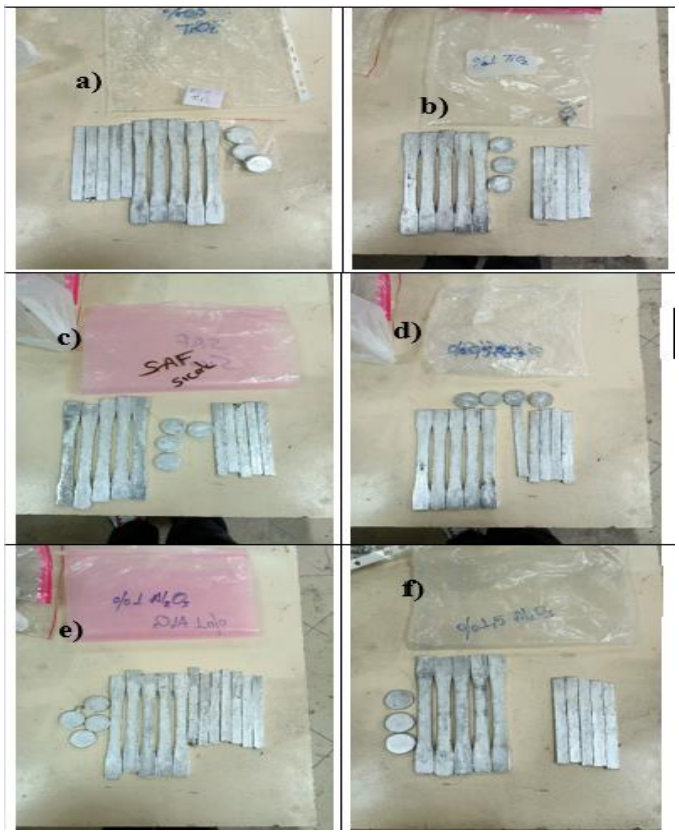
Çekme testi yapılmasındaki esas amaçlardan biri yeni malzemelerin mekanik sınırlarını ve malzeme özelliklerini belirlemekte önemli rol oynamaktadır. Çekme deneyini yapılmasındaki amaçları sınırlayacak olursak;

- Kullanım alanına göre en uygun malzeme tercihini yapabilmek için çekme testi yapılır.
- Yeni malzemelerin dayanım sınırlarını aynı türden malzemelerle kıyaslayabilmek ve daha kaliteli ürün elde edebilmek için yapılır.
- Değişen kuvvet şartlarına göre daha farklı malzemelerin kullanım alanlarının tespiti için çekme testi yapılır.

Bu çalışmada çekme deneyi testi için SHIMADZU AG-X Plus 100 kN cihaz kullanılmıştır. Çekme deneyi için katkısız alaşım alüminyum, ağırlıkça katkı miktarlarına göre %0.5 Al_2O_3, %1 Al_2O_3, %1.5 Al_2O_3, %0.5 TiO_2 ve %1 TiO_2 takviyeli kompozit numunelerin her bir grubundan 5 adet üretim yapılarak teste tabi tutulmuştur.



Şekil 3.14. SHIMADZU AG-X Plus 100 kN kapasiteli çekme testi cihazı



Şekil 3.15. Testler için üretilen matris ve ağırlıkça artan takviye miktarına göre numuneler

3.3.2. Üç nokta eğme deneyi

Üç nokta eğilme deneyi malzemeye göre ASTM standartlarına uygun numune üretimi gerçekleştirilerek deneyleri yapılmaktadır. Genel anlamda üç nokta eğme deneyi düşey eksende bir kuvvetin etkisiyle malzemenin eğilme gerilmesini ve buna bağlı olarak da birim şekil değişimini tespit etmek için yapılmaktadır. Eğilme deneyine tabi tutulacak numune üzerinde uygulanan kuvvetin etkisiyle, numunenin belirli bir kısmında basma gerilmesi meydana gelirken bu kısım dışında kalan yerinde ise çekme gerilmesi meydana gelmektedir. Bu durum şartlarında kuvvetin uygulandığı numune eğilmeye maruz bırakılmış kabul edilmektedir. Böylelikle deneyi yapılan numune eğilmenin yanı sıra çekme ve basma gerilmesiyle birlikte incelenmektedir. Eğilme deneyi yapılacak olan numuneye uygulanan kuvvetin temas noktasına yakın iç yüzeyinde numunede basma gerilmesi oluşurken, uç noktalarından desteklen yüzeyinde ise çekme kuvveti meydana gelmektedir. Kuvvetin uygulandığı eksen doğrultusunda, kuvvetin temas ettiği noktada basma gerilmesi maksimum seviyeye ulaşırken aynı eksende dış yüzeyde çekme kuvveti maksimum seviye ulaşmaktadır.

Eğme deneyi malzeme standartlarına göre uygun üretimi yapılan dairesel ya da dikdörtgen kesitli numunelerin uç noktalarından, kuvvet uygulanacak yere göre iki destek ekipmanına konularak numune üzerine kuvvetin uygulanmasıyla yapılır. Numunelere uygulanacak olan kuvvet bir noktadan aktarılıyorsa buna üç nokta eğme deneyi eğer iki noktadan kuvvet uygulanıyorsa bu da dört nokta eğme deneyi olarak bilmektedir. Deneyin yapılma aşamasında, deneyi yapılacak olan numunenin kesit alanı, deneyde de numune uç noktalarından destek olacak mesnetlerin arasındaki açıklık ve numune kırılma esansındaki maksimum uygulanan kuvvetle birlikte eğilme miktarı değerleri deney parametreleri açısından önem arz etmektedir. Bu deney sonucu elde edilecek olan değerler aşağıda sıralanmıştır.

- Eğilme mukavemeti
- Eğilme modülü
- Birim şekil değiştirme gibi özellikleri eğilme deneyi sonucunda öğrenebiliriz.

Bu çalışmada takviyesiz malzeme ile beraber farklı takviye miktarlarına göre Al_2O_3 ve TiO_2 partikülleri ilave edilerek üretimi yapılan numuneler eğilme deneyine tabi tutularak, artan takviye miktarına göre katkısız numune değerlerinin kıyaslaması yapılarak incelenmiştir.



Şekil 3.16. 3 nokta eğilme testi

3.3.3. Aşınma deneyi

Aşınmanın genel tanımı olarak birçok sebepten dolayı meydana gelen malzeme kaybı olarak adlandırılabilir. Ortam koşullarının etkisiyle veya malzemenin yapısı gereği aşınma gerçekleşebilir. Genel olarak kimyasal ve fiziksel etkiler altında malzemelerin yüzeylerinden mikron parçacıkların kopması olarak da ifade edilebilmektedir. Yaygın olarak rastlanan malzeme kaybı fiziksel etkilerden ötürü kaynaklanmaktadır. Fiziksel olarak gerçekleşen aşınma bir yük altında iki malzemenin birbirine temas halindeyken hareket etmesiyle birlikte temas yüzeylerinde gerçekleşen sürtünmenin etkisiyle malzemeyi aşındırmasıdır. Bundan dolayı mühendislik malzemelerinin farklı sektörlerde kullanım alanlarında sınırlarının belirlenmesi için aşınma durumlarının tespiti gerekmektedir. Kullanım alanlarında birbirine temas halinde çalışan ekipmanlarda malzemenin uygun seçilmemesi sürtünmeden kaynaklı

kuvvet aktarımlarını sınırlayacağı gibi buna bağlı olarak aşınma kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden dolayı malzemede aşınma sınırlarının belirlenmesi yerine göre uygun malzeme seçimini desteklemektedir.

Bu deney genel olarak birbirine temas halinde bulunan biri aşındırıcı pim diğeri ise teste tabi olacak aşınan malzeme (numune) olmak üzere iki malzemenin zıt yönde belirli bir kuvvet altında hareket ettirilmesiyle birlikte malzeme yüzeyinden mikro parçacıkların kopması sonucu meydana gelir. Uygulanan bu deneyde pim üzerine uygulanan yük etkisi ile malzeme yüzeyine temas sağlanarak belirli devirde, mesafede ve alanda numune yüzeyinde aşındırma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sayesinde sürtünme katsayısı tespiti ve aşınma işlemi sonucu numuneden kaybolan madde miktarı hesabı yapılarak uygun koşullara yönelik malzeme kullanım sınırları tespiti yapılır. Aşınma koşulları aşınan malzeme ve aşındırıcı malzemeden kaynaklı etkilenebilmektedir. Bunun yanı sıra aşınma ortamı da aşınmayı etkileyen faktörler arasındadır. Ortam dan kaynaklı olabilecek etkiler sıcaklık, nem ve yağlayıcılık gibi sıralanabilir. Aşınan malzemeden kaynaklı faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Aşınan malzeme yüzey pürüzlülüğü
- Malzeme sertliği
- İç yapı dizlimi
- Elastikiyet

Tez çalışmasında aşınma testi için temel matris malzemesi ve ağırlıkça artan takviye partiküllü Al_2O_3 ve TiO_2 katkılı kompozitlerden her bir kategori için 3 adet üretim yapılarak teste tabi tutulmuştur. Aşınma testi pin-on disk tipi deney seti yardımıyla yapılmış olup, 4,95 N yük altında, 0,2 m/sn hızda, 9,30 mm iz çapında, 500 m kayma mesafesi ve 2500 sn boyunca numuneler teste tabi tutulmuştur. Test sonuçları her kategori için elde edildikten sonra ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Test ortalamaları yardımıyla %ağırlık kaybı, sürtünme katsayısı, aşınan malzeme hacmi ve aşınma oranları artan takviye miktarlarına göre değişimi incelenerek, Al_2O_3 ve TiO_2 kıyaslanmıştır.



Şekil 3.17. Aşınma testi cihazı

3.3.4. Vickers sertlik deneyi

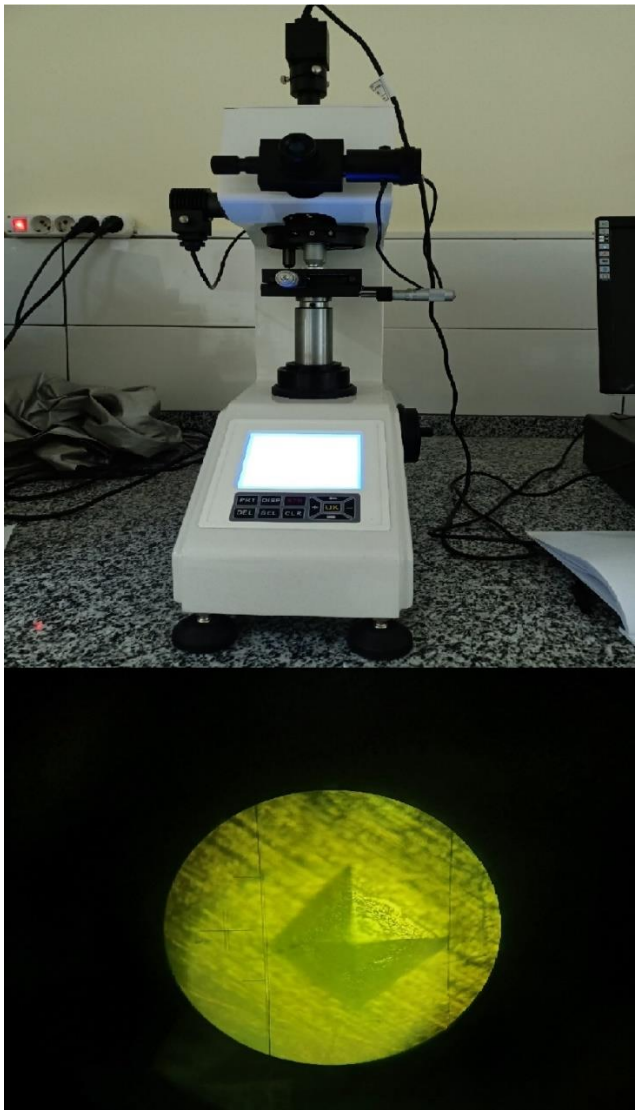
Genel anlamda üretimi yapılan malzemelerin mekanik özelliklerinin tespiti için sertlik özellikleri önemlidir. Malzemelerin plastik deformasyona ve dislokasyona karşı göstermiş olduğu direnç olarak sertlik adlandırılabilir. Genel olarak bu testin yapılması kolay ve yaygındır. Malzeme kriterlerinin belirlenmesinde mekanik özelliklerle sertlik orantılıdır. Malzemelerin sertlik değerleri mekanik özelliklerinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Üretimi yapılan herhangi bir malzeme üzerinde yapılan sertlik deneyi malzemenin dayanımı hakkında belirli düzeyde bilgi verebilir. Ayrıca malzemelerin sertlik değeri üretim sonrası ikincil işlemler içinde önem arz etmektedir. İkincil işlemde malzeme üzerinde yapılacak işlenebilirlik sınırlarını tayin etmektedir. Malzemenin sertlik değerinin artması ikincil işlem yapmayı zorlaştıracağı gibi işlem maliyetini de arttıracaktır.

Malzemelerin sertlik ölçümlerini yapmak için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanlardan bazıları vickers, brinell, knoop ve rockwell sertlik ölçüm deneyidir. Bu deneylerin uygulanması kendi içerisinde farklı yöntemleri vardır ama her birinde ölçülen değer diğer yöntemlerde ölçülen değere

çevrilebilmektedir. Bu deneylerde yapılan esas yöntem malzeme yüzeyine tercih edilen deneye uygun konik ya küresel ucun standartlara göre bastırılmasıyla, malzemenin bu etkiye karşı göstermiş olduğu dirençtir. Sertlik ölçümü yapılacak olan numuneler belirli standartlara göre ayarlandıktan sonra deney sırasında birden fazla olmak şartıyla numunenin farklı noktalarından ölçümler yapılarak değerlerin ortalamasıyla malzemeye sertlik değer tayini yapılmaktadır.

Bu çalışmada vickers sertlik ölçümü yapılarak numunelerin sertlik değerleri tespit edilmiştir. Vickers yönteminde numune yüzeyine tabanı kare olan tepe ucu 1360 derece piramit şeklindeki ölçümü yapılacak olan numuneden daha sert elmas ucun belirli bir sürede yük altında malzeme yüzeyine bastırılmasıyla oluşan iz sonucunda sertlik değerinin tespit edilmesidir. Burada malzemenin durumuna göre yük tercihi yapılırken, uygulama süresi yaklaşık 20 saniye civarındadır. Deneyde uygulanan yük miktarının etkisiyle oluşan izin köşegen uzunlukları yardımıyla hesaplanan alanın, deneyde uygulanan yük miktarının bulunan alana bölünmesiyle sertlik değeri hesaplanır. Bu deneyde önemli dikkat edilmesi gereken nokta deneye tabi olacak numunenin yüzeyine bastırılacak olan ucun dik olarak gelmesidir. Ucun dik olarak yüzeye basmaması durumunda düzgün ölçüm yapılamaz ve sertlik değeri hesaplanamaz.

Tez çalışmasında sertlik ölçümü için matris ve ağırlıkça %(yüzde) artan takviye miktarına göre Al_2O_3 katkılı numunelerden %0,5, %1, %1,5 ve %0,5, %1 TiO_2 katkılı numunelerden 3 adet kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 1kg yük altında mikro vickers sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Her bir katkı miktarına göre numuneden ayrı ayrı her numuneden 5 adet farklı noktadan ölçüm alınmış olup, toplamda her katkı miktarında 15 ölçüm sonucunun ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.18. Mikro Vickers Sertlik Ölçüm Cihazı ve iz görüntüsü

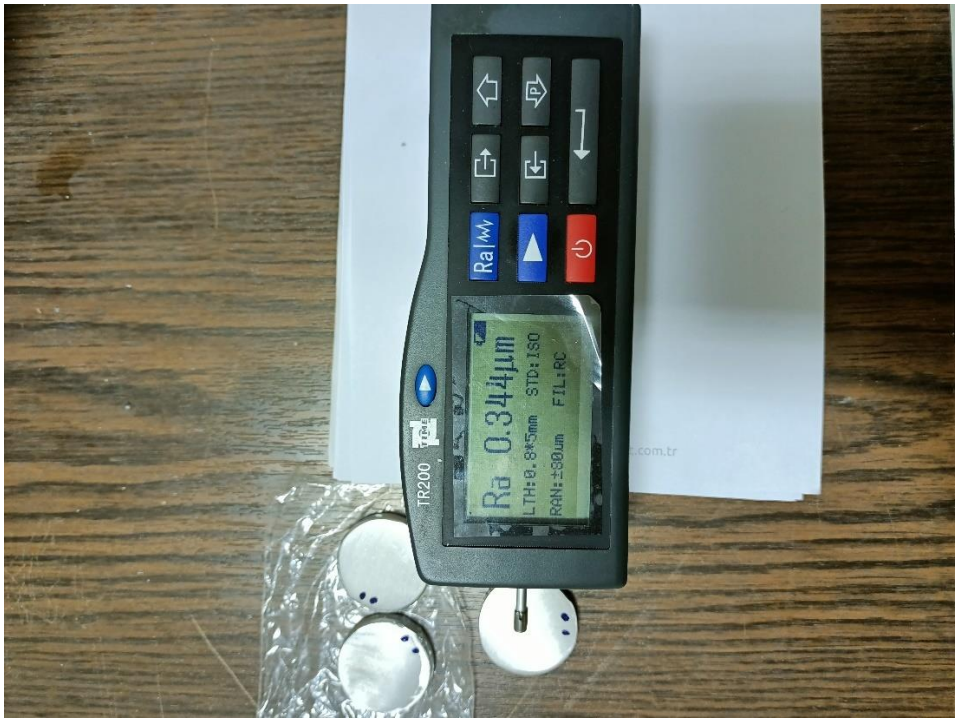
3.3.5. Yüzey pürüzlülüğü deneyi

Bu deneydeki esas amaç üretimi yapılan malzemelerin yüzey kalitesini belirleyerek üretim sonrası ikincil işlem yapılmasına yönelik karar vermektir. Ayrıca bu deney aracılıyla üretilen malzemelerin yüzey kalitesine göre çalışma şartlarında gereksinim duyacağı ortamların hazırlanmasıdır. Genel olarak üretimden tam pürüzsüz yüzey elde edilemediği için ikincil işlem gerektirmektedir. Uygulanacak işlem yüzey pürüzlülüğüne göre seçimi yapıldığı gibi işlem sonrası da yüzey kontrolü tekrardan yüzey pürüzlülüğü deneyine tabi tutularak tespit edilmektedir.

Üretimi yapılan parçalarda kaliteli bir ikincil işlem uygulaması sonrası yüzey pürüzlülüğü malzemenin farklı özelliklerine de katkı sunmaktadır. Kaliteli bir yüzey malzemenin dayanımına, kimyasal veya fiziksel etkiler altında korozyon direncine ve sürtünmeden kaynaklı malzeme ömrü gibi konuları da etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü bazı deneylerin yapılmasında da önemli rol oynamaktadır. Örneğin aşınma deneyinde aşındırıcı malzeme ucu ile numune yüzeyine teması sağlanarak sürtünme sonucu ölçüm yapılacağından düzgün olmayan yüzeylerde aşınma fazla olacağından dolayı deneyi etkilemektedir. Ayrıca malzemelerin birbirine teması pürüzsüz yüzeylerde iyi olacağı için bundan dolayı ısı iletimi ve yüzey kaplamasını da etkileyecektir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için farklı yöntemler mevcuttur. Genel anlamda yapılan ölçüm metodu mekanik profilometreler aracılıyladır. Mekanik profilometrelerle malzeme yüzeyinde ölçüm yapılırken öncelikle malzemenin sabitliği sağlanması gerekmektedir. Daha sonra malzeme yüzeyinde algılayıcı elmas ucun hareket etmesiyle malzeme yüzeyindeki girinti ve çıkıntıların tespiti yapılarak yüzey pürüzlülüğü belirlenir. Deney sonunda ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) tespit edilir. En optimal sonucu elde edebilmek için malzeme yüzeyinde farlı noktalardan ölçüm gerçekleştirilmelidir.

Bu tez çalışmasında yüzey pürüzlülüğü ölçümü TIME TR200 Roughness Tester cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük testi için matris ve farklı oranlarda takviye edilen kompozit malzemelerden ölçüm için 3 adet üretim gerçekleştirilmiş olup her bir numune yüzeyinden farklı noktalar olmak şartıyla 5 adet ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçlarında her katkı miktarından toplamda 15 veri elde edilerek ortalaması alınmıştır. Ortalama sonuçlarıyla katkı miktarına göre numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir.



Şekil 3.19. TIME TR200 Roughness Tester cihazı

3.3.6. Yoğunluk deneyi

Yoğunluk kavramı ölçümü yapılacak olan malzemenin birim hacimde bulunan madde miktarı olarak tanımlanabilir. Yoğunluğun bilinmesi malzemenin mekanik özellikleri açısından önem arz etmektedir. Malzemenin yoğunluğu ile üretim ve sonrasında oluşabilecek poroziteler malzemelerin mekanik dayanımlarına önemli derece etki etmektedir. Bunun yanı sıra korozyon ve ısı iletim özelliklerini de etkilemektedir. Üretimden kaynaklı malzemelerde birim hacimde tam doygunluk yani boşluksuz yapı elde etmek çok zor olduğu için teorik olarak malzeme yoğunluğu hesaplamak zordur. Buna en büyük etkenlerin başında da porozite yani gözenekli yapı gelmektedir. Bu yüzden dolayı malzemelerin hacim ve kütlesi oranlanarak yoğunluk hesabı yapılmaktadır.

Katı maddelerin yoğunluk hesabı için kullanılan en genel deney Arşimet yoğunluk ölçüm prensibidir. Bu prensibe göre bir malzemenin ortam koşularında ağırlığı ile saf su yani sıvı ortam koşulunda ölçülen ağırlığı hesaplamalarına dayanmaktadır. Deneydeki esas amaç ölçümü yapılacak olan numunenin batmaya

karşı koymuş olduğu kuvvet olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada üretimi yapılan kompozit malzemelerden değişen takviye miktarına göre her bir malzeme için 3 adet üretim yapılıp, yoğunluk ölçümü için Arşimet yoğunluk kiti ve hassa terazi kullanılarak her takviye miktarında bulunan numunelerden ölçüp yapılarak ortalamaları alınıp yoğunlukları tespit edilmiştir.

Öncelikle bu deneyin yapılışı ölçümü yapılacak olan numunenin hava ortamında tartımı yapılarak ağırlığı hesaplanır ve Arşimet kiti yardımıyla su içerisine daldırılarak sıvı ortamda ağırlığı tespit edilir. Hava ortamındaki ağırlığından, sıvı ortam ağırlığı çıkartılarak suyun kaldırma kuvveti hesaplanmış olur ve buda aynı zamanda numunenin hacmine denk gelmektedir. Bu hesaplama sonunda bulunan değer tekrardan numunenin hava ortamında ölçülen ağırlığına bölümü ile malzemenin yoğunluk değeri hesaplanmış olur.

Bu çalışmada yoğunluk ölçümü için RADWAG AS 220.R2 cihazı kullanılmıştır. Tez çalışmasında farklı oranlarda katkı miktarına sahip ve matris malzemesi olmak şartıyla yoğunluk ölçümü için her kategoriye ait 3 adet numune üretimi yapılmıştır. Her kategori için üretilen her numunenin ayrı ayrı 5 adet yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçları ait olduğu kategori içindeki numune değerleriyle beraber ortalamaları alınarak, artan takviye miktarına göre yoğunluklarındaki değişim incelenmiştir.



Şekil 3.20. Kompozit numunenin yoğunluk ölçümü

3.3.7. Mikroskobik inceleme

Bu deney esas olarak yapılmasındaki amaç üretim yapılan metal malzemelerin mikroskop altında metalografik özelliklerinin tespiti için numunelerin incelenmesidir. Mikroskobik olarak incelemeye tabi tutulacak olan numuneler öncesinde belli başlı ön hazırlıklara tabi tutulması gerekmektedir. Bu ön hazırlıkların yapılmasındaki amaç mikroskop altında deney numunesinin incelenmek istenen özelliğinin hata oranını en aza indirgemek için yapılır. Bu aşamada deney numunesi hazırlama için sırasıyla önce zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri gerçekleştirilir. Bu aşamalarda zımparalama işlemi için öncelikle belirli ölçeklerde zımpara numarasına göre önce kaba zımpara devamında zımpara numarası artan şekilde ince zımparalama işlemi yapılarak numunenin yüzey kalitesi arttırılır. Bu çalışmada zımparalama işlemi yapılırken 800,1000,1200 ve 2000 mesh zımparalar yardımıyla 400 rpm'de numuneler zımparalanmıştır.

Zımparalama işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlardan en önemlisi zımparalama yapılırken su kullanımı gerekmektedir. Su kullanımı zımparalama sonucu çıkan partiküllerin numuneye zarar vermesini engellemek ve partikülleri uzaklaştırmak için kullanılır ayrıca zımparalama esnasında numune yüzeyinin sürtünmeyle oluşacak olan ısının giderilmesinde kullanılır. Buradaki amaç tahrip olmuş yüzeyi daha düzgün hale getirmektir. Daha sonra numuneler temizlenir ve bir sonraki işleme geçilir.

Zımparalama işleminden sonra parlatma işlemine geçilir. Parlatma işleminde zımparalamada oluşan hasarlar minimize edilir. Parlatma işlemi yapılırken genelde mikrometre boyutunda elmas solüsyon damlatılarak devamında parlatma çuhası yardımıyla yüzeyi en uygun seviyede olana kadar bu işlem yapılır. Bu çalışmada parlatma işlemi yapılırken 1mikronmetre boyutunda elmas solüsyon ve kadife çuha kullanılarak 400 rpm'de numunelere parlatma işlemi yapılmıştır. Genelde metal malzemelerde en iyi yüzey kalitesi parlatma işleminde numuneye bakıldığında yansıtma yapıyorsa yeteri kadar parlatma yapıldığının göstergesidir. Bu işlemin devamında dağlama işlemine geçilir.

Dağlama işleminde esas amaç mikroskop altında malzemelerin iç yapı özelliklerini detaylı bir şekilde inceleyebilmektir. Dağlama işlemi yardımıyla numunelerde olan dislokasyonların tayini gibi iç yapıda oluşan kusurlarda tespit edilebilmektedir. Bu işlemin yapılmasında numune cinsine göre de değişiklik göstermektedir. Farklı cinsteki malzemelere farklı yöntemde dağlama yapılarak mikro yapı incelemesi yapılabilmektedir. Bu çalışmada üretilen numuneler alüminyum matrisli kompozit malzeme olduğu için keller dağlama yöntemi tercih edilmiştir. Bu dağlama yönteminde öncelikle dağlama çözeltisi hazırlanmalıdır. Çözelti bileşiminin hazırlanışı 1 cm^3 hidroflorik asit (HF), 1,5 cm^3 hidroklorik asit (HCI), 2,5 cm^3 nitrik asit (HNO_3) ve 95 cm^3 su (H_2O) birleştirilmesiyle oluşturulur. Numuneler dağlama işlemi hazırlanan karışıma daldırılarak ya da yüzeyine dağlayıcının damlatılmasıyla gerçekleştirilir. Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Dağlama işlemi süresi ve sıcaklığı dağlamayı etkileyen parametrelerdir. Bu çalışmada oda sıcaklığında ve 20 saniye dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama işleminden sonra ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu yardımıyla iç yapı ve numune yüzeyleri incelenmiştir.

Dağlama sonrası malzemeler mikroskop yardımıyla iç yapıları incelemeye tabi tutulur. Metalleri incelemek için genel olarak ters metal mikroskobu tercih edilmektedir. Bu mikroskop yardımıyla üretilen metal numunelerde tane sınırları, gözenek miktarı, yapı üzerindeki çatlaklar ve takviye partiküllerin dağılımı gibi özellikleri incelenmektedir. Bu özelliklerin tespiti ters metal mikroskobunda incelemek numunenin durumuna göre değişim göstermektedir. Mikroskop incelemesi öncesi yapılan işlemler iyi derecede olmadığında numune özelliklerini incelemek zorlaşacaktır. Daha detaylı incelemeler için genel de taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu yardımıyla numunelerin incelenmesinde elektron demeti aracılıyla numune yüzeyinde yapılan tarama sonucu elde edilen görüntü yardımıyla inceleme yapılmaktadır. Sem analizi mikro ve nano boyutta geniş kapsamlı inceleme yapabilmek için elverişlidir. Sem analizinin ters metal mikroskoba kıyasla daha fazla çözünürlüğe sahip olduğu için numunenin kimyasal yapısı hakkında da bilgi vericidir. Bu çalışma da kullanılan takviye partikülleri nano boyutta olduğu için geniş kapsamlı numunelerin incelenmesi için

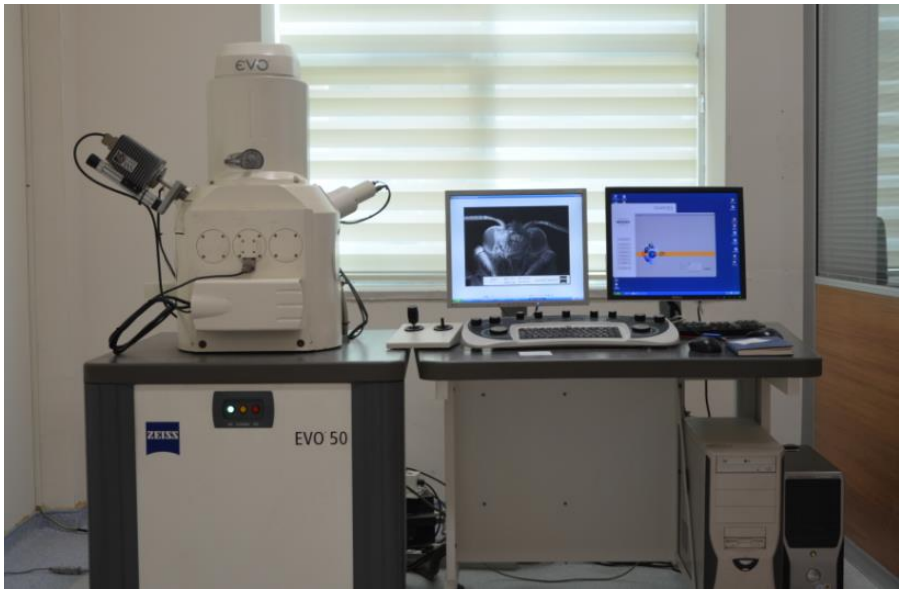
ZEISS EVO 50 marka taramalı elektron mikroskobu yardımıyla analiz yapılarak numuneler incelenmiştir. Ayrıca mikroskobik inceleme öncesi işlemler iyi olduğundan dolayı numuneler KOZO XJM200 marka ters metal mikroskobu yardımıyla da incelenmiştir. Mikroskobik inceleme için hazırlanan her sınıf numune için farklı ölçekte 4 adet görüntü alınarak, artan takviye miktarına göre partikül dağılımı incelenmiştir.



Şekil 3.21. Zımparalama ve parlama cihazı



Şekil 3.22. Kozo XJM200 Ters Metal Mikroskobu



Şekil 3.23. ZEISS EVO 50 Taramalı Elektron Mikroskobu

3.3.8. Isı iletim katsayısı ölçüm deneyi

Isı iletimi, farklı fazlarda bulunan malzemelerin sıcaklık değeri yüksek olandan taraftan az olan tarafa doğru ısının geçişidir. Isı iletiminin gerçekleşmesi için genel şart iki ortam ya da yüzey arasında sıcaklık farkı olması gerekmektedir. Isı iletiminin gerçekleşmesi iletim, taşınım ve radyasyon yoluyla gerçekleşmektedir. Katı cisimlerde ısı iletim yoluyla sıcak yüzeyden, daha soğuk yüzeye madde alışverişi olmadan ısının geçişidir. Isı geçişini etkileyen birçok etken vardır. Genel olarak ısı geçişini etkileyen malzemenin porozitesi, malzeme kompozisyonu, sıcaklık, yoğunluk ve ortam koşullarından kaynaklı etkenlerdir. Isı geçişi iyi olması malzemenin ısı iletim katsayısı ile orantılıdır. Isı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerde ısı geçişi daha fazla olur. Bunun yanı sıra malzeme içerisindeki porozite miktarının azalması ısı geçişini destekler ve daha fazla ısı geçişi sağlanır. Yüksek yoğunlukta ve sıcaklıktaki malzemelerde ısı iletimi de artmaktadır. Ayrıca ısı iletimi saf ve takviyeli malzemelerde ilave edilen bileşimin ısı iletim katsayısına göre değişim göstermektedir. Genel olarak saf malzemelere takviye elemanı ilave edilmesi durumunda ısı geçişi düşmektedir.

Bu çalışmada artan takviye miktarına göre 4,8 W/mK ısı iletim katsayısına sahip TiO_2 ve 36 W/mK ısı iletim katsayısına sahip Al_2O_3 takviye partikülü kullanılarak, her

bir ilave miktarında 3 adet numune üretilmiş olup her numune üzerinde 3 sefer ısı iletim deneyi yapılarak ortalamaları alınıp incelenmiştir. Deneyler Hot Disk TPS 500 S ısı iletim katsayısı tespit cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.24. Hot Disk TPS 500 S ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı



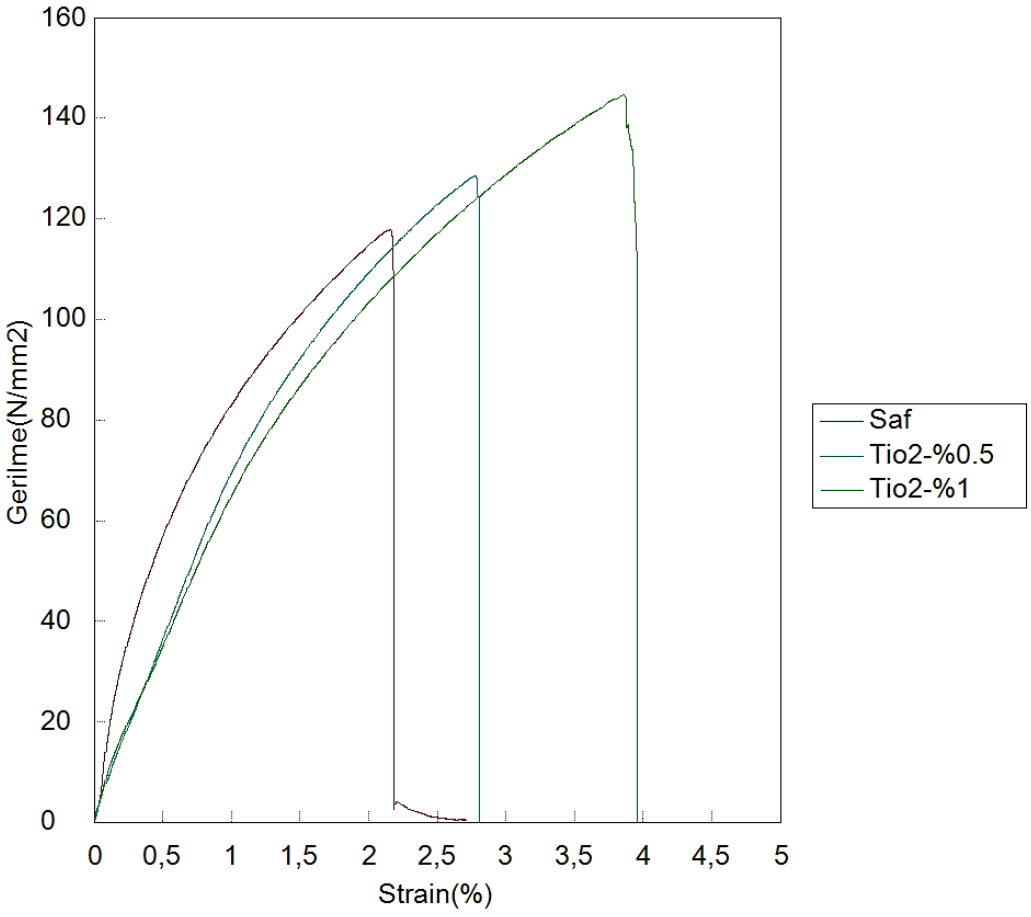
Şekil 3.25. Isı iletimi katsayısı ölçülen numuneler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneyler

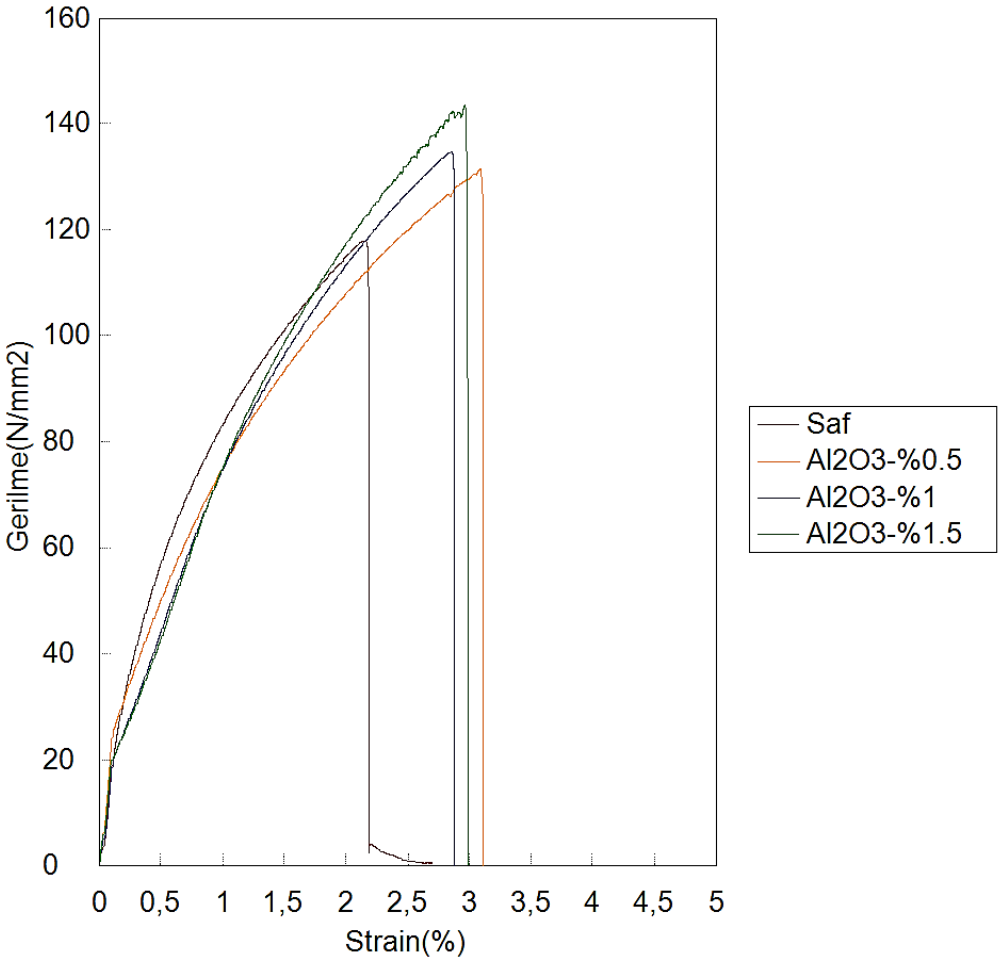
4.1.1. Çekme deneyi incelemesi

Çekme deneyi sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde, saf matris malzemesi 119,5 N/mm^2 maksimum gerilme değerine sahipken bu değer ağırlıkça % 0,5 TiO_2 takviye edildiğinde 138,51 N/mm^2 ve % 1 TiO_2 nanopartikül takviye edildiğinde ise 143,98 N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Matris içerisinde homojen dağılım ve yeteri kadar ıslanabilirliğe ulaşmış takviye malzemesi, matrisle arayüzey oluşturarak malzeme üzerine uygulanan kuvveti matris aracılıyla partiküllere aktarması sonucu mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlamıştır.

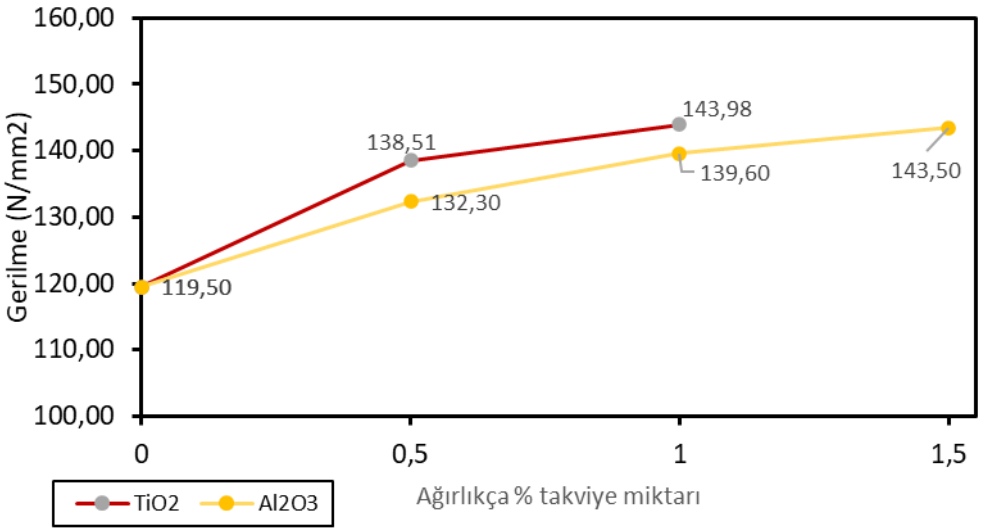


Şekil 4.1. Matris malzemesi ve TiO_2 artan madde miktarına göre çekme testi grafiği

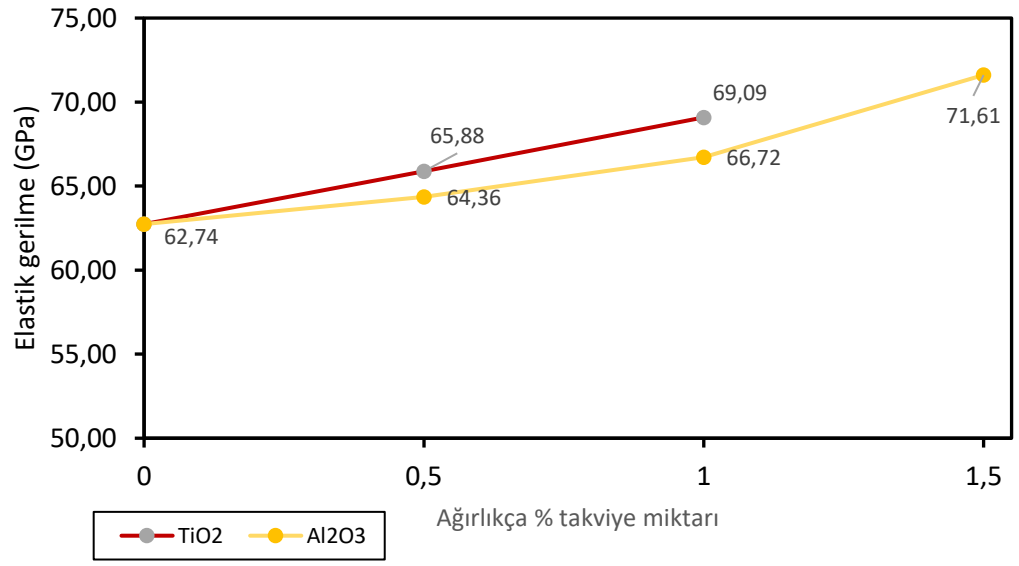
Matris malzemesine göre üretilen kompozit malzeme takviye partikülleri sayesinde daha yüksek dayanım göstermiştir. Bunun sebebi partiküllerin matris içerisinde iyi derecede hapsolması ve gelen yüklere daha çok dayanım göstermesidir. Buradan da anlaşılacağı üzere matris malzemesine ilave edilen takviye miktarının artmasıyla maksimum gerilme değeri artış göstermiştir.



Şekil 4.2. Matris malzemesi ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre çekme testi grafiği



Şekil 4.3. TiO_2 ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre çekme testi grafiği



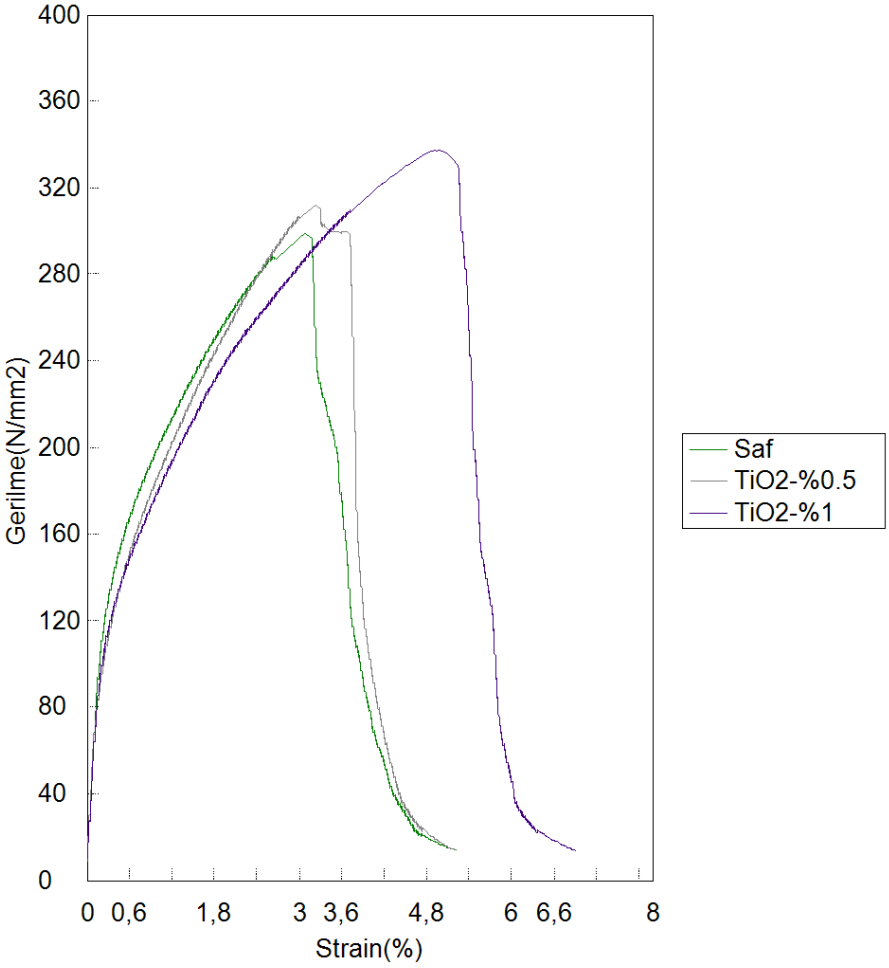
Şekil 4.4. TiO_2 ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre elastik gerilme grafiği

Çekme deneyi sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde, saf matris malzemesi 119,5 N/mm^2 maksimum gerilme değerine sahipken bu değer ağırlıkça % 0,5 Al_2O_3 takviye edildiğinde 132,3 N/mm^2, % 1 Al_2O_3 ilave edildiğinde 139,6 N/mm^2 ve % 1,5 Al_2O_3 nanopartikül takviye edildiğinde ise 143,5 N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Matris içerisinde homojen ve iyi derece ıslanmış takviye malzemesi, matrisle arayüzey oluşturarak malzeme üzerine uygulanan kuvveti matris aracılıyla partiküllere aktarması sonucu mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlamıştır. Matris

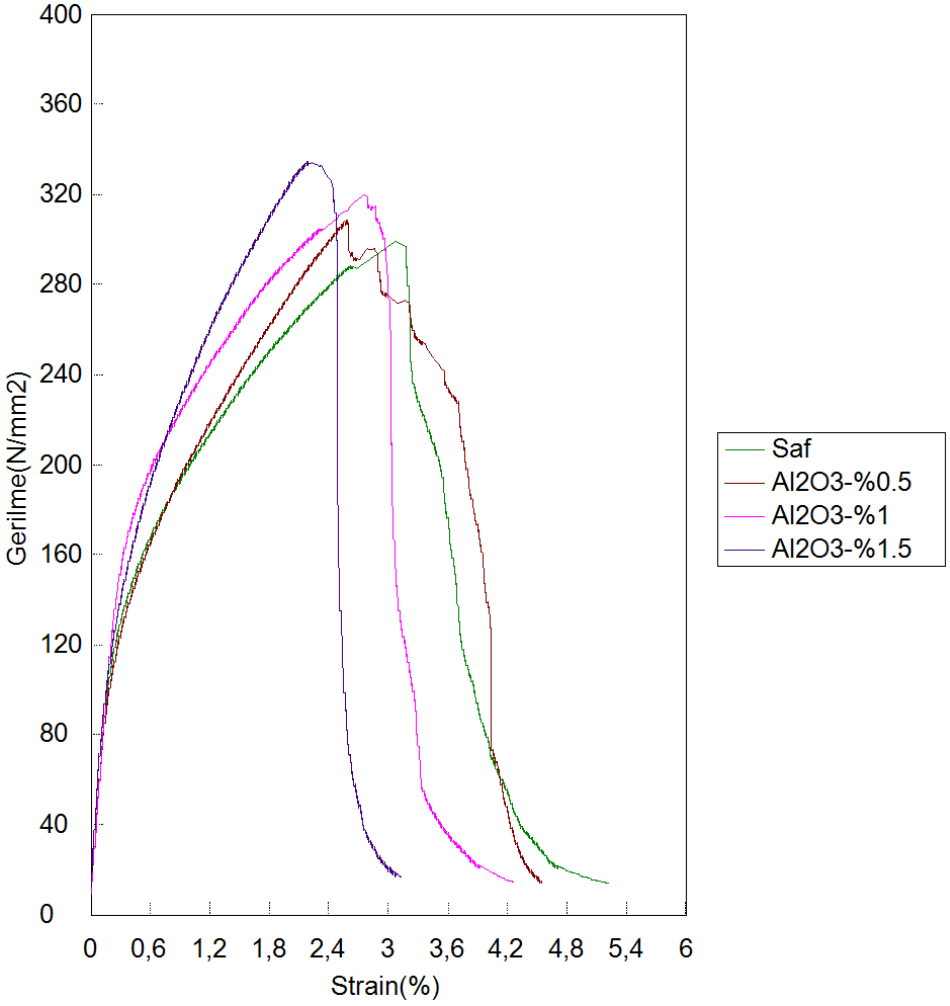
malzemesine göre üretilen kompozit malzeme takviye partikülleri sayesinde daha yüksek dayanım göstermiştir. Bunun sebebi partiküllerin matris içerisinde iyi derecede tutunması ve gelen yüklere daha çok dayanım göstermesidir. Buradan da anlaşılacağı üzere matris malzemesine ilave edilen takviye miktarının artmasıyla maksimum gerilme değeri artış göstermiştir.

4.1.2.Eğilme deneyi incelemesi

Üretilen kompozit malzeme 3 nokta eğilme testine tabi tutulduğunda saf numune 287,8 N/mm^2 maksimum gerilmeye sahipken ağırlıkça %0,5 TiO_2 ilave edildiğinde 314,51 N/mm^2 ve %1 TiO_2 nanopartikül takviye edildiğinde ise 323,04 N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Bu değerlerde matrise takviye edilen malzeme miktarının artmasıyla kompozit malzemenin dayanım değerlerinde artış sağladığını göstermiştir.



Şekil 4.5. Matris malzemesi ve TiO_2 artan madde miktarına göre eğilme testi grafiği



Şekil 4.6. Matris malzemesi ve Al_2O_3 artan madde miktarına göre eğilme testi grafiği

Üretilen kompozit malzeme 3 nokta eğilme testine tabi tutulduğunda saf numune 287,8 N/mm^2 maksimum gerilmeye sahipken ağırlıkça %0,5 Al_2O_3 takviye edildiğinde 311,8 N/mm^2, % 1 Al_2O_3 ilave edildiğinde 322,6N/mm^2 ve % 1,5 Al_2O_3 nanopartikül takviye edildiğinde ise 336,2N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Bu değerlerde matrise takviye edilen malzeme miktarının artmasıyla kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artış sağladığını göstermiştir.

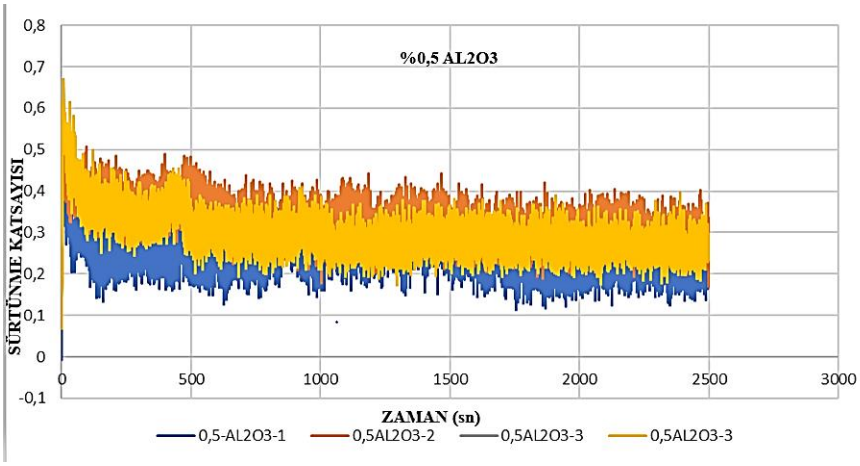
4.1.3.Aşınma testi incelemesi

Aşınma testi için her grup katkı miktarında 3 numune teste tabi tutularak çıkan sonuçların ortalaması incelendiğin de sabit yük ve zamanda Al_2O_3 katkılı kompozit numune grafiklerinde ilk başta katkı miktarının artmasıyla %0,5 ve %1 katkılı

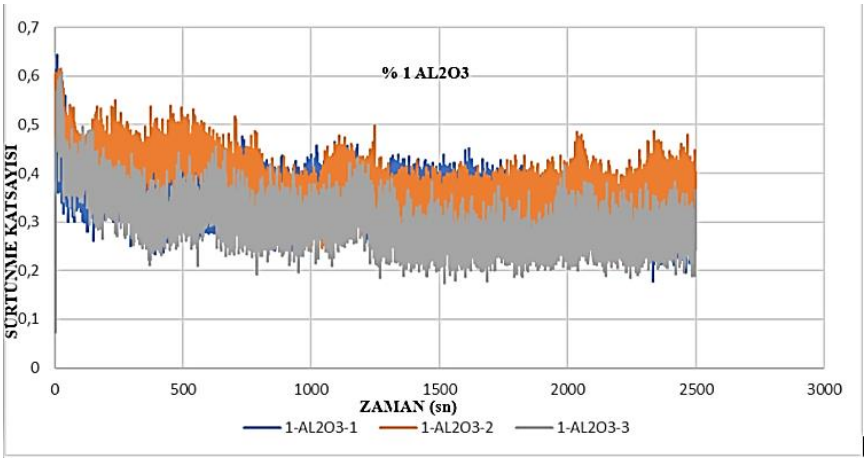
kompozit malzemelerde, aşınma testi sonucu sürtünme katsayısı değeri saf numunede 0,2503 mikrometre gözlemlenmiş olup %0,5'de 0,2913 mikrometreye artarken, %1 Al_2O_3 katkılı numunede 0,3423 mikrometreye kadar artmıştır. Takviye oranı ağırlıkça %1,5 katkılı Al_2O_3 numunesinde saf numuneye kıyasla 0,2497 mikrometreye düşmüştür. Bu durum araştırıldığında takviye matris içerisinde poroziteleri yeteri kadar doldurmadığı için %0,5 ve %1 takviye oranlarında aşındırıcı elmas uç poroziteli ve takviyeli yüzeylere aşındırma esnasında takılma eğilimi gösterdiği için sürtünme katsayısı artış göstermiştir. Burada poroziteli yüzeyden takviyeli yüzeye geçişte sertlik değişimi olduğu için aşındırıcı uç takılarak bu durumda sürtünme katsayısının artışına destek sağlamıştır. Bu durum %1,5 takviyeli kompozit numunede poroziteyi minimize ettiği için takviye partikülü daha iyi sert yüzey oluşumunu desteklediğinden dolayı sürtünme katsayısı matris malzemesine kıyasla düşüş göstermiştir.

TiO_2 takviye partiküllü kompozit numunenin aşınma sonucu sürtünme katsayı değerleri her gruba ait 3 numunenin ortalaması alınarak incelendiğinde %0,5 ağırlıkça TiO_2 katkılı numunede 0,250 mikrometre bulunurken takviye miktarının artmasıyla %1 katkılı TiO_2 de 0,2473 mikrometre olarak tespit edilmiştir. Matris malzemesiyle bu değerler kıyaslandığında artan takviye miktarı ile sürtünme katsayısının düştüğü sonucuna varılmıştır. Burada TiO_2 matris içerisinde poroziteyi daha aza indirgediği sonucuna varılırken ayrıca %1,5 TiO_2 katkılı numune üretimi denendiğinde matris malzemesi doygunluk seviyesi fazlası partikülleri kustuğundan dolayı %1 TiO_2 katkılı numunede porozitenin az olmasıyla sürtünme katsayısının düşmesini desteklemektedir.

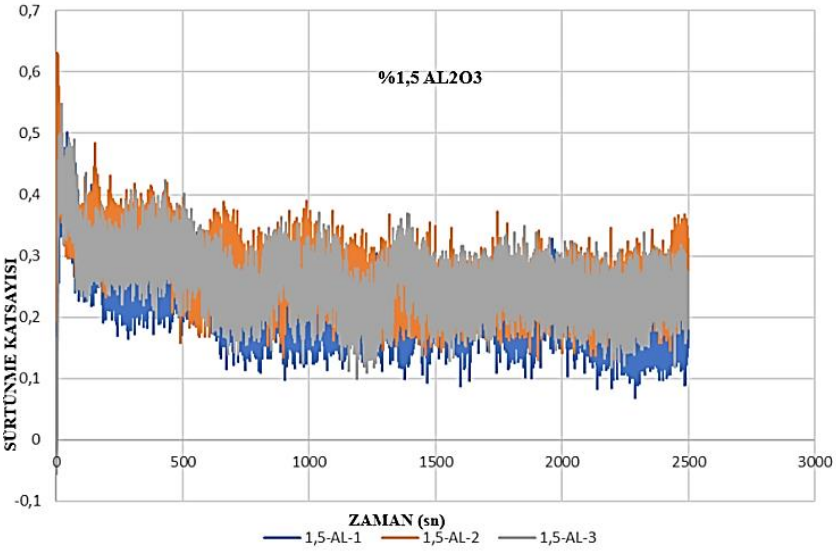
Tez çalışmasında kullanılan takviye malzemeleri ve değişen miktarları ortak grafik üzerinde incelendiğinde aşınma testi sonucu sürtünme katsayısı değeri katkısız numuneye kıyasla en iyi sonuç %1 TiO_2 katkılı kompozit malzemede gözlemlenmiştir. %1 TiO_2 ilave edilerek üretilen kompozit malzeme, matris içerisinde homojen dağıldığı ve iyi derecede ıslanabilirliği sağladığından dolayı boşlukları yeteri kadar doldurduğu sonucuna varılmış olup matrise kıyasla sürtünme katsayısı düşmüştür.



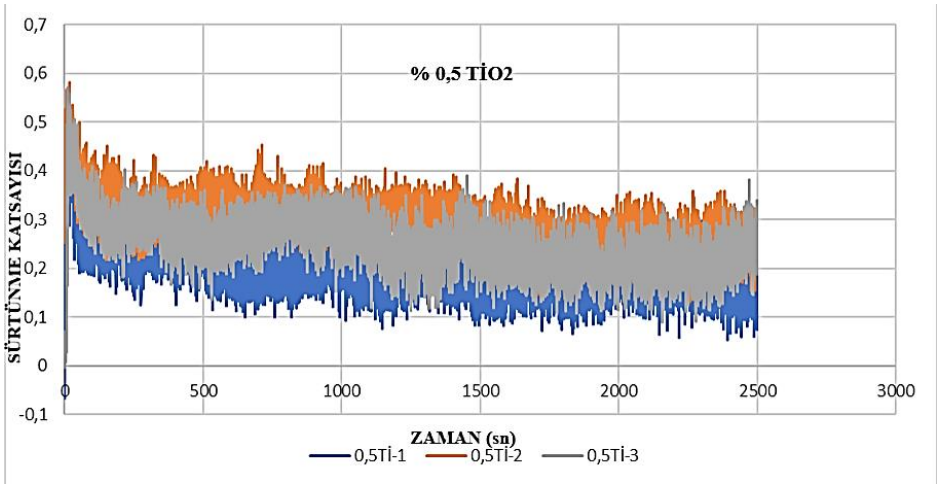
Şekil 4.7. %0,5 Al_2O_3 numunelerinin ortak aşınma grafiği



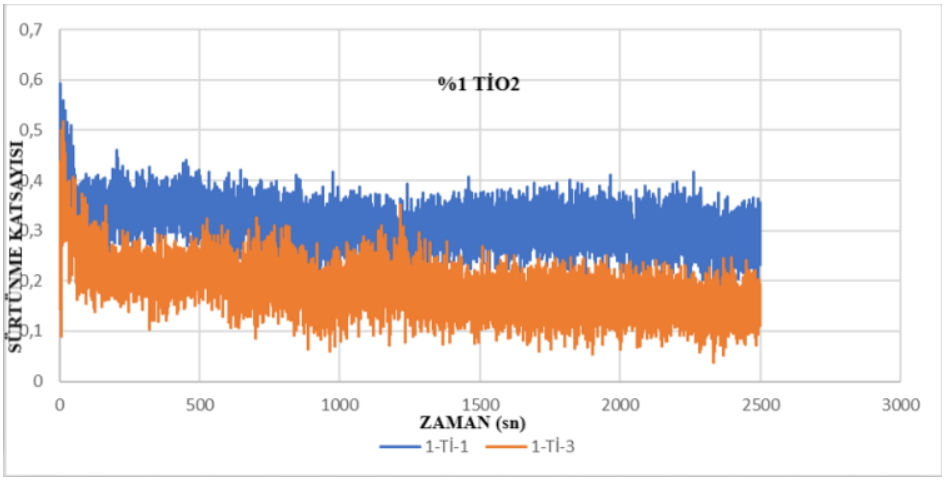
Şekil 4.8. %1 Al_2O_3 numunelerinin ortak aşınma grafiği



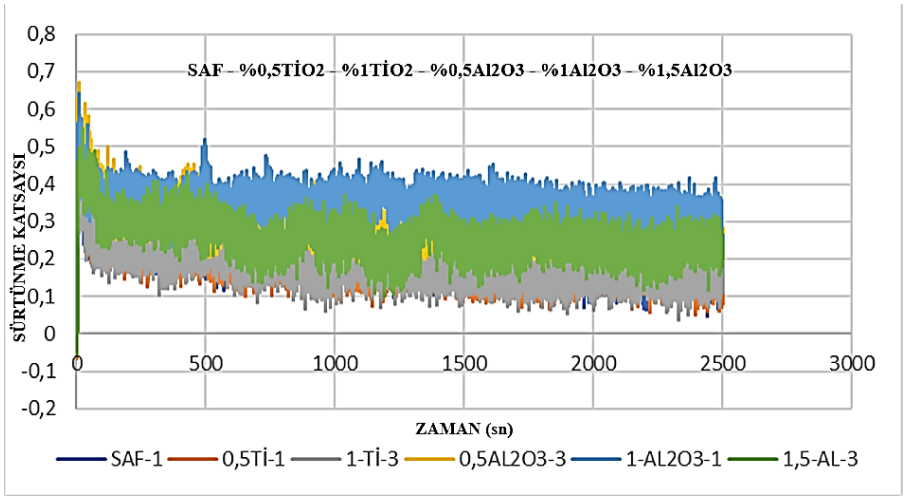
Şekil 4.9. %1,5 Al_2O_3 numunelerinin ortak aşınma grafiği



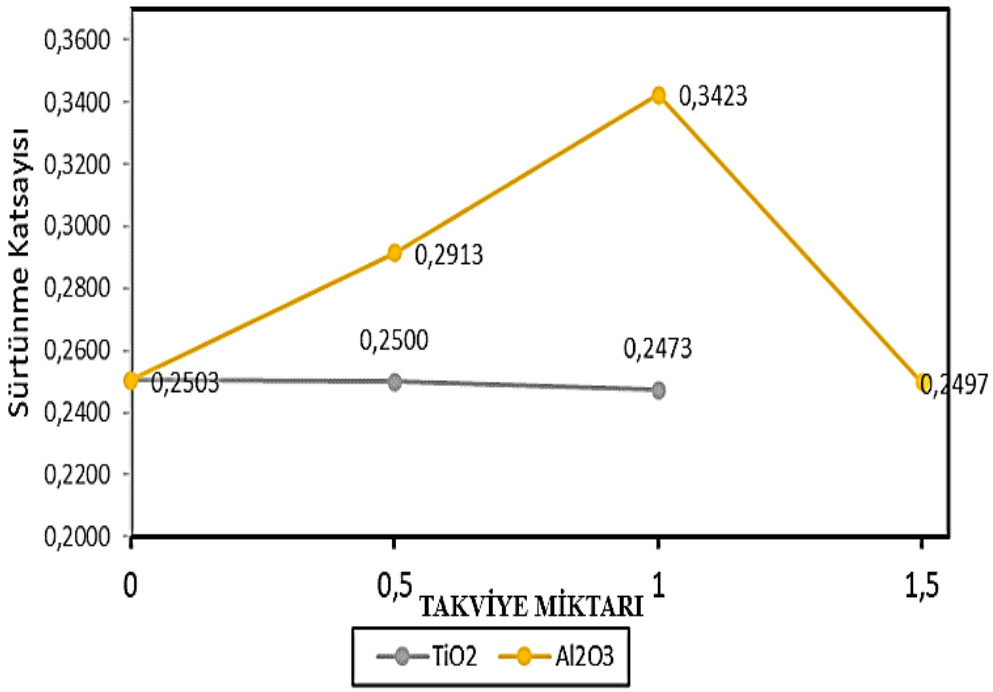
Şekil 4.10. %0,5 TiO_2 numunelerinin ortak aşınma grafiği



Şekil 4.11. %1 TiO_2 numunelerinin ortak aşınma grafiği



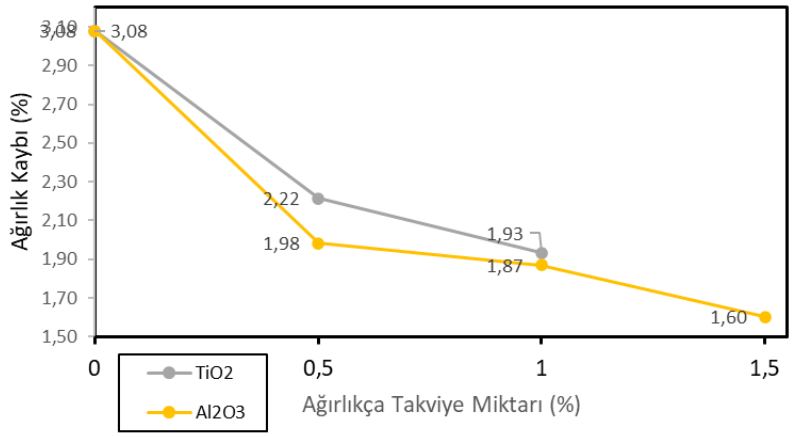
Şekil 4.12. Takviye elemanına göre bütün parametreler için ortak aşınma grafiği



Şekil 4.13. Artan takviye miktarına göre sürtünme katsayısı değişimi

Tez çalışmasında aşınma testi sonucu %ağırlık kaybı değişen katkı malzemesi ve artan ilave miktarına göre incelediğinde katkısız matris malzemesi ağırlık kaybı %3,08 gelirken, ağırlıkça %0,5 Al_2O_3 takviye edilmiş numunede %1,98, %1 Al_2O_3 takviyede %1,87 ve %1,5 Al_2O_3 takviye edilmiş numunede %1,60 olarak gözlemlenmiştir.

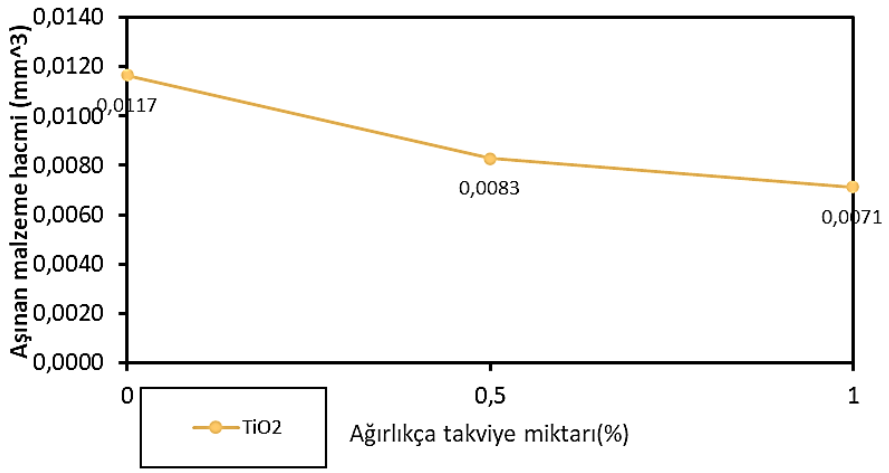
Katkısız numuneye kıyasla ağırlıkça TiO_2 takviye elemanı ilave edilen numuneler incelendiğinde %0,5 TiO_2 katkılı numunede %2,22 ve %1 TiO_2 ilave edilmiş numunede %1,93 ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. % Ağırlık kaybı sonuçları ortak değerlendirildiğinde takviye malzemesi olarak kullanılan TiO_2 ve Al_2O_3 partiküllerinin matris malzemesiyle sağlam bağ oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca göre matris içerisine takviye edilen nanopartiküllerin aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç, artan takviye miktarıyla birlikte arttığı saptanmıştır.



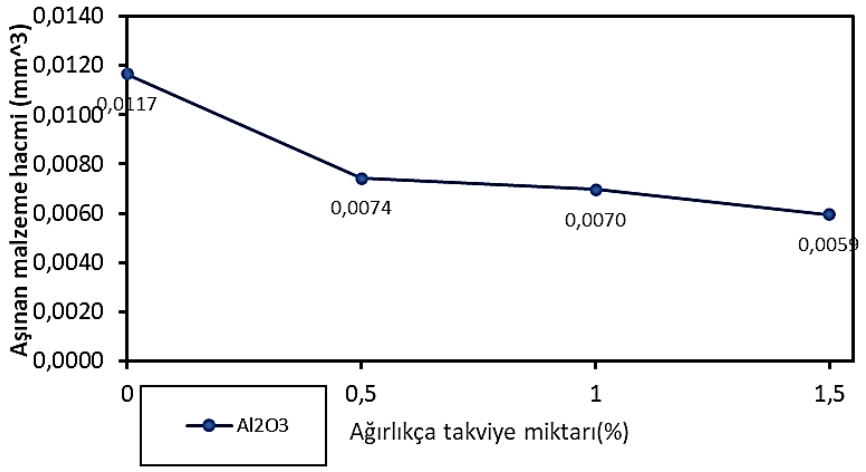
Şekil 4.14. % TiO_2 ve %Al_2O_3 değişen miktarına göre % ağırlık kaybının kıyaslaması

Aşınma testi sonucu katkısız matris malzemesi ve ağırlıkça %Al_2O_3 takviye edilen kompozit numunelerin aşınan malzeme hacmi incelendiğinde, katkısız matris malzemesinden 0,00117 mm^3 malzeme aşınmış olup %0,5 Al_2O_3 takviye edilmiş kompozit malzemede 0,0074 mm^3, %1 Al_2O_3 takviye edilen numunede 0,0070 mm^3 ve %1,5 Al_2O_3'da ise 0,0059 mm^3 malzeme aşındığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde sabit yük ve zaman altında uygulanan aşınma testinde artan takviye malzemesi miktarına göre aşınan malzeme hacmi düşüş göstermiştir. Buradan yola çıkarak matris içerisine takviye edilen nanopartikülün homojen dağıldığı ve matris tarafından yeteri kadar ıslatıldığı saptanmıştır. Bu sayede takviye edilen nanopartiküller matris içerisine iyi şekilde hapsolduğu için aşınma sırasında direnç göstermiş olup, artan madde miktarıyla numuneden ayrılan partikül hacmi azalmıştır.

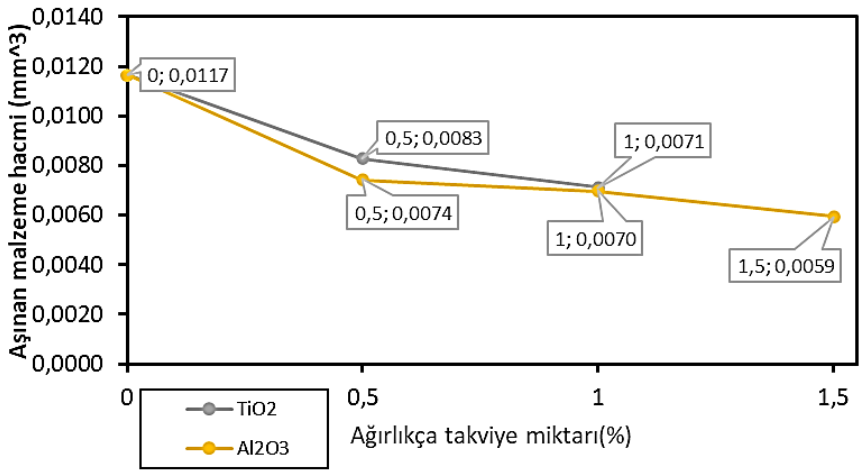
Matris içerine ağırlıkça % TiO_2 takviye edilen kompozit numuneler incelendiğinde %0,5 TiO_2 katkılı numunede 0,0083 mm^3 ve %1 TiO_2 katkılıda ise 0,0071 mm^3 aşınan malzeme hacmi gözlemlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda matris malzemesine kıyasla takviye malzemesinin artmasıyla kompozit malzemeden aşınan malzeme hacmi azalmıştır.



Şekil 4.15. Aşınma testi sonucu artan TiO_2 takviye miktarına göre aşınan malzeme hacmi

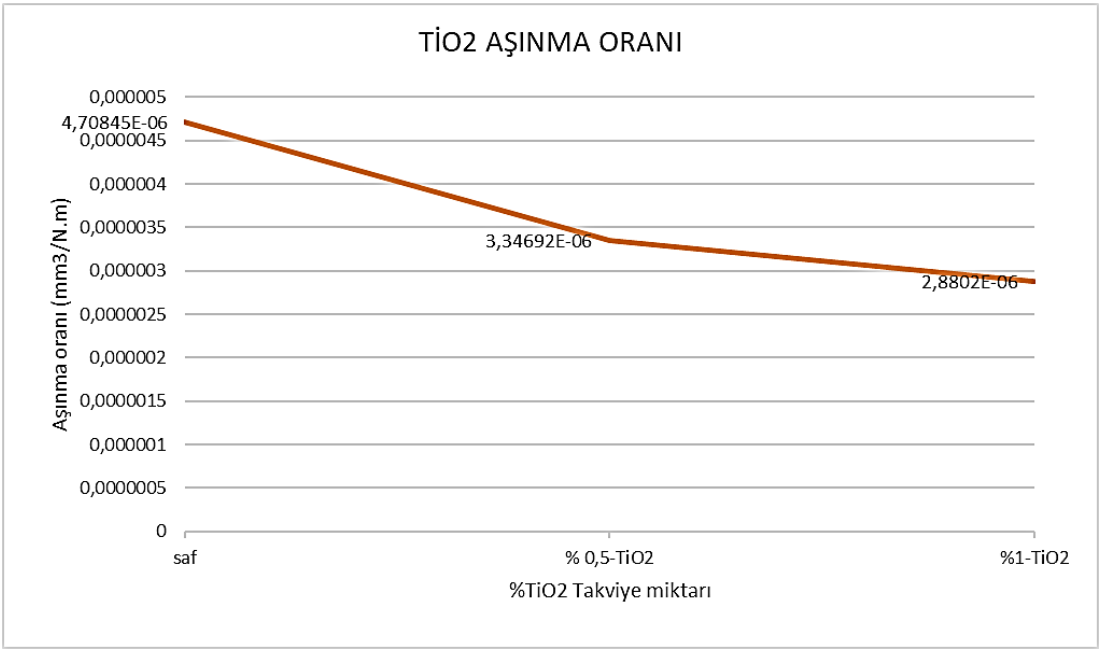


Şekil 4.16. Aşınma testi sonucu artan Al_2O_3 takviye miktarına göre aşınan malzeme hacmi

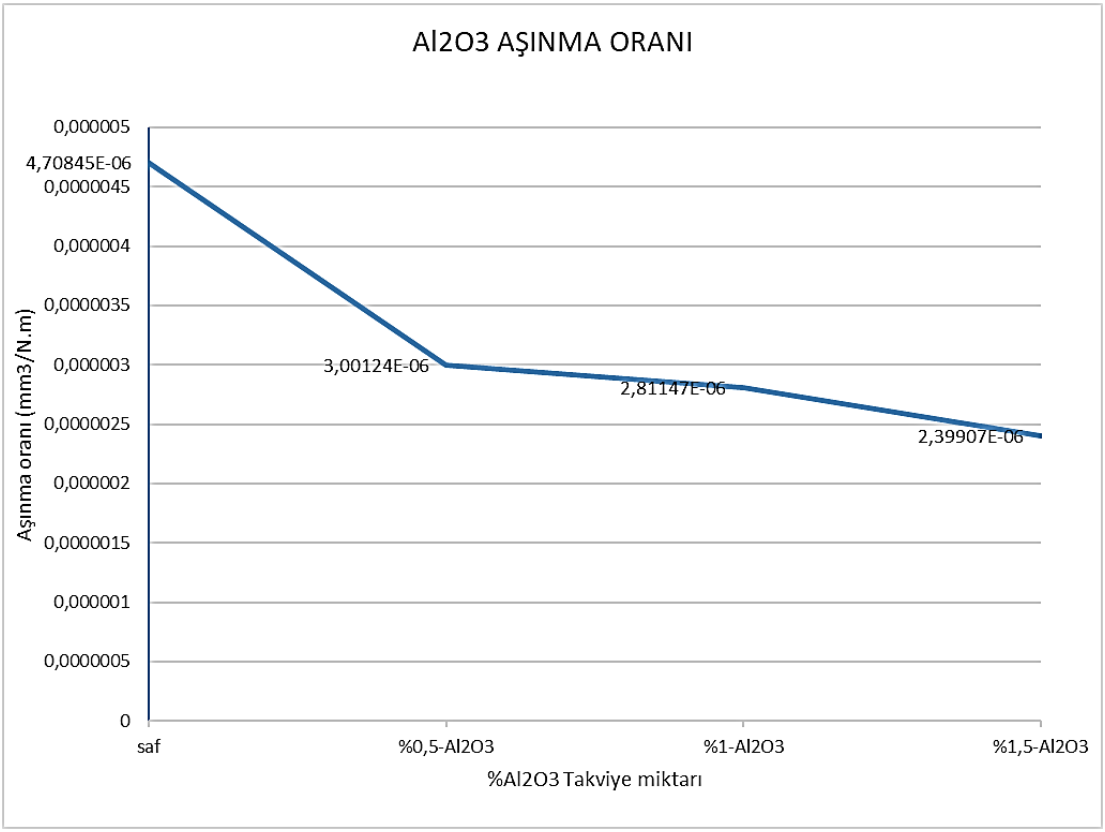


Şekil 4.17. % TiO_2 ve %Al_2O_3 değişen miktarına göre aşınan malzeme hacmi (mm^3)

Tez çalışmasında yapılan aşınma testi sonunda elde edilen aşınan malzeme hacim değerinin, uygulanan kuvvetin uygulanma mesafesiyle çarpılmasıyla elde edilen değere bölünmesiyle bulunan aşınma oranı (mm^3/ Nm) tespiti yapılmıştır. Bulunan sonuçlar incelendiğinde katkısız matris malzemesi değeri 0,000047 mm^3/ Nm tespit edilmiş olup ağırlıkça % Al_2O_3 takviye partikülleri ilave edildiğinde %0,5 katkı miktarında 0,000003 mm^3/ Nm, %1 Al_2O_3 ilave miktarında 0,0000028 mm^3/ Nm ve %1,5 Al_2O_3 takviyesinde ise 0,0000023 mm^3/ Nm olarak tespit edilmiştir. TiO_2 takviye edilmiş kompozit numuneler incelendiğinde %0,5 TiO_2 katkılıda 0,0000033 mm^3/ Nm ve %1 TiO_2 takviye edilmiş kompozit numunede 0,0000028 mm^3/ Nm olarak tespit edilmiştir. Matris malzemesi ve nanopartikül takviyeli kompozit numune değerleri incelendiğinde, artan takviye miktarıyla ters orantılı bir şekilde aşınma oranı azaldığı gözlemlenmiştir. Matris malzemesi ve kompozit malzeme kıyaslandığında nanopartiküller aşınma oranını indirgemiştir. Bu durum değerlendirildiğinde üretilen kompozit malzemeye ilave edilen partiküllerin matris içerisinde topaklanmadığı, homojen bir dağılım sağladığı ve ıslanabilirliğin iyi olduğundan dolayı takviye malzemesinin matris içine iyi derecede hapsolduğu saptanmıştır. Bundan kaynaklı olarak takviye miktarındaki artış aşınmaya karşı olan direngenliği arttırarak aşınma oranının azalmasına sebebiyet sağlamıştır.



Şekil 4.18. Aşınma testi sonucu artan TiO_2 takviye miktarına göre aşınma oranı

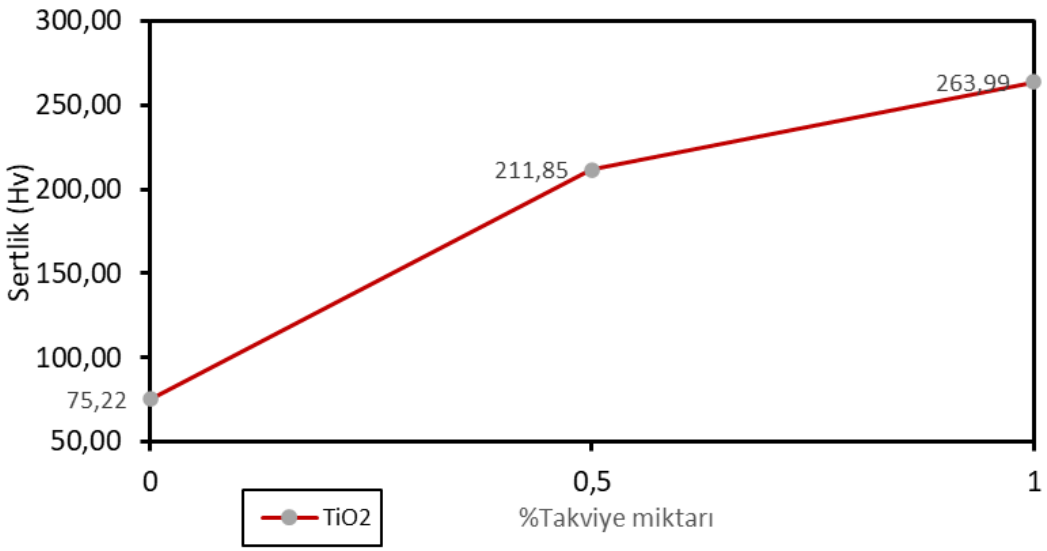


Şekil 4.19. Aşınma testi sonucu artan Al_2O_3 takviye miktarına göre aşınma oranı

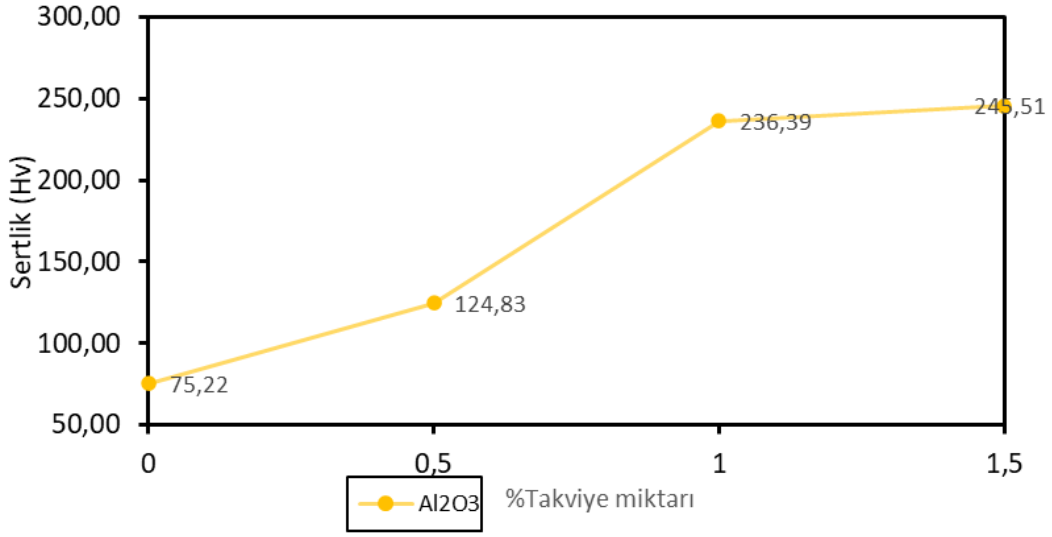
4.1.4. Vickers sertlik testi incelemesi

Sertlik ölçüm deneyi için her takviye malzemesinin katkı miktarı için 3 adet numune üretilerek, her numuneden 5 ölçüm sonucu ortalaması alınarak grafikler oluşturulup incelenmiştir. Katkısız matris malzemesi deney sonucu sertlik değeri 75,22 HV olarak tespit edilmiş olup, ağırlıkça %0,5 Al_2O_3 nanopartikülü ilave edilen kompozit malzemede 124,83 HV, %1 Al_2O_3 ilavesinde 236,39 HV ve %1,5 Al_2O_3 ilavesinde ise 245,51 HV olarak tespit edilmiştir. Ağırlıkça % TiO_2 takviye malzemesi ilave edilmiş kompozit numuneler incelendiğinde, % 0,5 katkılı numunede 211,85 HV ve %1 TiO_2 katkılı numunede ise 263,99 HV sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda nanopartikül takviyeli kompozit malzemede artan takviye miktarıyla birlikte sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Takviye malzemelerinin ilavesiyle sertlik değerindeki artış, kompozit malzeme yüzeyine uygulanan kuvvetin matris malzemesi aracılıyla takviye partiküllerine aktarılarak uygulanan kuvvete karşı gösterilen direncin artmasıyla birlikte sertlik artışı olduğu saptanmıştır. Katkısız matris

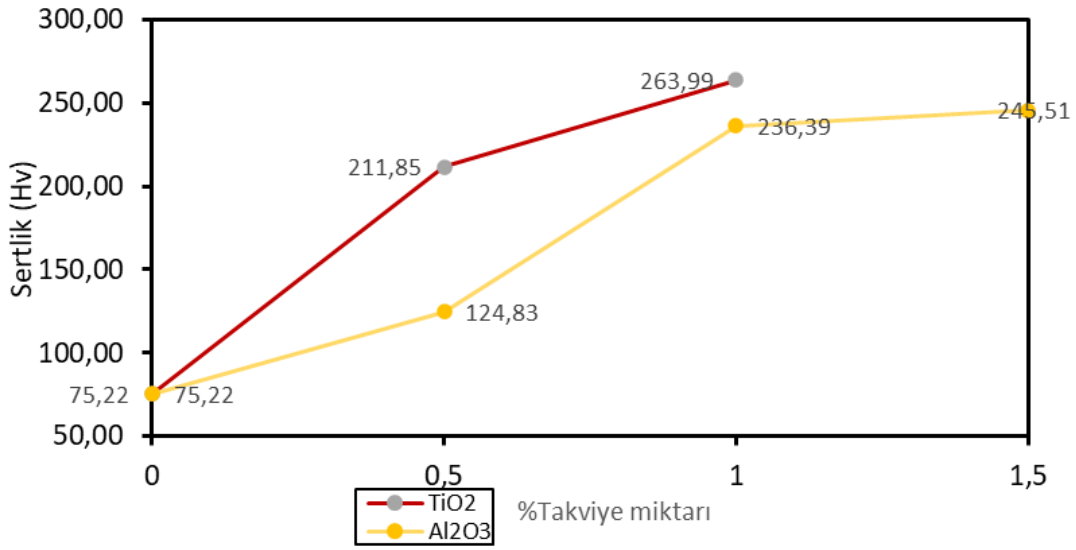
malzemesi atık içecek kutularından üretildiği için malzeme içerisinde bulunan farklılıktan kaynaklı numune içerisinde dislokasyonlar artış gösterdiği için uygulanacak olan kuvvete yeteri kadar direnç gösteremediği gibi sertlik değerinde de azalmaya sebebiyet sağlamıştır. Bu dislokasyonların hareketlerinin sınırlandırılmasıyla malzemede mekanik özelliklerinde iyileştirilme sağlanacağı için takviye edilen nanopartiküller dislokasyonların hareketi engellediği gibi sertlik değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara destek olarak yapılmış olan çekme ve eğilme deneylerinde de aynı şekilde dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Nanopartiküller matris kafes sistemi içerinde ara yer olarak yerleştiğinde ince taneli yapıda dislokasyonların hareketi zorlaşacağı için dış kuvvetlere karşı kompozit malzemenin direngenliği artış göstermiştir. Al_2O_3 ve TiO_2 artan katkı miktarı göz önüne alınarak sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde, en iyi sertlik değerinin ağırlıkça %1 TiO_2 katkılı kompozit numunede 263,99 HV olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.20. Matris ve TiO_2 artan takviye miktarına göre sertlik (Hv) ölçüm grafiği



Şekil 4.21. Matris ve Al_2O_3 artan takviye miktarına göre sertlik (Hv) ölçüm grafiği



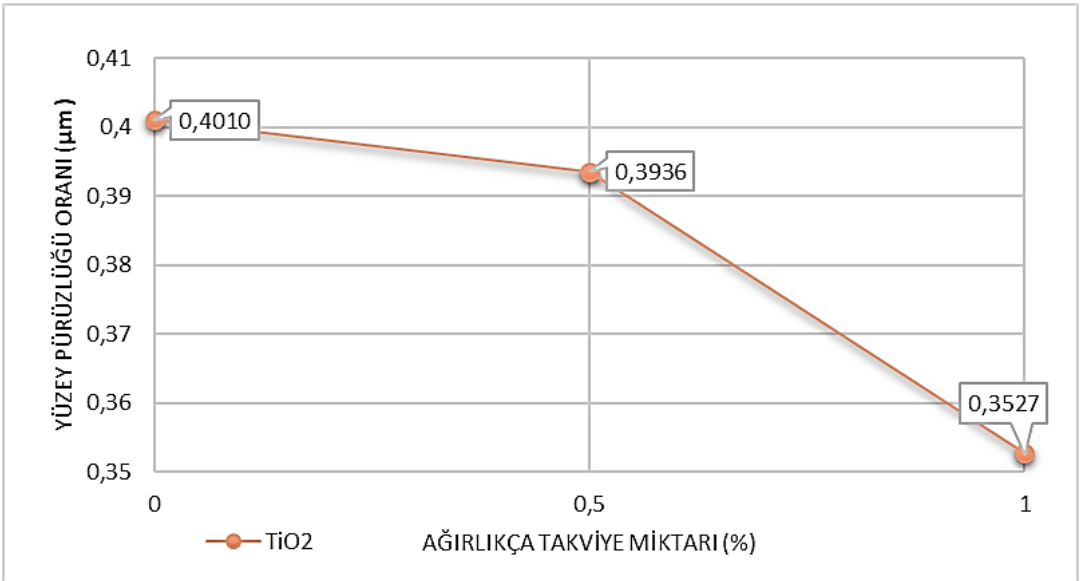
Şekil 4.22. Matris malzemesi ve takviye edilen nanopartiküllerin sertlik (Hv) grafiği

4.1.5. Yüzey pürüzlülüğü testi incelemesi

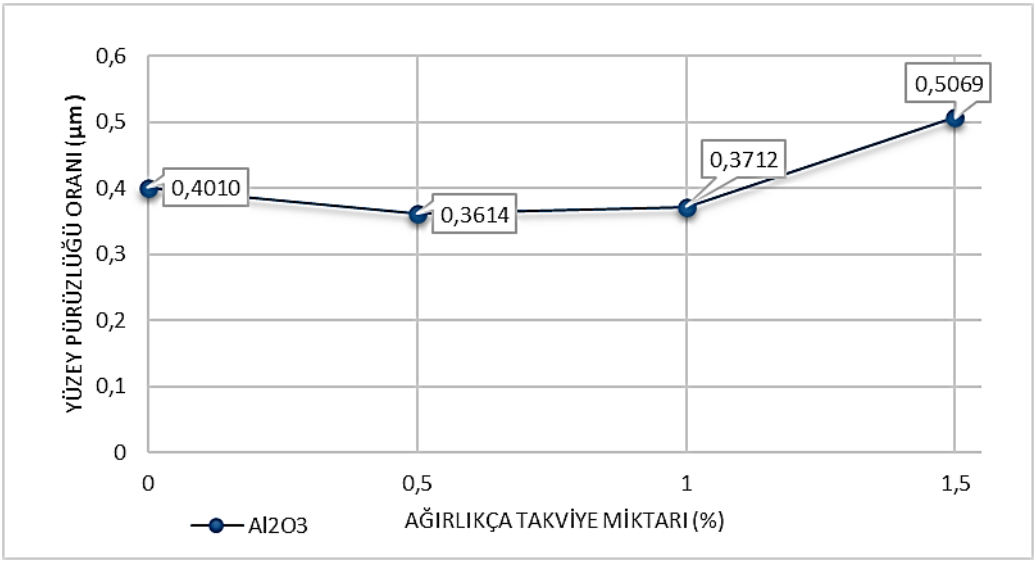
Tez çalışmasında her katkı malzemesinin değişen miktarı için 3 adet kompozit malzeme üretilerek, her numuneden 5 farklı bölgeden yüzey pürüzlülüğü ölçülerek ortalamaları alınıp grafikler oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları incelendiğinde matris malzemesi için yüzey pürüzlülük değeri 0,4010 µm tespiti yapılırken, %0,5 Al_2O_3 katkılı kompozitte 0,3614 µm, %1 Al_2O_3 ilavesinde 0,3712 µm

ve %1,5 Al_2O_3 takviye edilmiş kompozit malzemede ise 0,5069 µm olarak saptanmıştır.

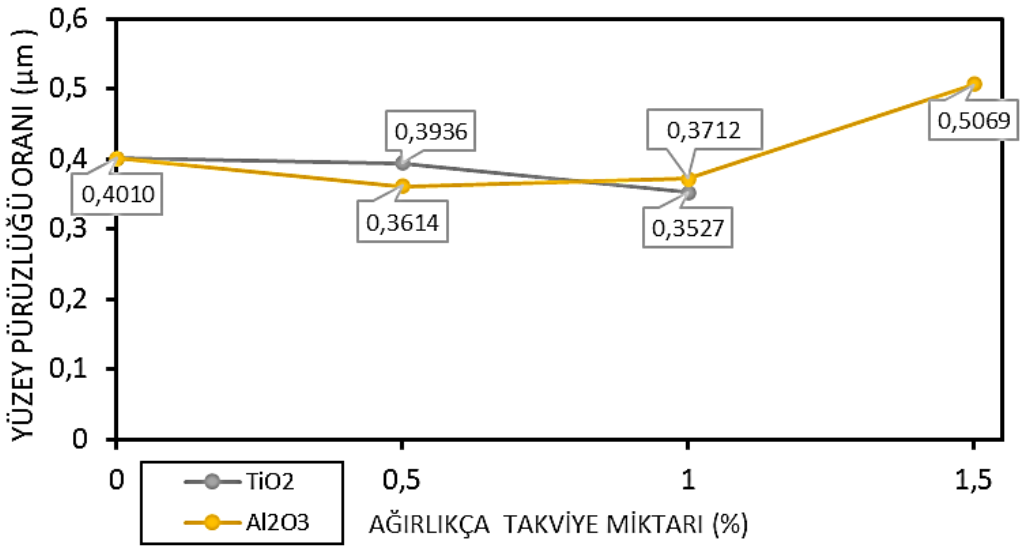
Ağırlıkça % TiO_2 takviye edilerek üretilen kompozit malzemelerin sonuçları incelendiğinde, %0,5 TiO_2 ilave edilmiş numunede 0,3936 µm ve %1 TiO_2 takviyelide 0,3527 µm olarak tespit edilmiştir. bu sonuçlar göz önüne alınarak incelendiğinde Al_2O_3 takviyeli numunede %1 oranından sonra artan takviye malzemesiyle birlikte yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Bunun sebebi artan madde miktarının matrisi doygunluk seviyesine yaklaştırdığı için malzeme yüzeyinde takviye partiküllerinin düzensiz bir şekilde saplanarak tutunmasıyla, ölçüm esnasında yüzey pürüzlülük cihazının iğnesinin yüzeyde saplanmış bir şekilde bulunan partiküllere takılma eğilimiyle artış göstermiştir. Genel olarak kompozit malzemelerde pürüzsüz yüzey elde etmek çok zordur. Matris ve katkı maddesinin farklılığından kaynaklı pürüzlü yüzeyler oluşmaktadır. Bu doğrultuda TiO_2 katkılı kompozit numune sonuçları değerlendirildiğinde artan takviye miktarıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.



Şekil 4.23. Matris ve TiO_2 katkılı kompozit malzemenin yüzey pürüzlülüğü



Şekil 4.24. Matris ve Al_2O_3 katkılı kompozit malzemenin yüzey pürüzlülüğü



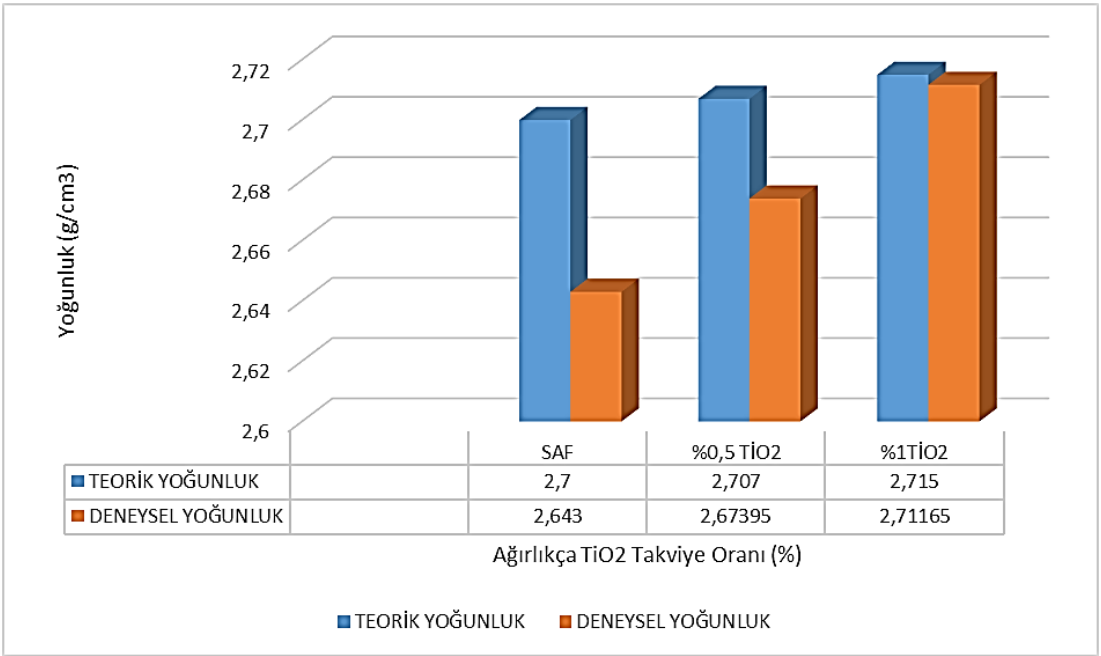
Şekil 4.25. Takviye miktarına göre Al_2O_3 ve TiO_2 katkılarındaki yüzey pürüzlülüğü

4.1.6. Yoğunluk deneyi incelemesi

Al_2O_3 ve TiO_2 takviye edilmiş kompozit malzemeler Arşimet yoğunluk prensibine göre her numunede 5 ölçüm yapılıp ortalamaları alınarak yoğunlukları tespit edilmiştir. Matris malzemesinin deneysel yoğunluğu 2,64gr/cm3 bulunurken, teorik yoğunluğu 2,7gr/cm3 olarak bulunuştur. Takviye elemanı Al_2O_3 ilavesiyle üretilen kompozit numune yoğunluk sonuçları değerlendirildiğinde, %0,5 Al_2O_3 katkılı numunede deneysel 2,669gr/cm3 bulunurken teorik 2,706gr/cm3, %1 Al_2O_3 ilavesinde deneysel ölçüm 2,687gr/cm3 bulunurken teorik 2,712gr/cm3 ve %1,5 Al_2O_3

ilavesinde ise deneysel ölçüm 2,699gr/cm3 tespit edilirken teorik yoğunluk 2,715gr/cm3 olarak hesaplanmıştır. TiO_2 takviye edilmiş kompozit numuneler incelendiğinde %0,5 TiO_2 katkılı numunede deneysel yoğunluk 2,674gr/cm3 ölçülürken teorik yoğunluk 2,707gr/cm3 tespit edilmiş ve %1 TiO_2 deneysel 2,711gr/cm3bulunurken teorik yoğunluk 2,715gr/cm3 olarak tespit edilmiştir.

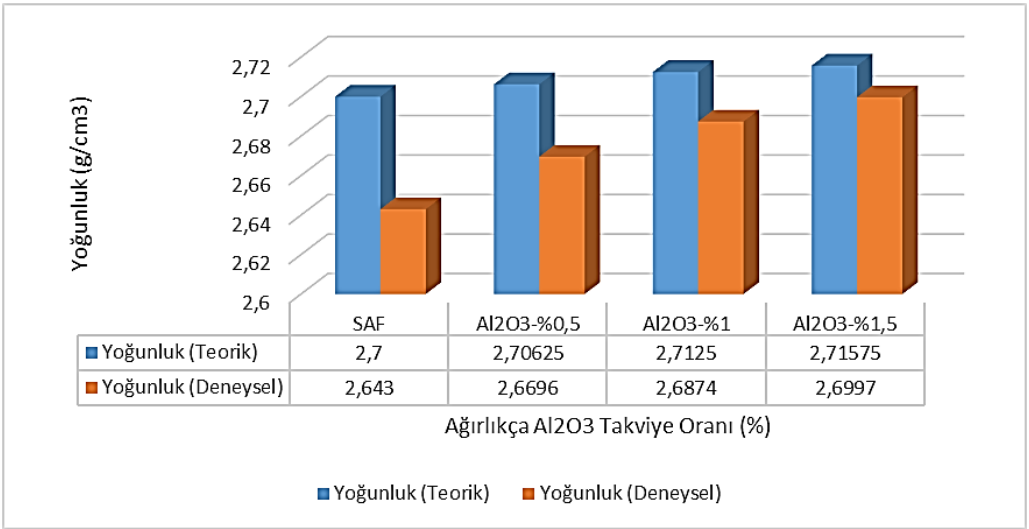
Grafik değerleri incelendiğinde, takviye elemanlarının yoğunluğunun matris malzemesinden daha büyük olması nedeniyle takviye oranları arttıkça kompozitin yoğunluk değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Teorik ve deneysel değerlerin birbirine oldukça yakın çıkmış olması üretimin düzgün yapıldığını ve partiküllerin matris içerisinde tutunduğunu göstermektedir. Takviye partiküllerinin artmasıyla kompozit malzeme doygunluğu artmıştır. Yapılan çekme ve eğilme test sonuçları değerlendirildiğinde, artan takviye miktarlarına göre kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşme sağlandığı ve takviye elemanlarının matris içerisinde yeteri kadar ıslandığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.26. Matris ve TiO_2 katkılı kompozit malzemenin deneysel ve teorik yoğunluğu

Çizelge 4.1. Matris malzemesine göre TiO_2'in teorik ve deneysel % yoğunluk değişimi

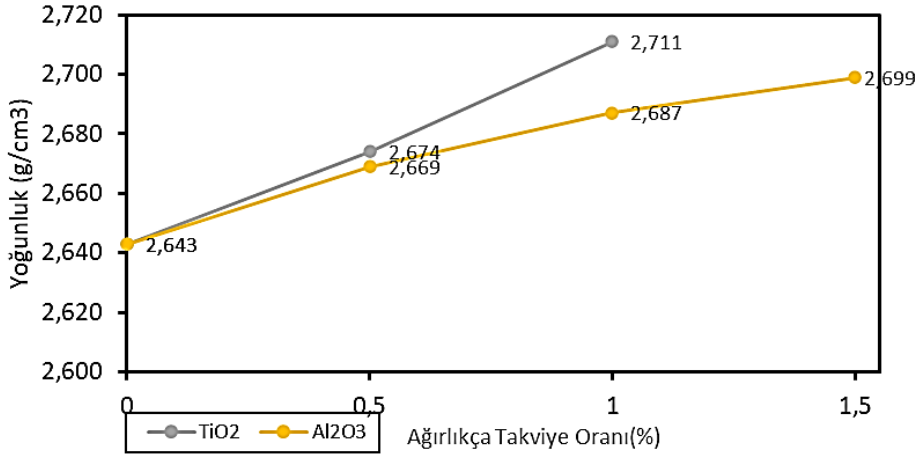
Numuneler	Teorik yoğunluk % değişimi (g/cm^3)	Deneysel yoğunluk % değişimi (g/cm^3)
%0,5 TiO_2	0,25	1,17
%1 TiO_2	0,55	2,59



Şekil 4.27. Matris ve Al_2O_3 katkılı kompozit malzemenin deneysel ve teorik yoğunluğu

Çizelge 4.2. Matris malzemesine göre Al_2O_3'in teorik ve deneysel % yoğunluk değişimi

NUMUNELER	Teorik yoğunluk (g/cm^3)	Deneysel yoğunluk (g/cm^3)
%0,5 Al_2O_3	0,23	1
%1 Al_2O_3	0,46	1,67
%1,5 Al_2O_3	0,58	2,14

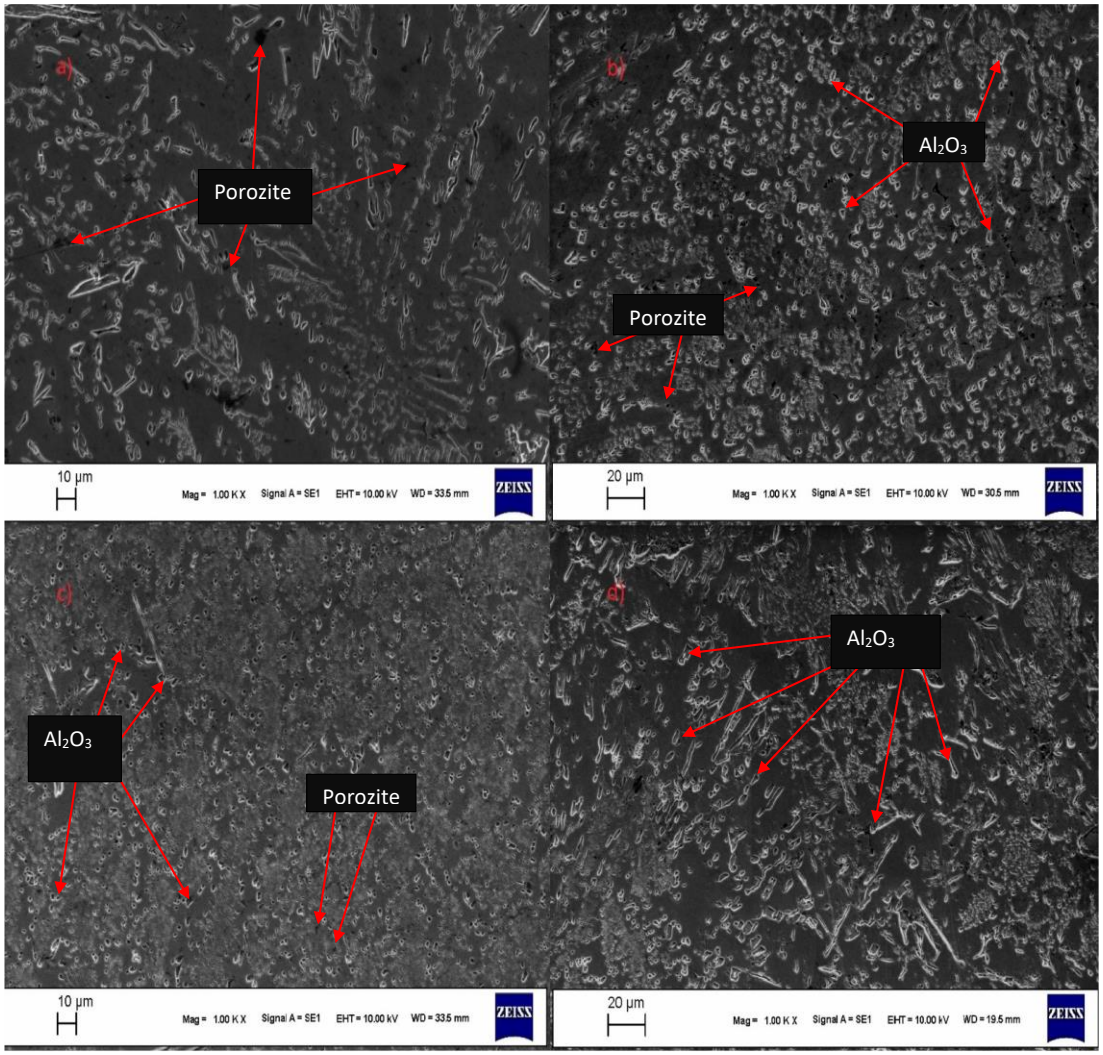


Şekil 4.28. Al_2O_3 ve TiO_2 artan takviye miktarına göre deneysel yoğunluk değişimi

4.1.7. Mikroskobik Deney Sonuçlarının İncelenmesi

Bu çalışmada referans matris malzemesine takviye elemanı olarak Al_2O_3 ve TiO_2 nano partikül katkısı yapılarak ZEISS EVO 50 marka taramalı elektron mikroskobu yardımıyla analiz edilip numuneler incelenmiştir. Şekil 4.29. Al_2O_3 ve Şekil 4.30. TiO_2 katkılı numunelerin taramalı elektron mikroskop görüntüleri verilmiştir.

Üretimi yapılan numunelerin porozite miktarı;
% Porozite = [(teorik yoğunluk- deneysel yoğunluk) / teorik yoğunluk] ×100 formülü yardımıyla hesaplanarak sem görüntüleriyle kıyaslaması yapılmıştır (Yılmaz, 2019).



Şekil 4.29. a) Katkısız, b) % 0,5 Al_2O_3, c) % 1 Al_2O_3, d) % 1,5 Al_2O_3

Çizelge 4.3. Matris ve artan Al_2O_3 nano partikül katkı miktarına göre % porozite oranı

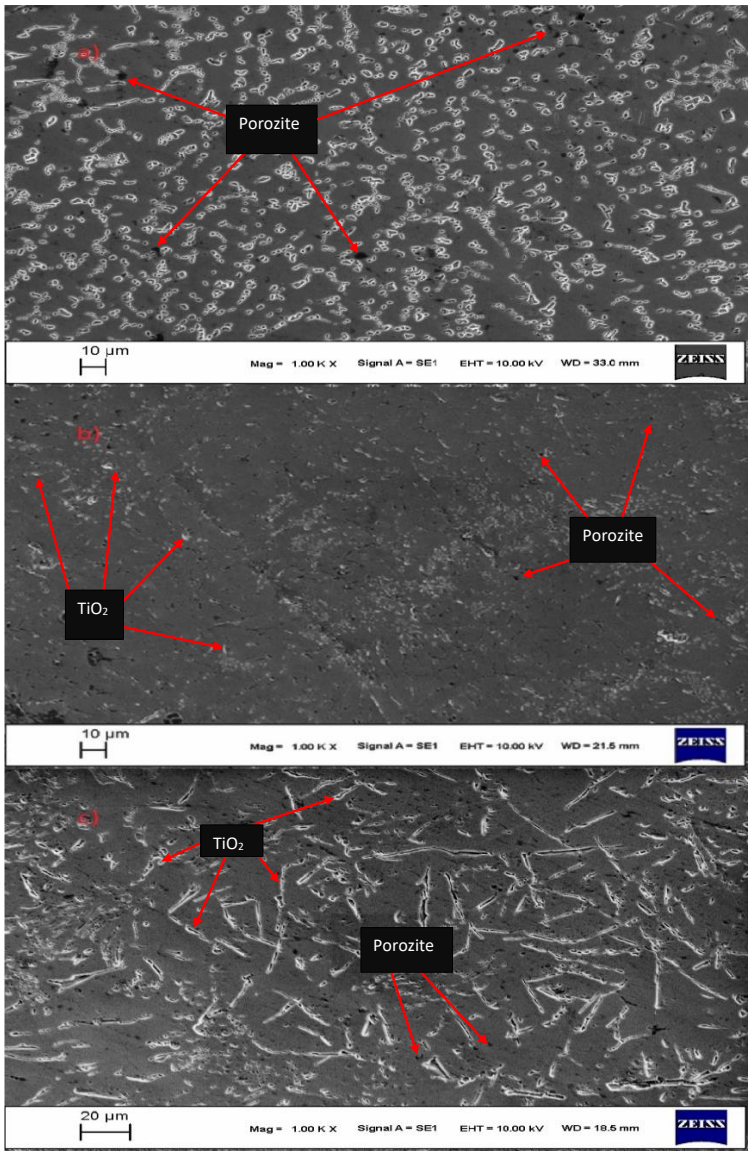
Numuneler	Teorik yoğunluk (g/cm^3)	Deneysel yoğunluk (g/cm^3)	% Porozite
Matris malzemesi	2,7	2,643	2,111
%0,5 Al_2O_3	2,70625	2,6696	1,354
%1 Al_2O_3	2,7125	2,6874	0,925
%1,5 Al_2O_3	2,71575	2,6997	0,5909

Yapılan mikroskobik inceleme sonucu SEM görüntülerine bakıldığında matris malzemesi ve artan Al_2O_3 takviye miktarına göre dendrit yapı ve hesaplanan % porozite miktarı incelenmiştir. Şekilde katkısız matris malzemesi için SEM görüntüsüne bakıldığında malzemenin tane sınırlarında büyüme görülmüş olup porozitelere bakıldığında porozların fazla ve büyük yapılı olduğu görülmektedir. Matris malzemesi SEM görüntüleri ve % porozite miktarı kıyaslandığında porozite miktarının fazlalığı görülmektedir. Matris malzemesine ağırlıkça %0,5 Al_2O_3 takviye edilen malzemenin görüntüsüne bakıldığında tane yapılarının katkısız matris malzemesine göre küçüldüğü ve Al_2O_3 partiküllerinin tane sınırlarına dağıldığı gözlemlenmiştir. Porozite incelendiğinde porozların devam ettiği ancak poroz boyutlarının küçüldüğü ve porozların dağıldığı tespit edilmiştir. Katkısız matris malzemesi göre %0,5 Al_2O_3 takviyeli malzemenin porozite miktarı incelendiğinde poroz miktarında azalma olduğu görülmektedir.

(Aybarç ve ark. 2021), yapmış olduğu çalışmada takviye edilen n Al_2O_3 miktarının artmasıyla dendritlerin ince hal aldığını gözlemlemişlerdir. Al_2O_3 miktarını arttırdıklarında malzemenin poroz miktarında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Porozitedeki artışın matris içerisine partikülün karıştırma tekniğinden kaynaklı olduğu sonucuna varmışlardır.

Referans malzemeye ağırlıkça % 1 Al_2O_3 ilavesi yapılan malzemenin SEM görüntüsü incelendiğinde ilave partiküllerin malzemenin hemen hemen her noktasına homojen dağıldığı gözlemlenirken porozite oranına bakıldığında porozların düşük fakat bölge bölge olduğu görülmektedir. Referans malzeme ve ağırlıkça %0,5 Al_2O_3 ilave edilen malzemeyle % 1 Al_2O_3 takviyeli malzemenin % porozite miktarı

kıyaslandığında artan takviye miktarıyla poroz oranın azaldığı tespit edilmiştir. Matris malzemesine ağırlıkça % 1,5 Al_2O_3 takviyeli malzemenin SEM görüntüsüne bakıldığında katkı oranın fazla olmasıyla partiküllerin malzemenin tane sınırlarıyla porozların uç noktalarına doğru dağıldığı çok rahat görülebilmektedir. Buna bağlı olarak poroz oranın her tarafa homojen dağılmasıyla porozitenin azaldığı ve porozun çok daha küçük hal aldığından görülmeyecek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Referans malzeme ve artan takviye miktarlarıyla %1,5 Al_2O_3 takviyeli malzemenin % porozite miktarı kıyaslandığında poroz oranı artan takviye miktarı ve uygulanan karıştırma tekniğinden kaynaklı azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30. a) Katkısız, b) % 0,5 TiO_2, c) % 1 TiO_2

Babu ve ark. (2013), çalışmalarında kompozit üretiminde takviye partiküllerinin ilavesinde ultrasonik karıştırma yönteminde, karıştırma esnasında oluşan kavitasyon kabarcıkları oluştuğunu belirtmiştir.

Literatürde farklı çalışmalar incelendiğinde porozite miktarındaki artış karıştırma yönteminden oluştuğu düşünülebilir. Bu çalışmada uygulanan mekanik karıştırma yöntemi porozite oluşumuna destek sağlamadığı için takviye partikülleri porozitelerde yer alarak azalmasını sağlamıştır. İncelemeler sonucunda SEM görüntüsünün yoğunluğun arttığına katkıda bulunduğunun, katkı malzemesinin yoğunluğunun yüksek olması da malzemenin yoğunluğunu arttıracağı sonucuna varılmıştır. Buna bağlı olarak da katkı malzemesinin referans malzemenin her tarafına homojen dağıldığı ve ilave malzemenin seramik malzeme olduğundan sertliğinin yüksek olmasından kaynaklı malzemenin sertliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Matris ve artan TiO_2 nano partikül katkı miktarına göre % porozite oranı

Numuneler	Teorik yoğunluk (g/cm^3)	Deneysel yoğunluk (g/cm^3)	% Porozite
Matris malzemesi	2,7	2,643	2,111
%0,5 TiO_2	2,707	2,67395	1,22
%1 TiO_2	2,715	2,71165	0,1233

Yapılan mikroskobik inceleme sonucu SEM görüntülerine bakıldığında matris malzemesi ve artan TiO_2 nano partikül katkısı miktarına göre dendrit yapı ve hesaplanan % porozite miktarı incelenmiştir. Referans matris malzemesinin SEM görüntülerine bakıldığında malzemenin tane sınırlarında büyümeler görülmüş olup poroziteler incelendiğinde porozların fazla ve büyük olduğu gözlemlenmiştir. Referans malzeme içi % porozite miktarındaki fazlalık SEM görüntülerine katkı sağlamıştır. Referans malzemeye ağırlıkça %0,5 TiO_2 nano partikülü ilave edilen malzemenin görüntüsüne bakıldığında matris malzemesine kıyasla tane sınırlarında biraz büyüme olduğu ve TiO_2 partiküllerinin porozların kenarlarıyla tanelerin uçlarına doğru geldiği gözlemlenmiştir. Malzemenin porozitesi incelendiğinde porozların küçüldüğü tespit edilmiştir. Referans malzemeye kıyasla %0,5 TiO_2 nano partikülü

ilave edilen malzemenin % porozite miktarına bakıldığında azalma olduğu görülmüş ve sem görüntüsüne katkı sağlamıştır.

Referans malzemeye ağırlıkça % 1 TiO_2 ilavesi yapılan malzemenin SEM görüntüsü incelendiğinde takviye partiküllerin malzemenin her tarafına homojen dağıldı gözlenirken porozitenin devam ettiği fakat referans ve %0,5 TiO_2 katkılı malzemeye bakarak porozların azaldığı tespit edilmiştir. Burada malzemenin katkı miktarıyla çubuklu yapıya doğru gittiği ama özellikle takviye partiküllerin porozların kenarlarına doğru dağıldığı gözlemlenmiştir.

İncelemeler sonucunda SEM görüntüsünün yoğunluğun arttığına katkıda bulunduğunun, katkı malzemesini yoğunluğunun yüksek olması ve seramik malzeme olduğundan sertlik değerinin yüksek olması referans malzemeye ilave edilmesiyle malzemenin sertliğini ve yoğunluğunu arttırmıştır. Bu da SEM görüntülerinin malzemenin sertliğini arttığına katkıda sağladığı tespit edilmiştir.

4.1.8. Isı iletim katsayısı testi incelemesi

Atık alüminyum içecek kutularının ergitilerek döküm kalıplarına dökülmesiyle NK-0 matris numuneleri üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı içerikte 3 farklı döküm yapılarak her karşılaştırma işlemi için üçer tane numune üretimi sağlanmıştır. Her bir kompozit numunenin farklı sensör temas noktalarından 3 farklı deneysel ölçme yapılmıştır. Her bir kompozit numune üzerindeki farklı noktalardan alınan ölçümlerin yakın aralıkta çıkması üretimde takviye partikülerinin eşit dağılım sağladığını göstermesi yönünden önem arz etmektedir. NK-0 saf numunelerden yapılan deneyde ortalama deneysel ısı iletim katsayıları sırayla 70.66, 69.90 ve 69.14 W/mK yaklaşık olarak yakın aralıkta veriler elde edilmiştir. NK-0 matris malzemesinin ısı iletim katsayılarının ortalaması 69.90 W/mK olarak tespit edilmiştir.

Atık alüminyumdan üretilen matris malzemesine karıştırmalı döküm yöntemiyle ağırlıkça takviye malzemesi olarak %0.5 Al_2O_3 nano partiküller takviye edilerek NK-1 kompozit numunelerden 3 farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Her bir kompozit malzemenin farklı sensör temas noktalarından veriler elde edilerek ortalamaları

hesaplanmıştır. Ölçülen değerler incelendiğinde birbirine benzer değerler olduğu görülmüştür. %0.5 Al_2O_3 katkılı NK-1 kompozit malzemeye ait ortalama deneysel ısı iletim katsayıları sırayla 60.45, 59.07 ve 60.38 W/mK yaklaşık olarak birbirine yakın değerlerde elde edilmiştir. NK-1 kompozitlerinin ısı iletim katsayılarının ortalaması 59.97 W/mK olarak tespit edilmiştir.

Takviye partikül olarak %1 Al_2O_3 nano partiküller ilave edilerek üretilen NK-2 numunelerinin ortalama deneysel ısı iletim katsayıları sırayla 54.05, 53.08 ve 54.96 W/mK olarak yakın değerde olduğu tespit edilmiştir. NK-2 kompozitlerinin ısı iletim katsayılarının ortalaması 54.03 W/mK olarak saptanmıştır.

Katkı malzemesi olarak %1.5 Al_2O_3 ilave edilerek üretilen NK-3 kompozit malzemenin ortalama deneysel ısı iletim katsayıları sırayla 49.01, 49.52 ve 51.68 W/mK olarak birbirine yakın veriler tespit edilmiştir. NK-3 kompozitlerinin ısı iletim katsayılarının ortalaması 50.07 W/mK olarak tespit edilmiştir.

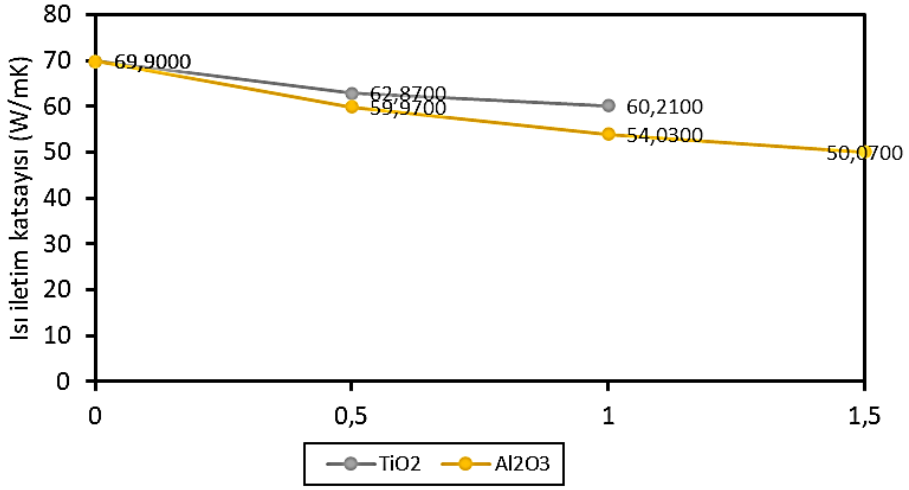
Aynı koşullarda üretimi gerçekleştirilen takviye malzemesi olarak TiO_2 nanopartikülü kullanılmış olan numuneleri ısı iletim katsayısı incelendiğinde NK-4 %0,5 TiO_2 ilave edilen numunede 62,1200, 63,0250 ve 63,9000 W/mK birbirine yakın değerler tespit edilmiş olup, aritmetik ortalaması alındığında 62,8700 W/mK olarak bulunmuştur. NK-5 %1 TiO_2 takviye edilmiş kompozit numunelerin ısı iletim katsayı değerleri incelendiğinde ölçülen değerler 59,6000, 59,1400 ve 60,2400 W/mK olarak saptanmıştır. Bu değerlerin aritmetik ortalaması alındığında NK-5 %1 TiO_2 ilave edilmiş kompozit malzemenin ısı iletim katsayısı 60,2100 W/mK olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda ısı iletim katsayısı sonuçları değerlendirildiğinde takviye edilen nanopartiküllerin ısı iletim katsayıları katkısız matris malzemesinden düşük olduğu için üretilen kompozit malzemelerin ısı iletim katsayıları artan takviye miktarıyla azalmış olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5. Al_2O_3 takviye oranlarına göre deneysel veriler

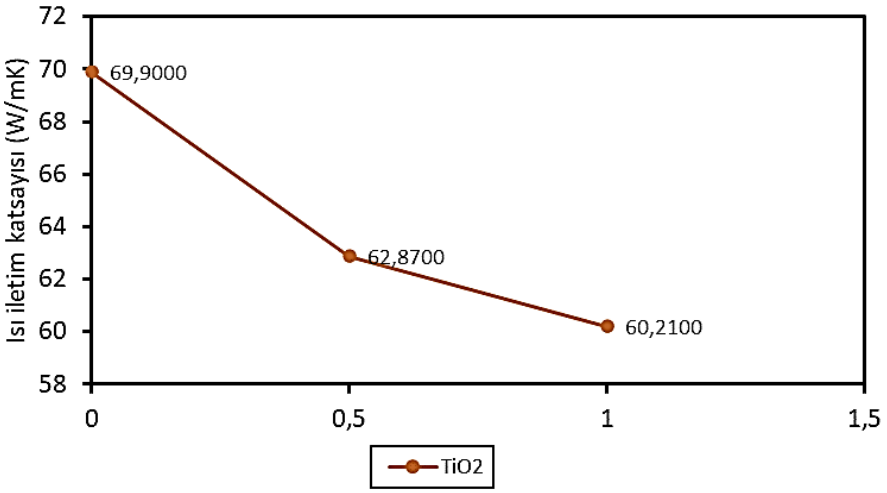
NUMUNELER	NK-0 SAF	NK-1 Al_2O_3-%0,5	NK-2 Al_2O_3-%1	NK-3 Al_2O_3-%1,5
1.Nunune 1.1	68,780	60,9500	53,6200	48,0500
1.Numune 1.2	72,400	59,9000	54,4300	50,1500
1.Numune 1.3	70,800	60,5000	54,1000	48,8300
1.NUMUNE ORTALAMALARI	70,660	60,4500	54,0500	49,0100
2.Nunune 2.1	70,860	60,0780	52,3400	50,7400
2.Numune 2.2	69,450	58,7520	53,8000	49,2500
2.Numune 2.3	69,390	58,3800	53,1000	48,5700
2.NUMUNE ORTALAMALARI	69,900	59,0700	53,0800	49,5200
3.Nunune 3.1	69,250	59,5400	54,7500	51,4200
3.Numune 3.2	70,010	61,8000	54,9000	52,3500
3.Numune 3.3	68,160	59,8000	55,2300	51,2700
3.NUMUNE ORTALAMALARI	69,140	60,3800	54,9600	51,6800
GENEL ORTALAMALAR	69,900	59,9700	54,0300	50,0700

Çizelge 4.5. TiO_2 takviye oranlarına göre deneysel veriler

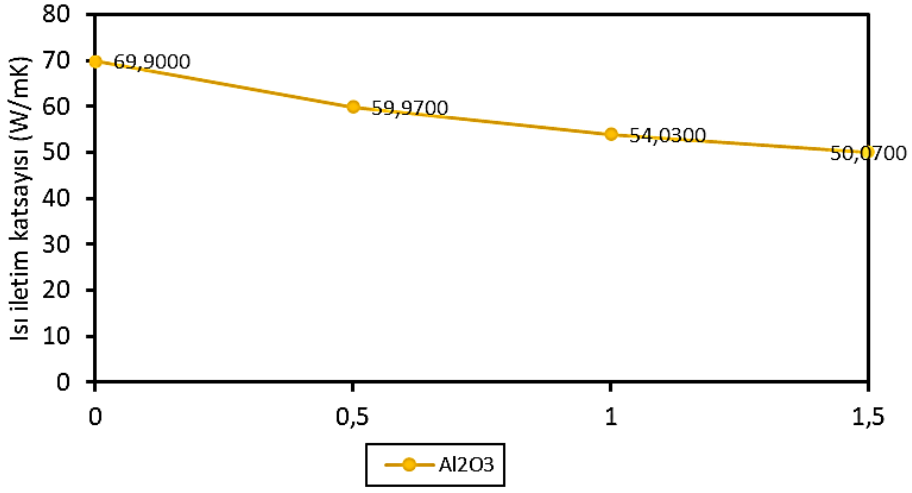
NUMUNELER	NK-0 SAF	NK-4 TiO_2-%0,5	NK-5 TiO_2-%1
1.Nunune 1.1	68,780	62,1200	59,6000
1.Numune 1.2	72,400	63,0250	59,1400
1.Numune 1.3	70,800	63,9000	60,2400
1.NUMUNE ORTALAMALARI	70,660	63,0150	59,6600
2.Nunune 2.1	70,860	61,3600	60,4900
2.Numune 2.2	69,450	63,0150	60,2600
2.Numune 2.3	69,390	62,6600	60,3900
2.NUMUNE ORTALAMALARI	69,900	62,3450	60,3800
3.Nunune 3.1	69,250	63,3500	60,3100
3.Numune 3.2	70,010	61,9500	60,6800
3.Numune 3.3	68,160	64,4500	60,7800
3.NUMUNE ORTALAMALARI	69,140	63,2500	60,5900
GENEL ORTALAMALAR	69,900	62,8700	60,2100



Şekil 4.31. TiO_2 ve Al_2O_3 takviye oranlarına göre ortak ısı iletim katsayısı değişimi



Şekil 4.32. Matris ve TiO_2 takviye oranlarına göre ısı iletim katsayısı değişimi



Şekil 4.33. Matris ve Al_2O_3 takviye oranlarına göre ısı iletim katsayısı değişimi

- **Maliyet Hesabı**

Çizelge 4.6. 1000 gr alüminyum ve ağırlıkça %0,5 partiküllü kompozit için fiyat listesi

MALZEME	Gerekli Miktar (gr)	Birim Fiyat	Toplam (TL)
Atık alüminyum içecek kutusu	1260 ergime sonu (1000)	0,02 TL/gr	25,2 TL
TiO_2	5	0,3 €/gr	44,1 TL
Al_2O_3	5	0,2 €/gr	29,4 TL
Alüminyum Kare (20*20)	1000	0,17 TL/gr	170 TL

Partikül takviyeli kompozit ve katkısız alüminyum kareden 1000'er gram üretmek için maliyet listesini incelediğimizde, atık içecek kutularından 1000 gram alüminyum matris elde etmek için 1260 gram atık içecek kutusu gerekmektedir. İçecek kutularının ergime işlemi sonrası çıkan cüruf kayıpları sonunda 1000 gr matris malzemesine, ağırlıkça % 0,5 TiO_2 takviyesiyle kompozit üretilmek istendiğinde matris ve partikül için toplam maliyet 69,3 TL olarak hesaplanmıştır. Atık alüminyum matris malzemesine ağırlıkça % 0,5 Al_2O_3 nano partikülü takviye edilerek 1000 gr kompozit malzeme üretmek için gerekli matris ve partikül toplam maliyeti 54,6 TL olarak hesaplanmıştır. Kompozit olmayan kare alüminyumdan 1000 gr üretmek için gerekli maliyet 170 TL olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonunda alüminyum kareye göre ağırlıkça % 0,5 TiO_2 takviyeli kompozit % 145,31 daha kârlı iken ağırlıkça % 0,5 Al_2O_3 nano partikülü takviyeli kompozit %211,35 daha kârlı olduğu sonucuna varılmıştı

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada matris malzemesi olarak geri dönüşümden faydalanılarak atık içecek kutuları ergitilip kalıplara döküm işlemi yapılarak kompozit üretiminde kullanılmak üzere külçeler elde edilmiştir. Atık alüminyum matris malzemesine çalışmada ağırlıkça %0,5, %1, %1,5 oranında Al_2O_3 ve %0,5, %1 oranında TiO_2 nano partikülü takviye edilmiştir. Kompozit üretimi için mekanik karıştırma tekniği tercih edilmiştir. Üretimi yapılan Al_2O_3 ve TiO_2 nano partikül takviyeli kompozit malzemeler ağırlıkça artan ilave miktarına göre mekanik özelliklerdeki değişim oranı araştırılmıştır. Üretilen kompozit numuneler deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda incelenmiş olup sonuçları aşağıdaki gibi irdelenmiştir.

5.1.1. Al_2O_3 takviyeli atık alüminyum kompozitin incelenmesi

Atık içecek kutularından elde edilen referans alüminyum matris malzemesine ağırlıkça %0.5, %1 ve %1.5 oranında Al_2O_3 nano partikül karıştırmalı döküm tekniğiyle ilavesi yapılarak kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Kompozit numunelerde değişen Al_2O_3 takviye miktarına göre çekme dayanımı, 3 nokta eğilme dayanımı, aşınma oranı, yüzey pürüzlülüğü sonuçları, vickers sertlik değeri, yoğunluk, gözeneklilik oranı, mikroyapı ve ısı iletim üzerine olan değişimleri irdelenmiştir.

- Al_2O_3 ilavesi yapılan kompozit numunenin SEM görüntülerinde yapılan inceleme sonucu değerlendirildiğinde tane yapılarında küçülme gözlemlenmiştir. Artan ilave Al_2O_3 partiküllerinin tane sınırlarına dağıldığı ve homojen dağılım sağladı tespit edilmiştir.
- Referans atık içecek kutularından elde edilen matris malzemesine ağırlıkça Al_2O_3 partiküllerin takviyesinin artmasıyla yoğunluk değerinin arttığı ve porozitenin azaldığı yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir.

- Takviye malzemenin yüzde ağırlıkça miktarının artmasıyla birlikte kompozit malzemenin sertlik değerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan deney sonucunda en yüksek sertlik değerinin ağırlıkça %1.5 oranında Al_2O_3 takviyesinde 245.51 Hv olduğu sonucuna varılmıştır.
- Çekme dayanımı test sonuçlarında yapılan inceleme sonucunda en iyi dayanım değerinin artan takviye partikül miktarıyla birlikte arttığı ve %1.5 Al_2O_3 oranında ilave edilen kompozit malzemede 143,5 N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir.
- Takviye partiküllerinin ağırlıkça arttığı kompozit malzemenin aşınma testi sonuçlarına bakıldığında aşınma oranın en az olduğu %1,5 Al_2O_3 takviyesinde 0,0000023 mm^3/ Nm ve kütle kaybının %1,60 olduğu tespit edilmiştir.
- Ağırlıkça Al_2O_3 partiküllerin takviyesinin artmasıyla 3 nokta eğilme testi sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek eğilme dayanımına sahip numune %1,5 Al_2O_3 ilavesinde 336,2N/mm^2 olduğu gözlemlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü sonuçları irdelendiğinde artan takviye partikülleriyle birlikte en az pürüzlülük miktarı %0,5 Al_2O_3 katkılı kompozitte 0,3614 µm ve en fazla %1,5 Al_2O_3 takviye edilmiş kompozit malzemede 0,5069 µm olarak saptanmıştır.
- Isı iletim deneyi sonuçları değerlendirildiğinde artan ilave partikül malzemesiyle ısı iletim katsayısının düşüş gösterdiği ve en düşük ısı iletim katsayısının %1,5 Al_2O_3 takviye edilmiş kompozit malzemede 50.07 W/mK olduğu aynı sınıfta olan farklı numunelerde her numune için farklı noktalarda yapılan deney verilerinin aritmetik ortalaması sonucu tespit edilmiştir.

5.1.2 TiO_2 takviyeli Atık alüminyum kompozitinin incelenmesi

Atık içecek kutularından elde edilen referans alüminyum matris malzemesine ağırlıkça %0.5, ve %1 oranında TiO_2 nano partikül karıştırmalı döküm tekniğiyle ilavesi yapılarak kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Kompozit numunelerde değişen TiO_2 takviye miktarına göre çekme dayanımı, 3 nokta eğilme dayanımı, aşınma oranı, yüzey pürüzlülüğü sonuçları, vickers sertlik değeri, yoğunluk, gözeneklilik oranı, mikroyapı ve ısı iletim üzerine olan değişimleri irdelenmiştir.

- TiO_2 ilavesi yapılan kompozit numunenin SEM görüntülerinde yapılan inceleme sonucu değerlendirildiğinde tane sınırlarında biraz büyüme olduğu

gözlemlenmiştir. Artan ilave TiO_2 partiküllerinin porozların kenarlarıyla tanelerin uç noktalarına dağıldığı ve homojen dağılım sağladı tespit edilmiştir. Takviye miktarının artmasıyla yapının çubuklu yapıya doğru gittiği gözlemlenmiştir.

- Referans atık içecek kutularından elde edilen matris malzemesine ağırlıkça TiO_2 partiküllerin takviyesinin artmasıyla yoğunluk değerinin arttığı ve porozitenin azaldığı yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri %1 TiO_2 takviye miktarında 2,71165 g/cm3 olarak saptanmıştır.
- Takviye TiO_2 malzemenin yüzde ağırlıkça miktarının artmasıyla birlikte kompozit malzemenin sertlik değerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan deney sonucunda en yüksek sertlik değerinin ağırlıkça %1 miktarında TiO_2 ilavesiyle 263.99 Hv olduğu sonucuna varılmıştır.
- Çekme dayanımı test sonuçlarında yapılan inceleme sonucunda en iyi dayanım değerinin artan takviye partikül miktarıyla birlikte arttığı ve %1 TiO_2 ilave edilen kompozit malzemede 143,98 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.
- Takviye partiküllerinin ağırlıkça arttığı kompozit malzemenin aşınma testi sonuçlarına bakıldığında aşınma oranın en az olduğu %1TiO_2 takviyesinde 0,0000028 mm^3/ Nm ve kütle kaybının %1,933 olduğu tespit edilmiştir.
- Ağırlıkça TiO_2 partiküllerin takviyesinin artmasıyla 3 nokta eğilme testi sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek eğilme dayanımına sahip numune %1 TiO_2 takviyesinde 323,04 N/mm^2 olduğu gözlemlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü sonuçları irdelendiğinde artan takviye partikülleriyle birlikte en az pürüzlülük miktarı %1 TiO_2 katkılı kompozitte 0,3527 µm ve en fazla %0,5 TiO_2 takviye edilmiş kompozit malzemede 0,3936 µm olarak saptanmıştır.
- Isı iletim deneyi verileri değerlendirildiğinde artan ilave partikül malzemesiyle ısı iletim katsayısının düşüş gösterdiği ve en düşük ısı iletim katsayısının %1 TiO_2 takviye edilmiş kompozit malzemede 60,2100 W/mK olduğu aynı sınıfta olan farklı numunelerde her numune için farklı noktalarda yapılan deney verilerinin aritmetik ortalaması sonucu tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

- Tez çalışmasında üretimi gerçekleştirilen metal matrisli kompozit malzemelerin korozyon dayanımı incelenebilir.
- Üretim esnasında numune kalıplarında uygulanan ön ısıtma işlemi kaldırılarak mekanik özelliklerdeki değişim incelenebilir.
- Al_2O_3 ve TiO_2 tane boyutları ve takviye oranları değiştirilerek mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.
- Matris malzemesine Al_2O_3 ve TiO_2 en iyi özelikleri verdiği takviye oranları kullanılarak hibrit kompozit üretilerek mekanik özelliklerdeki değişim incelenebilir.
- Kompozit üretiminde uygulanacak teknik değiştirilerek karıştırmalı döküm yöntemine göre kıyaslaması yapılabilir.
- Al_2O_3 ve TiO_2 takviye miktarlarındaki değişime göre talaşlı işlene bilirliğe etkisi incelenebilir.
- Makine parçaları üretimi için bu çalışmada kullanılan oranda Al_2O_3 ve TiO_2 takviye partikül ilave edilerek imalat gerçekleştirilebilir.
- Bu çalışmada ağırlıkça nano partikül takviyesinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmışken hacimsel olarak takviye partikülü kullanılarak kıyaslaması yapılabilir.

KAYNAKLAR

ARICASOY, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası, 36s.

ARMATLI, M.K., 1999. Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizleri. Anadolu Üniversitesi yayınları: Sivil Havacılık Meslek Yüksekokulu. Eskişehir, 103s.

ASHORI, A., 2008. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries!. Bioresource technology, 99(11), 4661-4667.

ASLAN, M., ERGÜL, E., KAYA, A., KURT, H.İ. ve YILMAZ, N.F., 2020. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Al-MgO kompozitlerin özelliklerine sinterleme sıcaklığının etkisi. El-Cezeri, 7(3), 1131-1139.

ATEŞ, S. ve UZUN, İ., 2014. SiC ile Güçlendirilmiş Al2014 Matrisli Kompozitin Isıl İletkenliği Üzerine Matrise İlave Edilen Mg'un Etkisi. Journal of Engineering Technological Sciences, 2.

ATİK, E., ÜNLÜ, B.S., ŞEN, O. ve ÇAVDAR, U., 2006. Partikül Takviyeli AlSi12CuNiMg Kompozitinin Aşinma Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Celal Bayar University Journal of Science, 2(2), 75-88.

AUTIO, M., 1999. Studies on Tailoring of Thermomechanical Properties of Composites, Deparment of Mechanical Engineering, University of Oulu, Ph. D. Thesis, Finland.

AYBARC, U., DİSPİNAR, D. and SEYDİBEYOGLU, M.O., 2018. Aluminum metal matrix composites with SiC, Al_2O_3 and graphene–review. Archives of foundry engineering, 18(2), 5-10.

AYBARÇ, U.M. and SEYDİBEYOĞLU Ö.M., 2021. The comparıson of nano-Al_2O_3 vs graphene addıtıves for the reınforcement of alumınum matrıx composıte, The International Journal of Materials and Engineering Technology, 004, 67-78.

BABU, N.H., FAN, Z. and ESKIN, D.G., 2013. Application of External Fields to Technology of Metal Matrix Composite Materials. TMS2013 Supplemental Proceedings, 1037-1044.

BAJAJ, P., SINGLA, Y.K.G. and KALRA, A.G., 2011. Mechanical behaviour of aluminium based metal matrix composites reinforced with SiC and alümina.

BAYAR, H., SUBASI, M. and KARATAS, C., 2015. SiC Takviyeli Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemenin Yüksek Basınçlı Kalıp Dökümü ve Mekanik Özellikleri. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 3(4), 603-612.

BİLİR, H., 2014. Al/SiC kompozitlerin karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilme özelliklerinin incelenmesi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 123s.

CHANDU, B., KURMARAYUNI, C.M., KURAPATI, S. and BOLLIKOLLA, H.B. 2020. Green and economical synthesis of graphene–silver nanocomposite exhibiting excellent photocatalytic efficiency. Carbon Letters, 30, 225-233.

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

CLYNE, T.W. and HULL, D., 2019. An introduction to composite materials. Cambridge university press, USA, 360s.

ÇEVİK, E., 2015. B_4C takviye elemanı ile üretilen farklı Mg içerikli Al ve Al-Si matrisli kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Karabük.

DEBNATH, S., OO, Z., RAHMAN, M., MALEQUE, M. and TAN, C., 2012. Physio-mechanical properties of aluminium metal matrix composites reinforced with Al_2O_3 and SiC. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 6, 288-291.

FLAQUER, J., RÍOS, A., MARTÍN-MEIZOSO, A., NOGALES, S. and BOHM, H., 2007. Effect of diamond shapes and associated thermal boundary resistance on thermal conductivity of diamond-based composites. Computational Materials Science, 41(2), 156-163.

GARDEA, F. and LAGOUDAS, D.C., 2014. Characterization of electrical and thermal properties of carbon nanotube/epoxy composites. Composites Part B: Engineering, 56, 611-620.

GÜNAY, M. 2009. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 232s.

GÜRBÜZ, M., 2018. Atık içecek kutularından üretilmiş alüminyumun mekanik özelliklerine soğuk işlemin etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(58), 28-35.

HİÇYILMAZ, N., 1999. Toz Metalürjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 161s.

IBRAHİM, I.A., MOHAMED, F.A. and LAVERNIA, E.J., 1991. Particulate reinforced metal matrix composites—a review. Journal of materials science, 26, 1137-1156.

KANDPAL, B.C., KUMAR, J. and SINGH, H., 2014. Production technologies of metal matrix composite: a review. International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology, 4(2), 27-32.

KANG, Y.C. and CHAN, S.L.I., 2004. Tensile properties of nanometric Al_2O_3 particulate-reinforced aluminum matrix composites. Materials chemistry and physics, 85(2-3), 438-443.

KARACİF, K., KARABULUT, H. and ÇITAK, R., 2019. Bor karbür takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin tuzlu ortamda korozyon davranışının incelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 1135-1142.

KELEZ, S.B., (2021). Alüminyum matrisli farklı oranlarda grafen içeren B_4C takviyesi ile üretilen kompozitlerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karbük, 79s.

KILIÇ, E., 2006. Kompozit Malzemeden Yapılan Yaprak Yayların Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir ,79s.

KOÇER, T., 2002. Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al_2O_3 ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 98s.

KOK, M., 2005. Production and mechanical properties of Al_2O_3 particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites. Journal of materials processing technology, 161(3), 381-387.

KUMAR, J., SINGH, D., KALSI, N.S., SHARMA, S., MIA, M., SINGH, J. and RAO, K. V., 2021. Investigation on the mechanical, tribological, morphological and machinability behavior of stir-casted Al/SiC/Mo reinforced MMCs. Journal of Materials Research and Technology, 12, 930-946.

MAZAHERY, A. and OSTADSHABANİ, M., 2011. Investigation on mechanical properties of nano-Al_2O_3-reinforced aluminum matrix composites. Journal of composite materials, 45(24), 2579-2586.

MAZAHERY, A., ABDIZADEH, H. and BAHARVANDI, H.R., 2009. Development of high-performance A356/nano-Al_2O_3 composites. Materials Science and Engineering: A, 518(1-2), 61-64.

MICHAUD, V. and MORTENSEN, A., 2001. Infiltration processing of fibre reinforced composites: governing phenomena. Composites Part A: applied science and manufacturing, 32(8), 981-996.

MIRACLE, D.B., 2005. Metal matrix composites–from science to technological significance. Composites science and technology, 65(15-16), 2526-2540.

MİNDİVAN, H., 2007. Silisyum karbür takviyeli alüminyum matris kompozitlerin tribolojik davranışlarının incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 224s.

MONDAL, P., and DAS, S., 2005. High Stress Wear Behaviour of Aluminium Hard Particle Composites: Effect of Experimental Parameters, Particle Size and Volume Fraction, Tribology International, 1-9.

MUHARREM, P.U.L., 2019. Alüminyum 7075 matrisli kompozitlerde SiC, B_4C ve TiB_2 takviye elemanlarının mekanik özelliklere etkilerinin karşılaştırılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 180-193.

MUSSERT, K.M., VELLINGA, W.P., BAKKER, A. and VAN DER ZWAAG, S., 2002. A nano-indentation study on the mechanical behaviour of the matrix material in an AA6061-Al_2O_3 MMC. Journal of materials science, 37, 789-794.

NIE, J., WANG, F., CHEN, Y., MAO, Q., YANG, H., SONG, Z. and ZHAO, Y., 2019. Microstructure and corrosion behavior of Al-TiB_2/TiC composites processed by hot rolling. Results in Physics, 14, 102471.

NOGALES, S. and BOHM, H.J., 2008. Modeling of the thermal conductivity and thermomechanical behavior of diamond reinforced composites. International Journal of Engineering Science, 46(6), 606-619.

ÖZKÖK, Ö. 2004. α-Si_3N_4 içeren alüminyum matrisle kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 104s.

ÖZTOP, B. ve GÜRBÜZ, M. (2017). Atık alüminyumdan elde edilen matrise grafen takviyesiyle üretilen kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 1(1), 4-8.

ÖZTOP, B. and GÜRBÜZ, M., 2021. Investigation of mechanical properties of Si_3N_4 reinforced composites produced from aluminum waste. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 758-765.

ÖZTOP, B. and GÜRBÜZ, M., 2021. Investigation of mechanical properties of Si_3N_4 reinforced composites produced from aluminum waste. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 758-765.

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.

POLAT, S., 2020. Alüminyum matrisli farklı seramik takviyeli kompozitlere grafen ilavesinin termal ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, Karabük, 170s.

PRASAD, S.V. and ASTHANA, R., 2004. Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: tribological considerations. Tribology letters, 17(3), 445-453.

PUL, M., ÇALIN, R. ve ŞEKER, U., 2010. Infiltrasyon Yöntemiyle Üretilmiş Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İşlenebilirliğinin Asıl Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirilmesi. 2. Ulusal Tarım İmalat ve Analiz Kongresi, Kasım 2010, Balıkesir, 11-12.

PUL. M., 2010. Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 210s.

PULAT, D., ALTUBAY, M., ERZİ, E., YUKSEL, C. ve DİSPİNAR, D., 2014. Alüminyum geri dönüşümünde verimlilik ve akışkanlığın incelenmesi. 15th International Materials Symposium (IMSP'2014), Denizli, 905-909.

RAHMAN, M.H. and AL RASHED, H.M., 2014. Characterization of silicon carbide reinforced aluminum matrix composites. Procedia Engineering, 90, 103-109.

RAVICHANDRAN, M., MEIGNANAMOORTHY, M., CHELLASIVAM, G.P., VAIRAMUTHU, J., KUMAR, A.S. and STALIN, B., 2020. Effect of stir casting parameters on properties of cast metal matrix composite. Materials Today: Proceedings, 22, 2606-2613.

ROHATGI, P.K., 1991. Cast aluminum-matrix composites for automotive applications JOM-Journal of the Minerals Metals & Materials Society, 43 (4), 10-15

SAJJADI, S.A., EZATPOUR, H.R. and BEYGI, H., 2011. Microstructure and mechanical properties of Al–Al_2O_3 micro and nano composites fabricated by stir casting. Materials Science and Engineering: A, 528(29-30), 8765-8771.

SARITAŞ, S., 1995. Engineering metallurgy and materials. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlı, Ankara, 5-30.

SATHISH, T., SABARIRAJAN, N. and SARAVANAN, R. 2021. Nano-alumina reinforcement on AA 8079 acquired from waste aluminium food containers for altering microhardness and wear resistance. Journal of Materials Research and Technology, 14, 1494-1503.

SCHWARTZ, M.M., 1983. Composites Materials Handbook, Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York.

SCHWARTZ, M.M., 1984. Composite Materials Handbook, Mc Graw-Hill Co, New York, 1-45s.

SINGH, L., RAM, B. and SINGH, A., 2013. Optimization of process parameter for stir casted aluminium metal matrix composite using taguchi method. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2(08), 375-383.

SINGLA, M., DWIVEDI, D.D., SINGH, L. and CHAWLA, V., 2009. Development of aluminium based silicon carbide particulate metal matrix composite. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 8(06), 455.

SOY, U., 2011. Metal Matriks Kompozitlerin Üretim Yöntemleri. Metal Dünyası Dergisi, 212: 116.

SRIVATSAN, T.S., IBRAHİM, I.A., MOHAMED, F.A. and LAVERNIA, E.J., 1991. Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminium matrix composites. Journal of Materials Science, 26, 5965-5978.

ŞENEL, M. C., GÜRBÜZ, M. ve KOÇ, E., (2018). SiC takvıyeli alümınyum esaslı kompozıtlerın mekanik özelliklerinin ve mikro yapısının incelenmesi. Technological Applied Sciences, 13(2), 122-133.

ŞİMŞEK, İ., ŞİMŞEK, D. ve ÖZYÜREK, D., 2019. B_4C takviyeli alüminyum matris kompozitlerin farklı çözeltilerdeki korozyon davranışları. Journal of Boron, 5(1), 23-28.

ŞİMŞEK, İ., ŞİMŞEK, D. ve ÖZYÜREK, D., 2020. Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen farklı miktarlarda SiC takviyeli A356 matrisli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi. Politeknik Dergisi.

TIWARI, J.K., MANDAL, A., RUDRA, A., MUKHERJEE, D. and SATHISH, N., 2019. Evaluation of mechanical and thermal properties of bilayer graphene reinforced aluminum matrix composite produced by hot accumulative roll bonding. Journal of Alloys and Compounds, 801, 49-59.

UMUR, H., ve KURT, B., 2017. Nano B_4C partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretimi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir, 86s.

ÜNAL, O. 2010. Yapı Malzemesi ders notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

YILMAZ, Ö., 2019. Atık alüminyum içecek kutuları kullanarak grafen/SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve mekanik karakterizasyonu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 170s.

ZHU, C., SU, Y., WANG, X., SUN, H., OUYANG, Q. and ZHANG, D., 2021. Process optimization, microstructure characterization and thermal properties of mesophase pitch-based carbon fiber reinforced aluminum matrix composites fabricated by vacuum hot pressing. Composites Part B: Engineering, 215, 108746.

ZWEBEN, C., 1998. Advances in composite materials for thermal management in electronic packaging. Jom, 50, 47-51