

**MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN
Fe ESASLI Mo+NiAl+WC TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN ADHESİF AŞINMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Emre GELİR

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

2019

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Fe ESASLI Mo+NiAl+WC
TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ADHESİF AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Emre GELİR

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. SERDAR OSMAN YILMAZ

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır.

Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ danışmanlığında, Emre GELİR tarafından hazırlanan “Mekanik Alaşım Yöntemi İle Üretilen Fe Esaslı Mo+NiAl+WC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Adhesif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İmza:

Üye: Dr. Öğretim Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

İmza:

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Fe ESASLI Mo+NiAl+WC TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ADHESİF AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Emre GELİR

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

Bu çalışmada, MoC-NiAl ve Mo-NiAl-WC tozları belirli oranlarda karıştırılarak mekanik alaşımlama yöntemiyle takviye üretilmiştir. Üretilen takviyeler Fe matrisi içinde belirli oranlarda kullanılmış ve Fe matrisli- karbür takviyeli kompozitler elde edilmiştir. Çalışmada kompleks takviye kullanılmasının sebebi, karbürlerin NiAl ile sıvanmasını sağlamak ve Fe matris ile tane sınırında gevrek faz oluşturmadan karbürlerin matrise bağlanabilmesini araştırmaktır. Aynı zamanda, karışım içindeki farklı takviye oranlarının mikroyapıya olan etkisi araştırılmıştır. Mekanik alaşımlama yönteminin Fe esaslı MoC NiAl ve Mo NiAl WC takviyeli kompozit malzeme hazırlama sürecine olan etkileri, nihai ürünlerdeki mekanik ve fiziksel değişimler bazında gözlenmiştir. Kompozitlerin mikroyapılarının analizi için SEM, EDS, XRD, Optik, Mikrosertlik ve Mapping analizleri kullanılmıştır. Son olarak bu takviye malzemeler ile oluşturulan kompozitlerin Fe matrisi ile uyumu incelenerek, aşınma değişimlerinin mekanik alaşımlama yöntemi ile optimizasyonu sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Mekanik Alaşım, Metal Matrisli Kompozitler, Adhesif Aşınma, WC

2019, 109 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF ADHESIVE WEAR BEHAVIOUR OF Fe MATRIX AND Mo+NiAl+WC REINFORCED COMPOSITE MATERIALS PRODUCED BY MECHANICAL ALLOY METHOD

Emre GELİR

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

In this study, MoC-NiAl and Mo-NiAl-WC powders were mixed in certain proportions and reinforced by mechanical alloying method. The produced reinforcements were used in certain ratios within the Fe matrix and Fe matrix-carbide reinforced composites were obtained. In study, the reason for the use of complex reinforcement is to provide that the carbides are smeared with NiAl and is to investigate bonding of carbides to matrix without brittle stage in grain boundary with Fe matrix. At the same time, the effect of different reinforcement ratios of the mixture on microstructure was investigated. The effects of mechanical alloying method on Fe-based MoC + NiAl and Mo + NiAl + WC reinforced composite material preparation process were observed on the basis of mechanical and physical changes in the final product. SEM, EDS, XRD, Optical, Microhardness and Mapping analyses were used for the analysis of microstructures of composites. Finally, the compatibility of the composites formed with these reinforcement materials with the Fe matrix was investigated and the wear changes were optimized by mechanical alloying method.

Keywords: Mechanical Alloy, Metal Matrix Composites, Adhesive Wear, WC

2019, 109 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Kompozit Malzemeler	2
1.1.1 Kompozit malzemelerin yapıları	3
1.1.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması ve özellikleri	5
1.1.3 Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları	11
1.1.4 Kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirmesi.....	13
1.1.5 Dünya’da kompozit malzeme sektöründe meydana gelen gelişmeler.....	15
1.1.6 Türkiye’deki kompozit malzeme sektöründe meydana gelen gelişmeler	16
1.2 Toz Metalurjisi	17
1.2.1 Toz metalurjisi	17
1.2.2 Toz metalurjisinin avantajları ve dezavantajları.....	20
1.3 Toz Üretim Teknikleri	21
1.3.1 Mekanik Yöntemler.....	21
1.3.2 Kimyasal Yöntemler.....	23
1.3.3 Elektroliz Yöntemi	23
1.3.4 Atomizasyon Yöntemleri.....	24
1.4 Mekanik Alaşımla/Öğütme.....	28
1.4.1 Mekanik alaşımlamanın avantajları.....	29
1.4.2 Mekanik alaşımlama/öğütme işlem mekanizması	30
1.4.3 Mekanik alaşımlamanın kinetikleri	37
1.4.4 Mekanik alaşımlama/öğütme ekipman ve işlem parametreleri	38
1.5 Aşınma.....	48
1.5.1 Aşınmayı etkileyen faktörler	48
1.5.2 Aşınma-zaman ilişkisi	49
1.5.3 Aşınma mekanizmaları	50

1.5.4 Aşınma deney düzenekleri	57
1.5.5 Aşınmanın ölçülmesi	58
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	60
3. MATERYAL VE YÖNTEM	66
3.1 Materyal.....	66
3.2 Yöntem	66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	68
4.1 Optik İncelemeler	68
4.2 SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri	71
4.3 XRD Analizleri.....	76
4.4 Mikrosertlik Analizleri	79
4.5 Mapping Analizleri.....	81
4.6 Aşınma Analizleri.....	83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
6. KAYNAKLAR	91
EKLER	93
EK.1 Numunelerin Optik Fotoğrafları	93
EK.2 Numunelerin SEM Görüntüleri.....	98
EK.3 Numunelerin EDS Analizleri	100
ÖZGEÇMİŞ	109

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Kompozit malzemelerin yapısı.....	5
Çizelge 1.2 : Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özelliklerinin mukayese edilmesi	12
Çizelge 1.3 : Dünya’da kompozit malzeme kullanım miktarı.....	14
Çizelge 1.4 : Ülkelerdeki kompozit malzeme tüketim miktarı.....	14
Çizelge 1.5 : Dünya’da kompozit üretimi ve değer olarak sektörel dağılımı.....	15
Çizelge 1.6 : Dünya’da kompozit üretimi ve hacim olarak sektörel dağılımı.....	15
Çizelge 1.7 : Türkiye’de kompozit üretiminin imalat sektörüne dağılımı	16
Çizelge 1.8 : Dünya, Avrupa ve Türkiye’de kompozit üretiminin sektörlere göre dağılımı..	16
Çizelge 3.1 : Kullanılan Fe tozunun kimyasal kompozisyonu(%)	66
Çizelge 3.2 : Kullanılan MoNiAl tozunun kimyasal kompozisyonu(%).....	66
Çizelge 3.3 : Kullanılan WC tozunun kimyasal kompozisyonu(%).....	66
Çizelge 3.4 : Üretilen numuneler ve uygulanan deney parametreleri	67

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Yıllara göre kompozit malzeme kullanım miktarı.....	1
Şekil 1.2	: Kompozit malzemelerin sektörler arası hacimsel olarak dağılımı.....	2
Şekil 1.3	: Kompozit malzemelerin yapısı.....	3
Şekil 1.4	: Kompozit malzemelerde elyafın yönlenmesi.....	5
Şekil 1.5	: Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitin yönün fonksiyonu olarak elastik modül ve dayanımının değişimi.....	7
Şekil 1.6	: Geleneksel tabakalı yapı.....	8
Şekil 1.7	: SiC iplikçikleriyle takviye edilmiş Al ₂ O ₃ 'ün kırılma yüzeyinin görünümü.....	11
Şekil 1.8	: Tozlar ve boyut aralıkları ile karşılaştırılması.....	17
Şekil 1.9	: Toz metalurjisinde parça akış şeması.....	18
Şekil 1.10	: Toz metalurjisi akım şeması.....	19
Şekil 1.11	: Toz metalurjisi ile üretilmiş karmaşık şekilli ürünlerden örnekler.....	20
Şekil 1.12	: Bilyalı öğütme.....	22
Şekil 1.13	: Mekanik alaşımlama.....	23
Şekil 1.14	: Kimyasal yöntemlerle demir tozu üretimi.....	23
Şekil 1.15	: Elektroliz ile demir tozu üretimi.....	24
Şekil 1.16	: Düşey gaz atomizasyonu ünitesi.....	24
Şekil 1.17	: Su atomizasyonu işlemi.....	25
Şekil 1.18	: Gaz atomizasyonu ile üretilen küresel şekilli kalay tozlarının genel yüzey görüntüleri.....	25
Şekil 1.19	: Döner disk ile atomizasyon yöntemi.....	26
Şekil 1.20	: Döner elektrot ile atomizasyon yöntemi.....	26
Şekil 1.21	: Vakum atomizasyon yöntemi.....	27
Şekil 1.22	: Ultrasonik gaz atomizasyonu.....	27
Şekil 1.23	: Yüksek enerjili atritörün 3D şematik görünümü.....	31
Şekil 1.24	: Mekanik alaşımlamada kullanılan element başlangıç tozlarının ve deformasyon karakteristiklerinin gösterimi.....	32
Şekil 1.25	: Mekanik alaşımlama sırasında bilya-toz-bilya çarpışması.....	33
Şekil 1.26	: Mekanik alaşımlama esnasındaki sünek-sünek sistem işlem basamakları.....	35
Şekil 1.27	: Mekanik alaşımlama esnasındaki sünek-gevrek sistem işlem basamakları.....	36
Şekil 1.28	: Titreşimli bilyalı değirmen ve karıştırıcı hazne.....	39
Şekil 1.29	: Yatay bilyalı değirmen ve değirmen içerisindeki bilyaların hareketinin şematik gösterimi.....	40
Şekil 1.30	: Laboratuvar tipi atritör değirmeni ve değirmenin şematik gösterimi.....	41
Şekil 1.31	: Atritör değirmeninde öğütme esnasında oluşan hareketler.....	42
Şekil 1.32	: Atritörde toz şarjı ile bilyaların hareketi.....	42
Şekil 1.33	: Atritörde alaşımlama esnasında meydana gelen en büyük aşınma alanı.....	43
Şekil 1.34	: Öğütme süresiyle ortalama tane boyutunun azalması.....	43
Şekil 1.35	: Zaman göre toz boyutundaki değişim.....	44
Şekil 1.36	: Aşınma zaman ilişkisi.....	50

Şekil 1.37	: Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler	51
Şekil 1.38	: Adhesiv aşınma kaynak oluşumu	52
Şekil 1.39	: Adhesiv aşınma deneyinde kullanılan geometriler	53
Şekil 1.40	: İki cisimli abrasiv aşınma	53
Şekil 1.41	: Abrasiv aşınmada aşınma hızını ölçmekte kullanılan yöntemler	55
Şekil 1.42	: Yorulma aşınmasının şematik gösterimi	55
Şekil 1.43	: Sürtünme aşınma deney düzenekleri	58
Şekil 4.1	: Takviye oranına göre 1 numaralı numunelerin optik görüntüleri	69
Şekil 4.2	: Takviye oranına göre 2 numaralı numunelerin optik görüntüleri	70
Şekil 4.3	: Numunelerin SEM mikroyapı görüntüsü	72
Şekil 4.4	: N1.6 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 4.5	: N1.7 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 4.6	: N2.6 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü	75
Şekil 4.7	: N1.4 numunesinin XRD analiz sonuçları	77
Şekil 4.8	: N1.6 numunesinin XRD analiz sonuçları	77
Şekil 4.9	: N1.7 numunesinin XRD analiz sonuçları	77
Şekil 4.10	: N2.3 numunesinin XRD analiz sonuçları	78
Şekil 4.11	: N2.5 numunesinin XRD analiz sonuçları	78
Şekil 4.12	: N2.6 numunesinin XRD analiz sonuçları	79
Şekil 4.13	: Mo+NiAl+WC takviyeli numune mikrosertlik sonuçları	80
Şekil 4.14	: Mo+NiAl+ Al ₂ O ₃ takviyeli numune mikrosertlik sonuçları	81
Şekil 4.15	: N1.7 numunesinin mapping analiz sonuçları	82
Şekil 4.16	: N2.6 numunesinin mapping analiz sonuçları	83
Şekil 4.17	: Mo+NiAl+WC takviyeli numunelerin 10N-20N-30N yükler altında ağırlık kaybı grafiği	84
Şekil 4.18	: Mo+NiAl+ Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerin 10N-20N-30N yükler altında ağırlık kaybı grafiği	84
Şekil 4.19	: Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+ Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerin 10N yük altında aşınması	85
Şekil 4.20	: Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+ Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerin 20N yük altında aşınması	86
Şekil 4.21	: Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+ Al ₂ O ₃ takviyeli numunelerin 30N yük altında aşınması	86
Şekil 4.22	: Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+ WC takviyeli numunelerin 10N yük altında aşınması	87
Şekil 4.23	: Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+ WC takviyeli numunelerin 20N yük altında aşınması	87
Şekil 4.24	: Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+ WC takviyeli numunelerin 30N yük altında aşınması	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
Al ₄ C ₃	: Alüminyum karbür
B	: Bor
Bi	: Bizmut
BRİC	: Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin
cm ³	: Santimetre küp
C	: Karbon
°C	: Santigrat derece
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
Cu	: Bakır
d	: Yoğunluk
EDS	: Enerji dağılımlı spektograf
Fe	: Demir
Fe ₃ O ₄	: Magnetit
Gpa	: Gigapascal
N ₂	: Azot
MA	: Mekanik alaşımlama
Mapping	: Haritalama
mg	: Miligram
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler

MMO	: Makine Mühendisleri Odası
Mn	: Manganez
Mpa	: Megapascal
Ni	: Nikel
Ni ₃ Al	: Nikel alüminyum
Pb	: Kurşun
S	: Kükürt
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SiC	: Silisyum karbür
Spex	: Titreşimli değirmen
T	: Sıcaklık (°C)
Ti	: Titanyum
TiN	: Titanyum nitrür
TiAl	: Titan alüminyum
Ti ₃ Al	: Titan alüminat
TiB ₂	: Titanyum diborür
TiC	: Titanyum karbür
Y ₂ O ₃	: Yttriyum oksit
W	: Volfram
WC	: Tungsten karbür
XRD	: X ışını difraktometresi
€	: Avrupa birliği üyesi 12 ülkenin kullandığı para birimi
∅	: Çap
µm	: Mikrometre
α	: Alfa parçacığı
%	: Yüzde

ÖNSÖZ

Yaptığım çalışmada, değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ'a, destekleri ile çalışmama katkıda bulunan Sayın Dr. Öğretim Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ'a ve Sayın Doç. Dr. Tanju TEKER'e, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Maddi ve manevi her konuda beni destekleyen sevgili eşim Buket ÇINAR GELİR'e ve oğlum Çınar GELİR'e de teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Emre GELİR
(Makine Mühendisi)

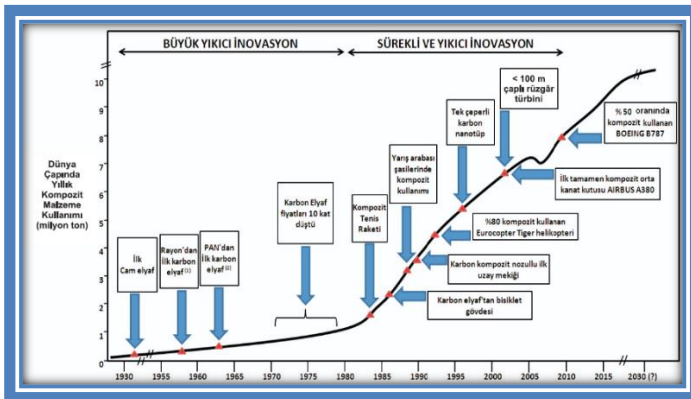
1. GİRİŞ

Günümüzde her geçen gün nitelikli malzemelere olan ihtiyaç artmaktadır. Dünyanın ve endüstrinin ihtiyacı olan yeni teknoloji gereksiniminin temel yapı taşı da bu teknolojileri ortaya çıkmasını sağlayacak malzeme bilimidir. Bu sebeple dünyada ve ülkemizde malzeme biliminde ortaya çıkan her gelişme önemini arttırmaktadır.

Teknolojinin ve bilimsel çalışmaların ilerlemesi ile mevcut malzemelere yeni kullanım alanı yaratılmıştır. Bu sayede oluşan güncel ihtiyaçlara cevap verebilecek, niteliği yüksek yeni malzemelere olan ilgi de artmıştır. Günümüze kadar gelişen teknoloji ve bilimsel çalışmalar mevcut malzemelerin istenen özelliklerini iyileştirme ve buna alternatif olabilecek yeni malzemelerin ortaya çıkması için de bir arayış içerisinde. Bu arayış yeni niteliklere sahip malzemelerin ortaya çıkması ile birlikte hâlâ devam etmektedir.

Malzeme seçiminde fiziksel ve karakteristik özelliklerinin uygunluğu oldukça önemlidir. Bu nedenle günümüzde pek çok yöntem geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Özellikle havacılık, uzay, gaz türbinleri, otomotiv ve denizcilik sektöründe yüksek performanslı, hem hafif hem de dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda kararlılık gibi özellikleri bünyesinde birleştirebilen malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılayabilmek için pratik ve deneysel amaçlı birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Bugün dünyada ve ülkemizde gelinen aşamada bu kriterlere uygun yapı kompozit malzemeler olarak özetleyebiliriz.

Son yıllarda kullanılan kompozit miktarı yıllık ortalama olarak % 8 oranında artmaktadır. Kriz döneminde dünyada ekonomik büyüme olmamasına rağmen bu kriz, kompozit sektörünü sadece % 5 küçültmüştür. Son dönemdeki artışa göre 2014 yılında dünya çapındaki malzeme tüketiminin 9,5 tona erişeceği ön görülmektedir.



Şekil 1.1. Yıllara göre kompozit malzeme kullanım miktarı(www.mmo.org.tr)

Türkiye kompozit sektörü hızlı bir gelişme göstermiştir. Türkiye’de reel ekonomik yapıda kompozit sektörü ciddi oranda katma değeri yüksek olan ürünler üreten bir sektör haline gelmiştir. Bugün gelinen noktada Türkiye kompozit malzeme pazarında 265.000 tonluk bir hacme ulaşmıştır. Kompozit malzemenin üretken sektörler arasında hacimsel dağılımına baktığımızda Dünya, Avrupa ve Türkiye ölçeğinde durum aşağıdaki tablodaki gibidir.

SEKTÖRLER	DÜNYA(%)	AVRUPA(%)	TÜRKİYE(%)
Yapı ve İnşaat	26	20	24
Taşımacılık ve Otomotiv	22	29	21
Elektrik ve Elektronik	18	14	5
Tüketim Malları	6	4	3
Rüzgar Enerjisi	8	14	7
Boru ve Tank	14	12	36
Uzay ve Havacılık	0,5	0,5	-
Denizcilik	3	4	2
Diğer	2,5	2,5	2

Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin sektörler arası hacimsel olarak dağılımı(www.mmo.org.tr)

Kompozit malzeme sınıfları arasında hemen hemen her sektörde kendine kullanım alanı bulan metal matrisli kompozit malzemeler, günümüzde hala gelişmeye devam etmektedir.

Metal matrisli kompozitler yüksek sıcaklıklarda kullanıma göre tasarlanmış ileri bir malzeme grubudur. Mukavemet, direngenlik ve yüksek sıcaklık performansı diğer malzemelere göre oldukça iyidir. Bu özellikleri sayesinde uzay endüstrisinde kullanımı fazladır. Metal matrisli kompozitlerde alüminyum, magnezyum, titanyum ve bunların alaşımları ile bazı süper alaşımlar matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde malzemelerin özellikleri, kullanılan matris alaşımlarının özelliklerine bağlıdır.

Bu çalışmada, mevcut literatürler değerlendirilerek metal tozları farklı oran ve kombinasyonlarda mekanik alaşımlama yöntemi ile karıştırılmıştır. Presleme ve sinterleme işlemlerinden sonra üretilen malzemelerin aşınma testi, SEM, EDS, Optik, XRD, Mapping, Mikrosertlik analizleri yapılarak mikroyapılar gözlenmiştir. Bu sayede toz metalurjisi ve mekanik alaşımlamayla maliyeti düşük kompozit yapıda ve aşınma direnci yüksek malzeme üretmek hedeflenmiştir.

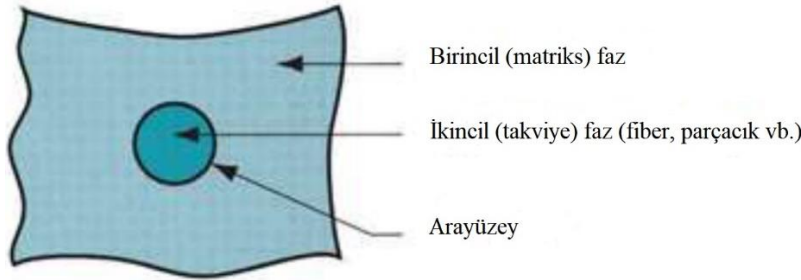
1.1 KOMPOZİT MALZEMELER

Malzeme sektörü, ekonomide açısından temel alanlardan biridir ve ana teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Önümüzdeki yıllarda da ileri malzeme alanları önemli çekim alanları oluşturacak ve ülkemiz açısından önemli fırsatlar yaratacaktır.

Kompozit malzemeler, iyi özelliklere sahip malzemelerin belirli bir kombinasyon ile karıştırılmasıyla elde edilir. Elde edilen bu karışım kullanılan malzeme özelliklerinden çok daha üstün olmaktadır. 1900'lü yılların başında sentetik plastikler geliştirilmeye başlanmıştır. 1930'lu yıllarında sonunda ise plastik malzemeler diğer malzeme çeşitleri ile kıyaslanabilir bir düzeye ulaşmıştır. Plastik malzemeler kolay biçim verilebilmesi, metal malzemelere göre düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi gibi özellikleriyle birçok çalışmada kullanılmıştır. Üstün özelliklerinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özellikleri iyi olmaması sebebiyle iyileştirme çalışmalarına da konu olmuştur. Plastik malzemelerin sahip olduğu kötü özelliklerin bertaraf edilmesi amacıyla 1950'li yıllarda polimer esaslı kompozit malzemeler üzerine çalışılmıştır.

1.1.1 Kompozit Malzemelerin Yapıları

Polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık, hafiflik gibi avantajlara sahiptirler. Kompozit malzemelerin üç ana elemanı bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin ana elemanları Şekil 1.3. ile gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Kompozit malzemelerin yapısı(Bulut, 2014)

Takviye ve ana malzeme olarak kullanılabilen malzemeler kullanıldığı amaca göre çeşitli olabilmektedir. Özellikle cam, seramik, plastik ve metal malzemeler kullanılmaktadır. Ana malzeme, takviye malzeme ve ara yüzey bağının; malzemenin formunu korumak için üstlendiği görevler vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Matris: Matris, kompozit malzemelerde önemli fonksiyonlar sağlar. Yükün iletilmesini sağlar. Termoplastik grubunda yaklaşık %68.3 oranında poliamid ve polipropilen kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin yapı taşlarından biri olan ana malzeme, iki önemli görevi yerine getirmektedir. Bunlar; takviye fazını, tasarlanan biçimde, içerisinde yer değiştirmesine olanak vermeden tutmak ve kompozite uygulanan herhangi bir kuvveti tahribata

uğramadan takviye fazına iletmek ve dağıtmakla görevlidir. Bunun yanısıra, kompozitin imalatında seçilmiş olan ana fazın çalıştığı ortamlarda kendisinden istenilen bir takım özellikleri de yerine getirmesi gerekmektedir. Örneğin; su altında veya oksidasyon ortamında çalışan bir kompozitin oksidasyona ve korozyona karşı dirençli olması istendiğinde veya elektrik iletkenliğinin veya elektrik iletkenliğine karşı direncin istenildiği yerlerde bu görevi ana malzeme (matrix) üstlenmektedir. Bu gibi görevleri yanında ana malzemenin; hafif, kolay elde edilebilir, oksidasyon direnci yüksek, termal farklılıklara karşı uyum gösterebilmesi gibi özellikleri de taşıması gerekmektedir.

2. Takviye: Takviye malzemeleri ise matris özelliklerini geliştirmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Takviye elemanları istenilen özel dayanım özelliklerini yansıtacak şekilde farklı tip ve formlarda, tasarıma uygun olarak seçilerek kullanılmaktadırlar. Genellikle takviye elemanları; fiber, kısa fiber, kılcal kristal (whiskers), ince plakalar, parçacık ve partikül formlarında kullanılmaktadırlar. Özellikle 1930'lu yılların sonunda polimer endüstrisinin gelişmesi ile birlikte cam fiberlerin mühendislik malzemelerinde kullanılmaya başlamasıyla kompozit malzemeler önem arz etmeye başlamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda boron, karbon, aramit ve yüksek elastikiyet modüle sahip fiber takviyeleri geliştirilmiştir. Polimer esaslı kompozitlerde ve takviye elemanlarındaki bu gelişmeler; araştırmacıların çalışmalarını, metal matrisli kompozit (MMK), seramik matrisli kompozit ve intermetalik matrisli kompozitler ve bunlarda kullanılan takviye elemanlarının geliştirilmesinde teşvik edici bir rol oynamışlardır. Bu tür kompozitlerde kullanılan takviye elemanlarının, sadece yüksek dayanım ve yüksek elastik modüle sahip olmaları değil, aynı zamanda çok iyi bir kimyasal kararlılık ve yüksek sıcaklıklara dayanım özelliklerinin olması istenilmektedir. Bu kıstasa uygun olarak, karbon fiberler, silikon esaslı nanoksit fiberler ve alümina esaslı oksitli fiberler, yüksek sıcaklıklarda dayanım özellikleri bakımından geniş bir uygulama alanına sahiptirler.

3. Arayüzey: Ara yüzey bağı, ana malzeme ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık yapar. Kompozit malzemenin elastisite modülünü de etkileyen en önemli etkenlerden başında gelmektedir. Bu sebeple kompozit malzeme dayanımının iyi olması için ara yüzey bağının istenilen şekilde meydana gelmesi beklenmektedir.

Çizelge 1.1. Kompozit malzemelerin yapısı (Akpınar, 2016)

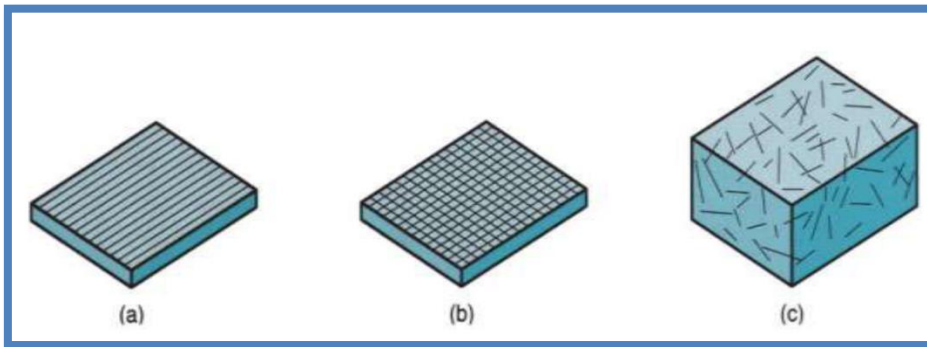
Kompozit Yapısı		
Matris Malzemeleri Çeşitleri	Takviye Elemanları Çeşitleri	Kompozit Malzeme Yapısının Şekli
Polimer yapılar	Lif yapılar	Tabaka yapılar
Metal yapılar	Granül yapılar	Kaplama yapılar
Seramik yapılar	Whiskers yapılar	Film-Folya yapılar
	Pudra yapılar	Honey-Combs(Bal Peteği) yapı
	Yonga yapılar	Filaman Sarılmış Yapılar

1.1.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Kompozit malzemelerin yapısında birden fazla çeşitli malzeme kullanıldığından bu malzemelerin gruplandırılması mümkün değildir. Bu nedenler kompozit malzemeleri yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerine göre iki sınıfa ayrılmaktadır. Ana malzemenin türüne göre bir gruplandırma yapılırken, yapı bileşenlerin şekillerine göre de sınıflandırabilmektedir.

Takviye elemanlarının şekline göre:

Elyafın kompozit yapının matrisi içindeki yerleşimi, kompozit malzeme yapısının mukavemetini etkilemektedir. Ana malzeme içinde uzun elyafın birbirine paralel yerleştirilmesiyle mukavemet oranında artış sağlanır, dik doğrultuda yerleştirilmesiyle de mukavemet direncinde azalma elde edilmektedir. Ayrıca, elyafın uzunluk/çap oranları büyüdükçe ana malzeme tarafından elyafı iletilen yük miktarı da artış göstermektedir. Ayrıca kompozit malzemenin nem alması elyaf ve ana malzeme arasındaki bağlanmayı olumsuz etkilemektedir. Elyaf yapıların yoğunlukları düşük olmasına karşılık, yüksek elastik modüle ve sertliğe sahip olmaları önemli avantajlarıdır.



Şekil 1.4. Kompozit malzemelerde elyafın yönlenmesi(Bulut, 2014)

- (a) tek boyutlu sürekli elyaf;
- (b) dokunmuş bir kumaş şeklindeki düzlemsel sürekli elyaf;
- (c) tesadüfi süreksiz elyaf

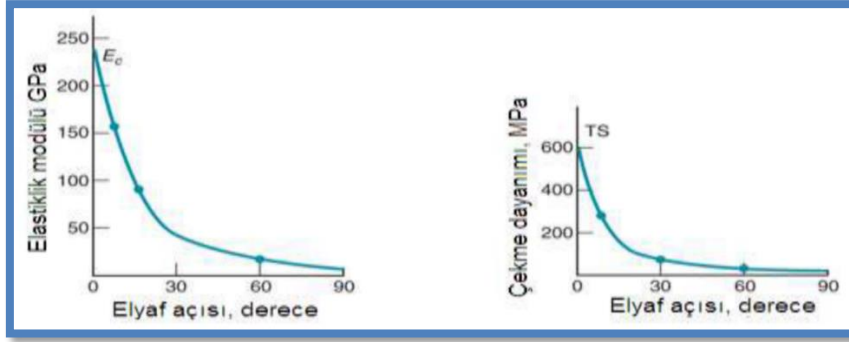
Genellikle enine kesitleri dairesel bazen oval, dikdörtgen ve hegzagonal olabilir. Çapları yaklaşık olarak 100 µm ve boy/çap oranları 100 ve daha yukarısı olanlar uzun fiber veya elyaf olarak adlandırılmaktadırlar. Boy/çap oranları 10 ila 100 arasında olanlar ise kısa fiber olarak adlandırılmaktadır. Fiberler yapı bakımından karmaşık şekilli, çok kristalli ve tek kristalli yapıdadırlar. Metal esaslı kompozit malzemelerde fiberler genellikle mekanik özellikler ve yüksek sıcaklık dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Seramik esaslı kompozitlerde ise genellikle ana malzemenin tokluk özelliğinin iyileştirilerek bu sayede mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile kullanılmaktadırlar. Fiberlerle takviye edilmiş kompozitlerde dayanım özellikleri, fiberlerin yönüne ve çapına göre değişim göstermektedir. Fiberlerin çapının azalmasıyla kompozitin dayanım özellikleri artış göstermektedir.

Cam lifleri kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan malzemelerdendir. Başlangıçta, cam liflerinin üretiminde “alkali cam” kullanılmıştır. Daha sonrasında alkali cam malzemesine göre daha üstün özelliklere sahip elektrik dayanımlı cam kullanılmaya başlanmıştır.

Asbest lifleri; asbest, lifli yapıya sahip bir doğal mineraldir. Asbest liflerinin kimyasal direnç özelliğinin iyi olması sebebiyle çimento türü bağlayıcılarla üretilen kompozitlerde kullanılabilir. Fakat son yıllarda sağlık yönünden dezavantaj oluşturan özellikleri sebebiyle kullanım alanları sınırlandırılmaktadır

Çelik teller; bir çok alanda kullanılmalarına rağmen beton yapılar ve harçların elde edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yapılar oda sıcaklığına sahip ortamda ısı işleme maruz kalmadan çekilmektedir ve düşük miktarda karbon oranına sahiptir.

Karbon lifleri; Bu liflerin yapısı düşük yoğunluk miktarına karşın çekme dayanımı ve elastisite modülü yüksektir.



Şekil 1.5. Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitin yönün fonksiyonu olarak elastik modül ve dayanımının değişimi(Bulut, 2014)

Aramid lifler; aramid kelimesi “aromatik polyamid” tamlamasının kısaltılmış adı olarak görülebilir. Polyamidler baştan sonra uzun ve zincir yapısında polimerlerdir. Aramidin moleküler yapısı gereği altı adet karbon atomu birbirine hidrojen ile bağlanmış olmasıdır. Mevcutta İki farklı yapısal tipte aromid molekül mevcuttur. Bu yapılar keklar 29 ve keklar 49 olarak özetlenebilir. Kompozit yapılardan çok daha hafif ve daha rijit bir malzeme reaksiyon gösterir. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklara dayanabilen bir malzemedir. Ayrıca korozyona karşı direnci yüksektir.

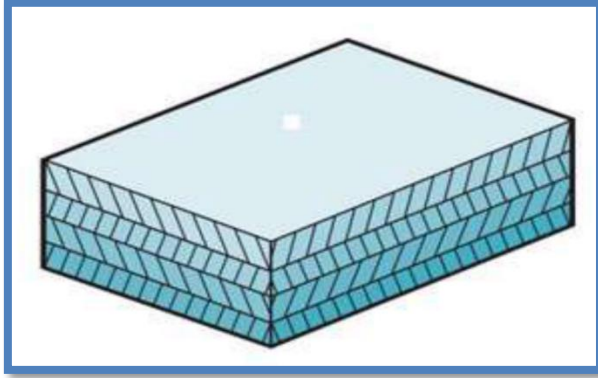
Bor lifleri; bu malzemelerin genellikle dayanımları yüksek olmasına karşılık pahalı bir malzemedir. Mevcut teknolojik gelişmelerde özellikle metal esaslı kompozit malzemelerde kullanılmaktadırlar. Elyaf çapları 0,1 mm ile 0,2 mm arasında değişmektedir. Buna karşılık diğer birçok life göre oldukça kalın yapıdadır. Yüksek oranda çekme mukavemetine ve elastisite modülüne sahiptir. Uçak yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak yüksek maliyet yapısından dolayı kullanımı düşmüş ve yerini karbon yapılı elyaflar almıştır.

Silisyum karbür lifleri; yüksek sıcaklıklara dayanabilen bor yapılı liflerden oldukça iyidir. Silisyum karbür elyaflar 1370 °C’de mukavemet dayanımının sadece %30’unu kaybetmiş olurlar. Bor elyaf yapılar için bu değer 640 °C’ dir. Bu duruma uygun yapılarda yapısında genellikle titanyum matris ya da takviye malzemesi bulundurlar.

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler kullanım miktarları bakımından, kompozitlerin imalinde en yaygın kullanılan takviye elemanları arasında mikrondan, nanometreye kadar değişen boyutları ile parçacıklar ve partiküller yer almaktadır. Boyutları 1 µm’den daha büyük olanlar parçacık, 1 µm’den daha küçük boyutlular ise partikül olarak adlandırılmaktadır. Parçacık ya da partikül ile takviyeli kompozitlerde ana malzeme içerisindeki takviye fazının hemen hemen homojen dağılım sergilemesi nedeniyle, kompozitin mekanik özellikleri aşağı

yukarı eş yönlüdür. Partikül takviyeli kompozitlerde, ana malzemenin içerisinde yer alan partiküller nedeniyle dağılım sertleşmesi ile mekanik özellikleri iyileşmektedir. Bu da partiküllerin tane sınırlarında oluşan kaymaları engellemesi ile gerçekleşmektedir. Mukavemet parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tipi meyal parçacıklardır.

Tabakalı (katmanlı) kompozit malzemeler; günümüzde en yaygın kullanım alanına sahiptir. Mukavemet dayanımları çok yüksektir. Isı ve neme karşı dayanıklıdır.



Şekil 1.6. Geleneksel tabakalı yapı (Altan, 2005)

Karma kompozit malzemeler; aynı kompozit yapı içerisinde birden fazla takviye elemanı çeşidi bulunan kompozitlere hibrid kompozitler denir.

Yapılarını oluşturan malzemelere göre:

Ana malzeme olarak kullanılan malzemeler üretilmek istenilen kompozit parçanın üretim amacına uygun olarak farklı şekillerde seçilebilir. Üretilmek istenilen kompozit parça için istenilen özellikleri sağlayabilmek için matris olarak metaller, seramikler ve plastikler kullanılabilir. Kullanılan matris malzemeye bağlı olarak kompozitler şu şekilde gruplandırılırlar.

Polimer esaslı (matrixli) kompozit malzemeler; polimer malzemeler, son 30 yıl içerisinde kompozit malzeme alanında ilerleme kaydetmiştir. Polimerler, elemental yapıları bakımından diğer kompozit malzemelerden farklılık göstermektedirler. Bu durum neticesinde malzemenin pozitif unsurlarını öne çıkararak kullanım alanları büyütmüşlerdir. Polimer kompozit malzemelerin esas hedefleri bir çelik kadar mukavemetli, mümkün mertebede hafif, yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve ekonomiklik üzerine kuruludur. Mevcut bilimsel gelişmeler baz alındığında kompozit malzemelerinin kullanımında en büyük pay otomotiv sektöründür. Araçlarda çeşitli yerlerinde plastik malzemelerin tercihi % 10 civarında iken tampon, çamurluk

gibi farklı alanlarda plastik kompozitler tek tercih sebebi olabilmektedirler. Ancak farklı mühendislik uygulamalarında metallerin yerine tercih edilen polimer kompozitler sadece hafif olmaları ve mekanik dayanıklılık gibi özellikleri nedeni ile değil, çevre ve insan sağlığına zarar vermeyen bir yapıları olduğu için birçok malzemelerin yerine tercih edilmektedirler. Plastik olarak kullanılan fiber, kuvvet taşıyıcı bir karakter taşırken, yapıda matris olarak kullanılan plastik ise malzemeye esnek yapı kazandırmak ve darbe emici karakteri ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde kullanılan plastik malzeme türleri iki gruba ayrılır.

Termoplastik malzemeler; bu tip malzemeler ısıya maruz kaldıklarında yumuşarlar. Şekillendirme işleminden sonra ise soğutulduğunda sertleşme gösterirler. Gerçekleşen işlem esnasında plastik malzemenin mikroyapısı farklılık göstermez. Günümüzde genel olarak 5-50°C sıcaklık aralığında kullanılırlar. Bu grupta bulunan plastik malzemeler selülozikler, karbonflorür, viniller, naylon, polietilen, akrilikler, polistren olarak özetlenebilir.

Termoset plastik malzemeler; malzemeler ısıtılıp şekillendirildikten hemen sonra yeniden soğumaya bırakıldıklarında mikroyapısında gerçekleşen revizyon sebebi ile eski yapıya dönmek imkânsızdır. Bu tip malzemelerin yaygın olarak kullanılanları ise alkitler, polyesterler, âminler epoksiler, olarak gösterilebilir.

Metal esaslı (matrixli) kompozit malzemeler; malzeme yapısında metal ve metal alaşımı bulunur. Takviye malzemesinde ise farklı birçok yapılar yer alan kompozitler malzemelerdir. Takviye malzemeleride partikül, sürekli fiber ve whisker bulunur. Bu malzemelerin bileşimi yüksek oranda karbür, oksit veya nitrür şeklindedir. Metal ve metal alaşımların belirli oranda yüksek seviyede sıcaklık değerlerinden istenilen özellikleri sağlamalarına karşılık yapıları kırılabilirlik göstermektedir. Ancak takviye malzemesi olarak metalik fiberler tercih edildiğinde çıkılan yüksek sıcaklık değerlerinden kırılabilirlikleri azalarak mukavemeti yüksek yapılar oluştururlar. Bu yapılara örnek olarak matriks malzemesi bakır ve alüminyum olan, takviye malzemesi ise wolfram ve molibden olan kompozitler verilebilir. Bunun gibi yapılarda takviye elemanları matriks elemanlarının mevcut özelliklerini iyileştirir. Ek olarak bunu diğerlerine göre ekonomik yollarla yapabilmektedir. Özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Elastisite modülü yüksektir.
- Mukavemet değerleri yüksektir.
- Yoğunluk bakımından düşüktürler.
- Hassasiyetleri termal şoka düşüktür.
- Kullanım alanları yüksek sıcaklıklardadır.

- Yapıları yeniden üretilebilirlerdir.
- Diğer yöntem veya kaynak ile birleştirilebilirler.

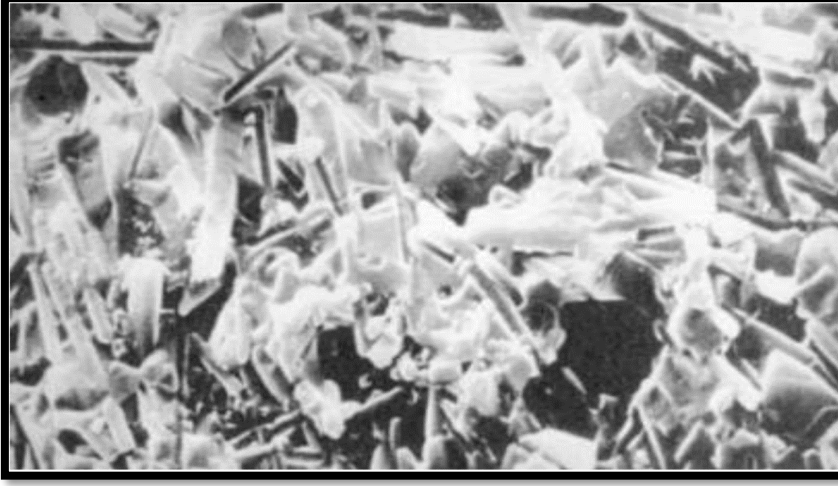
Günümüzün ihtiyaçlarına cevap verebilecek bu özelliklerden dolayı metal esaslı (matriksli) kompozit malzemeler piyasada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte üretim süreçlerinin hem zor hem de maliyetli olması dezavantaj yaratmaktadır. Kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- Kesici uçlar
- Uzay Sanayi; uzay yapıları (B/Al, B/Mg, Gr/Mg), anten'ler (B/Al, B/Mg, Gr/Mg)
- Havacılık; uçaklarda gövde ve iç donanım parçaları (B/Al, SiC/Al, Gr/Al), kompresör kanatları (B/Al, SiC/Al, Gr/Al), türbin kanatları (wolfram ve tantal takviyeli), süper alaşımlar, helikopter parçaları (B/Al, SiC/Al, Gr/Al, Gr/Mg, Al₂O₃/Mg, Al₂O₃/Al)
- Otomotiv; motor blokları (SiC/Al), pistonlar (SiC/Al), biyeller (SiC/Al), akü plakaları (Gr/Pb)
- Elektrik; motor fırçaları (Gr/Cu), kablo, elektrik kontakları (Gr/Cu), ev aletleri, akü plakaları Al₂O₃/Pb, Gr/Pb, Cam/Pb
- Tıp; protez'ler (B/Al, SiC/Al), tekerlekli sandalyeler (B/Al, SiC/Al)
- Spor Malzemeleri; tenis raketleri (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), kayak sopaları (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), kayaklar (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), oltalar (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), golf sopaları (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), bisiklet çerçeveleri (B/Al, Gr/Al, SiC/Al)
- Tekstil Sanayi; mekikler (B/Al, Gr/Al, Si/Al)
- Diğer; yataklar (Gr/Pb), kimyasal ekipman (Al₂O₃/Pb), aşındırıcı takımlar (B/ Al₂O₃, SiC/ Al₂O₃)

Seramik esaslı (matriksli) kompozit malzemeler; üretim sürecinde hem yüksek sıcaklığa dayanıklı olması hem de hafif olmaları bu malzemelerin en çok tercih edilmelerinin başında gelir. Seramik malzemeler sert ve kırılındırlar. Bununla birlikte malzeme yapısı aşırı düşük süneklik sergiler, tokluğu düşük olup, termal şoklara karşı dayanıklılık gösteremezler. Bu yapılarından dolayı takviye malzemesi olarak lifler kullanılır.

a) Seramik-Seramik Sistemi; yapıda iki seramik fazın bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Yaygın olarak kullanılan saf çini örnek verilebilir.

b) Seramik-Cam Sistemi; günümüzde hemen hemen her alanda kullanılan porselen, bir seramik cam kompozitidir.



Şekil 1.7. SiC iplikçikleriyle takviye edilmiş Al_2O_3 'ün kırılma yüzeyinin görünümü(Bulut, 2014)

Seramik-Metal Sistemi; fazları bakımından farklılık gösteren bu kompozit yapılar, bir metal faz, bir seramik faz, bir gözenek fazı ve farklı boyut ve formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmektedir.

- Başlıca Uygulama Alanları:

Korozyona karşı dirençli olmaları ve yüksek sıcaklık değerlerinde çalışabilirler. Gaz filtrelerinde, eşanjör tüplerinde, petrol boru parçalarında, ısıtım işlem gören fırınlarında, dizel beslemeli motorların eksoz valflerinde yaygın olarak kullanılırlar.

1.1.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler esnek yapıda ve her türlü ihtiyaca cevap verebilen yapısı sayesinde önem kazanmışlardır. Hafif yapıların oluşturulmasında, özgül ağırlıklarının düşük olması kompozitlerin en büyük avantajlarından biridir. Buna ek olarak, korozyona, ısıya, sese ve elektriğe karşı dayanıklılık göstermesi fiber takviyeli kompozit malzemeler için önemli tercih sebebi olmuştur.

Kompozit malzemelerin avantajları:

Yüksek mukavemet: takviye malzemelerine göre değişmekle birlikte kompozit malzemeler diğer malzemelerden farklı olarak yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Kompozit malzemeler çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımları diğer metalik yapıda olan malzemelere göre üstündür. Ek olarak şekillendirme özelliklerinden dolayı ihtiyaca göre hem ekonomik hem de hafif yapılar elde edilebilir.

Hafiflik: hem metallere hem de takviyesiz plastiklere göre yüksek mukavemet değerleri sağlarlar. Malzemeye sunduğu özellik sayesinde yüksek mukavemet/ hafiflik dengesi ve düşük yoğunluk ile birlikte önemli tercih sebebi meydana getirmektedirler.

Tasarımda esneklik: kompozit malzemeler en karmaşık, yapısal, ya da fonksiyonel olarak tercihe göre şekil alabilmeleri tasarım aşamasında önemli avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte tasarım aşamalarında düşük maliyet elde etmeleri ile birlikte prototip oluşturarak yeni arge çalışmaları ortaya konabilmektedir.

Çizelge 1.2. Polimer kompozit malzemeler ile diğer malzeme gruplarının mekanik özelliklerinin mukayese edilmesi(Bulut, 2014)

Malzeme Cinsi	Özgül Ağırlığı (ρ , gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (σ ,MPa)	Elastik Modül (E, GPa)	Özgül Çekme Dayanımı (σ/ρ)	Özgül Modül (E/ ρ)	Uzama (%)
Alüminyum	2.8	84	71	30	25	---
Al-2024	2.8	247	89	98	25	20
Al alaşımı	2.8	600	71	210	25	---
Titanyum	4.51	700	117	192	25.1	20
Ni Alaşımı	8.18	450-1200	204	147	24,90	26-45
Alaşımız Çelik	7.86	460	210	60	27	20
Düşük Alaşımız Çelik	7.8	600	207	80-250	26.5	20
Pirinç %30Zn	8.5	550	100	60	12	---
Karbon/epoxy %60	1.62	1400	220	865	135	0.8
Kevlar/epoxy	1,38	1310	83	950	60	---
Cam/epoxy %60	1.66	1510	165	910	99	---
Cam/polyester %50	1.9	750	38	390	19,8	1,8

Elektriksel yapı: üretilecek yeni malzemenin teknik özellikleri bakımından uygun takviye malzemeleri ile birlikte üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilebilir. Günümüzün teknolojik gelişmişliğine paralel olarak büyük sanayi enerji altyapılarında ve nakil taşıma hatlarında kompozit malzemeler iyi yapıda bir iletken olmakla birlikte, takviye malzemesi olarak farklı bir yapıda, özgün ve iyi bir yalıtkan malzemesi olarak elde edilebilirler.

Boyutsal stabilite: sınırlı kimyasal, birçok mekanik ve çevre şartlarında termoset kompozit malzemeler temel ve yapıya uygun olan özelliklerini değiştirmezler. Takviyesiz termoplastik kompozitler viskoelastik dayanımlarını pek göstermezler. Buna rağmen ısıl genleşme katsayıları nispeten çok daha düşüktür.

Yüksek dielektrik direnci: kompozit malzemeler göstermiş olduğu elektriksel yalıtım özelliği sebebi ile üretim aşamasında önemli bir yer tutmaktadır. Ek olarak yine tasarım ve

tercihe uygun olarak takviye malzemesine göre malzemeye elektriksel iletkenlik niteliği kazandırmak da yapılabilir.

Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet: özel olarak termoset polimer kompozitler, hem korozyondan hem de çoğu kimyasal etkenlere maruz kaldıklarında aşırı direnç göstermektedirler.

Kalıcı renklendirme: kompozit malzemelerde renk oluşturma tek başına yeterli olmayabilir. Bunun kalıcı olması da en az renklendirme aşaması kadar önemlidir. Kompozit malzeme üretimi sırasında kalıcı olarak renk kazandırılabilen ve uzun süre bakım ihtiyacı duymadan kullanılabilir.

Isıya dayanıklı olması: kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı az miktarda olan malzemelerden takviye edildiği takdirde ısıya dayanıklı olması elde edilebilir. Malzemenin yüksek ısıya maruz kalması durumunda bile sağlıklı çalışabilmesine olanak tanımaktadır.

Düşük araç/gereç maliyeti: kompozit malzeme üretim aşamalarında farklı farklı araç ve yöntemler kullanılmaktadır. Neredeyse tüm yöntemlerde sabit kalan parametre, yapıda oluşan özelliklerin istenmeyenleri ya yok edilerek ya da mevcut özellikler iyileştirilerek uygun ve özgün malzeme üretimidir.

Kompozit malzemelerin dezavantajları:

- Oluşan yeni polimer esaslı kompozitlerde bulunan hava zerreciklerinin malzemenin yorulma dayanımını olumsuz yönde etkilemesi,
- Malzemenin tek bir yönde değil, farklı doğrultu ve yönlerde farklı mekanik özellikler sergilemesi,
- Süneklik ve tokluk özelliklerinin düşük olması,
- Tam olarak ortaya çıkabilecek mekanik özelliklerin öngörülememesi,
- Hassas işçilik ve detay gerektiren yapılarda lif bozukluklarından dolayı istenen yapının elde edilememesi,
- Üretim maliyetlerinin polimer kompozit malzemeler dışında olan kompozit malzemelerin yüksek olmasıdır.

1.1.4 Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirmesi

Dünya'da kompozit sanayisi son 30 yılda küresel ve bölgesel ekonomik gelişime öncülük etmiştir. Çizelge 1.3.'te verildiği gibi kompozit malzeme pazarı dünya ölçeğinde

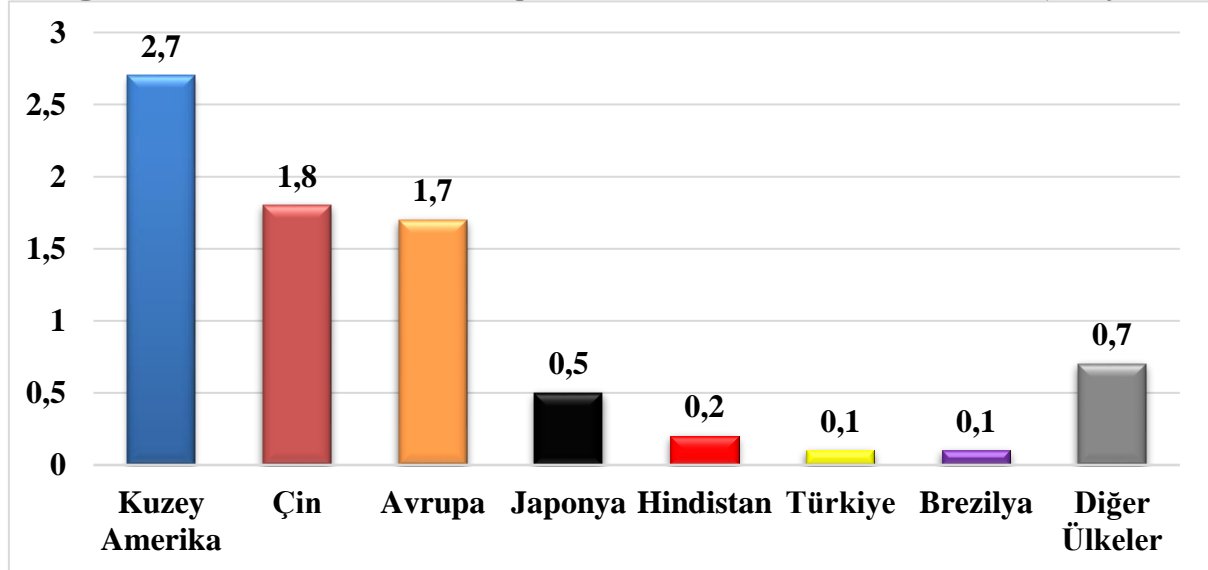
artmaktadır. Bu gelişmenin başını Kuzey Amerika ve Asya ülkeleri çekmektedir. Peşinden Avrupa ve diğer ülkelerde bu alanda yapılan yatırımlar ile birlikte yıllık tüketimini arttırmaktadır.

Çizelge 1.3. Dünya’da kompozit malzeme kullanım miktarı(İnkaya, 2011)

<i>Kıtalar/ Ülkeler</i>	Kullanım Miktarı (milyon ton)	Kullanım Oranı (%)
Kuzey Amerika	2,7	34
Asya	2,8	37
Avrupa	1,7	22
Diğer Ülkeler	0,6	7

- Kuzey Amerika ve Asya ülkeleri toplamda 2,7 milyon ton kompozit kullanımıyla Dünya’daki tüketimin yaklaşık olarak %70’ini oluşturmaktadır.
- Avrupa’da yılda 1,7 milyon ton kompozit malzeme kullanımı ile birlikte tüketimi devam etmektedir.
- Diğer ülkelere bakıldığında ise 0,6 milyon ton kompozit malzeme tüketimi olduğu görülmektedir.
- Asya ülkeleri arasında en fazla kompozit malzeme tüketen ülke Çin olarak görülmektedir. Kompozit malzeme çeşitlerinin ağırlıkça ve fiyatça kullanım oranları Çizelge 1.3. ve 1.4.’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. Ülkelerdeki kompozit malzeme tüketim miktarı(İnkaya,2011)



Dünya’da kompozit pazarında tahmin edilen ve beklenen büyüme, genel olarak üç ana büyüme parametresine bağlıdır.

1. Büyüme oranları bakımından gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümelerin devam etmesi
2. Alternatif enerji kaynaklarının gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde gelişmeye devam etmesi
3. Uzay ve havacılık sektöründe özellikle ticari uçaklarda kompozit malzeme kullanımının artarak yoğun bir şekilde devam etmesi

1.1.5 Dünya’da Kompozit Malzeme Sektöründe Meydana Gelen Gelişmeler

Dünya’da kompozitlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Çizelge 1.5. Dünya’da kompozit üretimi ve değer olarak sektörel dağılımı(İnkaya, 2011)

Kompozitin Yoğun olarak kullanıldığı Sektörler	Oranlar(%)
Uzay ve Havacılık	% 23
Taşımacılık ve Otomotiv	% 22
Yapı ve İnşaat	% 14
Rüzgâr Enerjisi	% 12
Elektrik ve Elektronik	% 12
Tüketici Malları	% 9
Denizcilik	% 5
Boru ve Tank	% 2

Çizelge 1.6. Dünya’da kompozit üretimi ve hacim olarak sektörel dağılımı(İnkaya, 2011)

Kompozitin Yoğun olarak kullanıldığı Sektörler	Oranlar(%)
Yapı ve İnşaat	% 26
Taşımacılık ve Otomotiv	% 25
Elektrik ve Elektronik	% 16
Tüketim Malları	% 8
Rüzgâr Enerjisi	% 7
Boru ve Tank	% 7
Uzay ve Havacılık	% 5
Denizcilik	% 5

Bu üç sektör dünyadaki kompozit malzeme biliminin gelişiminde de değer olarak önemli yer tutmaktadır. Buna ek olarak Çizelge 1.6.’ya bakıldığında hacim olarak ise Dünya’da yapı ve inşaat, taşımacılık ve otomotiv sektörleri yarısını oluşturmaktadır. İlk üç sektör arasında sadece

uzay ve havacılık bulunmamaktadır. Hatta bu sektör hacim olarak Dünya’da kompozit malzeme kullanımının en az olduğu yerdir.

1.1.6 Türkiye’deki Kompozit Malzeme Sektöründe Meydana Gelen Gelişmeler

Türkiye kompozit malzeme kullanımı gerek altyapı çalışmaları gerekse Dünya ile entegre çalışma isteği ile birlikte ciddi oranda artış göstermiştir. Türkiye’deki sektör durumu Çizelge 1.7.’de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Türkiye’de kompozit üretiminin imalat sektörlerine dağılımı(İnkaya, 2011)

Kompozit’in Yoğun Olarak Kullanıldığı İmalat Sektörleri	Oranı (%)
Boru ve Tank İmalatı	% 48
Yapı ve inşaat	% 19
Otomotiv ve taşımacılık	% 17
Elektrik Elektronik	% 4
Denizcilik	% 4
Rüzgâr Enerjisi	% 2
Tüketici Malları	% 2
Diğer	% 4

Hacim olarak Çizelge 1.7.’yi incelediğimizde boru ve tank imalatı toplam sektörler içerisinde en fazla paya sahiptir. Hatta öyle ki Türkiye’de toplam kompozit kullanımının neredeyse yarısı bu sektördedir. Ardından yapı ve inşaat ile birlikte otomotiv ve taşımacılık sektörleri %36’lık önemli bir paya sahiptir.

Dünya, Avrupa ve Türkiye bazında kompozit malzemenin sektörler arasında hacim olarak dağılımı ise Çizelge 1.8.’deki gibidir.

Çizelge 1.8. Dünya, Avrupa ve Türkiye’de kompozit üretiminin sektörlere göre dağılımı(İnkaya, 2011)

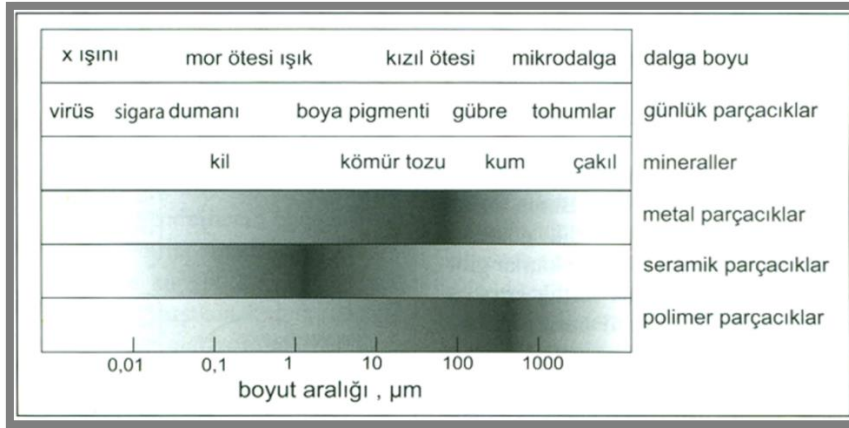
SEKTÖRLER	DÜNYA(%)	AVRUPA(%)	TÜRKİYE(%)
Yapı ve İnşaat	%26	%20	%19
Taşımacılık ve Otomotiv	%25	%30	%17
Elektrik ve Elektronik	%16	%14	%4
Tüketim Malları	%8	%3	%2
Rüzgâr Enerjisi	%7	%12	%2
Boru ve Tank	%7	%13,5	%48
Uzay ve Havacılık	%5	%0,5	---
Denizcilik	%5	%5	%4
Diğer	%1	%2	%4

Çizelge 1.8. ’den de görülebileceği gibi ülkemizde makinalı ve ileri teknoloji gerektiren ürünlerin üretiminde alınacak daha pek çok yol vardır.

1.2 TOZ METALURJİSİ

1.2.1 Toz Metalurjisi

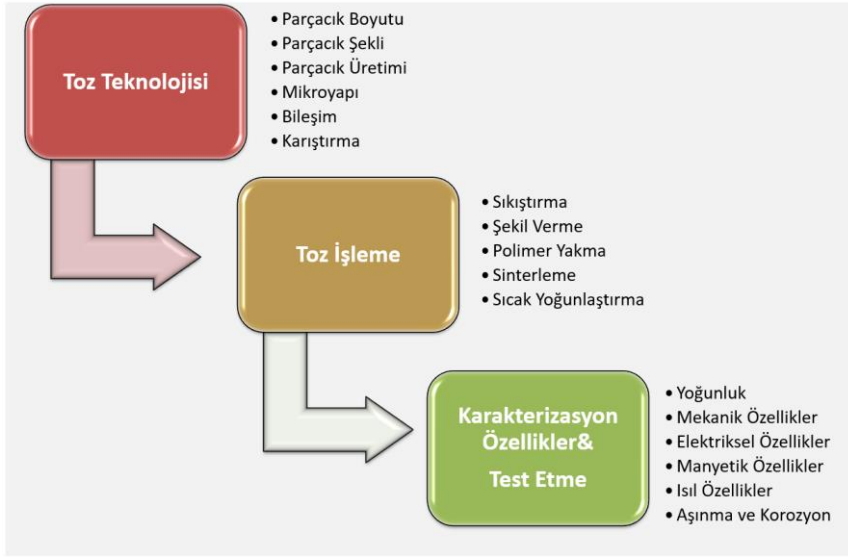
Toz metalurjisi diğer malzeme üretim yöntemlerinde olduğu gibi şekil yapısı belirli olan malzemelerin üretiminde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Toz ile üretim teknikleri gereği malzemeler yüksek sıcaklıkta imal edilirler. Bu sebeple toz metalurjisi ile imal edilen malzemelerin çoğu(kompozitler, yüksek sıcaklık seramikleri vb.) dökümden ziyade toz metalurjisi ile üretilirler. Böylece toz metalurjisi yöntemi diğer birçok malzeme üretim metodunun geleneksel yapısını değiştirmiş ve daha geniş aralıklarda çalışılabilmeyi sağlayarak yeni malzemelerin bulunmasını ve mevcut malzemelerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Parçacıklar veya partiküller katı yapıların küçük ve ayrı yerleridir. Parçacık boyutları virüs tanesinden kum tanesine kadar değişebilmektedir. Şekil 1.8. 'de yaygın olarak kullanılan mühendislik parçacıklarının (plastikler, metaller ve seramikler) kıyaslama yapabilmek adına büyüklüğü günlük hayattaki nesnelerin büyüklüğü ile birlikte verilmiştir. Örneğin, plastik yapılar daha büyük olurken, seramik yapılar genellikle daha küçüktür. Boyut anlamında referans verirsek; insan saçı yaklaşık olarak 100 µm aralığında ve boyalardaki pigmentler ise olarak 1 µm aralığında bulunmaktadır. Toz metalurjisinde kullanılan çoğu mühendislik parçacıkların boyutu 0,1 ile 200 µm arasında değişmektedir.



Şekil 1.8. Tozlar ve boyut aralıkları ile karşılaştırılması(Huda, 1995)

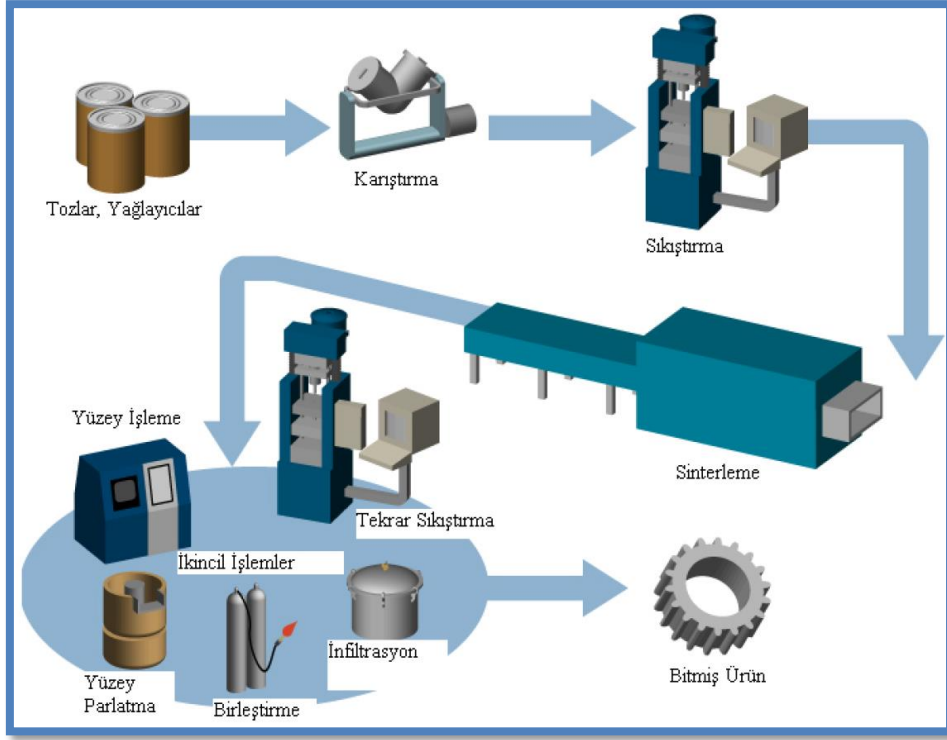
Toz üretim teknikleri, yapısında barındırdığı kalıp boşlukları sayesinde seri üretim yapılmasını olanaklı kılmaktadır. Şekilde yapısı düzgün olmayan üretimlerde ise bu teknikler tek bir ürünün elde edilmesini sağlar. Maliyet, üretim aşamalarından önce her zaman en önemli parametrelerden biri olagelmiştir. Bu sebeple düzgün olmayan ve karmaşık yapıları son boyuta getirebilmek ve şekillendirme özelliği ciddi oranda ekonomik fayda sağlamaktadır. Toz

metalurjisi, tozların belirli operasyonlardan geçirilerek faydalı mühendislik parçaları elde edilmesi ile ilgilenir. Toz metalurjisinin genel hatları ile temel basamakları Şekil 1.9. 'da gösterilmiştir. İlk olarak genel alan "toz teknolojisi"dir. Faaliyet alanı parçacıkların yapısı, şekli, üretimi ve karıştırma ile parça şekillendirme için besleme stoğu yaratmaktır. Ardından toz işleme adımı ile birlikte sıkıştırma, şekil verme, sinterleme gibi yaklaşımlar sergilenir. Son aşamada tozların sınıflandırma, karakterizasyon ve test etme aşamasıdır. Bu aşamada malzemenin aşınma, korozyon, mekanik, elektrik ve manyetik özellikleri incelenebilir.



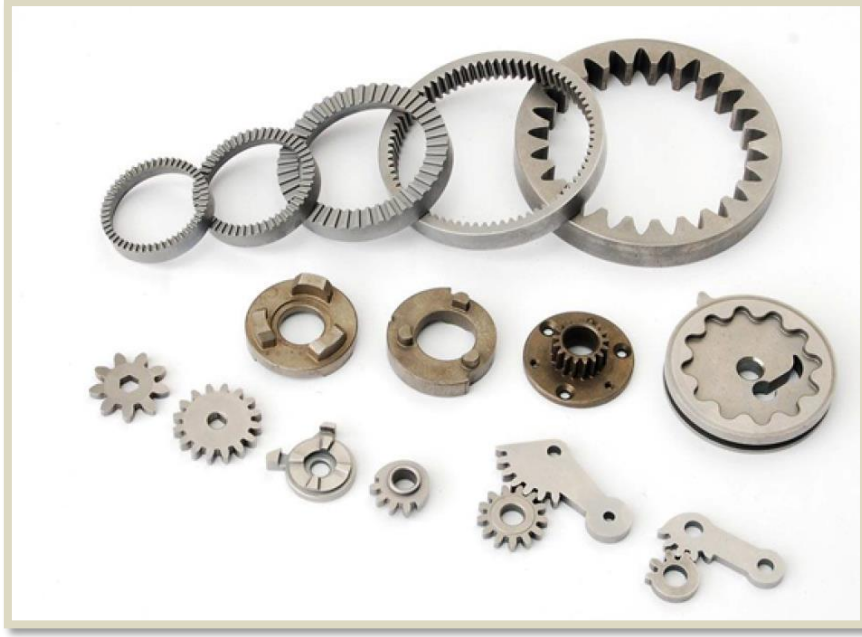
Şekil 1.9. Toz metalurjisinde parça akış şeması(Cerit, 2000)

Aşağıda ise toz metalurjisinin üretim süreci şematik olarak Şekil 1.10. 'da gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi fabrikasyon tozlar ve yağlayıcılar karıştırma işlemini takiben preslenme işlemine tabii tutulmaktadır. Preslenmiş numuneler sinterleme prosesinden hemen hemen final ürüne yakın olarak çıkmaktadırlar. Bununla birlikte parçanın mühendislik durumuna göre tekrar sıkıştırma, yüzey işleme, yüzey parlatma, birleştirme ve infiltrasyon gibi ek prosesler uygulanmaktadır. Bu ek proseslerin ardından son ürüne ulaşılmaktadır.



Şekil 1.10. Toz metalurjisi akım şeması(Ünal, 2007)

Toz metalurjisinde kullanılan malzemelerin çeşitleri son yıllarda değişmiş olup ağırlıklı olarak toz polimer kullanımı artmıştır. Hemen hemen tüm mühendislik çalışmalarında talep edilen özelliklere ulaşabilmek adına, toz metalurjisi yöntemlerinde kullanılan tozlar, fazların miktarı ve yapısal özellikleri büyük önem taşımaktadır. Malzemelerin imalatı esnasında, tozlar farklı üretim ve şekillendirme metodları kullanılarak yeni bir form oluşturulduktan sonra çeşitli ısı işleme tabi tutularak, yeni bir mikroyapı oluşturulur. Bu sayede oluşan yeni yapı bazı durumlarda üretim sürecinin başındaki özelliklerini kaybederler ve yeni mekanik özellikler elde ederek faydalı mühendislik malzemelerini oluşumu sağlamaktadırlar. Toz metalurjisi teknikleri kullanılarak imal edilen malzemeler çok çeşitli alanlarda kendilerine geniş bir kullanım alanı bulmaktadırlar.



Şekil 1.11.Toz metalurjisi ile üretilmiş karmaşık şekilli ürünlerden örnekler(Ünal, 2007)

Şiddeti yüksek ışıklar, mekanik diş yenileme, şaft yatakları, otomobil milleri, zırh delici mermiler, elektrik ileten bağlantı elemanları, nükleer güçte yakıt çubukları, ortopedik yapı protezleri, yüksek sıcaklık filtreleri, uçaklarda bulunan fren balataları, yeniden dolum yapılan piller, mekanik saat gövdeleri, elektronik kapasitörler ve jet motor türbinleri yaygın olarak kullanılan alanlardan sadece bazılarıdır. Özetle, tozlar üretimde ve hayatın her alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 1.11. 'de toz metalurjisi ile üretilen bazı ürünler gösterilmiştir.

1.2.2 Toz Metalurjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Toz metalurjisinin geçmişten günümüze bu kadar sık kullanılmasının altında yatan etkenler ekonomiklik, özellikler ve reaktivite'dir. Ekonomiklik; düzgün formda olmayan karmaşık yapıdaki parçaların düşük maliyetli üretimine dayanan bir üretim metodu olmasıdır. Otomotiv endüstrisi için parçalar bu sahadaki iyi örneklerdir. Bu alanda daha çok üretilebilirlik, otomasyon ve boyut toleransı düşünceleri hakimdir. Yüksek üretim miktarları yapabilmek için tolerans ve ekonomik olmanın her ikisi de çok önemlidir. Toz metalurjisi ile üretilen malzemelerin kullanılması için çok sayıda yapısal özellik ve uygunluk bulunmaktadır. Bu malzemeleri diğer tekniklerle üretmedeki yetersizlik bu sektörün büyümesine katkıda bulunmuştur. Toz metalurjisi birçok avantajı bir araya getirmektedir. Tüm bu malzemeleri, uygun ve düşük maliyetli olarak hassas, yüksek kaliteli malzemelerin yüksek oranda üretilmesi, güvenlik ekipmanlarının olduğu yüksek performanslı malzemelerin üretilmesi, karışık fazlı kompozit malzemelerin düşük maliyetli olarak üretilmesi örnek olarak gösterilebilir. Bunlara

rağmen bir takım problem ve dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Parçacık boyutu ve dağılımı,
- Parçacıkların topaklanması,
- Yüzey alanı,
- Parçacıklar arası sürtünme,
- Akış ve paketlenme,
- İçyapı,
- Bileşim, homojenlik ve kirliliktir.

1.3 TOZ ÜRETİM TEKNİKLERİ

Metal tozlarını karakterize eden özellikleri, tozların üretimi sırasında kullanılan teknik metod ve malzeme seçimi belirlemektedir. Üretim tekniğine bağlı olarak tozların geometrik yapısı küresel formdan, karmaşık yapılara kadar çok farklı göstermektedir. Üretim tekniğine göre tozların yüzey morfolojisi değişkenlik göstermektedir. Yeryüzünde bulunan malzemelerin neredeyse birçoğu yapısal özelliklerine uygun bir üretim yöntemi kullanılarak toz haline getirilebilir. Günümüzün teknolojisinde farklı farklı toz üretim yöntemleri arasından, çoğunlukla aşağıdaki yöntemler tercih edilmektedir;

- Mekanik yöntemler,
- Kimyasal yöntemler,
- Elektroliz yöntemi,
- Atomizasyon yöntemleridir.

1.3.1 Mekanik Yöntemler

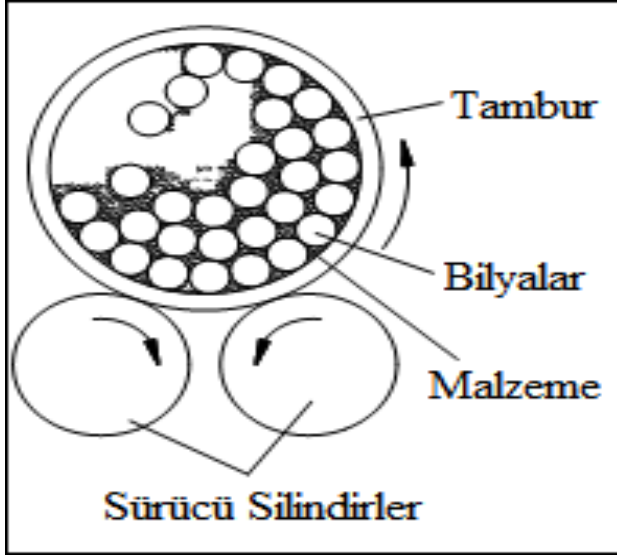
Mekanik yöntemler üç farklı gruba ayrılabilir. Bunlar; talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olarak inceleyebiliriz.

Talaşlı üretim:

Talaşlı üretim yönteminde büyük taneli ve farklı yapılarda tozlar üretilebilmektedir. Bunu yaparken talaş kaldırma tekniklerinden tornalama, frezeleme ve taşlama gibi talaş kaldırma metotları uygulanabilir. Bu sayede üretilmiş olan tozlar öğütme yapılarak çok daha ince tozlar elde edilebilir. Yöntem sırasında karşılaşılabilecek oksitlenme, yağlanma ve kirlenme problemleri yaşanabilir. Özellikler yüksek karbonlu çelik tozlarının bu yöntemle üretilmesi tercih edilir.

Öğütme:

Öğütme işlemi hem metal tozu üretmek için kullanılan bir teknik olmakla birlikte aynı zamanda farklı yollarla üretilen tozların da öğütülmesi ve kırılması için kullanılmaktadır. Yapısal olarak kırılabilir karakterdeki metal tozlarının üretiminin yapıldığı bu yöntemde, esas olarak öğütülmesi istenen malzeme ile sert ve rijit bir cisim üzerinden darbe kuvveti oluşturularak işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 1.12. Bilyalı öğütme(Milli, 2017)

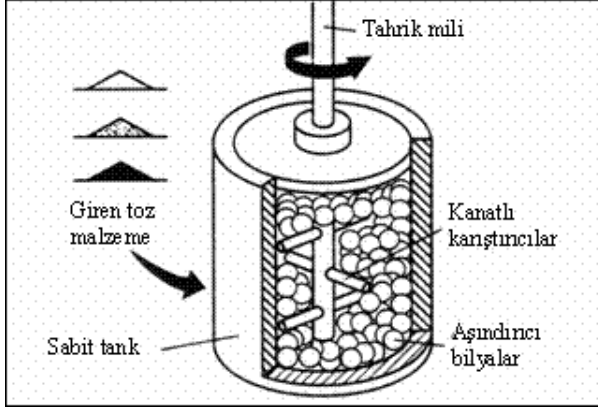
Öğütme işleminde Şekil 1.12. 'de görüleceği üzere kırılacak metal, önce büyük bir hazneye konulmaktadır. Bu hazne içerisinde büyük boyutlarda, rijit ve aşınmaya dirençli bilyalar bulunur. Sağlıklı bir öğütme işlemi için, malzemeler hazneye konulmadan önce bir şekilde kırılmış olmalıdır.

Bilyalar sayesinde çarpışma ve titreşimin etkisiyle eğer malzeme gevrek bir yapıda ise çok daha küçük tozlara rahatlıkla öğütülür. Düzgün bir öğütme işlemi için hazneye konulması gereken bilyaların hacmi ve öğütülecek malzeme miktarı büyük önem taşımaktadır.

Mekanik alaşımlama:

Geçmişten bugüne mekanik alaşımlama yöntemi, günümüzde kuru ve katı yapıdaki tozların birbirlerine sırasıyla bağlanmasında kullanılır.

Mekanik alaşımlama yönteminde Şekil 1.13.'de gösterildiği gibi tozlar hava almayan ve etrafı kapalı bir tank içerisine konularak tahrik mili döndürülür. Tank içerisinde bulunan tozlar, mil kolları ve bilyalar yardımı ile öğütülür. Bu sayede tozlarda kırılma meydana gelir. Kırılma sonrası da tozların birbirine bağlanması sağlanır.

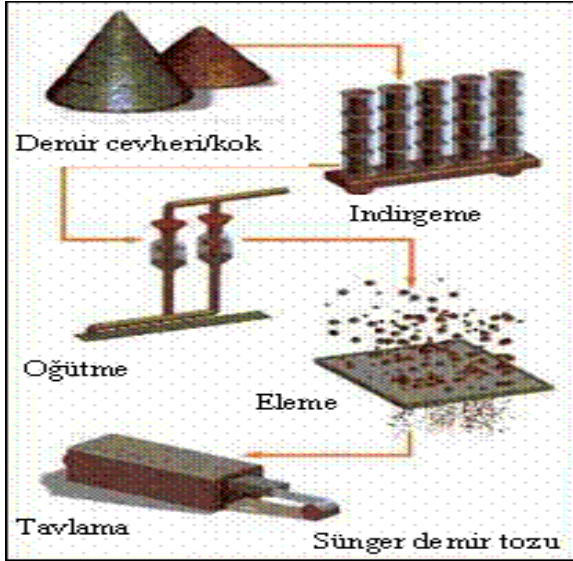


Şekil 1.13. Mekanik alaşımlama (Milli 2017)

1.3.2 Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntem sayesinde metal tozlarının bu şekilde üretimi, aslında metal oksit malzemelerin CO veya H gibi indirgeme özelliği bulunan gazlarla kimyasal olarak tepkimesi işlemidir.

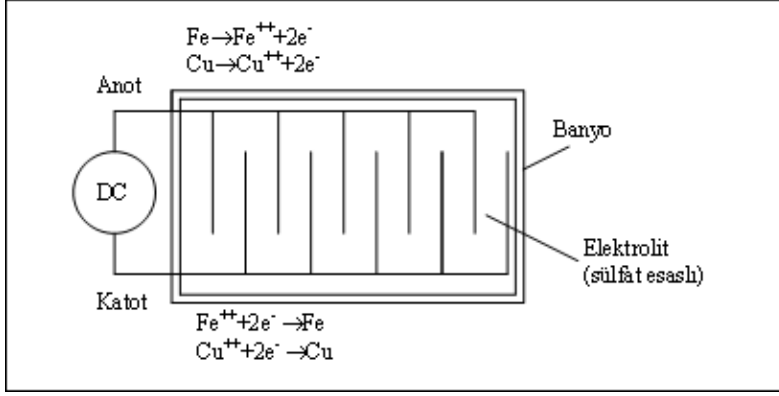
Şekil 1.14.'de bu yöntemle demir tozu üretimi görülmektedir. Üretilen demir malzeme 1260 °C sıcaklıkta birbirine kaynak olan tozlardan oluşur. Bu bileşimden istenilen ve uygun tane boyutunda malzeme elde edilmiş olur.



Şekil 1.14. Kimyasal yöntemlerle demir tozu üretimi (Milli, 2017)

1.3.3 Elektroliz Yöntemi

Oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vermek amacıyla elektrolitik banyoda çökertme işlemi yapılır. Daha iyi sonuç almak için iyi kırılabilme özelliğinde katotda da toplanması mümkündür. Elektrolitik banyo teknesinin kurşun kaplı olması önemlidir.



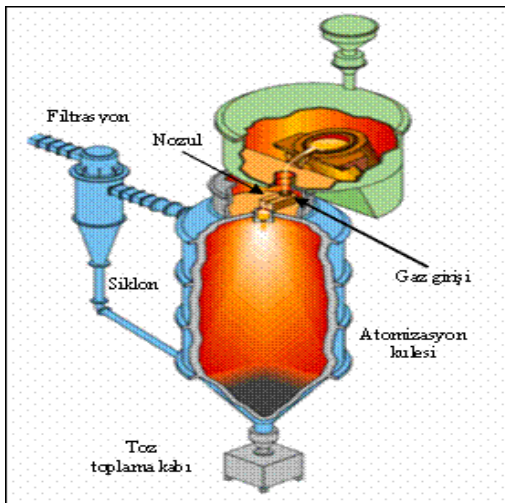
Şekil 1.15. Elektroliz ile demir tozu üretimi(Milli 2017)

Elektroliz yönteminde Şekil 1.15.'te görüleceği gibi elektrolitik banyoda çökertilen veya katotta toplanan metal rahatlıkla öğütme işlemi yapılarak ince toz haline getirilir. Bu sayede üretilen tozlar yıkanarak elektrolitten iyice temizlenmiş olur. Ayrıca kurutma işlemi asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenmesi sağlanır.

1.3.4 Atomizasyon Yöntemleri

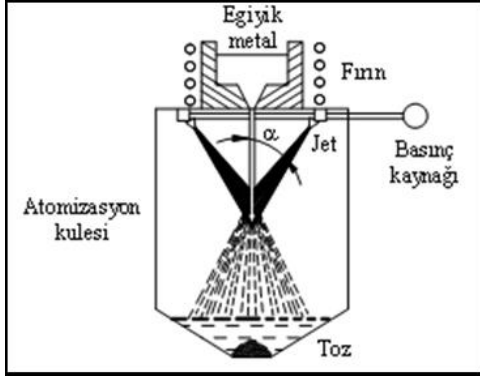
Atomizasyon yöntemleri kullanılarak bir sıvı demetinin farklı farklı boyutlardaki çok sayıda sıvı damlacıklara ayrılması sağlanır. Bu işlemin esas prensibi, bir potanın dibindeki delikten akan eriyik metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesi sağlanır. Bu işlem için genellikle hava, azot ve argon kullanılmaktadır. Atomizasyon yöntemi esas olarak üç ana bölüme ayrılır:

1. Ergitme,
2. Atomizasyon,
3. Katılaşma ve soğumadır.



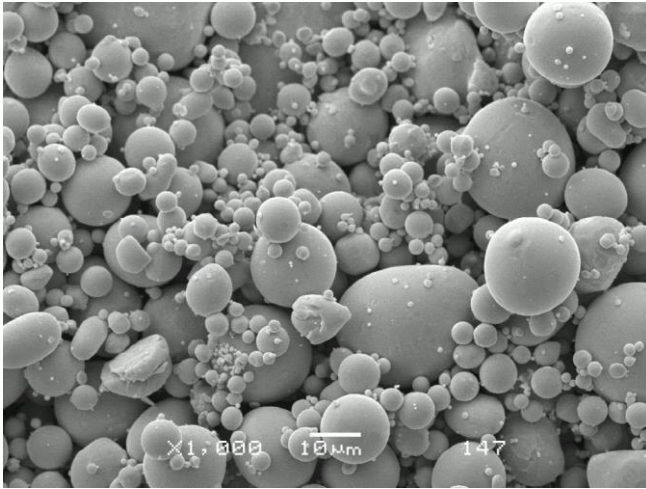
Şekil 1.16. Düşey gaz atomizasyon ünitesi (Milli, 2017)

Sırası ile yapılan bu işlemlerden sonra genellikle yüzey oksitlerinin azaltılması, gazlardan uzaklaştırma ve toz boyutu dağılımı gibi ürünün arzu edilen özelliklere getirilmesi için ek işlemler yapılması gerekmektedir. Tipik olarak bir suyla atomizasyon tankı Şekil 1.17.'de verilmiştir.



Şekil 1.17. Su atomizasyon işlemi(Milli,2017)

Atomizasyon yönteminde gaz ile atomize edilen tozlar küresel veya küresele yakın şekle sahiptirler. Şekil 1.18. 'deki gibi bu yöntemle üretilmiş olan tozların ortalama tane boyutu 100 μm 'dir. Su ile atomize edilen tozlar genel olarak farklı geometrik şekillidir.



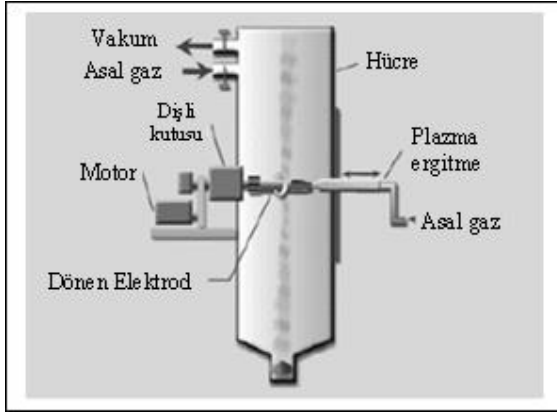
Şekil 1.18. Gaz atomizasyonu ile üretilen küresel şekilli kalay tozlarının genel yüzey görüntüleri(Milli, 2017)

Disk üzerinde bulunan set ve yarıklara temas eden sıvı yapıdaki metal parçalanarak Şekil 1.19. 'daki gibi etrafa saçılır. Saçılan bu metal parçacıklar ise soğutulurak katılaşmaları sağlanarak işlem gerçekleşir.



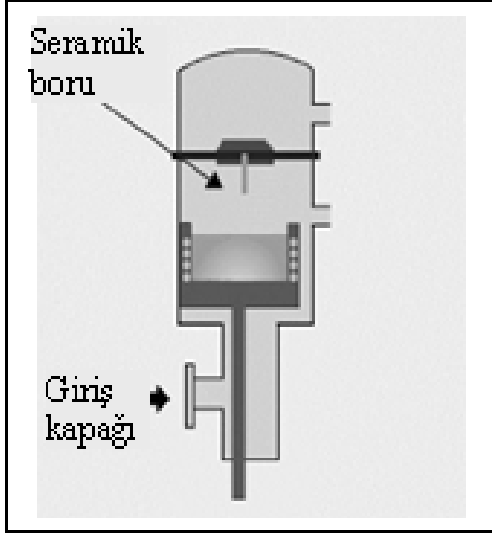
Şekil 1.19. Döner disk ile atomizasyon yöntemi(Milli, 2017)

Santrifüj atomizasyon yöntemi ise, dönen elektrotun ergiyen uç kısmındaki sıvı metal damlaların atomize olması prensibine dayanmaktadır.



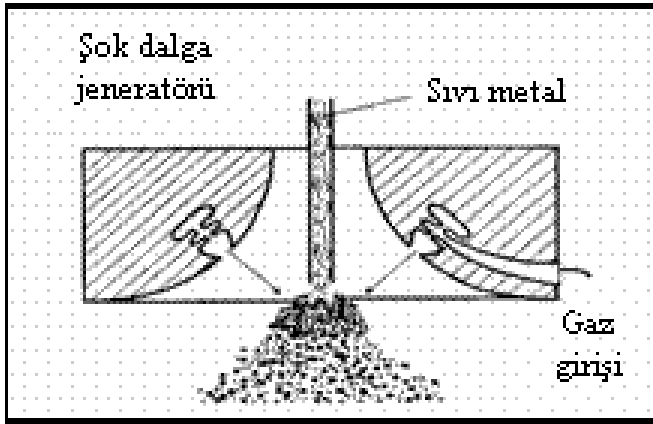
Şekil 1.20. Döner elektrot ile atomizasyon yöntemi(Milli, 2017)

Döner elektrot kullanılarak yapılan santrifüj atomizasyon yönteminde Şekil 1.20. 'deki gibi tozu elde edilecek metalden yapılmış elektrot ile ergimeyen tungsten elektrot arasında bir ark oluşturulur. Bu yöntem sayesinde döner elektrot yöntemiyle, kobalt, krom ve titanyum alaşım tozlarının üretilmesi sağlanır.



Şekil 1.21. Vakum atomizasyon yöntemi (Milli, 2017)

Şekil 1.21. 'de örneği verilen vakum atomizasyonu yönteminde, basınçlı gaz altında bulunan sıvı metale ani olarak vakum uygulanması sonucunda gaz genişlerken metalin atomize olması esasına dayanan bir metottür.



Şekil 1.22. Ultrasonik gaz atomizasyonu(Milli, 2017)

Ultrasonik gaz atomizasyon yönteminde ise, yüksek basınçlı gaz rezonans boşluklarının birinden diğerine ivmelendirilerek ultrasonik ses dalgalarının oluşması sağlanır.

Atomizasyon yöntemlerindeki yüksek miktardaki toz üretim hızı birim zamanda üretilen ürün sayısının fazla olmasından kaynaklı olarak, düşük maliyetli ve ekonomik olduğundan dolayı diğer yöntemlere göre farklı bir üstünlük sağlar.

1.4 MEKANİK ALAŞIMLAMA/ÖĞÜTME

Mekanik alaşımlama, malzemenin ısısal veya kimyasal işleme maruz kalmadan alaşımlama işlemidir. Mekanik öğütme, alaşımlama işlemine göre avantajlıdır. Bu sayede öğütmenin alaşımlama işlemine öre üstünlükleri, mekanik olarak gerekli olan tane boyutundaki azalma görülürken, alaşımlama işleminde gerekli olan operasyon süresinin kısa olmasıdır.

MA hemen hemen her kompozisyonda toz üretiminde kullanılır. MA 1960'lardan beri, oksit dağılımıyla mukavemetlendirilmiş süper alaşımlarda yüksek sıcaklıkta sürünme dayanımını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem tek alaşım kompozisyonunda, tek kalite ve arzu edildiğinde yeni alaşımların geliştirilmesinde çok kullanışlıdır.

MA küçük miktarlarda veya hızlı prototip için standart dışı bileşimlerin hızlı bir şekilde üretilmesine olanak sağlamaktadır. MA ile üretilen malzemelerde matris içerisindeki parçacıklar arası mesafenin azalması ile malzeme mukavemetinin arttığı görülmüştür.

MA yöntemi ile meydana gelen malzemelerin, benzer ya da benzer olmayan üretim metodları ile üretilmiş olan malzemelere göre avantajları bulunmaktadır. Bu üstünlükler; normal üretim metodları ile üretilmesi maliyetli ve uzun süren parçalar üretilebilmektedir. Korozyon direnci yüksek yeni kompozit malzemeler üretilebilmektedir. MA işleminin avantajları olmakla beraber dezavantajları da bulunmaktadır. Yüksek maliyetlere katlanma, uzun eleme-karıştırma süresi olması ve oksijen bazlı yabancı maddelerin olması başlıca dezavantajlardır. MA için literatürde bazı başka terimlerde kullanılmaktadır. Bunlar; reaksiyon öğütme, sıfırın altında öğütme, çubuk öğütme, mekanik aktiviteli tavlama işlemi, ikili mekanik alaşımlama, mekanik aktiviteli kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi öğütmedir.

Reaksiyon öğütme: Bu işlem katı hal reaksiyonu olarak MA'ya eşlik eden ifadedir. Bu yöntemde DISPAL adı verilen Al matris ve alaşımlarında Al_2O_3 ve Al_4C_3 dağılımı içeren malzeme elde edilmiştir. Reaktif katı-sıvı-gazların bulunduğu metal tozların öğütülmesi, metal oksitleri, nitrürleri ve karbürleri sentezlemek için düzenli bir uygulamadır. Bu yöntemle TiN, WC, TiB_2 gibi bileşikler üretilebilir.

Sıfırın altında (aşırı soğukta) öğütme: Bu üretim yöntemi her geçen gün artarak yaygınlaşmaktadır. Bu öğütme uygulamasında çok düşük sıcaklıklarda veya sıvı azot gibi aşırı soğuk madde kullanılarak yapılır. Böylece Al ve Al alaşımları 1-10 nm boyutunda Al-Nitrit veya Oksi-Nitrit partikülleriyle mukavemetlendirilmiş Al matris tozlar öğütülür.

Çubuk öğütme: çubuk öğütme özellikle işlem sırasında toz kirlenmesini azaltmak amacıyla Japonya'da geliştirilmiştir. Klasik bilyalı öğütmede, öğütme malzemelerinin yüzeyi darbe etkisiyle aşınmakta ve buradan dökülen parçacıklar alaşımı kirletmektedir. Buradaki kirlenmeyi azaltmak için bilyalar çubuk öğütmede uzun çubuklarla yer değiştirilmiştir. Çünkü malzemede kesme kuvveti daha çok silindirik kaptaki uzun çubukların dönmesiyle sağlanır. Bu yöntem sonucunda tozların kirlenmesinin bilyalı öğütmeden çok daha az olduğu görülmüştür.

Mekanik aktiviteli tavlama işlemi: mekanik aktiviteli tavlama işlemi kısa süreli MA ile düşük sıcaklıkta izotermal tavlamanın birleşmesinden oluşan bir işlemdir. Bu iki aşamanın birleşmesinin silikatlar gibi üretimi zor olan refrakterler için verimli (etkili) olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Mo ve silika tozlarını 1-2 saat bilyalı değirmende mekanik alaşımlamasını takiben, 2-24 saat 800°C'de tavlama sonucu MoSi₂ fazı oluşur.

İkili mekanik alaşımlama: bu yöntemde iki aşama vardır. Birinci aşamada, bileşiği meydana getiren element toz boyutları inceltir ve karışımda homojen bir dağılım oluşur. Bu karışımda yüksek sıcaklıkta yapılan tavlama ısı işlemine bağlı olarak metaller arası bileşikler oluşur. Bu metaller arası bileşiklerin arasındaki mesafe <1 µm-birkaç µm' dur. İkinci aşama sırasında, metaller arası bileşikler inceltmek ve matrisin tane boyutunu azaltmak için ısı işlem görmüş tozlar tekrar öğütülür. Gaz çıkarma işleminden sonra tozlar hacim şekli için birleştirilir. Bu yöntem ince metaller arası bileşikler üretmek için kullanışlı bir yöntemdir.

Mekanik aktiviteli kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentez yöntemi: bu yöntem kendi kendine oluşan yüksek sıcaklık sentezi ve mekanik alaşımlamanın bileşimiyle meydana gelmiştir. Bu yöntemde toz karışımı fırında bir paket ve yanma içinde tozun preslenmesiyle başlatılan nanokristal yapı ve sonra kendi kendine yüksek sıcaklık sentezlemesi reaksiyonu üretmek için mekanik olarak alaşımlanmıştır. Bazı alüminat ve Niyobyum-Alüminat gibi metaller arası bileşik bu metotla sentezlenebilir.

1.4.1 Mekanik Alaşımlamanın Avantajları

Mekanik alaşımlama, bilimsel-deneysel çalışmalara ve imalat süreçleri gibi çoklu ortamlarda kolaylık sağlamaktadır. Bu sebeple MA yöntemi hem imalat hem de sanayi alanında birçok üstünlükler sağlamaktadır. Bu üstünlükler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

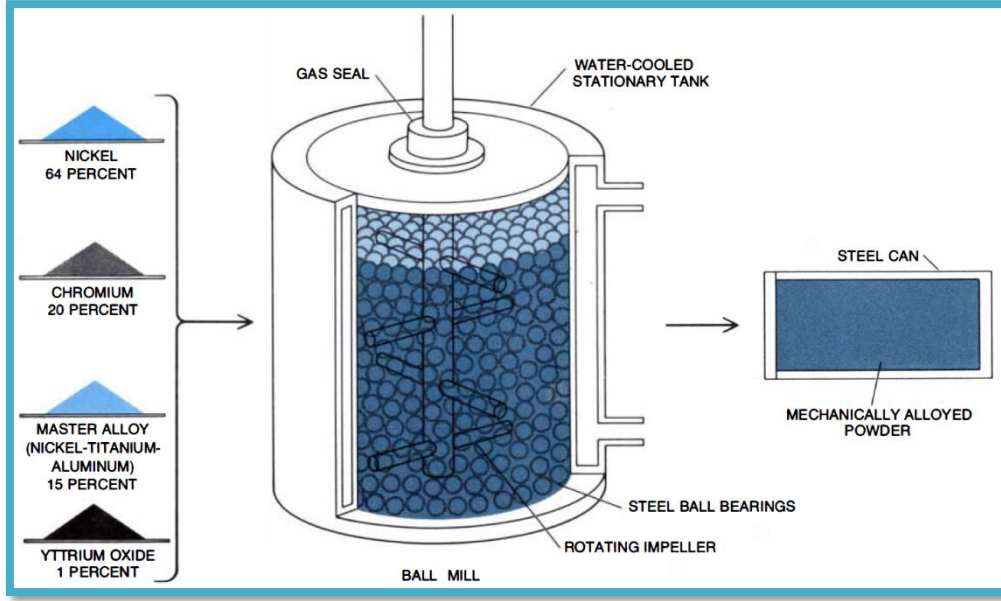
- Standart ergitme yöntemleriyle imal edilmesi zor olan element ya da bileşiklerin (WC-Co gibi) imal edilebilmesi,

- Çözünme işlemi gerçekleşmeyen hem sıvı fazda (Cu-Pb) hem de katı fazda (Fe-Cu) bulunan elementlerin üretilebilmesi,
- Ergime sıcaklıkları farklı olan malzemelerden doğrudan intermetalik yapıların imal edilebilmesi,
- Üç farklı (katı-sıvı-gaz) fazda bulunan tüm malzemelerin alaşımlanması esnasında oksit, nitrür ve karbürlerin takviye edilmesine olanak tanınması,
- Üretilmiş metal tozlarının homojen yapıda olabilmesi,
- Hem korozyon hem de aşınma dayanımı yüksek olan ve ısı kararlılığı yüksek olan kompozit malzeme imal edilebilmesi,
- Tek seferde birden fazla ve nicel olarak yüksek oranda tozun imal edilebilmesi,
- Belirli yüksek sıcaklık değerlerinde hem sinterleme hem de ısı işlem olanağı tanınması,
- Nano kristal yapıli kompozitlerin imalatına imkân tanınması,

1.4.2 Mekanik Alaşımlama/Öğütme İşlem Mekanizması

Mekanik alaşımlama, yüksek enerjili değirmen kullanılarak homojen dağılımlı oksit içeren metal toz üretim yöntemidir. Homojen dağılıma sahip ince tozlardan oluşan ve genellikle bir katı hal reaksiyonundaki yüksek enerjili öğütme işlemidir. Mekanik alaşımlama tekniği ile son derece ince ve homojen mikroyapıların üretilmesini mümkün kılan toz malzemelerin inert bir ortamda yoğun öğütme işlemiyle sürekli olarak kırılma ve soğuk kaynaklanmaya hemen ardından yeniden kırılma ile yeniden kaynamaya maruz bırakılan düşük sıcaklıkta yapılan alaşım sentezleme yöntemidir.

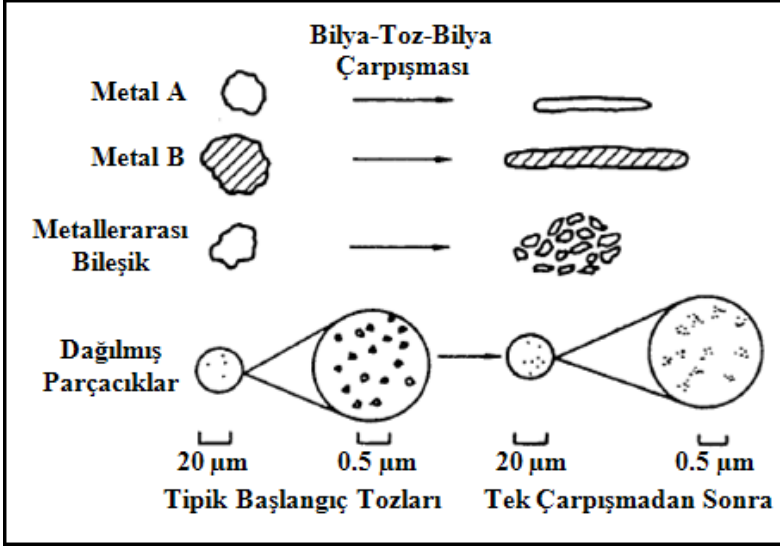
Mekanik alaşımlamada üretilmesi istenilen metal tozları Şekil 1.23. ' de görüldüğü gibi yüksek enerjili atritör içerine birlikte konulur. Tozların en az bir tanesinin bağlayıcılı olması için yumuşak olmalıdır, diğer tozun ise sert oksit parçacıkları olmalıdır.



Şekil 1.23. Yüksek enerjili atritörün 3D şematik görünümü(www.what-when-how.com)

Bir başka ifadeyle mekanik alaşımlama, tozların paslanmaz çelik kazanlarda sertleştirilmiş çelik bilyeler veya tungsten bilyeler ile istenilen sürede öğütülerek yapıldığı bir kat hal alaşımlama işlemidir.

Çoğunlukla katı hal alaşımlaması olarak isimlendirilen mekanik alaşımlama/öğütme yöntemi, kontrollü mikroyapıya sahiptir. Mekanik olarak alaşımlanacak başlangıç tozları Şekil 1.24. 'de şematik olarak gösterilmektedir. Tipik olarak, toplam yaklaşık 0.2 mg ağırlığında yaklaşık 1000 parçacık her bir çarpışmada sıkışmaktadır. Öğütmenin başlangıç aşamasında parçacıklar yumuşak olduğu için (sünek-sünek ya da sünek-kırılgan malzeme denkliği tercih edilirse), parçacıkların beraber kaynaklanması ve yüksek boyutlu elementler oluşturması eğilimi yüksektir. Çok geniş bir grup parçacık boyutları oluşur ve bazıları başlangıçtaki parçacıklardan üç kat büyük olabilir. Bu aşamada kompozit yapıdaki parçacıklar temel içeriklerinin çeşitli kombinasyonlarını içeren bir eğilime sahiptir. Süren deformasyonla malzemeler deformasyon sertleşmesine uğrar ve bir yorulma mekanizmasıyla katmanların ayrılmasıyla kırılmaktadır. Kırılmaya olan eğilim soğuk kaynaklanmadan fazladır. Örneğin bilyelerin devam eden darbelerinden dolayı parçacıkların anatomisi devamlı inceltir. Fakat tane boyutu eşit kalmaya devam eder. Sonunda katmanlar arası mesafe azalmaktadır ve parçacık içindeki katmanların sayısı artmaktadır.

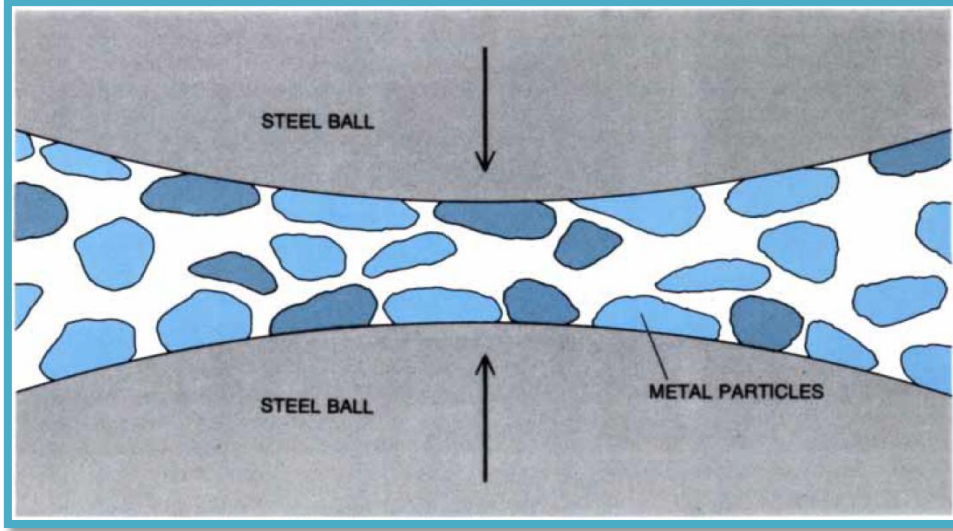


Şekil 1.24. Mekanik alaşımlamada kullanılan element başlangıç tozlarının ve deformasyon karakteristiklerinin gösterimi (Batıbay, 2013)

Mekanik alaşımlama işlemi, uygulanması düşünülen tozların hem kompozisyonu ve hem de mikroyapılarının istenilebilen şekilde değiştirilebildiği veya oluşturulabildiği esnek bir işlemdir.

Bilyalı öğütme, bir ufalama işlemi olarak kullanıldığında, parçacık boyutu kırılma yoluyla düşerken parçacık kimyası ise değişmemektedir. Mekanik Alaşımlama yöntemini, diğer bilyalı öğütme işlemlerinden ayıran en önemli özellik ise, parçacık kırılmasının sürekli formda sağlanması ve mekanik alaşımla boyunca parçacıkların kaynaklaşmasıdır.

Sürekli bir formda gerçekleşen bilya - toz - bilya veya bilya - toz- kap çarpışmaları sırasında kırılan parçacıklar atomik olarak temiz yüzeyler yaratır. Mekanik alaşımlama soy bir ortamda yapıldığından kırılan bu yüzeyler oksitlenmezler ve böylece bu tür iki yüzey arasında çarpışmalar sırasında kaynaklaşma olur ve işlem sürecinde olmaya devam eder.



Şekil 1.25. Mekanik alaşımlama sırasında bilya-toz-bilya çarpışması(www.what-when-how.com)

Küçük parçacıklar kırılmadan deformasyona dayanabilmektedir. Bu aşamada her bir parçacık başlangıç içeriklerinin hepsini birlikte karıştırıldığı oranda bileşik içerir ve parçacıklar deformasyon enerjisinin birikiminden dolayı doyma sertliğine ulaşırlar. Parçacık boyut dağılımı dardır. Çünkü büyük parçacıkların boyutu, küçük parçacıkların topaklanarak büyüme hızıyla aynı oranda küçülmektedir.

Yukarıda sözü edilenlerden açıkça görüldüğü gibi MA esnasında, parçacıklar aşırı deformasyona maruz kalır. Hata yapısının varlığı elementlerin matris içerisine dağılma kabiliyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca, inceltmiş yapısal özellikler difüzyon mesafelerini azaltmaktadır. Öğütme esnasındaki sıcaklık miktarındaki az da olsa yüksek difüzyon kabılına daha çok yardım etmektedir. Sonuçta içerik elementleri arasında doğru alaşımlama oluşmaktadır. Bu alaşımlama nominal olarak oda sıcaklığında olurken, bazı durumlarda alaşımlamanın yapılabilmesi için mekanik alaşımlanmış tozun yüksek sıcaklıkta tavlanması gerektirebilmektedir. Metallerarası bileşiklerin oluşumu istendiğinde doğrudur.

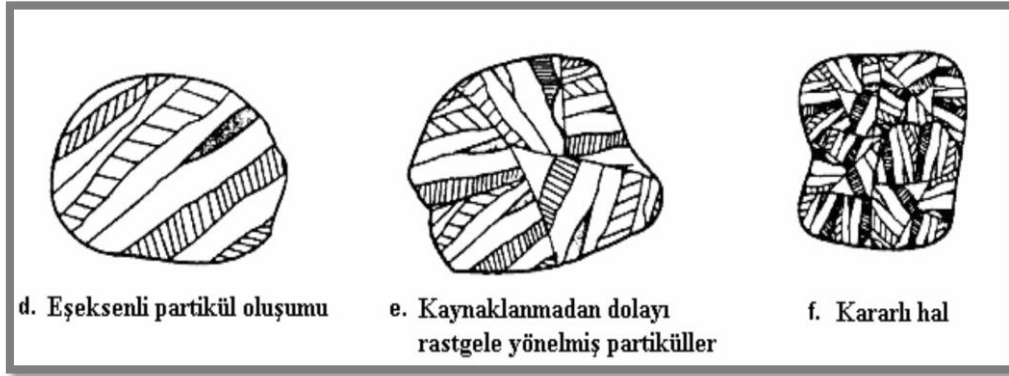
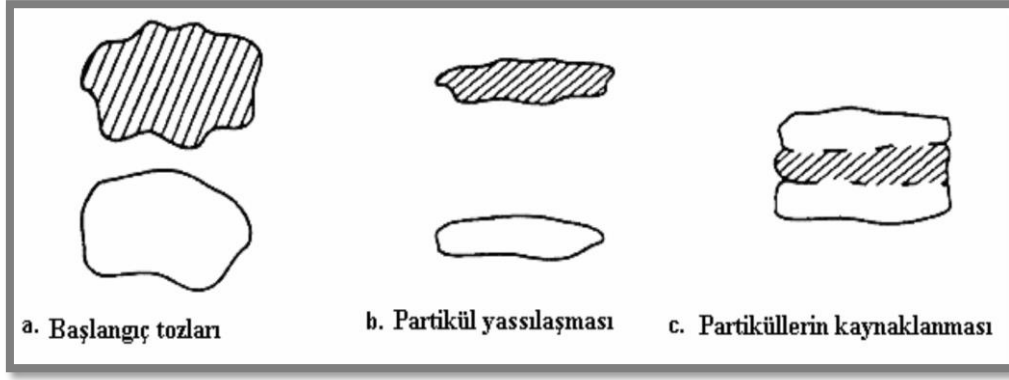
Herhangi bir sistemde muayyen bir yapı geliştirmek için gerekli özel zaman başlangıç parçacık boyutunun ve içeriklerin (karışımın) karakteristiklerinin ve MA operasyonu yapmak için özel ekipman ve bu ekipmanın çalışma parametrelerinin bir fonksiyonu olabilir. Fakat içyapının inceltme hızı (parçacık boyutu, tane boyutu, lameller boşluk vb.) işleme hızıyla beraber düşünüldüğünde logaritmiktir. Bu yüzden başta bulunan tozların boyutu göreceli olarak önemsizdir. Birkaç dakikadan iki saate kadar, lameller mesafe çoğunlukla küçülür ve tane ebadı

nanometre boyutlarına inceltir. Nano yapılı malzemelerin elde edilebilme kolaylığı niçin MA'nın nanokristal malzeme üretmek için yaygınca kullanıldığının bir sebebidir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, metallerin ve alaşımlarının üç farklı kombinasyonlarının; sünek-sünek, sünek-kırılğan ve kırılğan-kırılğan mekanik alaşımlamasını yapmak mümkündür. Bu yüzden, MA mekanizmasını bu kategorilerin altında incelemek uygundur.

Sünek – sünek alaşımlama:

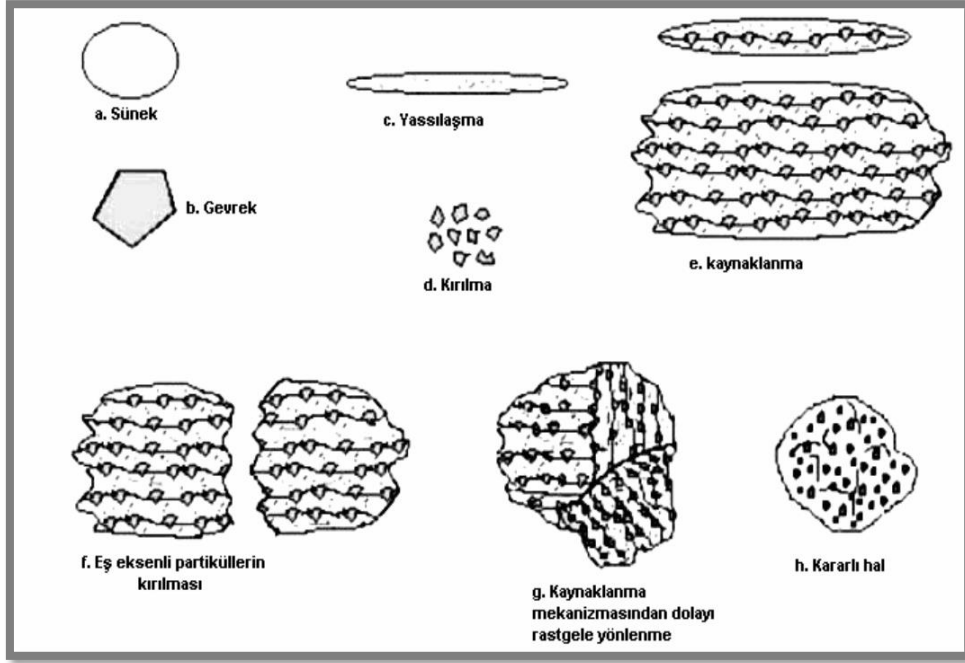
Mekanik alaşımlama için sünek-sünek malzeme kompozisyonu idealdir. Benjamin başarılı bir alaşımlama için en azından % 15 sünek malzemenin gerekli olduğunu öneriyor. Doğru bir alaşımlama için partiküllerin kırılıp, soğuk kaynaması ve bunun sürekli tekrarlanması gerekmektedir. Eğer partiküller sünek değilse soğuk kaynama meydana gelmez. Mekanik alaşımlamanın ilk evrelerinde partiküller mikro dövmenin etkisiyle plaka/yassı şekiller alırlar. Çok az miktardaki tozlar, bir yada iki partikül kalınlığındadır ve yüzeylerde ayrıca kaynaklaşma başlar. İleriki aşamada bu partiküller birbirlerine soğuk kaynar ve kompozit lameller şeklini alır. Bu aşamada partikül boyutunda bir artış gözlenir. Artan mekanik alaşımlama zamanıyla toz parçacıkları sertleşir. Sertlik sonucunda kırılğanlık yükseli ve partiküller eş eksenli boyutlarda parçalanır. Mekanik öğütme ile kaynamış tabakanın yapısal lamelleri kaba ve ince yapılı parçacıklar lineer halden daha kıvrık bir hale gelmektedirler ve her hangi bir tercihli yönlendirme olmaksızın eş taneli toz partikülleri birbirleriyle rastgele kaynar. Alaşımlama, azalmış difüzyon aralık kombinasyonları, artan latis hata yoğunluğu ve öğütme esnasında meydana çıkan ısılardan dolayı bu aşamada meydana gelir. Sertlik ve partikül boyutu bu aşamada bir doyumluk değerine ulaşma eğilimindedir ve kararlı durum aşaması olarak adlandırılır. Daha ileri öğütme aşamalarında atomik seviyede, katı çözeltilerin oluşumunun bir sonucu olarak intermetalik ya da amorf fazlar meydana gelir. Tabaka aralığı bu aşamada çok ince ya da optik mikroskop altında artık görülmeyecek derecededir. Şekil 1.26. 'da mekanik alaşımlama esnasındaki sünek-sünek sistem işlem basamakları gösterilmiştir. Mekanik alaşımlama işleminin tamamlandığının ve homojen bir yapıya erişildiğinin bir işareti öğütme aracından kolaylıkla çıkarılabilmektedir.



Şekil 1.26. Mekanik alaşımlama esnasındaki sünek-sünek sistem işlem basamakları(Milli, 2017)

Sünek – gevrek alaşımlama:

Geleneksel oksit dağılımla güçlendirilmiş alaşımlar bu kategoriye girmektedir çünkü gevrek oksit partiküller sünek matrise dağılmıştır. Öğütmenin ilk aşamasında gevrek parçacıklar kırılmaya, sünek parçacıklar ise deformasyona maruz kalırlar. Daha sonra, sünek parçacıklar kaynaklanmaya başladığında gevrek parçacıklar bilyelerin çarpışmasıyla birden fazla sünek parçacığın arasında kalmaktadır. Sonuç olarak, kırılmış takviye parçacıklar kaynaklanmış metal parçacıkları ara yüzey sınırları içine yerleşmektedirler. Gerçek kompozitler oluşmaktadır. Soğuk kaynaklanma mekanik alaşımlama işleminde etkili bir mekanizmadır. Parçacıkların morfolojisi laminal parçacıkların kümeleşmesiyle değişmektedir. Deformasyon, kaynaklanma ve katı dağılım ile sertleşen malzemede kırılma işlemini arttırmaktadır. Eş eksenli morfoloji oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Kaynaklanma ve kırılma mekanizmaları dengeye ulaştıktan sonra ara yüzey sınırlarında rastgele yönelmiş kompozit parçacık oluşumunu arttırmaktadır. Şekil 1.27. 'de mekanik alaşımlama işlemi esnasında sünek-gevrek sistemin işlem basamakları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.27. Mekanik alaşımlama esnasındaki sünek-gevrek sistem işlem basamakları(Milli, 2017)

Gevrek – gevrek alaşımlama:

Sezgisel bir bakış açısından bakıldığında iki ya da daha fazla gevrek-gevrek bileşenli sistemlerde benzer alaşımlama gerçekleşmeyecektir. Sistemde sünek bir bileşenin olmaması kaynak olayının meydana gelmesini engeller. Kaynak durumunun olmaması alaşımlamanın da meydana gelmeyeceğini gösterir. Bununla birlikte Mn-Bi ve Si-Ge gibi gevrek-gevrek sistemlerde alaşımlamanın gerçekleştiği rapor edilmiştir. Gevrek intermetalik karışımların öğütülmesiyle amorf fazlar da üretilmiştir.

Gevrek bileşenler öğütme esnasında parçalanmaktadır ve partikül boyutları gittikçe azalmaktadır. Böylece çok küçük partikül boyutlarında partiküller sünek bir biçimde davranır ve daha küçük partikül boyutlarına erişmek mümkün değildir. Bu durum ufalanma ya da parçalanma sınırı olarak adlandırılır. Gevrek-gevrek sistemlerin bileşenlerinin öğütülmesi esnasında sertliği yüksek olan (daha gevrek) bileşen ufalanır ve sertliği daha düşük (daha az gevrek) olan bileşenin içine gömülür. Bu durumda sert silisyum partikülleri yumuşak germanyum matrisine gömülür. Ayrıca tüm tip sistemlerde alaşımlamanın meydana gelebilmesi için difüzyon gerekli görünüyor olsa bile, örneğin likit nitrojen sıcaklığı gibi düşük sıcaklıklarda gevrek-gevrek sistemlerde (Si-Ge) bu alaşımlamanın meydana gelmediği görünüyor oysa sünek-sünek ve sünek-gevrek sistemlerde alt çevre sıcaklıklarında alaşımlama görülmüştür. Bu durum sünek-sünek lamel geometri ve/veya sünek-sünek sistemlerde ağır

plastik deformasyon ile sağlanan difüzyon yolları karşısında gevrekgevrek granüllerde uzun difüzyon aralıkları gereksiniminden kaynaklanabilir. Olası mekanizmalar, plastik deformasyon içerebilen gevrek bileşenlerin öğütme esnasında malzeme transferine katkıda bulunabilir. Bu durum lokal sıcaklık artışı, hatasız hacimlerde mikro deformasyon, yüzey deformasyonu ve tozların öğütülmesi esnasında hidrostatik gerilme durumlarında mümkün olmaktadır.

1.4.3 Mekanik Alaşımın Kinetikleri

Belirli bir mekanizmanın anlaşılmasında çok önemli olan bir diğer hususta mekanizmanın kinetikleridir. Mekanik alaşımlamanın istenilen özelliklerde gerçekleşmesi ve uygun oranlarda ilerleyebilmesi için genellikle yüksek sıcaklıklar gerektiren katı hal reaksiyonlarının, nasıl olup da oda sıcaklığında gerçekleştiği üzerinde durulması gereken bir konudur.

Tüm katı hal reaksiyonları, işleme giren elemanlar arasında bir veya daha fazla ürün safhasının oluşumunu gerektirir. İşlemden reaksiyon hacmi, reaksiyona girenler ayrıldıkça, kademe kademe düşürülür.

Çarpışma süreçleri:

MA işleminin mekaniğinin tanımlanmasında çarpışan bilyaların nispi hızı oldukça önemlidir. Nispi hızı kullanılan öğütme cihaz geometrisi ve işleme özellikleri bazında deneysel olarak belirlenebilmektedir.

MA sisteminde toz çarpışması sırasında topaklanmış olan metal toz partiküllerinin sıkışma oranları öğütücü bilyalara nazaran çok daha küçüktür. Birbirine yakın mesafede bulunan toz yapılı malzemelerde kesme kuvveti etki ederken, bilyalar arasındaki toz yapılı malzemelere darbe kuvveti etki etmektedir. Farklılık kaynakları çarpışma ve dönme yönünden kaynaklanmaktadır. Bu farklılıklar sistem içinde gelişen güzel yönlendirmeler meydana getirmektedir.

Difüzyon:

Mekanik alaşımlama işleminde reaksiyon oranları, ilk kontak bölgeleri ve üretim kademeleri süresinde reaksiyona giren elemanlarının birbirleri içindeki difüzyonu ile değişmektedir. Katı-hal reaksiyonlarının genelinde parçacıkların ilk temas alanı sabit ve difüzyon sınırlıdır. Tozların reaktivite derecesi de difüzyonun gerçekleşmesinde önemli bir

etkendir. Yüzeydeki oksit ve benzeri tabakalar difüzyonu etkilemektedir. Ortaya çıkan bu etkileşimler film şeklinde bir engelleyicidir.

Kontakt alanları boyutu:

Reaksiyon ara yüzey alanı sadece ilk kontakt alanlarına bağlı değildir. Aynı zamanda, öğütme işlemi sırasında parçacık büyüklüğü azaldıkça ara yüzey alanı da artar. Böylece kimyasal reaktivite öğütme sırasında sürekli artar. Dahası bu artırılmış reaksiyon ara yüzeyi, dinamik olarak kırılma olayları ve tekrar kaynaklaşma sırasında tozlar sürekli kırıldıkça sürekli oluşur.

Reaksiyon oranını arttırıcı üçüncü etki de, mekanik alaşımlanmış tozlar içinde mevcut bulunan artan difüzyon oranıdır. Bunun sebebi de difüzyonun oda sıcaklığında olmasını sağlayan plastik deformasyon yoluyla çok sayıda kristal bozulmasının ortaya çıkmasıdır. Aslında MA devamınca reaksiyon oranı o kadar artar ki öğütme sırasında kendini sürdüren yanma olayları bile olabilir.

Reaksiyon ve kimyasal kinetikler:

Mekanik alaşımlama sırasındaki reaksiyon kinetikleri ve bunun sonucu ortaya çıkan kimyasal kinetikleri arasındaki ilişki; öğütme parametrelerinden yük oranı ile öğütme süresi arasında ters orantı olduğunu gösterilmiştir. Bunun bilya/toz çarpışmalarının sayısı olmadığını, ama öğütme zamanını kontrol eden bir çarpışma sırasında her bir parçacığın absorbe ettiği enerji olduğunu belirtmektedir.

Ancak MA kinetikleri, hem bilya etkili çarpışmaların sayısal toplamına hem de çarpışma enerjisine bağlıdır. Sonuç olarak mekanik alaşımlamanın kimyasal kinetiklerini etkileyen faktörlerin anlaşılması suretiyle, mekanik alaşımlama için relatif işleme süreleri optimum hale getirilebilecektir.

1.4.4 Mekanik Alaşımlama/Öğütme Ekipman ve İşlem Parametreleri

Mekanik alaşımlama işleminin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için işlem üzerinde etkisi olan parametrelerin doğru bir şekilde seçilmiş olması gerekmektedir. Tozun içeriğini etkileyen en önemli parametrelerden bazıları şunlardır;

- Öğütücü tipi,
- Öğütücü kap,

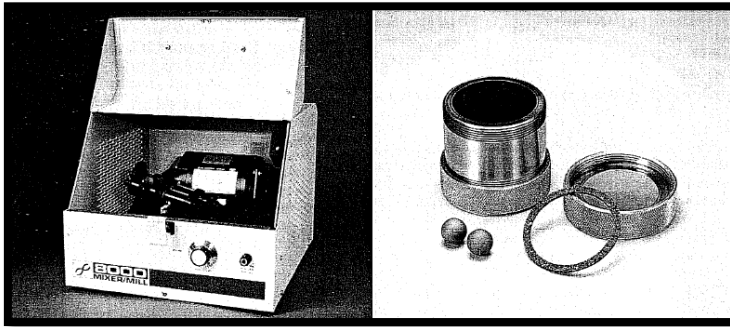
- Öğütme hızı,
- Öğütme zamanı,
- Öğütme kabı doluluk miktar,
- Öğütme sıcaklığı,
- İşlem kontrol kimyasalıdır.

Yukarıda bahsedilen parametreler birbirinden tamamen bağımsız değildirler. Bu nedenle doğru seçilmiş parametreler, son ürün özellikleri üzerinde olumlu sonuçlar verecektir.

Öğütücü değirmenin tipi:

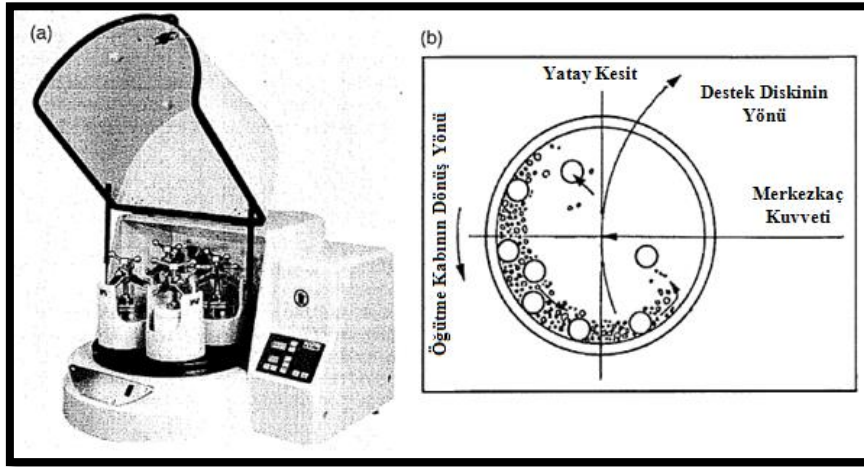
MA işleminde tane boyutunda azaltma, karıştırma veya harmanlama gibi aşamalar öğütme işleminin önemli aşamalarıdır ve kullanılan öğütücülerin cinsi çok önemlidir.

Titreşimli Bilyalı Değirmen; Bir işlemde yaklaşık 10-20 gr toz öğütebilen SPEX değirmenler gibi karıştırıcılar genellikle laboratuvar araştırmaları için kullanılırlar. Bu değirmenler SPEX CertPrep Metuchen, NJ tarafından üretilir. Bu değirmenlerin genel olanı bir hazneye sahiptir. Salınım hareketi ileri ve geri olmak üzere dakikada birkaç bin defa yaptırılmaktadır. Geri ve ileri salınım hareketi hazne bitiminin yanal hareketiyle birleştirilir ve bu yüzden hazne sekiz hareketi yapar olarak gözüktür. Bağlama hareketinin genliği (yaklaşık 5 cm) ve hızından dolayı (1200 dev/dak), bilya hızları yüksektir). Hazne malzemelerinin çeşitleri SPEX değirmenler için mevcuttur. Bu malzemeler sertleştirilmiş çelik, alüminyum oksit, tungsten karbür, zirkonyum dioksit, paslanmaz çelik, silis nitridi, hamatit, plastik ve metakrilik gibi malzemelerdir. SPEX değirmenler için tipik bir tungsten karbür hazne, sızdırmaz conta ve öğütme bilyaları örneği Şekil 1.28. 'de gösterilmektedir. MA' nın temel yönleri üzerindeki araştırmaların çoğu bu SPEX değirmenlerinin bazı çeşitleri kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 1.28. Titreşimli bilyalı değirmen ve karıştırıcı hazne(Suryanarayana, 2001)

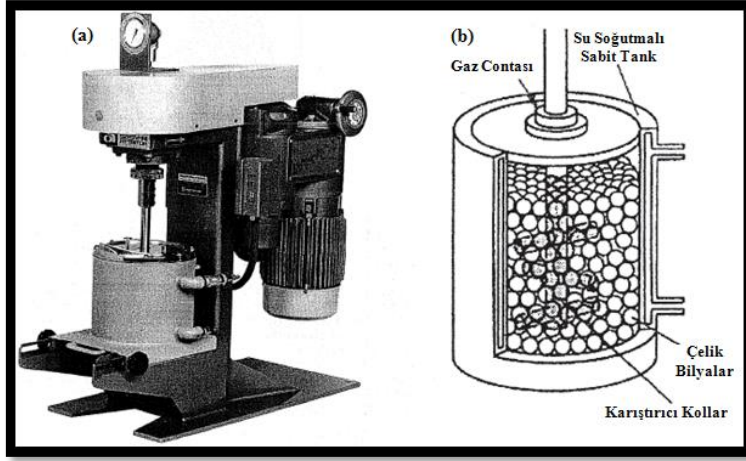
Yatay Bilyalı Değirmen: MA deneylerini yapmak için diğer popüler değirmen yatay bilyalı değirmendir. Toz bir defada yüz gramdan fazla öğütülebilmektedir. Bunlar Almanya'daki Fritsch GmbH tarafından üretilmektedir. Hazneleri gezegen gibi hareket etmektedir. Bu sebeple “planeter” diye adlandırılmaktadır. Dönen bir disk üzerine yerleştirilmektedir. Kendi eksenleri etrafındaki hareketlerini özel bir mekanizmadan almaktadırlar. Hazne ve disk zıt yönde hareket etmektedir ve merkezkaç kuvvetler sırasıyla benzer ve zıt yönde etki yapmaktadır.



Şekil 1.29. Yatay bilyalı değirmen ve değirmen içerisindeki bilyaların hareketinin şematik gösterimi(Suryanarayana, 2001)

Öğütme hazneleri ve bilyalar hamatit, silis nitridi, sinterlenmiş korundum, zirkonyum dioksit, kromlu çelik, Cr-Ni çelik, tungsten karbür ve plastik polyemitten yapılmaktadır.

Atritor Değirmeni: Atritor öğütme değirmeni, küçük çelik bilyalarla yarısı doldurulmuş dönen bir yatay tamburdan ibarettir. Tamburun dönmesiyle metal tozların bulunduğu zemin üzerine çelik bilyaların dönmesiyle oluşur. Yüksek hızdaki dönmelerde öğütme oranı da artar. Bununla beraber çelik bilyalar üzerindeki merkez kaç kuvveti etkisi, yerçekimi gücü etkisini geçer ve bilyalar tambur duvarına çarparak kuvvetten düşer. Bu noktada öğütme işlemi durur. Bir atritor bir dikey tambur ile iç kısımlarda karıştırıcı kollardan oluşan bir milden oluşur. Şekil 1.29. 'da laboratuvar ölçekli bir atritor değirmeni görülmektedir.



Şekil 1.30. Laboratuvar tipi atritör değirmeni ve değirmenin şematik gösterimi(Suryanarayana, 2001)

Boyut küçülmesi, bilyaların kaymasıyla ve partiküller arası çarpma sonucunda oluşur. Güçlü bir motorla dönen karıştırıcı kollar, tambur içerisindeki çelik bilyaların dönmesini sağlar. Toz büyüklüğünün miktarı atritör değirmenlerde öğütme zamanına bağlıdır.

MA işleminde kullanılan atritörlerin tipik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Farklı devir sayılarında hız değiştirme sürücüsü,
- Takometre devir sayısı,
- Tank ve tanka uygun kolların kolay değiştirilebilmesi,
- Tank yüksekliğinin ayarlanma mekanizması,
- Öğütülen malzemenin hızlı boşaltılma sistemi,
- Gaz giriş-çıkış tertibatıdır.

Atritör değirmeni ile MA işlemi; uygun bir toz şarjı (element veya ön alaşımlanmış) uygun öğütücü bilyalarla birlikte yüksek enerjili değirmene yerleştirilir ve toz şarjı döner bir merkezi şaft kolu ile aşındırılır. Darbe ve kesme kuvvetlerinin tane boyutu azaltma ve tank duvarları üzerine küçük bir etki ile beraber homojen bir tane dağılımı yapar. Etkili bir ince öğütme için, hem darbe etkisi hem de kesme kuvveti bir arada olmalıdır. Atritörde öğütme bilyaların rastgele hareketleri nedeniyle değişik yörüngelere sıçrarlar, bu yüzden birbirine yakın tozlara kesme kuvveti uygulanır ve bilyaların çarpmasıyla bu darbe etkisi oluşur. Bu darbe ve kesme kuvvetlerinin etkisi Şekil 1.31. 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.31. Atritör değirmeninde öğütme esnasında oluşan hareketler(Milli, 2017)

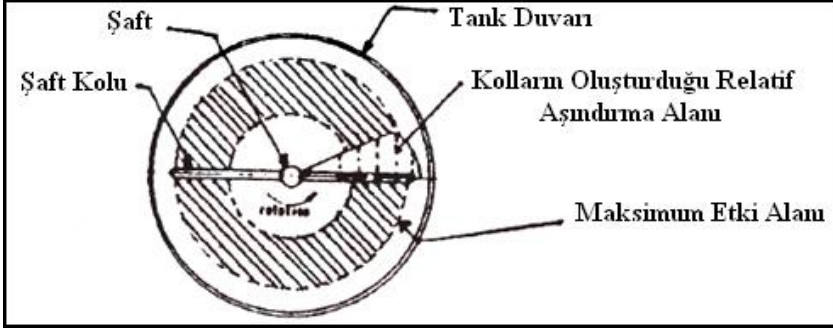
Atritörde mevcut olan aşındırıcı kollar vasıtası ile öğütücü bilyaların düzensiz hareketi sayesinde darbe etkileri oluşur. Kesme etkisi ile gelişigüzel hareket eden bilyaların farklı dönme hareketlerine yayılmasıyla oluşur. Atritörün etkili olmasının sebebi ise birkaç yatay kola sahip merkezi döner bir kol sayesinde öğütücü bilyalarla toz şarjının beraber hareketinin bozulması ve böylece tank hacmi boyunca düzensiz hareketlerin ve çarpışmaların artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.32. Atritörde toz şarjı ile bilyaların hareketi(Milli, 2017)

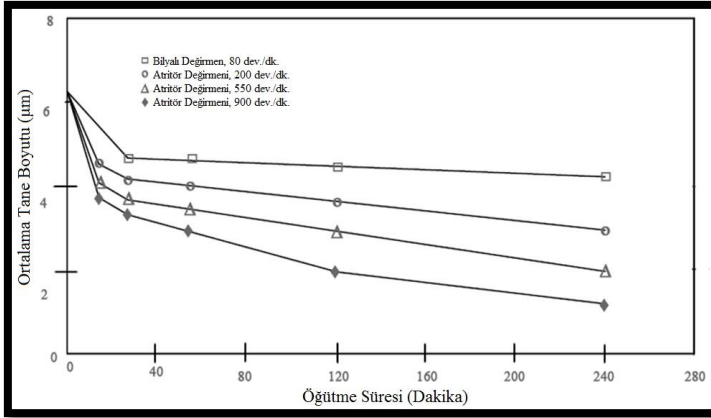
Atritör değirmenini, titreşimli veya yatay bilyalı değirmenden ayıran en önemli özellik MA işleminin şaft kolu yardımı ile gerçekleştirilmesidir. Bu sayede, bilya-toz-bilya veya bilya-toz-şaft kolu gibi çarpışma sayılarının artmasıyla daha kısa sürede ve daha etkili bir şekilde MA işlemi gerçekleşir. Bu şekilde de atritör diğer değirmenlere nazaran giren enerji bilya şarjına ilave olarak kabın hareketi için kullanılmadığından daha az enerji ile öğütme işlemi yapılır.

Atritörde aşındırıcı kuvvetlerin dağılımı, tank etrafında sabit bir hareket kuvveti ile sonuçlanır. Bilya aşındırmasının en çok olduğu alan Şekil 1.33.'de gösterilen merkezi şaftın 2/3'ü kadar yer kaplayan alandır. Aşınmanın tank duvarında yer almaması tank duvarında çok az aşınmaya neden olur. Bu yüzden tank duvarının kalın yapılması gibi fazladan maliyete gerek yoktur, bu nedenle daha uzun kullanım ömrüne sahip olmakla beraber ısı transferi ve büyük ısı kontrolü de sağlamaktadır. Atritörde kullanılan kollar paslanmaz çelik, teflon kaplama, alümina, seramik, silika nitrür ve zirkonyum oksit gibi malzemelerden farklı boyutlarda yapılmaktadır.



Şekil 1.33. Atritörde alaşımlama esnasında meydana gelen en büyük aşınma alanı(Milli, 2017)

Öğütme süresi ile ortalama toz boyutu arasında ters orantı vardır. Öğütme süresi arttıkça ortalama toz boyutu azalmaktadır. Şekil 1.34.'e bakıldığında bilyalı değirmende öğütülen tozlar başlangıçta hızlı bir boyut küçülmesi göstermiş ancak artan öğütme süresi ile bu hız azalmıştır. Atritörde ise bu öğütme hızı daha yüksektir ve zamanla da artmaktadır. Ayrıca atritörde artan şaft hızıyla da tane boyutundaki azalma artmaktadır.



Şekil 1.34. Öğütme süresiyle ortalama tane boyutunun azalması(Milli, 2017)

Öğütücü kap:

Öğütücü kap malzemesinin bir kısmı yüzeyden koparak toza karışabilmektedir. Bunun nedeni ise bilyaların öğütme tankının iç cidarına uyguladıkları darbelerdir. M.A işleminde öğütme kap malzemesinin seçimi önemlidir. Toz kaybı ve toz kirlilikleri meydana gelmektedir. Özel işlem gerektiren durumlar için bazı özel malzemelerde kullanılmaktadır.

Öğütme hızı:

Öğütme hızı arttıkça toza aktarılan enerji miktarında da artış olacaktır. Öğütücü maddenin kinetik enerjisi ($E = \frac{1}{2} mv^2$) dir. Burada m, öğütücü madde miktarı, v, öğütücü madde hızıdır. Bu nedenle tozlara sağlanan kinetik enerji, öğütme malzemesinin hızının artmasıyla

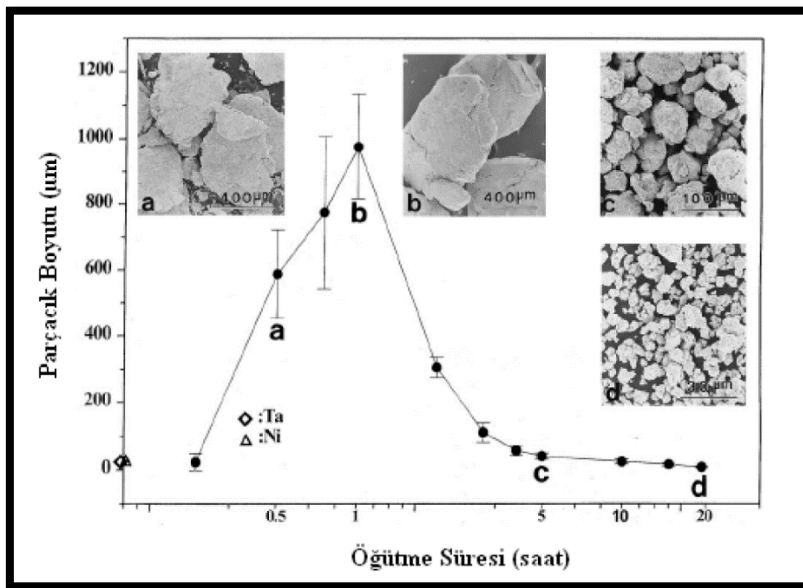
artmaktadır. Öğütme için gerekli olan darbe kuvveti meydana gelmez. Bu nedenle, kullanılan öğütme hız kritik değerinin hemen altında olmalıdır. Bu sayede bilyeler maksimum yükseklikten düşerek darbe enerjisi üretmelidir.

Maksimum hız için diğer bir sınırlama da, öğütme kabı sıcaklığının yüksek bir değere ulaşma ihtimalidir. Bu durum bazen, tozların alaşımlanması ve/veya homejenizasyonu sağlamada gerekli olan difüzyon için avantaj olabilir. Ayrıca, meydana gelen yüksek sıcaklık, tozu kirletebilmektedir. Buna ilave olarak, yüksek dönme hızlarında artan dinamik yeniden kristalleşme sebebiyle nano kristalli malzeme üretiminde ortalama kristal boyutunun arttığı ve kristallerde iç gerilmelerin azaldığı belirtilmiştir.

Artan öğütme hızının bir diğer dezavantajı da, öğütme malzemesinin ve öğütme kabının yüksek hızdan dolayı aşınmasıdır. Bu durum tozların kirlenmesine neden olur. Yüksek derecedeki plastik deformasyon tozların soğuk kaynaklanmasını artırır. Eğer bu nedenden dolayı öğütme kabının iç duvarlarına tozlar yapışırsa buda toz kaybına neden olur.

Öğütme zamanı:

Mekanik alaşımlama yöntemini etkileyen önemli parçalardan biri de alaşımlama süresidir. Bu süre toz partikülleri arasında gerçekleşen kırılma ve soğuk birleşme tam olarak kararlı halde olması şeklinde belirlenmelidir. MA için gerekli süre öğütme hızına, öğütücü tipine, öğütme yoğunluğuna, öğütme sıcaklığına ve bilye-toz ağırlık oranına bağlı olarak farklılık göstermektedir.



Şekil 1.35. Zamana göre toz boyutundaki değişim(Suryanarayana, 2001)

Öğütme malzemesi:

Öğütme kaplarında olduğu gibi öğütücü maddelerde özel amaçlar için değişik malzemelerden yapılmaktadır. Öğütücü maddenin yoğunluğu, toz üzerinde yeterli darbe enerjisi oluşturabilmelidir. Bununla birlikte, öğütme haznesinde olduğu gibi, bilye malzemesi olarak ta bazı özel malzemeler kullanılır. Bunlar; bakır, titanyum, niyobiyum, zirkon, yitrium oksit, safir ve silis nitridi gibi yer almaktadır. Bu sebeple öğütülen tozun, öğütücü kabına ve öğütücü maddeye yapışmaması için öğütücü kap ile öğütücü maddenin malzemesinin aynı olmasına dikkat edilmelidir.

Toz-bilye ağırlık oranı:

Bilye-toz ağırlık oranı, bilye ağırlığının alaşımlanacak toza oranına denir. Bazı kaynaklarda bunu şarj oranı olarak isimlendirmiştir. Toz-bilye ağırlık oranı 1:1 gibi düşük bir değerden 1000:1 gibi yüksek bir değere kadar değişmektedir. 1000:1 ya da 220:1 gibi çok yüksek değerdeki bilye-toz ağırlık oranı çok yaygın değildir. Her ne kadar, küçük kapasite de öğütülen tozlar 10:1 gibi bir oran da yaygın olarak öğütülseler de SPEX tipi yüksek enerjili bir öğütücü de bu oran genellikle 4:1 ila 30:1 arasında değişkenlik gösterir. Ancak öğütme atritör gibi büyük kapasiteli bir öğütücüde yapılıyorsa öğütücü hacmine bağlı olarak bu değer 50:1 ile 100:1 arasında değişiklik gösterir.

Öğütülen toz üzerinde bilye-toz oranının önemli bir etkisi vardır. Bir çalışmada %50 Al,%30 Si, %15 Fe ve %5 Ni toz karışımı için yapılmış ve burada 15/1 bilye-toz oranı kullanıldığında 40 saatlik bir öğütme sonunda amorf yapı elde edilirken 10/1 bilye-toz oranı kullanılarak yapılan çalışmada benzer yapı 95 saat öğütme sonrası elde edilmiştir. Bilye-toz oranı 1/1 olan Fe-Al toz karışımı çelik ve WC bilyelerle öğütüldüğünde alaşımlamanın gerçekleşmediği tespit edilmiştir.

Bilye-toz oranı 8/1 oranında yapıldığında ise alaşımlama çelik bilyelerle 8 saatte gerçekleşirken WC bilyelerle 5 saatte gerçekleşmiştir. Çünkü yüksek bilye-toz oranından dolayı birim zamandaki çarpışma sayısı artar ve kullanılan öğütücü maddenin yüksek yoğunluğundan dolayı da meydana gelen darbe enerjisi artar. Sonuç olarak toz parçacıklarına daha fazla darbe enerjisi iletilir ve böylece MA için gerekli süre azalır.

Öğütme kabı doluluk miktarı:

Toz üretim hızı, öğütme kabının doluluk miktarına bağlıdır. Toz parçacıklarına etki eden darbe kuvveti, bilyelerin ve toz parçacıklarının öğütme kabı içinde serbestçe hareket edebilecekleri boş hacmine bağlı olarak değişmektedir. Yeterli miktarda alanın olması, toz parçacıklarına etki eden darbe kuvvetini artırır. Bu durumda toz parçacıklar arasındaki mekanik alışılmamayı arttırır. Fakat toz ve bilye miktar çok olursa bilyelerin hareket alanı kısıtlanır ve toz parçacıklarına etki eden darbe kuvveti azalır. Sonuçta toz parçacıklarının alışılmama hızını azaltır. Bu nedenle kabın %50'si boş bırakılmalıdır.

Öğütme sıcaklığı:

Öğütülen tozların yapısını belirlemede en önemli parametrelerden biri olarak ta öğütme sıcaklığının etkisidir. Alışım fazlarının yapısını difüzyon işlemi belirlemektedir. MA esnasında meydana gelen sıcaklık artışının önemli iki kaynağı mevcuttur. Bunlardan biri, bilyelerin kinetik enerjileri nedeniyle meydana gelen bölgesel sıcaklık artışıdır. Bu bölgesel sıcaklık artışı yaklaşık olarak 10^5 sn gibi kısa bir sürede gerçekleşir. Bu süre yaklaşık olarak iki bilyenin birbiriyle çarpışma süresi olarak da kabul edilebilir. Bu bölgesel sıcaklık artışını ölçmek çok zordur. Ancak bu sıcaklık artışı, toz parçacıklarının maruz kaldıkları plastik deformasyon oranını ve ısı transferinin etkisini de içeren uygun modellere bağlı olarak yalnızca teorik olarak hesap edilebilir. Sıcaklık artışı birkaç yüz derece olabilir. Sıcaklık artışının ikinci türü ise, öğütme kabının tamamının sıcaklığıdır. Bu da teorik olarak veya deneysel ölçümlerle tespit edilebilir. Deneysel ölçümlerin birçoğu, kabın sıcaklığının 50-150 °C arasında değişiklik gösterdiğini tespit etmiştir.

Öğütme esnasındaki sıcaklık artışı, genellikle bilye-bilye, bilye-toz, bilye-cidar çarpışması ve aynı zamanda sürtünmeden dolayı meydana gelir. Öğütme esnasında tozların tamamında meydana gelen sıcaklık artışının birkaç nedeni vardır: Birincisi, yukarda da bahsedildiği gibi öğütme malzemesinin kinetik enerjisinden dolayı tozlarda meydana gelen yoğun mekanik deformasyon tozların sıcaklığını arttırır. Bu nedenle, en yüksek enerjide (öğütme hız, bilyelerin dönme hızları, öğütme zamanı, öğütücü bilyelerin çapı, bilye-toz ağırlık oranı v.b.) sıcaklık yükselmesi en fazladır.

İkincisi; öğütme işlemi esnasında meydana gelen ekzotermik işlemlerden kaynaklanır. Bu işlem, toz parçacıkların yanması ve bu yanmanın etkisiyle ortaya çıkan ilave ısıdan dolayıdır. Öğütme esnasındaki yanma, öğütme kabı sıcaklığının ölçülmesiyle tespit edilir.

Öğütmenin ilk başlarında öğütme zamanı ile beraber düzenli olarak öğütme kabının sıcaklığı artar. Parçacıklar arasında yanma başladığında, toz partikülleri arasında ekzotermik bir reaksiyon oluşur bu da öğütme kabının sıcaklığını ani olarak artırır ve böylece sıcaklık artışı tespit edilmiş olur. Sıcaklık artışı difüzyon ve alaşımlama işlemlerinin hızını artırır. Ancak, tozlardaki oksitlenme, üretilmiş amorf fazların kristalizasyonu gibi bazı olayları da teşvik ettiği için bu bir dezavantajdır. Bu nedenle, sıcaklık artışı çeşitli yöntemlerle düşürülebilir. En pratik olan fanla soğutmadır. Bu yöntemle sıcaklık artışı etkili bir şekilde azaltılabilir. Bir diğer yaygın olan metot ise, tozlar belli bir süre öğütülür sonra sıcaklığın kabul edilebilir bir değere kadar düşmesi sağlanır ve öğütme işlemine yeniden başlanır.

İşlem kontrol kimyasalı:

Soğuk kaynaklanma eğilimini azaltmak için toz karışımı içine belli miktarda işlem kontrol kimyasalı ilave edilir. Bu kimyasallar katı, sıvı ve gaz halde olabilirler. Stearik asit, hegzan, metanol, çinko stearat, etanol vb. başlıca kullanılan kimyasallardır. Eğer kimyasal ilavesi olursa, genellikle kırılmanın hızlandığı ve yağ türevi tozların emilebildiği gözlemlenmiştir.

Kullanılan işlem kontrol kimyasallarının toplam toz ağırlığına oranı %1-5 aralığındadır. Genelde ilave edilen miktar %1-2 kadardır. İlave edilen bu kimyasalların çoğu öğütme sırasında çözünerek, toz ile etkileşir ve bileşik oluşturur. Devam eden öğütle birlikte toz parçacıkları içerisine safsızlıklar ve/veya dağılmış fazlar şeklinde bulunur. Bu nedenle hidrojen ve karbon ihtiva eden hidrokarbonlarda, karbon ve hidrojen ihtiva eden karbonhidratlarda, bu kimyasallar karbon ve/veya oksijen toz bileşiklerine nüfuz ederek matris içine homojen dağılımı olan, karbür ve oksitleri meydana getirir. Bu bileşikler alaşım sistemi için zararlı olmadıkları gibi dağılım mukavemetleşmesinden dolayı, malzemenin mukavemetini ve sertliğini arttırabilir. Hidrojen, gaz olarak sistemden uzaklaşır veya ısıtma ya da sinterleme esnasında metal tozları tarafından absorbe edilir. Hidrojen gaz öncelikle yüzey aktif maddesi olarak görev yapar ve genellikle alaşımlama işlemine dâhil olamaz. Fakat, titanyumca zengin alaşımlarda yapılan bazı çalışmalarda, amorf faz dönüşümlerinde bir katalizör etkisi sergilediği tespit edilmiştir.

Havanın, öğütme kabı içerisinde bulunması veya tozların çok düşük sıcaklıklarda öğütülmesi kaynaklaşmayı en aza indirmektedir. Neden olarak da düşük sıcaklıklarda toz parçacıklarının kırılabilirliğinin artması olarak görülmüştür. Kullanılan işlem kontrol kimyasalının miktarı ve toz öğütme şekli, toz parçacıklarının boyutunu, şeklini ve saflığını

belirlemektedir. Toplam toz ağırlığına oranları %0.5-4 olan iki farklı işlem kontrol kimyasalı (polietilen glikol ve stearik asit) kullanılarak yapılan çalışmada, planetery bilyeli öğütücünün ve işlem kontrol kimyasal miktarının, alüminyum ve magnezyum toz partikül boyutlarına etkisi araştırılmıştır. Artan işlem kontrol kimyasal miktarı ve öğütme süresi toz kalitesinin artışı göstermiştir.

İşlem kontrol kimyasalında önemli olan bir diğer hususta kullanma miktarıdır. Az oranda işlem kontrol kimyasalı kullanıldığında toz parçacık boyutunun arttığı, kullanılan işlem kontrol kimyasal miktarı arttığında ise parçacık boyutunun azaldığı, tespit edilmiştir. Öyle ki yaptıkları çalışmada, alüminyum tozlar %1 stearik asitle 5 saat öğütülmesi sonucunda partikül boyutunun 500 µm, %3 stearik asit kullanıldığında ise boyut miktarının 10 µm olduğunu saptamışlardır.

1.5 AŞINMA

Aşınma önemli bir kavram olmasına rağmen hak ettiği ilgiyi yeni yeni görmeye başlamıştır. Aşınma işlemi, makine ve malzemelerin kullanımı esnasında kullanım ömrü ve maddi kayıplara neden olur. Bu konu, makine tasarımlarında çok önemlidir.

Aşınma olgusu, hem sürtünme hem de yağlama kavramları ile birlikte triboloji biliminin temelini oluşturmaktadır. Tribolojik bir deney için kullanılan bir cihaz, sık sık bir deney için kullanılabilir de, sürtünme, aşınma ve yağlama ayrı olaylardır. Sonuçta, deney yöntemleri ve yorumları farklıdır.

Günümüzde bir aşınma sisteminde temel malzeme (aşınan), karşılık malzeme (aşındıran), ara yüzey malzeme, maruz kalınan yük ve hareket aşınma işleminin esas parametreleridir. Bu temel parametrelerin meydana getirdiği sistem teknik açıdan “Tribolojik Sistem” olarak kayda geçer.

1.5.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınma işlemini etkileyen parametreler farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler dört grup halinde aşağıda verilmiştir.

1-) Ana malzemeye bağlı faktörler;

- Malzemenin kristal yapısı,
- Malzemenin sertliği,

- Elastikiyet modülü,
- Deformasyon davranışı,
- Yüzey pürüzlülüğüdür.

2-) Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi;

3-) Ortamın etkisi;

- Sıcaklık,
- Nem,
- Atmosferdir.

4-) Servis koşulları;

- Basınç,
- Hız,
- Kayma yoludur.

1.5.2 Aşınma-Zaman İlişkisi

Aşınma pratikte ikiye ayrılır;

1-) Zaman ile gelişen aşınma,

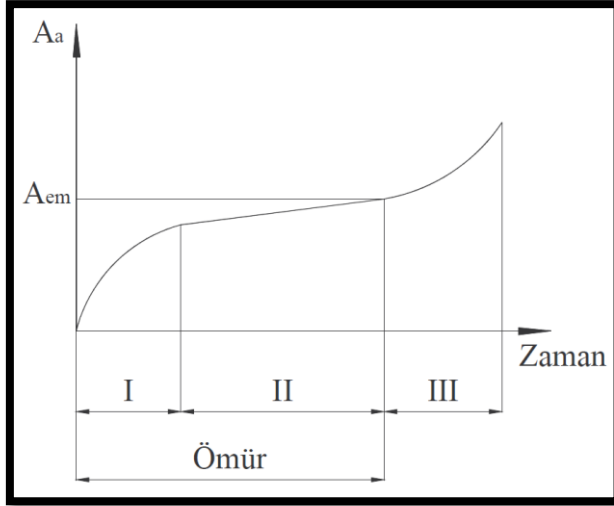
2-) Aniden meydana gelen aşınma,

Zamanla gelişen aşınmayı üç safhada incelemek mümkündür.

1. Safha (Rodaj Safhası): bu safha birbirine alıştırmaya safhasıdır. Bu safhada parçaların ilk çalışmasında şiddetli bir aşınma meydana gelmektedir. Bu sebeple parçalar birbirine alıştırılmalıdır ve kısa sürede gerçekleştirilmelidir. Genelde alıştırma, yüksüz ve normal hızlardan daha düşük hızlarda yapılmaktadır.

2. Safha: aşınma çalışma sırasında temas noktalarında meydana gelmektedir.

3. Safha: artan aşınma hızı ile şiddetli aşınma meydana gelmektedir.



Şekil 1.36. Aşınma zaman ilişkisi(Okay, 2006)

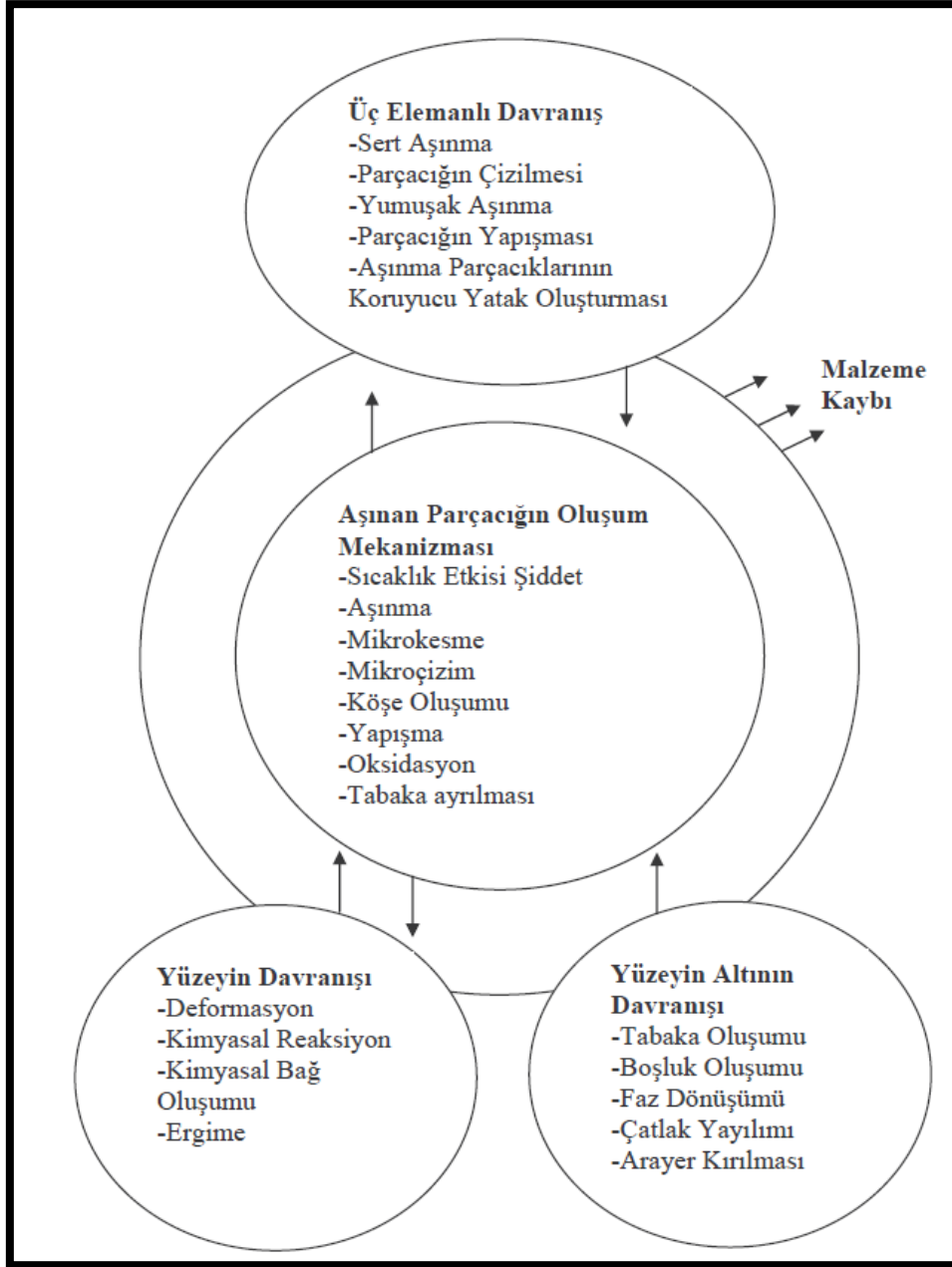
Birden meydana gelen aşınmada, parçaların yüzeyleri birden bire bozulmaktadır. Bazı durumlarda ise birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Çoğu zaman çalışılan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen bu aşınma şekli, mukavemet alanında statik zorlanmanın etkisi altındaki kopmanın benzeridir. Genel olarak aşınma işlemi temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucunda oluşmaktadır.

1.5.3 Aşınma Mekanizmaları

Aşınmanın sistem içerisinde meydana getirdiği fiziksel ve kimyasal tepkimelerin iletilmesine göre yedi çeşit aşınma mekanizması bulunur. Aşınma çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- Adhesiv aşınma,
- Abrasiv aşınma,
- Yorulma aşınması,
- Difüzyon aşınması,
- Tribo-oksidasyon aşınması,
- Erozyon ve kavitasyon aşınması,
- Yenme aşınmasıdır.

Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler Şekil 1.367. 'da gösterilmiştir.



Şekil 1.37. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler(Çetin, 2005)

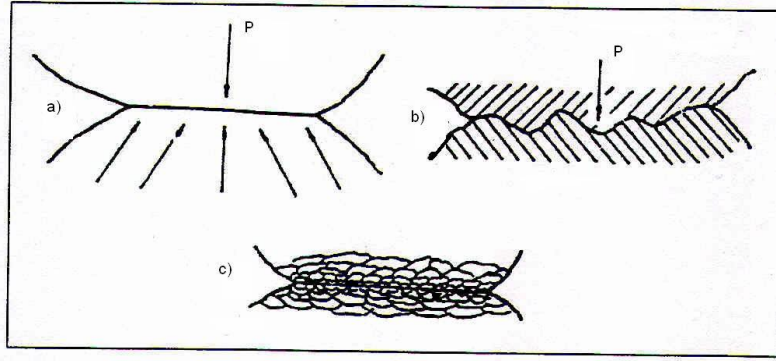
Adhesiv aşınma:

Hayatımızda en sık karşılaştığımız aşınma türü adhesiv aşınmadır. Adhesiv aşınmada iki metal yüzeyi birbiri ile temas eder, yüksek basınç ve sıcaklığın artmasıyla metal yüzeylerde kaynama meydana gelmektedir. Kaynaklar, çalışma sırasında birbirinden ayrılmaktadır. Metal yüzeylerden ufak parçalar kopmaktadır. Bu aşınma, adhesiv aşınma olarak adlandırılmaktadır.

Katı bir malzemeni diğer katı malzeme üzerinde kaydığında ya da baskı yaptığında adhesiv aşınma oluşmaktadır. Temas eden iki yüzeydeki yapışma eğilimi, malzemelerin yüzey

atomları arasındaki çekme kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Malzeme temel yüzeyinden ayrıldığı sırada, bir adhesiv aşınma parçası oluşturulur.

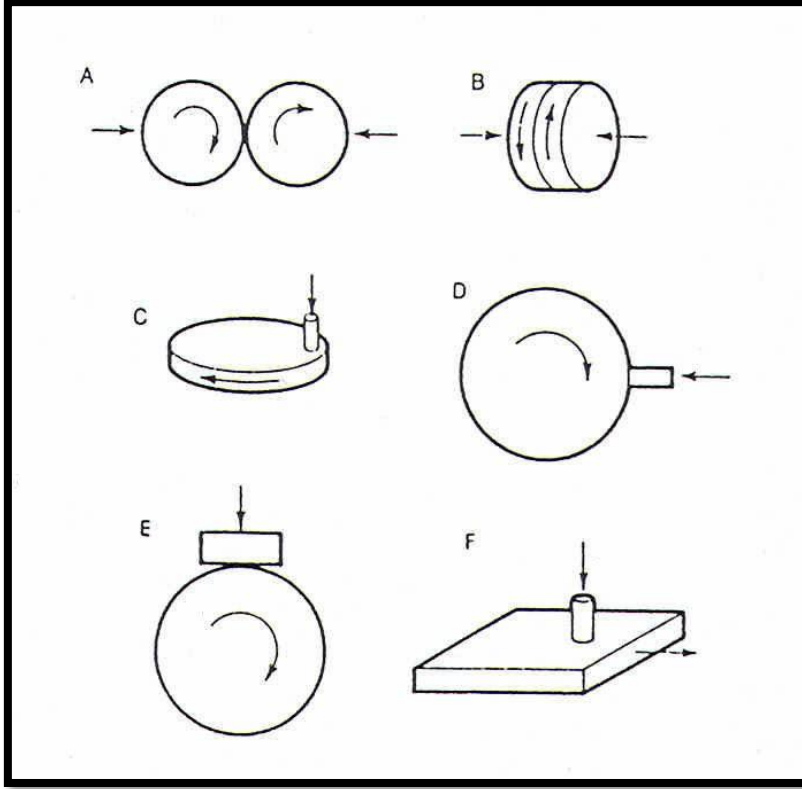
Adhesiv aşınma benzer kristal kafes yapıları malzemelerde görülmektedir. Malzemeler yüksek sıcaklıktan dolayı birbiriyle bağlanabilmektedir. Şekil 1.38.'de adhesiv aşınmadaki kaynak bağının oluşumu görülmektedir.



Şekil 1.38. Adhesiv aşınma kaynak oluşumu(Baydoğan, Çimenoğlu, 2001)

Metal yüzeyler, yüzeylerindeki pürüzler nedeniyle etkileşmektedir. Yüzey düzgün olsa dahi bu etkileşme oluşmaktadır. Aşınmada, kırılma çoğunlukla ara yüzeyde meydana gelmektedir. Bir pürüzden kopan metal parçasının boyutu kaymanın bağlantı noktasına ne kadar uzakta meydana geldiğine bağlıdır. Aşınma hızının en düşük seviyede olması için, kopan metal parçalarının her birinin boyutu mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunun için de temas alanının küçük olması gerekmektedir.

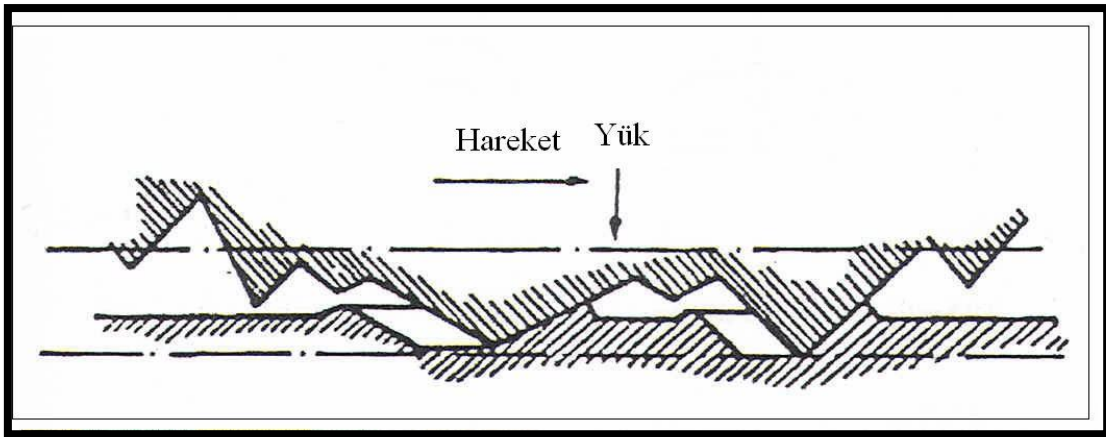
Adhesiv aşınmada en yaygın asimetrik deney donanımlarından birisi, bir disk üzerine bastırılan pimdir. Şekil 1.39 'da bu pim, basık disk yüzeyinin üzerine bastırılmıştır. "Disk üzerinde pim" yönteminin başka şekilleri de vardır. Ancak ana fikir hep aynıdır.



Şekil 1.39. Adhesiv aşınma deneyinde kullanılan geometriler(Kökden, 1996)

Abrasiv aşınma:

Abrasiv aşınma iki ve üç cisimli olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. İki cisimli abrasiv aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzeyin kendinden daha yumuşak malzeme ile temas ettiği durumda oluşmaktadır. Şekil 1.40. 'daki iki cisimli abrasiv aşınmanın şematik şekli görülmektedir.



Şekil 1.40. İki cisimli abrasiv aşınma(Kökden, 1996)

Abrasiv ve eroziv aşınmada, partikül boyutları 5-500 µm arasında değişir. Eğer farklı boyutlardaki partiküller, malzemenin ortamdaki uzaklaştırılmasında (aşındırılmasında) eşit şekilde etkin ise, aşınma hızları sabit olacaktır. Gevrek malzemelerde, aşınma hızı- partikül boyutu bağımlılığı daha güçlüdür.

Pek çok araştırmacının yaptığı çalışmalara göre, malzeme ve abrasiv sabit tutulup abrasivin boyutu değiştirildiğinde, kritik bir abrasiv partikül boyutu ortaya çıkar. Bu kritik değer üzerinde, aşınma hızı abrasiv partikül boyutundan bağımsızdır. Bu kritik değer altında aşınma hızı, abrasiv partikül boyutuna kuvvetle bağımlıdır. Deneysel veriler göstermektedir ki, büyük (geniş) abrasiv partiküller söz konusu olduğunda, toplam aşınma hızı partikül boyutundan bağımsızdır.

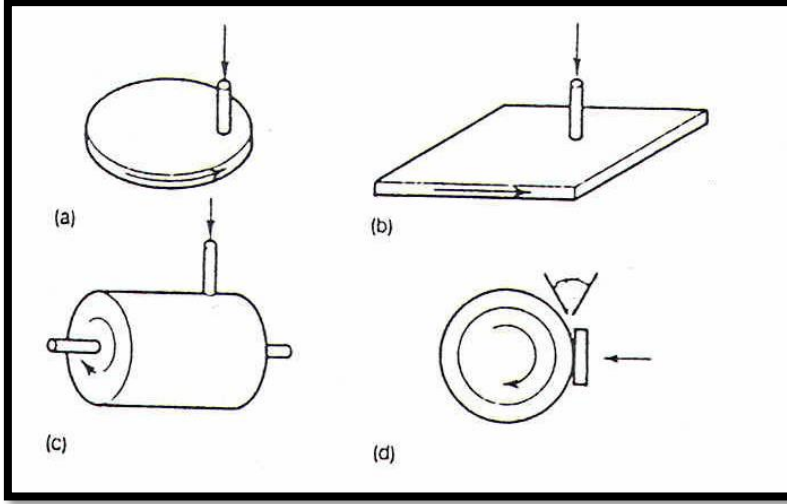
Küçük partiküller kullanıldığında aşınma hızı azalır. Bu sonucu, küçük partiküller kullanıldığında batıcı uç geometrisinin farklı olması ya da aşınma enkazının meydana gelmesiyle sistemin tıkanması şeklinde açıklamak mümkündür. Ayrıca çalışılan ortamdaki yüksek nem oranı da aşınma hızını yaklaşık % 15 artırır.

Abrasiv aşınmada iki tür malzeme kullanılır.

- 1- Aşınma sırasında abrasiv olarak kullanılacak malzeme,
- 2- Abrasiv aşınma hızının engellendiği ancak, abrasiv aşındırıcıların mevcut olduğu durumda kayma malzemesi olarak kullanılacak malzemeler.

Çok yüksek bir aşınma hızına ulaşmadan, aşınma hızının uzun bir süre korunabileceği sert bir abrasiv kullanmaktır.

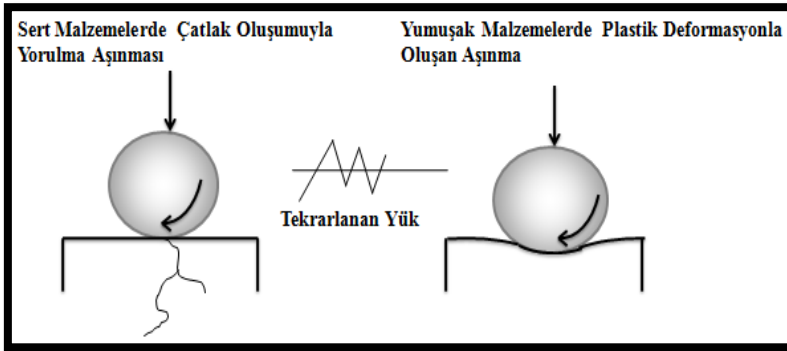
Malzemelerin abrasiv aşınma hızlarını ölçmek için kullanılan 4 yaygın yöntemin şematik gösterimi Şekil 1.41. 'de verilmiştir.



Şekil 1.41. Abrasiv aşınmada aşınma hızını ölçmekte kullanılan yöntemler(Kökden, 1996)

Yorulma aşınması:

Makine parçalarında, tekrarlanan yüklere maruz kalma veya titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelmektedir. Yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olmaktadır. Mikro çatlaklar zamanla ilerler ve malzemenin yüzeyinden mikro parçaların kopmasına sebep olmaktadır. Bu aşınmaya yorulma aşınması denir.



Şekil 1.42. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi(Kökden, 1996)

Difüzyon aşınması:

Karşılıklı olarak birbirine temas eden yüzeyler arasında sürtünme olayından kaynaklı olarak sıcaklık yükselir. Temas eden yüzeylerde bulunan ortamların kristal yapılı kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket etmesi sonucunda difüzyon meydana gelmektedir. Sıcaklığın yükselmesi ve belirli bir zaman sonunda sürtünme

yüzeyinde atom ve moleküllerin etrafına gitmesi ya da diğer sürtünme parçasına girmesi difüzyon temeline dayanmaktadır.

Tribo - oksidasyon aşınması:

Malzemenin izafi hareketi esnasında statik ve dinamik sürtünme kuvvetleri farklılık göstermektedir. Düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelmektedir. Sürtünen elmanlar arasında oluşan oksit tabakası ana malzemenin aşınma direncini önemli ölçüde etkilemektedir.

Erozyon ve kavitasyon aşınması:

Erozyon; ortam ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olmasıyla meydana gelen bozulma olayıdır. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpmasıyla enerji oluşmaktadır. Katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelmekte ve yüzeyde kırılmalara sebep olmaktadır. Bunun sonucunda da yüzey aşınmaktadır. Bu aşınmaya erozyon aşınması denir. Erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörler aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği çarpma açısının değeridir.

Kavitasyon erozyonu, sırasıyla basma, çekme ve tekrar basma etkisi altında kalan bir sıvının kavitasyonu sonucu meydana gelir. Bir sıvı, çekme etkisi altındayken, sıvının kendi buharı ile dolu bir kabarcık meydana gelir ve sıvı tekrar basma etkisi altında iken kabarcık çöker ve kabarcığın ortasında bir fiskiye fişkirir, sahip olduğu yüksek hız ile yüzeye çarpar ve yüzeyi yüksek hızlı erozyon ile hasara uğratar. Kavitasyon erozyonu, içinde negatif basınç bölgeleri olan tam olarak sıvı yağlanmış sistemlerde meydana gelir.

Yenme aşınması:

Bu yöntemin temel mantığı adhesiv aşınma prensibine yakındır. İki metalin birbirine kuvvetle yük uygulandığı sırada genlik miktarı düşük titreşim hareketinden dolayı sürtünen yüzeylerde meydana gelen pürüzler yüzeyden ayrılmaktadır. Bu sebeple aşınma yüzeyinden kopan bu partiküller oksitlenir ve sert bir yüzey haline gelir. Abrasiv aşınma oranını artırmaktadır.

1.5.4 Aşınma Deney Düzenekleri

Sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi için iki tür deney yöntemi uygulanmaktadır.

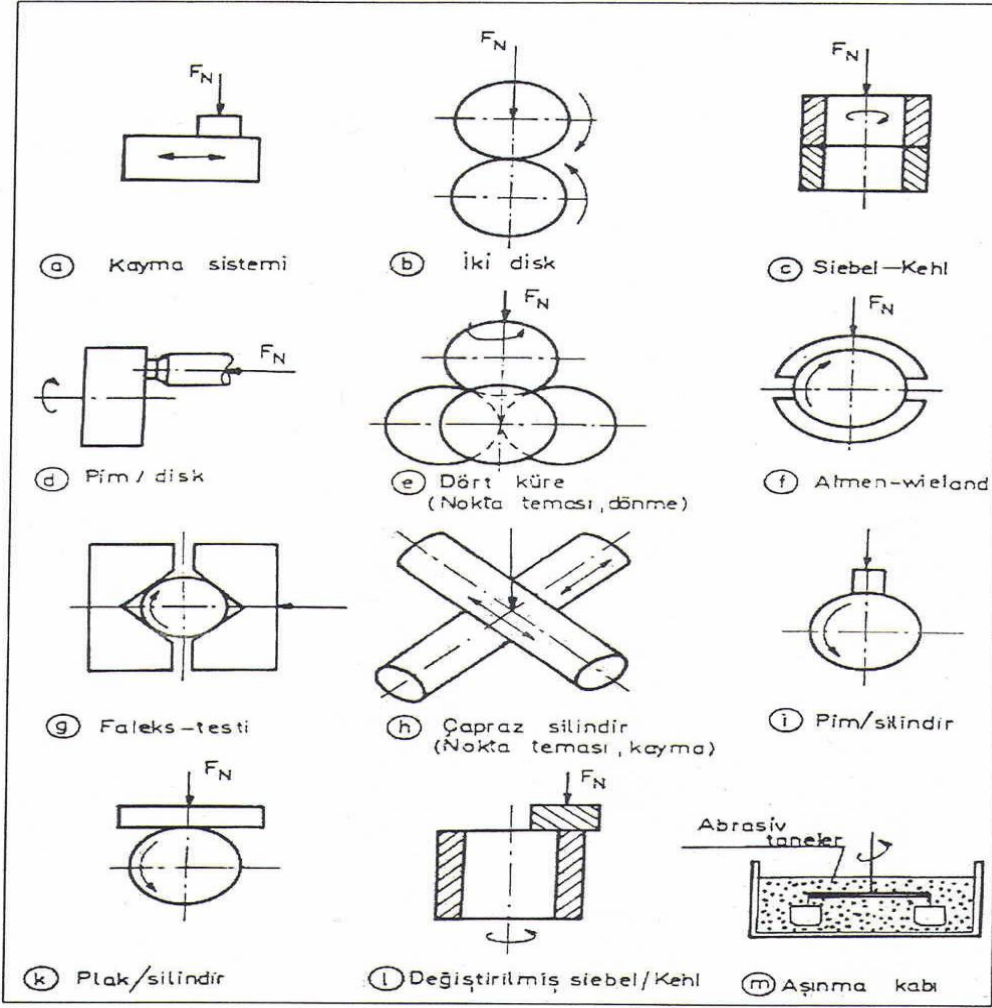
1. İşletme deney yöntemi,
2. Model deney yöntemidir.

Malzemelerin aşınmaları büyük ölçüde işletme koşullarına bağlıdır. Bunun için işletme deney yöntemi yapılır. Bu yöntemde, pratik işletme koşullarında, gerçek makinayla işlem yapılmaktadır. Çalışan eleman bir süre gözetlenmekte ve performansı ölçülmektedir. Bu yöntem çok pahalı ve uzun zaman gerektirmektedir. Bu sebeple model deney yöntemi geliştirilmiştir.

Model deney yöntemi, gerçek sistemin özellikleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Model deney yöntemi işletme koşullarına ne kadar yakın olursa, bulunan sonuçların ilgili sistemlere aktarılmasında o kadar az sorun yaşanır. Model aşınma deneylerinin düzenlenmesinde aşağıda belirtilen basamaklar yerine getirilmelidir.

- Numuneler hazırlanmalı ve malzemelerin özellikleri- yüzey prensipleri belirlenmelidir.
- Çevre tepkisi, ara madde malzemelerinin karakterizasyonu, fiziksel ve kimyasal tepkileri araştırılmalıdır.
- İşletme koşullarına yakın hız, hareket, yük, sıcaklık ve deney süresine uygun bir deney sistemi seçilmelidir.

Sürtünme aşınma deney düzeneklerinin şematik gösterimi Şekil 1.43. 'de verilmiştir.



Şekil 1.43. Sürtünme aşınma deney düzenekleri(Baydoğan, Çimenoglu, 2001)

1.5.5 Aşınmanın Ölçülmesi

Aşınma miktarının ölçülmesinde, her ölçme sisteminde istendiği gibi yeterli hassasiyet, kolay ve seri uygulanabilirlik, ekonomik ve standartlaştırılmış bir ölçme olması beklenmektedir. Sistemin yapısına göre aşağıda sıralanan aşınma miktarı ölçme yöntemleri kullanılmaktadır.

Ağırlık farkı yoluyla ölçme;

Ekonomik bir yöntemdir. Kullanılan ölçme aleti oldukça hassastır ve sık kullanılan bir yöntemdir. Deney numunelerinin ölçülmesinde zaman kayıpları yaşanmaktadır.

Aşınma oranı gram ve miligram cinsinden gösteriliyor ise, alınan yol metre veya kilometre olarak tespit edilmiştir. Bulunan kayma veya sürtünme yoluna göre birim kayma

yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilmektedir. Ağırlık kaybı birim alanı için hesap edilecekse (gr/cm²) ile ifade edilebilmektedir.

Bu veriler ile en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı aşağıdaki gibidir;

$$W_a = \frac{\Delta G}{d \cdot P \cdot S} \quad (1.1)$$

Aşınma oranının (W_a) tersi ise, aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \quad (1.2)$$

Kalınlık Ölçme Yöntemi;

Aşınma esnasında oluşabilecek boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Kalınlık değeri, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilmektedir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile 1 µm duyarlılıkta ölçülebilmektedir.

İz Değişiminin Ölçülmesi Yöntemi;

Sürtünme yüzeyi bölge geometrisi belirli bir iz, plastik deformasyonla oluşturulmaktadır. Deney boyunca bu iz karakteristیک bir boyutunun değişimi ölçülmektedir. Uygulamalarda en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme aletidir. Bilya veya elmas pramitin bıraktığı iz çapındaki değişme mikroskop yardımıyla ölçülerek değişim incelenmektedir.

Radyoizotoplarla Ölçme Yöntemi;

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesidir. Aşınma büyük hassasiyetle ölçülebilmektedir ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmektedir. Fakat ekonomik olmamasından dolayı, özel problemlerin çözümü dışında yaygın bir yöntem değildir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kılınç (1999), bu çalışmada üç farklı hızda çalışabilen ve 360-750-1000-1500 ve 2000 cc kapasiteli mekanik alaşımlama değirmeni tasarlamıştır. Tasarlanan ve imal edilen değirmenle Fe-Cr-Al₂O₃ tozları farklı bilya çapları ile farklı sürelerde öğütülmüştür. Öğütülen tozların tarama elektron mikroskobu incelemeleri, EDS ve XRD analizleri yapılarak uygun bilya çapı ve öğütme zamanı tespit edilmiştir. Elde edilen numunelerin mikroyapıları benzer kimyasal kompozisyonlardaki ticari olarak üretilen diğer süper alaşımlarla karşılaştırılmıştır.

Kaya ve Özyürek (2006), yaptıkları çalışmada SPEX tipinde mekanik alaşımlama değirmeninde yüksek enerjili Al matrisli ve TiB₂ seramik takviyeli metal matrisli kompozit malzeme üretimi esas alınmıştır. Farklı yapılarda gerçekleşen kompozit malzeme tozlarına yapısal analizler uygulanmıştır. Analizler SEM, EDS ve boyut analizi ile birlikte kompozit tozların karakterini belirlemeye yardımcı olmuştur. Toz üretimi ve analizler sonucunda, malzemelerde öğütme süreleri aynı kalmasına rağmen tozlardaki takviye miktarı arttıkça parçacıkların toz boyutunda küçülme meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan EDS analizleri sonucunda ise toz yapıda bulunan kompozit malzemelerde herhangi bir kirlenme olmadığı görülmüştür.

Coşkun (2006), bu çalışmasında volfram matrisinde SiC takviyesi kullanılarak elde edilen kompozit malzemelere, mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak takviye malzemesi oranının değişiminin hem mikroyapı hem de mekanik özelliklere nasıl bir etki yaptığını araştırmıştır. Çalışmada gelenekçi sinterleme yöntemlerinin dışında sinterleme sırasındaki boyutsal büyümeyi engelleyebilmek için sinterleme aşaması iki-basamaklı olarak yapılmıştır. Bu sayede farklı sinterleme yöntemleri uygulayarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapısında ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelenmiştir.

Ünal (2006), yaptığı çalışmada mekanik alaşımlama yöntemini kullanarak volfram matris içerisine bor karbür fazlı takviye malzemesi kullanılarak nanokompozit yapılar elde etmiştir. Çalışmada bor karbür takviyesinin mikroyapıya etkisini araştırmak amacıyla benzer şartlar altında takviye malzemesi olarak karbür kullanılmadan sadece volfram matrisli W-C nanokompozitleri üretilmiştir. Her iki durumda da kompozit malzemelerin hem mikroyapısal hem de mekanik açıdan etkileri gözlenmiştir. Kompozitlerde sinterleme işlemi sonrası malzemelerin yoğunluk değerleri Arşimet prensibine ve boyutsal analiz yöntemi esasına göre analiz edilmiştir. Sonuç olarak hesaplanan ve incelenen karakterizasyon incelemeleri sonucunda matris içerisindeki bor karbür takviyesinin etkileri araştırılmıştır.

Aktaş (2007), bu çalışmada parçacık takviyeli Al esaslı metal matrisli kompozitler mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiştir. Takviye elemanı olarak Al_2O_3 parçacıkları kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerde Al_2O_3 takviye oranları ağırlıkça bakılırsa % 5, %10 ve %15 olarak belirlenmiştir. Mekanik alaşımlama sonrası Al- Al_2O_3 tozlar 650 MPa basınç altında preslenerek $\varnothing 10 \times 15$ mm boyutlarında blok numuneler üretilmiştir. Çalışma sonucunda, metal matrisli kompozitlerde seramiğin tane boyutu küçüldükçe sertlik değerinin azaldığı, ağırlık kaybının arttığı görülmüştür. Fakat takviye oranının artması ile de sertlik değerleri artmış ağırlık kaybı azalmıştır.

Şahin ve Özdin (2007), yapmış oldukları çalışmada SiCp ile takviyelendirilmiş kompozit numuneleri, farklı tane boyutlarındaki aşındırıcılar kullanılarak abrasiv aşınma deneyine tabi tutmuşlardır. Abrasiv aşınma deneyi pin-on-disk cihazında yapılmıştır. Kompozitin aşınma davranışları esnasında; uygulanan yük, kayma mesafesi ve parçacık boyutu dikkate alınmıştır. Elde edilen aşınma miktarlarına, faktöriyel dizayn yöntemi uygulanmıştır. Bu yapılan tasarım sonucunda, uygulanan yük ve aşındırıcı tane boyutunun artırılmasıyla aşınma miktarında artış gözlenmiştir. Kayma mesafesinin azaltılmasıyla da aşınma miktarı artmıştır. Ayrıca tüm kayma hızları için kompozitlerin tane boyutu arttıkça aşınma miktarları azalmıştır. Aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yükün alarım matrisi üzerinde daha baskın olduğu gözlenmiştir.

Liu ve Liu (2007), yapmış oldukları bir çalışmada $Ti_{50}Al_{50}$ alarım tozlarını mekanik alaşımlama yöntemi ile hazırlanmışlardır. Mekanik alaşımlama işleminde 10 mm çapında sertleştirilmiş çelik bilye kullanılmıştır. Bilye toz oranı 5:1 ve alaşımlama süreleri sırası ile 5, 10, 15 ve 20 saat olarak seçilmiştir. Mekanik alaşımlama işlemi yapılmış metal tozlar 30 MPa basınç altında ve 1100–1200°C sıcaklıklarda sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Presleme sonucu elde edilen numuneler, spark plazma sinterleme (SPS) yöntemi ile Ar atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası üretilen malzemelerin Arşimet prensibine göre yoğunlukları ölçülmüştür. Üretilen numunelerin mikrosertlik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Numunelerin mikroyapı analizleri için SEM, TEM ve X-Ray teknikleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde; 15 saatlik alaşımlama süresi sonunda alüminyum ve titanyum arasında oluşan difüzyon sayesinde TiAl ve Ti_3Al bileşikleri elde edilmiştir. Al ile Ti arasında güçlü yüzey bağlarının oluştuğu gözlenmiştir. Plazma kıvılcım sinterleme yöntemi ile yapılan işlemde, optimum sıcaklık 1150 °C olarak belirlenmiştir.

Bostan (2007), bu çalışmada saf Al-C tozlarına mekanik alaşımlama yöntemi uygulanmıştır. Bu sayede elde edilen tozlar 1200 Mpa basınç kuvveti altında preslenerek kütle numuneler elde edilmiştir. Mekanik alaşımlama ve ısıl işlem teknikleri uygulandıktan sonra SEM, XRD ve EDS teknikleri uygulanarak yapısal analizi yapılmıştır. Yapılan analizlerde Al₄C₃ faz oluşumu ortaya çıkacağı hedeflenmiştir. XRD sonuçlarına bakıldığında, sinterlenmiş olan malzemelerde Al₄C₃ faz dönüşümünün gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Özgün (2008), yaptığı çalışmada alüminyum esaslı Ti-C ve TiC takviye malzemesi kullanılarak yeni yapıda kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Üretimde mekanik alaşımlama yöntemi kullanmıştır. Yapısal analiz metodları uygulanarak TiC ve Ti-C takviye miktarlarındaki değişimin hem mikroyapı hem de mekanik özelliklere olan etkisi değerlendirilmiştir.

Fang (2008), çalışmasında nanokristal yapıya sahip karbür üretimini hedeflemiştir. Buna göre bu konuda kristal yapıya sahip sementit karbür üretimi için öncesinde tungsten karbür üretimi çalışmalarında buğuna kadar birçok analizler ortaya çıkmaktadır. Bu malzemelerin mekanik ve yapısal özelliklerini etkileyen en önemli faktör nanokristal yapıya sahip sementit karbürler varlığıdır. Bunun için tungsten karbür ve tungsten karbür-kobalt takviyelerden kompozit malzeme imalatı için hem yapısal hem de mekanik özellikleri inceleyebilmek için analizler yapılmıştır.

Peştreli (2009), çalışmasında diğer toz üretim tekniklerinden ziyade mekanik alaşımlama yönteminin WC-Co sert kompozit malzemenin sinterleme davranışına etkisi incelenmiştir. Mekanik alaşımlama metodu ile üretilmiş olan 94WC-6Co kompozitin yapısında bulunan tozlara tek basamaklı sıvı faz sinterleme işlemi yapılmıştır. Bu sayede üretilmiş olan kompozit malzemenin mekanik alaşımlamanın süresi, mekanik alaşımlanmış olan takviye miktarı değişimi ve VC, Nb, W ve C takviyelerinin yoğunluk, mikroyapı ve faz oluşumları sırasında meydana gelen değişimleri incelenmiştir.

Karmani, Riedel, Reihani ve Kleebe (2010), bu çalışmada Al-SiC nanokompozitler mekanik alaşımlama ve çift presleme/sinterleme yolu ile üretilmiştir. Öğütülmüş tozların özellikleri, yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu ve XRD yöntemi kullanılarak incelenmiştir. SiC hacim fraksiyonunun Al-SiC nanokompozitlerin gücü üzerindeki etkisini incelemek için sıkıştırma ve sertlik testleri kullanılmıştır. SiC hacim fraksiyonunun artırılmasıyla, mekanik alaşımlama işleminde sonra daha dar boyut dağılımına ve daha küçük

kristalit boyutuna sahip daha ince parçacıkların elde edildiği gösterilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilmiş bir mekanik dayanım elde edilmiştir.

Wu (2011), bu çalışmada katı toz işleme işleminin metal matris kompozitlerin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yarı kompakt halde bulunan kompakt tozun deformasyon mekanizmasını anlamak için analitik bir model geliştirilmiştir. Al6061 ve SiC toz karışımlarının yoğunlaşma davranışı farklı sıvı fraksiyonları ve SiC hacmi ile incelenmiştir. İşlem tek fazlı toz (Al6061) sıkıştırması için başarılı bir şekilde modellenmiştir ve yoğunluk dağılımı tahmin edilmiştir. Kompozitin mekanik özelliğini (sertliğini) tahminlemek için bir kayma gecikme modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda katı toz işleme işleminin partikül/fiber takviyeli metal matris kompozitlerin üretilmesinin mümkün olduğunu ortaya koymuştur.

Şelte (2012), yaptığı çalışmada mekanik alaşımlama metodu kullanılarak WC-Cu kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Bu sırada kompozit malzeme hazırlanmasına olan etkileri ve ortaya çıkan ürünlerdeki mekanik, fiziksel, kimyasal ve yapısal farklılıklar analiz edilmiştir. Sonuç olarak mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak kompozitlerin kendi aralarında çözünmemesi olumlu yönde değişim yarattığı tespit edilmiştir.

Yılmaz (2013), bu çalışmada takviyeli kompozit malzeme üretiminde yapısal analizler yapılması hedeflenmiştir. Matris olarak AA 2014 alaşım alüminyumu dşey gaz atomizasyon metodundan elde edilerek kullanmıştır. Kompozit malzeme imalatı için karışım ve mekanik alaşımlama yöntemleri kullanılmıştır. Alüminyum matris içerisine takviye malzemesi olarak seçilen %1, 2, %4 ve %8 Al₂O₃ miktarlarda eklenmiştir. Bununla birlikte tüm kompozit malzemelere 675 Mpa presleme basıncı uygulanmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin hacimsel yoğunluk değerleri analiz edilmiş, mikroyapı analizi yapılmış, makro sertlik değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda malzeme üretim sürecinde bulunan sinterleme operasyonları numune yoğunluklarında hacimsel olarak takviye malzemesi Al₂O₃ miktarına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.

Razavi, Rahimipour ve Rad (2013), bu çalışmada Fe-WC nanokompozit üretiminin mekanik alaşımlama ile yapılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda ferrotungsten ve karbon karası içeren numunelerde, uzun süre öğütmenin tungsten karbür sentezine yol açmadığı gözlemlenmiştir. 125 saatlik öğütme işleminden sonra tüm hammaddelerin kaybolduğu ve demir ferrit şeklinde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Yurtsever (2014), bu çalışma özelinde denge diyagramlarında bulunan Ni-Ti mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışma sırasında alaşımlama süresi, alaşımlama basıncı gibi değişkenler farklı oranlarda değiştirilmiştir. Mekanik olarak alaşımlanan tozlara toz metalurjisi yöntemleri uygulanarak sinterlenme operasyonu uygulanmadan çok sayıda numuneler elde edilmiştir. Yoğunluk ölçümleri, tane boyutu ile faz analizleri ve SEM incelemeleri uygulanmıştır. Mekanik alaşımlama yöntemi ile yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan yeni yapıdaki Ni-Ti ile ilgili alaşımlama süresi ve alaşımlama basıncının önemi tespit edilmiştir.

Demir (2014), çalışmasında M_7C_3 ile takviyelendirilmiş intermetalik matrisli Ni-Al kompozitleri, mekanik alaşımlama işlemi ile Ni, Al ve M_7C_3 taneciklerinin katı hal reaksiyonu yoluyla üretmiştir. 100 μm boyutundaki Ni, Al ve M_7C_3 tozları karıştırılıp, mekanik alaşımlandı ve preslenip, fırında sinterlenmiştir. M_7C_3 , Ni ve Al'nin birlikte sentezlenmesi sonrasında Fe, Cr ve Al içeren α -Ni fazı matris olarak teşekkül etmiştir. Takviye olarak nano boyuttaki Ni_3Al intermetalikleri, M_7C_3 karbürleri ile beraber yapıda homojen olarak dağıldı. Yapıda oluşumu istenmeyen NiAl intermetaliklerinin oluşumunu engellenmiştir. Mekanik alaşımlanmış kararsız M_7C_3 tanecikleri mekanik alaşımlama ve sinter esnasında matris içerisinde kısmen çözülmüştür. Kompozitlerin morfolojisi M_7C_3 karbürlerinin çözünme oranına ve sinter sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

Özaydın (2015), çalışmada farklı yoğunluklara sahip malzemelerden mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak yeni kompozitlerin üretilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede üretilen Fe-4Ni-1.5Cu-0.5Mo tozlarının alaşımlama süresi ve yüzey pürüzlülüğü parametresinin mekanik özelliklere ve yapıya olan etkisi araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri farklı olan kompozitler 2, 4 ve 6 saat süreyle alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. İncelemeler sonucu üretilmiş olan kompozit malzemelerde alaşımlama süresinin, yüzey pürüzlülüğünün ve yoğunluğun kırılma tokluğuna, aşınma dayanımına, ve sertliğe olan etkisi analiz edilmiştir.

Yıldırım (2016), çalışmasında mekanik alaşımlama yöntemi ile AA7075 Karbon takviyeli kompozitlerin üretim süreci, yapısal analizleri ve aşınma davranışları gözlemlenmiştir. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda AA7075 alaşımına sıcaklık değerleri ve süreleri değiştirilerek mikroyapıda ortaya çıkan ikinci faz çökeltilerin yapısında etkili olduğu görülmüştür.

Kurşun (2017), yaptığı analizde Mg ve Cu ikili toz karışımı ile $Mg_{50}Cu_{50}$ kompozisyonlu toz alaşımı mekanik alaşımlama tekniği ile sentezlemiştir. $Mg_{50}Cu_{50}$ tozunun kristal boyutu

XRD analizi ile Debye Scherrer denklemi kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Mekanik alaşımlama tekniği kullanılarak alaşımlanan $Mg_{50}Cu_{50}$ kompozit tozlarının termal yapısal karakteri diferansiyel taramalı kalorimetri ile (DSC) analiz edilmiştir.

Milli (2017), bu çalışmada demir esaslı nano karbür ve borür takviyeli (B_4C , Fe_2B , Fe_7C_3 , TiB_2) kompozit üretimi esas alınmıştır. Yapı içinde karbürlerin homojen dağılımı ve ebatlarının nano seviyesine düşürülebilmesi için mekanik alaşımlama tekniği kullanılmıştır. Numunelerin sinterlenmesi için sıcaklık $900-1100$ °C aralığında çalışıp en uygun sıcaklığın 1100 °C olduğu belirlenmiştir. Çalışmada numunelerdeki boşluk konsantrasyonu, sertlik değişimi, bileşiklerin tayini ve yapıdaki elementel değişim belirlenmiştir.

Keneshloo, Paidar ve Taheri (2017), SiC partikülleri ve Al-Cu kompozitler mekanik alaşımlama işlemi ile üretilmiştir. Öğütme süresinin ve parçacık büyüklüğünün ve hacminin etkisinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar takviye partiküllerinin yer değiştirme hareketine karşı dirençte pozitif etkisine atfedilen kompozit sertliğinde bir azalmanın meydana geldiğini açıkça göstermiştir.

Yıldırım ve Özyürek (2018), yapılan analizde toz metalurjisi yöntemi kullanılarak AA7075 alaşımına Mn tozu takviye edilerek imal edilen alaşımların sertlik, mikroyapı ve aşınma davranışları analiz edilmiştir. Çalışmada alaşımlama tozlarının miktarı değiştirilerek, gaz atomize 7075 Al alaşım tozlarına %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında Mn takviye edilerek mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiştir. Aynı ayrı takip edilen proseslerde üretilmiş olan alaşım tozları şekillendirme yapabilmek için sıcaklık arttırılmıştır. Sonra sert malzeme sağlamak adına sinterlenme işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışma sonucunda alaşıma ilave edilen takviye miktarı arttıkça sertliğin arttığı görülmüştür. Ek olarak aşınma testleri sonucu ağırlık kaybının azaldığı tespit edildiği gözlemlenmiştir.

Atwater, Guavera ve Knauss (2019), bu çalışmada Ni-Cu katalizörü ile çok fazlı fonksiyonel bir alaşımın elde edilmiştir. Bu katalizör parçacıkları, gözeneklilik oluşturmak ve yerinde karbon nano lif birikimini katalize etmek üzere tasarlanmıştır.

Hamidi, Arabi ve Khaki (2019), bu çalışmada nano-kristalli tungsten ağır alaşım tozu, mekanik alaşımlama yöntemi ile imal edilmiştir. Sinterleme davranışı ve talep edilen tozun mikroyapısal gelişimi incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

SEM, EDS ve mapping analizleri için ZEISS EVO LS 10 marka, optik incelemeler için LEICA DM750 cihazı, mikrosertlik için QNESS Q10 cihazı, XRD analizi için A Bruker D-8 marka cihazlar kullanılmıştır.

Üretilen numunelerde matris olarak Demir “Fe” tozları, takviye elemanları olarak da MoNiAl+WC tozları kullanılmıştır. Kullanılan Fe tozlarının boyutu 100 µm, MoNiAl+WC tozlarının boyutu +37 -63µm’ dir. MoNiAl+WC, ve Fe tozlarının kimyasal bileşimleri Çizelge 3.1., Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3.’te verilmiştir. Fe ve T MoNiAl+WC tozları birlikte mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik alaşımlamada Spex tipi (1200 dev./dak.) yüksek enerjili öğütücü kullanılmıştır. Öğütücüde bilye çapı 10 mm olarak, bilye/toz oranı=10/1 olarak ve mekanik alaşımlama süresi 1 saat olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan Fe tozunun kimyasal kompozisyonu (%)

Fe	Diğer
99,5	0,5

Çizelge 3.2. Kullanılan MoNiAl tozunun kimyasal kompozisyonu (%)

Mo	Ni	Al	Diğer
47	43	9,5	0,5

Çizelge 3.3. Kullanılan WC tozunun kimyasal kompozisyonu (%)

WC	Diğer
99,97	0,03

3.2 Yöntem

Mekanik alaşımlama işleminde takviye oranı ağırlıkça %0.5 ile %15 arasında belirlenmiştir. Mekanik alaşımlama işleminden sonra elde edilen karışıma yağlayıcı amaçlı olarak %2 miktarında çinko stearat katılarak 5 ton’luk bir kuvvet altında sıkıştırma işlemi uygulanmıştır.

Numuneler sıkıştırma işleminden sonra sinterlenmiştir. Sinter sıcaklığı 1000°C, sinter süresi ise 1 saat olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.4.'te üretilen numuneler ve numunelere uygulanan deney parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Üretilen numuneler ve uygulanan deney parametreleri

Numune No.	Sinter Sıcaklığı (°C)	Sinter Süresi (Saat)	Matris Oranı (% ağı.)	Takviye Oranı (% ağı.)
N 1.1	1000	1	99,5	0,5
N 1.2	1000	1	99	1
N 1.3	1000	1	97	3
N 1.4	1000	1	95	5
N 1.5	1000	1	93	7
N 1.6	1000	1	88	12
N 1.7	1000	1	85	15
N 2.1	1000	1	99,5	0,5
N 2.2	1000	1	99	1
N 2.3	1000	1	97	3
N 2.4	1000	1	95	5
N 2.5	1000	1	93	7
N 2.6	1000	1	88	12

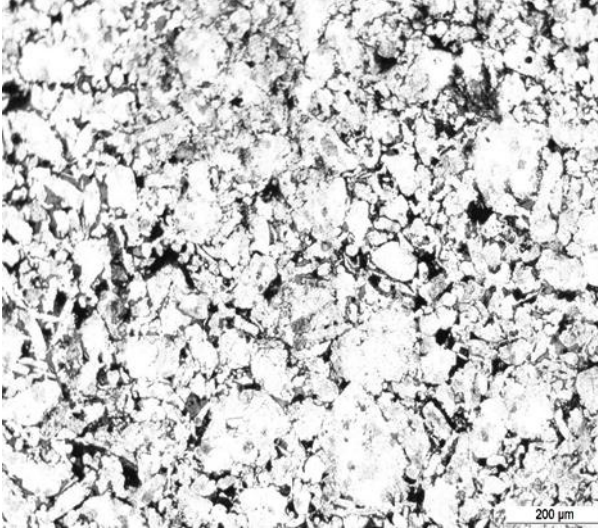
Mikroyapı görüntüleri için numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra eşit miktarda nitrik asit, asetik asit ve aseton karışımından oluşan nitrik asetik asit çözeltisi ile dağlandı. Dağlanan yüzeylerin optik mikroskopta fotoğrafları çekilip, yüzeylerin SEM ve EDS görüntüleri alınarak mikroyapıdaki elementsel konsantrasyon değişimleri tespit edilmiştir ve mikroyapıda oluşan faz ve bileşikler tespit etmek amacıyla XRD incelemeleri yapılmıştır. Devamında numunelerin mapping fotoğrafları çekilmiş olup, mikrosertlikleri incelenmiştir. Çalışma sırasında kullanılan cihaz marka ve modelleri;

Son olarak deney parametrelerine göre belirlenmiş bazı numunelere aşınma testleri uygulanarak numunelerin aşınma davranışları test edilmiştir. Bu testlerde uygulanan yük değişimine göre ağırlık kaybı üzerinden aşınma davranışları incelenmiştir.

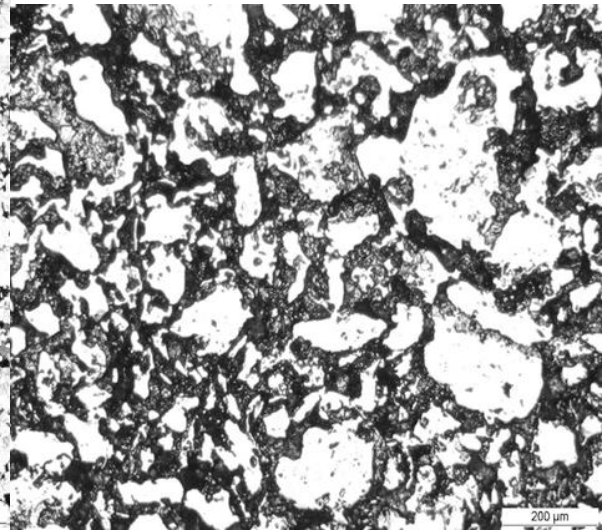
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Optik İncelemeler

Mikroyapı görüntüleri için numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra nital çözeltisi ile dağlanıp, dağlanan yüzeylerin optik mikroskopta fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 4.1.'de ve Şekil 4.2.'de farklı oranlardaki takviyelerin ve 1 saatlik mekanik alaşımlanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



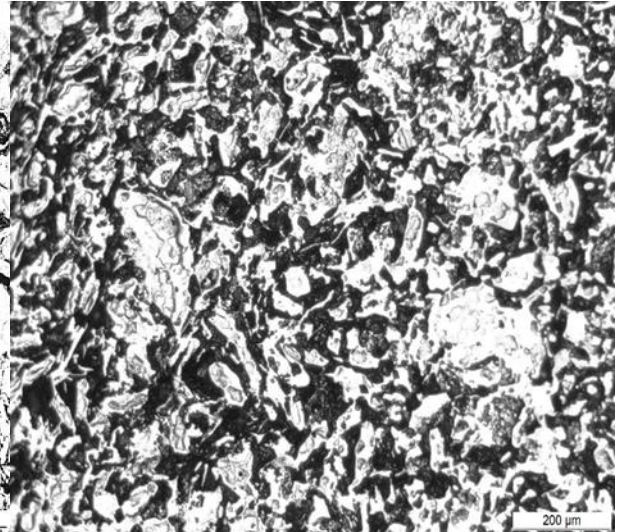
a) N1.1 numunesinin optik fotoğrafı



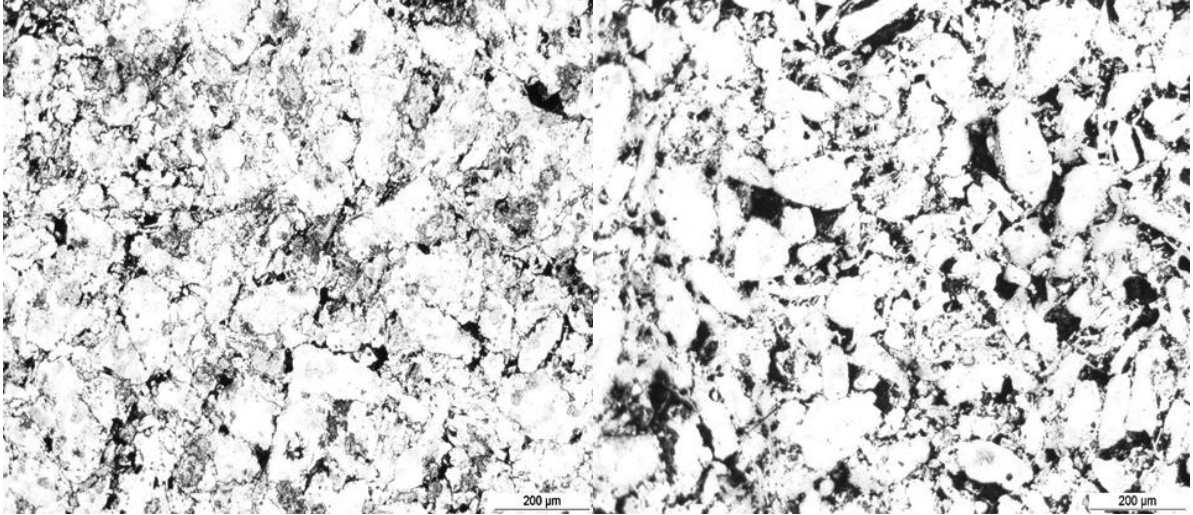
b) N1.2 numunesinin optik fotoğrafı



c) N1.3 numunesinin optik fotoğrafı

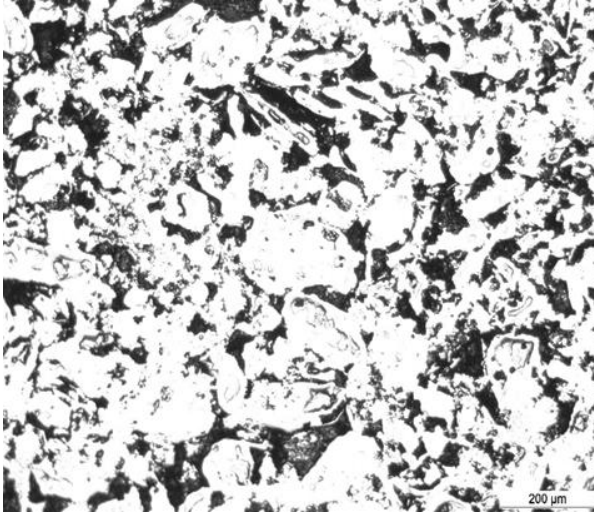


d) N1.4 numunesinin optik fotoğrafı



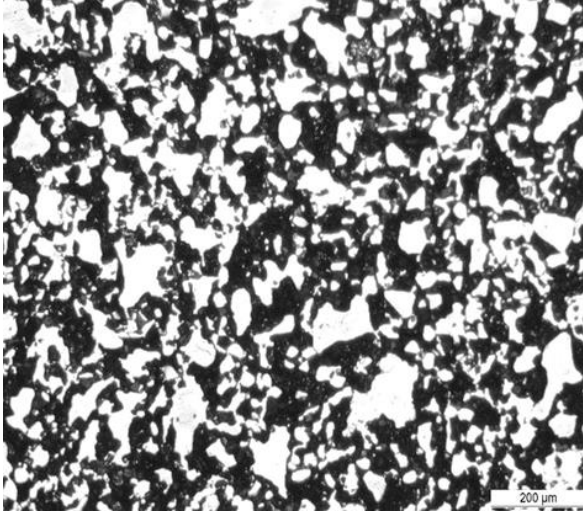
e) N1.5 numunesinin optik fotoğrafı

f) N1.6 numunesinin optik fotoğrafı

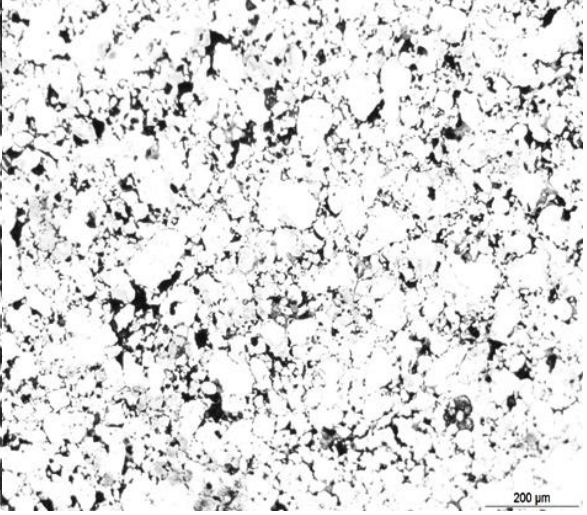


g) N1.7 numunesinin optik fotoğrafı

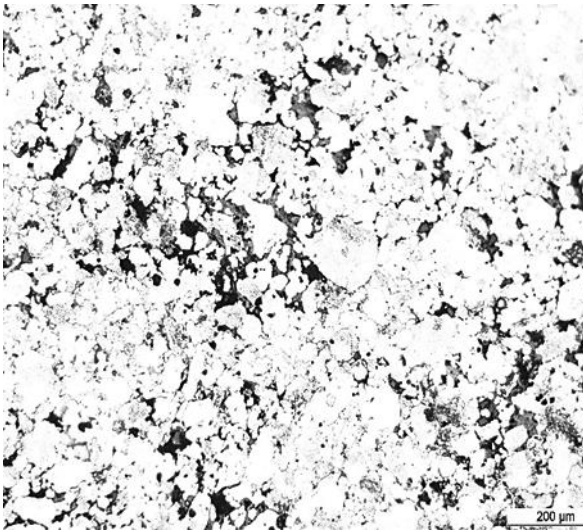
Şekil 4.1. Takviye oranına göre 1 numaralı numunelerin optik görüntüleri: **a)** %0,5 takviye **b)** %1 takviye **c)** %3 takviye **d)** %5 takviye **e)** %7 takviye **f)** %12 takviye **g)** %15 takviye



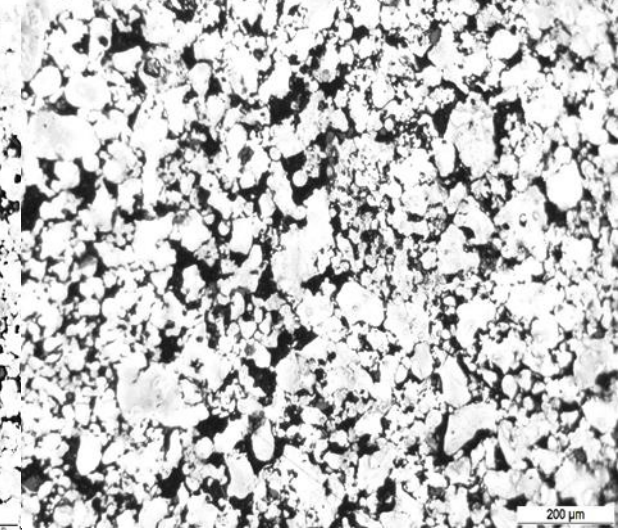
a) N2.1 numunesinin optik fotoğrafı.



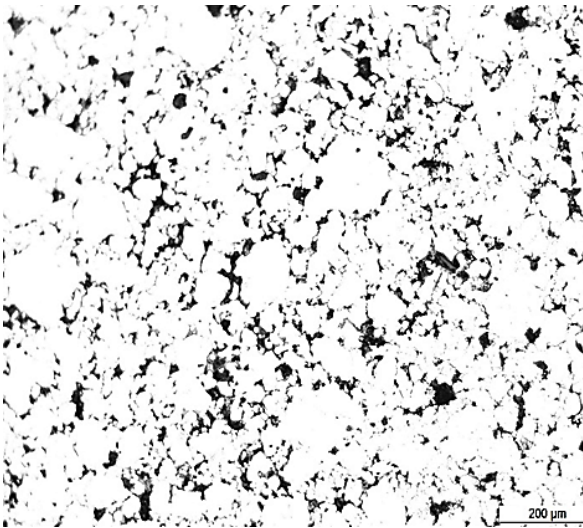
b) N2.2 numunesinin optik fotoğrafı.



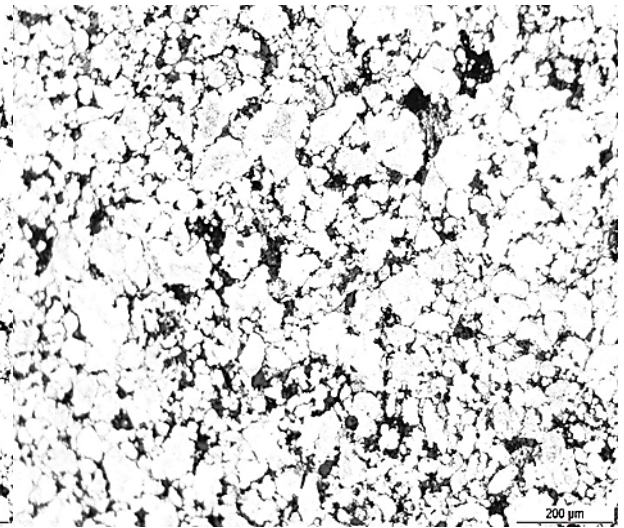
c) N2.3 numunesinin optik fotoğrafı.



d) N2.4 numunesinin optik fotoğrafı.



e) N2.5 numunesinin optik fotoğrafı.



f) N2.6 numunesinin optik fotoğrafı.

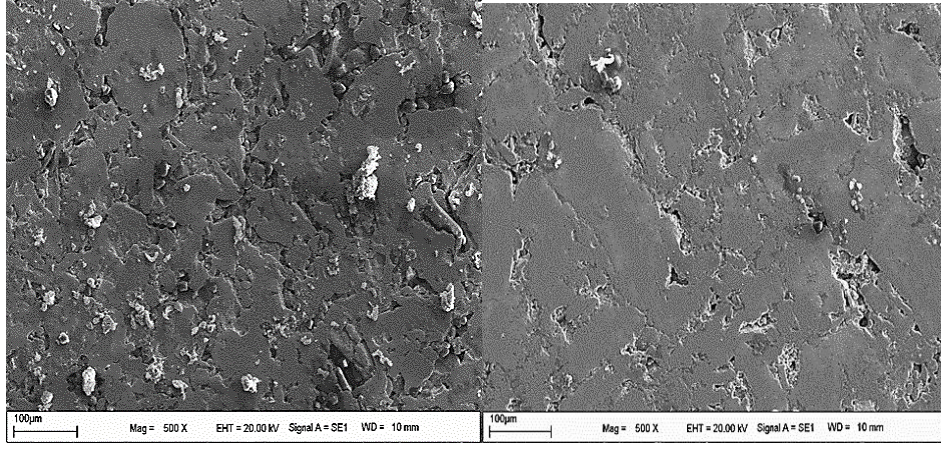
Şekil 4.2. Takviye oranına göre 2 numaralı numunelerin optik görüntüleri: a) %0,5 takviye b) %1 takviye c) %3 takviye d) %5 takviye e) %7 takviye f) %12 takviye

Matris içerisindeki takviye oranının artmasının yapıdaki tane ebadı, takviye ebadı ve difüzyon üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Takviye oranının artışı ile birlikte yapıdaki tane sınır boşlukların oranının azaldığı görülmektedir. Ayrıca yapıdaki takviyelerin ebatlarının düştüğü ve büyük ebatlı takviyelerin difüze oldukları görülmektedir. Bu farklı oranlarda dağılan takviyelerden N1.5 ve N2.5 numaralı numuneler en optimum seviyeye ulaşmıştır. 5 numaralı çalışmalar Hem takviye ebatlarının en düşük olduğu hem de sınır boşlukların oranının en çok azaldığı numune olmuştur. Tüm numunelerin optik fotoğrafları EK 1’de verilmiştir.

4.2 SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri

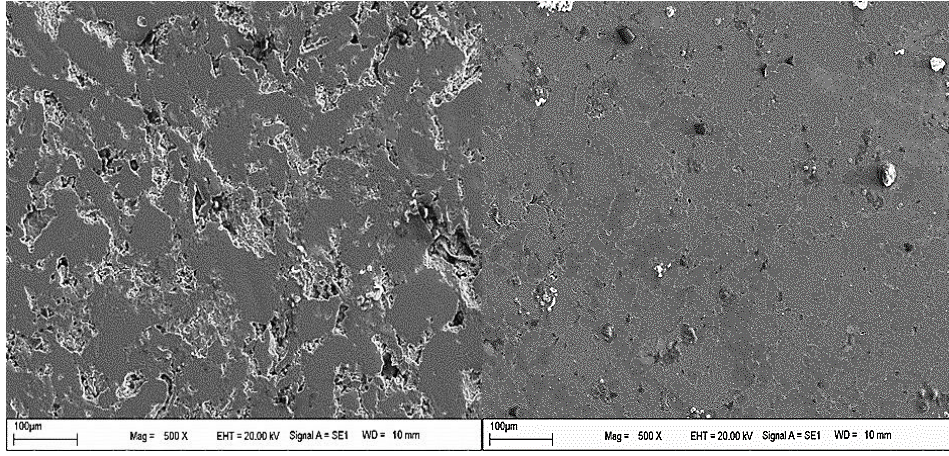
Deney parametrelerine göre belirlenmiş bazı numunelerin SEM görüntüleri alınıp EDS analizleri ile elementel konsantrasyon değişimleri tespit edilmiştir. Tüm numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri sırasıyla EK 2 ve EK.3’te verilmiştir. SEM analizi ile malzeme, tane boyutu, tane morfolojisi, yüzey kabalığı, porozite, partikül tane dağılımı, malzeme homojenliği ve kaplama kalınlığı belirlenebilir.

Mekanik alaşımlama sırasında Fe ve NiAl tozları arasındaki ekzotermik reaksiyon ısı üretir. Bu ısı yoğunlaştırılmış katı alan temasının sağlandığı şartlarda difüzyon hızının artmasını sağlar ve daha yoğun bir yapının oluşmasına vesile olur. Oluşan fazların tipi ve miktarı takviye miktarına (% ağı.) bağlıdır. 1 ve 2 numaralı numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 4.3. a, b, c, d, e, f’de verilmiştir.



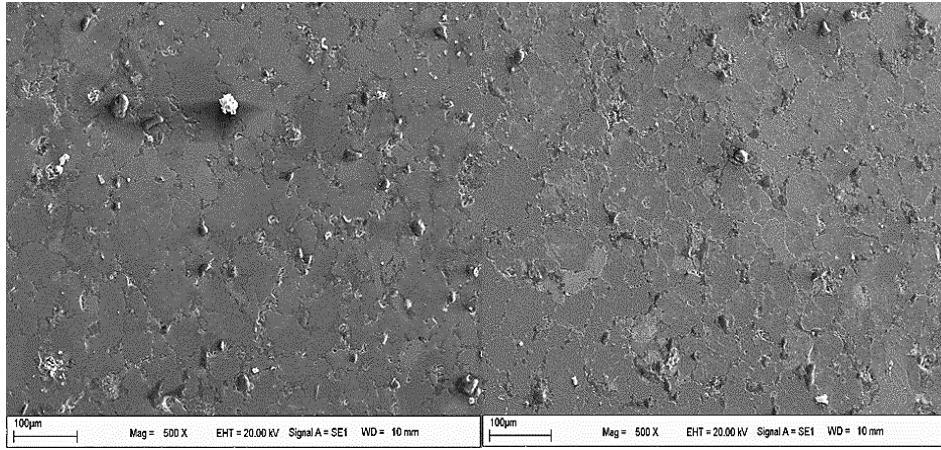
a)

b)



c)

d)



e)

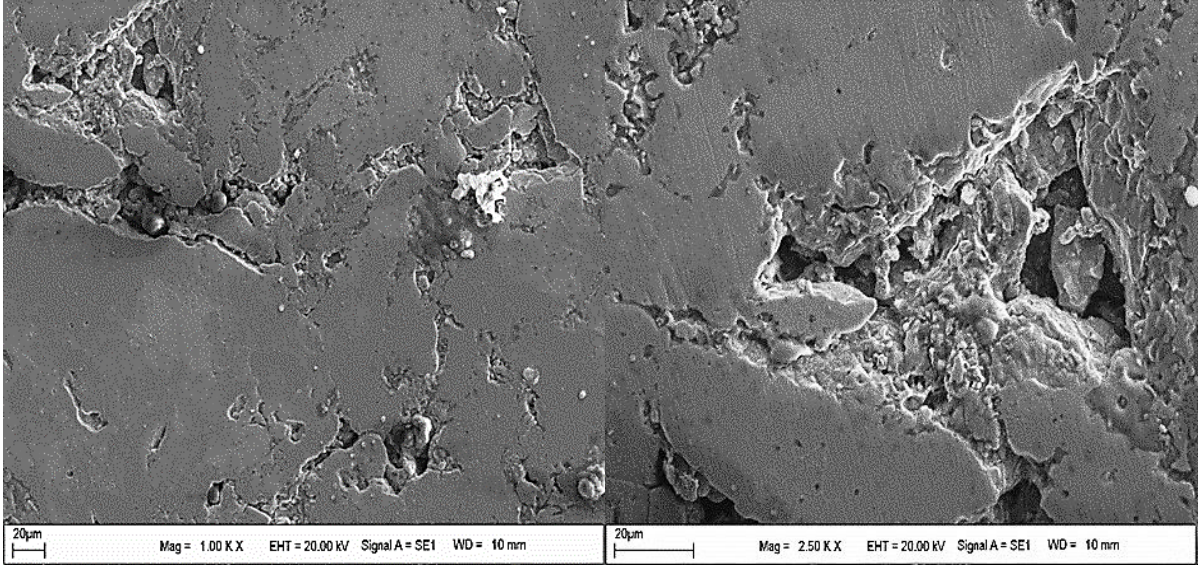
f)

Şekil 4.3. Numunelerin SEM mikroyapı görüntüsü: a) N1.4, b) N1.6, c) N1.7, d) N2.3, e) N2.5, f) N2.6

Takviye oranının artışı tane boyutunu düşürmüştür. Bununla birlikte intermetalik faz oranını azalttığı ve karbür oranını arttırdığı görülmüştür. Malzemelerin homojen dağılımı ise takviye miktarının artışı ile artmıştır. Ancak belirli bir seviyeden sonra bozulmalar meydana gelmiştir. Tüm numuneler incelendiğinde porozite özellikleri karşılaştırıldığında takviye miktarının artması ile birlikte porozitenin de arttığı tespit edilmiştir. Takviye elemanı boyutunun matrisi içerisindeki tozlardan küçük olduğundan parçacık topaklanmalarını meydana getirmiştir. Bu durum porozite oranının artmasını sağlamıştır. Çünkü topaklanmalar sonucunda matris yapısı ile takviye yapısı arasında yeterli ve gerekli olan yüzey bağı kurulamamıştır. Bu kısımlarda da poroziteler oluşmuştur. SEM fotoğraflarından görüldüğü gibi; NiAl, WC ve intermetalikler mikroyapı içinde mekanik öğütme neticesinde parçacıklar halinde homojen bir şekilde dağılmıştır. NiAl ve Mo varlığı intermetaliklerin şekillerini değiştirmiştir. XRD diyagramlarından görüldüğü gibi; WC ün takviye olarak kullanılması intermetalik faz oluşumunu engellemiştir. Mikroyapı NiAlFe, Ni₃Al, MoAl, MoC, Al₄Ni₃, Al₃Ni₂ ve WC fazlarından oluşmakta ve matris ise α -Fe fazı içermektedir. Al₂O₃ miktarındaki artış intermetalik oluşumunu bastırmıştır.

NiAl, WC ve Fe tozları karıştırılarak MA işlemi sonucu elde edilen kompozitin dokusunda (FeNi)Al katı çözültisi oluşmuş ve bu katı çözültinin sertliği yaklaşık 150-400 HV aralığında değişmiştir. Aynı yapıda, bazı bölgelerde NiAl ve WC görülmektedir ve bu bölgelerin sertliği 500-800 HV olarak belirlenmiştir. SEM fotoğraflarından görüldüğü gibi numuneler özellikle Fe, Ni₃Al, NiAl, Mo, WC ve diğer ikincil fazları içermektedir. Metalografik muayeneler ve XRD sonuçlarına bakıldığında, WC takviyesinin var olduğu durumlarda toplam takviye miktarında NiAl fazının hacimsel oranı %80-85 dir.

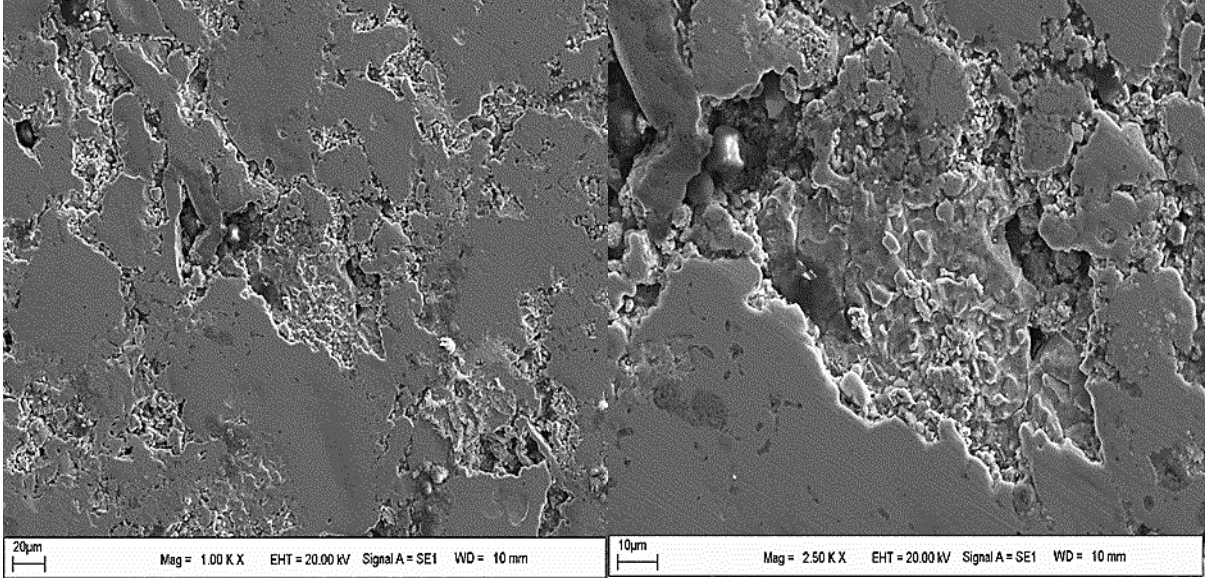
N1.6 numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.4. a ve b' de verilmiştir. Mekanik alaşımlama süresi, sinter sıcaklığı sabit tutulup takviye oranı değiştirilmiştir.



a)

b)

Şekil 4.4. N1.6 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü: **a)** X1000, **b)** X2500

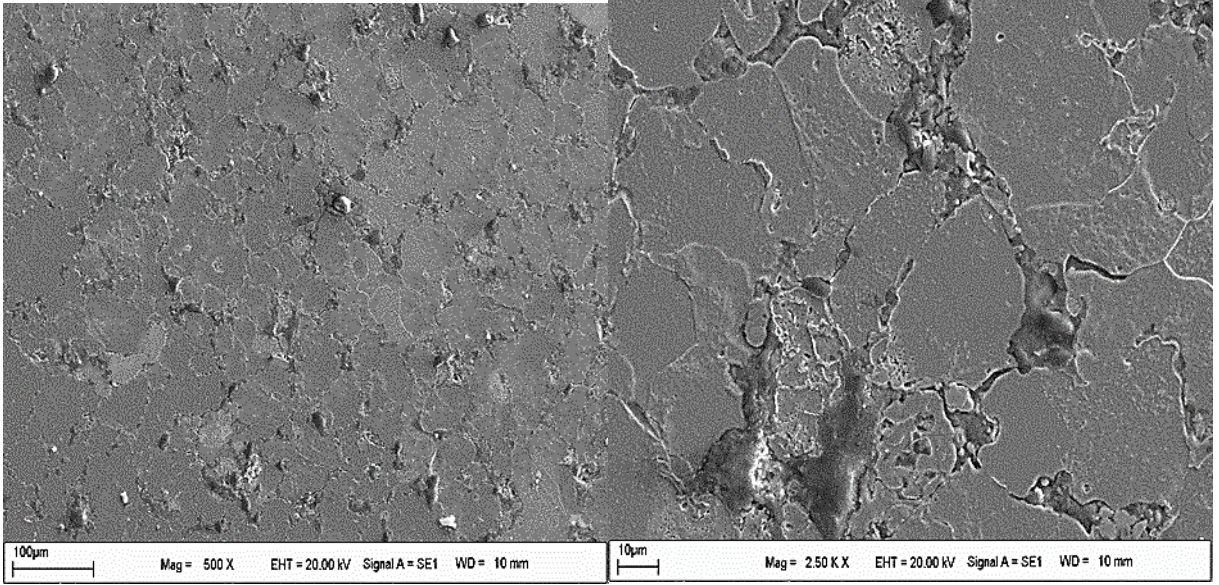


a)

b)

Şekil 4.5. N1.7 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü: **a)** X1000, **b)** X2500

Takviye oranı artışının tane boyutunu düşürdüğü, intermetalik faz ve karbür oranını artırdığı görülmüştür. Dağlama çözeltisi, NiAl veya NiCrFe'e göre Ni₃Al ile daha hızlı etkileşime girmiştir. Beyaz fazlar veya çökelti fazları NiAl, gri faz veya matris ise Ni₃Al dir. Numunelerin mikroyapı fotoğraflarından; WC parçacıkları matris içinde kısmen çözündüğü ve miktarının azaldığı görülmektedir. WC karbürü oluşum sıcaklığına ve intermetalik fazlarının entalpisine bağlı olarak matris tane boyutu üzerinde etkili olmuştur.



Şekil 4.6. N2.6 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü: **a)** X1000, **b)** X2500

N2.6 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü Şekil 4.6.'da verilmiştir. Ni_3Al 'nin sinterlenmesi ardışık birkaç adımdan oluşan karmaşık bir reaksiyon sonucunda meydana gelmektedir. İlk olarak alüminyumca zengin $NiAl_3$ oluşur. Daha sonra, bu faz Ni fazı ile reaksiyona girerek $NiAl$ 'yi oluşturur. $NiAl$ 'nin civarındaki Ni mevcudiyetine bağlı olarak Ni_3Al oluşur. Sonuç olarak, sinter esnasında reaksiyon tamamlanmadan $NiAl$ ve Ni_3Al intermetalik fazları birlikte bulunur. Mikroyapıya bakıldığında WC partiküllerinin kısmen çözüldüğü ve boyutlarının 2-5 µm düştüğü görülmüştür. EDS analizlerine bakıldığında Cr, Fe ve C atomlarının matriste çözüldüğü görülmüştür. Dahası, bu atomların çözünmesi mikroyapıyı değiştirmiştir ve WC oranındaki artış Ni_3Al fazının hacimsel % sinin etkilemiştir. Mikroyapı değişimi üzerinde WC karbürünün çözünmesi etkindir, çünkü Cr, Fe ve C atomlarının varlığı Ni_3Al nin kimyasal potansiyelini ve $NiAl$ oluşum sisteminin sıcaklığını düşürür.

EDS analizleri bölgesel olarak incelendiğinde;

N 1.7 numunesine ait 1. Bölgede Ni, Fe, Mo, Al elementleri, N 1.7 numunesinin 2. Bölgede Fe, Mo, Ni, Al elementleri 3. Bölgede Al, Fe, Mo, Ni, 4. Bölgede Fe, Al, Mo, Ni elementleri, 5. Bölgede Fe, Ni, Mo, Al elementleri, 6. Bölgede Fe, Mo, Al, Ni elementleri, 7. Bölgede Fe, Mo, Al, Ni elementleri 8. Bölgede Cu, Fe, Ni, Mo, Al elementleri saptanmıştır. Hem matris hem de takviye üzerinde farklı noktalardan alınan EDS analizlerine baktığımızda; yapı içerisinde demir, molibden, bakır, nikel ve alüminyum elementleri tespit edilmiştir.

N 2.6 numunesine ait 8. Bölgede Fe, W, Mo, Ni, C, Al elementleri, 9. bölgede Fe, W, Ni, C, Mo, Al elementleri 10. Bölgede Fe, W, Mo, Ni, C, Al elementleri, 11. Bölgede Fe, W, Mo, Ni, C, Al elementleri, 12. Bölgede Fe, W, Mo, Ni, C, Al elementleri, 13. Bölgede Fe, C, W, Mo, Ni, Al elementleri saptanmıştır. Yapıda bulunan karbür kristallerinin hafif parlaksı bir yapıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Hem matris hem de takviye üzerinde farklı noktalardan alınan EDS analizlerine baktığımızda; yapı içerisinde wolfram, molibden, karbon, nikel, demir ve alüminyum elementleri tespit edilmiştir.

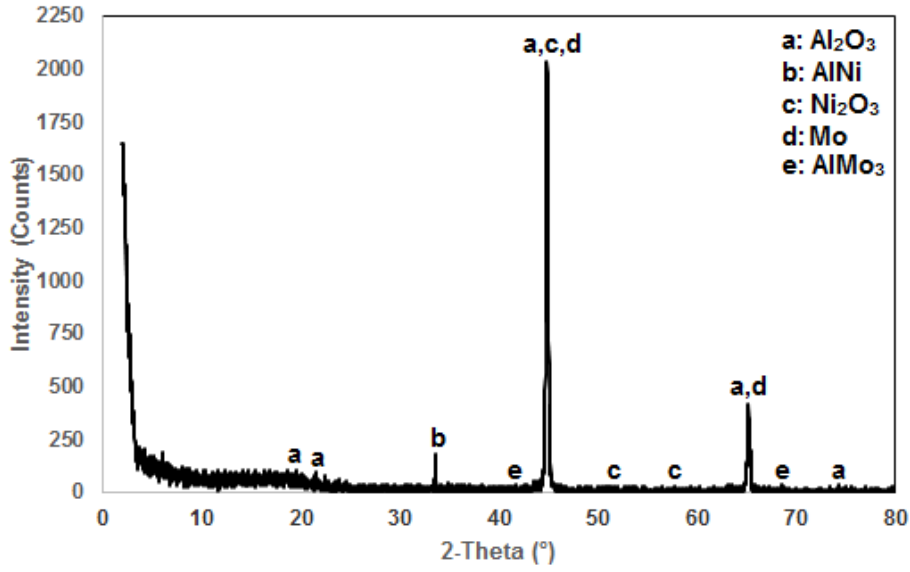
4.3 XRD Analizleri

XRD sonuçları kompozitlerin başlıca Mo, WC, NiAl, Ni₂O₃, Al₂O₃, Mo₃Al ve Ni₃Al fazlarını içerdiğini gösterir. Kompozisyon ve ısı sentezi ne olursa olsun numuneler benzer mikroyapılara sahiplerdir. Sinter sıcaklığının 650 den 850 °C'ye artışı sonrası matris ile WC karbürleri arasında daha sorunsuz ve boşluksuz bir geçiş olduğu görülmüştür. Bu olumlu gelişme mikrosertlik değerlerini olumlu etkilemiş ve değerler yükselmiştir. Sıcaklığın daha fazla arttırıldığı 1000 °C'de matris fazının tanelerinin büyümesine yol açtığı ve sertlik değerlerinin düştüğü görülmektedir.

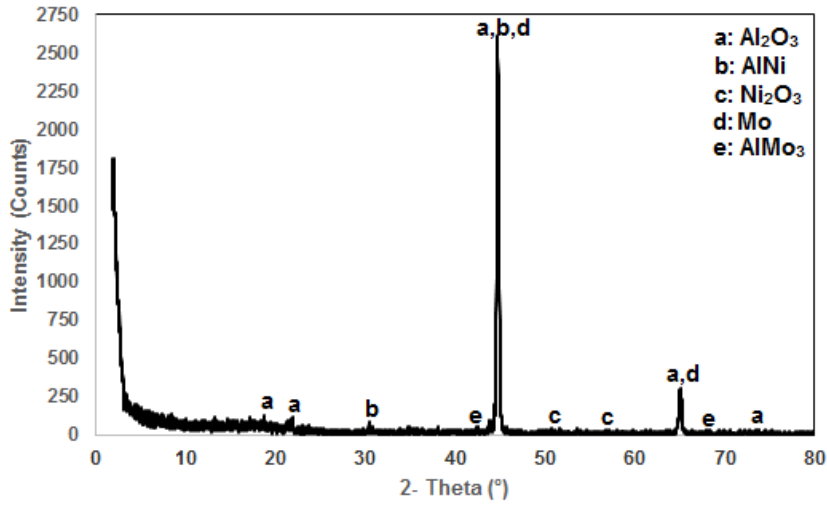
WC-NiAl numunelerinin XRD sonuçlarında elementel Ni ya da Al görülmemiştir. Bununla birlikte numuneler karşılaştırıldığında NiAl konsantrasyonu değişmiştir. Numunelerde sıvı fazın oluşumu WC ve kompozitlerin diğer bileşenleri arasındaki reaksiyonu arttırır. Cr'un bir bölümü Ni₃Al fazında tüketilmiş olabilir. Mikroyapı Ni₃Al intermetalik matrisinde eş eksenli WC taneleri içerir.

Mikroyapıda oluşan faz ve bileşikler tespit etmek amacıyla Bruker D8 Advance markalı cihazda 1,5406 dalga boyunda XRD incelemeleri yapılmıştır. XRD analizleri deney parametrelerine göre belirlenmiş belli numunelere uygulanmıştır. XRD grafikleri deney parametreleri doğrultusunda; takviye miktarı değişimine göre hazırlanmıştır.

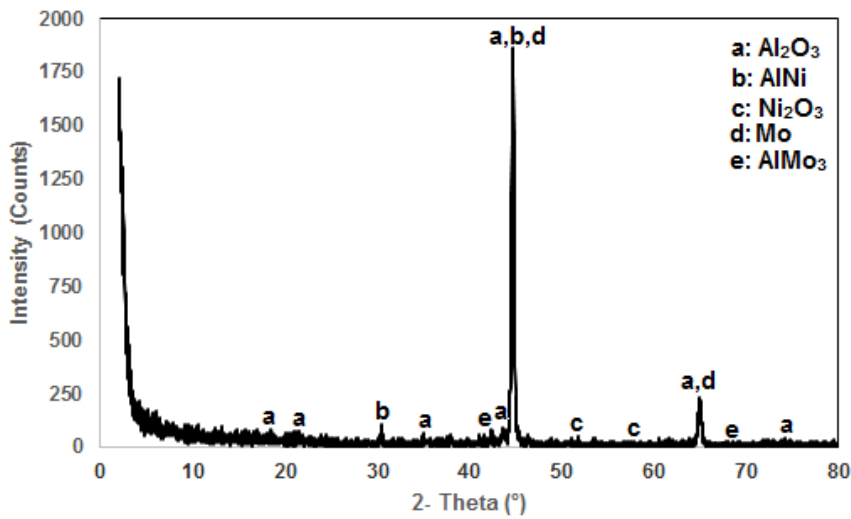
Takviye miktarı değişimine göre numunelerin XRD grafikleri incelendiğinde, şekil 4.10. ve 4.12. 'da bulunan numunelerde diğer numunelere göre daha belirgin NiAl ve Al₂O₃ piki görülmüştür. Ayrıca N2.5 numaralı numunedeki karbür pikleri diğer numunelere göre daha belirgindir.



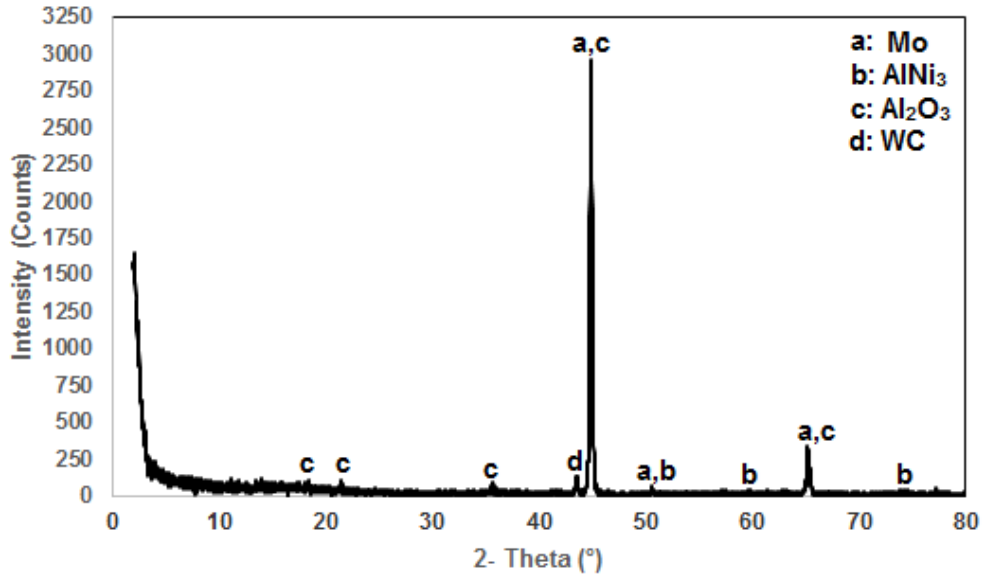
Şekil 4.7. N1.4 numunenin XRD analiz sonuçları



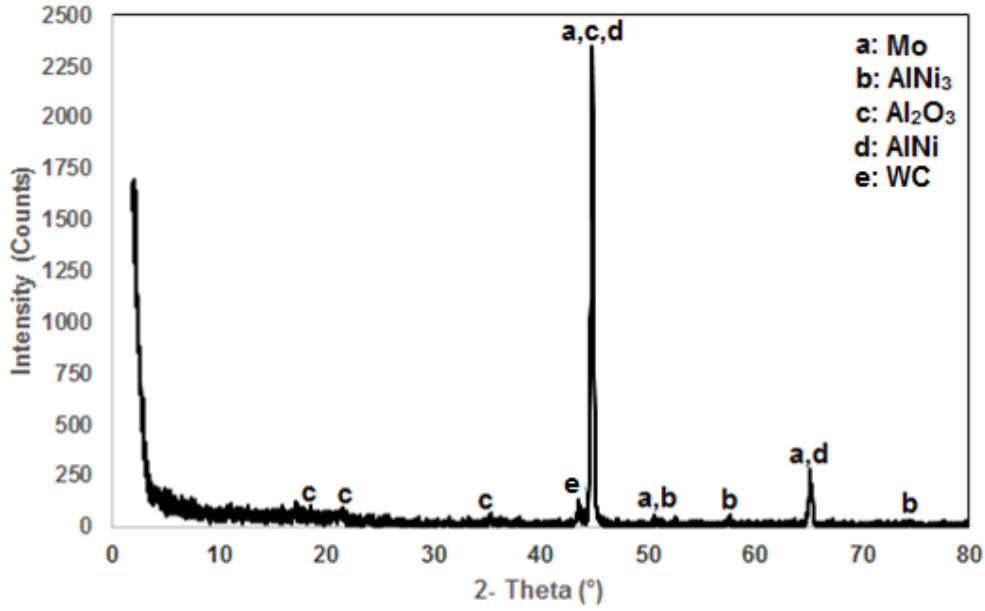
Şekil 4.8. N1.6 numunenin XRD analiz sonuçları



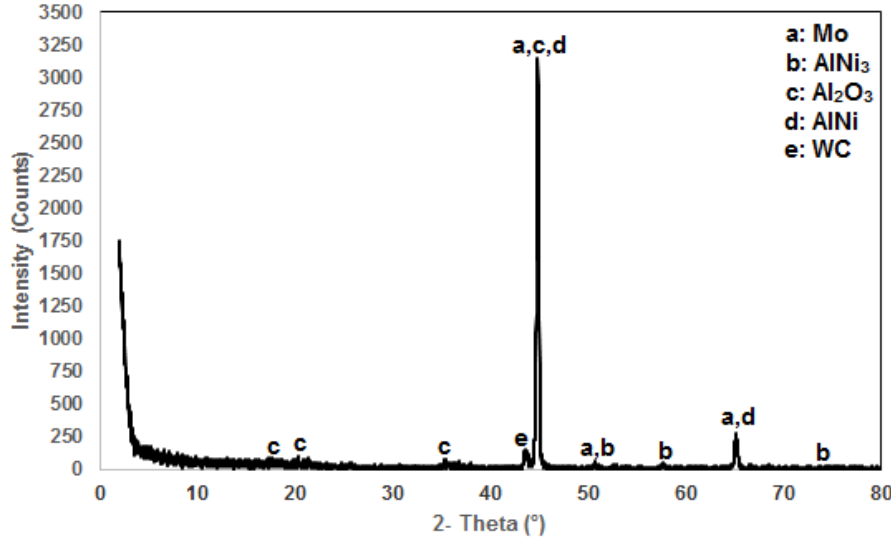
Şekil 4.9. N1.7 numunenin XRD analiz sonuçları



Şekil 4.10. N2.3 numunenin XRD analiz sonuçları



Şekil 4.11. N2.5 numunenin XRD analiz sonuçları



Şekil 4.12. N2.6 numunenin XRD analiz sonuçları

Yapılan XRD analizleri incelendiğinde;

N 1.4 numaralı numunede Al_2O_3 , NiAl, Ni_2O_3 , Mo, Mo_3Al fazlarının oluştuğu ve Al_2O_3 , Ni_2O_3 , Mo pikleri gözlenmiştir.

N 1.6 numaralı numunede Al_2O_3 , NiAl, Ni_2O_3 , Mo, Mo_3Al fazlarının oluştuğu ve Al_2O_3 , NiAl, Mo pikleri gözlenmiştir.

N 1.7 numaralı numunede Al_2O_3 , NiAl, Ni_2O_3 , Mo, Mo_3Al fazlarının oluştuğu ve Al_2O_3 , NiAl, Mo pikleri gözlenmiştir.

N 2.3 numaralı numunede Mo, Ni_3Al , Al_2O_3 , WC fazlarının oluştuğu ve Mo, Al_2O_3 pikleri gözlenmiştir.

N 2.5 numaralı numunede Mo, Ni_3Al , Al_2O_3 , NiAl, WC fazlarının oluştuğu ve Mo, Al_2O_3 , NiAl pikleri gözlenmiştir.

N 2.6 numaralı numunede Mo, Ni_3Al , Al_2O_3 , NiAl, WC fazlarının oluştuğu ve Mo, Al_2O_3 , NiAl pikleri gözlenmiştir.

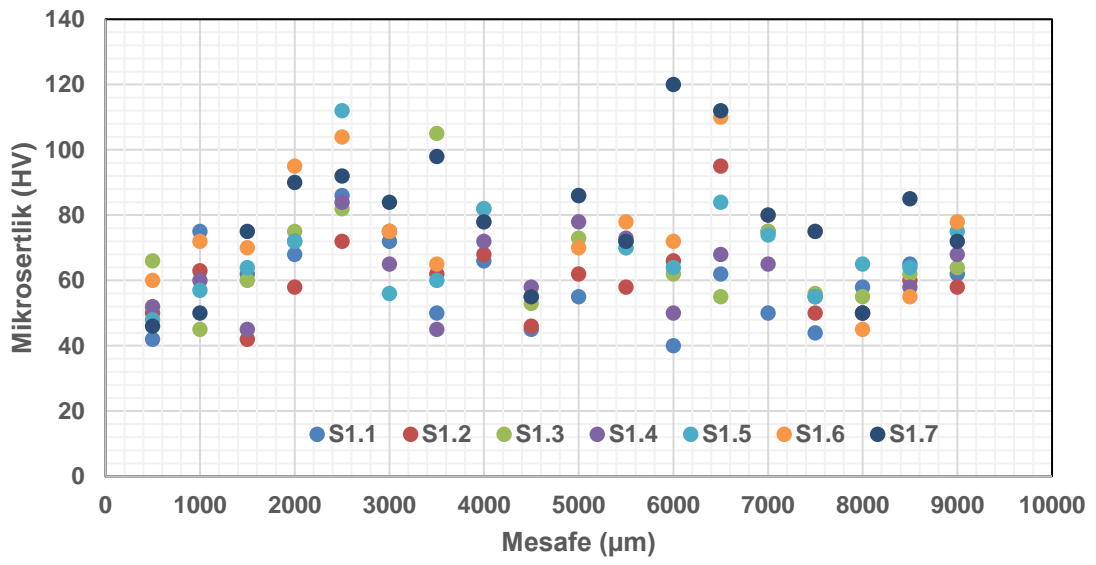
4.4 Mikrosertlik Analizleri

Mikrosertlik cihazı ile 10 gr yük altında numunelerin yüzeyindeki mikrosertlik değişimi HV olarak belirlenmiştir. Deney parametreleri doğrultusunda takviye miktarı değişimine göre mikrosertlik değişimleri incelenmiştir. Deney parametrelerine göre mikrosertlik değerlerinin değişimleri Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'te verilmiştir. Deney sonuçlarına baktığımızda matris içerisinde bulunan takviye miktarının artması, numunenin sertliğini de arttırmaktadır.

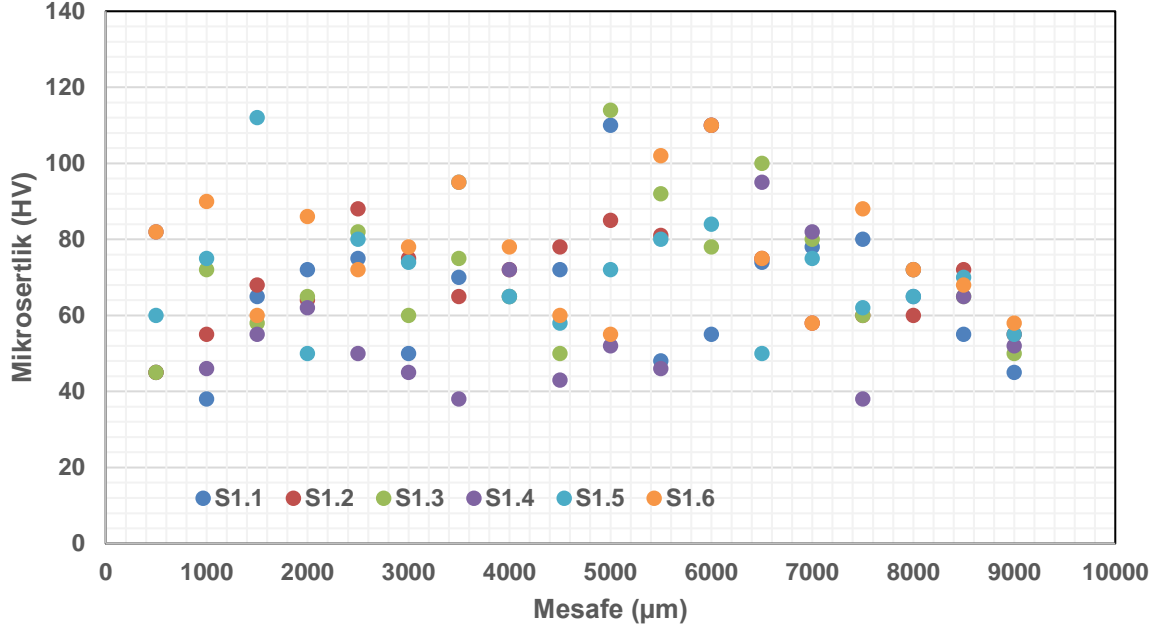
Numuneler arasında en fazla takviye miktarı bulunan numune mikrosertliği en fazla olan numune olarak tespit edilmiştir.

Şekilde 4.13'te görüleceği üzere NiAl, WC ve Mo takviyeleri malzemenin sertlik değerini arttırmıştır. En fazla takviye miktarı bulunan N1.7 numaralı numunenin en fazla sertliğe sahip olduğu görülmüştür.

Şekilde 4.14'te görüleceği üzere NiAl, Al₂O₃ ve Mo takviyeleri malzemenin sertlik değerini arttırmıştır. En fazla takviye miktarı bulunan N2.6 numaralı numunenin en fazla sertliğe sahip olduğu görülmüştür.



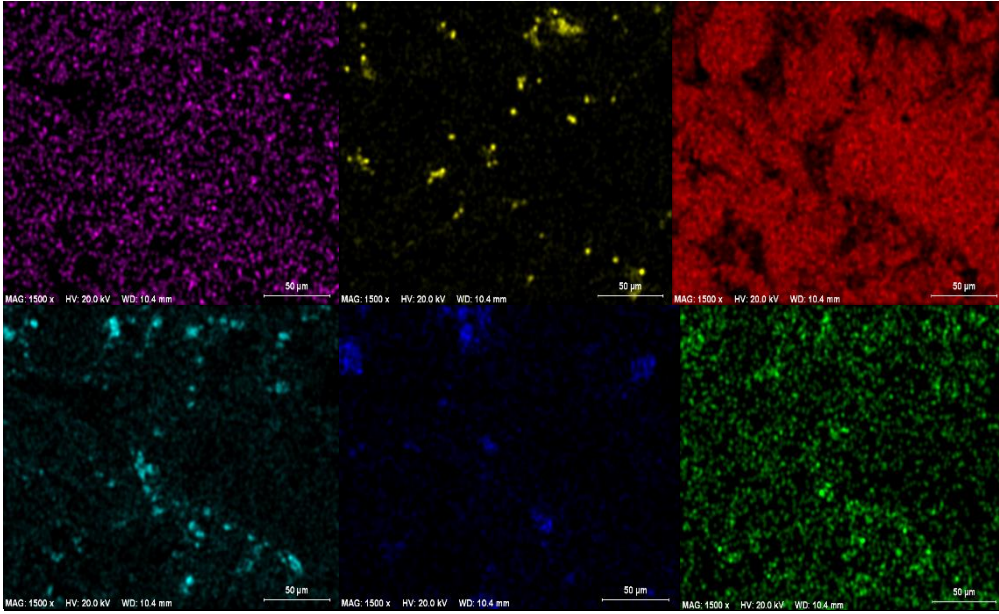
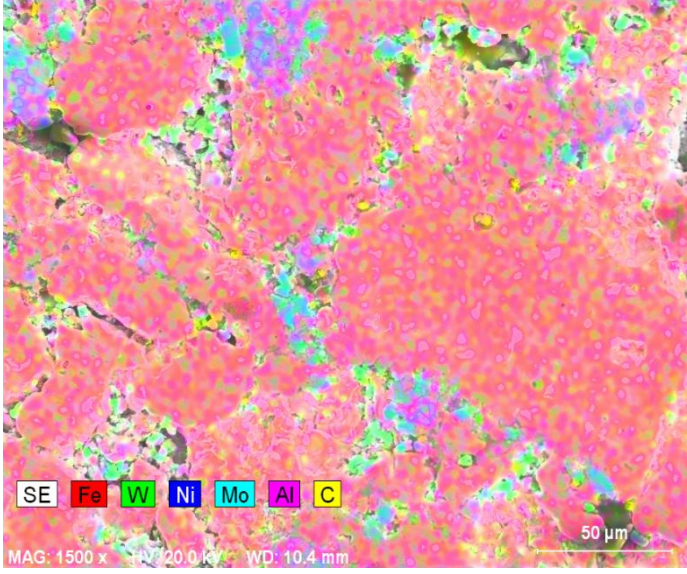
Şekil 4.13. Mo + NiAl + WC takviyeli numune mikrosertlik sonuçları



Şekil 4.14. Mo + NiAl + Al₂O₃ takviyeli numune mikrosertlik sonuçları

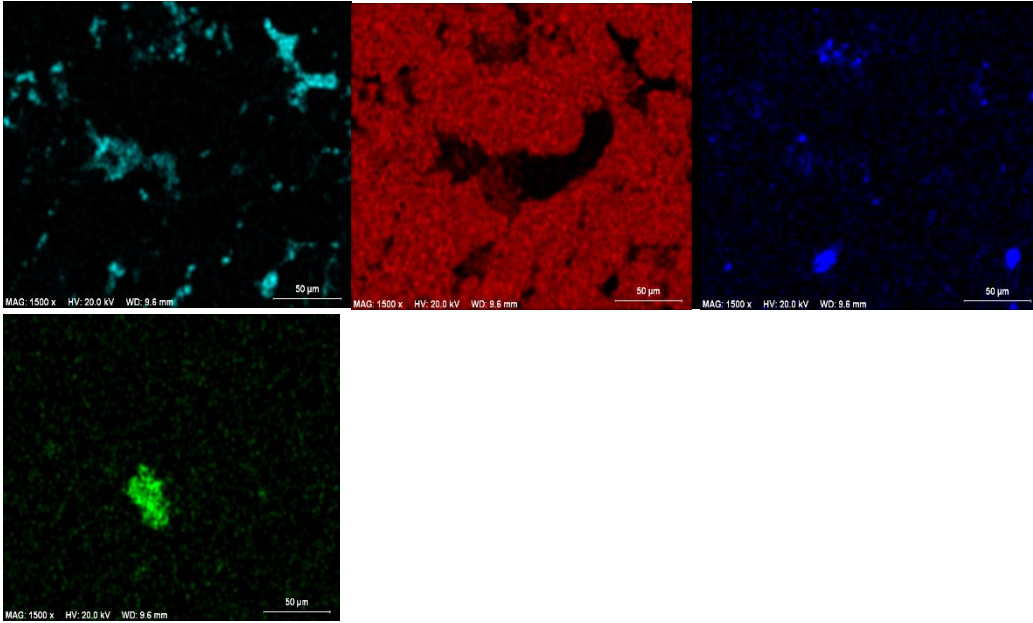
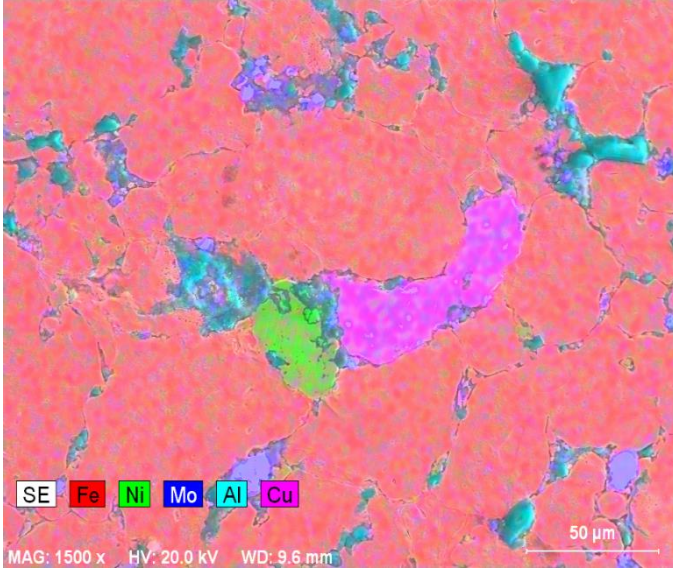
4.5 Mapping Analizleri

Numunelerin elemental haritalama analiz sonuçları Şekil 4.15. ve 4.16.'da verilmiştir. Numunelerin matris ve takviye ile arasındaki uyumu görmek, malzemelerin birbirleri arasında etkileşimi, homojen dağılımı ve polimer yapısını tespit edebilmek ve ayırmak için kullandığımız bu yöntemde Şekil 4.15.'te numune içerisine en fazla homojen dağılım gösteren Fe, Al ve W elementleri olmuştur.



Şekil 4.15. N1.7 numunesinin Mapping analiz sonuçları

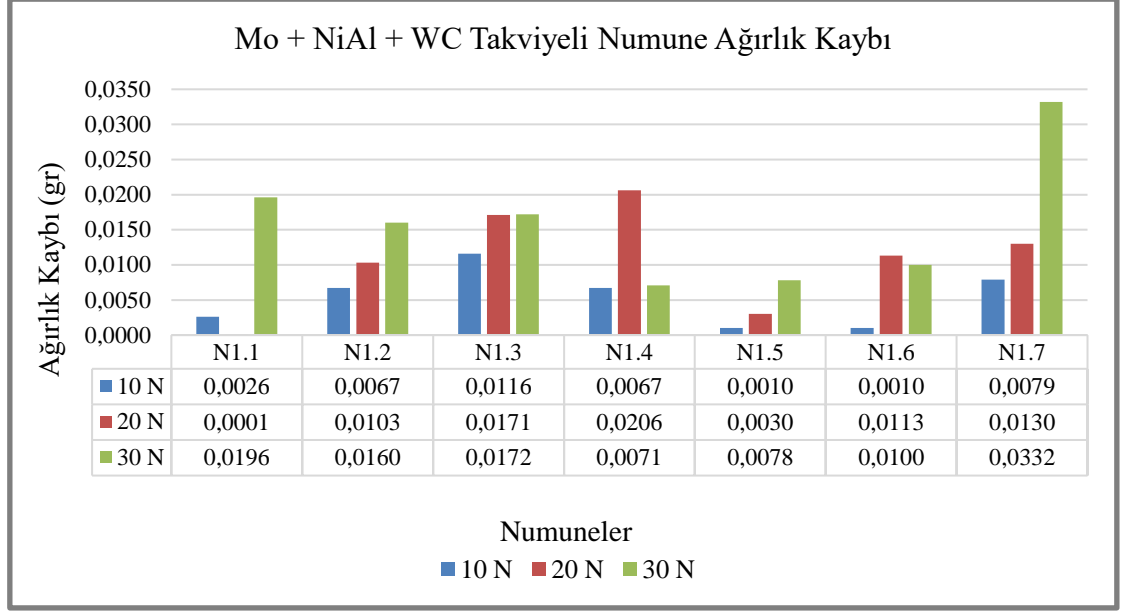
Şekil 4.16.'da bulunan numune incelendiğinde ise en fazla homojen dağılımı gösteren element Fe olmuştur. Diğer elementler benzer oranda dağılım ve etkileşim göstermiştir. Özellikle Ni ve Mo elementleri belirli alanda yoğunlaşmıştır.



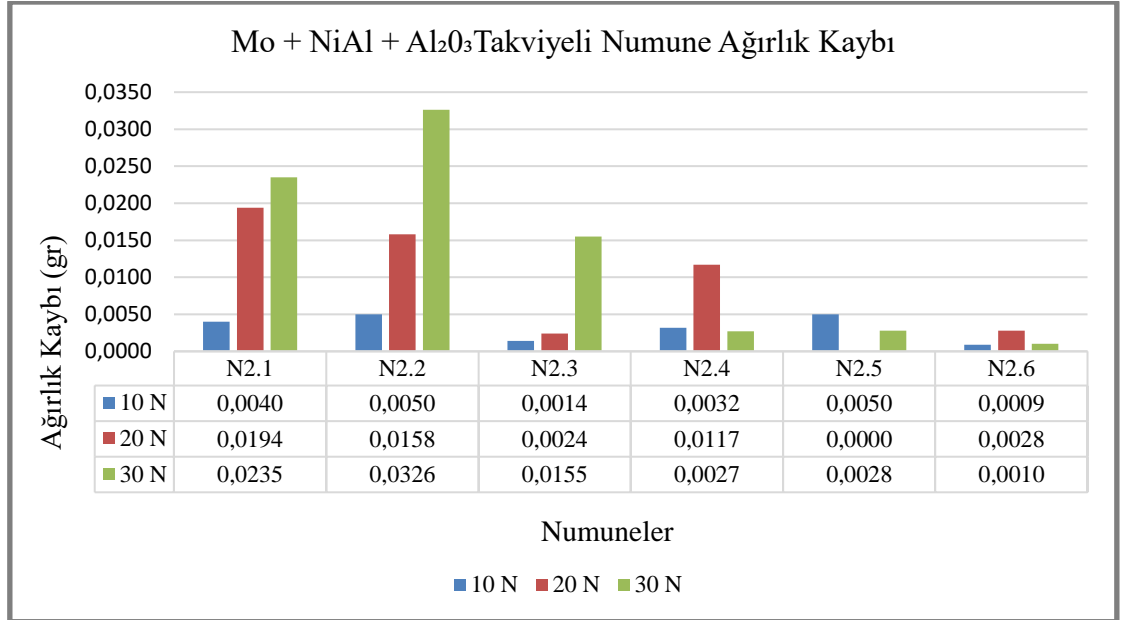
Şekil 4.16. N2.6 numunesinin Mapping analiz sonuçları

4.6 Aşınma Analizleri

Deney parametrelerine göre belirlenmiş numunelere aşınma testleri uygulanarak numunelerin aşınma davranışları test edilmiştir. Bu testlerde numunelerin mesafe değişimine ve uygulanan yük değişimine göre ağırlık kaybı üzerinden aşınma davranışları incelenmiştir.



Şekil 4.17. Mo + NiAl + WC takviyeli numunelerin 10N-20N-30N yük altında ağırlık kaybı grafiği



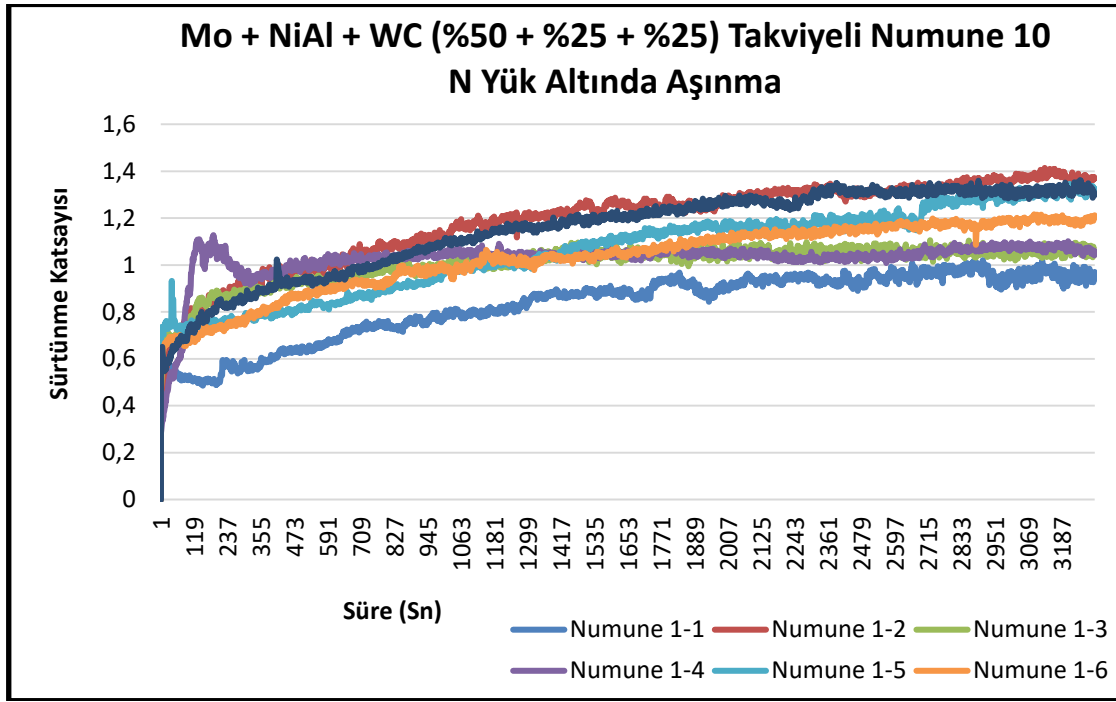
Şekil 4.18. Mo + NiAl + Al₂O₃ takviyeli numunelerin 10N-20N-30N yük altında ağırlık kaybı grafiği

Aşınma miktarına bağlı olarak numunelerin belirli yükler altında ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Bu kapsamda Şekil 4.18.'de Al₂O₃ takviyeli numunelerin aşınma testi sonucunda en fazla 2 numaralı numune aşınmıştır. Yük kaybı en fazla bu numunede olmuştur. Benzer şekilde en az ağırlık kaybı da 6 numaralı numune yaşanmıştır. Buradan hareketle takviye miktarının artmasına bağlı olarak aşınma sonucunda ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak takviye miktarı ile ağırlık kaybının ters orantılı olduğu görülmüştür.

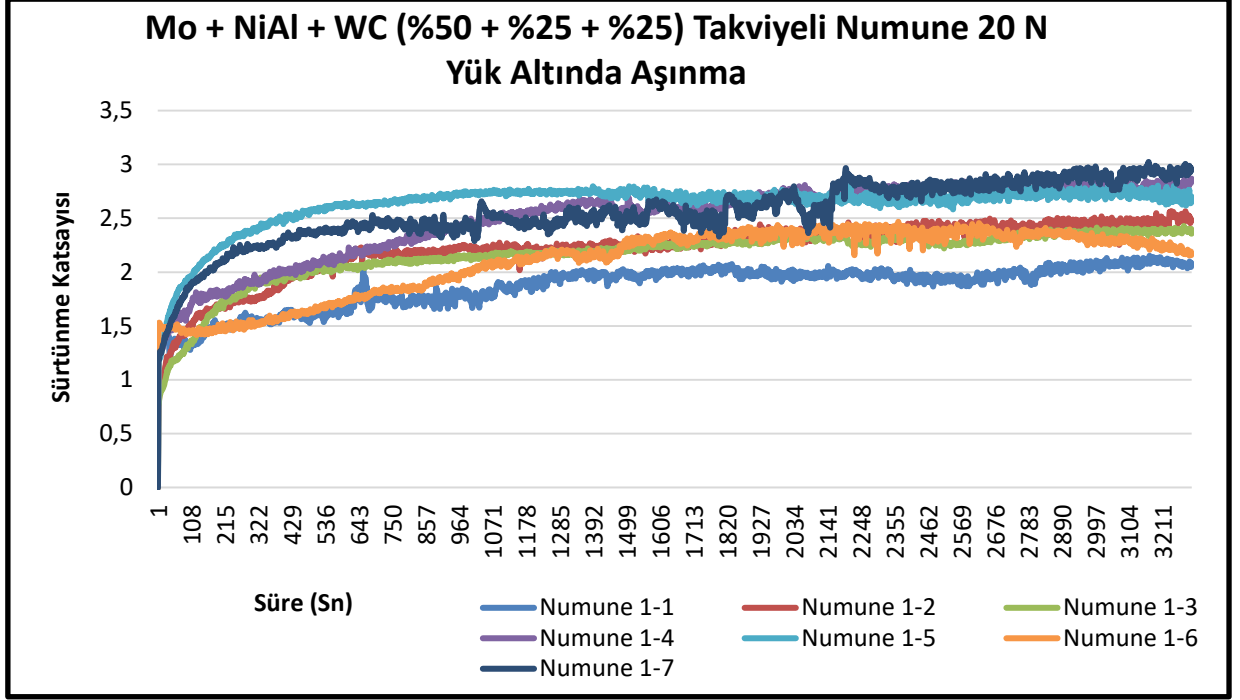
Şekil 4.17.'de WC takviyeli numunelerin ağırlık kayıpları incelendiğinde ise takviye miktarının artması belirli oranda numunenin ağırlık kaybının daha az olmasına sebebiyet

vermiştir. Takviye miktarının en fazla olduğu N1.7 numaralı numunede ağırlık kaybı en fazla olmuştur. Buna karşılık N1.5 numaralı numunede ağırlık kaybı en az olduğu görülmüştür.

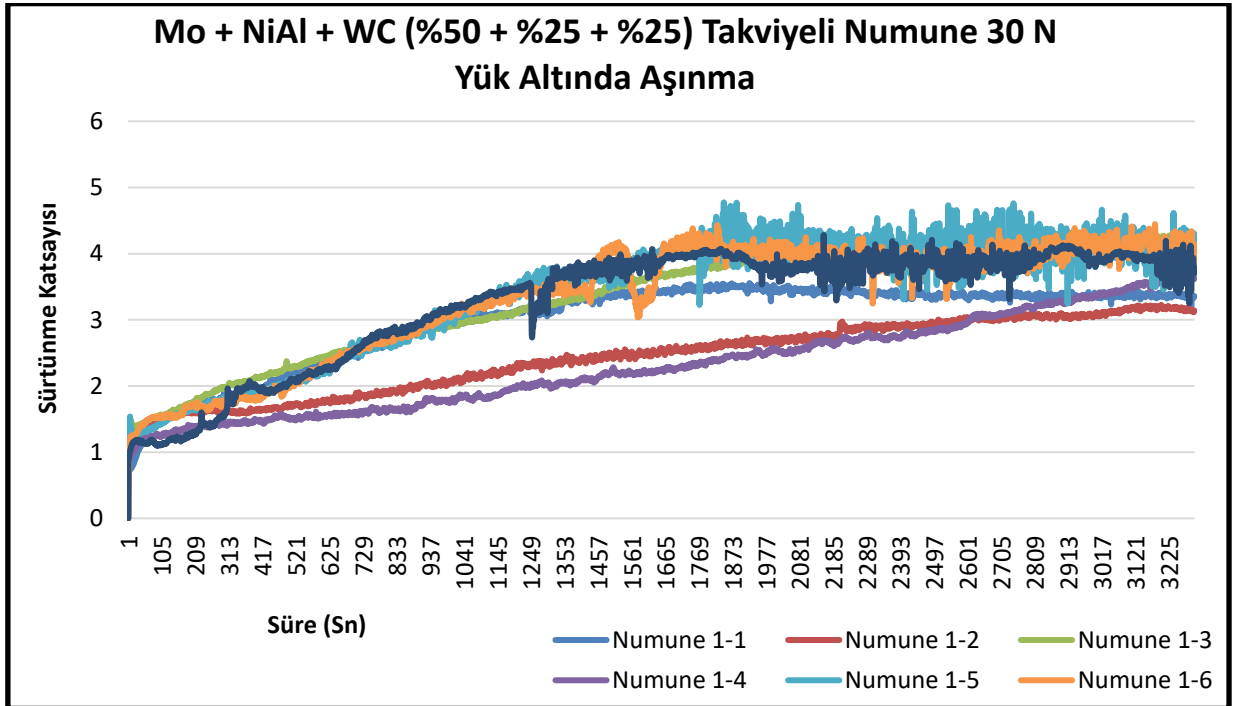
Numunelerin aşınma testi sırasında sürtünme katsayıları da elde edilmiştir. Bu verileri kullanarak takviye miktarına bağlı olarak numunelerin sürtünme katsayısı değişimini veren grafikler oluşturulmuştur.



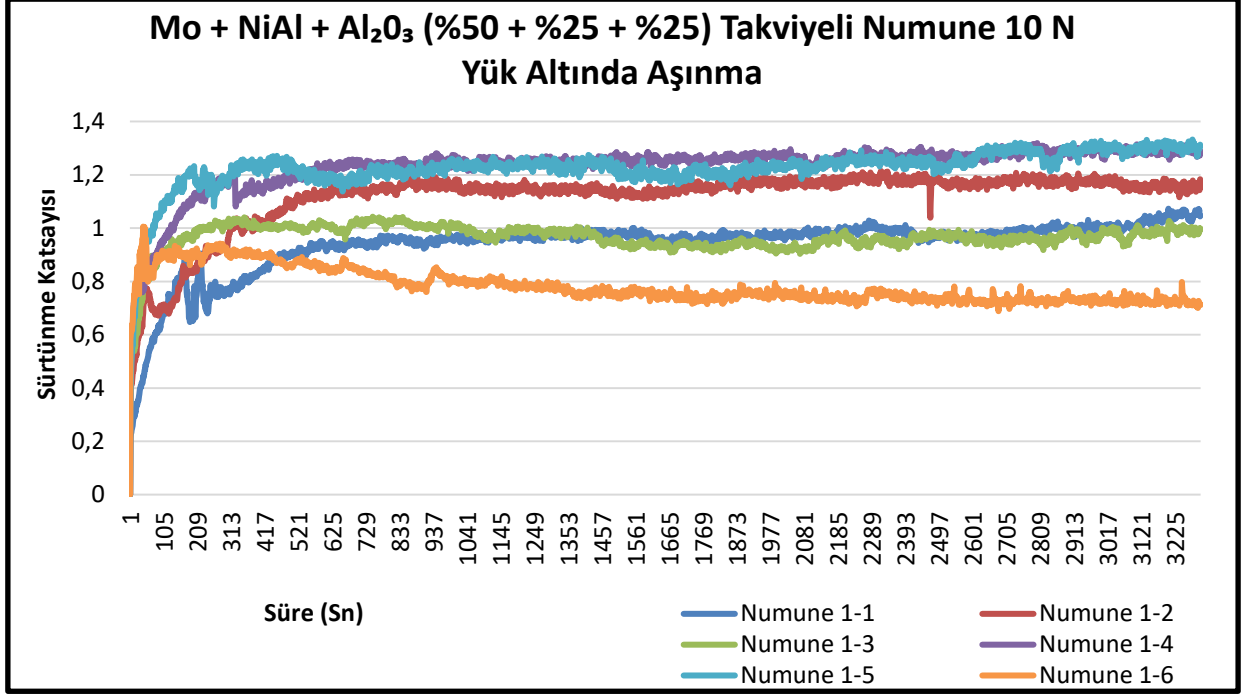
Şekil 4.19. Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+WC takviyeli numunenin 10 N yük altında aşınması



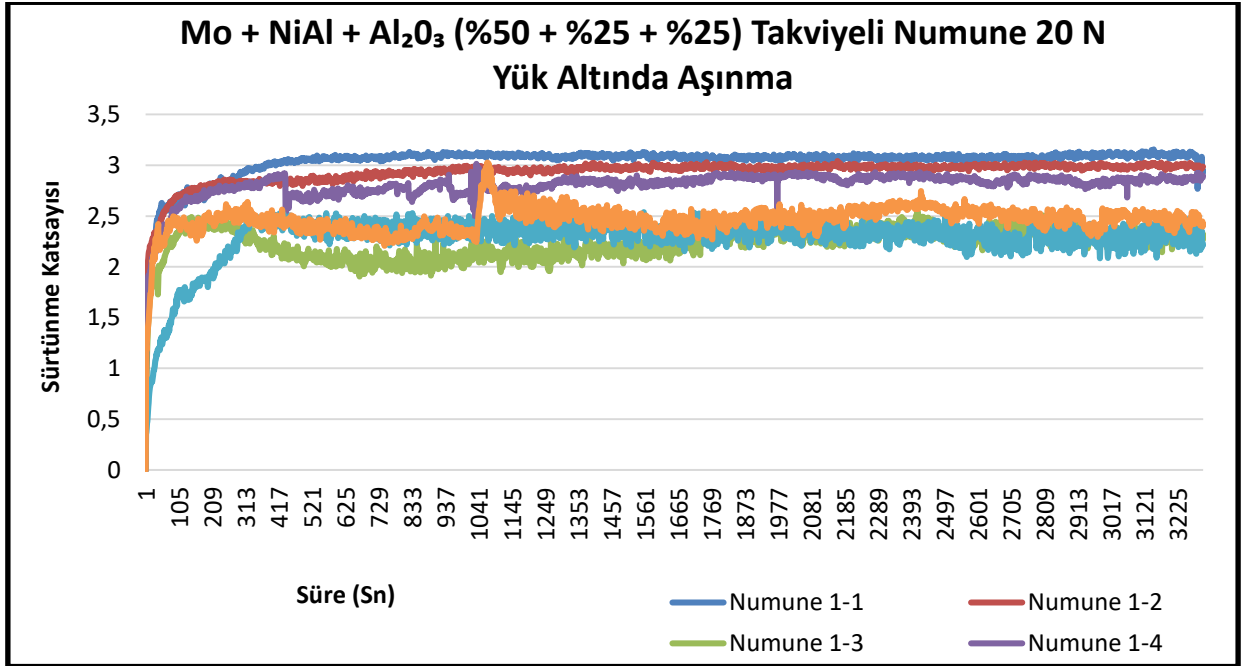
Şekil 4.20. Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+WC takviyeli numunenin 20 N yük altında aşınması



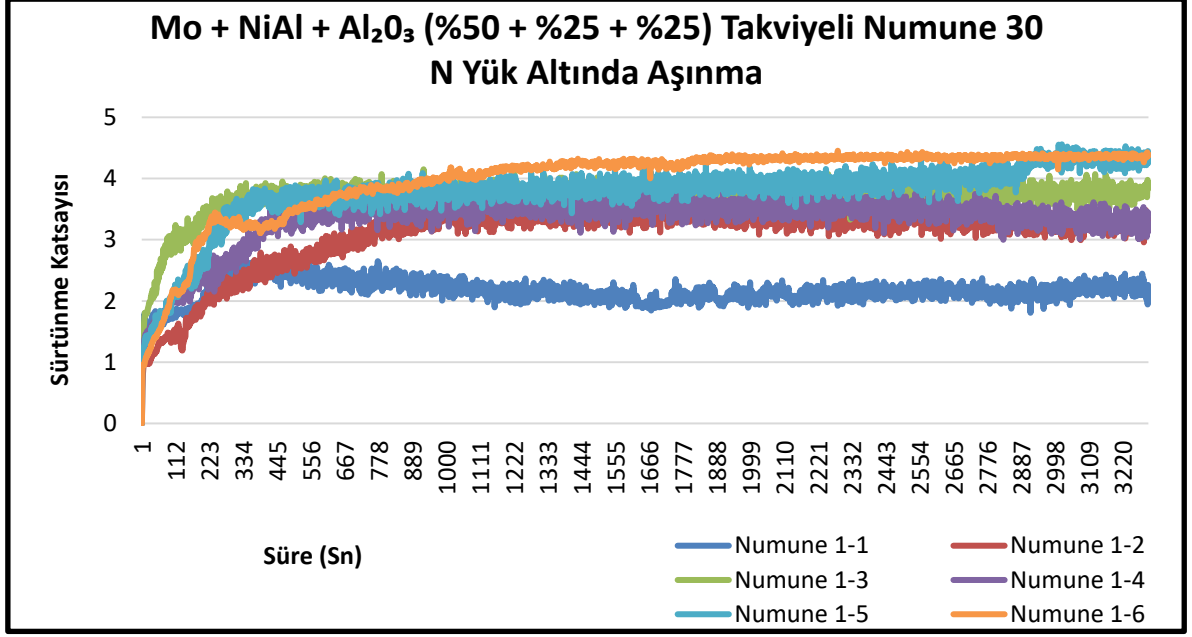
Şekil 4.21. Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+WC takviyeli numunenin 30 N yük altında aşınması



Şekil 4.22. Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+Al₂O₃ takviyeli numunenin 10 N yük altında aşınması



Şekil 4.23. Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+Al₂O₃ takviyeli numunenin 20 N yük altında aşınması



Şekil 4.24. Takviye miktarı değişimine göre Mo+NiAl+Al₂O₃ takviyeli numunenin 30 N yük altında aşınması

Üretilen Mo+NiAl+Al₂O₃ takviye miktarını dikkate aldığımızda; 1 ve 6 numaralı numunelerdeki sürtünme katsayısının en az olduğu, 5 numaralı numunede ise sürtünme katsayısının en fazla olduğu görülmüştür. Takviye miktarının belirli oranda artması optimum seviyeye ulaşmış ve sürtünme katsayısını arttırmış ancak bu seviyeden sonra etkisi azalmıştır. Sürtünme katsayısı ile takviye oranı arasında doğrusal bir ilişki olmadığı da görülmektedir.

Üretilen Mo+NiAl+WC takviye miktarını dikkate aldığımızda; 1 ve 6 numaralı numunelerdeki sürtünme katsayısının en az olduğu, 5 ve 7 numaralı numunede ise sürtünme katsayısının en fazla olduğu görülmüştür. Takviye miktarının belirli oranda artması optimum seviyeye ulaşmış ve sürtünme katsayısını arttırmış ancak bu seviyeden sonra etkisi azalmıştır. Sürtünme katsayısı ile takviye oranı arasında doğrusal bir ilişki olmadığı da görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması Fe matrisli malzemeye farklı oranlarda ve farklı bileşimlerde takviye malzemeleri eklenerek ortaya çıkan yeni durumdaki malzemeyi incelemek ve değerlendirmek üzere yapılmıştır. Elde edilen metal tozları mekanik alaşımlama yöntemi ile alaşımlandırılarak sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelere yapısal analizler yapılmıştır. Analizlerde Optik, SEM, EDS, XRD, Mapping, Mikrosertlik ve Aşınma testleri uygulanmıştır.

Malzemelerde yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Öncelikle yapılan optik incelemeler sonucunda: matris içerisindeki takviye oranının artmasının yapıdaki tane boyutu, takviye boyutu ve difüzyon üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Takviye oranının artışı ile birlikte yapıdaki tane sınır boşlukların oranının azaldığı, yapıdaki takviyelerin ebatlarının düştüğü ve büyük boyutlu takviyelerin difüze oldukları görülmektedir.
2. Takviye oranının artışı tane boyutunu düşürmüştür. Bununla birlikte intermetalik faz oranını azalttığı ve karbür oranını arttırdığı görülmüştür. Malzemelerin homojen dağılımı ise takviye miktarının artışı ile artmıştır. Ancak belirli bir seviyeden sonra bozulmalar meydana gelmiştir. Tüm numuneler incelendiğinde porozite özellikleri karşılaştırıldığında takviye miktarının artması ile birlikte porozitenin de arttığı tespit edilmiştir. Yapılan optik incelemeler sonucunda farklı oranlarda dağılan takviyelerden N1.5 ve N2.5 numaralı numuneler en optimum seviyeye ulaşmıştır. 5 numaralı çalışmalar hem takviye ebatlarının en düşük olduğu hem de sınır boşlukların oranının en çok azaldığı numune olmuştur.
3. SEM fotoğraflarından görüldüğü gibi; NiAl, WC ve intermetalikler mikroyapı içinde mekanik öğütme neticesinde parçacıklar halinde homojen bir şekilde dağılmıştır. NiAl ve Mo varlığı intermetaliklerin şekillerini değiştirmiştir. Yapılan SEM ve EDS analizleri sonucunda tane yapılarındaki boyut, sınır boşlukları ve difüze olma durumunu karşılaştırdığımızda N1.6 ve N2.3 numunelerin en iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.
4. XRD diyagramlarından görüldüğü gibi; WC ün takviye olarak kullanılması intermetalik faz oluşumunu engellemiştir. Mikroyapı Al₂O₃, NiAl, Ni₂O₃, Mo, Mo₃Al, Ni₃Al ve WC fazlarından oluşmakta ve matris ise α -Fe fazı içermektedir. Al₂O₃ miktarındaki artış intermetalik oluşumunu bastırmıştır. Yapılan XRD analizleri sonucunda takviye miktarı değişimine göre numunelerin XRD grafikleri incelendiğinde, N2.3 ve N2.6 'da bulunan numunelerde diğer numunelere göre daha belirgin NiAl ve Al₂O₃ piki görülmüştür. Ayrıca N2.5 numaralı numunedeki karbür pikleri diğer numunelere göre daha belirgindir.

5. Elementel mapping analizinde ise N 1.7 numunesinin incelemesinde görüldüğü gibi numune içerisine en fazla homojen dağılım gösteren Fe, Al ve W elementleri olmuştur. N 2.6 numunesinin analizinde ise en fazla homojen dağılımı gösteren element Fe olmuştur. Diğer elementler benzer oranda dağılım ve etkileşim göstermiştir. Özellikle Ni ve Mo elementleri belirli alanda yoğunlaşmıştır. Yapılan mapping analizleri sonucunda N1.7 numunesinde en çok homojen dağılım gösteren Fe, Al ve W elementleri olmuştur. Mo ve C bazı bölgelerde seyrek, Ni ise belirli alanlarda yoğun bir yapı sergilemiştir. N2.6'da ise homojen dağılımı Fe göstermiştir. Al ve Mo ise tüm yapıda seyrek dağılım sergilemiştir. Ni ise belirli bölgelerde yoğun olarak tespit edilmiştir.
6. Mikrosertlik analizlerine bakıldığında takviye miktarının artışına bağlı olarak malzemelerin mikrosertlikleri de artış göstermiştir. Takviye miktarının artması ve yapıda gerçekleşen mikrosertliğin artması arasında doğru orantı bulunmaktadır. Yapılan mikrosertlik analizleri sonucunda 1 numaralı numunelerde N1.7, N1.6 ve N1.5 numuneler mikrosertlikleri en fazla olmuştur. Takviye miktarı arttıkça doğru orantılı olarak malzemelerin de mikrosertlikleri artış göstermiştir. 2 numaralı numunelerde ise N2.3, N2.5 ve N2.6 numunelerin mikrosertliklerinin en fazla olduğu tespit edilmiştir.
7. Yapılan aşınma testi sonucunda 1 numaralı numunelerin ağırlık kayıpları incelendiğinde ise takviye miktarının artması belirli oranda numunenin ağırlık kaybının daha az olmasına sebebiyet vermiştir. Takviye miktarının en fazla olduğu N1.7 numaralı numunede ağırlık kaybı en fazla olmuştur. Buna karşılık N1.5 numaralı numunede ağırlık kaybı en az olduğu görülmüştür. 2 numaralı numunelerin aşınma testi sonucunda en fazla N2.2 numaralı numune aşınmıştır. Yük kaybı en fazla bu numunede olmuştur. Benzer şekilde en az ağırlık kaybı da N2.6 numaralı numune yaşanmıştır. Buradan hareketle takviye miktarının artmasına bağlı olarak aşınma sonucunda ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak takviye miktarı ile ağırlık kaybının ters orantılı olduğu görülmüştür.

Üretilen numunelerde yapılan tüm analizlerin sonucunda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Numuneler arasında sadece takviye miktarları değiştirilerek yeni malzemeler üretilmiştir. Bunların sonuçları da bu çalışmada belirtilmiştir. Ancak bu çalışma dışında malzemeler arasında öğütme süresi, sinter sıcaklığı, sinterleme süresi, tane ebatları gibi parametreler değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilebilir. Bunlara ek olarak yüzey kaplama yöntemleri kullanarak da yeni kompozit malzemeler üretilebilir.

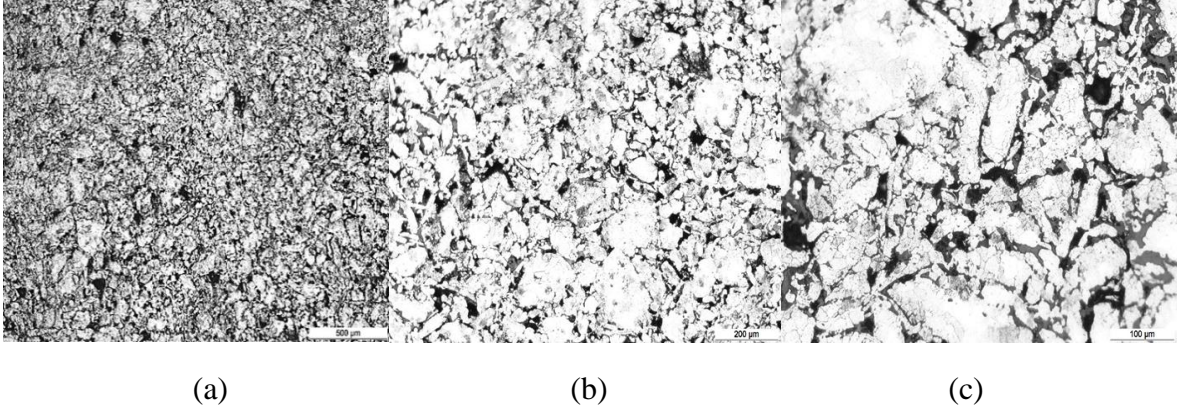
6. KAYNAKLAR

- Aikin BJM, Juhas JJ. In: Froes FH, Hebeisen JC (1997). Advanced particulate materials and processes. Princeton, NJ: Metal Powder Industries Federation, 287-94.
- Aktaş H (2007). Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşım ile Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arıcasoy O (2006). Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası.
- Aslanoğlu Z (1994). Demir-Karbon Sisteminin Mekanik Alaşımlama Tekniği ile Üretim Süreçlerinin İncelenmesi ve Karakterizasyonu, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Awakumov EG (1986). Mechanical Methods of Activation of Chemical Processes. Novosibirsk, Russia:Nauka.
- Benjamin J.S (1976). Mechanical Alloying Scientific American, 234:40-49.
- Bulut M (2014). Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çetin M (2005). Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demir F (2014). Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile FeCrC Takviyeli Ni Esaslı Kompozit Üretimi. Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- El-Eskandarany MS, Aoki K, Suzuki K.J (1990). Less-Common Metals, 167, 113-8.
- Gaffet E, Malhouroux-Gaffet N. J (1994). Alloys and Compounds, 205:27-34.
- Hunt J, Soletta I, Battezzati L, Cowlam N, Cocco G (1993) Alloys and Compounds,194:311-7
- İnkava S (2011). Dünya’da ve Türkiye’de Kompozit Sektörü, Mühendis ve Makina, 52:31-34.
- Kara H (1996). Elementel W ve C Tozlarından Mekanik Alaşımlama Süreçleri Sonucu Geliştirilen WC Toz Alaşımı ile Sinter WC-Co Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç E (2006). Kompozit Malzemeden Yapılan Yaprak Yayların Analizi. Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kökden M (1996). GGG 50 ve GGG 80 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Abrasiv Aşınma Davranışlarına Östemperleme İşleminin Etkisi. Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuşoğlu I.M, ÇEtinel H, Özdemir I, Demirkurt O, Önel K (2005). Wear Behavior of Flame-Sprayed Al₂O₃-TiO₂ Coatings on Plain Carbon Steel Substrates, Surface & Coating Technology, 200:1173-1177.
- Mill A (2017). Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile B₄C+FeTi Takviyeli Fe Esaslı Kompozit Üretimi. Y. Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Sago A.S, Newkirk J.W, and Brasel G.M (1997). Rapid Mechanical Alloying For Metal Powder Production Adv. in PM, 2: 11-3.
- Sago A.S, Newkirk J.W, Brasel G.M (1998). Metal Injection Molding of Mechanically ALloyed Advanced MATERIALS, Adv. in PM, 2:5-93.
- Schelleng R.D, Donachie S.J (1983). Mechanical Alloyed Aluminum, Metal Powder Report, 38: 357-359.
- Suryanarayana C (2001). Mechanical Alloying and Milling, Progress in Materials Science, 46:1-184.
- Uygur E (1996). Toz Metalurjisi Ekonomik Bir Üretim Tekniği 1.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 16-17 Eylül: 447-484, Ankara.

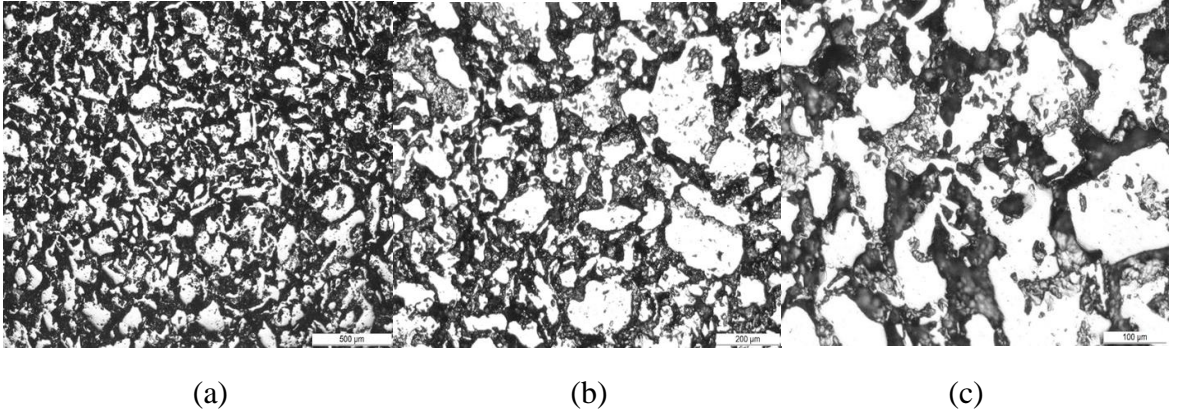
- Yıldırım M (2016). Mekanik Alaşım Yöntemi ile AA7075-Karbon Nanatüp Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Üretimi Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Yılmaz T.A (2013). AA 2014/ Al₂O₃ Metal Matrisli Kompozitin Mekanik Alaşım Yöntemi ile Üretimi ve Yaşlandırılabilirlik Özelliklerinin Araştırılması. Y. Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yurtsever Ö (2014). Ni-Ti Sistemindeki Farklı Bileşimlerin Mekanik Alaşım Yöntemi ile Toz Halde Sentezi ve Sinter Sonrası Karakterizasyonu Y.Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Watanabe R, Hashimoto H, Park Y.H, Sansoucy R.J (1991). Advances in Powder Metallurgy, Metal Powder Industries Federation, 6: 119-30.

EKLER

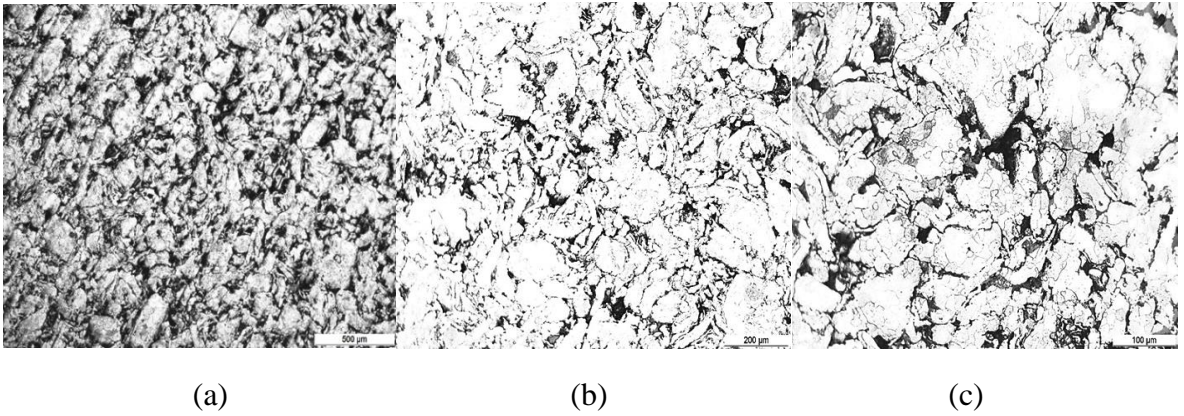
EK.1 Numunelerin Optik Fotoğrafları



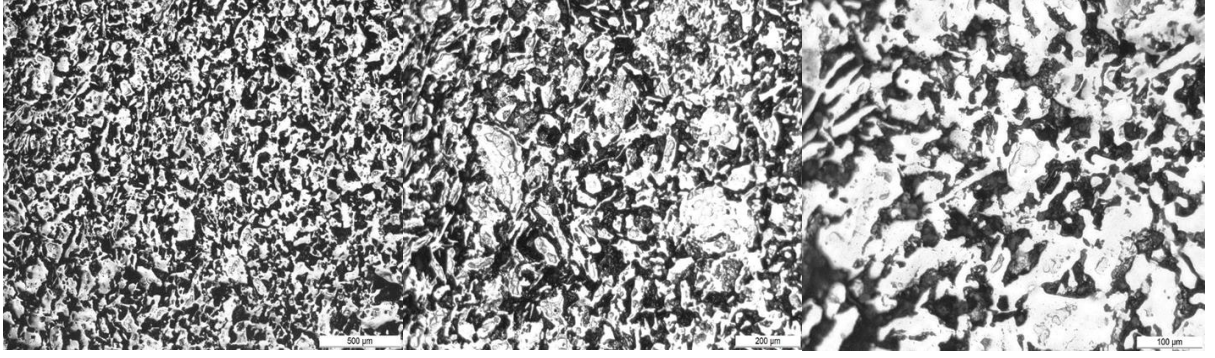
Şekil 1. N1.1 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm



Şekil 2. N1.2 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm



Şekil 3. N1.3 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

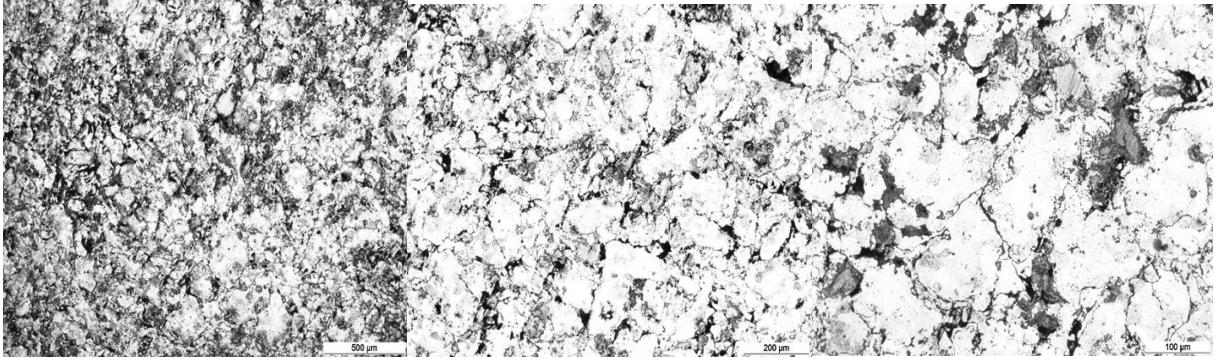


(a)

(b)

(c)

Şekil 4. N1.4 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

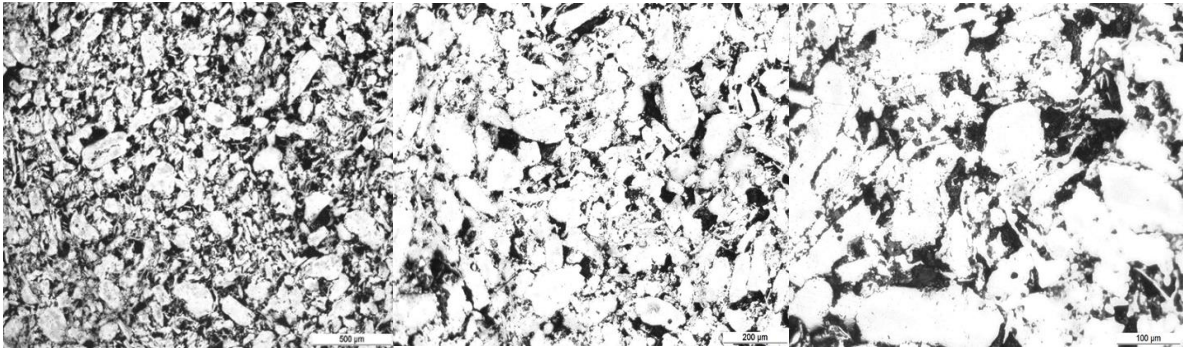


(a)

(b)

(c)

Şekil 5. N1.5 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

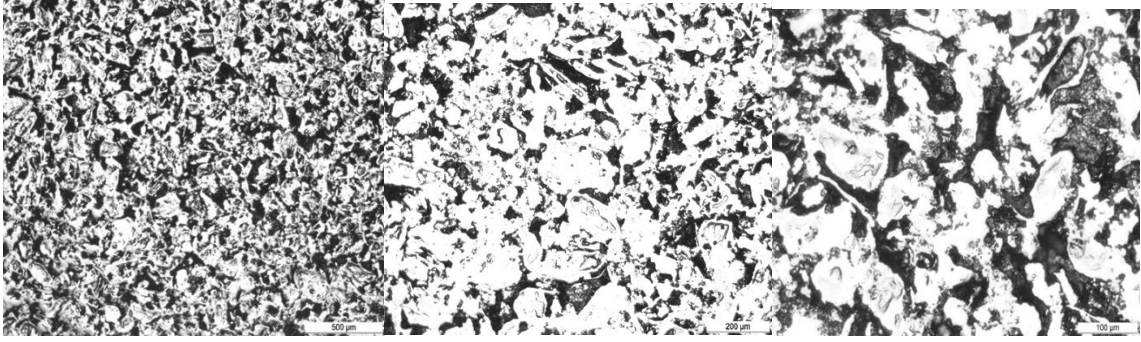


(a)

(b)

(c)

Şekil 6. N1.6 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

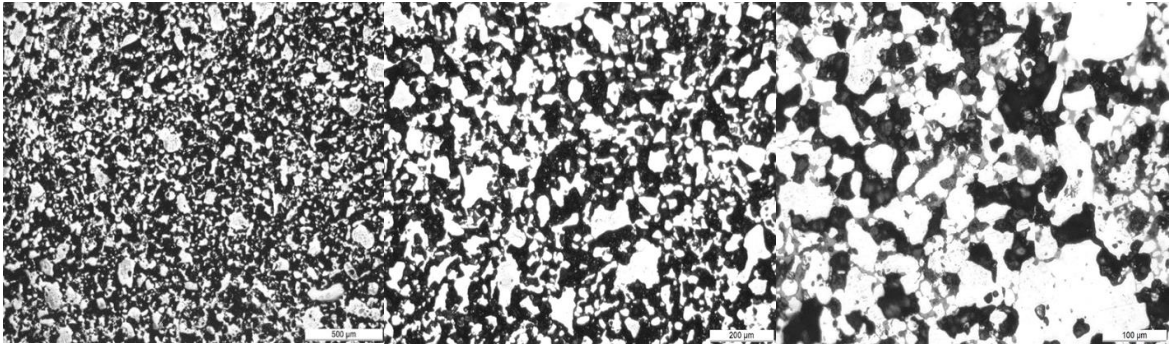


(a)

(b)

(c)

Şekil 7. N1.7 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

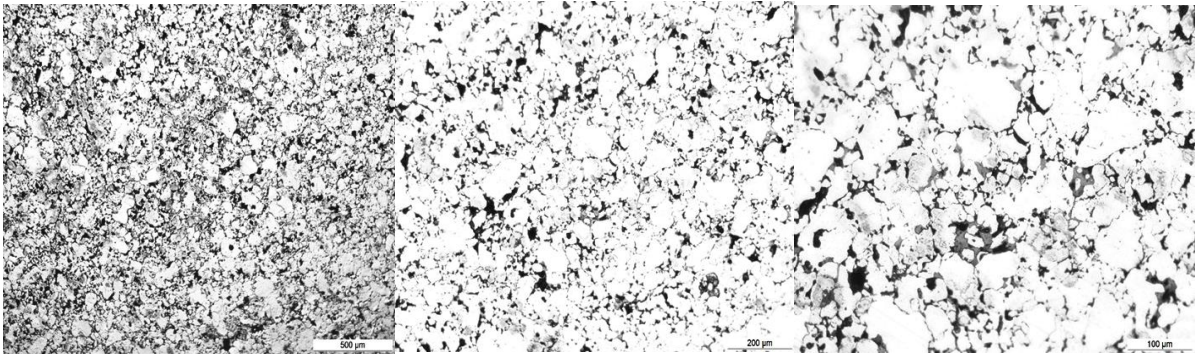


(a)

(b)

(c)

Şekil 8. N2.1 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

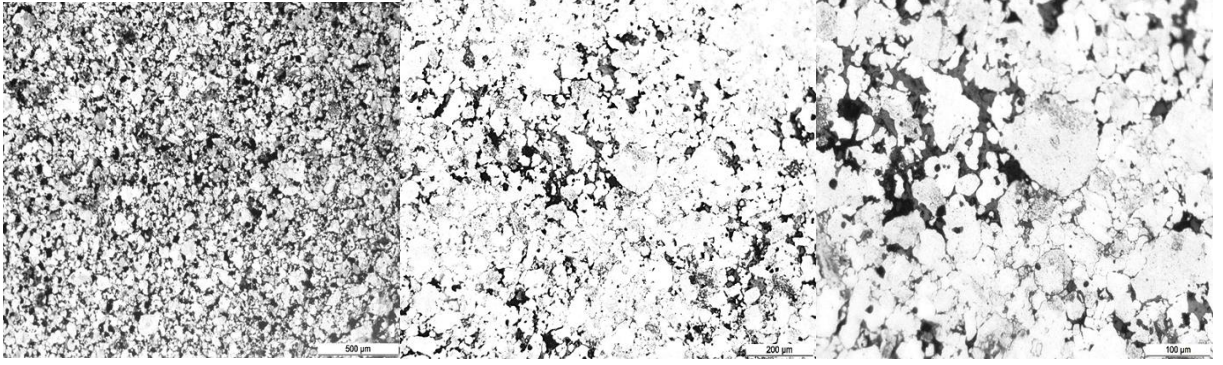


(a)

(b)

(c)

Şekil 9. N2.2 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

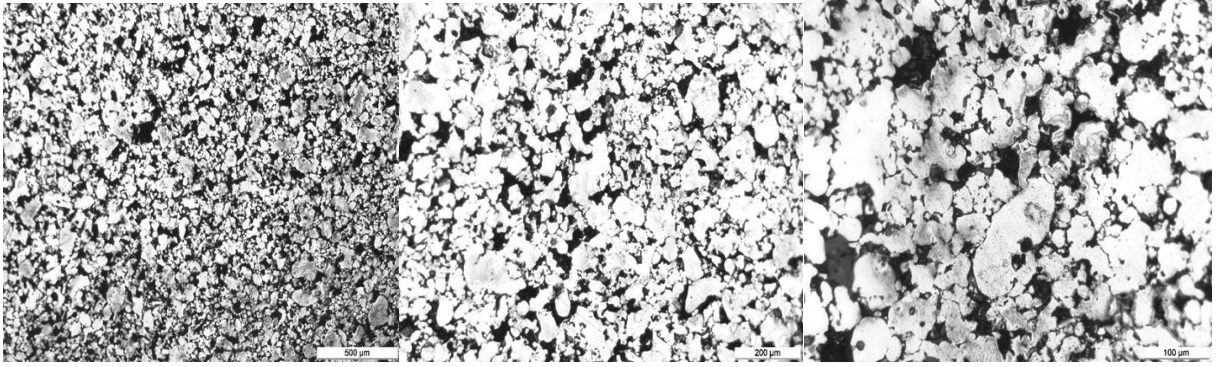


(a)

(b)

(c)

Şekil 10. N2.3 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

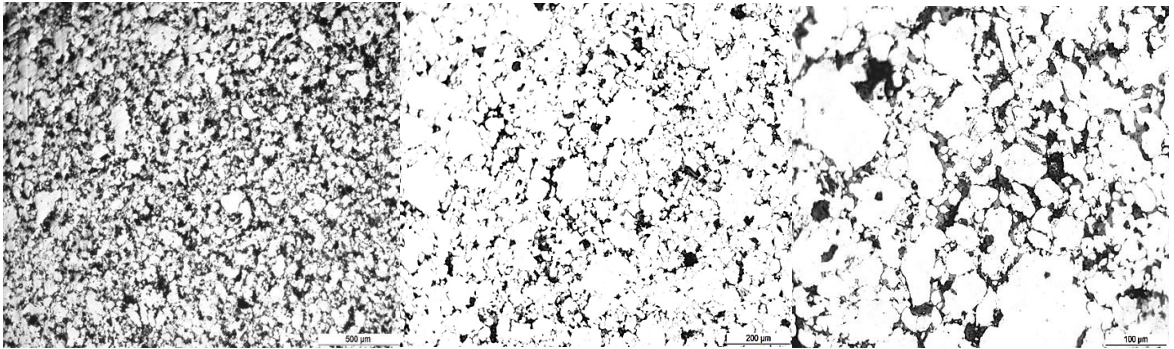


(a)

(b)

(c)

Şekil 11. N2.4 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

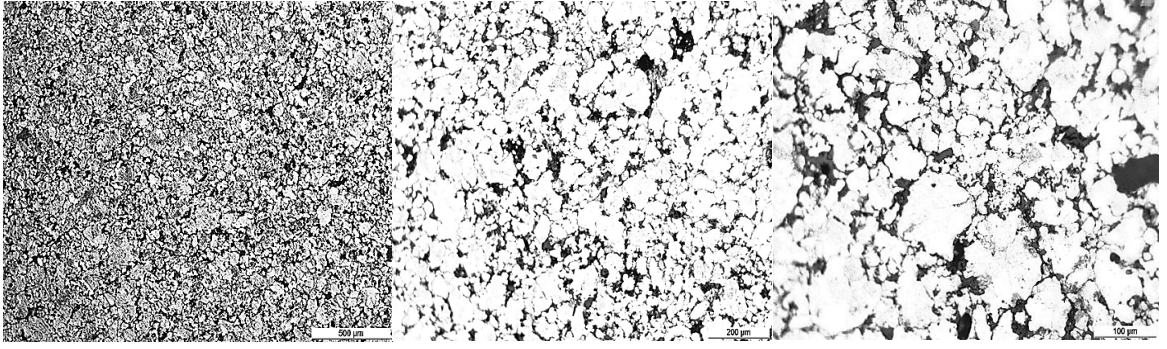


(a)

(b)

(c)

Şekil 12. N2.5 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm



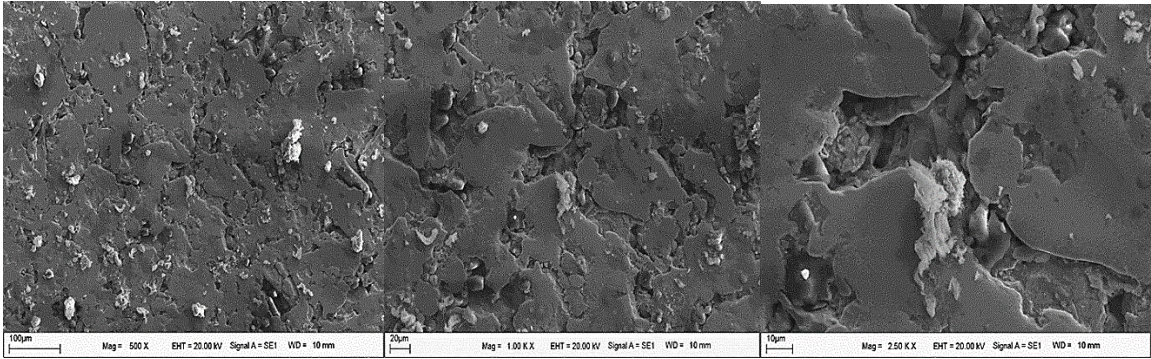
(a)

(b)

(c)

Şekil 13. N2.6 numuneye ait optik fotoğraflar a) 500µm b) 200µm c) 100µm

EK.2 Numunelerin SEM Görüntüleri

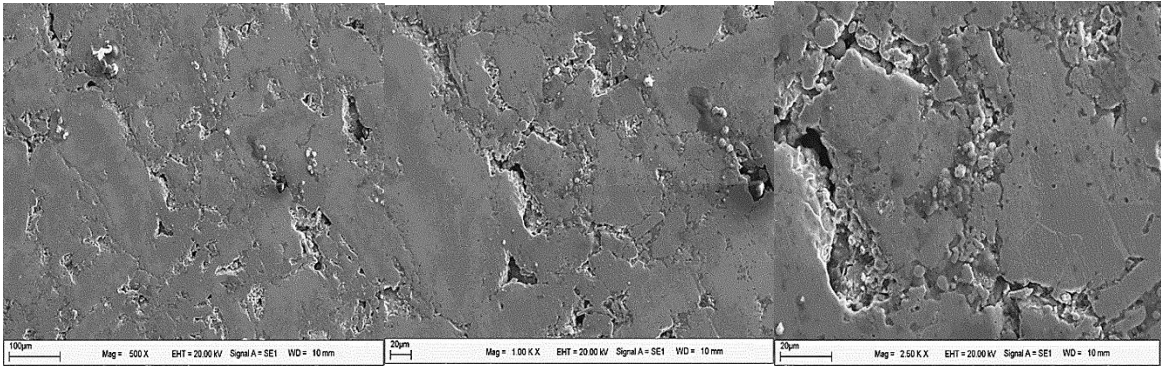


(a)

(b)

(c)

Şekil 1. N1.4 numuneye ait optik fotoğraflar a) X500 b) X1000 c) X2500

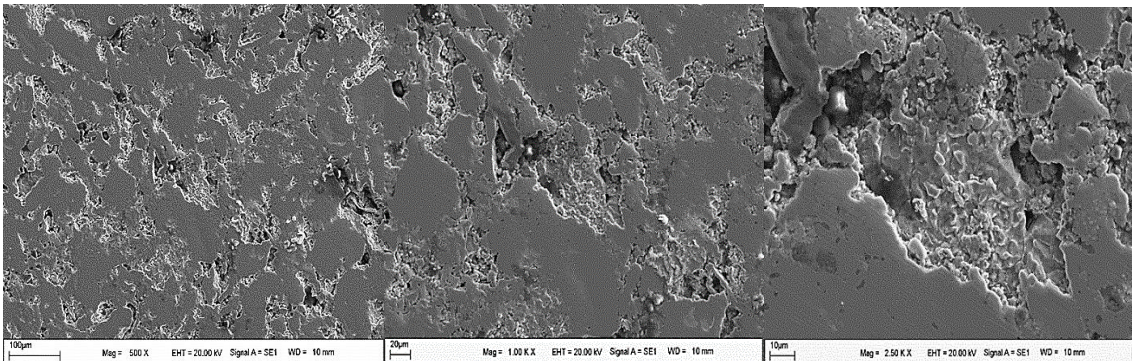


(a)

(b)

(c)

Şekil 2. N1.6 numuneye ait optik fotoğraflar a) X500 b) X1000 c) X2500

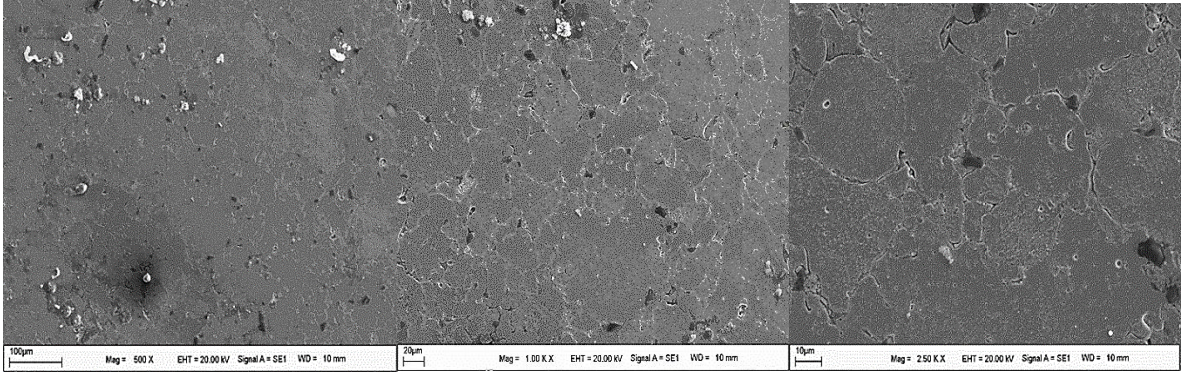


(a)

(b)

(c)

Şekil 3. N1.7 numuneye ait optik fotoğraflar a) X500 b) X1000 c) X2500

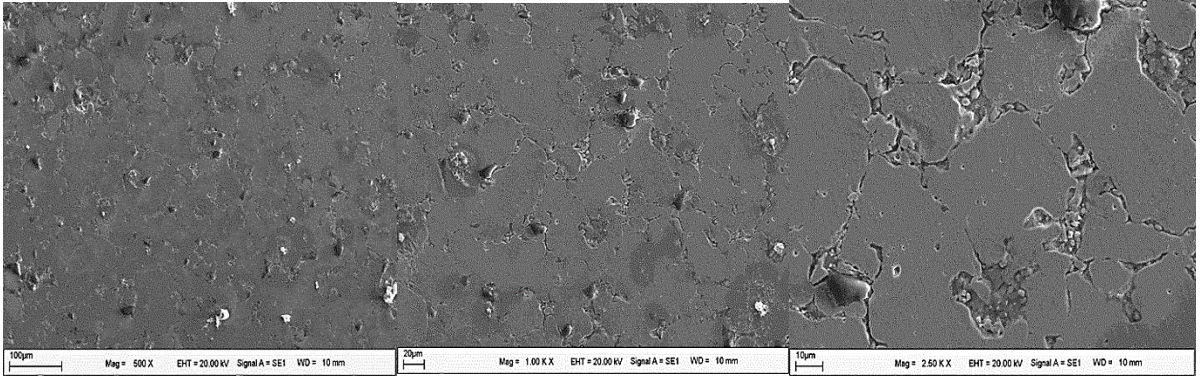


(a)

(b)

(c)

Şekil 4. N2.3 numuneye ait optik fotoğraflar a) X500 b) X1000 c) X2500

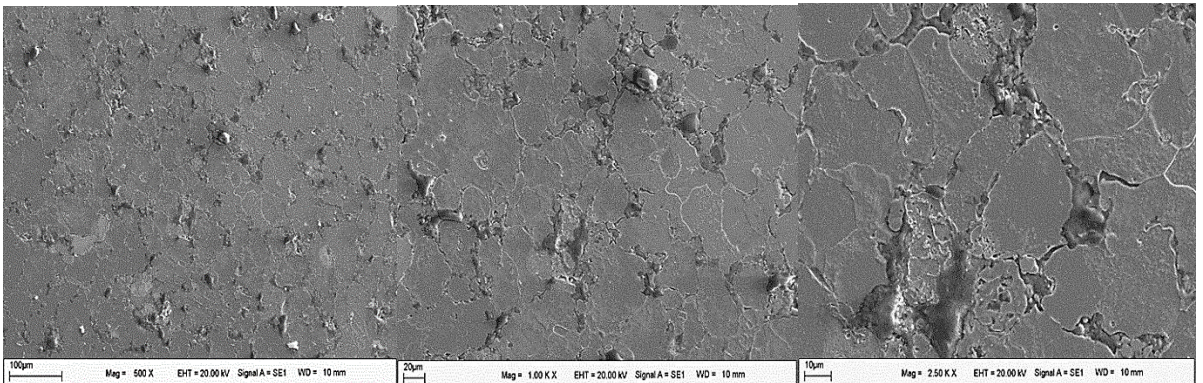


(a)

(b)

(c)

Şekil 5. N2.5 numuneye ait optik fotoğraflar a) X500 b) X1000 c) X2500



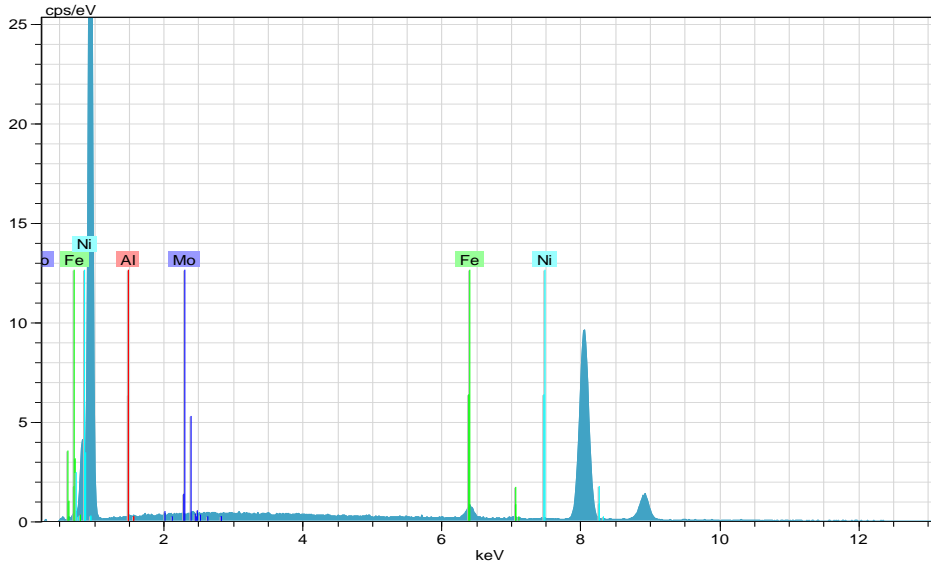
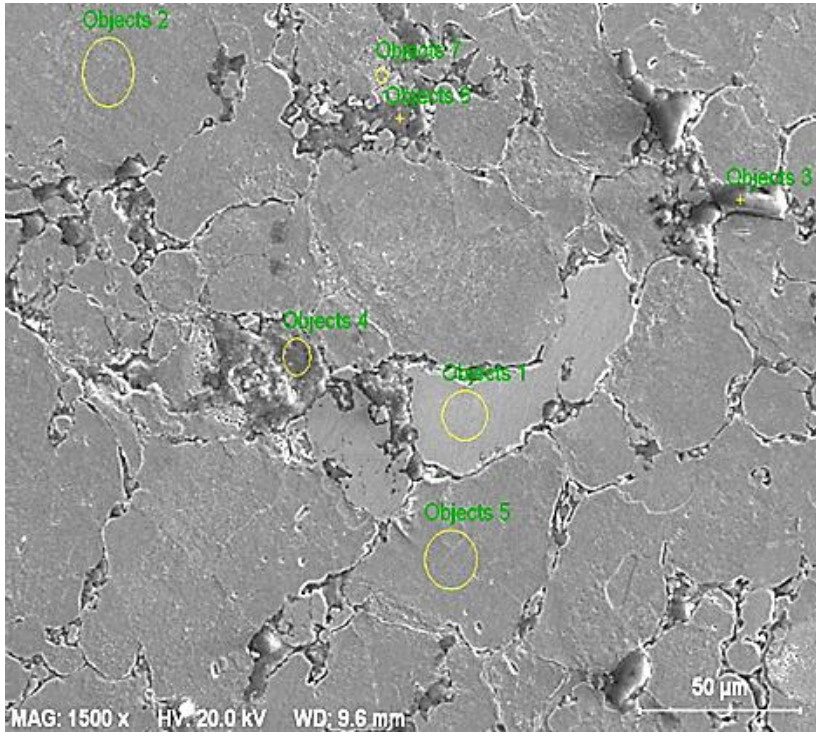
(a)

(b)

(c)

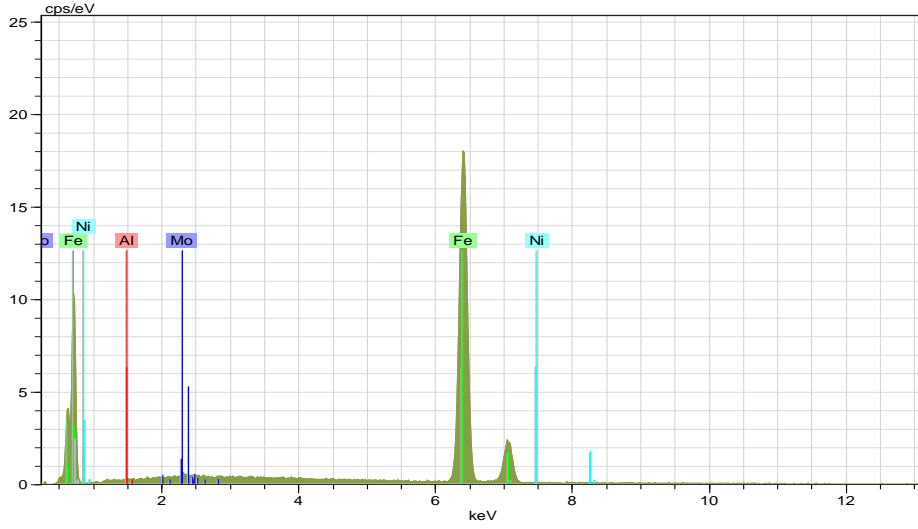
Şekil 6. N2.6 numuneye ait optik fotoğraflar a) X500 b) X1000 c) X2500

EK.3 Numunelerin EDS Analizleri



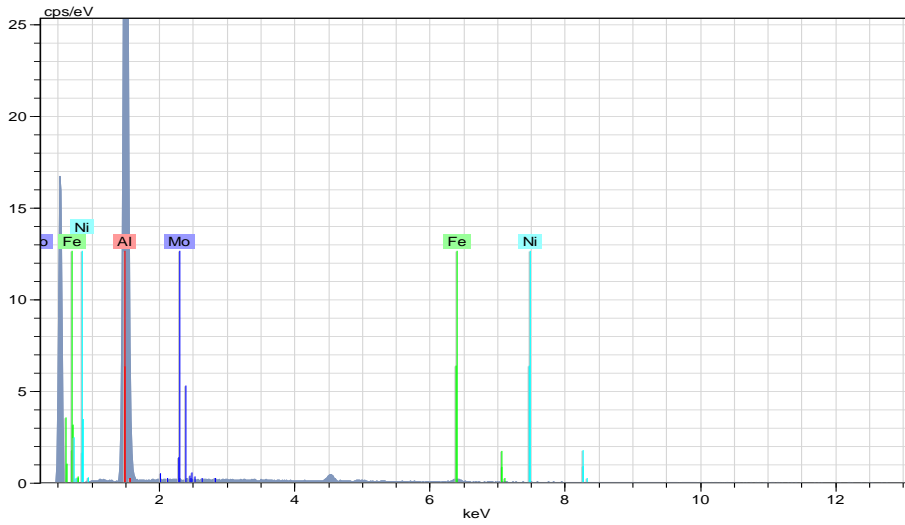
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Ni	95,89	95,84
Fe	3,57	3,75
Mo	0,49	0,3
Al	0,05	0,1

Şekil 1. N3.7 numunesinin 1. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



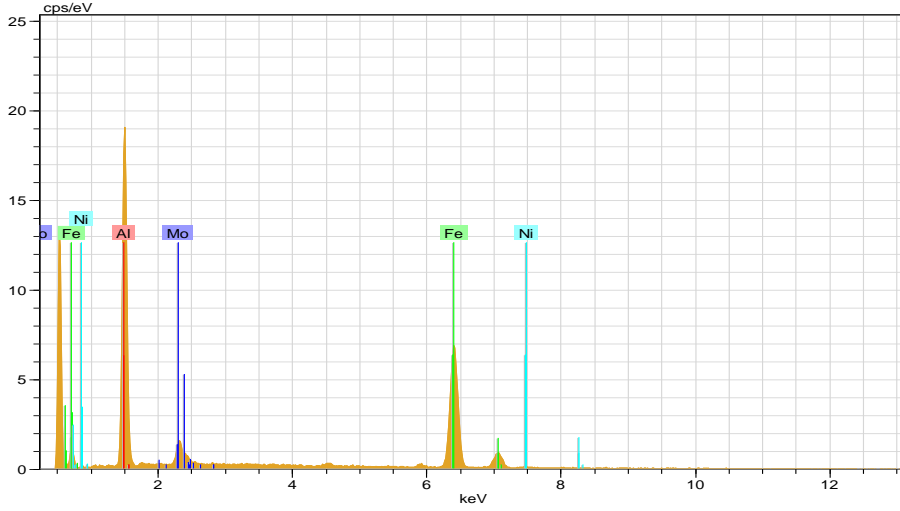
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	98,35	98,79
Mo	1,03	0,6
Ni	0,59	0,57
Al	0,02	0,04

Şekil 2. N3.7 numunesinin 2. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



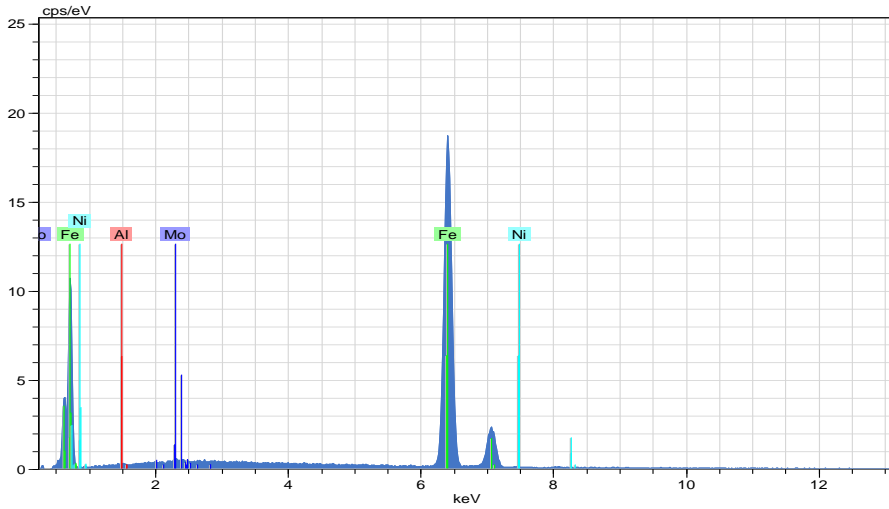
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Al	94,62	97,8
Fe	2,47	1,23
Mo	2,26	0,66
Ni	0,65	0,31

Şekil 3. N3.7 numunesinin 3. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



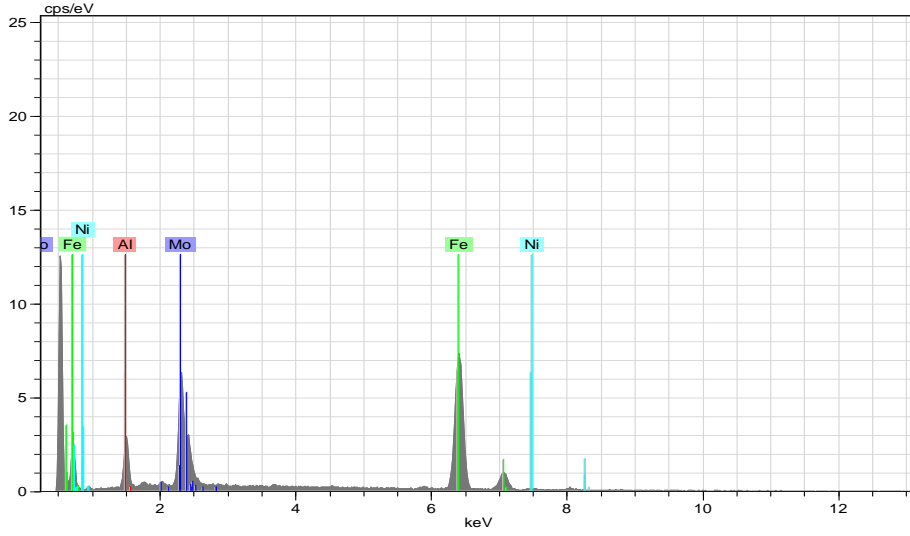
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	54,39	39,66
Al	37,44	56,51
Mo	6,79	2,88
Ni	1,37	0,95

Şekil 4. N3.7 numunesinin 4. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



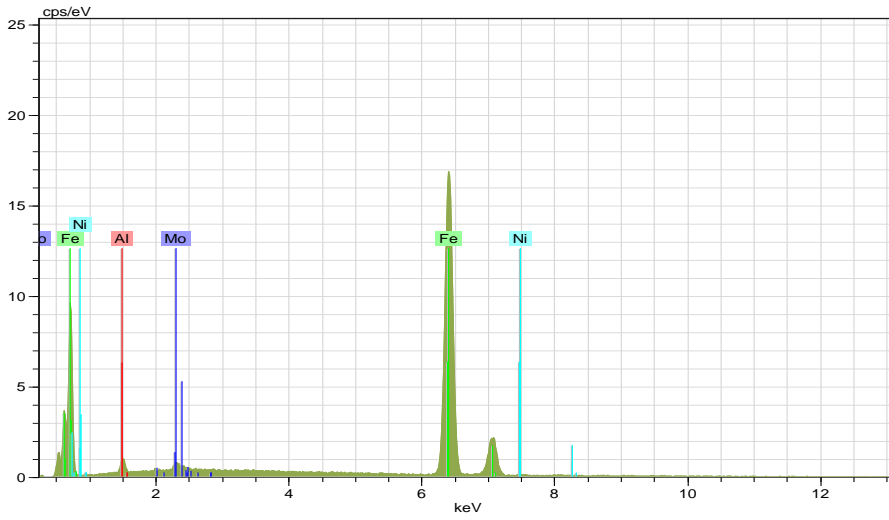
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	98,35	98,71
Ni	0,83	0,8
Mo	0,8	0,47
Al	0,01	0,03

Şekil 5. N3.7 numunesinin 5. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



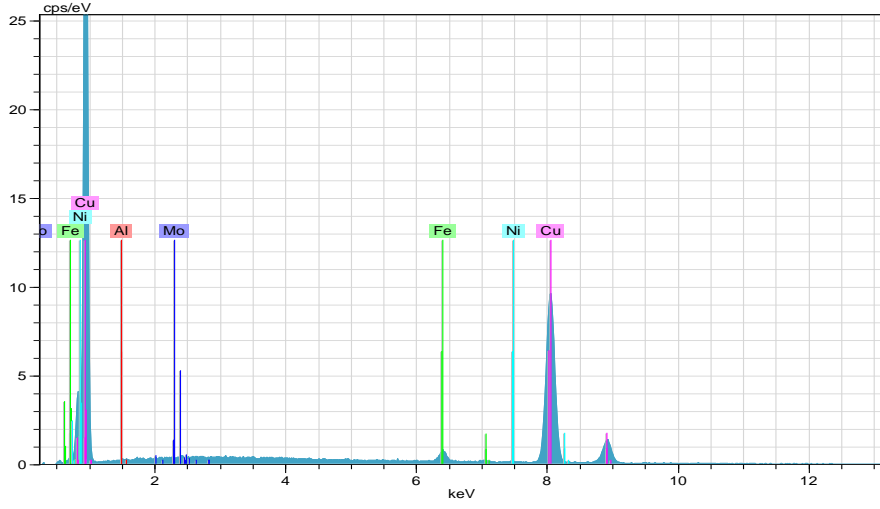
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	62,2	65,99
Mo	29,57	18,26
Al	6,28	13,79
Ni	1,94	1,96

Şekil 6. N3.7 numunesinin 6. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



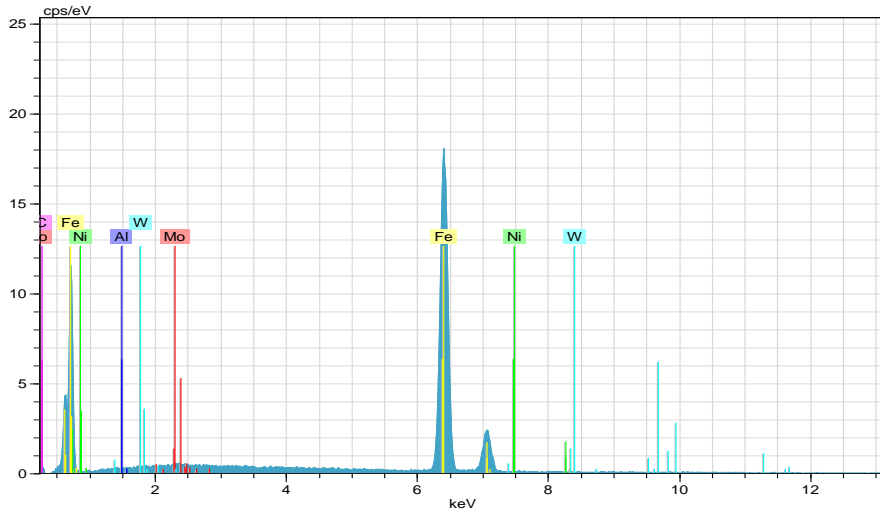
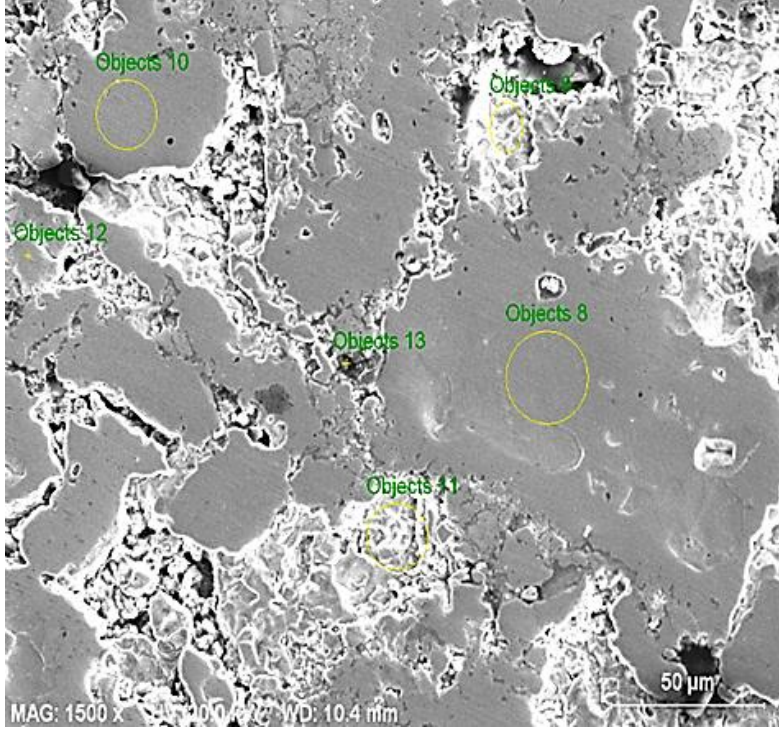
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	95,73	95,15
Mo	1,9	1,1
Al	1,36	2,79
Ni	1,01	0,96

Şekil 7. N3.7 numunesinin 7. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



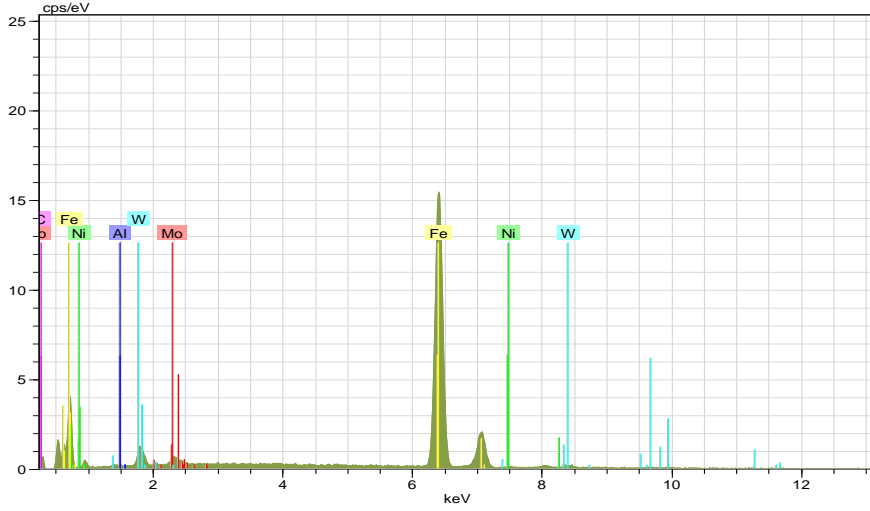
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Cu	96,56	96,27
Fe	2,34	2,65
Ni	0,63	0,68
Mo	0,42	0,27
Al	0,05	0,12

Şekil 8. N3.7 numunesinin 8. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



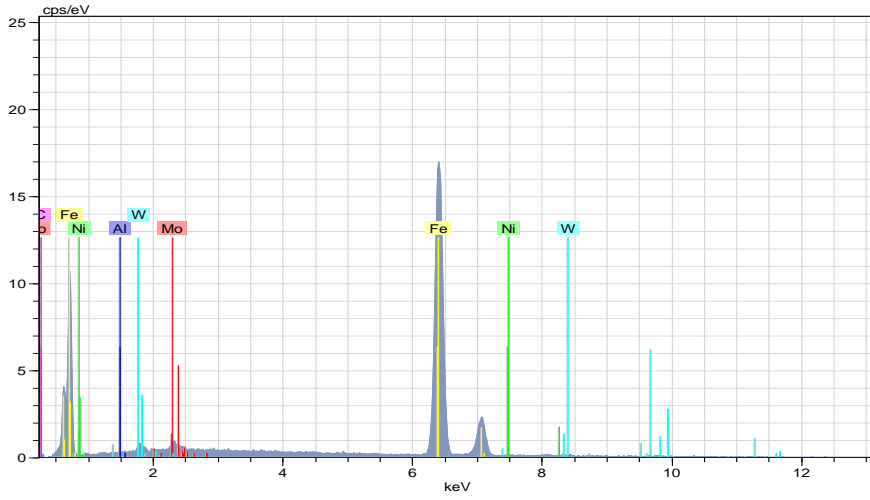
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	94,96	96,43
W	3,1	0,96
Mo	1,12	0,66
Ni	0,5	0,48
C	0,3	1,42
Al	0,02	0,04

Şekil 9. N4.6 numunesinin 8. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



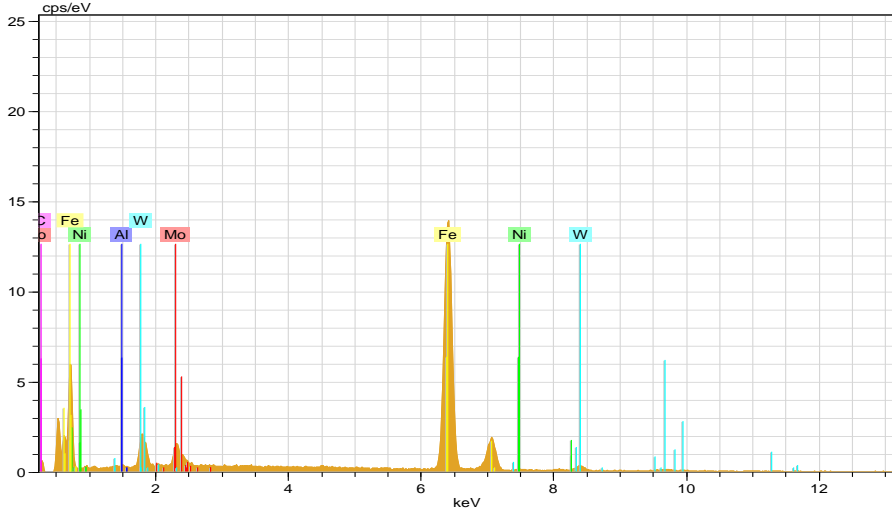
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	88,41	90,32
W	8,34	2,59
Ni	1,69	1,64
C	1,09	5,17
Mo	0,47	0,28
Al	0	0

Şekil 10. N4.6 numunesinin 9. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



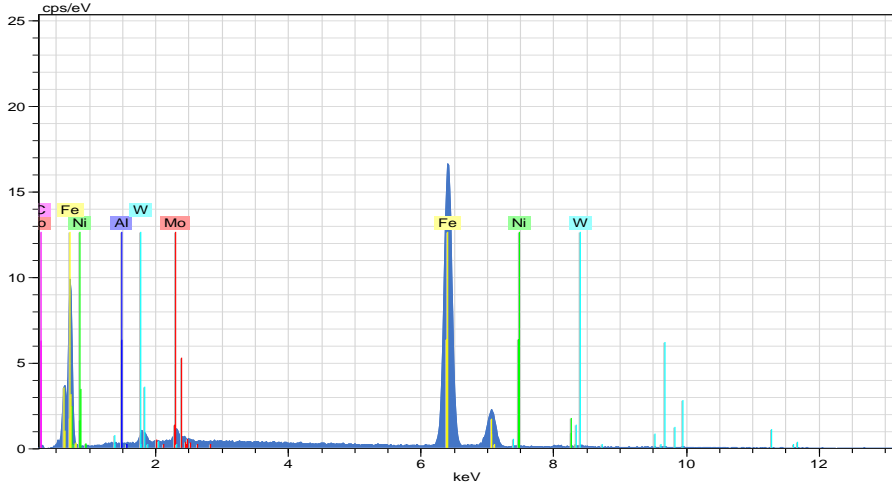
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	92,69	95,35
W	3,86	1,21
Mo	2,14	1,28
Ni	1,07	1,05
C	0,23	1,1
Al	0,01	0,02

Şekil 11. N4.6 numunesinin 10. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



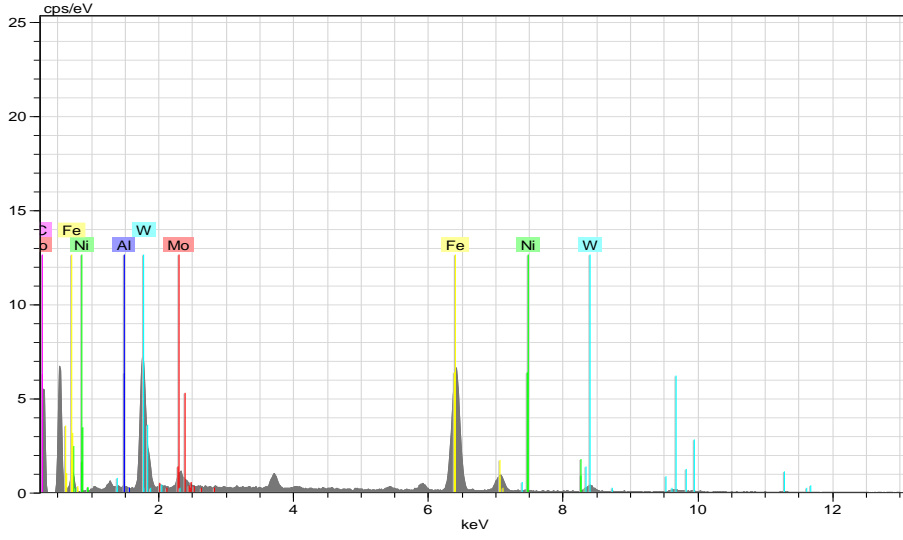
Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	82,59	87,51
W	11,25	3,62
Mo	3,38	2,08
Ni	1,73	1,74
C	1	4,95
Al	0,04	0,09

Şekil 12. N4.6 numunesinin 11. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	91,08	94,43
W	5,02	1,58
Mo	2,38	1,43
Ni	1,24	1,22
C	0,26	1,27
Al	0,03	0,05

Şekil 13. N4.6 numunesinin 12. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları



Element	Ağırlık (%)	Atomik (%)
Fe	54,86	32,15
C	23,22	63,28
W	19,27	3,43
Mo	1,6	0,55
Ni	1,05	0,59
Al	0	0

Şekil 14. N4.6 numunesinin 13. bölgeden alınan EDS analiz sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

10.08.1990 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2013-2014 yılları arasında Bafer Metal İşleme Sanayi A.Ş. firmasında Üretim Mühendisliği yapmıştır. 2014 yılında başlamış olduğu Hobim Bilgi İşlem Hizmetleri A.Ş. de Üretim Yöneticisi olarak görevine devam etmektedir.