

T.C.

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**HAFİF METAL ALAŞIMLARA (Al-Si-Cu-Ni-Mg)
BELİRLİ ORANLARDA ZİRKONYUM (Zr) İLAVESİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet GÖK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç.Dr. Yahya TAŞGIN**

TUNCELİ – 2023

T.C.

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HAFİF METAL ALAŞIMLARA (Al-Si-Cu-Ni-Mg)
BELİRLİ ORANLARDA ZİRKONYUM (Zr) İLAVESİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet GÖK
(220070004)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç.Dr. Yahya TAŞGIN

TUNCELİ – 2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HAFİF METAL ALAŞIMLARA (Al-Si-Cu-Ni-Mg)
BELİRLİ ORANLARDA ZİRKONYUM (Zr) İLAVESİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet GÖK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/...../2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza	İmza	İmza
Doç.Dr.Yahya TAŞGIN (Munzur Üniversitesi)	Doç.Dr.Uğur ÇALIGÜLÜ (Fırat Üniversitesi)	Doç.Dr.Gökhan KAHRAMAN (Munzur Üniversitesi)
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç.Dr.Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

...../...../2023

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza
Mehmet GÖK

Danışman
Doç.Dr.Yahya TAŞGIN



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sürecinde yardımlarını ve deneyimlerini benden esirgemeyen, bana ışık tutan, karşılaştığım sorunları hiçbir zaman çözümsüz bırakmayan, deneyler aşamasında bana her konuda yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Yahya TAŞGIN'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yanımda olan, maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mehmet GÖK
Tunceli-2023



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VI
RESİMLER LİSTESİ	VII
SİMGELER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynakların Araştırılması	2
1.1.1. Alüminyum.....	2
1.1.2. Alüminyumun tarihçesi	3
1.1.3. Alüminyumun özellikleri.....	4
1.2. Alüminyum Alaşımları	4
1.3. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri	4
1.4. Alüminyum Alaşımlarına Elementlerin Etkisi	6
1.5. Literatür İncelenmesi	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1. Üretim.....	12
2.1.1. Hammaddeler.....	12
2.1.2. Toz metalurjisinde presleme.....	13
2.2. Vakumlu Ergitme Ocağı	16
2.3. Isıl İşlem	18
2.4. Karakterizasyon	19
2.4.1. Mikroyapı analizi.....	19
2.4.1.1. Bakalite alma	20
2.5. SEM Görüntüsü	22
2.5.1. Kullanım alanları	23
2.6. EDS Analizi	23
2.6.1. EDS'nin avantajları	25
2.6.2. EDS'nin dezavantajları.....	25
2.7. X Işını İle Numunelerin Haritalanması	26
2.8. XRD Analizi	26
2.8.1. XRD ile yapılabilecek analizler.....	26
2.9. Aşınma Testi.....	27
2.10. Mikro Sertlik	29
2.10.1. Vickers sertlik testi	29
2.10.2. Knoop sertlik testi.....	30
3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
3.1. N1 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	31
3.2. N2 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	35
3.3. N3 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	39
3.4. N4 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	44
3.5. N5 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	49
3.6. N6 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	54
3.7. N7 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	59

3.8. N8 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri	64
3.9. XRD Analiz Sonuçları.....	69
3.9.1. N1 numunesine ait XRD analiz sonuçları	69
3.9.2. N2 numunesine ait XRD analiz sonuçları	71
3.9.3. N3 numunesine ait XRD analiz sonuçları	73
3.9.4. N4 numunesine ait XRD analiz sonuçları	75
3.9.5. N5 numunesine ait XRD analiz sonuçları	77
3.9.6. N6 numunesine ait XRD analiz sonuçları	78
3.9.7. N7 numunesine ait XRD analiz sonuçları	80
3.9.8. N8 numunesine ait XRD analiz sonuçları	82
3.10. Aşınma Testi Sonuçları	85
3.10.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması	88
3.10.2. Isıl işlemli üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması.....	88
3.10.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıtıl işlemli üretilen numunelerin karşılaştırılması	89
3.11. Mikro Sertlik Testi	90
3.11.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması	91
3.11.2. Isıl işlemle üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması	92
3.11.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıtıl işlemli üretilen numunelerin karşılaştırılması	92
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
5. KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Isıl işlem prosesi.....	6
Şekil 2.1. T/M de toz presleme yöntemi	13
Şekil 2.2. T/M de toz presleme yöntemi	13
Şekil 2.3. Presleme işlemindeki basamaklar; 1. İşlem Başlangıcı, 2. Toz Doldurma, 3. Presleme Başlangıcı, 4. Preslemenin Bitişi, 5. Preslenmiş Parçanın Çıkarılması	14
Şekil 2.4. Taramalı elektron mikroskobu şematik görünüm	22
Şekil 2.5. Orbitaler arasında elektron geçişi ve oluşan X- ışınlarının isimlendirilmesi.....	24
Şekil 2.6. Orbitallerdeki elektron davranışları	24
Şekil 2.7. Örnek EDS analizi yapılmış numune pik görüntüsü.....	25
Şekil 2.8. Vickers sertlik testi şematik görünümü	29
Şekil 2.9. Knoop sertlik testi elmas uç temas açısı görüntüsü	30
Şekil 3.1. N1 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	70
Şekil 3.2. N1 numeneye ait XRD molekül görünümü	71
Şekil 3.3. N2 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	72
Şekil 3.4. N2 numeneye ait XRD molekül görünümü	73
Şekil 3.5. N3 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	74
Şekil 3.6. N3 numeneye ait XRD molekül görünümü	74
Şekil 3.7. N4 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	76
Şekil 3.8. N4 numeneye ait XRD molekül görünümü	76
Şekil 3.9. N5 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	77
Şekil 3.10. N5 numeneye ait XRD molekül görünümü	78
Şekil 3.11. N6 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	79
Şekil 3.12. N6 numeneye ait XRD molekül görünümü	79
Şekil 3.13. N7 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	81
Şekil 3.14. N7 numeneye ait XRD molekül görünümü	81
Şekil 3.15. N8 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü	83
Şekil 3.16. N8 numeneye ait XRD molekül görünümü	83
Şekil 3.17. XRD 3D, faz ve molekül görünümü	84
Şekil 3.18. Numunelerinin aşınma kütle kaybı miktarları	88
Şekil 3.19. Mikrosertlik ölçüm değerleri grafiği	91

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Kısaltmaları.	5
Tablo 1.2. Alüminyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi	7
Tablo 2.1. Oluşturulan Alaşımların % Oranları.....	12
Tablo 2.2. Vakumlu Ergitme Cihazı Teknik Bilgileri	17
Tablo 3.1. Aşınma Deneyi Sonuç Verileri.....	87
Tablo 3.2. Sertlik Ölçüm Değerleri	90



RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Tozların Preslenmesi İçin Kullanılan Cihaz	14
Resim 2.2. Metalografik Çalışma İçin Hazır Hale Getirilen Numuneler.....	15
Resim 2.3. T/M İle Preslenen Al Alaşımli Tozlar	15
Resim 2.4. T/M İle Preslenen Al Alaşımli Tozlar	15
Resim 2.5. Çalışma Kapsamında Kullanılan Vakumlu Ark Ergitme Cihazı	16
Resim 2.6. Eriyik Ergime Sistemi Vakum Odacığı	16
Resim 2.7. Vakumlu Ark Ergitme Yöntemiyle Dökülen Numuneler	17
Resim 2.8. Yatay Tip Isıl İşlem Fırını.....	18
Resim 2.9. Yatay Tip Isıl İşlem Fırını.....	19
Resim 2.10. Metalografik Çalışma İçin Hazır Hale Getirilen Numuneler.....	21
Resim 2.11. SEM Elektron Mikroskobu	22
Resim 2.12. Aşınma Deney Düzeneğı.	28
Resim 2.13. Aşınan Numuneler Ait Görseller	28
Resim 2.14. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı	30
Resim 3.1. N1 Nolu Numune EDS Spectrum Değerleri.....	32
Resim 3.2. N1 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	33
Resim 3.3. N1 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri	33
Resim 3.4. N1 numunesi Eds Analizi Element Gökkuşağı Görünümü	34
Resim 3.5. N2 Nolu Numune EDS Spectrum Değerleri.....	36
Resim 3.6. N2 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	37
Resim 3.7. N2 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri.....	37
Resim 3.8. N2 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü.....	38
Resim 3.9. N3 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri	40
Resim 3.10. N3 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan Sem Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	41
Resim 3.11. N3 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri	42
Resim 3.12. N3 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü.....	43
Resim 3.13. N4 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri.....	45
Resim 3.14. N4 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	46
Resim 3.15. N4 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri.....	47
Resim 3.16. N4 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü.....	48
Resim 3.17. N5 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri.....	50
Resim 3.18. N5 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 4000x).....	51
Resim 3.19. N5 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri.....	52
Resim 3.20. N5 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü.....	53
Resim 3.21. N6 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri.....	55
Resim 3.22. N6 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	56
Resim 3.23. N6 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri.....	57
Resim 3.24. N6 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü.....	58
Resim 3.25. N7 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri.....	60
Resim 3.26. N7 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	61
Resim 3.27. N7 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri.....	62
Resim 3.28. N7 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü.....	63

Resim 3.29. N8 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri.....	65
Resim 3.30. N8 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	66
Resim 3.31. N8 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri.....	67
Resim 3.32. N8 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşığı Görünümü.....	68
Resim 3.33. XRD Cihazı.....	69
Resim 3.34. Aşınma Deney Düzeneği	85
Resim 3.35. Aşınan Numuneler Ait Görseller	86



SİMGELER LİSTESİ

%	: Yüzde
Al	: Alüminyum
Br	: Bor
°C	: Derece Celcius
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Li	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
NaOH	: Sodyum hidroksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
SO ₂	: Kükürt dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
Sn	: Kalay
Na	: Sodyum

KISALTMALAR LİSTESİ

XRD	: X-Işınları Kırınımı
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
Mpa	: Mega Pascal
Mm	: Mikrometre
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
Cm	: Santimetre
mg	: Miligram
ASTM	: Amerika Malzeme ve Test Standartları Kurumu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
T/M	: Toz metalurjisi
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik



ÖZET

Birçok alanda kullanım imkanı sağlayan Alüminyum alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerini daha iyi hale getirmek için yaptığımız bu çalışmada; sünek bir malzeme olan Al alaşımına farklı oranlarda Zirkonyum ilave ederek daha güçlü bir malzeme elde etmeyi amaçladık. Zirkonyum elementinin alaşım bir malzemeye sertleştiricilik kazandırarak mukavemetinin artmasına, bağ yapılarında mükemmel uyum sağlayarak alaşım elementi olarak eklenebilir olması, ergime sıcaklığının yükselmesine katkı sağlaması bu elementin farklı sektörlerde kullanılması sonucu insan hayatını kolaylaştırmada referans bir model olacaktır. Tezimizde Alüminyum esaslı Si-Cu-Ni-Mg takviyeli alaşım bir malzemeye Zirkonyum (Zr) elementinin farklı oranlardaki takviyesiyle toz metalurjisinde preslenerek, vakumlu ark eritme yöntemiyle dökerek (4 farklı numune olması şartıyla birincisi %81 Al, %12 Si, %4 Cu, %2 Ni, %1 Mg), (ikincisi %80 Al, %12 Si, %4 Cu, %2 Ni, %1 Mg, %1 Zr), (üçüncüsü %79.5 Al, %12 Si, %4 Cu, %2 Ni, %1 Mg, %1.5 Zr), (dördüncüsü %79 Al, %12 Si, %4 Cu, %2 Ni, %1 Mg, %2 Zr) oluşturulan Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr alaşımının üzerindeki mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini inceledik.

Anahtar Kelimeler: Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr alaşımları, Toz Metalurjisinde Presleme, Vakumlu Ark Ergitme, Mikroyapı, Mekanik özellikler.

ABSTRACT

To Light Metal Alloys (Al-Si-Cu-Ni-Mg) Additional Proportions Of Zirconium (Zr) Investigation Of The Effects On Microstructural And Mechanical Properties

In this study we have done to improve the structural and mechanical properties of aluminum alloys, which provide use in many areas; We aimed to obtain a stronger material by adding zirconium at different rates to the Al alloy, which is a ductile material. The fact that the zirconium element can be added as an alloying element by providing a hardening to an alloy material, increasing its strength, providing a perfect harmony in the bond structures, contributing to the increase of the melting temperature, will be a reference model in facilitating human life as a result of the use of this element in different sectors. In our thesis, aluminum-based Si-Cu-Ni-Mg reinforced alloy material is pressed in powder metallurgy with the reinforcement of Zirconium (Zr) element at different rates and poured by vacuum arc grinding method (provided that there are 4 different samples, the first is 81% Al, 12% Si, 4% Cu, 2% Ni, 1% Mg), (second is 80% Al, 12% Si, 4% Cu, 2% Ni, 1% Mg, 1% Zr), (third is 79.5% Al, 12% Si, 4% Cu, 2% Ni, 1% Mg, 1.5% Zr), (fourth is 79% Al, 12% Si, 4% Cu, 2% Ni, 1% Mg, 2% Zr) on the microstructure and mechanical properties of the formed Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr alloy was investigated.

Key Words: Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr alloys, Pressing in Powder Metallurgy, Vacuum Arc Melting, Microstructure, Mechanical properties.

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan teknolojiyle birlikte, dinamik mekanik özellikleriyle birlikte düşük yoğunluklu, akıcılığı iyi, kolay işlenebilen ve dış etkilere karşı direnci iyi olan malzemelerin üretiminin gerekliliğini özellikle de otomotiv sektöründe, uzay endüstrisinde ve elektronik endüstrilerinde önemi artmıştır (Yavuz, H.G., 2010).

Alüminyum alaşımlarının sahip olduğu düşük yoğunluğu üstün mekanik ve yapısal özellikleri, düşük maliyetli olmaları, korozyon-oksidasyon dayanımları, farklı üretim teknikleri ile üretilebilme olanakları bakımından demir-çelik esaslı metallerden sonra yaygın olarak kullanılan ikinci metal grubu olup farklı sektörlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Rooy, 1990; Vatansever ve ark., 2018).

Yakıt tüketiminin doğrudan taşıt ağırlığına bağlı olduğu otomotiv sektöründe araçların hafifletilmesi maksadıyla demir-çelik esaslı parçalar yerine dökme demir veya çelikten çok daha hafif alüminyum esaslı alaşımların kullanımı giderek artmaktadır. Al esaslı alaşımlardan üretilen motor bloğu, motor kapağı, pompa, dişli kutusu, silindir başlığı, piston ve çeşitli saçtan imal edilmiş parçalar binek, ticari ve ağır vasıta taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Sigworth, 2014).

Al-Si alaşımları, Al-Cu alaşımlarından sonra kullanılan ikinci en yaygın alaşım grubunu oluşturmaktadır. Si varlığının alaşımın yapısal özelliklerine önemli katkıları vardır:

- Sıvı haldeki alüminyumun akışkanlığı artar
- Alaşımın ergime sıcaklığı azalır
- Soğuma sırasında çekme olasılığı azalır
- Alaşımın maliyeti düşer
- Silisyumun da hafif olmasından kaynaklı üretilen parça ağırlığı da önemli ölçüde azalır (Kalhapure ve ark., 2015; Rana ve ark., 2012).

Ayrıca alüminyum içerisinde katı hal çözünürlüğünün düşük olması, alüminyum matris fazında silisyum esaslı çökeltilerin oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durum alaşımın sertlik ve dayanım gibi oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerini arttırmaktadır (Kalhapure ve ark., 2015).

Alüminyum ağırlıklı alaşım tozlarının yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerinin yükseltilmesi, yapının içinde yüksek sıcaklıklarda kararlılığını ilan eden fazların bir araya gelmesi ile mümkündür. Geleneksel döküm yöntemi ile sertleştirmeye yol açan fazların meydana gelmesi, sınırlı miktarda alüminyum alaşımı ile mümkündür. Bu nedenle, bu

fazların oluşturulmasında toz metalurjisi (T/M) teknolojisinin öne çıktığını ve bu yöntemle, alüminyum'un düşük yoğunlukta herhangi bir azalma olmadan istenilen özelliklerde alaşım üretimi gerçekleşecektir (Pickens, J.R., 1990).

Bu tez çalışmasında hafif alaşımlar olan Al-Si-Cu-Ni-Mg elementlerine belirli miktarlarda Zr elementi eklenerek Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr alaşımı oluşturulmuştur. Alaşımdaki Alüminyum oranları % 79–81 arasında değişmektedir. Oluşturulan alaşıma Zr elementinin etkisi incelenmek istenmiştir. Bu alaşım ile ilgili 4 farklı numune oluşturulmuştur.

- 1.numunenin oranları: % 81 Al - % 12 Si - % 4 Cu - % 2 Ni - % 1 Mg
- 2.numunenin oranları: % 80 Al - % 12 Si - % 4 Cu - % 2 Ni - % 1 Mg - % 1 Zr
- 3.numunenin oranları: % 79,5 Al - % 12 Si - % 4 Cu - % 2 Ni - % 1 Mg - % 1,5 Zr
- 4.numunenin oranları: % 79 Al - % 12 Si - % 4 Cu - % 2 Ni - % 1 Mg - % 2 Zr

1.1. Kaynakların Araştırılması

1.1.1. Alüminyum

Alüminyum; işlenebilme kabiliyeti olan, hafif, korozyon dayanımı yüksek, ısı ve elektrik iletkenliği ile dayanımını arttırılabilen üstün özelliklere sahip olmasından kaynaklı elektrik teknolojisinde, tarım sektöründe, inşaat sektöründe, gıda sektöründe, otomotiv endüstrisinde ve havacılık gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan bir metaldir (Bolton, 1993; Sharma ve ark., 2005).

Periyodik cetvelde 3A grubunda bulunan alüminyum 13 atom numarasına ve 26,981538 g/mol atom ağırlığına sahiptir. İyon ve atom çapı sırasıyla 0,86 ve 1,43 Å'dur. Yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapısına sahip olan Al erime sıcaklığı 658 °C' ye kadar kararlı olup herhangi bir yapısal dönüşüme uğramaz. Al yer kabuğunda % 8 oranı ile en çok bulunan metaldir (Sarsılmaz, 2008).

Temel Al kaynağı alüminyum esaslı hidroksitlerdir ($AlOOH$ ve $Al(OH)_3$). Kostik soda ($NaOH$) çözeltisi ile zenginleştirilen ve Bayer yöntemiyle boksitin kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ 'dür. Hidrat suyu içeren diasporit ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) ve jipsit ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) diğer boksit türleri olup alüminyum ekstraktif metalürjisinde herhangi bir öneme sahip değildir. Al aktif bir metal olup havada bulunan oksijenle kolayca tepkimeye girerek yüzeyinde pasif Al_2O_3 (alümina) filmi oluşur. Alumina filmi ince olmasına rağmen alüminyum yüksek sıcaklıktaki korozyon etkilerden bile korumaktadır (Sarsılmaz, 2008).

SO₂ ve SO₃ gazlarına karşı da dayanıklı olan Al, NaOH ve KOH baz çözeltilerinde kolayca erimekte aynı zamanda toz hali havada hızlıca yanmaktadır. Alüminyumun erime sıcaklığı ile saflık derecesi birbirleri ile doğru orantılı olup saf Al, Al esaslı alaşımlara kıyasla daha yüksek sıcaklıkta erimektedir. Erime sırasında alüminyumun hacmi artmaktadır. % 99,65 saflığa sahip alüminyumda hacim artışı % 6,25 civarında iken; % 99,75 saflığa sahip olanda hacim artışı yaklaşık % 6,60 civarındadır. Alüminyumun yoğunluğu hem katı hem de sıvı halde saflığının artmasıyla azalmaktadır. Örneğin, % 99,25 saflıktaki Al 2,727 g/cm³. yoğunluğa sahip iken % 99,40 saflıktaki alüminyumun yoğunluğu 2,706 g/cm³'dür. Ayrıca, saflık derecesinin artmasıyla, alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliği de artmaktadır (Sarsılmaz, 2008).

Yüksek saflığa sahip Al, teknik saflığa sahip olana kıyasla çok daha sünek ve yumuşaktır. Ayrıca yüksek saflığa sahip olan alüminyumun dayanımı da oldukça düşüktür. Örneğin, % 99,25 saflıktaki Al 71 GPa elastisite modülüne sahip iken, çok yüksek saflıktaki Al 71 GPa elastisite modülüne sahiptir.

Diğer bir örnekle, % 99,2 saflıktaki alüminyumun sertliği 24-54 HB iken % 99,8 saflıkta olanın sertliği 19-41 HB arasındadır. Yapılan çalışmalar, alüminyumun çekme dayanımının saflık derecesi ile azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, kopma anındaki kesit daralması, en fazla yüksek saflıktaki alüminyumda (> % 99,9) görülmüştür (Tablo 2.1.). Kısacası alaşım içerisindeki Al oranı arttıkça, süneklik artmaktadır. Yüksek saflıktaki Al soğuk haddeleme sonrası 110-130 MPa çekme dayanımına sahip iken, tavlama sonrası bu değer 35-60 MPa aralığına kadar azalmaktadır. Uzama değerleri de % 5,5 ile % 40-50 mertebelerine kadar değişebilmektedir (Sarsılmaz, 2008).

1.1.2. Alüminyumun tarihçesi

Alüminyumun bilinen tarih içinde ilk kullanılmaya başlanması 1800'lü yıllara dayanmaktadır (Töre, 2012). Kalabalık nüfusların alüminyum ile bir araya gelmesi, 1855 yılında Paris'te gerçekleştirilen "Paris Dünya Sergisi" ile olmuştur (Yüksel, 2003). Yaklaşık iki yüzyıldır mühendislik alanını en gözde malzemelerinden biri olma özelliğini halen korumaktadır.

1.1.3. Alüminyumun özellikleri

Alüminyum, yumuşak bir yapıya, hafifliğe ve mat görünümüne sahip bir metaldir. Mat görünümü, hava ile etkileşime geçtiğinde malzeme üzerinde oluşan ince oksit tabakasından gelir. Alüminyum, zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir. Alüminyum'un üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Alaşımsız alüminyum sünek, orta mukavemet göstermekte ve çoğu durumda korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Alüminyum, uygun alaşım elementlerinin (Cu, Mg, Mn, Si, vb.) eklenmesi ve gerektiği durumlarda ısıtılarak işlenilerek mukavemeti artırılabilir (Sarsılmaz, 2008; Başer, 2013).

1.2. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlarının saflık dereceleri ve kullanılan alaşım elementlerine göre sınıflandırılmaktadır. Al alaşımlarının mekanik özellikleri bileşiminde bulunan Cu, Zn, Si, Mg, Fe ve Ti gibi alaşım elementlerinin varlığı ile artmaktadır. Alüminyum'a ilave edilen bu alaşım elementleri katı çözelti veya çökelme sertleştirilmesi oluşturarak mukavemeti artırmaktadır. Genel olarak ilave edilen alaşım elementinin miktarının artması ile mukavemetde artmaktadır ancak bu durum alaşımın plastik şekil değiştirebilmesi kabiliyetinin düşmesine sebep olmaktadır. Al alaşımlarının mekanik özellikleri plastik şekil verme işlemi ile uygulanan deformasyon sonucunda büyük ölçüde artabilmektedir (Anık ve ark., 2000).

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında farklı standartlar kullanılmakta olup bunlardan en yaygın kullanılanı Alüminyum Birliği'nin (The Aluminum Association) yayınladığı standarttır. Ayrıca TSE, DIN ve ASTM gibi farklı standartlar da kullanılmaktadır. Tüm bu standartların ortak noktası ise alüminyum alaşımlarını; dövme ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki ana başlık altında incelemesidir (Askeland, 2002; Eruslu ve ark., 1990).

1.3. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri

Alüminyum alaşımlarının mukavemetinin artırılması için ısıtılarak işlenilerek 3 basamaktan oluşur. Bunlar;

- Çözeltiye Alma
- Su Verme
- Yaşlandırma

Çözeltiye alma işleminde ana neden çökeltme sertleştirmesini ortaya getirecek elementlerin çözünmesini sağlayarak katı çözelti içinde hapsolmasını sağlamaktır. Yaşlandırma işleminin sebebi malzemenin sertlik oranını arttırmaktır. Yaşlandırma işlemi oda sıcaklığında yapılıyorsa “doğal yaşlandırma”, daha yüksek sıcaklıklarda yapılıyorsa “yapay yaşlandırma” olarak adlandırılır (Mohamed ve Samuel, 2012).

Alüminyum ağırlıklı alaşım tolzarı için kullanılan ısıtım işlem kısaltmaları Tablo 1.1.’de verilmiştir (Rooy, 1990).

Tablo 1.1. Alüminyum Alaşımlarında Isıtım İşlem Kısaltmaları (Rooy, 1990)

ISITIM İŞLEM KODU	AÇIKLAMA
F	Mekanik veya ısıtım işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
O	Tavllanmış ve yeniden kristalleşmiş
H	Şekil değıştirme sertleşmesi uygulanmış
W	Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış
T	Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış

T1: Yüksek sıcaklıkta şekil değıştirilip soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış

T2: Yüksek sıcaklıkta şekil değıştirilip soğutulmuş, soğuk şekil değıştirilmiş ve doğal yaşlandırılmış

T3: Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış, soğuk şekil değıştirilmiş ve doğal yaşlandırılmış

T4: Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış

T5: Yüksek sıcaklıkta şekil değıştirilip soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış

T6: Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış

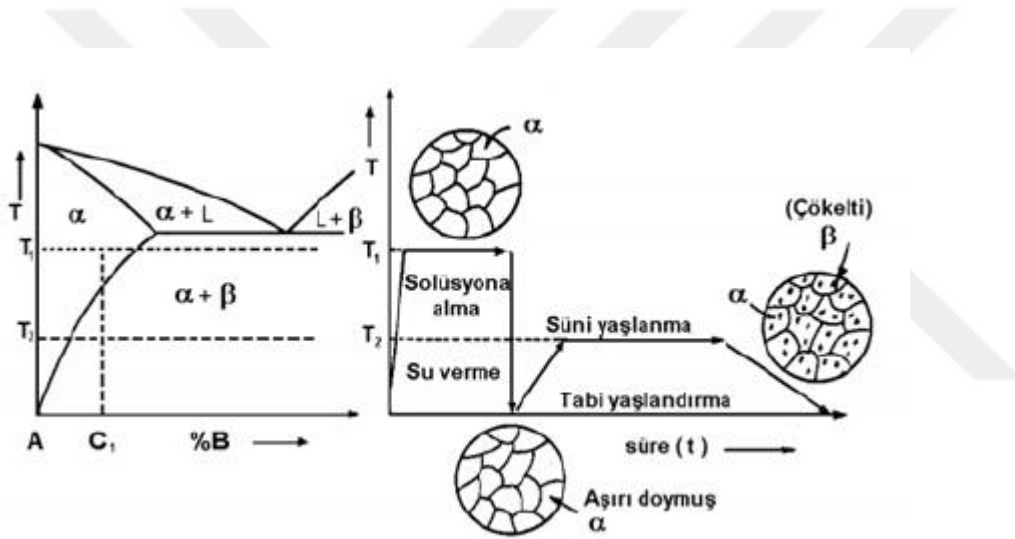
T7: Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış ve aşırı yaşlandırılmış

T8: Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış, soğuk şekil değıştirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

T9: Çözeltiye alma ısıtım işlemi uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekil değıştirilmiş

T10: Yüksek sıcaklıkta şekil değıştirilip soğutulmuş, soğuk şekil değıştirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Alüminyum döküm alaşımlarına uygulanan ısıl işlemlerde önemli etkiye sahip faktörler; yaşlandırma sıcaklığı, su verme hızı, çözeltiye alma sıcaklığı ve süresidir. Şekil 1.1’de ısıl işlem yöntemi gösterilmiştir. Ticari Al-Si-Mg esaslı döküm alaşımlarından üretilen, istenilen dayanım değerlerine sahip olmak için çoğunlukla T6 ısıl işlemine maruz bırakılmaktadır. T6 olarak isimlendirilen ısıl işlemde döküm parçalar sırasıyla uygun bir süre ötektik altı sıcaklıkta (465-565 °C arasında) çözeltiye alma, ardından su verme ve sonrasında da 150-200 °C civarlarında yapay yaşlandırmaya tabi tutulmaktadırlar. Ayrıca sıvı metale uygulanan işlemlerin, ısıl işlem esnasında meydana gelebilecek mikro yapısal değişiklikler üzerinde önemli etkileri vardır. Örneğin; ergimiş alaşımın Na veya Sr modifikasyonu tanelerin küreselleşmesini sağladığı ve aynı zamanda büyüme kinetiklerini değiştirdiği bilinmektedir (Uyaroğlu ve ark., 2010).



Şekil 1.1. Isıl işlem prosesi (Uyaroğlu ve ark., 2010)

1.4. Alüminyum Alaşımlarına Elementlerin Etkisi

Alüminyum alaşımlarına yaygın olarak ilave edilen başlıca alaşım elementleri;

- Bakır (Cu)
- Silisyum (Si)
- Magnezyum (Mg)
- Nikel (Ni)
- Titanyum (Ti)
- Mangan (Mn)
- Zirkonyum (Zr) (Smallman, 1983).

Alaşım elementlerinin çeşitli karakteristlik üzerine etkisi, aşağıdaki tabloda verilmiştir. Burada:

1-) ++ : nerilir

2-) + : İyi

3-) -- : Kaçınılacak

4-) - : Oranın altında

Tablo 1.2. Almimyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi

Nitelikler	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Co	Ti	Mn	Fe	Cr	Zr
Kopma Mukavemeti	++	+	+	++	+	+	+			-	+
Elastik Sınır	++	+	-	+	-						++
Sertlik	++		-	-	+			+	+		++
Isıya Dayanıklılık	++		++		+				+		++
Kaynak Kabiliyeti	-	++	+	-	-		+	+		+	
Talař Kaldırma ile İşlenebilirlik	++	-	+	+	+		++	+	++	+	
Elastik Modülü	+	++	-	+	+	++		+	-		+
Döküm Kabiliyeti	+	++	-	+			+	-	-		+
Süneklilik	-	--	+				+		--		+
Korozyona Dayınım	-	+	++	+				-	--	++	++
Anodizasyona Elveriřsizlik	-	+	++	+				-			

1.5. Literatür İncelenmesi

Shaha ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışmada Al-Si-Cu-Mg döküm alaşımının, yüksek sıcaklıklarda çalışabilme performansını iyileştirmek için, alaşıma Ti-V-Zr ilave etmişlerdir. Hâli hazırda kullanılan Al-Si-Cu-Mg alaşımı içindeki Al_2Cu , Mg_2Si veya Al_2CuMg gibi güçlendirme fazları genellikle 170 °C - 300 °C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda sertleşmekte veya çözünmektedir. Bu da motor blokları ve silindir başlıkları gibi parçaların pratik uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Bu doğrultuda bu alaşımların yüksek sıcaklıkta çalışma özelliklerini ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için geçiş metallerinden olan Zr, Ti ve V ilave edilmiş, (AlSi) x (TiVZr) fazlarını oluşturmuştur. Cu ve Mg bakımından zengin fazlar 300-500 °C arasındaki sıcaklıklarda çözünürken, (AlSi) x (TiVZr) fazlarının 696-705 °C'ye kadar dayandığını ispatlamıştır. Böylece bu çalışma geçiş metalleri ilaveleri ile Al-Si alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda çalışabilme kapasitesini arttırmış ve bu alaşımların ısıtılma işlemi ile ilgili potansiyelini geliştirmiştir.

Shaha ve ark. 2015 yılında yaptıkları diğer bir çalışmada ise ağırlıkça (%) Al-7Si-1Cu-0.5Mg içeren bir alaşıma Ti, V ve Zr ilavesi yapmış, elde edilen alaşımın 300 °C'ye kadar sıcaklıklardaki mikroyapısal ve mekanik özelliklerini incelemiş, A380 alüminyum alaşımı ile karşılaştırmışlardır. Alaşımlamada ve karşılaştırmada kullanılan her iki alaşımın da mikroyapısında üçlü Al- Al_2Cu -Si fazı ve Al-Si ötektik fazı ile çevrili Al dendritleri bulunduğu bilinmektedir. Fakat A380 alaşımında $Al_{15}(FeCrMn)_3Si_2$ fazları bulunurken, yapılan yeni alaşımlama ile Ti / Zr / V fazlarının, Al ve Si fazları ile birlikte nasıl bir yapı oluşturacağını deney sonunda belirlemişlerdir. Elde edilen alaşımın kimyasal modifikasyonun bir sonucu olarak deneyde kullanılan A380 alaşımına göre % 20-40 daha yüksek mukavemet gösterdiği ve 1,5 ila 5 kat daha yüksek sünekliğe sahip olduğu tespit etmişlerdir.

Zhang ve ark. 2021 yılında yaptıkları çalışmada ise, geçiş metallerinden olan Cu, Zr ve V'un Al-Si-Mg döküm alaşımlarının mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. İlk olarak Al-Si-Mg alaşımlarının döküm mikroyapısının (özellikle ötektik Si ve intermetaliklerin) dönüşümü incelemiş ve bu alaşımların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için yol gösterici olduğu ifade edilmiştir. Bu tanelerin boyutlarına, morfolojilerine ve dağılımlarına bağlı olarak mekanik özellikler olumlu veya olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda Cu ilavesinin ikincil dendrit kol aralığını azalttığı ve kaba Si parçacıklarının oluşumuna yol açtığını bulmuşlardır. Ayrıca Al-Si-Mg döküm alaşımlarına, Cu eklendiğinde ikincil dendrit kol

aralığının azalması nedeniyle akma ve çekme mukavemeti artarken, Zr ve V ilave edildiğinde süneklikte ve çekme mukavemetinde önemli bir azalmanın meydana geldiğini görmüşlerdir. Al-Si-Cu-Mg alaşımının içindeki Zr-Ti-V içeren iğne şeklindeki fazlardan dolayı erken kırılma ve süneklikte azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sultan KURAL 2019 yılında yaptığı çalışmada, seyreltik ikili Al-Zr alaşımının ısısal iletkenlik ve katı-sıvı arayüzey enerjisini ölçmeyi amaçlamıştır. Denge halinde tane sınırı oluk şeklini elde etmek için radyal ısı akış deney sistemini kullanılmıştır. Deney sistemi uzun süre çok sabit sıcaklık (saatlerce ± 0.05 °C ve ± 0.1 °C de 5 gün süresince) değerinde tutmuştur. Deney sistemi 650 °C ‘ ye kadar geniş bir sıcaklık gradyenti (0.5-30 °C/cm) elde etmeyi sağlamıştır. Fazların ısısal iletkenlikleri, katılar için radyal ısı akış deney sistemi ile sıvı fazları için doğrusal katılaştırma deney sistemini kullanarak ölçmüştür. Katı-sıvı arayüzeyinde katı fazın sıcaklık gradyenti katı fazın ısısal iletkenlik değeri kullanılarak elde etmiştir. Gibbs-Thomson sabitini hesaplamada, nümerik modeli uygulamıştır. Seyreltik ikili Al-Zr alaşım sistemi için Gibbs-Thomson sabitinin elde edilebileceğini göstermiştir. Katı-sıvı arayüzey enerjisi, Gibbs-Thomson sabiti ve ilgili birim hacim başına entropi değişimini kullanarak hesaplamıştır. Katı-sıvı arayüzey enerjisinin kullanılmasıyla tane sınır enerjisini hesaplamıştır.

Enes CANBAZ 2021 yılında yaptığı çalışmada, Alüminyum alaşımları yapısal uygulamalarda hafif olmaları, bağıl dayanımlarının yüksek olması ve üstün korozyon/oksidasyon dirençlerinden dolayı çelikten sonra en çok kullanılan ikinci metal grubudur. Alüminyum alaşımlarının üstün fiziksel ve mekanik özellikleri uygulanan ısıtılma ve yapısında bulunan alaşım elementinin türüne ve miktarına bağlıdır. Al-Si esaslı döküm alaşımları ise otomotiv endüstrisinde yakıt tüketiminin azaltılması ve taşıtların hafifletilmesi gibi sebeplerden dolayı en çok tercihe edilen gruptur. Bununla birlikte, Al alaşımlarının taşıtlarda çeliğin yerine kullanılabilmesi için mekanik özelliklerinin daha da artırılması gerekmektedir. Bu kapsamda otomotiv endüstrisinde kullanılan ve gün geçtikçe kullanım alanı artan ticari alüminyum döküm alaşımlarından AlSi10Mg alaşımının mevcut mekanik özelliklerinin Zr ve/veya V ilavesi ile artırılmasını amaçlamıştır. Çalışma kapsamında kullanılan alaşımlar metal kalıba döküm yöntemi ile üretilmiş ve farklı sürelerde T6 ısıtılma işlemi (500 °C’de 1 saat çözeltiye alma 190 °C’de 1, 4, 16 ve 64 saat yaşlandırma) uygulamıştır. Zr ve/veya V ilavesinin ticari AlSi10Mg alaşımının mikroyapısına, faz ilişkilerine, dönüşüm sıcaklıklarına ve mekanik özelliklerine etkisini detaylı bir şekilde incelemiştir. Alaşımların mikroyapısı optik mikroskop ile faz analizleri X-ışınları kırınımı (XRD) ile ötektik dönüşüm sıcaklıkları ise termal analiz yöntemi ile

incelemiştir. Dökülmüş haldeki ve ısıtıl işlem görmüş numunelerin mekanik özellikleri Brinell sertlik ve çekme testleri ile ölçmüştür. Zr ve/veya V ilavesinin mikroyapı ve diğer yapısal özelliklere çok fazla etkisi olmamasına rağmen, AlSi₁₀Mg alaşımının mekanik özelliklerinin % 0,2 Zr ve % 0,5 V ilavesi ile önemli ölçüde arttığını gözlemlemiştir. Hatta, 64 saat yaşlandırılmış% 0,2 Zr ve % 0,5 V ilaveli alaşım sırasıyla 212 ve 250 MPa akma ve çekme dayanımının olduğunu görmüştür.

Jafar GHAEMI GUIVI 1989 yılında yaptığı çalışmada, döküm yolu ile elde edilen ingot halindeki Al- %3 Li-%0,15 Zr alaşımı sıcak haddelemeyi takiben, 550°C' de çözeltiye alma işlemine tabi tutmuş, müteakiben de 190 °C 'de değişik sürelerde yaşlandırma işlemi yapmıştır. Yaşlandırılan alaşımın, mekanik özellikleri, deformasyon davranışı ve korozyon direnci yaşlandırma süresinin fonksiyonu olarak incelemiş metalografik etüdü yapmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan sertlik ve çekme deneylerinden, alaşımın oldukça erken yaşlanıp, lityum ihtiva etmeyen alaşımlara göre daha yüksek akma, çekme ve % uzama değerlerine sahip olduğunu tesbit etmiştir. %0.15 mertebesindeki zirkonyumun yeniden kristalleşmeyi önemli derecede etkilediğini ve yeniden kristalleşmemiş taneler içerisinde tali taneler oluşumunu sağladığını görmüştür. Çekme deneyi numunelerinin kırık yüzeylerinin SEM'de incelenmesi sonucu, alaşım içerisinde bulunan empirute elementlerinin artan yaşlandırma süresi ile intermetalik inklüzyonlarda toplanarak daha kompleks inklüzyonların oluşumuna sebebiyet verdiğini belirlemiştir.

Hicran TECER 2013 yılında yaptığı çalışmada, Alüminyum-Zirkonyum ikili alaşımının elektriksel iletkenlik ve çekme mukavemeti özelliklerini incelemiştir. Bu bağlamda ilk numuneleri Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Katı hal Fiziği Laboratuvarında ve Coreal Alüminyum Kablo'da üretilmiş olup bu numunelerin mikroyapısal, kimyasal, mekaniksel ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen numunelerin kalitesi geliştirilmiş ve seri üretime geçilmiştir. Değişik ısıtıl işlem prosesleri uygulanarak üretilen numuneler için kritik parametreler olan sıcaklık ve ısıtıl işlem süreç parametrelerinde optimum değerleri elde etmiştir. Buna ilaveten, numunelerin iletkenliklerini ve kimyasal özelliklerini X-ışını elektron saçılımı (EDX), dört nokta metodu (FPPM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve optik metal mikroskobu (OMM) kullanarak araştırmasını gerçekleştirmiştir. Bu ölçüm ve analizlerden elde edilen verileri kullanarak, döküm proseslerinin, sıcaklığın, bileşimlerinin ve numune büyüklüğünün etkisini, numune kalitesi üzerinde etkisini araştırmıştır.

Mustafa TEKİN 2017 yılında yaptığı çalışmasında, Termal Kararlı Fe-Ni-Zr Alaşımlarının Aşınma ve Derinlik Duyarlı İndentasyon Davranışını incelemiştir. Belirli oranlarda aldığı Fe, Ni ve Zr tozları SPEX marka yüksek everjili bilyalı değirmende toz haline getirilerek Fe-Ni-Zr alaşımını oluşturmuştur. Ektrüzyon işlemi için tozlar 1000 °C sıcaklıkta ısıtma gerçekleşmiştir. Ektrüzyon işleminin yapılacağı kalıp sistemini de önce ön ısıtma yapılmıştır. Ektrüzyon işlemi sırasında, her bir presleme öncesinde tozları tekrar 1000 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca ısıtmıştır. Farklı oranlarda (% 1 ve % 4) Zr içeren Fe-Ni-Zr alaşımlarının aşınma direncini gözlemlemiştir. % 1 Zr içeren alaşımda artan deney yüküne bağlı olarak aşınma hızı önemli bir değişim göstermezken, % 4 Zr içeren alaşımın aşınma hızının artan deney yüküyle arttığını belirlemiştir. Öte yandan, düşük deney yüklerinde (1 N ve 2 N), % 1 Zr içeren alaşımın aşınma hızı daha yüksek iken, nispeten yüksek yüklerde (3 N ve 4 N), % 4 Zr içeren alaşımın aşınma hızı daha yüksektir. Aşınma yüküne bağlı olarak, çalışmada kullanılan alaşımların aşınma mekanizmalarında farklılık gösterdiğini gözlemlemiştir.

Daha önce yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere Alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklıktaki çalışma performansı ve geçiş elementleri ile yapılan alaşımların etkisini görmektedir. Bu çalışmamızda Zirkonyum elementinin (Zr), Alüminyum alaşımlı hafif metallerle birlikte bir alaşım oluşturularak, alaşımın üzerinde Zr elementinin mikroyapıda ve mekanik özelliklerde meydana gelecek değişimler detaylı bir şekilde incelenecektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmamızda aşağıdaki işlem basamakları sırası ile uyguladık. Bunlar; üretim ve hammadde tedariği, presleme işlemi, preslenen numunelerin ark ergitmesi, ısıtıl işlem, mikroyapı hazırlıkları, bakalite alma, SEM görüntüleme, EDS analizi, mapping, XRD analizi, aşınma testi ve mikrosertlik testleri yapılmıştır.

2.1. Üretim

2.1.1. Hammaddeler

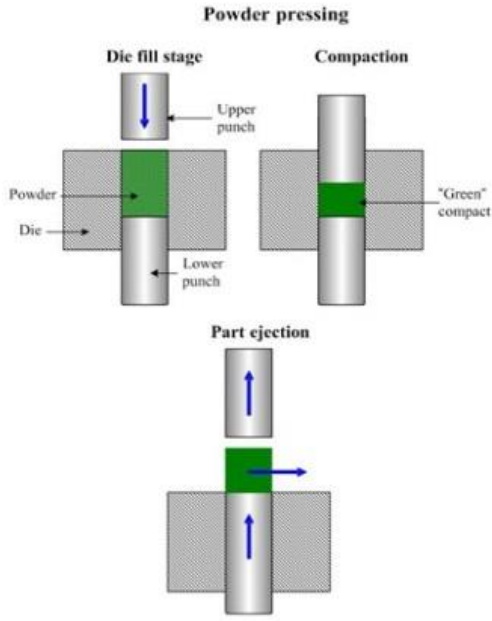
Tez çalışmamızda Alüminyum esaslı (Al-Si-Cu-Ni-Mg), (Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr) % 1 Zr, (Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr) % 1,5 Zr ve (Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr) % 2 Zr olmak üzere dört farklı bileşimde alaşım üretilmiştir. Alaşım tozları temin edildikten sonra T/M’de bloklar halinde 5 gram olacak şekilde preslendikten sonra vakumlu ark ergitme yöntemiyle ergitililip 30 gramlık numune üretilmiştir. Alüminyum tozu %99,99 saflıktadır. Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr alaşımında oluşturulan numunelerin yüzdelik payları Tablo 2.1.’ de verilmiştir. Yapılan çalışmada, hafif metal alaşımlara (Al-Si-Cu-Ni-Mg) belirli oranlarda Zirkonyum (Zr) ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelendi.

Tablo 2.1. Oluşturulan Alaşımların % Oranları

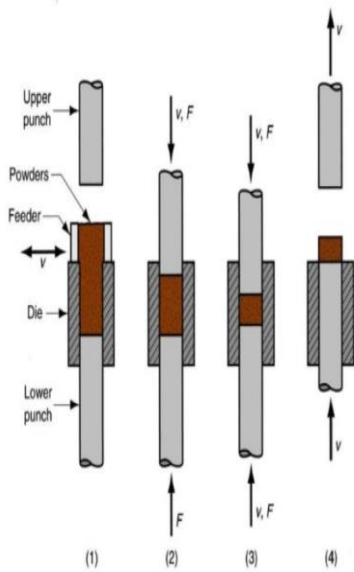
% Master Alaşımı	Numune Adı	Si	Cu	Ni	Mg	Zr	Al
Al-Si-Cu-Ni-Mg	N1	12	4	2	1	—	81
Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr	N2	12	4	2	1	1	80
Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr	N3	12	4	2	1	1.5	79.5
Al-Si-Cu-Ni-Mg-Zr	N4	12	4	2	1	2	79

2.1.2. Toz metalurjisinde presleme

Presleme işlemi için kalıp içerisindeki metal tozlar istenildiği şekle dönüştürülür. Metal tozların sıkıştırılmasındaki önemli neden hem ham yoğunluk hem de dayanımın elde edilmesidir (Klar,1984). Bu işlem için genellikle mekanik, hidrolik ve pnömatik presler kullanılmaktadır (Klar, E., and Fesko, J.W., 1984).

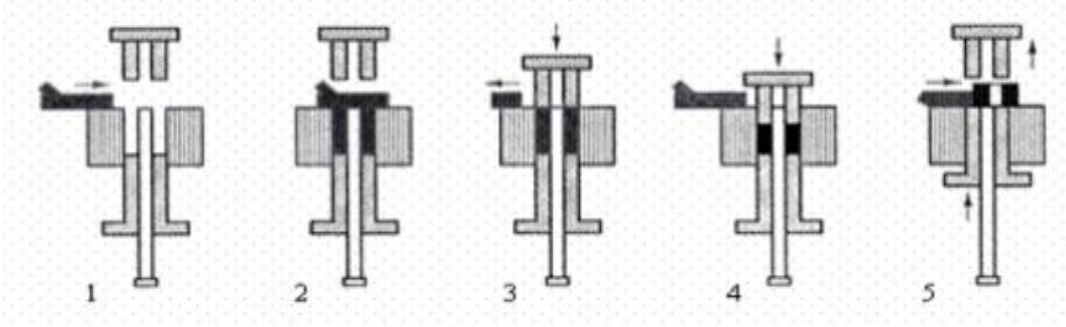


Şekil 2.1. T/M de toz presleme yöntemi



Şekil 2.2. T/M de toz presleme yöntemi

Sıkıştırılabilirlik işlemi tavlama sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Metal tozlarının karışımı tamamlandıktan sonra gaz/hava oranının yüksek olması tozların sıkıştırılabilirlik kabiliyetini düşürür. Aşağıdaki şekillerde tipik bir eksenel presleme işleminin basamakları görülmektedir.



Şekil 2.3. Presleme işlemindeki basamaklar; 1. İşlem Başlangıcı, 2. Toz Doldurma, 3. Presleme Başlangıcı, 4. Preslemenin Bitişi, 5. Preslenmiş Parçanın Çıkarılması (Klar,1984)



Resim 2.1. Tozların Preslenmesi İçin Kullanılan Cihaz



Resim 2.2. Metalografik Çalışma İçin Hazır Hale Getirilen Numuneler



Resim 2.3. T/M İle Preslenen Al Alaşımli Tozlar



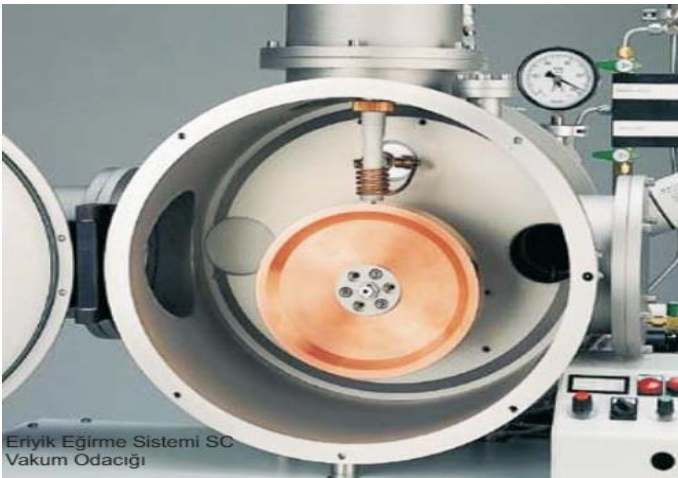
Resim 2.4. T/M İle Preslenen Al Alaşımli Tozlar

2.2. Vakumlu Ergitme Ocağı

Alaşımların üretiminde Resim 2.5.' de gösterilen, Malatya İnönü Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde bulunan Vakumlu Eriyik Eğirme Sistemi MSP10-MSP60 cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz laboratuvar ortamında 5-10 gr arası veya maksimum 60 gr kapasitelidir. 200 mm veya 250 mm çapında bakır dönen tekerleği mevcuttur. Yüksek vakumlu odacığı (Resim 2.6.), raf sistemi, yüksek vakum pompalama sistemi (turbomoleküller veya difüzyon) ve 5-6 kW gücünde RF jeneratörden oluşmaktadır.



Resim 2.5. Çalışma Kapsamında Kullanılan Vakumlu Ark Ergitme Cihazı



Resim 2.6. Eriyik Ergime Sistemi Vakum Odacığı

Tablo 2.2. Vakumlu Ergitme Cihazı Teknik Bilgileri

Vakumlu Eriyik Ergime Sistemi Teknik Bilgiler	
Maksimum Yük	5-10 gr (Jeneratöre bağlı)
Jeneratör	5 kW / 6 Kw
Tekerlek	Katı bakır, Ø200 mm
Şerit Genişliği	1 - 10 mm
Elektrik Bağlantısı	400V, 3 Faz, 50/60Hz (Jeneratör) 230V, 50-60Hz (Vakumlu Eriyik Ergime)
Potalar	Boron Nitrat veya Kuartz, Yarık veya daire şeklinde ağızlı

Malatya İnönü Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde bulunan Vakumlu Eriyik Eğirme Sistemi MSP10-MSP60 cihazı ile ergitilen ürünlerin fotoğrafları Resim 2.7.' da verilmiştir.



Resim 2.7. Vakumlu Ark Ergitme Yöntemiyle Dökülen Numuneler

2.3. Isıl İşlem

Deney çalışmamızda Alüminyum alaşımında daha önceki aşamalarda herhangi bir ısıtım işlemi uygulanmamıştır. Bu alaşımlar 8 - 9 mm çapında 30 gram ağırlığında üretilip yarıdan kesilerek yarı numuneye ısıtım işlemi uygulanmıştır.

Çökelme sertleştirilmesi olarak bilinen ısıtım işlemi alaşımın mikroyapısında nispeten daha az miktarda bulunan ikinci fazın parçacıkları halinde matris fazı içerisinde çökelmesinin sağlanması ve böylelikle alaşımın dayanımının artmasını sağlamaktadır. Bu yöntem alaşımların dayanımlarını artırmada kullanılan en etkili yöntemlerden biri olup çoğunlukla demir dışı metal alaşımlarında (Al, Ti, Mg) kullanılmaktadır (Kayalı, 1991).

Çökelme sertleştirilmesi ile dayanım artışındaki temel mekanizma aşırı doymuş Al matris fazı içerisinde yaşlandırma ısıtım işlemi ile birlikte oluşacak çökeltilerin diskolasyon hareketlerini engellemesi ile açıklanmaktadır (Novikov, 2012). Al-Cu-Mg, Al-Si-Mg veya Al-Zn-Mg esaslı Al alaşımları çökelme sertleşmesi uygulanabilir alaşımlar olarak bilinmektedirler. Çökelme sertleştirilmesi ısıtım işlemi temelde üç ana basamakta gerçekleştirilmektedir. Bu basamaklar sırasıyla; çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma ısıtım işlemidir (Kayalı, 1991).



Resim 2.8. Yatay Tip Isıl İşlem Fırını



Resim 2.9. Yatay Tip Isıl İşlem Fırını

Numuneler ergitilerek döküldükten sonra her bir numune ortadan ikiye ayırarak, ayrılan parçaların yarısına T6 ısıtma işlemi ile 510 °C, 5 saat ısıtma işlemine maruz bırakıldı. Isıtma işlemi fırınında soğuması gerçekleştirilen numuneler yine ısıtma işlemi fırınında 185 °C’ de 3 saat yaşlandırma işlemi gerçekleştirildi. Zirkonyumun etkisi gözlemlendi. Numuneler, ısıtma işlemi aşamasından sonra fırın sıcaklığı kapatılarak yavaş yavaş soğumaya bırakıldı. Yavaş yavaş soğutma işleminin sebebi yüksek saflıkta ve istenilen özellikteki faz moleküllerinin oluşması için gereken fiziksel şartları sağlamayı amaçlamaktadır. Böylece eritme ve ısıtma işlemleri sonunda istenilen yapıdaki metalik numunelerin üretilmesi sağlanmaktadır.

2.4. Karakterizasyon

2.4.1. Mikroyapı analizi

İlk olarak çubuk şeklindeki dökülmüş haldeki ve ısıtma işlemi görmüş numunelerden mikroyapı incelemesi için 8-9 mm çapında ve 25 mm yüksekliğindeki numuneler abrasif kesici ile kesilerek elde edilmiştir. Sonrasında, sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500 ve 3000 grit zımparalar zımparalanmış ardından 1 µm alümina çözeltisi kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler keller dağlayıcısı ile dağlanmıştır. Ark eritme sistemiyle üretilecek olan numunelerin, metalurjik çalışmalarının ve mikroyapı incelemelerinin yapılabilmesi için kesme işlemi, sonrasında yüzeylerine

ardışık olarak zımparalama, dağlama ve bakalik alma işlemleri yapılmalıdır (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

Numune Alınması: Metalografik inceleme için seçilmiş numunenin bir değer taşıyabilmesi için, bu numunenin fiziksel özellik ve kimyasal bileşim bakımından esas malzemeyi tam olarak temsil etmesi gerekir. Bu bakımdan numune alınması, işin temelidir. Metalografik numune alınmasında sabit kurallar olmayıp, bazı genel prensipler vardır ve yerine göre insan zekâ ve bilgisini kullanır. Numunenin nereden alınacağı tespit edildikten sonra uygun bir alet ile numune kesilir (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

Numunenin Kalıplanması: Zımparalama esnasında küçük ve biçimsiz şekilli numuneleri elle tutmak güç olduğu için kalıplama işlemi yapılır. Kalıplama işlemi sıcakta ve basınç altında kalıplama, soğuk olarak kalıplama şeklinde olabilir (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

Zımparalama: Kaba ve ince zımparalama şeklinde ayrılabilir. Kaba zımparalama kademesinin amacı, ince zımparalama ve parlatma kademeleri için ilk düz yüzeyi elde etmektir. Bu kademedede 80 ve 150 nolu zımparalar kullanılır. İnce zımparalamada 240, 400, 600, 800, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, 3000 nolu zımparalar kullanılır. Kaba ve Nihai Parlatma: Her iki kademedede de numune parlatma disklerine tutulur. Disklerin üzeri parlatma kumaşlarıyla kaplıdır (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

Dağlama: Parlatılmış numunelerin mikroskopta incelenmesiyle yapı detayları nadiren ortaya çıkabilir. Parlatmadan sonra, metalik olmayan kalıntılar ve porozite, çatlak gibi yüzey kusurları görülebilir. Gerçek iç yapı özelliklerini ortaya çıkarmak için numunenin uygun bir kimyasal reaktifte dağlanması gereklidir (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

2.4.1.1. Bakalite alma

Metal malzemelerin mikroskop altında incelenebilmesi için numune hazırlama işlemleri kapsamında abrasiv veya hassas kesme işleminden sonra gelen aşama bakalite alma uygulamasıdır. Bakalite alma işleminin önceliği şekilsiz ve tutulması zor parçaların mikroskop altında incelenebilmesi için uygun hale getirilme işlemidir. Bir diğer önceliği ise numunenin hazırlanması esnasında önemli noktaların ve yüzeylerdeki oluşabilecek deformasyonlardan korumaktır. Küçük numuneler genellikle numunenin zımparalama ve parlatılması için stabil bir ortamda desteklenmesi için bakalite alınmasını gerektirir. Bu

işlem bir soğuk sertleştirme reçinesi veya sıcak bir montaj bileşiği ile gerçekleştirilebilir. Bakalite alma işlemlerinin püf noktaları, zımparaya mağruz kalacak bölgenin ve parlaklık istenen parçayı daha sıkı kavramak ve böylelikle numunenin kenarları koruma altına alınmasını sağlamaktır. Bakalite alma işlemi, numuneyi dökülebilir plastik malzemeye ya da plastiği basınç ve sıcaklık altında sıkıştırmak suretiyle dökmek suretiyle gerçekleştirilir. Önemli bir husus; bakalite alma işlemi esnasında kullanılacak sarf malzeme olan bakalit tozunun zayıf bir yapışma veya yüksek büzülme özelliğine sahip olması durumunda, bakalite alma malzemesi ve numune yüzeyi arasında boşluklar oluşabilir. Bu meydana geldiğinde, bir aşındırıcının bir diğerine çapraz kontaminasyonunu önlemek çok zordur, bu da bitmiş bölümde ağır bir çizilmeye neden olur. Genel olarak eğer malzeme düzgün bir şekilde sertleşmemişse, sertlik ve aşınma özellikleri zayıftır ve malzeme aşındırma ve çözücülerden olumsuz şekilde etkilenmektedir.

Bakalite alma aşamasının hatalı olduğundan şüpheleniliyorsa, numuneyi kırmak ve tekrar başlatmak en iyisidir. Büyük bir metalografik numunenin hazırlanması için gereken sürede numunenin iki veya daha fazla küçük numuneye ayrılmasıyla zamandan tasarruf sağlanabilir.



Resim 2.10. Metalografik Çalışma İçin Hazır Hale Getirilen Numuneler

Isıl işleme tabii olmayan numuneleri; **N1, N2, N3, N4** olarak adlandırıldı.

Isıl işleme tabii olan numuneleri ise; **N5, N6, N7, N8** olarak adlandırıldı.

2.5. SEM Görüntüsü

SEM görüntüsü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların yüksek vakum ortamında numune üzerine odaklanması ve bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli etkileşimler sonucunda oluşan ürünlerin uygun toplayıcılarda toplanarak ve sonuç olarak ekrana aktarılmasıyla elde edilen görüntü şeklidir. İkincil elektronlar sayesinde numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsü de elde edilebilir. Şekil 2.4.'de taramalı elektron mikroskobu şematik görünüm gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Taramalı elektron mikroskobu şematik görünüm



Resim 2.11. Sem Elektron Mikroskobu

Numunelerin metalografik özellikleri incelendikten sonra taramalı elektron mikroskopunda gözlemler yapıldı. Zirkonyumun etkisi gözlemlendi. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin iç yapılarında meydana gelen faz yapılarını tespit etmek ve iç yapılarını incelemek için Tunceli Üniversitesi Mühendislik Laboratuvarlarındaki Resim 2.11. ile gösterilen SEM elektron mikroskobu (Hitachi S-3500 marka) kullanılarak SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskopunda iletken örnekler, kaplama yapılmış yalıtkan örnekler, toz örnekler, ince filmler, biyolojik örnekler ve polimerler için görüntü alınabilir.

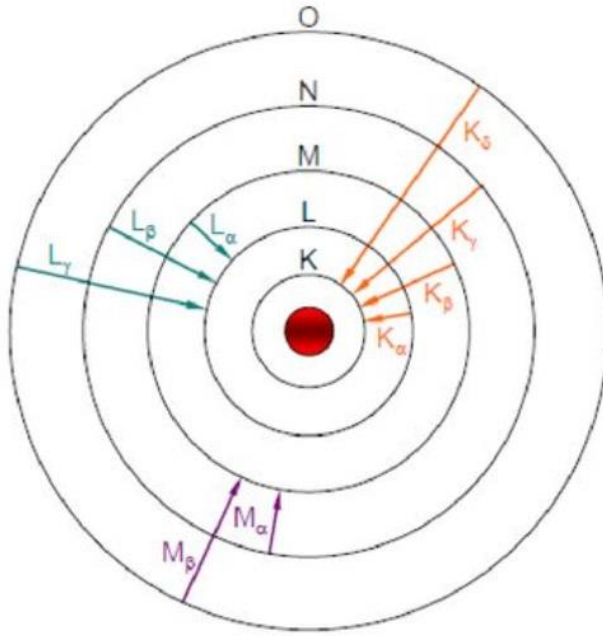
2.5.1. Kullanım alanları:

- Kan ve doku örneklerinin incelenmesi ve hastalığa sebep olan etkenlerin belirlenmesinde
- Adli tıp çalışmalarında
- Nanometre boyutlarındaki yapıların görüntülenmesinde
- Soğuk ve sıcak gibi farklı koşullarda metallerin dayanıklılığının belirlenmesinde
- Güvenlik nedeniyle güçlü bir metal kullanımı gerektiren uçak, tren, gemi ve otomobil gibi araçların yapımında kullanılan metallerin dayanıklılığının belirlenmesinde
- Biyoloji alanında bitki ve hayvan dokularının incelenmesinde
- Kimya alanında mikroskobik kristalleri; metallerin, plastiklerin ve seramiklerin yapısının incelenmesinde kullanılmaktadır.

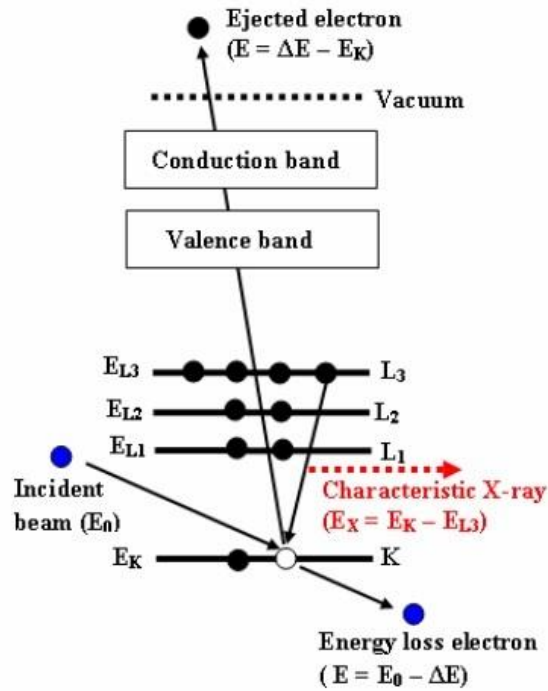
2.6. EDS Analizi

EDS; Enerji Dispersiv Spektrum, SEM ve TEM'e eklenmek suretiyle elementlerin enerjilerinden faydalanarak kantitatif kimyasal analiz yapmakta kullanılır. Numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer bu elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlılıklarını kaybederler. Tekrar karalı hale gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için, dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belli birmiktar enerji kaybetmek zorundadırlar. Bu kaybedilen enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkar. Malzeme

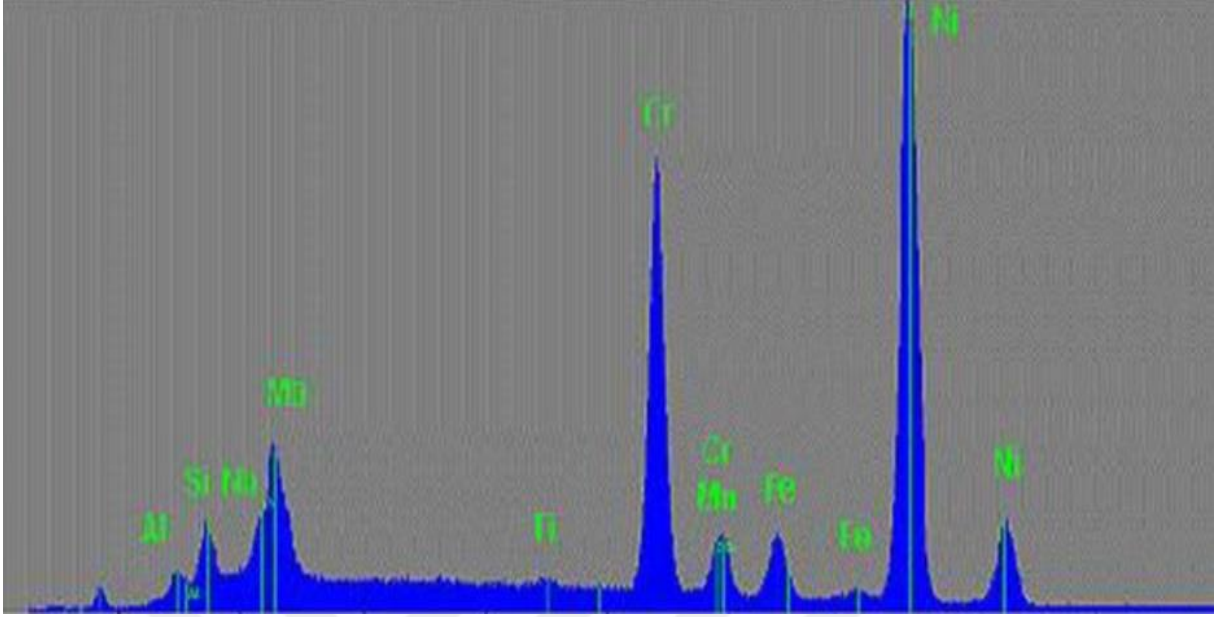
içindeki atomlar yüksek enerjili radyasyonla iyonize edildiklerinde karakteristik X-ışını oluştururlar. Bir EDS sistemi yüksek enerjili bir radyasyon kaynağı, numune, katı hal dedektörü ve sinyal işleme ünitelerinden oluşur.



Şekil 2.5. Orbitaller arasında elektron geçişi ve oluşan X-ışınlarının isimlendirilmesi



Şekil 2.6. Orbitallerdeki elektron davranışları



Şekil 2.7. Örnek EDS analizi yapılmış numune pik görüntüsü

2.6.1. EDS'nin avantajları

- Odaklanma yoktur
- Yapısı çok basittir, elde edilen veriler bilgisayara uygundur
- Çok kısa sürede atom numarası 11-92 arasında olan tüm elementleri okur.
- Kullanımı kolaydır, taşınabilirlik özelliği vardır.
- 1 mm'lik bir uzamsal büyük aralığı haritada mikron altı verilerden elementel haritalar oluşturulur.
- Alanları ve tek noktaları tarayabilir.
- Çoğu durumda yüksek veri toplama hızına sahiptir.

2.6.2. EDS'nin dezavantajları

- Sıvı nitrojen gerektirir
- Ölçümlerde hata payı % 10'dur
- Çoğu durumda yıkıcı analizdir.
- Piklerin zayıf enerji çözünürlüğü bulunmaktadır.
- Yüzey hassasiyeti, toplu analizi karmaşıktır.

2.7. X Işını İle Numunelerin Haritalanması

Araştırılacak numunedeki elementlerin sahip oldukları pikler temsil ettiği X-ışınlarının seçilmesiyle bu ışınların EDX detektöründe algılanmasıyla, numunelerin yüzeyinde belirlenen noktaları için numune içinde yer alan elementlerin oranı tespit edilecektir.

2.8. XRD Analizi

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), bilinmeyen bir malzemeyi tanımlamak veya bilinen malzemenin atomik boyutlardaki yapısını incelemek ve tayin etmekte kullanılmaktadır. X-ışını kırınım cihazı malzemenin kristal yapısını inceleme aşamasında kullanılabilecek en etkili bir ekipman olduğundan X-ışınları kırınımı ile X-ışınlarının sahip olduğu dalga boyu nedeniyle atomik yapılar arasındaki düzeni açıklamada en uygun en etkili yöntemlerin başında gelmektedir. XRD Analizi yani X-ışını kırınımı, birçok malzeme bilimcisi tarafından kullanılan etkili tekniklerden biridir. Temel olarak, genellikle $K\alpha$ olarak bilinen Cu elementinin ilk elektron geçişinden elde edilen (1,5406 Å dalga boyuna sahip) bir x-ışını farklı atomlardan yansır. Atomlar, düzlemler arası mesafenin XRD sonucunda bulunabileceği bir plan olarak çalışır. Yansıyan X-ışınının dalga boyu değişmez ve X-ışını ile atomlar arasındaki çarpışma esnek bir çarpışmadır. Özel bir dedektör tarafından kırılan X-ışınları tespit edilir ve son olarak, desen bazlı hesaplamalarla analiz edilir, böylece bazı veri tabanları kullanılarak elde edilen tepe noktaları indekslenir.

2.8.1. XRD ile yapılabilecek analizler

- Toz, katı ve ince film şeklindeki örneklerde fazların,
- Fazların miktarı ve kristal boyutu,
- Kafes parametreleri ve yapıdaki değişimler
- Atom görünümleri ve pozisyonları
- İlaç endüstrisi
- Adli araştırmalar
- Jeoloji araştırmalarında
- Çimento endüstrisinde

2.9. Aşınma Testi

Aşınma deneyleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında ElkiMak marka Aşınma Deney Düzeneginde Pin-on disk yöntemiyle yapılmıştır.

Pin on Disc deneyinde farklı metaller kullanılabilir. Bazı durumlarda örneklem büyüklüğü belirtilebilir. Belirtilen boyutlardaki metal, test sırasında meydana gelen gerilimlere dayanabilmelidir. Test numuneleri genellikle silindirik veya küresel yüzeylere sahip olabilir. Silindirik veya küresel numuneler 2 ile 10 mm arasında bir çapa sahip olabilir. Kullanılan disklerin çapları 30 ile 100 mm arasındadır. Diskin kalınlığı 2 ile 10 mm arasında olmalıdır. 0,8 mm'lik bir ortalama yüzey pürüzlülük değeri tavsiye edilir (ASTM, 1990).

Aşınma Deneyi prosedürü aşağıda sıralanmıştır;

Pim ve diskin birbiriyle tam olarak teması sağlanmalıdır. Bunun için deney pimleri aşındırıcı kağıtlar yardımıyla tam düz ve pürüzsüz bir yüzey elde edilinceye kadar zımparalanır. Hem test pimleri hem de disk, metil alkol içinde ultrasonik titreşimlerle temizlenir. Kütlesel kayıpları tespit etmek için pimin deneyden önceki ilk ağırlığı tartılarak kaydedilir. Tartımlar, 10⁻⁴ hassasiyete sahip terazide yapılır. Boyutsal olarak aşınmanın ölçümünde 2,5 µm hassasiyetinde ölçü aleti kullanılmalıdır. Test pimi, aşınma deney cihazının yük kolu üzerindeki yerine monte edilir. Disk yüzeyi ile pim arasındaki diklik olarak ayarlanır. Gerekli yük ve hız uygulanır. Sürtünme kuvvetini ölçecek loadcell üzerindeki yük, indikatörde sıfırı gösterecek biçimde ayarlanır. Daha sonra tam yükleme yapılarak deney başlatılır. Gerekli dönme mesafesine erişildiğinde deney durdurulur. Deneylerden sonra pimlerin ağırlığı tekrar tartılarak kaydedilir. Aradaki farktan ağırlık kaybı tespit edilmiş olur (ASTM, 1990).



Resim 2.12. Aşınma Deney Düzeneği



Resim 2.13. Aşınan Numuneler Ait Görseller

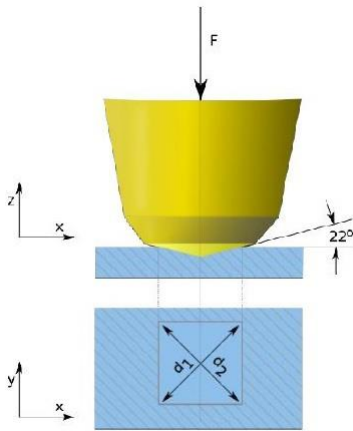
2.10. Mikro Sertlik

Mikro sertlik yöntemi özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların bile sertliklerinin ölçülmesinde olanak sağlar. Özellikle kesilebilirlik konusu üzerine incelemeler yapan araştırmacıların son dönemlerde mikro sertlikle ilgili çalışmalar yaptıkları bilinmektedir (Xie&Tamai 2007), (Delgado & Rodriguez-Rey& Suarez del Rio& Sarria& Calleja& Ruiz de Argandona 2005). Seçilecek ağır yüklemeler ile mikro sertlik testinin yapılabileceği en yaygın iki test yöntemi vardır. Bunlar;

1. Vickers sertlik testi (HV = Hardness of Vickers)
2. Knoop sertlik testi (HK = Hardness of Knoop)

2.10.1. Vickers sertlik testi

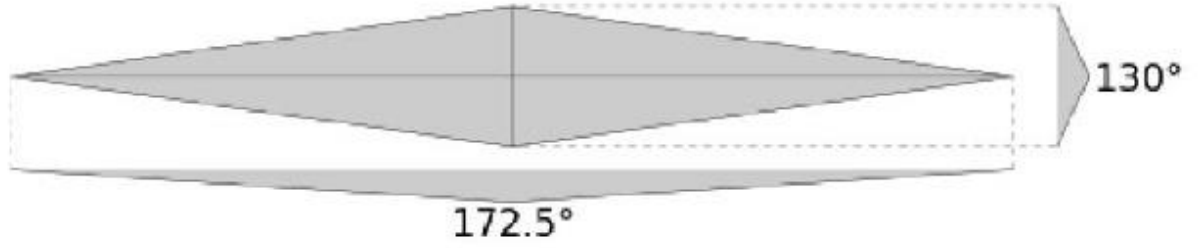
Vickers sertlik testi 1921 yılında Vickers Ltd. Şirketinde Robert L. Smith ve George E. Sandland tarafından Brinell metoduna alternatif olarak malzemenin sertlik değerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (Smith & Sandland G 1922). Vickers sertlik testi, (Şekil 2.8.) sertliğin hesaplanmasından kullanılan denklemin çentik oluşturan ya da bir diğer deyişle batan ucu boyutlarından bağımsız olması ve test edilecek malzemenin sertliğine bakılmaksızın tüm malzemelerde kullanılabilmesinden dolayı muadili yöntemlere göre daha kolay bir işlem olduğundan diğer sertlik belirleme deneylerine göre daha çok tercih edilir.



Şekil 2.8. Vickers sertlik testi şematik görünümü (URL-1)

2.10.2. Knoop sertlik testi

Knoop sertlik testi bir mikro sertlik testi olarak özellikle küçük izlerin oluştuğu çok kırılğan malzemelerin ya da ince kesitlerin mekanik sertliğinin belirlenmesinde kullanılan bir deney/düzenektir.



şekil 2.9. Knoop sertlik testi elmas uç temas açısı görüntüsü (URL-2)

Knoop sertlik testinde sadece uzun köşegen ölçölür ve hesaplamalar için kullanılır. Numunelerin sertlik ölçümleri mikro sertlik ölçüm cihazından elde edilmektedir. Sertlik ölçümleri laboratuvar ortamında mikrosertlik ölçüm cihazlarıyla alınmaktadır. Sertlik ölçümlerinin uygun bir biçimde belirlenebilmesi maksadıyla numunelerin 5 farklı noktasından ölçüm işlemi yapılması daha iyi sonuçlar oluşturmaktadır. Numunelerin sertlik ölçümleri Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarındaki Resim 2.14. ile gösterilen mikrosertlik ölçüm cihazıyla (Mitutoyo Sertlik Test Cihazı (Hardness Testing Machine), 1/16'lik küre uç ile yapılmıştır. Her deney malzemesinden 5'er ölçüm yapılarak, çıkan ölçümlerin ortalaması sertlik değeri olarak belirlenmiştir.



Resim 2.14. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

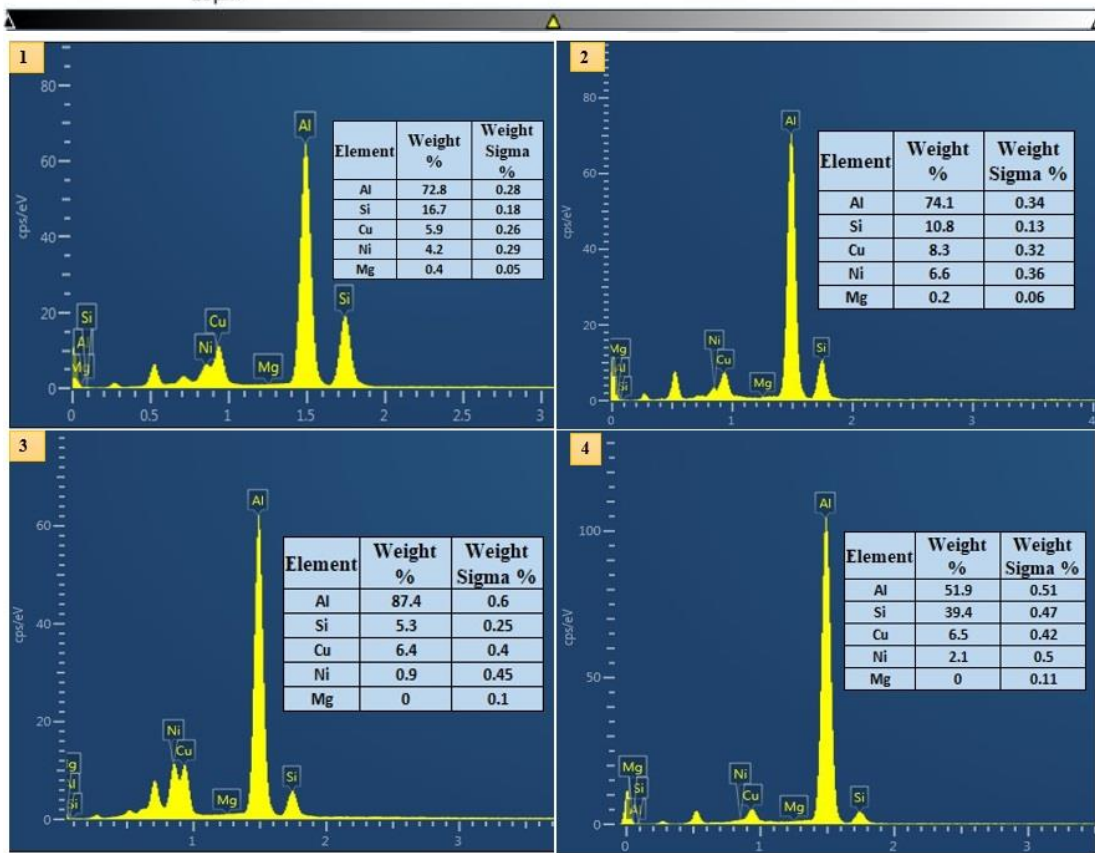
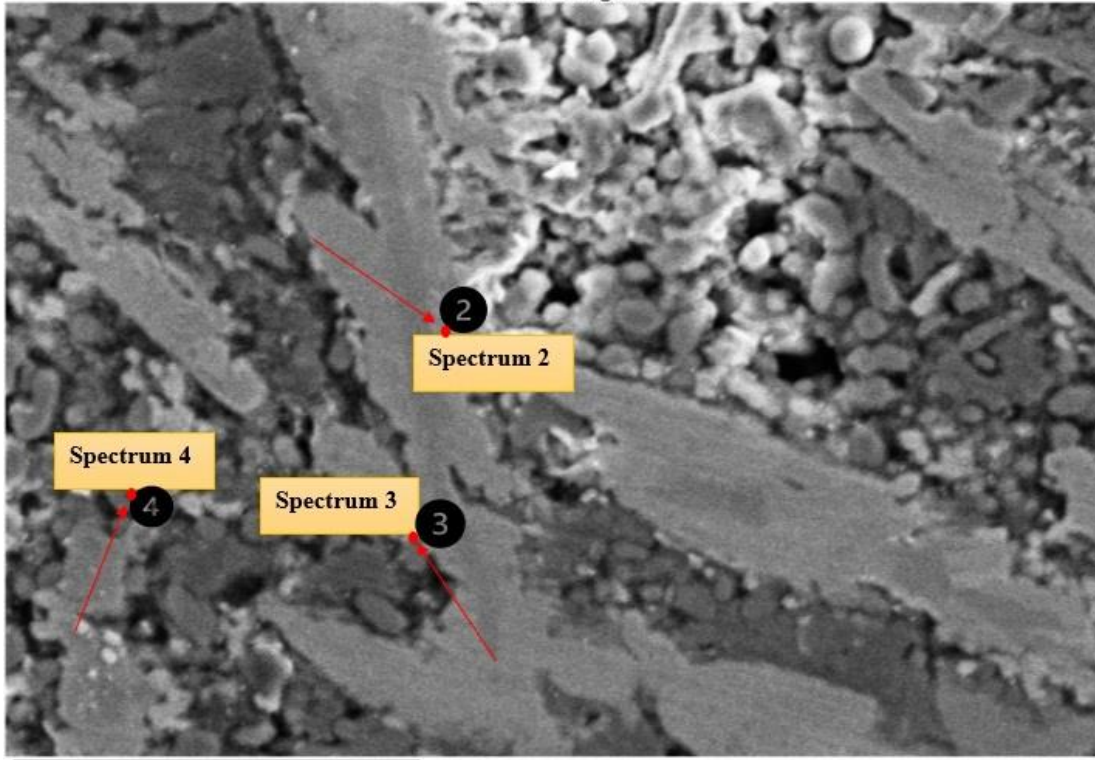
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ortaya çıkan numunelerin ilk etapta SEM görüntüsü, EDS analizi ve mapping analizleri incelendi. Daha sonra numunelerin XRD analizleri, aşınma testleri ve mikro sertlik testleri yapıldı.

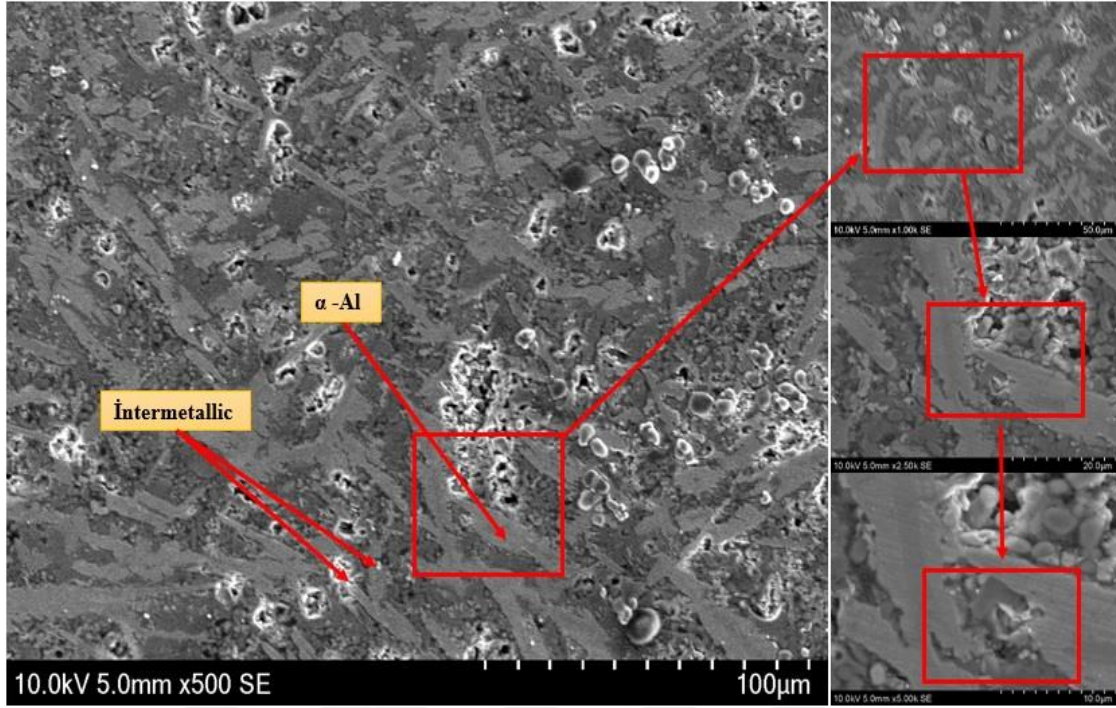
3.1. N1 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N1 Numunesi İçin Resim 3.1. ve Resim 3.3. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %72,80 Al, %16,70Si, %5,9 Cu, %4,2 Ni, %0,4 Mg şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.1.'de gösterilen XRD analizinde oluşan ($Al_{0.6}Si_{0.4}$) Ni_3 , $NiSi_2$, $CuNi$, $Cu_{15}Si_4$ ve Al_2O_3 Si fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N1 Numunesi İçin Resim 3.2.'de 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Resim 3.2'de N1 numune içindeki tane sınırları belirgindir. Numune içindeki küçük tanecikler homojen bir iç yapı sergilemiştir ($Al_{0.6}Si_{0.4}$) Ni_3 , $NiSi_2$, $CuNi$, $Cu_{15}Si_4$ ve Al_2O_3 Si fazlarının potansiyel enerjisi düşüktür. Tane sınırları belirgin olmayıp, tanelerin boyutu büyüktür. N1 numune ısıtıl işlem öncesinde iç yapının gözenekli yani girintili-çukurlu oluğunu ve camsı gözenekli yüzey oluğunu, N1 numunesi iç yapıdaki çukurların farklı boyutlara ve çaplara sahip olduklarını böylelikle küçük oyukların ortaya çıktığını, oluşan bu oyuk yapıların oldukça sık ve farklı derinlikte oluğu gözlemlenmiştir. N1 numunesinin birincil Al $K\alpha_1$ fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlak görülmemektedir. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni ve Mg elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.1.'de (2 numaralı, 3 numaralı ve 4 numaralı tabloda) verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturuğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gözkuşağı Görüntüsü alınarak, Resim 3.4.'de gösterilmiştir.

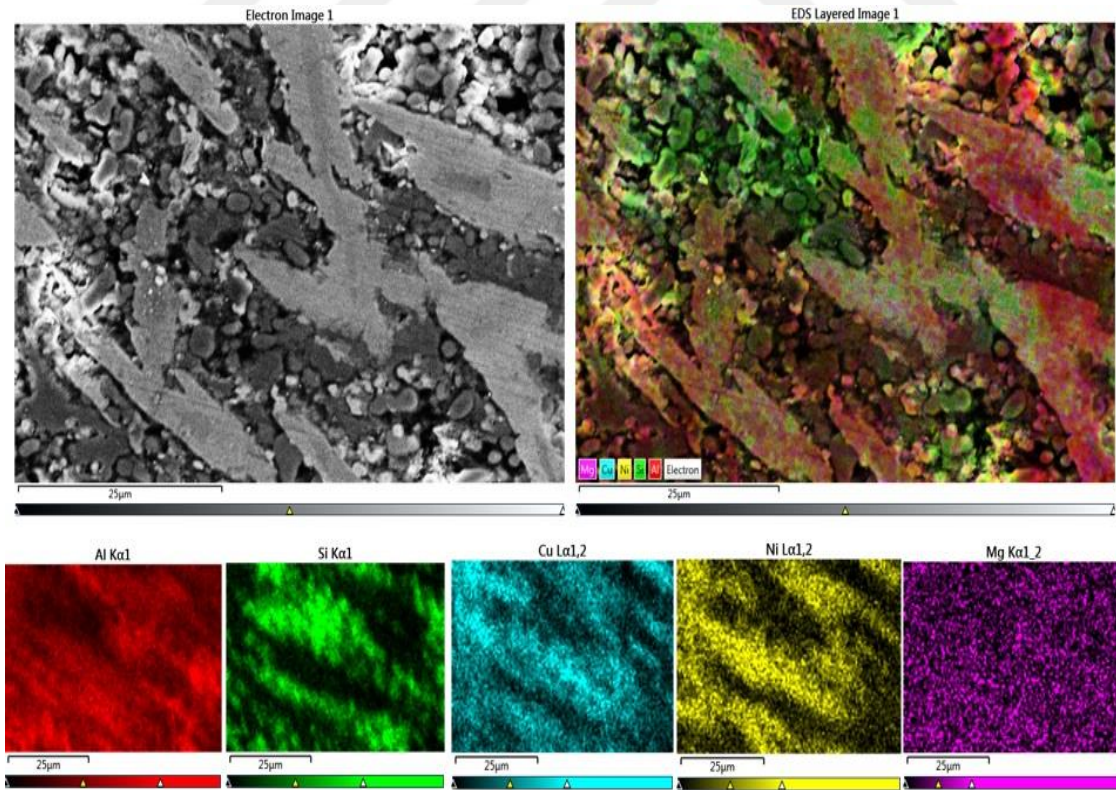
Electron Image 2



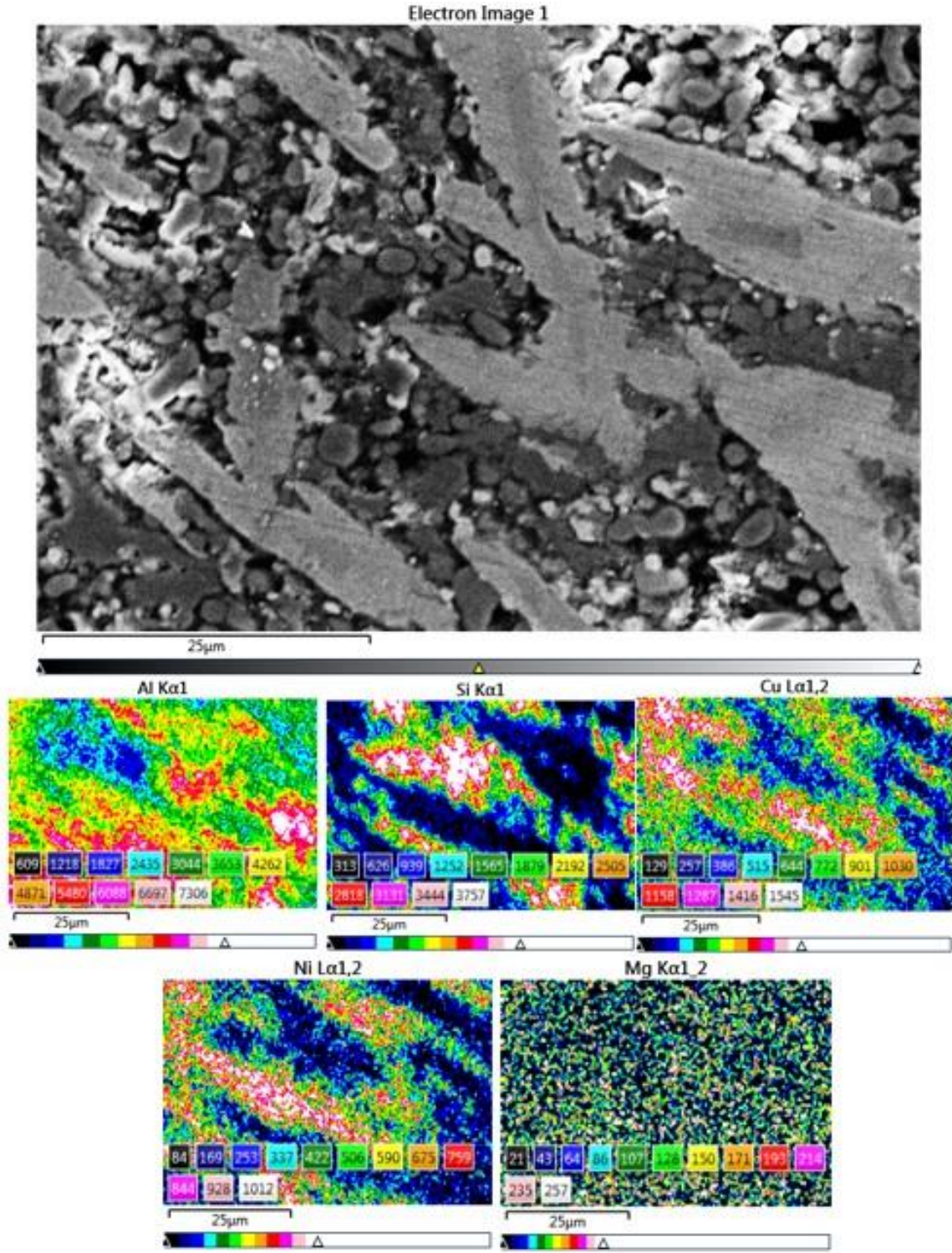
Resim 3.1. N1 Nolu Numune EDS Spectrum Değerleri



Resim 3.2. N1 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Resim 3.3. N1 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

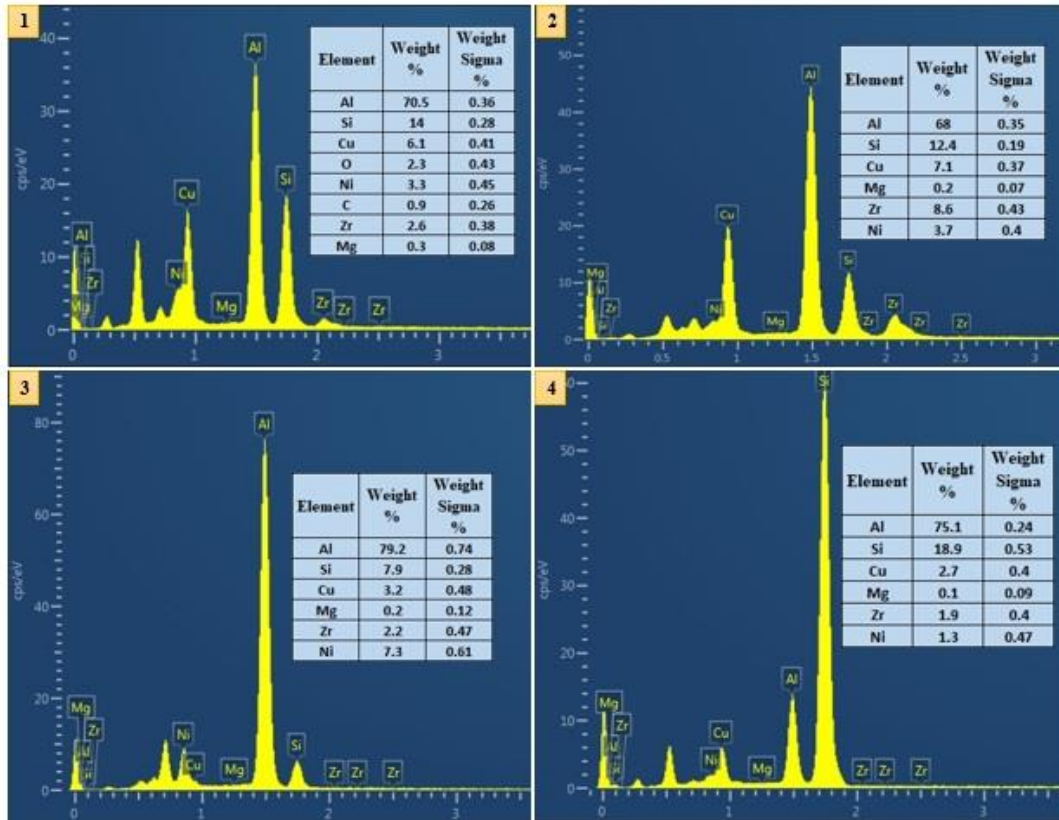
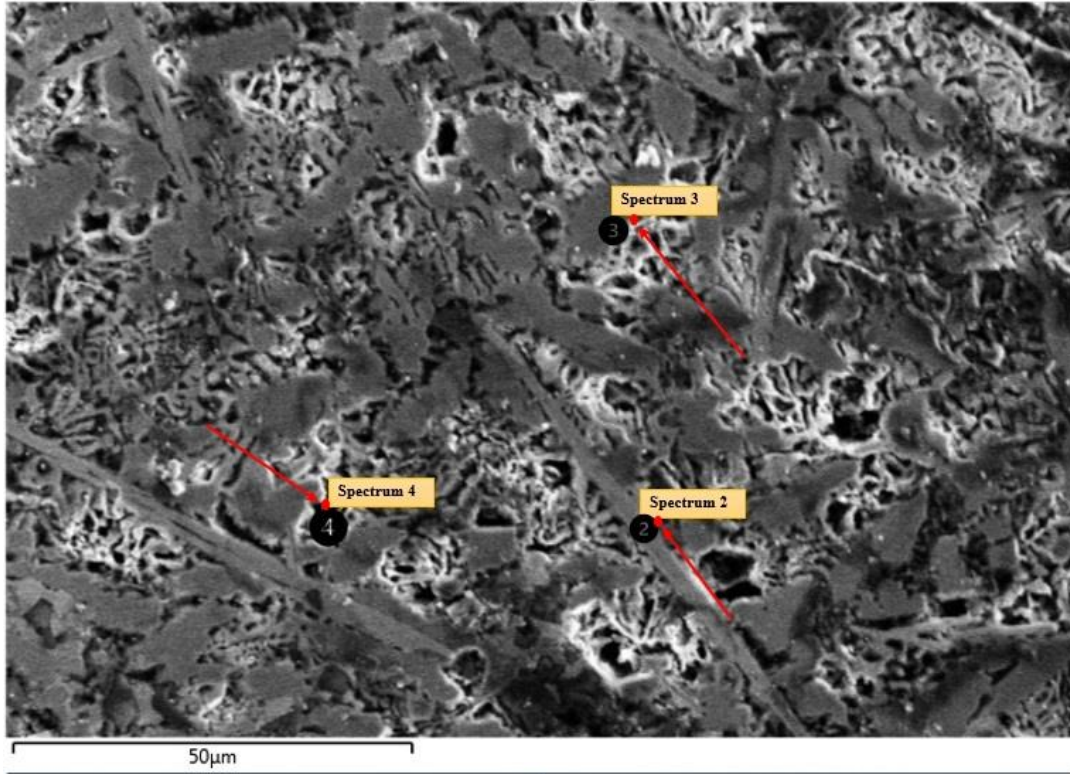


Resim 3.4. N1 numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

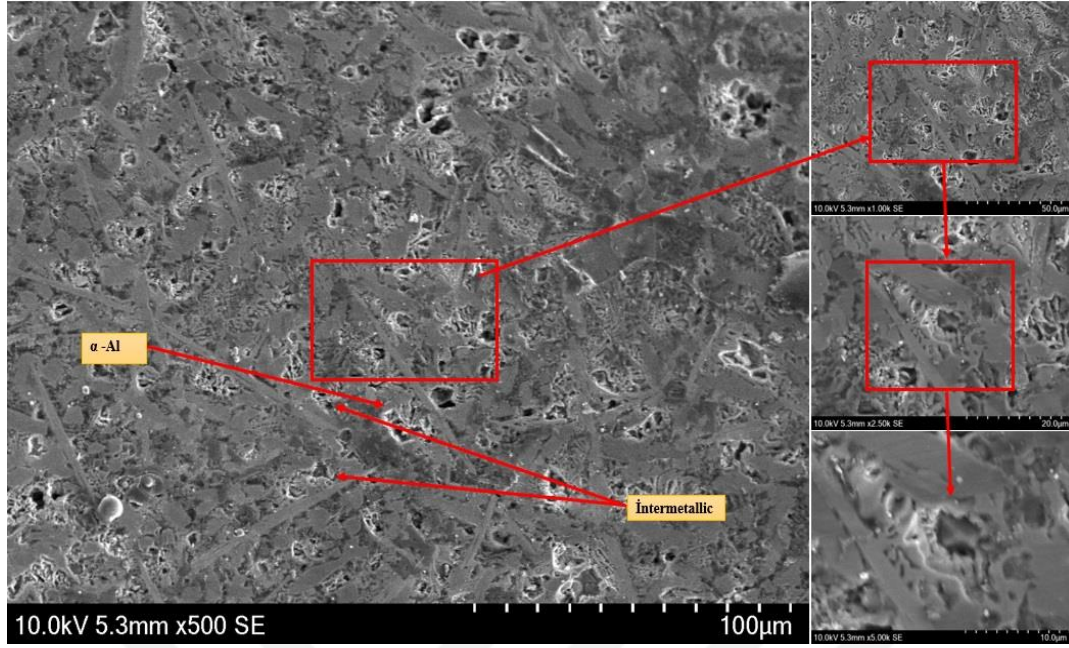
3.2. N2 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N2 Numunesi İçin Resim 3.5. ve Resim 3.7. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %70.50Al, %14Si, %6.1 Cu, %2.3 O, %3.3Ni, %0.9 C, %2.6 Zr, %0.3 Mg şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.3. 'de gösterilen XRD analizinde oluşan Al_3Zr , Al_2Cu , $AlNi$, $Ni_{31}Si_{12}$, $CuNi$, $ZrSi$, $Ni_{12.54}Al_{0.9}Si_{8.1}$, $(OH)_8Al_2Si_2O_3$ ve Al_2O_5Si fazlarının olduğu gözlemlenmiştir. N2 Numunesi İçin Resim 3.6.'da 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N2 numunede süngerimsi yapılar görünmektedir. Bağlar arasında birleşmelerin homejen olduğu görünmektedir. N2 numune içindeki tane sınırlaması belirgin değildir. Birincil Al K α 1 fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlak oluştuğunu aynı zamanda da farklı bölgelerde dentritik yapıda çatlaklarında farklı boyutlarda olduğunu görülmektedir. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, Mg ve Zr elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.5.'de (2 numaralı, 3 numaralı ve 4 numaralı tabloda) verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşağı Görüntüsü alınarak, Resim 3.8.'de gösterilmiştir.

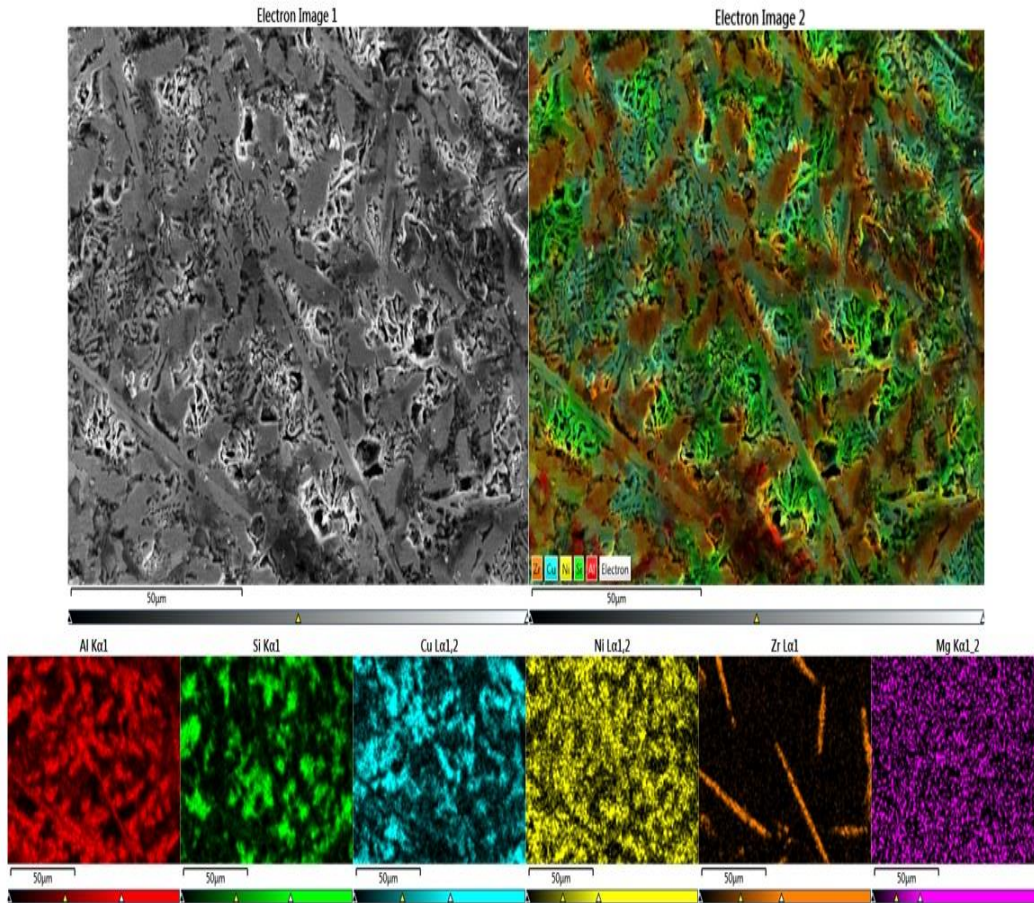
Electron Image 2



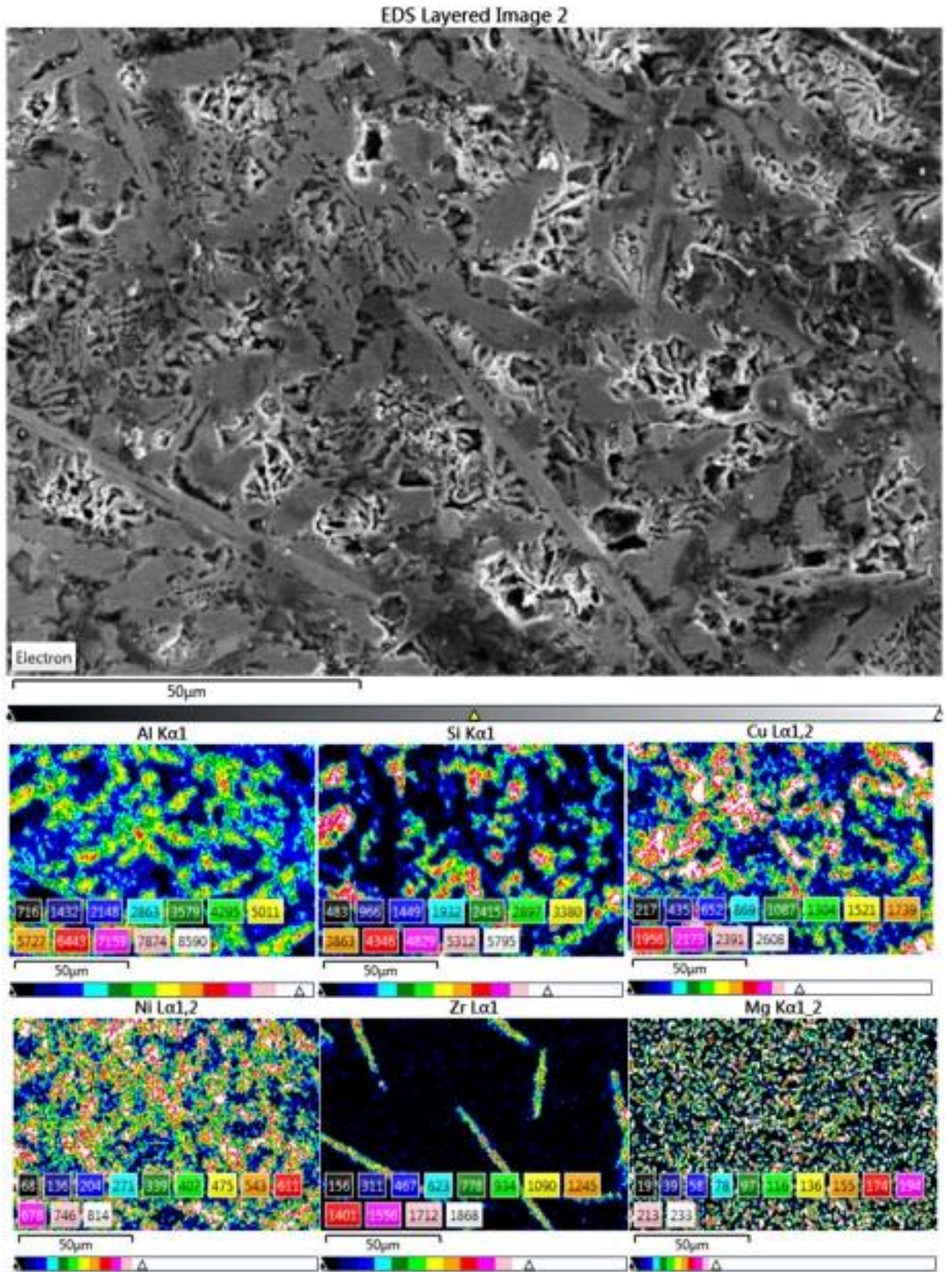
Resim 3.5. N2 Nolu Numune EDS Spectrum Değerleri



Resim 3.6. N2 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



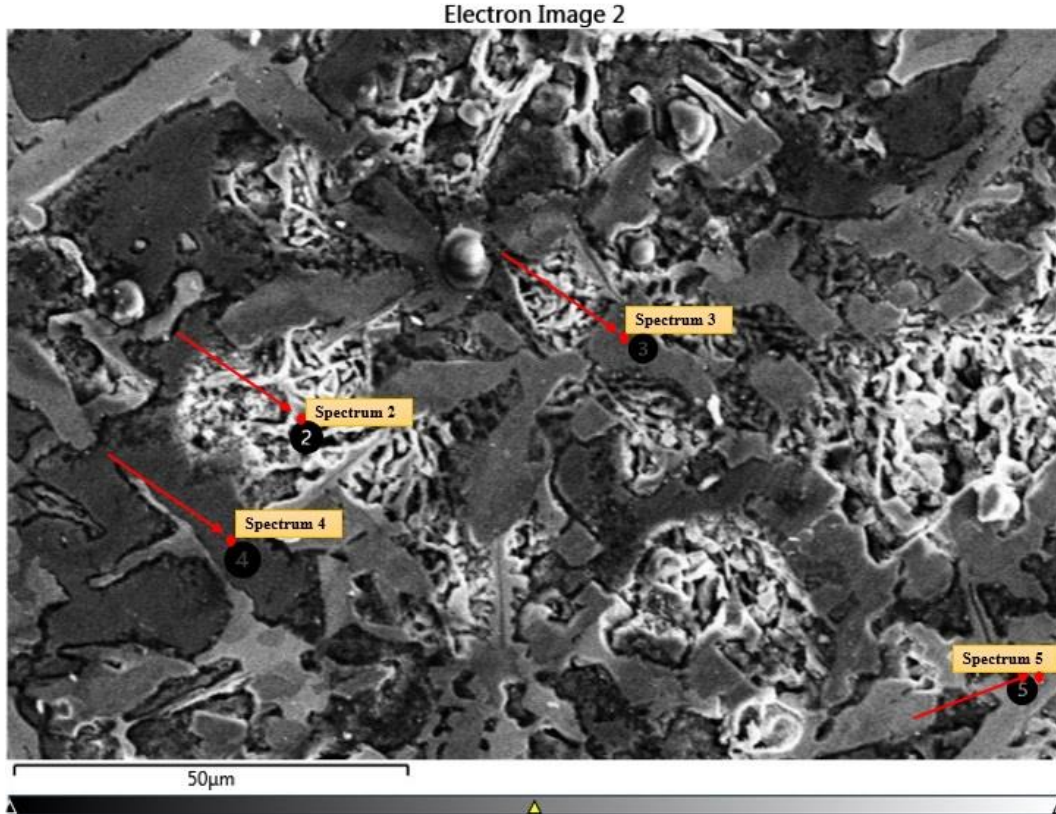
Resim 3.7. N2 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

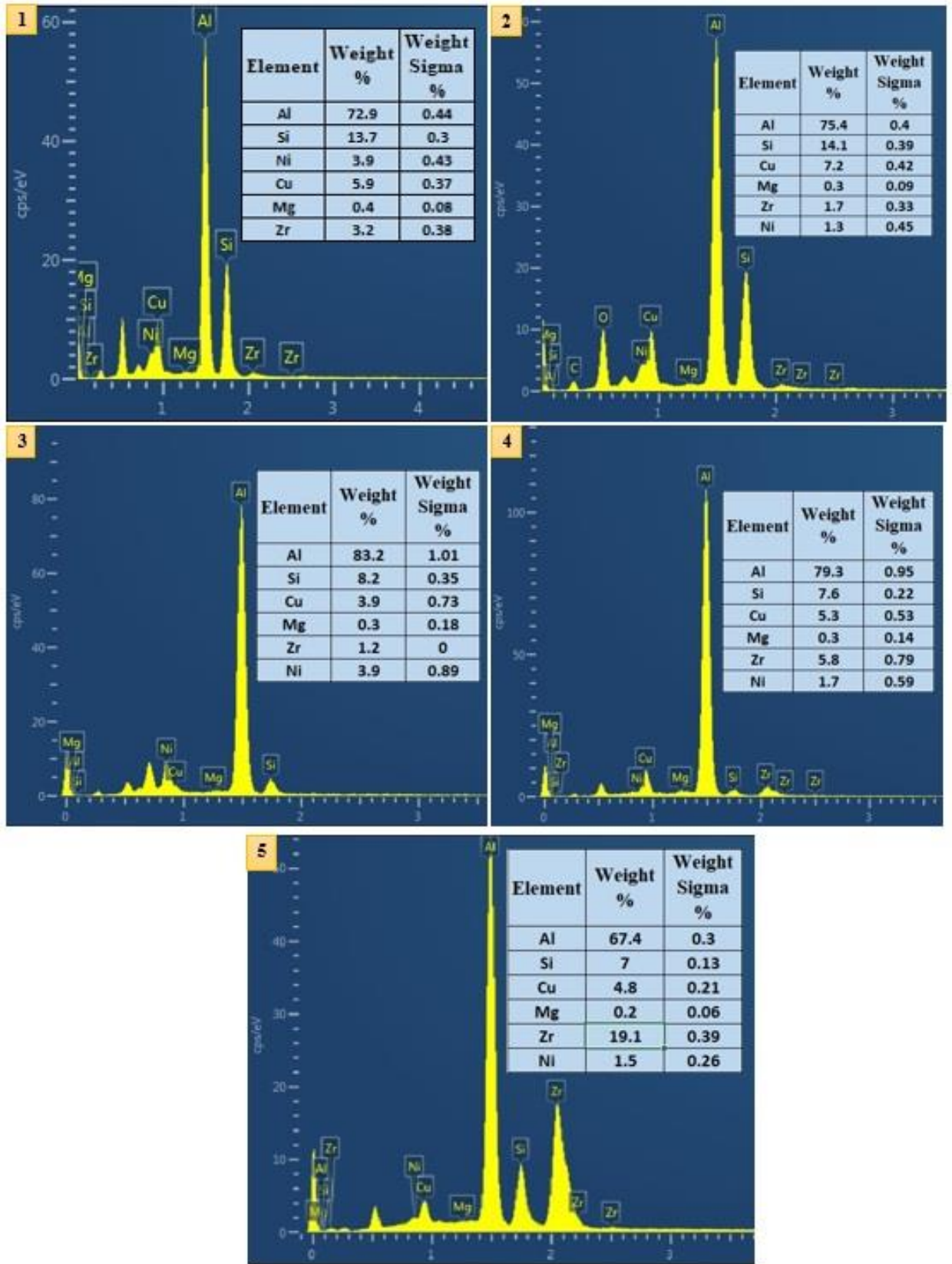


Resim 3.8. N2 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşığı Görünümü

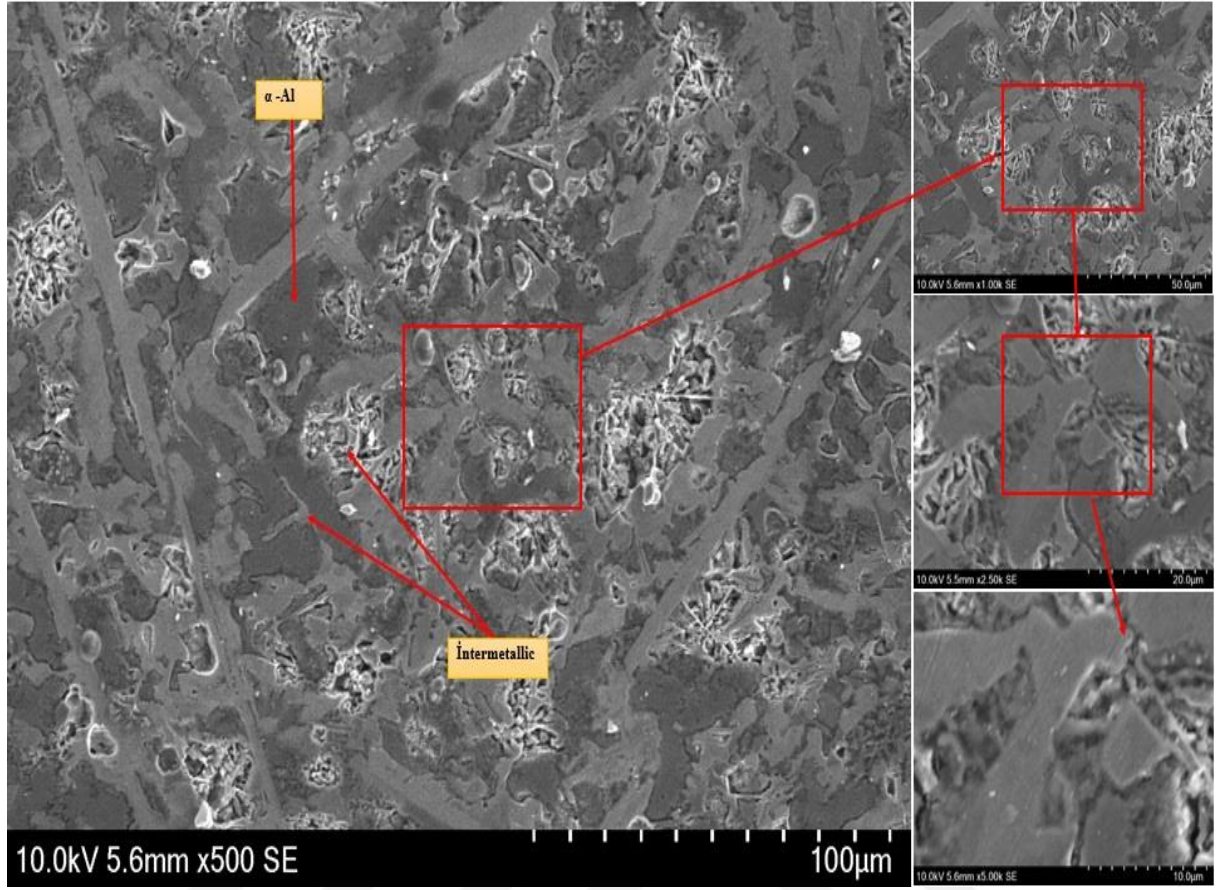
3.3. N3 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N3 Numunesi İçin Resim 3.9. ve Resim 3.11. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %72.9Al, %13.7Si, %3.9Ni, %0.9 Cu, %0.4 Mg, %3.2 Zr şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.5. 'de gösterilen XRD analizinde oluşan $(Al_{0.6}Si_{0.4})Ni_3$, $NiSi_2$, Cu Ni, Al_3Zr , $ZrSi_2$, $Cu_{15}Si_4$ ve Al_2O_3 fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N3 Numunesi İçin Resim 3.10.'de 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N3 numunede bağlar arasında kırılmaların olduğu gözlenmektedir. Numunede süngerimsi yapılar görmekteyiz, tane sınırlaması belirgin değildir. Bağlar arasındaki birleşme dinamiktir ve bağların yüzey potansiyel enerjisi yüksektir. Birincil Al $K\alpha_1$ fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlaklar görülmektedir. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, Mg ve Zr elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.9.'de (2 numaralı, 3 numaralı, 4 numaralı ve 5 numuaralı tabloda) verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşağı Görüntüsü alınarak, Resim 3.12.'de gösterilmiştir.

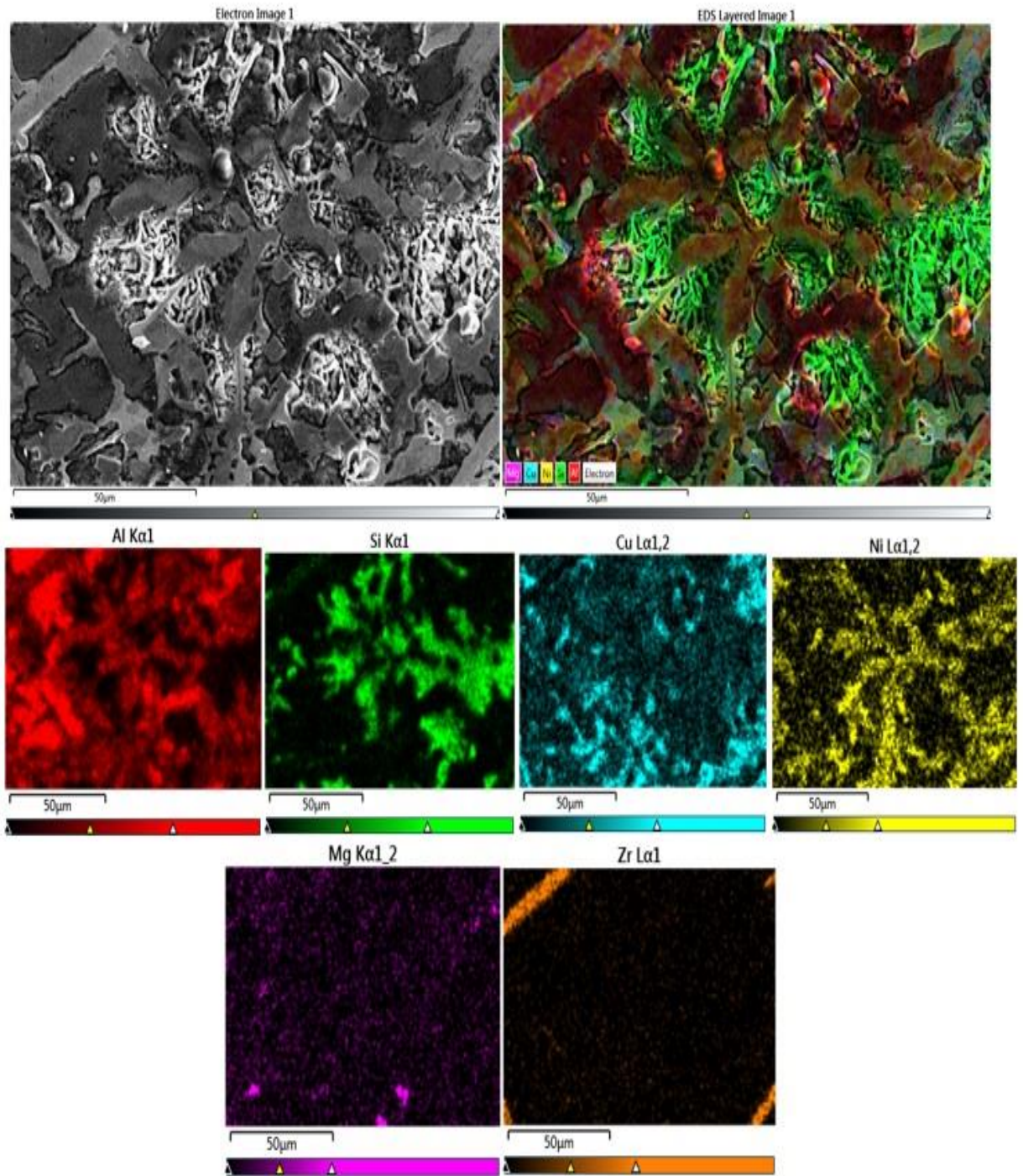




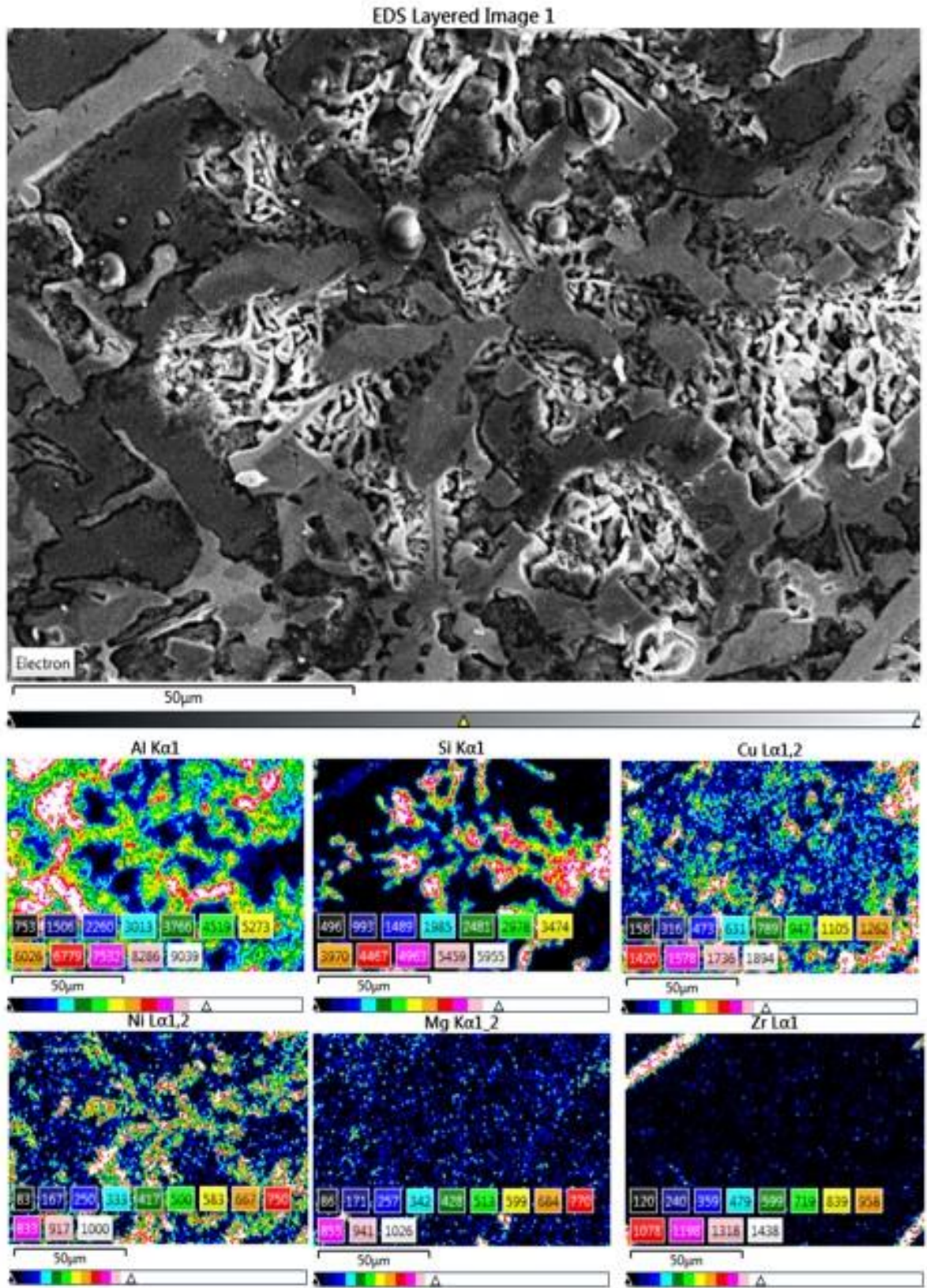
Resim 3.9. N3 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri



Resim 3.10. N3 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan Sem Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Resim 3.11. N3 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

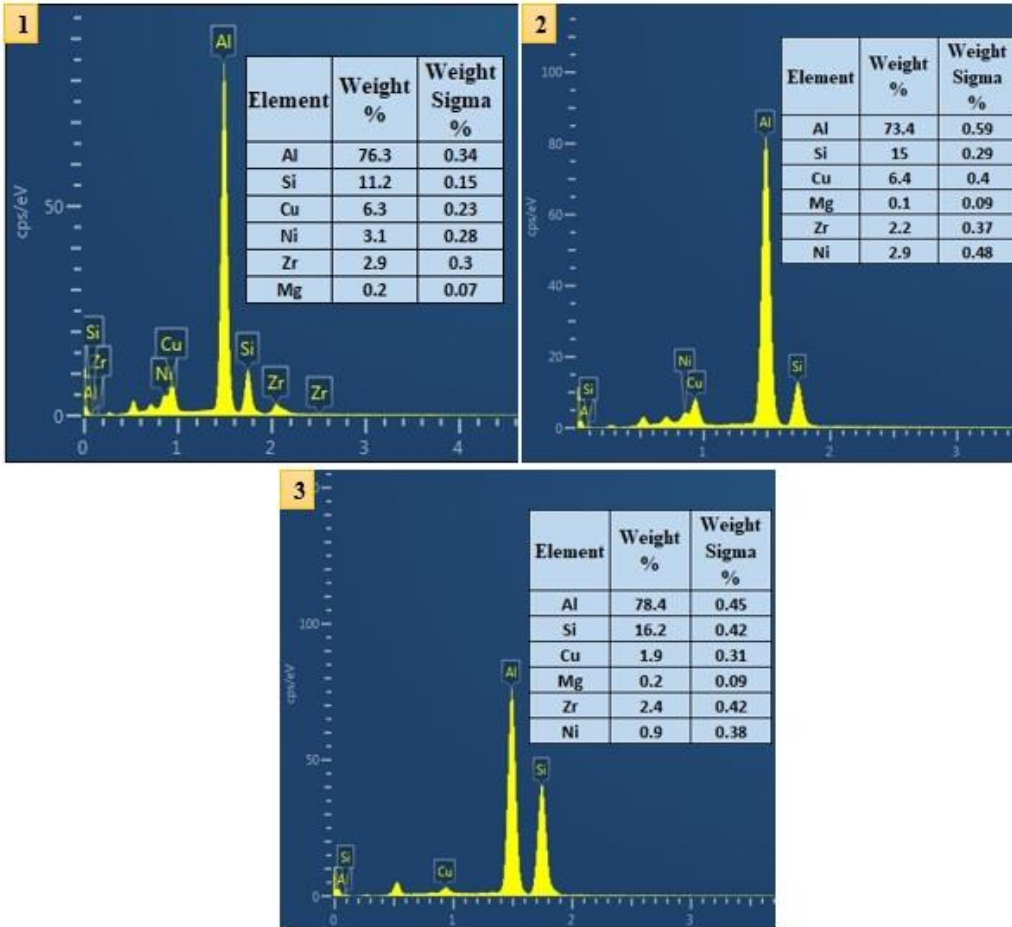
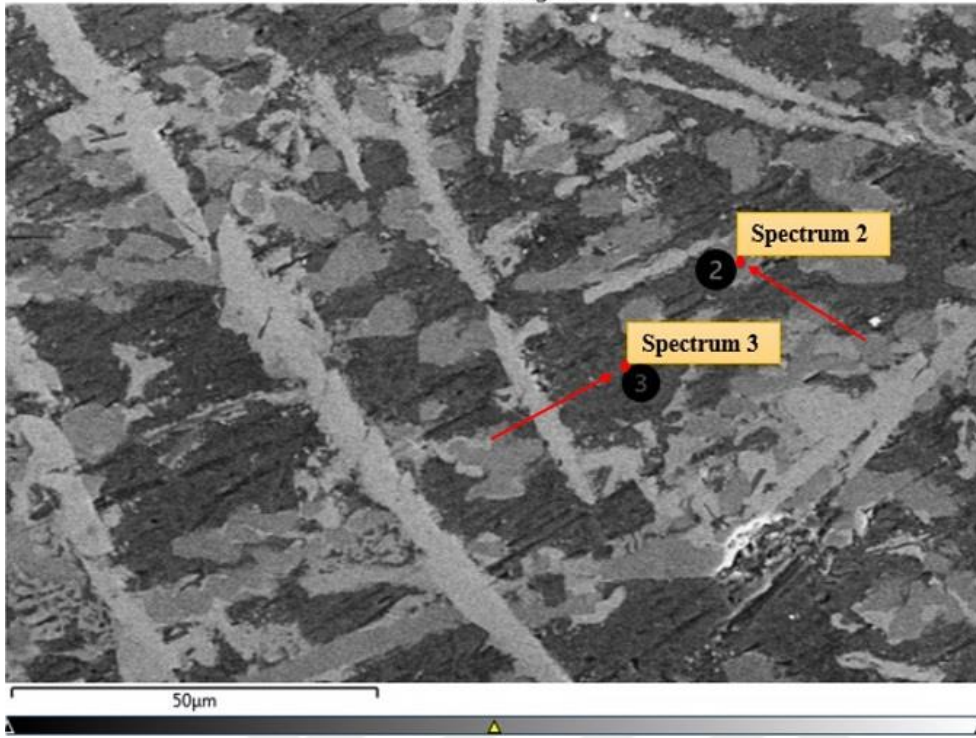


Resim 3.12. N3 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

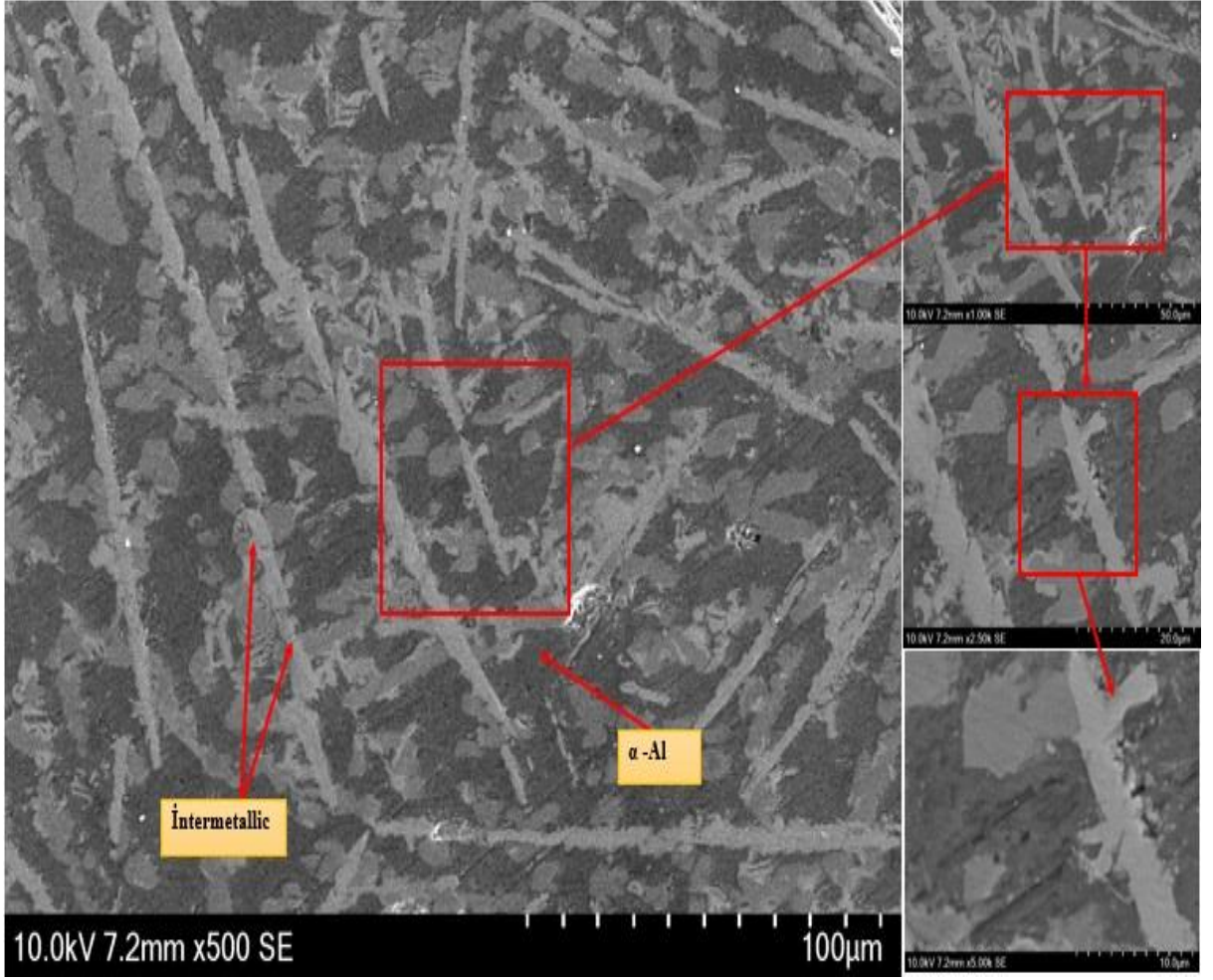
3.4. N4 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N4 Numunesi İçin Resim 3.13. ve Resim 3.15. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %76.3Al, %11.2Si, %3.1Ni, %6.3 Cu, %0.2 Mg, %2.9 Zr şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.7. 'de gösterilen XRD analizinde oluşan $(Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni_3$, $Ni Si_2$, $Cu_{15} Si_4$, $(Cu_{0.37} Ni_{0.56} Si_{0.07})$, $Al_3 Zr$, $Zr Si_2$, ve $Al_2 O_3 Si$ fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N4 Numunesi İçin Resim 3.14.'de 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N4 numunesinin birincil $Al K\alpha_1$ fazının morfoloji boyutu üzerinde çatlaklar görülmektedir. $(Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni_3$, $Ni Si_2$, $Cu_{15} Si_4$, $(Cu_{0.37} Ni_{0.56} Si_{0.07})$, $Al_3 Zr$, $Zr Si_2$, ve $Al_2 O_3 Si$ fazlarının yüzey potansiyel enerjileri küçüktür. Tane sınırları belirgindir. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, Mg ve Zr elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.13.'de (2 numaralı, 3 numaralı)tabloda verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşuğı Görüntüsü alınarak, Resim 3.16.'de gösterilmiştir.

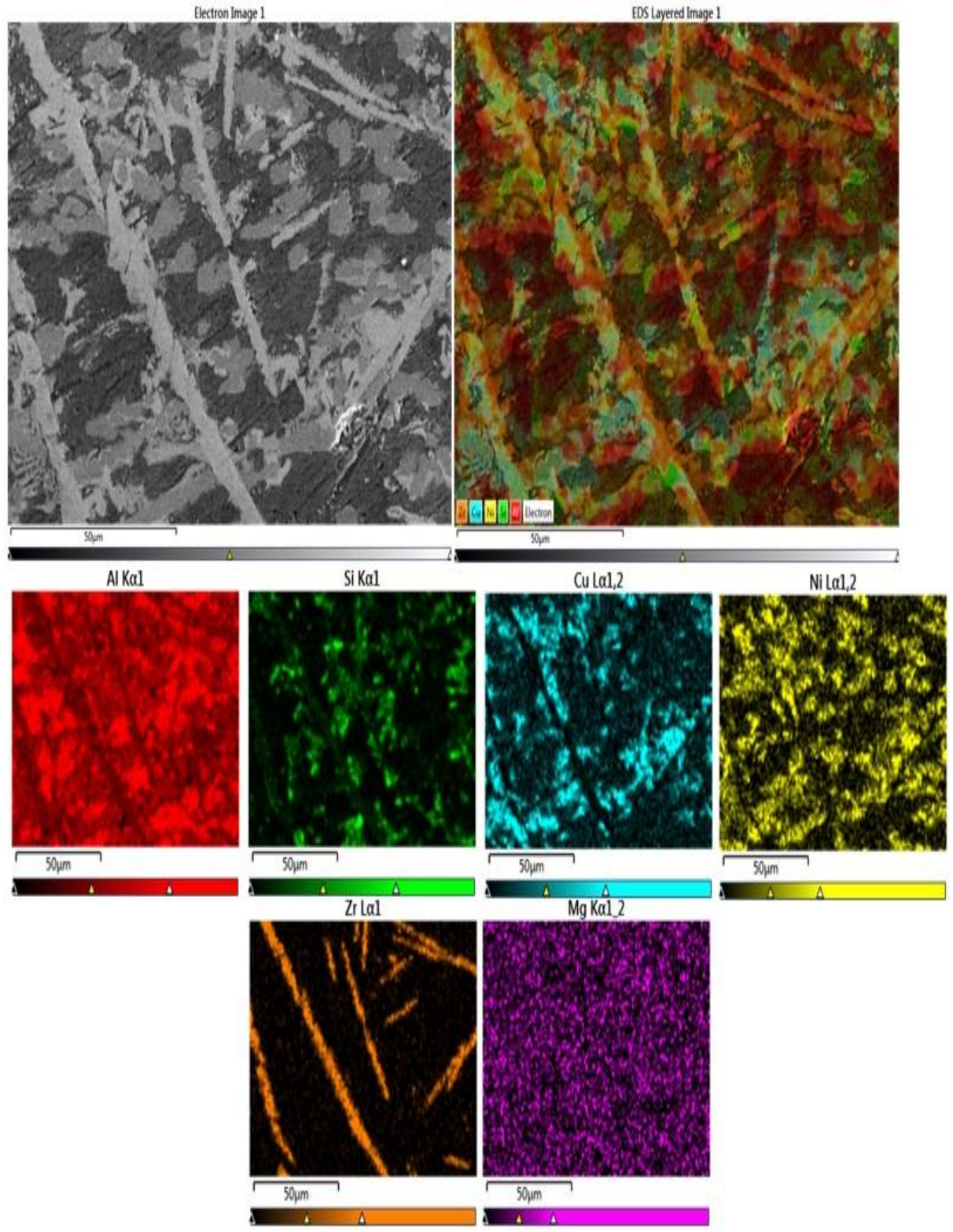
Electron Image 2



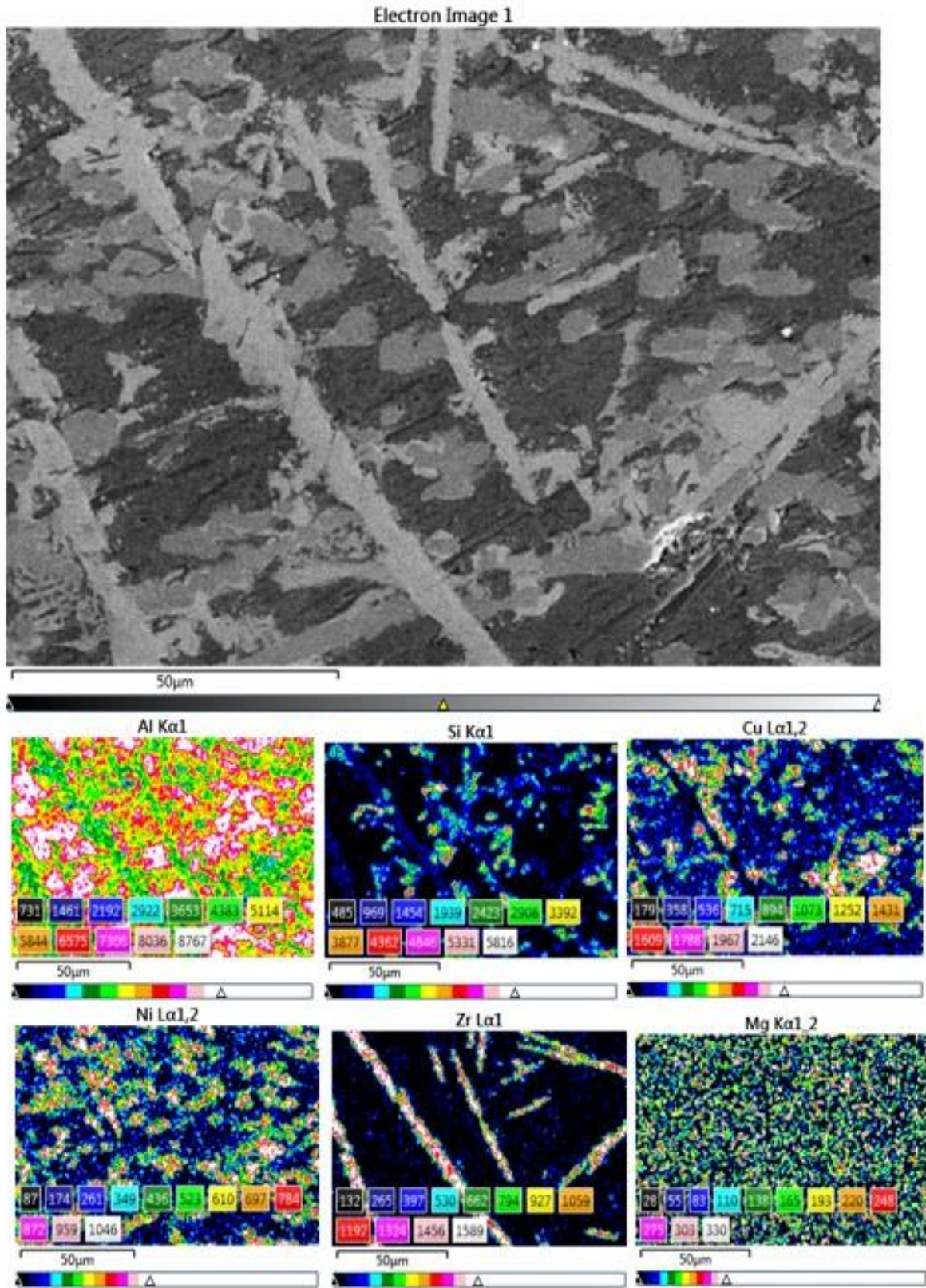
Resim 3.13. N4 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri



Resim 3.14. N4 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Resim 3.15. N4 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

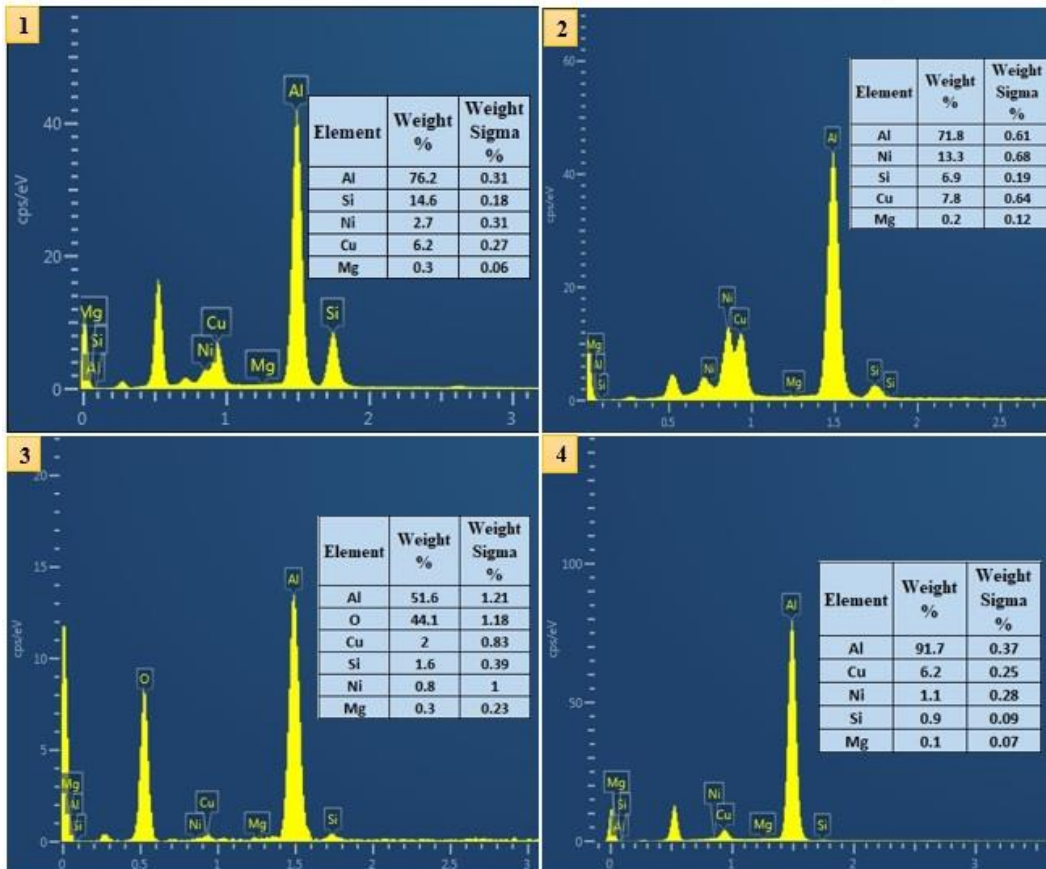
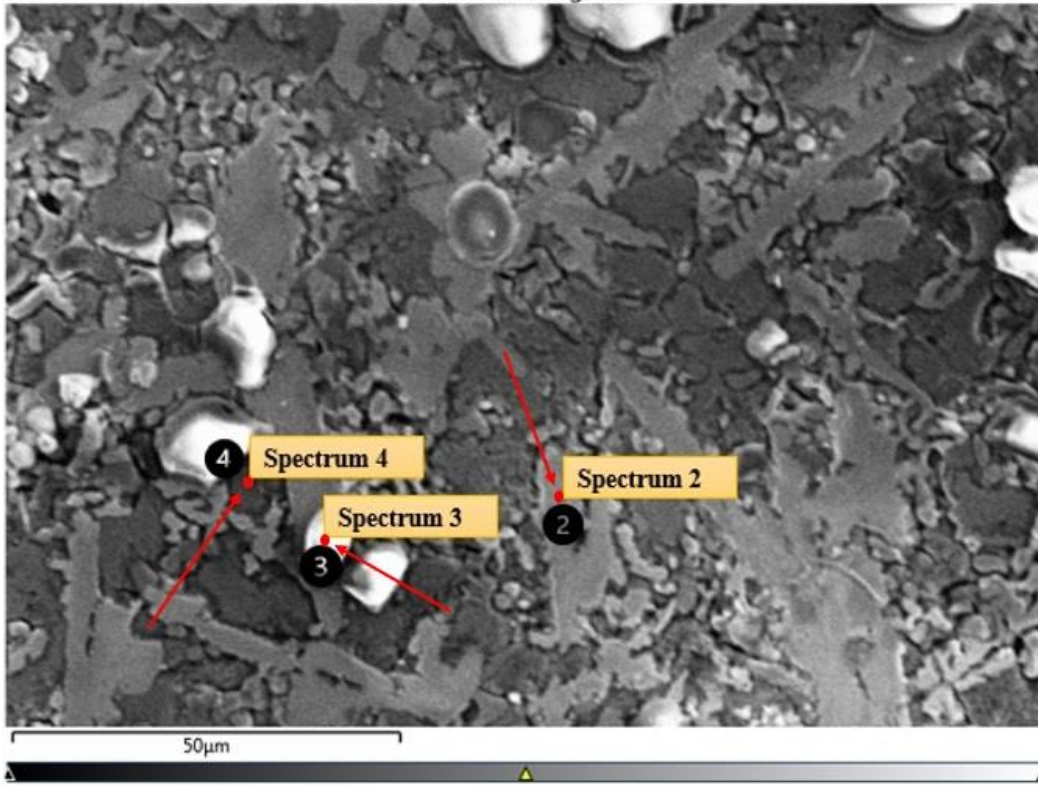


Resim 3.16. N4 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

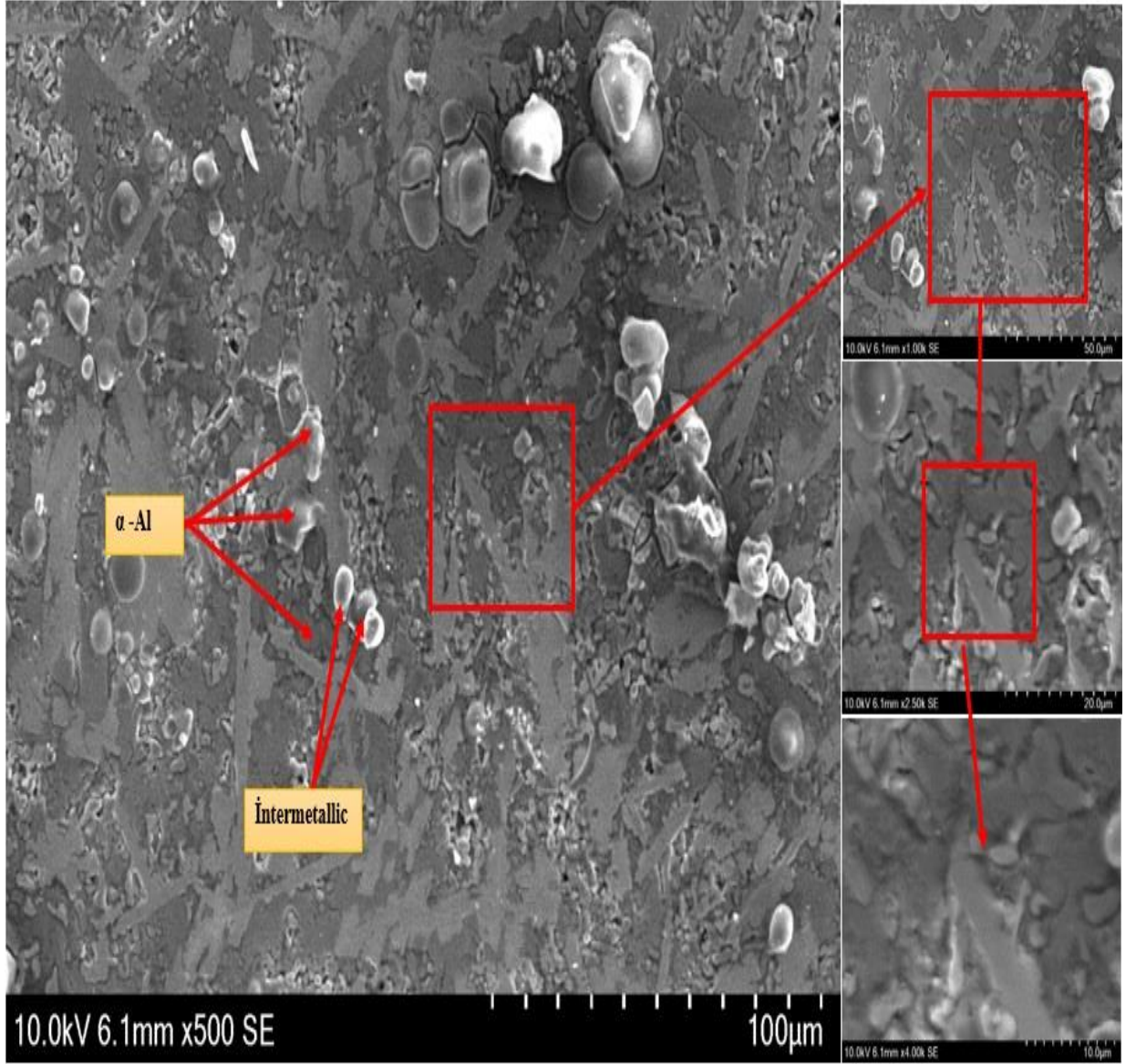
3.5. N5 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N5 Numunesi İçin Resim 3.17. ve Resim 3.19. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %76.2Al, %14.6Si, %2.7Ni, %6.2 Cu, %0.3 Mg şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.9. 'da gösterilen XRD analizinde oluşan $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$, $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ ve Ni_3Si fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N5 Numunesi İçin Resim 3.18.'da 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N5 tanecikler heterojen bir yapıda olduğu gözlenmektedir. N5 numunesinin birincil Al K α 1 fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlak görülmemektedir. N5 numunesi için iç yapıyı oluşturan tane sınırları oldukça daha belirgin ve fazı oluşturan taneciklerin boyutunun daha küçük olduğu görülmüştür. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, ve Mg elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.17.'da (2 numaralı, 3 numaralı, 4 numaralı) tabloda verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşuğı Görüntüsü alınarak, Resim 3.20.'de gösterilmiştir.

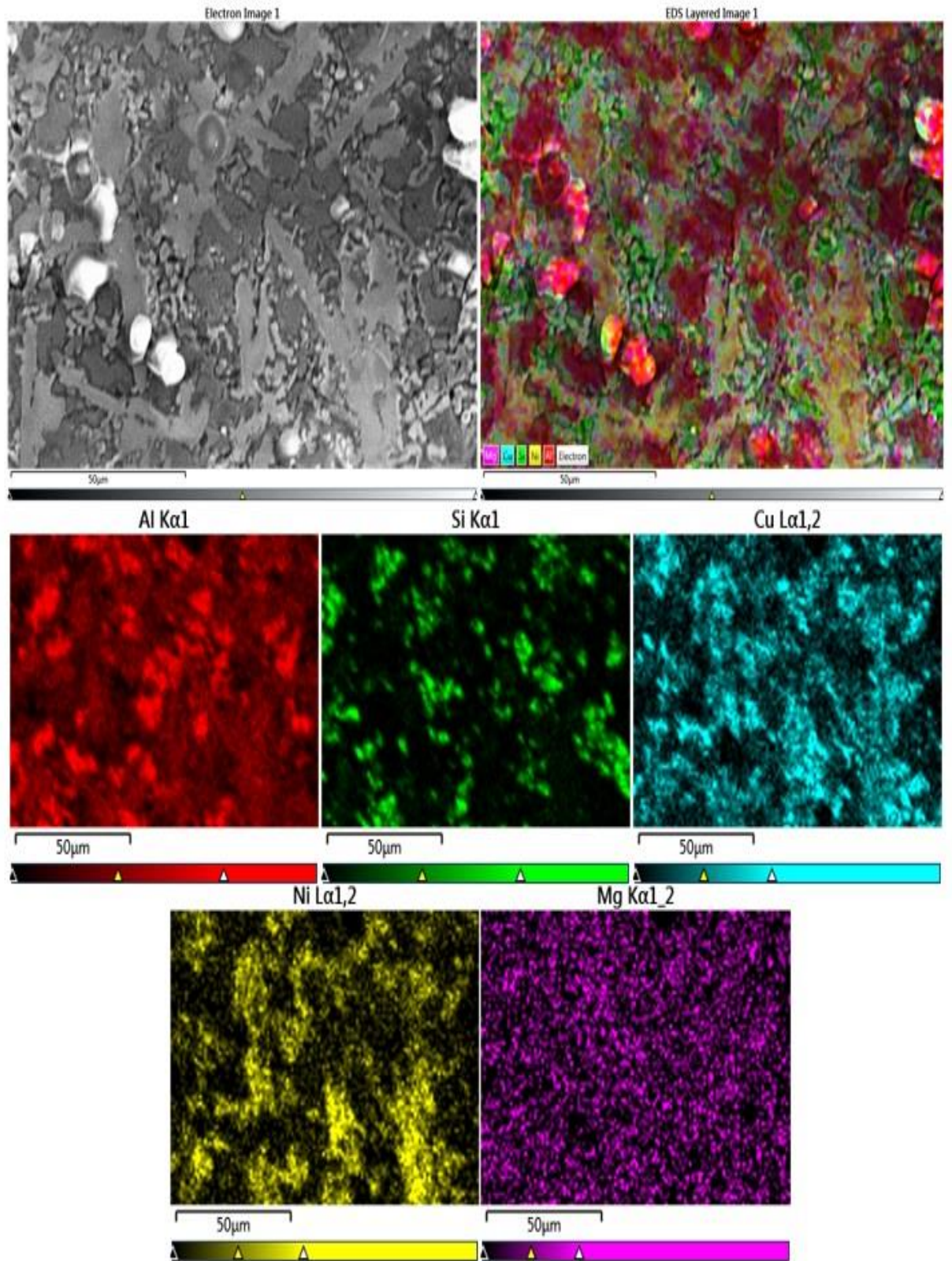
Electron Image 2



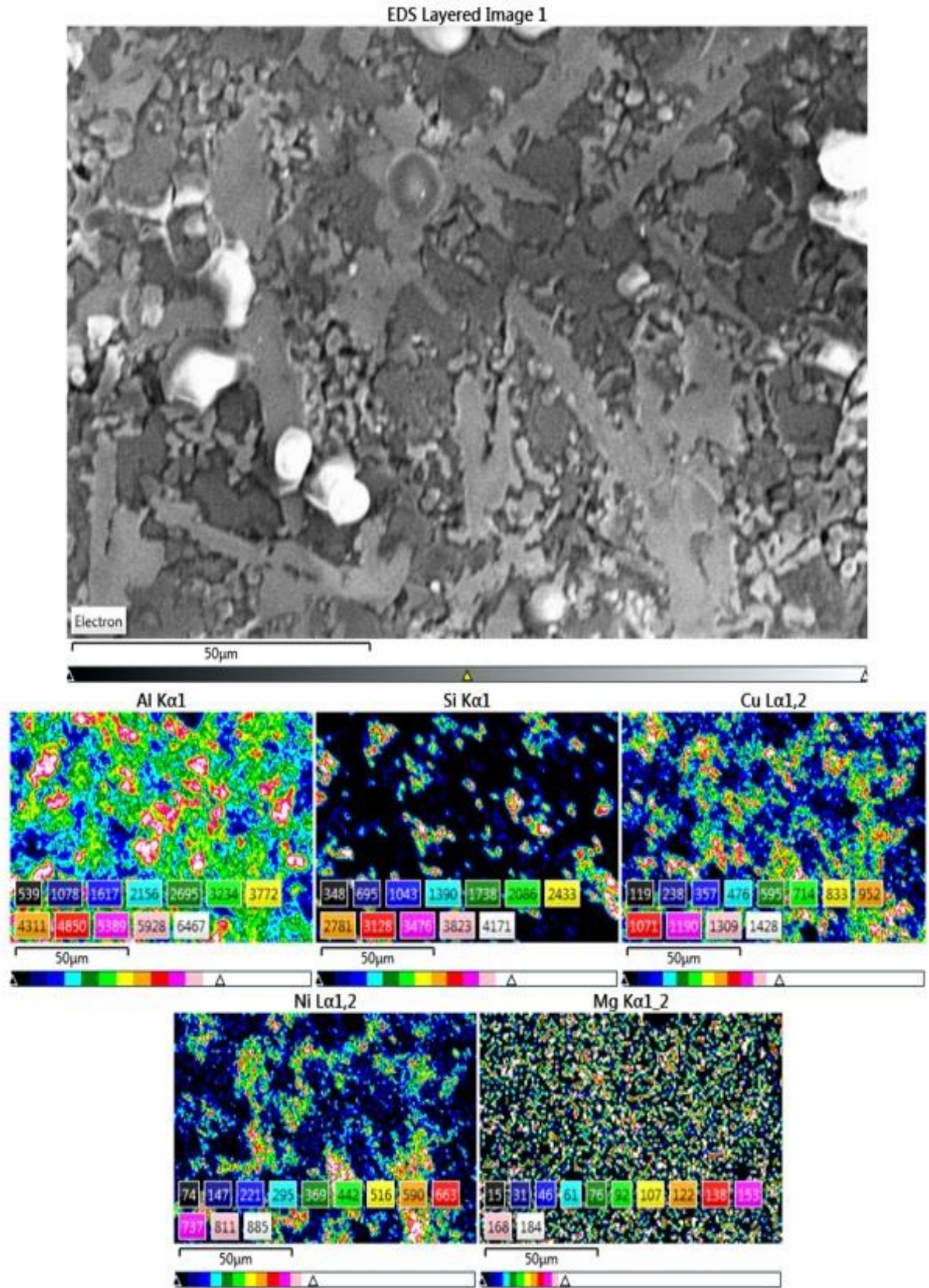
Resim 3.17. N5 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri



Resim 3.18. N5 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 4000x)



Resim 3.19. N5 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

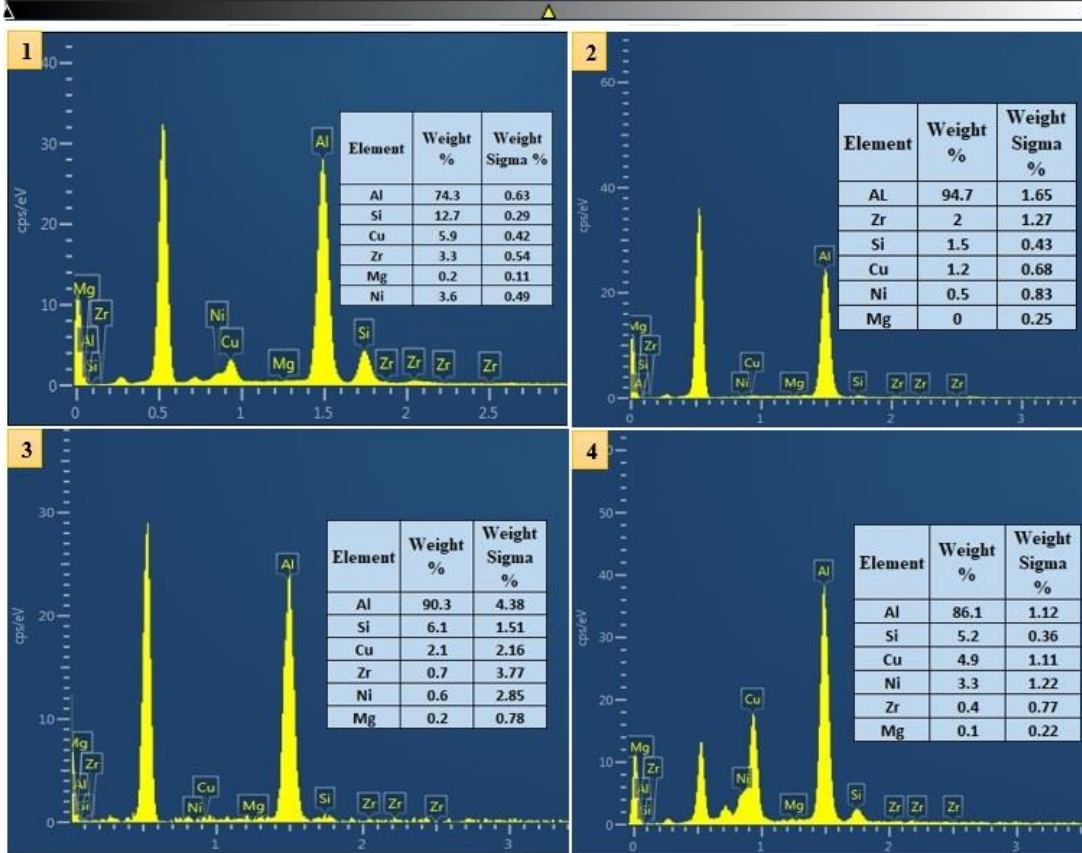
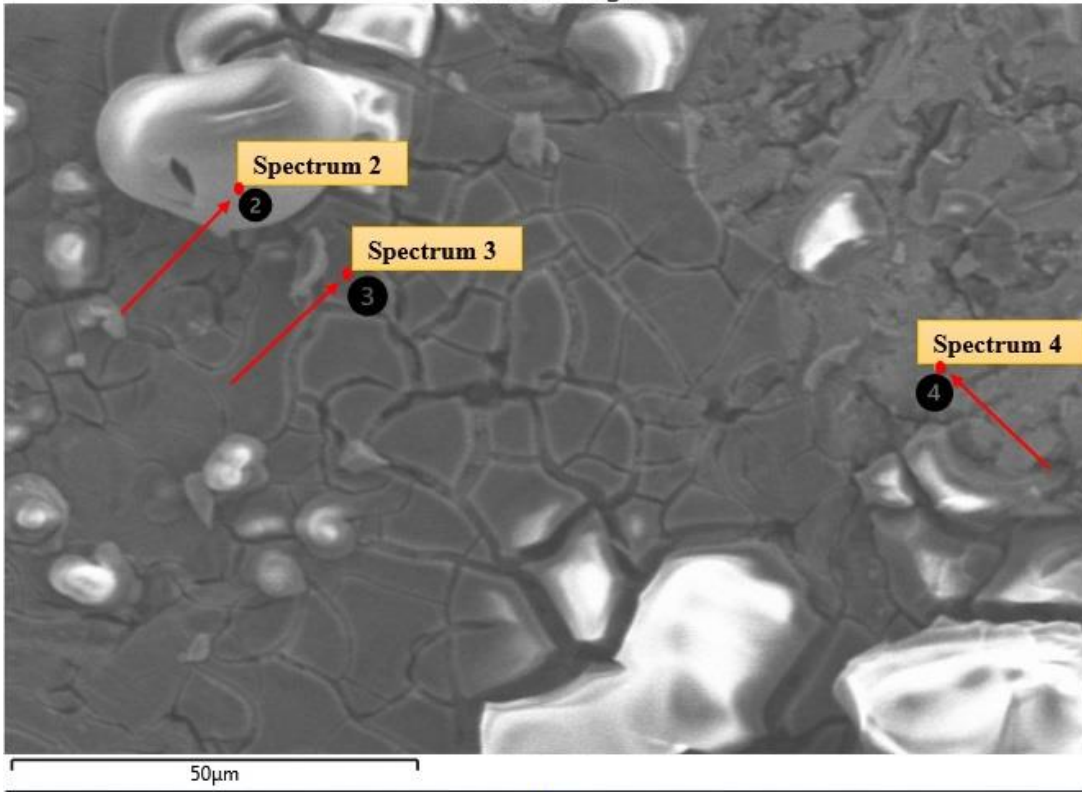


Resim 3.20. N5 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

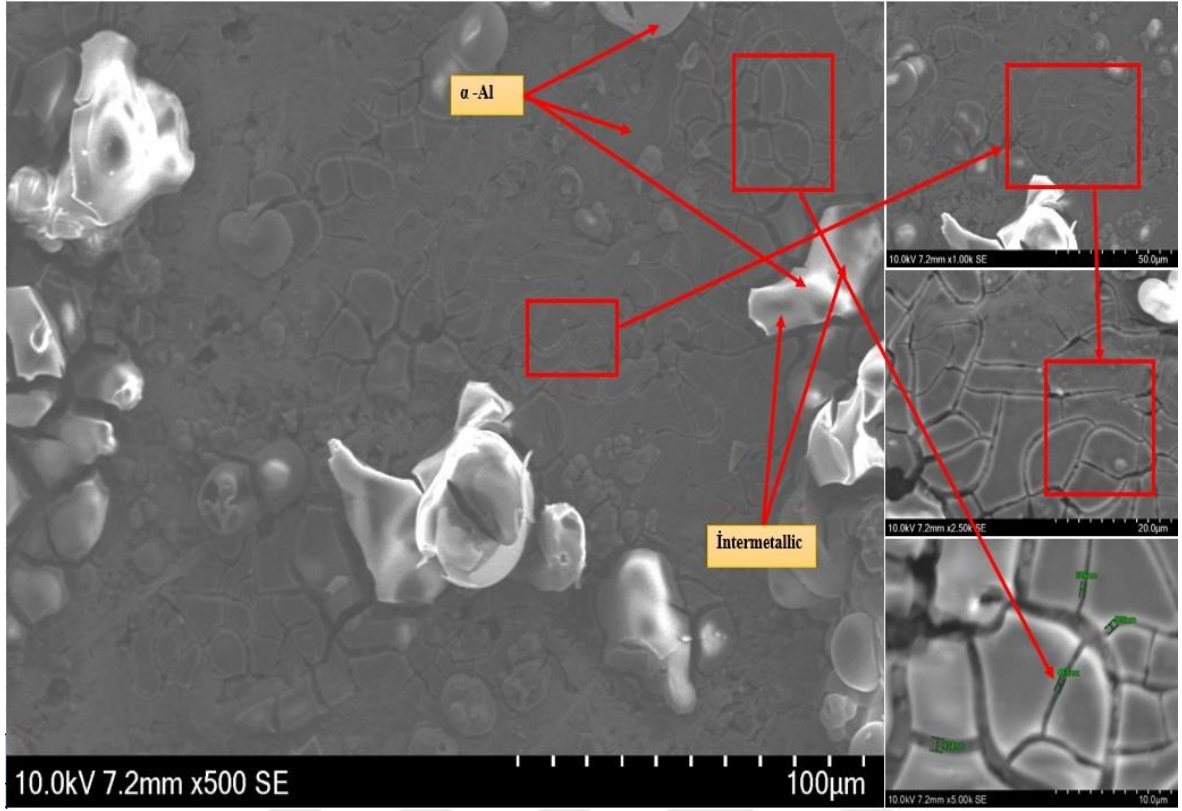
3.6. N6 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N6 Numunesi İçin Resim 3.21. ve Resim 3.23. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %74.3Al, %12.7Si, %3.6Ni, %5.9 Cu, %0.2 Mg, , %3.3 Zr şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.11. 'de gösterilen XRD analizinde oluşan Al_4O_4C , $Cu_{0.37}Ni_{0.56}Si_{0.07}$, Al_3Zr , Al_2Cu , $ZrSi$ ve $Ni_{12.54}Al_{0.9}Si_{8.1}$ Si fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N6 Numunesi İçin Resim 3.22.'de 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N6 numunede tane sınırları daha belirgindir. Tane boyutları daha iridir. Birincil Al $K\alpha_1$ fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlak oluştuğunu aynı zamanda da farklı bölgelerde dentritik yapıda çatlaklarında farklı boyutlarda olduğunu görülmektedir. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, Mg ve Zr elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.21.'da (2 numaralı, 3 numaralı, 4 numaralı) tabloda verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşuğı Görüntüsü alınarak, Resim 3.24.'de gösterilmiştir.

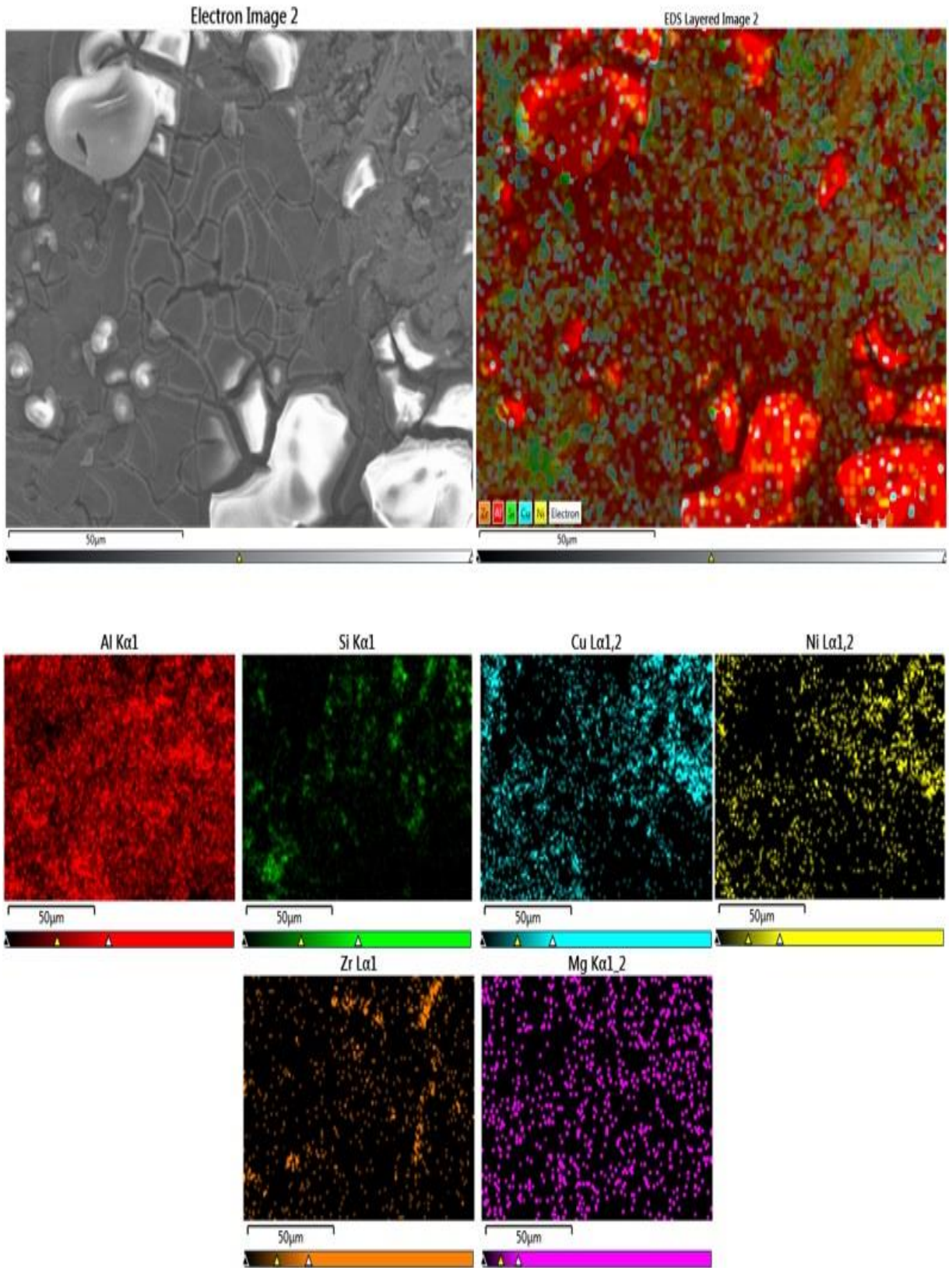
Electron Image 2



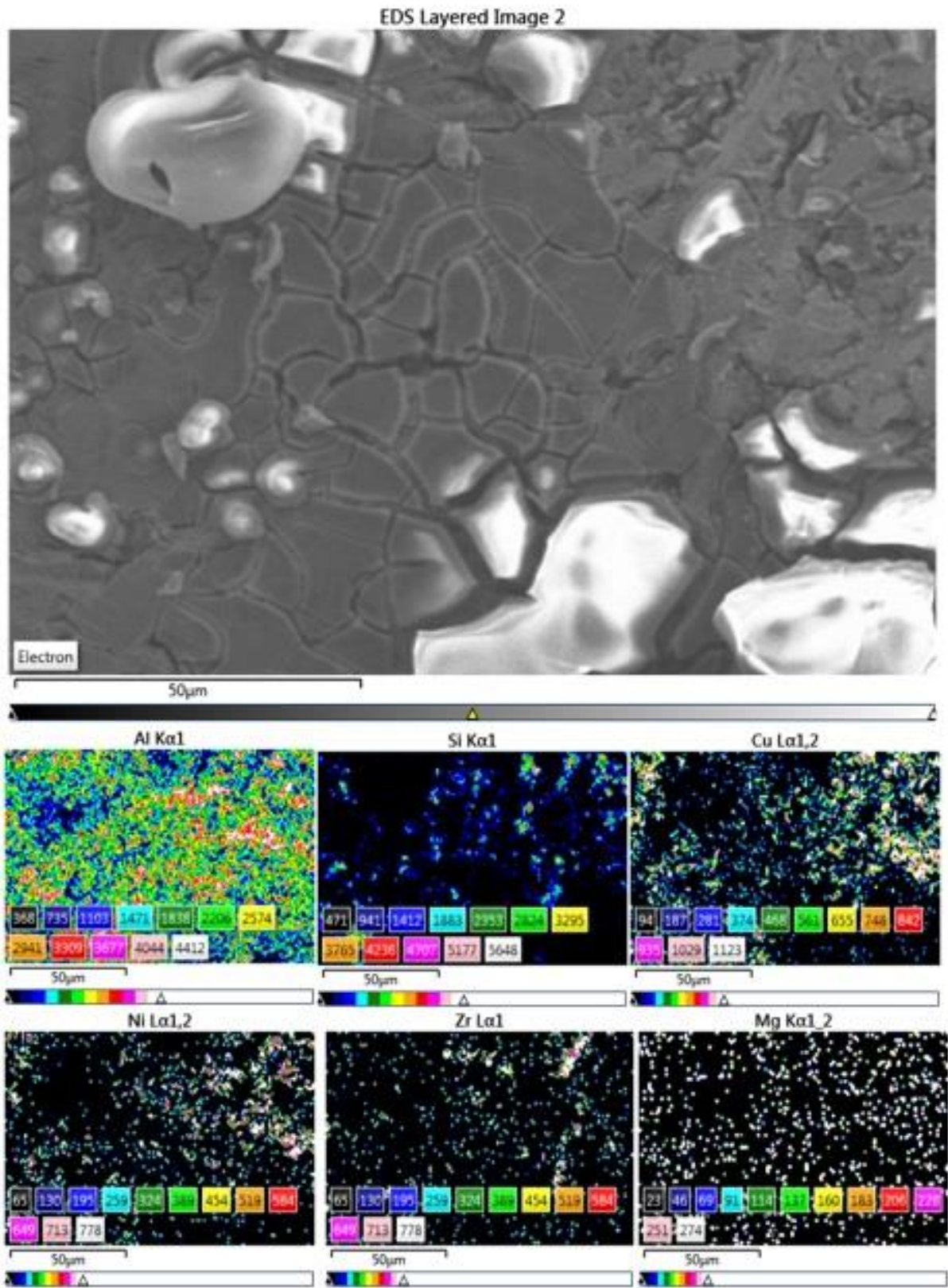
Resim 3.21. N6 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri



Resim 3.22. N6 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



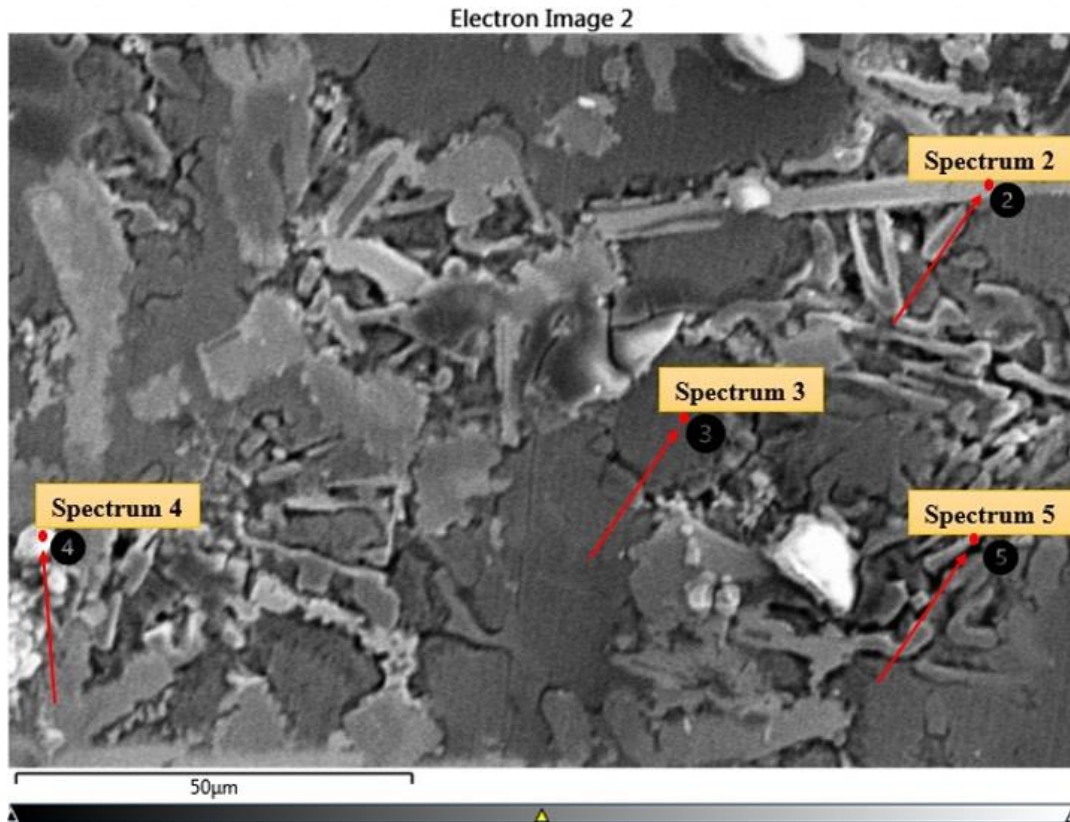
Resim 3.23. N6 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

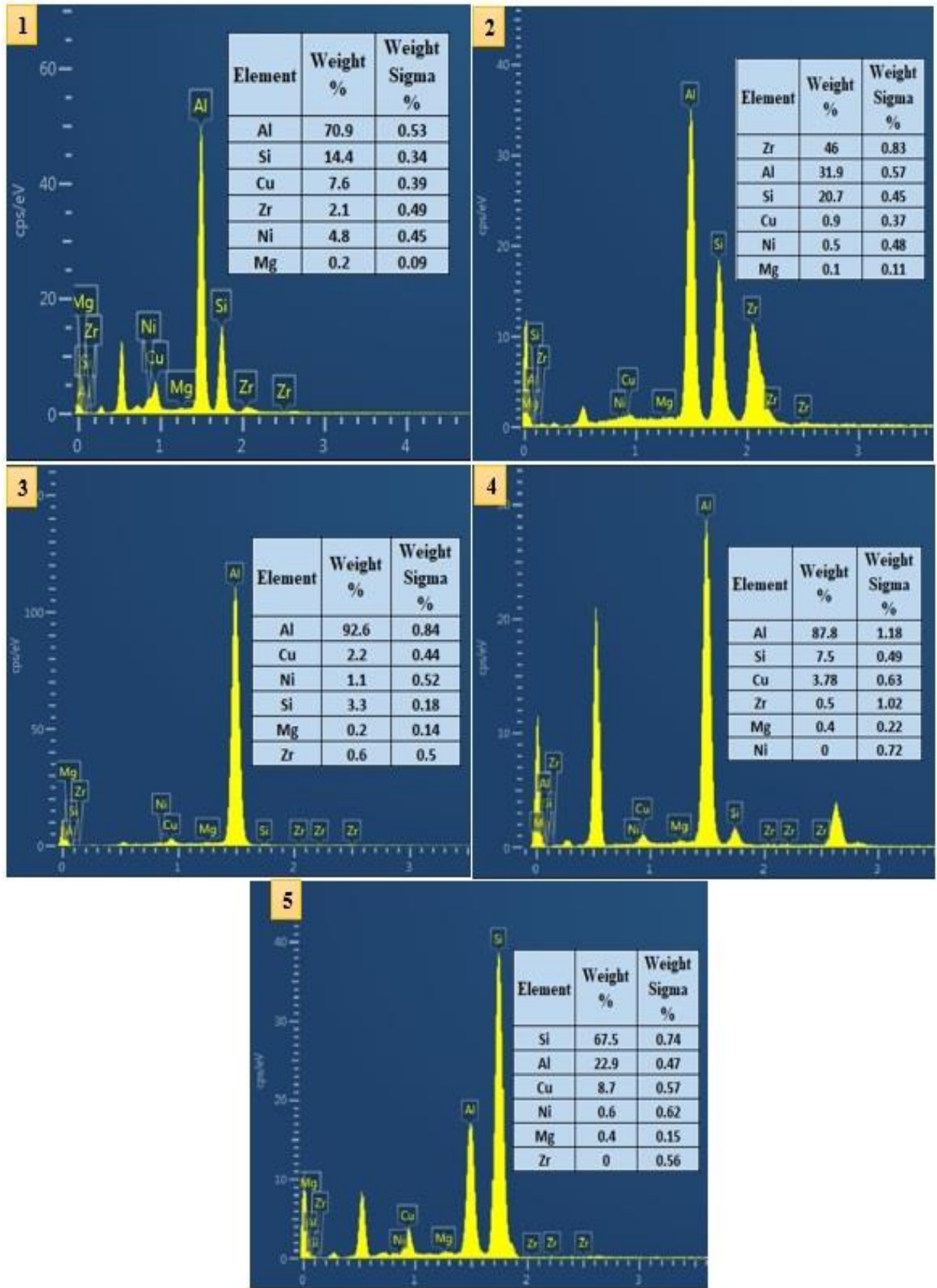


Resim 3.24. N6 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

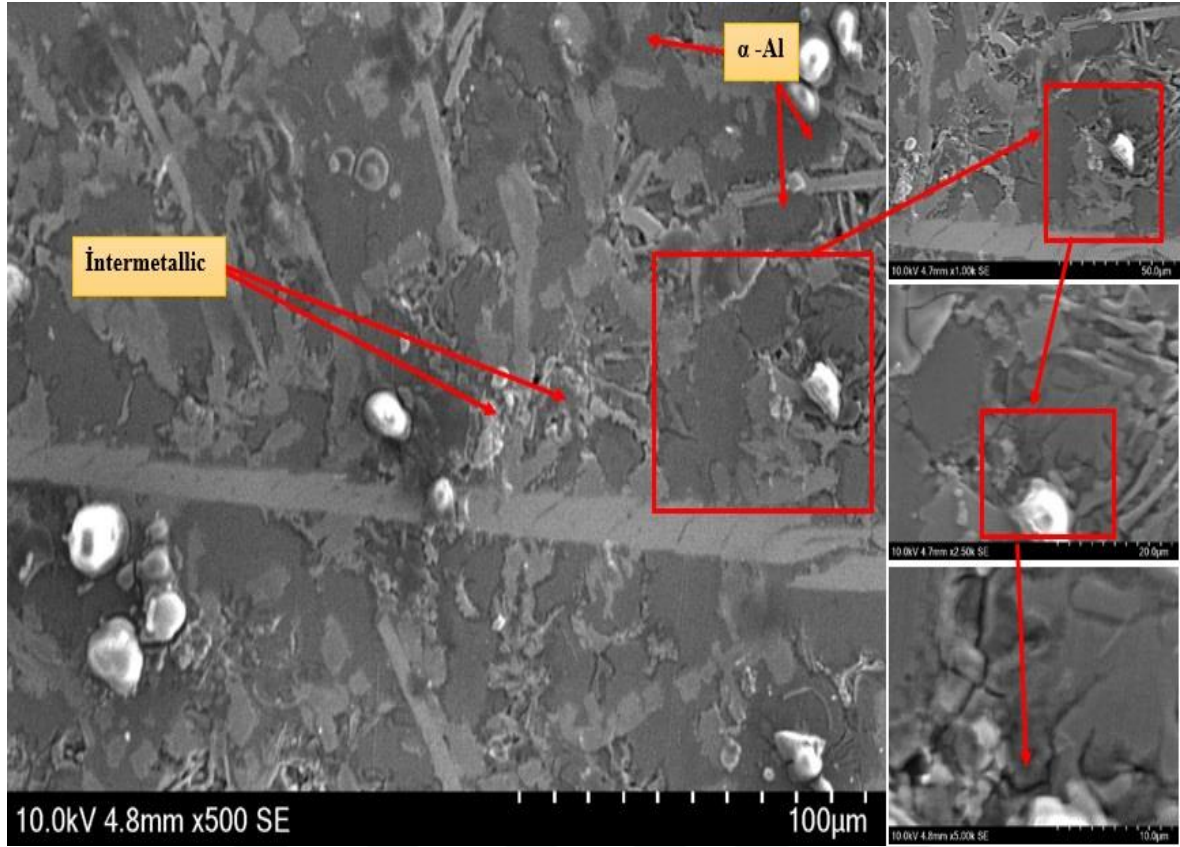
3.7. N7 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N7 Numunesi İçin Resim 3.25. ve Resim 3.27. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %70.9Al, %14.4Si, %4.8Ni, %7.6 Cu, %0.2 Mg, , %2.1 Zr şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.13. 'de gösterilen XRD analizinde oluşan Al_4O_4C , $Ni_{12.54}Al_{0.9}Si_{8.1}$, Al_3Zr , $ZrSi_2$, $Cu_{15}Si_4$, Al_2O_5Si fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N7 Numunesi İçin Resim 3.26.'da 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N7 numunesinde taneciklerin segregasyon şeklinde dağıldığını görmekteyiz. Tane sınırlaması belirgin değildir. Bağlar arasındaki birleşim kuvveti dinamik değildir bu yüzden mukavemeti düşüktür. Fazların yüzey potansiyel enerjisi düşüktür. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, Mg ve Zr elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.25.'da (2 numaralı, 3 numaralı, 4 numaralı, 5 numaralı) tabloda verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşağı Görüntüsü alınarak, Resim 3.28.'de gösterilmiştir.

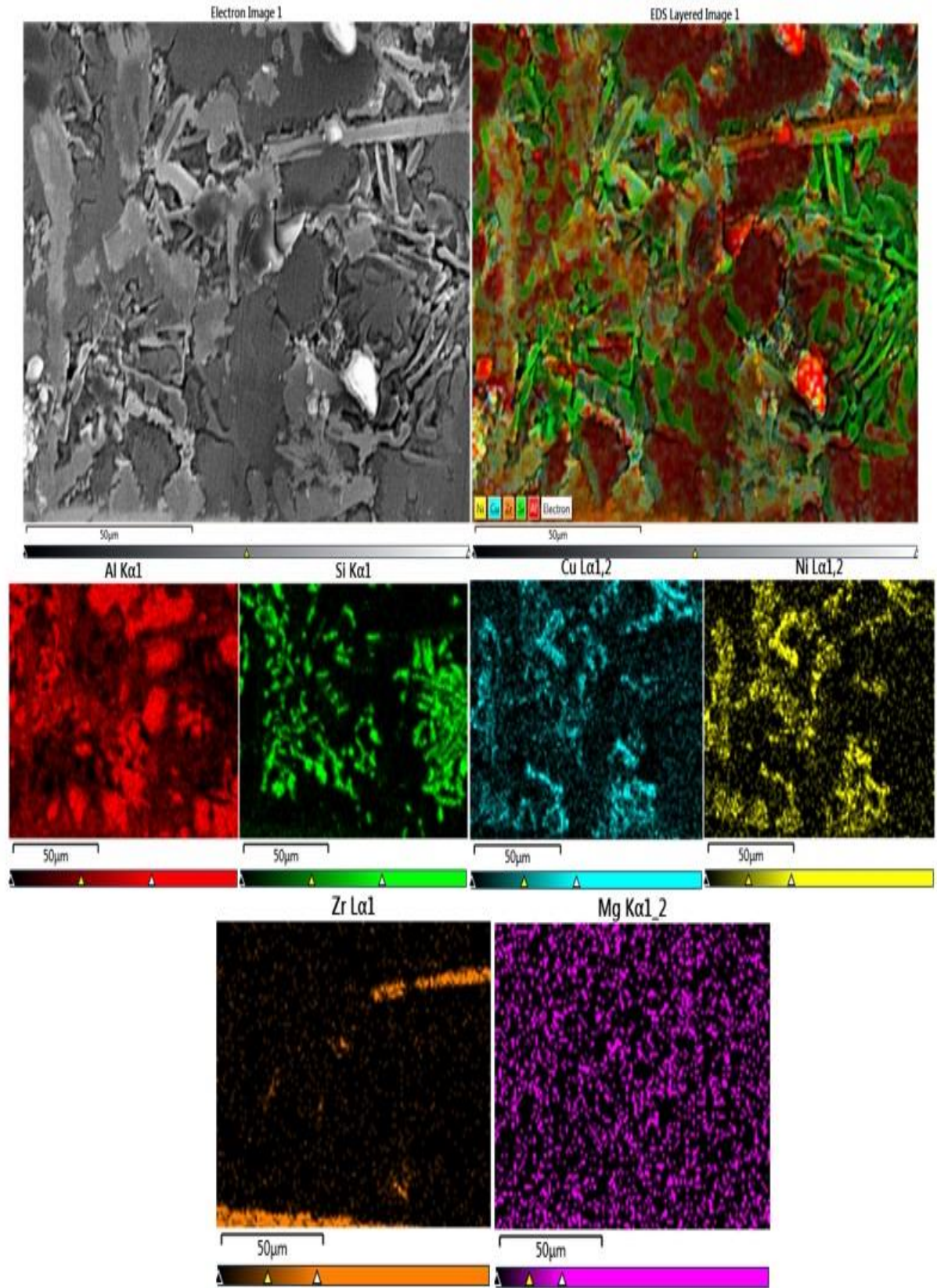




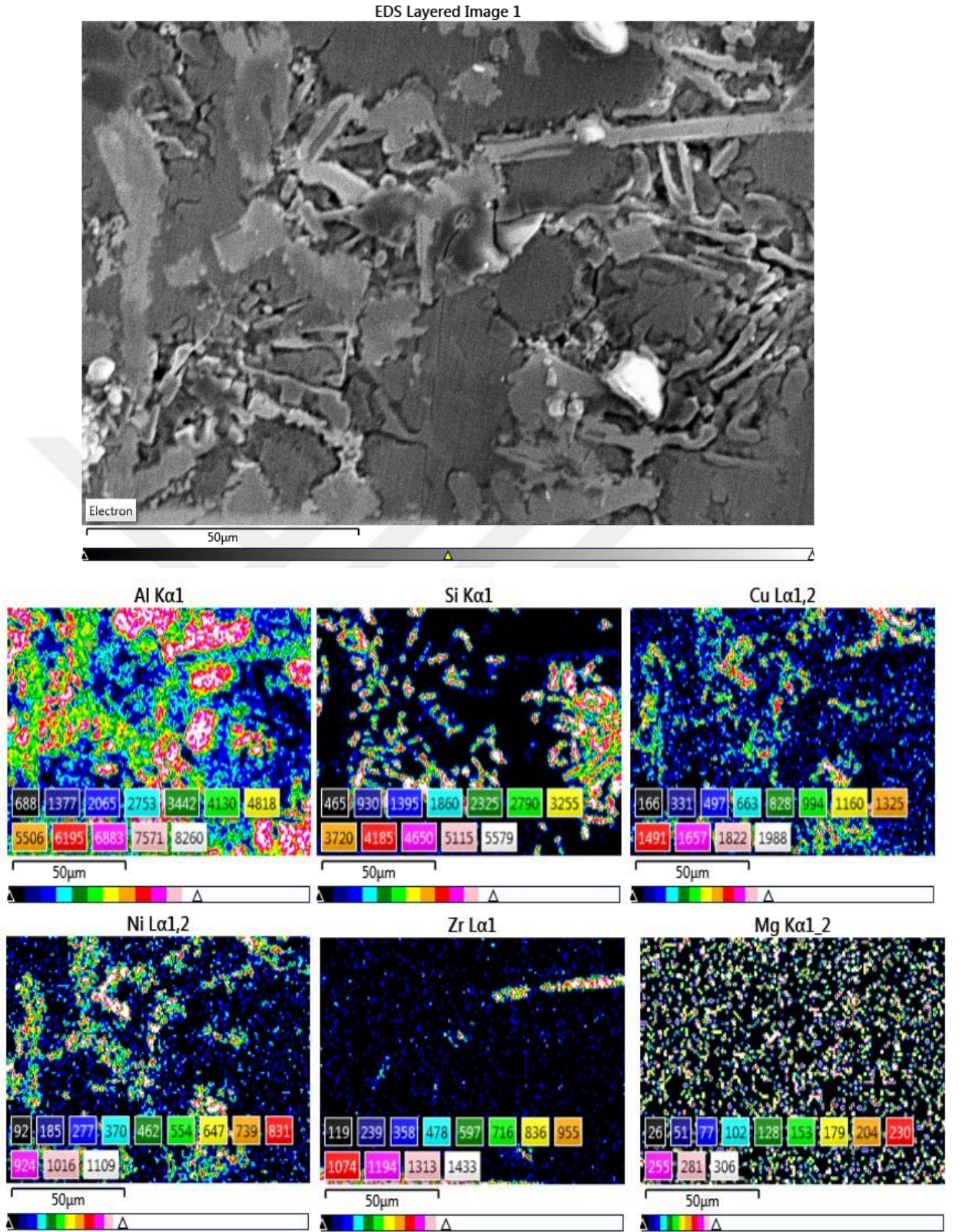
Resim 3.25. N7 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri



Resim 3.26. N7 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



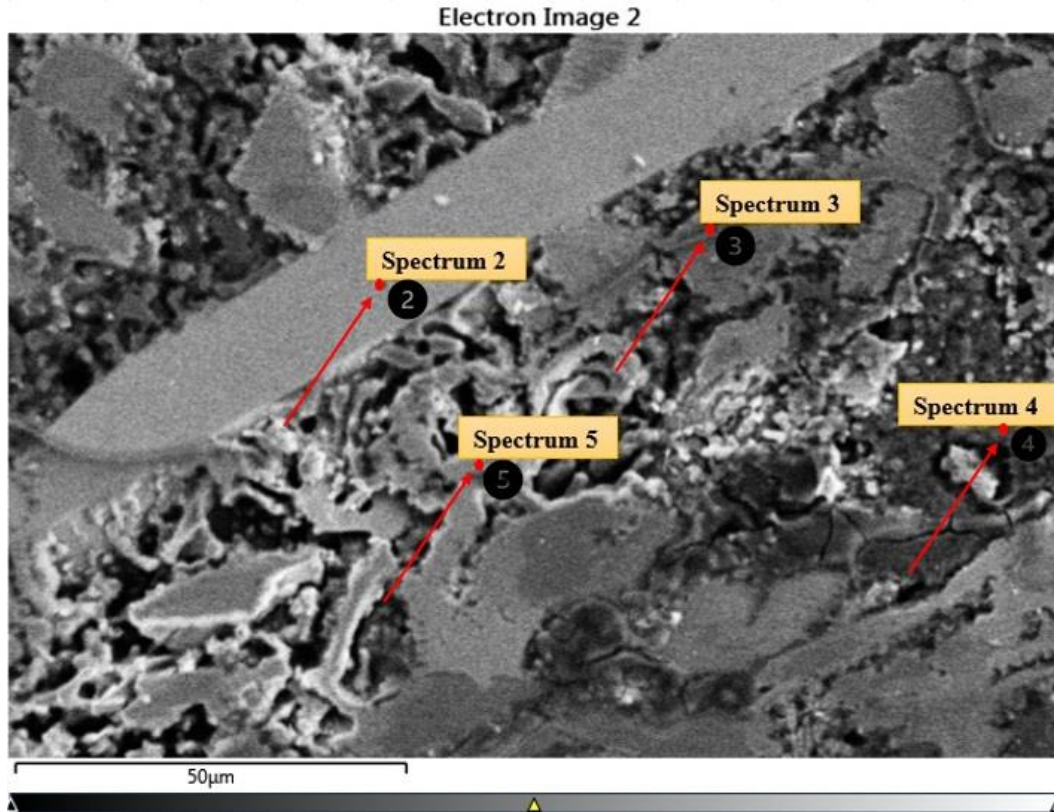
Resim 3.27. N7 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri

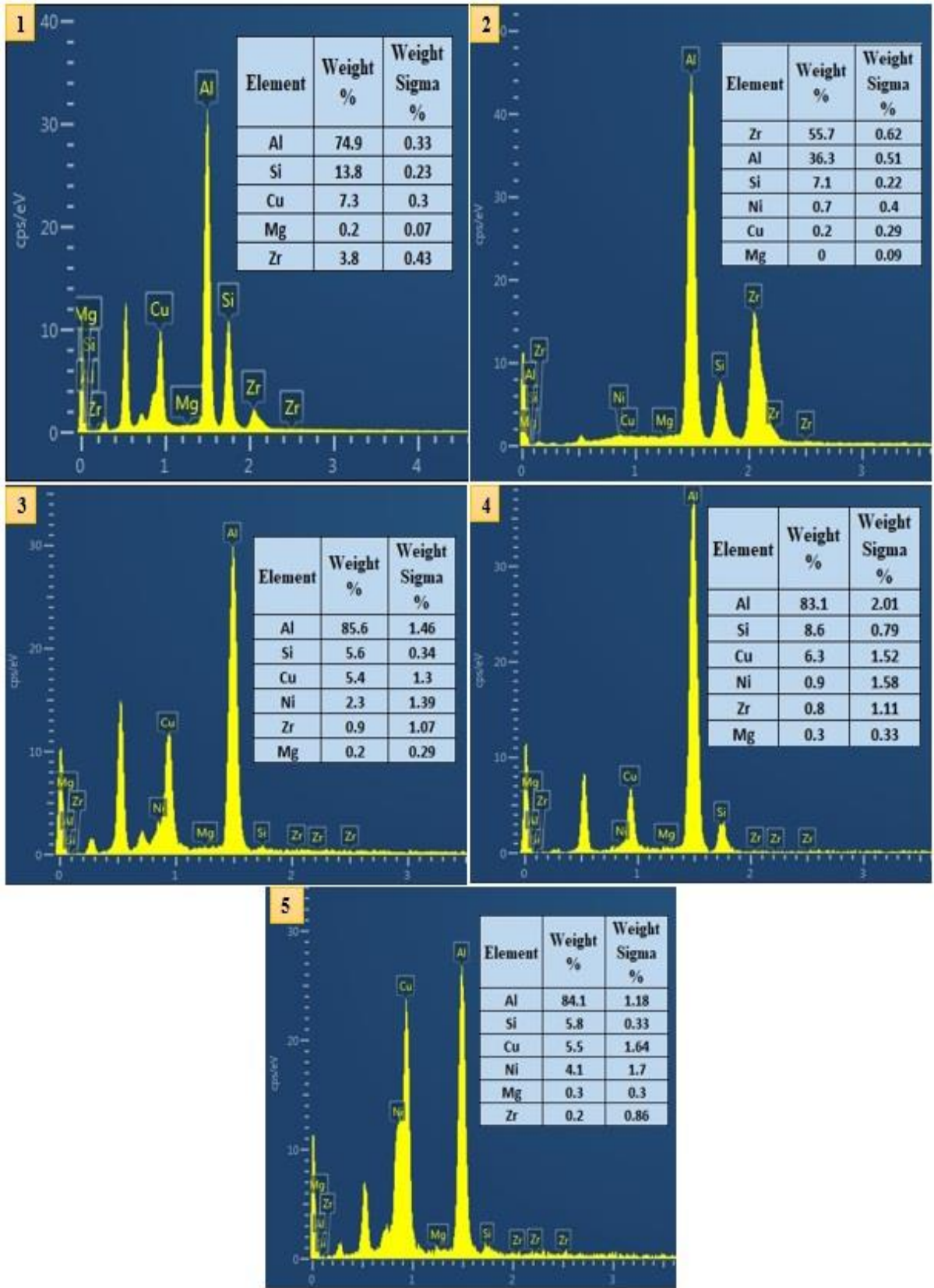


Resim 3.28. N7 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

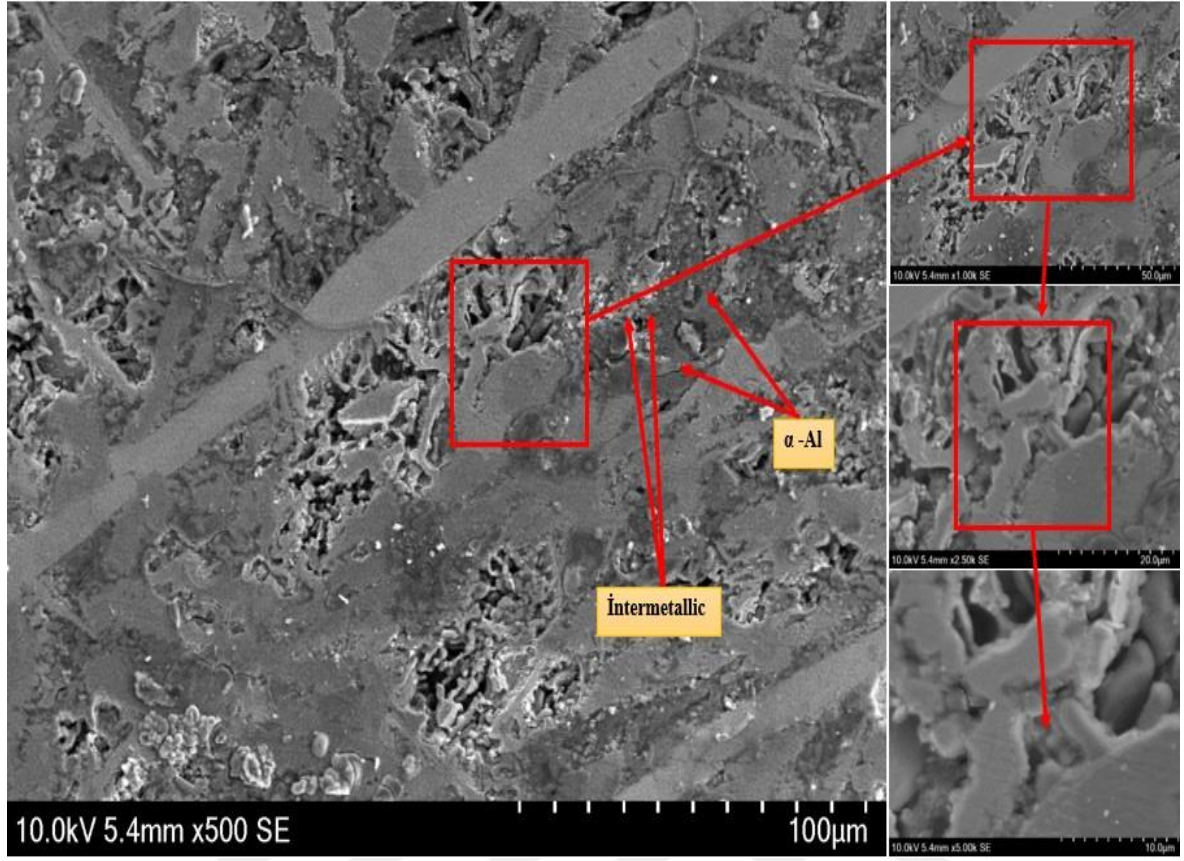
3.8. N8 Numunesine ait SEM Görüntüsü, EDS Analizi ve Mapping Analizleri

N8 Numunesi İçin Resim 3.29. ve Resim 3.31. nolu resimde EDS Analizi Mapping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %74.9Al, %13.8Si, %7.3 Cu, %0.2 Mg, %3.8 Zr şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve Şekil 3.15 'de gösterilen XRD analizinde oluşan Al_2O_3 , Si , Al_4O_4C , $ZrSi_2$, Al_3Zr , $(Cu_{0.37}Ni_{0.56}Si_{0.07})$, $Cu_{15}Si_4$, $NiSi_2$ fazlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. N8 Numunesi İçin Resim 3.30.'da 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütmelerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. N8 numune içindeki tane sınırlaması belirgin değildir. N8 numunesinin birincil Al fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlaklar görülmektedir. N8 tanecikler segregasyon şeklinde gözlenmektedir. Bağlar arasındaki boşluklar görünmektedir. Fazların yüzey potansiyel enerjisi yüksektir. Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Al, Si, Cu, Ni, Mg ve Zr elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Resim 3.29.'da (2 numaralı, 3 numaralı, 4 numaralı, 5 numaralı) tabloda verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numune için Element Gökkuşağı Görüntüsü alınarak, Resim 3.32.'de gösterilmiştir.

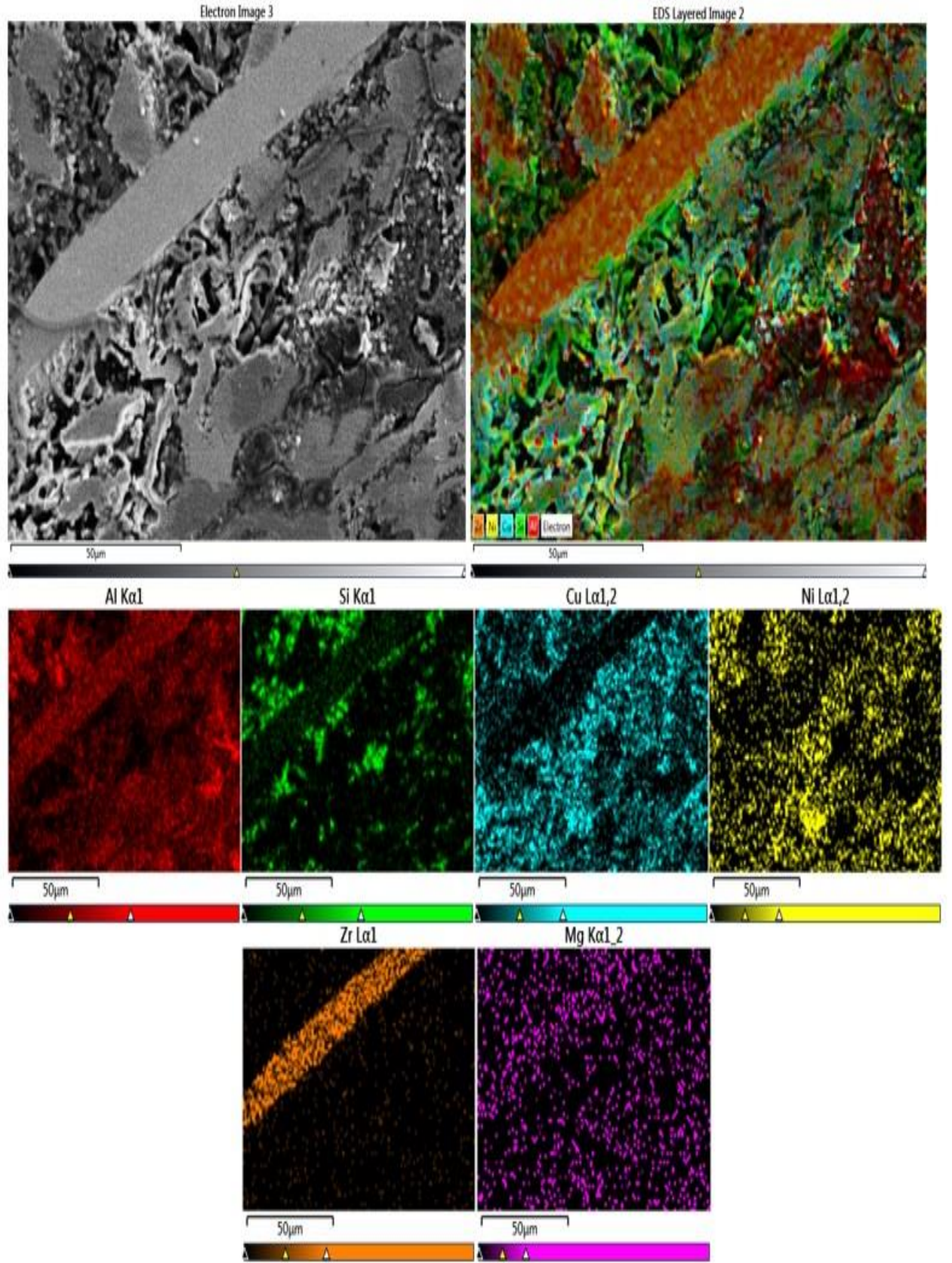




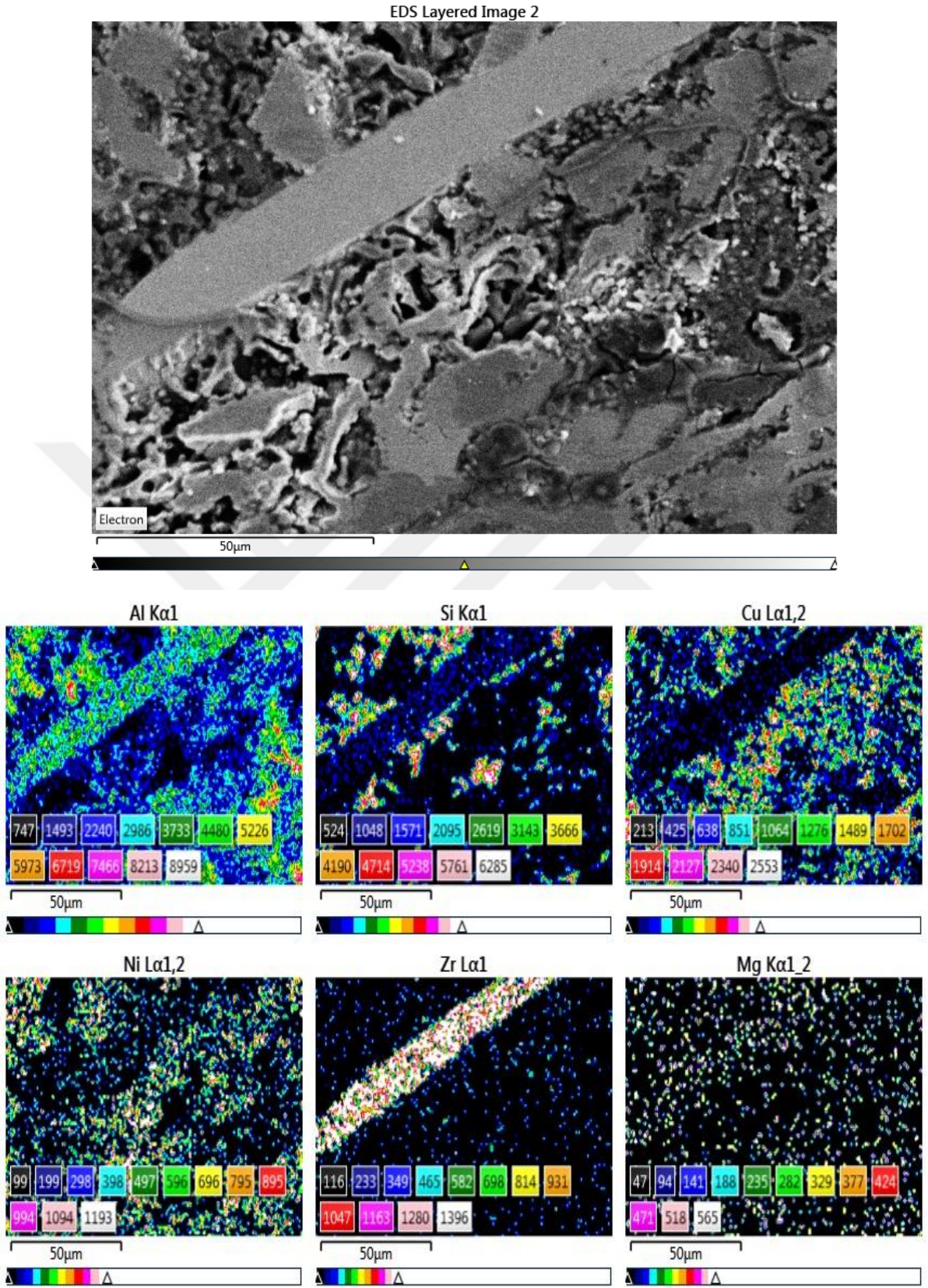
Resim 3.29. N8 Numunesi EDS Noktasal Spectrum Değerleri



Resim 3.30. N8 Numunesi İçin Farklı Büyütmelerde Alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Resim 3.31. N8 Numunesinin Mapping ve Element Görüntüleri



Resim 3.32. N8 Numunesi EDS Analizi Element Gökkuşağı Görünümü

3.9. XRD Analiz Sonuçları

Üretimi gerçekleştirilen numunelerin fazlarını incelemek amacıyla X-ışını kütle difraksiyon ölçümleri Tunceli Üniversitesi Mühendislik Laboratuvarlarındaki Resim 3.33.'de gösterilen XRD cihazında (Rigaku, Mini Flex600 marka) yapılmıştır.



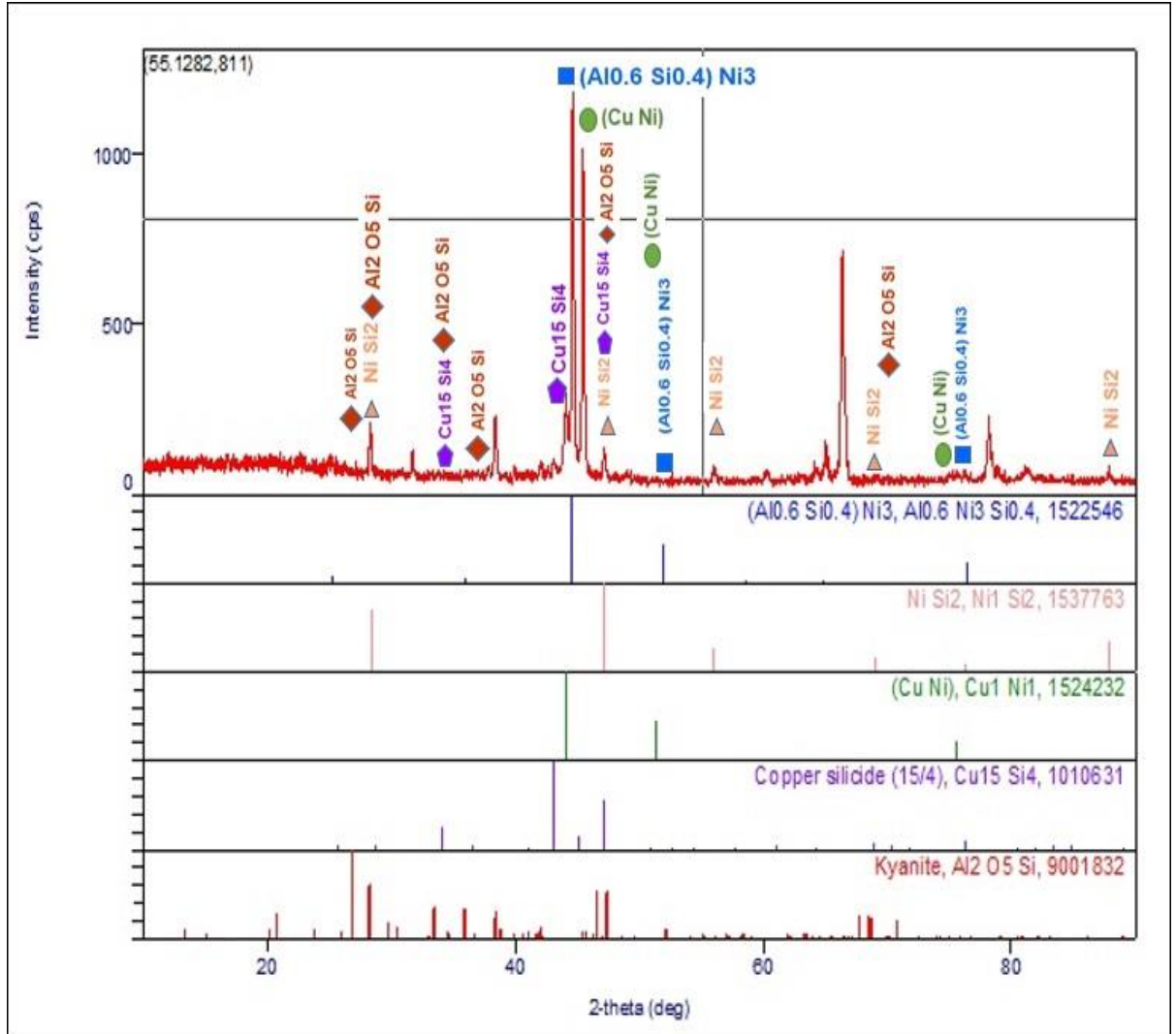
Resim 3.33. XRD Cihazı

Üretilen 8 adet numunenin oda sıcaklığında 10^0 - 90^0 aralığında X-ışınları difraktogramı ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

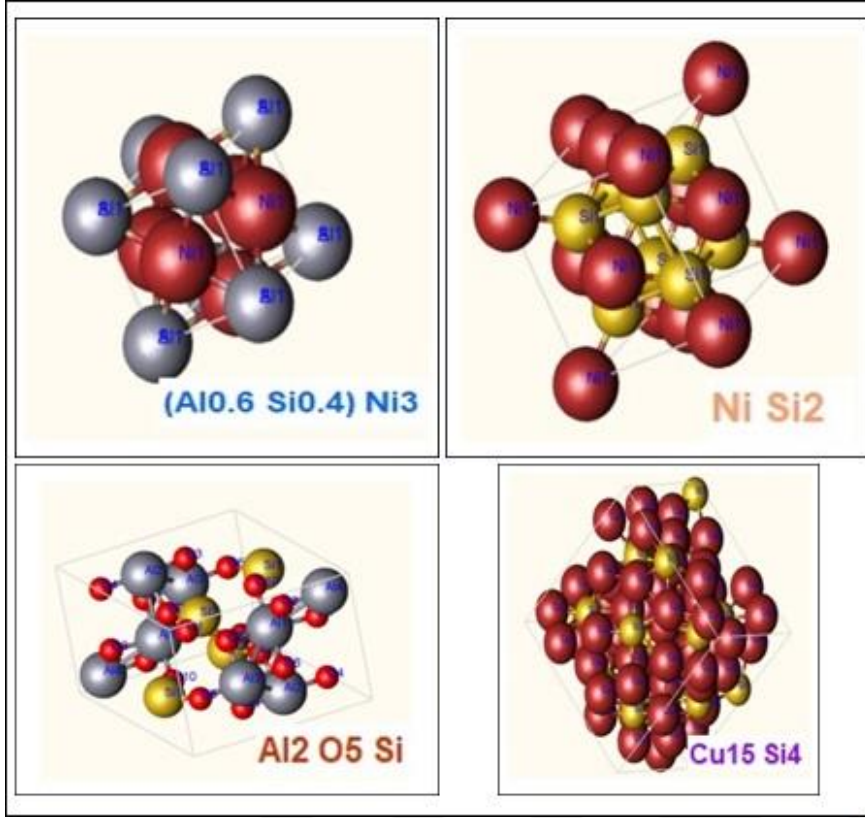
3.9.1. N1 numunesine ait XRD analiz sonuçları

XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.1. de N1 numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 , NiSi_2 , CuNi , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ ve Al_2O_3 Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 fazına ait pik açıları 45^0 , 50^0 ,

78.20°, Ni Si₂ fazına ait pik açıları 28.50°, 42.40°, 86.60°, (Cu Ni) fazına ait pik açıları 43.20°, 50.60°, Cu₁₅ Si₄ fazına ait pik açıları 32°, 42°, 45.10°, Al₂ O₅ Si fazına ait pik açıları 30°, 34.70°, 38.50°, 47°, 70.10° dir ve (Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni₃ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Ni Si₂ fazına ait tane yapıları (111), (220), (420), (Cu Ni) fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Cu₁₅ Si₄ fazına ait tane yapıları (321), (332), (510), Al₂ O₅ Si fazına ait tane yapıları (200), (202), (111) belirlenmiştir. N1 numunesinde (Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni₃, (Ni Si₂), (Cu Ni), (Cu₁₅ Si₄), (Al₂ O₅ Si) fazların performans değerleri sırası ile (1.871), (1.486), (2.587), (3.171) ve (3.124) ve uzay grubu-uzay grubu numarası sırası ile (221: P3-3m), (225: Fm-3m), (225: Fm-3m), (220: I-43d) ve (2: P-1) olarak görülmektedir.



Şekil 3.1. N1 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü

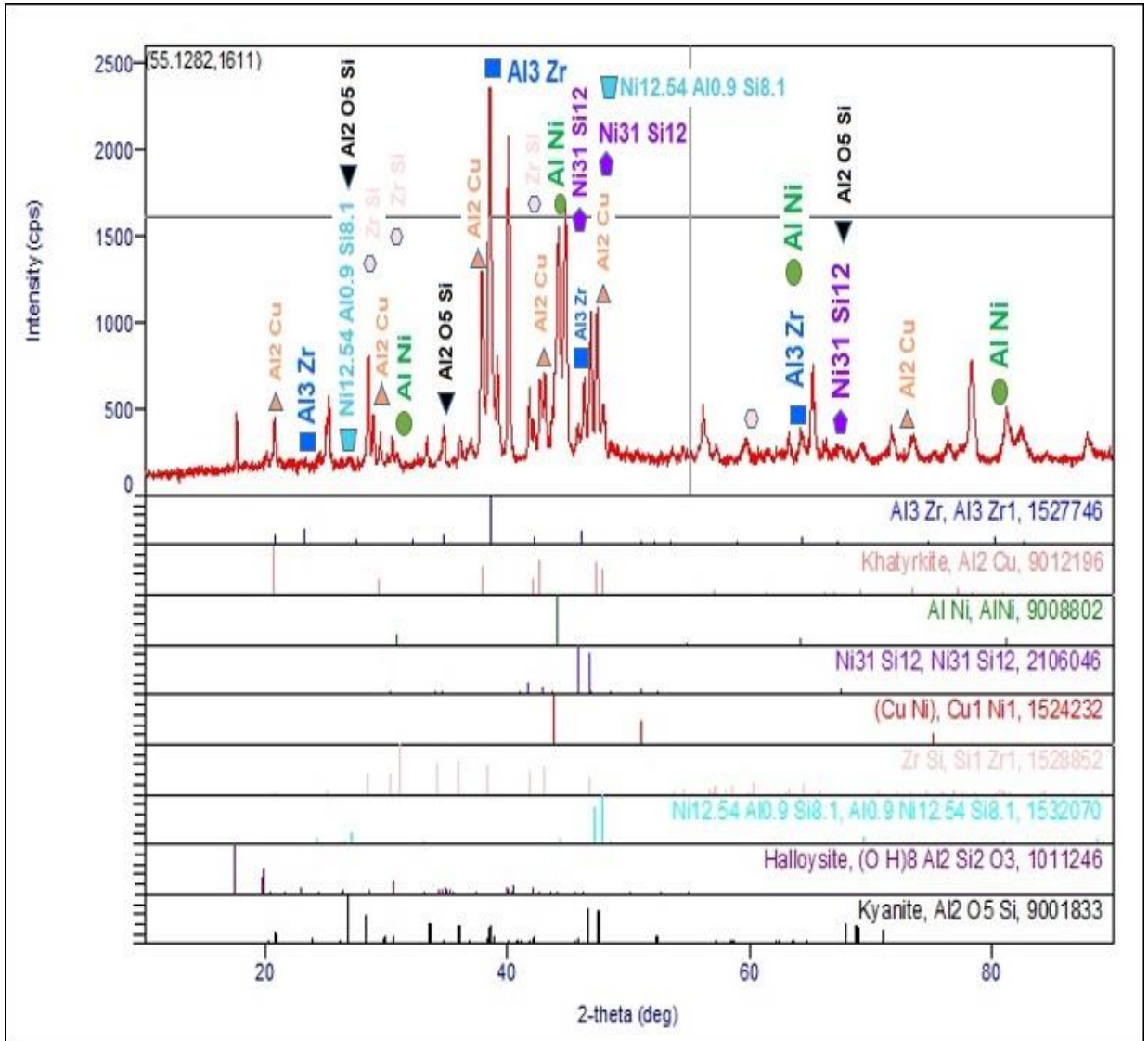


Şekil 3.2. N1 numeneye ait XRD molekül görünümü

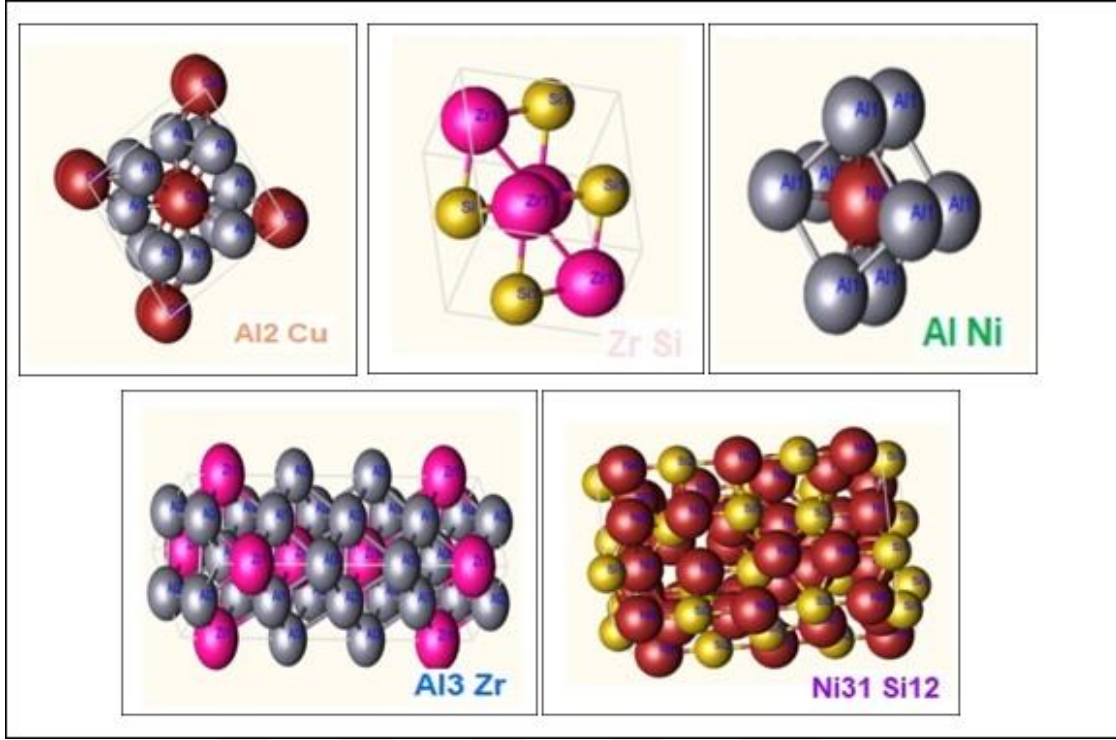
3.9.2. N2 numunesine ait XRD analiz sonuçları

N2 numunesinin XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.3. de N2 numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. Al_3Zr , Al_2Cu , AlNi , $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$, CuNi , ZrSi , $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$, $(\text{OH})_8\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3$ ve $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. Al_3Zr fazına ait pik açıları 25° , 39.10° , 48.20° , Al_2Cu fazına ait pik açıları 22.50° , 30.10° , 38.20° , 43° , 50.10° , AlNi fazına ait pik açıları 30.20° , 44° , $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$ fazına ait pik açıları 44.20° , 47° , CuNi fazına ait pik açıları 44° , 50.40° , 77.10° , ZrSi fazına ait pik açıları 30.50° , 32.10° , 34.20° , 36.50° , 38.70° , 42.20° , 44.80° , $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ fazına ait pik açıları 47.20° , 49° , $(\text{OH})_8\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3$ fazına ait pik açıları 17.20° , 21° , $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ 31.50° , 32.10° , 34.20° , 36.50° , 38.70° , 49.20° , 70.80° dir ve Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (101), (200), Al_2Cu fazına ait tane yapıları (110), (112), (202), AlNi fazına ait tane yapıları (110), (211), (100), $\text{Ni}_{31}\text{Si}_{12}$ fazına ait tane yapıları (115), (300), (121), CuNi fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), ZrSi fazına ait tane yapıları (111), (112), (321), $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), $(\text{OH})_8\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3$ fazına ait tane yapıları (102), (132), (202), $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (142)

belirlenmiştir. N2 numunesinde ($\text{Al}_3 \text{ Zr}$), ($\text{Al}_2 \text{ Cu}$), (Al Ni), ($\text{Ni}_{31} \text{ Si}_{12}$), (Cu Ni), (Si Zr), ($\text{Ni}_{12.54} \text{ Al}_{0.9} \text{ Si}_{8.1}$), $(\text{OH})_8 \text{ Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_3$, ($\text{Al}_2 \text{ O}_5 \text{ Si}$) bu fazların performans değerleri sırası ile (2.016), (2.833), (2.527), (1.717), (2.591), (2.101), (3.200), (1.830), (3.034) ve uzay grubu-uzay grubu numarası (139: I4/mmm), (140: I4/mcm), (221: P3-3m), (150: P321), (225:Fm-3m), (62: Pnma), (152: P3121), (8: C1m1,unique-b,cell-1) ve (2: P-1) olarak görülmektedir.



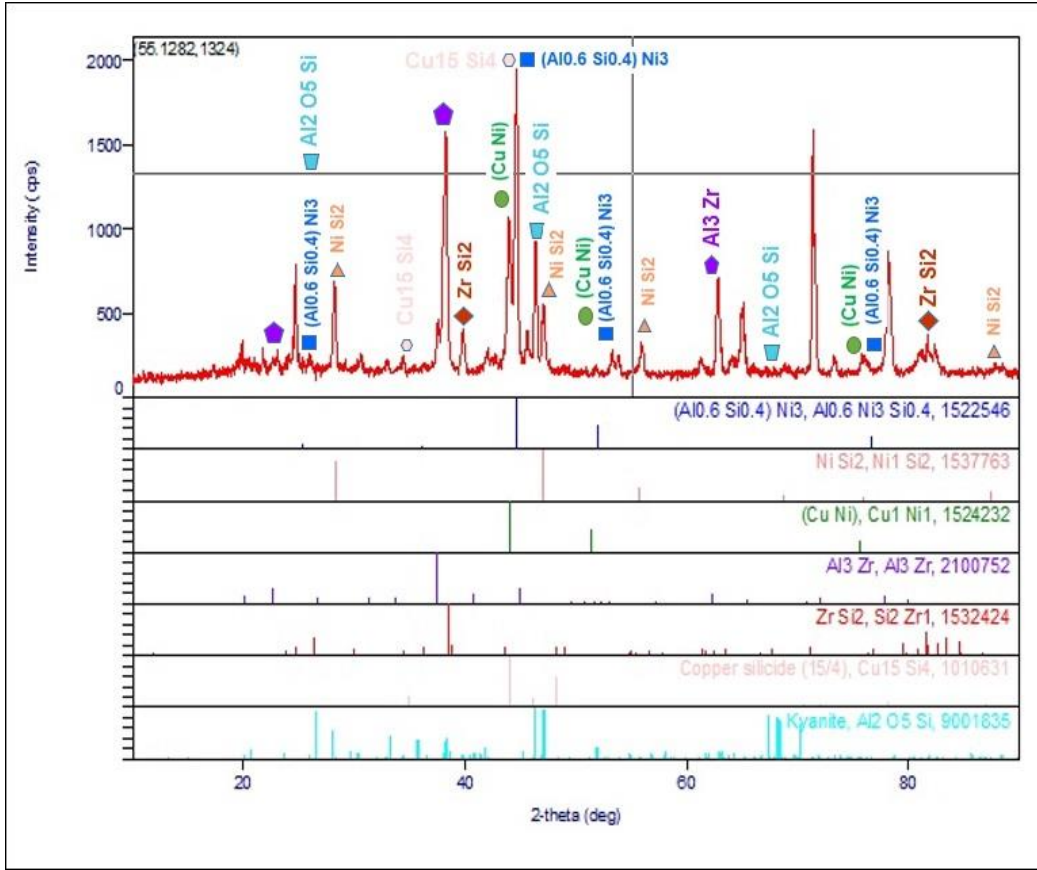
Şekil 3.3. N2 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü



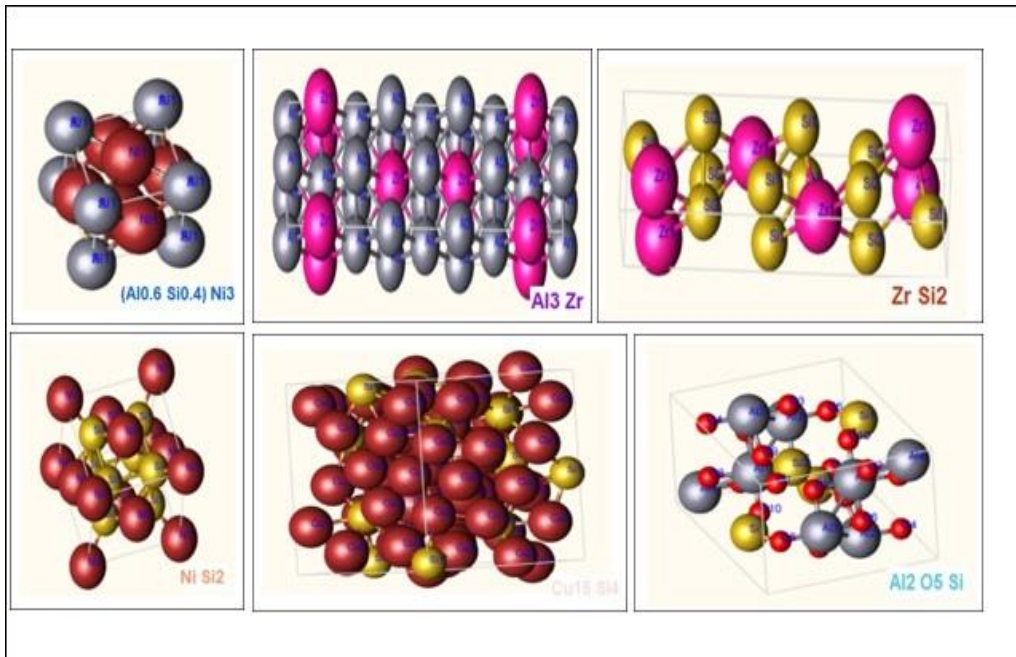
Şekil 3.4. N2 numeneye ait XRD molekül görünümü

3.9.3. N3 numunesine ait XRD analiz sonuçları

N3 numunesi için XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.5. da N3 numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 , Ni Si_2 , Cu Ni , Al_3Zr , Zr Si_2 , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ ve $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 fazına ait pik açıları 28° , 44.10° , 50.20° , 78.20° , Ni Si_2 fazına ait pik açıları 30.60° , 44.10° , 57.20° , 78.20° , 84.10° , (Cu Ni) 43.60° , 51.10° , 78.30° , Al_3Zr 25.60° , 38.10° , 63.30° , Zr Si_2 38.60° , 81.10° , 83.20° , 84.70° , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ 36.60° , 43.10° , 49.20° , $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ 28.60° , 31.10° , 37.20° , 38.70° , 45.20° , 47.70° , 68.70° , 70.20° , 72.70° dir ve ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 fazına ait tane yapıları (114), (101), (200), Ni Si_2 fazına ait tane yapıları (220), (111), (422), (Cu Ni) fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), Zr Si_2 fazına ait tane yapıları (131), (021), (150), $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (202), (202), (111) belirlenmiştir. N3 numunesinde ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 , (Ni Si_2), (Cu Ni), (Al_3Zr), (Si_2Zr), ($\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$), ($\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$) bu fazların performans değerleri sırası ile (2.932), (1.783), (2.601), (3.206), (1.914), (3.049), (3.030) ve uzay grubu-uzay grubu numarası sırasıyla (221: Pm-3m), (225: Fm-3m), (225: Fm-3m), 139: I4/mmm), (63: Cmcm), (220: I-43d) ve (2: P-1) olarak görülmektedir.



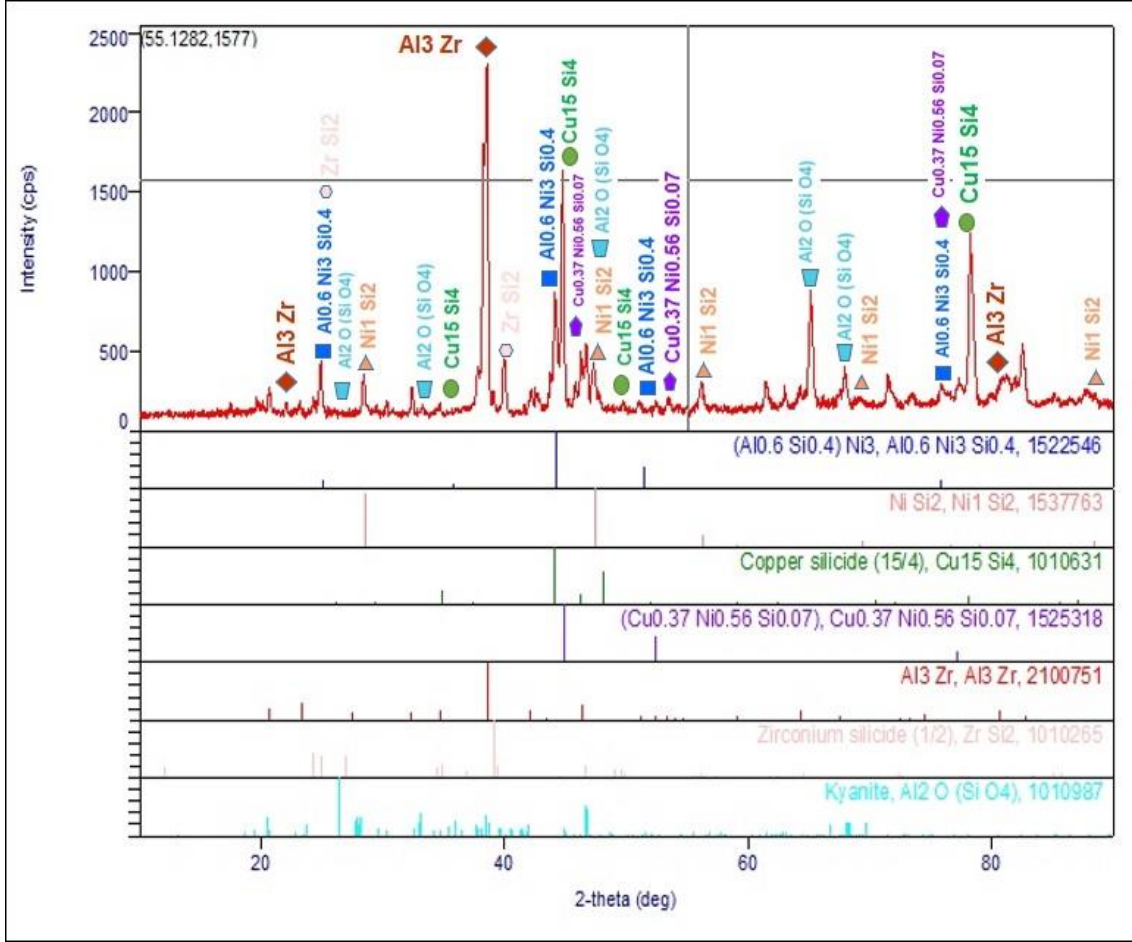
Şekil 3.5. N3 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü



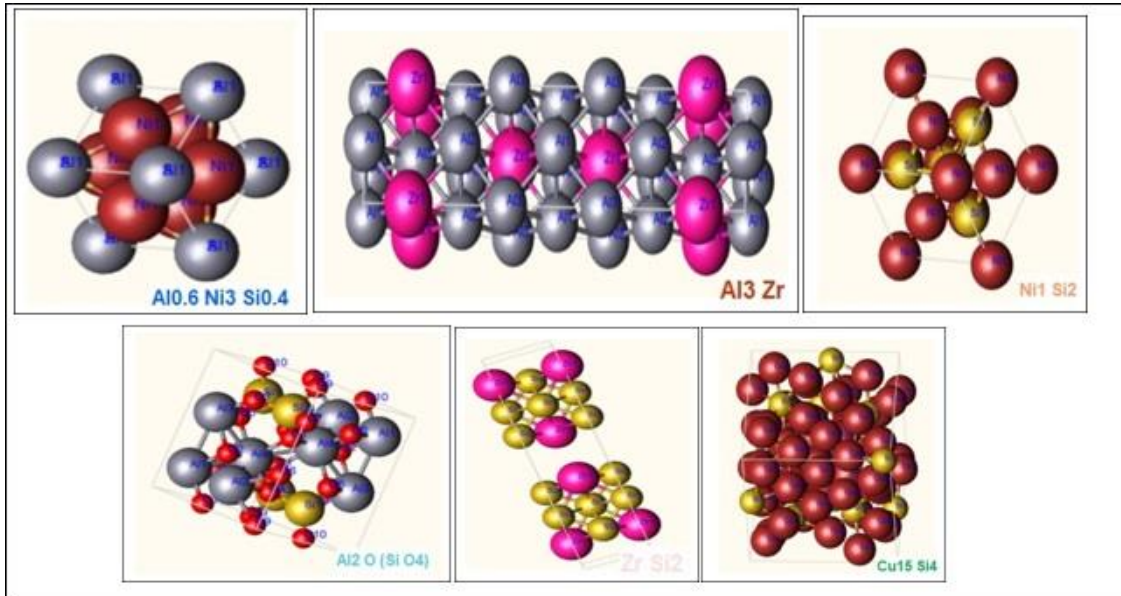
Şekil 3.6. N3 numeneye ait XRD molekül görünümü

3.9.4. N4 numunesine ait XRD analiz sonuçları

N4 numunesi için XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.7. de N4 numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 , NiSi_2 , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$, ($\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$), Al_3Zr , ZrSi_2 , ve $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 fazına ait pik açıları 25° , 44.10° , 51.20° , 77.60° , NiSi_2 fazına ait pik açıları 30° , 48.20° , 58.30° , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait pik açıları 37° , 44.30° , 49.40° , 78.90° , $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$ fazına ait pik açıları 45.20° , 57.20° , 78.60° , Al_3Zr fazına ait pik açıları 20.20° , 23.20° , 38.60° , 44.20° , 65.20° , 82.60° , ZrSi_2 fazına ait pik açıları 26.20° , 28.10° , 29.10° , 33.60° , 38.60° , $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait pik açıları 21.20° , 24.20° , 25.60° , 30.20° , 33.20° , 38.60° , 47.20° , 68.60° , 70.20° , 72.60° dir ve ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), NiSi_2 fazına ait tane yapıları (220), (111), (422), $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), ZrSi_2 fazına ait tane yapıları (131), (040), (200), $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (500) belirlenmiştir. N4 numunesinde ($\text{Al}_{0.6}\text{Si}_{0.4}$) Ni_3 , (NiSi_2), ($\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$), ($\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$), (Al_3Zr), (ZrSi_2) ve $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ bu fazların performans değerleri sırası ile (2.701), (2.661), (3.059), (3.123), (2.007), (3.010), (1.704) ve uzay grubu-uzay grubu numarası sırası ile (221: Pm-3m), (225: Fm-3m), (220: I-43d), (225: Fm-3m), (139: I4/mmm), (63: Cmcm) ve , 2: P-1) olarak tespit edilmiştir.



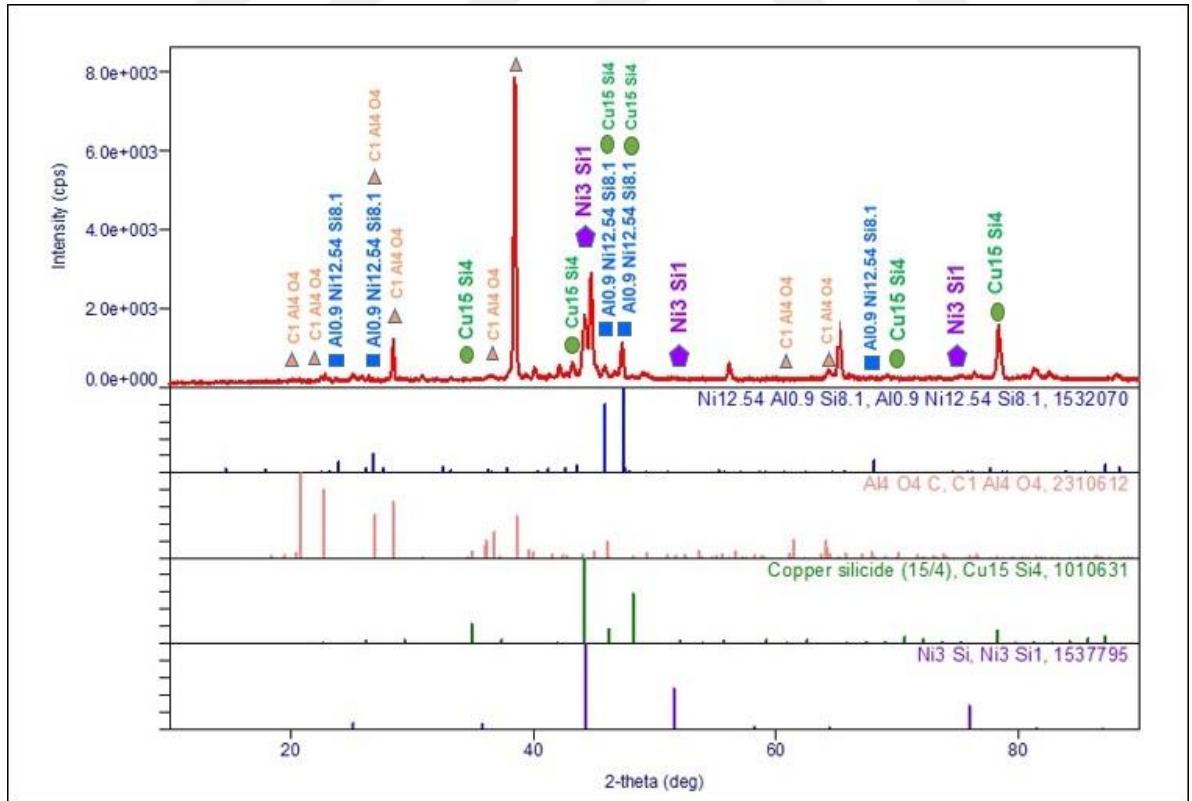
Şekil 3.7. N4 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü



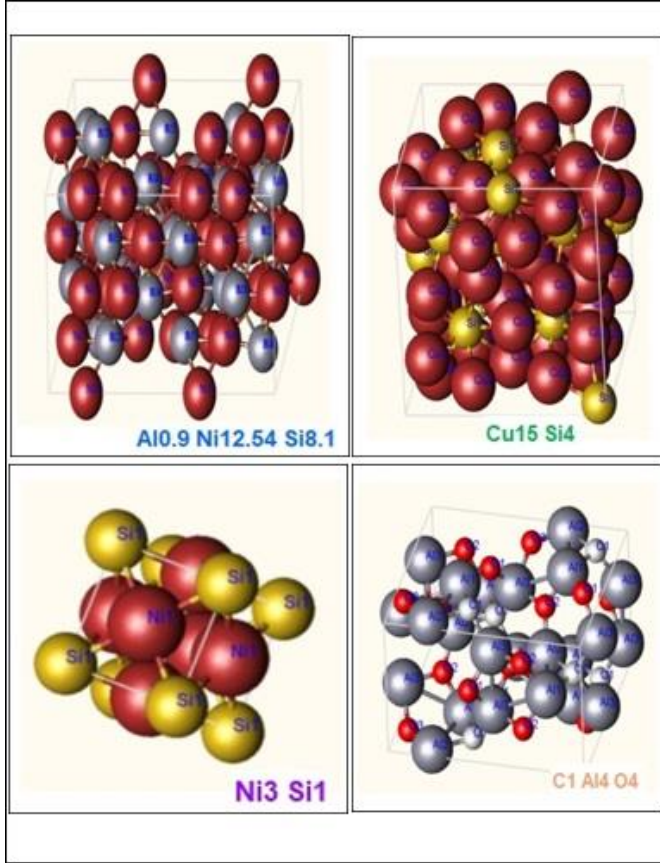
Şekil 3.8. N4 numeneye ait XRD molekül görünümü

3.9.5. N5 numunesine ait XRD analiz sonuçları

N5 numunenin XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.9. de N5 numunenin (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $\text{Ni}_{12.54} \text{Al}_{0.9} \text{Si}_{8.1}$, $\text{Al}_4 \text{O}_4 \text{C}$, $\text{Cu}_{15} \text{Si}_4$ ve $\text{Ni}_3 \text{Si}$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. $\text{Ni}_{12.54} \text{Al}_{0.9} \text{Si}_{8.1}$ fazına ait pik açıları 25° , 27.10° , 46.20° , 48.60° , 70.60° , $\text{Al}_4 \text{O}_4 \text{C}$ fazına ait pik açıları 21° , 23.10° , 27.20° , 29.60° , 36.60° , 38.20° , 61.60° , 63.60° , $\text{Cu}_{15} \text{Si}_4$ fazına ait pik açıları 35° , 45.10° , 50.20° , 78.60° , $\text{Ni}_3 \text{Si}$ fazına ait pik açıları 45° , 52.10° , 75.20° dir ve $\text{Ni}_{12.54} \text{Al}_{0.9} \text{Si}_{8.1}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), $\text{Al}_4 \text{O}_4 \text{C}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), $\text{Cu}_{15} \text{Si}_4$ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), $\text{Ni}_3 \text{Si}$ fazına ait tane yapıları (111), (220), (406) belirlenmiştir. N5 numunesinde ($\text{Ni}_{12.54} \text{Al}_{0.9} \text{Si}_{8.1}$), ($\text{Al}_4 \text{O}_4 \text{C}$), ($\text{Cu}_{15} \text{Si}_4$), ($\text{Ni}_3 \text{Si}$) bu fazların performans değerleri sırası ile (1.654), (3.144), (3.016), (2.878) ve uzay grubu-uzay grubu numarası sırası ile (152: P3121), (36: Cmc21), (220: I-43d), (221: Pm-3m) olarak görülmektedir. Bu da molekül şekillerinde farklılıkların olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.9. N5 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü

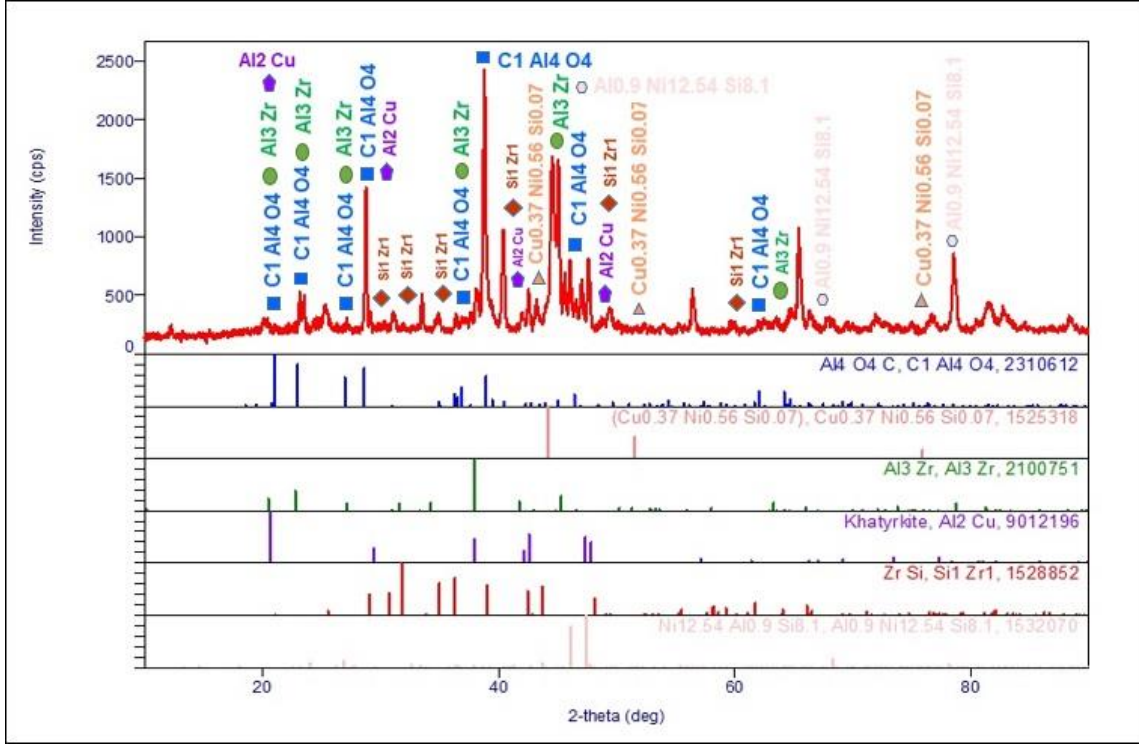


Şekil 3.10. N5 numeneye ait XRD molekül görünümü

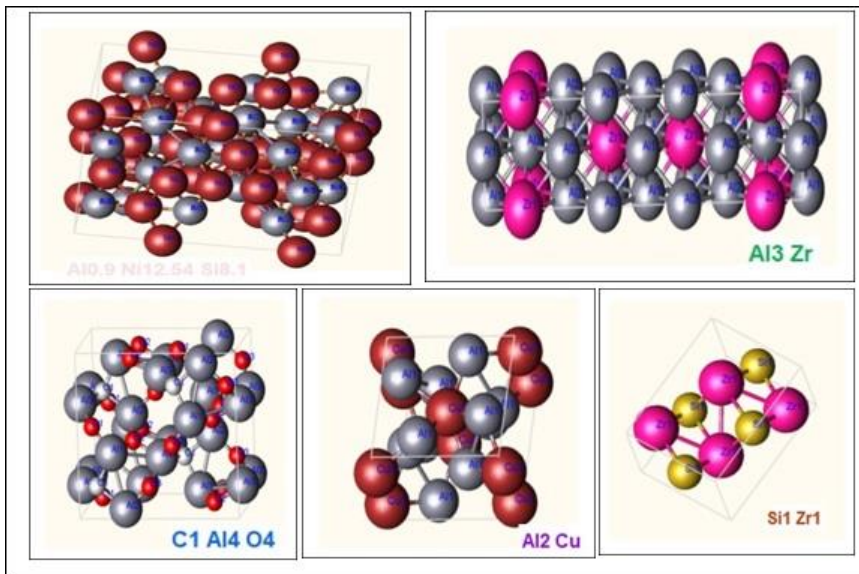
3.9.6. N6 numunesine ait XRD analiz sonuçları

N6 numunenin XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.11. de N6 numunenin (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$, Al_3Zr , Al_2Cu , ZrSi ve $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait pik açıları 21.20° , 23.10° , 27.20° , 31.60° , 36.60° , 38.10° , 67.20° , $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$ fazına ait pik açıları 46.20° , 53.10° , 77.20° , Al_3Zr fazına ait pik açıları 23.20° , 25.10° , 37.20° , 43.60° , 45.60° , 78.10° , Al_2Cu fazına ait pik açıları 21.20° , 30.10° , 37.20° , 44.60° , 47.60° , 48.10° , ZrSi fazına ait pik açıları 28.20° , 31.10° , 33.20° , 36.60° , 38.60° , 43.10° , 45.60° , 62.10° , $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ fazına ait pik açıları 46.10° , 48.60° , 70.10° dir ve $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), Al_2Cu fazına ait tane yapıları (110), (112), (202), ZrSi fazına ait tane yapıları (111), (112), (321), $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406) belirlenmiştir. N6 numunesinde ise ($\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$), ($\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$), (Al_3Zr), (Al_2Cu), (SiZr), ($\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$) bu fazların

performans değerleri sırası ile (1.999), (3.051), (3.007), (1.689), (3.360), (1.771) ve uzay grubu-uzay grubu numarası (36: Cmc21), (225: Fm-3m), (139: I4/mmm), (140: I4/mmm), (62: Pnma), (152: P3121) olarak görülmektedir. Bu da molekül şekillerinde farklılıkların olduğunu göstermektedir.



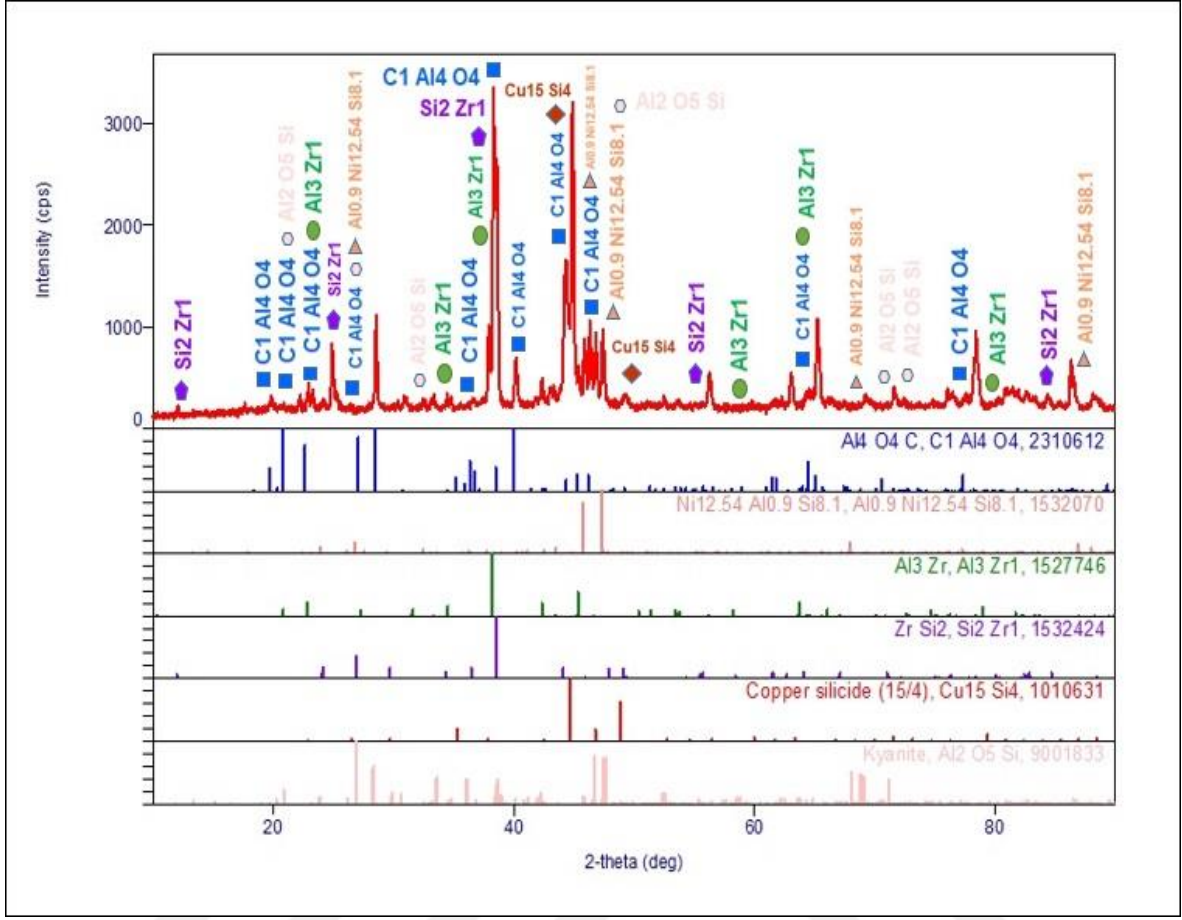
Şekil 3.11. N6 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü



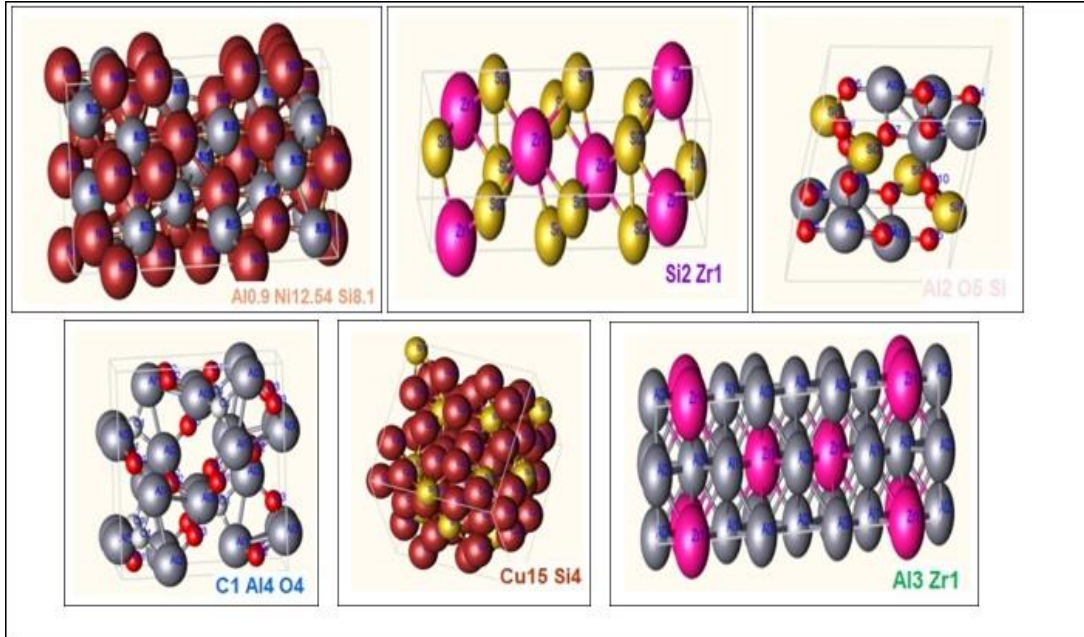
Şekil 3.12. N6 numeneye ait XRD molekül görünümü

3.9.7. N7 numunesine ait XRD analiz sonuçları

N7 numunenin XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.13. de N7 numunenin (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$, Al_3Zr , ZrSi_2 , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$, $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait pik açıları 18.20° , 20.10° , 23.20° , 30.60° , 38.60° , 65.10° , 77.20° , $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ fazına ait pik açıları 47.20° , 49.10° , 69.20° , 96.10° , Al_3Zr fazına ait pik açıları 23.20° , 25.10° , 36.20° , 38.10° , 47.20° , 64.10° , 78.20° , ZrSi_2 fazına ait pik açıları 28.20° , 38.10° , 48.20° , 50.10° , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait pik açıları 35.10° , 45.40° , 50.30° , $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait pik açıları 27.20° , 29.10° , 36.20° , 37.80° , 48.20° , 69.10° , 74.20° dir ve $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), $\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), ZrSi_2 fazına ait tane yapıları (131), (021), (150), $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (111) belirlenmiştir. N7 numunesinde ise ($\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$), ($\text{Ni}_{12.54}\text{Al}_{0.9}\text{Si}_{8.1}$), (Al_3Zr), (ZrSi_2), ($\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$), ($\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$) bu fazların performans değerleri sırası ile (2.050), (1.474), (1.761), (3.165), (3.341), (3.120) ve uzay grubu-uzay grubu numarası sırası ile (36: Cmc21), (152: P3121), (220:I4/mmm), (220: I-43d) ve (2: P-1) olarak görülmektedir. Bu da molekül şekillerinde farklılıkların olduğunu göstermektedir.



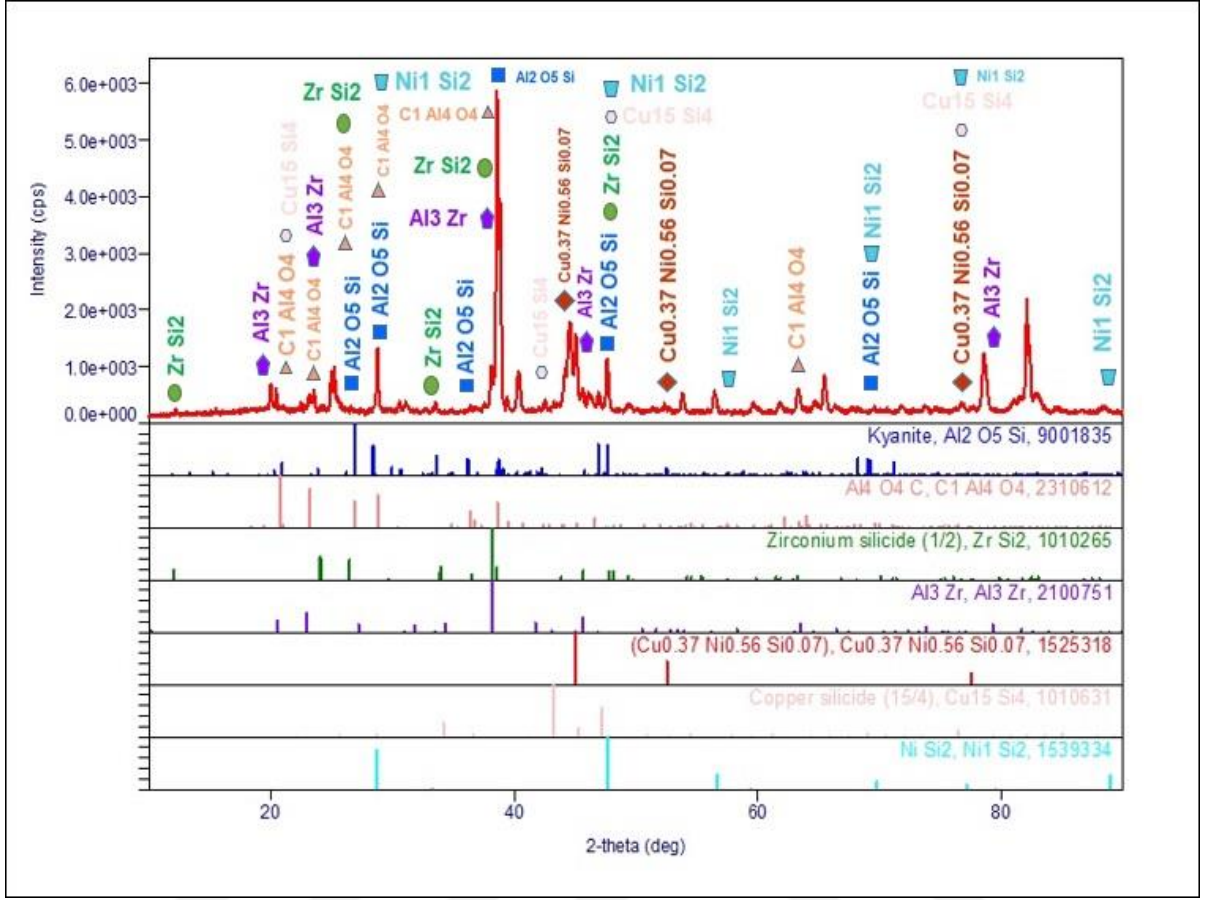
Şekil 3.13. N7 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü



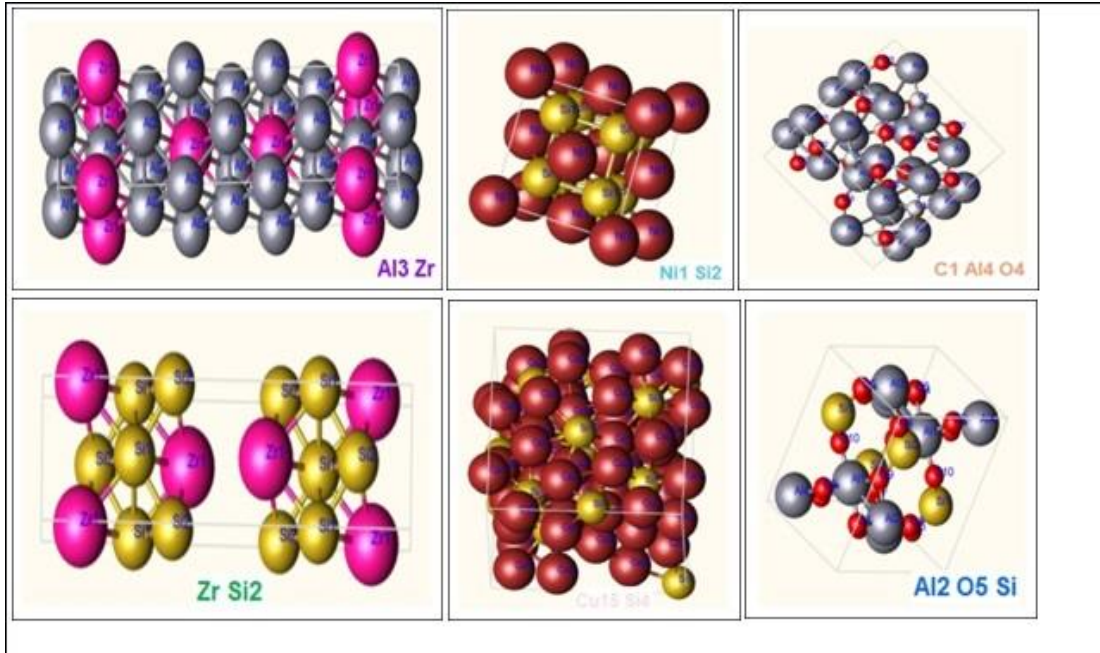
Şekil 3.14. N7 numeneye ait XRD molekül görünümü

3.9.8. N8 numunesine ait XRD analiz sonuçları

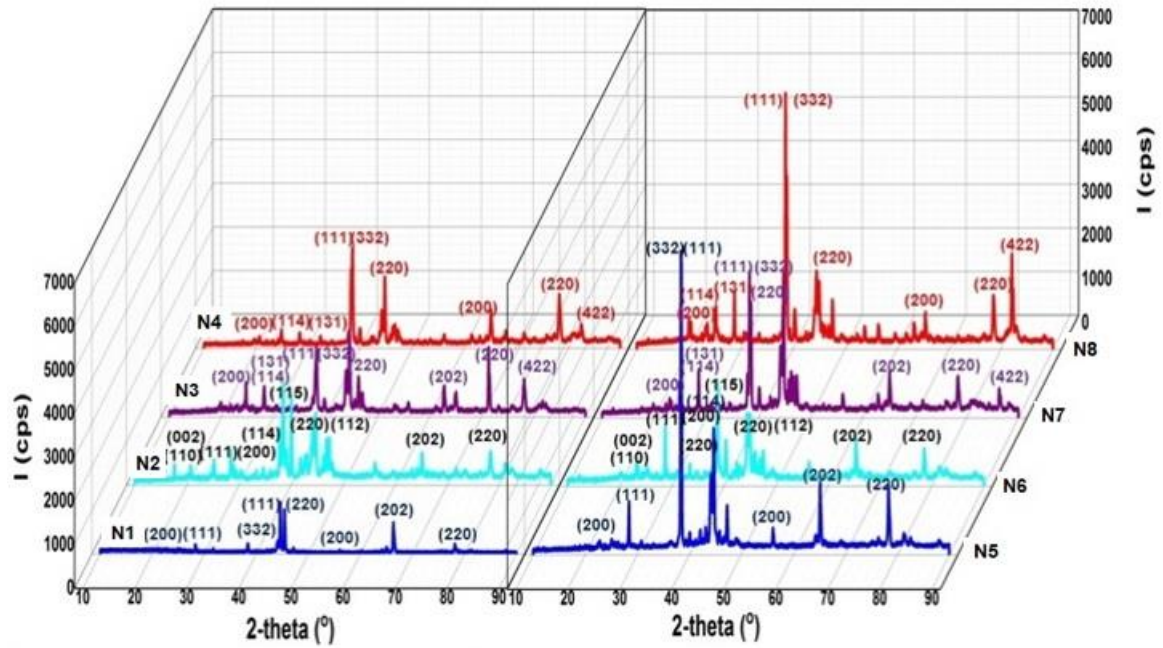
N8 numunenin XRD analizleri incelendiğinde Şekil 3.15. de N8 numunenin (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}$, $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, ZrSi_2 , Al_3Zr , $(\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07})$, $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$, NiSi_2 fazlarını içerdikleri pikler belirlenmiştir. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}$ fazına ait pik açıları 26.20° , 28.10° , 33.20° , 37.60° , 41.60° , 44.50° , 68.20° , 71.50° , 73.20° , $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait pik açıları 20.20° , 23.60° , 31.60° , 37.50° , 62.20° , 65.50° , ZrSi_2 fazına ait pik açıları 23.60° , 25.50° , 27.20° , 38.50° , 47.60° , 55.50° , Al_3Zr fazına ait pik açıları 20.60° , 23.50° , 38.20° , 48.50° , 78.50° , $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$ fazına ait pik açıları 46.60° , 51.50° , 77.20° , $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait pik açıları 36.60° , 43.50° , 47.20° , NiSi_2 fazına ait pik açıları 28.60° , 48.50° , 55.20° , 70.50° , 78.20° , 97.50° dir ve $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (111), $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), ZrSi_2 fazına ait tane yapıları (131), (021), (150), Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), $\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), NiSi_2 fazına ait tane yapıları (220), (111), (422) belirlenmiştir. N8 numunesinde ise ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}$), ($\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$), (ZrSi_2), (Al_3Zr), ($\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07}$), ($\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$) ve (NiSi_2) bu fazların performans değerleri sırası ile (2.996), (1.973), (3.313), (2.893), (2.985), (3.185), (1.495) ve uzay grubu-uzay grubu numarası sırası ile (2: P-1), (36: Cmc21), (63: Cmcn), (139: I4/mmm), (225: Fm-3m), (220: I-43d) ve (225: Fm-3m) olarak tespit edilmiştir. Bu da molekül şekillerinde farklılıkların olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.15. N8 numeneye ait XRD grafiği faz görünümü



Şekil 3.16. N8 numeneye ait XRD molekül görünümü



Alloys	Phase name, Formula	Phase data name	Molecule
N1 N5	(Al _{0.6} Si _{0.4})Ni ₃ , Al _{0.6} Ni ₃ Si _{0.4}	111, 200, 220	
	NiSi ₂ , Ni ₁ Si ₂	111, 220, 422	
	(CuNi), Cu ₁ Ni ₁	111, 200, 220	
	Copper silicide (15/4), Cu ₁₅ Si ₄	321, 332, 510	
	Kyanite, Al ₂ O ₅ Si	200, 202, 111	
N2 N6	Al ₃ Zr, Al ₃ Zr ₁	114, 101, 200	
	Khatyrkite, Al ₂ Cu	110, 112, 202	
	AlNi, AlNi	110, 211, 100	
	Ni ₃₁ Si ₁₂ , Ni ₃₁ Si ₁₂	115, 300, 121	
	(CuNi), Cu ₁ Ni ₁	111, 200, 220	
	ZrSi, Si ₁ Zr ₁	111, 112, 321	
	Ni _{12.54} Al _{0.9} Si _{8.1} , Al _{0.9} Ni _{12.54} Si _{8.1}	220, 200, 406	
	Hallowsite, (O ₂ H) ₈ Al ₂ Si ₂ O ₃	102, 132, 202	
N3 N7	(Al _{0.6} Si _{0.4})Ni ₃ , Al _{0.6} Ni ₃ Si _{0.4}	111, 200, 220	
	NiSi ₂ , Ni ₁ Si ₂	220, 111, 422	
	(CuNi), Cu ₁ Ni ₁	111, 200, 220	
	Al ₃ Zr, Al ₃ Zr ₁	114, 200, 101	
	ZrSi ₂ , Si ₂ Zr ₁	131, 021, 150	
	Copper silicide (15/4), Cu ₁₅ Si ₄	332, 510, 321	
	Kyanite, Al ₂ O ₅ Si	202, 202, 111	
N4 N8	(Al _{0.6} Si _{0.4})Ni ₃ , Al _{0.6} Ni ₃ Si _{0.4}	111, 200, 220	
	NiSi ₂ , Ni ₁ Si ₂	220, 111, 422	
	Copper silicide (15/4), Cu ₁₅ Si ₄	332, 510, 321	
	(Cu _{0.37} Ni _{0.56} Si _{0.07}), Cu _{0.37} Ni _{0.56} Si _{0.07}	111, 200, 220	
	Al ₃ Zr, Al ₃ Zr	114, 200, 101	
	Zirconium silicide (1/2), ZrSi ₂	131, 040, 200	
	Kyanite, Al ₂ O ₅ (SiO ₄)	200, 202, 500	

Şekil 3.17. XRD 3D, faz ve molekül görünümü

3.10. Aşınma Testi Sonuçları

Aşınma deneyi 30 N yük altında ve 500 metre kayma mesafesinde, 50 mm/sn kayma hızıyla, 120 d/dk da kuru aşındırıcı şartlarında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında ELKİMAK marka Aşınma Deney Düzenekinde yapılmıştır. Deney düzeneği görselleri aşağıdaki resimlerde gösterilmiştir.



Resim 3.34. Aşınma Deney Düzeneği

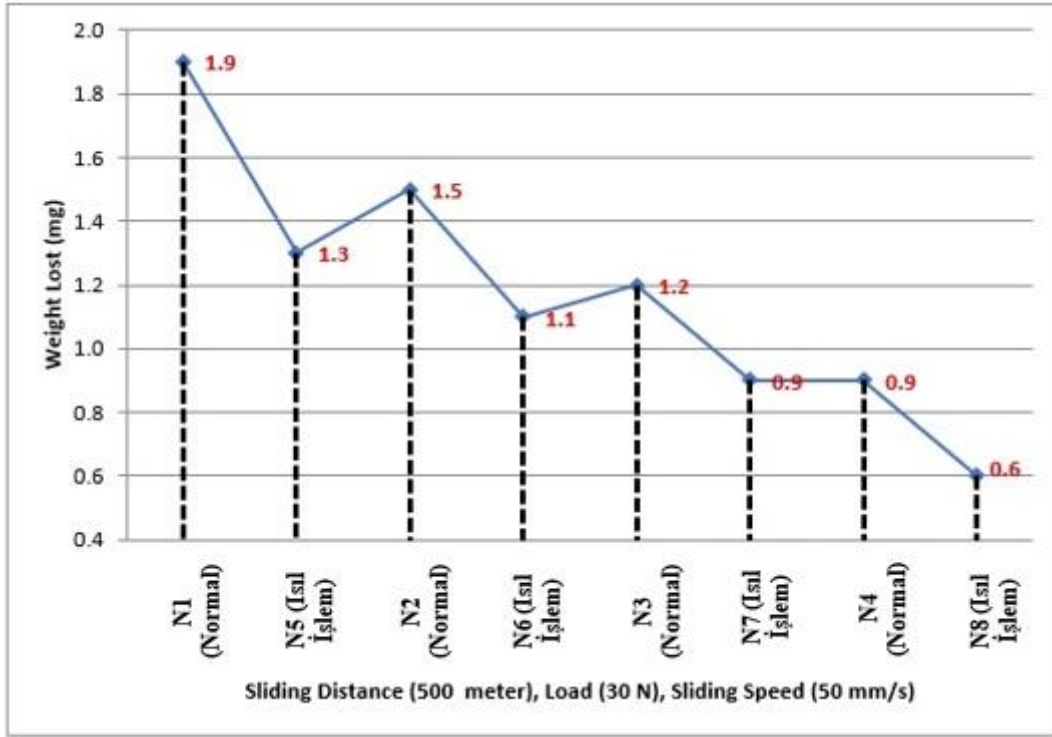


Resim 3.35. Aşınan Numuneler Ait Görseller

Numuneler, deney öncesinde ve deney sonrasında 10–4 g hassasiyetindeki dijital terazide tartılarak ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Aşınma deneyi verileri Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3.1. Aşınma Deneyi Sonuç Verileri

Numune Adı	başlangıç kütlesi (g)	500 m mesafe sonrası kütle (g)	kütle kaybı (mg)	Aşındırma Mesafesi (m)	Yük (N)	Aşındırma Hızı (mm/sn)	Dönme Hızı (d/dk)
N1 (Normal)	10,5169	10,5150	1,9	500	30	50	120
N5 (Isıl İşlem)	10,4863	10,4850	1,3	500	30	50	120
N2 (Normal)	10,6668	10,6653	1,5	500	30	50	120
N6 (Isıl İşlem)	9,7253	9,7242	1,1	500	30	50	120
N3 (Normal)	10,6858	10,6846	1,2	500	30	50	120
N7 (Isıl İşlem)	10,5024	10,5015	0,9	500	30	50	120
N4 (Normal)	11,1827	11,1818	0,9	500	30	50	120
N8 (Isıl İşlem)	10,1115	10,1109	0,6	500	30	50	120



Şekil 3.18. Numunelerinin aşınma kütle kaybı miktarları

3.10.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması

Isıl işlem uygulanmamış 4 farklı numunemiz N1, N2, N3 ve N4 numuneleri için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır. N1 (normal) 1.9 miligram, N2 (normal) 1.5 miligram, N3 (normal) 1.2 miligram ve N4 (normal) 0.9 miligram'dır.

3.10.2. Isıl işlemlili üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması

Isıl işlem uygulanmış 4 farklı numunemiz N5, N6, N7 ve N8 numuneleri için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır. N5 (ısıl işlem) 1.3 miligram, N6 (ısıl işlem) 1.1 miligram, N7 (ısıl işlem) 0.9 miligram ve N8 (ısıl işlem) 0.6 miligram'dır.

3.10.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıt işlemlü üretilen numenelerin karşılaştırılması

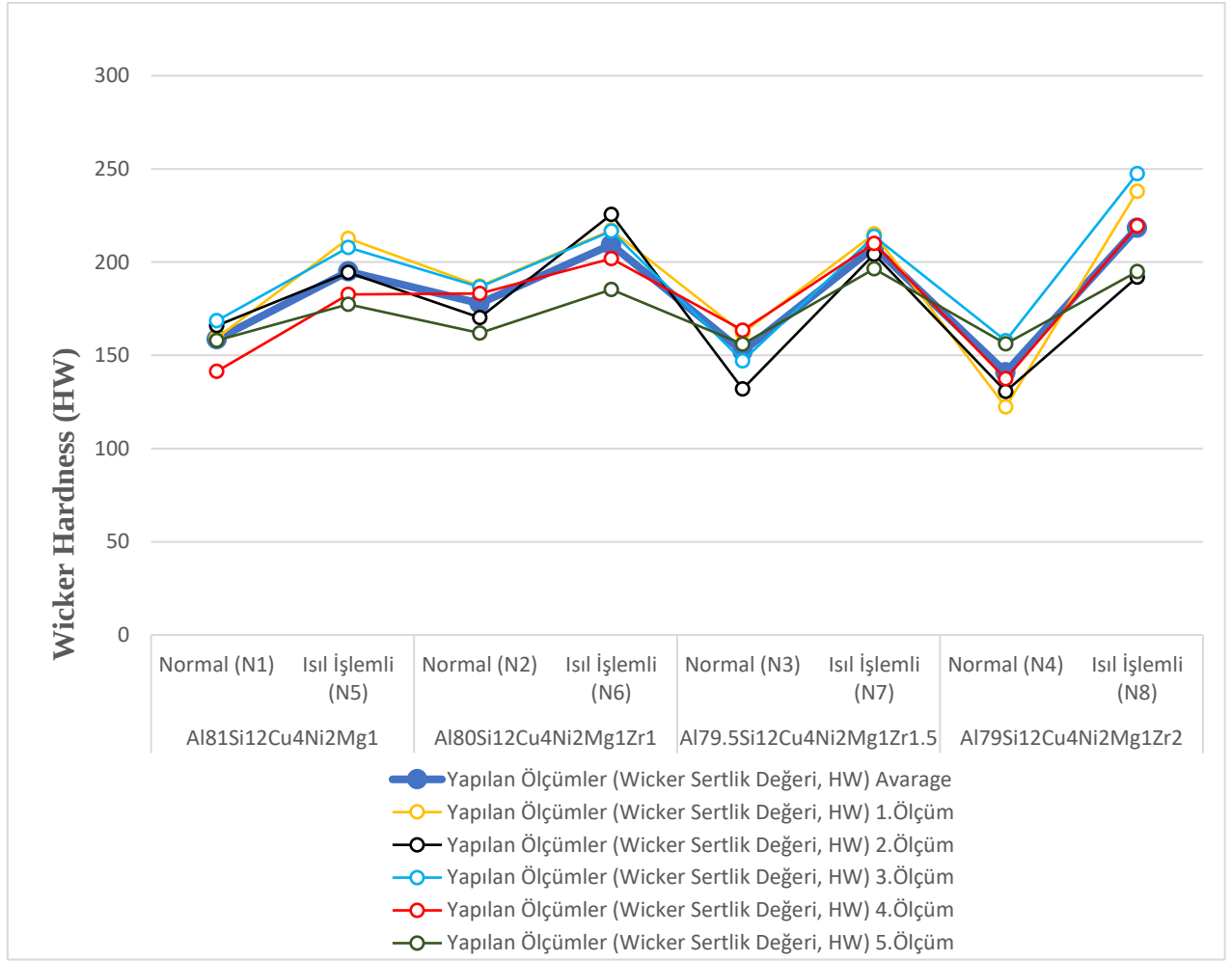
N1 (normal) numune ve N5 (ısıt işlem) numune kıyaslandığında oluşın aşınma kütle kayıpları 1.9 miligramdan, 1.3 miligrama düştüğü ve ısıt işlemin aşınma kütle kaybını 0.6 miligram azalttığı görülmüştür. N2 (normal) numune ve N6 (ısıt işlem) numune kıyaslandığında oluşın aşınma kütle kayıpları 1.5 miligramdan, 1.1 miligrama düştüğü ve ısıt işlemin aşınma kütle kaybını 0.4 miligram azalttığı görülmüştür. N3 (normal) numune ve N7 (ısıt işlem) numune kıyaslandığında oluşın aşınma kütle kayıpları 1.2 miligramdan, 0.9 miligrama düştüğü ve ısıt işlemin aşınma kütle kaybını 0.3 miligram azalttığı görülmüştür. N4 (normal) numune ve N8 (ısıt işlem) numune kıyaslandığında oluşın aşınma kütle kayıpları 0.9 miligramdan, 0.6 miligrama düştüğü ve ısıt işlemin aşınma kütle kaybını 0.3 miligram azalttığı görülmüştür. Yapılan aşınma deneyleri sonuçları neticesinde; ısıt işlemlü tüm numunelerde ısıt işlemsiz numunelere kıyasla kütle aşınma kaybının daha az olduğı görülmektedir. N1 numunesi alaşıımı ısıt işlemsiz / N5 ısıt işlemlü numunede en fazla kütle kaybı oluşturduğı ve kütle kaybı farkının en fazla olduğı görülmüktedir. N2 (normal) numunesi alaşıımı, N6 (ısıt işlem) numuneye kıyasla daha fazla aşındığını görülmektedir. N3 (normal) numunesi alaşıımı ile N7 (ısıt işlem) numuneye kıyasla daha fazla aşındığını görülmektedir. N4 (normal) numunesi alaşıımı ile N8 (ısıt işlem) numuneye kıyasla daha fazla aşındığını görülmektedir.

3.11. Mikro Sertlik Testi

Sertlik değerlerinin belirlenmesinde Wickers sertlik metodu kullanılmıştır. Çalışmamızda Al-Si-Ni-Cu-Mg-Zr ile alaşımlandırarak toz metalurjisi ve vakumlu ark ergitme yöntemiyle hazırladığımız 4 ü normal ve 4 ü ısıtılmış olan 8 farklı numune üzerinde sertlik ölçme cihazında 2,5 mm çapında bilya ile 30 kg'lık yükün 10 saniye tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Her numunenin ortalama beş farklı noktasından sertlik ölçümü alınıp, ortalama sertlik değerleri tespit edilmiştir. Sertlik ölçümleri testinde ortaya çıkan sonuçlar Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Sertlik Ölçüm Değerleri

Numune Adı	Durum (Normal / Isıl işlemlli	Yapılan Ölçümler (Wicker Sertlik Değeri, HW)					
		Ort.	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	5.Ölçüm
N1 / N5	Normal	158.6	159.3	165.9	168.6	141.4	158
	Isıl İşlemlli	195	212.6	194.5	207.8	182.7	177.4
N2 / N6	Normal	177.8	187.1	170.3	186.6	183.2	161.9
	Isıl İşlemlli	209.3	217.1	225.6	216.7	201.9	185.4
N3 / N7	Normal	152	161.9	132	147.1	163.4	156
	Isıl İşlemlli	207.9	215.2	204.3	213.8	210.1	196.4
N4 / N8	Normal	140.9	122.3	130.7	157.9	137.4	156.2
	Isıl İşlemlli	218.4	238	192	247.5	219.5	195



Şekil 3.19. Mikrosertlik ölçüm değerleri grafiği

3.11.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması

Isıl işleme tabi tutulmadan üretilen 4 farklı numunemiz N1 (normal) numunesi, N2 (normal) numunesi, N3 (normal) numunesi ve N4 (normal) numunesi için yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değeri hesaplamaları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır. N2 nolu (normal) 177.8 HW, N4 nolu (normal) 158.6 HW, N3 nolu (normal) 152.0 HW ve N1 nolu (normal) 140.9 HW'dir.

3.11.2. Isıl işleme üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle karşılaştırılması

Isıl işleme tabi tutulduktan sonra üretilen 4 farklı numunemiz N5 (ısıl işlem) numunesi, N6 (ısıl işlem) numunesi, N7 (ısıl işlem) numunesi ve N8 (ısıl işlem) numunesi için yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değeri hesaplamaları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır. N8 (ısıl işlem) 218.4 HW, N6 (ısıl işlem) 209.3 HW, N7 (ısıl işlem) 207.9 HW ve N5 (ısıl işlem) 195.0 HW'dir.

3.11.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıl işlemli üretilen numunelerin karşılaştırılması

N1 (normal) numune ve N5 (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 177.8 HW 'den 218.4 HW'ye çıktığı, zirkonyum elementinin numuneye mukavemet verdiğini göstermektedir. N2 (normal) numune ve N6 (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 158.6 HW 'dan 209.3 HW'ye çıktığı, zirkonyum elementinin numuneye mukavemet verdiğini göstermektedir. N3 (normal) numune ve N7 (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 152.0 HW 'den 207.9 HW'ye çıktığı, zirkonyum elementinin numuneye mukavemet verdiğini göstermektedir. N4 (normal) numune ve N8 (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 140.9 HW 'den 195.0 HW'ye çıktığı, Zirkonyum elementinin numuneye mukavemet verdiğini göstermektedir. Yapılan sertlik deneyleri sonuçları neticesinde; zirkonyum elementinin aşınma testinde malzemeye sertlik kazandırırken, ısıl işleme maruz kalan numunelerde de malzemeye mukavemet sağladığı görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında saf olan tozların bir araya getirilerek ark ergitme yöntemiyle oluşturulan numunelerin SEM görüntüleri, EDS analizleri, Mapping görüntüleri, XRD analizleri, aşınma testi ve mikro sertlik testleri yapılmıştır. Numunelerin SEM görüntüleri sırası ile Resim 3.2. N1, Resim 3.6. N2, Resim 3.10. N3, Resim 3.14. N4, Resim 3.18. N5, Resim 3.22. N6, Resim 3.26. N7, Resim 3.30. N8 de gösterilmektedir.

SEM-EDS-Mapping analizleri neticesinde;

Tüm numunelerde farklı büyütme ölçeklerinde (500x, 1000x, 2500x, ve 5000x) alınan SEM mikroyapı görüntüleri ile tane yapılarının korunduğu gözlemlenmiştir. Numunelerin bölgesel renklendirme görüntüleri neticesinde alaşım elementlerini ihtiva ettiği ancak farklı fazların oluşması nedeniyle başlangıç miktarlarına göre kütleli oranda değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerden alınan noktasal spektrum ölçümleri neticesinde alaşım elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca numuneler için alınan Element Gökkuşuğu Görüntülerinin bölgesel renklendirme görüntüleriyle benzerlik sağladığı görülmüştür. Isıl işleme maruz kalmış numunelerde fazlı oluşturan taneciklerin boyutunun küçük olduğu tespit edilmiştir. Isıl işleme maruz kalmamış numunelerle, ısıl işleme maruz kalmış numuneler kıyaslandığında tane sınırların daha belirgin olduğu, her iki numunelerde de birincil Al fazının morfoloji ve boyutu üzerinde çatlaklar görülmektedir.

XRD analizleri neticesinde;

N1 nolu numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $(Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni_3$, $Ni Si_2$, $Cu Ni$, $Cu_{15} Si_4$, $Al_2 O_5 Si$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. $Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni_3$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), $Ni Si_2$ fazına ait tane yapıları (111), (220), (420), $(Cu Ni)$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), $Cu_{15} Si_4$ fazına ait tane yapıları (321), (332), (510), $Al_2 O_5 Si$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (111) belirlenmiştir.

N2 nolu numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $Al_3 Zr$, $Al_2 Cu$, $Al Ni$, $Ni_{31} Si_{12}$, $Cu Ni$, $Zr Si$, $Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1}$, $(OH)_8 Al_2 Si_2 O_3$ ve $Al_2 O_5 Si$ fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. $Al_3 Zr$ fazına ait tane yapıları (114), (101), (200), $Al_2 Cu$ fazına ait tane yapıları (110), (112), (202), $Al Ni$ fazına ait tane yapıları (110), (211), (100), $Ni_{31} Si_{12}$ fazına ait tane yapıları (115), (300), (121), $Cu Ni$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), $Zr Si$ fazına ait tane yapıları (111), (112), (321), $Ni_{12.54} Al_{0.9}$

Si_{8.1} fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), (OH)₈ Al₂ Si₂ O₃ fazına ait tane yapıları (102), (132), (202), Al₂ O₅ Si fazına ait tane yapıları (200), (202), (142) belirlenmiştir.

N3 nolu numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. (Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni₃, Ni Si₂, Cu Ni, Al₃ Zr, Zr Si₂, Cu₁₅ Si₄ ve Al₂ O₅ Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. Al_{0.6} Si_{0.4} Ni₃ fazına ait tane yapıları (114), (101), (200), Ni Si₂ fazına ait tane yapıları (220), (111), (422), (Cu Ni) fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Al₃ Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), Zr Si₂ fazına ait tane yapıları (131), (021), (150), Cu₁₅ Si₄ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), Al₂ O₅ Si fazına ait tane yapıları (202), (202), (111) belirlenmiştir.

N4 nolu numunenin (normal) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. (Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni₃, Ni Si₂, Cu₁₅ Si₄, (Cu_{0.37} Ni_{0.56} Si_{0.07}), Al₃ Zr, Zr Si₂, ve Al₂ O₅ Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. (Al_{0.6} Si_{0.4}) Ni₃ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Ni Si₂ fazına ait tane yapıları (220), (111), (422), Cu₁₅ Si₄ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), (Cu_{0.37} Ni_{0.56} Si_{0.07}) fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Al₃ Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), Zr Si₂ fazına ait tane yapıları (131), (040), (200), Al₂ O₅ Si fazına ait tane yapıları (200), (202), (500) belirlenmiştir.

N5 numunesinin (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1}, Al₄ O₄ C, Cu₁₅ Si₄ ve Ni₃ Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1} fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), Al₄ O₄ C fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), Cu₁₅ Si₄ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), Ni₃ Si fazına ait tane yapıları (111), (220), (406) belirlenmiştir.

N6 nolu numunenin XRD analizleri incelendiğinde (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. Al₄ O₄ C, Cu_{0.37} Ni_{0.56} Si_{0.07}, Al₃ Zr, Al₂ Cu, Zr Si ve Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1} Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. Al₄ O₄ C fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), Cu_{0.37} Ni_{0.56} Si_{0.07} fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), Al₃ Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), Al₂ Cu fazına ait tane yapıları (110), (112), (202), Zr Si fazına ait tane yapıları (111), (112), (321), Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1} fazına ait tane yapıları (220), (200), (406) belirlenmiştir.

N7 nolu numunenin (ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. Al₄ O₄ C, Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1}, Al₃ Zr, Zr Si₂, Cu₁₅ Si₄, Al₂ O₅ Si fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. Al₄ O₄ C fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), Ni_{12.54} Al_{0.9} Si_{8.1} fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), Al₃ Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), Zr Si₂ fazına ait tane yapıları (131), (021), (150), Cu₁₅ Si₄ fazına ait tane

yapıları (332), (510), (321), $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (111) belirlenmiştir.

N8 nolu numunenin (ısıtıl işlemli) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$, $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, ZrSi_2 , Al_3Zr , $(\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07})$, $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$, NiSi_2 fazlarını içerdiği pikler belirlenmiştir. $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ fazına ait tane yapıları (200), (202), (111), $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ fazına ait tane yapıları (220), (200), (406), ZrSi_2 fazına ait tane yapıları (131), (021), (150), Al_3Zr fazına ait tane yapıları (114), (200), (101), $(\text{Cu}_{0.37}\text{Ni}_{0.56}\text{Si}_{0.07})$ fazına ait tane yapıları (111), (200), (220), $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ fazına ait tane yapıları (332), (510), (321), NiSi_2 fazına ait tane yapıları (220), (111), (422) belirlenmiştir.

Aşınma deneyi neticesinde;

Isıl işlem uygulanmamış numuneler için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru N1 1.9 miligram, N2 1.5 miligram, N3 1.2 miligram ve N4 numunesi 0.9 miligram olarak ölçülmüştür. Isıl işlem uygulanmış numuneler için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru N5 1.3 miligram, N6 1.1 miligram, N7 0.9 miligram ve N8 numunesi 0.6 miligram olarak ölçülmüştür. Isıl işlemli tüm numunelerde, ısıtıl işlemsiz numunelere kıyasla kütle aşınma kaybının daha az olduğu tespit edilmiştir. N1 (normal) numunesinde en fazla kütle kaybı oluşurken, N5 (ısıtıl işlem) numunesinde aşınma kütle kaybı farkının en fazla olduğu (1.9 miligramdan, 1.3 miligrama düştüğü ve aşınma kütle kaybı farkının 0,6 miligram olduğu) tespit edilmiştir. N2 (normal) numunesinde kütle kaybı ile, N6 (ısıtıl işlem) numunesinde aşınma kütle kaybı farkı (1.5 miligramdan, 1.1 miligrama düştüğü ve aşınma kütle kaybı farkının 0,4 miligram olduğu) tespit edilmiştir. N3 (normal) numunesinde kütle kaybı ile, N7 (ısıtıl işlem) numunesinde aşınma kütle kaybı farkı (1.5 miligramdan, 1.1 miligrama düştüğü ve aşınma kütle kaybı farkının 0,4 miligram olduğu) tespit edilmiştir. N4 (normal) numunesinde kütle kaybı ile, N8 (ısıtıl işlem) numunesinde aşınma kütle kaybı farkı (0.9 miligramdan, 0.6 miligrama düştüğü ve aşınma kütle kaybı farkının 0,3 miligram olduğu) tespit edilmiştir.

Mikro sertlik neticesinde;

Isıl işleme tabi tutulmadan üretilen numunelerin yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değerinin büyükten küçüğe doğru N2 (normal) numunesi 177.8 HW, N1 (normal) numunesi 158.6 HW, N3 (normal) numunesi 152.0 HW ve N4 (normal) numunesi 140.9 HW olarak hesaplandığı tespit edilmiştir. Isıl işleme tabi tutularak üretilen numunelerin yapılan beş farklı noktadan ölçüm

alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değerinin büyükten küçüğe doğru N8 (ısıl işlem) numunesi 218.4 HW, N6 (ısıl işlem) numunesi 209.3 HW, N7 (ısıl işlem) numunesi 207.9 HW ve N5 (ısıl işlem) numunesi 195.0 HW olarak hesaplandığı tespit edilmiştir. N1 (normal) numunesinde sertlik değeri 158.6 HW iken, N5 (ısıl işlem) numunesinde sertlik değeri 195.0 HW dir. Zirkonyum elementi ısıl işleme maruz kalan numuneye sertlik kazandırarak mukavemet vermiştir. N2 (normal) numunesinde sertlik değeri 177.8 HW iken, N6 (ısıl işlem) numunesinde sertlik değeri 209.3 HW dir. Zirkonyum elementi ısıl işleme maruz kalan numuneye sertlik kazandırarak mukavemet vermiştir. N3 (normal) numunesinde sertlik değeri 152.0 HW iken, N7 (ısıl işlem) numunesinde sertlik değeri 207.9 HW dir. Zirkonyum elementi ısıl işleme maruz kalan numuneye sertlik kazandırarak mukavemet vermiştir. N4 (normal) numunesinde sertlik değeri 140.9 HW iken, N8 (ısıl işlem) numunesinde sertlik değeri 218.4 HW dir. Zirkonyum elementi ısıl işleme maruz kalan numuneye sertlik kazandırarak mukavemet vermiştir.

Zirkonyum elementi alaşımlara mukavemet vermektedir. Isıl işlem uygulamasında da bu durumu görmekteyiz. Aşınma testi ve mikro sertlik ölçümlerinde görüldüğü gibi ısıl işlem uygulanmış numunelerde zirkonyum elementi numunelere sertlik kazandırmıştır. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda ısıl işleme tabii tutulan numunelerdeki (N5, N6, N7, N8) kütle kaybı, ısıl işleme tabii tutulmayan numunelerdeki (N1, N2, N3, N4) kütle kaybından daha azdır. Mikro sertlik ölçümlerine baktığımızda ise yine ısıl işleme tabii tutulan numunelerin (N5, N6, N7, N8) sertlik ölçümlerinin, ısıl işleme tabii tutulmayan numunelerdeki (N1, N2, N3, N4) sertlik ölçümlerinden daha yüksektir. Bu durum Zirkonyum elementinin alaşımlara sertlik kazandırdığını göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

- Anık, E.S., Varol, M.,** 2000. 1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Askeland, D. R.,** 2002. Malzeme bilim ve mühendislik malzemeleri, Cilt 1, Nobel Yayınları, Ankara.
- ASTM,** 1990. Standard test method for wear testing with a pin on disk apparatus, 399-403.
- Başer, T. A.,** 2013. "Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı," *Mühendis ve Makine Dergisi* Vol 53, 51-58.
- Bolton, W.,** 1993. Engineering materials technology 2nd. edition, B.H Newness, Oxford, 271-280.
- Canbaz, E.,** 2021. Zr ve/veya V İlavesinin Al-Si alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi* , Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Delgado N. S., Rodriguez-Rey A., Suarez del Rio L. M., Sarria I.D., Calleja K., Ruiz de Argandona V. G.,** The influence of rock microhardness on the sawability of pink porriño granite (Spain). *International journal of rock Mechanics and Mining Sciences* 2005;42-1 :161-166.
- Eruslu, N., Altmışoğlu, A., & Taptık, Y.,** 1990. Alaşımlar ders notu, İTÜ, İstanbul, 86-97.
- Ghamei Gumi, J.,** 1989. Al- %3 Li- % 0,15 Zr alaşımlarının mekanik davranışına yaşlanma etkisi, *Doktora Tezi* , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koç, R., Mutlu, İ.,** 2005. Recep KOÇ, İbrahim MUTLU(2005) Poli-Oksi-Metilen (Pom) ve mompozitlerinin abrasiv aşınma davranışları, *Teknoloji Dergisi*, Sayı2, 199–205.
- Kalhapure, M. G. & Dighe, P. M.,** 2015. Impact of silicon content on mechanical properties of aluminum alloys, *International journal of Science and Research* 4, 38-40.
- Klar, E., and Fesko, J.W.,** 1984. Production of metal powders, metals handbook, 9th ed. Vol. 7, *Powder Metallurgy*, 25 – 51, Ohio.
- Kural, S.,** 2019. Seyreltik Al esaslı ikili alaşımlarının ısısal iletkenlik ve katı-sıvı arayüzey enerjilerinin ölçülmesi, *Yüksek Lisans Tezi* , Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Mohamed, A. M. A., & Samuel, F. H.,** 2012. A review on the heat treatment of Al-Si-Cu/Mg casting alloys, heat treatment-vonventional and novel applications, 55-72.
- Pickens, J.R.,** 1990. Introduction to aluminium and aluminium alloys, ASM handbook, properties and selection: Nonferrous alloys and special- purpose materials, 2, 724-750, ASM International, Ohio, ABD.
- Rooy, E. L.,** 1990. Introduction to aluminum and aluminum alloys. ASM International, metals handbook, tenth edition 2, 3-14.
- Rana, R. S., Purohit, R., & Das, S.,** 2012. Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites, *International journal of scientific and research publications* 2(6), 1-7.
- Sharma, R. Anesh. And Dwivedi, D. K.,** 2005. Influence of silicon (wt %) and heat treatment on abrasive wear behaviour of cast Al–Si–Mg alloys, *Materials Science and Engineering A* 408, 274-280.
- Sarsılmaz, F.,** 2008. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AA7075/AA6061 kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 4-16.
- Sigworth, G. K.,** 2014. Fundamentals of solidification in aluminum castings, *International Journal of Metalcasting* 8(1), 7-20.
- Smallman, R.E.,** 1985. Modern physical metalurgy, Birmingham, Butterworth & Co, Londra.
- Smith R.L. & Sandland G.E.,** “An accurate method of determining the hardness of metals, with particular reference to those of a high degree of hardness,”*Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*.Vol. I, 1922. p 623-641.
- Shaha, S. K., Czerwinski, F., Kasprzak, W., Friedman, J. ve Chen, D. L. (2015)** Microstructure and mechanical properties of Al-Si cast alloy with additions of Zr-Ti-V, materials & design, 83, 801-812. doi:10.1016/j.matdes.2015.05.057.
- Shaha, S. K., Czerwinski, F., Kasprzak, W., Friedman, J., & Chen, D. L.,** 2014, Thermal stability of (AlSi) x (ZrVTi) intermetallic phases in the Al–Si–Cu–Mg cast alloy with additions of Ti, V and Zr, *Thermochimica Acta* 595, 11-16.
- Töre, C.,** 2012. Mekanik tasarımda alüminyum ve özellikleri, *Makine Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Tekin, M.,** 2017. Termal kararlı Fe-Ni-Zr alaşımlarının aşınma ve derinlik duyarlı indentasyon davranışının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi* , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tecer, H., 2013. Alüminyum-Zirkonyum ikili alaşımanın elektriksel iletkenlik ve çekme mukavemeti özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi* , Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uyaroğlu, A., Yücesu, H. S., & Çıtak, R., 2010. Piston arızalarının analizi, *Konya Teknik Üniversitesi, Selçuk Teknik Dergisi* 9(2), 110-130.

URL-1, http://en.wikipedia.org/wiki/Vickers_hardness_test#cite_ref-3

URL-2, <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/microhardness.htm>

Vatansever, F., Ertürk, A.T., Karabay, S., Alüminyum-Silisyum alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin T6 ısıt işlemleri ile iyileştirilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt 20, Sayı 60, Eylül, 2018.

Xie J., Tamai, J. Parameterization of micro-hardness distribution in granite related to abrasive machining performance. *J.Mater.Process.Technology* 2007; 186: 253-258.

Yavuz, H.G., 2010. Mikro ark oksidasyon işlemi uygulanan AZ91 kalite magnezyum alaşımlarının yüzey özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Zhang, M., Liu, K., Han, J., Qian, F., Wang, J., & Guan, S., 2021. Investigating the role of Cu, Zr and V on the evolution of microstructure and properties of Al-Si-Mg cast alloys. *Materials today communications* 26, 102055.