

T.C.

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**Fe-Si-B ALAŞIMINA Ni-Co-Cr ELEMENTLERİNİN İLAVESİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENENMESİ**

Fatih TAŞAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN

Doc.Dr Yahya TAŞGIN

TUNCELİ – 2023

T.C.

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**Fe-Si-B ALAŞIMINA Ni-Co-Cr ELEMENTLERİNİN İLAVESİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENENMESİ**

Fatih TAŞAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN

Doc.Dr Yahya TAŞGIN

TUNCELİ – 2023

T.C.

MUNZUR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**Fe-Si-B ALAŞIMINA Ni-Co-Cr ELEMENTLERİNİN İLAVESİNİN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENENMESİ**

**Fatih TAŞAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 14/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

İmza:.....

İmza:.....

Doç.Dr.Yahya TAŞGIN
(Munzur Üniversitesi)

Doç.Dr.Uğur ÇALIGÜLÜ
(Fırat Üniversitesi)

Doç.Dr.GökhanKAHRAMAN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği AnabilimDalı'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.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Yüksek Lisans Öğrencisi
Fatih TAŞAR

Danışman
Doç.Dr. Yahya TAŞGIN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez sürecimde, tez konumu belirlememde ve tez çalışmalarım süresince engin bilgi ve birikimini bana aktaran, ilgi, alaka ve yardımlarını esirgemeyen, deneysel çalışmalarım boyunca daha önce kendi çalışmalarında edinmiş olduğu bilgi ve deneyimleriyle değerli danışman hocam Doç. Dr. Yahya TAŞGIN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Fatih TAŞAR
Tunceli - 2023



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Amorf Alaşımlı Metalik Camlar.....	3
1.3. Metalik Camların Kullanımı.....	4
1.4. Amorf Alaşımlı Metalik Camlar Üretim Yöntemleri	6
1.4.1. Amorf alaşımlar.....	6
1.4.2. Fe ve Ni esaslı amorf alaşımlar	6
1.4.3. Bor katkılı amorf alaşımlar.....	7
1.5. Manyetik Malzemeler.....	7
1.5.1. Fe esaslı amorf yumuşak manyetik malzemeler.....	9
1.5.2. Ni esaslı amorf yumuşak manyetik malzemeler.....	9
1.5.3. Fe ve Ni esaslı amorf yumuşak manyetik malzemeler.....	9
1.6. Alaşım Elementleri ve Özellikleri	10
1.6.1. Demir.....	10
1.6.2. Bor	10
1.6.3. Silisyum.....	12
1.6.4. Nikel	12
1.6.5. Krom.....	13
1.6.6. Kobalt	13
2. MATERYEL VE METOD	14
2.1. Fe-Si-B ve Katkı Elementleri Tozları Alaşım Numuneleri Hazırlama	14
2.2. Tozların Karıştırılması.....	14
2.3. Tozların Preslenmesi ve Şekillendirme	15
2.4. Alaşım Numunelerinin Üretilmesi	17
2.4.1. Ark eritme sistemi (vakum ark melting).....	17
2.4.2. Isıl işlem	20
2.5. Üretilen Numunelerin Metalurjik Çalışmalar İçin Hazırlanması	21
2.5.1. Numune alınması.....	21
2.5.2. Numunenin kalıplanması.....	21
2.5.3. Zımparalama.....	22
2.5.4. Dağlama.....	23
2.6. Numunelerin Analiz ve Test İşlemleri.....	25
2.7. Mikro Sertlik Ölçümlerinin Yapılması.....	26
2.7. Aşınma Deneyinin Yapılması.....	27
2.8. XRD Analizlerinin Yapılması	29
2.9. SEM Görüntülerinin Alınması ve EDS Mapping Analizlerinin Yapılması	31
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1. Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları	33
3.1.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması	34

3.1.2. Isıl işlemle üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması.....	35
3.1.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıtıl işlemli üretilen numunelerin kıyaslanması.....	35
3.2. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	36
3.2.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması	37
3.1.2. Isıl işlemle üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması.....	38
3.1.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıtıl işlemli üretilen numunelerin kıyaslanması.....	38
3.3. XRD Analizi Sonuçlar.....	39
3.4. SEM - EDS Analiz Sonuçları	44
3.4.1. F1 nolu FeSiB-N (normal) numunesi SEM-EDS analizi	44
3.4.2. F2 nolu FeSiB-Ni-N (normal) numunesi SEM-EDS analizi.....	48
3.4.3. F3 nolu FeSiB-Co-N (normal) numunesi SEM-EDS analizi	52
3.4.4. F4 nolu FeSiB-Cr-N (normal) numunesi SEM-EDS analizi.....	56
3.4.5. F11 nolu FeSiB-I (ısıtıl işlem) numunesi SEM-EDS analizi.....	60
3.4.6. F22 nolu FeSiB-Ni-I (ısıtıl işlem) numunesi SEM-EDS analizi	64
3.4.7. F33 nolu FeSiB-Co-I (ısıtıl işlem) numunesi SEM-EDS analizi.....	68
3.4.8. F44 nolu FeSiB-Cr-I (ısıtıl işlem) numunesi SEM-EDS analizi	72
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
5. KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Toz metalürjisi ile üretilmiş olan çeşitli parçalar	2
Şekil 1.2. FeSiB Alaşımli şerit trafo çekirdek malzemesi.....	3
Şekil 2.3. Tozların Karıştırılması	15
Şekil 2.4. Toz Sıkıştırma Presi	16
Şekil 2.5. Ark Eritme Sistemi.....	17
Şekil 2.6. Ark Eritme Sistemi ve Bölümleri.....	18
Şekil 2.7. Üretilen Numeneler (1.numune $Fe_{85}Si_7B_8$, 2.numune $Fe_{75}Si_7B_8Ni_{10}$, 3.numune $Fe_{75}Si_7B_8Co_{10}$, 4.numune $Fe_{75}Si_7B_8Cr_{10}$)	19
Şekil 2.8. a) Isıl işlem fırını, b) fırının yandan görünüşü	20
Şekil 2.9. Parlatma (a) ve Kesme (b) cihazı	22
Şekil 2.10. Metalografik Çalışma İçin Hazır Hale Getirilen Numeneler	24
Şekil 2.11. Metalografik Çalışma İçin Hazır Hale Getirilen Bakalite Alınmış Numuneler	24
Şekil 2.12. Toz Analizi Şematik Gösterimi.....	25
Şekil 2.13. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı	26
Şekil 2.14. Aşınma Deney Düzeneği.....	28
Şekil 2.15. Aşınan Numuneler Ait Görseller	29
Şekil 2.16. XRD Cihazı.....	30
Şekil 2.17. SEM Elektron Mikroskobu	32
Şekil 3.18. Mikrosertlik Ölçüm Değerleri Grafiği	34
Şekil 3.19. Fe-Si-B Numunelerinin Aşınma Kütle Kaybı Miktarları	37
Şekil 3.20. F1 ve F11 Numunelerine Ait XRD Grafiği Faz Görünümü	40
Şekil 3.21. F2 ve F22 Numunelerine Ait XRD Grafiği Faz Görünümü	41
Şekil 3.22. F3 ve F33 Numunelerine Ait XRD Grafiği Faz Görünümü	42
Şekil 3.23. F4 ve F44 Numunelerine Ait XRD Grafiği Faz Görünümü	43
Şekil 3.24. XRD 3D, faz ve molekül görünümü	44
Şekil 3.25. FeSiB alaşımli F1 Numunesi için farklı büyütme ölçeklerinde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	45
Şekil 3.26. FeSiB alaşımli F1 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri.....	46
Şekil 3.27. FeSiB alaşımli F1 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri.....	47
Şekil 3.28. FeSiB alaşımli F1 Numunesine ait Meping analizi elementer göçkuşaklı görünümü	48
Şekil 3.29. FeSiB-Ni alaşımli F2 Numunesi için farklı büyütme ölçeklerinde alınan SEM Mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	49
Şekil 3.30. FeSiB-Ni alaşımli F2 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri	50
Şekil 3.31. FeSiB-Ni alaşımli F2 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri	51
Şekil 3.32. FeSiB-Ni alaşımli F2 Numunesine ait Meping analizi elementer göçkuşaklı görünümü	52
Şekil 3.33. FeSiB-Co alaşımli F3 Numunesi için farklı büyütme ölçeklerinde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (100x, 500x, 1000x, 2000x).....	53
Şekil 3.34. FeSiB-Co alaşımli F3 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri.....	54
Şekil 3.35. FeSiB-Co alaşımli F3 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri.....	55
Şekil 3.36. FeSiB-Co alaşımli F3 Numunesine ait Meping analizi elementer göçkuşaklı görünümü	56
Şekil 3.37. FeSiB-Cr alaşımli F4 Numunesi için farklı büyütme ölçeklerinde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	57
Şekil 3.38. FeSiB-Cr alaşımli F4 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri	58
Şekil 3.39. FeSiB-Cr alaşımli F4 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri	59

Şekil 3.40. FeSiB-Cr alaşımlı F4 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü	60
Şekil 3.41. FeSiB alaşımlı Isıl İşlemlı F11 Numunesi için farklı büyütmelemlerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x).....	61
Şekil 3.42. FeSiB alaşımlı ısııl işlemlı F11 Numunesine ait Meping analizi ve element görüntüleri.....	62
Şekil 3.43. FeSiB alaşımlı ısııl işlemlı F11 numunesine ait EDS noktasal spectrum değlerleri	63
Şekil 3.44. FeSiB alaşımlı ısııl işlemlı F11 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü.....	64
Şekil 3.45. FeSiB-Ni alaşımlı ısııl işlemlı F22 Numunesi için farklı büyütmelemlerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	65
Şekil 3.46. FeSiB-Ni alaşımlı ısııl işlemlı F22 Numunesine ait Meping analizi ve element görüntüleri.....	66
Şekil 3.47. FeSiB-Ni alaşımlı ısııl işlemlı F22 numunesine ait EDS noktasal spectrum değlerleri	67
Şekil 3.48. FeSiB-Ni alaşımlı ısııl işlemlı F22 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü.....	68
Şekil 3.49. FeSiB-Co alaşımlı ısııl işlemlı F33 Numunesi için farklı büyütmelemlerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	69
Şekil 3.50. FeSiB-Co alaşımlı ısııl işlemlı F33 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri.....	70
Şekil 3.51. FeSiB-Co alaşımlı ısııl işlemlı F33 numunesine ait EDS noktasal spectrum değlerleri	71
Şekil 3.52. FeSiB-Co alaşımlı ısııl işlemlı F33 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü.....	72
Şekil 3.53. FeSiB-Cr alaşımlı ısııl işlemlı F44 Numunesi için farklı büyütmelemlerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)	73
Şekil 3.54. FeSiB-Cr alaşımlı ısııl işlemlı F44 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri.....	74
Şekil 3.55. FeSiB-Cr alaşımlı ısııl işlemlı F44 numunesine ait EDS noktasal spectrum değlerleri	75
Şekil 3.56. FeSiB-Cr alaşımlı ısııl işlemlı F44 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü.....	76

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	11
Tablo 2.1. Alaşım Numuneleri ve Oranları	14
Tablo 3.1. Serlik Ölçüm Değerleri.....	33
Tablo 3.2. Aşınma deneyi sonuç verileri	36



KISALTMALAR LİSTESİ

SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işını Kırınım Yöntemi
FeSiB	: Amorf Alaşımlı Metalik Cam
Fe	: Demir
B	: Bor
Si	: Silisyum
Cr	: Krom
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
N	: Normal (ısıt şlemsiz üretilen) numune
I	: Isıl işlemlı üretilen numune



ÖZET

Fe-Si-B Amorf alaşımlar, cama benzeyen şekilde alaşım oluşturmalarından dolayı ticari ismi metalik cam olarak tanımlanır. Toz metalurjisi yöntemiyle, bor, silisyum elementleri ile demir tozları belirli oranlarda alaşımlandırılarak Fe-Si-B Alaşımlı Amorf Metalik Camlar üretilmekte ve çeşitli alaşım tozları katkılarıyla endüstride kullanım yeri bulunmaktadır. Malzemenin üretim tekniği ve malzemenin bileşenleri, iç yapıyı ve özelliklerini etkilediği ortaya konulmuştur. Bunun sonucunda daha üstün özelliklere sahip malzeme üretmek için farklı üretim teknikleri ve farklı elementlerin değişik oranlarda kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Mühendislikte komponentler inşa etmek için, metalik cam şeritler kumaş olarak dokunabilmekte, boru yapımında örülebilmekte, silindir yapımında sarılabilmekte ve levha yapımında yaprak yaprak biçimlendirilebilmektedir. Yapısal uygulamalar yüksek dayanıklılıkta kontrol kablolarını, elektrik ve optik kabloların blandajlarını, basınçlı kapları, roket gövdelerini, magnetik zırhlama malzemelerini kapsamaktadır. Krom esaslı camlar, korozyona karşı dayanıklı olmaları sebebiyle, denizcilik ve biyotıp alanlarındaki kullanımları bakımından caziptirler. Askeri sistemlerdeki cihazların kabloları, kimyasal filtreler ve reaksiyon kapları, elektrodlar, jiletler, bistüriler ve daha pekçoğu sayılabilir.

Yapılan bu çalışmada, Fe-Si-B amorf metalik cam alaşımına Ni-Co-Cr alaşımları toz metalurjisi yöntemiyle belirli oranda ilave edilerek vakumlu art melting yöntemiyle imal edilen 8 adet numunenin (4 adeti ısıtıl işlemli ve 4 adeti normal) mikro sertliğinin alınması, aşınma deneyi, XRD, SEM ve EDS analizlerinin yapılması ve mikro yapı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda mekanik özelliklerinde ve yapısal özelliklerindeki farklılıklarıyaslanarak kullanılan alaşım elementinin malzemenin temel özelliklerini çok farklı seviyelerde değiştirdiği tespit edilmiştir. Daha farklı alaşım elementleri kullanılarak veya kullanılanalaşım element oranları değiştirilerek yapılacak çalışmaların Fe-Si-B amorf metalik camlarının karakteristiklerini belirlemekte ışı tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fe-Si-B alaşımları, microyapı, amorf metalik camlar, Aşınma, XRD-SEM-EDS analizi.

ABSTRACT

The addition of Ni-Co-Cr elements to Fe-Si-B alloy investigation of the effects on microstructural and mechanical properties

Fe-Si-B Amorphous alloys are called metallic glass by the trade name because they form alloys similar to glass. With the powder metallurgy method, Fe-Si-B Alloyed Amorphous Metallic Glasses are produced by alloying boron, silicon elements and iron powders in certain proportions and they find use in the industry with the additives of various alloy powders. It has been revealed that material production techniques and components in the structure of the material affect the internal structure and properties of the material. For this reason, different production techniques have been developed to produce materials with better and desired properties, and studies have been made on the use of different elements in different ratios.

To build components in engineering, metallic glass strips can be woven into fabric, knitted to make pipes, rolled to make cylinders, and laminated to form sheets. Structural applications include high-strength control cables, shielding of electrical and optical cables, pressure vessels, rocket bodies, magnetic shielding materials. Chromium-based glasses are attractive for use in the marine and biomedical fields due to their resistance to corrosion. Cables for equipment in military systems, chemical filters and reaction vessels, electrodes, razors, scalpels and many more can be counted.

In this study, produced by vacuum arc melting method by adding Ni-Co-Cr alloys to Fe-Si-B amorphous metallic glass alloy with powder metallurgy method at a certain rate of 8 samples (4 heat treated and 4 normal) tested, the microhardness, abrasion, XRD, SEM and EDS analyzes and their effects on microstructure properties were investigated. As a result of the experimental studies, it was determined that the alloying element used changed the basic properties of the material at very different levels by comparing the differences in its mechanical properties and structural properties. It is thought that the studies to be carried out by using different alloying elements or by changing the alloying element ratios used will shed light on determining the characteristics of Fe-Si-B amorphous metallic glasses.

Key Words: Fe-Si-B Alloys, microstructures, amorphous metallic glass, abrasion test, XRD-SEM-EDS analysis.

1. GİRİŞ

1. Genel Bilgiler

Mühendislik malzemeleri piyasada metaller, seramikler, plastikler ve karışımı kompozit malzemeler olarak yaygındır. Ancak plastiklerin düşük mukavemetli, seramiklerin gevrek, metallerin yorulma/korozyon vb. olumsuz etkilerden dolayı tüm bu özellikleri bir arada sağlamak beklentisiyle yeni nesil malzemelerin geliştirilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bundan dolayı toz metalurjisi ile üretilen bileşik malzemeler piyasada yer almaya başlamış ve önemli bir pazar oluşturmaktadır. Bu karışımlar ile yapılan analiz/testler neticesinde mekanik ve fiziksel olarak çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedir (HöganäsHandbook, 2013).

Toz metalürjisi kullanılımasının üç ana nedeni; ekonomiklik, zorunluluk ve üstünlüktür. Özellikle erime sıcaklığı yüksek metallerde parça üretiminde toz metalurjisi zorunlu olarak uygulanmaktadır. Yüksek miktarda parça üretiminde, diğer imal yöntemlerine göre toz metalürjisi ekonomik olabilmektedir. Mikroyapı ve mekanik özelliklerinin üstünlüğü sebebiyle toz metalürjisi seçilmektedir (German 2005).

Toz metalurjisi (T/M); yoğuntercih edilen malzeme üretim teknolojileri arasındadır. Toz metalürjisi yöntemi temelinde tozların şekillendirilmesi (sıkıştırılması, preslenmesi) ve sinterleme tekniğiyle partiküllerin birbiriyle birleşmesi, yani yüksek yoğunlukların elde edilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bu yöntem malzeme üretiminde kaybı en aza indirir, iyi boyut toleransı sağlar. Bu yöntemin avantajları; verimin yüksek olması, ekonomik olması, diğer yöntemlere kıyasla az enerji sarfıyatı oluşması ve seri üretime uygun olmasıdır (Yılmaz 2006).

Günümüzde toz metalurjisi ile yapılan üretimlerde bir gramdan daha düşük ağırlıklı parçalardan, 30 ton ve üzeri ağırlıktaki parçalara kadar milyonlarca adet parça üretimi yapılabilmektedir. Üretilen malzemelerin % 70-80 gibi yüksek oranlarda en yaygın otomobil endüstrisinde; çeşitli motor, süspansiyon, transmisyon ve fren parçaları vb. kullanılmaktadır. Toz metalurjisi yöntemi ile Avrupada, yaklaşık 3 milyar €'lık satış değeri ile 2014 yılında yaklaşık 175.000 ton yapısal parça üretilmiştir. Küresel otomotiv platformlarının % 50'sinden fazlası Avrupa'da veya AB şirketlerinde geliştirilmektedir (EPMA-TheEuropean PM Industry Roadmap 2015).

Toz metalürjisi yöntemi ile; demir alaşımı parçalar, otomotiv, havacılık ve makine imalatı gibi endüstriler için yataklar, supap yuvaları, darbe emiciler, bujiler, piston kolları, dişliler gibi çeşitli parça üretimleri yapılmaktadır. Karbon çoğunlukla yüksek dayanım

istenilen demir alaşım malzemelerde temel alaşım elementi olarak kullanılmakta ve özellikle sertliği arttırmaktadır (German 2005, Salak 1995).

Toz metalurjisi yönteminin avantajları; verimliliğin yüksek olması, ilave talaşlı işlem gerektirmemesi, ergime metal kayıplarının düşük olması, metal olmayan ve metal malzemelerin homojen yayılması, uygun tolerans ve yüzey kalitesinde parça üretilmesi ve seri üretim yapabilmesidir (Hganas 2017).



şekil 1.1. Toz metalürjisi ile üretilmiş olan çeşitli parçalar

Toz metalurjisi yöntemiyle, ülkemizde de bulunan nadir toprak elementleri olan bor, silisyum elementleri ile demir tozları belirli oranlarda alaşımlandırılarak Fe-Si-B Alaşımlı Amorf Metalik Camlar üretilmekte ve çeşitli alaşım tozları katkılarıyla endüstride kullanım yeri bulmaktadır. Malzeme retim tekniği ve malzeme içerisindeki bileşim elementlerinin çeşitliliğinin, malzemenin iç yapısını ve özelliklerini etkilediği ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı malzeme üretmek için farklı üretim teknikleri geliştirilmiş, çeşitli elementlerin değişik oranlarda kullanımı konusunda çalışmalar yapılmıştır (Giselher, 2019; Callister ve Retwisch, 2015).



Şekil 1.2. Fe-Si-B alaşımlı şerit trafo çekirdek malzemesi

Yüksek geçirgenlik ve düşük manyetik akımlarda kolay mıknatıslanma özellikleri sebebiyle, yumuşak manyetik malzemeler; elektromanyetik bileşenler için araştırma ve geliştirme yönü haline gelmiştir. Araştırmalar neticesinde üretilen çeşitli alaşım için yüksek bir uygulama beklentisi olmasına rağmen; daha seri üretimin başında çoğu çalışmanın neticesinde istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Yeni alaşımların oluşturulması yanında, bu alaşım malzemelerinin seri üretim yollarının da çalışılması önemlidir (Figueroa vd.; 2005; Giseller, 2019; Callister ve Retwisch, 2015).

Cama benzeyen bir alaşım şekli oluşturması nedeniyle bu tip amorf alaşımların ticari isim olarak metalik cam denilmiştir. Amorf yumuşak manyetik alaşım türleri; demir, kobalt ve demir-nikeldir. Kobalt esaslı amorf alaşımları (kobalt demir silikon bor), yüksek geçirgenlik, orta ve yüksek frekans ana bileşeninin düşük kaybı özellikleri yanı sıra fiyat olarak da pahalıdır, özellikle yüksek frekans alanında kullanılır (Warlimont, 2001).

1.2. Amorf Alaşımlı Metalik Camlar

Atomları kararlı bir kristal yapıya sahip olmayan katılar amorf katılar olarak adlandırılır. Amorf katıların yapıları düzensizdir. Amorf alaşımlar; camsı metaller veya kristal olmayan alaşımlar olarak da bilinir. Katı maddelerin atomları belli bir düzende bir arada yapı oluşturmalarına rağmen amorf alaşımların yapısında atomlar uzun mesafededir ve periyodik bir düzende değildir. Normal kristallerde bulunan atomik düzene ve kristal yapıya sahip olmamaları; amorf alaşımlarını diğer alaşımlardan ayıran en belirgin özelliktir. Amorf yapılı malzemelerin molekülleri, sıvılarda olduğu gibi rastgele yerleşmiş bir haldedir. Amorf alaşımlar, ilk defa $Au_{75}Si_{25}$ alaşımının sıvı azot sıcaklığında hızlı ve ani soğutulmasıyla elde edilmiştir. Belirli sıcaklık aralıklarında amorf malzemeler yumuşayarak, sıvı hale geçer. Yumuşamanın başladığı nokta camsı geçiş sıcaklığı olarak adlandırılır. Amorf malzemelerde erimenin başlangıç ve bitiş sıcaklığı arasında belirli bir sıcaklık farkı vardır. Bu yüzden amorf malzemeler için erime noktasından bahsedilemez (Figuerola vd., 2005; Callister ve Retwisch, 2015).

Amorf alaşımlar, yüksek doygunluk manyetik indüksiyon (B_s), yüksek başlangıç geçirgenliği ve son derece düşük zorlayıcı kuvvet (H_c) ile mükemmel yumuşak manyetik özelliklere sahiptir. Amorf alaşımlar yüksek mukavemetli, sert veya yumuşak manyetik ve korozyona dayanıklı olabilir. Demir bazlı alaşımlar, düşük koersivite (0,5-1 A/m) ve 1,4 T'yi aşan yüksek doygunluk manyetizasyonu ile çok iyi manyetik özelliklere sahiptir. Genel olarak, demir, kobalt ve nikel bazlı manyetik amorf alaşımlar, yüksek demir içeriği ile yüksek geçirgenlik değerleri veya yüksek kobalt içeriği ile sıfıra yakın mıknatıslanma değerleri sağlayabilir. Alaşım elementlerinin eklenmesi veya bileşimdeki küçük değişikliklerle, manyetik özellikler önemli ölçüde değişebilir. Katıların birçok fiziksel özelliği yapısal olarak hassastır. Örneğin, amorf alaşımların yumuşak manyetik özellikleri bir manyetik alanda tavanır; mekanik özellikler artık gerilimin varlığına bağlıdır ve korozyon özellikleri kimyasal bileşime ve yüzey tabakasının durumuna bağlıdır (Konstantinovich, 2015; Abrasimova ve Aronin, 2016).

1.3. Metalik Camların Kullanımı

Metalik camlar, yüksek kopma dayanıklılığı, kusursuz yumuşak magnetik davranış ve iyi korozyon direnci gibi teknolojik bakımdan ilginç özellikler gösterirler.

Mühendislikte komponentler inşa etmek için, metalik cam şeritler kumaş olarak dokunabilmekte, boru yapımında örülebilmekte, silindir yapımında sarılabilmekte ve levha yapımında yaprak yaprak biçimlendirilebilmektedir. Yapısal uygulamalar yüksek dayanıklılıkta kontrol kablolarını, elektrik ve optik kabloların blandajlarını, basınçlı kapları, roket gövdelerini, magnetik zırhlama malzemelerini kapsamaktadır. Krom esaslı camlar, korozyona karşı dayanıklı olmaları sebebiyle, denizcilik ve biyotıp alanlarındaki kullanımları bakımından caziptirler. Askeri sistemlerdeki cihazların kabloları, kimyasal filtreler ve reaksiyon kapları, elektrodlar, jiletler, bistüriler ve daha pekçoğu sayılabilir.

Metalik camların tercih edilme nedenleri;

- * Çok yüksek dayanıklılık seviyeleri,
- * Mükemmel korozyon direnci,
- * Sıcaklık ile küçük bir değişime sahip büyük elektriksel özdirenç değeri,

Metalik camları, magnetik uygulamalarda çok cazip kılan yumuşak ferromagnetik özellikleri;

- * Maksimum mıknatıslanma,
- * Geçirgenlik (dar histerisiz çevrimi, çekirdek özellikleri),
- * Gideren alan “coersivite “ (mıknatıslanma kaybına karşı direnç),
- * Büyük özdirenç değeri (düşük eddy akımı kayıpları),
- * Magnetikanizotropi,
- * Magnetostriksiyon,
- * Üretim kolaylığı (ince, yüksek dayanımlı şerit),
- * Homojenlik

Metalik camların magnetik uygulamalarına örnek olarak, transformatör çekirdekleri, elektronik gereçler, magnetik zırhlama, kayıt / yanıt kafaları, okuma / yazma kafaları, elektronik akım transformatörü, sızıntı akımı, aşırı akım alarmı, analogdan digitale dönüştürücüler, küçük güçlü wattmetreler, “mikrofon diyaframları, magnetik hafızalar, magnetik amplifikatörler, magnetik ayırma, şok bobinleri, lineer hızlandırıcılar, faz ölçü aleti sayılabilir. Metalik camlar bu tür magnetik gereçlerde magnetik akımın taşınmasını çok cazip kılmaktadır. Bu uygulamaların bazısı aşınmayı minimuma indirmek için camların mekanik sertlikleri avantajından yararlanır (Zhenglong F.,Masayuki N., 2020).

1.4. Amorf Alaşımlı Metalik Camlar Üretim Yöntemleri

1.4.1. Amorf alaşımlar

Amorf alaşımlar üretmek için mevcut alaşımlar eritilerek sıvı hale getirilir ve hızlı soğutma ile katılaştırılır. Su verme yöntemine bağlı olarak eriyik soğutma hızı yaklaşık 106-109 K/s'dir. Alaşım, hızlı soğutma yerine normal soğutma ile sıvı hale eritilirse, katılaşma, atomların periyodik bir düzende hareket ettiği ve kristal bir yapı oluşturduğu bir süre boyunca gerçekleşir. Eğer katılaşma çok hızlı olursa ve yeterli aşırı soğuma elde edilebilirse, sıvı haldeki düzensiz dağılmış atomlar bu kadar kısa sürede kristal yapı oluşturamaz ve katılaşamazlar. Hızla soğuyan alaşım katı hale gelirken sıvıya benzer bir atomik dağılıma sahiptir. Amorf alaşımlar fiziksel olarak katıdır, ancak atomik dağılım açısından sıvılara benzerler, yani düzensiz bir yapıya sahiptirler. Amorf alaşımların belirli özellikleri sıradan kristallerden çok daha iyidir. Amorf alaşımların öne çıkan özellikleri, sıradan kristallerden daha hafif ve daha sert olmaları, daha yüksek korozyon direncine sahip olmaları ve daha iyi elektromanyetik özellikler sergilemeleridir (Li ve Yi, 2014; Wang, Ma, Li ve Zhang, 2015; Chang vd., 2017).

Amorf alaşımlar yarı kararlı bir yapıya sahip olduklarından, bu alaşımlar ısıtma işlemi gördüklerinde enerjileri artar ve amorf alaşımlar yarı kararlı bir durumdan kararlı (kristal) bir duruma geçer. Amorf alaşımların termal özelliklerini anlamak önemlidir, çünkü kristal hale geldiklerinde yapılarında amorf olduklarında sahip oldukları özelliklerin çoğunu kaybederler. Amorf alaşım, kristalleşme sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulursa, bir nanokristal yapı elde edilebilir (Maslov ve Nosenko, 2013, Callister ve Retwisch, 2015).

1.4.2. Fe ve Ni esaslı amorf alaşımlar

Demir-nikel alaşımları için, manyetik geçirgenliğe sahip bir alaşım anlamına gelen permalloy terimi kullanılır. Yaklaşık %20 demir ve %80 nikel içeren bir alaşımı belirtir. Permalloy, yüksek manyetik geçirgenlik, düşük zorlayıcı kuvvet ve sifıra yakın manyetik büzülme özelliklerine sahiptir (Callister ve Retwisch, 2015).

Bileşimindeki nikel oranı, istenen özelliklere bağlı olarak %35 ile %90 arasında değişebilir, güç transformatörlerinde bu oran %78'dir. Yüksek güçlü transformatörlerde kullanılan %50 nikel içeriğine sahip alaşımlara hipernik denir. Yüksek geçirgenliğe sahip süper alaşımlar, kalıcı alaşımın saf hidrojen içinde %5 molibden ile ısıtılmasıyla elde edilir.

Yüksek geçirgenliğe sahip nikel bazlı yumuşak manyetik alaşımların nikel içeriği %75'ten fazladır (Callister ve Retwisch, 2015).

Demir-nikel alaşımları da zayıf manyetik alan uygulamaları için uygundur. Radyo elektroniği, transformatörler, hassas aletler, uzaktan kumanda ve otomatik kontrol sistemleri ve diğer alanlarda kullanılır. Demir-nikel alaşımlarının dezavantajı zayıf süneklik veya işlenebilirliktir (Yi, Ki ve Sohn; 2005).

Amorf malzemeler, demir, nikel ve kobalttan bir veya iki elemente ilave olarak bor, silikon, fosfat, karbon ve molibden ilavesiyle elde edilen alaşımlar olduğundan, Temel üretim alaşımı amorf malzeme olarak demir ve nikel kullanılmaktadır. Bor, alaşımların sertliğini, korozyona, çatlamaya ve aşınmaya karşı direncini ve manyetik geçirgenliği artırma özelliğine sahiptir.

1.4.3. Bor katkılı amorf alaşımlar

Bor, alaşımların sertliğini, korozyona, çatlamaya ve aşınmaya karşı direncini ve manyetik geçirgenliği artırma özelliğine sahiptir.

Elektrik transformatörlerinde kullanıma uygun amorf metaller üretmek için çok araştırma yapılmıştır. Yapılam çalışmalarda üretilen amorf alaşımların kimyasal bileşiminde temel olarak bor içeren demir ihtiva etmektedir (Rosskil, 1995).

1.5. Manyetik Malzemeler

Bilinen en eski manyetik malzeme magnetit veya mıknatıs taşıydı. Bu malzemelerin en bilinen özelliği birbirini çekmesi veya itmesidir. Demir keşfedildiğinde demiri de çektiği farkedilmiştir. Mıknatısın çektiği fakat itmediği ve birbirini itmeyen/çekmeyen bu tip malzemelere manyetik malzeme olarak isimlendirilir (Jakuboviks, 2015).

Bir iletkenin tellerinden akım geçerse, iletkenin etrafında bir manyetik alan (H) oluşur. Mıknatıs gibi manyetik bir malzeme manyetik alana yerleştirilirse, manyetik alan şiddeti artacaktır. Birim alandan geçen manyetik akıya manyetik akı yoğunluğu (B) denir. Demiri bir manyetik alana koyarsanız, kuvvet çizgileri birbirine yaklaşır ve akı yoğunluğu artar. Bakır gibi manyetik olmayan bir malzeme manyetik alana yerleştirilirse, kuvvet çizgileri birbirinden uzaklaşır ve manyetik akı yoğunluğu azalır. Bu şekilde manyetik alan çizgilerini azaltma veya artırma yeteneği, malzemenin manyetik geçirgenliği olarak bilinir. Süper alaşımlar olarak bilinen demir, nikel ve kobalt çok manyetiktir ve bu metaller en iyi bilinen ferromanyetik malzemelerdir (Jakuboviks, 2015).

Manyetik malzemeler, yumuşak manyetik malzemeler ve sert manyetik malzemeler olarak ikiye ayrılır. Yumuşak manyetik malzemelerin mıknatıslanması ve manyetizmalarını kaybetmesi kolaydır. Transformatörlerde, elektrik motorlarında ve jeneratörlerde çekirdek malzemesi olarak kullanılırlar. Öte yandan, sert manyetik malzemelerin mıknatıslanması zordur ve manyetizmalarını kolay kolay kaybetmezler. Mikrofonlar, telefon alıcıları vb. İçin. Kullanılırlar (Kang, Kim, Kim, Chung ve Baik, 2006; Callister ve Retwisch, 2015).

Yumuşak manyetik malzemeler; kolay mıknatıslanır, kolay demanyetize olur, yüksek manyetik geçirgenliğe, düşük kalıcı manyetizmaya ve yıkıcı manyetik alan kuvvetlerine sahiptir ($H_c < 1000 \text{ A/m}$) (Birol, 2015; Pang vd., 2017).

Alternatif manyetik alanlara maruz kalan ve bu nedenle düşük enerji kayıplarına sahip olması gereken ekipmanlarda (trafolar ve elektrik motorları) yumuşak manyetik malzemeler kullanılır. Demir metalik yumuşak manyetik bir malzemedir (Birol, 2015).

Kalıcı mıknatıslanma olması, ısınma sorunu yaşamaması ve elektrik enerjisi ihtiyacını olmamasından dolayı özellikle küçük aletlerin motorlarında kullanılan sert mıknatıslar elektromıknatıs kullanan motorlardan daha üstündür. Şarjlı matkaplar ve saatlerde kullanılan sert mıknatıslar bunun belirgin örneklerindendir (Birol, 2015).

Manyetik bir malzemedeki manyetik olmayan fazın parçacıkları veya boşluklar gibi yapısal hatalar domen sınırlarının hareketine engel olarak koersiviteyi (zorlayıcı kuvvet)

arttırırlar. Yumuşak manyetik malzemelerde bu tip hatalar bulunmamalıdır (Birol, 2015; Callister ve Retwisch, 2015).

Yumuşak manyetik malzemeler için önemli diğer bir özellik elektrik direncidir. Histerezis enerji kayıpları, manyetik alan şiddeti ve yönündeki değişiklikler enerji kaybına yol açar. Elektriksel direnç artırılarak,yumuşak manyetik malzemelerin enerji kayıpları azaltılmaya çalışılır. Bu sebeple sadece demir yerine ferromanyetik malzemeler katı eriyik alaşımlardan Fe-Si ve Fe-Ni alaşımları üretilir (Callister ve Retwisch, 2015).

Yaklaşık 850 K curie sıcaklığı sebebiyle;piyasada sert manyetik malzemelerden Al-Ni-Co ve Fe karışımı alaşımlar en çok tercih edilen bir mıknatıs türüdür. Sert manyetik malzeme sınıfında ise Cu-Ni-Fe alaşımları ve ferritler tercih edilen alaşımlardır.

1.5.1. Fe esaslı amorf yumuşak manyetik malzemeler

Demir esaslı alaşımların esas bileşimi demir olduğundan bu şekilde adlandırılır. Tabiatla kolay bulunması, ucuz ve rahat temin edilebilmesi, farklı alaşımlarının üretilmesinden dolayı, sanayide demirin kullanımını yaygınlaştırılmıştır (Liang vd., 2010; Guo vd., 2016; Chang vd., 2017).

1.5.2. Ni esaslı amorf yumuşak manyetik malzemeler

Nikel esas element olarak,bu alaşımların yapısını oluşturur. Korozyon direnci yüksek olduğundan nikel elementi, korozyon direnci zayıf olan metallerin kaplanmasında uygulanır. Bundan dolayı nikel; paslanmaz çelik alaşımlarının en önemli yapısal bileşenlerinden biridir. Yüksek sıcaklıklarda dayanımı en önemli tercih sebeplerindendir. Uçak motorlarında ağırlıkça %40-50 oranında nikel esaslı malzemelerini kullanılması sebebiyle, teknik ve ekonomik açıdan önemi ortaya çıkmaktadır (Callister ve Retwisch, 2015).

1.5.3. Fe ve Ni esaslı amorf yumuşak manyetik malzemeler

İstenilen özelliğe göre demir-nikel esaslı alaşım bileşenleri farklı oranlarda kullanılarak üretilmektedir. Yüksek direnç için %36 Ni alaşımı, yüksek doygunluk mıknatıslanması için %50 Ni alaşımı ve yüksek geçirgenlik için %80 Ni alaşımı tercih edilmektedir.Düşük alanlardaki geçirgenliklerinin çok daha yüksek olmasından dolayıYüksek

duyarlıktaki haberleşme cihazlarında nikel-demir alaşımları kullanılır (Callister ve Retwisch, 2015).

1.6. Alaşım Elementleri ve Özellikleri

1.6.1. Demir

Toz metalurjisinde indirgeme yöntemi ile en yaygın kullanılan ve ilk üretime başlanılan metal element demir tozudur. Demir toz üretimi için ilk yöntem (sünger yöntemi) Höganäs firmasında 20. Yüz yıl başlarında uygulanmıştır. Benzer yöntemler 1960'lı yıllarda A.B.D ve Sovyetler Birliği'nde kullanılmıştır. Demir tozu üretiminde diğer bir yöntem ise su atomizasyon yöntemidir. Demir alaşım toz üretiminde, ergimiş metal su jetine tabi tutulmakta ve küçük damlacık parçacıklarına bölünerek hızlı bir şekilde katılaşması sağlanmaktadır (HöganäsHandbook, 2013).

Toz metalurjisinde demir alaşım tozlarının preslenmesi yaygın olarak takım çeliklerinden üretilen kalıplarda 300-800 Mpa arasında basınç uygulamalarıyla yapılmaktadır. Presleme işleminde ilk aşamada kalıp içine ve zımba dışına molycote, çinko stearat ve parafin gibi yağlayıcılar uygulanır. Sonrasında kalıba imal edilecek tozlar ilave edilir. Daha sonra tozlar, alt ve üst zımba yardımıyla kalıpta basınçla sıkıştırılır. Preslenmiş imal parçası son olarak kalıptan çıkarılır. Toz metalurjisinde işlemler ihtiyaca ve fonksiyona göre tek yön veya çift yön çalışan preslerle uygulanır. Tek yönlü preslerde zımbalardan birisi sabitken diğer zımbaya basınç alt veya üst zımba ile tek yönlü aktarılmaktadır. Çift yönlü preslerde ise zımbalar parçaya hem alt ve hemde üst yönden basınç uygulayacak şekilde çalışmaktadır. Sıkıştırılan tozlar presleme işlemi sonrasında şekil alarak numuneler oluşturulur (Adams M 2004, German 2005).

1.6.2. Bor

Bor elementi, periyodik cetvelde B simgesi ile gösterilmektedir. Metal-ametal arası özellikte ve yarı iletkenliğe sahiptir. Temel hal elektron dizilişi $1s^2 2s^2 2p^1$ şeklindedir. Ergime sıcaklığı $2000-2300^{\circ}\text{C}$ arasında iken, kaynama noktası yaklaşık 4000°C civarındadır. Bor elementine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1.1. de gösterilmiştir (Habashi, 1997; Url-1; Bozkurt, 2007).

Bor, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin üstün olması neticesinde endüstride geniş bir kullanım alanı oluşturmaya başlamıştır. Bazı kullanım alanları; polimerler sektörü, dezenfektanlar, ilaç sanayisi, çelik ve refrakter malzemeler, bazı organik reaksiyonlarda katalizör olması, roket yakıtları, zırh malzemeleri ve tarım sektörleridir (Garret, 1998). Ayrıca, cam sanayisinde bor katkılı bazı ürünler (boraks pentahidrat, susuz boraks ve borik asit) kullanılmaktadır. Borun alaşıma ilave edilmesi, bazı metal ve alaşımlarda mekanik (özellikle aşınma) özellikleri iyileştirmektedir. Borlama, malzemenin kimyasal bileşimi ve borlama şartlarına/yöntemine göre değişkendir. Borlama sonucu malzemede yüzeyden iç kısımlara doğru, borlu bölge, difüzyon bölgesi ve çekirdek bölgesi şeklinde katmanlar oluşmaktadır (Lyday, 1991).

Tablo 1.1. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

İyonizasyon Enerjisi	Birinci: 8,29 eV, İkinci: 25,15 eV, Üçüncü: 37,93 eV
Oksidasyon Sayısı	3
Elektronegativite	2,04 (Pauling), 2,01 (Mulliken)
Elektron afinitesi	0,332 eV
Atomik Çap	0,8 – 0,95 nm
Elektriksel Direnç	~ 10,6 ohm-m
Termal İletkenlik	0,274 W/cmK
Sertlik	Mohs: ~ 9.5, Vickers: 49000 MNm-2, Knoop: 2390 kg/mm2
Elastik Modülü	320 Gpa
Ergime Isısı	50,2 kJ/mol
Buharlaştırma Isısı	489,7 kJ/mol
Buhar Basıncı	0,348 Pa(2300°C)

1.6.3. Silisyum

Silisyum elementi, Si sembolüyle gösterilen, ametal karakterli bir elementtir. Yer kabuğunun %27,7' sini silisyum elementi oluşturur. Silisyumun elektronik konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ şeklindedir. Oksijenle kimyasal tepkime yaparak oluşturduğu kuvars/silis olarak adlandırılan silisyum dioksit (SiO_2) formunda yaygın olarak bulunur.

Çelik üretimi formlarında oksijen giderici madde olarak yaygın kullanılır. Çelikte kullanılan silisyum oranı üretim tarzına göre değişkendir. Alaşımsız çelik dökümlerinde % 0,60'a kadar silisyum bulunabilir. Yay çelikleri ve düşük alaşımlı çeliklerde %2'ye kadar silisyum bulunur. Silisyumlu çelikler diye adlandırılan çelik gruplarında silisyum oranı %5'e kadar artırılabilir. Bunun yanında çeliklerin korozyon direncinin iyileştirilmesi için %14–15'e kadar silisyum ilave edilmektedir ancak bu durum kırılganlık oluşturulmakta ve dövme işlemi uygulanamamaktadır. Çelikte, silisyum oranı yükseldikçe, tane büyüklüğü de artmaktadır (Topbaş, 1998).

1.6.4. Nikel

Nikel elementi, periyodik cetvelde Ni sembolü ile gösterilir, ferromanyetik özelliktedir ve çeliklerde; krom ile birlikte en yaygın kullanılan alaşım elementidir. Çeliklerde, Nikel martenzit sıcaklığını (MS) azaltır, östenit fazının alanını büyütür ve katı çözelti sertleşmesi yaparak çeliğin mukavemetini artırır. Karbür yapıcı özelliği yoktur. Krom ile beraber kullanıldıklarında ise sertleşme derinliğini yükseltir ve tufallaşma dayanımını iyileştirir. Düşük sıcaklıklarda, çeliğin çentik darbe dayanımını yükseltmektedir. A3 (ötektoid) sıcaklığını östenit yapıcı bir element olduğundan dolayı azaltmaktadır. Netice itibariyle çeliklerde düşük sıcaklıklarda östenitlenmesini ve tane boyutlarının incelmeye katkı oluşturmaktadır.

Takım Çeliklerinde nikel; sertleşme ısılarını düşürüp, çatlama riskini azaltması nedeniyle yağda soğutulma imkanı oluşturur. Nikel alaşımlı çeliklerde küçük taneli mikroyapı oluşmasından dolayı sementasyon işlemine uygundur. Sementasyon işlemi normalde 9-11 saat sürmekte ve östenitleme sıcaklığının yüksek olmasından dolayı tanelerde büyümelerin oluşması olasıdır. Nikel içeren çeliklerin östenitleme sıcaklığının düşük olmasından dolayı sementasyon işlem süresi uzun olsa dahi tanelerde büyüme görülmez. Çelik alaşımlarında nikel %37 oranlarına kadar kullanılmaktadır (H. Karabulut, S. Gündüz, 2004).

1.6.5. Krom

Krom sembolü “Cr” olup, çeliklerde kullanılan en yaygın alaşım elementidir. Çelik alaşımlarında krom %25 civarlarına kadar uygulamaları mevcuttur (Paslanmaz çelik AISI 446’da Cr oranı %27). Çelikteki krom, ferrit içerisinde çözünüp katı çözültü sertleşmesi yapar ve bunun yanında karbür yapıcı özelliği de oldukça kuvvetlidir. Alaşımli çeliklerde bulunduğu Cr₇C₃, Cr₂₃C₆ ve Cr₃C₂ şeklinde karbür oluşturur. Ayrıca temperleme esnasında krom karbürler sertlik düşüşünü geciktirmekte ve sertliğin bir miktar artmasını sağlamaktadır. Krom, çelik alaşım mukavemetini artırır, tokluklarında az miktar düşüşe neden olur. Çeliklerin oksidasyon ve korozyon dayanımını artırarak, tufallaşmayı düşürür. Bundan dolayı krom oranı yüksek çelikler (ısıl direnç alaşımları ve paslanmaz çelikler) oksidasyon ve korozyona karşı mukavemet gerektiren yerlerde kullanılır. Yüksek sıcaklıklara dayanması ihtiyacı olan metalik malzemelerde krom kaplanma uygulamaları yapılmaktadır. Havadaki oksijen ile çelikteki krom; krom oksit filmi oluşturmaktadır. Bu durum oksidasyonun ilerlemesini engellemektedir. Benzer etki; nikel (NiO) ve alüminyum da (Al₂O₃) görülmektedir (H. Karabulut, S. Gündüz, 2004).

1.6.6. Kobalt

Kobalt elementinin kimyasal sembolü “Co” dur ve karbür yapıcı özelliğe sahip değildir. Katı çözültü sertleşmesiyle mukavemet artışı sağlanmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklık kabiliyetinin arttırılmasında öneme sahiptir. Yüksek hız çelikleri ve sıcak iş takım çeliklerinin alaşımında özellikle bulunmaktadır (A. M. Sage, 1989).

2. MATERYEL VE METOD

2.1. Fe-Si-B ve Katkı Elementleri Tozları Alaşım Numuneleri Hazırlama

Toz halde bulunan Fe,Si,B elementleri ve Ni,Co,Cr elementleri kullanılarak tablo 2.1. de belirtilen oranlarda ve ağırlıkta, 0.01 gr hassasiyetindeki tartıyla toplam 30 gramlık 4 adet numune oluşturulmuştur.Belirlenen oranların yoğunluk ve ağırlık hesaplamaları özel hazırlanmış bilgisayar programlarında yapılmaktadır.

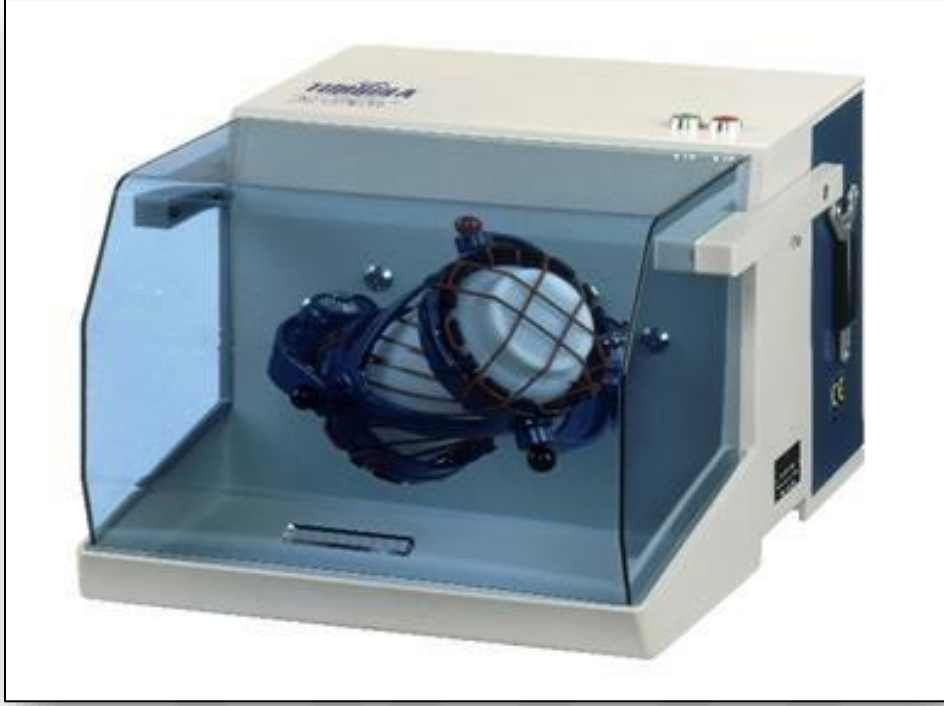
Tablo 2.1. Alaşım Numuneleri ve Oranları

S. Nu.	Numune Adı	Alaşım yüzde ve gram	Alaşım yüzde ve gram	Alaşım yüzde ve gram	Alaşım yüzde ve gram
1	Fe ₈₅ Si ₇ B ₈	Fe: %85 (28,312 gr.)	Si: %7 (1,173 gr.)	B: %8 (0,515 gr.)	-
2	Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Ni ₁₀	Fe: %75 (24,840 gr.)	Si: %7 (1,166 gr.)	B: %8 (0,513 gr.)	Ni: %10 (3,481 gr.)
3	Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Co ₁₀	Fe: %75 (24,828 gr.)	Si: %7 (1,165 gr.)	B: %8 (0,513 gr.)	Co: %10 (3,494 gr.)
4	Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Cr ₁₀	Fe: %75 (25,173 gr.)	Si: %7 (1,182 gr.)	B: %8 (0,520 gr.)	Cr: %10 (3,125 gr.)

2.2. Tozların Karıştırılması

Toz metalurjisi ile numunelerin üretilmesi için numunelere karıştırma/harmanlama işlemi uygulanmaktadır. Birden fazla bileşen ihtiva eden tozlar için bu işlem yapılmaktadır. Karıştırma işleminde; karıştırılacak toz hacmi ile karıştırıcı hacminin %50-60 aralığında olması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Karıştırma süresi uygulaması 5-30 dakika arasında yapılmaktadır (G.S. Upadhyaya, 1997).

Metal tozlar karıştırılırken genelde çift konili ve borulu karıştırıcılarda V ya da Y karıştırıcıların kullanılmasıyla yapılır. Toz karıştırma işlemi için şekil 2.3. de gösterilen turbula mikser ile 30 dakika sürede uygulama yapılmıştır (C.C. Koch, 1998).



Şekil 2.3. Toz karıştırma mikseri

2.3. Tozların Preslenmesi ve Şekillendirme

Ham numuneler kalıplar içerisine dizilerek karışım tozları 30 gr ağırlığında tartılarak şekil 2.4. de gösterilen toz sıkıştırma presi (specac marka) kullanılarak normal ortamda toz metalurjisi ile 6 tonluk yük ile preslenmiştir.

Tozlar için uygulanan basıncın arttırılmasıyla toz taneleri arasındaki noktasal temas ile basınç artışına bağlı olarak gözeneklilik miktarında düşüş meydana gelmekte ve yoğunluk oranıyla plastik deformasyonda artış oluşmaktadır (M.E. Cura, 2002).



Şekil 2.4. Toz sıkıştırma presi

Presleme, kalıba yerleştirilen toz partiküllerinin iki zımba arasında hareket eksenleri doğrultusunda üzerlerine yüksek basınç uygulanmasıyla oluşmaktadır. Bu işlem basit geometriye sahip parçaların seri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Basınç sonucu oluşan ürün kütle olarak isimlendirilir. Ürünün istenen seviyede yeterli sıkışmamasından dolayı kütle ifadesi ortaya çıkmıştır. Kütle şeklindeki malzemeler düşük dayanıma sahiptir ancak yapılacak sinterleme işlemi ile yüksek dayanımlı nihai ürün oluşmaktadır. Bazı presleme yöntemlerinde, hem preslemeyi hemde tozlara sinterlemeyi birlikte oluşturulmaktadır. Bu işlemlerde nihai ürün tek seferde imal edilebilmektedir (S. Saritas, M. Turker, N. Durlu, 2007).

2.4. Alaşım Numunelerinin Üretilmesi

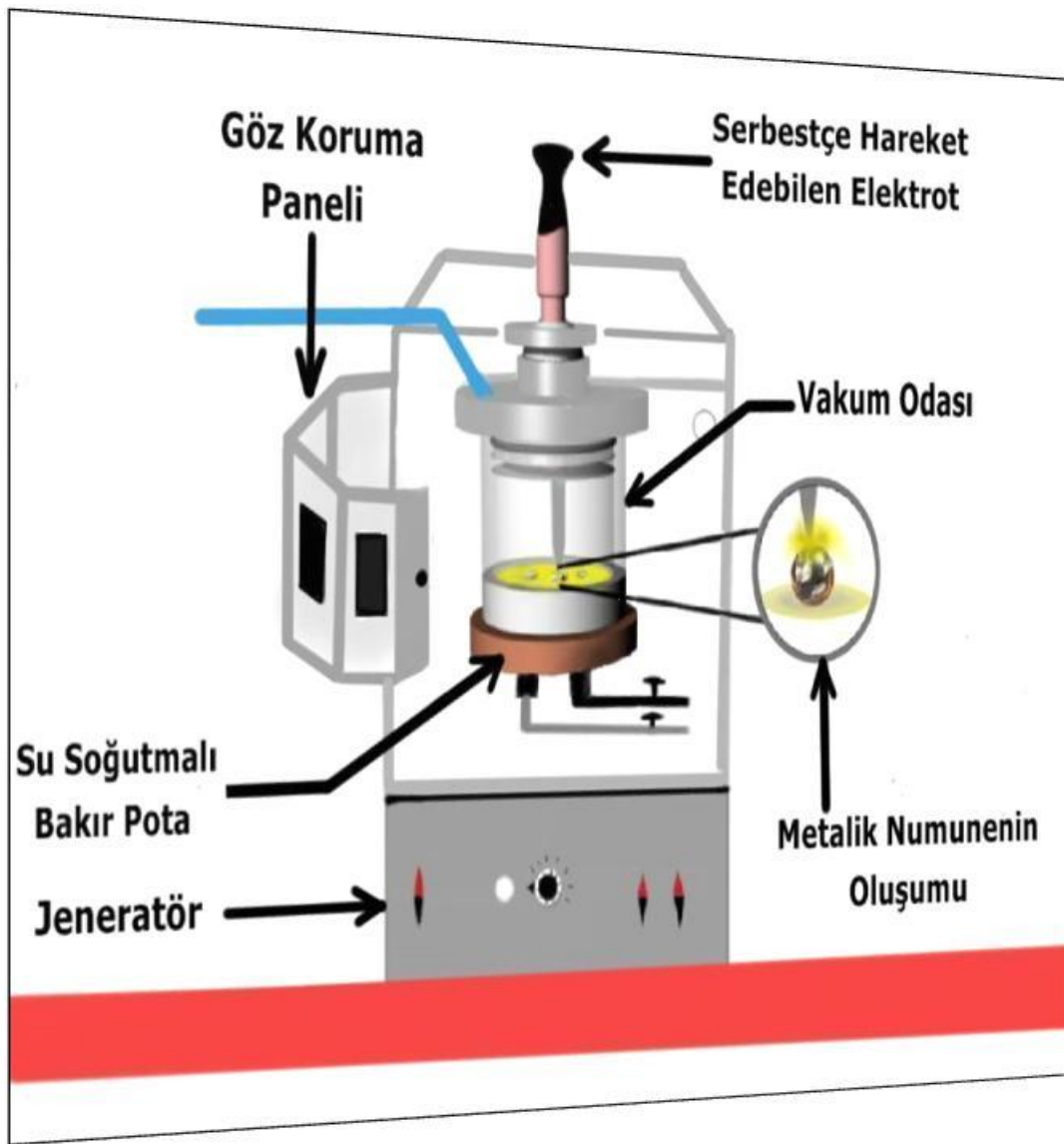
2.4.1. Ark eritme sistemi (vakum ark melting)

Preslenerek hazır hale getirilen numuneler İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi (İBTAM) Manyetik Malzemeler Araştırma Laboratuvarında bulunan şekil 2.5. de belirtilen ark eritme sistemi ile ergitilerek üretilmiştir. Ark eritme sisteminde üretim aşamasında metalik numunelerin yüksek saflığının sağlanması ve dışarıdan gelebilecek herhangi bir saflığı bozucu durumun önlenmesi önemlidir. Dolayısıyla ark eritme saflığı bozucu etkenleri engelleyecek şekilde özel olarak tasarlanmıştır.



şekil 2.5. Ark eritme sistemi

Arcmelting (ark eritme) ile alaşım hazırlama, basit ve çok etkili bir numune üretme işlemi olduğu için tavsiye edilen yaygın bir yöntemdir. Hazırlanan numuneler, ark eritme ile argon gazı altında özel tasarlanmış fırın sisteminde eritilir. şekil 2.6. da ark eritme fırını ve ark eritme fırını oluşturulan temel bölümler şematik olarak gösterilmiştir. Ark eritme fırınlarında eriyiğin hızlıca soğutulmasını sağlayan özel bir soğutma sistemi mevcuttur. Sistem, su döngüsünün bakır potayı soğutması ile gerçekleşmektedir. Ayrıca ark eritme sistemde bulunan vakum odacığı, dışarıdan gelebilecek etkileri azaltmak için özel olarak tasarlanmıştır. Eritme işlemi bir kaç kez dndrlp tekrarlanarak, oluşan alaşıma iyi bir homojenlik sağlanılmış olur (G. Wang, 2012).



şekil 2.6. Ark eritme sistemi ve bölümleri

Ark eritme yöntemi ile eritilen malzemelerin fiziksel durumundan dolayı (plazma) alaşımın içerisine çeşitli atmosferik gazlar girmeye çalışarak saflığın bozulması sorunu mümkün olabilmekte ve bu sorunun oluşmaması için potanın ve ark ucunun bulunduğu odacık (chamber) vakumlanmaktadır. Atmosferik gazların uzaklaştırılması ve saflığın sağlanması için ark fırınının eritme odacığında, 3-4 defa vakum yapılarak, odadaki hava alınıp, argon gazı verilmektedir.

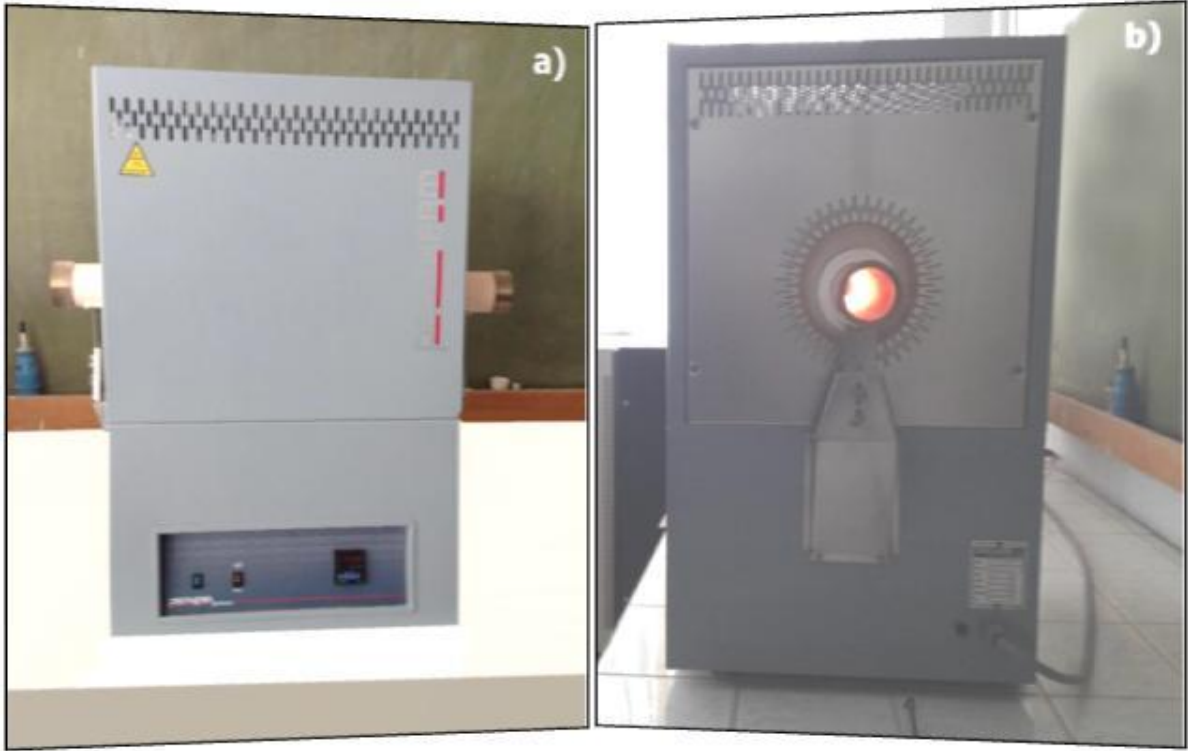
Tartılmış vakumlu numuneler,eritme cihazında bulunan su soğutmalı bakır potanın içerisine yerleştirilirler. Sistemin ark ucundan akım geçirilerek pota ile uç arasında bir ark akımı oluşması sağlanır.Ark ucu hareket ettirilerek kimyasalların üzerinde gezdirilerek, kimyasalların erimesi sağlanır ve alaşım numuneleri üretilir.



Şekil 2.7. Üretilen numuneler (1.numune $\text{Fe}_{85}\text{Si}_7\text{B}_8$, 2.numune $\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Ni}_{10}$, 3.numune $\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Co}_{10}$, 4.numune $\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Cr}_{10}$)

2.4.2. Isıl işlem

Ark eritme yöntemiyle üretilmiş olan numunelerin bir kısmı daha sonra ısıtıl işlem fırınına yerleştirilir. Üretilen metalik numuneler homojenliğin sağlanabilmesi için Tunceli Üniversitesi Makina Laboratuvarında bulunan şekil 2.8. de gösterilen (Protherm marka) fırında iki saat süre ile 575°C’de ısıtıl işleme tabi tutulur.



Şekil 2.8. a) Isıl işlem fırını, b) fırının yandan görünüşü

Numuneler, ısıtıl işleme tabi tutulduktan sonra fırın kapatılarak yavaş soğumaya maruz bırakılmaktadır. Yavaş soğutmanın nedeni yüksek saflıkta ve istenilen özellikteki fazın oluşumu için gereken fiziksel şartları sağlamayı amaçlamaktadır. Eritme ve ısıtıl işlemler sonucunda istenilen yapıdaki metalik numunelerin üretilmesi sağlanmaktadır.

2.5. Üretilen Numunelerin Metalurjik Çalışmalar İçin Hazırlanması

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. Malzemelerin iç yapısının inceleme kademeleri numune alma, numunenin hazırlanması, dağlama, numunenin incelenmesi, sonuçların raporlanmasıdır (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

2.5.1. Numune alınması

Metalografik inceleme için seçilmiş numunenin, araştırmaya uygun halde olması için, numunenin fiziksel özelliklerinin ve kimyasal bileşiminin esas malzemeye eşdeğer olması gerekmektedir. Bu bakımdan numune alma, işin en temel prensibidir. Metalografik numune alınmasında sabit kurallar olmayıp, genel prensiplere dayalı, tecrübe ve bilgi ön plandadır. Örneğin, dövülmüş veya haddelenmiş malzemede enine ve boyuna kesit incelenmeli inceleme şekline göre malzemenin kenar ve ortasından, ince ve kalın yerlerinden, bozuk ve sağlam kısımlarından farklı numuneler alınmalıdır.

Numunenin alınacağı yerin tespit edilmesi sonrasında numune kesimi uygun bir cihazla/aletle yapılır. Genellikle testere, keski, torna, kesici taş, çekiçle kırma ve oksit-asetilen vb. cihazlar kullanılır. Numuneyi alınırken yüzeyde en az plastik şekil değiştirme ve ısı meydana getiren kesme metodu seçilmelidir. Çünkü bütün çalışmaların temelinde malzemenin iç yapısının uygun görüntüleme yöntemiyle (mikroskop vb.) görülebilmesi esastır (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021)

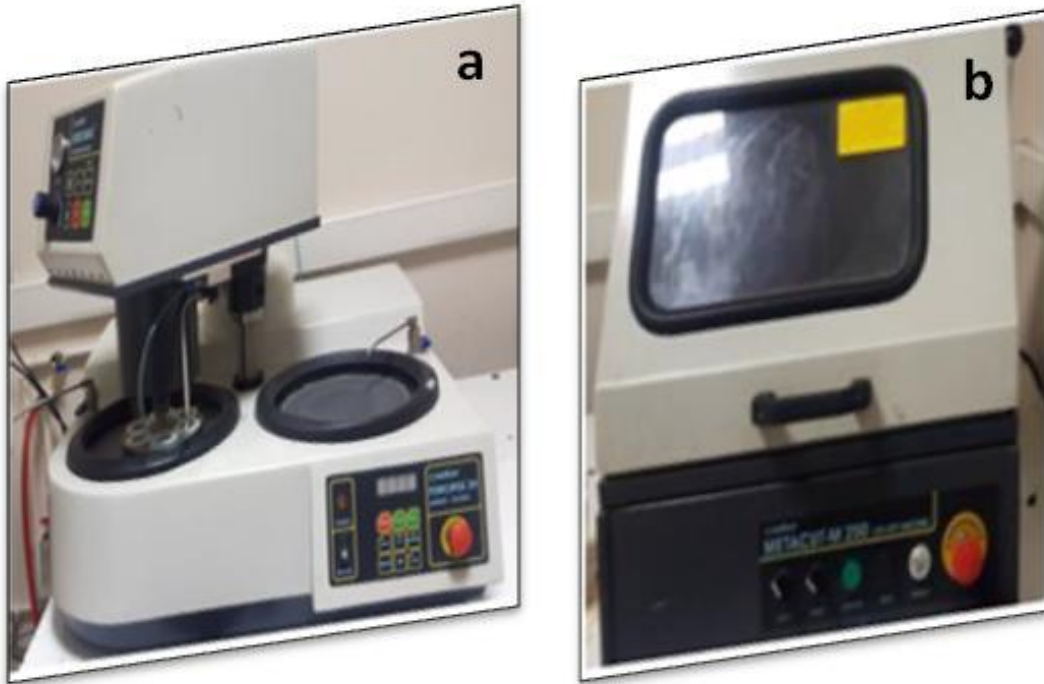
2.5.2. Numunenin kalıplanması

Kalıplama yapılmasının nedeni, numunelerin zımparalama aşamasında küçük ve biçimsiz olduğundan elle tutulmasını kolaylaştırmaktır. Kalıplama işlemi sıcakta ve basınç altında veya soğuk olarak kalıplama şeklinde olabilir. Amaç malzemenin yapısının incelenmesi olduğundan; iç yapısı sıcaklık ve basınçtan etkilenebilecek malzemelerde soğuk kalıplama veya kelepçeleme yöntemi tercih edilmelidir. Kalıplama işlemi; zımparalama, parlatma aşamalarından ve numunenin temizliğin de kolaylık sağlar (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021)

2.5.3. Zımparalama

Zımparalama işlemi; kaba ve ince zımparalama şeklinde ayrılır. Kaba zımparalamada amaç, ince zımparalama ve parlatma kademeleri için ilk düz yüzeyi elde etmektir. Kaba zımparalamada yaygın olarak 80 ve 150 nolu zımparalar kullanılır.

İnce zımparalamada Tunceli Üniversitesi Mühendislik Laboratuvarlarında şekil 2.9. da gösterilen Parlatma cihazı ve kesme cihazı ile (Metkon marka) ile parlatma/kesme işlemi yapılmış ve 320, 400, 600, 800, 1200 nolu zımparalar kullanılmıştır. Zımpara geçişlerinde eller ve numuneler temizce yıkanmalıdır. Bu durum daha kaba zımpara tanelerinin bir üst kademeye geçmesini engeller. Geçişlerde numune bir önceki zımparalama yönüne göre 90° çevrilirse, bir önceki kademedeki çiziklerin giderilme durumu daha kolay tespit olur. Zımparalama işlemi bir önceki zımparanın çiziklerinin giderildiği sürenin iki katı olmalıdır. Her iki kademe de numune parlatma disklerinde işlem görür. Disklerin üzeri parlatma kumaşlarıyla kaplıdır. Bu kademe de Al_2O_3 , Elmas, SiC, Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO vb aşındırıcılar kullanılabilir. Kaba parlatmadan nihai parlatmaya geçerken ve parlatma sonunda eller ve numuneler temizce yıkanmalıdır. Numunenin yüzeyi ayna gibi parlak görünmelidir. Parlatmanın yeterliliğinin kontrolü için mikroskopta 100x büyütme yapılmalıdır (İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021)



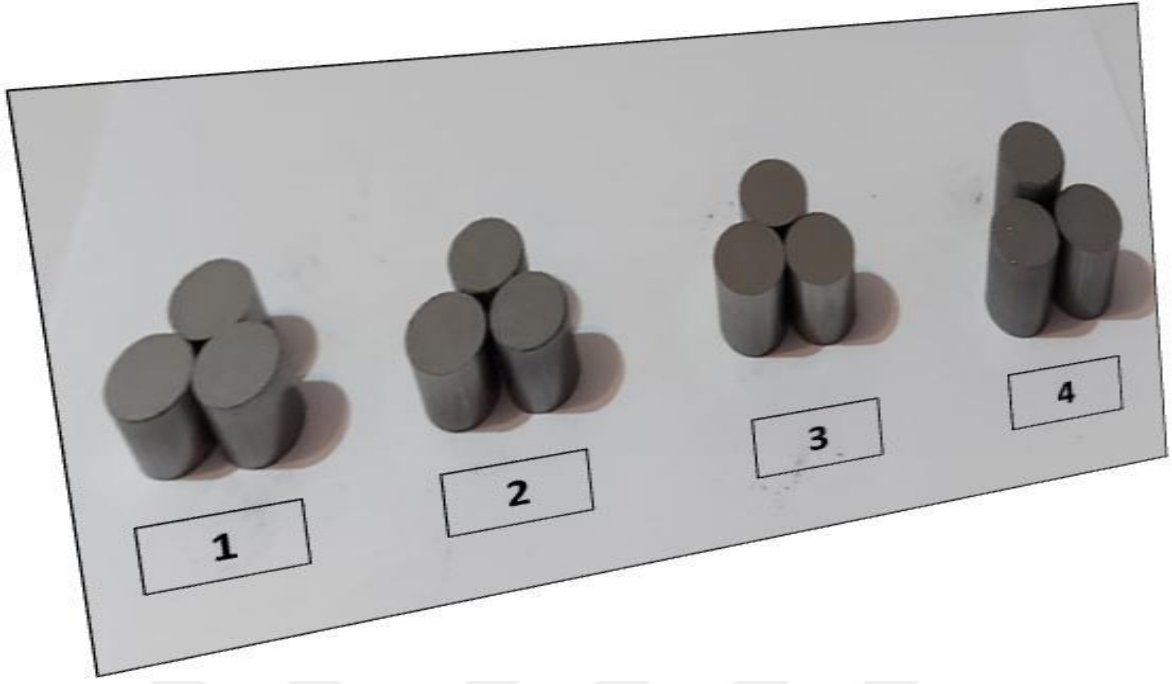
Şekil 2.9. Parlatma (a) ve kesme (b) cihazı

2.5.4. Dağlama

Parlatılan numunelerin mikroskop altında incelenmesi, çok az yapısal detayı ortaya çıkarır. Parlatma işleminden sonra metalik olmayan kalıntılar ve gözenek, çatlak gibi yüzey kusurları oluşabilir. Numunenin uygun bir kimyasal reaktif ile dağlanması, gerçek dahili yapısal özellikleri ortaya çıkarmak için gereklidir. Aşındırmadan sonra, yapıdaki bazı fazlar aşındırmadan etkilenir ve daha az parlak hale gelir (çukur) ve bu nedenle optik metalografik mikroskop altında daha koyu görünür. Asitleme işlemi gereğinden uzun süre yapılırsa, numunenin tüm yüzeyi aşırı asitleme olarak bilinen dağlamadan etkilenebilir. Aşırı aşındırma, 1200 grit zımpara kağıdına veya başka bir parlatma adımına geri dönülerek dağlamanın etkisi giderilene kadar numunenin parlatılmasıyla giderilebilir. Aşındırma kimyasal olarak olduğu kadar elektrolitik veya termal olarak da yapılabilir (termal etki kullanılarak)(İ.Ü. Metalurji Müh.Lab.Deney Föyleri, 2021).

Numunelerin metalurjik çalışmaları için hazırlama aşamasında sırasıyla aşağıda belirtilen işlemler uygulanmıştır:

- * Numunelerin uygun şekilde kesilmiş,
- * Tasa tutularak çapaklar alınmış,
- * Bakalite alma yöntemiyle kalıplanmış,
- * Taslama ile bakalitin düzeltilmiş ve numune markalanmıştır.
- * Sırası ile 340-500-600-800-1200-1600-2000-2500 nolu zımpara kağıtlarıyla zımparalama işlemi yapılmış,
- * Zımparalama kademesinden sonra el ve numune bol su ile yıkanarak parlatma kademesinde numune parlatma diskinde tutulup ve parlatma süspansiyonu kullanılmıştır,
- * Parlatma sonunda el ve numuneler tekrar bol su ile yıkanmış,
- * Numune alkolle yıkanıp kurutulmuş,
- * Numuneye mikroskopta 100x büyütmede bakılarak parlatmanın yeterli olup olmadığına bakılmış ve parlatılmıştır (parlatma yeterli değilse, parlatma işlemine devam edilmelidir).
- * Bir parça pamuk maşa ile tutularak Nital dağlayıcı reaktifine (Nital = %1-5 Nitrik asit(HNO_3) + %95-99 Alkol(CH_3OH)) batırılmış ve numune yüzeyine parlak yüzeyin matlaştığı görülene kadar sürülmüştür (Aşırı dağlamamaya dikkat!).
- * Dağlama görülünce numune bol su ile yıkanmış, ardından alkolle yıkanıp kurutulmuştur.
- * Mikroskopta dağlama durumuna bakılmış ve yeterli seviyede dağlama işlemi tamamlanmıştır (Aşırı dağlama durumunda parlatma kademesine dönmelidir).



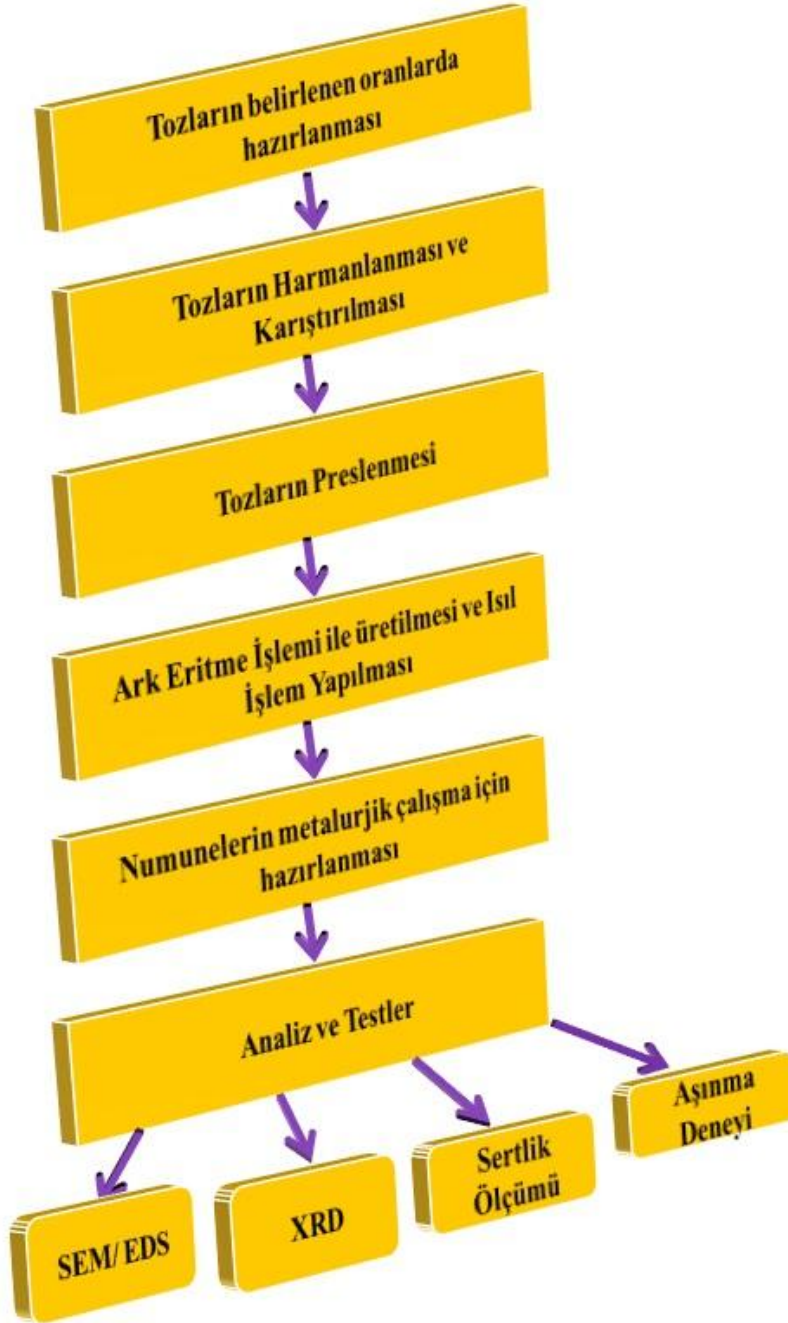
Şekil 2.10. Metalografik çalışma için hazır hale getirilen numeneler (1.numune $\text{Fe}_{85}\text{Si}_7\text{B}_8$, 2.numune $\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Ni}_{10}$, 3.numune $\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Co}_{10}$, 4.numune $\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Cr}_{10}$)



Şekil 2.11. Metalografik çalışma için hazır hale getirilen bakalite alınmış numeneler

2.6. Numunelerin Analiz ve Test İşlemleri

Üretilen numunelerde yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler şekil 2.12. de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Toz analizi şematik gösterimi

2.7. Mikro Sertlik Ölçümlerinin Yapılması

Numunelerin sertlik ölçümleri mikrosertlik 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 şekil 2.13 ile gösterilen mikrosertlik ölçüm cihazıyla (Mitutoyo Sertlik Test Cihazı (Hardness Testing Machine)HM), 1/16'lık küre uç ile yapılmıştır. Her deney malzemesinden 5'er ölçüm yapılarak, çıkan ölçümlerin ortalaması sertlik değeri olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.13. Mikrosertlik ölçüm cihazı

2.8.Aşınma Deneyinin Yapılması

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 2,5µm 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)

Deney düzeneği görselleri Şekil 2.14'de, aşınan numunelere ait görseller Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Aşınma deney düzeneği



Şekil 2.15. Aşınan numuneler ait görseller

2.9. XRD Analizlerinin Yapılması:

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. Metaller kristal bir yapıya sahip olduklarından, desen, algılama

açısının, genişliğin ve tepelerin yoğunluğunun malzemenin kristal yapısı hakkında değerli bilgiler verdiği tepe noktalarından oluşur. XRD, karmaşık moleküller ve farklı bileşikler bulmak için kullanılır (Qader, I.N., Mediha, K., Dağdelen, F., and Abdullah, S.S., 2020).

Üretilen numunelerin fazlarını tespit edebilmek amacıyla X-ışını kütle difraksiyon ölçümleri Tunceli Üniversitesi Mühendislik Laboratuvarlarındaki şekil 2.16 ile gösterilen XRDcihazında(Rigaku, Mini Flex600 marka)yaşlmıştır.



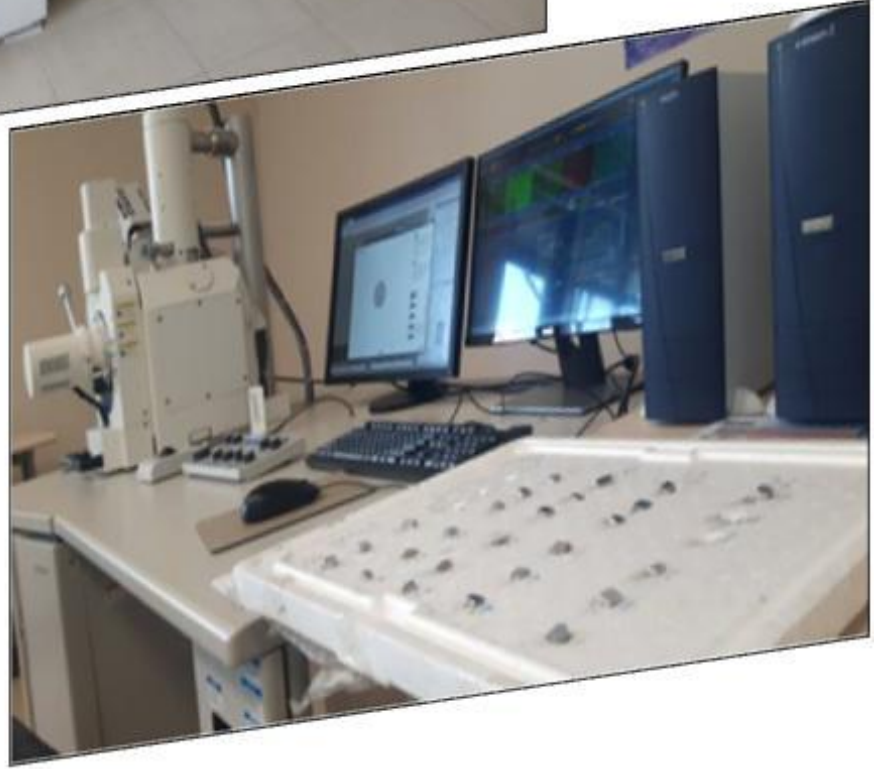
Şekil 2.16. XRD cihazı

2.10. SEM Görüntülerinin Alınması ve EDS Meping Analizlerinin Yapılması

SEM (taramalı elektron mikroskobu), bir malzemenin yüzey görüntüsünü iyi ve yüksek büyütme yeteneğinde incelemek için güçlü bir bilimsel araçtır veelektromanyetik mercek numunede üretilen birincil elementlerin kimyasal bileşimini tespit etmek için de kullanılır.

SEM, fotoelektrik etki prensibine bağlı olarak çalışır, fotoelektrik etkiye göre, numune yüksek enerjili elektron ışını tarafından bombardıman edildiğinde, birincil elektron (olay elektronu) ikincil elektrona (düşük enerji seviyesindeki elektron [K-kabuk]) saldırır ve her iki elektron da atomu terk eder, bunun sonucunda ikincil elektronun konumunda K-kabuğu enerji seviyesinde bir boşluk oluşur ve bu boşluğu doldurmak için yüksek enerji seviyesi (L-kabuğu) daha düşük enerji seviyesine (K-kabuğu) atlar, sonuç olarak, karakteristik x-ışını adı verilen bazı ışınlar saçılır ve birincil elektronlar (olay elektronu) çekirdeklerin yakınından geçtiğinde atomun yönü Coulomb çekim kuvvetinin etkisiyle değişmiş, bunun sonucunda enerjilerinin bir kısmı bremsstrahlung olarak bilinen başka bir tür x-ışınına dönüşmüş ve bu x-ışınları dedektörler tarafından toplanmıştır. Geri saçılım dedektörü olarak adlandırılan ve ikincil elektron dedektörü ve x-ışınları bunlar tarafından dedektörlere yüksek çözünürlüklü görüntüye dönüştürülür ve daha sonra bu görüntüleri bir bilgisayara gönderir. Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy, SEM) numunelerin şekil, boyut ve parçacıklarının morfolojisini, yüzey topolojisini ve özelliklerinin farklılıklarını, kristal kusurları ve kristal yöneliminin görüntülerini belirlemede kullanılan önemli bir cihazdır. Kısaca, yüksek voltaj altında çok hızlı elektronların numune yüzeyine hızlıca çarpıp geri dönerek yansıması şeklinde açıklanır. Elektronlar yansidikça o numunenin yüzeyi hakkında bize bilgi verir. Alaşımlarının oranlarını tespit etmede ise EDX kullanılmıştır (Kök, M., 2011).

Üretilen numunelerin yapılarında oluşan faz yapılarını tespit etmek ve mikro yapılarını incelemek için Tunceli Üniversitesi Mühendislik Laboratuvarlarındaki şekil 2.17 ile gösterilen SEM elektron mikroskobu(Hitachi SU3500)kullanılarak SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.17. SEM elektron mikroskobu

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

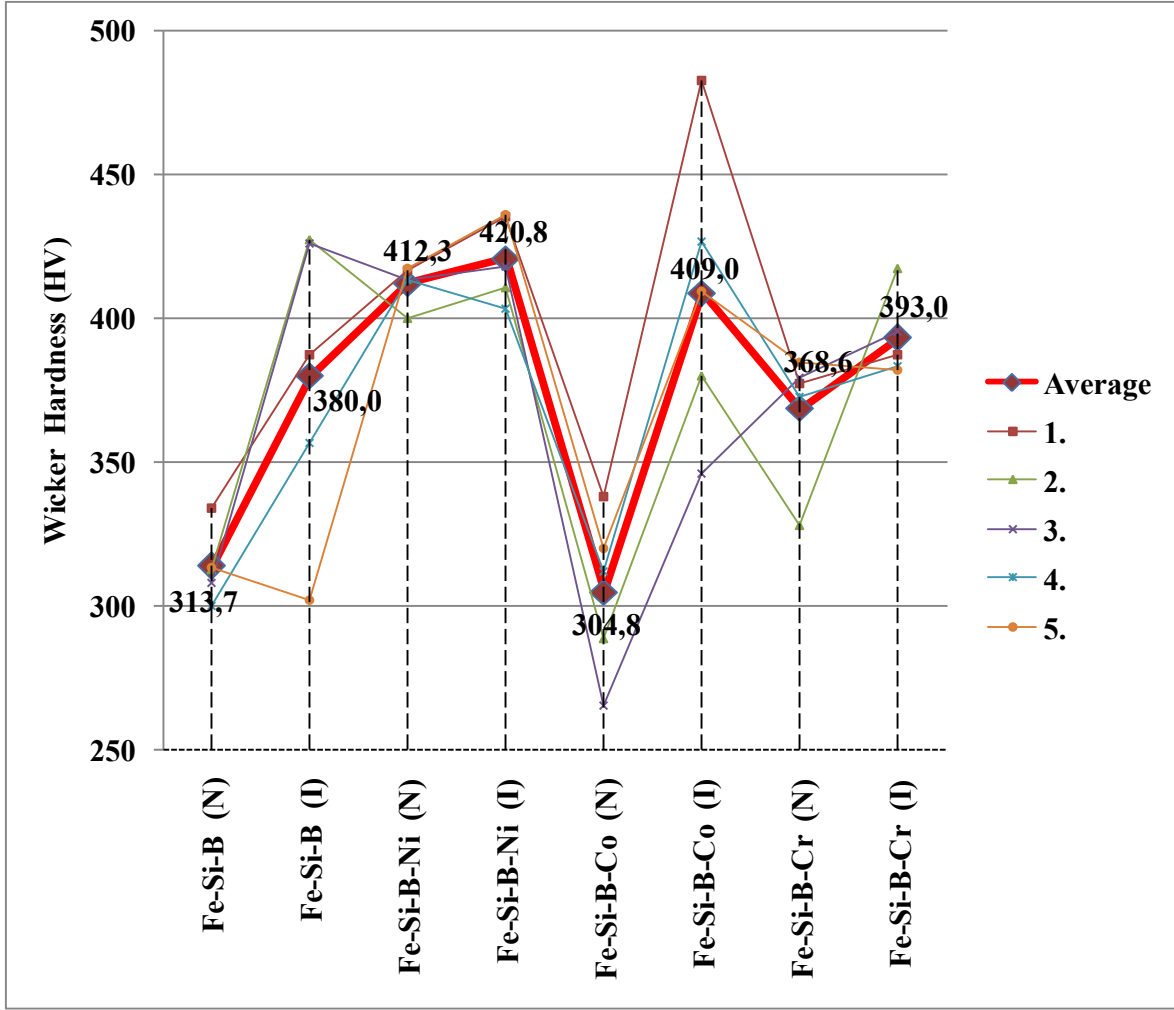
3.1. Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları

Sertlik değerlerinin belirlenmesinde Wickers sertlik metodu kullanılmıştır. Çalışmamızda Fe-Si-B alaşımı (Ni-Cr-Co) ile alaşımlandırarak toz metalurjisi ve vakumlu art melting yöntemiyle hazırladığımız 4 ü normal ve 4 ü ısıtılı işlemlili olan 8 farklı numune üzerinde yaptığımız mikrosertlik testlerinde her bir numune için beş farklı noktadan değerler alınarak ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır.

Numunelerin mikro sertlik değerlerine göre oluşturulan tablo 3.3. de ve çizilen grafik şekil 3.18. de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre her bir numunenin ortalama mikrosertlik değerleri hesaplandığında alaşım elementlerinin özellikleri ve normal/ısıtılı işlem kıyaslamasına göre farklı değerler olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. Sertlik Ölçüm Değerleri

Numune Adı	Durum (Normal/ Isıl İşlemlili)	Yapılan Ölçümler (Wicker Sertlik Değeri, HV)					
		ortalama	1. ölçüm	2. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	5. ölçüm
Fe ₈₅ Si ₇ B ₈	Normal	313,7	334,0	312,9	308,1	300	313,3
	Isıl İşlemlili	380,0	387,5	427,6	426,3	356,6	302,0
Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Ni ₁₀	Normal	412,3	416,8	400,3	413,4	413,6	417,5
	Isıl İşlemlili	420,8	435,5	411,0	418,1	403,3	435,9
Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Co ₁₀	Normal	304,8	337,7	288,5	265,4	312,1	320,1
	Isıl İşlemlili	409,0	482,9	379,9	346,3	426,8	409,2
Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Cr ₁₀	Normal	368,6	377,6	328,3	379,4	373,0	384,6
	Isıl İşlemlili	393,0	387,1	417,4	395,4	383,3	382,0



Şekil 3.18. Mikrosertlik ölçüm değerleri grafiği

3.1.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması

Isıl işleme tabi tutulmadan üretilen 4 farklı numunemiz F1 nolu Fe-Si-B (normal) numunesi, F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) numunesi, F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) numunesi ve F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) numunesi için yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değeri hesaplamaları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır.

1. F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) : 412,3 HV,
2. F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) : 368,6 HV,
3. F1 nolu Fe-Si-B (normal) : 313,7 HV,
4. F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) : 304,8 HV,

3.1.2. Isıl işlemle üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması

Isıl işleme tabi tutulduktan sonra üretilen 4 farklı numunemiz F11 nolu Fe-Si-B (ısıl işlem) numunesi, F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıl işlem) numunesi, F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıl işlem) numunesi ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıl işlem) numunesi için yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değeri hesaplamaları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır.

1. F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıl işlem) : 420,8 HV,
2. F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıl işlem) : 409,0 HV,
3. F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıl işlem) : 393,0 HV,
4. F11 nolu Fe-Si-B (ısıl işlem) : 380,0 HV,

3.1.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıl işlemli üretilen numunelerin kıyaslanması

- * F1 nolu Fe-Si-B (normal) numune ve F11 nolu Fe-Si-B (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 313,7 HV ‘den 380 HV’ye çıktığı, bu durumun ısıl işlemli numunenin beklenildiği şekilde malzemenin sertliğini arttırdığı görülmüştür.
- * F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) numune ve F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 412,3 HV ‘den 420,8 HV’ye arttığı, bu durumun ısıl işlemli numunenin beklenildiği şekilde malzemenin sertliğini arttırdığı görülmüştür.
- * F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) numune ve F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 304,8 HV ‘den 409,0 HV’ye çıktığı, bu durumunda ısıl işlemli numunenin beklenildiği şekilde malzemenin sertliğini arttırdığı görülmüştür.
- * F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) numune ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıl işlem) numune kıyaslandığında ortalama sertlik değerinin 368,6 HV ‘den 393,0 HV’ye arttığı, bu durumunda ısıl işlemli numunenin beklenildiği şekilde malzemenin sertliğini arttırdığı

Yapılan sertlik deneyleri sonuçları neticesinde;

- * Fe-Si-B-Co alaşımı ısıl işlem öncesi en yumuşak malzeme iken ısıl işlem sonucunda sertliğinin değerinin iyi seviyede (304,8 HV - 409 HV) artış gösterdiği,
- * Fe-Si-B alaşımının ısıl işlem neticesinde sertliğinin Fe-Si-B-Co alaşımı kadar olmasada iyi seviyede (313,7 HV – 380,0 HV) artış gösterdiği,
- * Fe-Si-B-Cr alaşımının ısıl işleme tabi tutulması sonucunda sertlik değerinde artış olduğu (368,6 HV – 393,0 HV), beklenen yönde artış gösterdiği,

* Fe-Si-B-Ni alaşımlarının ısıtılma işlemine tabi tutulması sonucunda diğer numuneler kadar olmasada beklenen yönde artış gösterdiği (412,3 HV - 420,8) ve malzemenin sertleştiği tespit edilmiştir.

* Isıl işlemin numunelerin tamamında beklenen şekilde malzemeleri sertleştirdiği tespit edilmiştir.

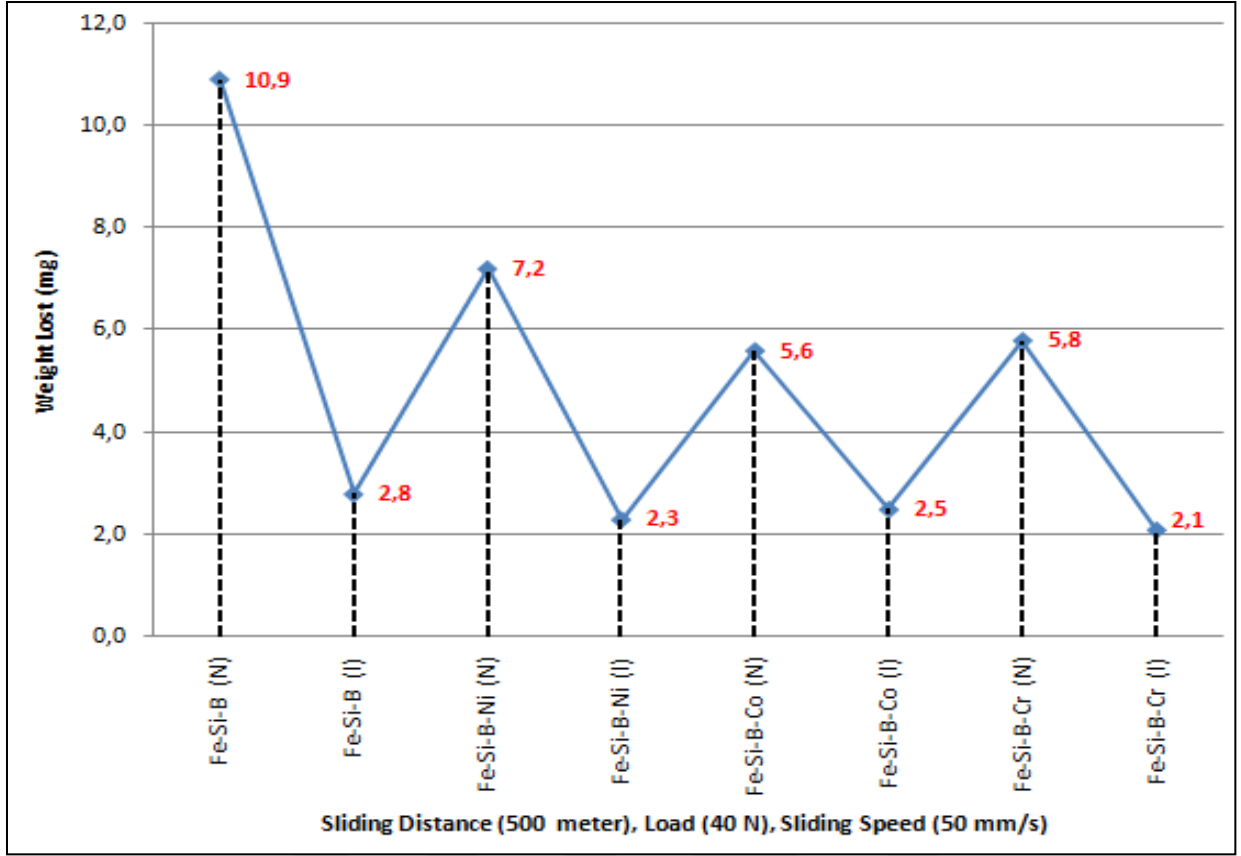
3.2. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyi 40 N yük altında ve 500 metre kayma mesafesinde, 50 mm/sn kayma hızıyla, 120 d/dk da kuru aşındırıcı şartlarında Numuneler, deney öncesinde ve deney sonrasında 10–4 g hassasiyetindeki dijital terazide tartılarak ağırlık kayıpları ölçülmüştür.

Aşınma deneyi verileri tablo 3.4. de ve çizilen grafik şekil 3.19. da gösterilmiştir. Bu grafiğe göre her bir numunenin aşınma deneyi sonrasında oluşan kütle kaybı değerleri tartılıp hesaplandığında alaşım elementlerinin özellikleri ve normal/ısıtılma işlem durumuna göre farklı kütle kayıplarının olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.4.Aşınma deneyi sonuç verileri

Numune Adı	Durum (Normal/ Isıl İşlemlili)	Başlangıç Kütlesi (g)	500 m Kayma Mesafesi Sonrası Kütle (g)	Kütle Kaybı (mg)	Aşındırma Mesafesi (m)	Yük (N)	Aşındırma Hızı (mm/sn)	Dönme Hızı (d/dk)
Fe ₈₅ Si ₇ B ₈	Normal	17,1019	17,0910	10,9	500	40	50	120
	Isıl İşlemlili	15,3047	15,3019	2,8				
Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Ni ₁₀	Normal	14,6289	14,6217	7,2				
	Isıl İşlemlili	16,9415	16,9392	2,3				
Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Co ₁₀	Normal	16,3598	16,3542	5,6				
	Isıl İşlemlili	13,4019	13,3994	2,5				
Fe ₇₅ Si ₇ B ₈ Cr ₁₀	Normal	14,2989	14,2931	5,8				
	Isıl İşlemlili	14,5068	14,5047	2,1				



Şekil 3.19. Fe-Si-B Numunelerinin aşınma kütle kaybı miktarları

3.2.1. Isıl işlemsiz üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması

Isıl işlem uygulanmamış 4 farklı numunemiz F1 nolu Fe-Si-B (normal) numunesi, F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) numunesi, F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) numunesi ve F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) numunesi için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır.

1. F1 nolu Fe-Si-B (normal) :10,9 miligram,
2. F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) :7,2 miligram,
3. F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) : 5,8 miligram
4. F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) :5,6 miligram,

3.2.2. Isıl işlemli üretilen alaşım numunelerinin birbiriyle kıyaslanması

Isıl işleme tabi tutulduktan sonra oluşturulan 4 farklı numunemiz F11 nolu Fe-Si-B (ısıl işlem) numunesi, F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıl işlem) numunesi, F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıl işlem) numunesi ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıl işlem) numunesi için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru aşağıda sıralanmıştır.

1. F11 nolu Fe-Si-B (ısıl işlem) :2,8 miligram,
- 2.F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıl işlem) :2,5 miligram,
- 3.F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıl işlem) :2,3 miligram,
4. F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıl işlem) :2,1 miligram,

3.2.3. Isıl işlemsiz üretilen ve ısıl işlemli üretilen numunelerin kıyaslanması

* F1 nolu Fe-Si-B (normal) numune ve F11 nolu Fe-Si-B (ısıl işlem) numune kıyaslandığında oluşan aşınma kütle kayıpları 10,9 miligramdan,2,8miligramadüştüğü ve ısıl işleminde aşınma kütle kaybını 8,1 miligram azalttığı görülmüştür.

* F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) numune ve F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıl işlem) numune kıyaslandığında oluşan aşınma kütle kayıpları 7,2 miligramdan,2,3miligramadüştüğü ve ısıl işleminde aşınma kütle kaybını 4,9 miligram azalttığı görülmüştür.

* F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) numune ve F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıl işlem) numune kıyaslandığında oluşan aşınma kütle kayıpları 5,6 miligramdan, 2,5 miligramadüştüğü ve ısıl işleminde aşınma kütle kaybını 3,1 miligram azalttığı görülmüştür.

* F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) numune ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıl işlem) numune kıyaslandığında oluşan aşınma kütle kayıpları 5,8 miligramdan, 2,1 miligramadüştüğü ve ısıl işleminde aşınma kütle kaybını 3,7 miligram azalttığı görülmüştür.

Yapılan aşınma deneyleri sonuçları neticesinde;

* Isıl işlemli tüm numunelerde ısıl işlemsiz numunelere kıyasla kütle aşınma kaybının daha az olduğu,

* Fe-Si-B alaşımı ısıl işlemsiz numunede en fazla kütle kaybı oluşurken ısıl işlemli numunede ise en az kütle kaybı oluşturduğu ve kütle kaybı farkının en fazla olduğu,

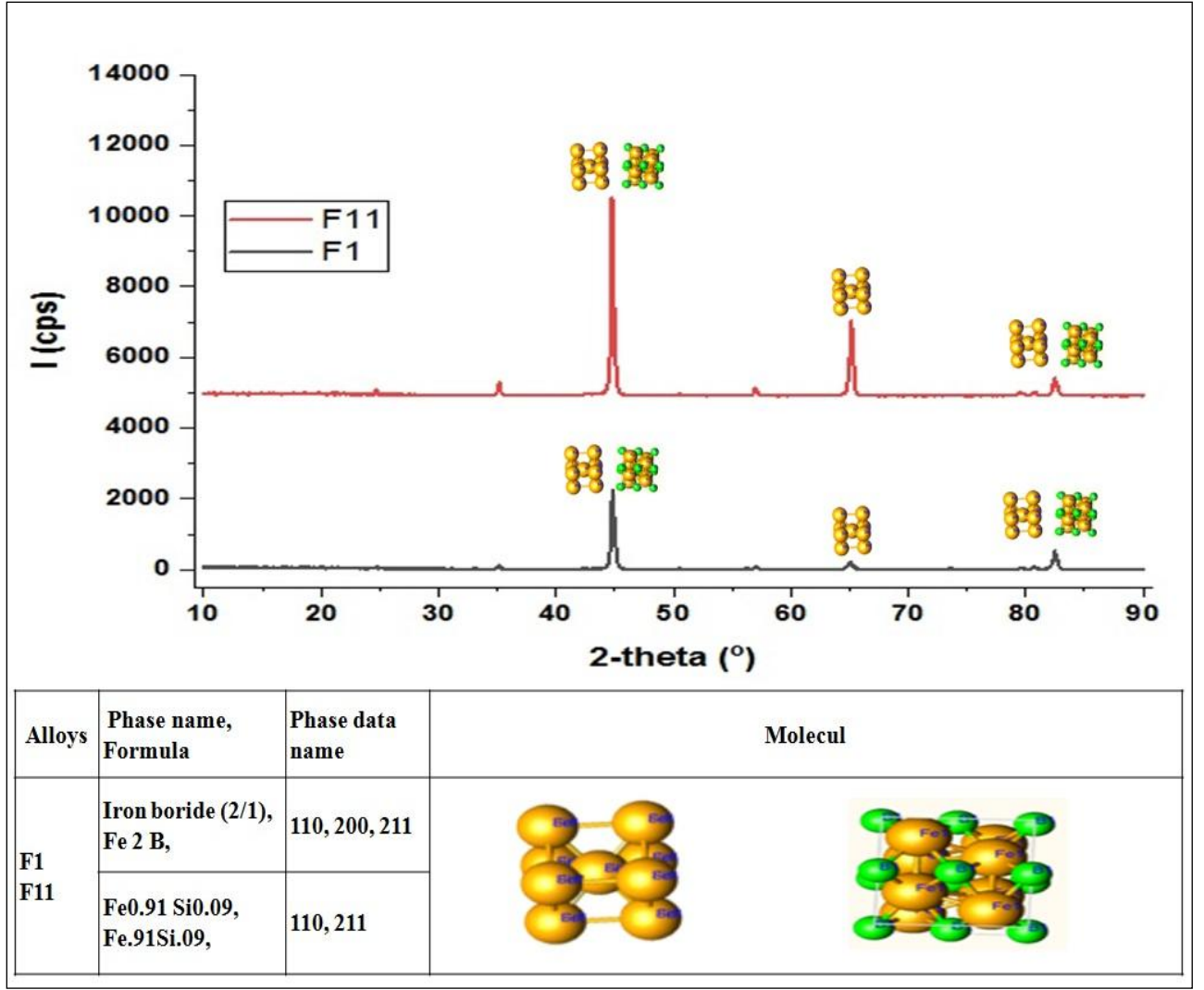
* Fe-Si-B-Ni alaşımı ısıl işlemsiz numunenin ısıl işlemli numuneye kıyasla daha az aşındığı ve Fe-Si-B alaşımı hariç diğer numunelere kıyasla aşınma kütle kaybı farkının az olduğu tespit edilmiştir.

- * Fe-Si-B-Co alaşımını ısı ışlemsiz numunede en az kütle kaybı oluşurken ısı ışlemlı numunede ise daha fazla kütle kaybı oluşturduğu ve kütle kaybı farkının en az olduğu,
- * Fe-Si-B-Cr alaşımını ısı ışlemsiz numunenin ısı ışlemlı numuneye kıyasla fazla aşındığı ve diğer numunelere kıyasla Fe-Si-B-Co alaşımlı numune haricinde aşınma kütle kaybı daha az oluştuğu tespit edilmiştir.

3.3. XRD Analiz Sonuçları

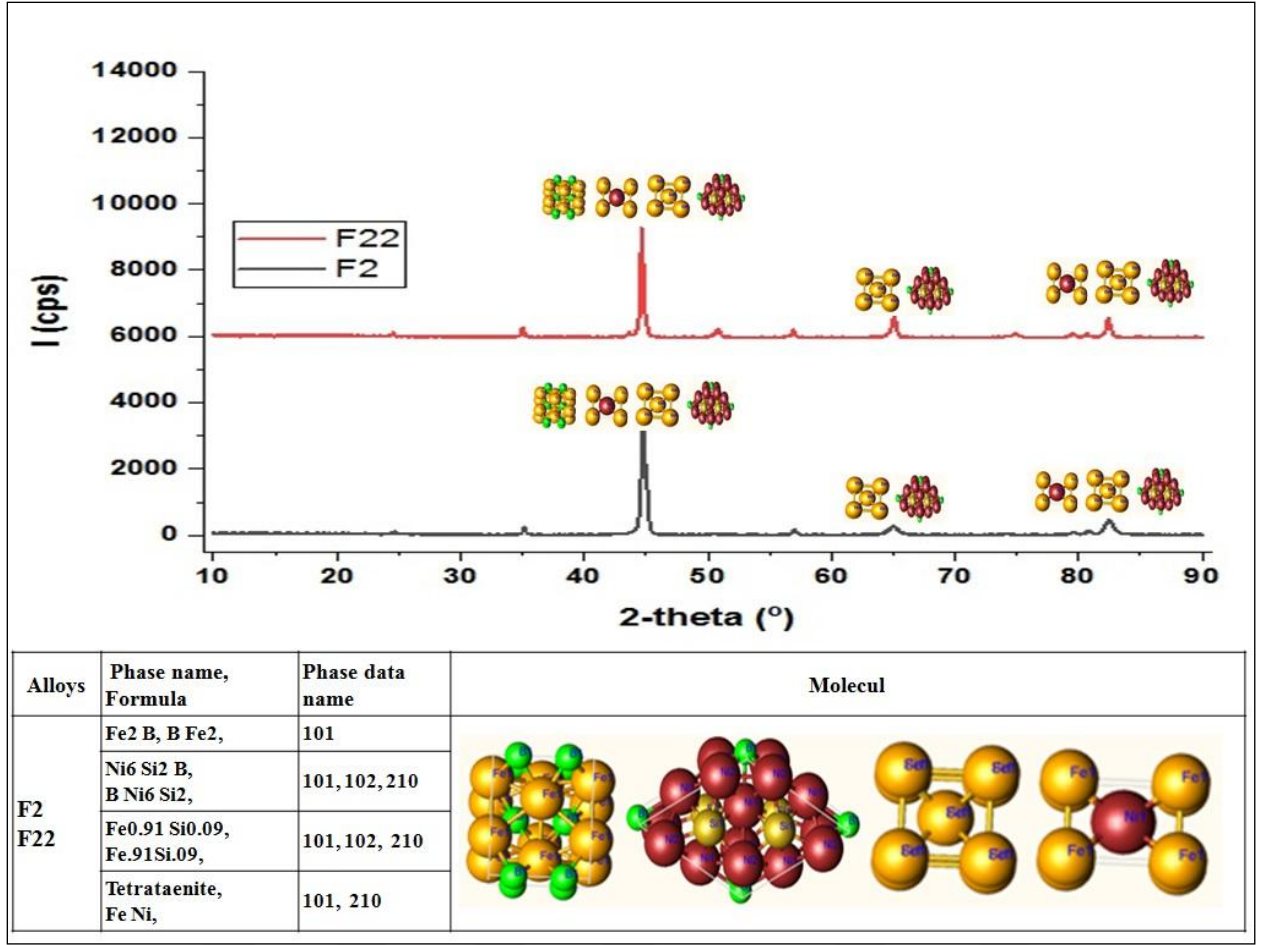
Üretilen 8 adet numunenin oda sıcaklığında 10°-90° aralığında x-ışınları difraktogramı ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar şekil 3.20, şekil 3.21, şekil 3.22, şekil 3.23 ve şekil 3.24 'de verilmiştir.

şekil 3.20'de F1 nolu Fe-Si-B (normal) numune ve F11 nolu Fe-Si-B (ısı ışlem) numunelerinin pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. Fe₂B (Iron boride (2/10)) ve Fe₉₁Si₀₉ fazlarını içerdiği pikler tespit edilmiştir. Fe₂B (Iron boride (2/10)) fazına ait pik açıları 44.7°, 65.1°, 82.5° dir ve (110), (200), (211) kafes yapıları belirlenmiştir. Fe₉₁Si₀₉ fazına ait pik açıları 44.7°, 82.5°dir ve (110), (211) kafes yapıları belirlenmiştir.



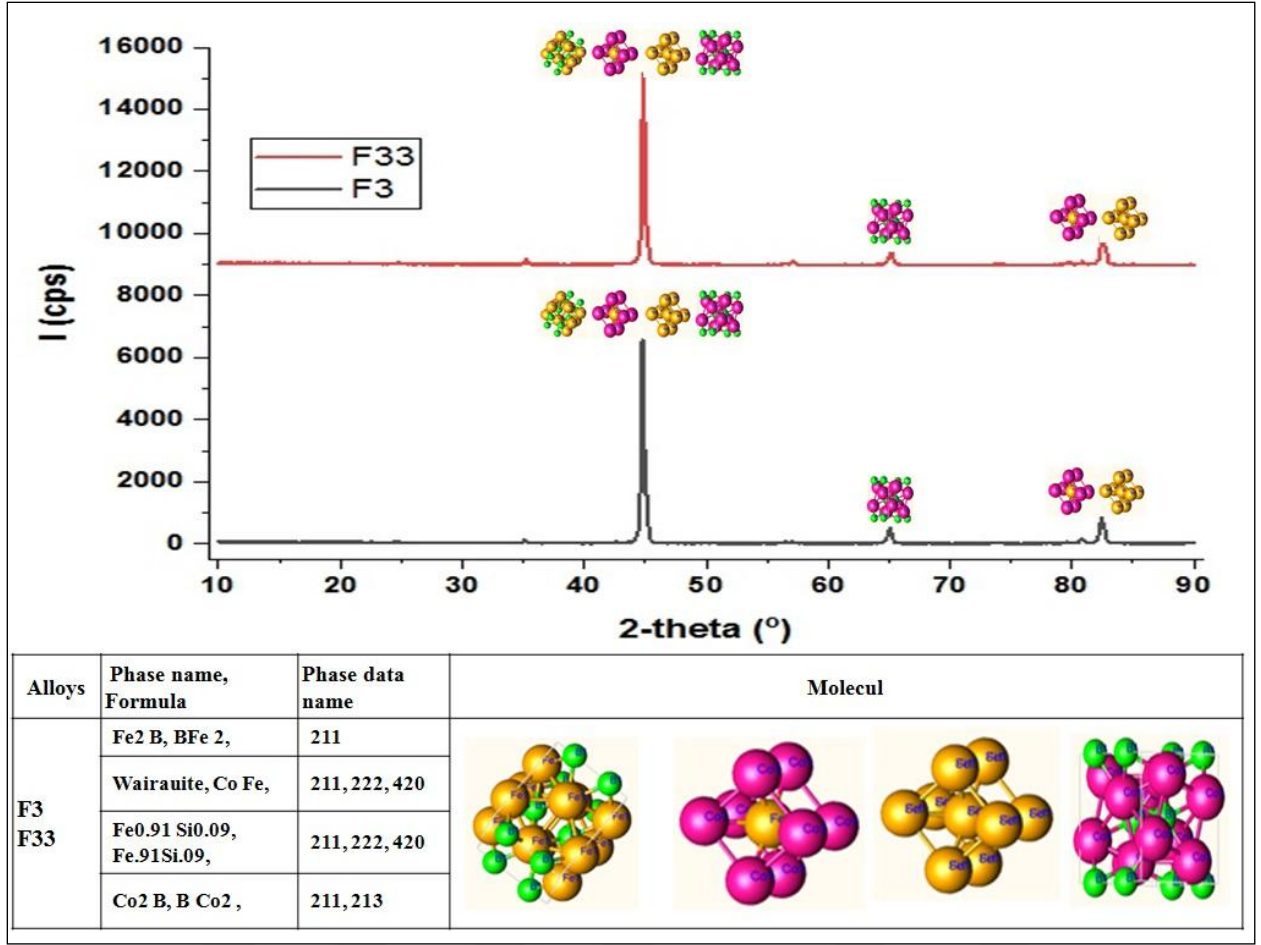
Şekil 3.20. F1 ve F11 Numenelerine ait XRD grafiği faz görünümü

Şekil 3.21’de F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) numune ve F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıtıl işlem) numunelerinin pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. BFe₂ (Fe₂B), BNi₆Si₂ (Ni₆Si₂B), Fe_{0.91}Si_{0.09} (Fe_{0.91}Si_{0.09}), FeNi (Tetrataenite) fazlarını içerdiği pikler tespit edilmiştir. BFe₂ (Fe₂B) fazına ait pik açısı 44.7° ve (101) kafes yapısı belirlenmiştir. BNi₆Si₂ (Ni₆Si₂B) fazına ait pik açıları 44.7°, 65.1°, 82.5°’dir ve (101), (102), (210) kafes yapıları belirlenmiştir. Fe_{0.91}Si_{0.09} (Fe_{0.91}Si_{0.09}) fazına ait pik açıları 44.7°, 65.1°, 82.5°’dir ve (101), (102), (210) kafes yapıları belirlenmiştir. FeNi (Tetrataenite) fazına ait pik açıları 44.7°, 82.5°’dir ve (101), (210) kafes yapıları belirlenmiştir.



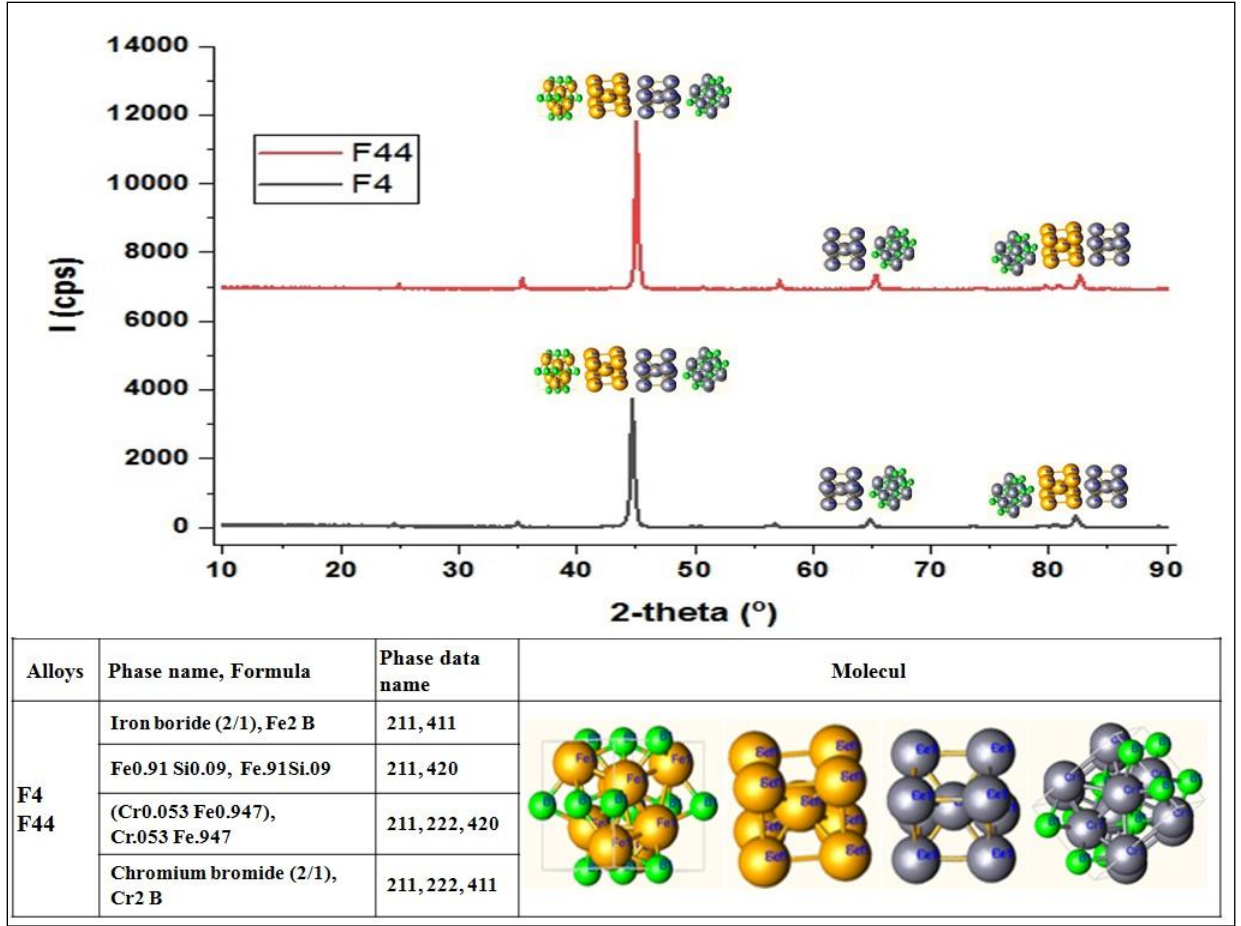
Şekil 3.21. F2 ve F22 Numenelerine ait XRD grafiği faz görünümü

Şekil 3.22’de F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) numune ve F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıt işlem) numunelerinin pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. BFe₂ (Fe₂B), CoFe (Wairauite), Fe_{0.91}Si_{0.09} (Fe_{0.91} Si_{0.09}), BCo₂(Co₂B) fazlarını içerdiği pikler tespit edilmiştir. BFe₂ (Fe₂B) fazına ait pik açısı 44.7° ve (211) kafes yapısı belirlenmiştir. CoFe (Wairauite) fazına ait pik açıları 44.7°, 65.1°, 82.5°’dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. Fe_{0.91}Si_{0.09} (Fe_{0.91} Si_{0.09}) fazına ait pik açıları 44.7°, 65.1°, 82.5°’dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. BCo₂ (Co₂B) fazına ait pik açıları 44.7°, 82.5°’dir ve (211), (213) kafes yapıları belirlenmiştir.



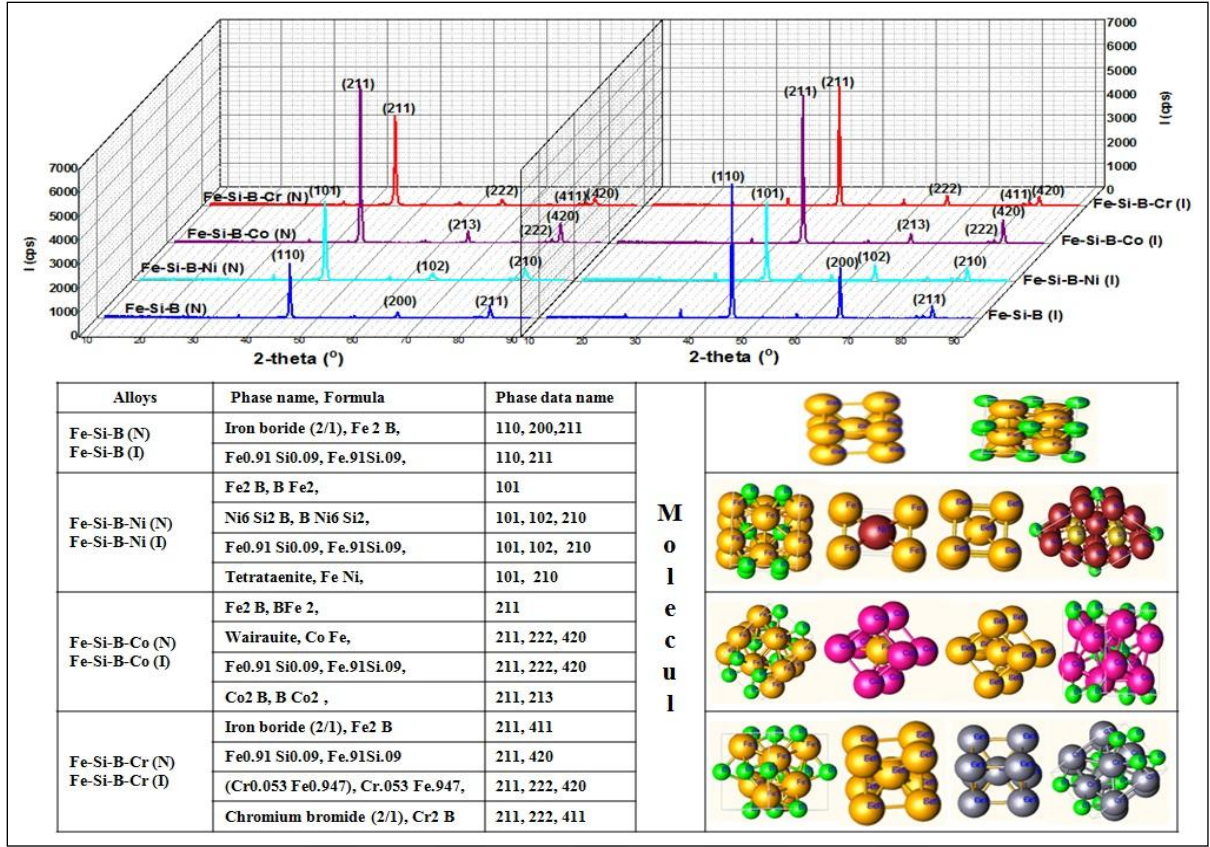
Şekil 3.22. F3 ve F33 Numenelerine aitXRDgrafiği faz görünümü

Şekil 3.23’de F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) numune ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıt işlem) numunelerinin pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri görülmektedir. Fe_2B (Iron boride (2/10)), $\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$ ($\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$), $\text{Cr}_{0.053}\text{Fe}_{0.947}$ ($\text{Cr}_{0.053}\text{Fe}_{0.947}$), Cr_2B (Chromium boride (2/1)) fazlarını içerdiği pikler tespit edilmiştir. Fe_2B (Iron boride (2/10)) fazına ait pik açısı 44.7° ve (211) kafes yapısı belirlenmiştir. $\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$ ($\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$) fazına ait pik açıları 44.7° , 82.5° dir ve (211), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. $\text{Cr}_{0.053}\text{Fe}_{0.947}$ ($\text{Cr}_{0.053}\text{Fe}_{0.947}$) fazına aitpik açıları 44.7° , 65.1° , 82.5° dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. Cr_2B (Chromium boride (2/1)) fazına ait pik açıları 44.7° , 65.1° , 82.5° dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir.



Şekil 3.23. F4 ve F44 Numenelerine ait XRD grafiği faz görünümü

Şekil 3.24’de üretilen tüm numunelerin (normal ve ısıtılmış) pik yaptığı açılar ve şiddet değerleri birleştirilerek gösterilmiştir. Pik açısı değerleri 44.7°, 65.1°, 82.5° de oluşan fazlar ve kafes yapıları ayrıntılı bir biçimde görülmektedir.



Şekil 3.24. XRD 3D, faz ve molekül görünümü

3.4. SEM--EDS Analiz Sonuçları

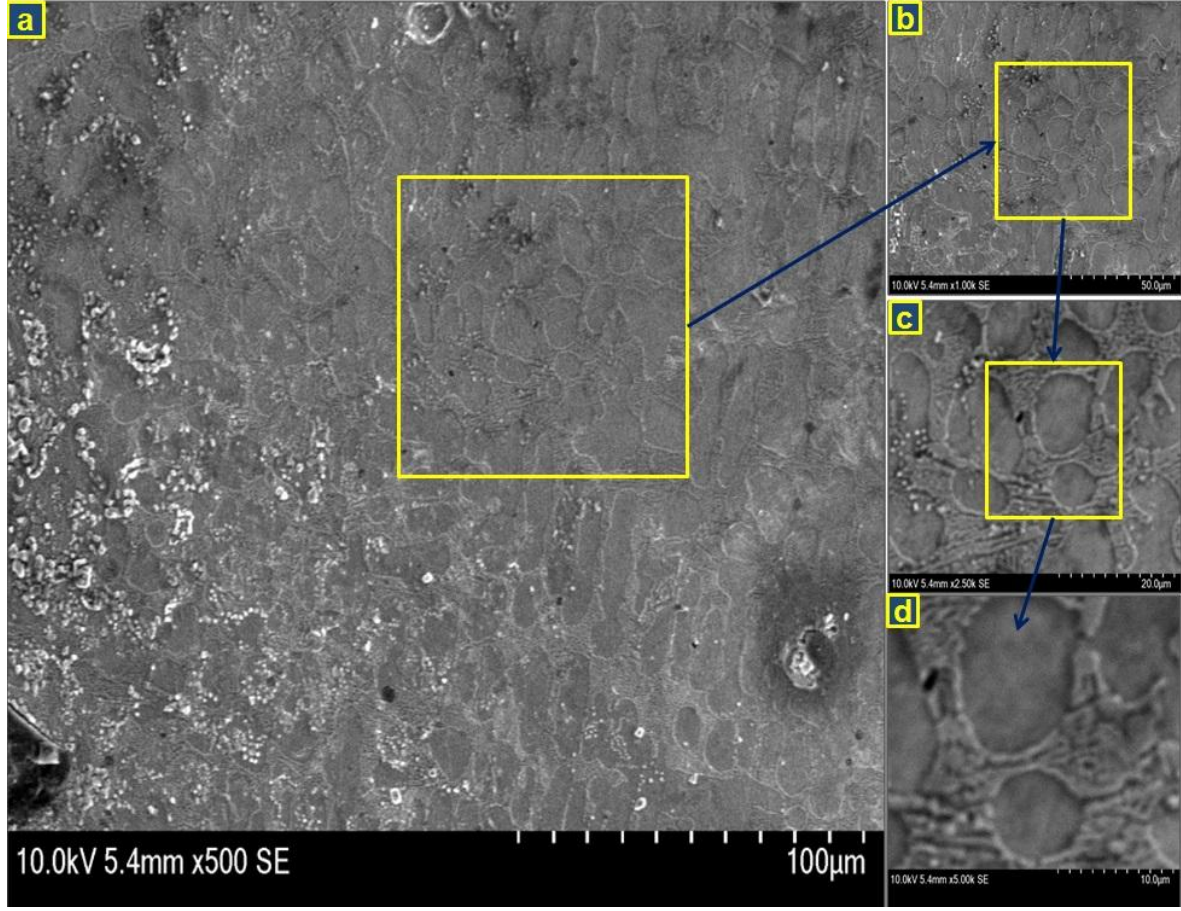
3.4.1. F1 nolu FeSiB numunesine ait SEM-EDS-MEPİNG analizleri

FeSiB Numunesi için Şekil 3.25’de 500x, 1000x, 2500x,ve 5000x büyütmelemlerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

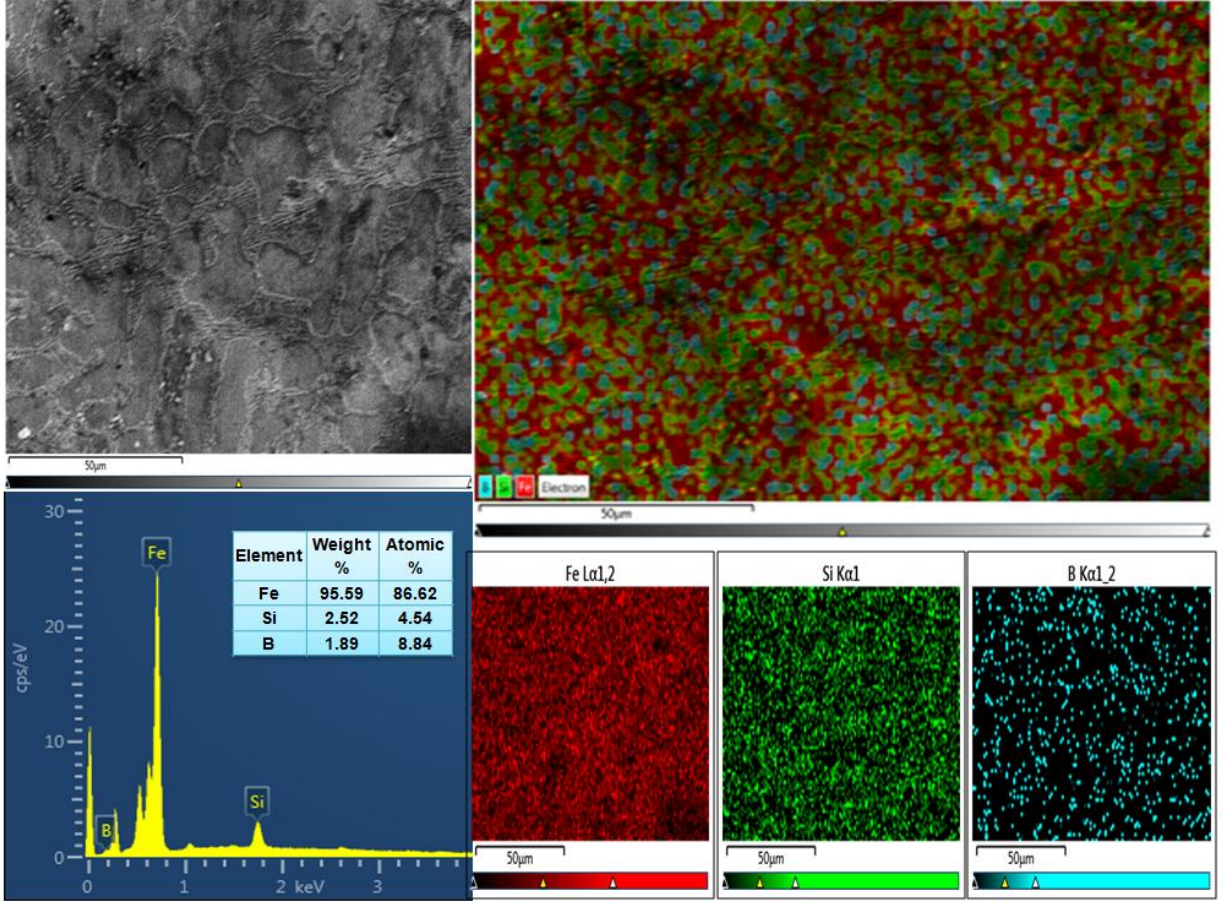
FeSiB Numunesi için Şekil 3.26’da EDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %95,59Fe, %2,52Si, %1,89 B şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen Fe₂B (Iron boride (2/10)) ve Fe₉₁Si₉ fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre (Fe₈₅Si₇B₈) kütleli oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si ve B elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.27’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütleli ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

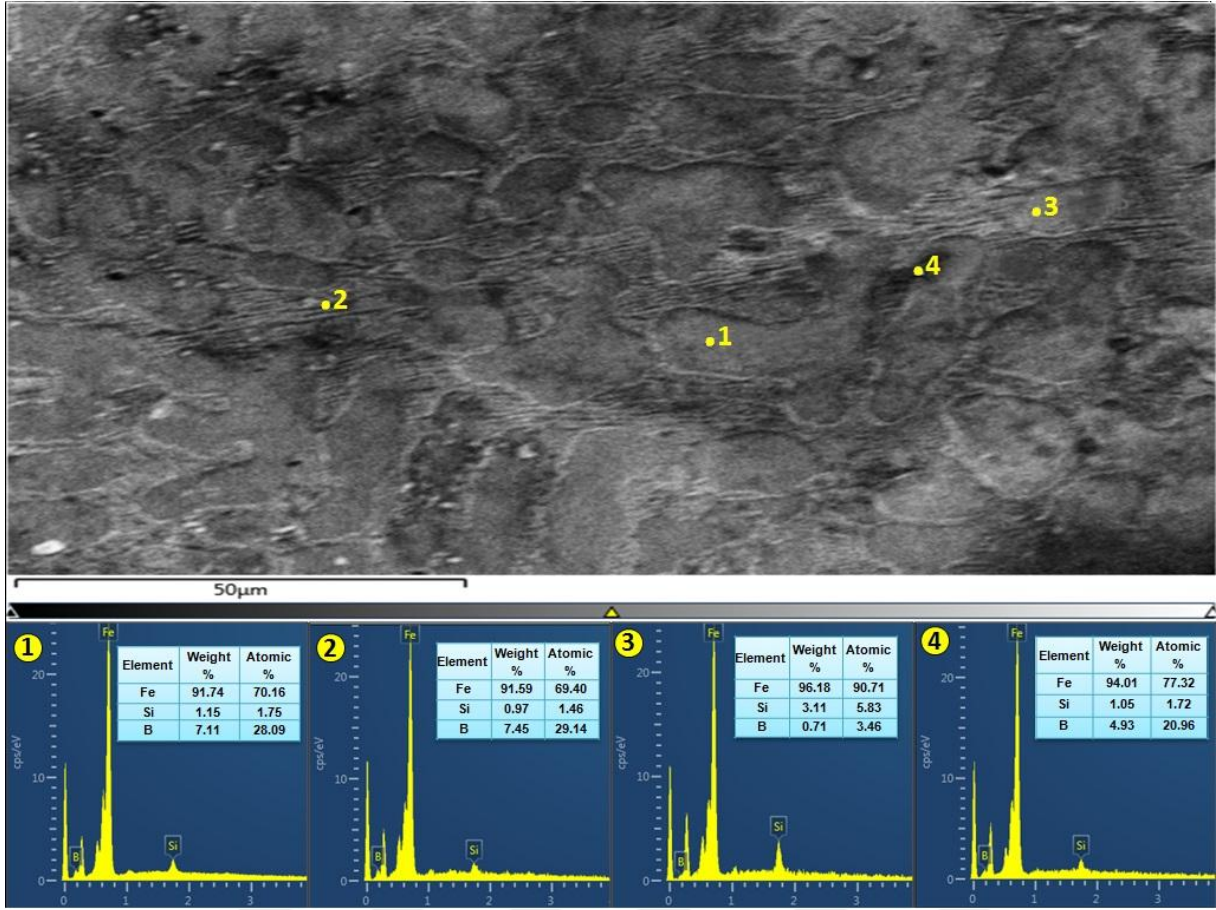
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğı Görüntüsü alınarak, Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



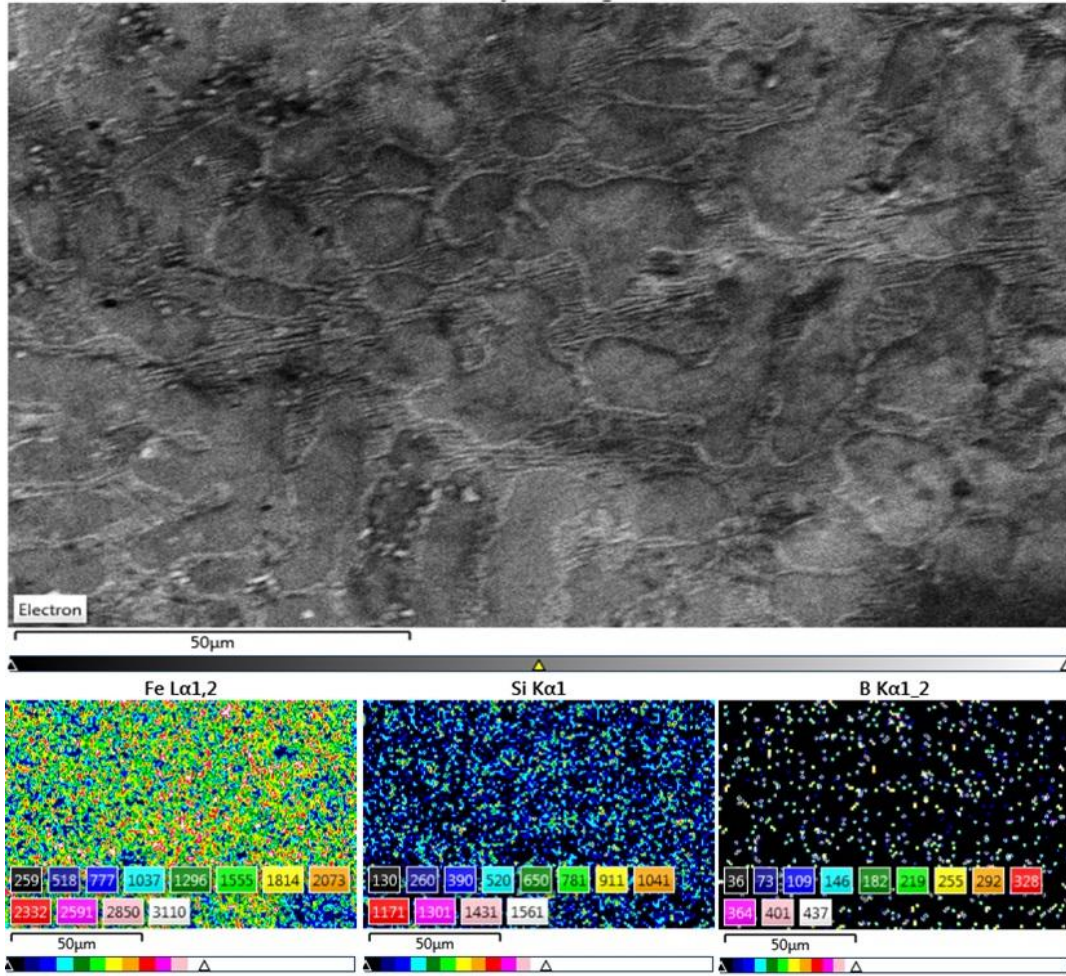
Şekil 3.25. FeSiB alaşımlı F1 Numunesi için farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.26. FeSiB alaşımlı F1 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.27. FeSiB alaşımlı F1 numunesine ait EDS noktasal spectrumdeğerleri



Şekil 3.28. FeSiB alaşımlı F1 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü

3.4.2. F2 nolu FeSiB-Ni numunesine ait SEM-EDS-MEPING analizleri

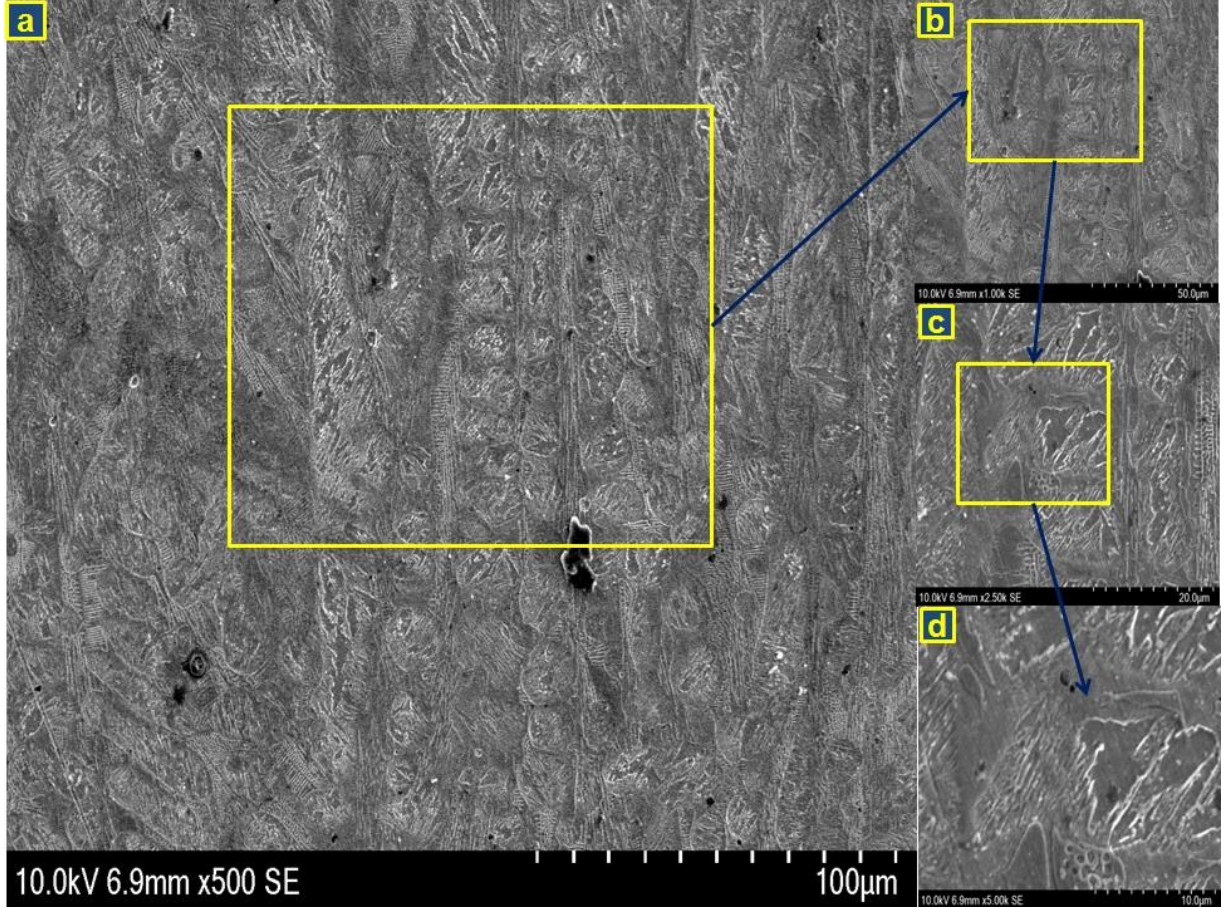
FeSiB-Ni Numunesi İçin Şekil 3.29’da 500x, 1000x, 2500x,ve 5000x büyütmelerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

FeSiB-Ni Numunesi İçin Şekil 3.30’daEDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %79,10Fe, %2,06Si, %2,46B ve %16,38Ni şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen BFe_2 (Fe_2B), BNi_6Si_2 ($\text{Ni}_6\text{Si}_2\text{B}$), $\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$ ($\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$), FeNi (Tetrataenite) fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre ($\text{Fe}_{75}\text{Si}_{17}\text{B}_8\text{Ni}_{10}$) kütleli oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

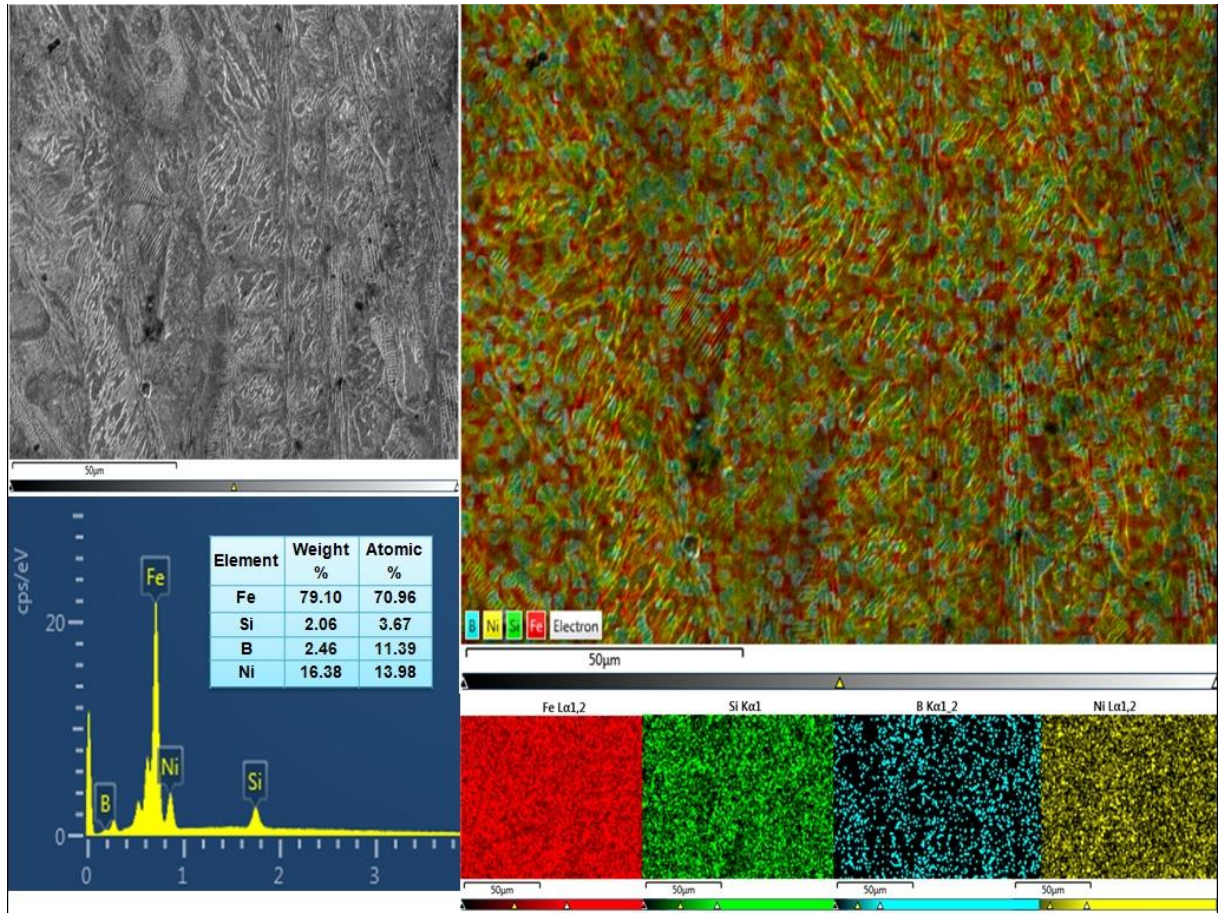
Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si, B ve Ni elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.31’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki

kütlesel ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

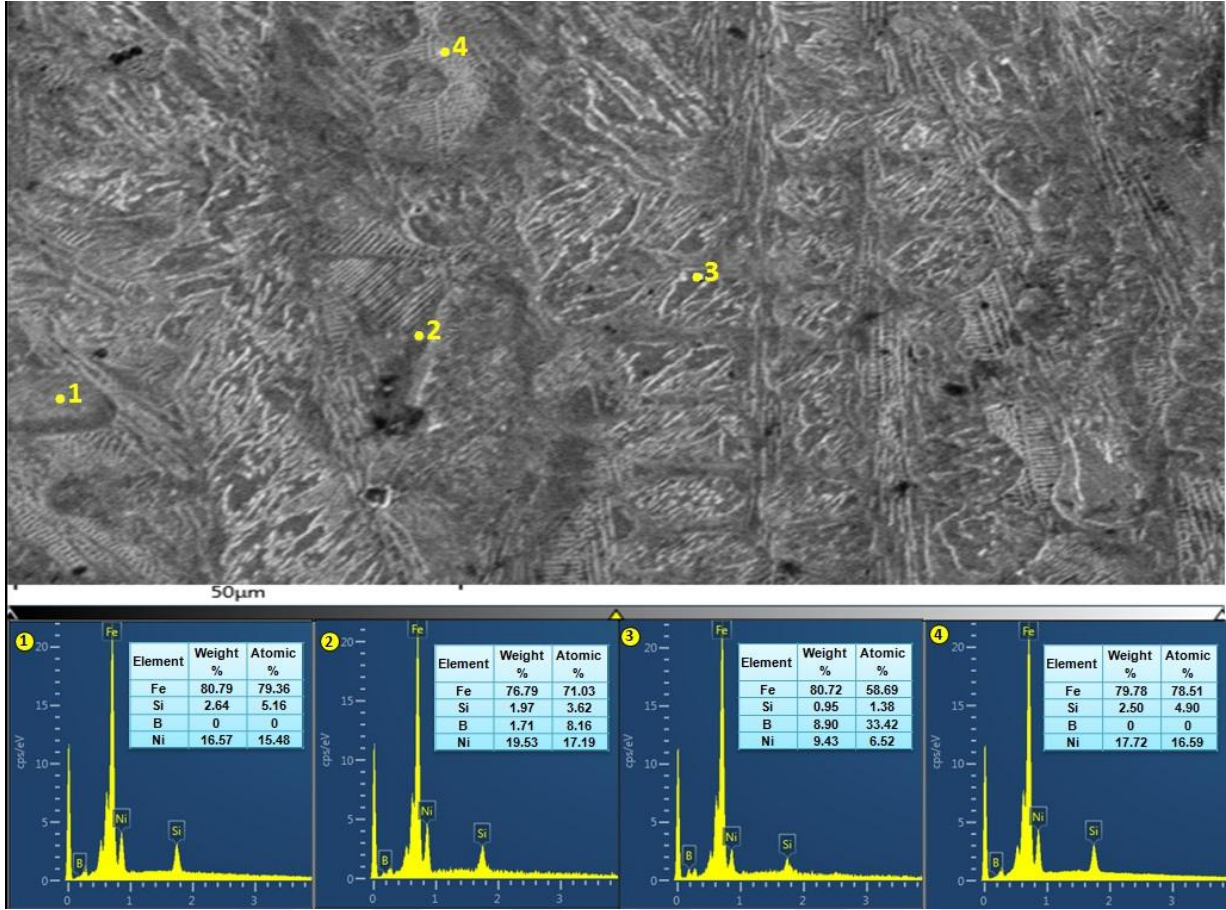
Ayrıca numune için Element Gökkuşığı Görüntüsü alınarak, Şekil 3.32’de gösterilmiştir.



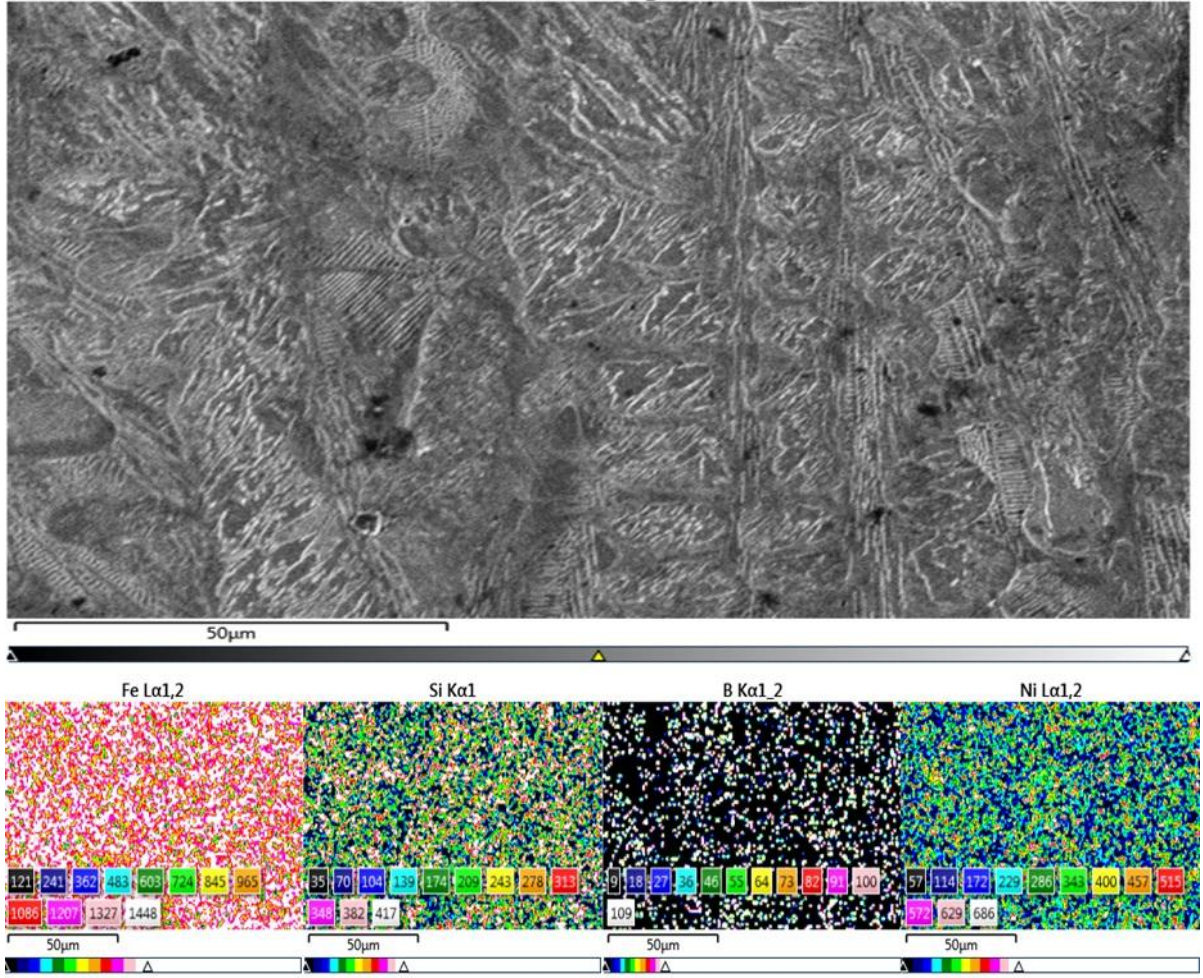
Şekil 3.29. FeSiB-Ni alaşımlı F2 Numunesi için farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.30. FeSiB-Ni alaşımlı F2 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.31. FeSiB-Ni alaşımlı F2 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.32. FeSiB-Ni alaşımlı F2 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü

3.4.3. F3 nolu FeSiB-Co numunesine ait SEM-EDS-MEPİNG analizleri

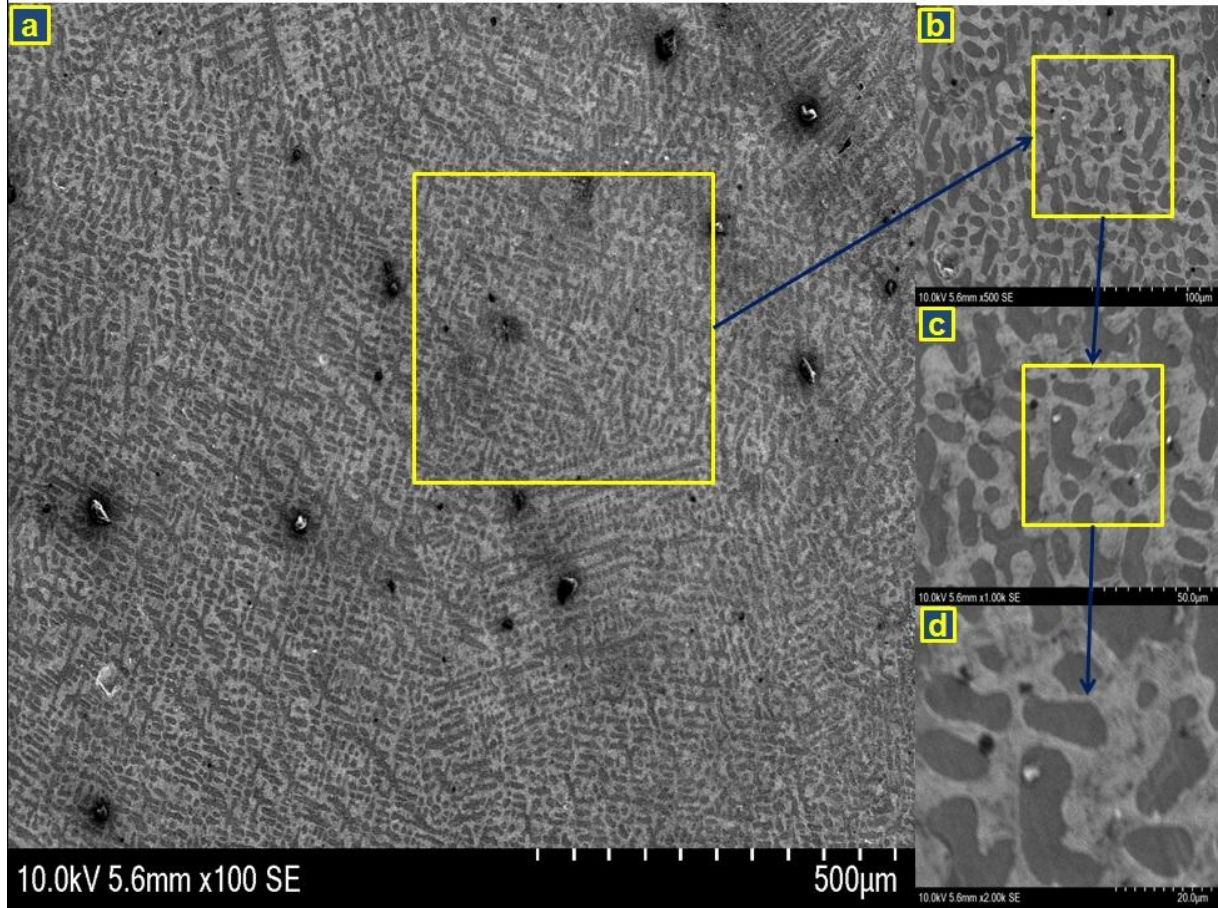
FeSiB-Co Numunesi İçin Şekil 3.33’de 100x, 500x, 1000x ve 2000x büyütmelerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

FeSiB-Co Numunesi İçin Şekil 3.34’de EDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %80,09Fe, %1,87Si, %2,83B ve %15,21Co şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen BFe_2 (Fe_2B), CoFe (Wairauite), $\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$ ($\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$), BCo_2 (Co_2B) fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre ($\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Co}_{10}$) kütleli oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

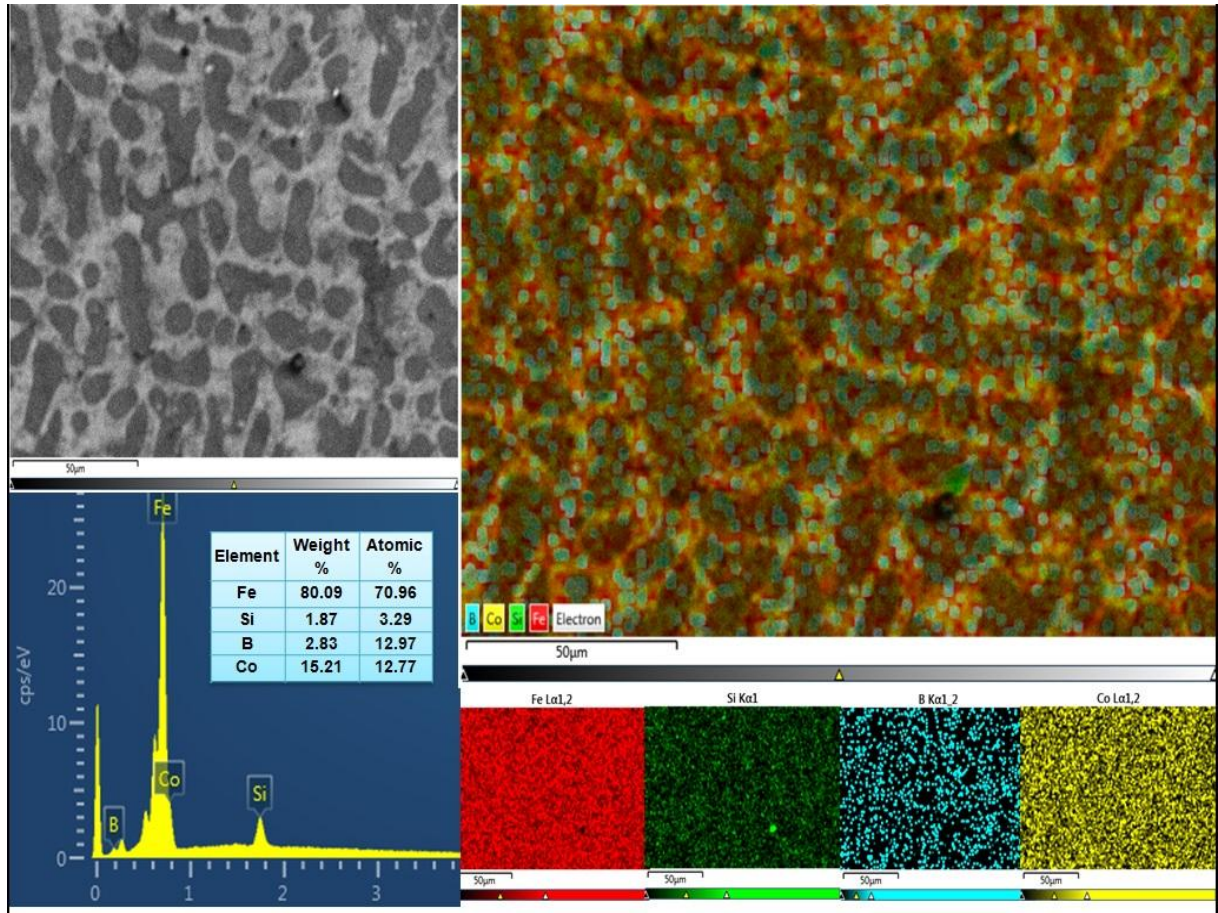
Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si, B ve Co elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.35’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki

kütlesel ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

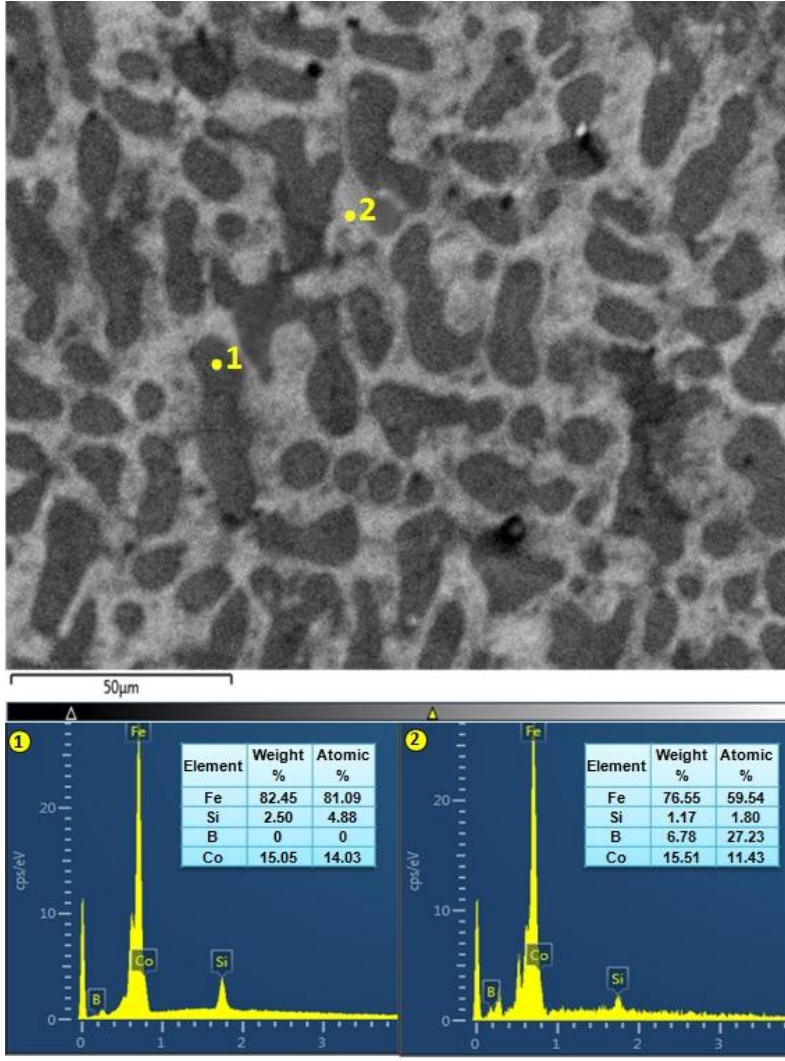
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğı Görüntüsü alınarak, Şekil 3.36’de gösterilmiştir.



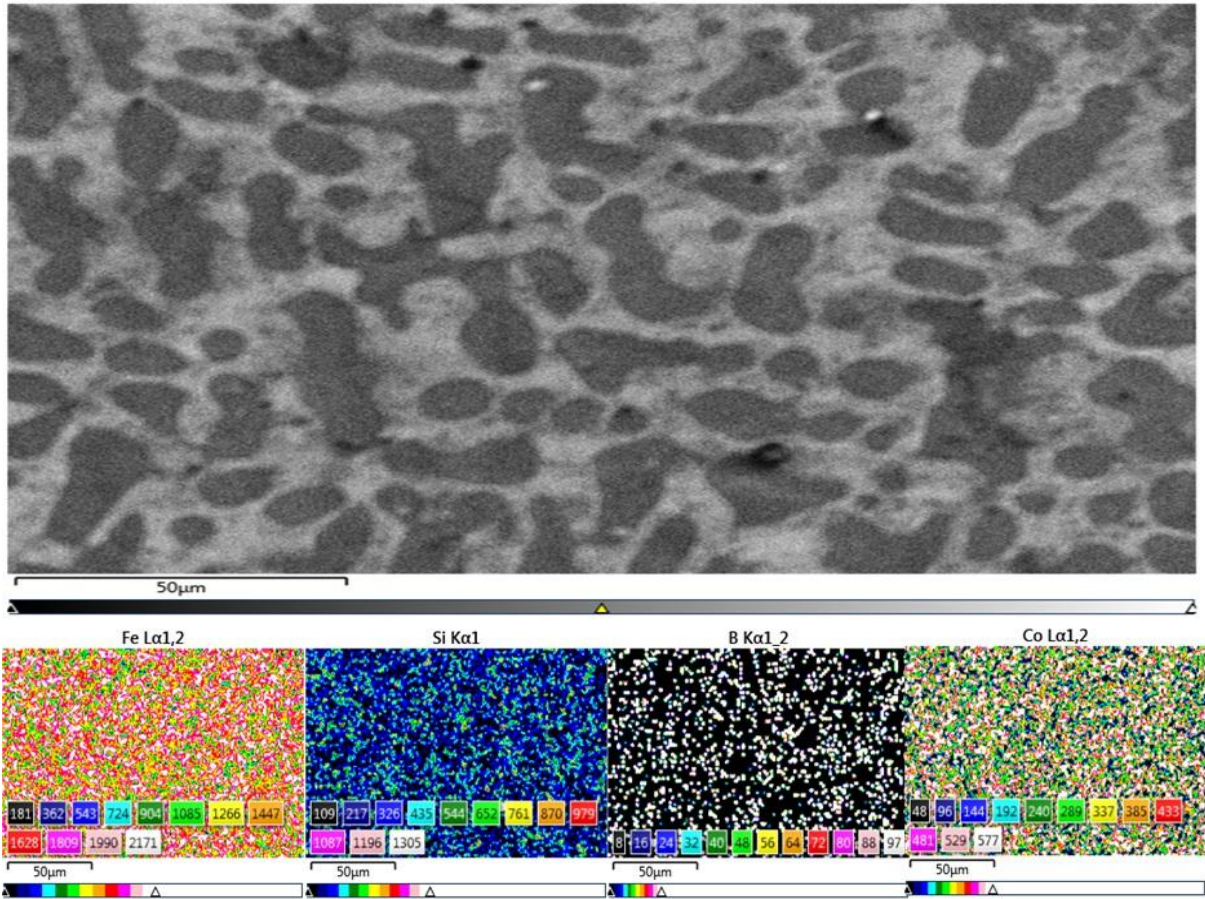
Şekil 3.33. FeSiB-Co alaşımlı F3 Numunesi için farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (100x, 500x, 1000x, 2000x)



Şekil 3.34. FeSiB-Co alaşımlı F3 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.35. FeSiB-Co alaşımlı F3 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.36. FeSiB-Coalashımlı F3 Numunesine ait Meping analizelementer gökkuşağı görünümü

3.4.4. F4 nolu FeSiB-Cr numunesine ait SEM-EDS-MEPİNG analizleri

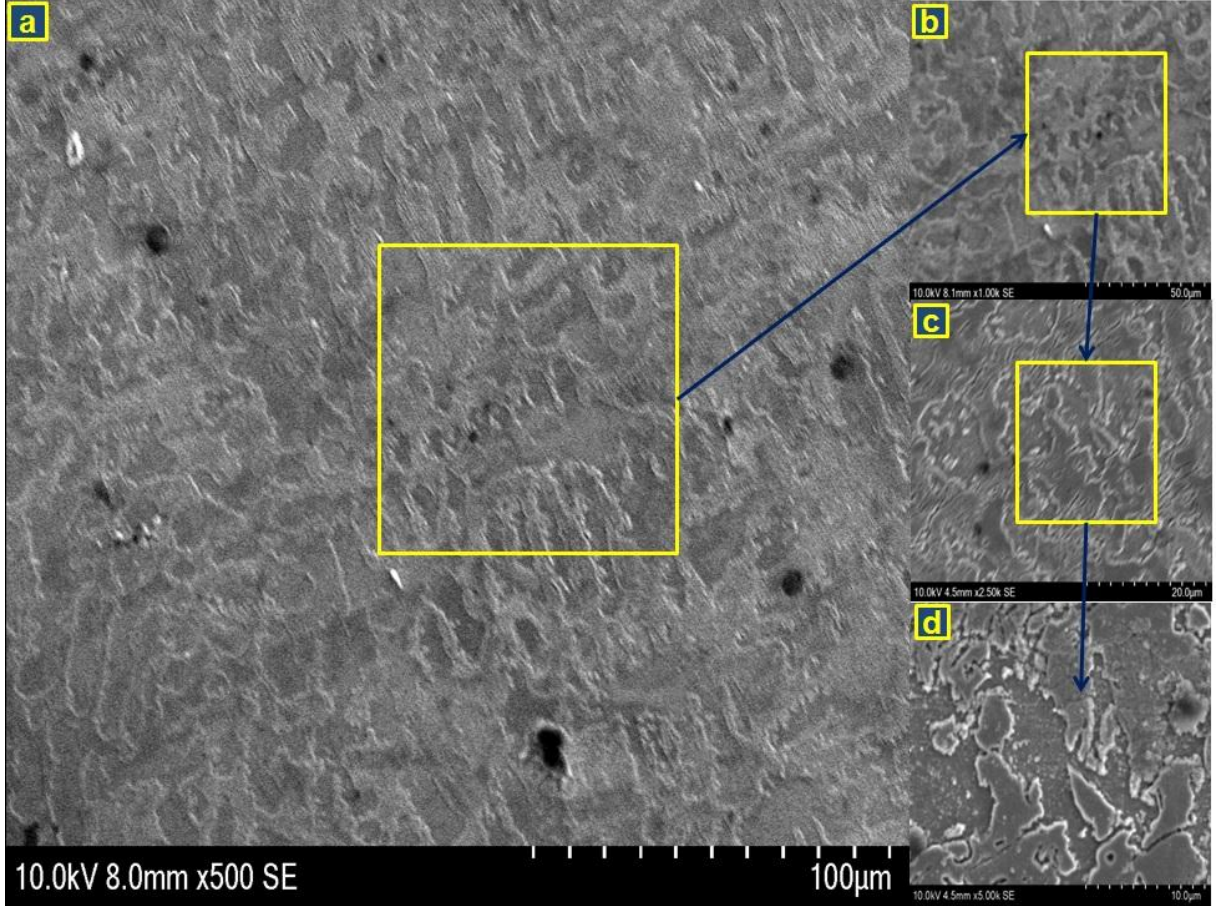
FeSiB-Cr numunesi için Şekil 3.37’de 500x, 1000x, 2500x,ve 5000x büyötmelerde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

FeSiB-Cr numunesi için Şekil 3.38’de EDS AnaliziMeping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %84,27Fe, %1,58Si, %4,73B ve %9,42Cr şeklinde kütleel dağılım gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen Fe_2B (Iron boride (2/10)), $Fe_{0.91}Si_{0.09}$ ($Fe_{0.91}Si_{0.09}$), $Cr_{0.053}Fe_{0.947}$ ($Cr_{0.053}Fe_{0.947}$), Cr_2B (Chromium bromide (2/1)) fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre ($Fe_{75}Si_7B_8Cr_{10}$) kütleel oranda değışim oluştığı gözlemlenmiştir.

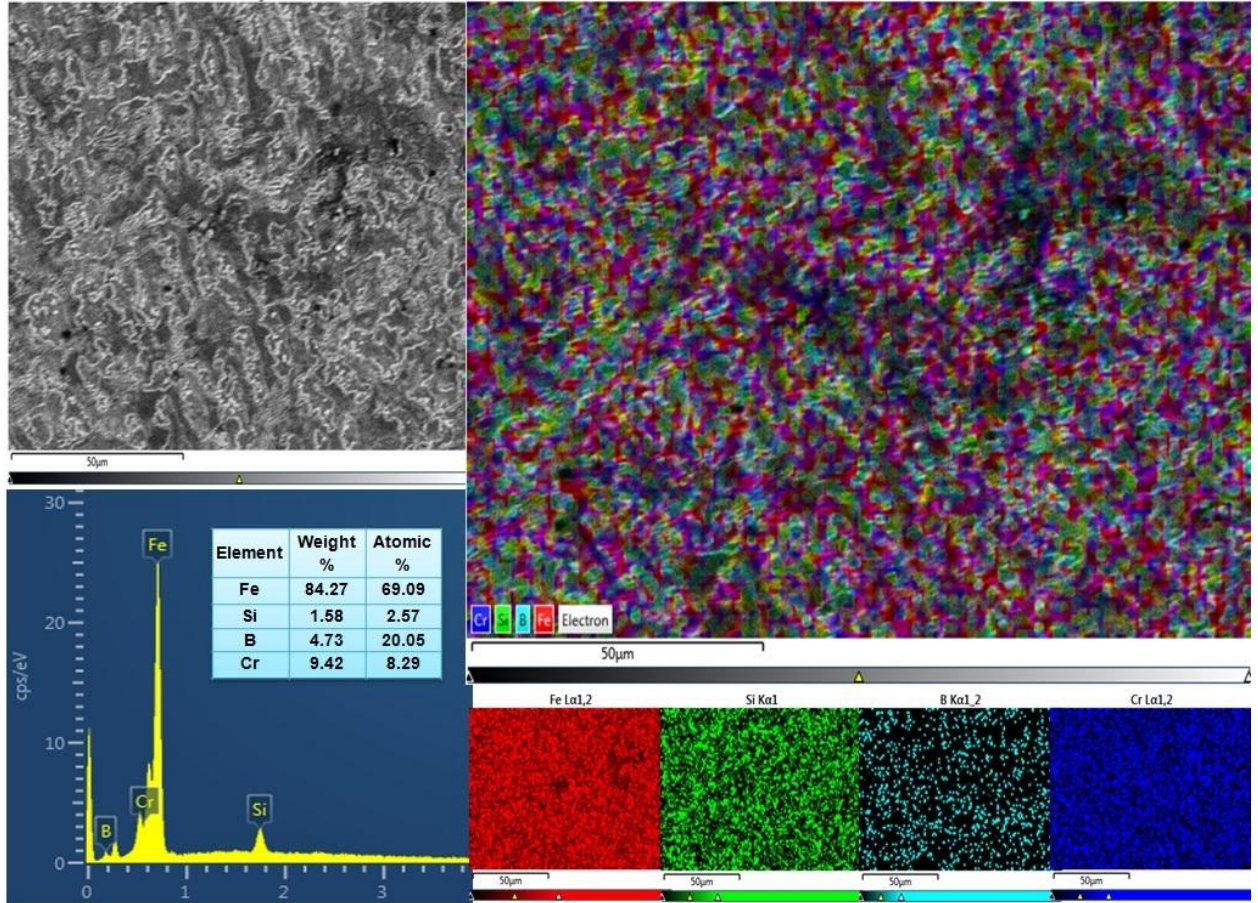
Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si, B ve Cr elementlerinin kütleel ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.39’da verilmiştir. Noktasal spektrumdaki

kütlesel ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

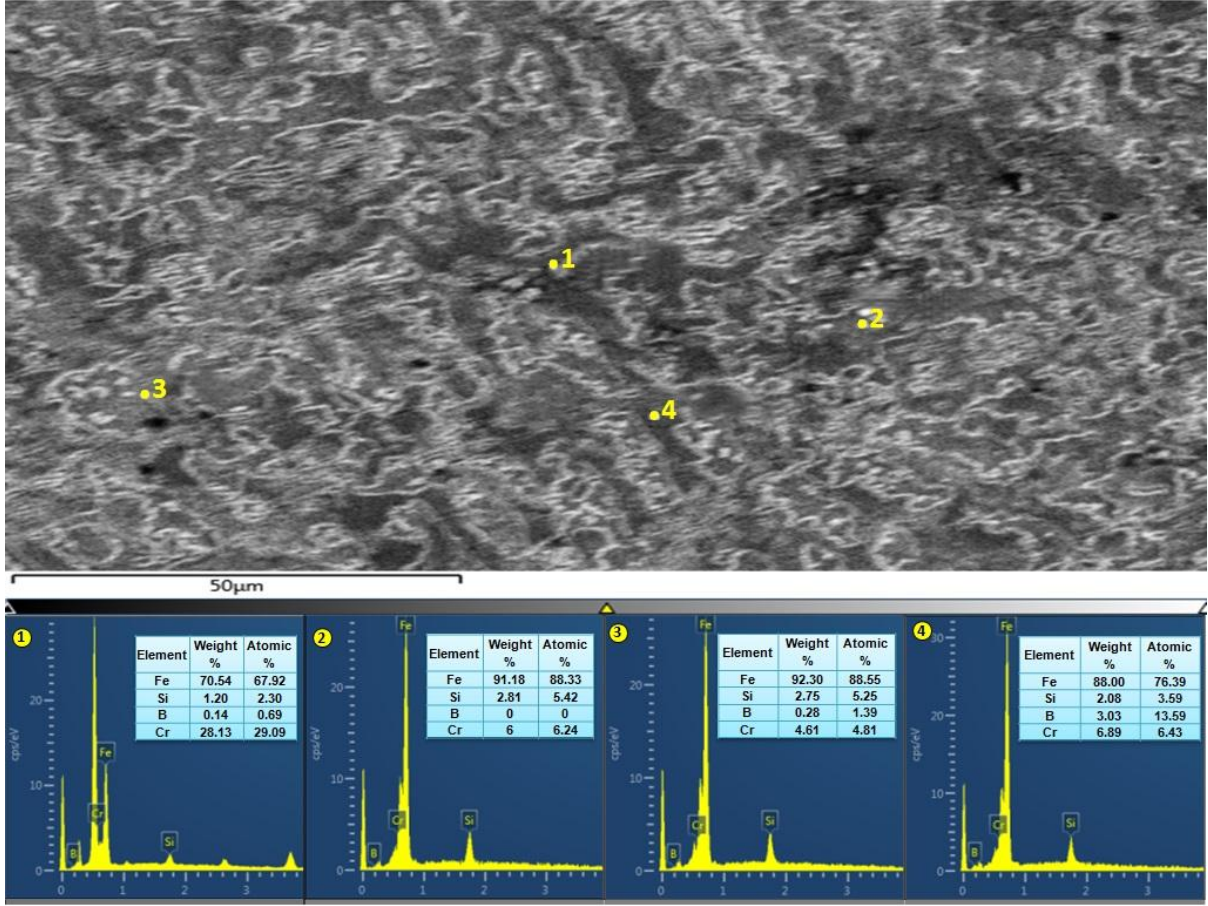
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğu Görüntüsü alınarak, Şekil 3.40’da gösterilmiştir.



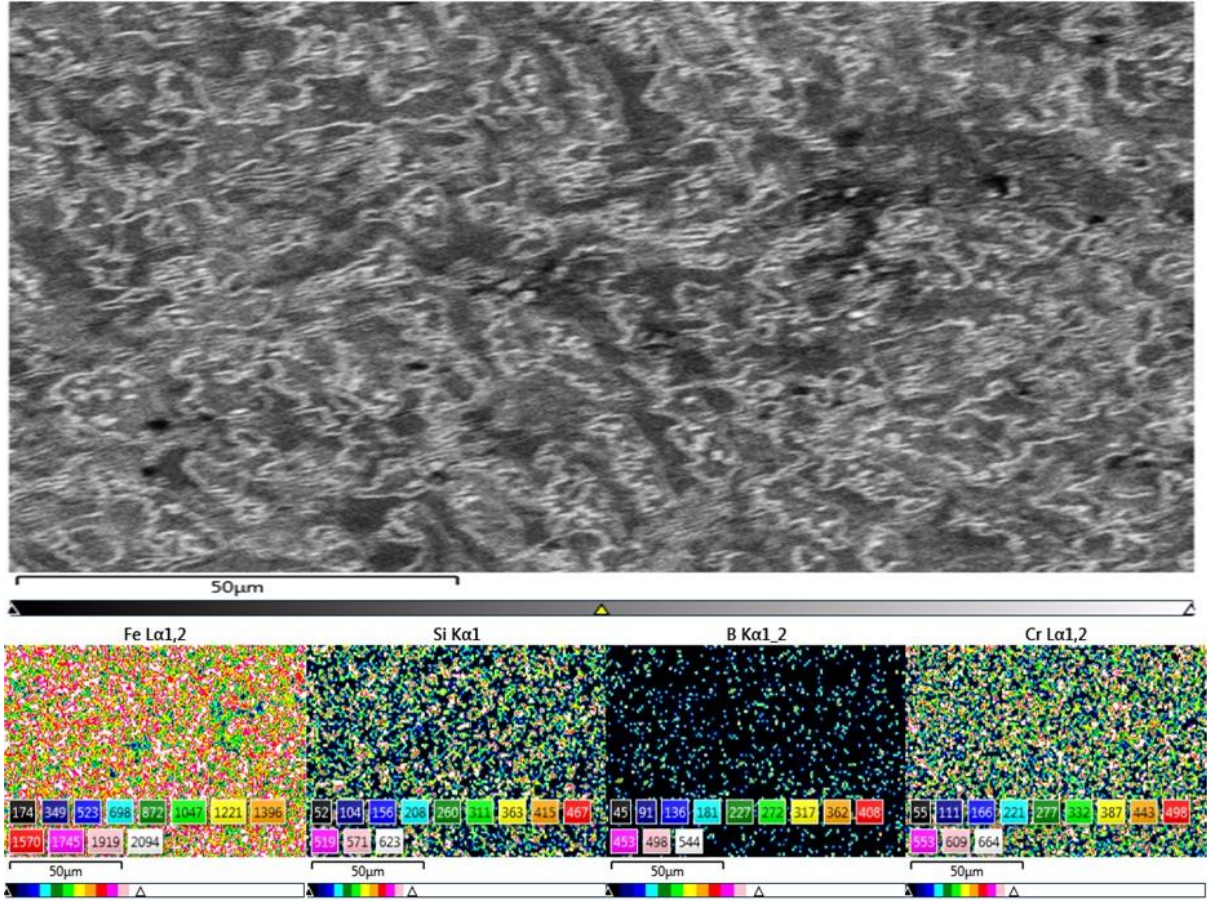
Şekil 3.37. FeSiB-Cr alaşımlı F4 Numunesi için farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.38. FeSiB-Cr alaşımlı F4 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.39. FeSiB-Cr alaşımlı F4 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.40. FeSiB-Cr alaşımlı F4 Numunesine ait Meping analizelementer gökkuşağı görünümü

3.4.5. F11 nolu FeSiB (ısıtılmış) numunesine ait SEM-EDS-MEPING analizleri

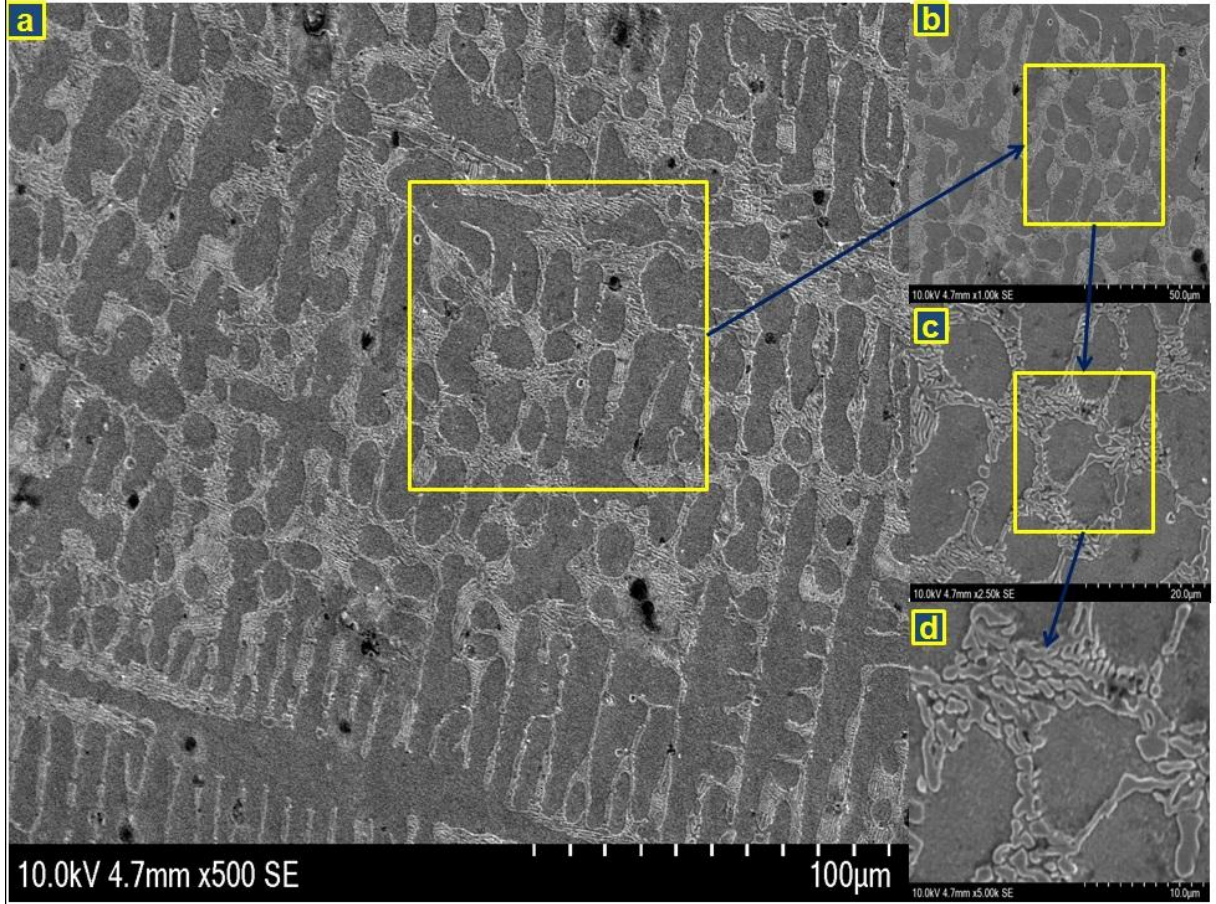
FeSiB (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.41’de 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütme ölçeklerinde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

FeSiB (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.42’de EDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %94,90Fe, %2,23Si, %1,88B şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen Fe_2B (Iron boride (2/10)) ve $Fe_{91}Si_{99}$ fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre $(Fe_{75}Si_{7B_8})$ kütleli oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

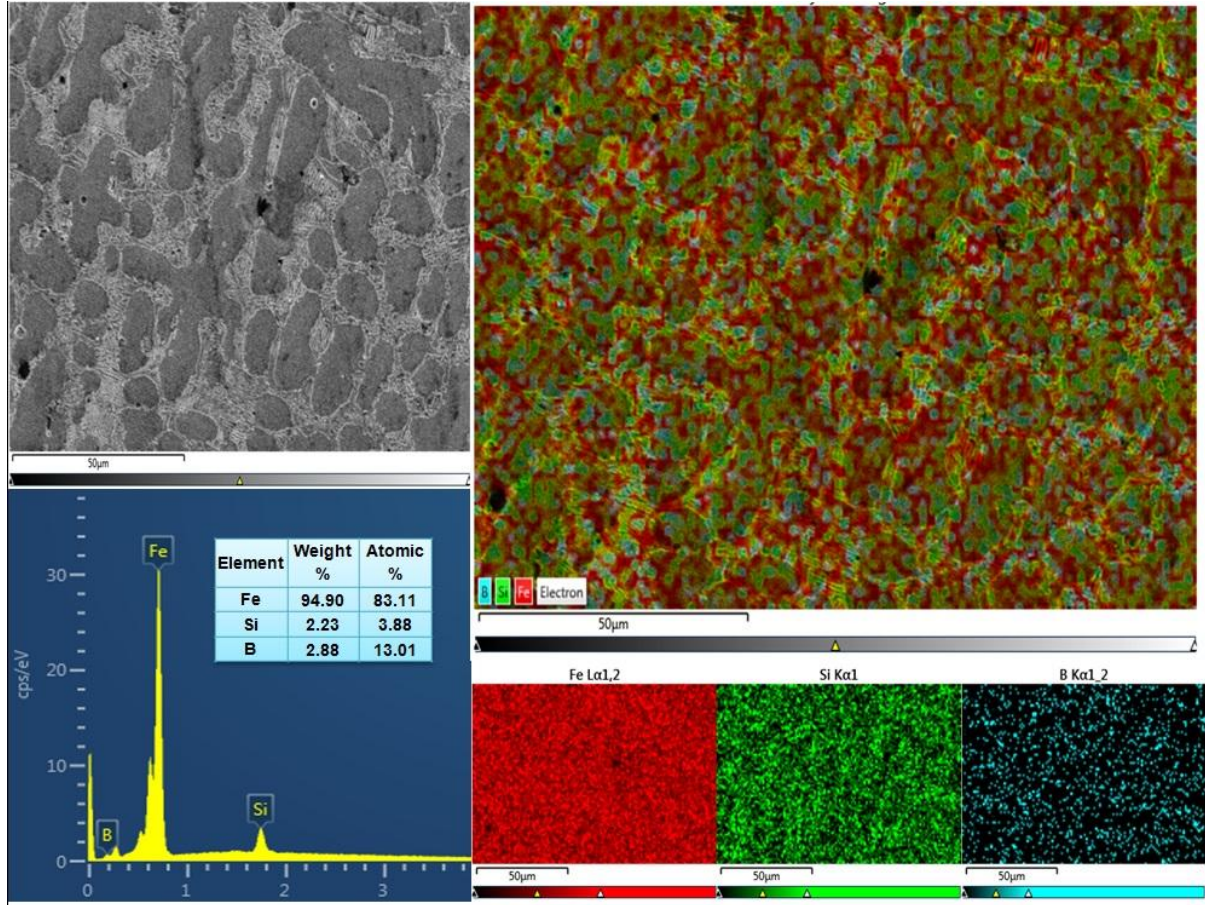
Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si ve B elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.43’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki

kütlesel ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

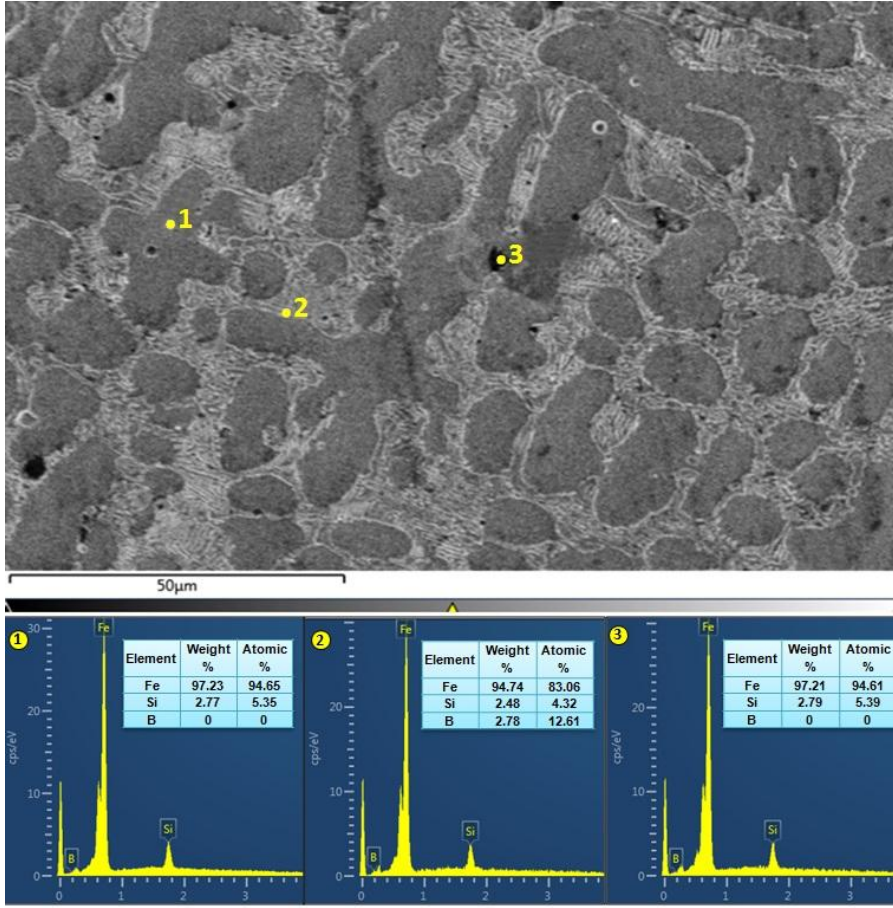
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğu Görüntüsü alınarak, Şekil 3.44’de gösterilmiştir.



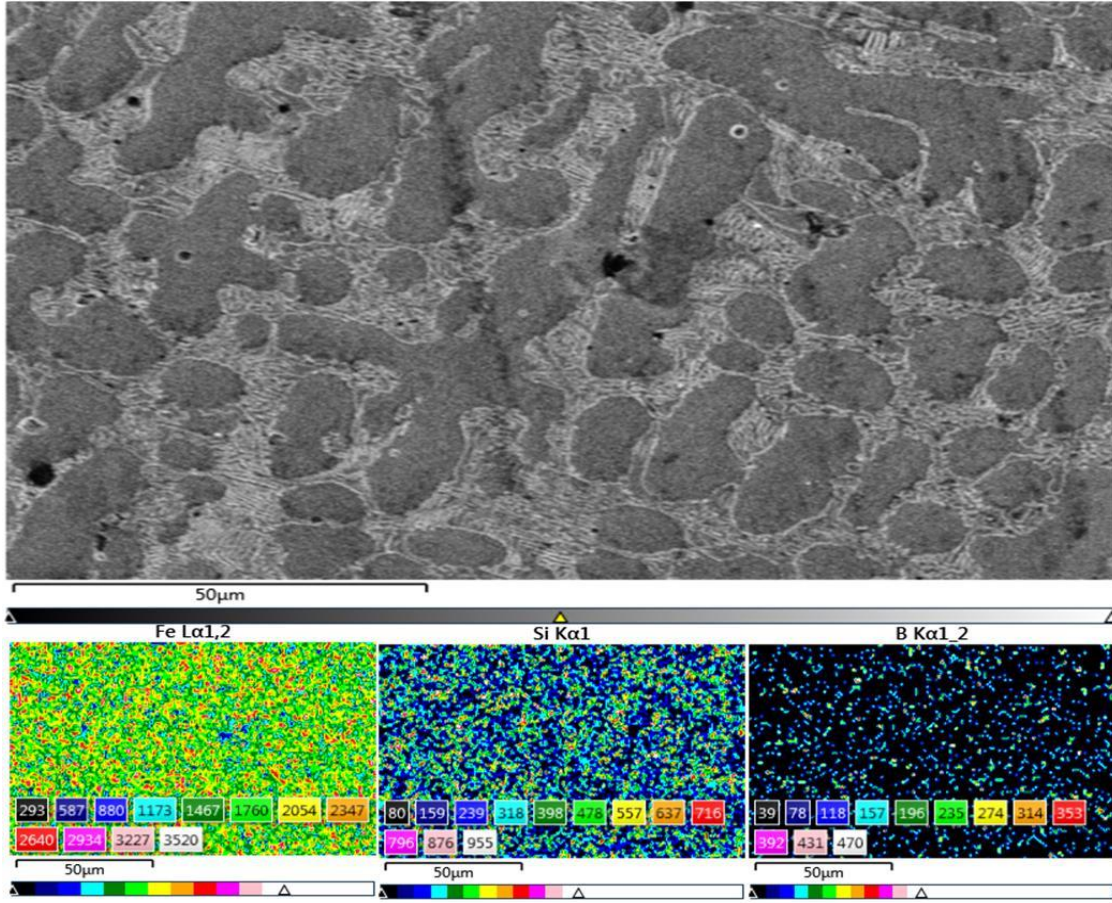
Şekil 3.41. FeSiB alaşımlı ısıtılmış F11 Numunesi için farklı büyütme oranlarında alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.42. FeSiB alaşımlı ısıtıl işlemlili F11 Numunesine ait Meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.43. FeSiB alaşımlı ısıtılmış F11 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.44. FeSiB alaşımlı ısıtılmış F11 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü

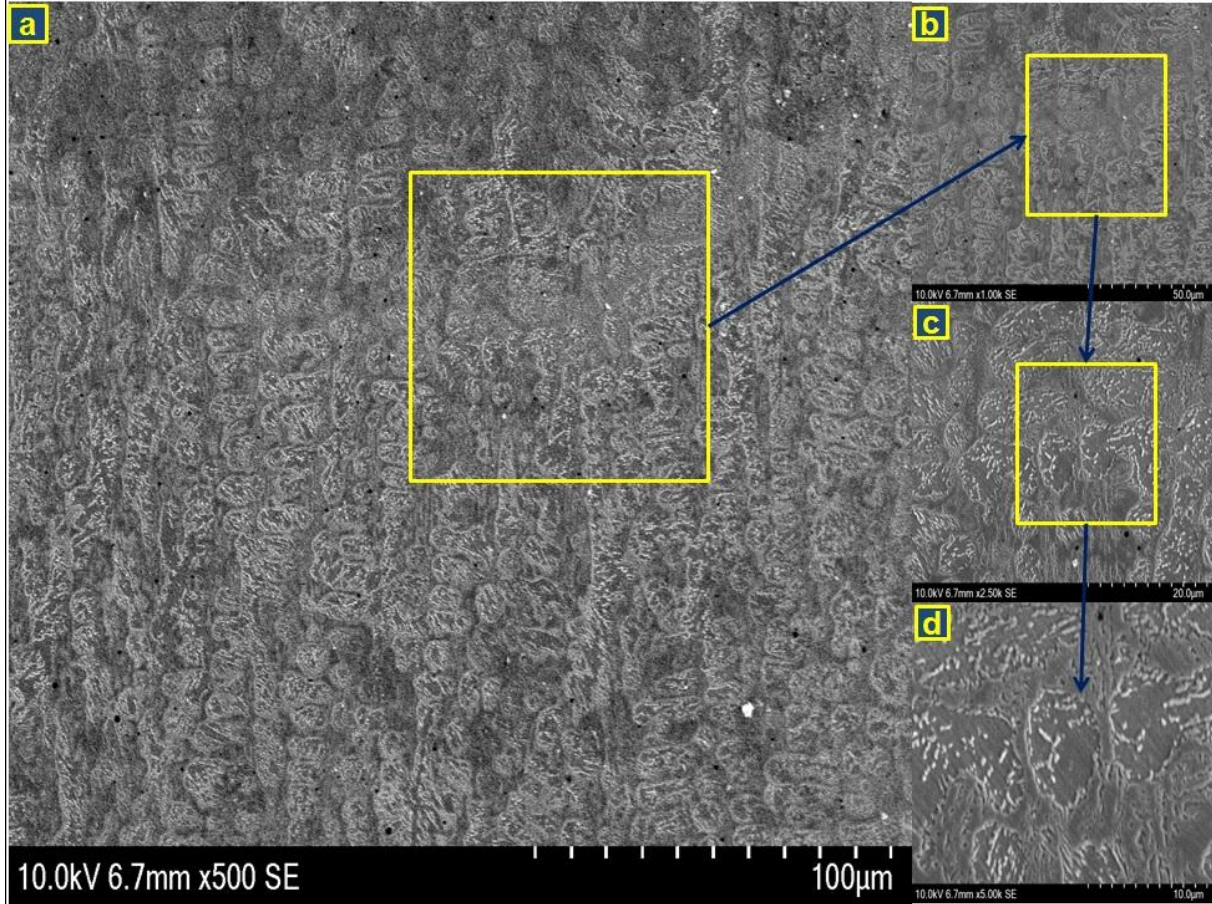
3.4.6. F22 nolu FeSiB-Ni (ısıtılmış) numunesine ait SEM-EDS-MEPİNG analizleri

FeSiB-Ni (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.45’de 500x, 1000x, 2500x, ve 5000x büyütme ölçeklerinde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

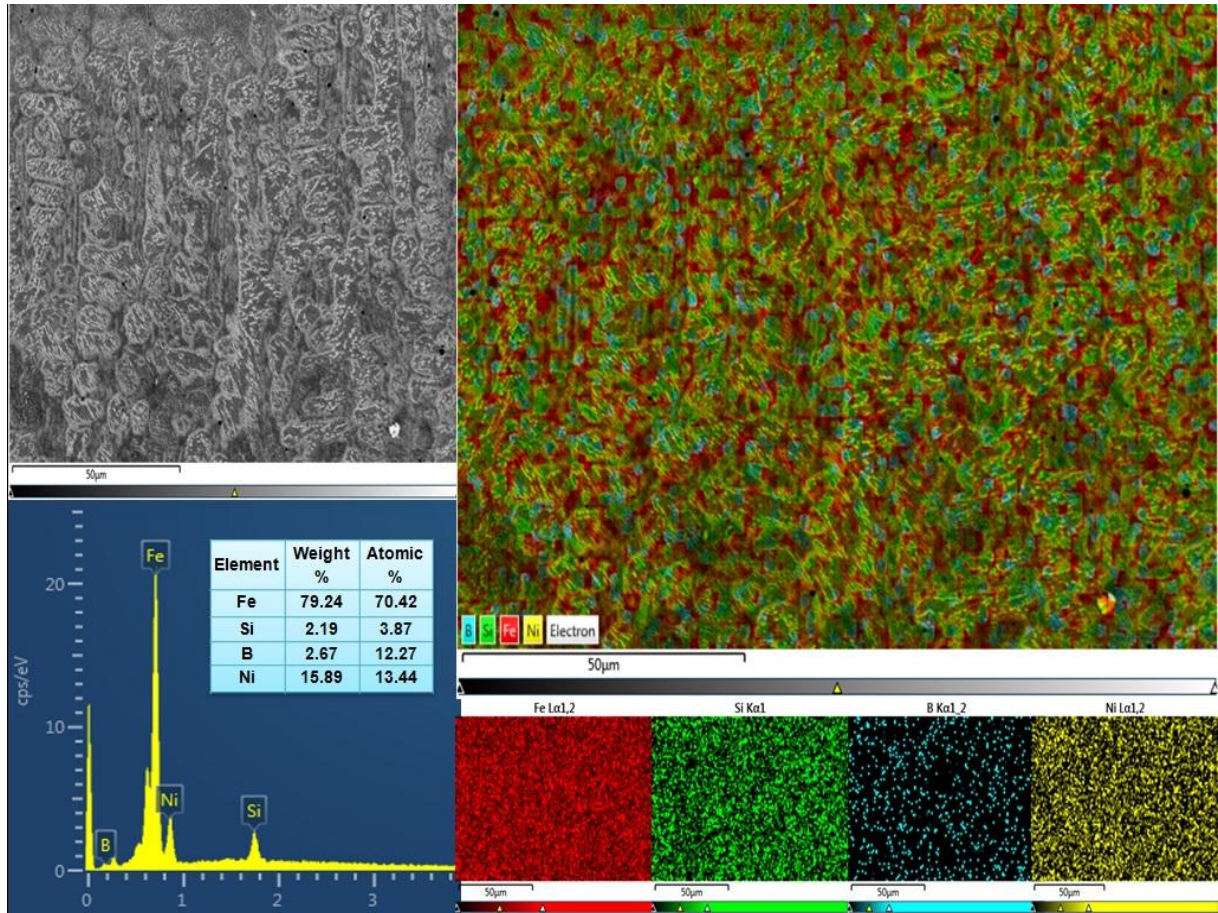
FeSiB-Ni (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.46’da EDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %79,24Fe, %2,19Si, %2,67B ve %15,89Ni şeklinde kütle dağılımı gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen BFe_2 (Fe_2B), BNi_6Si_2 (Ni_6Si_2B), $Fe_{0.91}Si_{0.09}$ ($Fe_{0.91}Si_{0.09}$), $FeNi$ (Tetrataenite) fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre ($Fe_{75}Si_{7}B_8Ni_{10}$) kütle oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si, B ve Ni elementlerinin kütle ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.47’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütle ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

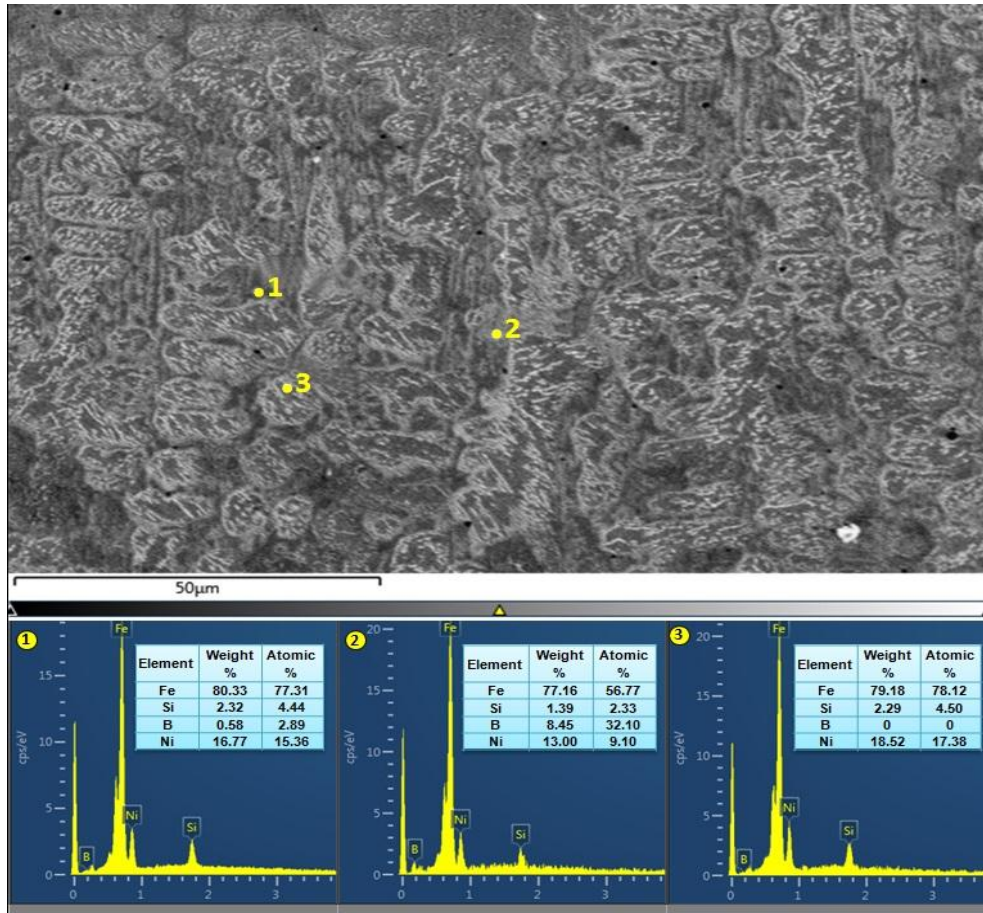
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğu Görüntüsü alınarak, Şekil 3.48’de gösterilmiştir.



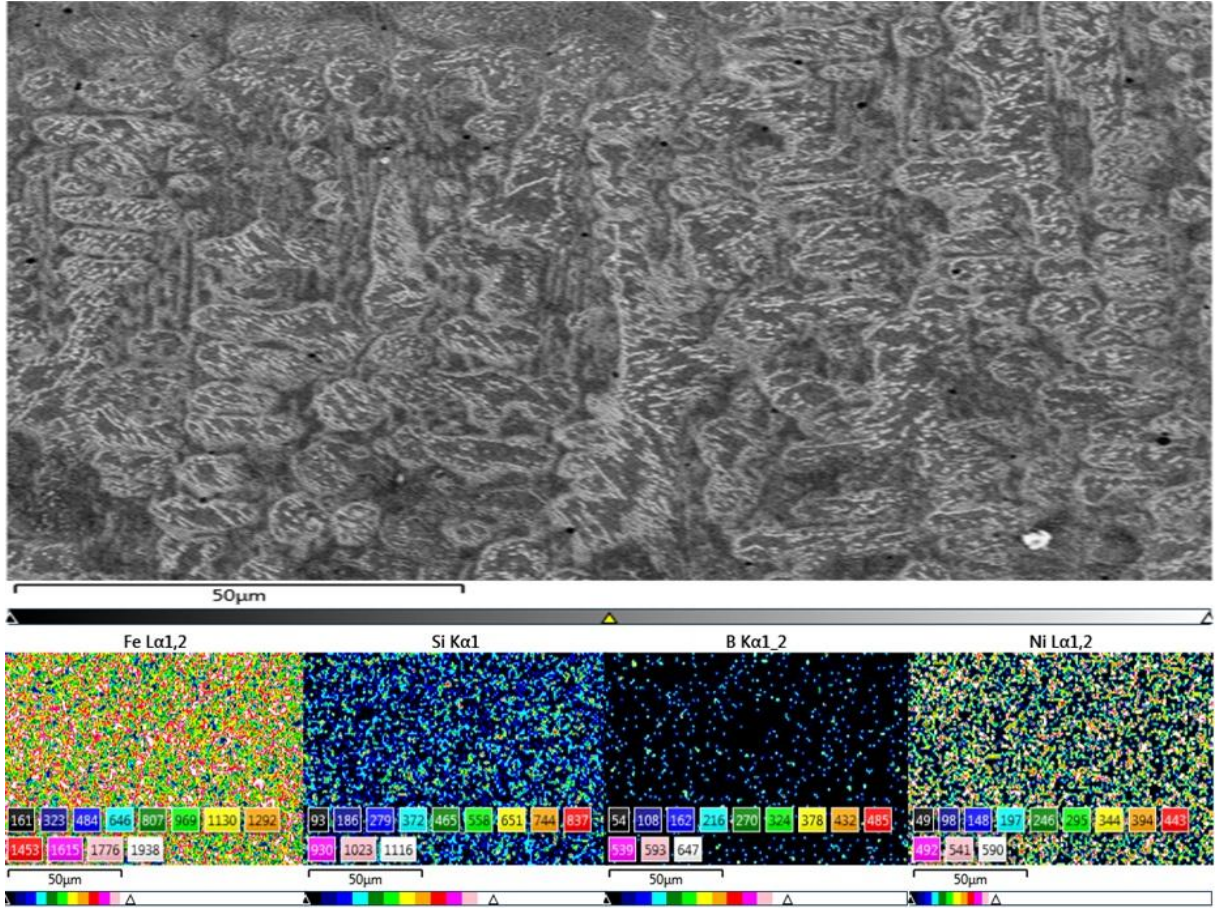
Şekil 3.45. FeSiB-Ni alaşımlı ısıtılmış F22 Numunesi için farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.46. FeSiB-Ni alaşımlı ısıtılmış F22 Numunesine ait Meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.47. FeSiB-Ni alaşımlı ısıtılmış F22 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.48. FeSiB-Ni alaşımlı ısıtılmış F22 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü

3.4.7. F33 nolu FeSiB-Co (ısıtılmış) numunesine ait SEM-EDS-MEPING analizleri

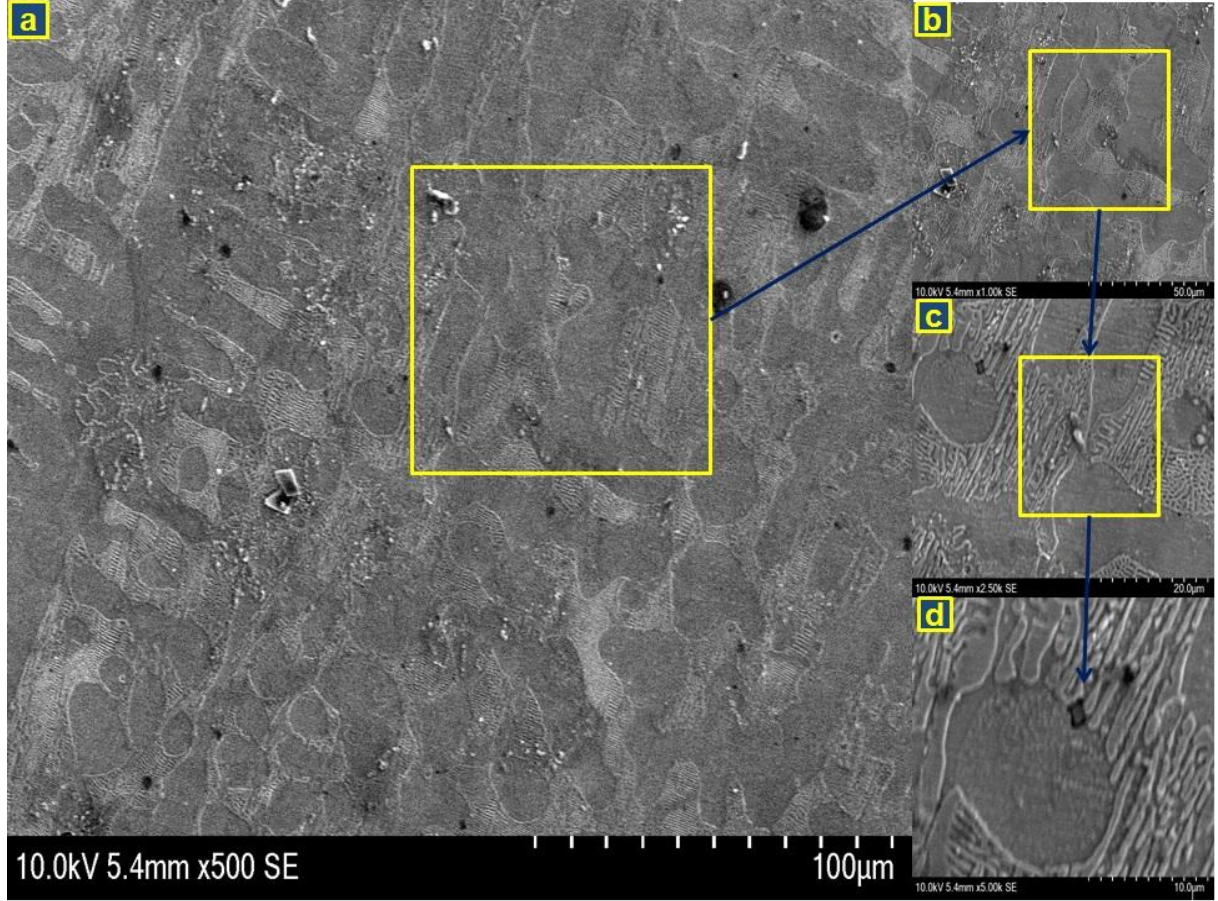
FeSiB-Co (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.49’da 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütme oranlarında alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapısını koruduğu gözlemlenmiştir.

FeSiB-Co (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.50’de EDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %79,38Fe, %2,30Si, %3,11B ve %15,20Co şeklinde kütleli dağılım gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen BFe_2 (Fe_2B), CoFe (Wairauite), $\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$ ($\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{0.09}$), BCo_2 (Co_2B) fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre ($\text{Fe}_{75}\text{Si}_7\text{B}_8\text{Co}_{10}$) kütleli oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

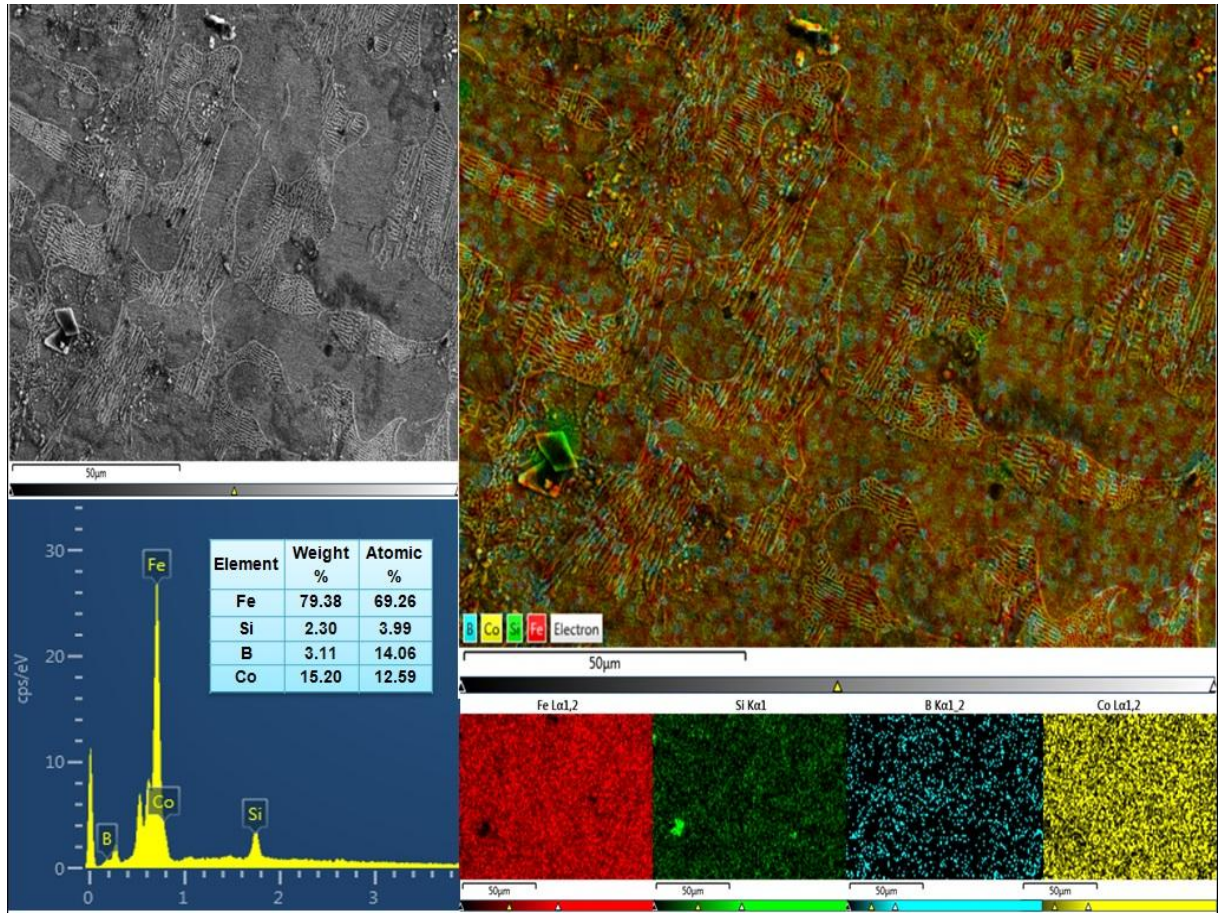
Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si, B ve Co elementlerinin kütleli ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.51’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki

kütlesel ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

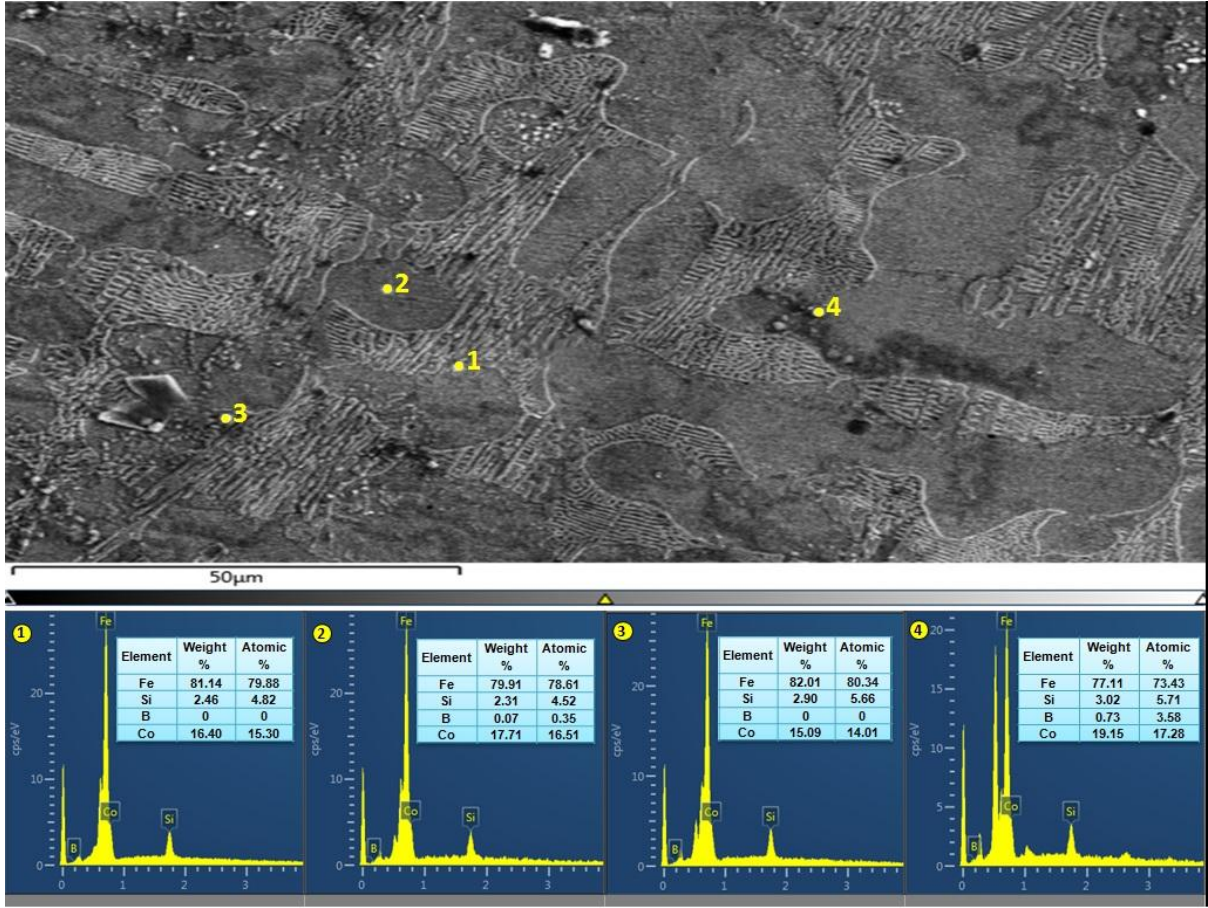
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğı Görüntüsü alınarak, Şekil 3.52’de gösterilmiştir.



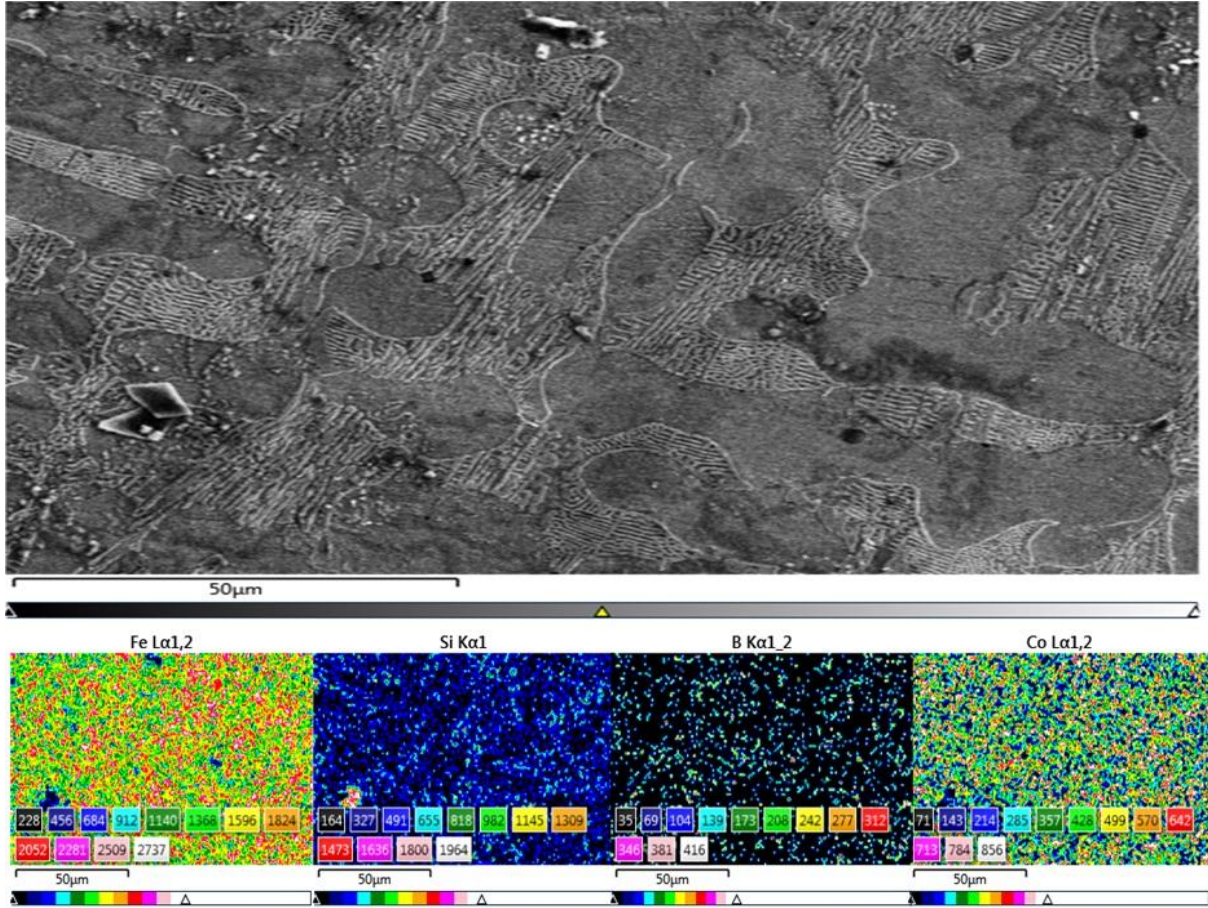
Şekil 3.49. FeSiB-Co alaşımlı ısıtıl işlemlili F33 Numunesi için farklı büyütmelerde alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.50. FeSiB-Co alaşımlı ısıtılmış F33 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.51. FeSiB-Co alaşımlı ısıtılmış F33 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.52. FeSiB-Co alaşımlı ısıtılmış F33 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü

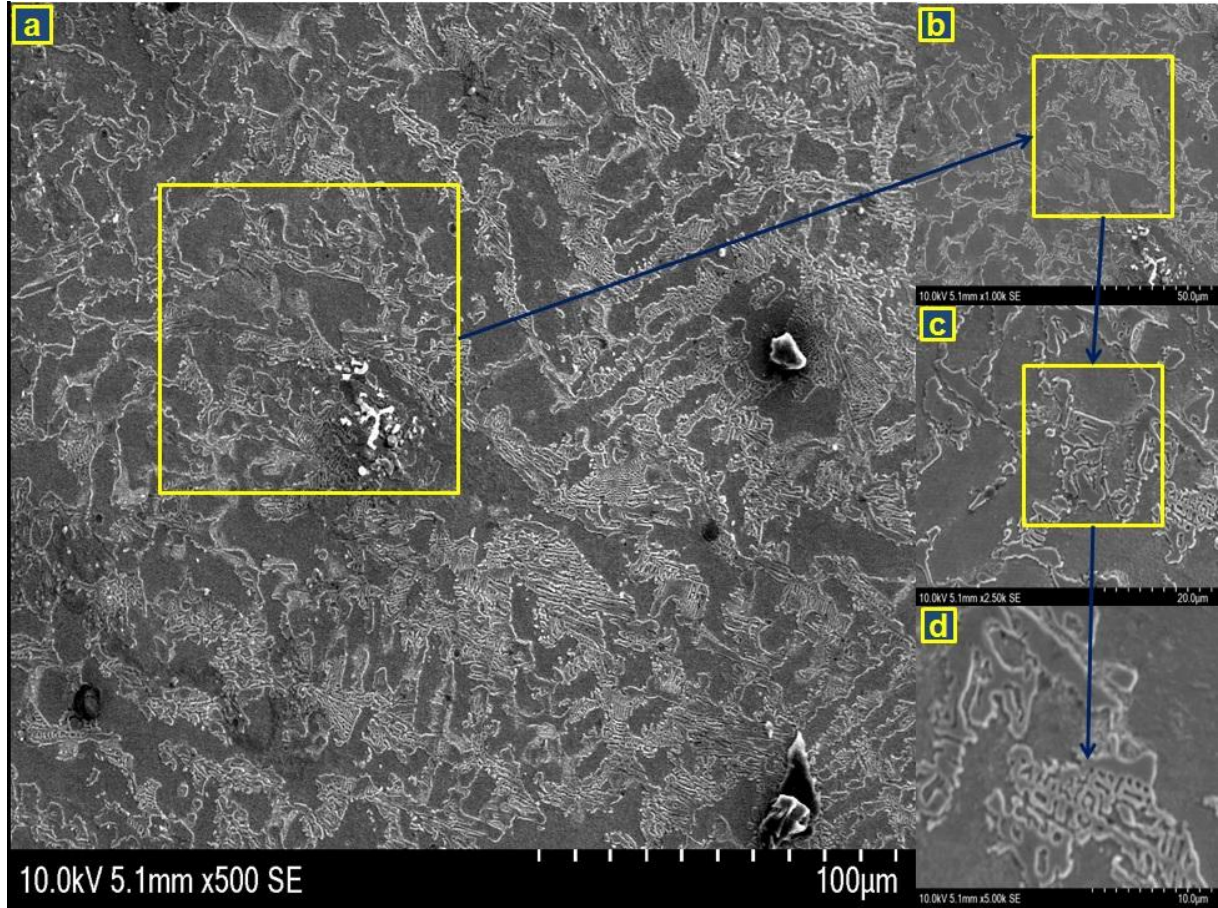
3.4.8. F44 nolu FeSiB-Cr (ısıtılmış) numunesine ait SEM-EDS-MEPING analizleri

FeSiB-Cr (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.53'de 500x, 1000x, 2500x ve 5000x büyütme ölçeklerinde alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri verilmiştir. Numunenin kafes yapılarını koruduğu gözlemlenmiştir.

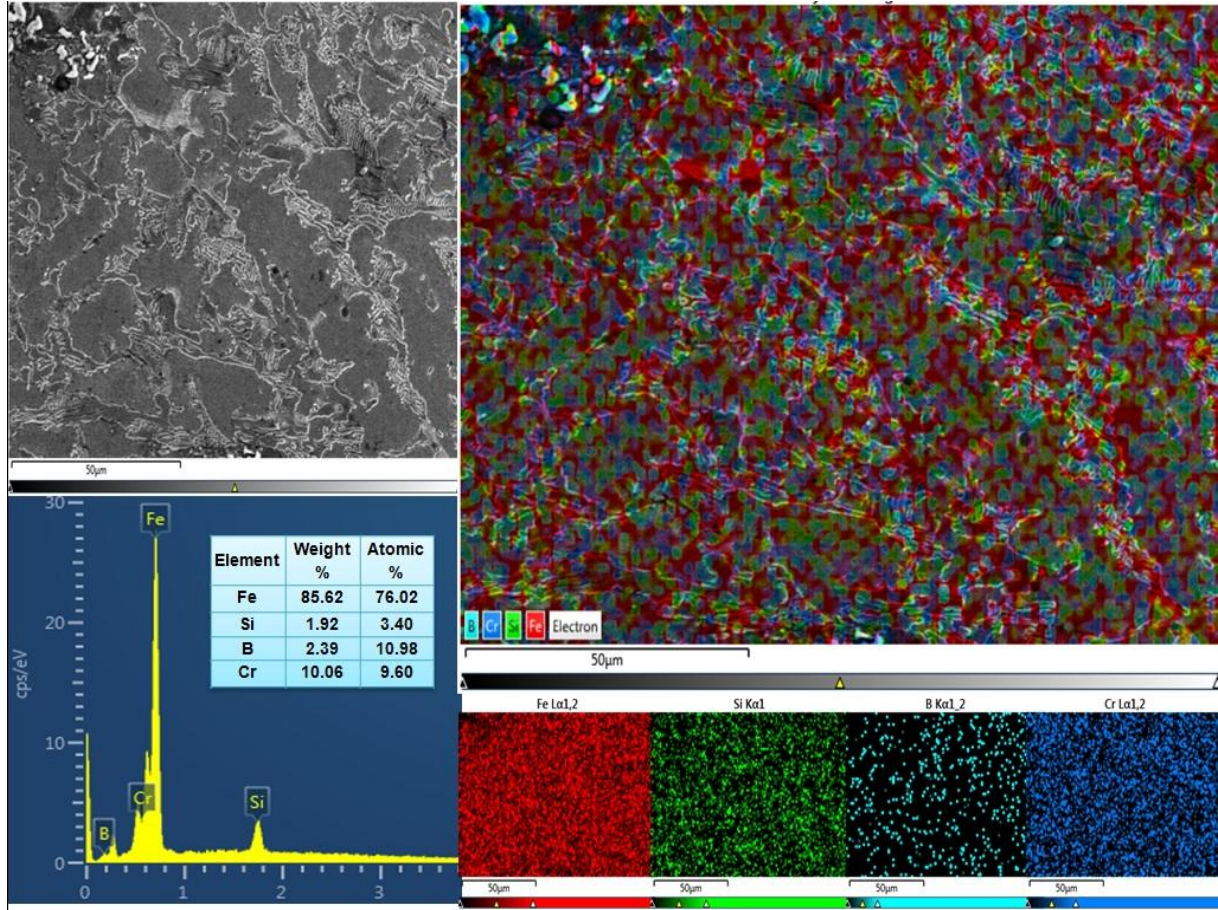
FeSiB-Cr (ısıtılmış) numunesi için Şekil 3.54'de EDS Analizi Meping ve Element Görüntüleri verilmiştir. Bölgesel renklendirme neticesinde malzemenin %85,62Fe, %1,92Si, %2,39B ve %10,06Cr şeklinde kütle dağılımı gösterdiği ve XRD analizinde gösterilen Fe_2B (Iron boride (2/10)), $Fe_{0.91}Si_{0.09}$ ($Fe_{0.91}Si_{0.09}$), $Cr_{0.053}Fe_{0.947}$ ($Cr_{0.053}Fe_{0.947}$), Cr_2B (Chromium boride (2/1)) fazları nedeniyle başlangıç miktarlarına göre ($Fe_{75}Si_{17}B_8Cr_{10}$) kütle oranda değişim olduğu gözlemlenmiştir.

Numuneden alınan noktasal spektrumlar neticesinde Fe, Si, B ve Cr elementlerinin kütle ve hacimsel yüzdelik oranları Şekil 3.55’de verilmiştir. Noktasal spektrumdaki kütle ve hacimsel değerleri ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

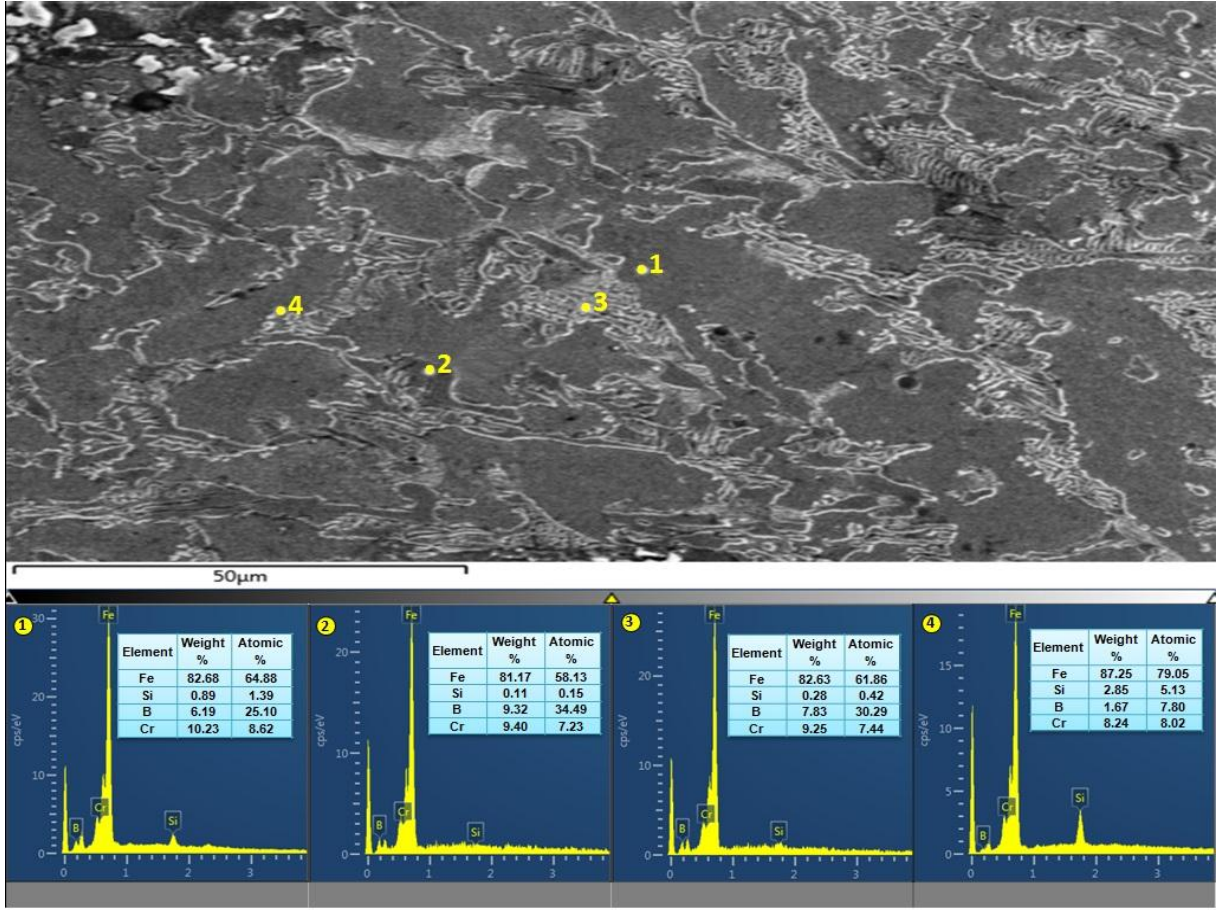
Ayrıca numune için Element Gökkuşuğu Görüntüsü alınarak, Şekil 3.56’da gösterilmiştir.



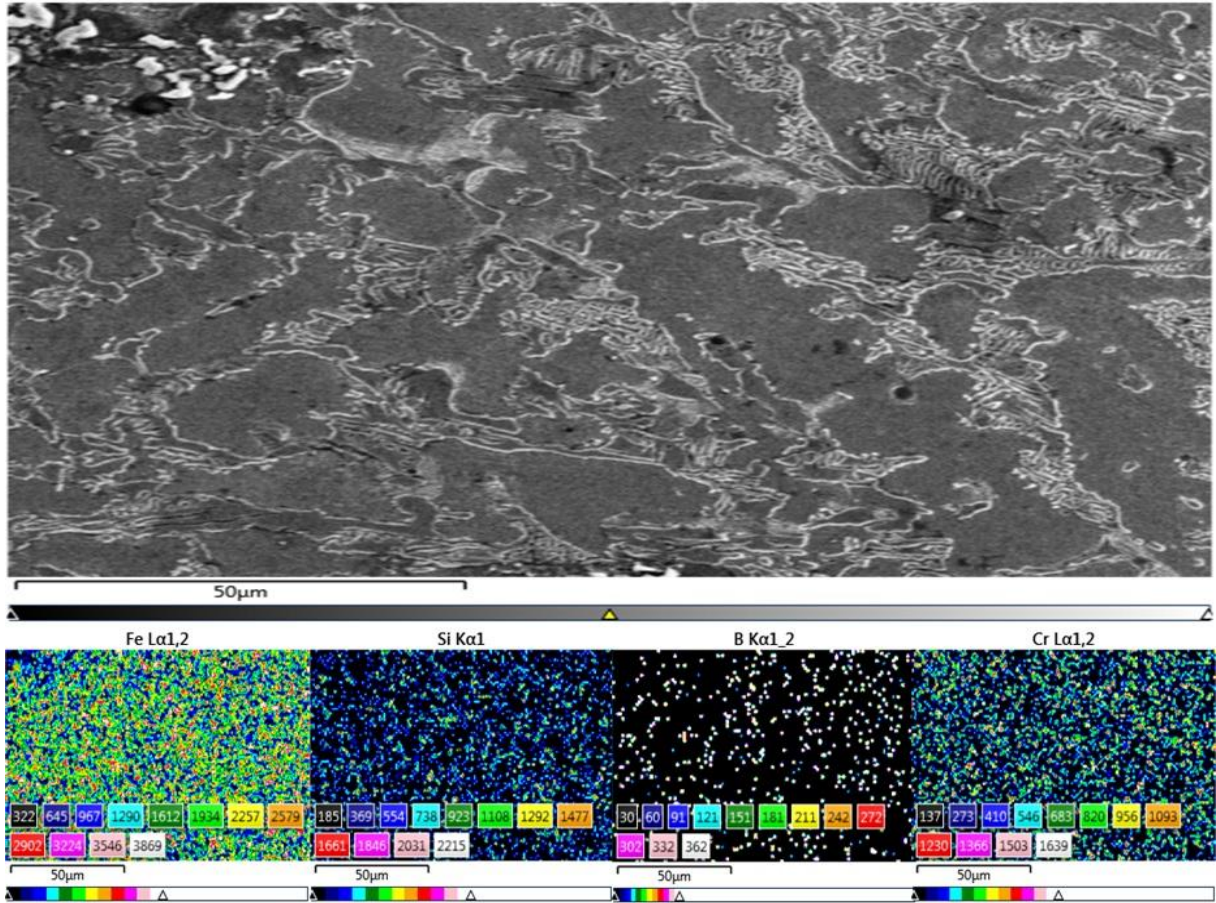
Şekil 3.53. FeSiB-Cr alaşımlı ısıtılmış F44 Numunesi için farklı büyütme oranlarında alınan SEM mikroyapı görüntüleri (500x, 1000x, 2500x, 5000x)



Şekil 3.54. FeSiB-Cr alaşımlı ısıtıl işlemlı F44 Numunesine ait meping analizi ve element görüntüleri



Şekil 3.55. FeSiB-Cr alaşımlı ısıtılmış F44 numunesine ait EDS noktasal spectrum değerleri



Şekil 3.56. FeSiB-Cr alaşımlı ısıtılmalı F44 Numunesine ait Meping analizi elementer gökkuşağı görünümü

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çok yüksek manyetik özellikleri, çok iyi dayanım seviyeleri, mükemmel korozyon direnci ve iyi elektriksel özellikleri ile piyasada Amorf Metalik Cam olarak adlandırılan (Fe-Si-B) belirli oranlarda toz halde Fe, Si, B ve katkı elementi olarak yine belirli oranlarda Ni, Co, Cr tozlarının ilave edilmesi ve vakumlu art melting yöntemiyle üretilen 4 adeti ısıt işlemsiz ve 4 adeti ısıt işlemlili olmak üzere 8 adet numune üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu numunelerin mikro sertlik testi yapılmış, XRD analizleri yapılmış, noktasal spektrum ve genel spektrum SEM görüntüleri alınmış, EDS Meping Analizlerine bakılmış ve aşınma deneyi yapılmıştır.

Bu sonuçlara göre mikro sertliğin alınması neticesinde;

* Üretilen 4 farklı numunemiz F1 nolu Fe-Si-B numunesi, F2 nolu Fe-Si-B-Ni numunesi, F3 nolu Fe-Si-B-Co numunesi ve F4 nolu Fe-Si-B-Cr numunesi için yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değerinin büyükten küçüğe doğru F2 nolu Fe-Si-B-Ni (412,3 HV), F4 nolu Fe-Si-B-Cr (368,6 HV), F1 nolu Fe-Si-B (313,7 HV) ve F3 nolu Fe-Si-B-Co (304,8 HV) olarak hesaplandığı tespit edilmiştir.

*Isıt işleme tabi tutularak üretilen 4 farklı numunemiz F11 nolu Fe-Si-B (ısıt işlem) numunesi, F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıt işlem) numunesi, F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıt işlem) numunesi ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıt işlem) numunesi için yapılan beş farklı noktadan ölçüm alınarak yapılan sertlik deneyleri neticesinde ortalama sertlik değerinin büyükten küçüğe doğru F22 nolu Fe-Si-B-Ni (420,8 HV), F33 nolu Fe-Si-B-Co (409,0 HV), F44 nolu Fe-Si-B-Cr (393 HV) ve F11 nolu Fe-Si-B (380,0 HV) olarak hesaplandığı tespit edilmiştir.

* Fe-Si-B-Co alaşımı ısıt işlem öncesi en yumuşak malzeme iken (304,8 HV), ısıt işlem sonucunda sertliğinin değerinin iyi seviyede artış gösterdiği (409,0 HV) tespit edilmiştir.

* Fe-Si-B alaşımının ısıt işlem neticesinde sertliğinin (313,7 HV'den 380,0 HV 'ye arttığı), beklenen şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

* Fe-Si-B-Cr alaşımının ısıt işleme tabi tutulması sonucunda sertlik değerinde artış olduğu (368,6 HV – 393 HV), beklenen yönde artış gösterdiği,

* Fe-Si-B-Ni alaşımının ısıt işleme tabi tutulması sonucunda diğer numeneler kadar olmasada beklenen yönde artış gösterdiği (412,3 HV - 420,8) ve malzemenin sertleştiği tespit edilmiştir.

* Genel değerlendirdiğimizde ise ısııl işlemin numunelerin tamamında beklenen şekilde malzemeleri sertleştirdiği tespit edilmiştir.

Aşınma deneyi neticesinde;

* Isıl işlemsiz üretilen 4 farklı numunemiz F1 nolu Fe-Si-B numunesi, F2 nolu Fe-Si-B-Ni numunesi, F3 nolu Fe-Si-B-Co numunesi ve F4 nolu Fe-Si-B-Cr numunesi için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru F1 nolu Fe-Si-B (10,9 miligram), F2 nolu Fe-Si-B-Ni (7,2 miligram), F4 nolu Fe-Si-B-Cr (5,8 miligram) ve F3 nolu Fe-Si-B-Co (5,6 miligram) olarak ölçülmüştür.

* Isıl işleme tabi tutularak üretilen 4 farklı numunemiz F11 nolu Fe-Si-B (ısııl işlem) numunesi, F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısııl işlem) numunesi, F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısııl işlem) numunesi ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısııl işlem) numunesi için yapılan aşınma deneyleri neticesinde oluşan aşınma kütle kayıpları büyükten küçüğe doğru F11 nolu Fe-Si-B (2,8 miligram), F33 nolu Fe-Si-B-Co (2,5 miligram), F22 nolu Fe-Si-B-Ni (2,3 miligram) ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (2,1 miligram) olarak ölçülmüştür.

* Isıl işlemlili tüm numunelerde ısııl işlemsiz numunelere kıyasla kütle aşınma kaybının daha az olduğu ölçülmüştür.

* Fe-Si-B alaşıımı ısııl işlemsiz numunede en fazla kütle kaybı oluşurken, ısııl işlemlili numunesinde ise en az kütle kaybı oluşturduğu ve aşınma kütle kaybı farkının en fazla olduğu (10,9 miligramdan, 2,8 miligrama düştüğu ve aşınma kütle kaybı farkının 8,1 miligram olduğu) tespit edilmiştir.

* Fe-Si-B-Ni alaşıımı ısııl işlemsiz numunenin ısııl işlemlili numuneye kıyasla daha az aşındığı ve diğer numunelere kıyasla Fe-Si-B numunelerinden sonra aşınma kütle kaybı farkının genel olarak az olduğu (7,2 miligramdan, 2,3 miligrama düştüğu ve aşınma kütle kaybını farkının 4,9 miligram olduğu) tespit edilmiştir.

* Fe-Si-B-Co alaşıımı ısııl işlemsiz numunede en az kütle kaybı oluşurken ısııl işlemlili numunede ise daha fazla kütle kaybı oluşturduğu ve aşınma kütle kaybı farkının en az olduğu (5,6 miligramdan, 2,5 miligrama düştüğu ve aşınma kütle kaybını farkının 3,1 miligram olduğu),

* Fe-Si-B-Cr alaşıımı ısııl işlemsiz numunenin ısııl işlemlili numuneye kıyasla fazla aşındığı ve Fe-Si-B-Co numuneleri hariç diğer numunelere kıyasla aşınma kütle kaybı farkının genel olarak fazla olduğu (5,8 miligramdan, 2,1 miligrama düştüğu ve aşınma kütle kaybı farkının 3,7 miligram olduğu) tespit edilmiştir.

XRD analizi neticesinde;

* F1 nolu Fe-Si-B (normal) numune ve F11 nolu Fe-Si-B (ısıtıl işlem) numunelerinin, Fe₂B (Iron boride (2/10)) ve Fe₉₁Si₀₉ fazlarını içerdği pikler tespit edilmiştir. Fe₂B (Iron boride (2/10)) fazına ait 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ pik açıları; (110), (200), (211) kafes yapıları belirlenmiştir. Fe₉₁Si₀₉ fazına ait 44.7⁰, 82.5⁰ pik açıları; (110), (211) kafes yapıları belirlenmiştir.

* F2 nolu Fe-Si-B-Ni (normal) numune ve F22 nolu Fe-Si-B-Ni (ısıtıl işlem) numunelerinin, BFe₂ (Fe₂B), BNi₆Si₂ (Ni₆Si₂B), Fe₉₁Si₀₉ (Fe_{0.91} Si_{0.09}), FeNi (Tetrataenite) fazlarını içerdği pikler tespit edilmiştir. BFe₂ (Fe₂B) fazına ait pik açısı 44.7⁰ ve (101) kafes yapısı belirlenmiştir. BNi₆Si₂ (Ni₆Si₂B) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ dir ve (101), (102), (210) kafes yapıları belirlenmiştir. Fe₉₁Si₀₉ (Fe_{0.91} Si_{0.09}) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ dir ve (101), (102), (210) kafes yapıları belirlenmiştir. FeNi (Tetrataenite) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 82.5⁰ dir ve (101), (210) kafes yapıları belirlenmiştir.

* F3 nolu Fe-Si-B-Co (normal) numune ve F33 nolu Fe-Si-B-Co (ısıtıl işlem) numunelerinin, BFe₂ (Fe₂B), CoFe (Wairauite), Fe₉₁Si₀₉ (Fe_{0.91} Si_{0.09}), BCo₂(Co₂B) fazlarını içerdği pikler tespit edilmiştir. BFe₂ (Fe₂B) fazına ait pik açısı 44.7⁰ ve (211) kafes yapısı belirlenmiştir. CoFe (Wairauite) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. Fe₉₁Si₀₉ (Fe_{0.91} Si_{0.09}) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. BCo₂ (Co₂B) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 82.5⁰ dir ve (211), (213) kafes yapıları belirlenmiştir.

* F4 nolu Fe-Si-B-Cr (normal) numune ve F44 nolu Fe-Si-B-Cr (ısıtıl işlem) numunelerinin, Fe₂B (Iron boride (2/10)), Fe₉₁Si₀₉ (Fe_{0.91}Si_{0.09}), Cr_{0.053}Fe_{0.947} (Cr_{0.053}Fe_{0.947}), Cr₂B (Chromium boride (2/1)) fazlarını içerdği pikler tespit edilmiştir. Fe₂B (Iron boride (2/10)) fazına ait pik açısı 44.7⁰ ve (211) kafes yapısı belirlenmiştir. Fe₉₁Si₀₉ (Fe_{0.91}Si_{0.09}) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 82.5⁰ dir ve (211), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. Cr_{0.053}Fe_{0.947} (Cr_{0.053}Fe_{0.947}) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir. Cr₂B (Chromium boride (2/1)) fazına ait pik açıları 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ dir ve (211), (222), (420) kafes yapıları belirlenmiştir.

* Tüm numunelerin (normal ve ısıtıl işlemli) genel olarak oluşan fazların ve kafes yapılarının 44.7⁰, 65.1⁰, 82.5⁰ açı değerlerinde pik yaptığı tespit edilmiştir.

SEM-EDS analizleri neticesinde;

* Tüm numunelerde farklı büyütme ölçeklerinde (500x, 1000x, 2500x, ve 5000x) alınan SEM Mikroyapı Görüntüleri ile kafes yapılarının korunduğu gözlemlenmiştir.

* Numunelerin bölgesel renklendirme görüntüleri neticesinde alaşım elementlerini

ihativa ettiği ancak farklı fazların oluşması nedeniyle başlangıç miktarlarına göre kütleel oranda değişimlerin oluştuğu gözlemlenmiştir.

* Numunelerden alınan noktasal spektrum ölçümleri neticesinde alaşım elementlerinin kütleel ve hacimsel yüzdelik oranları ortalamasının, genel bileşimle benzerlik oluşturduğu görülmüştür.

* Ayrıca numuneler için alınan Element Gökkuşuğı Görüntülerinin bölgesel renklendirme görüntüleriyle benzerlik sağladığı görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Amorf Metalik Camların (Fe-Si-B) mekanik özelliklerinde ve yapısal özelliklerindeki farklılıklar kıyaslanmış ve kullanılan alaşım elementinin malzemenin temel özelliklerini; aşınma direncinin, mikro sertliğin ve mikro yapıdaki değişimlerin (faz oluşumlarının) çok farklı seviyelerde değiştirdiği tespit edilmiştir. Daha farklı alaşım elementleri kullanılarak veya kullanılan alaşım element oranları değiştirilerek yapılacak yeni çalışmaların Fe-Si-B amorf metalik camlarının karakteristiklerini belirlemede bu çalışmayla birlikte ışıktutacağı değerlendirilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Abrosimova, G., & Aronin, A.,** 2016. Amorphous and Nanocrystalline Metallic Alloys. In: Vadim Glebovsky (ed). Progress in Metallic Alloys. *Institute of Solid State Physics*, Russian Academy of Science. Chapter 3.
- Adams, M., Brent, L., Aliya, D., vd.,** 2004. 2762 p, Vol. 9, ASM Handbook, Metallography and Microstructures, ASM International, USA.
- ASTM,** 1990. Standard Test Method For Wear Testing With a Pin on Disk Apparatus, 399-403.
- Birol, Y.,** 2015. Manyetik özellikler. Dokuz Eylül Üniversitesi. <http://web.deu.edu.tr/metalurjimalzeme/pdf/mmm2002Malzeme2/DERS9>.
- Bozkurt, D.,** 2007. Bor karbür orijinli bor triklorür gazından IR lazer ile sürekli akış altında fosgen giderilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G.,** 2015. Materials science and engineering. (Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık).
- Chang, C., Li Z., Dong Y., Pauly S., Wei R., Li F., Wang, X.-M.,** 2017. Enhanced softmagnetic properties of Fe-based amorphous powder cores by longitude magnetic field annealing. *Journal of Alloys and Compounds* 706-1-6.
- Cura, M.E.,** 2002. Sıcak preslenmiş Wc-Co/B4C kompozitlerinin mekanik, manyetik ve mikroyapısal incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Epma,** 2015. Future Developments for the European PM Industry, The European PM Industry Roadmap.
- Fan, X.D.; Shen, B.L.,** 2015. Crystallization behavior and magnetic properties in High Fe content FeBCSiCu alloy system. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 385, 277–281. doi:10.1016/j.jmmm. 2015.03.033.
- Figuerola, A., I., Betancourt, G., Lara, Verduzco, J.A.,** 2005. Effect of B, Si and Cr on the mechanical properties of Fe-based amorphous metallic ribbons. *Journal of Non-Crystalline Solids* 351, 3075–3080.
- Garret, D.E.,** 1998. “Borates”, Academic Press Limited, USA.
- German, R.M.,** 2005. Powder metallurgy and particulate materials processing, Metal powder industries federation, Princeton, USA, pp. 522.
- Giselher, H.,** 2019. Modern softmagnets: Amorphous and nano crystalline materials. *Acta Materialia* 61, 718–734.

- Guo, J., Dong, Y., Man, Q., Li, Q., Chang, C., Wang X. M., Li, R. W.,** 2016. Fabrication of FeSiBPNb amorphous powder cores with high DC-bias and excellent soft magnetic properties. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 401, 432–435.
- Habashi, F.,**1997. *Handbook of Extractive Metallurgy*, 4, pp. 1985-2026, WILEY-VCH, Germany.
- Höganäs,** 2017. *Handbook for sintered components handbook, iron and steel powders for sintered components.*
- Höganäs.,** 2013. *Handbook for sintered components and handbook 2 production of sintered components*
- Jakuboviks, J. P.,** 2015. *Magnetism and magnetic materials.* Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kang, E. Y., Kim, Y. B., Kim, K. Y., Chung, Y. H., Baik, H. K.,** 2006. Preparation of Fe–Si–B–Nb amorphous powder cores with excellent high-frequency magnetic properties. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 304 e182–e185.
- Karabulut, H., Gündüz, S.,** 2004. “Effect of vanadium content on dynamic strain aging in micro alloyed medium carbon steel”, *Materials and Design*.
- Kaynar, A., Gündüz, S., Türkmen, M.,** 2013. Investigation on the behaviour of medium carbon and vanadium micro alloyed steels by hot forging test , 819-805.
- Koch, C.C.,** 1998. Milling of brittle and ductile materials, *ASM Handbook*, 7, 53-66.
- Konstantinovich, N. V.,** 2015. Amorphous And Nanocrystal Alloys For Equipment And Energy-Efficient Technologies. ISSN 1027-3239. *Visn. National Academy of Sciences of Ukraine*, No. 4.
- Kök, M.,** 2011. Ni-Mn-Ga Ferromanyetik Şekil Hatırlamalı Alaşımının Fiziksel Özellikleri Üzerine Alaşım Oranı Ve Isıl İşlem Etkisinin İncelenmesi/Investigation of effect of heat treatment and alloying element on physical properties of Ni-Mn-Ga ferromagnetic shape memory alloy, *Fırat Üniversitesi. Ph.D. thesis*, Fizik Anabilim Dalı.
- Lashgari, H. R., Chen, Z., Liao, X. Z., Chu, D., Ferry, M., & Li, S.,** 2015. Thermal stability, dynamic mechanical analysis and nano indentation behavior of FeSiB (Cu) amorphous alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 626, 480–499. doi:10.1016/j.msea.2014.12.097.
- Li, Q., & Yi, S.,** 2014. Improvement of Glass Forming Ability and Soft Magnetic Properties of Fe-C-Si-P Amorphous Alloys Through a Flux Treatment Technique. *Met. Mater. Int.*, Vol. 20, No. 1, pp. 7-11.

- Li, Z., Zhou, S., Zhang, G., & Zheng, W.,** 2018. Highly Ductile and Ultra-Thick P-Doped FeSiB Amorphous Alloys with Excellent Soft Magnetic Properties. *Materials*, 11(7), 1148. doi:10.3390/ma11071148 *Materials*, 10(2), 299–310.
- Liang, Z., Li, D., Lu, Z., Lu, C., Liu, T., Guo, F., Liu, K., Wang, J. & Zhou, S.,** 2010. Novel Fe-based amorphous magnetic powder cores with ultra-low core losses. *Science China Technological Sciences*, Vol.53 No.5: 1290–1293.
- Lyday, P.A.,**1991. “Boron mineral commodity summaries”, US Bureau of Mines.
- Maslov, V., & Konstantinovich, N.V.,** 2013. Soft magnetic amorphous and nano crystalline alloys. <http://www.stcu.int/documents/reports/distribution/tpf/Materials/MetalResearch/hannover%>.
- Pang, W.A., Yu, S., Kong, F., Qiu, K., Chang, C., Wang, X., & Liu, C.T.,** 2017. Fluxing purification and its effect on magnetic properties of high-BsFeBPSiC amorphous alloy. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 433, 35–41.
- Qader, I.N., Mediha, K., Dağdelen, F., and Abdullah, S.S.,** 2020. The effect of different parameters on shape memory alloys, *Sakarya University Journal of Science*, C Vol. 24 (5), pp: 892-913.
- Roskill,** 1995. "Bor Ekonomisi", Raskill Information Services LTD. 2 Clapham Road London SW9 0JA- England, (pp. 145).
- Sage, A. M.,**1989. “Micro alloyed steels for structural applications”, Metals and Materials.
- Salak, A., Rieckensky, V.,** 1995. 450 p, Ferrous Powder Metallurgy, Cambridge International Science Publishing.
- Saritas, S., Turker, M., Durlu, N.,** 2007. Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing, German, (RM), *Türk Toz Metalurjisi Derneği*, 235-246.
- Topbaş, M.A.,**1998. Çelik ve ısıtım işlem el kitabı, s. 34-40, İstanbul.
- Upadhyaya, G.S.,**1997. Powder metallurgy technology, Cambridge IntScience Publishing.
- Wang, G.,**2012. Magnetic and Calorimetric Study of the Magnetocaloric Effect in Intermetallics Exhibiting First-order Magnetostructural Transitions, *Phd Thesis*, Zaragoza University, Spain.
- Wang, H.B., Ma, L.X., Li, L., Zhang, B.,** 2015. Fabrication of Fe-based bulk metallic glasses from low-purity industrial raw materials. *Journal of Alloys and Compounds* 629, 1–4.
- Warlimont, H.,** 2001. Amorphous metals driving materials and processing innovations. *Materials Science and Engineering A* 304–306, 61–67.

- Xu, D. D., Zhou, B. L., Wang, Q. Q., Zhou, J., Yang, W. M., Yuan, C. C., ... Shen, B. L.,** 2018. Effects of Cr addition on thermal stability, soft magnetic properties and corrosion resistance of FeSiB amorphous alloys. *Corrosion Science*, 138, 20-27. doi:10.1016/j.corsci. 2018.04.00610.1016/j.corsci.2018.04.006.
- Yılmaz, N.,**2006. Demir Esaslı Toz Metal Malzemelerin Talaşlı İşlenebilirliği, Doktora tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 248s.
- Yi, S., Ki, K. Buem&Sang, S. H.,** 2005. Fabrication of Fe-Based Bulk Amorphous Alloys Using Hot Metal and Commercial Ferro-Alloys. *Materials Transactions*, Vol. 46, No. 10 (pp. 2237-2240).
- Zhenglong F., Masayuki N.,** 2020. Local magnetic deterioration on work-hardening layer of FeSiB metallic glass by milling, 501-504.



ÖZGEÇMİŞ

