



**T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ni/Mo/B İLAVESİNİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE
DİŞLİ ÜRETİMİNDE KULLANILACAK Fe ESASLI
MALZELERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tarık GÜN
(201192061057)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

**SIVAS
AĞUSTOS 2019**

Tarık GÜN'ün hazırladığı ve “**Ni/Mo/B İLAVESİNİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE DIŞLI ÜRETİMİNDE KULLANILACAK Fe ESASLI MALZELERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı :**Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Ramazan ÇITAK**
Gazi Üniversitesi

Jüri Üyesi :**Doç. Dr. Ali ÖZER**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, ESTAŞ Eksantrik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge merkezi tarafından İmalat-2014-008 nolu Ar-Ge merkez projesi olarak desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Tarık GÜN, 2019

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

08.08.2019

Tarık GÜN

ÖZET

Ni/Mo/B İLAVESİNİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE DIŞLI ÜRETİMİNDE KULLANILACAK Fe ESASLI MALZELERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tarık GÜN

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2019, 105+xix sayfa

Bu çalışmada, Cu(Bakır), C(Karbon), yağlayıcı (çinkostearat) oranları sabit tutularak ve tamamlayıcı olan Fe(Demir) ile, her biri üç farklı orana sahip Ni(Nikel), Mo(Molibden) ve B(Bor) belirli oranlarda karıştırılmış, farklı sinterleme sıcaklık ve sürelerinde çalışma yapılmıştır. Proses şartlarının ve ilave elementlerin, numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Ni (%1.5-3.0-4.5), Mo(%0.6-1.2-1.8), B(%0.2-0.6-1.0), Cu(%2.0 sabit), C(%0.8 sabit), $C_{36}H_{70}O_4Zn$ (%0.6 çinko stearat) ve kalan Fe ile 27 farklı kompozisyon oluşturulmuştur. Numuneler 160°C'de 650MPa da 10x15 mm boyutunda ılık presleme yöntemi ile preslenmiş ve 1150°C'de argon (Ar) gaz atmosferinde 60 dakika sinterlenmiştir. Numunelerin yoğunluk ve sertlikleri ölçülmüş ardından parçalar indüksiyonla sertleştirilmiş ve sertlikleri tekrar ölçülmüştür. Sertleştirmeden sonra en yüksek sertlik 18 ve 27 nolu kompozisyonlarda 73,82 HRa ve 76,65 HRa ölçülmüştür. En düşük sertlik 7 ve 13 nolu kompozisyonlarda 62,92 HRa ve 63,63 HRa ölçülmüştür. İkinci aşamada en yüksek ve en düşük sertliğe sahip 7, 13,18 ve 27 nolu kompozisyonlar seçilmiş aynı koşullarında tekrar tozlar preslenmiş ve 1050°C, 1150°C, 1250°C sinterleme sıcaklığında 30dk, 60dk ve 90dk sinterleme sürelerinde 36 farklı koşulda numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin sertlikleri ölçülmüş ve mikroyapı analizi yapılmıştır. Üçüncü aşamada 36 farklı şartta üretilen numunelerden, sinterleme sıcaklığı ve süresinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkilerini incelemek için 18 adet numune seçilmiştir. Bu numunelere EDS ile elementel analizi yapılmış, XRD optik mikroskopisi incelenmiştir. Numunelere aşınma testleri yapılarak aşınma yüzeylerinden SEM fotoğrafları alınmış, aşınma mekanizmaları ile aşınma karakterizasyonları belirlenmiştir. İndüksiyonla sertleştirme yapmadan sinterleme

sıcaklığı ve sinterleme süresinin optimizasyonu ile yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. En yüksek sertlik değeri Fe-%4.5Ni-%1.8Mo-%1.0B-%2.0Cu-%0.8C kompozisyonu ile preslenen numunelerde 1250°C’de 90 dk sinterleme süresinde 75,6 HRa (49,6 HRC) değeri elde edilmiştir. Elde edilen sertlikler, sertleştirmeye gerek kalmadan dişli üretiminde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Toz metalurjisi, İlk Presleme, Sinterleme, Dişli üretimi



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF Ni / Mo / B ADDITION ON Fe BASED MATERIALS TO BE USED IN GEAR PRODUCTION BY POWDER METALLURGY METHOD

Tarık GÜN

Master of Science Thesis,

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2019, 105+XIX pages

In this study, Ni (Nickel), Mo (Molybdenum) and B (Boron), each having three different ratios, were mixed in certain proportions with Cu (Copper), C (Carbon), lubricant (zincostearate) ratios are kept constant and complementary with Fe (Iron). Samples were produced at different sintering temperatures and sintering times. The effects of production conditions and additional elements on the mechanical and microstructure properties of the samples were investigated. For this purpose, the study was carried out in 3 stages. In the first step 27 different compositions were created with Ni (1.5-3.0-4.5%), Mo (0.6-1.2-1.8%), B (0.2-0.6-1.0%), Cu (2.0% constant), C (0.8% constant), C₃₆H₇₀O₄Zn (0.6% zinc stearate) and the remaining Fe. The parts were pressed in a dimension of 10x15 mm by means of warm pressing method at 600MPa at 160°C and sintered for 60 minutes under argon (Ar) gas atmosphere at 1150°C. The density and hardness of the samples were measured, then the parts were hardened by induction and their hardness was measured again. The highest hardness after hardening was measured at 73.82 HRa (46.1 HRC) and 76.65 HRa (51.6 HRC) in compositions 18 and 27. The lowest hardness was measured 62.92 HRa and 63.63 HRa in compositions 7 and 13. Four compositions showing the best and worst hardness values were selected. In the second stage, powders were pressed again from these 4 different compositions under the same pressing conditions and samples were produced in 36 different conditions at sintering temperatures of 1050°C, 1150°C, 1250°C at 30 min, 60 min and 90 min sintering times. The hardness of these samples was measured. In the third stage, 18 samples were selected to examine the effects of sintering temperature and time on the mechanical and microstructure properties of the samples produced under 36 different conditions.

Elemental analysis of these samples by EDS, XRD optical microscopy was examined. Wear tests were carried out on the samples and SEM photographs were taken from the wear surfaces and the wear mechanisms and wear characterizations were determined. High hardness values were obtained by optimization of sintering temperature and sintering time without induction hardening. The best hardness value was obtained 75.6 HRa (49.6 HRC) of %4.5 Ni-%1.8Mo-%1.0B-%2.0Cu-%0.8C-%RestFe composition of the pressed samples at 1250°C sintering temperature at 90 min sintering time. The hardness obtained can be used in gear production without the need for hardening.

Key Words: Powder Metallurgy, Warm compacting, Sintering, Gear production



KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışması için yapılan üretimlerde ve gerçekleştirilen test çalışmalarında desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Kerim Emre ÖKSÜZ'e teşekkür ederim.

Bu tezin desteklenmesinde maddi ve manevi ilgili her türlü desteği sağlayan ESTAŞ Eksantrik San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi Yöneticisi Fatih ÖZAYDIN'a ve ilgili tüm çalışma arkadaşlarıma;

Yazım sürecinde verdiği manevi desteklerden dolayı değerli arkadaşım Bahadır KARACA'ya,

Son olarak bu tezi hazırlama sürecinde; sabır, metanet ve anlayışlarıyla beni madden ve manen sürekli destekleyen hayat arkadaşım eşim Sahra GÜN'e ve çok kıymetli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma, ESTAŞ Eksantrik San. ve Tic. A.Ş, Ar-Ge merkezi tarafından İmalat-2014-008 nolu Ar-Ge Merkez projesi olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	vii
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xviiix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviiixv
SİMGELER DİZİNİ	xviii
KISALTMALAR DİZİNİ	xviiiixvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
3. TOZ METALURJİSİ	6
3.1 Toz Hazırlama ve Üretim Teknikleri	6
3.1.1 Metal Tozlarının Üretimi	6
3.1.1.1 Mekanik Yöntemle Toz Üretimi	6
3.1.1.2 Kimyasal Yöntemlerle Toz Üretimi	7
3.1.1.3 Elektrolitik Yöntemle Toz Üretimi	7
3.1.1.4 Atomizasyon Yöntemle Toz Üretimi	7
3.1.1.4.1 Su Atomizasyonu	8
3.1.1.4.2 Gaz Atomizasyonu	8
3.1.1.4.3 Döner Disk Atomizasyonu	9
3.1.1.4.4 Döner Elektrot Atomizasyonu	10
3.1.2 Metal Tozlarının Karıştırılması Ve Yağlayıcı İlavesi	10
3.2 Presleme	11
3.2.1 Rijit Kalıpta Presleme (Soğuk Presleme)	12
3.2.2 Ilık Presleme	12
3.2.3 İzostatik Presleme	13
3.2.3.1 Soğuk İzostatik Presleme	14
3.2.3.2 Sıcak İzostatik Presleme	14
3.3 Sinterleme	14
3.3.1 Sinterleme Atmosferleri	15
3.3.2 Sinterleme Sonrası İkincil İşlemler	16
3.3.3 Demir Tozlarına Alaşım Elementlerinin Etkisi	16
3.4 Toz Metalurjisi Uygulama Alanları	18
3.4.1 Otomotiv Uygulamaları İçin Toz Metal Parçalar	19
3.4.2 Motor Parçaları	19
3.4.3 Dişli Kutusu Parçaları	20
3.4.4 Şasi ve Diğer Parçalar	21
3.4.5 Daha Karmaşık Parçalar	21
3.4.6 Yüksek Mukavemetli Parçalar	21
3.4.7 Daha Fonksiyonel Parçalar	22
3.5 Toz Metalurjisi Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	22

4. MATERYAL VE METHOD	24
4.1 Materyal.....	24
4.2 Dişli Malzemelerinin Belirlenmesi	24
4.3 Deney Numunelerinin Üretimi	25
4.3.1 Deney Numunelerinin Toz Miktarlarının Hesaplanması	26
4.3.2 Sıkıştırma Kuvvetinin Hesaplanması	31
4.3.3 Tozların Karıştırılması	32
4.3.4 Sıkıştırma Kalıbının Üretilmesi	33
4.3.5 Tozların Preslenmesi (Sıkıştırılması)	34
4.3.6 Numunelerin Sinterlenmesi	34
4.3.7 Parçaların Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Yapılması	36
4.4 Yoğunluk Ölçümlerinin Yapılması	37
4.5 Makrosertlik Ölçümleri	37
4.6 Mikroyapı İncelemeleri	38
4.7 Aşınma Deneyleri.....	38
4.8 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM).....	39
4.9 Noktasal Analiz (SEM+EDS)	39
4.10 XRD Analizi.....	40
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	41
5.1 Birinci Aşama Deney Sonuçları	41
5.1.1 Yoğunluk Ölçümleri.....	41
5.1.2 Makro Sertlik Ölçümü.....	43
5.2 İkinci Aşama Deney Sonuçları.....	48
5.2.1 Sertlik Sonuçları.....	48
5.2.2 Metalografi Sonuçları.....	53
5.3 Üçüncü Aşama Deney Sonuçları.....	60
5.3.1 Aşınma Deney Sonuçları.....	61
5.3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları	64
5.3.2.1 Aşınma yüzeyleri sem analizi.....	64
5.3.3 Noktasal Analiz (SEM+EDS) Sonuçları	70
5.3.4 XRD Analiz Sonuçları	93
6. SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	101

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Toz metalurjisi üretim akış şeması.....	5
Şekil 3.1	Yassı hüzmeli V jetleri.....	8
Şekil 3.2	İçte ve dışta karıştırma.....	9
Şekil 3.3	Döner disk atomizasyonu yöntemi.....	9
Şekil 3.4	Döner elektrot yöntemi.....	10
Şekil 3.5	Karıştırıcı geometrileri a)silindirik, b)döner küp, c) çift taraflı konik, d) V tipi.....	11
Şekil 3.6	Rijit kalıpta preslemenin şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.7	İlk presleme şematik gösterimi.....	13
Şekil 3.8	T/M otomobil parçaları (a)T/M planet dişli taşıyıcı, (b)T/M kam mili rulman kapağı.....	20
Şekil 3.9	T/M ile üretilmiş dişli	20
Şekil 3.10	Transfer kutusu ayar muşonu.....	22
Şekil 4.3	Üretilen deney numunesi 2D teknik resmi.....	25
Şekil 4.4	T2F Turbula Mixer'in şematik görünümü.....	31
Şekil 4.5	Toz basma kalıbı 2D teknik resmi.....	33
Şekil 4.6	Tozların sıkıştırılmasında kullanılan kalıp.....	34
Şekil 4.7	Tüp sinterleme fırını.....	35
Şekil 4.8	Birinci aşamada gerçekleştirilen 1150 °C' de 60 dakika sinterleme grafiği.....	35
Şekil 4.9	İkinci aşamada gerçekleştirilen sinterleme grafiği.....	36
Şekil 4.10	Numunelerin yüzey sertleştirme işlemlerinin gerçekleştirildiği yüksek frekanslı indüksiyon tezgahı.....	36
Şekil 4.11	INSTRON-WOLPERT makro sertlik ölçüm cihazı.....	37
Şekil 4.12	Nikon MA200 optik mikroskobun görünümü.....	38
Şekil 4.13	Aşınma deney düzeneği.....	38
Şekil 5.1	%1,5Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi.....	44
Şekil 5.2	%3,0Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi.....	45
Şekil 5.3	%4,5Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi.....	45
Şekil 5.4	%2Cu-%0,2B kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi.....	46
Şekil 5.5	%2Cu-%0,6B kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi.....	47
Şekil 5.6	%2Cu-%1B kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi.....	48
Şekil 5.7	%1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi.....	50
Şekil 5.8	%3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi.....	51
Şekil 5.9	%3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi.....	51

Şekil 5.10	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi.....	52
Şekil 5.11	%1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%2Cu- %0,8C-%Fe içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları.....	54
Şekil 5.12	%3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları.....	55
Şekil 5.13	%3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları.....	56
Şekil 5.14	%3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları.....	56
Şekil 5.15	%1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri.....	61
Şekil 5.16	%3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri.....	62
Şekil 5.17	%3Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri.....	63
Şekil 5.18	%4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 30-60-90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri.....	63
Şekil 5.19	Numune 1'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	65
Şekil 5.20	Numune 2'nin aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	65
Şekil 5.21	Numune 3'ün aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	66
Şekil 5.22	Numune 4'ün aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	66
Şekil 5.23	Numune 5'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	66
Şekil 5.24	Numune 6'nın aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	66
Şekil 5.25	Numune 7'nin aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	67
Şekil 5.26	Numune 8'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	67
Şekil 5.27	Numune 9'un aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	67
Şekil 5.28	Numune 10'un aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	67
Şekil 5.29	Numune 11'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	68

Şekil 5.30	Numune 12'nin aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	68
Şekil 5.31	Numune 13'ün aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	68
Şekil 5.32	Numune 14'ün aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	68
Şekil 5.33	Numune 15'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	69
Şekil 5.34	Numune 16'nın aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	69
Şekil 5.35	Numune 17'nin aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	69
Şekil 5.36	Numune 18'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b).....	69
Şekil 5.37	% 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1050°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	71
Şekil 5.38	% 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1150°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	73
Şekil 5.39	% 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1250°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	74
Şekil 5.40	% 3,0Ni-% 1,2Mo-% 0,2B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1050°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	75
Şekil 5.41	% 3,0Ni-% 1,2Mo-% 0,2B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1150°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	76
Şekil 5.42	% 3,0Ni-% 1,2Mo-% 0,2B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1250°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	77
Şekil 5.43	% 3,0Ni-% 1,8Mo-% 1,0B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1050°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	79
Şekil 5.44	% 3,0Ni-% 1,8Mo-% 1,0B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1150°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	80
Şekil 5.45	% 3,0Ni-% 1,8Mo-% 1,0B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1250°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	81
Şekil 5.46	% 4,5Ni-% 1,8Mo-% 1,0B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1050°C-30 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	82
Şekil 5.47	% 4,5Ni-% 1,8Mo-% 1,0B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1050°C-60 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	84
Şekil 5.48	% 4,5Ni-% 1,8Mo-% 1,0B-% 2Cu-% 0,8C-% Fe-1050°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	85

Şekil 5.49	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-30 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	87
Şekil 5.50	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-60 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	88
Şekil 5.51	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	89
Şekil 5.52	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-30 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	90
Şekil 5.53	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-60 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	92
Şekil 5.54	%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.....	93
Şekil 5.55	%1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonu-90 dk sinterleme a)1050°C nolu, b) 1150°C nolu, c) 1250°C nolu numuneden elde edilen XRD spektrumu.....	94
Şekil 5.56	%3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonu-90 dk sinterleme a)1050°C nolu, b) 1150°C nolu, c) 1250°C nolu numuneden elde edilen XRD spektrumu.....	95
Şekil 5.57	%3Ni-%1,8Mo-%1,0B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonu-90 dk sinterleme a)1050°C nolu, b) 1150°C nolu, c) 1250°C nolu numuneden elde edilen XRD spektrumu.....	96
Şekil 5.58	%4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait a) 1050°C-30 dk, b) 1050°C-60 dk, c) 1050°C-90 dk, d) 1150°C-30 dk, e) 1150°C-60 dk, f) 1150°C-90 dk, g) 1250°C-30 dk, h) 1250°C-60 dk, ı)1250°C-90 dk numuneden elde edilen XRD spektrumu.....	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.2	Parça imalatında kullanılan tozların kompozisyonlar içindeki yüzdeleri ve tozların boyutları.....	24
Çizelge 4.3	Birinci aşamada belirlenen deney setine ait kompozisyon oranları.....	25
Çizelge 4.4	İlk aşamada üretilen 27 farklı numunenin kompozisyon hesabı.....	28
Çizelge 4.5	İkinci aşamada üretilen 36 farklı numunenin kompozisyon hesabı.....	30
Çizelge 4.6	Kuru sürtünme test parametreleri.....	39
Çizelge 5.1	1150°C 'de 60 dk Sinterlenen numunelerin sertleştirme öncesi ve sertleştirme sonrası sertlik sonuçları.....	42
Çizelge 5.2	Birinci aşamada sertlik değerlerine göre belirlenen kompozisyonlar.	43
Çizelge 5.3	1050-1150-1250°C 'de 30-60-90 dk sinterlenen numunelerin sertlik sonuçları.....	61
Çizelge 5.4	Aşınma dayanımı, SEM-EDX ve XRD analizleri için seçilen numuneler.....	61
Çizelge 5.5	SEM analizinde kullanılan numunelerin içeriği ve proses detayları.....	65

SİMGELER DİZİNİ

Fe	Demir
Mo	Molibden
C	Karbon
KN	Kilo Newton
N	Newton
Cu	Bakır
Mn	Mangan
Ni	Nikel
N₂	Azot Molekülü
Sb	Antimon
Bi	Bizmut
B	Bor
Kgf	Kilogram kuvvet
kg	Kilogram
dk	Dakika



KISALTMALAR DİZİNİ

T/M	Toz metalurjisi
PM	Powder metalurgy
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
HV	Vickers sertlik birimi
CVT	Sürekli değişken transmisyon
MIM	Metal enjeksiyon kalıplama
2P2S	Çift presleme çift sinterleme
MPa	Megapaskal
HB	Birinell Hardness
HRA	Rockwell A sertlik
HRC	Rockwell C sertlik
EDS	Enerji dağılım spektrometresi
XRD	X-Işını kırınımı analizi



1. GİRİŞ

Bilindiği gibi insanlığın ilerlemesinde rol oynayan malzemeler, teknikler ve yöntemler genellikle olmasını istemediğimiz savaşlar sayesinde ortaya çıkmıştır. Savunma sanayiinde yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin bütçeleri birçok ülkenin bütçesinden fazladır. Bu kadar büyük bütçelerin söz konusu olduğu bir sahada gelişme elbette kaçınılmazdır. Toz metalürjisi (T\M) yöntemi de bu gelişmenin beraberinde ortaya çıkan üretim yöntemlerindedir [1].

Toz metalürjisi (T\M) yöntemi ile üretilen makine parçalarının kullanımı endüstride gittikçe artmaktadır. Toz metalürjisi (T\M) çeşitli üretim yöntemlerinde kullanılan, farklı boyut şekil paketleme özelliğine sahip metal ve alaşım tozlarını dayanıklı, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştüren modern bir üretim yöntemidir. Üretilen parçaların türleri göz önünde bulundurulduğunda büyük çoğunluğu otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu parçalar düşük karbonlu demir alaşımli tozlardan yapıldıkları için genellikle ısıl işleme gereksinim duymamaktadır [2].

Toz metalürjisi(T\M), diğer bilinen ve geleneksel üretim teknolojileri ile karşılaştırıldığında, talaşlı işlem ihtiyacının gerekmemesi ya da az gerekli olması, karmaşık geometriye sahip parçaların seri olarak üretilmesi, çok geniş kompozisyon aralığına sahip parçaların üretilmesi, arzu edilen mekanik özelliklere sahip parçaların rahatlıkla imal edilebilmesi, malzeme kayıplarının çok az olması gibi nedenlerden dolayı endüstride yaygın kullanım alanı vardır [3-6]. Ayrıca bu üretim yöntemi, yatırım maliyetlerinin düşük olması, kullanılan donanımlarda esneklik, yüksek verimlilik, farklı özelliklere sahip malzemelerin kolaylıkla üretilmesi gibi birçok avantajı vardır [5].

Toz metalürjisi (T\M) üretim yöntemi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gün geçtikçe gelişme göstermektedir [7]. Enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde halen çalışılan veya planlanan sistemlerdeki teknolojik gelişmeler, güvenlik ve ekonomik zorunluluklar ile kısmen de olsa çevresel kaygılarla, halen elde edilebilen malzemelerin sınırlarının ötesinde özelliklere sahip yeni malzemelere olan gereksinimi toz metalürjisi (T\M) yönteminin önemini arttırmaktadır [8].

Bu alışmada, Cu(Bakır), C(Karbon), yağlayıcı (inkostearat) oranları sabit tutularak ve tamamlayıcı olan Fe(Demir) ile, her biri üç farklı orana sahip Ni(Nikel), Mo(Molibden) ve B(Bor) belirli oranlarda karıştırılmış, farklı sinterleme sıcaklık ve sürelerinde çalışma yapılmıştır. Proses şartlarının ve ilave elementlerin, numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin üzerine etkileri incelenmiş ve tartışılmıştır. Bunun sonucunda; belirlenen kimyasal kompozisyon ve üretim şartları ile dişli üretiminde kullanılabilir ve sertleştirme şlemine gerek kalmadan üretim yapmak amaçlanmaktadır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Jun'an Wang ve arkadaşları Fe-% 3.5 Mo-% 1.0 C bileşimindeki PM çelikleri presleme ve sinterleme ile hazırlanmış ve çeliklerin aşınma davranışı incelenmiştir. Parçalar 500°C sıcaklıkta temperlenmiştir. 10N ve 30N'luk yükler altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları araştırmalarda numunelerin SEM yüzeyi analizi, metalurjik analizi ile birlikte aşınma testi sonucunda, bu çeliklerin aşınma davranışlarının, PM işleme parametrelerine ve ısı işlem parametrelerine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Astaloy A, Astaloy CrM, Astaloy CrL, Astaloy Mo, Astaloy 85Mo, MSP3.5Mo gibi daha birçok ön alaşımlı tozlar kullanılmakta olup, çelik toz malzemesinin seçiminde toz özelliklerinin bilinmesi ve üretilecek nihai parçanın mekanik özelliklerinin sağlanmasının son derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır [10].

TM yöntemi ile dişli üretiminde en önemli parametreler yüzey yoğunluğu olup, buna bağlı olarak sertlik ile yoğunluk doğru orantılı olarak değişmektedir Astaloy 85Mo ön alaşımlı tozu kullanarak düz ve helisel dişli üretimi yüzey yoğunluğunu artırmak için dişli haddeleme (gear rolling) işlemi, devamında yüzey C potansiyeli %0,8 olacak şekilde karbürleme işlemi uygulamışlar. Yüzeyden 0,5 mm mesafeye kadar yoğunlaşma olduğu tespit edilmiştir. Kabürleme sonrası yüzey sertliği 850 HV_{0,1} olarak ölçülmüş. Diş kökü yorulma dayanım sınırı 33kN olarak ölçülmüş ve dişliden istenilen mekanik özellikler elde edilmiştir [11].

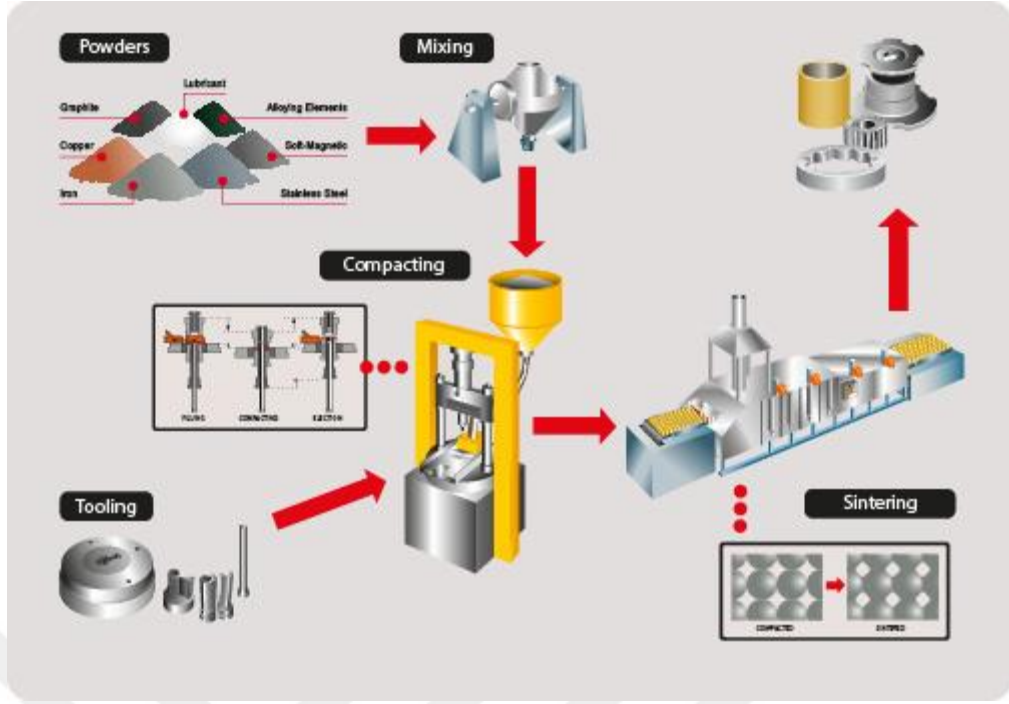
Ön alaşımlı tozlara eklenmiş diğer elementlerin etkileri yani kompozisyonun etkisi. Cu, Mn, Ni gibi çelik toza eklenecek diğer malzemelerin, istenilen mekanik özelliklere olumlu yada olumsuz etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada Astaloy CrL ve Astaloy CrM ön alaşımlandırılmış tozlara farklı oranlarda Mn ve C tozları karıştırarak, sinterleme ve ısıl işlem uygulanmış malzemelerin mekanik ve mikro yapılarını kıyaslamışlardır. Sonuçlar % 0.3 C' lu örneklerin, sinterleme sıcaklığı ve atmosferinden bağımsız olarak 0.6%C ve 0.8%C 'lu örneklerden daha büyük kırılma mukavemeti ve darbe dayanımına sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar yüksek sinterleme sıcaklığında% 0.3, 0.6 ve 0.8 karbon ağırlığını içeren tüm toz karışımları için gelişmiş mekanik özellikler olduğunu göstermiştir. Böylece % 3 Mn + Astaloy CrM +0.3% C içerikte, çelik N₂ gaz atmosferinde sinterlenmiş mükemmel

mukavemet ve % uzama kombinasyonu elde edilmiştir [12].

Astaloy CrM (Fe-3 wt.% Cr-0.5 wt.% Mo) and AstaloyCrL (Fe-1.5 wt.% Cr-0.2 wt.% Mo) ön alaşımlı çelik tozlarının içine farklı oranlarda Si (ferrosilis) ekleyerek iki farklı sıcaklıkta (1120°C ve 1250°C) sinterleme işlemine tabi tutarak malzeme üretmişlerdir. Fe-Si ötektik (1200°C) sıvı fazından dolayı, yoğunluk artmış, yayılım (difüzyon) hızlanmış ancak malzemede ciddi oranda çekme oluşumu tespit edilmiştir [13].

Sinterleme sonrası ikincil işlemlerin (dişli yüzeyinin yoğunlaştırılması, klasik ısıl işlem, ısıl işlem ortamı, sinter sertleşmesi gibi) etkisi. Diş yüzeyinin özellikle dişli kanat ve kök kısımlarının yoğunlaştırılması işlemi üzerine aşırı sayıda çalışmalar mevcut olup, bu işlemin yüzey yorulma direncini artırmakta olduğu belirlenmiştir. Malzemenin saflığı ve üretim ve ısıl işlem sürecinde segregasyonsuz bir yapının olması istenmektedir. Sinter sertleşme işleminin sinterleme sürecine katılmasıyla üretim basamağının azalması sonucu daha ekonomik ve ısıl işlemin kontrollü olarak yapılması mekanik özelliklerin iyileştiği sonucuna varılmıştır [14].

Ön karıştırmalı Fe-0.85Mo-(1,2,3)Mn-0.3C ve aynı kompozisyona sahip ön alaşımlı (Astaloy 85Mo) çelikler 1180°C’de sinterlenerek malzeme üretmişler ve Mn etkisini ve mekanik özelliklerini kıyaslamışlardır. Mn miktarı arttıkça, darbe enerjisi değişmediği, mukavemetin arttığı, uzama miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerdeki artışın ön alaşımlı (Astaloy 85 Mo) malzemelerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Temelde mikro yapıya bağlı olarak, sinterleme sonrası malzeme yoğunluğu en önemli parametre olduğu buna bağlı olarak sertlik, mukavemet, yüzey yorulma dayancı ve dişin eğme mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir [15]. Toz metalürjisi ile üretime ait akış şeması şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Toz metalurjisi üretim akış şeması [16].

3. TOZ METALURJİSİ

3.1 Toz Hazırlama Ve Üretim Teknikleri

3.1.1 Metal tozlarının üretimi

Belirli bir uygulama için amaca uygun özellikleri taşıyan ürünün elde edilmesi, her şeyden önce uygun özelliklere sahip tozların üretilmesiyle mümkündür. Belirli özelliklere sahip toz malzeme ile bu tozun şekillendirilmesinde kullanılacak yöntem arasında bir bağlantı vardır. Bu nedenle, uygulama için parçadan beklenen özellikler, bu özellikleri sağlayacak toz üretim tekniği ve söz konusu tozun şekillendirilmesinde kullanılacak tekniğin seçimi birlikte değerlendirilmelidir. Metal ve alaşım tozlarının üretiminde aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır [17].

3.1.1.1 Mekanik yöntemle toz üretimi

Metal tozlarının mekaniksel yöntemlerle ekonomik olarak üretimi aşağıdaki durumlar için olabilmektedir. Bunlar; Sb, Bi gibi kırılıp toz haline getirilmeleri kolay olan gevrek metaller, gevrek alaşımlar ve seramikler, oksijensiz ortamda hazırlanmaları gereken berilyum ve metal hidrürler gibi reaktif malzemeler, demir ve alüminyum gibi pul şeklinde istenilen metallerdir. Bu tür metaller sünek kırılma gösterdiklerinden kırma, öğütme gibi işlemler sırasında pul şeklini almaktadırlar. Mekaniksel toz hazırlama teknikleri aşağıdaki şekildedir [17].

- a) Talaş kaldırma; torna talaşı eğe talaşı v.b işlemlerle elde edilir ve daha sonra kırma öğütme eleme işlemleri vardır.
- b) Kırma; gevrek (kırılgan) davranış gösteren malzemelere uygulanır. Oksit ve diğer bazı bileşikler kırılıp öğütüldükten sonra redüksiyonla metal tozuna dönüştürürler. Bazı metaller kükürt veya benzeri bir katkı elemanı ile gevrekleştirilebilirler. Kırma işlemiyle elde edilen tozlara daha sonra öğütme işlemi yapılarak parça tane boyutu küçültülür.
- c) Öğütme; toz haline getirilecek malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır. Bu amaçla bilyeli öğütücüler, pervaneli öğütücüler ve titreşimli öğütücüler kullanılmaktadır [17]

3.1.1.2 Kimyasal yöntemlerle toz üretimi

Genelde tüm metal tozlarını kimyasal tekniklerle üretilmesi mümkün olmaktadır. Kimyasal yöntemlerle sentezlemede, katı, sıvı veya buhar tepkimeleri ile tozların üretimi yapılabilmektedir. Bu sentezleme yöntemlerini:

- a) Gaz altında katının ayrışması
- b) Termal ayrışma
- c) Sıvıdan çöktürme
- d) Gazdan çöktürme olmak üzere dörde ayrılmaktadır [18].

3.1.1.3 Elektrolitik yöntemle toz üretimi

Bu yöntemde tozu elde edilecek malzeme anot olarak, elektrolitik banyo içerisine koyulmaktadır. Gerilim uygulandığında anot elektrolitik banyo içerisinde çözünür ve katot üzerinde toplanmaya başlar. Daha sonra katot alınır ve temizlenir. Katot üzerindeki tozlar sıyrılarak alınır. Öğütülerek ince toz haline getirilir. Tozlar indirgeyici bir atmosfer altında tavlansak oksitten arındırılır ve bu işlem sayesinde tanelerin daha iyi sıkıştırılabilmesi sağlanmış olur [19].

Tozun spesifik özellikleri, elektrolit kompozisyonunu, elektrolit sıcaklığı, elektrolit sirkülasyon hızı, akım yoğunluğu, anot ve katottun boyutu ve şekli, elektrot aralığı ve tozun uzaklaştırma hızı gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir [20].

3.1.1.4 Atomizasyon yöntemiyle toz üretimi

Bu yöntem ergitilebilen tüm metallere toz üretmede kullanılan bir yöntemdir. Üretim tekniği; sıvı bir metalin pota dibindeki bir delikten akması sırasında ergiyik metalin üzerine basınçlı sıvı veya gaz gönderilmesi ile sıvı metalin çok ince parçalara ayrıştırılarak katılaşması sağlayacak şekilde olmaktadır [21].

Dünyada üretilen tozların % 80' inden fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir. Diğer üretim tekniklerine göre bu yöntemde; tane şekli, tane büyüklüğü ve dağılımın kontrolü diğer yöntemlere göre çok kolaydır. Özellikle alaşım tozlarının üretimi için, yöntem çok uygundur. En iyi homojenlik ancak bu yöntemle sağlanabilmektedir. Atomizasyon ile üretilen tozların inceliği ergiyik metal üzerine gönderilen dağıtıcı hüzmelerin basıncından kaynaklanmaktadır. Basınç arttıkça sıvı metal daha fazla püskürtüleceğinden zerrelere ayrılma daha çok olacaktır. Püskürtülen zerrecikler hızlı soğuma oluşmaktadır. Aksi halde birbirine yapışma olabileceğinden istenen incelikte toz eldesi zorlaşmaktadır. Bu yöntemle

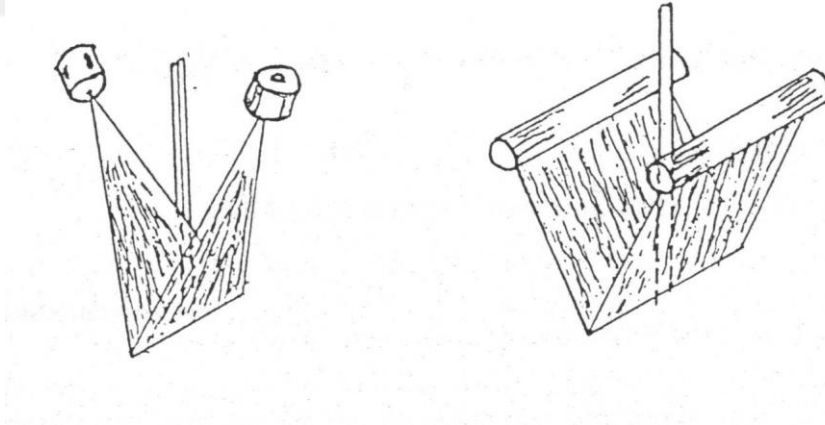
elde edilen tozların tane şekli; soğuma zamanı, sıvı metal sıcaklığı ve atomizasyon türü ile ilgilidir. Uzun soğutma zamanı, yüksek sıvı sıcaklığı ve atomizasyon türünün gaz olması sonucu küresel taneler elde edilirken; su atomizasyonu çabuk soğutma sağlayacağından karmaşık şekilli taneler oluşmasına neden olmaktadır. Atomizasyon yöntemi ile toz üretmede değişik teknikler kullanılır.

Bunlar;

- 1- Su atomizasyonu,
- 2- Gaz atomizasyonu,
- 3- Döner disk atomizasyonu,
- 4- Döner elektrot atomizasyonu [21]

3.1.1.4.1 Su atomizasyonu

Atomizasyonla üretilen tozların % 80' i ergiyik sıvı metali basınçlı su ile parçalara ayırma yöntemi ile elde edilir. Şekil 3.1' de su ile atomizasyonda yaygın şekilde kullanılan iki jet sisteminin şeması görülmektedir. Bu iki sisteme yassı hüzmeli V jetleri denir. Biri iki tarafında iki ağızlıktan, dar açı ile ayrılan yassı hüzmeli jetlerdir [21].



Şekil 3.1 Yassı hüzmeli V jetleri [21]

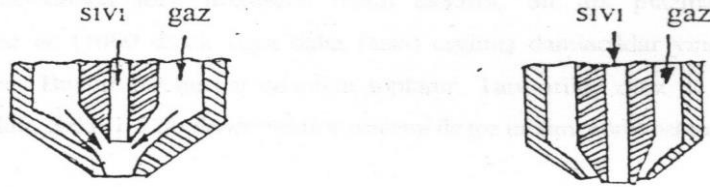
Su atomizasyonunda kimyasal çökeltme problemi bulunmamaktadır. Ancak, toz yüzeyinde oluşan oksitlenme bu metodun önemli problemi olarak görünmektedir.

3.1.1.4.2 Gaz atomizasyonu

Su atomizasyonundan sonra en fazla gaz atomizasyonu ile toz üretimi yapılmaktadır. Gaz atomizasyonu sıvı metal hüzmesine yüksek basınçlı gaz püskürtülerek hüzmelerin

dağılımı ile sıvı metal damlacıkları elde edilmesi ile oluşmaktadır. Bu işlem için genelde azot gazı kullanılmaktadır.

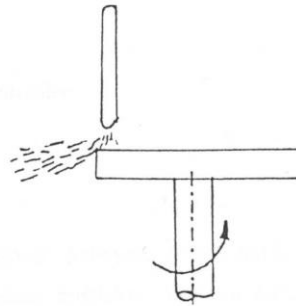
Gaz ve su atomizasyonu içte ve dışta karışma olmak üzere iki şekilde gaz veya su ile sıvı metalin birbirine temas etmesi ile olmaktadır. Dışta karışma tekniğinde sıvı metal ile atomizasyon akışkanının teması ağızların dışında olur. İçte karışmalı tür ise, oda sıcaklığında henüz sıvı kalabilen malzemelerin atomizasyonunda kullanılmaktadır. Sıvı malzeme ile atomizasyon akışkanının teması şekil 3.2 'de görüldüğü gibi ağızların iç kısmında meydana gelmektedir. Gaz atomizasyonu tozlarda düşük oksijen miktarında ve küresel şekilli tozlar istendiğinde tercih edilmektedir [21].



Şekil 3.2 İçte ve dışta karışma [21].

3.1.1.4.3 Döner disk atomizasyonu

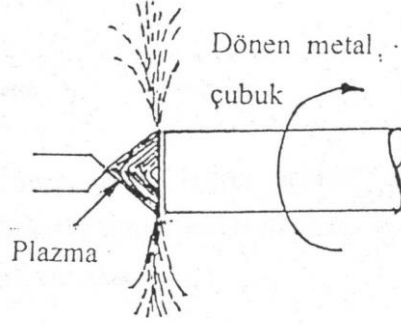
Bu yöntemde, sıvı metal bir potadan dönmekte olan bir disk üzerine akmaktadır. Diskin dönme hareketinden dolayı metal hüzme merkezkaç etkisiyle saçılarak bir potada toplanır. Döner disk atomizasyonunda düz disk, çanak disk ve kanat disk gibi değişik diskler kullanılmaktadır. Bu metotta ortaya çıkan sorun sıvı metalle disk arasındaki sürtünmenin kontrol edilmesinin güç oluşudur. Şekil 3.3'de döner disk modeli belirtilmektedir [21].



Şekil 3.3 Döner disk atomizasyonu modeli [21].

3.1.1.4.4 Döner elektrot atomizasyonu

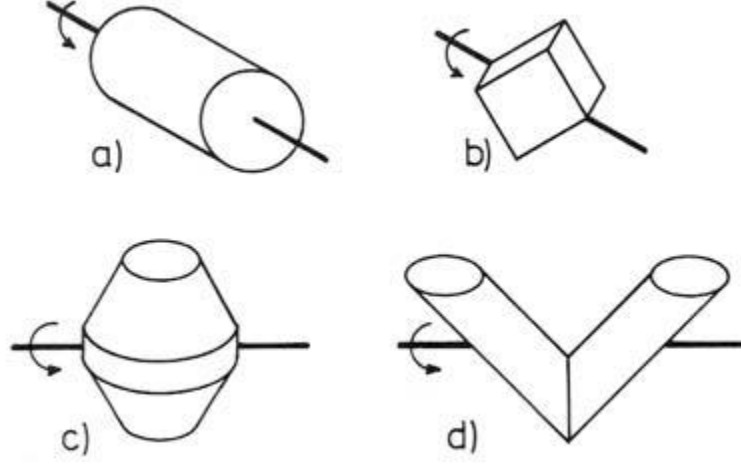
Döner elektrot metodunda tozu üretilecek metal elektrot, bir ark plazma ile ısıtılır, çubuğun hızlı döndürülmesi ile (1000 d/dak veya daha fazla) ergimiş damlacıklar yine merkezkaç kuvvet etkisi ile savrulurlar. Bunlar bir özel odacıkta toplanır. Bu yöntemle tane iriliği 30 ile 500 mikron arasında olan tozların elde edilmesi mümkündür. Şekil 3.4'de döner elektrot yöntemi ile toz üretimi görülmektedir.



Şekil 3.4 Döner elektrot yöntemi [21].

3.1.2 Metal tozlarının karıştırılması ve yağlayıcı ilavesi

T/M teknolojisinin toz imalatından sonraki önemli bir aşaması, homojen bir şekilde tozları karıştırılmasıdır. Metalik tozlar, yağlayıcılar ve isteğe bağlı alaşım elementleriyle homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Karışım, imalatı yapılacak parçanın ağırlığına göre, % olarak karışım elementlerinin ağırlığı belirlenerek yapılmaktadır. Karışım içerisine, genellikle % 0,5–1,5 arası yağlayıcı ilave edilerek tozlar karıştırılmaktadır. Yağlayıcı olarak çinko stearat, stearik asit, metalik stearatlar ve parafin en çok tercih edilenlerdir. Yağlayıcının temel amacı, toz taneleriyle takım yüzeyleri ve kalıp duvarları arasındaki sürtünmeyi azaltarak, tozların sıkıştırma sırasında kolay şekil almalarını sağlamaktır [22].



Şekil 3.5 Karıştırıcı geometrileri a) silindirik, b) döner küp, c) çift taraflı konik, d) V tipi [23].

Karıştırma işleminde karıştırıcı doluluk oranının, minimum % 30–40 olması verimlilik açısından önemlidir. Karıştırma işleminin 20–30 d/d hızda, 20–30 dakika süreyle yapılması tavsiye edilmektedir. Optimum karıştırma işlemi, ham yoğunluğa ve sinterleme sonrası yoğunluğa etkisi vardır.

Uygun karıştırma yapılmazsa, partiküller arasında mekanik kilitleme meydana gelerek sinterleme sonrası daha büyük gözenekli yapı meydana gelmekte ve bu mekanik özellikleri olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Yüksek hızda karıştırma, homojenliği ortadan kaldırır ve toz tanelerinde plastik deformasyon sebeptir [23].

3.2 Presleme

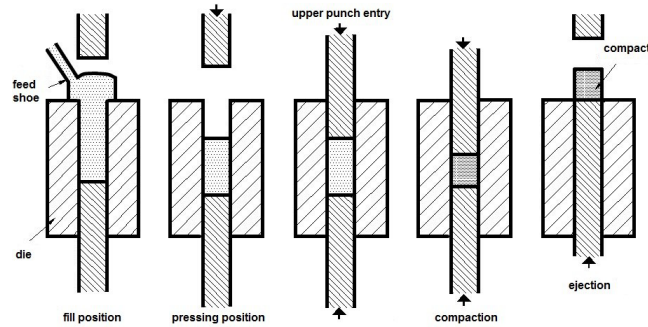
Günümüzde TM teknolojisiyle metal tozlarını belirli basınçlar altında sıkıştırıp daha sonra da bu sıkıştırılmış kütleleri belirli sıcaklıklarda sinterlemek suretiyle imalatı çok güç olan makine parçaları dahi elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Oda sıcaklığındaki metal tozu rijit kalıp boşluğuna doldurularak iki veya daha fazla aksenal hareketli alt ve üst zimba vasıtasıyla istenen karmaşıklıkta şekle oldukça homojen yoğunluk dağılımına sahip olacak şekilde parçalar sıkıştırılmaktadır. Tozun plastik özelliklerine göre 1-10 ton/ cm² arasında değişen basınç uygulanmaktadır. Sinterlenmiş cisimlerin fiziksel özellikleri üzerinde yapılan araştırmalarda ise bazen 30 ton/ cm²'ye kadar ulaşan basınçların kullanıldığı görülmektedir.

Presleme tekniğinin seçiminde göz önünde tutulması gereken faktörler fiziksel ve kimyasal özellikleri, parça şekli ve büyüklüğü, sonuç üründen beklenen özellikler oluşturmaktadır. Tozlara şekil vermede endüstriyel olarak uygulanan değişik teknikler mevcuttur. Bunlar;

- Rijit kalıpta presleme
- Ilık presleme
- İzostatik presleme yöntemleridir [24].

3.2.1 Rijit kalıpta presleme (Soğuk Presleme)

Preslemede kullanılacak değişik tür ve kapasitelerde presler vardır. Toz özelliği preslenmiş parçadan beklenen özellikler, parça geometrisi kriterlerine bağlı olarak kapasitesi, hızı, zımba çarpma uzunluğu ve hareket sayısı değişebilen presler seçilebilmektedir. En çok tercih edilen mekanik ve hidrolik preslerdir. Hidrolik preslerin üretim hızları eşdeğer kapasiteli mekanik preslerin yarısı kadardır. Presleme 1000 tona kadar çıkabilmektedir. Avantajları, basıncın hassas olarak kontrol edilmesi olduğundan büyük ve uzunluğu fazla olan parçaların preslenmesinde kullanılmaktadırlar. Mekanik ve hidrolik presler de basınç tek veya iki taraftan yapılabilmektedir. Şekil.3.6’da görüldüğü gibi tek ve dik yönde uygulanan basınç kalıp kenarlarına paralel basınçları ortaya çıkarmaktadır [24].



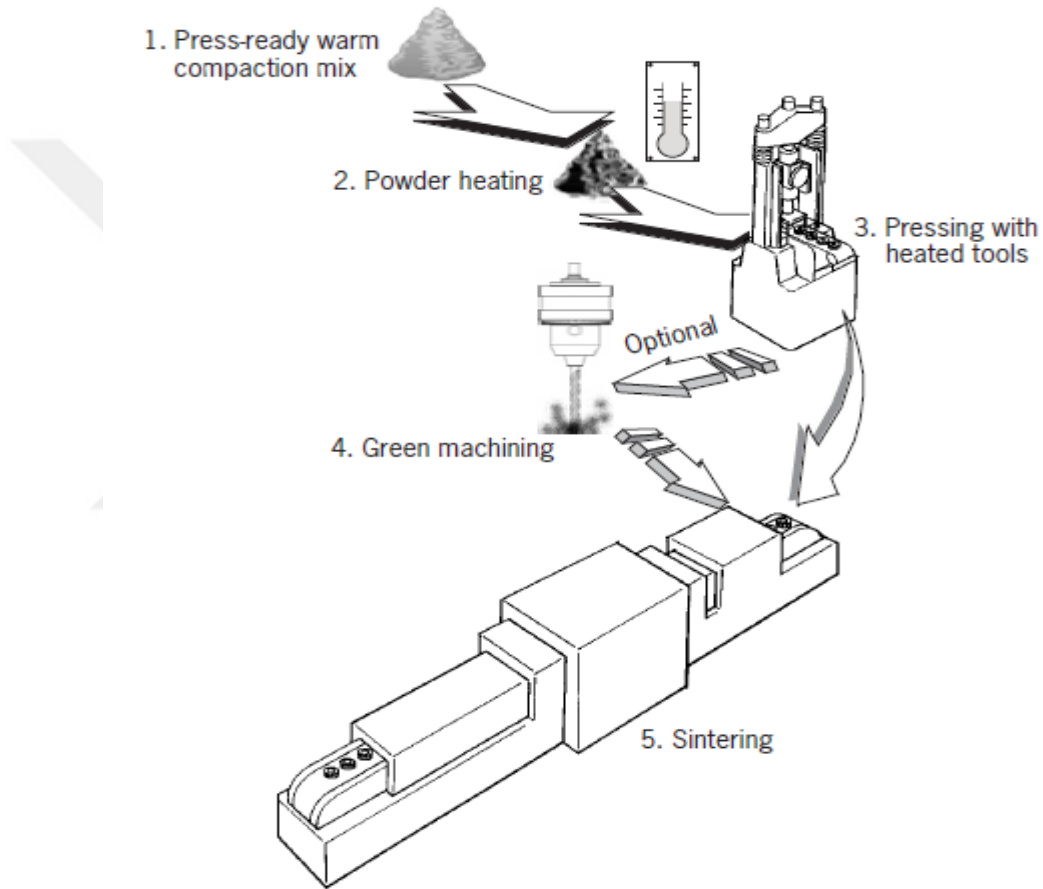
Şekil 3.6 Rijit kalıpta preslemenin şematik gösterimi [25]

3.2.2 Ilık presleme

Ilık presleme tekniği ön ısıtılmış tozlardan ve kalıplardan oluşmak, bunu da presleme ve sinterleme prosesi ile sıkıştırılmış numunenin ve sinterlenmiş numunenin yoğunluğunu arttırmaktadır. Ilık kompaktlama yöntemi ile sinterlenmiş numunelerin yoğunlukları 690 MPa sinterleme basıncını aşmadan $7,25 \text{ g/cm}^3$ ile $7,45 \text{ g/cm}^3$

arasında elde edilmektedir. Her zaman yüksek yoğunluklar yüksek sinterleme basıncı ile yüksek sinterleme sıcaklıklarının kombinasyonu ile oluşturulabilmektedir [26].

Sıcak kompaktlama yöntemi sıkıştırma sıcaklığının ılımlı bir seviyede tutulması ile birlikte çelik parçaların akma dayanımını düşürdüğünü ve sünekliğin arttırdığını ve verilen basınç ile yoğunluğun artmasına neden olması avantajlarındandır. Tipik olarak ılık presleme 100-150° sıcaklık aralığında gerçekleştirilmektedir. Bazı uygulamalarda kompaktlama 300° sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir [27].



Şekil 3.7 Ilık presleme şematik gösterimi [28]

3.2.3 İzostatik presleme

Yetersiz yoğunlaştırma zorluğunun diğer bir çözümü ise hem katı faz hem de sıvı faz sinterleme esnasında malzemeye bir dış basınç uygulaması yapılmaktadır. Basınç yardımlı sinterleme sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme örnekleri ile iyi bilinen basınçlı sinterleme yöntemidir. Uygulanan basıncın etkisi tane büyümesi hızını etkilemeden yoğunlaşma için itici güçlerin artırılması ile oluşmaktadır. Fakat basınç yardımlı sinterlemenin dezavantajı üretim maliyetlerindeki artıştan

kaynaklanmaktadır. Basınçlı sinterleme yöntemleri genel olarak basınçsız sinterleme yöntemlerine göre daha iyi sonuç verir ve yeni malzemelerin araştırılmaları ve geliştirilmeleri için kullanılan bir yöntemdir [29].

3.2.3.1 Soğuk izostatik presleme

Sıcak izostatik presleme, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek basınçlarda aynı zamanda ve eşit olarak taneciklerin kuvvetli difüzyon bağları oluşturarak yoğunlaşması ile birlikte şekillendirilmesi yöntemidir. Başka bir ifade ile yoğunlaşma ve sinterleme birlikte gerçekleşir. Basınç ortamı olarak en çok kullanılan yüksek yoğunluk argon gazıdır. Fakat yüksek sıcaklıklarda helyum ve azot gazı kullanılmaktadır. Basınç oranları ise 20 ila 300 MPa arasında değişmektedir. Özel durumlarında basınç 1000 MPa 'a kadar yükselmektedir [30].

3.2.3.2 Sıcak izostatik presleme

Seramik ürünlerdeki yoğunluğu arttırmak için genellikle sıcak presleme tercih edilmektedir. Bu yöntemde basınç gaz vasıtasıyla üç eksen den eş aksel olarak uygulanarak tozların içerisinde bulunduğu kap, içten ısıtmalı bir hazne ile ısıtılarak sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Soğuk izostatik preslemeden farkı, basınç kamarasının bir fırın sistemi ile ısıtılmasıdır. Basınç argon veya helyum gazı ile sağlanır. Soğuk izostatik preslemede kullanılan plastik veya torbalar yerine metalik veya cam kalıplar kullanılmaktadır. Sıcak izostatik presleme koşulunda cam, viskoz akma göstererek toz ile birlikte homojen olarak deforme olur. Kalıp malzemesi seçiminde en önemli parametre etkin sinterleme sıcaklığında kalıbın basıncı iletilecek deformasyonu gösterebilmesidir. Camlar, çelik, paslanmaz çelik, titanyum, tantalyum en çok kullanılan kalıp malzemeleridir. Sıcak izostatik presleme ilk defa refrakter metal tozlarının, seramiklerin ve sermetlerin (seramik-metal kompoziti) kompaktlanmasın da kullanılmıştır. Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 gibi seramik malzemelerin; WC-Co, TiC-Fe, Al_2O_3 - ZrO_2 gibi kesici takım uçlarının; nikel ve titanyum alaşımları gibi havacılık malzemelerinin, alaşım çeliklerinin, kompozitlerin ve elektronik seramiklerin üretiminde bu yöntem kullanılmaktadır [31-34].

3.3 Sinterleme

Sinterleme, preslenmiş yaşı biriketlere mukavemet kazandırmak amacıyla kontrollü bir atmosferde ve yüksek sıcaklıklarda uygulanan pişirme işlemidir. Parçaların kalıp içerisinde sıkıştırılarak şekillendirilmesi sonucunda parçada meydana gelen mekanik

bağlar, sinterleme işlemi sayesinde metalik bağlara dönüşerek bu sayede parçaya mukavemet kazandırılmış olmaktadır. Sinterleme öncesi ve sonrasındaki mukavemetler arasında yüz kat kadar bir fark vardır [35].

Sinterleme işlemi, tek bileşenli sistemlerde metalin mutlak ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yapılırken; birden fazla bileşenli sistemlerde genellikle ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılmaktadır. Sinterleme sıcaklığı kompaktı oluşturan ana malzemenin ergime sıcaklığının %70-80'i arasında olurken; bazı refrakter malzemeler için ergime sıcaklığının %90'ına kadar çıkmaktadır [35].

Fe esaslı malzemeler için sinterleme sıcaklığı 1100–1200°C arasındadır. Sinterleme sıcaklığı ile sinterleme süresi arasında önemli bir ilişki olup süre kısaltılmak isteniyorsa sinterleme sıcaklığının artırılması gerekmektedir. Sinterleme sıcaklığının 1150° C 'yi aşması sinterleme maliyetini yükseltmektedir. Sinterleme sıcaklığının artması ile malzemenin elektrik iletkenliği, mukavemet, yoğunluk ve süneklik gibi özelliklerinde artış görülmektedir [35].

3.3.1 Sinterleme atmosferleri

Sinterleme atmosferleri dikkatli seçilmelidir. T/M ürünlerde bulunan boşluklar nedeni ile teorik yoğunluğa sahip aynı malzemelere karşılık, bu ürünlerin çok daha büyük bir alanı fırın atmosferine maruz kalmaktadır. Sinterleme sıcaklığı da ısı işlem sıcaklığından daha yüksek olarak düşünülebilir. Dolayısıyla, malzeme ile içinde bulunduğu atmosfer arasında kimyasal reaksiyonlar oluşabilir. Ticari uygulamalarda sinterlemede kullanılan atmosferler; endotermik gaz, ekzotermik gaz, kırılmış amonyak gazı, hidrojen ve vakumdur. En çok kullanılan sinterleme atmosferi endotermik gazdır. Endotermik gaz doğal gazın yanmasıyla elde edilir [36].

Fırın atmosferi; azot, su buharı, karbon monoksit, hidrojen, karbon dioksit ve metan karışımından oluşmaktadır. Fırın atmosferine hava ilavesi ile yanmanın özellikleri kontrol edilir. Bu hava-gaz oranı çıkan yanmış gazların özelliklerini belirlemektedir. Endotermik gaz ortamında hava/gaz oranı yaklaşık 2,4 iken ekzotermik gaz ortamında yaklaşık 9 ve üzerindedir. Ekzotermik gaz ortamı tam yanma ile sağlanmaktadır [36].

Sinterleme atmosferi gereksinimleri: Sinterlemede kullanılan atmosferler, aşağıdaki fonksiyonları sağlamalıdır,

- Havanın fırın içine girmesini engellemelidir.
- Çiğlenmeyi önleyebilmelidir.
- T/M ürün üzerinde oluşabilecek oksitlenmeyi azaltmalıdır.
- Çelik parçalardaki karbon miktarını koruyabilmelidir.
- Özel uygulamalarda karbonu çıkarabilmelidir.
- Özel uygulamalarda soğutma esnasında oksidasyonu kontrol edebilmelidir.
- Isıl verimi üniform olarak taşıyabilmelidir [37].

3.3.2 Sinterleme sonrası ikincil işlemler

Çoğu uygulamalarda, sıkıştırma ve sinterleme ile üretilen bir T/M parça her türlü performans ihtiyaçlarını etkisi vardır. Fakat bazen de sıkıştırma ve sinterleme kapasitesinin ötesinde, mekanik özellikler, yüzey bitirme ve/veya boyut toleransı gibi fonksiyonel ihtiyaçlar bir veya daha fazla ikincil işlemlere gerek duyulmasına neden olmaktadır. Bu işlemler genellikle sinterlemeden sonra gerçekleştiği için “sinterleme sonrası” işlemlerde denilmektedir. İkincil işlemler parça maliyetini artırmakla birlikte, fonksiyonel olarak bir katma değer kazandırması bakımından çoğu durumda zorunlu hale gelmektedir [38].

3.3.3 Demir tozlarına alaşım elementlerinin etkisi

Demir tozlarına, mukavemeti arttırmak ve daha iyi mekanik özellikler elde etmek için çeşitli alaşım elementleri ilave edilir. Bu elementlerden bazılarının etkileri aşağıda sıralanmaktadır [39].

Toz metalürjisinin de demir-karbon sistemi iki farklı amaç için kullanılmaktadır. Birincisi parçanın karbürleşmiş durumda yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip olmasını ve parçanın iç kısımlarının yumuşak kalmasına neden olmaktadır. Karbürizasyon ve sertleştirme, sinterleme işleminden sonra ilave ısıl işlemlerle gerçekleştirilir. İkinci amaç ise elastik özelliğin aranmadığı durumlarda daha ekonomik olarak yüksek çekme mukavemetine sahip parçalar üretilmesidir. Bu, parçanın her yerinde (yani homojen bir şekilde) demiri karbonla alaşımlandırılarak ortaya çıkar. Bu tip malzeme üretiminin en yaygın yöntemi demir tozuyla grafiti karıştırmaktır [35].

Bakır tozu, demir tozuna temelde sinterlenmiş peletin mukavemetini arttırmak için ilave edilmektedir. Demir-bakır peletlerin sinterlenmesi sırasında bakır yüzdesine bağlı olarak boyutsal değişimler meydana gelir. Saf demir parçalar genellikle sinterleme esnasında boyutları küçülür. Artan miktarlarda bakır tozu ilave edilerek ve bakırın ergime sıcaklığının (1083°C) üzerinde sinterleme yapılarak bu büzülme tersine çevrilir ve sonuç olarak boyutlarda büyüme meydana gelir. Genleşme %8–10 bakır ilavesine kadar, artan bakır miktarına paralel olarak artar. Bu, bakırın demir içinde çözünebilme sınırına bağlı olup bu değerden sonra düşüş göstermektedir. Az miktarda bakır ilavesi ise (%1–2) saf demir peletlerin sinterleme esnasındaki büzölmelerini telafi etmek için kullanılabilir [40].

Demir tozlarına hem bakır hem de karbonun birlikte ilave edilmesiyle, bunların tek başına ilave edilmesinden çok daha iyi mukavemet ve yüksek sertlik değerleri ortaya çıkar. Demir-bakır karışımlarına grafit ilave edilmesi sinterleme sırasında bakırdan kaynaklanan genleşmeleri düşürür. Demir-karbon karışımlarına bakır ilavesi atmosfer kalitesine bağımlılığı azaltmasına neden olmaktadır. Diğer bir deyişle bakır ilavesi, dekarbürleyici atmosferlerde dekarbürizasyonu önlemeye neden olmaktadır [35].

Demir-nikel karışımları yüksek mukavemet ve uzama özellikleri istenen malzemelerin yapımında kullanılır. Demir tozuna eklenen nikel miktarı genellikle %2–5 arasında değişir. Nikel ferritte katı çözeltili sertleşmesi sağlayarak çeliğin mukavemetini arttırmaktadır. Dayanımı artırırken süneklikte önemli bir miktarda azalma olmaz. Nikel, demir içine çok yavaş bir şekilde difüze olur. Bu nedenle demir-nikel karışımlarının sinterlenmesinde de yüksek sinterleme sıcaklığına ve uzun sinterleme süresine ihtiyaç duyulur. Eğer nikel tozunun tane boyutu çok küçükse alaşım oluşturma hızı artırılmış olur. Bu sebeple genellikle 5µm tane büyüklüğüne sahip nikel-karbon tozu kullanılır. Bu toz çok pahalıdır. Fakat küçük ve komple parçaların üretiminde hammadde maliyeti bu toza kıyasla önemsiz sayılabilecek kadar düşükse nikel karbonil kullanımı ekonomik olabilir. Sinterleme sıcaklığı en az 1250-1350 °C civarında olmalıdır ve sinterleme süresi 1–2 saat olmalıdır. Parçalanmış amonyak bu işlem için en uygun sinterleme atmosferini oluşturur. Demir-nikel karışımından yapılmış peletler sinterleme esnasında büzölürler. Sinterleme sıcaklığında veya sinterleme süresinde yapılacak en ufak değişiklikler bile büzölme miktarı üzerinde çok önemli etkiler oluşturabilirler. Bu nedenle fırına

her saat başı beslenen peletlerin ağırlıkları dâhil olmak üzere bütün değişkenler mümkün olduğunca sabit tutulmalıdır. Aksi takdirde, sinterleme esnasında parçaların boyutları değişiklik gösterebilir. Ticari uygulamalarda toz üreticileri, demir tozuna nikeli alaşımlandırarak üretmektedirler. Bu alaşımlı tozların kullanımı normal sıcaklıklarda sinterlemeye olanak sağlamaktadır. Demir-nikel karışımlarının büzülme problemi bakır ilavesiyle dengelenebilmektedir. Ayrıca bu yöntemle çok iyi mekanik özellikler elde edildiği için demir-nikel-bakır karışımları toz metalurjisinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [35].

Fosfor bakırdan kaynaklanan genleşmelere engel olmak amacıyla kullanılır. Eğer fosfor, bakır ya da demir-fosfor olarak ilave edilirse sinterlemede herhangi bir problemle karşılaşılmaz. Sinterlenmiş bir parça içindeki boyutsal değişkenlik en az seviyeye indirilebilir. %2,5 Cu ve %2,5 Cu₃P içeren bir demir tozu karışımının 1150°C’de sinterlenmesi sonucu 100–104 HB arasında değişen sertlik değerleri elde edilmiştir [35].

Çeliklere %0,003–0,004 oranında bor katkısı tane incelmelerini ve su alma kabiliyetinin artmasını sağlamaktadır. Bor, yüksek oranda Mn, Ni, Cr ve Mo’in sağlayabileceği sertleşme birliği özelliğini sağlar.

Molibden kuvvetli karbür ve nitrür yapıcı elementtir. Düşük alaşımlı çeliklerde Ni ile birlikte %0,15–0,30 arasında bulunduğu çeliğin sertleşebilirliğini, çekme dayanımını ve sıcağa dayanımını artırır. Ayrıca aşınma dayanımının da artış sağlamaktadır [39].

3.4 Toz Metalurjisi Uygulama Alanları

Günümüz imalat sektöründe TM’nin uygulama alanları oldukça geniştir. İmalat sanayinde kullanılan TM parçaları büyük ölçüde demir, çelik ve alaşımları, bakır ve alaşımları (prinç, tunç ve nikel, gümüş), alüminyum, paslanmaz çelik, nikel ve kalay esaslı tozlardan elde edilen alaşımlar oluşturmaktadır [41]. Tungsten lamba teli, diş dolguları, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, zırh delici mermiler, elektrik kontakları ve fırçaları, mıknatıslar, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik protezler, iş makinesi parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, şarj edilebilir piller, boyalar, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, mürekkepler, sert lehim bileşikleri ve katalizörler bu uygulamalara örnek gösterilebilir. Bunlara ek

olarak takım çeliklerinin, sermetlerin, sert metallerin, sürünme elemanlarının ve kesici uçların üretimleri de diğer TM uygulamaları olarak gösterilebilir[42].

3.4.1 Otomotiv uygulamaları için toz metal parçalar

Dünya otomotiv sanayi daha rekabetçi ve daha talepkar motor tasarımı, geliştirme ve üretimi, daha iyi performans gösteren otomobil, kamyon ve ağır hizmet araçları yaratma açısından büyük önem taşımaktadır [43].

Toz Metal sektörü aslında tek bir sektör değildir, ancak bir şekilde farklı özelliklere sahip sektörler ile bir birliktelik oluşturur. [44].

Her ne kadar T/M üretiminde gelişmeler olsa da şu anki otomotiv sektöründeki yapısal parça sektörü kısıtlı üretim yöntemlerine bağımlıdır. T/M' deki bu kaçınılmaz gelişmeler özellikle motor, otomotiv sistemleri sektörünün geleceği için önemli bir yol gösterici olacaktır. Otomobil motor ağırlığı bakımından, güç yoğunluğu, yakıt verimliliği, emisyon, güvenilirlik ve dayanıklılık diğer yönleri arasında son 20 yılda önemli gelişmeler kat etmiştir. Toz Metalurjisi; alt yapı gelişmelerinin birçoğunu etkinleştiren, kolaylaştıran, otomobil alt yapılarının bileşenlerinde üretimi önemli ölçüde olumlu yönde arttıran bir yöntem halini almıştır [45].

Otomotiv sanayinde üretilen parçalar, maddeler halinde şu şekilde sırlanabilir; [46]

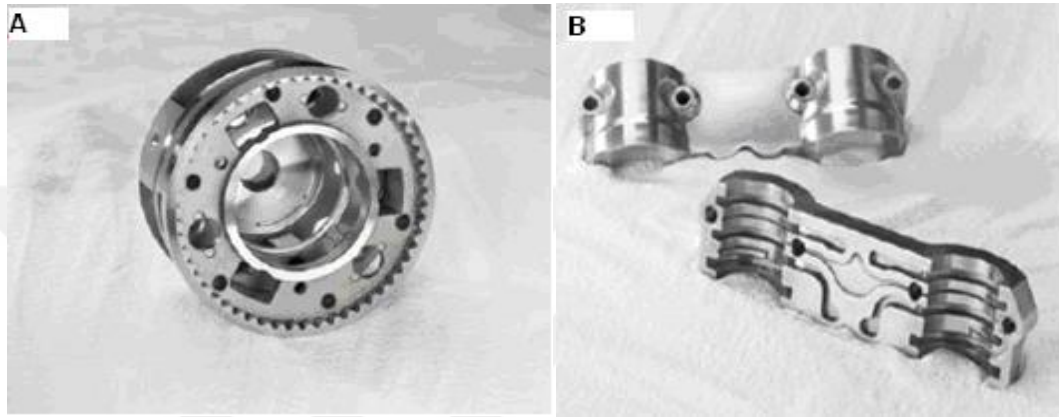
- ✓ Motorlardaki çoklu valf sistemleri, subap kılavuzları, zincir dişliler
- ✓ Otomatik transmisyonlar (merkez dişliler)
- ✓ Direksiyon sistemlerinde kullanılan T/M parçalar
- ✓ Klimalar (T/M kompresör parçaları)
- ✓ Elektronik sistemler (elektrikli ön camlar), ABS (anti bloke sistem) ve hava yastığı gibi güvenlik aygıtları
- ✓ T/M fren balataları

3.4.2 Motor parçaları

T/M teknolojisi genellikle valf oturma ekleri, valf kılavuzları, valf parçaları ve zincir dişlileri yapmak için kullanılır. Bu teknoloji bir dizi karmaşık T/M ürünü olan zincir dişliler, kasnaklar ve değişken zamanlama kam milleri ve kaldırma sistemleri içinde kullanılır. Son zamanlarda toz metal parçaların kullanımı gittikçe artmaktadır. Biyeller, krank milleri ve hareketli parçalar bunlara örnektir. Bu parçaların

değerlendirilmelerinde yorulma analizlerinde çok büyük olumlu veriler elde edilmiştir.

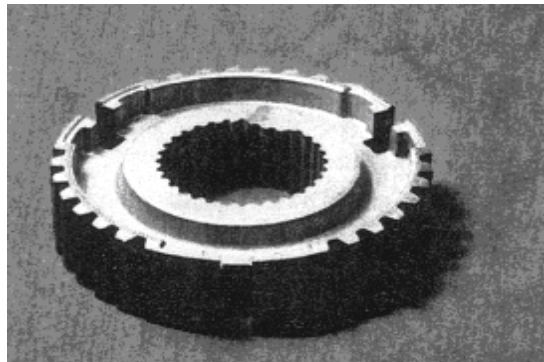
Yeni motor parçaları; yakıt verimliliğini arttırmak için doğrudan enjeksiyonlu benzinli motorlardaki ve son gelişmeler egzoz emisyonlarını azaltma da da T/M parçalara olan talebi arttırmıştır. Silindirlere giriş yapan havanın kontrolü bu motorlar için çok önemlidir. Birçok küçük toz metal parçalar bu amaçla kullanılan önemli parçaların başındadır [46].



Şekil 3.8 T/M otomobil parçaları (a)T/M planet dişli taşıyıcı, (b)T/M kam mili rulman kapağı [47].

3.4.3 Dişli kutusu parçaları

T/M senkronize dişlilerde sürtünme katsayısı, sertlik ve düşük maliyetleri arttırmak için üzerlerine bazen pirinç katman oluşumu gerekli görülmektedir. Sertlik katsayısı ve düşük maliyeti arttırmak için bu şekilde çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllarda birden fazla takım sistemler ve kalıplar gerektiren yüksek mukavemetli ve yoğunluklu karmaşık merkez dişli parçaların üretimi T/M üretim yöntemi ile çok daha kolay ve basit şekilde üretilmektedir [46].



Şekil 3.9 T/M ile üretilmiş dişli [46]

Güç iletimi için çelik kemer içeren CVT (sürekli değişken transmisyon) adındaki yeni şanzıman son zamanlarda çok popülerlik kazanmıştır. Ancak burada çok az sayıda özel T/M parçalar kullanılır. CVT kullanımını aynı T/M yağ pompaları ve T/M otomatik şanzımandaki parçalar gibi çeşitli çalışmalar ile CVT de kullanılan dövme parçalar yerine daha düşük maliyetli T/M parçalar alması hedeflenmektedir [46].

3.4.4 Şasi ve diğer parçalar

T/M üretiminin artması sayesinde ABS (anti bloke sistem) de kullanılan rotor algılayıcı parçasındaki paslanmaz çeliklerin kullanımı azalmaktadır. Paslanmaz çeliklerin temel alındığı yeni bir T/M parça dizayn edilmiştir. Ni kaplama yapılmış demir alaşımları. Bu teknoloji gelişmiş bir sinterleme tekniği içerir ve sinterleme sonrası yağ işlemleri uygulanmaktadır. Dört çekişli otomobiller için diğer T/M parçaları da içeren bir alaşımdan yapılan açılı algılayıcı sensörler üretilmektedir. Bu olay T/M teknolojisinin özgür alaşım tasarımını ve neredeyse net şekle yakın üretim yapabilme gibi avantajları sağladığını göstermektedir [46].

3.4.5 Daha karmaşık parçalar

Gelişmekte olan daha karmaşık parçaların üretimi için metal enjeksiyon kalıplama (MIM) daha yeni söz sahibi olmaya başlamıştır. Otomobil parçaları üretiminde MIM uygulamalarında mühendislik verilerinin, mühendisler tarafından MIM bilincinin eksikliği nedeniyle korkulan bir üretim yöntemi olarak görülmektedir. Bu buluş bir dişli üretmek için kullanılan yeni bir yöntemdir ve bir küçük kesme işlemi bile yapmadan parçaya istenen nihai şekil verilebilmektedir. Karmaşık parçaların geliştirilmesi için yeni teknolojiler sürekli geliştiriliyor olması nedeniyle, mekanik özellikleri standarda oturtulmaktadır. Son zamanlarda, sıcak sıkıştırma teknolojileri de güçlü parçalar geliştirmek için kullanılan diğer bir yöntemdir [46].

3.4.6 Yüksek mukavemetli parçalar

Yeni alaşım tasarımları, yüksek sıcaklık sinterlemesi, sıvı faz sinterleme, 2P2S (çift presleme çift sinterleme) ve sinter dövme yüksek mukavemetli parçaları üretmek için kullanılan farklı yöntemlerdir. MIM teknolojisi ve sıcak sıkıştırma yöntemleri, yüksek mukavemetli parçaların üretimini mümkün kılmaktadır. Bazı yeni teknolojiler sayesinde aşağıdaki maddelerde gelişmeler sağlanmaktadır;

- ✓ Yüzey yağlamaları
- ✓ Sinterleme sonrası ısı işlemler veya dövme
- ✓ Eş zamanlı boyutlandırma ve ısı işlem

Yüksek mukavemetli parçaların yorulma dayanımı, darbe dayanımı, yüksek Young modülü, yüksek uzama burkulma gibi mekanik özelliklerinin yüksek olması beklenmekte ve talep edilmektedir [46].

3.4.7 Daha fonksiyonel parçalar

Yapılabilir toz metal otomobil parçalarının çeşitliliğini arttırmak için fonksiyonel parçalar üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu çeşitliliği artırma fikirleri ile daha önceki teknikler ile yapılamayan T/M gözenekli filtreler, sensörler ve diğer tahrik elemanlarının üretilmesi mümkün olmakta ve direksiyon sistemlerindeki gibi fonksiyonel mekanik parçalar tek olarak birleştirilmiştir [46].

T/M teknolojileri talep edilen bu ihtiyaçları karşılamak için hibrit malzemeler üretebilmektedir. Modüler sistemlerin son zamanlarda önemi artmış ve bu sistemler önemli tedarikçiler oluşmasına olanak sağlamıştır. Modüler sistemler, parçaların bir alanı daha verimli kullanabilmesi için birleştirilmesi esasına dayanır. Bu yüzden parçaların hem mekanik özellikleri hem de işlevsel özellikleri önem kazanmıştır. Bu malzemeler yakın zamanda kesme işlemlerinde kullanılmıştır ve daha ucuz bir maliyete kavuştuğu andan itibaren otomobil endüstrisi için daha çok kullanılması hedeflenmektedir [46].



Şekil 3.10 Transfer kutusu kayar maşonu [48].

3.5 Toz Metalurjisi Yönteminin Avantaj Ve Dezavantajları

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçaların genelde sıvı hal üretim yöntemleriyle üretilmiş parçalardan daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler.

Özellikle partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde bu yöntemin tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- Toz metalurjisi (TM) ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi daha düşük sıcaklıklarda yapılabilir. Bunun sonucunda Matris ve takviye elemanı arasında daha az etkileşim oluşmaktadır. Böylece mekanik özelliklerin azalmasına neden olan istenmeyen ara yüzey reaksiyonları en aza indirgenmiş olmaktadır.
- Takviye elemanının matris içinde homojen dağılımının sağlanabilmesi ancak TM yöntemiyle sağlanmaktadır. Döküm metotlarında tam homojen olmayan parçacık dağılımı elde edildiğinden TM yöntemi tercih nedenidir.
- Döküm tekniği yerine TM yöntemi kullanılarak parçacık veya Whisker takviyeli kompozit üretimi hem daha kolay olmakta hem de daha homojen yoğunluklu kompozit parça üretilmektedir.
- Yüksek takviye hacim oranının elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bundan dolayı da yüksek elastisite modülüne ve düşük termal genleşme katsayısına sahip kompozitler üretilmektedir.

Toz Metalurjisi yönteminin üstünlüklerine rağmen bazı dezavantajları da mevcuttur;

- Büyük parçalar için çok yüksek basınç gerektirmesi maliyeti arttırır. Sıcak presleme sonrası genelde parçaya son şeklini vermek için ekstrüzyon, haddeleme veya dövme gibi ikincil işlem yapmak gereklidir. Bunlara ek olarak, toz kullanımı temizlik gerektirir. Aksi halde yabancı maddeler, artıklar vb., malzeme içine nüfuz ederek mekanik özellikler üzerine olumsuz etki yapabilmektedir [49].

4. MATERYAL VE METHOD

4.1 Materyal

Bu çalışmanın amacı; her biri üç farklı orana sahip Ni(Nikel), Mo(Molibden), B(Bor)'un oranları, sabit tutulan Cu(Bakır), C(Karbon), Yağlayıcı (çinkostearat) ve tamamlayıcı element olan Fe(Demir) tozları ile belirli kompozisyonlarda karıştırılarak farklı sinterleme sıcaklıklarında ve sinterleme sürelerinde mekanik ve mikroyapı özelliklerinin üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

4.2 Dışli malzemelerinin belirlenmesi

Bu çalışma çizelge 4.2'de gösterilen %99 saflıkta nikel, bakır, molibden, bor ve demir tozları ile grafit tozu (karbon) kullanılmıştır. Parça üretiminde değişken sayısını azaltmak için Bakır ve karbon oranı sabit tutulmuştur. Parçaların üretiminde kullanılan tozlardan demir tozu Baymet Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş' den, bakır, nikel ve molibden tozu Alman ABCR firmasından, Amorf Bor tozu Ying Kou Tan yun Chemical Research Institute Co. Ltd firmasından temin edilmiştir. Kullanılan tozların kompozisyonlar içindeki yüzdeleri ve tane boyutları aşağıda çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Parça imalatında kullanılan tozların kompozisyonlar içindeki yüzdeleri ve tozların boyutları

Kullanılan Toz	Kompozisyonlardaki % Değerleri	Toz Boyutları
Nikel(Ni)	% 1,5 - % 3 - % 4,5	<73 µm
Bakır(Cu)	% 2(Sabit)	<44 µm
Molibden(Mo)	% 0,6 - % 1,2 - % 1,8	<88 µm
Bor(B)	% 0,2 - % 0,6 - % 1	<15 µm
Karbon(C) (Grafit)	% 0,8(Sabit)	-
Demir (Fe)	Kalan	<63 µm

Çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir;

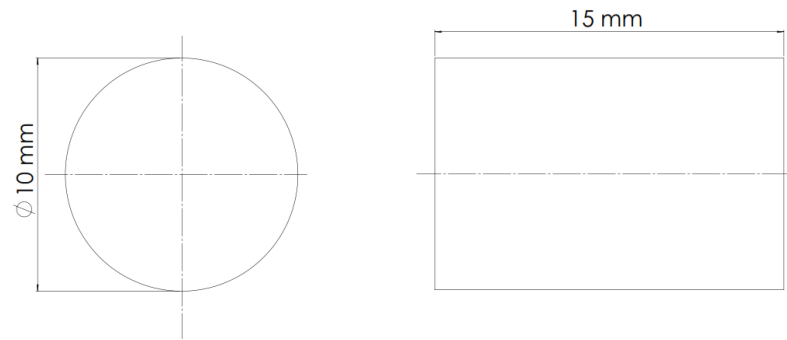
1. Aşamada; 3 farklı orana sahip nikel, molibden, ve bor oranları ile 27 adet farklı deney seti oluşturulmuştur. Oluşturulan deney seti çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Birinci aşamada belirlenen deney setine ait kompozisyon oranları

Komp. No	Bileşim (%Ağ.)					
	%Ni	%Mo	%B	%Cu	%Fe	%C
1	1,50	0,6	0,2	2	94,9	0,8
2	1,50	0,6	0,6	2	94,5	0,8
3	1,50	0,6	1	2	94,1	0,8
4	1,50	1,2	0,2	2	94,3	0,8
5	1,50	1,2	0,6	2	93,9	0,8
6	1,50	1,2	1	2	93,5	0,8
7	1,50	1,8	0,2	2	93,7	0,8
8	1,50	1,8	0,6	2	93,3	0,8
9	1,50	1,8	1	2	92,9	0,8
10	3,00	0,6	0,2	2	93,4	0,8
11	3,00	0,6	0,6	2	93	0,8
12	3,00	0,6	1	2	92,6	0,8
13	3,00	1,2	0,2	2	92,8	0,8
14	3,00	1,2	0,6	2	92,4	0,8
15	3,00	1,2	1	2	92	0,8
16	3,00	1,8	0,2	2	92,2	0,8
17	3,00	1,8	0,6	2	91,8	0,8
18	3,00	1,8	1	2	91,4	0,8
19	4,50	0,6	0,2	2	91,9	0,8
20	4,50	0,6	0,6	2	91,5	0,8
21	4,50	0,6	1	2	91,1	0,8
22	4,50	1,2	0,2	2	91,3	0,8
23	4,50	1,2	0,6	2	90,9	0,8
24	4,50	1,2	1	2	90,5	0,8
25	4,50	1,8	0,2	2	90,7	0,8
26	4,50	1,8	0,6	2	90,3	0,8
27	4,50	1,8	1	2	89,9	0,8

4.3 Deney Numunelerinin Üretimi

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak numunelerin boyutları, gerçekleştirilecek deneyler göz önüne alınarak 10mm çapında 15mm yüksekliğinde silindirik olarak üretilmiştir. Şekil 4.3’de üretilen numunelere ait teknik resim verilmiştir.



Şekil 4.3 Üretilen deney numunesi 2D teknik resmi

4.3.1 Deney numunelerinin toz miktarının hesaplanması

Üretilecek olan numuneler için karbon (C), bakır (Cu) ve yağlayıcı (çinkostearat) miktarları sabit tutulmuştur. Nikel (Ni), Molibden (Mo), Bor (B) ve Demir (Fe) elementlerinin oranları farklı yüzdelerde seçilmiştir. Tozların ölçümleri 0,0001 g hassasiyetli terazide gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda numune için örnek toz miktarı hesabı verilmiştir;

Toz miktarlarının hesabı:

Çalışmada 5 mm yarıçap 15 mm yükseklikte silindirik numunelerin üretimleri için;

$$\text{Fe'nin yoğunluğu} = 7,86 \text{ g/cm}^3 \quad [50]$$

$$\text{Cu'nun yoğunluğu} = 8,96 \text{ g/cm}^3 \quad [51]$$

$$\text{Ni'nin yoğunluğu} = 8,91 \text{ g/cm}^3 \quad [52]$$

$$\text{Mo'nin yoğunluğu} = 10,28 \text{ g/cm}^3 \quad [53]$$

$$\text{B'un yoğunluğu} = 2,34 \text{ g/cm}^3 \quad [54]$$

$$\text{C'un yoğunluğu} = 2,28 \text{ g/cm}^3 \text{ (Grafit)} \quad [55]$$

Örnek 1. Kompozisyon için;

$$\text{Teorik yoğunluk} = 0,015 \times 8,91 + 0,06 \times 10,28 + 0,02 \times 2,34 + 0,949 \times 7,86 + 0,08 \times 2,27 = 7,856 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Numune hacmi} = \pi r^2 \times h = \pi \times 0,5^2 \times 1,5 = 1,178 \text{ cm}^3$$

$$M = d \times V \text{ formülünden} = 1,178 \text{ cm}^3 \times 7,856 \text{ g/cm}^3 = 9,254 \text{ g bir numune için üretilecek toz miktarı}$$

Her kompozisyon için 4 adet numune üretilmiştir. Toplam toz hesabı 4 numunenin toplam ağırlığı için gereken toz miktarı hesaplanarak 1 nolu kompozisyon için gereken toz miktarı hesaplanmıştır:

$9,254 \times 4 = 37,018 \text{ g}$ toz gerekmektedir. Bu kompozisyon için her bir tozdan gereken miktarlar:

$$\% 1,5 \quad \text{Ni} = 0,555 \text{ g}$$

$$\% 0,6 \quad \text{Mo} = 0,222 \text{ g}$$

$$\% 0,2 \quad \text{B} = 0,074 \text{ g}$$

$$\% 2,0 \quad \text{Cu} = 0,74 \text{ g}$$

$$\% 94,9 \quad \text{Fe} = 35,13 \text{ g}$$

$$\% 0,8 \quad \text{C} = 0,27 \text{ g}$$

Bu işlemler her aşamada hazırlanan farklı kompozisyonlar için uygulanmıştır. Birinci aşamada gerçekleştirilen her kompozisyon için verilen element yüzdeleri ve kullanılan elementlerin her kompozisyon için miktarları Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Çizelge 4.4 İlk aşamada üretilen 27 farklı numunenin kompozisyon hesabı

Komp. No	%Ağ.						Teorik Yoğunluk	Nikel (g)	Molibden (g)	Bor (g)	Bakır (g)	Karbon (g)	Demir (g)	Bir Numune için gereken Ağırlık (g)	4 numune için gereken ağırlık (g)
	Ni	Mo	B	Cu	Fe	C									
1	1,50	0,6	0,2	2	94,9	0,8	7,856	0,555	0,222	0,074	0,740	0,296	35,130	9,254	37,018
2	1,50	0,6	0,6	2	94,5	0,8	7,834	0,554	0,221	0,221	0,738	0,295	34,883	9,228	36,914
3	1,50	0,6	1	2	94,1	0,8	7,812	0,552	0,221	0,368	0,736	0,294	34,638	9,202	36,810
4	1,50	1,2	0,2	2	94,3	0,8	7,871	0,556	0,445	0,074	0,742	0,297	34,972	9,272	37,086
5	1,50	1,2	0,6	2	93,9	0,8	7,848	0,555	0,444	0,222	0,740	0,296	34,726	9,245	36,982
6	1,50	1,2	1	2	93,5	0,8	7,826	0,553	0,443	0,369	0,738	0,295	34,481	9,219	36,878
7	1,50	1,8	0,2	2	93,7	0,8	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,814	9,289	37,154
8	1,50	1,8	0,6	2	93,3	0,8	7,863	0,556	0,667	0,222	0,741	0,296	34,568	9,263	37,050
9	1,50	1,8	1	2	92,9	0,8	7,841	0,554	0,665	0,369	0,739	0,296	34,323	9,237	36,946
10	3,00	0,6	0,2	2	93,4	0,8	7,872	1,113	0,223	0,074	0,742	0,297	34,644	9,273	37,092
11	3,00	0,6	0,6	2	93	0,8	7,850	1,110	0,222	0,222	0,740	0,296	34,399	9,247	36,988
12	3,00	0,6	1	2	92,6	0,8	7,828	1,107	0,221	0,369	0,738	0,295	34,154	9,221	36,884
13	3,00	1,2	0,2	2	92,8	0,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,485	9,290	37,160
14	3,00	1,2	0,6	2	92,4	0,8	7,864	1,112	0,445	0,222	0,741	0,296	34,240	9,264	37,056
15	3,00	1,2	1	2	92	0,8	7,842	1,109	0,443	0,370	0,739	0,296	33,996	9,238	36,952
16	3,00	1,8	0,2	2	92,2	0,8	7,901	1,117	0,670	0,074	0,745	0,298	34,325	9,307	37,229
17	3,00	1,8	0,6	2	91,8	0,8	7,879	1,114	0,668	0,223	0,742	0,297	34,080	9,281	37,125
18	3,00	1,8	1	2	91,4	0,8	7,857	1,111	0,666	0,370	0,740	0,296	33,837	9,255	37,021
19	4,50	0,6	0,2	2	91,9	0,8	7,888	1,672	0,223	0,074	0,743	0,297	34,156	9,292	37,166
20	4,50	0,6	0,6	2	91,5	0,8	7,865	1,668	0,222	0,222	0,741	0,296	33,912	9,266	37,062
21	4,50	0,6	1	2	91,1	0,8	7,843	1,663	0,222	0,370	0,739	0,296	33,669	9,239	36,958
22	4,50	1,2	0,2	2	91,3	0,8	7,902	1,676	0,447	0,074	0,745	0,298	33,995	9,309	37,234
23	4,50	1,2	0,6	2	90,9	0,8	7,880	1,671	0,446	0,223	0,743	0,297	33,752	9,283	37,130
24	4,50	1,2	1	2	90,5	0,8	7,858	1,666	0,444	0,370	0,741	0,296	33,509	9,257	37,026
25	4,50	1,8	0,2	2	90,7	0,8	7,917	1,679	0,671	0,075	0,746	0,298	33,834	9,326	37,303
26	4,50	1,8	0,6	2	90,3	0,8	7,894	1,674	0,670	0,223	0,744	0,298	33,591	9,300	37,199
27	4,50	1,8	1	2	89,9	0,8	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,348	9,274	37,095

Birinci aşamada oluşturulan 27 farklı kompozisyondaki parçalar preslendikten sonra 1150°C'de sıcaklıkta 60 dakika sinterlenmesi sonucunda makro sertlikleri ölçülmüştür, ardından parçalar indüksiyonla sertleştirilmiş ve sertlikleri tekrar ölçülmüştür. En Yüksek sertliği sahip 18 ve 27 nolu kompozisyonlar ile en düşük sertliğe sahip 7 ve 13 nolu kompozisyonlar seçilerek bu kompozisyonların üzerinde sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığının mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için tekrar üretim yapılmıştır. İkinci aşamada seçilen 4 kompozisyon ile üretilen numunelerin element yüzdeleri ve sinterleme koşulları çizelge 4.5'de verilmiştir. Numuneler 30, 60, 90 dk sinterleme süresi ve 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarında sinterlenmiştir.



Çizelge 4.5 İkinci aşamada üretilen 36 farklı numunenin kompozisyon hesabı

Kompozisyon No	%Ağ.						Teorik Yoğunluk	V nikel	V molibden	V bor	V bakır	V karbon	V demir	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (dk)		
	%Ni	%Mo	%B	%Cu	%C	%Fe											
7	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81	1050°C	30 dk		
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81		60 dk		
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81		90 dk		
	7	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81	1150°C	30 dk	
		1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81		60 dk	
		1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81		90 dk	
		7	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81	1250°C	30 dk
			1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81		60 dk
			1,5	1,8	0,2	2	0,8	93,7	7,885	0,557	0,669	0,074	0,743	0,297	34,81		90 dk
13			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49	1050°C	30 dk
			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49		60 dk
			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49		90 dk
	13		3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49	1150°C	30 dk
			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49		60 dk
			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49		90 dk
		13	3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49	1250°C	30 dk
			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49		60 dk
			3	1,2	0,2	2	0,8	92,8	7,886	1,115	0,446	0,074	0,743	0,297	34,49		90 dk
18			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84	1050°C	30 dk
			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84		60 dk
			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84		90 dk
	18		3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84	1150°C	30 dk
			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84		60 dk
			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84		90 dk
		18	3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84	1250°C	30 dk
			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84		60 dk
			3	1,8	1	2	0,8	91,4	7,857	1,111	0,666	0,37	0,74	0,296	33,84		90 dk
27			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35	1050°C	30 dk
			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35		60 dk
			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35		90 dk
	27		4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35	1150°C	30 dk
			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35		60 dk
			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35		90 dk
		27	4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35	1250°C	30 dk
			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35		60 dk
			4,5	1,8	1	2	0,8	89,9	7,872	1,669	0,668	0,371	0,742	0,297	33,35		90 dk

4.3.2 Tozların karıştırılması

Yukarıda verilen hesaplamalar dahilinde de numune üretimleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada gerçekleştirilen deneylerde çizelge 4.4 'de belirtilen 27 adet kompozisyonun üretimi gerçekleştirilmiştir. Toplamda 5 farklı toz kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Bu kompozisyonlarda Ni(%1,5-2-4,5), Mo(%0,6-1,2-1,8), B(%0,2-0,6-1), C %0,8 ve Cu %2 oranlarında karıştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda belirlenen element % değerleri literatür de dışı üretiminde tecrübelerden faydalanarak elde edilen değerlerin optimizasyonu ile seçilmiştir. Karbon (C) %0,8 ve yağlayıcı(çinko stearat) %0,6 olarak belirlenmiş geri kalan Fe tozu olarak karışımlar hazırlanmıştır. Toplamda 27 farklı kompozisyon elde edilmiştir ve her kompozisyondan 4'er adet numune üretilecek şekilde miktarlar hesaplanmış ve üretilmiştir.

Tozların karıştırılması kirlenmeden ve özelliklerinin bozulmasından kaçınmak için kontrolü şartlar altında yapılmıştır. Aşırı karıştırma ile tozların şekli bozulur ve deformasyon sertleşmesine uğrarlar. Yukarıda hesaplanan kompozisyonlar dâhilinde 27 farklı kompozisyon toz grubu 30'ar dakika süre ile ayrı ayrı kuru ortamda bilye kullanılmadan karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işlemi 45 derece eğimli Turbula Mixer de yapılmıştır. T2F turbula karıştırıcının şematik olarak görünümü Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 T2F Turbula mikserin şematik görünümü

İkinci aşamada seçilen 4 farklı kompozisyondan numuneler tekrar üretilerek, üç farklı sinterleme süresi (30dk, 60dk, 90dk) ve üç farklı sinterleme sıcaklığında (1050°C, 1150°C, 1250°C) sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığının malzemenin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için 36 farklı koşulda numune üretilmiştir. Üretim şartları çizelge 4.5'te belirtilmiştir. Üretilen numunelerin sertlikleri ölçülmüş ve mikroyapı analizleri yapılmıştır.

4.3.3 Presleme basıncının hesabı

Tozların sıkıştırılması için 6 tonluk hidrolik preste, her bir alaşım için sıkıştırma basıncı, literatür bilgisine dayanarak ve değişkenliği azaltmak için 650 MPa seçilmiştir. Alaşım için sıkıştırma basıncı Şekil 4.3'de verilen numune yüzey alanına (A) göre hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan kompozisyonlar için sıkıştırma basıncı (P) literatür araştırması sonrası 650 N/mm² seçilmiş ve sıkıştırma kuvveti (F);

$$P = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3,14 \times 5 \text{mm}^2$$

$$A = 78,5 \text{mm}^2$$

$$F = 650 \text{ N/mm}^2 \times 78,5 \text{mm}^2$$

$$F = 5,1 \text{ ton veya } 51 \text{ kN olarak belirlenmiştir.}$$

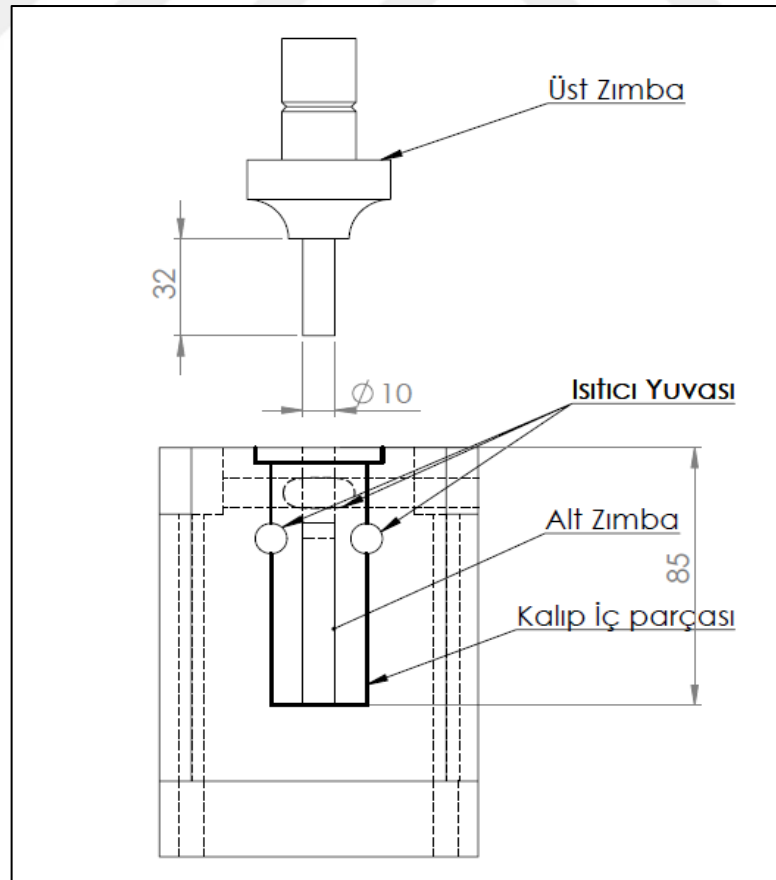
Birinci aşamada oluşturulan 27 farklı kompozisyondaki parçalar preslendikten sonra 1150°C'de sıcaklıkta 60 dakika sinterlenmesi sonucunda makro sertlikleri ölçülmüştür, ardından parçalar indüksiyonla sertleştirilmiş ve sertlikleri tekrar ölçülmüştür. En Yüksek sertliği sahip 18 ve 27 nolu kompozisyonlar ile en düşük sertliğe sahip 7 ve 13 nolu kompozisyonlar seçilerek bu kompozisyonların üzerinde sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığının mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için tekrar üretim yapılmıştır. İkinci aşamada seçilen 4 kompozisyon üretilen numunelerin element yüzdeleri ve sinterleme koşulları çizelge 4.5'de verilmiştir. Numuneler 30, 60, 90 dk sinterleme süresi ve 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarında sinterlenmiştir.

4.3.4 Sıkıştırma kalıbının üretilmesi

Kalıp tasarımında dikkate alınması gereken husus, oluşturulacak ham numuneye göre tozun doldurma yüksekliğidir. Toz doldurma yüksekliği hesapladıktan sonra tozların sıkıştırılması için gerekli olan kalıp seti oluşturulmuştur. Bu set 4 bölümden oluşmaktadır:

- a) Kalıp İç Parçası
- b) Üst zımba
- c) Alt zımba
- d) Isıtıcılar

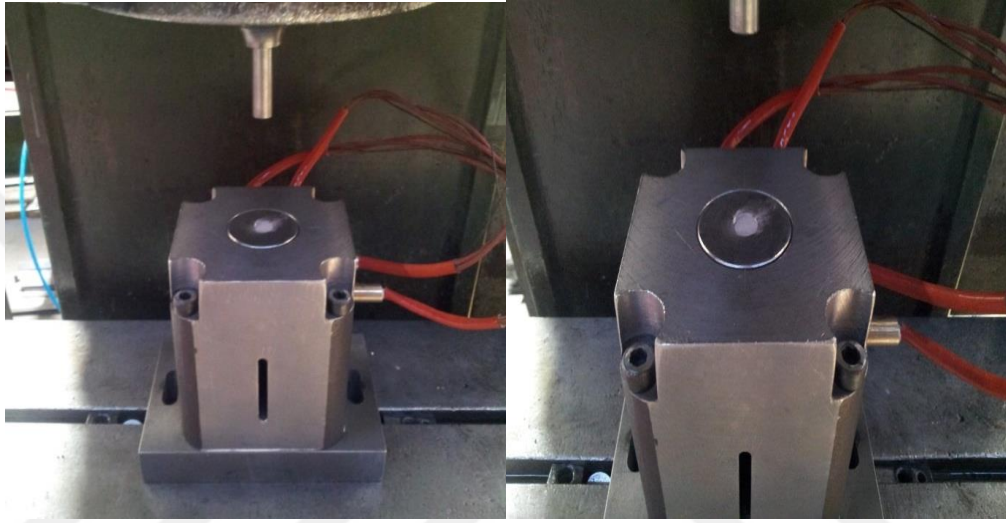
Deney numunelerinin sıkıştırılması esnasında yüksek yüzey basıncı olduğundan kalıp malzemesini bu basınçtan korumak için SAE 4140 ve SAE 8620 sement çeliğinden yapılmıştır ve daha sonra sementasyonla kalıp yüzeyleri sertleştirilmiştir. Tozların sıkıştırılması esnasında kalıbın ısıtılması için fişek rezistanslar kullanılmıştır. Rezistanslar kalıp merkezinin istenilen sıcaklığa çıkarılması için tasarlanan yuvalarına yerleştirilmiştir. Şekil 4.5’da toz basma kalıbı 2D teknik resmi verilmiştir.



Şekil. 4.5 Toz basma kalıbı 2D teknik resmi

4.3.5 Tozların preslenmesi (Sıkıştırılması)

Tozların preslenmesinde ESTAŞ Eksantrik bünyesinde bulunan tek eksenli 6 tonluk hidrolik pres kullanılmıştır. Isıtıcı sistemi hidrolik sisteme sonradan ilave edilmiştir ve sıcaklık 200°C dereceye kadar çıkabilmektedir. Tozların preslenmesi sırasında sıcaklık 160°C derece olarak belirlenmiş ve tozlar bu sıcaklıkta ılık preslenmiştir. Preslemeden önce tozlar kalıba doldurularak 30 sn ısınması için beklenmiştir. Tozların sıkıştırılmasında kullanılan kalıp şekil 4.6’da verilmiştir.



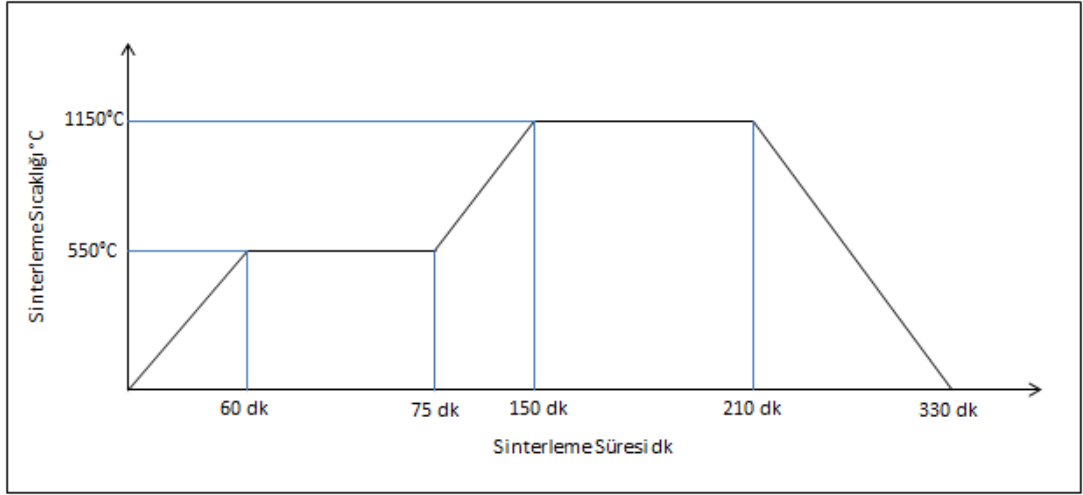
Şekil 4.6 Tozların sıkıştırılmasında kullanılan kalıp

4.3.6 Numunelerin sinterlenmesi

Toz metalurjisi metodu ile parça üretimin son aşaması sinterlemedir. Çalışmada preslenmiş numuneler şekil 4.7’de gösterilen argon atmosferli tüp sinterleme ünitesinde sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemleri iki farklı operasyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada numuneler 60 dakika’da 1150°C’de sinterlenmiştir. Birinci aşamada şekil 4.8 ‘de belirtilen sinterleme rejimi kullanılarak sinterlenmiştir. Parça içerisindeki yağlayıcı olan çinko stearatı zaklaştırmak için kabul gören sıcaklık olan 550°C’ de parçalar bekletilmiştir. Parçalar fırın atmosferinde soğumaya bırakılmıştır. Soğuma rejimi hesaplanmamıştır.

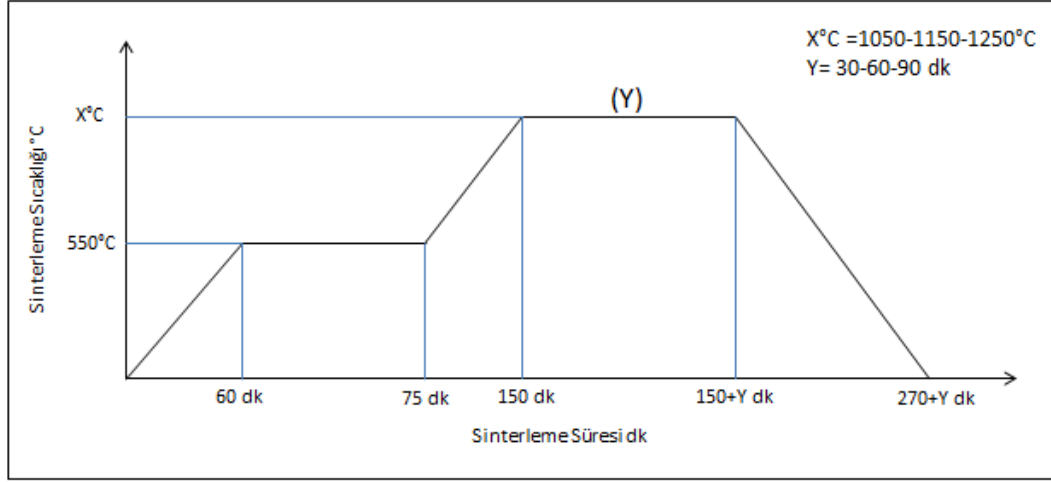


Şekil 4.7 Tüp Sinterleme Fırını



Şekil 4.8 Birinci aşamada gerçekleştirilen sinterleme grafiği

İkinci aşamada malzemenin sinterleme koşullarının optimizasyonu yapılmıştır. İkinci aşamada 30, 60 ve 90 dakika sinterleme sürelerinde 1050, 1150, 1250°C sıcaklıklarında birinci aşamada belirlenen en düşük ve en yüksek sertlik değerinin elde edildiği 4 kompozisyon için sinterlemeler gerçekleştirilmiştir. Parçalar ikinci aşamada şekil 4.9'da belirtilen sinterleme rejimi kullanılarak sinterlenmiştir. Parçalar fırın atmosferinde soğumaya bırakılmıştır. Soğuma rejimi hesaplanmamıştır.



Şekil 4.9 İkinci aşamada gerçekleştirilen sinterleme grafiği

4.3.7 Parçaların yüzey sertleştirme işlemlerinin yapılması

Birinci aşamada üretilen numuneleri sertleşebilme kabiliyetlerini incelemek için indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Sertleştirme işlemi ESTAŞ eksantrik bünyesinde bulunan yüksek frekansta çalışan indüksiyon tezgahında Şekil 4.10'da 850°C 'de yaklaşık 5 saniye süre ile gerçekleştirilmiş ve parçalar soğutma sıvısı ile tezgah üzerinde hızlı soğutulmuştur. Sertleştirme işleminde parçaların sertleşebilme kabiliyetleri incelenmiş en yüksek sertliğe sahip iki kompozisyon ve en düşük sertliğe sahip iki kompozisyon seçilerek sinterleme süresinin ve sinterleme sıcaklığının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.10 Numunelerin yüzey sertleştirme işlemlerinin gerçekleştirildiği yüksek frekanslı indüksiyon tezgahı

4.4 Yoğunluk ölçümlerinin yapılması

Sinterlenmiş numunelerin yoğunluk ölçümleri Arşiment prensibi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho_{exp} = \rho_{su} \left(\frac{m_{hava} - m_{su}}{m_{hava}} \right) \quad [4.1]$$

Numunelerin poroziteleri aşağıdaki formül kullanılarak her bir numune için hesaplanmıştır.

$$\% \text{ porozite} = \left(100 - \left(\frac{\text{Gerçek yoğunluk}}{\text{Teorik yoğunluk}} \right) \right) \times 100 \quad [4.2]$$

4.5 Makro sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri ESTAŞ ısıtım laboratuvarında bulunan INSTRON-WOLPERT makro sertlik ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 1. Aşamada üretilen 27 farklı kompozisyona ait numunelerin ve 2. aşamada üretilen numunelerin makro sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.11 INSTRON-WOLPERT makro sertlik ölçüm cihazı

Numunelerin sertlik ölçümleri için yüzeyleri parlatılmış ve yüzeyi çapaklardan temizlenmiştir. Her numune üzerinden minimum 5 farklı noktadan sertlik ölçümü alınarak sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Deney numunelerinin sertlikleri Rockwell A yüzey sertlik yöntemi ile 120°'lik elmas konik uç kullanılarak 60 kgf yükü 10 kg ön yük kullanılarak yapılmıştır.

4.6 Mikroyapı incelemeleri

Deney numunelerinin sinterleme işlemi sonrası mikro yapı analizi için metalografik muayene yapılmıştır. Numuneler sırasıyla 180 mesh'den 600 meshe kadar zımparaya tabi tutularak yüzeyleri temizlenmiş, sonrasında 9 µm ve 3 µm 'luk elmas pasta ile yüzeyleri parlatılıp hazırlanan %2 Nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Mikro yapı analizleri ESTAŞ Eksantrik A.Ş ısıtım işlem laboratuvarında bulunan Nikon MA200 mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. (şekil 4.12) Nital dağlayıcı ayırıcı ile yapılan dağlama sonrasındaki ışık mikroskobu görüntüsü Clamex görüntü analiz sistemi ile mikro yapı görüntüleri alınmıştır.

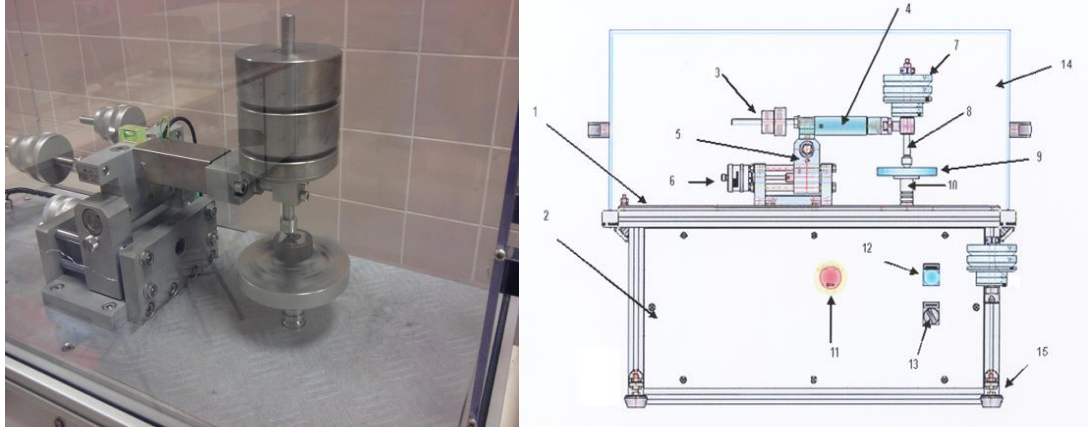


Şekil 4.12 Nikon MA200 optik mikroskobun görünümü

4.7 Aşınma deneyleri

Aşınma deneyleri “Ball-on-disk” tipi kuru sürtünme testi ile ASTM G99-05 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler çizelge 4.6’da verilen parametrelere göre gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri sıcak kalıplama cihazı ile bakalite alınmış, bakalitin taşlama cihazı ile yan yüzeyleri köşeli ve uygun geometrili hale getirildikten sonra test yüzeyleri 400 ve 600 numaralı zımparalar ile düzeltilmiştir. Aşınma testi için Nanovea marka “ball-on-disk” tipi kuru sürtünme test düzeneği kullanılmıştır.

Numuneler test öncesi hassas laboratuvar tipi terazi ile tartılarak test sonrası aşınma kaybı belirlenmiştir. Aşındırıcı olarak 100Cr6 çelikten imal edilen bilyeler kullanılmıştır.



Şekil 4.13 Aşınma deney düzeneği

Çizelge 4.6 Kuru sürtünme test parametreleri

Kuru Sürtünme Testi	Test
Aşındırıcı Bilye	100Cr6
Bilye Sertliği (HRC)	65
Bilye Çapı (mm)	5
Nominal Yük (N)	30
Disk Dönme Hızı (rpm)	300
Mesafe (m)	100
Sıcaklık (°C)	RT
Bağıl Nem (%)	50

4.8 Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM)

Analizler için Kocaeli üniversitesi Metalurji ve malzeme mühendisliği Laboratuvarlarındaki Jeol 50 a tipi tarama elektron mikroskobu taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için aşınma yüzeylerine SEM analizi yapılmıştır.

4.9 Noktasal analiz (SEM+EDS)

Analizler için Kocaeli üniversitesi Metalurji ve malzeme mühendisliği laboratuvarlarındaki IXRF edx mikroanaliz sistemi kullanılmıştır. Numuneler analizler için bakalite alınmış ve numune yüzeyleri parlatılarak uygun bir yüzey elde edilmiştir. Görüntüleme modu olarak SEI (ikincil elektron görüntülemesi) tercih edilmiş olup, ivmelendirme voltajı 15 kV, çalışma mesafesi (WD) 14 mm olarak belirlenmiştir.

4.10 XRD analizi

XRD analizleri için Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Rigaku marka XRD analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. 2 theta açısı 10-90° arasında belirlenmiştir. Her spektrumunda küçükten büyüye doğru sıralama üstteki eğriden alt sıradaki eğriye ilerleyecek şekilde verilmiştir.



5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Deneysel sonuçlar gerçekleştirilen 3 aşama faaliyete göre 3 başlık altında incelenmiştir.

5.1 Birinci Aşama Deneysel Sonuçları

5.1.1 Yoğunluk ölçümleri

27 farklı kompozisyon ile 1150°C'de 60 dakika sinterleme süresinde üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri ve % porozite ölçümleri arşiment prensibi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Porozite ölçümlerinde parçaların su alma miktarları ihmal edilerek ölçüm alınmıştır. Porozite ölçümleri teorik yoğunluktan ölçülen yoğunluk değeri çıkarılarak hesaplanmıştır. Birinci aşamada sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığı sabit tutulduğundan yoğunluk değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Ilık presleme yöntemi ile preslenen parçaların %porozite değerleri genel olarak 10-12 aralığında çıkmıştır. Ilık presleme yöntemi parça yoğunluğunda 0,1-0,25 aralığın da fazla çıkmaktadır. Bu nedenle birinci aşamada elde edilen değerlerde 27 farklı kompozisyonda %porozite değeri birbirine çok yakın çıkmaktadır.

Çizelge 5.1 1150°C 'de 60 dk Sinterlenen numunelerin sertleştirme öncesi ve sertleştirme sonrası sertlik sonuçları

Komp. No	Kimyasal Kompozisyon						Sertlik Ölçüm Sonuçları		Yoğunluk Ölçüm Sonuçları		
	%Ni	%Mo	%B	%Cu	%C	%Fe	Sertleştirme Öncesi Sertlik Değerleri HRA(60 kgf)	Sertleştirme Sonrası Sertlik Değerleri HRA(60 kgf)	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)	Ölçülen Yoğunluk (gr/cm ³)	% Porozite
1	1,5	0,6	0,2	2	0,8	Kalan	36,68	68,14	7,856	6,97	11,2781
2	1,5	0,6	0,6	2	0,8	Kalan	42,74	69,33	7,834	7,07	9,7524
3	1,5	0,6	1	2	0,8	Kalan	43,96	72,5	7,812	6,98	10,6503
4	1,5	1,2	0,2	2	0,8	Kalan	36,68	67,35	7,871	6,98	11,3836
5	1,5	1,2	0,6	2	0,8	Kalan	42,85	70,13	7,848	7,05	10,2319
6	1,5	1,2	1	2	0,8	Kalan	43,68	70,72	7,826	6,94	11,3213
7	1,5	1,8	0,2	2	0,8	Kalan	34,02	62,92	7,885	6,97	11,6678
8	1,5	1,8	0,6	2	0,8	Kalan	50,34	69,95	7,863	7,00	10,9755
9	1,5	1,8	1	2	0,8	Kalan	57,4	72,37	7,841	6,90	12,0648
10	3	0,6	0,2	2	0,8	Kalan	44,28	67,34	7,872	6,94	9,4893
11	3	0,6	0,6	2	0,8	Kalan	53,44	71,65	7,85	7,02	11,5992
12	3	0,6	1	2	0,8	Kalan	63,92	73,76	7,828	7,12	7,8947
13	3	1,2	0,2	2	0,8	Kalan	43,02	63,63	7,886	6,95	10,3475
14	3	1,2	0,6	2	0,8	Kalan	57,3	71,48	7,864	7,07	12,9578
15	3	1,2	1	2	0,8	Kalan	65,5	72,26	7,842	7,14	8,8881
16	3	1,8	0,2	2	0,8	Kalan	48,1	66,05	7,901	6,95	11,2138
17	3	1,8	0,6	2	0,8	Kalan	66,4	70,17	7,879	7,02	13,6947
18	3	1,8	1	2	0,8	Kalan	67,5	73,82	7,857	7,12	9,3802
19	4,5	0,6	0,2	2	0,8	Kalan	50,67	70,43	7,888	6,96	11,7647
20	4,5	0,6	0,6	2	0,8	Kalan	53,93	70,97	7,865	6,74	14,3039
21	4,5	0,6	1	2	0,8	Kalan	59,66	72,52	7,843	6,92	11,7685
22	4,5	1,2	0,2	2	0,8	Kalan	47,74	69,35	7,902	6,98	11,7312
23	4,5	1,2	0,6	2	0,8	Kalan	54,83	71,8	7,88	7,03	10,028
24	4,5	1,2	1	2	0,8	Kalan	61,4	72,48	7,858	6,97	11,3006
25	4,5	1,8	0,2	2	0,8	Kalan	50,03	68,3	7,917	7,09	10,8248
26	4,5	1,8	0,6	2	0,8	Kalan	59,96	73,68	7,894	6,82	13,6053
27	4,5	1,8	1	2	0,8	Kalan	69,6	76,65	7,80	6,97	10,6326

5.1.2 Makro sertlik ölçümü

Birinci aşamada elde edilen sertlik sonuçları çizelge 5.2’de verilmiştir. Sertlik değerleri indüksiyonla sertleştirmeden önce ve sonra ölçülmüştür. 18 ve 27 nolu kompozisyonlar ile üretilen numuneler indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminden sonra en yüksek sertlik değerlerine ulaşmışlardır. 18 nolu kompozisyon 73,82 HRA, 27 Nolu kompozisyon 76,65 HRA sertlik değerleri elde edilmiştir. 18 nolu kompozisyonun yoğunluk değeri $7,12 \text{ g/cm}^3$ 27 nolu kompozisyonun yoğunluk değeri $6,97 \text{ g/cm}^3$ elde edilmiştir.

7 ve 13 nolu kompozisyonlar ile üretilen numunelerde indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminden sonra en düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. 7 nolu kompozisyon 62,92 HRA, 13 nolu kompozisyon 63,63 HRA sertlik değeri elde edilmiştir. 7 nolu kompozisyon ile üretilen numunenin yoğunluk değeri $6,97 \text{ g/cm}^3$, 13 nolu kompozisyon ile üretilen numunenin yoğunluk değeri $6,95 \text{ g/cm}^3$ elde edilmiştir.

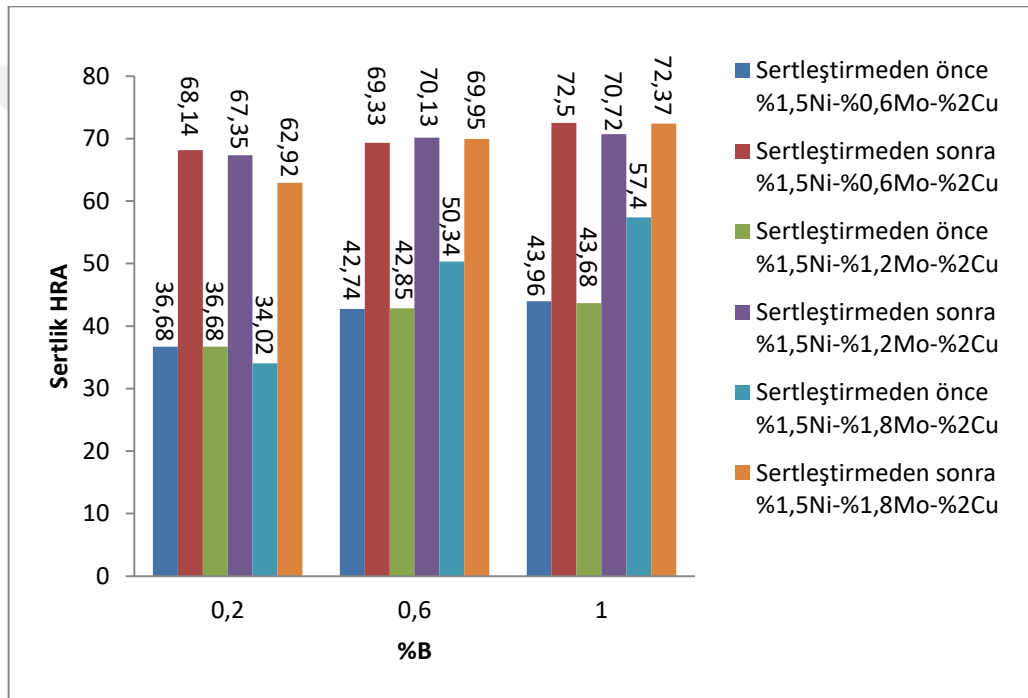
Çizelge 5.2 Birinci aşamada sertlik değerlerine göre belirlenen kompozisyonlar

En Yüksek Sertlik Değerine Sahip 2 Kompozisyon					
Komp. No	Sertlik Ölçüm Sonuçları		Yoğunluk Ölçüm Sonuçları		
	Sertleştirme Öncesi Sertlik Değerleri HRA(60 kgf)	Sertleştirme Sonrası Sertlik Değerleri HRA(60 kgf)	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Ölçülen Yoğunluk (gr/cm^3)	% Porozite
18	67,5	73,82	7,86	7,12	9,41
27	69,6	76,65	7,80	6,97	10,64
En Düşük Sertlik Değerine Sahip 2 Kompozisyon					
Komp. No	Sertlik Ölçüm Sonuçları		Yoğunluk Ölçüm Sonuçları		
	Sertleştirme Öncesi Sertlik Değerleri HRA(60 kgf)	Sertleştirme Sonrası Sertlik Değerleri HRA(60 kgf)	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Ölçülen Yoğunluk (gr/cm^3)	% Porozite
7	34,02	62,92	7,89	6,97	11,66
13	43,02	63,63	7,89	6,95	11,91

Bor ve nikel oranının kompozisyon içerisinde artması sertleşebilirliği arttırmıştır. Bor elementi sertleşebilirliğe direkt etki etmemektedir. İndüksiyonla sertleştirme sonucunda düşük sertlik değeri elde edilen numunelerin içeriğinde %0.2 B bulunması sertleştirilebilirliği olumsuz yönde etkilemiştir. 7 ve 13 numaralı kompozisyonlarda %1.5 ve %3.0 nikel bulunmaktadır. Yüksek sertlik elde edilen numunelerdeki Ni oranı dikkate alındığında düşük Ni miktarı sertleşmede yetersiz kalmıştır.

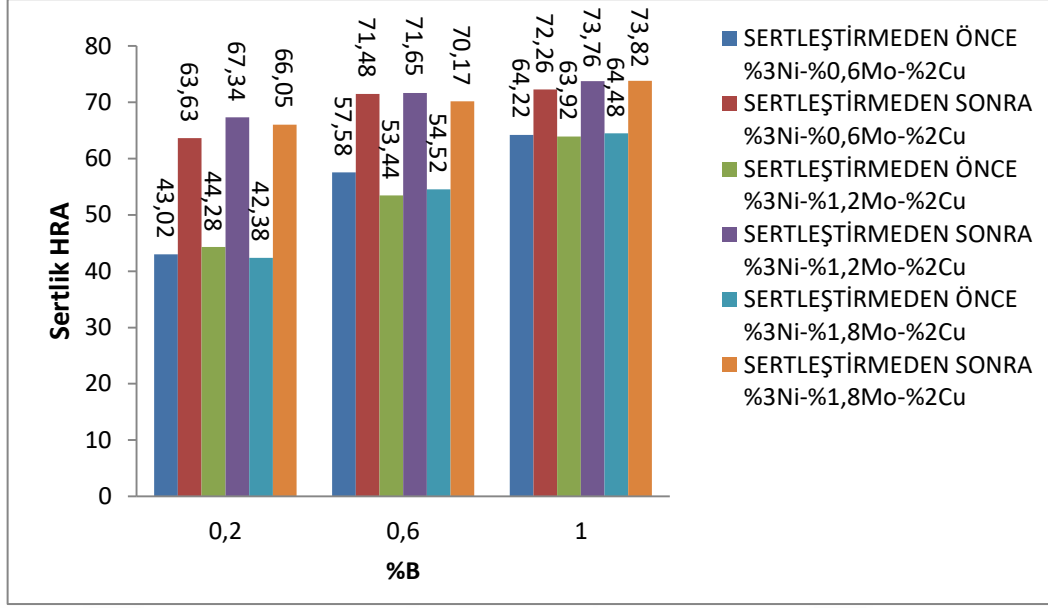
Parçaların ölçülen yoğunluk değerlerinde parçalar üzerindeki porozite değerleri %9,3-13 aralığında değiştiği gözlemlenmektedir. Ilık presleme yöntemi uygulanan presleme basıncı dikkate alındığında elde edilen yoğunluk değerleri uygun görülmektedir. 7 nolu kompozisyon ile üretilen numunelerin yoğunlukları ortalaması $6,97 \text{ gr/cm}^3$ elde edilmiş, 13 nolu kompozisyon ile üretilen numunelerin yoğunlukları ortalaması $6,95 \text{ gr/cm}^3$ elde edilmiştir.

%1,5Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi şekil 5.1’de verilmiştir.



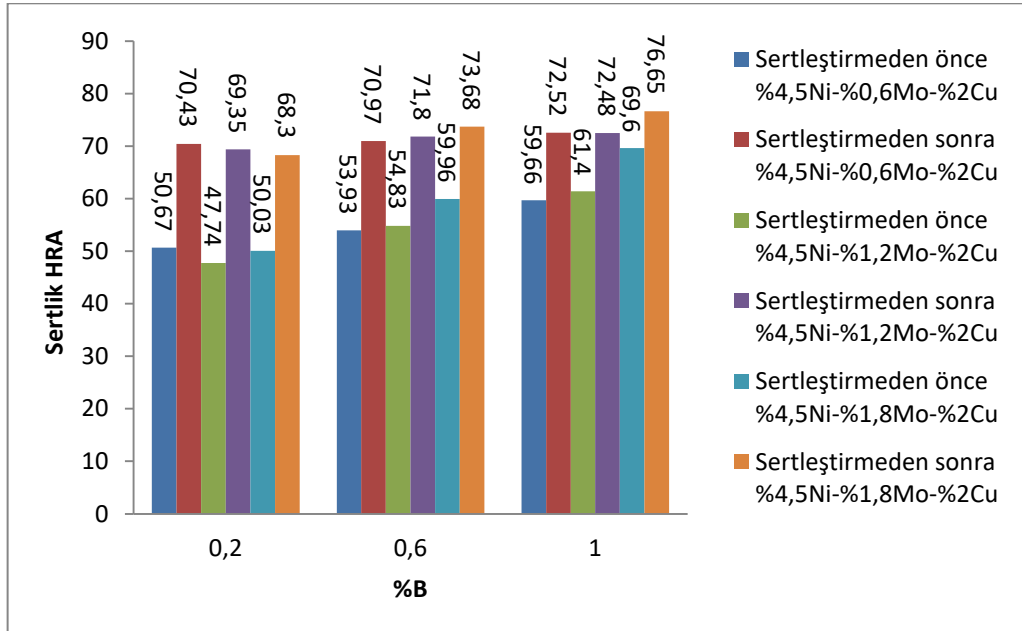
Şekil 5.1 %1,5Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi

%3,0Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi şekil 5.2’de verilmiştir. Artan Mo ve B miktarları malzeme sertliğini arttırmıştır.



Şekil 5.2 %3,0Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi

%4,5Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi şekil 5.3’de verilmiştir. Artan Mo ve B miktarları malzeme sertliğini arttırmıştır.

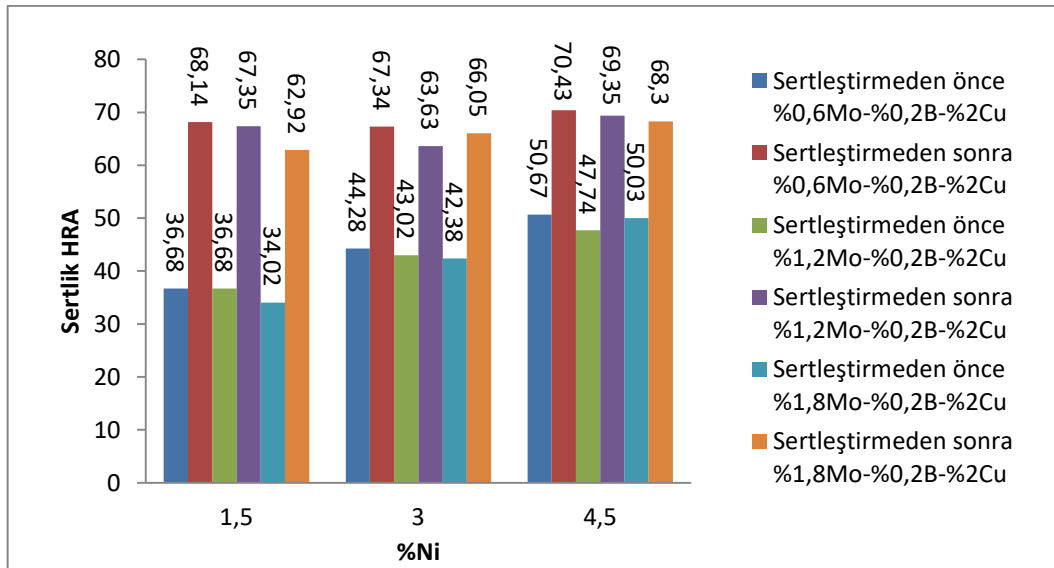


Şekil 5.3 %4,5Ni-%2Cu kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(0,2-0,6-1,0)B oranlarının sertlik üzerine etkisi

Parçaların soğuma hızları fırın atmosferinde olduğundan mikroyapıda ferrit ve perlit yapılına oluşturmaktadır. Molibden değerinin artması sertleşebilme derinliğini arttırmaktadır. Sertleştirme esnasında malzemede oluşan FeB ve Fe₂B fazlarının oluşumu parçanın sertliğinde artışa neden olmuştur. 1150°C 'de 60 dakikada gerçekleştirilen sinteleme işleminde ilave edilen bor miktarı sertleştirme öncesinde yetersiz kalmıştır. Demir tozu içerisinde bor bulunduğunda 1165-1175°C'nin üzerinde gerçekleştirilen sinterleme işlemlerinde yoğunlaşmayı, mekanik özellikleri ve aşınma direncini arttıran bir sıvı faz oluşmaktadır. Artan B ilavesi ile birlikte daha yüksek miktarda ötektik sıvı oluşması ve buna bağlı olarak daha yüksek sinterleme yoğunlukları, küresel morfolojili gözenekler ve daha üstün mekanik özellikler elde edilmesi beklenir. Sağladığı bu avantajlardan dolayı B, paslanmaz çelikler de dahil olmak üzere farklı demir esaslı alaşım sistemlerine sinterleme geliştirici olarak element tozu veya ferrobör olarak %0,01-1,2 aralığın da ilave edilmektedir.

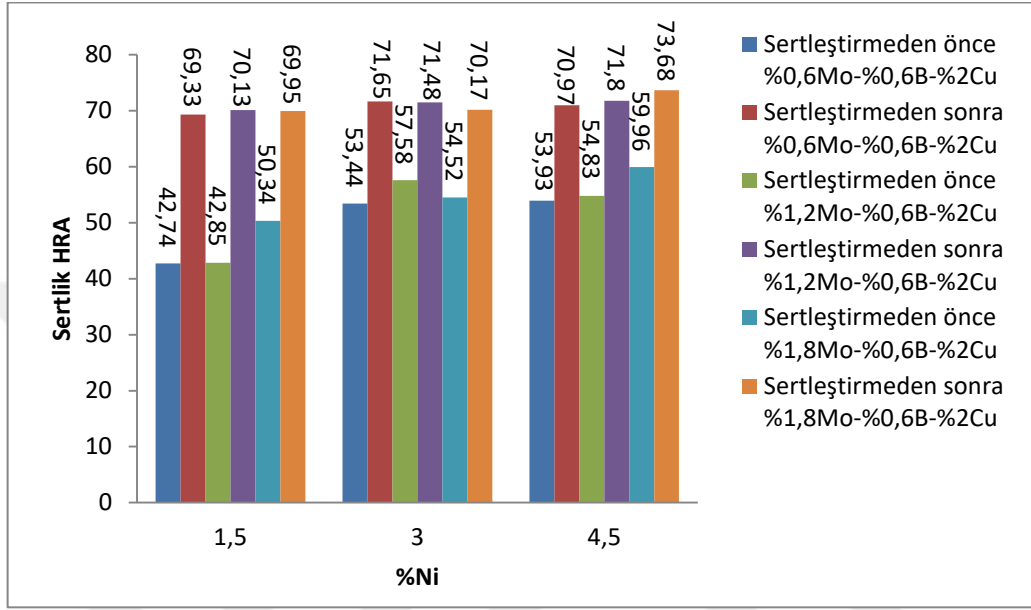
%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu kompozisyonu ile üretilen 1150° 'de 60 dakika sinterlenen numunelerde en yüksek sertlik 76,65 HRA ölçülmüştür.

%2,0Cu-%0,2B kompozisyonunda Bor ve bakır miktarının sabit tutularak yapılan karşılaştırmada %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi şekil 5.4'de verilmiştir. Artan Mo ve Ni miktarları malzeme sertliğini arttırmıştır.



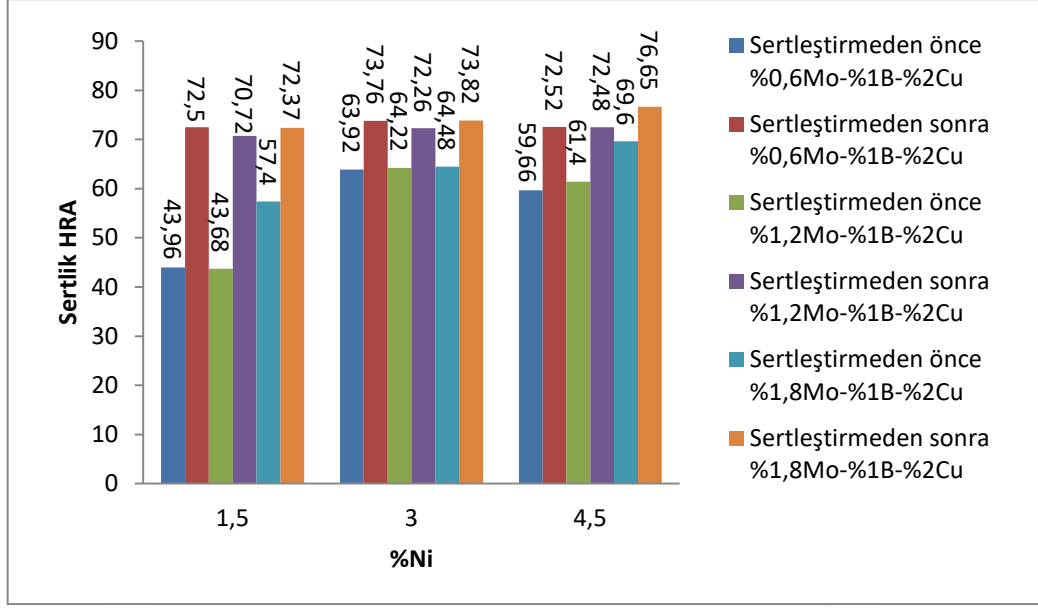
Şekil 5.4 %2Cu-%0,2B kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi

%2,0Cu-%0,6B kompozisyonunda Bor ve bakır miktarının sabit tutularak yapılan karşılaştırmada %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi şekil 5.5’de verilmiştir. Artan Mo ve Ni miktarları malzeme sertliğini arttırmıştır. Maksimum sertlik %4,5Ni-%1,8Mo-%0,6B-%2,0Cu kompozisyonunda 73,68 HRA olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.5 %2Cu-%0,6B kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi

%2,0Cu-%1,0B kompozisyonunda Bor ve bakır miktarının sabit tutularak yapılan karşılaştırmada %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi şekil 5.6’da verilmiştir. Artan Mo ve Ni miktarları malzeme sertliğini arttırmıştır. Maksimum sertlik %4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2,0Cu kompozisyonunda 76,65 HRA olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.6 %2Cu-%1,0B kompozisyonunda %(0,6-1,2-1,8)Mo ve %(1,5-3,0-4,5)Ni oranlarının sertlik üzerine etkisi

İlave edilen nikel miktarı parçadaki perlit miktarını arttırdığı için parçanın sertlik miktarını da arttırmıştır. Nikel esaslı süperalaşım katı-eriyik ve ikincil-faz intermetalik çökelti tarafından mukavemetlendirilmektedir. Ni-Mo alaşım sistemi mekanik özellikleri arttırarak parçaların sertliklerinin artmasına neden olmuştur.

5.2 İkinci Aşama Deney Sonuçları

İkinci aşamada gerçekleştirilen deneylerde ilk aşamada belirlenen 4 farklı kompozisyon ile üretilen numuneler üzerinde sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin etkilerini incelemek için 3 farklı sinterleme sıcaklığı (1050-1150-1250°C) ve 3 farklı sinterleme süresin olan 30-60-90 dk'da sinterlenen numunelerin sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler için belirlenen 4 farklı kompozisyon için yeni numuneler üretilmiştir.

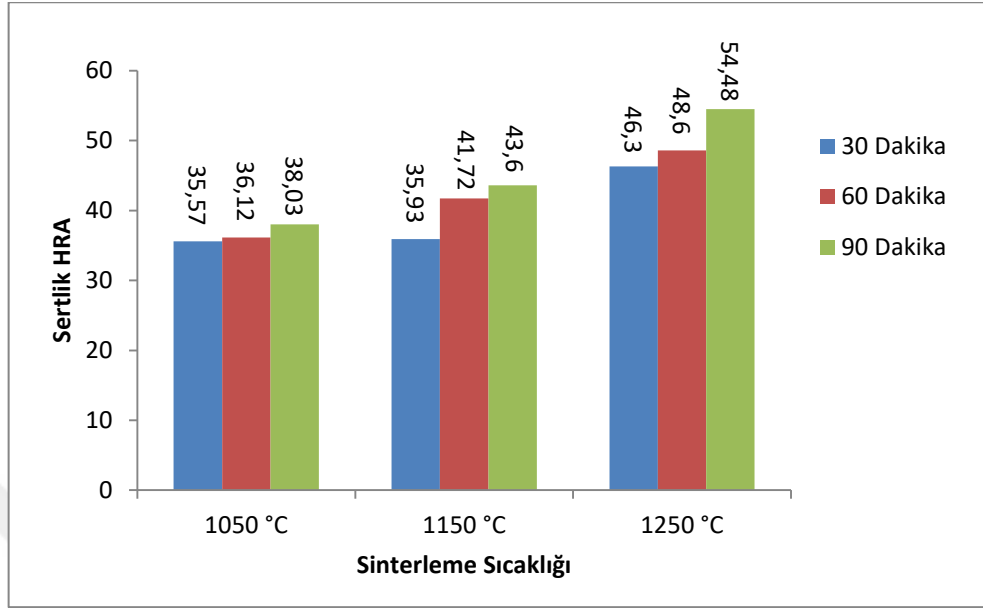
5.2.1 Sertlik sonuçları

Toplamda 36 farklı deney parametresi oluşturulmuştur. Sertlik ölçümleri çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 1050-1150-1250°C 'de 30-60-90 dk sinterlenen numunelerin sertlik sonuçları

Komp No	%Ni	%Mo	%B	%Cu	%C	%Fe	Sıcaklık °C	Sinterleme Süresi	Sertlik HRA
7	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1050	30 dk	35,57
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan		60 dk	36,12
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan		90 dk	38,03
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1150	30 dk	35,93
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan		60 dk	41,72
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan		90 dk	43,6
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1250	30 dk	46,3
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan		60 dk	48,6
	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan		90 dk	54,48
13	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1050	30 dk	44,62
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan		60 dk	46,18
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan		90 dk	48,87
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1150	30 dk	47,2
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan		60 dk	50,1
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan		90 dk	57,3
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1250	30 dk	62,4
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan		60 dk	65,3
	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan		90 dk	65,5
18	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan	1050	30 dk	42,4
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan		60 dk	46,5
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan		90 dk	51,1
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan	1150	30 dk	58,2
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan		60 dk	62,1
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan		90 dk	66,4
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan	1250	30 dk	60,73
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan		60 dk	62,7
	3	1,8	1	2	0,8	91.4:Kalan		90 dk	67,5
27	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	30 dk	48,3
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan		60 dk	49,7
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan		90 dk	52,4
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	30 dk	53,7
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan		60 dk	65,8
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan		90 dk	68,4
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	30 dk	73,1
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan		60 dk	74,8
	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan		90 dk	75,6

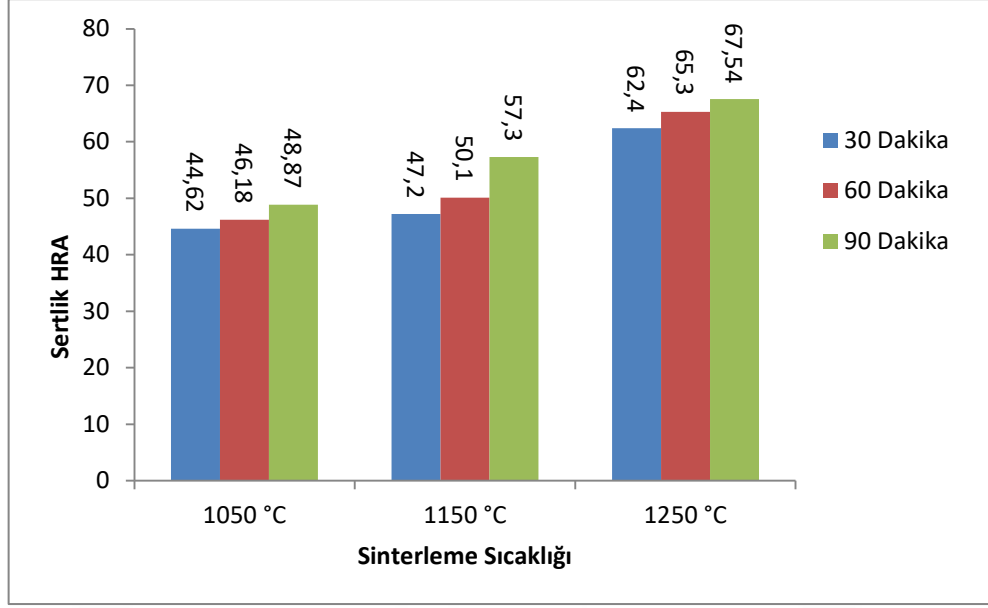
% 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2,0Cu kompozisyonuna ait sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkileri şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7 % 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2,0Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi

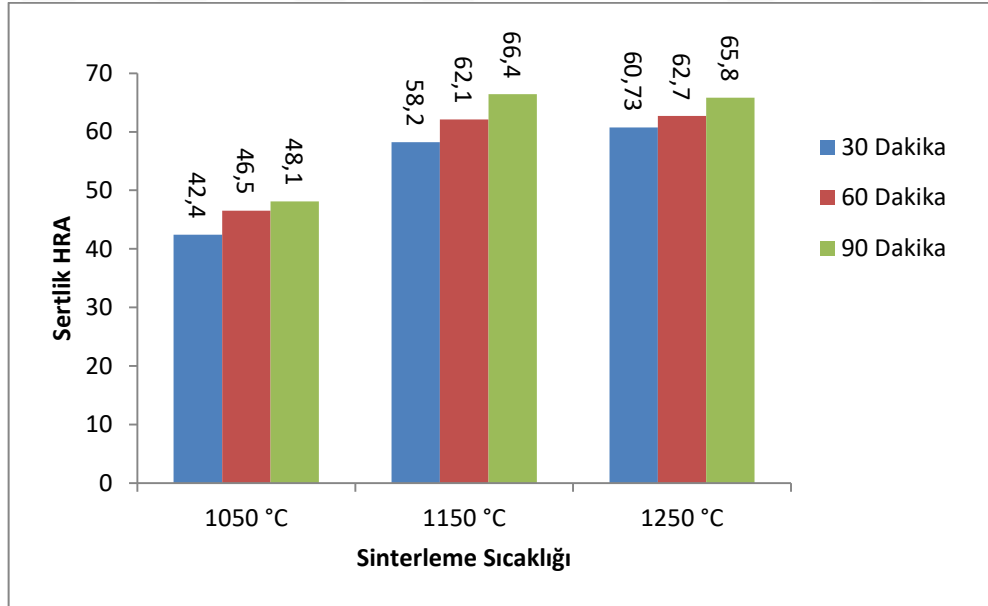
% 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2,0Cu kompozisyonunun farklı sinterleme sıcaklıklarında ve sürelerinde yapılan denemelerde sinterleme sıcaklığının ve süresinin artması ile parçaların sertliğinin arttığı görülmektedir.

% 3,0Ni-% 1,2Mo-% 0,2B-% 2,0Cu kompozisyonuna ait sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkileri şekil 5.8’de verilmiştir.



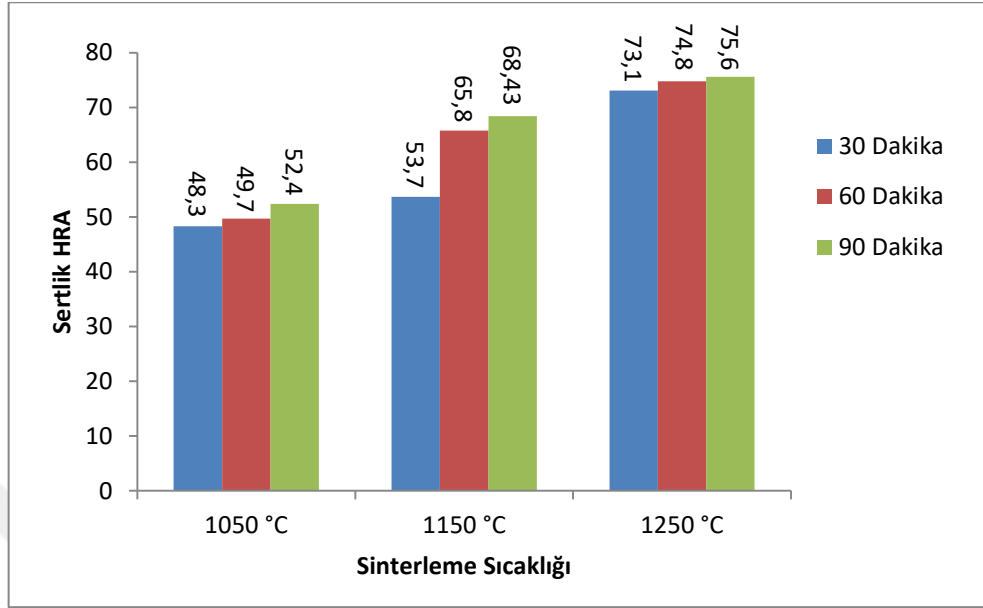
Şekil 5.8 %3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi

%3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2,0Cu kompozisyonuna ait sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkileri şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9 %3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi

%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2,0Cu kompozisyonuna ait sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkileri şekil 5.10’de verilmiştir.



Şekil 5.10 %4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu kompozisyonunda üretilen numunelerde sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisi

İkinci aşamada sinterleme sonrasında yapılan sertlik ölçümlerinde, 4 farklı kompozisyonda üretilen numunelere sinterleme süresinin ve sinterleme sıcaklığının sertlik değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Ölçümlerde numuneler herhangi bir yüzey sertleştirme işlemi uygulanmamış, sinterlenen numunelerden ölçümler alınmıştır. 7 numaralı kompozisyonda elde edilen en yüksek sertlik değeri 1250°C’de 90 dakikada sinterlenen numunede 54,48 HRA, 13 numaralı kompozisyonda elde edilen en yüksek sertlik değeri 1250°C’de 90 dakikada 65,5 HRA, 18 numaralı kompozisyonda elde edilen en yüksek sertlik değeri 1250°C’de 90 dakikada 67,5 HRA, 27 numaralı kompozisyonda elde edilen en yüksek sertlik değeri 1250°C’de 90 dakikada 75,6 HRA elde edilmiştir.

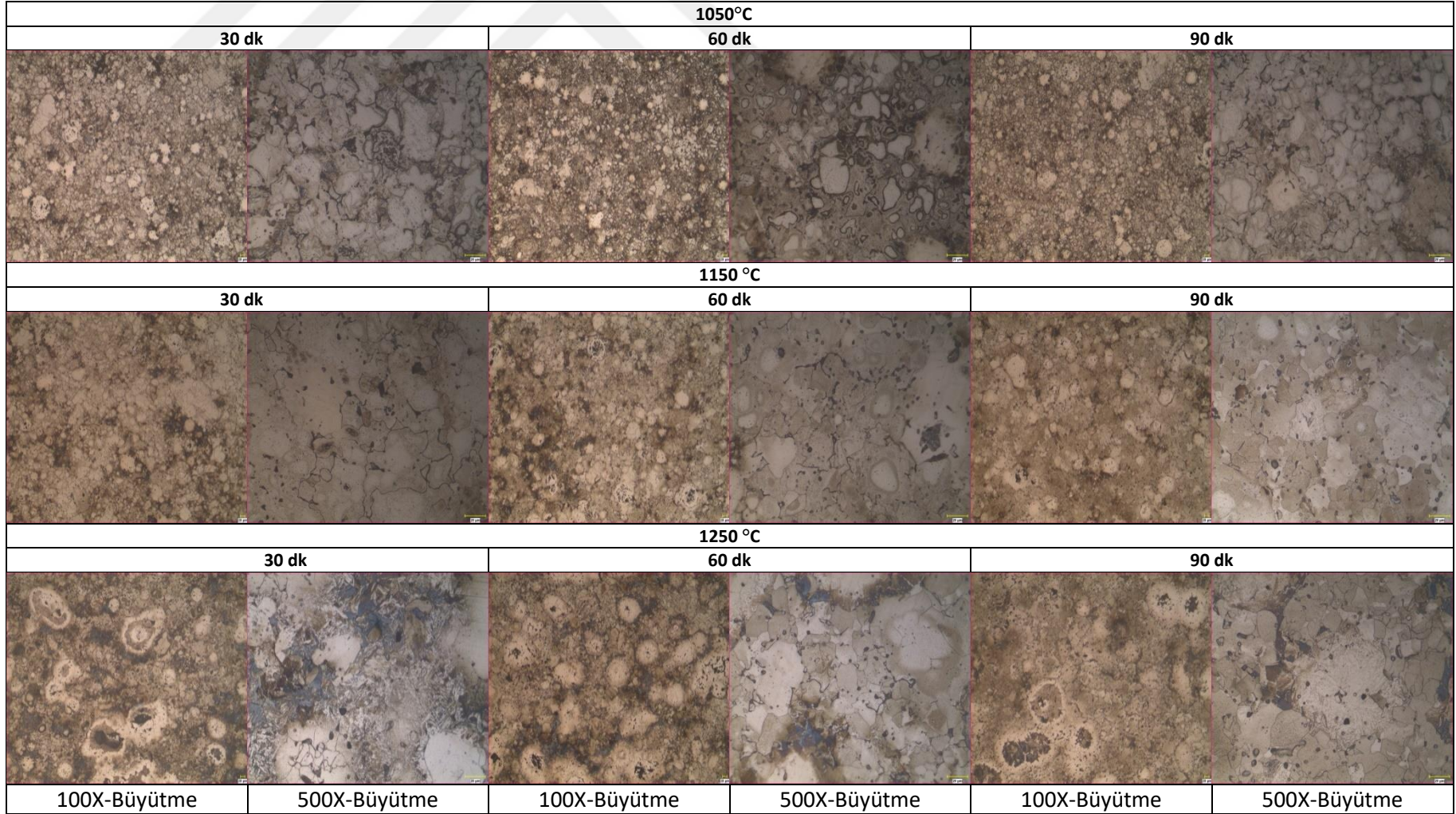
%1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%2,0Cu-Fe kompozisyonunda en düşük sertlik 1050°C’de 30 dakika sinterleme süresinde 35,57 HRA elde edilmiştir. Sinterleme süresinin ve sinterleme sıcaklığının artırılması ile sertlik 54,48 HRA’ya çıkmıştır. %3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2,0Cu-Fe kompozisyonunda en düşük sertlik 1050°C’de 30 dakika sinterleme süresinde 44,62 HRA elde edilmiştir. Sinterleme süresinin ve

sinterleme sıcaklığının arttırılması ile sertlik 65,5 HRA'ya çıkmıştır. %3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2,0Cu-Fe kompozisyonunda en düşük sertlik 1050°C'de 30 dakika sinterleme süresinde 42,4 HRA elde edilmiştir. Sinterleme süresinin ve sinterleme sıcaklığının arttırılması ile sertlik 67,5 HRA'ya çıkmıştır. %4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2,0Cu-Fe kompozisyonunda en düşük sertlik 1050°C'de 30 dakika sinterleme süresinde 48,3 HRA elde edilmiştir. Sinterleme süresinin ve sinterleme sıcaklığının arttırılması ile sertlik 75,6 HRA'ya çıkmıştır. Ni, Mo ve B miktarının yüksek olduğu 27 numaralı kompozisyonda en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. 4 farklı kompozisyonda üretilen numunelerin sertlik değerleri artan sinterleme sıcaklığına ve sinterleme süresi ile doğru orantılı olarak artış görülmüştür. En yüksek sertlik değeri 27 numaralı kompozisyonda 1250 °C'de 90 dakika sinterlenen numunede elde edilmiştir.

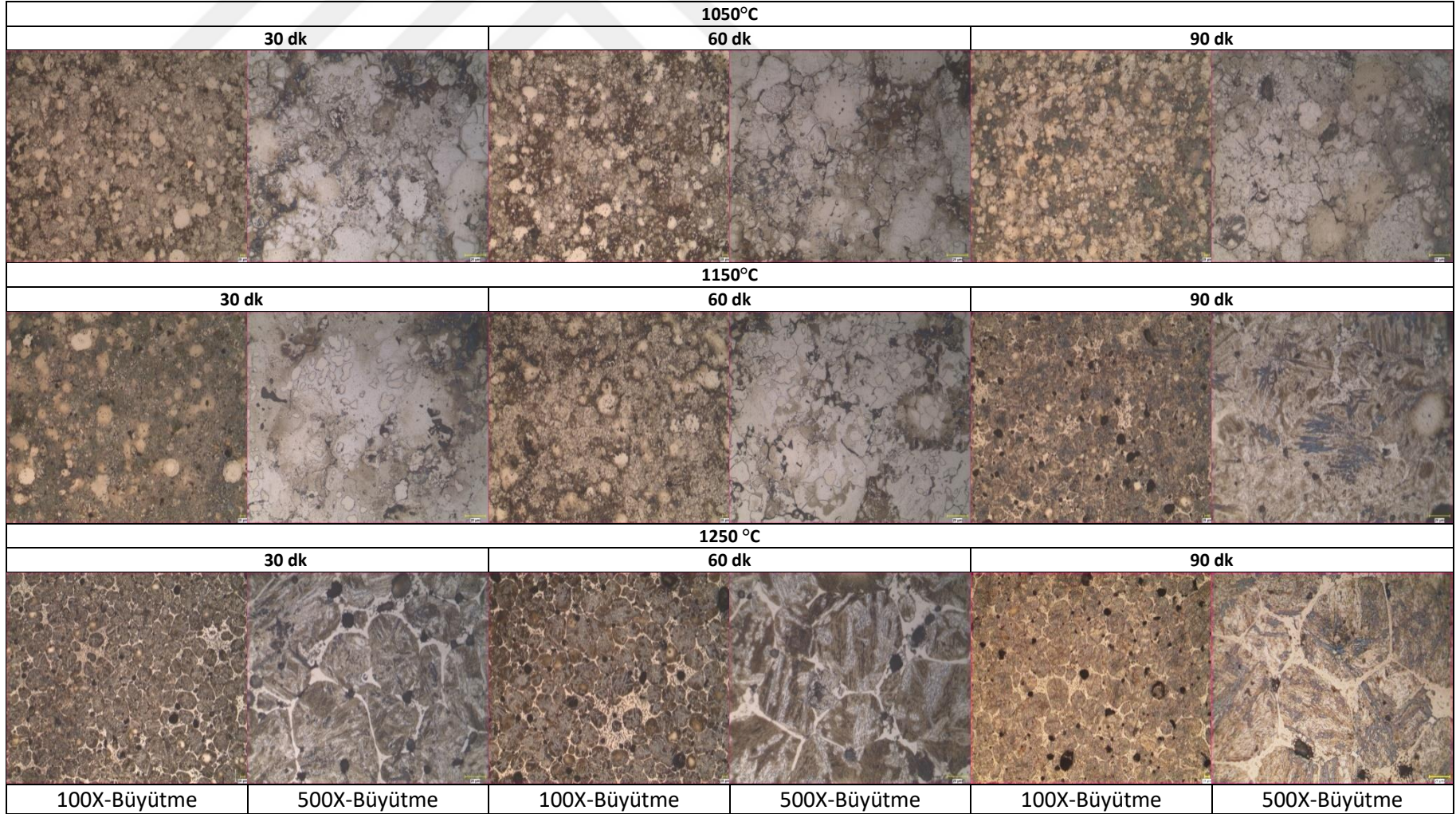
5.2.2 Metalografi Sonuçları

Mikroyapı görüntüleri sadece 2. aşamada 4 farklı kompozisyonun (7-13-18-27 nolu kompozisyonlar) 3 farklı sinterleme sıcaklığında ve 3 farklı sinterleme süresinde gerçekleştirilen üretilere ait numunelerden toplamda 36 numuneden alınmıştır. Numunelerden alınan mikroyapı görüntüleri şekil 5.11-5.12-5.13-5.14'de verilmiştir.

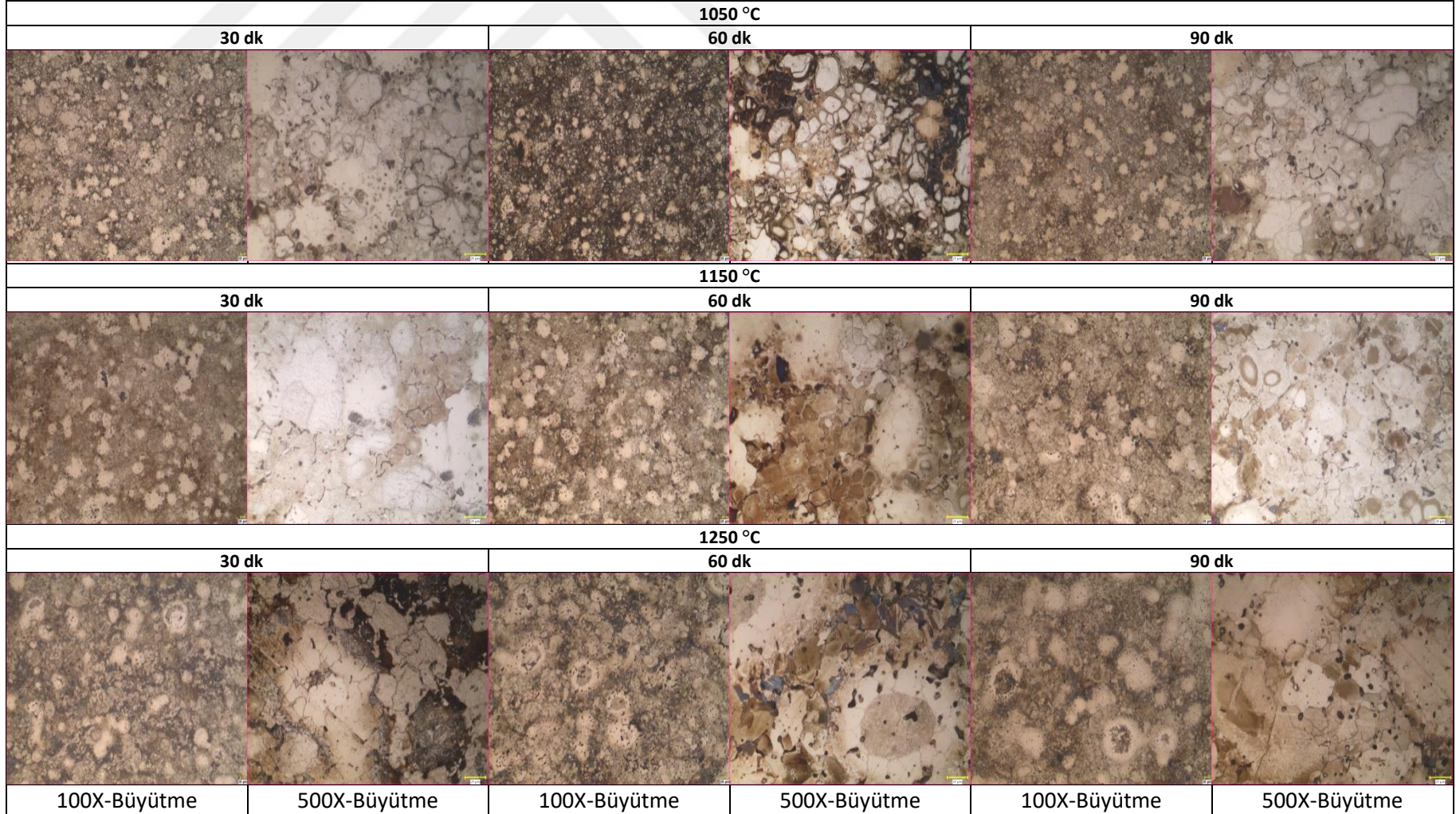
Şekil 5.11 % 1,5Ni-% 1,8Mo-% 0,2B-% 2Cu- %0.8C-%Fe içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları



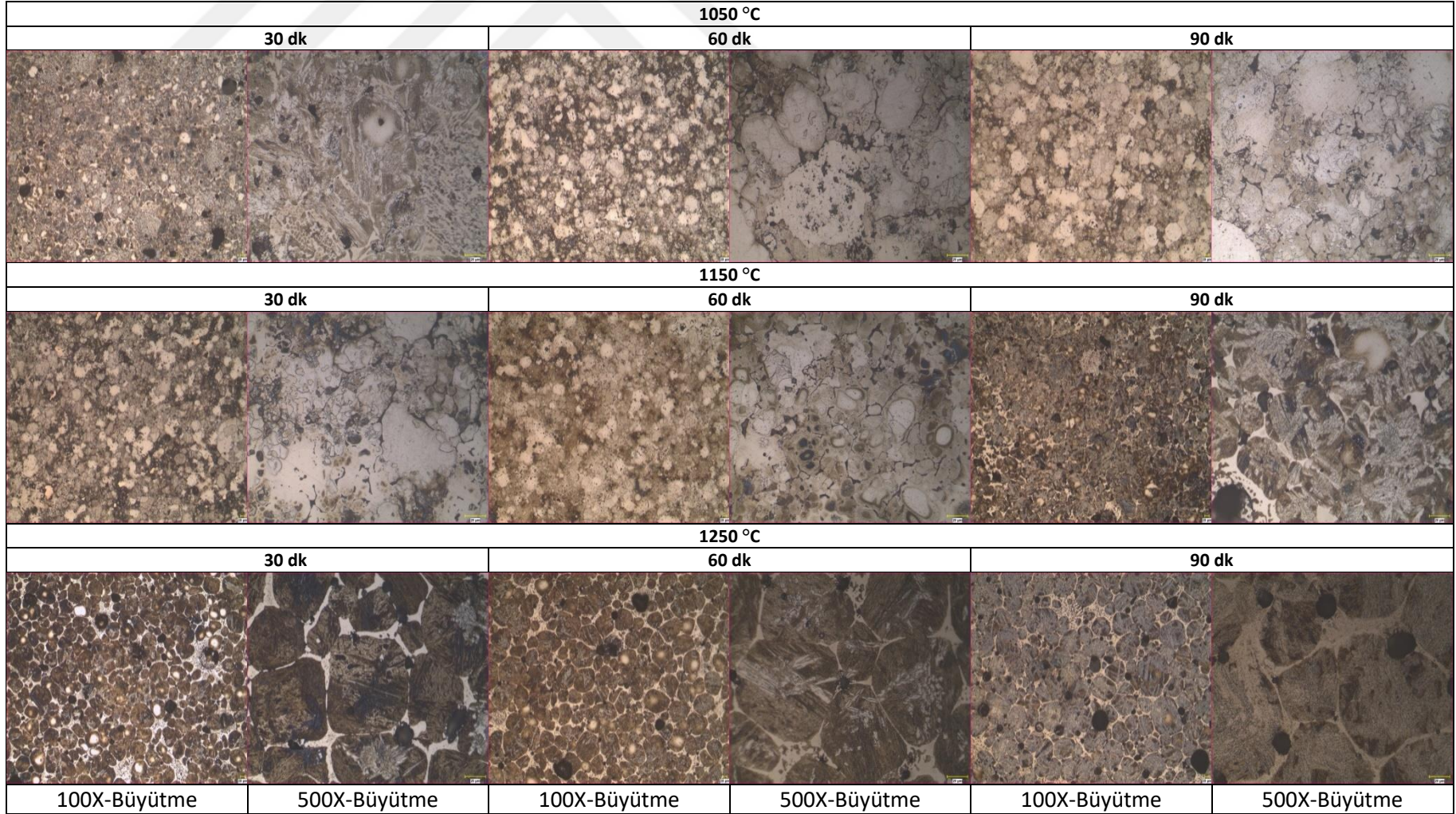
Şekil 5.12 %3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.13 %3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları



Şekil 5.14 %4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait 1050-1150-1250°C sıcaklıklarında ve 30-60-90 dk sinterleme sürelerindeki numunelerin mikroyapı fotoğrafları



Mikroyapı kontrolleri için 4 farklı kompozisyon ile üretilen numunelerin incelemesi gerçekleştirilmiştir. Kompozisyon içeriğinde Cu(bakır) ve C (karbon) ilaveleri sabit tutularak, Ni, Mo, B elementlerinin sinterleme sıcaklığı ve sinterleme sürelerinde mikroyapısal farklılıklarını gözlemlenebilmesi için mikroyapı fotoğrafları incelenmiştir.

%1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait mikroyapı fotoğrafları şekil 5.11'te verilmiştir. 3 farklı sinterleme sıcaklığında ve 3 farklı sinterleme süresinde nikel, bor ve molibden ilavelerinin farklılıkları gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda sinterlenen numunelerde sıvı faz oluşumunun yetersiz olduğu ve doldurulamayan gözenekler olduğu tespit edilmiştir. Bakırın arayerleri doldurduğu yapılar birbirinden ayrılmaktadır. Düşük sıcaklıklardaki ve düşük sürelerdeki sinterleme de molibden, nikel ve bor elementlerin etkileri tespit edilememiştir. Mikroyapıda ferrit, perlit yapıları görülmektedir. Düşük nikel ve bor miktarı, yüksek sinterleme sıcaklığında ve sinterleme süresinde dahi tane sınırlarını keskin bir şekilde belirgin olmamasına neden olmaktadır.

%3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait mikroyapı fotoğrafları şekil 5.12'te verilmiştir. 3 farklı sinterleme sıcaklığında ve 3 farklı sinterleme süresinde nikel, bor ve molibden ilavelerinin farklılıkları gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda matrix yapının östenitten 2. Faz olarak ferrit ve perlit yapılarının oluşumu görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan sinterleme işleminde tanelerin büyüdüğü görülmektedir. 1250 °C'de yapılan sinterleme işleminde tane büyüklükleri arasında fark görülmemektedir ancak 1150 °C'de 60 dakika sinterleme süresinden itibaren tanelerin birbirinden ayrıldığı tanelerin büyüdüğü görülmektedir.

%3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait mikroyapı fotoğrafları şekil 5.13'da verilmiştir. 3 farklı sinterleme sıcaklığında ve 3 farklı sinterleme süresinde nikel, bor ve molibden ilavelerinin farklılıkları gözlemlenmiştir. Sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin artması ile birlikte tanelerin büyüdüğü görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen sinterleme sıcaklıklarında tanelerin belirgin bir şekilde birbirinde ayrıldığı görülmektedir.

%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%Fe-%0,8C içeren kompozisyona ait mikroyapı fotoğrafları şekil 5.14'de verilmiştir. 3 farklı sinterleme sıcaklığında ve 3 farklı sinterleme süresinde nikel, bor ve molibden ilavelerinin farklılıkları gözlemlenmiştir. Yüksek nikel, molibden ve bor katkısı mikropıda perlit miktarının artmasına neden olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda bu oran artmaya devam etmiştir. Sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin artmasına bağlı olarak tane büyümesi doğru orantılı olarak devam etmiştir.

Sinterleme, sıcaklığındaki artışa paralel olarak malzemenin içerisinde fazların farklılaştığı görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının artışı malzemenin içerisinde bulunan bazı elementlerin difüzyon katsayılarını arttığından mikroyapı içerisinde daha geniş alana yayılmakta ve mikroyapı içerisinde daha sert yapıların oluşmasına ve oranlarının artışı sağlamaktadır.

Mikroyapıda homojen olarak boşluk dağılımının olduğu görülmektedir. Ancak gözeneklilik miktarının az olması boşluklu bir yapının olmadığı görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının 1050°C'den 1250°C'ye çıkması ile birlikte genel olarak %perlit miktarı artmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü sinterleme sıcaklıklarının artması ile tane büyümesi gerçekleştiği için ferritin çekirdekleşmesinde önemli olan tane sınırı sayısı düşmüştür.

5.3 Üçüncü Aşama Deney Sonuçları

İkinci aşamada gerçekleştirilen deneylerde farklı sinterleme sıcaklıklarında (1050-1150-1250°C) ve sinterleme sürelerinde (30-60-90 dk) üretilen numunelerden, 18 adet farklı koşulları ile üretilen numune seçilmiştir. Seçilen numunelerin aşınma dayanımları, SEM-EDX ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen parametrelerde; %1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%2Cu-Fe kompozisyonunda 90 dakika sinterleme süresinde sinterleme sıcaklıklarının (1050-1150-1250°C) farklılıklarını görmek için seçilen numuneler, %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-Fe kompozisyonunda 90 dakika sinterleme süresinde sinterleme sıcaklıklarının (1050-1150-1250°C) farklılıklarını görmek için seçilen numuneler, %3Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-Fe kompozisyonunda 90 dakika sinterleme süresinde sinterleme sıcaklıklarının (1050-1150-1250°C) farklılıklarını görmek için numuneler seçilmiştir. Ayrıca %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-Fe kompozisyonu ile %3Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-Fe kompozisyonu arasındaki farklı %Mo ve %B farklılıklarını görebilmek için karşılaştırmalar yapılmıştır.

%4,5Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-Fe kompozisyonu ile üretilen tüm numuneler hem sinterleme sıcaklığının, hem de sinterleme süresinin farkını görmek için seçilmiştir.

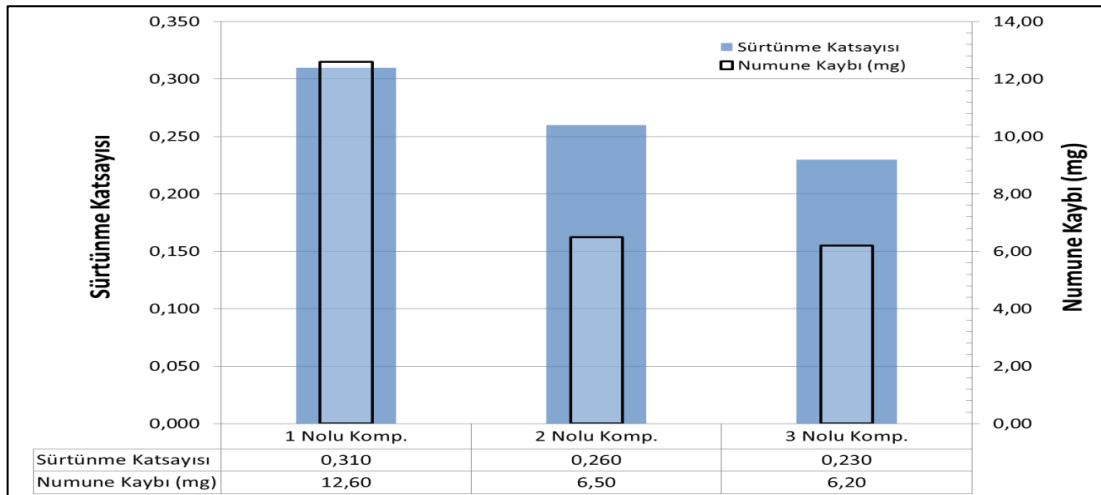
Aşınma dayanımı, SEM-EDX ve XRD analizleri için seçilen numuneler çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Aşınma dayanımı, SEM-EDX ve XRD analizleri için seçilen numuneler

Sıra No	Kimyasal Kompozisyon						Sinterleme Sıcaklığı C°	Sinterleme Süresi
	%Ni	%Mo	%B	%Cu	%C	%Fe		
1	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1050	90 dk
2	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1150	90 dk
3	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1250	90 dk
4	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1050	90 dk
5	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1150	90 dk
6	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1250	90 dk
7	3	1,8	1	2	0,8	91.4Kalan	1050	90 dk
8	3	1,8	1	2	0,8	91.4Kalan	1150	90 dk
9	3	1,8	1	2	0,8	91.4Kalan	1250	90 dk
10	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	30 dk
11	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	60 dk
12	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	90 dk
13	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	30 dk
14	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	60 dk
15	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	90 dk
16	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	30 dk
17	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	60 dk
18	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	90 dk

5.3.1 Aşınma deney sonuçları

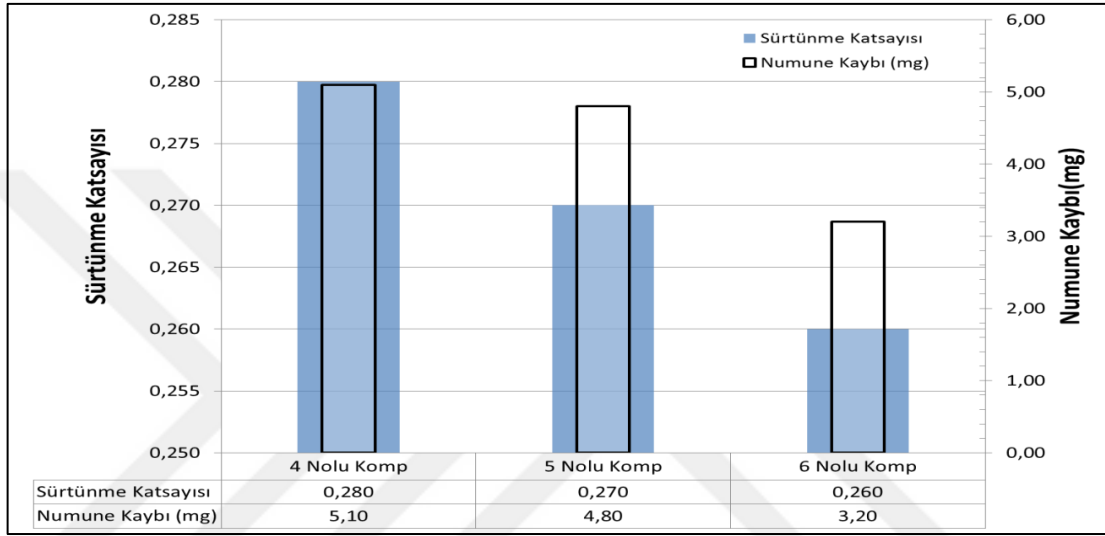
% 1,5Ni-% 1,8Mo-%0,2B-%2Cu-%Fe-%0,8C kompozisyonuna ait 1050-1150-1250° sinterleme sıcaklıklarında 90 dakika sinterleme süresinde üretilen numunelere ait aşınma deney sonuçları şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15 % 1,5Ni-% 1,8Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri

1050 °C ‘de 90 dakika sinterlenen numunelerde numune kaybı 12,6 mg, sürtünme katsayısı 0.28, 1150 °C’de sinterlenen numunede 6.5 mg, sürtünme katsayısı 0.27, 1250 °C’de sinterlenen numunede 6.2 mg, sürtünme katsayısı 0.26 elde edilmiştir.

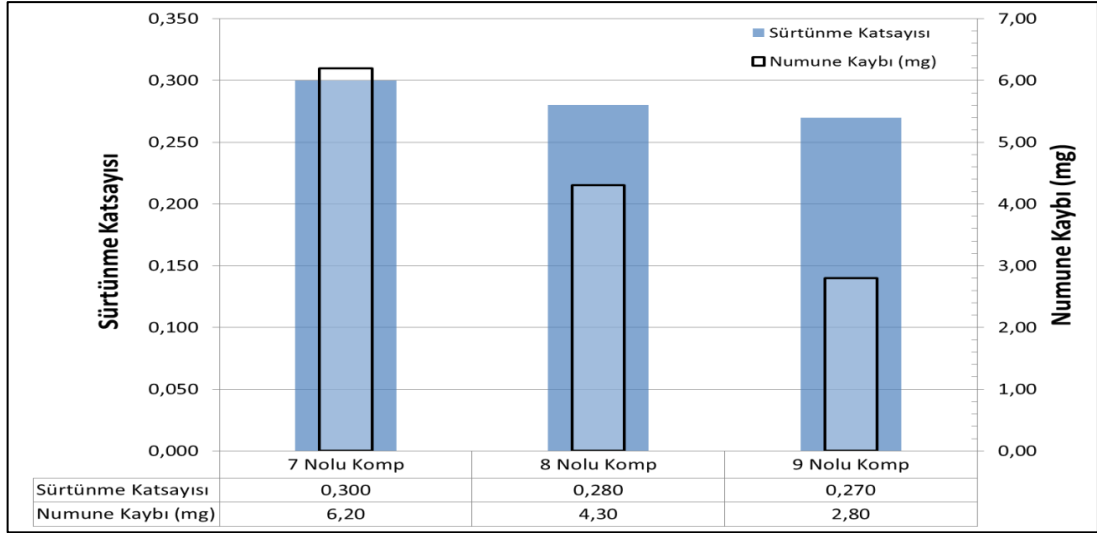
%3,0Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe kompozisyonuna ait 1050-1150-1250° sinterleme sıcaklıklarında 90 dakika sinterleme süresinde üretilen numunelere ait aşınma deney sonuçları şekil 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.16 %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri

1050 °C ‘de 90 dakika sinterlenen numunelerde numune kaybı 5,1 mg, sürtünme katsayısı 0.28, 1150 °C’de sinterlenen numunede 4.8 mg, sürtünme katsayısı 0.27, 1250 °C’de sinterlenen numunede 3.2 mg, sürtünme katsayısı 0.26 elde edilmiştir.

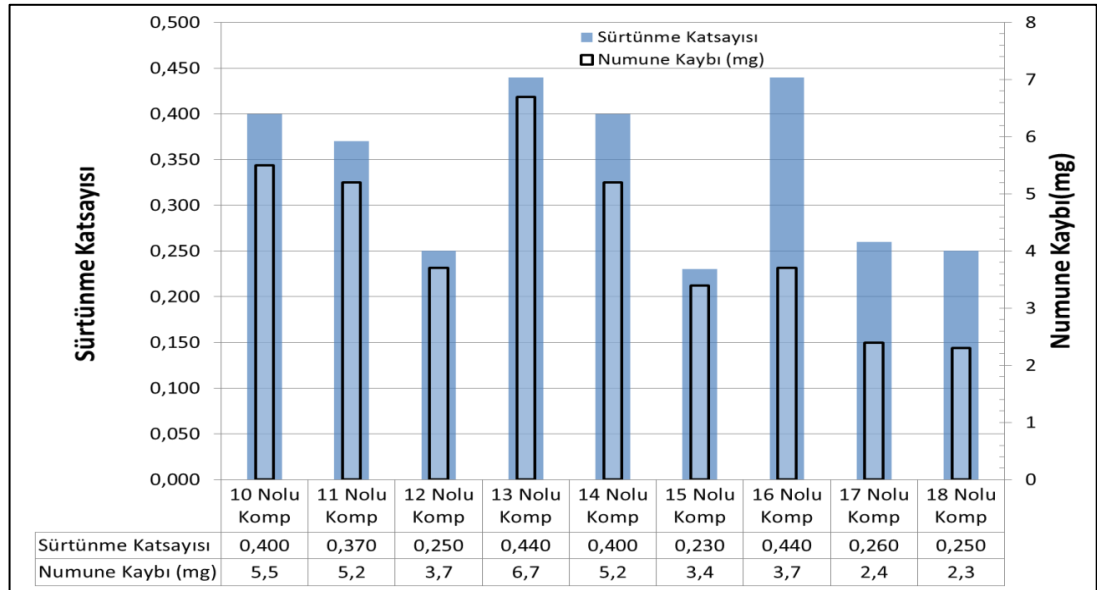
%3,0Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe kompozisyonuna ait 1050-1150-1250° sinterleme sıcaklıklarında 90 dakika sinterleme süresinde üretilen numunelere ait aşınma deney sonuçları şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17 %3Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri

1050 °C ‘de 90 dakika sinterlenen numunelerde numune kaybı 6,2 mg, sürtünme katsayısı 0,3, 1150 °C’de sinterlenen numunede 4,3 mg, sürtünme katsayısı 0,28, 1250 °C’de sinterlenen numunede 2,8 mg, sürtünme katsayısı 0,27 elde edilmiştir.

%4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe kompozisyonuna ait 1050-1150-1250 °C’de sinterleme sıcaklıklarında 30-60-90 dakika sinterleme süresinde üretilen numunelere ait aşınma deney sonuçları şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 30-60-90 dk sinterleme süresindeki numunelerin aşınma özellikleri

1050 °C 'de 30 dakika sinterlenen numunelerde numune kaybı 5,5 mg, sürtünme katsayısı 0.4, 60 dakika sinterlenen numunede 5.2 mg, sürtünme katsayısı 0.37, 90 dakika sinterlenen numunede 3.7 mg, sürtünme katsayısı 0.25 elde edilmiştir. 1150 °C 'de 30 dakika sinterlenen numunelerde numune kaybı 6,7 mg, sürtünme katsayısı 0.44, 60 dakika sinterlenen numunede 5.2 mg, sürtünme katsayısı 0.4, 90 dakika sinterlenen numunede 3.4, sürtünme katsayısı 0.23 mg elde edilmiştir. 1250 °C 'de 30 dakika sinterlenen numunelerde numune kaybı 3.7 mg, sürtünme katsayısı 0.44, 60 dakika sinterlenen numunede 2.4 mg, sürtünme katsayısı 0.26, 90 dakika sinterlenen numunede 2.3, sürtünme katsayısı 0.25 elde edilmiştir.

Kompozisyonlara değişkenlik gösteren molibden, nikel ve bor oranları artan sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine bağlı olarak malzemenin mukavemetini ve sertliğini arttırmıştır. Parçaların soğuma hızları fırın atmosferinde eşit tutularak soğumalar gerçekleştirilmiştir. Molibden miktarının artması parçaların aşınma dayanımlarında artış göstermiştir. Molibdenin aşınma dayanımının yüksek olması buna etki etmektedir. Numunelerdeki aşınma miktarının azalması nikel miktarının artması ile doğru orantılıdır. Kompozisyonlardaki bor miktarının artması, yüksek sıcaklıklarda sinterlenen numunelerde aşınma dayanımını arttırmıştır. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen denemelerde Ni-Mo ve Ni-B intermetalik alaşımların oluşması sağlanmış ve aşınma dayanımları artmıştır. Sürtünme katsayısı numunelerde meydana gelen numune kaybının azalması ile azalmıştır. Çalışmalarda sürtünme katsayısı arayüzey sıcaklığına bağlı olarak azaldığı düşünülmektedir. Parçanın sertliğinin artması ile birlikte parça yüzeylerinde meydana gelen aşınmalarda, aşınma yüzeylerinden alınan fotoğraflarda da yüzeyde oluşan oksit tabakasının kopan parçaları parça yüzeyine sıvadığı görülmektedir. Bu da ağırlık kaybının azalması ile birlikte sürtünme katsayısının düştüğünü göstermektedir.

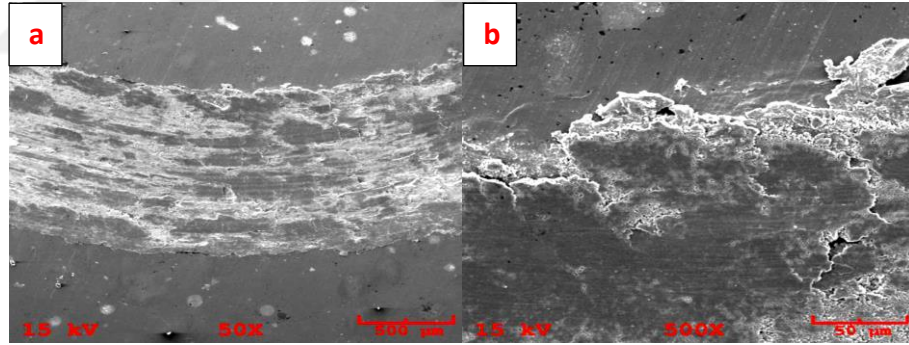
5.3.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları

5.3.2.1 Aşınma yüzeyleri sem analizi

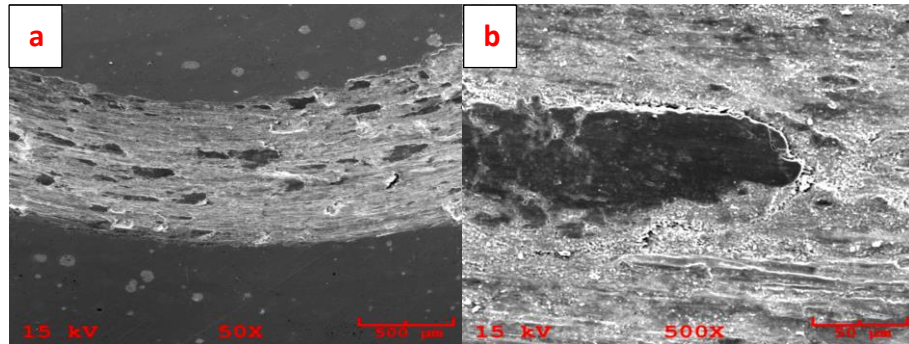
Belirlenen 18 adet numunenin aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için aşınma yüzeylerinden SEM analizi yapılmıştır. Analizler için Kocaeli üniversitesi Metalurji ve malzeme mühendisliği Laboratuvarlarındaki taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. SEM analizinde kullanılan numunelere ait liste çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 SEM analizinde kullanılan numunelerin içeriği ve proses detayları

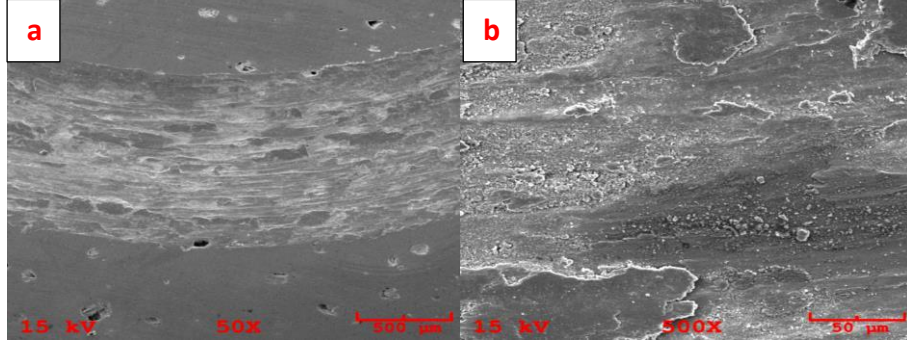
Numune	Kimyasal Kompozisyon						Sinterleme Sıcaklığı C°	Sinterleme Süresi
	%Ni	%Mo	%B	%Cu	%C	%Fe		
1	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1050	90 dk
2	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1150	90 dk
3	1,5	1,8	0,2	2	0,8	93.7:Kalan	1250	90 dk
4	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1050	90 dk
5	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1150	90 dk
6	3	1,2	0,2	2	0,8	92.8:Kalan	1250	90 dk
7	3	1,8	1	2	0,8	91.4Kalan	1050	90 dk
8	3	1,8	1	2	0,8	91.4Kalan	1150	90 dk
9	3	1,8	1	2	0,8	91.4Kalan	1250	90 dk
10	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	30 dk
11	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	60 dk
12	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1050	90 dk
13	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	30 dk
14	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	60 dk
15	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1150	90 dk
16	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	30 dk
17	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	60 dk
18	4,5	1,8	1	2	0,8	89.9:Kalan	1250	90 dk



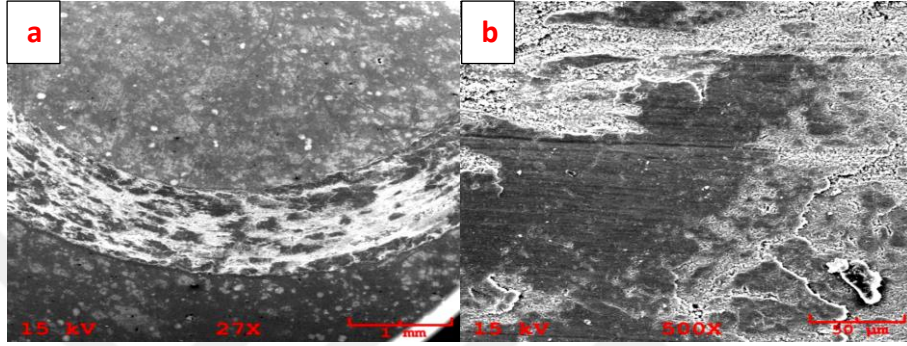
Şekil 5.19 Numune 1'in aşınma izi (SEM); genel görünüm (a)-detay görünüm (b)



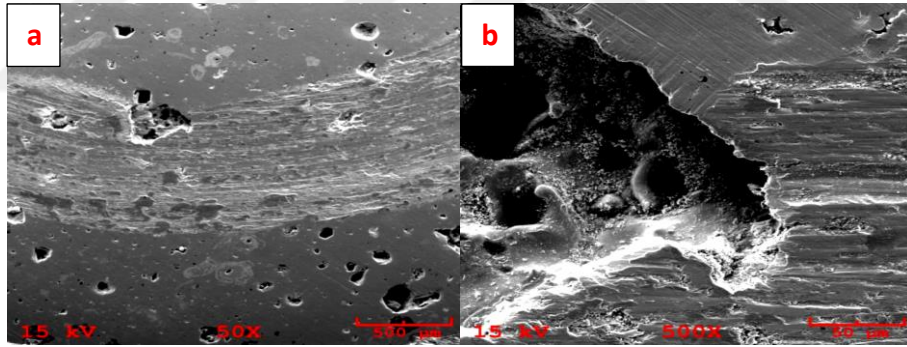
Şekil 5.20 Numune 2'nin aşınma izi (SEI); genel görünüm (a)-detay görünüm (b)



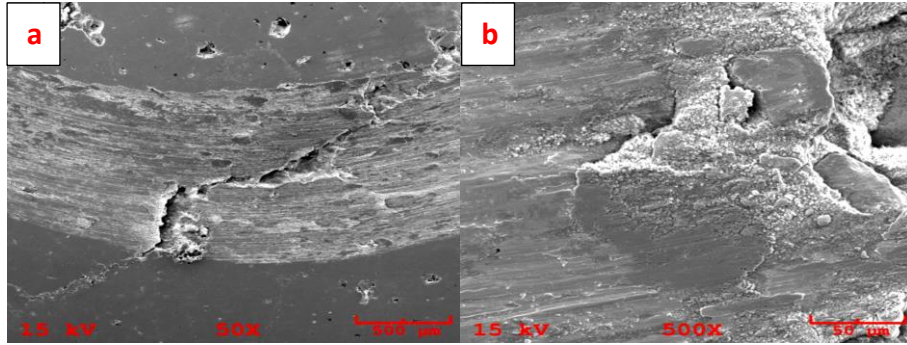
Şekil 5.21 Numune 3'ün aşınma izi (SEI); genel görünümü (a)-detay görünüm (b)



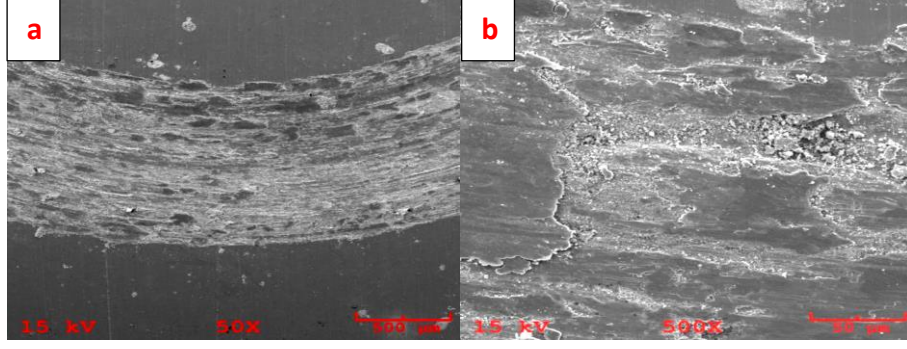
Şekil 5.22 Numune 4'ün aşınma izi (SEI); genel görünüm(a)- detay görünüm (b)



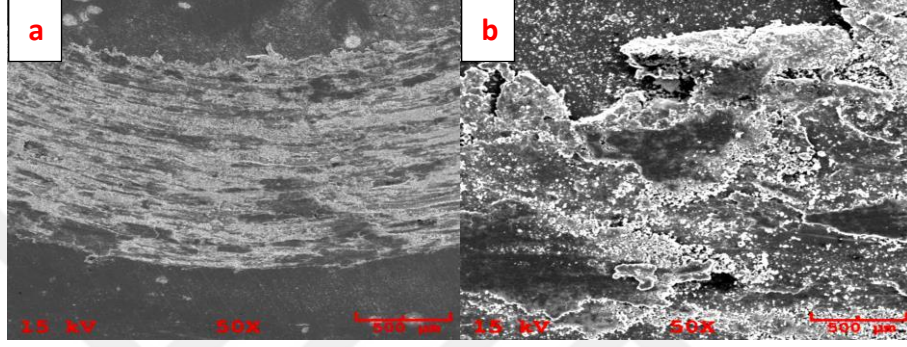
Şekil 5.23 Numune 5'in aşınma izi (SEI); genel görünüm(a)-detay görünüm (b)



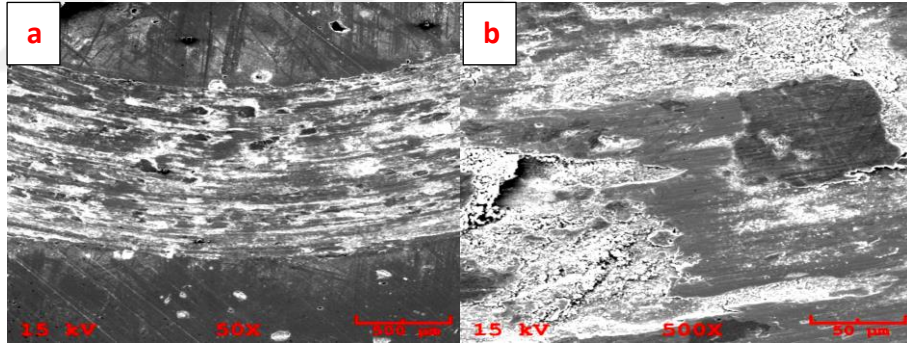
Şekil 5.24 Numune 6'nın aşınma izi (SEI); genel görünüm(a)- detay görünüm (b)



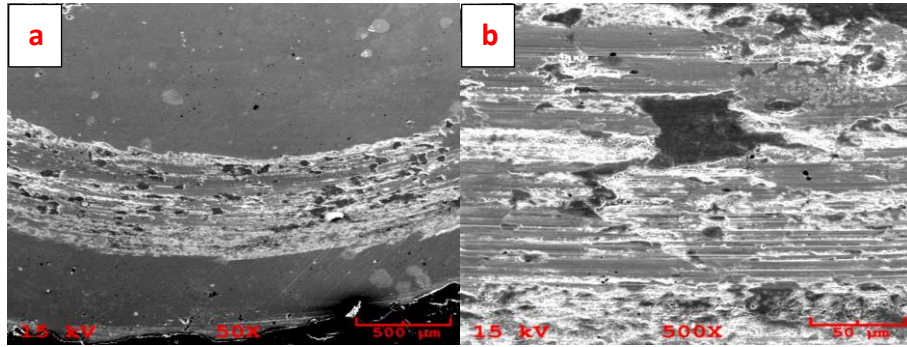
Şekil 5.25 Numune 7'nin aşınma izi (SEI); genel görünüm(a)- detay görünüm (b)



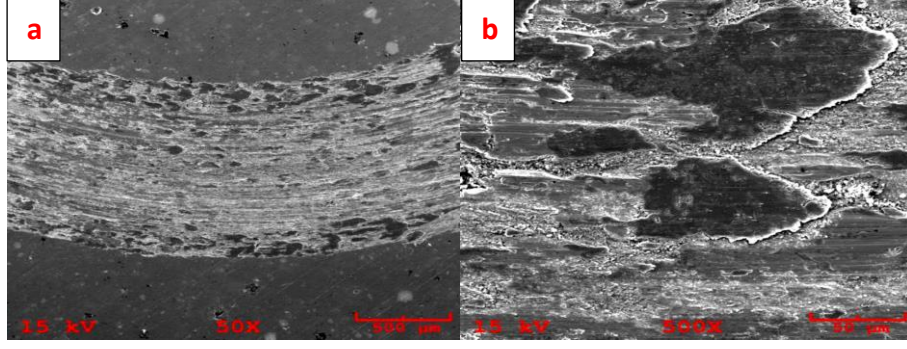
Şekil 5.26 Numune 8'in aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)-detay görünüm (b).



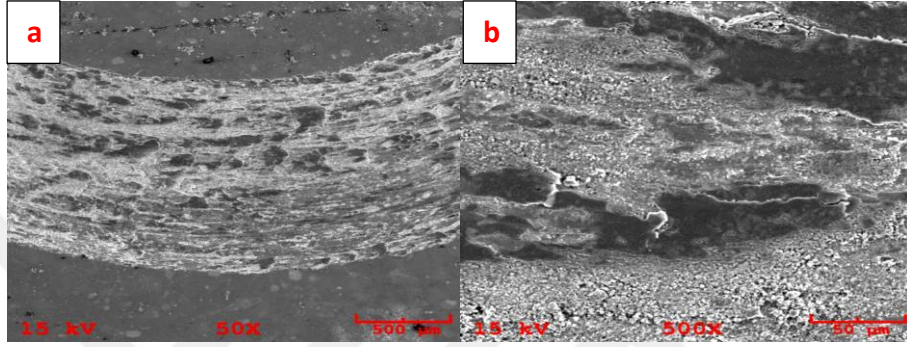
Şekil 5.27 Numune 9'un aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)-detay görünüm (b).



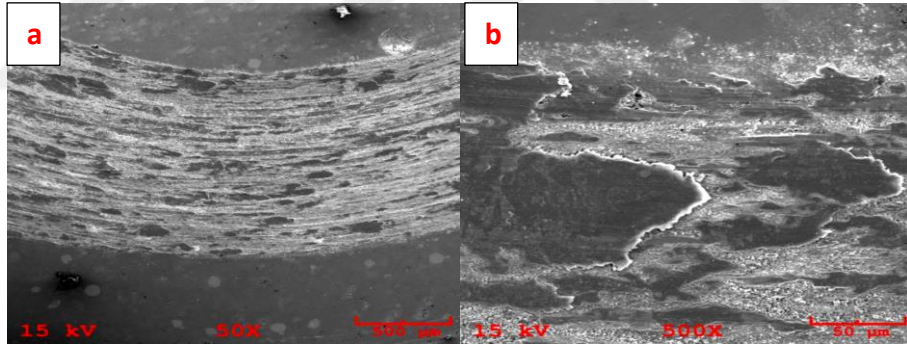
Şekil 5.28 Numune 10'un aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)-detay görünüm (b).



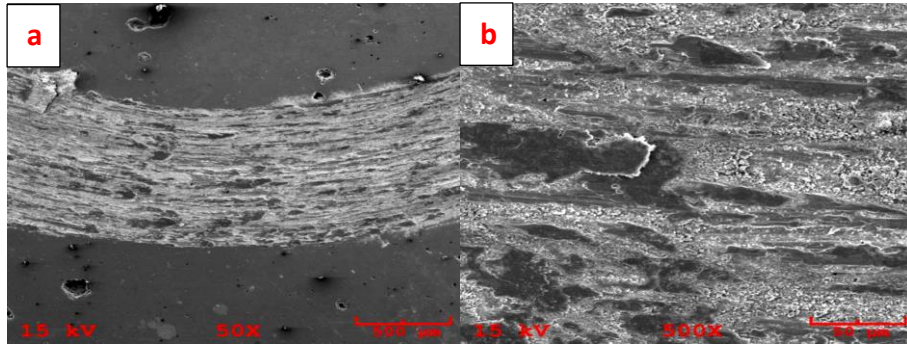
Şekil 5.29 Numune 11'in aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)-detay görünüm (b).



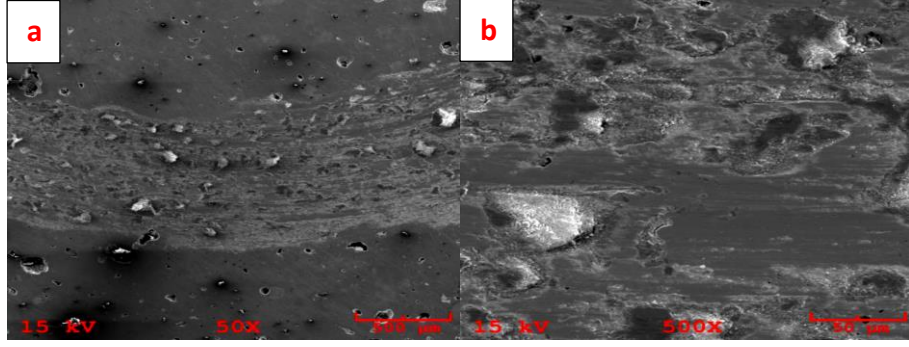
Şekil 5.30 Numune 12'nin aşınma izi (SEI); genel görünüm (a)- detay görünüm (b)



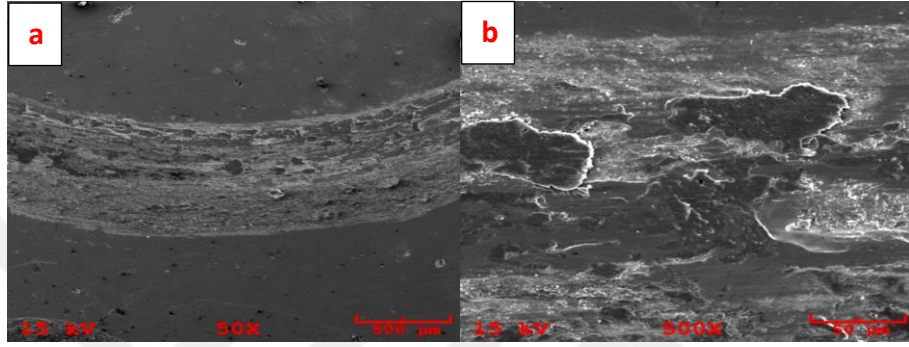
Şekil 5.31 Numune 13'ün aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)- detay görünüm (b).



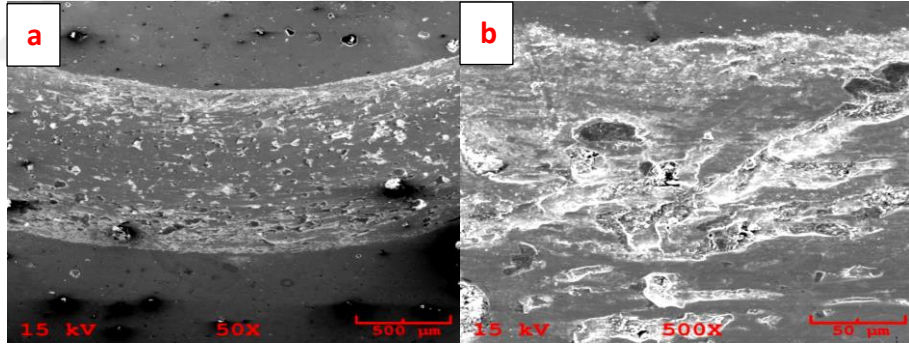
Şekil 5.32 Numune 14'ün aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)- detay görünüm (b).



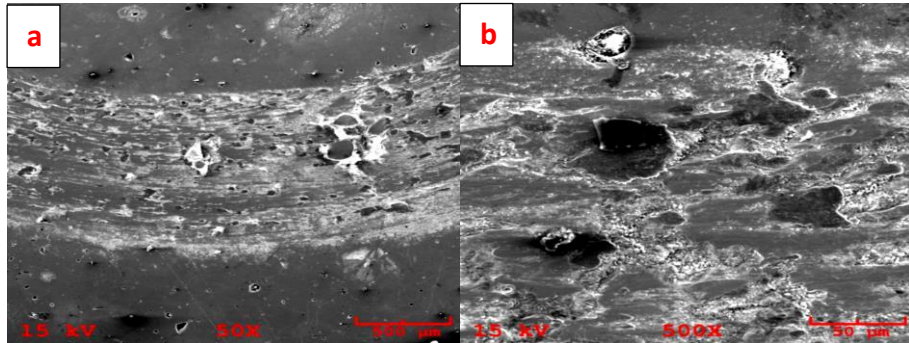
Şekil 5.33 Numune 15'in aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)- detay görünüm (b).



Şekil 5.34 Numune 16'nın aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)- detay görünüm (b).



Şekil 5.35 Numune 17'nin aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)-detay görünüm (b).



Şekil 5.36 Numune 18'in aşınma izi (SEM); genel görünüm(a)-detay görünüm (b).

SEM analizlerinde numunelerden 50X ve 500X büyütmelelerdeki görüntüler üzerinden yapılmıştır. Aşınmaya maruz bırakılan parçalarının ve aşındırıcı disk tabakalarında oluşan aşınma tipi ağırlıklı olarak abraziv aşınmasıdır, kısmen de adheziv aşınma izlerine rastlanmıştır. Üretilen parçaların toz metalurjisi ile üretilmesi dolayısıyla partikül esaslı olması abraziv aşınma tipine daha yatkın olduğunun göstergesidir. Düşük sinterleme sıcaklıklarında ve sinterleme sürelerinde üretilen numunelerin aşınma miktarlarının fazla olması, aşınma deneylerinde gösterdiği gibi SEM görüntülerinde de aşınma yoğunluğunun ve derinliğinin diğer numunelere göre daha ağır ve yoğun aşınma izleri taşıdığı ile de tespit edilmiştir. Ağırlıklı tespit edilen abraziv aşınma türünün oluşumunda T/M yöntemi ile üretilmesinin etkisi çok fazladır. Nedeni ise her ne kadar bu yöntem küçük toz tanelerinin birbirine bağlanması işlemi olarak uygulanırsa da toz taneler ileri aşınma kuvvetlerine maruz bırakıldıklarında birbirleri arasındaki bağ kuvveti zayıflar ve birbirlerinden koparak yüzeyler arasında sıkışır ve abraziv aşınmanın temelini oluştururlar.

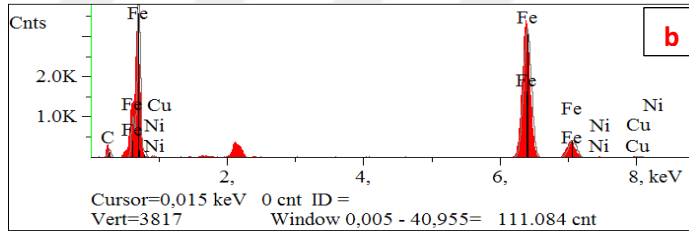
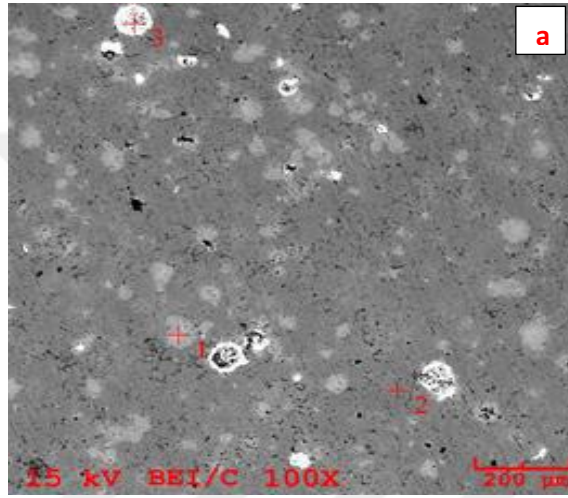
Aşınma yüzeyinden alınan SEM analizlerinde parça yüzeylerinde boşluk bulunmadığı ve yoğun bir yüzey morfolajisi olduğu görülmektedir. Aşınan yüzeylerinden kesilen parçaların çok ince olması ve daha sonra yüzeye yapışması ile aşınan yüzeyler doldurulabilir. Numune içerisinde bulunan demir karbür fazının aşınma direnci daha yüksek olduğundan aşınma esnasında aşınma çifti yüzeyleri kayma eğilimindedir. Sürtünme malzemelerinin aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntülerinde bütün malzemelerde aynı aşınma mekanizmalarının olduğu ve sürtünme malzemenin sertlik miktarının artmasına bağlı olarak aşınma çizgilerinin derinliğinin azaldığı görülmektedir. SEM fotoğraflarında aşınma çizgileri aşınma yönüne paralel ve dik konumda görünmektedir. Aşınma yüzeyine dik olarak görünen çizgiler ve renk tonlarındaki farklılıklar parça yüzeyinde oksit tabakasından kaynaklanmaktadır ve kopan parçaların yüzeye sıvanması farklı renk tonlarının oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca aşınma ile birlikte numune yüzeylerinde çizikler, çatlaklar ve çukurlaşmalar izlenerek aşınma yüzeylerinde yapışmalar olduğu gözlemlenmiştir.

5.3.3 Noktasal analiz (SEM+EDS) sonuçları

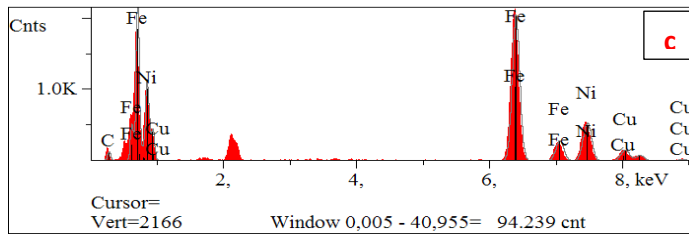
1. Aşamada üretilen deney numunelerinin elementel kompozisyonları tanımlamak için seçilen 18 adet numuneye EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Numuneler analizle için

bakalite alınmış ve numune yüzeyleri parlatılarak uygun bir yüzey elde edilmiştir. Analizler için Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarındaki taramalı elektron mikroskobu kullanılarak SEM+EDS ölçümleri yapılmıştır.

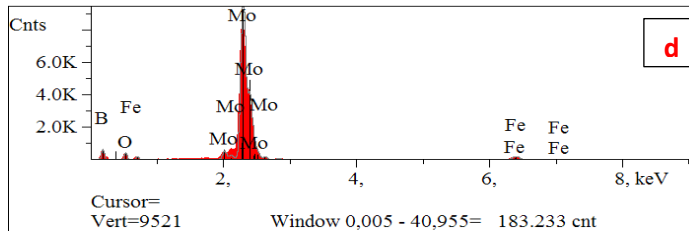
Görüntüleme modu olarak SEI (ikincil elektron görüntülemesi) tercih edilmiş olup, ivmelendirme voltajı 15 kV, çalışma mesafesi (WD) 14 mm olarak belirlenmiştir. Geri saçılmış elektron görüntülemesi (BEI-Compo) modunda alınan görüntüler malzeme kesitindeki materyal kontrast etkisini gayet güzel bir biçimde ortaya koymuştur.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,874	wt.%	0,321
Fe	58,142	wt.%	0,276
Ni	28,389	wt.%	0,414
Cu	11,596	wt.%	0,518
	100,000	wt.%	



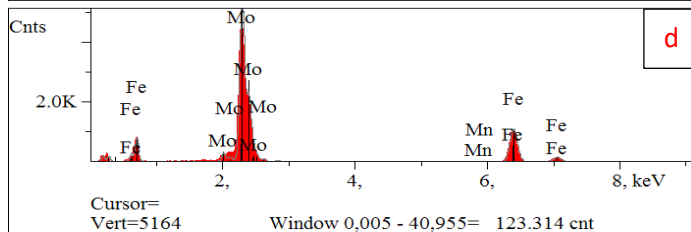
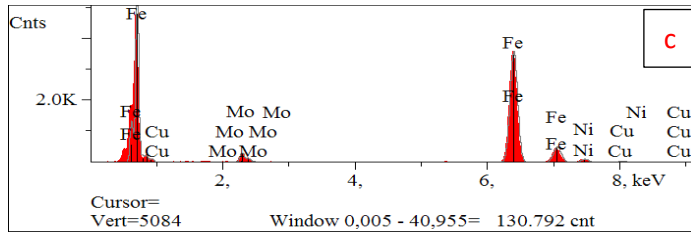
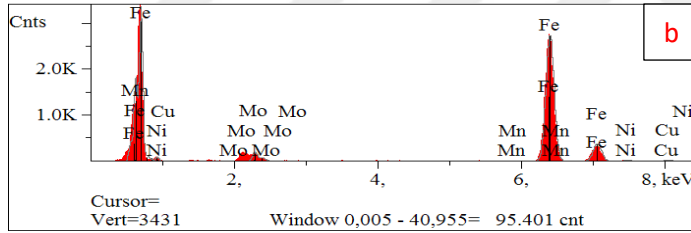
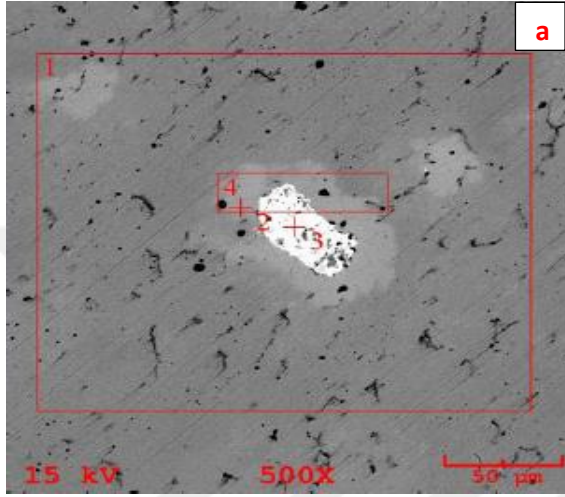
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,448	wt.%	0,343
Fe	93,777	wt.%	0,285
Ni	1,157	wt.%	0,390
Cu	2,618	wt.%	0,503
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
O	4,038	wt.%	0,220
Fe	3,469	wt.%	0,197
Mo	92,493	wt.%	0,194
	100,000	wt.%	

Şekil 5.37 % 1,5Ni-% 1,8Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1050°C-90 dk'da üretilen numunenin SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizleri.

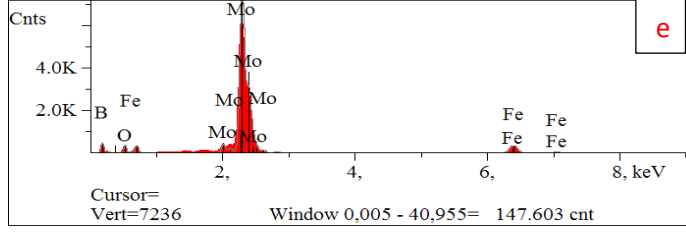
Şekil 5.37'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 3 bölgeden analiz alınmıştır. Ölçümde yapılan faz analizinde 1 nolu spottaki faz gri olarak görülmektedir. Açık renkte görülen kısım molibden elementi olarak tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen üretimde molibden elementinin çözünmeden kaldığı görülmüştür. Bor elementinin % değerinin çok az olması spot analizinde tespit edilememesine neden olmuştur. Nikel miktarında düşük sıcaklıkta sinterlemeden dolayı tam olarak çözünmeden kaldığı görülmektedir.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,000	wt.%	0,000
Mn	0,132	wt.%	0,224
Fe	92,159	wt.%	0,302
Ni	1,648	wt.%	0,418
Cu	1,623	wt.%	0,546
Mo	3,438	wt.%	0,344
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,238	wt.%	0,264
Fe	88,385	wt.%	0,260
Ni	4,687	wt.%	0,340
Cu	2,780	wt.%	0,458
Mo	3,910	wt.%	0,289
	100,000	wt.%	

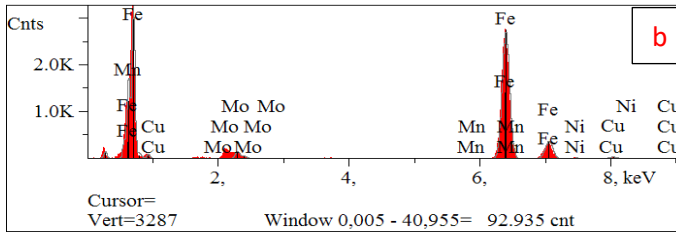
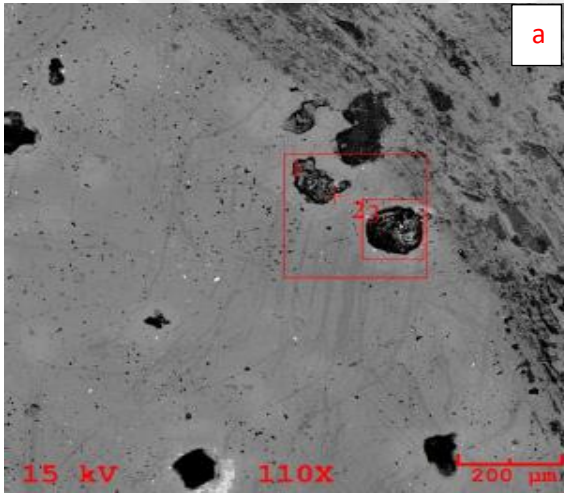
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	3,891	wt.%	0,458
Mn	0,146	wt.%	0,195
Fe	26,176	wt.%	0,230
Mo	69,787	wt.%	0,237
	100,000	wt.%	



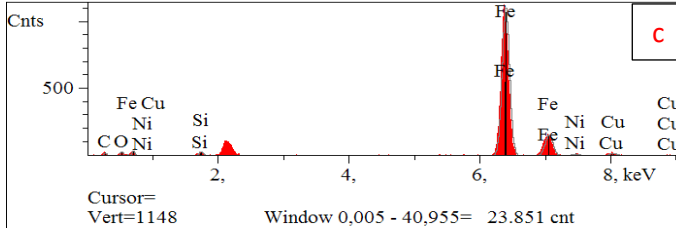
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
C	1,204	wt.%	0,486
O	3,972	wt.%	0,225
Fe	7,742	wt.%	0,209
Mo	87,083	wt.%	0,196
	100,000	wt.%	

Şekil 5.38 % 1,5Ni-% 1,8Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-90 dk'da üretilen SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d) ve 4 nolu spot (e) EDX analizleri.

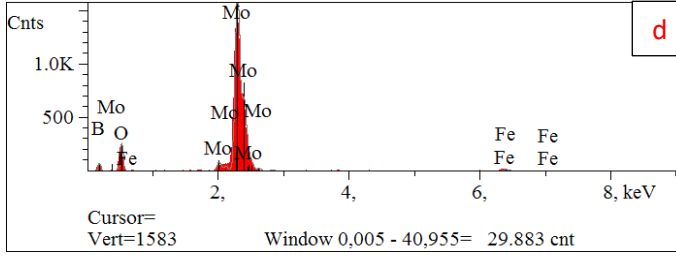
Şekil 5.38'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 bölgeden analiz alınmıştır. Ölçümde yapılan faz analizinde 1 nolu spottaki faz gri olarak görülmekte, açık renkte görülen kısım molibden elementi olarak tespit edilmiştir. Genel alınan spotta çözünyene molibden elementi tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıkta yapılan üretimde sinterleme sıcaklığının yetersiz olduğu düşünülmektedir.



Elt.	Conc	Units	MDL3-sig
C	2,339	wt.%	0,338
Mn	0,181	wt.%	0,225
Fe	90,443	wt.%	0,296
Ni	1,148	wt.%	0,419
Cu	3,275	wt.%	0,552
Mo	2,615	wt.%	0,346
	100,000	wt.%	



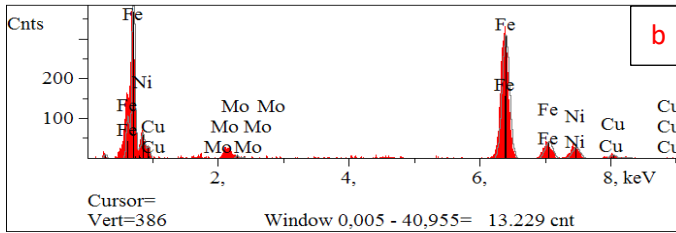
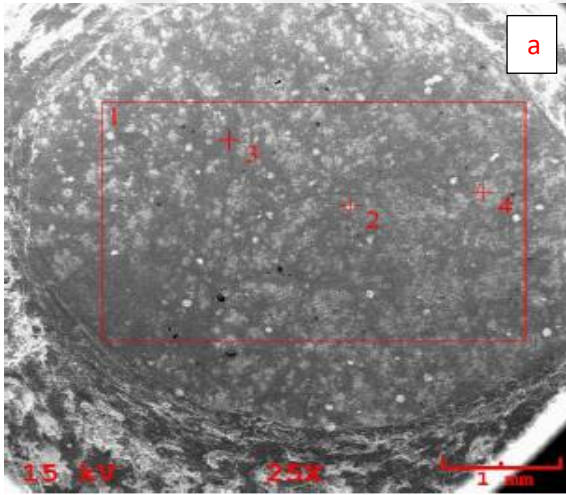
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,689	wt.%	0,162
O	0,428	wt.%	0,055
Si	0,457	wt.%	0,090
Fe	92,755	wt.%	0,478
Ni	1,798	wt.%	0,736
Cu	3,872	wt.%	0,969
	100,000	wt.%	



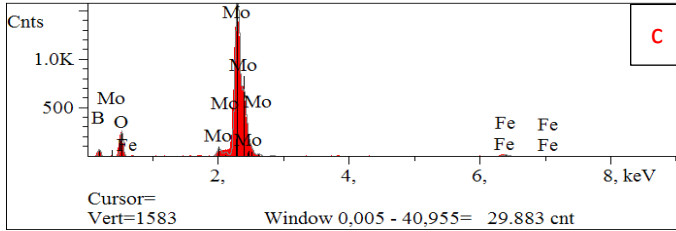
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
O	12,891	wt.%	0,478
Fe	1,905	wt.%	0,434
Mo	85,203	wt.%	0,522
	100,000	wt.%	

Şekil 5.39 % 1,5Ni-% 1,8Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-90 dk'da üretilen SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c) ve 3 nolu spot (d) EDX analizi.

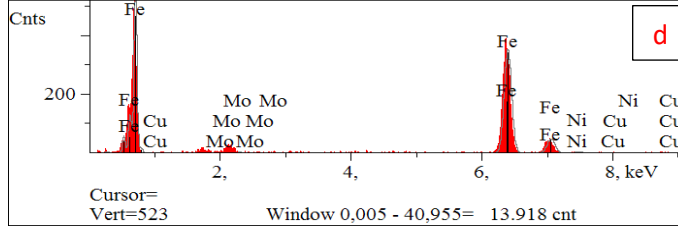
Şekil 5.39'da analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 3 bölgeden analiz alınmıştır. Ölçümde yapılan faz analizinde 1 nolu spottaki faz siyah olarak görülmekte Mn elementi tespit edilmiştir. 3 nolu spotta molibden fazı bileşiği görülmektedir. Tespit edilen Mn'nın fırın atmosferinden parça yüzeyine nüfuz ettiği düşünülmektedir.



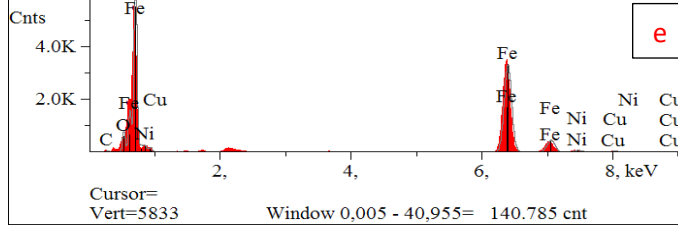
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,000	wt.%	0,000
Mn	0,094	wt.%	0,509
Fe	91,586	wt.%	0,703
Ni	3,255	wt.%	0,925
Cu	2,399	wt.%	1,296
Mo	2,666	wt.%	0,752
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
O	12,891	wt.%	0,478
Fe	1,905	wt.%	0,434
Mo	85,203	wt.%	0,522
	100,000	wt.%	



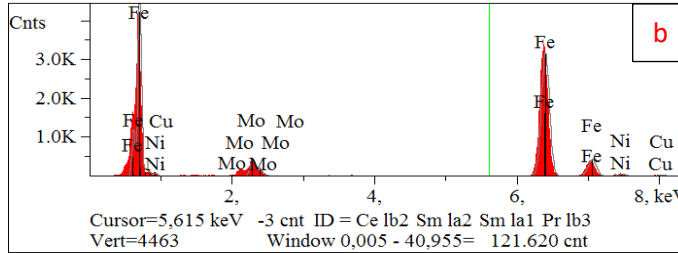
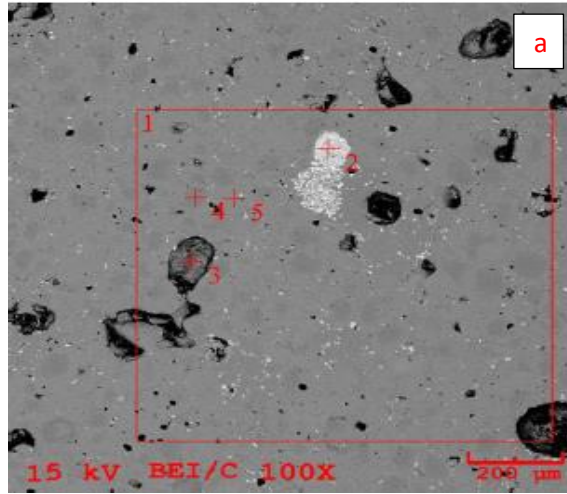
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,489	wt.%	0,952
O	2,578	wt.%	0,338
Fe	94,465	wt.%	0,856
Ni	1,749	wt.%	1,127
Cu	0,269	wt.%	1,583
Mo	0,450	wt.%	0,941
	100,000	wt.%	



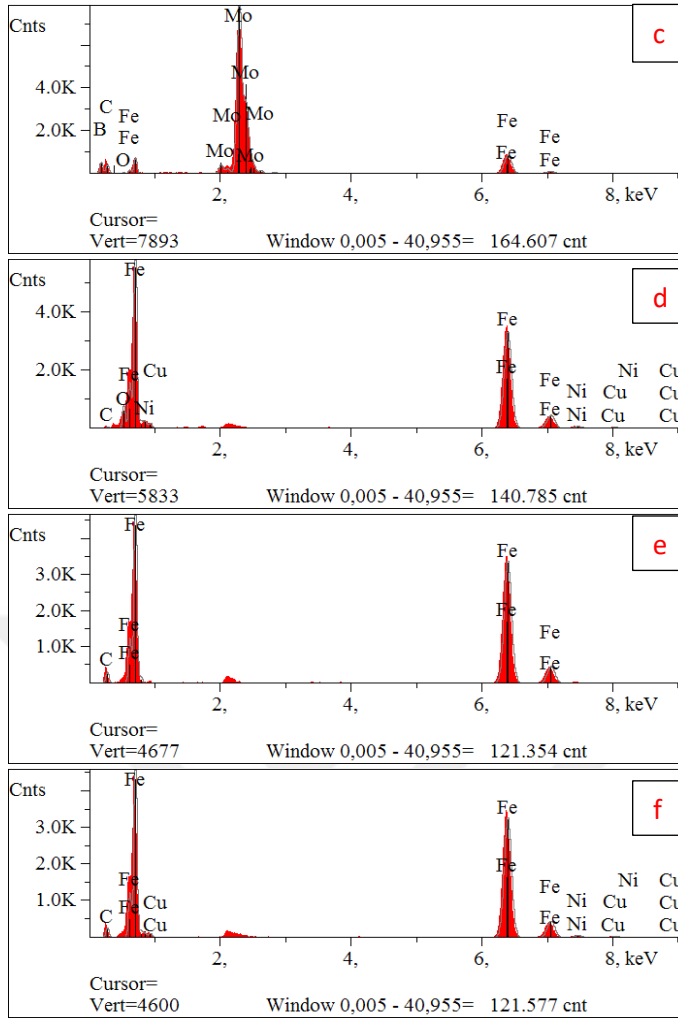
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,527	wt.%	0,330
O	3,704	wt.%	0,116
Fe	89,687	wt.%	0,267
Ni	3,326	wt.%	0,390
Cu	2,754	wt.%	0,515
	100,000	wt.%	

Şekil 5.40 %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1050°C-90 dk'da üretilen SEM-BEI Compo görüntüsü (a), 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d) ve 4 nolu spot (e) EDX analizi.

Şekil 5.40'da analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 bölgeden analiz alınmıştır. Ölçümde yapılan faz analizinde 1 nolu spottaki faz siyah olarak görülmekte 2 nolu spotta molibden elementi görülmektedir. 3 ve 4 nolu spotta yine Fe-Cu ve Ni bileşikleri görülmektedir.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,001	wt.%	0,302
Fe	92,002	wt.%	0,279
Ni	3,132	wt.%	0,390
Cu	2,359	wt.%	0,519
Mo	1,505	wt.%	0,324
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
C	7,078	wt.%	0,471
O	0,523	wt.%	0,192
Fe	15,341	wt.%	0,194
Mo	77,058	wt.%	0,213
	100,000	wt.%	

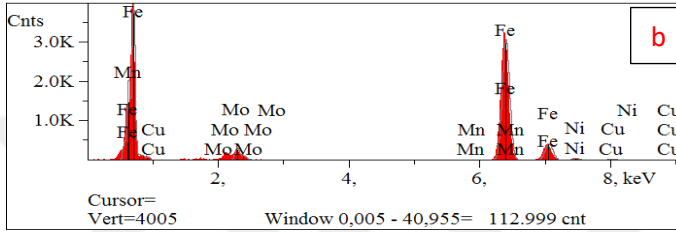
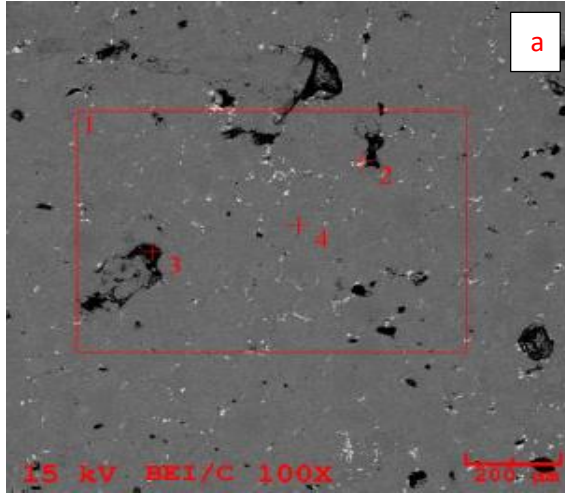
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,527	wt.%	0,330
O	3,704	wt.%	0,116
Fe	89,687	wt.%	0,267
Ni	3,326	wt.%	0,390
Cu	2,754	wt.%	0,515
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	3,746	wt.%	0,332
Fe	96,254	wt.%	0,279
	100,000	wt.%	

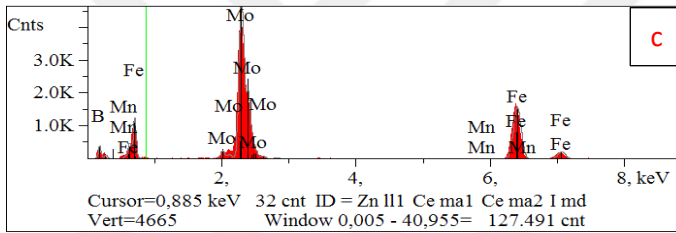
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	3,276	wt.%	0,323
Fe	90,765	wt.%	0,281
Ni	3,159	wt.%	0,388
Cu	2,800	wt.%	0,508
	100,000	wt.%	

Şekil 5.41 %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-1150°C-90 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) ve 5 nolu spot (f) EDX analizi.

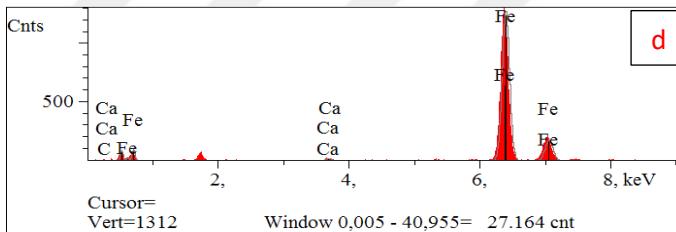
Şekil 5.41'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 bölgeden analiz alınmıştır. Ölçümde yapılan faz analizinde Nikel elementinin oranının artması ile birlikte 5 nolu spotta nikel elementinin oranını arttığı görülmektedir. Sinterlemenin 1150°C' de yapılması nikelin analiz alınan bölgenin genelinde çözündüğü görülmektedir.



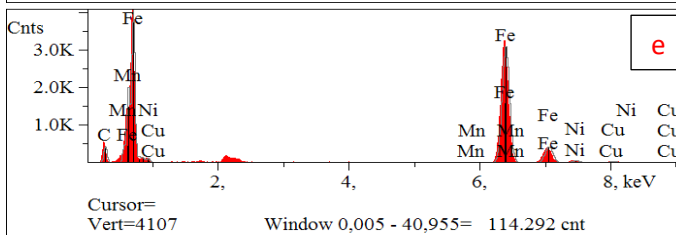
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,099	wt.%	0,266
Mn	0,132	wt.%	0,217
Fe	89,674	wt.%	0,279
Ni	2,745	wt.%	0,403
Cu	2,664	wt.%	0,522
Mo	4,685	wt.%	0,315
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
C	2,202	wt.%	0,450
Mn	0,068	wt.%	0,198
Fe	36,697	wt.%	0,235
Mo	61,033	wt.%	0,259
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,111	wt.%	0,250
O	1,119	wt.%	0,074
Ca	0,392	wt.%	0,084
Fe	98,378	wt.%	0,478
	100,000	wt.%	

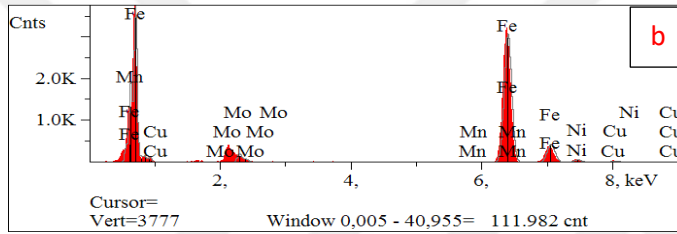
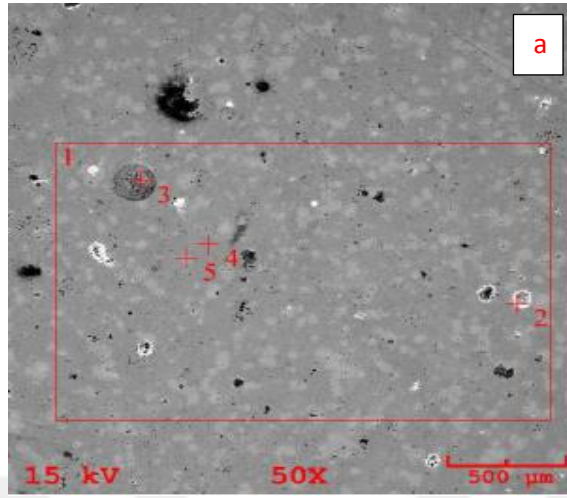


Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	5,429	wt.%	0,311
Mn	0,035	wt.%	0,193
Fe	88,956	wt.%	0,281
Ni	2,853	wt.%	0,397
Cu	2,727	wt.%	0,512
	100,000	wt.%	

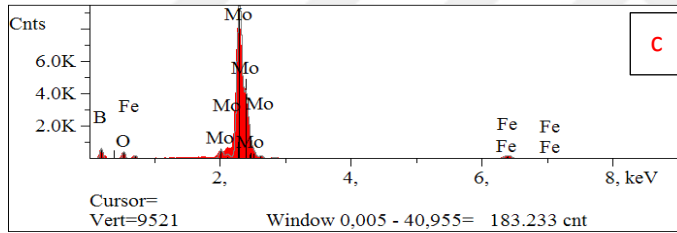
Şekil 5.42 %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-90 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

Şekil 5.42'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo ve Ni

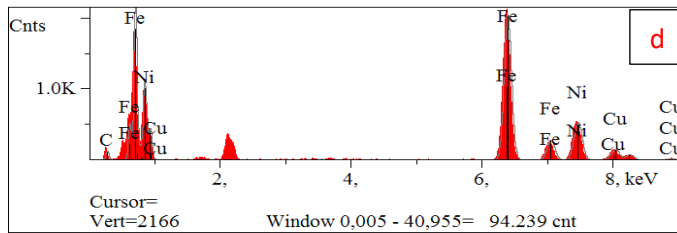
fazları görülmektedir. 3 nolu spotta kalsiyum elementi görülmektedir. Bu elementin fırın atmosferinden parça yüzeyine düfüze olduğu düşünülmektedir.



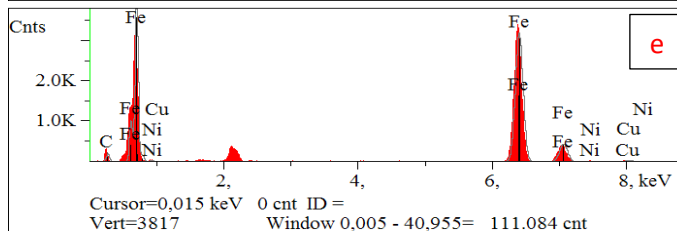
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,078	wt.%	0,275
Mn	0,037	wt.%	0,223
Fe	90,726	wt.%	0,293
Ni	3,313	wt.%	0,410
Cu	2,756	wt.%	0,547
Mo	3,091	wt.%	0,334
	100,000	wt.%	



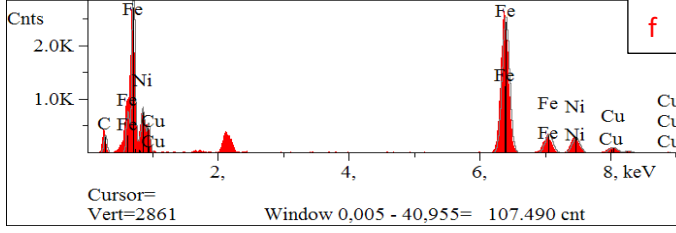
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,320	wt.%	0,000
O	4,038	wt.%	0,220
Fe	3,469	wt.%	0,197
Mo	92,193	wt.%	0,194
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,874	wt.%	0,321
Fe	58,142	wt.%	0,276
Ni	28,389	wt.%	0,414
Cu	11,596	wt.%	0,518
	100,000	wt.%	



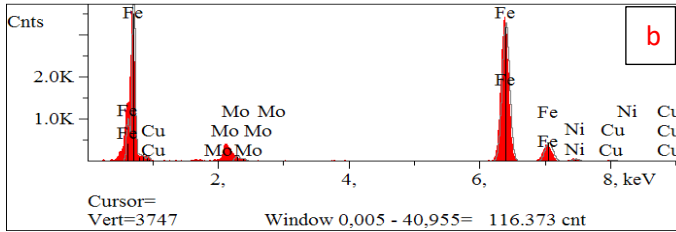
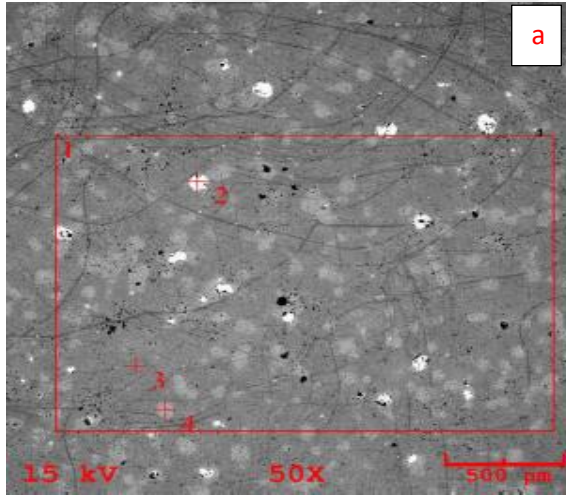
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,448	wt.%	0,343
Fe	93,777	wt.%	0,285
Ni	1,157	wt.%	0,390
Cu	2,618	wt.%	0,503
	100,000	wt.%	



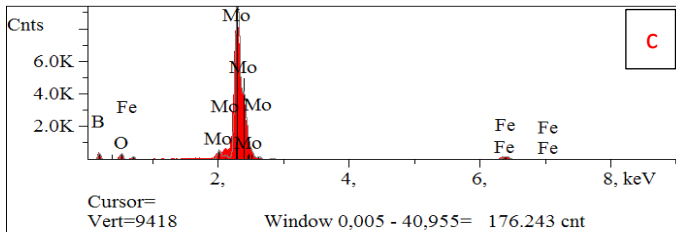
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	4,467	wt.%	0,319
Fe	72,581	wt.%	0,279
Ni	14,722	wt.%	0,417
Cu	8,230	wt.%	0,552
	100,000	wt.%	

Şekil 5.43 %3Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1050°C-90 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) ve 5 nolu spot (f) EDX analizi.

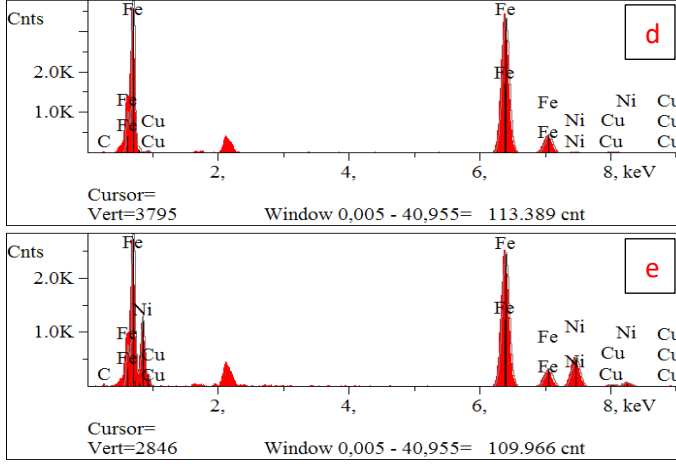
Şekil 5.43'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo ve Ni fazları görülmektedir. Bor miktarının artması ile birlikte spot analizinde bor miktarının arttığı görülmektedir. Ancak düşük sıcaklıkta yapılan sinterleme sıcaklığında çözünmeyen elementler alınan görüntülerden tespit edilebilmektedir.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,194	wt.%	0,260
Fe	92,416	wt.%	0,281
Ni	2,964	wt.%	0,401
Cu	2,236	wt.%	0,525
Mo	2,190	wt.%	0,307
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,430	wt.%	0,000
C	0,000	wt.%	0,000
O	3,550	wt.%	0,212
Fe	3,523	wt.%	0,194
Mo	92,9527	wt.%	0,198
	100,000	wt.%	

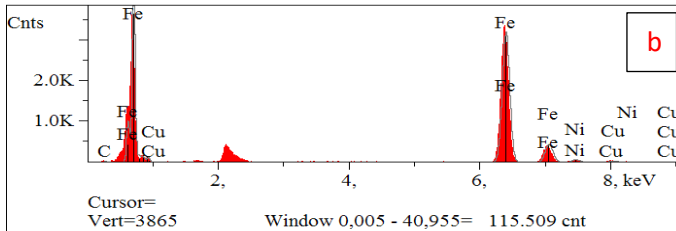
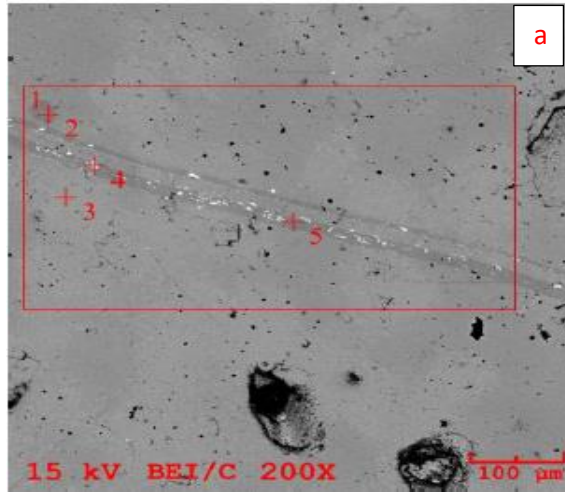


Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,224	wt.%	0,259
Fe	95,871	wt.%	0,286
Ni	1,358	wt.%	0,372
Cu	2,547	wt.%	0,492
	100,000	wt.%	

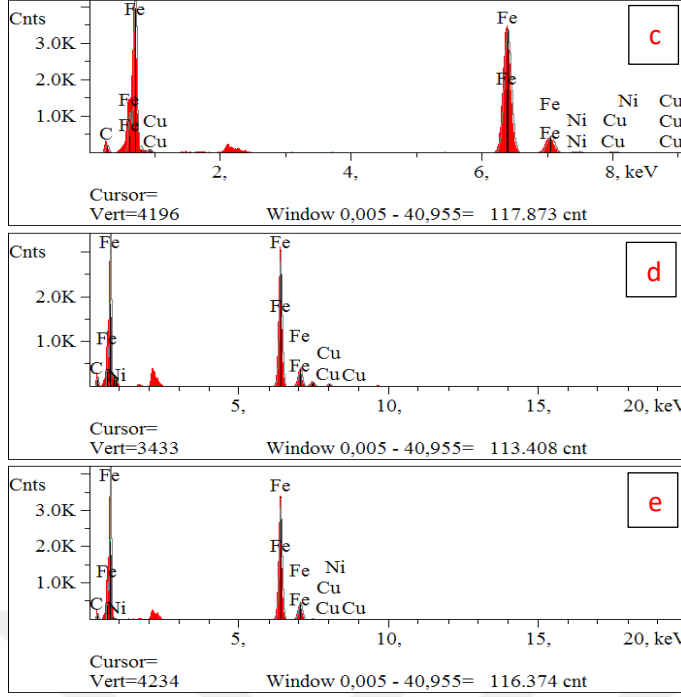
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,294	wt.%	0,277
Fe	68,879	wt.%	0,281
Ni	27,441	wt.%	0,425
Cu	3,387	wt.%	0,545
	100,000	wt.%	

Şekil 5.44 %3Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-90 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

Şekil 5.44'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo ve Ni fazları görülmektedir. Sıcaklığın artması ile birlikte dağılımın homojenleştiği görülmektedir fakat bölgesel olarak molibden elementlerinin mikroyapıda bileşik oluşturmadan kaldığı görülmektedir.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,323	wt.%	0,273
Fe	96,190	wt.%	0,292
Ni	2,524	wt.%	0,397
Cu	1,963	wt.%	0,540
	100,000	wt.%	



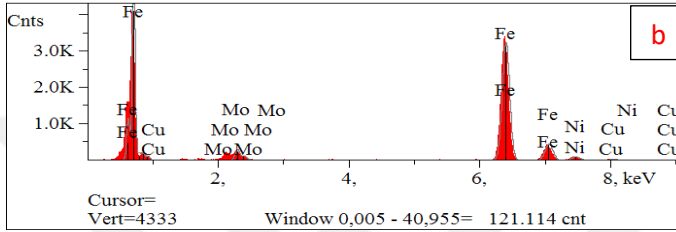
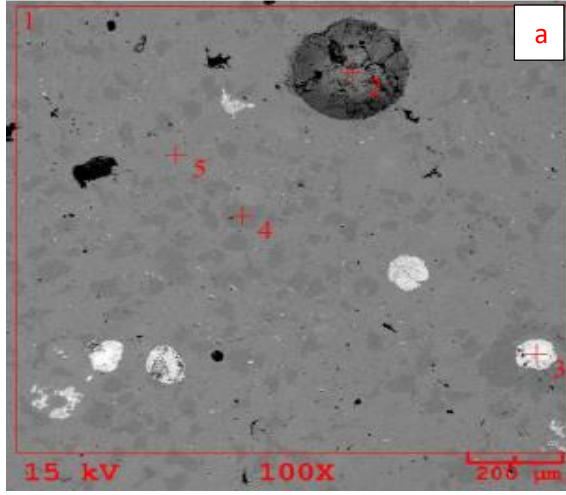
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,718	wt.%	0,307
Fe	92,629	wt.%	0,269
Ni	2,263	wt.%	0,388
Cu	2,389	wt.%	0,519
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,976	wt.%	0,318
Fe	86,820	wt.%	0,280
Ni	5,812	wt.%	0,415
Cu	4,392	wt.%	0,541
	100,000	wt.%	

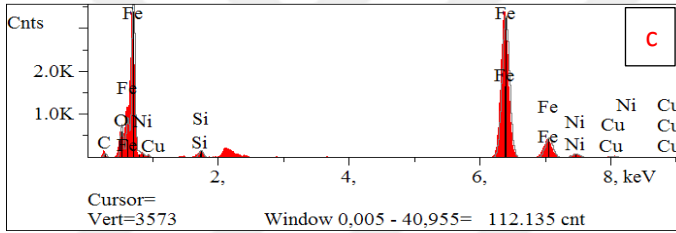
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,249	wt.%	0,325
Fe	94,947	wt.%	0,276
Ni	1,367	wt.%	0,393
Cu	1,437	wt.%	0,512
	100,000	wt.%	

Şekil 5.45 %3Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-90 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

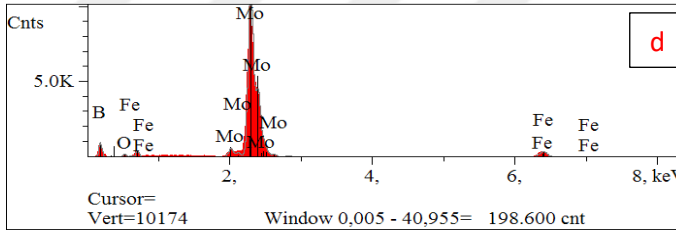
Şekil 5.45'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo ve Ni fazları görülmektedir. 1250°C'de yapılan sinterleme işleminde Ni-Cu ve Mo elementlerinin bileşik oluşturduğu ve mikroyapıda homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir.



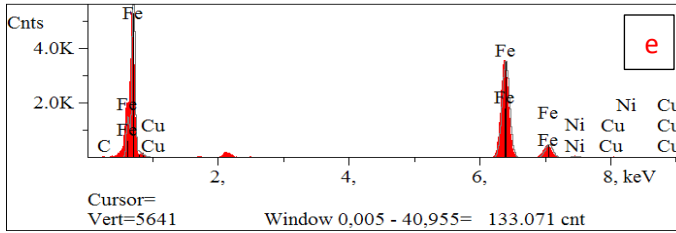
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,151	wt.%	0,273
Fe	88,103	wt.%	0,273
Ni	4,906	wt.%	0,371
Cu	2,529	wt.%	0,498
Mo	4,312	wt.%	0,306
	100,000	wt.%	



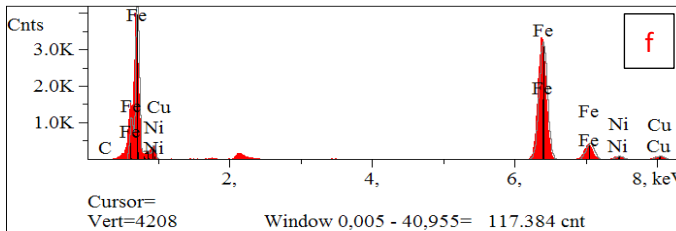
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,180	wt.%	0,288
O	3,518	wt.%	0,104
Si	0,805	wt.%	0,105
Fe	87,720	wt.%	0,266
Ni	4,112	wt.%	0,364
Cu	2,665	wt.%	0,477
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,405	wt.%	0,000
O	1,726	wt.%	0,170
Fe	5,831	wt.%	0,184
Mo	92,042	wt.%	0,198
	100,000	wt.%	



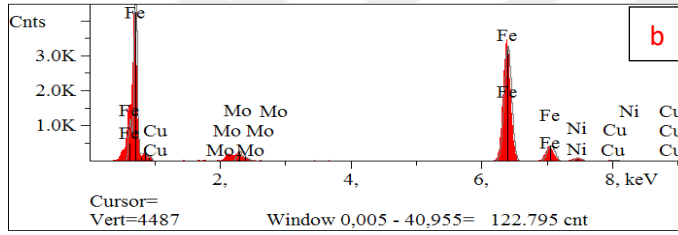
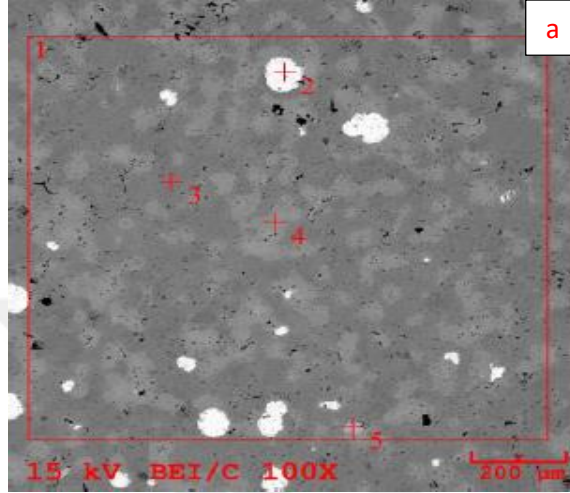
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,279	wt.%	0,270
Fe	95,056	wt.%	0,277
Ni	2,930	wt.%	0,382
Cu	1,735	wt.%	0,488
	100,000	wt.%	



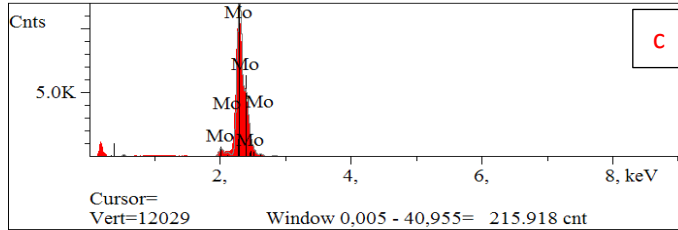
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,082	wt.%	0,268
Fe	88,347	wt.%	0,276
Ni	4,720	wt.%	0,386
Cu	6,851	wt.%	0,516
	100,000	wt.%	

Şekil 5.46 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1050°C-30 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) ve 5 nolu spot (f) EDX analizi.

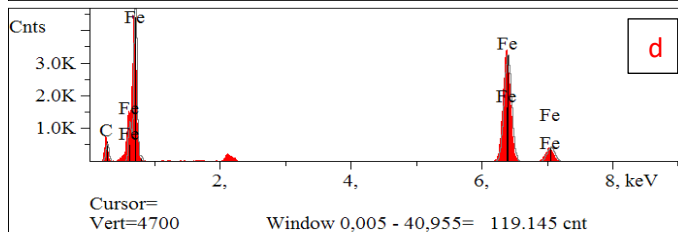
Şekil 5.46'da analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Düşük sıcaklıkta ve sürede gerçekleştirilen sinterleme işleminde Fe ve Cu bileşik oluşturduğu fakat Ni, Mo ve B'un bileşik oluşturmadığı spot analizlerinde görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı ve süresi yetersiz kalmıştır.



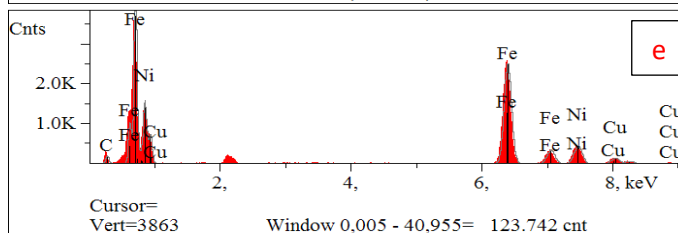
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,111	wt.%	0,275
Fe	88,143	wt.%	0,262
Ni	4,628	wt.%	0,380
Cu	2,926	wt.%	0,494
Mo	4,192	wt.%	0,305
	100,000	wt.%	



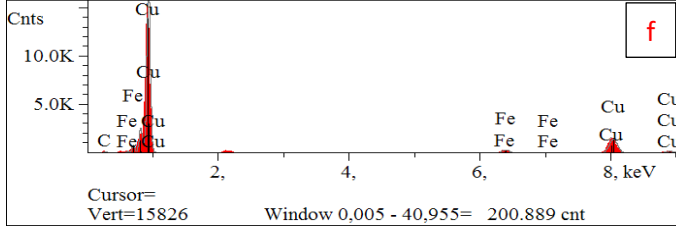
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
O	1,444	wt.%	0,187
Mo	98,556	wt.%	0,195
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	6,663	wt.%	0,305
Fe	93,337	wt.%	0,280
	100,000	wt.%	



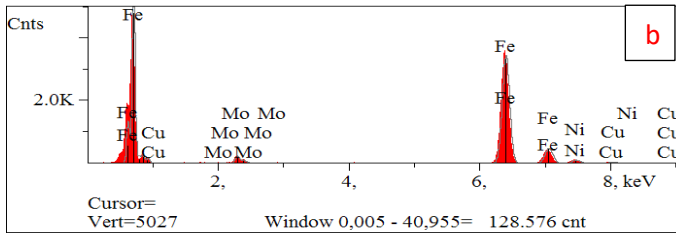
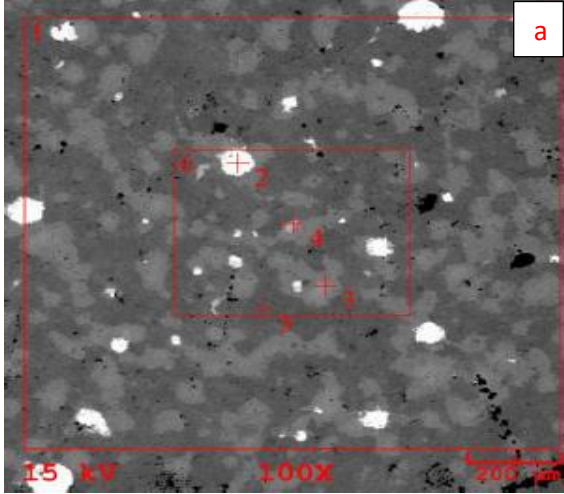
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,515	wt.%	0,342
Fe	66,171	wt.%	0,264
Ni	21,734	wt.%	0,394
Cu	9,580	wt.%	0,534
	100,000	wt.%	



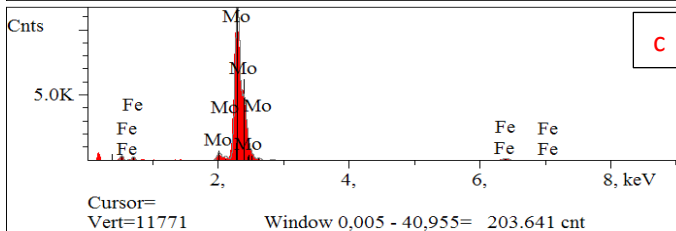
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,992	wt.%	0,394
Fe	6,381	wt.%	0,197
Cu	91,627	wt.%	0,512
	100,000	wt.%	

Şekil 5.47 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1050°C-60 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) ve 5 nolu spot (f) EDX analizi.

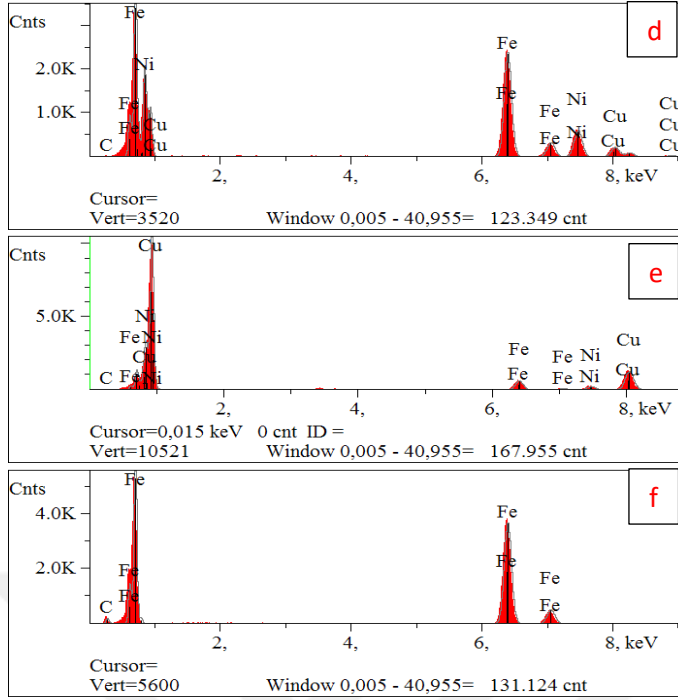
Şekil 5.47'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Sinterleme süresinin artması bileşik oluşumunda yetersiz kalmıştır. Düşük sinterleme sıcaklığı nedeniyle spot analizinde çözünmeyen bölgeler kolaylıkla tespit edilebilmektedir.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,181	wt.%	0,261
Fe	88,769	wt.%	0,258
Ni	4,934	wt.%	0,357
Cu	3,008	wt.%	0,456
Mo	3,109	wt.%	0,294
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
O	3,207	wt.%	0,180
Fe	2,483	wt.%	0,170
Mo	94,311	wt.%	0,192
	100,000	wt.%	



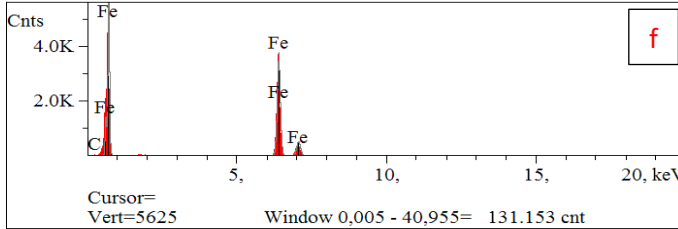
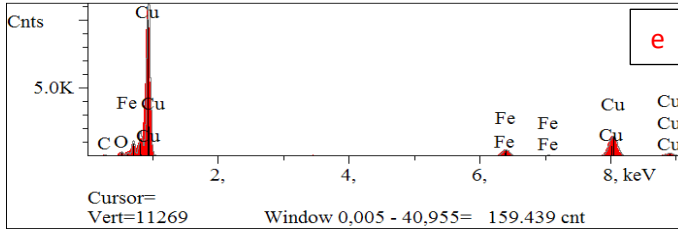
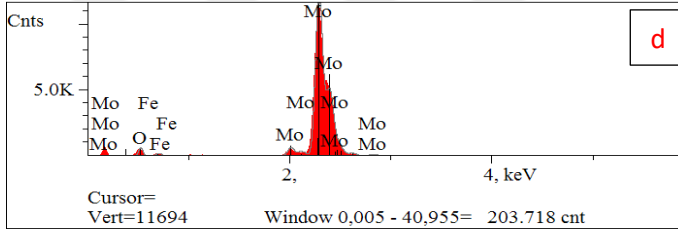
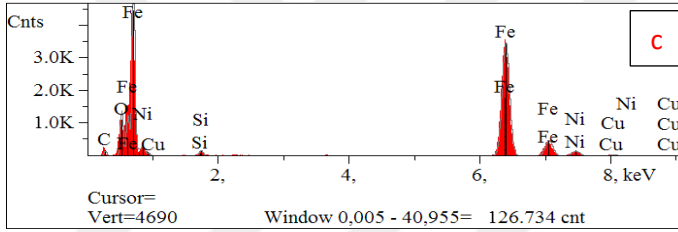
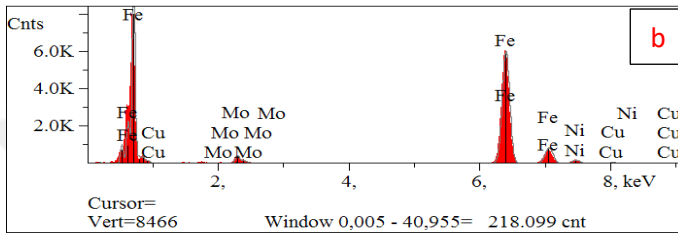
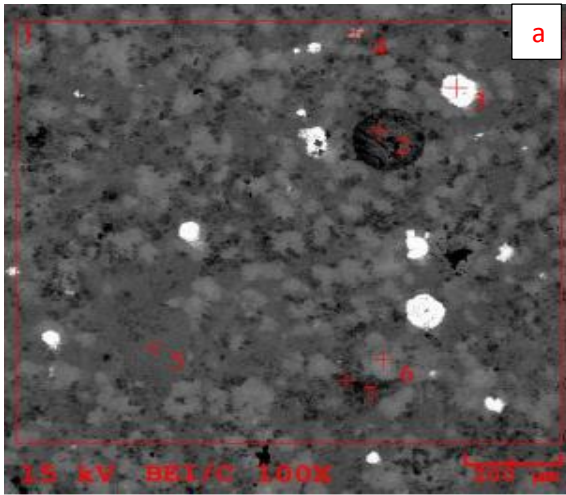
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,153	wt.%	0,259
Fe	58,320	wt.%	0,253
Ni	27,268	wt.%	0,377
Cu	14,258	wt.%	0,493
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,275	wt.%	0,327
Fe	12,775	wt.%	0,215
Ni	9,864	wt.%	0,359
Cu	77,087	wt.%	0,501
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,254	wt.%	0,285
Fe	97,746	wt.%	0,260
	100,000	wt.%	

Şekil 5.48 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1050°C-90 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) ve 5 nolu spot (f) EDX analizi.

Şekil 5.48'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Fe ve Cu 'ın birbiri içerisinde çözündüğü görülmektedir. Fakat molibdenin çözünmeden mikroyapıda kaldığı görülmektedir.

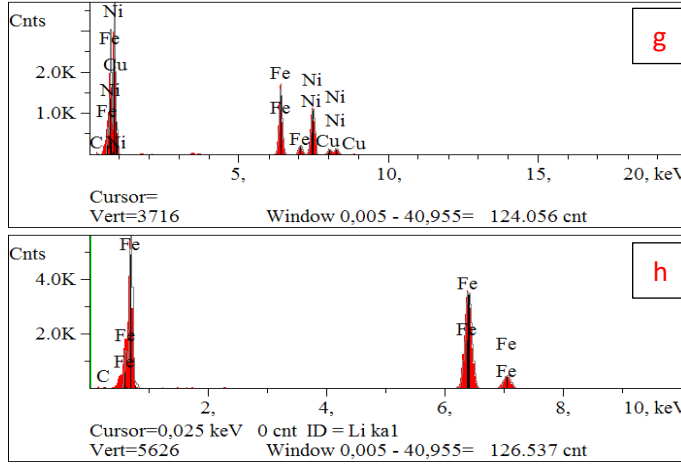


Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,229	wt.%	0,173
O	2,599	wt.%	0,069
Fe	87,478	wt.%	0,180
Ni	4,617	wt.%	0,261
Cu	1,914	wt.%	0,342
Mo	3,164	wt.%	0,212
	100,000	wt.%	
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,572	wt.%	0,300
O	5,653	wt.%	0,111
Si	0,682	wt.%	0,101
Fe	83,151	wt.%	0,240
Ni	6,523	wt.%	0,349
Cu	2,419	wt.%	0,457
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL3-sig
O	4,715	wt.%	0,174
Fe	1,743	wt.%	0,167
Mo	93,542	wt.%	0,182
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL3-sig
C	1,070	wt.%	0,340
O	1,586	wt.%	0,129
Fe	8,668	wt.%	0,193
Cu	88,676	wt.%	0,477
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL3-sig
C	0,240	wt.%	0,260
Fe	99,760	wt.%	0,262
	100,000	wt.%	

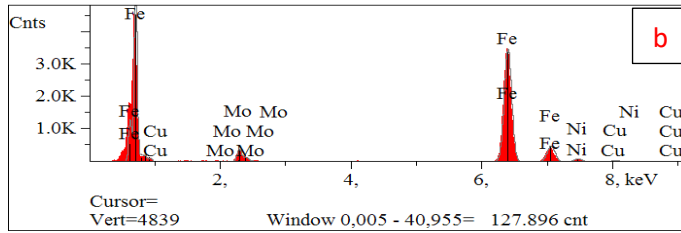
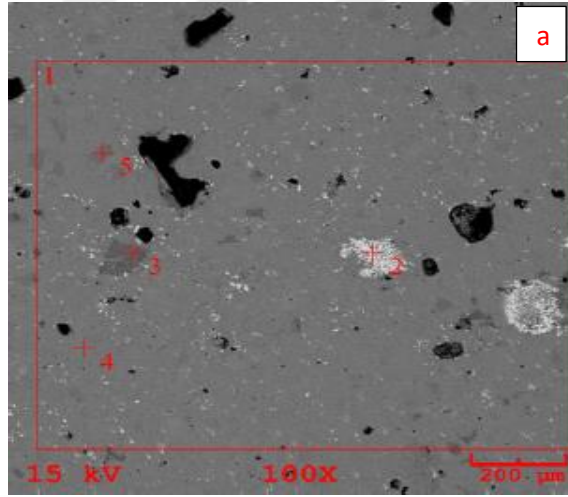


Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,467	wt.%	0,296
Fe	39,854	wt.%	0,233
Ni	50,456	wt.%	0,385
Cu	9,223	wt.%	0,495
	100,000	wt.%	

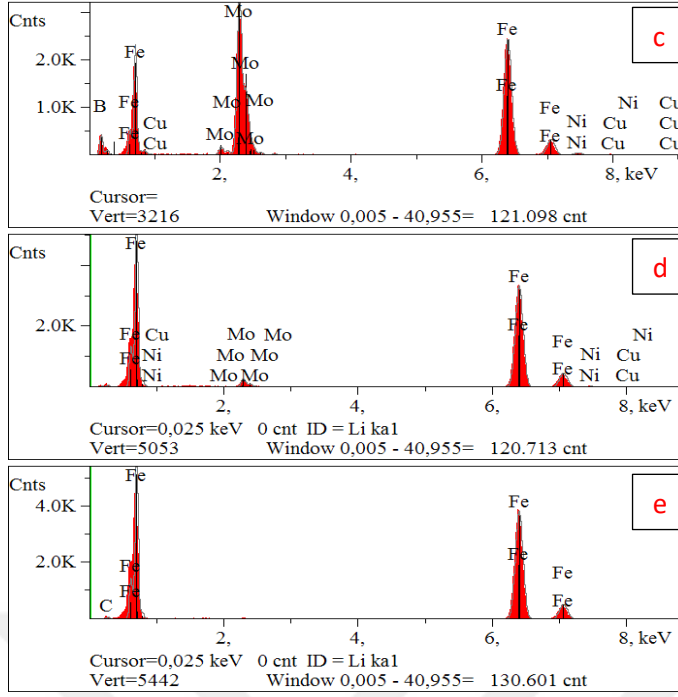
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,393	wt.%	0,270
Fe	99,607	wt.%	0,273
	100,000	wt.%	

Şekil 5.49 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-30 dk'da üretilen BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e), 5 nolu spot (f), 6 nolu spot (g), 7 nolu spot (h) EDX analizi.

Şekil 5.49'da analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 7 farklı bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Bileşik oluşturmayan molibden mikroyapıda belirli bölgelerde tespit edilmiştir. Alınan spot analizlerinde bor elementine rastlanmamıştır.



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
Fe	88,352	wt.%	0,254
Ni	4,233	wt.%	0,367
Cu	2,431	wt.%	0,465
Mo	4,984	wt.%	0,288
	100,000	wt.%	



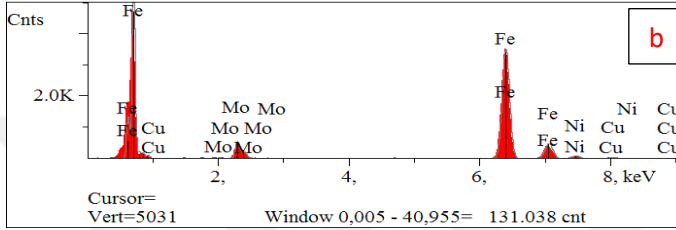
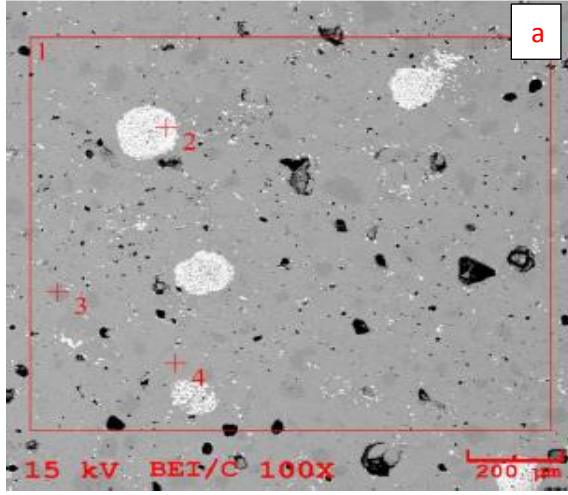
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,632	wt.%	0,353
Fe	54,790	wt.%	0,225
Ni	1,957	wt.%	0,303
Cu	0,481	wt.%	0,421
Mo	41,140	wt.%	0,284
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,763	wt.%	0,302
Fe	93,504	wt.%	0,266
Ni	1,487	wt.%	0,376
Cu	0,420	wt.%	0,492
Mo	3,826	wt.%	0,304
	100,000	wt.%	

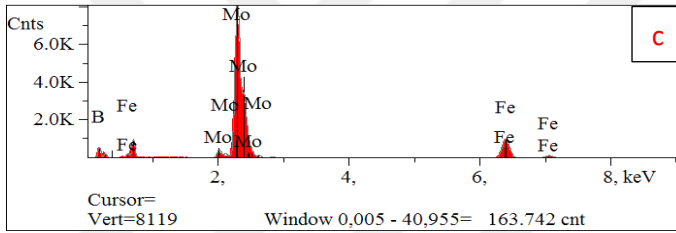
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,818	wt.%	0,258
Fe	99,182	wt.%	0,253
	100,000	wt.%	

Şekil 5.50 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-60 dk'da BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

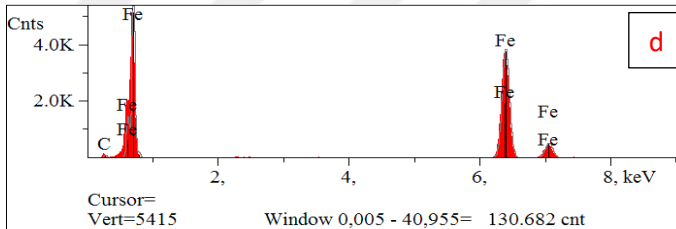
Şekil 5.50'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 farklı bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Sinterleme süresinin artması sonucunda molibdenin yapı içerisinde çözüldüğü ve homojen bir yapı görünümü analizlerde görülmektedir.



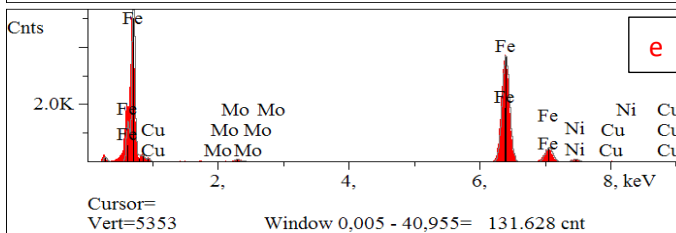
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,013	wt.%	0,264
Fe	86,295	wt.%	0,251
Ni	4,253	wt.%	0,342
Cu	2,366	wt.%	0,451
Mo	7,073	wt.%	0,285
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,230	wt.%	0,000
C	3,524	wt.%	0,452
Fe	17,882	wt.%	0,195
Mo	78,594	wt.%	0,240
	100,000	wt.%	



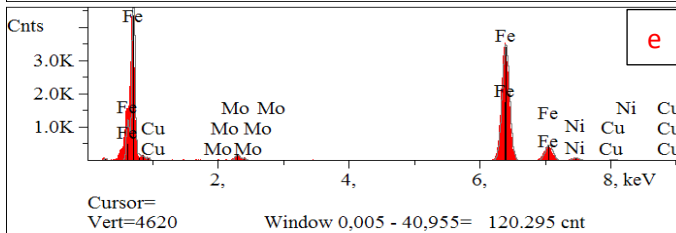
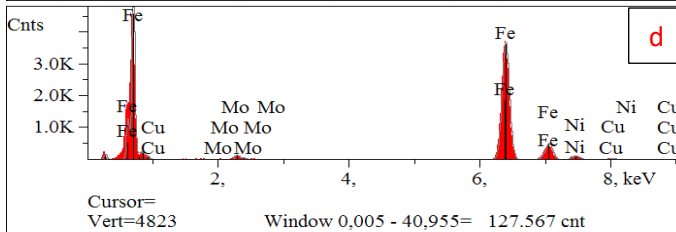
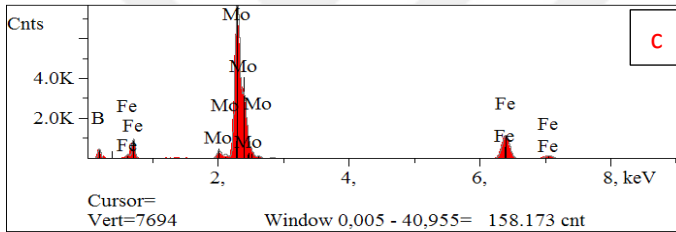
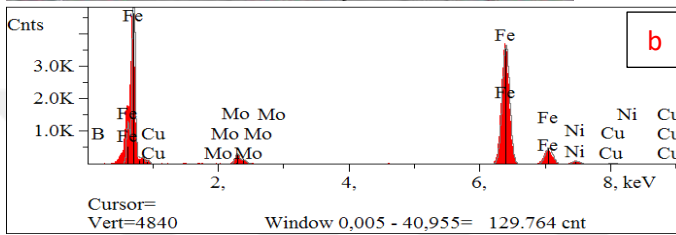
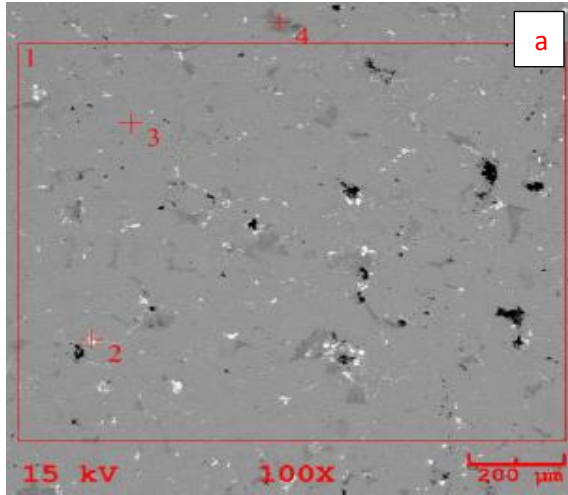
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,298	wt.%	0,253
Fe	98,702	wt.%	0,263
	100,000	wt.%	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	2,032	wt.%	0,280
Fe	90,756	wt.%	0,252
Ni	4,131	wt.%	0,364
Cu	1,758	wt.%	0,481
Mo	1,323	wt.%	0,277
	100,000	wt.%	

Şekil 5.51 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1150°C-90 dk'da BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

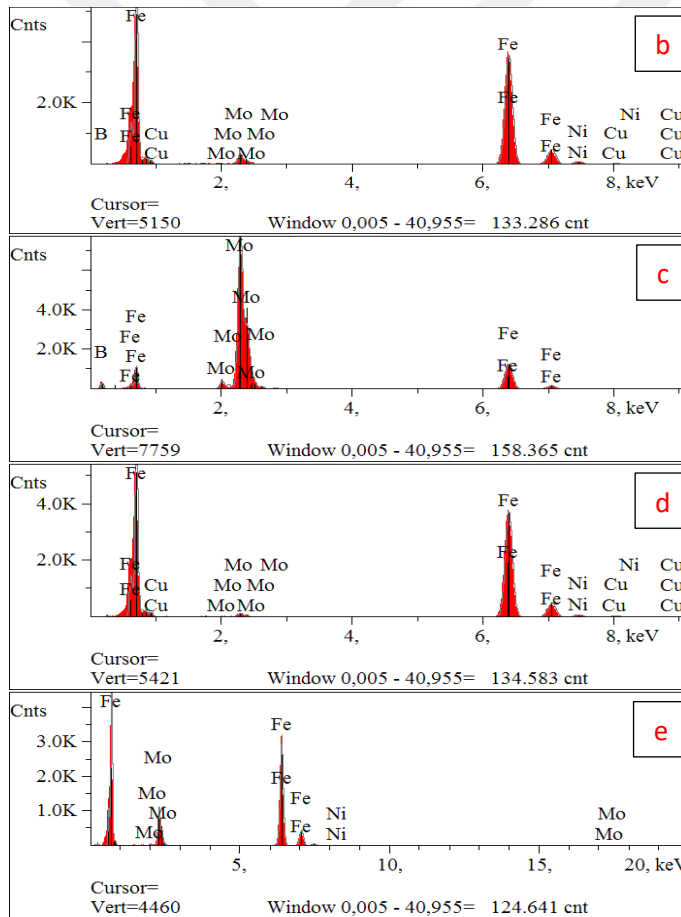
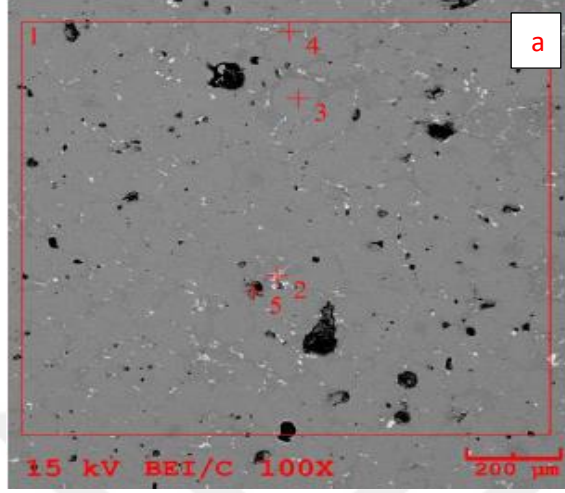
Şekil 5.51'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 farklı bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Sinterleme süresinin artması yapının homojenleşmesini ve elementlerin birbiri içerisinde çözünmesini sağlamıştır.



Şekil 5.52 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-30 dk'da BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

Şekil 5.52'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 4 farklı bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan

bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının 1250 °C olması yapının homojen olmasını ve Fe-Cu, Fe-Ni, Fe-B, Ni-Mo bileşiklerinin oluşması için yeterli sinterleme mekanizması elde edilmiştir.

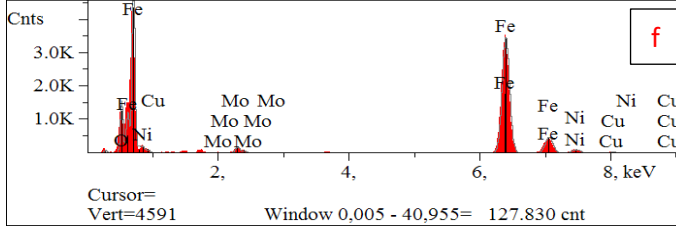


Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
C	0,251	wt.%	0,251
Fe	88,590	wt.%	0,252
Ni	4,454	wt.%	0,356
Cu	2,249	wt.%	0,461
Mo	4,455	wt.%	0,282
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
Fe	23,106	wt.%	0,198
Mo	76,894	wt.%	0,239
	100,000	wt.%	

Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,575	wt.%	0,257
Fe	90,711	wt.%	0,248
Ni	3,963	wt.%	0,338
Cu	2,980	wt.%	0,434
Mo	1,771	wt.%	0,275
	100,000	wt.%	

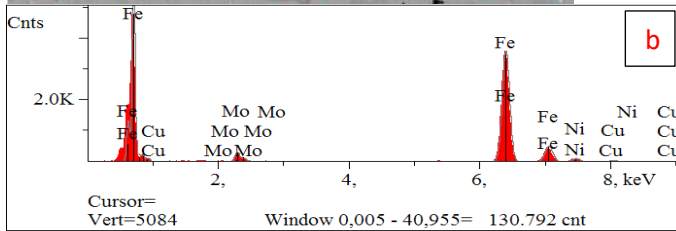
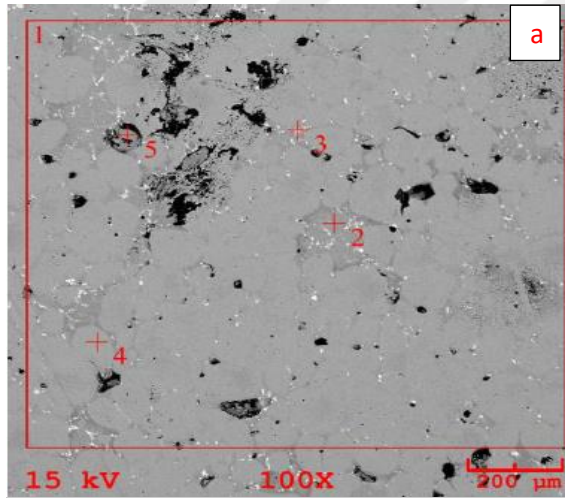
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,647	wt.%	0,313
Fe	81,953	wt.%	0,249
Ni	2,429	wt.%	0,352
Mo	14,971	wt.%	0,301
	100,000	wt.%	



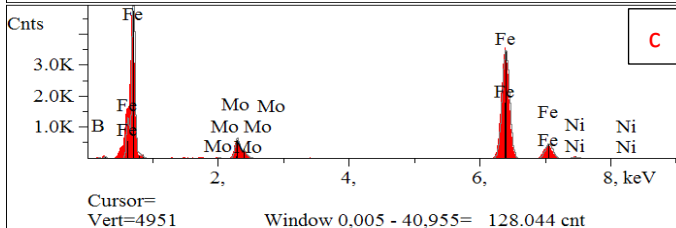
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,910	wt. %	0,278
O	6,491	wt. %	0,108
Fe	83,841	wt. %	0,239
Ni	4,569	wt. %	0,345
Cu	1,952	wt. %	0,461
Mo	2,237	wt. %	0,282
	100,000	wt. %	

Şekil 5.53 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-60 dk'da BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

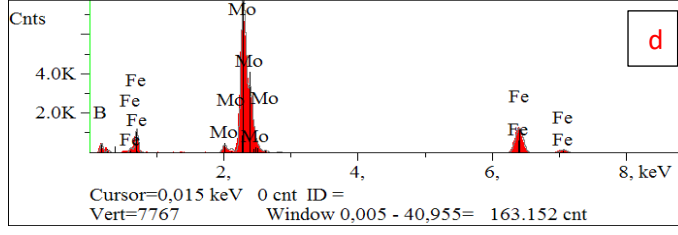
Şekil 5.53'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 farklı bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının 1250 °C olması yapının homojen olmasını ve Fe-Cu, Fe-Ni, Fe-B, Ni-Mo bileşiklerinin oluşması için yeterli sinterleme mekanizması elde edilmiştir. Sinterleme süresinin artması parçanın sertliğini arttırarak ikincil fazların miktarını arttırarak sertliğin artmasını sağlamıştır.



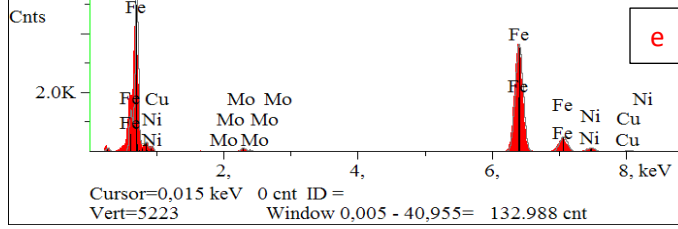
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	0,238	wt. %	0,264
Fe	88,385	wt. %	0,260
Ni	4,687	wt. %	0,340
Cu	2,780	wt. %	0,458
Mo	3,910	wt. %	0,289
	100,000	wt. %	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt. %	0,000
C	0,800	wt. %	0,293
Fe	88,181	wt. %	0,254
Ni	2,450	wt. %	0,356
Mo	8,570	wt. %	0,300
	100,000	wt. %	



Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
B	0,000	wt.%	0,000
C	2,776	wt.%	0,408
Fe	22,414	wt.%	0,191
Mo	74,810	wt.%	0,233
	100,000	wt.%	



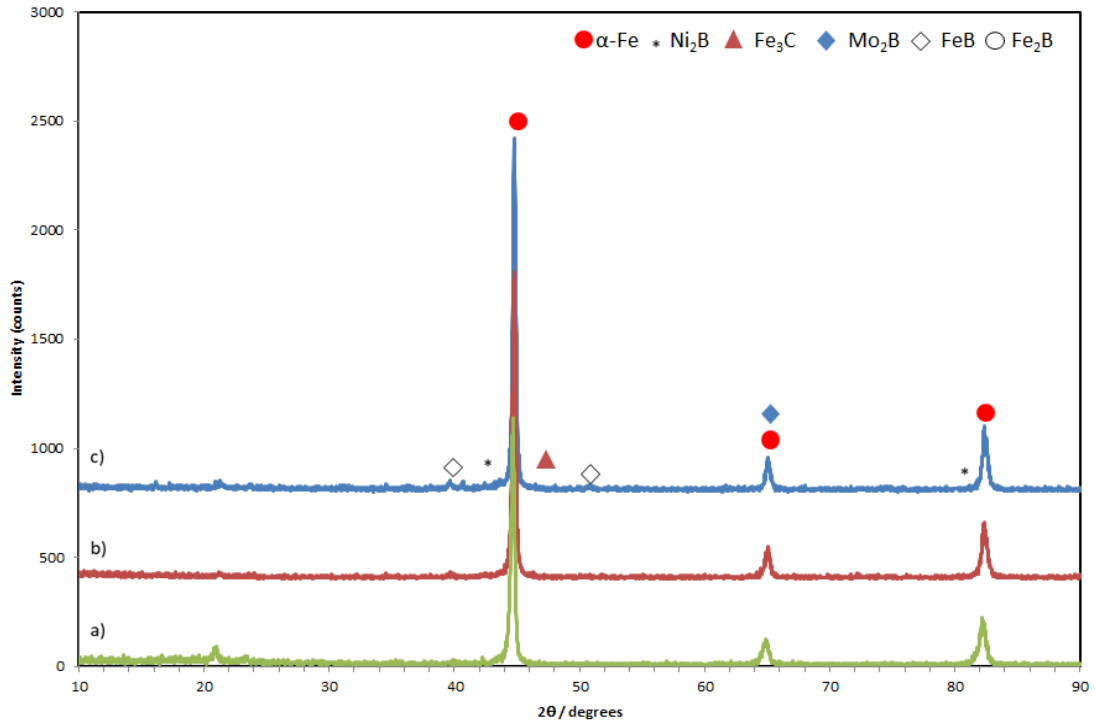
Elt.	Conc	Units	MDL 3-sig
C	1,491	wt.%	0,277
Fe	88,475	wt.%	0,233
Ni	5,704	wt.%	0,337
Cu	2,776	wt.%	0,451
Mo	1,554	wt.%	0,280
	100,000	wt.%	

Şekil 5.54 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe-1250°C-90 dk'da BEI-Compo görüntüsü (a); 1 nolu spot (b), 2 nolu spot (c), 3 nolu spot (d), 4 nolu spot (e) EDX analizi.

Şekil 5.54'de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. 5 farklı bölgeden analiz alınmıştır. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Koyu renkli bölgeler Fe ve Cu fazını içermektedir ve açık renkli olan bölgelerde Mo, Ni ve B fazları görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının 1250 °C olması yapının homojen olmasını ve Fe-Cu, Fe-Ni, Fe-B, Ni-Mo bileşiklerinin oluşması için yeterli sinterleme mekanizması elde edilmiştir. Sinterleme süresinin artması ikincil fazların miktarını arttırdığından parçanın sertliği yüksek çıkmaktadır. Sertlik ölçüm sonuçları da bunu desteklemektedir.

5.3.4 XRD analizi sonuçları

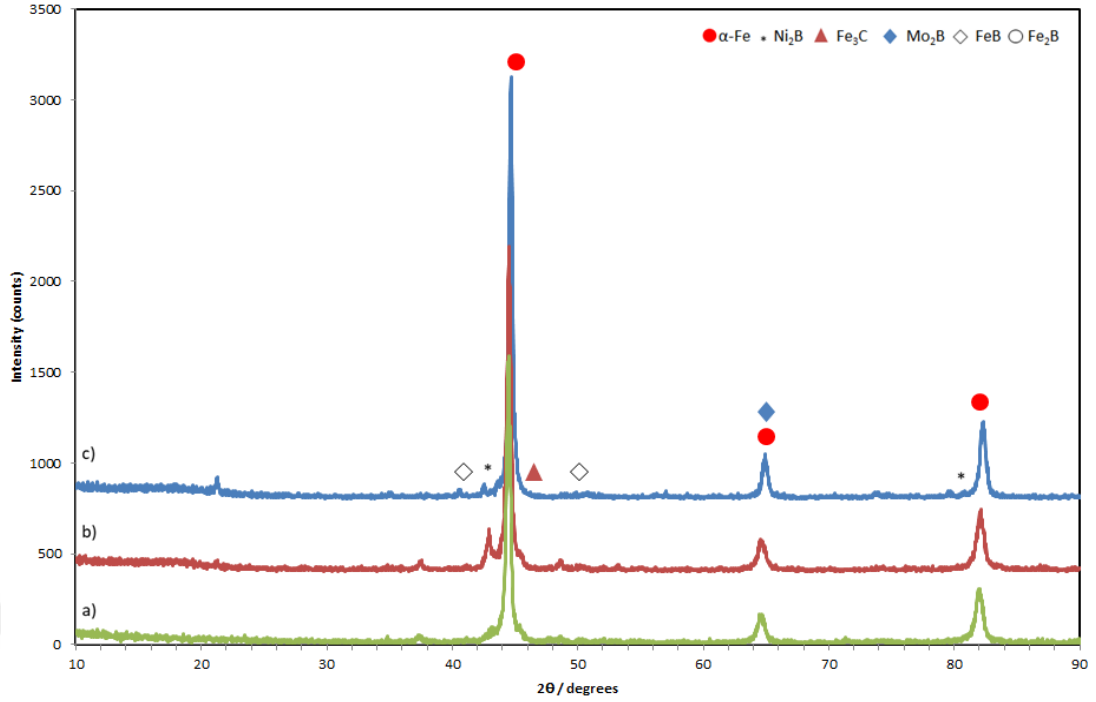
XRD analizleri için Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Rigaku marka XRD analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. 2 theta açısı 10-90° arasında belirlenmiştir. Her spektrumunda küçükten büyüye doğru sıralama üstteki eğriden alt sıradaki eğriye ilerleyecek şekilde verilmiştir. %1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresinde üretilen numunelere ait XRD grafikleri şekil 5.55'de verilmiştir.



Şekil 5.55 %1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonu-90 dk sinterleme a)1050°C nolu, b) 1150°C nolu, c) 1250°C nolu numuneden elde edilen XRD spektrumu

Şekil 5.55’de %1,5Ni-%1,8Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonuna ait XRD grafiği verilmiştir. Görünen piklerde ana yapı ferritik olduğu için Fe- α piki görülmektedir. Bu piklerin yanı sıra Ni₂B, Fe₃C, Mo₂B pikleri de görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ilave edilen nikel, bor ve molibden elementlerinin oluşturduğu bileşiklerin piklerin boylarının büyümesine neden olmuştur. Bu bileşiklerin oluşması sıvı faz oluşumuna katkı sağlayarak numunelerin mukavemet değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Sinterleme sıcaklığının yükselmesi ile birlikte FeB piklerinin oluşumu görülmektedir. Ni₂B piklerinin artan sinterleme sıcaklığı ile belirgin şekilde görülmektedir.

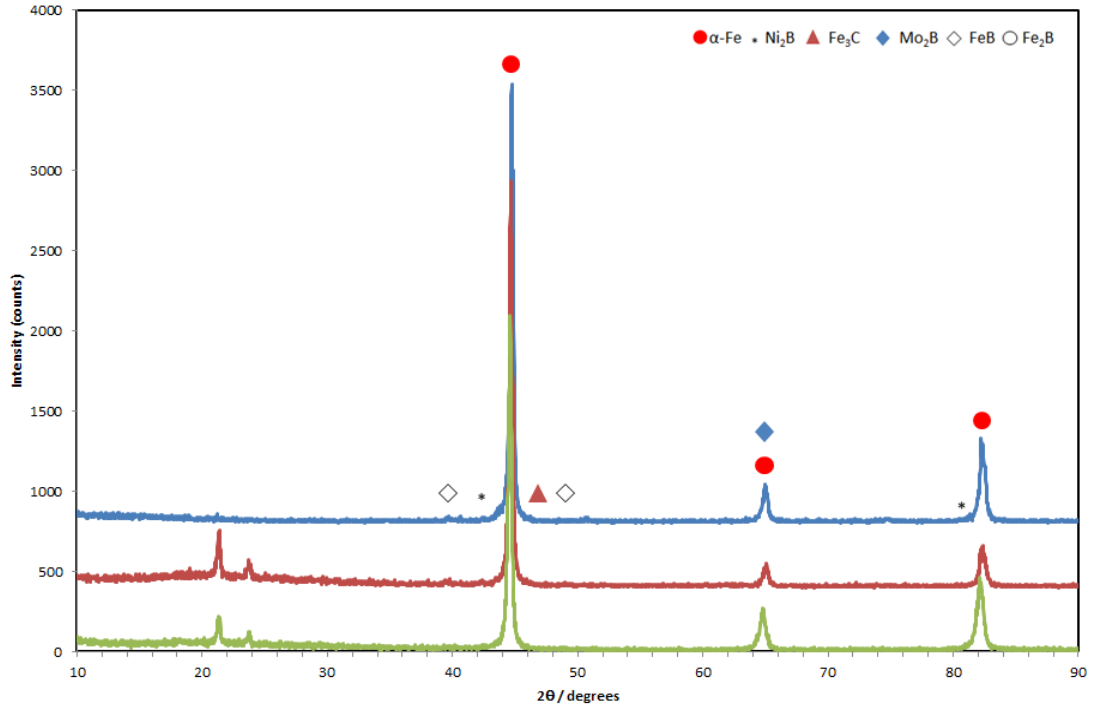
%3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%2Cu-%0,8C-%Fe kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresinde üretilen numunelere ait XRD grafikleri şekil 5.56’da verilmiştir.



Şekil 5.56 %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonu-90 dk sinterleme a)1050°C nolu, b) 1150°C nolu, c) 1250°C nolu numuneden elde edilen XRD spektrumu

Şekil 5.56'da %3Ni-%1,2Mo-%0,2B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonuna ait XRD grafiği verilmiştir. Görünen piklerde ana yapı ferritik olduğu için Fe- α piki görülmektedir. Bu piklerin yanı sıra Ni₂B, Fe₃C, Mo₂B pikleri de görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ilave edilen nikel, bor ve molibden elementlerinin oluşturduğu bileşiklerin piklerinin boylarının büyümesine neden olmuştur. Bu bileşiklerin oluşması sıvı faz oluşumuna katkı sağlayarak numunelerin mukavemet değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Sinterleme sıcaklığının artması ile birlikte Ni₂B piklerinin oluşumu görülmektedir. FeB piklerinin boyutlarında sinterleme sıcaklığının yükselmesi ile bor içinde demir elementinin çözülmesi sonucunda srttığı görülmektedir.

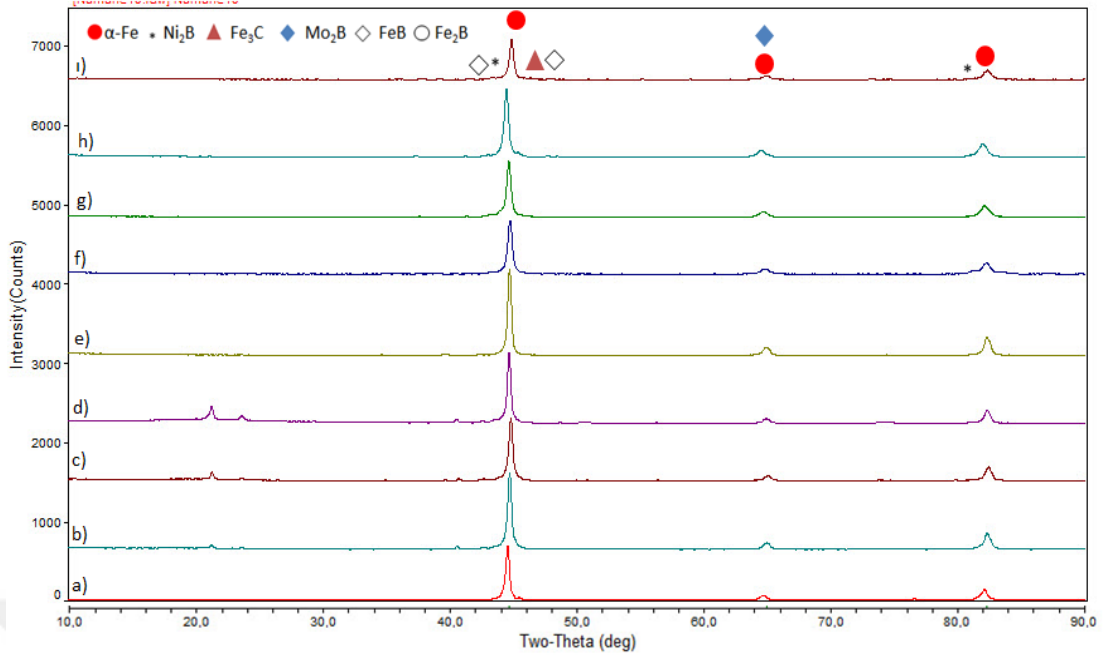
%3Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 90 dk sinterleme süresinde üretilen numunelere ait XRD grafikleri şekil 5.57'de verilmiştir.



Şekil 5.57 %3Ni-%1,8Mo-%1,0B-%0,8C-%2Cu-%Fe kompozisyonu-90 dk sinterleme a)1050°C nolu, b) 1150°C nolu, c) 1250°C nolu numuneden elde edilen XRD spektrumu

Şekil 5.57’de %3Ni-%1,8Mo-%1,0B-%2Cu-%0,8C-%Fe kompozisyonuna ait XRD grafiği verilmiştir. Görünen piklerde ana yapı ferritik olduğu için Fe- α piki görülmektedir. Bu piklerin yanı sıra Ni₂B, Fe₃C, Mo₂B pikleri de görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ilave edilen nikel, bor ve molibden elementlerinin oluşturduğu bileşiklerin piklerin boylarının büyümesine neden olmuştur. Piklerin boyları artan sinterleme sıcaklığı demir içerisinde nikel, molibden ve borun çözünürlüğü artmaktadır. Bu bileşiklerin oluşması sıvı faz oluşumuna katkı sağlayarak numunelerin mukavemet değerlerinin ve sertlik değerlerinin artmasına neden olmuştur.

%4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait 1050-1150-1250°C sinterleme sıcaklığında 30-60-90 dk sinterleme sürelerinde üretilen numunelere ait XRD grafikleri şekil 5.58’de verilmiştir.



Şekil 5.58 %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%0,8C-%Fe Kompozisyonuna ait a) 1050°C-30 dk, b) 1050°C-60 dk, c) 1050°C-90 dk, d) 1150°C-30 dk, e) 1150°C-60 dk, f) 1150°C-90 dk, g) 1250°C-30 dk, h) 1250°C-60 dk, i) 1250°C-90 dk numuneden elde edilen XRD spektrumu

Şekil 5.58’de %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu -%0,8C-%Fe kompozisyonuna ait XRD grafiği verilmiştir. Görünen piklerde ana yapı ferritik olduğu için Fe- α piki görülmektedir. Bu piklerin yanı sıra Ni₂B, Fe₃C, Mo₂B pikleri de görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ilave edilen nikel, bor ve molibden elementlerinin oluşturduğu bileşiklerin piklerin boylarının büyümesine neden olmuştur. Sinterleme süresinin artması ile pikler sağ tarafa kaymaktadır. Piklerin şiddeti sinterleme sıcaklığı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Oluşan bileşiklerin değerinin artması toplam kompozisyon içindeki miktarı arttırmaktadır. Bu bileşiklerin oluşması sıvı faz oluşumuna katkı sağlayarak numunelerin mukavemet değerlerinin ve sertlik değerlerinin artmasına neden olmuştur.

5. SONUÇLAR

TM prosesleri ile üretilen parçaların seri ve hassas ölçülerde üretilmesi yöntemin en avantajlı noktasıdır. Kompleks geometrili parçaların kolay ve seri üretilmesi toz metalürjisinin tercih nedenlerindedir. Klasik yöntemler ile dişli üretimi, hem maliyet hem de proses sürelerinin uzun olmasından dolayı zordur. Ancak bu toz metalurjisi ile dişli üretim proseslerinde her geçen gün yeni teknikler geliştirilmekte, üretimde kullanılan preslere yeni fonksiyonlar eklenmektedir ve daha kompleks yapıda dişilerin üretimleri toz metalurjisi ile gerçekleşebilmektedir. Yapılan bu çalışmada toz metalurjisi ile üretim yöntemlerinde olan sıcak presleme yöntemi ile numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Numune üretimlerinde demir, bor, molibden, nikel, karbon elementleri kullanılarak üretimler yapılmıştır. Çalışmalar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda üretilen numunelerin dişli üretimi için kullanılabilmesi için sertleştirme işlemi uygulanmadan mekanik ve mikroyapı özelliklerini artırılması amaçlanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler, gerçekleştirilen 3 aşamaya göre ayrı ayrı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Birinci aşama deney sonuçları;

1. İndüksiyonla sertleştirme sonrasında en yüksek sertlik değeri 76,65 HRA sertlik değeri ile 27 nolu kompozisyonda elde edilmiştir.
2. İndüksiyonla sertleştirme sonrasında en yüksek sertlik değeri 62,92 HRA sertlik değeri ile 7 nolu kompozisyonda elde edilmiştir.
3. Ilık presleme sonucunda parçalarda ortalama %10 porozite değeri elde edilmiştir. Ilık presleme tozların daha kolay sıkıştırılabilmesini sağlamıştır. En yüksek sertlik değerinin elde edildiği 27 nolu kompozisyonda yoğunluk değeri 7,12 gr/cm³ elde edilmiştir. En düşük sertlik değerinin elde edildiği 7 nolu kompozisyonda 6,97 gr/cm³ elde edilmiştir.
4. İndüksiyon sertleştirmede kompozisyon içerisindeki nikel oranı sertleşebilirliği arttırmıştır.
5. Malzemedeki karbon oranı indüksiyonla sertleştirme için yeterli olduğundan dolayı parçaların tümünde sertleştirme sağlanmıştır.

6. Numunelerin indüksiyonla sertleştirmeden önce ölçülen sertliklerinde içeriğindeki molibden, nikel ve bor oranlarındaki artış sertliklerde artışa neden olmuştur.

İkinci aşama deney sonuçları;

1. Sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin artması numunelerin sertliğini arttırmıştır.
2. Mikroyapı analizlerinde düşük sıcaklardaki sinterlemede sıvı faz oluşumunun yetersiz olduğu ve gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir.
3. Düşük sıcaklıklarda sinterlemede mikroyapıda molibden, bor ve nikel elementlerinin etkileri tespit edilememiştir.
4. Mikroyapıda matrix yapı östenit ve ferritten oluşmaktadır. 2. Yapı olarak perlit görülmektedir. Artan sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresine göre arayerler daha belirgin görülmektedir ve perlit tanelerinin incelendiği görülmektedir.
5. Ni ile B, termodinamik olarak 1175 °C'de ötektik bir sıvı faz oluşturmaktadır, fakat Cr, Mo, Si ve Mn gibi elementlerin mevcudiyeti sıvı faz oluşum sıcaklıklarını arttırmaktadır. İlave amorf bor miktarının artması ile sıvı faz oluşum sıcaklıkları düşmektedir. Amorf bor ilaveli numunelere göre daha yüksek sıcaklıklarda sıvı faz oluşumu gerçekleşmektedir.

Üçüncü aşama deney sonuçları;

1. Aşınma deneyleri sonucunda en düşük numune kaybı %4,5Ni-%1,8Mo-%1B-%2Cu-%Fe Kompozisyonuna ait 1250 °C'de 90 dakika sinterlenen numunede elde edilmiştir. Numune kaybı 2,3 mg sürtünme katsayısı 0,25 olarak ölçülmüştür.
2. İlave edilen Nikel, bor ve molibden oranının artması aşınma miktarının azalmasına buna bağlı olarak sürtünme katsayısının azalmasına neden olmuştur.
3. Aşınma izlerinden alınan SEM analizlerinde aşınma tipi ağırlıklı olarak abraziv aşınma tespit edilmiştir. Kısmen adheziv aşınma izlerine de tespit edilmiştir. Parçaların TM ile üretilmesinden dolayı partikül esaslı olması nedeni ile abraziv aşınma tipine daha yatkın olduğu tespit edilmiştir.
4. EDS analizlerinde parçalarda FeNi, FeCu ve FeC fazları tespit edilmiştir. Görüntü analizlerinde koyu renkle görünen bölgeler Fe fazını göstermektedir. Beyaz görünen bölgeler Mo, açık gri olan bölgelerde Ni, B ve Cu fazlarını olduğu tespit edilmiştir.

5. XRD analizlerinde α -Fe pikinin belirgin olarak görülmektedir. α -Fe piki $45-46^\circ$ ve $82-83^\circ$ arasında görülmektedir. Yüksek sinterleme sıcaklığında ve uzun sinterleme sürelerinde α -Fe piki sağa kaydığı ve çözünürlüğünün arttığı grafiklerde görülmektedir.
6. XRD grafiklerinde Ni_2B , Fe_3C , Mo_2B pikleri de belirgin olarak görülmektedir.
7. İlave edilen Ni, B, Mo elementlerinin kompozisyon içerisinde çözünürlüğü sinterleme sıcaklığına ve sinterleme süresinin artmasına bağlı olarak piklerin boyu artmış ve pikler grafikte sağ tarafa kaymıştır.



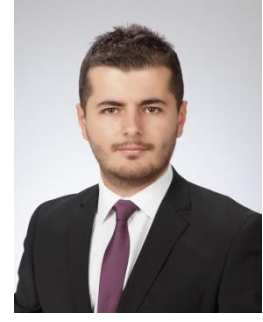
KAYNAKÇA

- [1] **Baksan B., Gürler R.**, (2003). Toz Metalurjisinin Savunma Sanayinde Uygulanması, *Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü*, MSB, Tekno D., ARGE Semineri.
- [2] **Çavdar U.**, (2005). Demir Esaslı Sinter Metallerine Yapılabilecek Isıl İşlemlerin Belirlenmesi Ve Geliştirilmesi, *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yüksek Lisans Tezi), Manisa.
- [3] **German, R. M.**, (1998). Powder Metallurgy of Iron and Steel, Jhon Willey and Sons, U.S.A.
- [4] **Metals Handbook**, (1990). Properties and Selection: Iron, Steels and High Performance Alloys, 10th Edition, American society of Metals, Materials Park, OH.
- [5] **Bocchini, G. F., Lindskog, P. F.**, (1991). Applications and Developments of Sintered Ferrous Materials, Powder Metallurgy-An overview, *The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy*, 287s.
- [6] **Upadhyaya, G. S.**, (2000). Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials, John Wiley & Sons LTD, West Sussex, England.
- [7] **Ataş, A.**, (2003). Alaşımli Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *İ.T.Ü., F.B.E.*, (Yüksek Lisans Tezi),, İstanbul.
- [8] **Kalaycıoğlu, S.A.**, (2010). SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi İle Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalı* (Yüksek Lisans), 1s, İzmir.
- [9] **Wang, J., and Danninger H.**, (1998). Dry sliding wear behavior of molybdenum alloyed sintered steels, *Institute for Chemical Technology of Inorganic Materials, Vienna University of Technology*, Vienna, Austria.
- [10] **Dizdar, S., and Johansson, P.**, (2007), P/M Materials for Gear Applications, Presented at EURO PM2007 in Toulouse, France.
- [11] **Engström, U. et al. Proc. of** (1998), Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. EPMA. p. 21–26. Granada, İspanya.

- [12] **Suliwski, M. And CIAS, A.**, (2009). Comparison of Mechanical Properties and Microstructure of Cr-Mn-Mo Steels Based on Astaloy CrL and Astaloy CrM Pre-Alloyed Powders, *Archives of Metallurgy and Materials* 54 (4), 1093-1102s.
- [13] **Azadbeh, N, M., Ahmadi, P.**, (2009), Effect of alloying contents and processing factors on the microstructure and homogenization of Si alloyed Cr–Mo sintered steels, 777-782s.
- [14] **Engström, U. Larsson, C.**, (2013), High performance sinter-hardening materials for synchronising hubs, 88-91s.
- [15] **Wang, J., ve Danninger H.**, (1998), Factors influencing the wear behavior of sintered steels, 241-246s.
- [16] **Herraiz, E.** (2015), Powder metallurgy and permanent magnets, (<http://erean.eu/wordpress/powder-metallurgy-and-permanent-magnets/>). Erişim Tarihi 17.06.2019.
- [17] **Yılmaz, O.**, (2004), Ders Notları, *Fırat Üniversitesi*, Elazığ.
- [18] **Turan, P.**, (2002), W-Ni-B ve W-Ni Ağır Alaşımlarının Karşılaştırmalı Sinterleme Davranışları, (Yüksek Lisans Tezi), 36s, İstanbul.
- [19] **Hiçyılmaz, N.** (1999), Toz Metalurjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, *Gazi Üniversitesi*, (Yüksek Lisans Tezi), 43s, , Ankara
- [20] **Pavlovic, G, M., and Popov, K, I.**, (2005), Metal Powder Production By Electrolysis, The electrochemical Society, December,
- [21] **Kurt, A.**, (1994), Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerin Özellikleri, *Gazi Üniversitesi*, (Yüksek Lisans Tezi), 50s, Ankara.
- [22] **Hale, R.**, (2003), Powder metallurgy process and applications, AE 510 research project, *University of Kansas, Lawrence*, 82s. U.S.A.
- [23] **German, R.M.**, (1989), Powder metallurgy science. MPIF, 203-335s, USA.
- [24] **Zavaliangos A.**, (2000), Lectures Notes, Drexel University, USA
- [25] **Thummler, F., and Oberacker, R.**, (1993), Introduction to Powder Metallurgy, *Institute of Materials*, , 122s, London.
- [26] **Trudel, Y., and Gagne, M.**, (1993), Vol. 1, Edited by Y.Bando and Kosuge, Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, *Proceedings of Powder Metallurgy World Congress*, 509s, Kyoto, Japan.
- [27] **Gagne, M.**, (1997), Advances in powder metallurgy and particulate materials.

- [28] **Mårs, O.** (1996), Dynamic Properties of Warm Compacted High Strength Steels' PM2 TEC '96, Washington.
- [29] **Weimer, A.W.**, (1997), Thermochemistry and Kinetics, in Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing, pp. 79-114, Chapman & Hall.
- [30] **Eksi, A., Saritas, S.**, (1996), İzostatik preslemede prensipler ve uygulamalar, *I. Ulusal Toz metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi*, 16-17 Eylül, Ankara.
- [31] **Haglund, S., Argen, J.**, (1998), Solid State sintering of cemented carbides; an experimental study, *Zeitschrift fur metallkunde*, 89, 316-322s .
- [32] **Exner, H. E.**, (1979), Principles of single phase sintering, *Rev. Powder Met. Phys. Ceram.*, 1, 7-251s. İsrail.
- [33] **German, R. M.**, (1996), Sintering Theory and practice, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [34] **Upadhyaya, G.S.**, (2000). Sintered Metallic and Ceramic Materials, preparation, *Properties and Applications, John Wiley and Sons, Inc.*, New York.
- [35] **ATAŞ, A.**, (2003), Alaşımlı Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *İ.T.Ü., F.B.E.*(Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.
- [36] **Başaran, A.**, (2007), Toz Metal Parçalara Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerinin Birlikte Uygulanabilirliğinin Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), 27-33s. Isparta.
- [37] **Nayar, H.S.**, (1984), Production sintering atmospheres. Metals handbook ninth edition Vol.7. Powder Metallurgy, 339–350s. USA.
- [38] **Šalák, A., Selecká, M., Danninger, H.**, (2005), Machinability of powder metallurgy steels. *Cambridge International Science Publishing*, 536s. Cambridge, UK.
- [39] **Özgün, Ö.**, (2007), Toz Metalurjisi ile Üretilen Alaşımlı Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri. (Yüksek Lisans Tezi) 40-129s. Sakarya.
- [40] **Höganäs, A. B.**, (1996), Production of iron and steel powders, chapter 2, 3-21s, Höganäs PM School.
- [41] **Fair, G.H., Wood, J.V.**, (1995), Mechanical Alloying of Iron-Aluminium Intermetallics , *Powder Metallurgy*, 1-33s.
- [42] **Turan, H.**, (1993), Gazla Atomizasyon ile Metal Tozu Üretimi, (Yüksek Lisans Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 13-44s, Ankara.

- [43] **GKN Sinter Metals**, (2001), *Advanced engine components worldwide*, 17s. England.
- [44] **Vasconcelos, Loureiro M., A., Borschiver A., Andrade, Coutinho, P., L.,** (2010) *The Technology Roadmapping Method and its Usage in Chemistry*, 184-191.
- [45] **Anonim**, (2009), *PM Asia dergisi*, 2009. Promoting powder metallurgy in Asia 3s. China.
- [46] **Fujiki, A.**, (2001), Present state and future prospects of powder metallurgy parts for automotive applications. 1-9s. Japan
- [47] **Metal Powder Industries Federation (MPIF)**., 2006. Powder metallurgy automotive parts capture design excellence awards. 1-3s. USA.
- [48] **Anonim**, (2015), *Powder Metallurgy Case Studies*, european powder metallurgy association, 14s.
- [49] **Şahin, Y.**, (2006), *Kompozit Malzemelere Giriş*, 113-131s. Ankara.
- [50] **Url-1**<<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvRGVtaXI>>, alındığı tarih:21.07.2019
- [51] **Url-2**<<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQmFrXLFy>>, alındığı tarih:21.07.2019
- [52] **Url-3**<<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTW9saWJkZW4>>, alındığı tarih:21.07.2019
- [53] **Url-4**<<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTW9saWJkZW4>>, alındığı tarih:21.07.2019
- [54] **Url-5**<<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQm9y>>, alındığı tarih:21.07.2019
- [55] **Url-6**<<http://www.wikizero.biz/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvS2FyYm9u>>, alındığı tarih:21.07.2019



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Tarık GÜN
Doğum Yeri ve Tarihi	Akhisar, 03.01.1988
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Estaş Eksantrik San. ve Tic. A.Ş. 58060 Sivas
E-posta Adresi	tarikgun_@hotmail.com
Tel	+90 506 923 24 39

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Akhisar Anadolu Lisesi, 2006
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2011
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Estaş Eksantrik San. ve Tic. A.Ş. /SİVAS Proje Koordinatörü, 2011